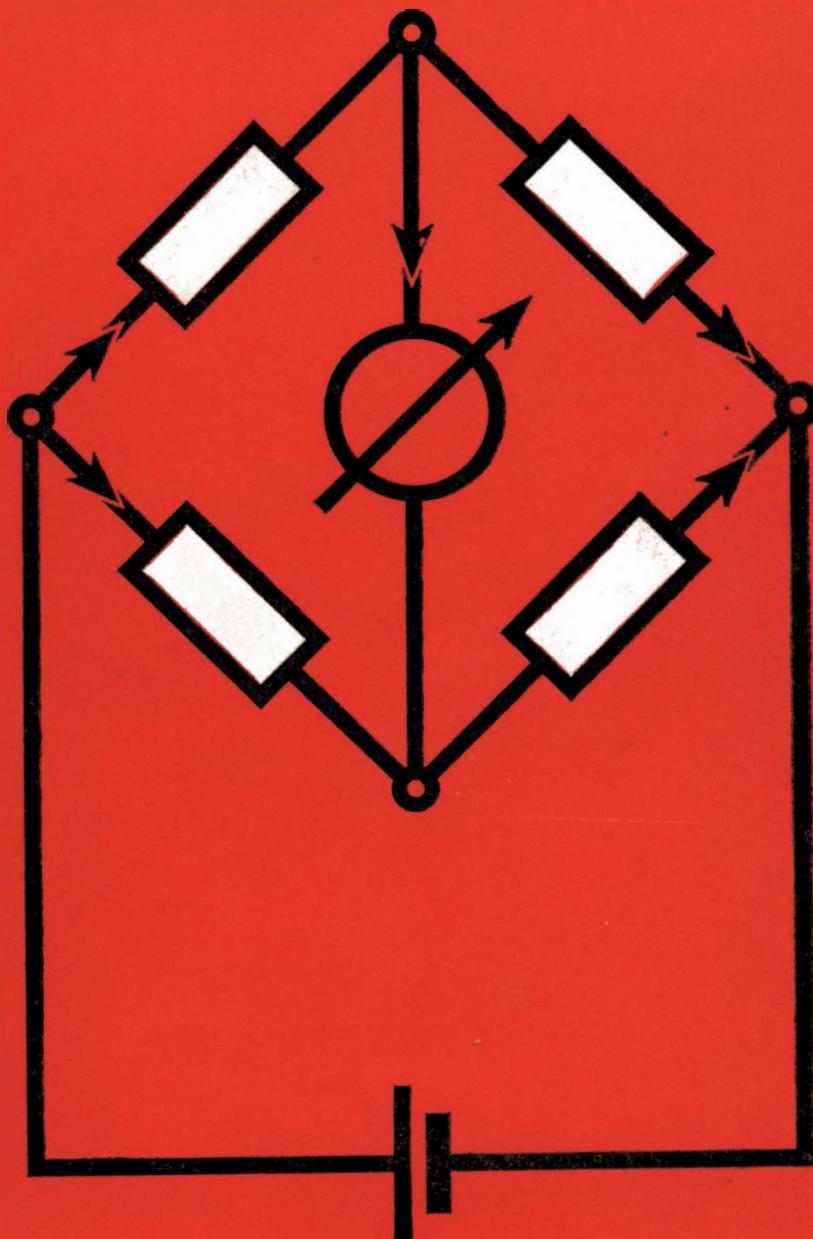


LINDNER

# Elektro-Aufgaben

BAND I: GLEICHSTROM



# ELEKTRO-AUFGABEN

*Übungsaufgaben zu den Grundlagen der Elektrotechnik (mit Lösungen)*

BAND I: GLEICHSTROM

18., verbesserte Auflage · Mit 351 Bildern

HELMUT LIN DNER  
Studiendirektor, Mittweida



VEB FACHBUCHVERLAG LEIPZIG



© VEB Fachbuchverlag Leipzig 1981  
18. Auflage  
Lizenzennummer 114-210/54/81  
LSV 3503  
Verlagslektor: Dipl.-Phys. Klaus Vogelsang  
Printed in GDR  
Satz und Druck:  
Fachbuchdruck Naumburg (Saale)  
Redaktionsschluß: 15. 8. 1981  
Bestellnummer: 546 6576  
DDR 7,50 M

## Vorwort

Groß und vielseitig sind die Aufgaben, die der Elektrotechnik bei der Vervollkommnung und Automatisierung aller Produktionsabläufe und der Steigerung der Arbeitsproduktivität zufallen. Voraussetzung hierbei ist, daß jeder werdende Ingenieur die Grundlagen der Elektrotechnik voll beherrscht, auf denen sich dann die einzelnen Spezialgebiete aufbauen. Um dies zu erreichen, bedarf es fleißiger Übung. Aus Raumgründen können aber meist in einem Lehrbuch nicht genügend Beispiele und Übungsaufgaben aufgenommen werden. Die vorliegende Sammlung, die in systematischer Anordnung reichlichen Übungsstoff enthält, soll diese Lücke ausfüllen helfen. Ihrem Bestimmungszweck als Hilfsmittel für Unterricht und Selbststudium entsprechen auch Gliederung und Reihenfolge der Aufgaben. Sie sind grundsätzlich so gestellt, daß sie der Lernende selbständig und ohne zusätzliche Erläuterungen lösen kann.

Eine eingehendere theoretische Begründung der jeweils vorangestellten Formeln und Gesetze wurde beiseite gelassen, da dies Angelegenheit der Lehrbücher ist. Die beigefügten kurzen Hinweise und Anleitungen sollen lediglich helfen, deren Bedeutung und Handhabung ins Gedächtnis zurückzurufen.

Die den Aufgaben beigegebenen Lösungen sind durchweg als Größengleichungen formuliert. In vielen Fällen wurden auch noch die Zahlenwerte eingesetzt, damit der Studierende die Möglichkeit hat, nicht nur die Richtigkeit seiner Ergebnisse nachzuprüfen, sondern auch festzustellen, an welcher Stelle er sich verrechnet haben könnte. Die numerischen Werte wurden mit einem 8stößigen elektronischen Rechner ermittelt. Sofern Zwischenergebnisse angegeben sind, wurde mit diesen meist gerundeten Werten weitergerechnet. Die angegebenen Lösungen stellen in vielen Fällen nur einen Weg dar, den man gehen kann. Ebensooft führen aber gedanklich andere Wege zum gleichen Ergebnis.

Allen Aufgaben und Lösungen wurden die heute allgemein eingeführten Einheiten des Internationalen Einheitenystems (SI) zugrunde gelegt. Damit erscheinen z. B. die elektrische Feldstärke in V/m, die magnetische Feldstärke in A/m, die Induktion in T (anstelle des veralteten G) usw. Anstelle des Kilopond und der Kalorie, die keine gesetzlichen Einheiten mehr sind, wurden ausschließlich das Newton und das Joule verwendet.

Ebenso wurden nunmehr auch die in den letzten Standards enthaltenen neuen Definitionen grundlegender Begriffe, wie z. B. die der Quellenspannung und die Fassung des Induktionsgesetzes, konsequent angewendet. Als Formelzeichen für jede Art elektrischer Spannung erscheint nur noch der Buchstabe  $U$  bzw.  $u$ .

Entsprechend der fortschreitenden technischen Entwicklung wurden, wie auch in den bisherigen Auflagen, zahlreiche Aufgaben mit veralteter Thematik durch zeitgemäße Aufgaben ersetzt. So erscheint z. B. im Abschnitt 2.9. eine größere Anzahl Aufgaben über nicht-lineare Widerstände.

Ebenso erfuhr auch der zweite Band dieser Sammlung eine weitgehende Verbesserung und inhaltliche Bereicherung. Vielerseits äußerten Wünschen und auch den Forderungen der Lehrpläne der Ingenieurschulen entgegenkommend, enthält er jetzt auch mehrere Abschnitte zur Inversion komplexer Größen und über Ortskurven.

Der dritte Band schließlich behandelt Aufgaben zur Leitungstheorie, Vierpoltheorie, Fourier-Analyse und Laplace-Transformation. Damit soll dem Studierenden geholfen werden, auf dem vom Leichten zum Schweren fortschreitenden Weg selbständig auch in diese schwierigeren Sondergebiete der Elektrotechnik einzudringen.

Verfasser und Verlag

# Inhaltsverzeichnis

	Aufgaben	Nr.		Aufgaben	Nr.
<b>1. Der unverzweigte Stromkreis</b>			<b>5. Grundgrößen des magnetischen Feldes</b>		
1.1. Berechnung von Widerständen . . . . .	1... 25		5.1. Das magnetische Feld in eisenlosen Spulen	464...480	
1.2. Widerstand und Temperatur . . . . .	26... 45		5.2. Das magnetische Feld im Innern und in der Umgebung von Leitungen . . . . .	481...491	
1.3. Strom, Spannung und Widerstand . . . . .	46... 69		5.3. Die Magnetisierungskurve . . . . .	492...498	
1.4. Der Grundstromkreis			5.4. Induktion, magnetischer Fluß und Streuung	499...512	
1.4.1. Ein äußerer Widerstand an der Spannungsquelle . . . . .	70... 99		5.5. Magnetischer Widerstand und das Ohmsche Gesetz des Magnetismus . . . . .	513...527	
1.4.2. Mehrere äußere Widerstände an der Spannungsquelle . . . . .	100...106				
1.5. Vorschaltwiderstand und Spannungsteilung	107...119				
1.6. Spannungsverlust und Leitungsquerschnitt	120...129				
1.7. Reihenschaltung von Spannungsquellen			<b>6. Berechnung magnetischer Kreise</b>		
1.7.1. Spannungsquellen mit gleicher Quellenspannung . . . . .	130...136		6.1. Unverzweigte magnetische Kreise		
1.7.2. Spannungsquellen mit ungleicher Quellenspannung . . . . .	137...140		6.1.1. Berechnung der Stromwindungszahl bei gegebener Induktion bzw. bei gegebenem Fluss . . . . .	528...558	
<b>2. Der verzweigte Stromkreis</b>			6.1.2. Berechnung der Induktion bzw. des magnetischen Flusses bei gegebener Stromwindungszahl . . . . .	559...570	
2.1. Zwei parallele Widerstände . . . . .	141...174		6.2. Verzweigte magnetische Kreise . . . . .	571...577	
2.2. Nebenwiderstände von Strommessern . . . . .	175...185		6.3. Berechnung von Spulen . . . . .	578...597	
2.3. Mehr als zwei parallele Widerstände . . . . .	186...197		6.4. Berechnung von Erregerwicklungen . . . . .	598...610	
2.4. Gemischte Schaltung von Widerständen . . . . .	198...219				
2.5. Umwandlung einer Dreieckschaltung in eine Sternschaltung und umgekehrt . . . . .	220...238		<b>7. Induktionsvorgänge</b>		
2.6. Ströme und Spannungen in verzweigten Stromkreisen . . . . .	239...257		7.1. Das Induktionsgesetz . . . . .	611...640	
2.7. Mehrfache Spannungs- und Stromteilung . . . . .	258...272		7.2. Induktivität bei konstanter Permeabilitätszahl		
2.8. Messung von Widerständen . . . . .	273...283		7.2.1. Induktivität eisenfreier Spulen . . . . .	641...656	
2.9. Nichtlineare Widerstände . . . . .	284...306		7.2.2. Induktivität bei Anwesenheit von Eisen . . . . .	657...675	
<b>3. Berechnung von Netzwerken</b>			7.3. Induktivität von Leitungen . . . . .	676...688	
3.1. Einzelne Netzmassen . . . . .	307...318		7.4. Gegeninduktivität und Kopplung von eisenlosen Spulen . . . . .	689...711	
3.2. Geschlossene Netze			7.5. Gegeninduktivität von Freileitungen . . . . .	712...720	
3.2.1. Berechnung nach dem Knotenpunkt- und Maschenatz . . . . .	319...329		7.6. Ein- und Ausschaltvorgänge mit Induktivitäten . . . . .	721...732	
3.2.2. Berechnung nach dem Helmholtzschen Überlagerungssatz . . . . .	330...336				
3.2.3. Berechnung nach dem Maschenstromverfahren . . . . .	337...343				
3.2.4. Berechnung nach dem Satz von der Ersatzspannungsquelle (Zweipoltheorie) . . . . .	344...357				
3.3. Spannungsquellen in Gegenreihenschaltung	358...375				
<b>4. Leistung und Arbeit des Gleichstroms</b>			<b>8. Kraftwirkungen und Energieverhältnisse des magnetischen Feldes</b>		
4.1. Die elektrische Leistung . . . . .	376...413		8.1. Kraftwirkung auf Stromleiter im Magnetfeld . . . . .	733...748	
4.2. Leistungsverlust auf Leitungen . . . . .	414...423		8.2. Die Energie des magnetischen Feldes . . . . .	749...762	
4.3. Die elektrische Arbeit . . . . .	424...484		8.3. Zugkraft von Magneten . . . . .	763...779	
4.4. Die Stromwärme . . . . .	435...498				
4.5. Die Leistung in Stromkreisen . . . . .	449...463				
			<b>9. Das elektrische Feld</b>		
			9.1. Die elektrische Feldstärke . . . . .	780...795	
			9.2. Verschiebungsdichte und Verschiebungsladung . . . . .	796...802	
			9.3. Zusammenschaltung von Kapazitäten . . . . .	803...825	
			9.4. Berechnung der Kapazität von Kondensatoren . . . . .	826...843	
			9.5. Die Kapazität von Kabeln und Leitungen . . . . .	844...856	
			9.6. Kapazitäten im geschichteten Dielektrikum	857...868	
			9.7. Ein- und Ausschaltvorgänge mit Kapazitäten . . . . .	809...878	
			9.8. Energie und Kräfte im elektrischen Feld . . . . .	879...900	
			Lösungen . . . . .	Seite 91	

## 1. Der unverzweigte Stromkreis

## 1.1. Berechnung von Widerständen

$$R = \frac{\varrho l}{A}$$

$$R = \frac{l}{\kappa A}$$

$$\kappa = \frac{1}{\varrho}$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

Größe	Zeichen	Einheit
Widerstand	$R$	$\Omega$
spezifischer Widerstand	$\rho$	$\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ oder $\Omega \text{ m}$
Leitfähigkeit	$z$	$\text{S}/\text{mm}^2$ oder $\text{S}/\text{m}$
Länge	$l$	$\text{m}$
Drahtquerschnitt	$A$	$\text{mm}^2$
Durchmesser	$d$	$\text{mm}$

Spezifischer Widerstand von Kupfer bei 20 °C      0,0178 Ω mm²/m  
 Spezifischer Widerstand von Aluminium bei 20 °C      0,029 Ω mm²/m

- 1.** Welchen Gleichstromwiderstand hat eine Telefonleitung aus Kupfer von 4,5 km Länge und 4 mm Durchmesser?

**2.** Auf einem Schiebewiderstand sind 300 m Konstantandraht ( $\rho = 0,5 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ) von 0,4 mm Durchmesser aufgewickelt. Wie groß ist der Widerstand der Wicklung?

**3.** Eine Spule besteht aus 500 Windungen Aluminiumdraht von 0,5 mm Durchmesser. Wie groß ist der Widerstand bei einer mittleren Windungslänge von 4 cm?

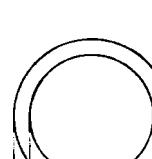
**4.** Zu einem Motor führt eine 200 m lange Doppelleitung aus Kupfer von  $1,5 \text{ mm}^2$  Querschnitt. Wie groß ist der Widerstand?

**5.** Ein Stellwiderstand hat 850 Windungen von 5 cm Durchmesser aus 0,3 mm dickem Nickelindraht ( $\rho = 0,43 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ). Wieviel beträgt der Widerstand?

**6.** Der Heizleiter eines elektrischen Kochers besteht aus 10 m Chromnickeldraht von 0,45 mm Durchmesser ( $\rho = 1,1 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ). Wie groß ist der Widerstand?

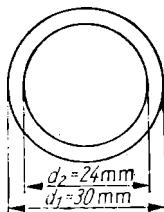
**7.** Welchen Widerstand hat ein aufgedampfter Dünnfilm von 10 nm Dicke, 0,15 mm Breite und 0,85 mm Länge in der Längsrichtung beim spezifischen Widerstand  $\varrho = 5 \cdot 10^{-6} \Omega \text{ m}$ ?

**8.** (Bild 1) Die Hülle eines Bleimantelkabels hat den gezeichneten Querschnitt. Welchen Widerstand haben 50 m der Bleiumhüllung ( $\rho = 0,21 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ )?



**Bild 1. Aufgabe 8**

**9.** Der Durchmesser eines Zinkbandmantelkabels ( $\alpha = 16 \text{ S m/mm}^2$ ) beträgt 1,5 cm. Welchen Widerstand haben 100 m der 0,3 mm dicken Umhüllung?



### Bild 1. Aufgabe 8

- 10.** Zwischen den beiden Platten eines Kondensators von  $0,1 \text{ m}^2$  Fläche befindet sich eine 4 mm dicke Glasplatte ( $\rho = 10^{10} \Omega \text{ m}$ ). Welchen Widerstand hat die Platte?
- 11.** Zwischen zwei Metallplatten liegt eine 0,1 mm dicke PVC-Folie ( $\rho = 10^7 \Omega \text{ m}$ ) von  $12 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ . Wie groß ist deren Widerstand?
- 12.** Berechne die Widerstände eines Quaders aus Piezolan ( $\rho = 10^{10} \Omega \text{ m}$ ) von den Abmessungen  $2 \text{ cm} \times 3 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$ , der in den 3 verschiedenen Lagen zwischen 2 Elektroden eingeklemmt wird.
- 13.** In einem Glastrog stehen in 3 cm Abstand 2 Kupferplatten von  $5 \text{ cm} \times 8 \text{ cm}$  in einer 10%igen Lösung von Kupfersulfat ( $\alpha = 3,2 \text{ S/m}$ ). Wie groß ist der Widerstand zwischen den Platten?
- 14.** Welchen Widerstand hat die Zelle eines Bleiakkumulators von der Plattengröße  $1 \text{ dm}^2$ ? Plattenabstand 8 mm. Die 20%ige Säure hat eine Leitfähigkeit von  $65,3 \text{ S/m}$ .
- 15.** Welche Drahlänge ist für einen Vorschaltwiderstand von  $500 \Omega$  aus 0,4 mm dickem Konstantandraht ( $\rho = 0,5 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ) erforderlich?
- 16.** Der Konstantandraht ( $\rho = 0,5 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ) eines Hitzdrahtamperemeters hat 0,06 mm Durchmesser. Welche Länge muß er haben, wenn sein Widerstand  $40 \Omega$  betragen soll?
- 17.** Der Gleichstromwiderstand einer Telefonleitung ( $\rho = 0,0178 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ) von 4 mm Durchmesser wird zu  $9,5 \Omega$  gemessen. Wie lang ist die Leitung?
- 18.** Wieviel Meter Kupferdraht enthält eine Spule, die bei  $1 \text{ mm}^2$  Drahtquerschnitt einen Widerstand von  $6 \Omega$  besitzt?
- 19.** Wieviel Chromnickeldraht von 0,6 mm Durchmesser muß der Heizkörper ( $\rho = 1,1 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ) eines Kochgerätes enthalten, wenn sein Widerstand  $48,5 \Omega$  betragen soll?
- 20.** Auf den wievelfachen Wert steigt der Widerstand eines 2 mm dicken Drahtes, wenn er unter Erhaltung der Gesamtmasse auf 1 mm Durchmesser ausgezogen wird?
- 21.** Welchen Durchmesser hat eine 1000 m lange Freileitung aus Kupfer, deren Widerstand  $1,804 \Omega$  beträgt?
- 22.** Eine kupferne Freileitung besteht aus 19 verdrillten Einzeldrähten und hat je Kilometer einen Widerstand von  $0,194 \Omega$ . Welchen Durchmesser hat ein Einzeldraht?
- 23.** Welchen spezifischen Widerstand hat das Material einer Freileitung, deren Widerstand je Kilometer  $0,198 \Omega$  beträgt und die aus 37 Einzeldrähten von je 2,25 mm Durchmesser zusammengedreht ist?
- 24.** Welchen spezifischen Widerstand in  $\Omega \text{ m}$  und welche Leitfähigkeit in  $\text{S/m}$  hat eine Flüssigkeit, die zwischen zwei im Abstand von 6 mm befindlichen Elektroden von  $6 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$  einen Widerstand von  $0,02 \Omega$  aufweist?
- 25.** Zwischen den beiden Adern einer in der Erde liegenden Fernsprechleitung von 0,6mm Durchmesser und 150 m Einfachlänge (Kupfer) ist Kurzschluß entstanden. Zur Bestimmung des Fehlerorts wird von der einen Seite der Doppelleitung her der Widerstand  $R_1 = 10,85 \Omega$  und von der anderen Seite her  $R_2 = 13,02 \Omega$  gemessen. In welcher Entfernung von der einen Seite befindet sich die Schadenstelle, und wie groß ist hier der Übergangswiderstand?

## 1.2. Widerstand und Temperatur

**Formeln:**

Innerhalb kleinerer Temperaturdifferenzen bis etwa  $200^\circ\text{C}$ :

$$R_\theta = R_0 (1 + \alpha \Delta \theta)$$

Für größere Temperaturdifferenzen:

$$R_\theta = R_0 (1 + \alpha \Delta \theta + \beta \Delta \theta^2)$$

Größe	Zeichen	Einheit
Widerstand bei der Anfangstemperatur bzw. bei der Endtemperatur	$R_0$	$\Omega$
Temperaturkoeffizient	$\alpha$	$1/\text{K}$
Temperaturkoeffizient	$\beta$	$(1/\text{K})^2$
Temperaturdifferenz	$\Delta \theta$	K

### Hinweis:

Der Widerstand der meisten metallischen Leiter nimmt mit steigender Temperatur zu. Die angegebenen Formeln gelten nur näherungsweise.

- 26.** Die Feldwicklung eines Elektromotors hat bei 20 °C einen Widerstand von 500 Ω ( $\alpha = 0,0038 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ ). Welchen Widerstand hat sie im Betrieb bei 62 °C?
- 27.** Berechne den Widerstand einer Glühlampe mit einem Wolframdraht von 0,024 mm Durchmesser und 30 cm Länge ( $\rho = 0,055 \text{ } \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ) bei Zimmertemperatur (20 °C) und im glühenden Zustand bei 2300 °C.  $\alpha = 0,0041 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ ;  $\beta = 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{K}^2$ .
- 28.** Bei welcher Temperatur verdoppelt sich der Widerstand eines Kupferdrahtes ( $\alpha = 0,0038 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ )? (Vergleichstemperatur 20 °C)
- 29.** Ein Vorschaltwiderstand aus Nickeldraht hat bei 20 °C den Anfangswert 350 Ω. Bei welcher Temperatur erreicht er den Endwert 450 Ω? ( $\alpha = 0,004 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ )?
- 30.** Welche Temperatur hat ein Heizkörper, wenn er bei 20 °C einen Strom von 2,9 A und im Betrieb 0,5 A aufnimmt? Betriebsspannung 220 V ( $\alpha = 0,004 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ )
- 31.** Um wieviel Prozent nimmt der Widerstand eines von 20 °C auf 80 °C erwärmten Leiters aus Kupfer zu ( $\alpha = 0,0038 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ )?
- 32.** Auf wieviel Prozent vom ursprünglichen Wert sinkt die Stromstärke in der Wicklung eines Motors, wenn die Temperatur von 20 °C auf 65 °C zunimmt?
- 33.** Der Widerstand einer Telegrafenleitung ( $\alpha = 0,0038 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ ) ist bei 8 °C 1,5 Ω. Bei welcher Temperatur beträgt dieser 1,55 Ω?
- 34.** Welchen Widerstand hat der Kohlefaden ( $\rho = 39,6 \text{ } \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ) einer Glühlampe bei 20 °C und bei Weißglut (1600 °C), wenn der Faden 18 cm lang und 0,6 mm dick ist ( $\alpha = -0,0004 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ )?
- 35.** Welchen Widerstand hat eine Wolframlampe bei 20 °C ( $\alpha = 0,0041 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ ), wenn sie im Betrieb (Fadentemperatur 2500 °C) bei 220 V einen Strom von 0,34 A aufnimmt ( $\beta = 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{K}^2$ )?
- 36.** Zur Feststellung des Temperaturkoeffizienten wird ein Draht in einem Ölbad um 80 K erwärmt. Dabei nimmt sein Widerstand um 5 % zu. Welchen Wert hat der Temperaturkoeffizient?
- 37.** a) Zur Feststellung der Schadenstelle einer in der Erde liegenden Doppelleitung (Kupfer, 0,6 mm Durchmesser) wurden bei der Temperatur des Erdreiches 5 °C von beiden Seiten her die Widerstände  $R_1 = 8,55 \text{ } \Omega$  und  $R_2 = 14,24 \text{ } \Omega$  gemessen. Bei 5 °C beträgt der Gesamtwiderstand 17,79 Ω. Wie groß ist der Übergangswiderstand des Kurzschlusses?  
b) In welcher Entfernung befindet sich der Schaden?
- 38.** Auf wieviel Grad Celsius steigt die Temperatur eines Silberdrahtes ( $\alpha = 0,038 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ ) von anfänglich 120 °C, wenn sein Widerstand um 20 % zunimmt?
- 39.** Um wieviel Prozent nimmt der Widerstand eines Bleidrahtes ( $\alpha = 0,004 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ ) bei Erwärmung von 80 °C auf 125 °C zu?
- 40.** Der Widerstand der Kupferwicklung ( $\alpha = 0,0038 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ ) eines Elektromotors beträgt bei 10 °C im Stillstand 850 Ω. Wie groß ist der Widerstand, wenn sich der Motor im Betrieb auf 62 °C erwärmt?
- 41.** Welche Über temperatur herrscht im Anker eines Motors ( $\alpha = 0,0038 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ ), wenn bei 20 °C ein Widerstand von 12 Ω und im erwärmten Zustand von 15 Ω gemessen wurden?
- 42.** Der Gleichstromwiderstand einer Netzdrossel ( $\alpha = 0,0038 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ ) beträgt bei 15 °C 85 Ω. Nach längerem Betrieb wurden 105 Ω gemessen. Welche Temperatur hatte die Drossel angenommen?
- 43.** Bei 18 °C wurde der Gleichstromwiderstand einer Transformatorwicklung ( $\alpha = 0,0038 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ ) zu 153 Ω festgestellt. Nach langerer Betriebsdauer stieg der Widerstand um 34 %. Welches war die Betriebstemperatur?
- 44.** An der Feldwicklung ( $\alpha = 0,0038 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ ) eines Lautsprechermagneten liegt eine Spannung von 200 V, während bei 18 °C ein Strom von 50 mA fließt. Im Betrieb sinkt der Erregerstrom auf 45 mA ab. Welche Betriebstemperatur errechnet sich hieraus?

- 45.** a) Je eine Metall- und Kohlefadenlampe gleicher Betriebsstromstärke sind parallel geschaltet. Welche von beiden Lampen leuchtet beim Anlegen der Spannung zuerst auf?

- b) Welche Erscheinung muß auftreten, wenn beide Lampen in Reihe geschaltet sind?

### 1.3. Strom, Spannung und Widerstand

**Formeln:**

$$I = \frac{U}{R}$$

$$R = \frac{U}{I}$$

$$U = IR$$

**Hinweis:**

In den folgenden Aufgaben werden die Widerstände  $R$  als konstant angenommen (lineare Widerstände). Daher sind in den angeführten Gleichungen Spannung und Strom einander proportional (Ohmsches Gesetz).

**46.** Welcher Strom fließt durch ein elektrisches Bügeleisen von  $80 \Omega$  bei einer Spannung von  $220 \text{ V}$ ?

**47.** Ein Stellwiderstand von  $500 \Omega$  liegt an einer Spannung von  $4,5 \text{ V}$ . Welches ist die kleinstmögliche Stromstärke?

**48.** Welcher Strom fließt durch den Arbeitswiderstand von  $50 \text{ M}\Omega$  eines Verstärkers, wenn die Spannung  $3 \text{ V}$  abgegriffen wird?

**49.** Welcher Strom fließt durch eine Spule mit  $300 \text{ m}$  Kupferdraht von  $0,5 \text{ mm}$  Durchmesser bei einer angelegten Spannung von  $6 \text{ V}$ ?

**50.** Welcher Strom fließt durch einen Widerstand von  $10 \text{ k}\Omega$  bei einer Spannung von  $400 \text{ V}$ ?

**51.** Welchen Widerstand hat eine Glühlampe, durch die bei  $220 \text{ V}$  ein Strom von  $0,454 \text{ A}$  fließt?

**52.** Welchen Widerstand müssen die an  $220 \text{ V}$  angeschlossenen Geräte eines Haushalts mindestens haben, wenn die Anlage durch eine  $6\text{-A-Sicherung}$  geschützt ist?

**53.** An einem Widerstand liegen  $150 \text{ V}$ . Wie groß ist dieser, wenn ein Strom von  $2,5 \text{ mA}$  fließt?

**54.** Wie groß ist der Widerstand eines Heißwasserbereiters, wenn bei einer Spannung von  $220 \text{ V}$  ein Strom von  $12 \text{ A}$  fließt?

**55.** Durch einen Fernhörer fließt bei  $90 \text{ V}$  ein Strom von  $0,045 \text{ A}$ . Wie groß ist der Widerstand?

Größe	Zeichen	Einheit
Strom	$I$	$\text{A}$
Spannung	$U$	$\text{V}$
Widerstand	$R$	$\Omega$

**56.** Welche Spannung liegt an den Enden einer  $75 \text{ cm}$  langen Quecksilbersäule von  $2 \text{ mm}^2$  Querschnitt ( $\rho = 0,96 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ), durch die ein Strom von  $1,8 \text{ A}$  fließt?

**57.** Der Endausschlag eines Spannungsmessers soll  $300 \text{ V}$  bei einem Strom von  $0,1 \text{ A}$  anzeigen. Wie groß muß sein Widerstand sein?

**58.** Ein unter Umständen schon lebensgefährlicher Strom von  $40 \text{ mA}$  fließt durch den menschlichen Körper und überwindet dabei einen Widerstand von  $1000 \Omega$ . Welche Spannung reicht hierzu aus?

**59.** Ein Strommesser hat einen Widerstand von  $0,03 \Omega$  und zeigt im Endausschlag  $6 \text{ A}$  an. Wie groß ist die Klemmenspannung des Instruments?

**60.** Wieviel Meter Kupferdraht von  $0,1 \text{ mm}$  Durchmesser befinden sich auf einer Spule, durch die bei einer angelegten Spannung von  $10 \text{ V}$  ein Strom von  $0,06 \text{ A}$  fließt?

**61.** Ein aus Eisendraht ( $\rho = 0,13 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ) von  $1,2 \text{ mm}$  Durchmesser gewickelter Vorschaltwiderstand soll bei einem Strom von  $3,5 \text{ A}$  eine gegebene Spannung von  $110 \text{ V}$  auf  $40 \text{ V}$  herabsetzen. Wieviel Windungen muß der zylindrische Wickelkörper von  $6 \text{ cm}$  Durchmesser tragen?

**62.** Erhöht man die an einem Verbraucher liegende Spannung um  $20 \text{ V}$ , so nimmt die Stromstärke um  $8\%$  zu. Wie groß ist die ursprüngliche Spannung?

**63.** Welchen Spannungsabfall verursacht ein Widerstand von  $50 \text{ k}\Omega$  bei einem Strom von  $1,5 \text{ mA}$ ?

**64.** Wenn man einen Widerstand um  $289 \Omega$  vergrößert, sinkt bei konstant bleibender Spannung von  $220 \text{ V}$  die Stromstärke um  $2 \text{ A}$ . Wie groß ist der Widerstand?

**65.** Der Heizdraht einer Radioröhre hat einen Widerstand von  $1100 \Omega$  und wird von  $50 \text{ mA}$  durchflossen. Welchen Betrag hat die Heizspannung?

**66.** Um einen Wolframdraht von  $0,1 \text{ mm}$  Durchmesser auf  $3000^\circ\text{C}$  zu erhitzen, ist ein

Strom von  $2,072 \text{ A}$  notwendig. Die erforderliche Heizspannung ist  $2,43 \text{ V}$  je cm Drahtlänge. Welchen Widerstand haben  $3 \text{ cm}$  des Drahtes?

**67.** Ein Drehspulinstrument zeigt bei vollem Zeigerausschlag  $60 \text{ mV}$  an und hat einen inneren Widerstand von  $20 \Omega$ . Welcher Stromstärke entspricht dies?

**68.** An der Fehlerstelle eines Elektroherdes besteht ein Übergangswiderstand von  $15 \Omega$ , der Erdübergangswiderstand beträgt  $30 \Omega$ . Welcher Fehlerstrom fließt bei  $220 \text{ V}$ ?

**69.** Welche Spannung besteht zwischen zwei  $40 \text{ cm}$  voneinander entfernten Punkten einer Kupferleitung von  $1 \text{ mm}$  Durchmesser, durch die ein Strom von  $6 \text{ A}$  fließt?

## 1.4. Der Grundstromkreis

### 1.4.1. Ein äußerer Widerstand an der Spannungsquelle

*Formeln:*

$$U_q = U_i + U_a \quad \Sigma U = 0$$

$$U_q = I (R_i + R_a)$$

$$R_g = R_i + R_a \quad R_g = \sum R$$

$$I = \frac{U_q}{R_i + R_a} \quad U_k = U_q - U_i$$

$$I_k = \frac{U_q}{R_i} \quad \text{für } R_a = 0$$

$$U_1 = U_q \quad \text{für } R_a = \infty$$

Größe	Zeichen	Einheit
Quellenspannung	$U_q$	V
innerer bzw. äußerer Spannungsabfall	$U_i$	V
innerer bzw. äußerer Widerstand	$R_i$	$\Omega$
Gesamtwiderstand	$R_g$	$\Omega$
Klemmenspannung	$U_k$	V
Leerlaufspannung	$U_1$	V
Kurzschlußstrom	$I_k$	A

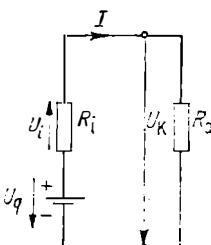


Bild 2. Aufgaben 70  
bis 79

*Hinweise:*

Im Schaltzeichen für die Quellenspannung bedeutet der lange Strich stets den Pluspol und der kurze den Minuspol, auch wenn dies nicht ausdrücklich vermerkt ist. In vielen Fällen ist der innere Widerstand einer Spannungsquelle nicht direkt messbar, wird aber in der Schaltskizze gesondert eingetragen. In den Aufgaben wird er der Einfachheit halber als konstant angenommen.

**70.** Gegeben:  $U_q = 4 \text{ V}$ ;  $R_1 = 10 \Omega$ ;  $R_a = 60 \Omega$   
Gesucht:  $I$ ,  $U_1$ ,  $R_g$ ,  $U_k$

**71.** Gegeben:  $U_q = 4 \text{ V}$ ;  $U_k = 3,5 \text{ V}$ ;  $I = 0,5 \text{ A}$   
Gesucht:  $U_1$ ,  $R_1$ ,  $R_a$ ,  $R_g$

**72.** Gegeben  $R_1 = 6 \Omega$ ;  $R_a = 50 \Omega$ ;  $U_k = 4,5 \text{ V}$   
Gesucht:  $U_q$ ,  $I$ ,  $U_1$ ,  $R_g$

**73.** Gegeben:  $I = 3 \text{ mA}$ ;  $R_a = 50 \text{ k}\Omega$ ;  $U_1 = 2 \text{ V}$   
Gesucht:  $U_k$ ,  $U_q$ ,  $R_1$ ,  $R_g$

**74.** Gegeben:  $U_q = 24 \text{ V}$ ;  $R_a = 10 \Omega$ ;  $I = 1,5 \text{ A}$   
Gesucht:  $R_1$ ,  $U_1$ ,  $U_k$ ,  $R_g$

**75.** Weshalb kann in Aufgabe 74 der äußere Widerstand beispielsweise nicht  $40 \Omega$  betragen, wenn die übrigen Werte unverändert bleiben sollen?

**76.** Gegeben:  $U_q = 30 \text{ V}$ ;  $U_k = 28 \text{ V}$ ;  $R_a = 15 \Omega$   
Gesucht:  $I$ ,  $R_1$ ,  $R_g$ ,  $U_1$

**77.** Gegeben:  $U_q = 1,5 \text{ V}$ ;  $R_1 = 6 \Omega$ ;  $U_1 = 0,2 \text{ V}$   
Gesucht:  $I$ ,  $R_a$ ,  $R_g$ ,  $U_k$

**78.** Gegeben:  $U_1 = 2,2 \text{ V}$ ;  $U_k = 13,8 \text{ V}$ ;  
 $I = 2,5 \text{ A}$   
Gesucht:  $U_q$ ,  $R_g$ ,  $R_1$ ,  $R_a$

**79.** Gegeben:  $U_q = 12 \text{ V}$ ;  $U_1 = 1 \text{ V}$ ;  $I = 0,5 \text{ A}$   
Gesucht:  $U_k$ ,  $R_1$ ,  $R_a$ ,  $R_g$

**80.** Durch ein Galvanometer von  $0,05 \Omega$  Widerstand mit vorgeschaltetem Widerstand von  $2 \Omega$  fließt ein Strom von  $0,47 \text{ A}$  aus einem Element, dessen Quellenspannung  $1,1 \text{ V}$  beträgt. Wie groß sind der innere Widerstand des Elementes und die Klemmenspannung?

**81.** Die Quellenspannung eines Bleiakkumulators ist  $1,86 \text{ V}$ , sein innerer Widerstand  $R_1 = 0,005 \Omega$ . 12 Zellen werden in Reihe geschaltet und erzeugen im Verbraucher einen Strom von  $6,55 \text{ A}$ . Wie groß sind die Klemmenspannung und der Widerstand des Verbrauchers?

**82.** Ein verstellbarer Vorschaltwiderstand  $R_v$  soll bei gegebenem innerem Widerstand  $R_1$  der Spannungsquelle und äußerem Widerstand  $R_a$  so bemessen sein, daß sich der Strom bei fester Spannung  $U$  im Verhältnis  $1:6$  verändert läßt. Wie groß muß  $R_v$  sein?

**83.** 3 in Reihe geschaltete Salmiakelemente, deren Quellenspannung je  $1,5 \text{ V}$  und deren innerer Widerstand je  $0,4 \Omega$  beträgt, betreiben einen Wecker von  $12 \Omega$ . Wie groß sind Strom, Klemmenspannung und Gesamtwiderstand?

**84.** Eine Signalanlage von  $25 \Omega$  Widerstand wird von 3 in Reihe geschalteten Elementen von je  $1 \text{ V}$  Quellenspannung und je  $4 \Omega$  innerem Widerstand gespeist. Wie groß sind Klemmenspannung, Strom und Gesamtwiderstand?

**85.** Welchen inneren Widerstand hat eine Trockenbatterie, deren Quellenspannung  $4,5 \text{ V}$  beträgt und aus der über einen Widerstand von  $12 \Omega$  ein Strom von  $350 \text{ mA}$  entnommen wird?

**86.** Die Batterie eines Kofferempfängers hat die Quellenspannung  $16 \text{ V}$ . Wenn ein Strom von  $12 \text{ mA}$  entnommen wird, beträgt die Klemmenspannung  $15,8 \text{ V}$ . Welchen inneren Widerstand haben die Batterie und das Gerät?

**87.** Die Quellenspannung einer Gleichstrommaschine beträgt  $225 \text{ V}$ . Bei Anschluß von 50 parallelgeschalteten  $220 \text{ V}/60\text{-W}$ -Lampen wird eine Klemmenspannung von  $218 \text{ V}$  gemessen. Wie groß sind der innere Widerstand der Maschine, der entnommene Strom und der Gesamtwiderstand der Lampen?

**88.** Der innere Widerstand eines Gleichstromgenerators beträgt  $3,5 \Omega$  und seine Quellenspannung  $125 \text{ V}$ . Der Gesamtwiderstand des äußeren Stromkreises beträgt  $65 \Omega$ . Wie groß sind Stromstärke und Klemmenspannung?

**89.** Ein galvanisches Element liefert bei einem äußerem Widerstand von  $R_1 = 5 \Omega$  einen Strom von  $I_1 = 257 \text{ mA}$ , dagegen nur  $I_2 = 150 \text{ mA}$  bei einem Widerstand von  $R_2 = 10 \Omega$ . Welchen inneren Widerstand und welche Quellenspannung hat das Element?

**90.** Welchen inneren Widerstand hat eine Gleichstrommaschine, deren Quellenspannung  $60 \text{ V}$  beträgt und deren Klemmenspannung an einem äußeren Widerstand von  $85 \Omega$  zu  $59,5 \text{ V}$  bestimmt wurde?

**91.** Beim Anschluß eines  $4,5 \text{ V}/2\text{-W}$ -Lämpchens beträgt die Klemmenspannung einer Taschenlampenbatterie  $4,3 \text{ V}$ . Welchen inneren Widerstand hat die Batterie bei einer Quellenspannung von  $4,5 \text{ V}$ ?

**92.** Eine Taschenlampenbatterie (Quellenspannung  $4,5 \text{ V}$ ) liefert bei Kurzschluß einen Strom von  $5 \text{ A}$ . Wie groß ist der innere Widerstand?

**93.** Wie groß sind Betriebsstrom und innerer Widerstand der Batterie eines Kofferemp-

fängers von  $130 \Omega$ , wenn deren Quellenspannung 7 V bzw. Klemmenspannung 6,5 V betragen?

**94.** Welchen Strom würde ein Bleiakkumulator mit der Quellenspannung 4 V und einem inneren Widerstand von  $0,005 \Omega$  bei einem vollständigen Kurzschluß liefern?

**95.** Durch eine Spannungsquelle fließt bei der Klemmenspannung 16,5 V ein Strom von 2,5 A. Bei Kurzschluß fließen 25 A. Wie groß sind Quellenspannung und innerer Widerstand?

**96.** Der äußere Widerstand  $R_a$  verhält sich zum inneren Widerstand  $R_i$  einer Spannungs-

quelle wie  $n:1$ . In welchem Verhältnis steht der Strom  $I$  zum Kurzschlußstrom  $I_k$ ?

**97.** In welchem Verhältnis stehen unter den gleichen Bedingungen Klemmenspannung  $U_k$  und Leerlaufspannung  $U_1$  zueinander?

**98.** Stelle das Verhältnis  $\frac{I}{I_k}$  sowie  $\frac{U_k}{U_1}$  in Abhängigkeit von dem Verhältnis  $\frac{R_a}{R_i}$  grafisch dar.

**99. a)** Von welchem Wert  $\frac{R_a}{R_i}$  an etwa ändert sich  $U_k$  nur noch unwesentlich?

**b)** Bei welchem Verhältnis  $R_a:R_i$  haben  $I$  und  $U_k$  gerade die Hälfte bzw. ein Drittel ihrer Höchstwerte?

#### 1.4.2. Mehrere äußere Widerstände an der Spannungsquelle

**100.** Gegeben:  $R_1 = 10 \Omega$ ;  $R_2 = 15 \Omega$ ;  $R_3 = 5 \Omega$ ;  $U_k = 6 \text{ V}$ ;  $R_4 = 0$   
Gesucht:  $R_g$ ,  $R_a$ ,  $I$ ,  $U_q$ ,  $U_1$ ,  $U_2$

**101.** Gegeben:  $U_q = 24 \text{ V}$ ;  $R_1 = 4 \Omega$ ;  $R_2 = 5 \Omega$ ;  $R_3 = 10 \Omega$ ;  $I = 0,5 \text{ A}$   
Gesucht:  $R_g$ ,  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ ,  $R_1$ ,  $U_1$

**102.** Gegeben:  $U_q = 24 \text{ V}$ ;  $R_1 = 10 \Omega$ ;  $R_2 = 15 \Omega$ ;  $R_3 = 20 \Omega$ ;  $U_k = 23,5 \text{ V}$   
Gesucht:  $I$ ,  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ ,  $R_1$ ,  $R_g$

**103.** Gegeben:  $U_q = 60 \text{ V}$ ;  $R_1 = 15 \Omega$ ;  $R_2 = 8 \Omega$ ;  $U_3 = 20 \text{ V}$ ;  $I = 1,1 \text{ A}$   
Gesucht:  $U_k$ ,  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $R_3$ ,  $R_1$ ,  $R_g$ ,  $U_1$

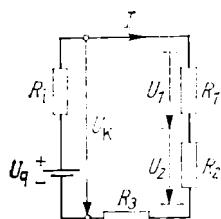


Bild 3. Aufgaben 100 bis 103

**104.** (Bild 4) Wie groß sind der innere Widerstand  $R_i$  und die Quellenspannung  $U_q$  der Spannungsquelle, wenn mit  $R_{a1} = 20 \Omega$  der Strom  $I_1 = 0,240 \text{ A}$  und mit  $R_{a2} = 50 \Omega$  der Strom  $I_2 = 0,109 \text{ A}$  gemessen wird? Der

durch den Strommesser im Meßbereich 0,3 A verursachte Spannungsabfall beträgt  $U_A = 0,6 \text{ V}$ .

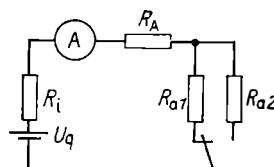


Bild 4. Aufgabe 104

**105.** Zwei Spannungsmesser haben den Meßbereich von je  $150 \text{ V}$ ; der Widerstand des einen beträgt  $2000 \Omega$ , der des anderen  $3000 \Omega$ . Welche Spannungswerte zeigen die Instrumente an, wenn sie in Reihe an  $220 \text{ V}$  gelegt werden, und welche Gesamtspannung kann höchstens gemessen werden?

**106.** Ein Gleichstromgenerator von  $1,8 \Omega$  innerem Widerstand speist 2 in Reihe geschaltete Heizgeräte von  $14 \Omega$  bzw.  $18 \Omega$ . Zum Anschluß dient eine Kupferleitung von  $17,5 \text{ m}$  Einfachlänge und  $1,5 \text{ mm}$  Durchmesser. An der Maschine wird eine Klemmenspannung von  $215 \text{ V}$  gemessen. Gesucht sind die Quellenspannung, die Stromstärke, der Spannungsverlust in der Leitung und die Spannung an den beiden Geräten.

## 1.5. Vorschaltwiderstand und Spannungsteilung

**Formeln:**

$$U_v = IR_v$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

$$U_1 = U \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{l_1}{l_2}$$

$$U_1 = \frac{Ul_1}{l}$$

**Spannungsteilerregel:**

Die Spannungsabfälle an zwei in Reihe geschalteten Widerständen stehen im gleichen Verhältnis zueinander wie die Beträge dieser Widerstände. Das gleiche gilt für die Teillängen eines in zwei Abschnitte geteilten Leitungsdrähtes.

**107.** Die 125-V-Lampe eines Projektionsapparates mit der Stromstärke  $I = 3,5$  A soll an die Spannung 220 V angeschlossen werden. Hierzu ist ein Vorschaltwiderstand aus Konstantandraht ( $\rho = 0,5 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ) zu wickeln. Wieviel Draht von 1 mm Durchmesser ist hierzu erforderlich?

**108.** (Bild 6) Ein Meßinstrument, dessen Zeiger bei 5 mA voll ausschlägt, wenn am System die Spannung  $U_1 = 12$  mV liegt, soll als Spannungsmesser für die Meßbereiche 15 mV, 150 mV, 1,5 V und 15 V verwendet werden. a) Wie groß ist der innere Widerstand des Instrumentes? b) Welche Vorschaltwiderstände sind herzurichten? c) Welches sind die jeweiligen Gesamtwiderstände?

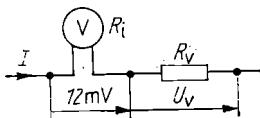


Bild 6. Aufgabe 108

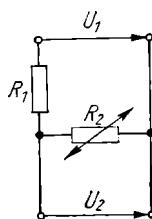


Bild 7. Aufgabe 115

**109.** Wenn man zu einem Spannungsmesser einen Vorschaltwiderstand von  $1940 \text{ k}\Omega$  schaltet, erhöht sich sein Meßbereich von 3 V auf 100 V. Wie groß ist sein innerer Widerstand?

Größe	Zeichen	Einheit
Spannungsabfall am Vorschaltwiderstand	$U_v$	V
Größe des Vorschaltwiderstandes	$R_v$	$\Omega$
Gesamtspannung	$U$	V
Teilspannungen	$U_1, U_2$	V
Gesamtlänge	$l$	m
Teillängen eines Spannungsteilers	$l_1, l_2$	m

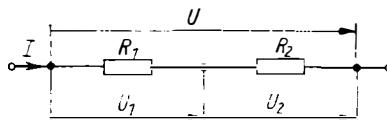


Bild 5. Widerstände in Reihenschaltung

**110.** Ein Lämpchen für 3,8 V und 0,02 A soll an eine Spannung von 6 V angeschlossen werden. Welchen Wert muß der Vorschaltwiderstand haben?

**111.** Eine Lampe von 30 W und 6 V soll an eine Spannung von 110 V angeschlossen werden. Welchen Wert muß der Vorschaltwiderstand haben?

**112.** Ein Drehspulinstrument hat den Meßbereich  $U_1 = 60 \text{ mV}$  und den inneren Widerstand  $R_i = 20 \Omega$ . Der Meßbereich soll auf a) 1,5 V, b) 3 V, c) 15 V, d) 75 V und e) 300 V erweitert werden. Welche Vorschaltwiderstände sind erforderlich?

**113.** Der Spannungsabfall an einer Bogenlampe beträgt 38 V. Sie soll an eine Spannung von 65 V angeschlossen werden. Wie groß muß der Vorschaltwiderstand bei einer Stromstärke von 6 A sein?

**114.** Ein Spannungsteiler von 24 cm bewickelter Länge liegt an einer Spannung von 220 V. An welchen Stellen müssen die Abgriffe für 20 V, 40 V und 150 V angebracht werden?

**115.** (Bild 7) Der an einem Widerstandsthermometer liegende Spannungsabfall soll zwischen den Werten  $U_2' = 42 \text{ mV}$  und  $U_2'' = 39 \text{ mV}$  schwanken, wenn sein Wider-

stand infolge von Temperaturänderungen zwischen  $R_2' = 120 \Omega$  und  $R_2'' = 110 \Omega$  pendelt.

Welche Werte müssen der Festwiderstand  $R_1$  und die Eingangsspannung  $U_1$  aufweisen?

**116.** 4 Widerstände von  $100 \Omega$ ,  $200 \Omega$ ,  $300 \Omega$  und  $400 \Omega$  sind in Reihe geschaltet an eine Spannung von  $125 \text{ V}$  angeschlossen. Welche 10 verschiedenen Spannungen kann man zwischen je 2 Verbindungsstellen abgreifen?

Zeichne die Spannungen in ein Schaltschema ein.

**117.** Ein Potentiometer hat 350 Windungen und liegt an einer Spannung von  $4 \text{ V}$ . Wie-

viel Windungen müssen jeweils abgegriffen werden, um die Spannung  $50 \text{ mV}$ ,  $80 \text{ mV}$ ,  $150 \text{ mV}$  sowie  $1,2 \text{ V}$  und  $3 \text{ V}$  abzuzweigen?

**118.** Ändert man das Teilungsverhältnis eines Spannungsteilers der Länge  $l$  von  $l_1 : l_2 = 2:3$  in  $4:5$  um, so sinkt die an  $l_2$  abgegriffene Spannung  $U_2$  um  $10 \text{ V}$ . Wie groß ist die Gesamtspannung  $U$ , und welchen Betrag hat die Spannung  $U_2$  vor und nach der Änderung?

**119.** Eine Heizwendel mit 500 Windungen liegt an einer Spannung von  $220 \text{ V}$ . Welche Spannung besteht zwischen 2 aufeinanderfolgenden Windungen?

## 1.6. Spannungsverlust und Leitungsquerschnitt

Formel:

$$U_v = \frac{2Il\varrho}{A}$$

gültig für eine Doppel- (Hin- und Rück-) Leitung

**120.** Welchen Querschnitt muß die  $35 \text{ m}$  lange Zuleitung ( $\varrho = 0,0178 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ) zu einem Elektroherd mindestens haben, wenn bei der Stromstärke  $12 \text{ A}$  und der Spannung  $220 \text{ V}$  ein Spannungsverlust von höchstens  $3\%$  auftreten darf?

**121.** In der  $5,75 \text{ km}$  langen kupfernen Speiseleitung einer Straßenbahn entsteht bei Belastung mit  $85 \text{ A}$  ein Spannungsverlust von  $84 \text{ V}$ .

Welchen Querschnitt und Durchmesser hat die Leitung?

**122.** Eine  $1000 \text{ m}$  lange Lichtleitung ist an die Spannung  $220 \text{ V}$  angeschlossen und führt zu einer Baustelle, an der ein Strom von  $15 \text{ A}$  aufgenommen wird. Drahtquerschnitt  $4 \text{ mm}^2$  (Kupfer). a) Welche Spannung steht am Verbrauchsort zur Verfügung? b) Auf welchen Betrag muß die Stromstärke reduziert wer-

Größe	Zeichen	Einheit
Spannungsverlust in der Leitung	$U_v$	V
einfache Länge der Leitung	$l$	m
Drahtquerschnitt	$A$	$\text{mm}^2$

den, damit der Verlust nur noch  $40 \text{ V}$  beträgt? c) Welchen Querschnitt müßte die Leitung haben, wenn bei  $15 \text{ A}$  höchstens  $40 \text{ V}$  verlorengehen sollen?

**123.** Mit welcher Höchststromstärke darf eine  $75 \text{ m}$  lange Kupferleitung von  $6 \text{ mm}^2$  Querschnitt belastet werden, wenn der Spannungsverlust  $2,5\%$  von  $125 \text{ V}$  nicht überschreiten soll?

**124.** Ein  $550 \text{ m}$  entferntes Gehöft wird an eine  $220\text{-V}$ -Leitung angeschlossen. Welcher Leitungsquerschnitt ist mindestens zu wählen, wenn bei einem Strom von  $12 \text{ A}$  der Spannungsverlust höchstens  $5\%$  betragen soll  
a) bei Kupferleitung ( $\varrho = 0,0178 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ),  
b) bei Aluminiumleitung ( $\varrho = 0,0286 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ )?

**125.** Für Rohrdrähte sind folgende Belastbarkeiten zugelassen:

a)	b)	c)	d)	e)
Nennquerschnitt in $\text{mm}^2$	2,5	4	6	10
Belastbarkeit in A				
(Kupfer $\varrho = 0,0178 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ )	21	27	35	48
(Aluminium $\varrho = 0,0286 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ )	16	21	27	38

Welche Spannungsverluste ergeben sich hieraus für Doppelleitungen von je 100 m Länge im Fall der Höchstbelastung?

**126.** Wie lang darf eine Cu-Doppelleitung von 4 mm<sup>2</sup> Querschnitt höchstens sein, wenn von der am Eingang liegenden Spannung 220 V nicht mehr als 10% verlorengehen sollen (bei Höchstbelastung nach Aufgabe 125)?

**127.** Um wieviel Prozent nimmt der Spannungsverlust in einer Leitung zu, wenn bei

gleichbleibender Stromstärke die Temperatur um 20 K steigt?

**128.** Aus welchem Material besteht eine 65 m lange und 3 mm dicke Doppelleitung, wenn bei der Eingangsspannung 120 V und 5 A Belastung 2,19 % der angelegten Spannung verlorengehen?

**129.** Um wieviel Prozent kann eine Leitung bei gleichem Spannungsverlust verlängert werden, wenn man die Strombelastung um 30% verringert?

## 1.7. Reihenschaltung von Spannungsquellen

### 1.7.1. Spannungsquellen mit gleicher Quellenspannung

*Formel:*

$$I = \frac{nU_q}{nR_1 + R_a}$$

**130.** Welchen Strom liefern 12 in Reihe geschaltete Monozellen von je  $U_q = 1,5$  V und  $R_1 = 1,8 \Omega$  über einen äußeren Widerstand von  $25 \Omega$ ? Wie groß ist die Klemmenspannung?

**131.** Zehn Elemente liegen in Reihenschaltung an einem äußeren Widerstand von  $25 \Omega$ . Verdoppelt man ihre Anzahl, so nimmt die Stromstärke um 48% zu. Wie groß ist der innere Widerstand eines Elementes?

**132.** Wieviel Elemente von je 1,5 V und  $0,9 \Omega$  sind in Reihe zu schalten, wenn sie bei einem äußeren Widerstand von  $18 \Omega$  den Strom 0,52 A liefern sollen?

**133.** Welcher Strom kann aus einer größeren Anzahl in Reihe geschalteter Elemente von je 1,1 V und  $0,6 \Omega$  höchstens entnommen werden?

Größe	Zeichen	Einheit
Anzahl der Elemente	$n$	1
Quellenspannung des Einzelementes	$U_q$	V

**134.** Welcher Strom kann aus einer Batterie von 100 Elementen zu je 1,5 V und  $2,5 \Omega$  im Höchstfall entnommen werden?

**135.** Welcher Strom fließt aus einer Reihenschaltung von 3, 6, 9 bis 30 Elementen von je 1,5 V und  $2,2 \Omega$  über einen äußeren Widerstand von  $30 \Omega$ ? Stelle die Stromstärke in Abhängigkeit von der Zahl der Elemente grafisch dar. Welches ist die höchstmögliche Stromstärke?

**136.** Zehn Elemente liegen in Reihenschaltung an einem äußeren Widerstand von  $40 \Omega$ . Verdoppelt man ihre Anzahl, so nimmt die Stromstärke um 0,2 A zu. Wie groß ist der innere Widerstand eines Elements, wenn die Quellenspannung 1,5 V beträgt?

### 1.7.2. Spannungsquellen mit ungleicher Quellenspannung

**137.** Die folgenden 3 galvanischen Elemente liegen in Reihe an dem äußeren Widerstand  $25 \Omega$ :  $U_{q1} = 1,5$  V ( $R_{11} = 0,3 \Omega$ ),  $U_{q2} = 1,8$  V ( $R_{12} = 0,25 \Omega$ ),  $U_{q3} = 2,3$  V ( $R_{13} = 0,6 \Omega$ ).

Berechne den Strom, die gesamte Klemmenspannung und diejenige der einzelnen Elemente.

- 138.** Die folgenden 5 galvanischen Elemente liegen in Reihe an dem äußeren Widerstand  $12 \Omega$ :  $U_{q1} = 2,8 \text{ V}$  ( $R_{11} = 0,08 \Omega$ );  $U_{q2} = 2,2 \text{ V}$  ( $R_{12} = 0,2 \Omega$ );  $U_{q3} = 1,8 \text{ V}$  ( $R_{13} = 0,3 \Omega$ );  $U_{q4} = 1,5 \text{ V}$  ( $R_{14} = 0,1 \Omega$ );  $U_{q5} = 1,2 \text{ V}$  ( $R_{15} = 0,05 \Omega$ ).

Wie groß sind Strom und Klemmenspannung?

- 139.** Berechne zu Aufgabe 138 Leerlaufspannung und Kurzschlußstrom.

- 140.** Vier Elemente, davon 2 mit  $U_{q1} = 1,5 \text{ V}$  ( $R_{11} = 0,8 \Omega$ ) und 2 mit  $U_{q2} = 1,8 \text{ V}$  ( $R_{12} = 0,4 \Omega$ ), sind in Reihe geschaltet und betreiben, einen kleinen Motor, der  $2,4 \text{ W}$  verbraucht. Welche Werte haben Klemmenspannung, Widerstand und Strom? (2 Lösungen!)

## 2. Der verzweigte Stromkreis

### 2.1. Zwei parallele Widerstände

Formeln:

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Stromteilerregel:

Die Ströme in zwei parallelgeschalteter Widerständen stehen im *umgekehrten* Verhältnis wie die Beträge dieser Widerstände.

Der Teilstrom durch einen dieser Widerstände verhält sich zum Gesamtstrom wie der *andere* Widerstand zur Summe beider Widerstände.

- 141.** Gegeben:  $R_1 = 5 \Omega$ ;  $R_2 = 8 \Omega$ ;  $U = 10 \text{ V}$   
Gesucht:  $R$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I$

- 142.** Gegeben:  $R_1 = 0,5 \text{ M}\Omega$ ;  $R_2 = 1,5 \text{ M}\Omega$ ;  
 $U = 120 \text{ V}$

Gesucht:  $R$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I$

- 143.** Gegeben:  $I = 5 \text{ A}$ ;  $R_1 = 15 \Omega$ ;  $R_2 = 45 \Omega$   
Gesucht:  $R$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $U$

- 144.** Gegeben:  $I = 10 \text{ mA}$ ;  $R_1 = 300 \Omega$ ;  
 $R_2 = 700 \Omega$   
Gesucht:  $R$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $U$

- 145.** Gegeben:  $I = 24,6 \text{ A}$ ;  $R_1 = 1,85 \Omega$ ;  
 $R_2 = 9,15 \Omega$   
Gesucht:  $R$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $U$

- 146.** Gegeben:  $R_1 : R_2 = 5 : 18$   
Gesucht:  $I_1 : I_2$

- 147.** Gegeben:  $I = 10 \text{ A}$ ;  $U = 50 \text{ V}$ ;  $R_1 = 8 \Omega$   
Gesucht:  $R_2$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $R$

Größe	Zeichen
Ersatzwiderstand	$R$
Zweigwiderstände	$R_1$ , $R_2$
Gesamtstrom	$I$
Zweigströme	$I_1$ , $I_2$

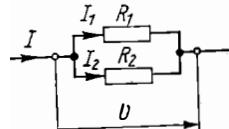


Bild 8. Schaltschema zu den Aufgaben 141 bis 151

- 148.** Gegeben:  $I_1 = 5 \text{ mA}$ ;  $U = 6,5 \text{ V}$ ;  
 $R_2 = 5 \text{ k}\Omega$

Gesucht:  $I$ ,  $I_2$ ,  $R_1$ ,  $R$

- 149.** Gegeben:  $I_1 = 0,5 \text{ A}$ ;  $I_2 = 0,09 \text{ A}$ ;  
 $U = 120 \text{ V}$

Gesucht:  $I$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R$

- 150.** Gegeben:  $I = 8 \text{ A}$ ;  $I_1 : I_2 = 3 : 10$ ;  
 $U = 16 \text{ V}$

Gesucht:  $R$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $I_1$ ,  $I_2$

- 151.** Gegeben:  $I = 5 \text{ mA}$ ;  $R_1 = 150 \Omega$ ;  
 $R = 80 \Omega$

Gesucht:  $U$ ,  $R_2$ ,  $I_1$ ,  $I_2$

- 152.** (Bild 9) Bei geöffnetem Schalter S zeigt der Spannungsmesser die Spannung  $U_1 = 58,8 \text{ V}$  und bei geschlossenem Schalter  $U_2 = 53,6 \text{ V}$  an. Wie groß sind die Quellenspannung und der innere Widerstand  $R_i$  der Spannungsquelle, wenn der Innenwiderstand des Instruments  $R_v = 100 \Omega$  und der Belastungswiderstand  $R_b = 20 \Omega$  beträgt?

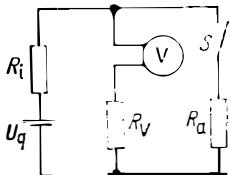


Bild 9. Aufgabe 152

**153.** Zwei Widerstände  $R_1$  und  $R_2 = R_1 + 32\Omega$  ergeben in Parallelschaltung  $12\Omega$ . Welche Werte haben  $R_1$  und  $R_2$ ?

**154.** Zu einem Widerstand von  $250\Omega$  liegt parallel ein zweiter, der vom 30fachen Strom durchflossen wird. Wie groß ist der zweite Widerstand?

**155.** Zu einem Widerstand von  $4,5\Omega$  liegt parallel ein zweiter, der von  $\frac{3}{5}$  des Gesamtstromes durchflossen wird. Wie groß ist dieser zweite Widerstand?

**156.** Zu einem Widerstand von  $15\Omega$  ist ein zweiter Widerstand parallelgeschaltet. Vergrößert man den Wert des ersten auf  $20\Omega$ , so sinkt der Strom  $I$  bei gleicher Klemmenspannung um 10%. Welchen Wert hat der zweite Widerstand?

**157.** Zu einem Widerstand von  $650\Omega$  soll parallel ein zweiter gelegt werden, so daß bei der angelegten Spannung von  $125V$  ein Gesamtstrom von  $0,2A$  fließt. Wie groß sind dieser Widerstand und die Teilströme?

**158.** (Bild 10) Der Widerstand  $R_1$  beträgt  $50\Omega$  und liegt an einer Spannung von  $100V$ . Der im Nebenschluß liegende Widerstand  $R_2$  ist von  $0\Omega$  bis  $100\Omega$  stetig veränderbar.

Stelle grafisch dar: a) den Verlauf des Gesamtwiderstandes in Abhängigkeit von  $R_2$ , b) den Verlauf des Gesamtstromes in Abhängigkeit von  $R_2$ .

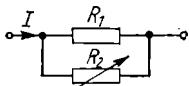


Bild 10. Aufgabe 158

**159.** Zwei gleich große Widerstände sind parallelgeschaltet. Um wieviel Prozent ändert sich der Gesamtwiderstand, wenn der eine von ihnen um a) 10%, b) 20% und c) 50% zunimmt? Stelle die prozentuale Zunahme des Gesamtwiderstandes in Abhängigkeit von der prozentualen Zunahme des Widerstandes  $R_2$  grafisch dar, desgl. die gleichlaufende prozentuale Abnahme des Gesamtstromes.

**160.** (Bild 11) Trotz Umstellen des Schalters soll der Gesamtwiderstand der Schaltung konstant bleiben. a) Welchen Wert muß der Widerstand  $R_3$  haben, wenn die beiden Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  bekannt sind? b) Welchen Wert muß der Widerstand  $R_2$  haben, wenn  $R_1$  und  $R_3$  bekannt sind? c) Welchen Wert muß der Widerstand  $R_1$  haben, wenn  $R_2$  und  $R_3$  bekannt sind?

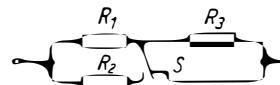


Bild 11.  
Aufgabe 160

**161.** Durch zwei parallelgeschaltete Widerstände, von denen der eine  $R_1 = 50k\Omega$  beträgt, fließt ein Gesamtstrom von  $30mA$ . Wird der Betrag des zweiten Widerstandes verdoppelt, so fließen nur noch  $20mA$ . Welchen Wert hat der zweite Widerstand  $R_2$ ?

**162.** 2 Widerstände, von denen der eine  $1\Omega$  beträgt, sollen in Reihenschaltung den 10fachen Widerstand ihrer Parallelschaltung ergeben. Wie groß muß der zweite Widerstand sein?

**163.** 2 Widerstände haben in Reihe einen Gesamtwiderstand von  $12\Omega$ , parallelgeschaltet einen Gesamtwiderstand von  $3\Omega$ . Wie groß sind beide Widerstände?

**164.** Ein Normalwiderstand hat nach seiner Herstellung statt des Sollwertes  $1,000\Omega$  den Wert  $1,004\Omega$ . Was für ein Widerstand muß zur Korrektur parallelgeschaltet werden?

**165.** Eine Bogenlampe mit  $35V$  Brennspannung soll aus dem  $110V$ -Netz mit  $20A$  gespeist werden. Zur Verfügung stehen Widerstände von je  $2,5\Omega$ , die mit maximal  $15A$  belastbar sind. Wie sind diese zu schalten?

**166.** Ein Blechstreifen von ursprünglich  $15cm$  Länge wird der Länge nach entzweigeschnitten. Die Enden werden übereinander geschoben und der Streifen zu einem Stück von kürzerer Länge zusammengeschweißt, wobei der Widerstand um ein Viertel abnimmt. Wie lang ist der Streifen jetzt?

**167.** Von einem  $6cm$  breiten Blechstreifen wird ein schmaler Streifen in Längsrichtung abgeschnitten. Beide Stücke, der Länge nach aneinander gesetzt, ergeben den 5fachen

Widerstand des ursprünglichen Stückes.  
Welche Streifenbreite wurde abgeschnitten?

168. Von einem Draht der Länge  $l$  wird ein Stück  $l'$  abgeschnitten und zum verbleibenden Teil parallelgeschaltet. Welche Länge hat das Stück  $l'$ , wenn der Widerstand der Schaltung nur noch  $\frac{1}{4}$  des Anfangswertes beträgt?

169. Von einem Draht der Länge  $l$  wird ein Stück von der Länge  $l/3$  abgeschnitten und zum verbleibenden Teil parallelgeschaltet. Welcher Widerstand ergibt sich daraus?

170. (Bild 12) Zwischen den gegenüberliegenden Punkten  $A$  und  $B$  des Kreisringes sei der Widerstand gleich  $R$ . Wie ändert sich der Widerstand, wenn der eine Abgriff von Punkt  $B$  nach  $C$  verlegt wird?

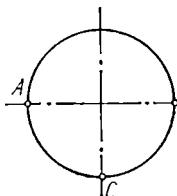


Bild 12. Aufgabe 170

171. Ein Draht vom Widerstand  $R$  wird zu einem Rechteck gebogen, die Enden werden verlötet. Zwischen zwei benachbarten Eckpunkten ist der Widerstand dann gleich  $R/10$ . In welchem Verhältnis  $x:y$  stehen die Rechteckseiten zueinander?

172. (Bild 13) Wenn der Widerstand  $R_2$  durch einen um  $\Delta R = 2 \Omega$  kleineren Widerstand

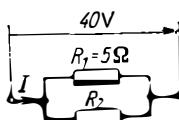


Bild 13. Aufgabe 712

ersetzt wird, steigt die Stromstärke  $I$  um  $\Delta I = 2,5 \text{ A}$ . Wie groß ist  $R_2$ ?

173. (Bild 14) Zwei feste Punkte  $A$  und  $B$  sind durch zwei Drähte von veränderlicher Länge  $l_1$  und  $l_2$  verbunden, wobei aber die Gesamtlänge  $l_1 + l_2 = l$  festliegt. Wie muß die Gesamtlänge  $l$  zwischen  $A$  und  $B$  verteilt werden, damit der Gesamtwiderstand a) möglichst klein und b) möglichst groß wird?

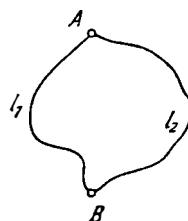


Bild 14. Aufgabe 173

174. Die Endpunkte  $A$  und  $B$  des Fahrdrahes einer Grubenbahn sind nach Bild 15 mit der Zentrale  $Z$  verbunden. Die Rückleitung über die Schiene, deren Widerstand vernachlässigt werden kann, ist nicht mit gezeichnet. a) Welche Spannungen stehen der Lokomotive bei  $A$  bzw.  $B$  zur Verfügung, wenn diese dauernd 80 A aufnimmt und die Zentrale dauernd 240 V erzeugt? b) In welcher Entfernung  $AC$  von  $A$  fährt die Lokomotive mit kleinster Spannung, und wie groß ist diese? (Querschnitt der Kupferleitung überall  $50 \text{ mm}^2$ ,  $\rho = 0,0178 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ )

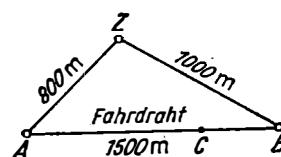


Bild 15.  
Aufgabe 174

## 2.2. Nebenwiderstände von Strommessern

**Formeln:**

$$R_N = \frac{I_I R_I}{I_N}$$

$$R_N = \frac{R_I}{n - 1}$$

Größe	Zeichen
Widerstand des Nebenschlusses bzw. des Instrumentes	$R_N$
Strom durch den Nebenschluß bzw. das Instrument	$I_N$
Vervielfachung des Meßbereiches	$n$

### Hinweis:

Nebenwiderstände von Strommessern, auch *Shunts* genannt, liegen an den Anschlußklemmen parallel zum Meßgerät, das selbst einen inneren Widerstand hat.

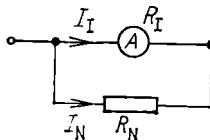


Bild 16.  
Schaltschema zu den  
Aufgaben 175 bis 185

**175.** Der Meßbereich  $I_I = 3 \text{ mA}$  eines Drehspulinstrumentes von  $R_I = 20 \Omega$  innerem Widerstand soll auf 7,5; 15; 30; 75; 150; 300 mA erweitert werden. Welche Nebenwiderstände sind anzuschließen?

**176.** Welche Meßbereiche  $I$  hat das eben genannte Instrument bei Anschluß folgender Shunts: 0,04008  $\Omega$ ; 0,618  $\Omega$ ; 1,277  $\Omega$ ; 0,004  $\Omega$ ; 0,0008  $\Omega$ ?

**177.** Der innere Widerstand eines Strommessers beträgt 10  $\Omega$ . Der Meßbereich soll auf den 5-, 10-, 50-, 100-, 500-, 1000fachen Wert erweitert werden. Welche Werte müssen die Nebenwiderstände haben?

**178.** Der Meßbereich eines Instrumentes beträgt 1,5 A bei einem inneren Widerstand von 0,004  $\Omega$ . An seine Anschlußklemmen wird als Nebenschluß ein Kupferdraht ( $\rho = 0,018 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ) von 10  $\text{mm}^2$  Querschnitt und 20 cm Länge gelegt. Wie groß wird dadurch der Meßbereich?

**179.** Ein Spiegelgalvanometer besitzt eine Empfindlichkeit von  $1,73 \cdot 10^{-9} \text{ A}$  (1 mm Ausschlag des Lichtzeigers bei 1 m Abstand) und einen Widerstand von 60  $\Omega$ .

Die Empfindlichkeit soll auf  $5 \cdot 10^{-9} \text{ A}$ ;  $1 \cdot 10^{-8} \text{ A}$ ;  $1 \cdot 10^{-7} \text{ A}$  herabgesetzt werden. Welche Nebenschlußwiderstände sind anzulegen?

**180.** Der Meßbereich von 10 mA eines 10- $\Omega$ -Instrumentes soll auf 6 A erweitert werden. Welcher Nebenwiderstand ist erforderlich?

**181.** Der Zeiger eines Drehspulinstrumentes, das einen Spannungsabfall von 150 mV erzeugt, gibt bei Vollausschlag 2 mA an. Welcher Nebenwiderstand ist für einen Meßbereich von 15 mA erforderlich?

**182.** Die Empfindlichkeit des in Aufg. 179 genannten Instrumentes soll in 4 Stufen auf 0,1; 0,01; 0,001; 0,0001 des ursprünglichen Wertes verringert werden. Welche Nebenschlußwiderstände sind nötig?

**183.** Welche Nebenschlußwiderstände sind nötig, um den Meßbereich eines 1- $\Omega$ -Instrumentes auf das 10-, 100- und 1000fache zu erweitern?

**184.** Welchen Gesamtwiderstand hat ein Strommesser, an dessen Meßwerk von 5,5  $\Omega$  ein Shunt von 0,05  $\Omega$  liegt?

**185.** Zwei in Reihe geschaltete Spannungsmesser von je 300 V Meßbereich und 6000  $\Omega$  bzw. 9000  $\Omega$  Widerstand sollen bei einer Gesamtspannung von 600 V voll ausschlagen. Wie kann das erreicht werden?

## 2.3. Mehr als zwei parallele Widerstände

Formeln:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

$$G = G_1 + G_2 + G_3 + \dots$$

$$I_g = \sum I$$

$$I = UG$$

Größe	Zeichen	Einheit
Leitwert	$G = \frac{1}{R}$	$S = \frac{A}{V}$
Ersatz-(Gesamt-)Widerstand	$R$	$\Omega$
Einzelwiderstände	$R_1, R_2, \dots$	$\Omega$

### Hinweis:

Der Ersatzwiderstand  $R$  kann auch durch Zusammenfassen von zunächst nur 2 Zweigwiderständen ermittelt werden. In einem weiteren Schritt wird deren Ersatzwiderstand mit dem 3. Zweigwiderstand zusammengefaßt usw.

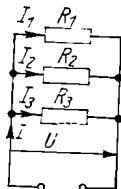


Bild 17. Aufgaben 186 bis 192

**186.** Gegeben:  $R_1 = 15 \Omega$ ;  $R_2 = 20 \Omega$ ;  $R_3 = 50 \Omega$ ;  $U = 50 \text{ V}$

Gesucht:  $G$ ,  $R$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$

**187.** Gegeben:  $R_1 = 4 \text{ k}\Omega$ ;  $R_2 = 6,5 \text{ k}\Omega$ ;  $R_3 = 2,5 \text{ k}\Omega$ ;  $U = 200 \text{ V}$

Gesucht:  $G$ ,  $R$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $I$

**188.** Gegeben:  $R_1 = 10 \Omega$ ;  $R_2 = 20 \Omega$ ;  $R_3 = 30 \Omega$ ;  $R_4 = 40 \Omega$ ;  $U = 65 \text{ V}$

Gesucht:  $I$ ,  $I_1 \dots I_4$ ,  $G$ ,  $R$

**189.** Gegeben:  $R_1 = 2,5 \text{ M}\Omega$ ;  $R_2 = 3,5 \text{ M}\Omega$ ;  $R_3 = 4,5 \text{ M}\Omega$ ;  $R_4 = 5,5 \text{ M}\Omega$ ;  $U = 380 \text{ V}$

Gesucht:  $G$ ,  $I$ ,  $I_1 \dots I_4$

**190.** Gegeben:  $I = 12 \text{ A}$ ;  $I_1 : I_2 : I_3 = 1 : 2 : 3$ ;  $U = 60 \text{ V}$

Gesucht:  $G$ ,  $R$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$

**191.** Gegeben:  $I_1 = 10 \text{ mA}$ ;  $I_2 = 110 \text{ mA}$ ;  $I_3 = 80 \text{ mA}$ ;  $U = 350 \text{ V}$

Gesucht:  $I$ ,  $R$ ,  $G$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$

**192.** Gegeben:  $R_1 = 48 \Omega$ ;  $R_2 = 64 \Omega$ ;  $I = 12 \text{ A}$ ;  $U = 80 \text{ V}$

Gesucht:  $R$ ,  $G$ ,  $G_3$ ,  $R_3$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$

**193.** (Bild 18) Wird der Widerstand  $R_3$  abgeschaltet, so sinkt der durch die Schaltung

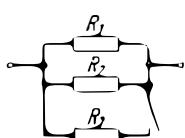


Bild 18. Aufgabe 193

## 2.4. Gemischte Schaltung von Widerständen

### Anleitung:

Die Schaltung wird vereinfacht, indem zunächst alle kleineren, in sich geschlossenen Gruppen von parallel liegenden Widerstän-

fliessende Strom  $I$  auf ein Drittel seines Betrages. Welchen Wert hat der Widerstand  $R_3$ , wenn  $R_1$  und  $R_2$  bekannt sind?

**194.** (Bild 19) Trotz Umstellens des Schalters  $S$  soll der Gesamtwiderstand konstant bleiben. Welchen Wert muß der Widerstand  $R_4$  haben, wenn die übrigen Widerstände  $R_1$ ,  $R_2$  und  $R_3$  bekannt sind?

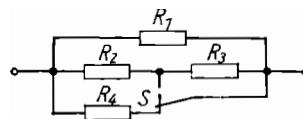


Bild 19.  
Aufgabe 194

**195.** Ein Widerstand beträgt  $75 \Omega$ . Welche 3 Widerstände müssen parallel dazu gelegt werden, wenn sich die Ströme in den 4 Einzelwiderständen wie  $1:2:3:4$  verhalten sollen?

**196.** (Bild 20) Durch schrittweises Zuschalten von 2 weiteren Widerständen zu dem Widerstand  $R_1 = 15 \Omega$  soll die Gesamtstromstärke bei konstant bleibender Spannung im Verhältnis  $1:5:25$  anwachsen. Wie groß müssen die Widerstände  $R_2$  und  $R_3$  sein?

**197.** (Bild 20) In welchem Verhältnis wächst die Gesamtstromstärke an, wenn die Spannung an  $R_1 = 15 \Omega$  angelegt und dann  $R_2 = 5 \Omega$  und schließlich noch  $R_3 = 2,5 \Omega$  zugeschaltet werden?

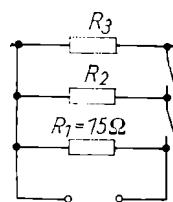


Bild 20.  
Aufgaben 196 und 197

den zu Ersatzwiderständen zusammengefaßt werden. Das Verfahren wird nötigenfalls so lange fortgesetzt, bis nur noch eine Reihenschaltung vorliegt.

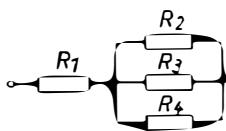


Bild 21. Aufgabe 198

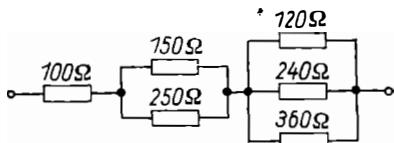


Bild 22. Aufgabe 199

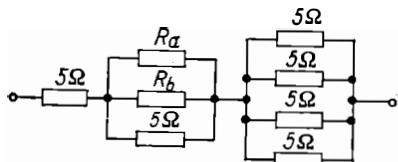


Bild 23. Aufgabe 200

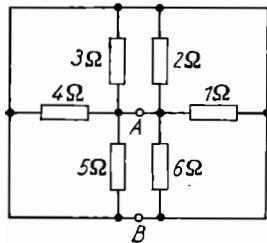


Bild 24.  
Aufgabe 201

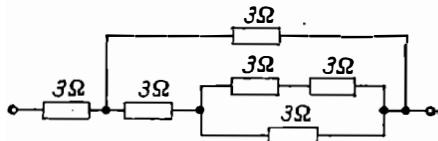


Bild 25. Aufgabe 202

Berechne den Ersatzwiderstand der in den Bildern 21 bis 34 gezeichneten Widerstands-kombinationen zwischen den jeweils angege-benen Anschlußklemmen:

**198.** (Bild 21)  $R_1 = 1 \Omega$ ;  $R_2 = 2 \Omega$ ;  
 $R_3 = 3 \Omega$ ;  $R_4 = 4 \Omega$

**199.** Bild 22

**200.** Bild 23 ( $R_a = R_b = 5\Omega$ )

**201.** Bild 24

**202.** Bild 25

**203.** Bild 26

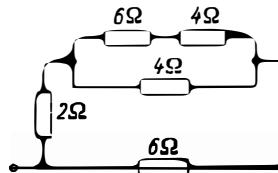


Bild 26.  
Aufgabe 203

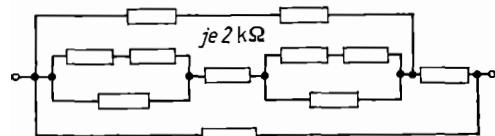


Bild 27. Aufgabe 204

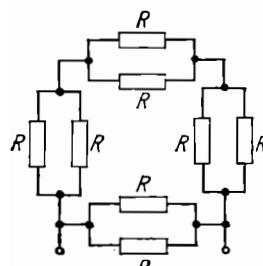


Bild 28. Aufgabe 205

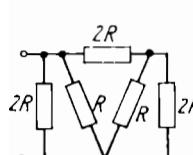


Bild 29. Aufgabe 206

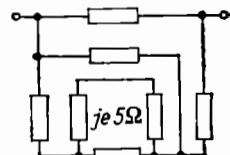


Bild 30. Aufgabe 207

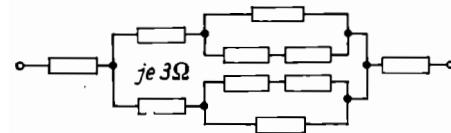


Bild 31. Aufgabe 208

**204.** Bild 27

**205.** Bild 28

**206.** Bild 29

**207.** Bild 30

**208.** Bild 31

**209.** Bild 32 (alle Widerstände gleich groß)

**210.** Bild 33

**211.** Bild 34

**212.** (Bild 35) Wie groß muß jeder der gleich großen Widerstände  $R$  sein, damit der Ge-samtwiderstand  $R_g = 22 \Omega$  beträgt?

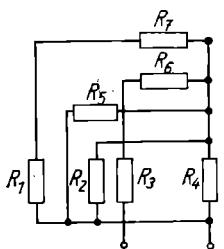


Bild 32. Aufgabe 209

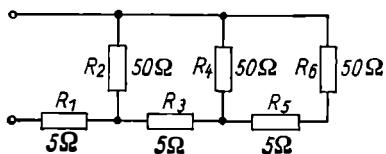


Bild 33. Aufgabe 210

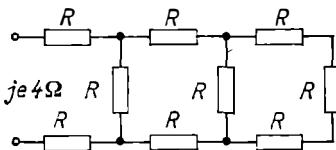


Bild 34.  
Aufgabe 211

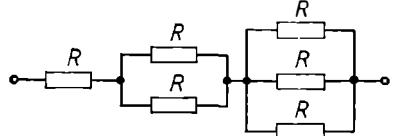


Bild 35. Aufgabe 212

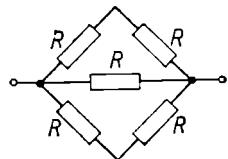


Bild 36. Aufgabe 213

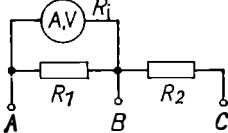


Bild 37. Aufgabe 215

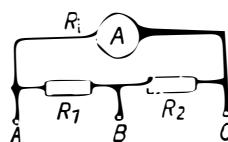


Bild 38. Aufgabe 217

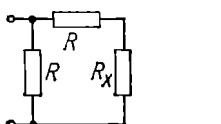


Bild 39. Aufgabe 281 Bild 40. Aufgabe 219

**213.** (Bild 36) Wie groß muß jeder der gleich großen Widerstände  $R$  sein, damit der Gesamtwiderstand  $R_g = 7,5\Omega$  beträgt?

**214.** Der Widerstand  $R_a$  in Aufgabe 200 soll weggelassen werden und  $R_b$  durch einen anderen ersetzt werden, so daß der Gesamtwiderstand  $R_g = 10\Omega$  wird. Welchen Widerstand muß der Widerstand  $R_b$  haben?

**215.** (Bild 37) Das auf Bild 37 angegebene Meßinstrument hat einen Widerstand von  $15\Omega$  und schlägt bei  $10\text{ mA}$  voll aus. Welche Werte müssen die beiden fest einzubauenden Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  haben, wenn sich bei Anschluß an die Klemmen  $A-B$  ein Strommeßbereich von  $100\text{ mA}$  und bei Anschluß an die Klemmen  $A-C$  ein Spannungsmeßbereich von  $5\text{ V}$  ergeben soll?

**216.** Das auf Bild 37 angegebene Instrument hat den Widerstand  $20\Omega$  und schlägt bei  $3\text{ mA}$  voll aus. Die Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  betragen  $8,571\Omega$  bzw.  $94,0\Omega$ . Welcher Strommeßbereich ergibt sich bei Anschluß an die Klemmen  $A-B$  und welcher Spannungsmeßbereich bei Anschluß an die Klemmen  $A-C$ ?

**217.** (Bild 38) Der Widerstand des auf Bild 38 angegebenen Strommessers, der bei  $I_1 = 10\text{ mA}$  voll ausschlägt, beträgt  $R_1 = 80\Omega$ . Welche Werte müssen die beiden fest einzubauenden Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  haben, wenn sich bei Anschluß an die Klemmen  $A-B$  der Meßbereich  $I' = 0,5\text{ A}$  bzw. bei Anschluß an die Klemmen  $A-C$  der Meßbereich  $I'' = \text{mA}$  ergeben soll?

**218.** (Bild 39) Der Widerstand  $R_x$  soll genauso groß sein wie der Gesamtwiderstand der Schaltung. Die beiden Widerstände  $R$  seien gleich groß. Den wievielfachen Wert von  $R$  muß der Widerstand  $R_x$  haben?

**219.** (Bild 40) Das Endglied  $R_x$  soll gleich dem Gesamtwiderstand der Schaltung sein. Die übrigen Widerstände  $R$  seien unter sich gleich. Den wievielfachen Wert von  $R$  muß  $R_x$  haben?

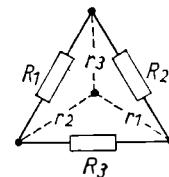
## 2.5. Umwandlung einer Dreieckschaltung in eine Sternschaltung und umgekehrt

Sternersatzwiderstände einer Dreieckschaltung:

$$r_1 = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$r_2 = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$r_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$



Dreieckersatzwiderstände einer Sternschaltung:

$$R_1 = r_2 + r_3 + \frac{r_2 r_3}{r_1}$$

$$R_2 = r_1 + r_3 + \frac{r_1 r_3}{r_2}$$

$$R_3 = r_1 + r_2 + \frac{r_1 r_2}{r_3}$$

Bild 41.

Aufgaben 220 und 221

*Hinweis:*

3 zu einem Dreieck zusammengesetzte Widerstände  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  lassen sich durch 3 andere, zu einem Stern zusammengesetzte und entsprechend berechnete Widerstände  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$  ersetzen, ohne daß sich der Widerstand zwischen 2 beliebigen Anschlußklemmen ändert. Die Umwandlung ist auch in umgekehrter Weise möglich und darf auch innerhalb eines größeren Netzwerkes vorgenommen werden.

**220.** Berechne die Sternersatzwiderstände, wenn folgende Dreieckwiderstände gegeben sind (Bild 41): a)  $R_1 = R_2 = R_3 = 15 \Omega$ , b)  $R_1 = 2 \Omega$ ;  $R_2 = 4 \Omega$ ;  $R_3 = 6 \Omega$ , c)  $R_1 = 8 \Omega$ ;  $R_2 = 10 \Omega$ ;  $R_3 = 12 \Omega$ , d)  $R_1 = R_2 = R_3 = 0,5 \Omega$ , e)  $R_1 = 0,35 \Omega$ ;  $R_2 = 1,27 \Omega$ ;  $R_3 = 1,44 \Omega$

**221.** Berechne die Dreieckersatzwiderstände, wenn folgende Sternwiderstände gegeben sind (Bild 41): a)  $r_1 = r_2 = r_3 = 120 \Omega$ , b)  $r_1 = 6 \Omega$ ;  $r_2 = 12 \Omega$ ;  $r_3 = 18 \Omega$ ; c)  $r_1 = 4,5 \Omega$ ;  $r_2 = 6 \Omega$ ;  $r_3 = 7,5 \Omega$  d)  $r_1 = 1 \Omega$ ;  $r_2 = 1/2 \Omega$ ;  $r_3 = 1/3 \Omega$

**222.** Die Summe der 3 Sternwiderstände, von denen  $r_1 = 10 \Omega$  beträgt, ist  $60 \Omega$ ; von den entsprechenden Dreieckwiderständen ist  $R_1 = 80 \Omega$ ; wie groß sind  $r_2$  und  $r_3$  bzw.  $R_2$  und  $R_3$ ?

**223.** Die beiden Dreiecke auf Bild 42 sollen durch ein einziges Dreieck bzw. einen einzigen Stern ersetzt werden. Wie groß sind die entsprechenden Widerstände?

**224.** (Bild 43) Wie groß ist der Widerstand zwischen den Klemmen A und B, wenn jeder Widerstand  $R = 100 \Omega$  beträgt?

**225.** (Bild 44) Wie groß ist der Widerstand zwischen den Klemmen A und B, wenn jeder Widerstand  $R = 12 \Omega$  beträgt?

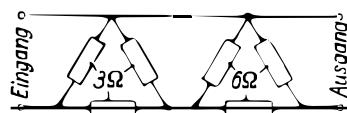


Bild 42. Aufgabe 223

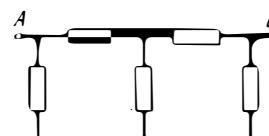


Bild 43. Aufgabe 224



Bild 44. Aufgabe 225

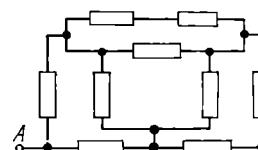


Bild 45. Aufgabe 226

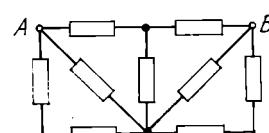


Bild 46. Aufgabe 227

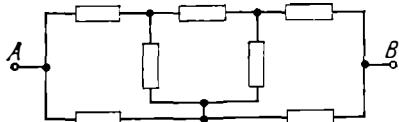


Bild 47. Aufgabe 228

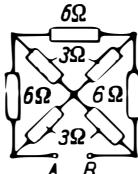


Bild 48. Aufgabe 229 Bild 49. Aufgabe 230

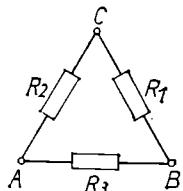
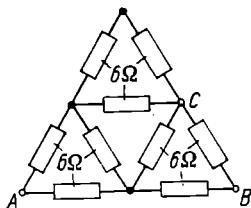


Bild 50. Aufgabe 231

**226.** (Bild 45) Wie groß ist der Widerstand zwischen den Klemmen  $A$  und  $B$ , wenn jeder Widerstand  $R = 4 \Omega$  beträgt?

**227.** (Bild 46) Wie groß ist der Widerstand zwischen den Klemmen  $A$  und  $B$ , wenn jeder Widerstand  $R = 5 \Omega$  beträgt?

**228.** (Bild 47) Wie groß ist der Widerstand zwischen den Klemmen  $A$  und  $B$ , wenn jeder Widerstand  $R = 9 \Omega$  beträgt?

**229.** (Bild 48) Wie groß ist der Widerstand zwischen den Klemmen  $A$  und  $B$ ?

**230.** (Bild 49) Wie groß ist der Widerstand  
a) zwischen den Klemmen  $A$  und  $B$  und  
b) zwischen den Klemmen  $A$  und  $C$ ?

**231.** (Bild 50) Eine Spannungsquelle von  $6 \text{ V}$  wird abwechselnd mit den Klemmen  $A-B$ ,  $A-C$  und  $B-C$  verbunden und liefert dabei die Ströme  $I_{AB} = 2,4 \text{ A}$ ,  $I_{AC} = 1,5 \text{ A}$  und  $I_{BC} = 1,33 \text{ A}$ . Wie groß sind die Widerstände des Dreiecks?

**232.** (Bild 51) Wie groß ist der Widerstand  
a) zwischen den Klemmen  $A$  und  $B$  und  
b) zwischen den Klemmen  $A$  und  $C$ ?

**233.** (Bild 52) Wie groß ist die an den Klemmen  $A$  und  $B$  abgegriffene Spannung  $U_2$ ?

**234.** (Bild 53) Zu berechnen ist der Ersatzwiderstand zwischen den Klemmen  $A$  und  $B$ .

**235.** (Bild 54) Zu berechnen ist der Widerstand zwischen den Klemmen  $A$  und  $B$ .

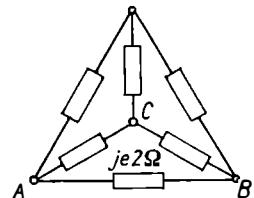


Bild 51. Aufgabe 232

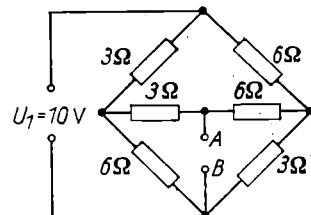


Bild 52.  
Aufgabe 233

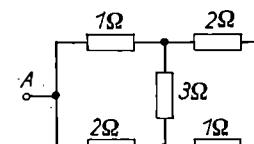


Bild 53.  
Aufgabe 234

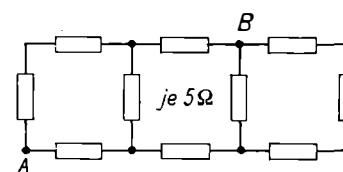


Bild 54.  
Aufgabe 235

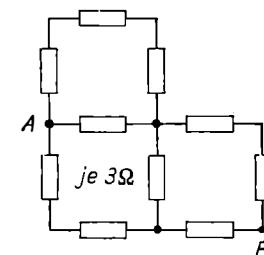


Bild 55. Aufgabe 236

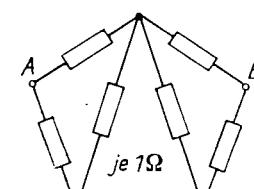


Bild 56. Aufgabe 237

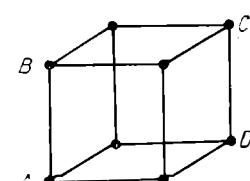


Bild 57. Aufgabe 238

**236.** (Bild 55) Zu berechnen ist der Widerstand zwischen den Klemmen A und B.

**237.** (Bild 56) Zu berechnen ist der Widerstand zwischen den Klemmen A und B.

## 2.6. Ströme und Spannungen in verzweigten Stromkreisen

**Formeln:**

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

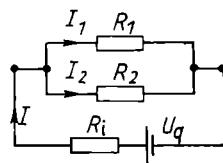


Bild 58. Aufgaben 239 bis 241

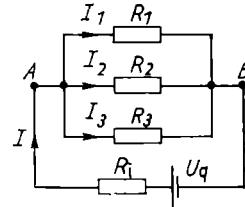


Bild 59. Aufgabe 242

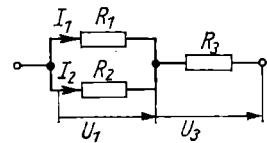


Bild 60.  
Aufgaben 243 und 244

**239.** (Bild 58) Gegeben:  $U_q = 6 \text{ V}$ ;  $R_1 = 1,5 \Omega$ ;  $R_2 = 15 \Omega$ ;  $R_3 = 5 \Omega$   
Gesucht:  $I$ ,  $I_1$ ,  $I_2$

**240.** (Bild 58) Gegeben:  $R_1 = 0,9 \Omega$ ;  $R_2 = 3,5 \Omega$ ;  $R_3 = 2,5 \Omega$ ;  $I_1 = 0,4 \text{ A}$   
Gesucht:  $I$ ,  $I_2$ ,  $U_q$

**241.** (Bild 58) Gegeben:  $R_1 = 0,5 \Omega$ ;  $R_2 = 10 \Omega$ ;  $I_1 = 2 \text{ A}$ ;  $U_q = 28 \text{ V}$   
Gesucht:  $I_2$ ,  $R_2$ ,  $I$

**242.** (Bild 59) Gegeben:  $U_q = 15 \text{ V}$ ;  $R_1 = 2,4 \Omega$ ;  $R_2 = 12 \Omega$ ;  $R_3 = 7 \Omega$ ;  $R_4 = 3 \Omega$   
Gesucht:  $I$ ,  $U_{AB}$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$

**243.** (Bild 60) Gegeben:  $R_1 = 5 \Omega$ ;  $R_2 = 25 \Omega$ ;  $R_3 = 20 \Omega$ ;  $U_1 = 5 \text{ V}$   
Gesucht:  $U_3$

**244.** (Bild 60) Gegeben:  $R_1 = 3 \Omega$ ;  $R_2 = 8 \Omega$ ;  $R_3 = 4 \Omega$ ;  $U_3 = 6 \text{ V}$   
Gesucht:  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I$

**245.** (Bild 61) Gegeben:  $R_1 = 3 \Omega$ ;  $U_3 = 3U_2$ ;  $I_1 = 2I_2$   
Gesucht:  $R_2$ ,  $R_3$

**246.** (Bild 62)  $R_1 = 10 \Omega$ ;  $R_2 = 15 \Omega$ ;  $R_3 = 25 \Omega$ ;  $R_4 = 5 \Omega$ ;  $R_5 = 15 \Omega$ ;  $U = 100 \text{ V}$   
Berechne a) den Gesamtwiderstand, b) den Gesamtstrom, c) die Teilströme, d) die Teilspannungen.

**247.** (Bild 62) Alle Widerstände seien gleich groß. Welchen Wert müssen sie haben, wenn der Gesamtwiderstand  $R_{AB}$  gegeben ist?

**238.** (Bild 57) Jede Kante eines Würfels habe den Widerstand  $1 \Omega$ . Wie groß ist der Widerstand zwischen den gegenüberliegenden Eckpunkten A und C?

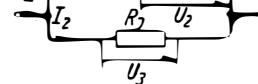


Bild 61. Aufgabe 245

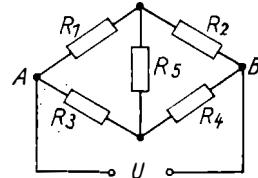


Bild 62.  
Aufgaben 246 und 247

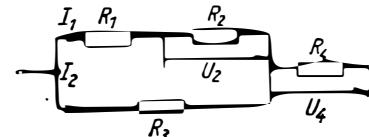


Bild 63. Aufgabe 248

**248.** (Bild 63) Gegeben sind die Widerstände  $R_1$ ,  $R_2$  und  $R_3$ . Welchen Wert muß der Widerstand  $R_4$  haben, damit der Spannungsabfall  $U_4$  ebenso groß wird wie  $U_2$ ?

**249.** (Bild 64) Gegeben sind die Widerstände  $R_1$ ,  $R_2$  und die gesamte Klemmenspannung  $U$ . Welchen Wert muß der Widerstand  $R_3$  haben, damit die Spannung  $U_3$  auf den halben Wert sinkt, wenn  $R_2$  abgeschaltet wird?

**250.** (Bild 65) Welchen Wert muß der Widerstand  $R_5$  haben, wenn die durch die Widerstände  $R_2$  und  $R_4$  fließenden Ströme gleich groß sein sollen?

**251.** (Bild 66) Gegeben sind die Widerstände  $R_1$  bis  $R_4$ . a) Wie groß ist der am Widerstand  $R_4$  liegende Spannungsabfall, wenn der durch den Widerstand  $R_3$  fließende Strom  $I_3$  bekannt ist? b) Wie groß ist der durch den Widerstand  $R_4$  fließende Strom  $I_4$ ?

**252.** (Bild 67) Gegeben sind die Widerstände  $R_1$  bis  $R_5$ . Welche Klemmenspannung  $U$  liegt an der Schaltung, wenn am Widerstand  $R_3$  der Spannungsabfall  $U_3$  gemessen wird?

**253.** (Bild 68) Gegeben sind  $R_1$ ,  $R_2$  und  $U_q$ . Wie groß ist die Leerlaufspannung  $U_{AB}$  zwischen den Punkten A und B?

**254.** (Bild 69) Der verstellbare Abgriff eines Potentiometers teilt den Gesamtwiderstand  $500 \text{ k}\Omega$  im Verhältnis 1:4. Es ist die Spannung  $U = 120 \text{ V}$  angelegt.

a) Wie groß ist das Verhältnis  $U_1:U_2$  im unbelasteten Zustand?

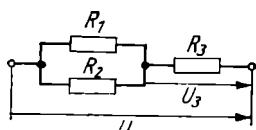


Bild 64. Aufgabe 249

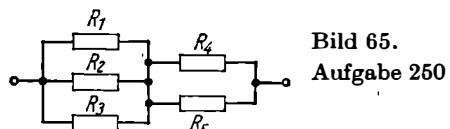


Bild 65.  
Aufgabe 250

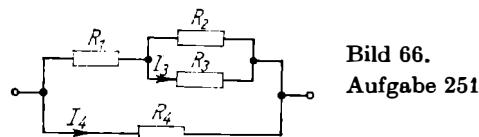


Bild 66.  
Aufgabe 251

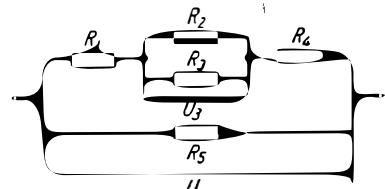


Bild 67. Aufgabe 252

## 2.7. Mehrfache Spannungs- und Stromteilung

### Anleitung zu Aufgabe 258:

Das Spannungsverhältnis eines gestaffelten Spannungsteilers ist gleich dem Produkt der

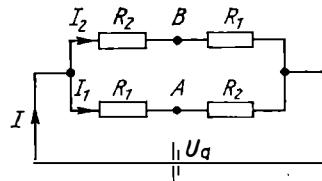


Bild 68.  
Aufgabe 253

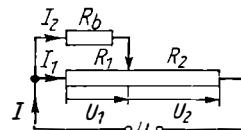


Bild 69. Aufgabe 254

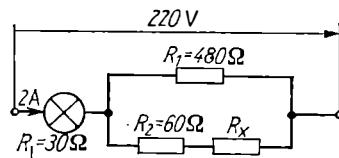


Bild 70.  
Aufgabe 255

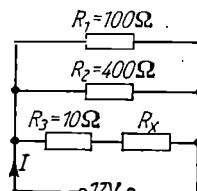


Bild 71.  
Aufgaben 256 und 257

b) Welche Ströme  $I$ ,  $I_1$  und  $I_2$  fließen, wenn parallel zu  $R_1$  ein Belastungswiderstand  $R_b = 200 \text{ k}\Omega$  liegt?

c) Wie groß ist das Verhältnis  $U_1:U_2$  im belasteten Zustand?

**255.** (Bild 70) Welchen Wert muß der Widerstand  $R_x$  haben, damit durch die Lampe ein Strom von 2 A fließt?

**256.** (Bild 71) Welchen Wert muß der Widerstand  $R_x$  haben, damit ein Gesamtstrom von 0,2 A fließt?

**257.** (Bild 71) Wie groß sind der Widerstand  $R_x$  und der Gesamtstrom, wenn bei unveränderter Klemmenspannung von 12 V an  $R_x$  ein Spannungsabfall von  $U_x = 9,6 \text{ V}$  gemessen wird?

Spannungsverhältnisse der einzelnen Stufen. Die im Bild 72 zwischen den Knotenpunkten A und B liegende Spannung  $U_{AB}$  ist für beide Parallelzweige gleich groß.

Daher gilt für die Schaltung im Bild 72  
 $\frac{U_2}{U_1} = \frac{U_2}{U_{AB}} \cdot \frac{U_{AB}}{U_1}$ . Dies ist auch gleich dem Widerstandsverhältnis  $\frac{R}{R + R} \cdot \frac{R_{AB}}{R + R_{AB}}$ .  
 $R_{AB}$  ist der Ersatzwiderstand der ganzen zwischen den Klemmen A und B liegenden Gruppe von Widerständen.

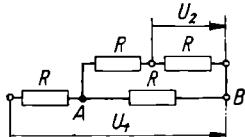


Bild 72. Aufgabe 258

**258. bis 264.** Welchen Wert hat das Spannungsverhältnis  $\frac{U_1}{U_2}$  in den auf den Bildern 72 bis 78 angegebenen Schaltungen?

**265.** Welche Spannung  $U_2$  ergibt sich am Ausgang der auf Bild 79 angegebenen Schaltung?

**266.** (Bild 80) Welche Beträge haben die Spannungen  $U_2$  bis  $U_4$ , wenn die Eingangsspannung  $U_1 = 100 \text{ V}$  ist?

**267.** (Bild 81) Wie groß ist das Stromverhältnis  $\frac{I_1}{I_3}$ ?

**268.** (Bild 82) Wie groß ist das Stromverhältnis  $\frac{I_1}{I_4}$ ?

**269.** (Bild 82) Wie groß ist das Spannungsverhältnis  $\frac{U_1}{U_4}$  in der angegebenen Schaltung?

**270.** (Bild 83) Welche Beträge haben die Ströme  $I_1$  bis  $I_7$ ?

**271.** Welchen Wert muß der auf Bild 84 angegebene Widerstand  $R$  haben, damit die Ausgangsspannung  $U_2$  ein Fünftel der Eingangsspannung  $U_1$  beträgt?

**272.** Welchen Wert müssen die beiden gleich großen Widerstände  $R_z$  auf Bild 85 haben, damit die Ausgangsspannung  $U_2$  ein Zehntel von  $U_1$  beträgt?

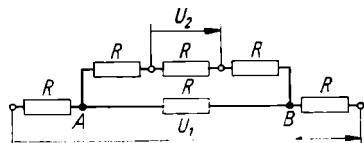


Bild 73.  
Aufgabe 259

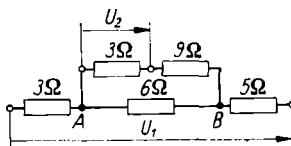


Bild 74.  
Aufgabe 260

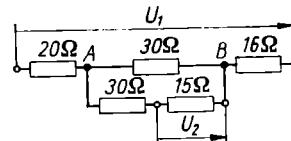


Bild 75.  
Aufgabe 261

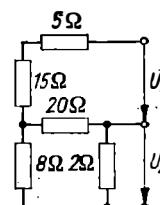


Bild 76. Aufgabe 262

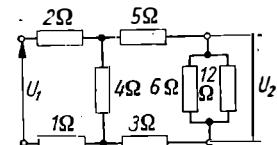


Bild 77. Aufgabe 263

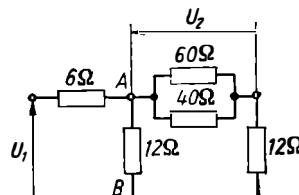


Bild 78.  
Aufgabe 264

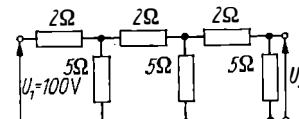


Bild 79.  
Aufgabe 265

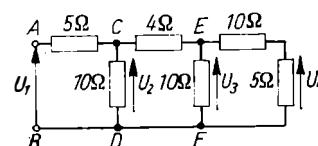


Bild 80.  
Aufgabe 266

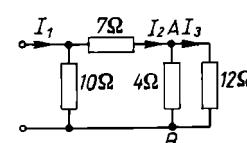


Bild 81.  
Aufgabe 267

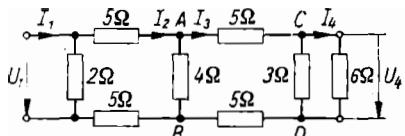


Bild 82. Aufgaben 268 und 269

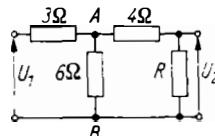


Bild 84. Aufgabe 271

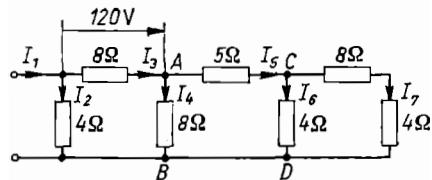


Bild 83. Aufgabe 270

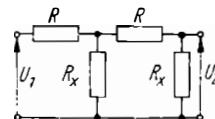


Bild 85. Aufgabe 272

## 2.8. Messung von Widerständen

*Formeln:*

$$R_x = \frac{U}{I - I_v} \quad \text{für spannungsrichtige Schaltung nach Bild 86}$$

$$R_x = \frac{U}{I} - R_A \quad \text{für stromrichtige Schaltung nach Bild 87}$$

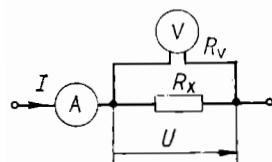


Bild 86.  
Spannungsrichtige Schaltung

Größe	Zeichen
gemessene Spannung	$U$
gemessener Strom	$I$
zu messender Widerstand	$R_x$
Strom durch den Spannungsmesser	$I_v$
Widerstand des Stommessers	$R_A$
Widerstand des Spannungsmessers	$R_v$

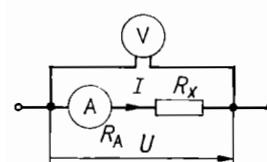


Bild 87.  
Stromrichtige Schaltung

*Hinweis:*

Nur bei relativ *kleinen* Widerständen, d. h., wenn  $R_x \ll R_v$  ist, kann der in der 1. Formel stehende Strom  $I_v$  durch den Spannungsmesser vernachlässigt werden.

Nur bei relativ *großen* Widerständen, d. h., wenn  $R_x \gg R_A$  ist, kann der in der 2. Formel stehende Eigenwiderstand  $R_A$  des Stommessers vernachlässigt werden.

- 273.** Ein Widerstand wird nach Bild 86 gemessen. Der Stommesser zeigt 185 mA, der Spannungsmesser 14,3 V an.  $R_v = 14300 \Omega$ .  
 a) Berechne  $R_x$ . b) Wie groß ist der Fehler, wenn der Spannungsmesserstrom nicht berücksichtigt wird? c) Berechne den prozentualen Fehler.

- 274.** Der genaue Wert eines Widerstandes beträgt  $R = 80 \Omega$ . Wie groß wird der relative Fehler  $\frac{\Delta R}{R}$ , wenn der Spannungsmesserstrom nicht beachtet wird und der Spannungsmesser den Widerstand  $R_v = 1000 \Omega$  hat?

**275.** Es soll ein auf etwa  $50 \Omega$  geschätzter Widerstand nach Bild 86 gemessen werden. Der Fehler bei Vernachlässigung des Spannungsmesserstromes soll höchstens 3% betragen. Welchen Widerstand muß der Spannungsmesser wenigstens haben?

**276.** Ein Widerstand soll mit einem Spannungsmesser von  $500 \Omega$  unter Nichtbeachtung des Spannungsmesserstromes gemessen werden. Wie groß darf der zu messende Widerstand höchstens sein, wenn der Fehler gegenüber einer korrekten Messung höchstens 2% ausmachen soll?

**277.** Der Widerstand eines Spannungsmessers hat den 45fachen Wert des zu prüfenden Widerstandes. Mit wieviel Prozent wird bei Nichtbeachtung des Spannungsmesserstromes der Widerstand des Prüflings zu gering gemessen?

**278.** Ein Widerstand ergab sich durch einfache Strom- und Spannungsmessung zu  $352 \Omega$ . Bei genauerer Messung unter Berücksichtigung des Spannungsmesserstromes stellte sich ein Wert von  $365 \Omega$  heraus. Welchen Widerstand hatte der Spannungsmesser?

**279.** Ein Widerstand wurde ohne Berücksichtigung des Spannungsmesserstromes zu  $135 \Omega$  bestimmt. Welchen Wert hätte man erhalten, wenn der Eigenstrom des Instrumentes, dessen Widerstand  $6500 \Omega$  beträgt, berücksichtigt worden wäre?

**280.** Wie groß ist ein Widerstand, wenn nach Bild 87 eine Spannung von  $64 \text{ V}$  und ein Strom von  $15 \text{ mA}$  gemessen wurden und der Strommesser einen Widerstand von  $10 \Omega$  hat?

**281.** Es wird eine Spannung von  $17,19 \text{ V}$  sowie ein Strom von  $0,013 \text{ A}$  gemessen (Bild 87). Als Strommesser dient ein Instrument von  $10 \Omega$  mit einem Nebenschlußwiderstand von  $10\%$ . Welchen Wert hat der zu messende Widerstand?

**282.** Der genaue Wert des Widerstandes  $R_x$  ist  $800 \Omega$ . Welchen Fehler begeht man, wenn Strom und Spannung nach Bild 86 gemessen werden und  $R_A = 1 \Omega$ ,  $R_V = 80 \text{ k}\Omega$  sowie die Meßspannung  $U = 100 \text{ V}$  betragen?

**283.** Ein Widerstand wird nach Bild 86 gemessen, wobei  $U = 3,1 \text{ V}$ ,  $I = 82 \text{ mA}$ ,  $R_V = 1500 \Omega$  und  $R_A = 0,5 \Omega$  gemessen wird. Welche Werte zeigen die Instrumente an, wenn nach Bild 87 verfahren wird, und wie berechnet sich hieraus der Widerstand?

## 2.9. Nichtlineare Widerstände

Von den zahlreichen Arten nichtlinearer Widerstände werden in den folgenden Aufgaben nur Thermistoren (Heiß- und Kaltleiter), Varistoren und der ideale pn-Übergang behandelt. Ihr Widerstand ist keine konstante Größe und der Strom keine lineare Funktion der Spannung.

**Kaltleiter:** Ihr Widerstand nimmt mit steigender Temperatur stark zu (Bild 88); sie haben einen sehr großen negativen Temperaturkoeffizienten.

**Heißleiter:** Ihr Widerstand nimmt mit steigender Temperatur ab. Sie haben im Arbeitsbereich einen sehr großen positiven Temperaturkoeffizienten (Bild 88).

**Varistoren:** Ihr Widerstand nimmt mit steigender Spannung ab (Bild 89).

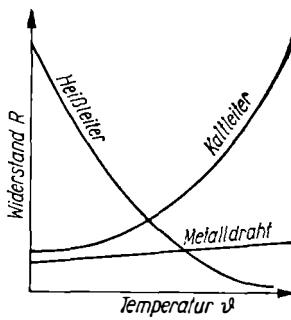


Bild 88.  
Kaltleiter und  
Heißleiter

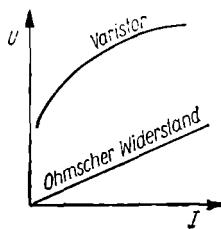


Bild 89. Varistoren

**pn-Übergänge:** Sie bilden die Grundlage aller Halbleiterdioden und Transistoren. Ihre  $IU$ -Kennlinie wird vom Leitungsmechanismus, nicht aber vom Materialwiderstand bestimmt (Bild 90).

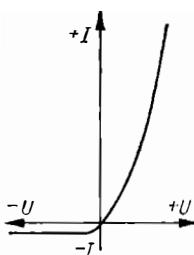


Bild 90.  
Kalter pn-Übergang

**Formeln:**

$$R = a e^{b/T}$$

Heißleiter

$$R = \frac{C}{I^{(1-\beta)}}$$

Varistor

$$P = C I^{(1+\beta)}$$

$$U = C I^\beta$$

$$I = I_s (e^{U/U_T} - 1)$$

pn-Übergang

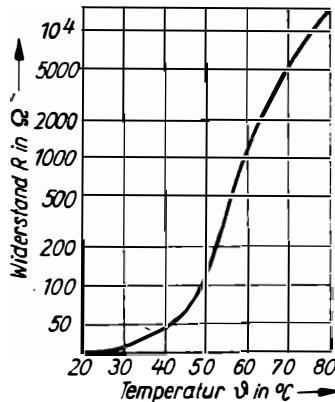


Bild 91.  
Aufgabe 284

Größe	Zeichen	Einheit
Mengenkonstante	$a$	$\Omega$
Energiekonstante	$b$	K
absolute Temperatur	$T$	K
Varistorkonstante	$C$	VA <sup>-<math>\beta</math></sup>
Nichtlinearitätskonstante	$\beta$	1
Sperrstrom	$I_s$	A
Temperaturspannung bei Raumtemperatur	$U_T = 25$ mV	

**284.** Welchen Temperaturkoeffizienten  $\alpha$  im etwa geradlinigen Teil der Kurve hat der auf Bild 91 dargestellte Kaltleiter?

**285.** Auf das Wievielfache steigt der Widerstand eines Kaltleiters mit dem TK  $\alpha = 0,5$  1/K, wenn seine Temperatur von 60 auf 100 °C zunimmt (bei etwa linearem Verlauf)?

**286.** Welcher Ausdruck für die Energiekonstante  $b$  eines Heißleiters ergibt sich, wenn die Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  bei den Temperaturen  $T_1$  und  $T_2$  bekannt sind?

**287.** Welchen Wert hat die Energiekonstante  $b$  eines Heißleiters, wenn bei den Temperaturen 20 °C und 50 °C die Widerstände 120 Ω und 30 Ω gemessen werden?

**288.** Wie groß ist der Widerstand eines Heißleiters bei 150 °C, wenn er bei 20 °C 100 Ω beträgt ( $b = 3400$  K)?

**289.** Welchen Wert hat die Mengenkonstante  $a$  eines Heißleiters, wenn der Wider-

stand bei 100 °C 200 Ω beträgt und die Energiekonstante  $b = 2000$  K ist?

**290.** Welchen mittleren Temperaturkoeffizienten  $\alpha$  haben die Kompressionsheißleiter  $a$  und  $b$  nach Bild 92 im Temperaturbereich 20...80 °C?

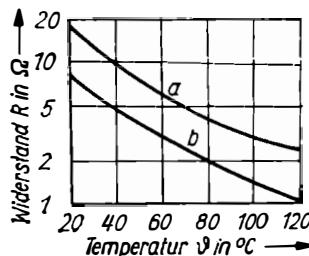


Bild 92.  
Aufgabe 290

**291.** Welcher Ausdruck für den Temperaturkoeffizienten  $\alpha$  folgt, wenn der Ansatz  $\alpha = \frac{dR}{R \cdot dT}$  auf den Widerstand eines Heißleiters  $R = a e^{b/T}$  angewendet wird?

**292.** Berechne mit Hilfe des Ausdrückes für  $\alpha$  von Nr. 291 die Temperaturkoeffizienten des Heißleiters auf Bild 93 für die Temperaturen 50 und 120 °C.

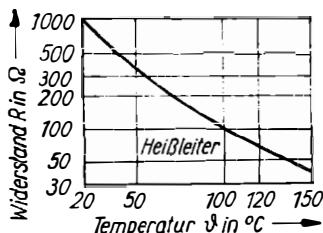


Bild 93.  
Aufgabe 292

**293.** Aus der Formel für den Widerstand eines Varistors  $R = \frac{C}{I^{(1-\beta)}}$  ist die Funktion  $U = f(I)$  herzuleiten!

**294.** Zeichne die Spannungs-Strom-Kennlinie  $U = CI^\beta$  eines Varistors mit den Konstanten  $C = 400 \text{ VA}^{-\beta}$  und  $\beta = 0,2$  von  $I = 0$  bis 15 mA in linearem Maßstab.

**295.** Aus der Formel  $\frac{C}{I^{(1-\beta)}}$  ist der Ausdruck für die Leistung  $P = f(I)$  des Varistors herzuleiten!

**296.** Aus der gleichen Formel ist der Ausdruck für die Leistung des Varistors  $P = f(U)$  herzuleiten.

**297.** Aus der in Aufgabe 293 gewonnenen Funktion  $U = f(I)$  ist der Ausdruck für den Nichtlinearitätskoeffizienten  $\beta = f(U, I)$  des Varistors herzuleiten.

**298.** Welche Werte ergeben sich mit der zuletzt gewonnenen Formel für  $\beta$  aus den Kennlinien der Varistoren auf Bild 94?

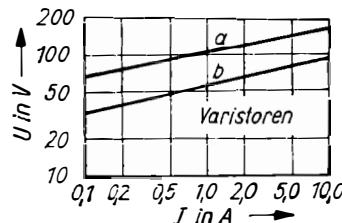


Bild 94.  
Aufgabe 298

**299.** Welche Werte ergeben sich für die Konstante  $C$  der in Aufgabe 298 behandelten Varistoren mit  $\beta = 0,19$ ? (Hinweis: Man gehe von  $P = UI$  sowie einem Wertepaar  $U, I$  in Bild 94 aus und vergleiche mit  $P = CI^{(1+\beta)}$ ).

**300.** Welchen Spannungsabfall hat ein Varistor mit den Konstanten  $250 \text{ VA}^{-\beta}$  und  $\beta = 0,25$  bei der maximal zulässigen Belastung  $P_{\max} = 2,0 \text{ W}$ ?

**301.** Welcher Widerstandstyp liegt vor, wenn der Koeffizient  $\beta$  eines Varistors den Wert 0 hat?

**302.** Welchen Spannungsabfall und Widerstand hat ein Varistor mit den Konstanten  $C = 390 \text{ VA}^{-\beta}$  und  $\beta = 0,19$  bei einem Strom von 2 mA?

**303.** Zeichne die Strom-Spannungs-Kennlinie des idealen pn-Überganges mit  $I_s = 1 \text{ mA}$  von  $U_1 = -100 \text{ mV}$  bis  $U_2 = +60 \text{ mV}$ .

**304.** Bei welcher Spannung hat der Strom der idealen Diode in Flußrichtung den gleichen Betrag wie der Sperrstrom  $I_s$ ?

**305.** Bei welcher Spannung wird der Strom einer Diode gleich dem  $10^6$  fachen des Sperrstromes von  $1 \mu\text{A}$ , wenn der Bahnwiderstand  $0,5 \Omega$  beträgt?

**306.** Bei welchem Betrag der Sperrspannung erreicht der Sperrstrom einer idealen Diode 90 % des Sättigungswertes?

### 3. Berechnung von Netzwerken

#### 3.1. Einzelne Netzmaschen

*Formeln:*

$$\sum I = 0$$

für jeden Knotenpunkt oder auch für die ganze Masche, wenn man sie als einen einzigen Knotenpunkt betrachtet.

$$\sum U = 0 \quad \text{für jede Masche}$$

*Anleitung:*

Bei Anwendung des Knotenpunktsatzes  $\sum I = 0$  werden die dem Knoten zufließenden Ströme mit positivem und die vom Kno-

ten wegfließenden Ströme mit negativem Vorzeichen eingesetzt. Bei Anwendung des Maschensatzes ist vor Beginn der Rechnung eine an sich willkürlich wählbare Umlaufrichtung festzulegen. Der in den Aufgaben eingetragene Pfeil im Schaltschema gibt die in der Lösung angenommene Umlaufrichtung an. Dieser Richtung entsprechend setzt man zunächst alle Ströme und auch Spannungsabfälle mit positivem Vorzeichen ein. Die Richtung jeder Quellenspannung verläuft vom Pluspol (langer Strich) zum Minuspol (kurzer Strich) der jeweiligen Spannungsquelle. Negative Stromrichtung im Ergebnis gibt an, daß in dem betreffenden Zweig der Strom der ursprünglich angenommenen Richtung entgegenläuft.

**307.** (Bild 95) Gegeben:  $I_A$  (zufließend) = 2 A;  $I_B$  (abfließend) = 3 A;  $R_1 = 2 \Omega$ ;  $R_2 = 5 \Omega$ ;  $R_3 = 1 \Omega$ ;  $U_{q1} = 5 \text{ V}$ ;  $U_{q2} = 10 \text{ V}$

Gesucht:  $I_1, I_2, I_3, I_C, U_1, U_2, U_3$

**308.** (Bild 95) Gegeben:  $I_1 = 4 \text{ A}$ ;  $I_2 = 4,8 \text{ A}$  (beide im Sinne des Schaltbildes);  $U_{q1} = 12 \text{ V}$ ;  $U_{q2} = 24 \text{ V}$ ;  $R_1 = R_2 = R_3 = 6 \Omega$

Gesucht: alle übrigen Größen

**309.** (Bild 95) Gegeben:  $I_4 = 3 \text{ A}$ ;  $I_1 = 2,5 \text{ A}$ ;  $I_2 = 5 \text{ A}$ ;  $U_{q1} = 12 \text{ V}$ ;  $U_{q2} = 8 \text{ V}$ ;  $R_1 = 2 \Omega$ ;  $R_2 = 4 \Omega$

Gesucht: alle übrigen Größen

**310.** (Bild 96) Gegeben:  $I_A = 10 \text{ A}$ ;  $I_B = 4 \text{ A}$ ;  $R_1 = 10 \Omega$ ;  $R_2 = 15 \Omega$ ;  $R_3 = 20 \Omega$

Gesucht:  $I_C, I_1, I_2, I_3$

**311.** (Bild 96) Gegeben:  $U_1 = 20 \text{ V}$ ;  $U_2 = 15 \text{ V}$  (Richtung der Spannungen im Sinne der Pfeilrichtung);  $R_1 = 20 \Omega$ ;  $R_2 = 25 \Omega$ ;  $R_3 = 50 \Omega$

Gesucht:  $I_A, I_B, I_C, I_1, I_2, I_3$

**312.** (Bild 97) Gegeben:  $U_{q1} = 12 \text{ V}$ ;  $U_{q2} = 8 \text{ V}$ ;  $R_1 \dots 4 = 4 \Omega$ ;  $I_A = 6 \text{ A}$ ;  $I_B = 8 \text{ A}$

Gesucht:  $I_C, I_1$  bis  $I_4$

**313.** (Bild 98) Gegeben:  $I_A = 6 \text{ A}$ ;  $I_B = 8 \text{ A}$ ;  $I_C = 2 \text{ A}$ ;  $R_1 = 4 \Omega$ ;  $R_2 = 6 \Omega$ ;  $R_3 = 5 \Omega$ ;  $R_4 = 2 \Omega$

Gesucht:  $I_D, I_1$  bis  $I_4$

**314.** (Bild 99) Gegeben:  $I_A = 10 \text{ A}$ ;  $I_B = 2 \text{ A}$ ;  $R_3 = 5 \Omega$ ;  $R_2 = 6 \Omega$ ;  $R_1 = 3 \Omega$ ;  $U_{q1} = 6 \text{ V}$ ;  $U_{q2} = 4 \text{ V}$ ;  $U_{q3} = 2 \text{ V}$

Gesucht:  $I_1, I_2, I_3, I_C$

**315.** (Bild 100) Gegeben:  $U_{q1} = 4 \text{ V}$ ;  $U_{q2} = 6 \text{ V}$ ;  $R_1 = 5 \Omega$ ;  $R_2 = 10 \Omega$ ;  $R_3 = 3 \Omega$ ;  $I_A = 4 \text{ A}$ ;  $I_B = 2 \text{ A}$

Gesucht:  $I_C, I_1$  bis  $I_3$

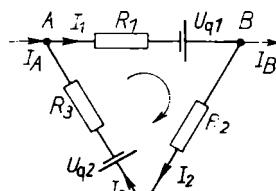


Bild 95.  
Aufgaben 307 bis  
309

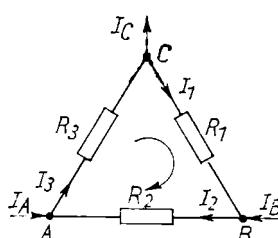


Bild 96. Aufgaben  
310 und 311

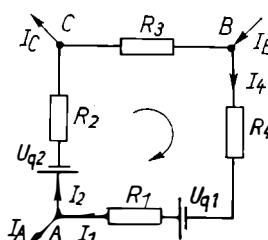


Bild 97.  
Aufgabe 312

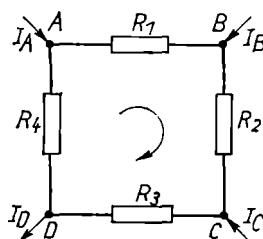


Bild 98.  
Aufgabe 313

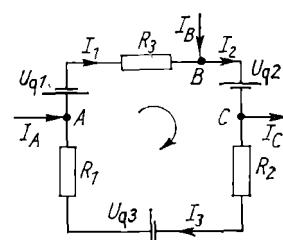


Bild 99.  
Aufgabe 314

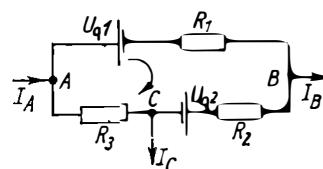


Bild 100.  
Aufgabe 315

**316.** (Bild 101) Gegeben:  $I_A = 12 \text{ A}$ ;  $I_B = 8 \text{ A}$ ;  $R_1 = 6 \Omega$ ;  $R_2 = 10 \Omega$ ;  $R_3 = 8 \Omega$   
Gesucht:  $I_C$ ,  $I_1$  bis  $I_3$

**317.** Jedes der auf Bild 102 angegebenen Elemente hat die Quellenspannung  $U_q$ , die Widerstände haben die Werte  $R$  bzw.  $2R$ . Wie groß ist die Leerlaufspannung  $U$  zwischen den Punkten A und B?

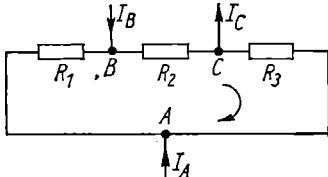


Bild 101.  
Aufgabe 316

**318.** (Bild 103) Welche Spannungen bestehen zwischen den Punkten A und B bzw. C und D?

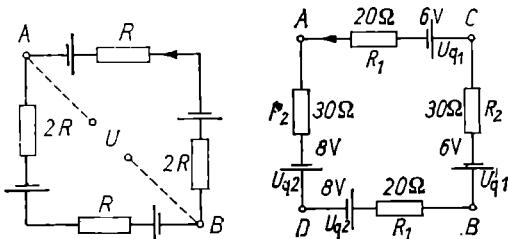


Bild 102. Aufgabe 317   Bild 103. Aufgabe 318

## 3.2. Geschlossene Netze

### 3.2.1. Berechnung nach dem Knotenpunkt- und Maschensatz

*Hinweise:*

Enthält das Netzwerk  $m$  Zweigströme, so sind zu deren Berechnung  $m$  unabhängige Gleichungen notwendig. Da  $n$  Knotenpunkte ( $n - 1$ ) unabhängige Gleichungen liefern, sind noch  $m - (n - 1)$  voneinander unabhängige Maschengleichungen aufzustellen. Maschengleichungen sind voneinander unabhängig, wenn jede Gleichung mindestens ein Glied enthält, das in den übrigen Gleichungen nicht enthalten ist. Die in den folgenden Schaltskizzen angegebenen Umlaufrichtungen der Maschen und Stromrichtungen sind zunächst willkürlich angenommen und entsprechen den in den Lösungen gemachten Ansätzen.

**319.** (Bild 104) Zu berechnen ist der Strom  $I_4$  durch den Widerstand  $R_4$ , wenn alle Widerstände und die Quellenspannung bekannt sind.

**320.** (Bild 105) Zu berechnen ist der Strom  $I_2$  durch den Widerstand  $R_2$ , wenn alle Widerstände und die Quellenspannung bekannt sind.

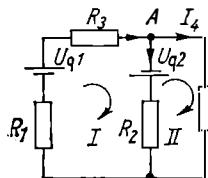


Bild 104. Aufgabe 319   Bild 105. Aufgabe 320

**321.** (Bild 106) Gegeben:  $U_{q1} = 10 \text{ V}$ ;  $U_{q2} = 15 \text{ V}$ ;  $U_{q3} = 20 \text{ V}$ ;  $R_1$  bis  $R_6 = 10 \Omega$   
Gesucht:  $I_1$  bis  $I_6$

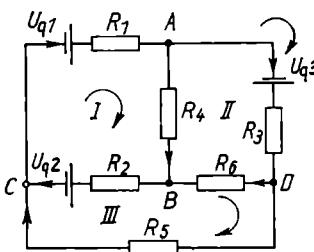


Bild 106.  
Aufgabe 321

**322.** (Bild 107) Gegeben:  $U_{q1} = 18 \text{ V}$ ;  $U_{q2} = 16 \text{ V}$ ;  $U_{q3} = 14 \text{ V}$ ;  
 $R_1$  bis  $R_6 = R = 5 \Omega$   
Gesucht: alle Zweigströme

**323.** (Bild 108) Gegeben:  
 $U_{q1} = U_{q2} = U_{q3} = U_q = 210 \text{ V}$ ;  
 $R_1$  bis  $R_7 = R = 5 \Omega$   
Gesucht: alle Zweigströme

**324.** Bild 109) Gegeben:  
 $U_{q1} = U_{q2} = U_{q3} = U_q$ ;  $R_1$  bis  $R_7 = R$   
Gesucht: alle Zweigströme

**325.** (Bild 110) Gegeben:  $U_{q1} = U_{q2} = 60 \text{ V}$ ;  $R_1 = R_2 = 3 \Omega$ ;  $R_3 = R_4 = 5 \Omega$ ;  $R_5 = 10 \Omega$   
Gesucht: alle Zweigströme

**326.** (Bild 111) Gegeben:

$U_{q1} = U_{q2} = U_{q3} = U_q = 12 \text{ V}$ ;  
 $R_1$  bis  $R_3 = R = 3 \Omega$ ;  $R_4$  bis  $R_7 = 2R = 6 \Omega$ .  
Beweise rechnerisch, daß der Stern in der Mitte stromlos bleibt.

**327.** Welche Zweigströme  $I_1$  bis  $I_6$  ergeben sich in der letzten Aufgabe, wenn bei gleichen sonstigen Daten  $U_{q3}$  nur  $10 \text{ V}$  beträgt, die Symmetrie also gestört ist?

**328.** (Bild 112) Gegeben:

$U_{q1} = U_{q2} = U_{q3} = U_q = 50 \text{ V}$ ;  
 $R_1 = R_2 = R_3 = 2 \Omega$ ;  $R_4$  bis  $R_7 = 5 \Omega$ ;  
 $R_8 = 40 \Omega$

Gesucht: alle Zweigströme

**329.** (Bild 113) Gegeben:  $U_{q1}$  bis  $U_{q4} = 1,5 \text{ V}$ ;  
 $R_1$  bis  $R_4 = 0,5 \Omega$ ;  $R_5 = R_8 = 10 \Omega$ ;  
 $R_6 = R_7 = 1 \Omega$

Gesucht: alle Zweigströme

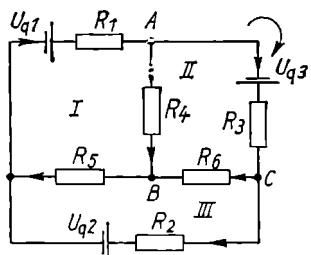


Bild 107.  
Aufgabe 322

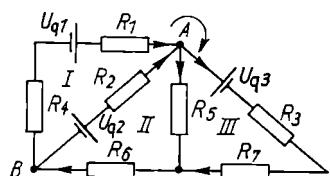


Bild 108.  
Aufgabe 323

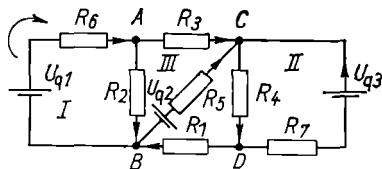


Bild 109. Aufgabe 324

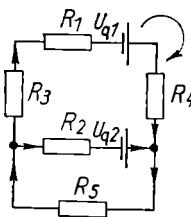


Bild 110.  
Aufgabe 325

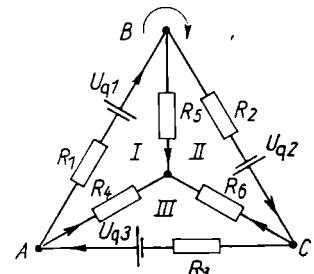


Bild 111.  
Aufgaben 326 und 327

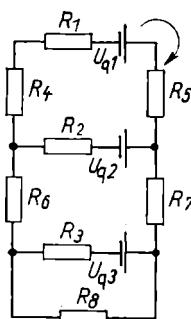


Bild 112. Aufgabe 328

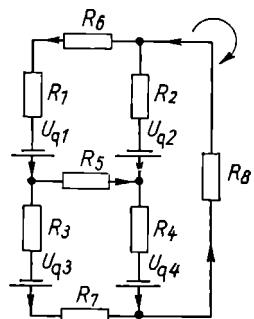


Bild 113. Aufgabe 329

### 3.2.2. Berechnung nach dem Helmholtzschen Überlagerungssatz

*Anleitung:*

Man schließt alle Spannungsquellen bis auf eine kurz und berechnet die Teilströme der gesuchten Zweigströme (bzw. des gesuchten Zweigstromes) so, als ob diese Spannungsquellen nicht vorhanden wären. Dann schließt man alle Spannungsquellen bis auf eine zweite kurz, berechnet die neuen Teilströme und fährt in gleicher Weise fort. Die Summe

**330.** (Bild 114) Gegeben:  $U_{q1} = 60 \text{ V}$ ;  
 $U_{q2} = 80 \text{ V}$ ;  $R_1 = 0,2 \Omega$ ;  $R_2 = 0,4 \Omega$ ;  
 $R_3 = R_4 = R_5 = 25 \Omega$   
Gesucht:  $I_5$

**331.** (Bild 115) Gegeben:  $U_{q1} = 4,5 \text{ V}$ ;  
 $U_{q2} = 6 \text{ V}$ ;  $U_{q3} = 7,5 \text{ V}$ ;  $R_1 = 3 \Omega$ ;  
 $R_2 = 5 \Omega$ ;  $R_3 = 4 \Omega$ ;  $R_4 = 1 \Omega$   
Gesucht:  $I_4$

aller berechneten Teilströme eines Zweiges ist gleich dem betreffenden Zweigstrom, wobei bei der Addition die Stromrichtungen zu beachten sind.

**332. (Bild 116)** Gegeben:  $U_{q1} = U_{q2} = 65 \text{ V}$ ;  $R_{11} = 0,5 \Omega$ ;  $R_{12} = 0,3 \Omega$ ;  $R_s = 5 \Omega$

Gesucht: die Zweigströme  $I$ ,  $I_1$  und  $I_2$

**333. (Bild 117)** Gegeben:

$U_{q1} = U_{q2} = U_{q3} = 1,5 \text{ V}$ ;

$R_1 = R_2 = R_3 = 1,5 \Omega$ ;  $R_4$  bis  $R_7 = 0,5 \Omega$ ;

$R_s = 4 \Omega$

Gesucht:  $I_s$

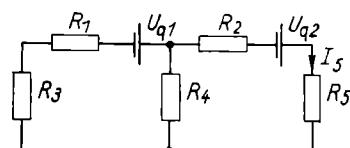


Bild 114.  
Aufgabe 330

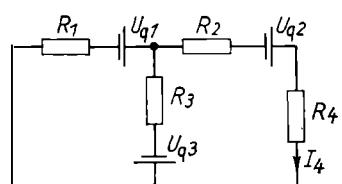


Bild 115.  
Aufgabe 331

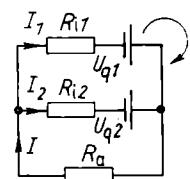


Bild 116. Aufgabe 332

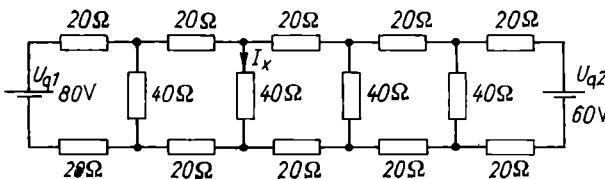


Bild 119. Aufgabe 336

**334. (Bild 117)** Gegeben:  
 $U_{q1} = U_{q2} = U_{q3} = 1,5 \text{ V}$ ;  
jeder Widerstand  $R = 1 \Omega$   
Gesucht:  $I_s$

**335. (Bild 118)** Gegeben:

$U_{q1} = U_{q2} = U_{q3} = U_{q4} = 6 \text{ V}$ ;

$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 2 \Omega$ ;  $R_5 = R_6 = 10 \Omega$

Gesucht:  $I_5$  und  $I_6$

**336. (Bild 119)** Gegeben:

die in Bild 119 verzeichneten Daten

Gesucht:  $I_x$

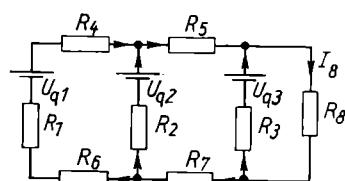


Bild 117. Aufgaben 333 und 334

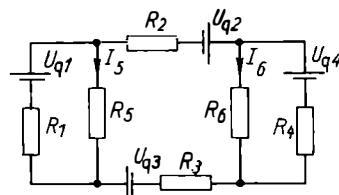


Bild 118.  
Aufgabe 335

### 3.2.3. Berechnung nach dem Maschenstromverfahren

#### Anleitung:

Man zerlegt das Netzwerk, das aus  $m$  Zweigen und  $n$  Knoten besteht, in  $m - (n - 1) = m - n + 1$  voneinander unabhängige Maschen (s. S. 32). Innerhalb jeder Masche wird ein Umlaufstrom  $y$  angenommen, dessen Richtung zweckmäßig gegenläufig zu der in der Masche wirkenden Quellenspannung an-

genommen wird. Mit diesen Umlaufströmen wird für jede Masche der Maschensatz formuliert. Die wirklichen Ströme  $I$  erhält man durch vorzeichengerechte Addition der an der interessieren den Stelle fließenden Umlaufströme. In den folgenden Schaltskizzen sind die in den Lösungen benutzten Umlaufrichtungen eingetragen.

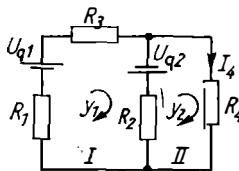


Bild 120. Aufgabe 337

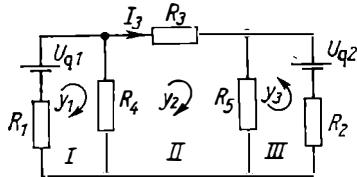


Bild 121.  
Aufgabe 338

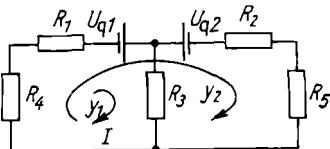


Bild 122.  
Aufgabe 339

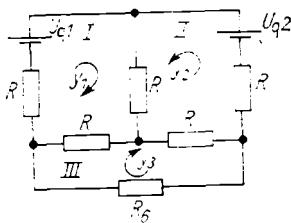


Bild 123.  
Aufgabe 340

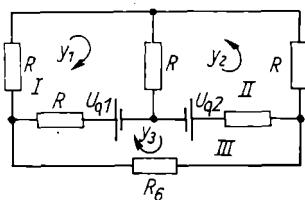


Bild 124.  
Aufgabe 341

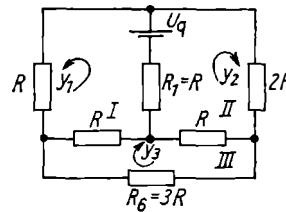


Bild 125.  
Aufgabe 342

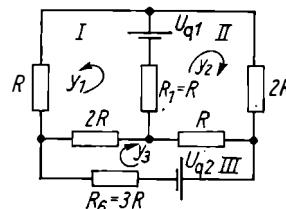


Bild 126.  
Aufgabe 343

**337.** (Bild 120) Zu berechnen ist der Strom  $I_4$  durch den Widerstand  $R_4$ .

**338.** (Bild 121) Zu berechnen ist der Strom  $I_3$  durch den Widerstand  $R_3$ .

**339.** (Bild 122) Zu berechnen ist der Strom  $I_3$  durch den Widerstand  $R_3$ .

**340.** (Bild 123) Alle Widerstände der Schaltung sind gleich groß. Zu berechnen ist der Strom  $I_6$  durch den Widerstand  $R_6$ .

**341.** (Bild 124) Alle Widerstände der Schaltung sind gleich groß. Zu berechnen ist der Strom  $I_6$  durch den Widerstand  $R_6$ .

**342.** (Bild 125) Zu berechnen sind die Ströme  $I_1$  durch den Widerstand  $R_1 = R$  und  $I_6$  durch den Widerstand  $R_6 = 3R$ .

**343.** (Bild 126) Zu berechnen sind die Ströme  $I_1$  durch den Widerstand  $R_1 = R$  und  $I_6$  durch den Widerstand  $R_6 = 3R$ .

### 3.2.4. Berechnung nach dem Satz von der Ersatzspannungsquelle (Zweipoltheorie)

#### Anleitung:

Man zerlege die gegebene Schaltung in einen aktiven Zweipol, der die Spannungsquellen, und einen passiven Zweipol, der nur Widerstände enthält. Sind insbesondere Strom  $I$  und Klemmenspannung  $U_a$  eines einzelnen Widerstandes  $R_a$  gesucht, so löse man diesen aus der Schaltung heraus und betrachte den Rest des Netzwerkes als eine Spannungsquelle mit der Ersatz-Quellenspannung  $U_1$  (Leerlaufspannung) und einem inneren (Ersatz-)

Widerstand  $R_1$ . Dann fließt durch  $R_a$  der Strom  $I = \frac{U_1}{R_1 + R_a}$ , und der Spannungsabfall am Widerstand  $R_a$  ist  $U_a = IR_a$ .

#### Berechnung des Ersatzwiderstandes $R_1$ des aktiven Zweipols:

Man schließe die vorhandenen Spannungsquellen kurz und berechne den Ersatzwiderstand zwischen den freien Klemmen ( $A, B$ ).

### Berechnung der Leerlaufspannung $U_1$ :

1. Weg: Sie ergibt sich als Spannungsabfall an demjenigen Widerstand des aktiven Zweipols, der den Klemmen ( $A, B$ ) des Widerstandes  $R_i$  parallel liegt.

2. Weg: Man berechne den Kurzschlußstrom  $I_k$ , der bei kurzgeschlossenen Klemmen ( $A, B$ ) zwischen ( $A$ ) und ( $B$ ) fließen würde. Dann ist

wegen  $I_k = \frac{U_1}{R_i}$  die Leerlaufspannung  $U_1 = I_k R_i$ .

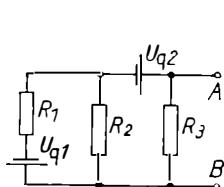


Bild 127. Aufgabe 344

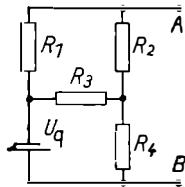


Bild 128. Aufgabe 345

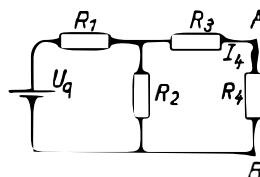


Bild 129.  
Aufgaben 346 und 347

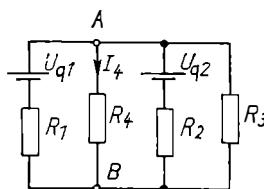


Bild 130.  
Aufgabe 348

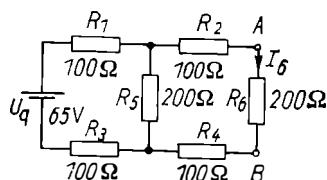


Bild 131.  
Aufgabe 349

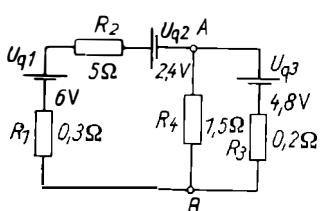


Bild 132.  
Aufgabe 350

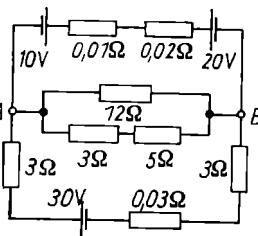


Bild 133.  
Aufgabe 351

344. (Bild 127) Berechne für die Klemmen  $A-B$  des aktiven Zweipols die Leerlaufspannung  $U_1$ , den inneren Widerstand  $R_i$ , den Kurzschlußstrom  $I_k$  und weise nach, daß  $I_k = \frac{U_1}{R_i}$  ist.  $U_{q1} = 1 \text{ V}$ ;  $U_{q2} = 4 \text{ V}$ ;  $R_1 = 5 \Omega$ ;  $R_2 = 10 \Omega$ ;  $R_3 = 20 \Omega$

345. (Bild 128) Berechne für die Klemmen  $A-B$  des aktiven Zweipols die Leerlaufspannung  $U_1$ , den inneren Widerstand  $R_i$  und den Kurzschlußstrom  $I_k$ .

346. (Bild 129) Berechne Strom  $I_4$  und Spannung  $U_4$  am Widerstand  $R_4$ .

$R_1 = 100 \Omega$ ;  $R_2 = 300 \Omega$ ;  $R_3 = 500 \Omega$ ;  $R_4 = 800 \Omega$ ;  $U_q = 80 \text{ V}$

347. (Bild 129) Berechne zur gleichen Schaltung  $I_4$  und  $U_2$  am Widerstand  $R_2$ .

348. (Bild 130) Berechne  $I_4$  und  $U_4$  am Widerstand  $R_4$ .

$R_1 = 0,5 \Omega$ ;  $R_2 = 0,8 \Omega$ ;  $R_3 = 6 \Omega$ ;  $R_4 = 4 \Omega$ ;  $U_{q1} = 4,5 \text{ V}$ ;  $U_{q2} = 3 \text{ V}$

349. (Bild 131) Berechne Strom  $I_6$  und Spannung  $U_6$  am Widerstand  $R_6$ .

350. (Bild 132) Berechne Strom  $I_4$  und Spannung  $U_4$  am Widerstand  $R_4$ .

351. (Bild 133) Berechne Klemmenspannung und Strom zwischen  $A$  und  $B$ .

352. (Bild 134) Wie groß ist der Strom  $I$ , wenn folgende Werte gegeben sind:  $U_{q1} = 2 \text{ V}$ ;  $U_{q2} = 8 \text{ V}$ ;  $U_{q3} = 4 \text{ V}$ ;  $R_1 = R_2 = R_3 = 5 \Omega$ ;  $R_4 = 7 \Omega$ ;  $R_5$  bis  $R_9 = 6 \Omega$

353. (Bild 135) Berechne den Strom  $I$ , wenn gegeben sind:  $U_q = 60 \text{ V}$ ;  $R_1 = 4 \Omega$ ;

$R_2 = 6 \Omega$ ;  $R_3 = 8 \Omega$ ;  $R_4 = R_5 = R_6 = 3 \Omega$

354. (Bild 136) Berechne den Strom  $I$ , wenn gegeben sind:  $U_{q1} = 60 \text{ V}$ ;  $U_{q2} = 40 \text{ V}$ ;

$R_1 = 4 \Omega$ ;  $R_2 = 6 \Omega$ ;  $R_3 = 8 \Omega$ ;

$R_4$  bis  $R_7 = 3 \Omega$

355. (Bild 137) Welcher Strom  $I_5$  fließt durch das Meßinstrument  $R_5$  der Wheatstoneschen Brücke bei Vernachlässigung des inneren Widerstandes der Spannungsquelle?

**356.** (Bild 138) Berechne den Strom  $I_r$  durch den regelbaren Vorschaltwiderstand  $r$  nach der Zweipoltheorie.

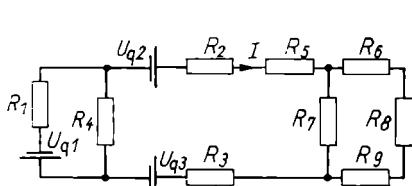


Bild 134. Aufgabe 352

**357.** (Bild 139) Der durch  $R_a$  fließende Strom  $I_a$  wird durch den Parallelwiderstand  $r$  stetig verändert. Berechne  $I_a$  und  $I_r$  nach der Zweipoltheorie.

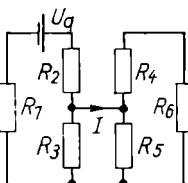


Bild 135. Aufgabe 353

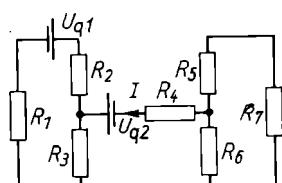


Bild 136. Aufgabe 354

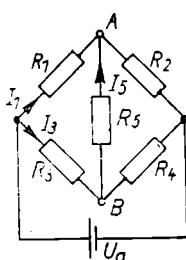


Bild 137. Aufgabe 355

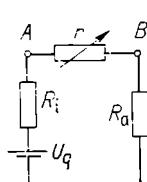


Bild 138. Aufgabe 356

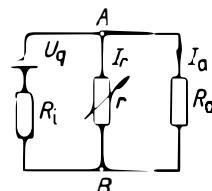


Bild 139. Aufgabe 357

### 3.3. Spannungsquellen in Gegenreihenschaltung

Formeln:

$$\text{Knotenpunkt } A: I_1 = I + I_2$$

$$\text{Masche: } U_{q1} - U_{q2} = I_1 R_{i1} + I_2 R_{i2}$$

Nach Einsetzen der ersten in die zweite Gleichung entsteht:

$$I_2 = \frac{U_{q1} - U_{q2}}{R_{i1} + R_{i2}} - \frac{IR_{i1}}{R_{i1} + R_{i2}}$$

**358.** (Bild 140) Zwei parallelgeschaltete Generatoren haben die Quellenspannung  $U_{q1} = 110$  V und  $U_{q2} = 109$  V.  $R_{i1} = R_{i2} = 20$  mΩ. Berechne den nutzlos fließenden Strom  $I_2$  sowie  $I_1$ , wenn a)  $I = 0$  und b)  $I = 10$  A.

**359.** Wie liegen die Verhältnisse, wenn  $U_{q2} = 109,9$  V ist?

**360.** (Bild 141) Zwei Spannungsquellen  $U_{q1} = 60$  V und  $U_{q2} = 55$  V sind gegeneinander geschaltet.  $U_{q1}$  wirkt als Generator,  $U_{q2}$  als Motor. Welcher Strom  $I_2$  fließt, und wie

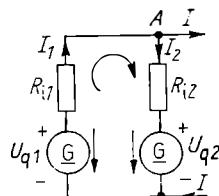


Bild 140.  
Aufgaben 358 und 359

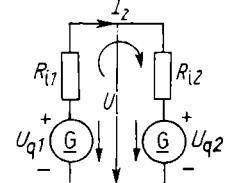


Bild 141.  
Aufgaben 360 bis 362

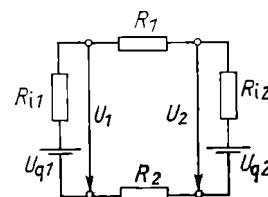


Bild 142.  
Aufgabe 363

groß ist die gemeinsame Klemmenspannung  $U$ ?  $R_{i1} = 0,3$  Ω;  $R_{i2} = 0,5$  Ω

**361.** (Bild 141) Welche Quellenspannung und Klemmenspannung hat der Motor  $U_{q2}$ , wenn ein Strom von 15 A fließt?  $U_{q1} = 60$  V;  $R_{i1} = 0,3$  Ω;  $R_{i2} = 0,5$  Ω

**362.** (Bild 141) Es wird eine Klemmenspannung von 50 V gemessen. Wie groß ist die Quellenspannung  $U_{q2}$ , und welcher Strom  $I_2$  fließt?  $U_{q1} = 60 \text{ V}$ ;  $R_{11} = 0,3 \Omega$ ;

$$R_{12} = 0,5 \Omega$$

**363.** (Bild 142)  $U_{q1} = 60 \text{ V}$ ;  $U_{q2} = 55 \text{ V}$ ;  $R_{11} = 0,3 \Omega$ ;  $R_{12} = 0,45 \Omega$ ;  $R_1 = 20 \Omega$ ;  $R_2 = 30 \Omega$ . Welcher Strom fließt, und welches sind die Klemmenspannungen  $U_1$  und  $U_2$ ?

**364.** Ein Bleiakkumulator mit einem inneren Widerstand von  $0,05 \Omega$  wird mit einem Generator der Quellenspannung 3 V ( $R_1 = 0,5 \Omega$ ) von 2,2 bis 2,7 V Quellenspannung geladen. Wie groß sind der Ladestrom und die Klemmenspannung bei a) Beginn und b) Beendigung des Ladevorganges?

**365.** Zwei Bleiakkumulatoren von  $U_{q1} = 1,95 \text{ V}$  ( $R_{11} = 0,015 \Omega$ ) und  $U_{q2} = 1,90 \text{ V}$  ( $R_{12} = 0,008 \Omega$ ) werden parallelgeschaltet. Wie groß sind Klemmenspannung und Ausgleichstrom?

**366.** Der in Aufgabe 365 genannten Batterie wird ein Strom von 5 A entnommen. Wie groß sind die Teilströme und die Klemmenspannung?

**367.** Zwei Anodenbatterien von 120 V ( $R_{11} = 150 \Omega$ ) und 116 V ( $R_{12} = 180 \Omega$ ) sind parallelgeschaltet. Wie groß sind a) die Klemmenspannung und der Ausgleichstrom  $I_2$  im Leerlauf, b) die Klemmenspannung und Teilströme bei Entnahme von 150 mA? c) Bei welcher Stromentnahme ist  $I_2$  gerade gleich Null?

**368.** (Bild 143) Mit einer Glühlampe von 40 W in Reihe liegt an der Spannung 220 V eine Pufferbatterie von 4 V. a) Wie groß ist der Ladestrom  $I_2$ , wenn der Batterie kein Strom entnommen wird? b) Welcher Strom  $I_2'$  fließt, wenn 3 A aus der Batterie entnommen werden? Der innere Widerstand der Batterie und des Generators werde vernachlässigt.

**369.** Die Lichtmaschine eines Motorrades hat die Betriebsspannung 6,5 V ( $R_{11} = 0,5 \Omega$ ) und speist mit einer Batterie von 6 V ( $R_{12} = 0,01 \Omega$ ) einen 30-W-Scheinwerfer. Wie groß sind a) der Ladestrom, b) die Teilströme und Klemmenspannung bei eingeschalteter Lampe?

**370.** (Bild 144) 15 Bleizellen von je 1,8 V und  $0,03 \Omega$  sollen mit maximal 3 A an einem

Gleichstromnetz mit konstanter Spannung  $U_{q1} = 110 \text{ V}$  geladen werden. Auf welchen Wert muß der Vorschaltwiderstand  $R_S$  eingestellt werden?

**371.** Zwei nach Bild 140 parallelgeschaltete Spannungsquellen von  $U_{q1} = 20 \text{ V}$  und  $R_{11} = 0,1 \Omega$  bzw.  $U_{q2} = 30 \text{ V}$  und  $R_{12} = 0,2 \Omega$  sollen durch eine einzige ersetzt werden, die denselben Strom  $I = 5 \text{ A}$  liefert. Wie groß müssen deren Quellenspannung und innerer Widerstand sein, und welchen Wert hat die Klemmenspannung?

**372.** (Bild 145) Zwei parallelgeschaltete Spannungsquellen liegen an einem gemeinsamen äußeren Widerstand. Gegeben:  $U_{q1} = 220 \text{ V}$ ;  $U_{q2} = 219 \text{ V}$ ;  $R_{11} = 0,5 \Omega$ ;  $R_{12} = 0,7 \Omega$ . Berechne  $I$ ,  $I_1$  und  $I_2$ , wenn a)  $R_a = 15 \Omega$ ; b)  $R_a = 50 \Omega$ ; c)  $R_a = 200 \Omega$  ist.

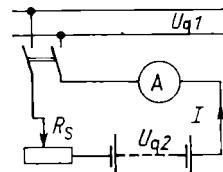
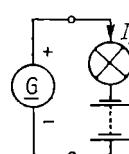


Bild 143. Aufgabe 368 Bild 144. Aufgabe 370

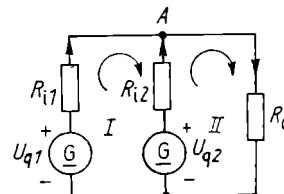


Bild 145.  
Aufgaben 372  
bis 375

**373.** (Bild 145) a) Wie liegen die Verhältnisse in Aufg. 372, wenn der äußere Widerstand  $R_a = \infty$  ist (Leerlauf)? b) Wie liegen die Verhältnisse, wenn  $R_a = 0$  ist (Kurzschluß)?

**374.** (Bild 145) Welchen Wert muß in Aufg. 372 der äußere Widerstand  $R_a$  haben, damit der Ausgleichstrom  $I_2 = 0$  wird?

**375.** (Bild 145) Die Lichtmaschine eines PKW hat den Innenwiderstand  $0,3 \Omega$  und speist eine Batterie von der Quellenspannung 6,2 V und dem Innenwiderstand  $0,004 \Omega$ . Welche Werte haben der Batteriestrom  $I_2$ , der Verbraucherstrom  $I$  und die Verbraucherspannung, wenn die Quellenspannung der Maschine zwischen a) 8 V und b) 14 V schwankt und der Außenwiderstand  $R_a = 0,3 \Omega$  beträgt?

## 4. Leistung und Arbeit des Gleichstroms

### 4.1. Die elektrische Leistung

*Formeln:*

$$P = UI$$

$$P = I^2 R$$

$$P = \frac{U^2}{R}$$

$$\eta = \frac{P_N}{P_N + P_v}$$

Größe	Zeichen	Einheit
Leistung	$P$	W, kW
Wirkungsgrad	$\eta$	1
Nutzleistung	$P_N$	W, kW
Verlustleistung	$P_v$	W, kW

**376.** Von welchen Strömen werden folgende 125-V-Lampen durchflossen: a) 25 W, b) 40 W, c) 60 W, d) 75 W?

**377.** Ein elektrischer Heizofen mit dem Widerstand 48,4  $\Omega$  liegt an einer Spannung von 220 V. Wie groß ist seine Leistung?

**378.** Welche Leistung geht in einem 200 m langen Kupferdraht von 1,5 mm<sup>2</sup> Querschnitt, durch den ein Strom von 8,5 A fließt, durch Erwärmung verloren?

**379.** Welche Leistung verbraucht ein Kofferempfänger bei 25 mA Stromaufnahme und 500  $\Omega$  Gerätewiderstand?

**380.** Ein Gefrierschrank nimmt bei der Spannung 220 V die Leistung 110 W auf. Wie groß ist die Stromstärke?

**381.** Welche Leistung verbraucht eine Lichtbogenschweißmaschine für 25 V Spannung bei einem Strom von 240 A?

**382.** Eine Solarzelle liefert die Leerlaufspannung 0,48 V und den Kurzschlußstrom 0,8 A. Welche Leistung und welchen Strom gibt sie ab, wenn  $R_s = R_l$  ist?

**383.** Eine 150-W-Projektionslampe für 125 V wird über einen Vorschaltwiderstand mit der Netzspannung von 220 V gespeist. Welche Lei-

stung  $P_v$  verbraucht der Vorschaltwiderstand?

**384.** Welche Leistung geht infolge des inneren Widerstandes von 1,4  $\Omega$  eines Generators durch Erwärmung verloren? Die Klemmenspannung beträgt 78 V und die Quellenspannung 85 V.

**385.** Bei längerem Gebrauch zerstäubt der Wolframdraht einer Glühlampe teilweise. Wie ändert sich dadurch die Leistungsaufnahme der Lampe?

**386.** Welche Gesamtleistung darf hinter einer Sicherung von 6 A, 10 A bzw. 15 A höchstens installiert werden, und zwar a) bei einer Netzspannung von 220 V, b) bei einer Netzspannung von 125 V?

**387.** Mit wieviel Watt wird ein an einer Spannung von 3000 V liegender Spannungsteiler (bzw. jeder einzelne Widerstand) belastet, der aus 10 in Reihe geschalteten Widerständen von je 10 k $\Omega$  besteht?

**388.** Wie groß muß jeder einzelne dieser 10 Widerstände bei gleicher Spannung sein, wenn die Belastung je Widerstand höchstens 2 W betragen darf?

**389.** Berechne den zulässigen Höchststrom folgender Widerstände, deren Belastbarkeit in Watt vorgeschrieben ist:

	a)	b)	c)	d)	e)	f)
Widerstand Belastbarkeit	1 $\Omega$ $\frac{1}{4}$ W	20 $\Omega$ $\frac{1}{2}$ W	10 k $\Omega$ 2 W	200 k $\Omega$ 3 W	2 M $\Omega$ 4 W	5 M $\Omega$ 10 W

**390.** Welche zulässige Höchstspannung darf an folgende Schichtwiderstände angelegt werden:

	a)	b)	c)	d)	e)
Widerstand	1 MΩ	1,125 MΩ	0,5 MΩ	375 kΩ	2,5 MΩ
Nennlast	0,25 W	0,5 W	2 W	6 W	10 W

**391.** Welche Leistung nimmt ein frei ausgespannter Chromnickeldraht, der bei 20 °C eine Länge von 20 cm hat, bei der Temperatur 800 °C und der Stromstärke 14,8 A auf? (Der Widerstand beträgt bei 20 °C je Meter 1,4 Ω.  $\alpha = 0,0007 \text{ } ^\circ\text{K}$ ,  $\beta = 0$ )

**392.** Um wieviel Prozent sinkt die Leistung eines Heizgerätes, wenn die Netzspannung von 220 V auf 215 V sinkt?

**393.** Die Leistung eines Heizgerätes soll verdoppelt werden. Um das Wievielfache muß man die angelegte Spannung erhöhen?

**394.** In einer Kochplatte befinden sich 2 Heizwiderstände von je  $R = 121 \Omega$  (Netzspannung 220 V), die wahlweise a) einzeln, b) hintereinander- oder c) parallelgeschaltet werden können. Welchen Leistungsaufnahmen entsprechen die verschiedenen Schaltungen?

**395.** Eine 220-V-Kochplatte enthält 2 Heizwiderstände, von denen der eine  $40 \Omega$  und der andere  $120 \Omega$  beträgt. Welche 4 verschiedenen Leistungen ergeben die verschiedenen Schaltungen?

**396.** Die beiden Einzelwiderstände  $R_1$  und  $R_2$  eines Heizgerätes geben einzeln bzw. zusammengeschaltet 4 verschiedene Leistungen  $P_1$  bis  $P_4$  ab, wobei die Zahlenwerte von  $P_1$  bis  $P_4$  eine geometrische Reihe bilden. Wie groß sind die beiden Widerstände  $R_1$  und  $R_2$ , wenn die größte Leistung  $P_4 = 1200 \text{ W}$  ist, und wie groß sind die Leistungen  $P_1$ ,  $P_2$  und  $P_3$ ? ( $U = 220 \text{ V}$ )

**397.** Einzeln bzw. zusammengeschaltet ergeben die beiden Heizwiderstände eines Gerätes 4 verschiedene Leistungen  $P_1$  bis  $P_4$ , von denen die kleinste  $P_1 = 121 \text{ W}$  und die größte  $P_4 = 645,33 \text{ W}$  beträgt. Wie groß sind die beiden Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  und die Leistungen  $P_2$  und  $P_3$ , wenn die Netzspannung 220 V beträgt?

**398.** Einer Spannungsquelle von der Quellenspannung 60 V und einem inneren Widerstand von  $1,5 \Omega$  soll eine Leistung von 60 W

entnommen werden. Welchen Widerstand muß der Verbraucher haben? Wie groß sind Klemmenspannung und Strom? (2 Lösungen)

**399.** Berechne den Gesamtwiderstand zweier parallelgeschalteter 220-V-Lampen von 60 W und 100 W. Berechne hieraus den Gesamtstrom und zur Probe die Gesamtleistung.

**400.** Zu einer Lampe (220 V/40 W) wird eine weitere Lampe parallelgeschaltet, wodurch der Widerstand um  $864 \Omega$  abnimmt. Wieviel Watt verbraucht die zweite Lampe?

**401.** Werden zwei für je 12 V bestimmte Lampen  $L_1$  und  $L_2$  in Reihe geschaltet und an 12 V angeschlossen, so fließt ein Strom von  $I' = 0,6 \text{ A}$ . Durch  $L_1$  allein fließt beim Anlegen von 12 V ein Strom von  $I = 1,5 \text{ A}$ . Welche Leistungen nehmen die Lampen bei normalem Betrieb auf, wenn von der Temperaturabhängigkeit ihres Widerstandes abgesehen wird?

**402.** An einer Spannung von 125 V liegen 85 Glühlampen von je 40 W. Beim Abschalten einer Gruppe steigt der Gesamtwiderstand um  $\Delta R = 15 \Omega$ . Wieviel Lampen brennen noch?

**403.** Durch Ausfall einer Anzahl parallelgeschalteter Glühlampen von je 60 W und 220 V steigt der Gesamtwiderstand um 40% an, und die Gesamtleistung beträgt nur noch 3,3 kW. Wieviel Lampen brannten ursprünglich, und wieviel sind ausgefallen?

**404.** Eine Lampe verbraucht bei der Spannung 125 V die Leistung 60 W. Mit welcher Leistung brennt sie bei der Spannung 220 V, wenn sie mit einem Vorschaltwiderstand in Reihe geschaltet wird, der bei 220 V allein die Leistung 80 W verbraucht?

**405.** Zwei in Reihe an die Spannung 220 V geschaltete Widerstände verbrauchen die Leistungen 80 W und 20 W. Wie groß sind diese Widerstände?

**406.** Die beiden auf Bild 146 angegebenen Lampen  $L_1$  und  $L_2$  sollen, in Reihe an eine Spannung von 6 V gelegt, mit den vorgeschriebenen Betriebsdaten brennen. Dies soll durch Verwendung eines Widerstandes erreicht werden. Wie ist dieser zu schalten, und welchen Wert muß er haben?

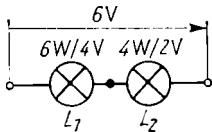


Bild 146.  
Aufgabe 406

**407.** Eine Lampe, die bei normaler Brennspannung 125 V 40 W verbraucht, wird über einen Widerstand  $R_v$  an die Spannung 220 V angeschlossen. Dabei verbraucht der Widerstand 20 W. Mit welcher Leistung brennt die Lampe? (2 Lösungen)

**408.** Eine Lampe, die bei normaler Brennspannung von 125 V 60 W verbraucht, wird über einen Vorschaltwiderstand  $R_v$  an die Spannung 220 V angeschlossen. Welchen Wert hat der Widerstand, wenn die Lampe dann nur noch 20 W verbraucht?

**409.** Ein Gleichstrommotor nimmt 12,86 kW auf. Welche Nutzleistung gibt er bei einem Wirkungsgrad von 85 % ab?

**410.** Weil ein Motor 0,4 kW weniger Leistung abgibt, als er aufnimmt, beträgt sein Wirkungsgrad nur 92 %. Welche Leistung gibt er ab?

**411.** Aus einer Lehngrube sollen bei täglich 6stündiger Arbeitszeit 12000 m<sup>3</sup> Wasser innerhalb von 3 Tagen über eine Förderhöhe von 8,5 m abgepumpt werden. Der Wirkungsgrad der Kreiselpumpe beträgt 70%, derjenige des Antriebsmotors 89 %. Welche Leistung nimmt der Motor auf?

**412.** Mittels einer Winde wird eine Masse von 4,5 t in 2,5 min um 9,3 m hoch gehoben. Der Antriebsmotor nimmt eine Leistung von 3,5 kW auf. Welchen Gesamtwirkungsgrad hat die Anlage?

**413.** Welche Wassermenge kann ein mit einer Druckpumpe gekoppelter Motor von 15 kW Leistungsaufnahme stündlich aus einem 140m tiefen Bergwerksschacht fördern, wenn der Wirkungsgrad der Pumpe 65 % und der des Motors 92 % beträgt?

## 4.2. Leistungsverlust auf Leitungen

*Formeln:*

$$A = \frac{200P_e}{zpU_e^2}$$

$$P_v = \frac{2lI^2}{zA}$$

$$p = \frac{100P_v}{P_e}$$

Größe	Zeichen	Einheit
Leitungsquerschnitt	$A$	mm <sup>2</sup>
Länge der einfachen Leitung	$l$	m
Leitfähigkeit	$z$	Sm/mm <sup>2</sup>
Leistung und Spannung am Verbrauchsort	$P_e, U_e$	W, V
Leistungsverlust	$P_v$	W
prozentualer, auf die Leistung am Verbraucherort bezogener Verlust	$p$	1

**414.** Berechne den Leistungsverlust, wenn eine Leistung von 15 kW über eine Entfernung von 500 m (Kupfer) übertragen wird, und zwar a) bei einer Verbraucherspannung von 220 V (Leitungsquerschnitt 16 mm<sup>2</sup>), b) bei einer Verbraucherspannung von 2200 V (Leitungsquerschnitt 16 mm<sup>2</sup>), c) desgl. bei einem Leitungsquerschnitt von nur 1 mm<sup>2</sup>.

**415.** Der Leistungsverlust bei der Übertragung von 1 kW ist bei einer Verbraucherspannung von 125 V und einem Leitungsquerschnitt von 10 mm<sup>2</sup> gleich 550 W. Wie groß ist dieser

a) bei der 3fachen Spannung (gleiche Übertragungsleistung) und gleichem Leitungsquerschnitt,

b) bei ebenfalls 3facher Spannung, aber einem Querschnitt von  $4 \text{ mm}^2$ ?

**416.** Welchen Querschnitt muß eine Kupferleitung von 600 m Einfachlänge mindestens haben, wenn bei 418 V am Verbrauchsort eine Leistung von 30 kW mit höchstens 5% Verlust übertragen werden soll? (Kupfer:  $\chi = 57 \text{ Sm/mm}^2$ )

**417.** Wieviel Prozent der am Verbrauchsort zur Verfügung stehenden Leistung von 20 kW gehen in einer 2,4 km langen Kupferleitung von 8 mm Durchmesser verloren, wenn die Spannung beim Verbraucher 440 V beträgt? ( $\chi = 57 \text{ Sm/mm}^2$ )

**418.** Die Berechnung des erforderlichen Querschnittes ergibt für eine Kupferleitung  $23 \text{ mm}^2$ . Welchen Durchmesser müßte eine Aluminiumleitung haben, wenn der Verlust nicht größer sein darf?

**419.** An eine 2-Leiter-Freileitung von 0,6 km Länge ist ein Motor von 20 kW bei 220 V angeschlossen ( $\eta = 0,85$ ). Welchen Querschnitt muß die Kupferleitung aufweisen, wenn ein Leistungsverlust von 10% zugelassen wird ( $\chi = 57 \text{ Sm/mm}^2$ )?

**420.** Der 25-kW-Motor einer Baustelle ( $\eta = 0,80$ ) nebst 30 Lampen zu je 60 W benötigt eine Spannung von 220 V. Für die

1,6 km betragende Entfernung steht Kupferdraht von 6 mm Durchmesser zur Verfügung.

a) Wieviel Prozent der Motorleistung gehen bei der Übertragung verloren? b) Wieviel Kilowatt gehen verloren? c) Wie groß ist der Spannungsabfall in der Leitung? d) Welche Spannung  $U_a$  muß am Anfang der Leitung bestehen?

**421.** Eine 3 km entfernte Wasserpumpe benötigt zum Antrieb einen 440-V-Motor von 2 kW, dessen Wirkungsgrad 80 % beträgt. Wie groß muß der Leitungsquerschnitt (Kupfer) mindestens sein, wenn der Leistungsverlust 5 % nicht übersteigen soll?

**422.** Ein Windmotor soll am Verbrauchsort bei der Spannung 250 V eine Leistung von 3,5 kW erzeugen. a) Wieviel Prozent der Leistung gehen in der angeschlossenen Aluminiumleitung von 500 m Einfachlänge und 4 mm Durchmesser ( $\rho = 0,029 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ) verloren? b) Wieviel Watt gehen verloren? c) Welche Spannung muß der Generator erzeugen?

**423.** Welchen Querschnitt müßte eine Kupferleitung von 400 m einfacher Länge mindestens haben, wenn nicht mehr als 6% der abgegebenen Leistung von 4,5 kW verloren gehen sollen? Es soll eine Spannung von 110 V zur Verfügung stehen.

### 4.3. Die elektrische Arbeit

Formeln:

$$W = Pt$$

$$P = \frac{W}{t}$$

$$W = \frac{z}{n}$$

Größe	Zeichen	Einheit
Energie, elektrische Arbeit auf dem Zählerschild angegebene Anzahl der Umdrehungen je kWh abgelesene Anzahl der Umdrehungen	W n	kWh $1/\text{kWh}$
Zeit	z t	1 s oder h

**424.** Wieviel kostet der Betrieb eines elektrischen Kühlschranks mit der Motorleistung 450 kW für 15 h bei einem Preis von 8 Pf je kWh?

**425.** Auf dem Typenschild des Zählers steht: „1800 Ankerumdrehungen  $\triangleq 1 \text{ kWh}$ “. Beim

Anschluß einer Lampe dauert eine Umdrehung 75 s. Welche Leistung ergibt sich?

**426.** Beim Anschluß eines Motors an den gleichen Zähler werden je Minute 25 Umdrehungen festgestellt. Wie groß ist die Leistung des Motors?

**427.** Wie groß ist die Leistung, wenn bei dem gleichen Zähler 8 Umdrehungen in 5 min stattfinden?

**428.** Wieviel kosten bei diesem Zähler 300 Ankerumdrehungen bei einem Preis von 40 Pf/kWh?

**429.** Wieviel kostet der Betrieb von 4 Lampen zu je 40W, 2 Lampen zu je 60W und 1 Lampe zu 100W bei täglich 5 h Brenndauer während eines Monats (40 Pf/kWh)?

**430.** Wieviel kostet der monatliche Betrieb eines Rundfunkgerätes von 40 W bei täglich 6stündiger Benutzungsdauer im Monat (8Pf/kWh)?

**431.** Wieviel Kilowattstunden kann eine Akkumulatorenbatterie mit 20 Zellen speichern, von denen jede eine Kapazität von 60 Ah bei einer Klemmenspannung von 1,8 V aufweist?

**432.** Um einen Zähler zu eichen, wird die Leistung eines Verbrauchers gemessen und bei einem Spannungsabfall von 215 V ein Strom von 0,156 A festgestellt. Der Anker macht dabei 29 Umdrehungen in 30 min. Wieviel Umdrehungen je Kilowattstunde macht der Zähler?

**433.** Beim Anschluß eines elektrischen Gerätes macht der Zähler bei 218 V Spannung in 15 min 1350 Umdrehungen. Berechne hieraus die Stromstärke ( $n = 1800/\text{kWh}$ ).

**434.** Auf einem Gleichstrom-Motorzähler ist angegeben: 110 V, 35 A, 900 Umdr.  $\Delta \triangleq 1 \text{ kWh}$ . Bei einem Kontrollversuch wird für 150 Umdrehungen die Zeit 4 min 5,6 s gestoppt sowie  $U = 115 \text{ V}$  und  $I = 19,8 \text{ A}$  gemessen. Wie groß ist der prozentuale, auf den angezeigten Betrag bezogene Fehler des Zählers?

#### 4.4. Die Stromwärme

**Formeln:**

$$Q = mc(\vartheta_1 - \vartheta_2)$$

$$c_{\text{Wasser}} = 4,19 \text{ kJ/kg K}$$

$$1 \text{ Ws} = 1 \text{ J (Joule)}$$

$$1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$$

Größe	Zeichen	Einheit
Wärmemenge <sup>1)</sup>	$Q$	kJ (Kilojoule)
spezifische Wärmekapazität	$c$	kJ/kg K
Masse	$m$	kg
Anfangs- bzw. Endtemperatur	$\vartheta_1, \vartheta_2$	°C

<sup>1)</sup> Die früher benutzte Einheit der Wärmemenge 1 cal = 4,1868 J ist keine gesetzliche Einheit mehr

**435.** Wieviel kostet die Bereitung von 5 l siedendem Wasser (Anfangstemperatur 12 °C) bei einem Preis von 40 Pf/kWh und einem angenommenen Wirkungsgrad von 100%?

**436.** Wieviel Liter Wasser lassen sich mit 15 kWh von 15 °C auf 80 °C erwärmen? ( $\eta = 100\%$ )

**437.** Welche Wärmemenge erzeugt eine 60-W-Lampe bei 6stündiger Brennzeit (die geringe Lichtleistung werde vernachlässigt)?

**438.** Ein Teich enthält 10000 m<sup>3</sup> Wasser, das sich während der Nacht um 2 K abkühlt.

Welche Wärmemenge, ausgedrückt in Kilowattstunden, gibt das Wasser dabei ab?

**439.** Eine Kochplatte von 1000 W hat einen Wirkungsgrad von 70 %. Wieviel Wasser von 18 °C kann man in 15 min zum Sieden (100 °C) bringen?

**440.** Wie lange dauert es, um 5 l Wasser von 15 °C mit einer Kochplatte von 800 W ( $\eta = 75\%$ ) zum Sieden (100 °C) zu bringen?

**441.** Welche elektrische Leistung nimmt ein Kessel auf, der 300 l Wasser innerhalb von 2 h von 10 °C zum Sieden erhitzen soll? ( $\eta_i = 85\%$ )

**442.** Um eine bestimmte Wassermenge mit einem Tauchsieder zum Sieden zu bringen, braucht man bei 205 V Spannung 2 min länger als bei der vollen Netzspannung von 220 V. Welche Zeit wird bei 220 V hierfür benötigt?

**443.** Wieviel Liter Wasser können stündlich mit einem Heißwasserbereiter von 2,4 kW von 10 °C auf 60 °C erwärmt werden? ( $\eta = 90\%$ )

**444.** Wieviel kostet die Bereitung eines Wan nenbades von 150 l Inhalt, wenn das Wasser von 14 °C auf 42 °C bei einem Preis von 40 Pf/kWh elektrisch erwärmt wird? ( $\eta = 80\%$ )

**445.** Welche Wärmemenge gibt eine 100 m lange Doppelleitung (Kupfer, 1 mm<sup>2</sup> Quer-

schnitt), die von 6 A durchflossen wird, stündlich an die Umgebung ab?

**446.** Welchen Widerstand hat der Heizkörper eines Kochgerätes (220 V), in dem 2 l Wasser von 12 °C innerhalb einer Viertelstunde zum Sieden gebracht werden? ( $\eta = 78\%$ )

**447.** Welche Wärmemenge entwickelt stündlich ein Vorschaltwiderstand, an dem eine Spannung von 110 V bei einer Stromstärke von 5 A abfällt?

**448.** Ein Heißwasserspeicher enthält 120 l Wasser von 12 °C. Wieviel Kilowatt verbraucht dieser, wenn bis zum ersten Abschalten bei 85 °C eine Zeit von 1½ h vergangen ist? ( $\eta = 90\%$ )

## 4.5. Die Leistung in Stromkreisen

*Hinweis:*

Jeder beliebige elektrische Widerstand gibt je nach Stromstärke bzw. anliegender Spannung Leistung in nichtelektrischer Form – meist durch Wärmeentwicklung – ab.

**449.** (Bild 147) Der Gesamtleistungsverbrauch der Schaltung ist 80 W. Zu berechnen sind die Leistungen der einzelnen Widerstände  $R_1 = 4 \Omega$ ,  $R_2 = 6 \Omega$ ,  $R_3 = 8 \Omega$  und  $R_4 = 2 \Omega$ .

**450.** In welchem Verhältnis stehen zwei parallelgeschaltete Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  zueinander, wenn die in ihnen umgesetzten Leistungen  $P_1$  und  $P_2$  bekannt sind?

**451.** (Bild 148) Gegeben:  $U_q = 60 \text{ V}$ ;  $U_k = 58 \text{ V}$ ;  $P_a = 2,4 \text{ kW}$

Gesucht:  $R_i$ ,  $R_a$ ,  $I$

**452.** (Bild 148) Gegeben:  $U_q = 4,5 \text{ V}$ ;  $P_a = 6 \text{ W}$ ;  $I = 1,4 \text{ A}$

Gesucht:  $R_i$ ,  $R_a$ ,  $U_k$

**453.** (Bild 148) Gegeben:  $U_q = 10 \text{ V}$ ;  $P_i = 10 \text{ W}$ ;  $P_a = 100 \text{ W}$

Gesucht:  $I$ ,  $R_i$ ,  $R_a$ ,  $U_k$

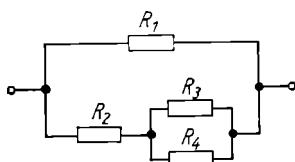


Bild 147.  
Aufgabe 449

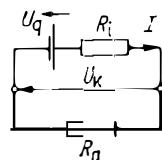


Bild 148.

Aufgaben 451 bis 453

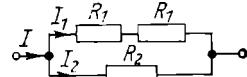


Bild 149.

Aufgabe 454

**454.** (Bild 149) Welche Werte müssen die beiden gleich großen Widerstände  $R_1$  sowie  $R_2$  haben, wenn bei einer Gesamtstromstärke von 2 A jeder Widerstand 6 W verbrauchen soll?

**455.** (Bild 150) Der Widerstand  $R_1$  verbraucht 12 W. Welche Leistung verbraucht der Widerstand  $R_3$ , wenn die Widerstände  $R_1 = 3 \Omega$ ,  $R_2 = 4 \Omega$  und  $R_3 = 5 \Omega$  gegeben sind?

**456.** (Bild 151) Gegeben sind die Widerstände  $R_2 = 10 \Omega$  und  $R_3 = 20 \Omega$ . Welchen Wert muß der Widerstand  $R_1$  haben, wenn er zusammen mit dem Widerstand  $R_2$  die gleiche Leistung verbrauchen soll wie der Widerstand  $R_3$ ?

**457.** (Bild 152) Gegeben sind die Widerstände  $R_1 = 12 \Omega$  und  $R_3 = 3 \Omega$ .  $R_3$  soll die gleiche Leistung verbrauchen wie  $R_1$ . Wie groß müssen dann die beiden gleich großen Widerstände  $R_2$  und  $R_4$  sein?

**458.** (Bild 152) Gegeben sind die Widerstände  $R_2 = R_4 = 2 \Omega$  und  $R_3 = 5 \Omega$ . Nach Vertauschung von  $R_1$  mit  $R_3$  beträgt der gesamte Leistungsverbrauch der Schaltung nur noch die Hälfte. Welchen Wert muß der Widerstand  $R_1$  haben?

**459.** (Bild 153) Gegeben sind die Widerstände  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 15 \text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 20 \text{ k}\Omega$  und  $R_4 = 25 \text{ k}\Omega$  sowie der durch  $R_3$  fließende Strom  $I_3 = 4 \text{ mA}$ . Welche Leistungen verbrauchen die einzelnen Widerstände und die gesamte Schaltung?

**460.** (Bild 154) Gegeben sind die Widerstände  $R_1 = 3 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 6 \text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_4 = 0,5 \text{ k}\Omega$ ,  $R_5 = 1 \text{ k}\Omega$  und der gesamte Leistungsverbrauch der Schaltung  $P = 0,5 \text{ W}$ . Zu berechnen sind die gesamte Spannung  $U$ , die Spannungsabfälle in den einzelnen Widerständen und die von diesen verbrauchten Leistungen.

**461.** (Bild 155) Gegeben sind die Widerstände  $R_1 = 5 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 8 \text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_4 = 1,5 \text{ k}\Omega$  sowie der durch den Widerstand  $R_2$  fließende Strom  $I_2 = 4 \text{ mA}$ . Wie groß sind die gesamte an der Schaltung liegende Spannung  $U$  und die gesamte verbrauchte Leistung  $P$ ?

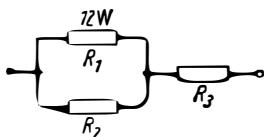


Bild 150.  
Aufgabe 455

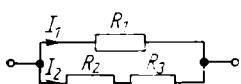


Bild 151. Aufgabe 456

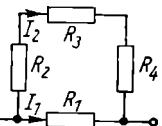


Bild 152. Aufgaben  
457 und 458

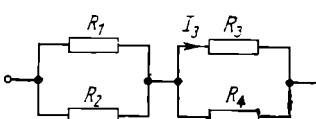


Bild 153.  
Aufgabe 459

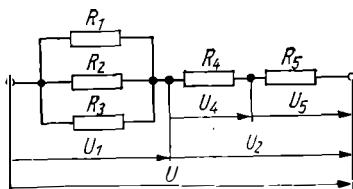


Bild 154.  
Aufgabe 460

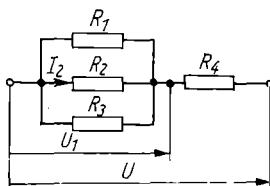


Bild 155.  
Aufgabe 461

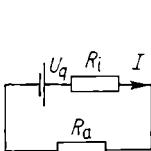


Bild 156. Aufgabe 462

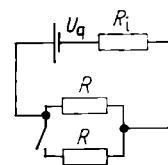


Bild 157. Aufgabe 463

**462.** (Bild 156) Gegeben sind die Quellenspannung  $U_q = 6,3 \text{ V}$  und der Innenwiderstand  $R_i = 0,5 \Omega$ .

a) Wie groß ist die Stromstärke, wenn der Arbeitswiderstand  $R_a$  die Leistung 10 W umsetzt? (2 Lösungen)

b) Durch welche beiden Werte von  $R_a$  wird dieser Fall realisiert?

c) Welche Leistung kann der Arbeitswiderstand  $R_a$  im Höchstfall abgeben?

d) Welchen Wert hat der Arbeitswiderstand  $R_a$  im Fall maximaler Leistung?

**463.** (Bild 157) Wird der eine der beiden äußeren Widerstände  $R$  abgeschaltet, so verbraucht der verbleibende Widerstand die gleiche Leistung wie vorher beide zusammen.

a) Welchen Wert haben sie, wenn der innere Widerstand der Spannungsquelle  $R_i$  und deren Quellenspannung  $U_q$  gegeben sind; b) wie groß ist die abgegebene Leistung und c) wie groß sind die Stromstärken vor und nach dem Abschalten?

## 5. Grundgrößen des magnetischen Feldes

$$1 T (T_{es/q}) = 1 \text{ Wb/m}^2$$

### 5.1. Das magnetische Feld in eisenlosen Spulen

**Formeln:**

$$H = \frac{IN}{l}$$

$$B = \mu_0 \mu_r H$$

$$\Phi = BA$$

$$\Phi = \frac{\mu_r \mu_0 A IN}{l}$$

Größe	Zeichen	Einheit
Feldstärke	$H$	A/m
Induktion (magnet. Flußdichte)	$B$	V s/m <sup>2</sup> = Wb/m <sup>2</sup> = T
magnetischer Fluß	$\Phi$	V s = Wb
Flußquerschnitt	$A$	m <sup>2</sup>
mittlere Länge der Feldlinien	$l$	m
Windungszahl	$N$	1
magnetische Feldkonstante	$\mu_0$	$1,257 \cdot 10^{-6}$ V s/A m
Permeabilitätszahl	$\mu_r$	1
für Luft und eisenfreie Stoffe ist praktisch $\mu_r = 1$		

**Hinweis:**

Die 1. und 4. Gleichung gelten genau nur für das Innere von Ringspulen (Bild 158) sowie näherungsweise für das Innere von Zylinderspulen, wenn  $l > 5d$  ist (Bild 159).

**464.** (Bild 158) Ein Keramikring, dessen äußerer Durchmesser  $d_1 = 60$  mm und innerer Durchmesser  $d_2 = 50$  mm beträgt, ist mit 300 Windungen CuL-Draht von 0,8 mm äußerem Durchmesser bewickelt. Stromstärke 1,5 A. Zu berechnen sind a) die Feldstärke, b) die Induktion in T, c) der magnetische Fluß in Wb.

**465.** Desgl., jedoch  $d_1 = 45$  mm,  $d_2 = 38$  mm, Drahtdurchmesser 1,2 mm, 80 Windungen, Strom  $I = 2,4$  A.

**466.** Desgl., jedoch  $d_1 = 66$  mm,  $d_2 = 46$  mm, Drahtdurchmesser 1,5 mm, 75 Windungen,  $I = 3,5$  A.

**467.** Desgl., jedoch  $d_1 = 120$  mm,  $d_2 = 85$  mm, äußerer Drahtdurchmesser 1,6 mm. Der Kern soll einlagig möglichst dicht bewickelt werden, so daß die Windungen sich an der Innenseite des Rings berühren. – a) Wieviel Windungen können untergebracht werden? Wie groß ist b) die Feldstärke bei  $I = 2,2$  A, c) die Induktion, d) der magnetische Fluß?

**468.** Eine Ringspule von  $3,5 \text{ cm}^2$  Ringquerschnitt und 35 cm mittlerer Kraftlinien-

länge weist einen magnetischen Fluß von  $65 \cdot 10^{-8}$  Wb auf. Welcher Strom fließt durch die 250 Windungen?

**469.** Wieviel Amperewindungen muß eine Ringspule von  $2,85 \text{ cm}^2$  Ringquerschnitt tragen, wenn ein Fluß von  $8,2 \cdot 10^{-7}$  Wb erzeugt werden soll? Mittlerer Weg der Feldlinien 42 cm.

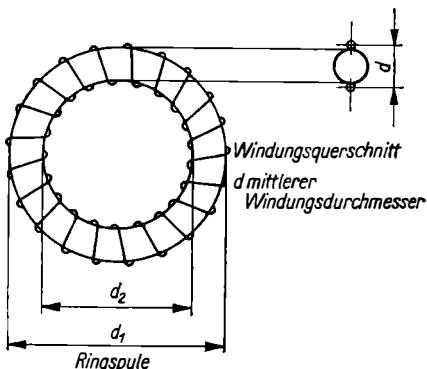


Bild 158. Aufgaben 464 bis 471

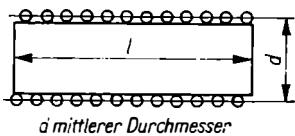


Bild 159.  
Aufgaben 472  
bis 480

**470.** Mit wieviel Windungen muß eine Ringspule bewickelt werden, wenn ein Strom von  $0,2 \text{ A}$  eine Induktion von  $0,65 \cdot 10^{-3} \text{ T}$  erzeugen soll? Mittlere Feldlinienlänge  $28,5 \text{ cm}$ .

**471.** Der magnetische Fluß der in Aufgabe 464 berechneten Ringspule soll nur  $6 \cdot 10^{-8} \text{ Wb}$  betragen. Wieviel Windungen darf die Spule unter sonst gleichen Verhältnissen nur noch tragen?

**472.** (Bild 159) Eine Zylinderspule von  $l = 23 \text{ cm}$  Länge und  $d = 2,5 \text{ cm}$  mittlerem Durchmesser trägt 210 Windungen. Stromstärke  $1,8 \text{ A}$ . Wie groß sind a) die Feldstärke, b) die Induktion, c) der magnetische Fluß?

**473.** Eine Plasthülse von  $40 \text{ mm}$  Länge und  $6,5 \text{ mm}$  Durchmesser ist einlagig lückenlos mit CuL-Draht von  $0,1 \text{ mm}$  Durchmesser bewickelt. Wie groß sind Induktion und Fluß bei  $50 \text{ mA}$ ?

**474.** Durch Vergrößerung des Durchmessers soll der magnetische Fluß der in Aufg. 473 berechneten Spule bei sonst gleichen Verhältnissen auf  $3 \cdot 10^{-8} \text{ Wb}$  erhöht werden. Wie groß ist der neue Durchmesser der Hülse?

**475.** Es soll eine Zylinderspule einlagig und lückenlos bewickelt werden, daß sie bei einem

Strom von  $2 \text{ A}$  und einem äußeren Drahtdurchmesser von  $1,2 \text{ mm}$  einen Fluß von  $300 \cdot 10^{-8} \text{ Wb}$  erzeugt. Welche Abmessungen muß die Spule haben, wenn der Fehler der Berechnung  $2\%$  nicht überschreiten soll?

**476.** Eine Zylinderspule von  $3 \text{ cm}$  mittlerem Durchmesser trägt je Zentimeter 15 Windungen, durch die ein Strom von  $120 \text{ mA}$  fließt. Wie groß sind a) die Induktion und b) der magnetische Fluß?

**477.** Wieviel Windungen je Zentimeter enthält eine lange Zylinderspule, die bei einem Durchmesser von  $2,5 \text{ cm}$  und einem Strom von  $1,4 \text{ A}$  den Fluß  $18 \cdot 10^{-8} \text{ Wb}$  erzeugt?

**478.** Welche Länge hat eine Zylinderspule, die bei einem Querschnitt von  $5,12 \text{ cm}^2$ , einer Stromstärke von  $2,5 \text{ A}$  und einer Lage von 350 Windungen einen Fluß von  $7,5 \cdot 10^{-7} \text{ Wb}$  erzeugt?

**479.** Eine einlagige Spule von  $1,8 \text{ cm}$  Durchmesser trägt je Zentimeter 12 Windungen. Welchen Durchmesser muß eine zweite Spule haben, die bei der gleichen Stromstärke mit 8 Windungen je Zentimeter den gleichen Fluß erzeugt?

**480.** Eine lange Zylinderspule hat einen Durchmesser von  $2,5 \text{ cm}$ . Welchen Durchmesser muß eine zweite Spule gleicher Länge haben, wenn sie bei gleicher Windungszahl mit der halben Stromstärke einen um  $20\%$  stärkeren Fluß erzeugen soll?

## 5.2. Das magnetische Feld im Innern und in der Umgebung von Leitungen

$$|\mathbf{H}| = \frac{I}{2\pi r}$$

$$|\mathbf{B}| = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

außerhalb des Leiters

$$|\mathbf{H}| = \frac{Ir}{2\pi r_0^2}$$

$$|\mathbf{B}| = \frac{\mu_0 Ir}{2\pi r_0^2}$$

innerhalb des Leiters

Größe	Zeichen	Einheit
Betrag der Feldstärke	$ \mathbf{H} $	A/m
Betrag der Induktion (magnet. Flußdichte)	$ \mathbf{B} $	V s/m <sup>2</sup> = T
Abstand vom Leitermittelpunkt	$r$	m
Radius des Leiters	$r_0$	m
magnetische Feld- konstante $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ V s/A m}$		
oder auch $\frac{4\pi}{10} \cdot 10^{-6} \text{ V s/A m}$		

### Anleitung:

Die magnetische Feldstärke  $\mathbf{H}$  und die Induktion (magnetische Flussdichte)  $\mathbf{B}$  sind vektorielle, d. h. gerichtete Größen. Überlagern sich in einem Feldpunkt die von mehreren elektrischen Strömen herrührenden Feldstärken, so findet man die Resultierende wie bei der Addition von Kräften als Diagonale des aus den Komponenten gebildeten Parallelogramms. In den Aufgaben 481 bis 491 sind Feldstärke und Induktion als gerichtete Größen (Vektoren) zu behandeln.

**481.** Ein dünner gerader Leiter wird von 3,5 A durchflossen. Welche Feldstärke herrscht in einer Entfernung von a) 5 cm, b) 10 cm, c) 18 cm vom Mittelpunkt des Leiters?

**482.** Welche Induktion besteht in der Entfernung a) 2 cm, b) 8 cm, c) 12 cm vom Mittelpunkt eines dünnen geraden Leiters, der von 7,5 A durchflossen wird?

**483.** Welche Feldstärke und Induktion herrschen im Inneren folgender Leiter von kreisförmigem Querschnitt?

	a)	b)	c)	d)
Stromstärke in A	30	80	200	350
Drahtdurchmesser in mm	4	9	11	35
Abstand vom Mittelpunkt in mm	1,5	4	3	17,5

**484.** Stelle den Verlauf der Feldstärke für Aufg. 483d) in Abhängigkeit vom Mittelpunktsabstand  $r$  innerhalb und außerhalb des Leiters grafisch dar.

**485.** (Bild 160) Zwei parallele Drähte (Hin- und Rückleitung) im Abstand 350 cm führen je 25 A. Welche Feldstärke besteht in den Punkten A, B und C der Skizze?

**486.** (Bild 161) Zwei parallele Drähte im Abstand 45 cm führen je 18 A. Die Stromrichtung ist in beiden Leitern die gleiche. Welche Feldstärke besteht in den Punkten A, B und C der Skizze?

**487.** (Bild 162) Zwei Leiter laufen parallel (Hin- und Rückleitung) in 30 cm Entfernung und führen je 15 A. Wie groß sind die in den Punkten A und B der Skizze bestehenden Feldstärken?

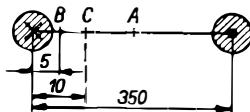


Bild 160.  
Aufgabe 485  
(Maße in mm)

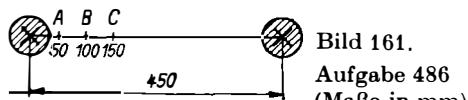


Bild 161.  
Aufgabe 486  
(Maße in mm)

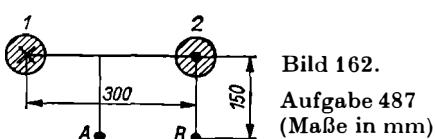


Bild 162.  
Aufgabe 487  
(Maße in mm)

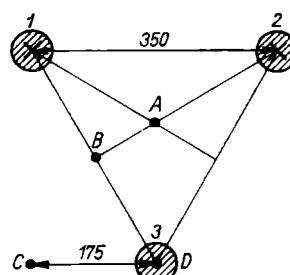


Bild 163.  
Aufgabe 488  
(Maße in mm)

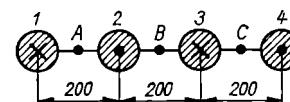


Bild 164.  
Aufgabe 489  
(Maße in mm)

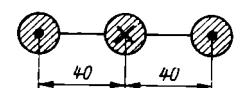


Bild 165.  
Aufgabe 490  
(Maße in mm)

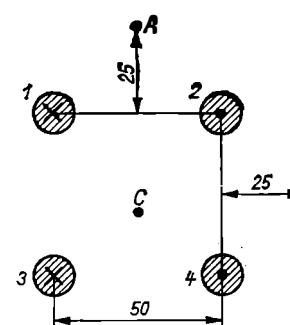


Bild 166.  
Aufgabe 491  
(Maße in mm)

**488.** (Bild 163) Drei parallele Leiter bilden ein gleichseitiges Dreieck von 35 cm Seitenlänge. (1) und (2) führen je 40 A, (3) führt 80 A. Die in den Punkten A, B, C und D bestehende Induktion ist auf grafischem Wege zu ermitteln.

**489.** (Bild 164) Berechne die Induktion in den Punkten A, B und C zwischen den vier parallelen Leitern, von denen jeder den Strom 20 A führt.

### 5.3. Die Magnetisierungskurve

Formeln:

$$B = \mu_0 \mu_r H$$

$$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 H}$$

Größe	Zeichen	Einheit
Feldstärke	H	A/m
Induktion (magnet. Flußdichte)	B	V s/m <sup>2</sup> = T
magnetische Feldkonstante	$\mu_0$	$1,257 \cdot 10^{-6}$ Vs / A m
Permeabilitätszahl	$\mu_r$	1

Hinweis:

Da jede Eisen- bzw. Blechsorte ein arteigenes magnetisches Verhalten zeigt, werden in den folgenden Aufgaben nur die auf Bild 167 wiedergegebenen typischen Magnetisierungskurven verwendet. Erst in deren geradlinigem Teil (magnetische Sättigung) ist  $\mu_r$  eine Konstante.

**492.** Welchen Feldstärken in A/m entsprechen folgende Induktionen in Dynamoblech: a) 1,5 T; b) 1,2 T; c) 0,6 T; d) 0,2 T; e) 0,85 T; f) 1,22 T?

**493.** Welchen Induktionen in T entsprechen folgende Feldstärken in Grauguß: a) 150 A/m; b) 250 A/m; c) 1500 A/m; d) 143 A/cm; e) 183 A/cm; f) 9,75 A/cm?

**494.** Welchen Feldstärken in A/m entsprechen folgende Induktionen in legiertem Blech: a)  $16 \cdot 10^{-2}$  T; b) 1,15 T; c) 1,625 T; d) 2,2 T?

**495.** Welche Feldstärke in A/m und Permeabilitätszahl hat Dynamoblech bei folgenden

**490.** (Bild 165) Drei parallele Leiter mit je 5 A liegen in einer Ebene (Drahtdurchmesser 8 mm). Stelle den Verlauf der Induktion in einer Querschnittskizze grafisch dar.

**491.** (Bild 166) Berechne für die angegebene Leiteranordnung die in den Punkten A, B und C bestehende Induktion und ermittle auf grafischem Wege die Resultierende. Jeder Leiter führt 8 A.

### 5.4. Induktion, magnetischer Fluß und Streuung

Formeln:

$$B = \mu_0 \mu_r H$$

$$\Phi = BA$$

$$\sigma = \frac{\Phi_s}{\Phi_n}$$

Größe	Zeichen	Einheit
Permeabilitätszahl	$\mu_r$	1
Streugrad	$\sigma$	1
Gesamtfluß	$\Phi$	V s = Wb
Streufluß	$\Phi_s$	V s = Wb
Nutzfluß	$\Phi_n$	V s = Wb
Feldquerschnitt	A	m <sup>2</sup>
magnetische Feldkonstante $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6}$ Vs/A m		

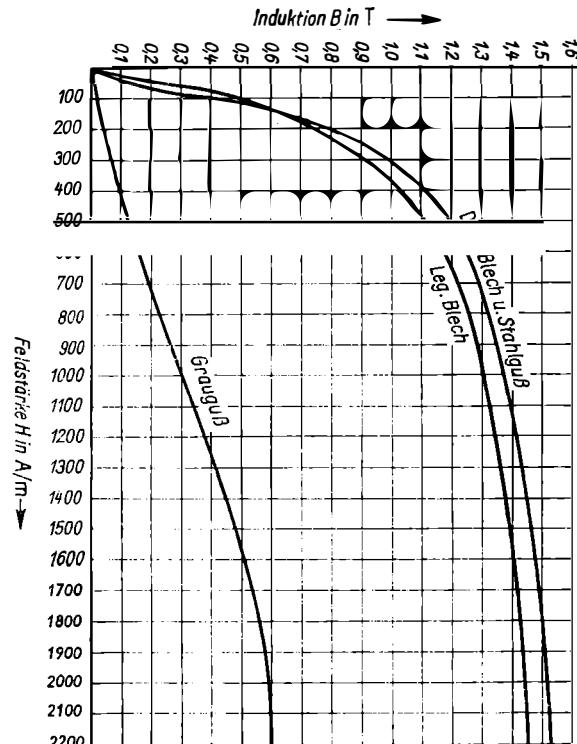
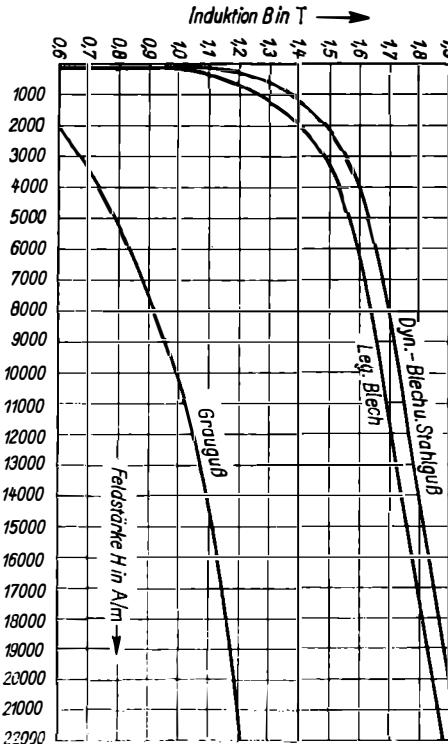
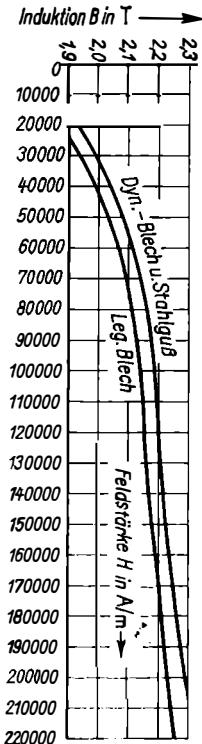


Bild 167. Magnetisierungskurven

*Hinweis:*

Da die magnetischen Feldlinien, insbesondere in der Umgebung von Luftspalten, z. T. auf Nebenwegen verlaufen, ist der nutzbare Fluß  $\Phi_n$  in manchen Teilen eines magnetischen Kreises kleiner als erwartet. Der Unterschied wird als Streufluß  $\Phi_s$  rechnerisch berücksichtigt.

**499.** Berechne den magnetischen Fluß für folgende Querschnitte  $A$  und Induktionen  $B$ :

	a)	b)	c)	d)	e)
$A$ in $\text{cm}^2$	4	16,5	0,4	3,5	11,2
$B$ in T	1,25	0,82	0,055	0,0068	1,24

**500.** Berechne die Induktionen (T) für folgende Feldstärken und Permeabilitätszahlen:

	a)	b)	c)	d)	e)
$H$ in mA/m	20	40	65	4	32
$\mu_r$	700	800	2200	1920	2100

**501.** Welcher magnetische Fluß herrscht in folgenden laminierten Eisenkernen:

	a)	b)	c)	d)	e)	
Brutto-Eisen-						
querschnitt	$A$ in $\text{cm}^2$	2,55	3,25	7,8	16	34
Eisenfüllfaktor	$k_{Fe}$	0,85	0,85	0,95	0,95	0,95
$\mu_r$	350	2000	700	700	850	
$H$ in A/m	2	2	2	2,5	2,65	

**502.** In dem in Bild 168 gezeichneten Stahlgußkegel mit kreisförmigem Querschnitt herrscht ein magnetischer Fluß von  $2 \cdot 10^{-4}$  Wb. Welche Induktionen bestehen a) an der Basis, b) am verjüngten Ende?

**503.** Stelle den Verlauf der Induktion längs der Achse des Kegels grafisch dar.

**504.** Ein Transformatorenkern vom Querschnitt  $22 \text{ mm} \times 18 \text{ mm}$  hat einen Luftspalt, in dem eine Induktion von  $0,95 \text{ T}$  festgestellt wird. Welcher Fluß herrscht im übrigen Eisenkreis bei einem Streugrad von  $0,15$ ?

**505.** Welche Induktion steht in einem Luftspalt mit kreisförmigem Querschnitt ( $d = 15 \text{ mm}$ ) nutzbar zur Verfügung, wenn im

übrigen Eisenkern ein Fluß von  $1,08 \cdot 10^{-4}$  Wb herrscht (Streugrad 0,12)?

**506.** Im Kern eines Topfmagneten ( $d = 1,5 \text{ cm}$ ) wird ein Fluß von  $1,75 \cdot 10^{-4}$  Wb erzeugt. a) Wieviel Weber fließen durch die übrigen Teile, wenn der Streugrad 23% beträgt? b) Wie groß ist der Streuverlust?

**507.** Nach Maßgabe der Erregung sollte sich in einem Eisenkern ein Fluß von  $2,4 \cdot 10^{-4}$  Wb ergeben. In dem Luftspalt von  $2,1 \text{ cm} \times 4,5 \text{ cm}$  wird jedoch nur eine Induktion von  $0,23 \text{ T}$  gemessen. Wie groß ist der Streugrad?

**508.** (Bild 169) Ein Lautsprechermagnet hat einen ringförmigen Spalt von  $d_1 = 24 \text{ mm}$ ,  $d_2 = 22 \text{ mm}$  und  $8 \text{ mm}$  Höhe zur Aufnahme der Schwingspule. Im Spalt soll eine Induktion von  $0,75 \text{ T}$  herrschen. Welcher Fluß muß erzeugt werden, wenn der Streuverlust mit 15% veranschlagt wird?

**509.** Die Luftspaltinduktion eines Lautsprechermagneten soll durch Verkleinerung des Durchmessers des ringförmigen Spaltes ( $d_m = 2,8 \text{ cm}$ ) um 50% erhöht werden. Berechne den neuen Durchmesser.

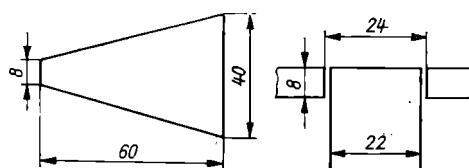


Bild 168.

Aufgaben 502 und 503  
(Maße in mm)

Bild 169.  
Aufgabe 508  
(Maße in mm)

**510.** Zwischen den 2 kegelstumpfförmigen Polen eines Elektromagneten, dessen gegenüberliegende Polflächen je 12 mm Durchmesser haben, herrscht eine Induktion von 1,25 T. Gesamtfluß  $\Phi = 1,7 \cdot 10^{-4}$  Wb. Bei Vergrößerung des Poldurchmessers auf 22 mm beträgt die Induktion bei unverändertem Gesamtfluß noch 0,42 T. Um wieviel Prozent hat sich die Streuung verringert?

**511.** (Bild 170) a) Welcher magnetische Fluß besteht im Querschnitt  $A$  des angegebenen

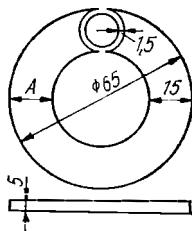


Bild 170.

Aufgabe 511 (Maße in mm)

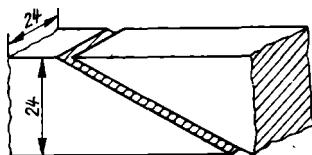


Bild 171.  
Aufgabe 512  
(Maße in mm)

Dauermagneten aus Kobaltstahl für ein Drehspulinstrument, wenn im Luftspalt eine Induktion von 0,178 T festgestellt wurde?

Das Verhältnis  $\frac{\text{Nutzfluß}}{\text{Gesamtfluß}}$  ist mit 0,4 veranschlagt.

b) Wie groß ist der Streufluß? c) Wie groß ist die Induktion im Querschnitt  $A$ ?

**512.** (Bild 171) In dem um  $30^\circ$  geneigten Spalt in einem Eisenkreis herrscht eine Induktion von 0,155 T. a) Welcher Fluß und b) welche Induktion herrschen im Eisenkreis? Streugrad  $\sigma = 0,15$ .

## 5.5. Magnetischer Widerstand und das Ohmsche Gesetz des Magnetismus

**Formeln:**

$$R_m = \frac{\Theta}{\Phi}$$

$$V = Hl$$

$$\Theta = IN$$

$$\Theta = \Sigma V$$

$$R_m = \frac{l}{\mu_0 \mu_r \cdot 1}$$

$$A = \frac{1}{R_m}$$

$$\Phi = \Theta A$$

Größe	Zeichen	Einheit
magnetischer Fluß	$\Phi$	V s = Wb
magnetische Urspannung (Durchflutung)	$\Theta$	A
magnetischer Widerstand	$R_m$	A/V s = 1/H
magnetischer Leitwert	$A$	V s/A = H
Windungszahl	$N$	1
mittlere Länge der Feldlinien	$l$	m
magnetische Spannung	$V$	A
magnetische Feldkonstante	$\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6}$	V s/A m

**Hinweis:**

Der Quotient aus der magnetischen Urspannung  $\Theta$  (Durchflutung, Stromwindungszahl  $IN$ ) und dem magnetischen Fluß  $\Phi$  wird als magnetischer Widerstand  $R_m$  bezeichnet, dessen reziproker Wert der magnetische Leitwert  $A$  ist. Damit besteht eine enge Analogie zum elektrischen Stromkreis.

**513.** Welcher magnetische Widerstand ergibt sich nach Bild 167 für einen Graugußring von 8,5 cm mittlerem Durchmesser und einem Querschnitt von  $4,8 \text{ cm}^2$  bei einer Induktion von 0,8 T?

**514.** Derselbe Ring hat einen Luftspalt von  $\delta = 1 \text{ mm}$  Breite. Wie groß sind der magnetische Widerstand des Luftspaltes und des Eisens?

**515.** Welchen a) magnetischen Widerstand und b) magnetischen Leitwert hat ein Luftspalt von 5 mm Breite und  $8 \text{ cm}^2$  Querschnitt?

**516.** Ein Ring aus Dynamoblech von 25 cm mittlerem Durchmesser und quadratischem Querschnitt von  $3 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$  trägt 500 Windungen und soll einen Fluß von  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$  erhalten. Berechne a) den magnetischen Widerstand, b) die erforderliche Durchflutung und c) die Stromstärke.

**517.** Welche Durchflutung ist erforderlich, um in einem Luftspalt von 2 mm Breite und  $5 \text{ cm}^2$  Querschnitt einen Fluß von  $2,8 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$  zu erzeugen?

**518.** Nach Beseitigung eines Luftspaltes von  $6,5 \text{ cm}^2$  konnten  $IN = 850 \text{ A}$  eingespart werden, um einen Fluß von  $5 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$  aufrechtzuerhalten. Wie breit war der Spalt?

**519.** Ein Eisenkern von  $4 \text{ cm} \times 3,5 \text{ cm}$  Querschnitt aus Dynamoblech trägt 350 Windungen, die einen Fluß von  $6 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$  erzeugen. Um welchen Betrag muß bei unverändertem Fluß die Stromstärke erhöht werden, wenn der Kern einen Luftspalt von 2 mm Breite erhält?

**520.** Nach dem festen Anziehen der Montageschrauben stieg der magnetische Fluß in einem Stahlgußrahmen von  $1,5 \text{ cm} \times 2,6 \text{ cm}$  Querschnitt von  $6 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$  auf  $6,5 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$ . Welche Breite hatten die Stoßfugen insgesamt? (Mittlere Länge der Feldlinien  $l = 28 \text{ cm}$ .)

**521.** Welchen magnetischen Fluß erzeugen a)  $IN = 1350 \text{ A}$ , b)  $750 \text{ A}$  und c)  $28 \text{ A}$  bei

einem magnetischen Widerstand von  $0,075 \cdot 10^8 \text{ 1/H}$ ?

**522.** Welchen magnetischen Leitwert haben folgende eisenlose lange Zylinderspulen:

- a)  $l = 35 \text{ cm}; d = 2,5 \text{ cm}$   
 b)  $l = 18,5 \text{ cm}; d = 1,8 \text{ cm}$   
 c)  $l = 5,6 \text{ cm}; d = 9 \text{ mm}$ ?

**523.** Welche Stromstärke ist bei 2300 Windungen erforderlich, um bei einem magnetischen Widerstand von  $0,12 \cdot 10^8 \text{ 1/H}$  einen Fluß von a)  $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}$ ; b)  $1,2 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$ ; c)  $3 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$  zu erzeugen?

**524.** Nach Einbringen eines Massekerns in eine lange Spule verminderte sich der magnetische Widerstand der Spule auf den 2500. Teil. Welche Induktion entstand dadurch bei einer Feldstärke von  $700 \text{ A/m}$ ?

**525.** Der magnetische Widerstand eines Eisenkerns von kreisförmigem Querschnitt soll um 20% verringert werden. Um wieviel Prozent muß der Durchmesser bei gleichbleibender Länge vergrößert werden?

**526.** Ein Spulenkern von konstanter Permeabilitätszahl und einer Induktion von  $0,45 \text{ T}$  hat einen Luftspalt von 1,5 mm Breite. Die Windungszahl beträgt 850.

Um wieviel Ampere muß der Spulenstrom erhöht werden, wenn die Breite des Luftspaltes verdoppelt wird und die Induktion unverändert bleiben soll?

**527.** Auf das Wievielfache des ursprünglichen Wertes steigt der magnetische Widerstand eines geschlossenen Graugußrahmens, wenn die Feldstärke von  $2800 \text{ A/m}$  auf  $18000 \text{ A/m}$  gesteigert wird?

## 6. Berechnung magnetischer Kreise

### 6.1. Unverzweigte magnetische Kreise

#### 6.1.1. Berechnung der Stromwindungszahl bei gegebener Induktion bzw. bei gegebenem Fluß

*Formel:*

Durchflutungssatz:

$$\sum Hl = \Theta$$

Größe	Zeichen	Einheit
Feldstärke	$H$	$\text{A/m}$
Feldliniellänge	$l$	$\text{m}$
Durchflutung	$\Theta$	$\text{A}$
magnetische Feldkonstante	$\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ V s/A m}$	

### Anleitung:

Der magnetische Kreis wird in einzelne Abschnitte zerlegt, in denen die Feldstärke  $H$  konstant ist. Diese wird mit der zugehörigen Länge der Feldlinien  $l$  multipliziert. Die Summe dieser Produkte ist gleich der magnetischen Urspannung (Stromwindungszahl), die den Kreis durchsetzt. Da (von Streuverlusten abgesehen) der magnetische Fluß im ganzen Kreis von gleicher Größe ist, ergibt sich die Induktion in den einzelnen Abschnitten als Quotient aus dem Fluß  $\Phi$  und dem jeweiligen Feldquerschnitt  $A$ . Zur Ermittlung der Feldstärke  $H$  im Eisen dienen die Magnetisierungskurven (S. 50) und in den Luftzwischenräumen die Beziehung  $H = B/\mu_0$  (S. 46).

**528.** (Bild 172) In die Fensterfläche des angegebenen Eisenrahmens aus legiertem Blech treten 580 von 0,2 A durchflossene Windungen ein. Wie groß sind a) die Feldstärke und b) die Induktion?

**529.** (Bild 172) Der angegebene Eisenrahmen wird an der Stelle  $A-A$  quer durchgesägt und erhält dadurch einen Luftspalt von 4 mm Breite. Bei welcher Stromstärke liefert die Erregerspule von 580 Windungen die Induktion 0,87 T?

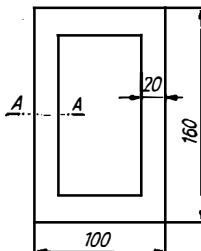


Bild 172.  
Aufgaben 528 und 529  
(Maße in mm)

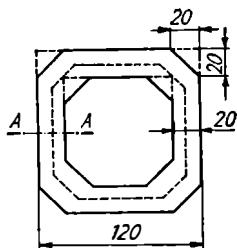


Bild 173.  
Aufgaben 530 und 531  
(Maße in mm)

**530.** (Bild 173) Der angegebene Graugußrahmen hat eine überall als konstant angenommene Induktion von 1,1 T. a) Welche Durchflutung ist hierzu nötig? b) Weshalb trifft die Annahme einer konstanten Induktion nicht genau zu?

**531.** (Bild 173) Der in Aufg. 530 angegebene Eisenrahmen erhält an der Stelle  $A-A$  einen Luftspalt. Wie breit ist dieser, wenn hierfür bei der Induktion 1,1 T zusätzlich  $IN = 2200$  A benötigt werden?

**532.** (Bild 174) Welche Durchflutung ist notwendig, um in dem dargestellten Eisenring (Grauguß) von kreisförmigem Querschnitt den magnetischen Fluß  $2 \cdot 10^{-4}$  Wb zu erzeugen?

**533.** (Bild 174) Welche magnetischen Spannungen bestehen zwischen den Punkten  $AB$ ,  $BC$ ,  $CD$  und  $DA$  des in der vorigen Aufgabe berechneten Ringes, wenn die Induktion in den dicken Teilen 0,44 T und in den dünnen Teilen 0,99 T beträgt?

**534.** Welche magnetische Spannung besteht zwischen den Enden eines laminierten Spulenkerns (Dynamoblech) von  $1,9 \text{ cm} \times 2,4 \text{ cm}$  Querschnitt und einer Länge von a) 25 cm, b) 4,5 cm, c) 38,2 cm bei der Induktion 1,75 T?

**535.** An das Ende eines zylindrischen Eisenkerns, in dem der magnetische Fluß  $8 \cdot 10^{-4}$  Wb besteht, wird ein Gußeisenstab von  $8,75 \text{ cm}^2$  Querschnitt und 8 cm Länge angesetzt. Wieviel beträgt die magnetische Spannung zwischen den Enden des angesetzten Teils, wenn die Streuung nicht beachtet wird?

**536.** (Bild 175) Wie groß ist die Stromstärke in der Erregerspule von 800 Windungen, wenn der magnetische Fluß an allen Stellen des Kreises  $3,5 \cdot 10^{-4}$  Wb betragen soll? Der Kernquerschnitt ist an der gezeichneten Stelle auf die Hälfte verringert (Dynamoblech).

**537.** (Bild 176) Welche Durchflutung ist notwendig, um (unter Vernachlässigung der Streuung) einen magnetischen Fluß von  $5 \cdot 10^{-5}$  Wb zu erzeugen (legiertes Blech)?

**538.** (Bild 177) Welcher Strom muß durch die insgesamt 1400 Windungen der beiden Erregerspulen des magnetischen Kreises fließen, damit ein magnetischer Fluß von  $3 \cdot 10^{-5}$  Wb

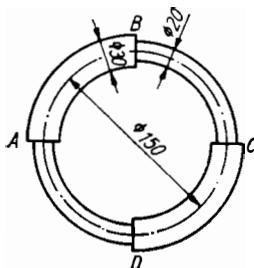


Bild 174.  
Aufgaben 532 und 533  
(Maße in mm)

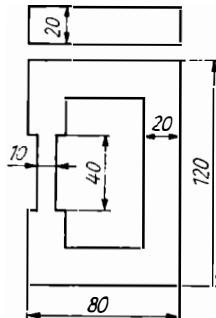


Bild 175.  
Aufgabe 536  
(Maße in mm)

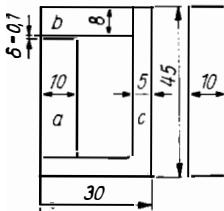


Bild 176.  
Aufgabe 537  
(Maße in mm)

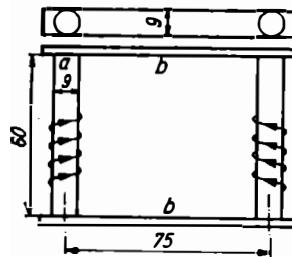


Bild 177.  
Aufgabe 538  
(Maße in mm)

entsteht (Stahlguß)? Die Streuung wird nicht berücksichtigt. Die Teile *b* sind 3 mm dick.  
Die Aufgaben 539 bis 544 beziehen sich auf Mantelschnitte (Bild 178); Maße in mm:

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>δ</i>	Schicht-höhe	Eisenfüll-faktor
M 42	42	42	6	30	12	9	0,5	15	0,95
M 65	65	65	10	45	20	12,5	1,0	27	0,85
M 85	85	85	14,5	56	29	13,5	2,0	35	0,85

**539.** Berechne die bei einer Luftspaltinduktion von 1,2 T erforderliche Stromwindungszahl für den Mantelkern M 42 (Dynamoblech).

**540.** Desgleichen für einen Kern nach M 65 bei einer Eiseninduktion von 1,6 T (Dynamoblech).

**541.** Welche Eiseninduktion wird im letzten Beispiel erzielt, wenn bei der gleichen Stromwindungszahl der Luftspalt geschlossen wird?

**542.** Ein Kern nach M 85, jedoch ohne Luftspalt, trägt auf dem Mittelsteg 1500 Stromwindungen. Wie groß sind Induktion und Fluß in den beiden anderen Stegen (Dynamoblech)?

**543.** Der Fluß durch den Mittelsteg eines Kerns nach M 85 soll  $1,8 \cdot 10^{-3}$  Wb betragen. Welche Durchflutung ist erforderlich (Dynamoblech)?

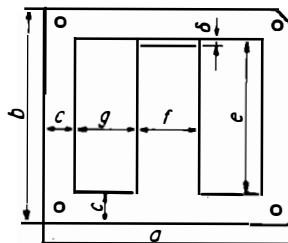


Bild 178.  
Aufgaben 539 bis  
544

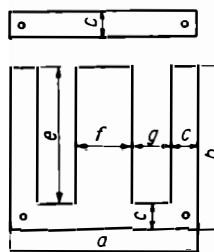


Bild 179.  
Aufgaben 545 bis 547

**544.** Berechne für einen Kern nach M 65 die zur Erzeugung einer Luftspaltinduktion von 0,2 T bis 2 T erforderliche Durchflutung, und stelle die Induktion in Abhängigkeit von der Durchflutung grafisch dar (je eine Kurve für die Luft-, Eisen- und gesamte Durchflutung).

Material: massiver Stahlguß

Die folgenden Aufgaben 545 bis 547 beziehen sich auf EI-Schnitte (Bild 179); Maße in mm: (Luftspalt durch Einlegen eines unmagnetischen Streifens)

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	Schicht-höhe	Eisenfüll-faktor
EI 48	48	32	8	24	16	8	16	0,85
EI 84	84	56	14	42	28	14	28	0,90
EI 150	150	100	20	80	40	35	50	0,95

**545.** Berechne die für eine Luftspaltinduktion von 0,82 T erforderliche Durchflutung für den Kern EI 48 (legiertes Blech), Luftspalt 0,8 mm. Streugrad 0,1

**546.** Der Anker des letzten Beispiels wird ohne Zwischenlage fest aufgeschraubt, wobei eine auf 0,1 mm geschätzte Stoßfuge verbleibt. Die Streuung werde vernachlässigt. Welche Durchflutung ist jetzt noch erforderlich?

**547.** Die Bleche nach Muster EI 84 (Dynamoblech) werden wechselseitig geschichtet, so daß kein Luftspalt entsteht. Welchen Fluß im Anker ruft eine Durchflutung von 700 A hervor?

**551.** Stelle für den in Bild 180 angegebenen Stahlgußkern die Induktion in Abhängigkeit von der gesamten und allein für den Luftspalt benötigten Durchflutung für 0,3 T, 0,6 T bis 1,8 T tabellarisch und grafisch dar.

**552.** (Bild 180) Wie groß ist der Fehler der Näherungsrechnung, wenn im Kern der Aufgabe 548 eine Luftspaltinduktion von 0,65 T erzielt werden soll?

**553.** Bei welcher Induktion erreicht der Fehler der näherungsweisen Berechnung der Durchflutung für den Kern nach Bild 180 gegenüber einer Mitberücksichtigung des Eisenweges 10 %?

**554.** (Bild 180) Stelle die Induktion in Abhängigkeit von der gesamten und der allein für den Luftspalt benötigten Durchflutung bis 1,2 T tabellarisch und grafisch dar, wenn der Kern aus Grauguß besteht.

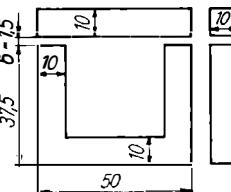


Bild 180.  
Aufgaben 548 bis 554  
(Maße in mm)

**555.** (Bild 181) Wieviel Stromwindungen sind auf die Pole der schematisch dargestellten Gleichstrommaschine aufzubringen, wenn im Luftspalt zwischen Polen und Anker eine Induktion von 0,75 T herrschen soll? (Stahlguß für Gehäuse und Pole bzw. Dynamoblech für den Anker). Die Stoßfugen zwischen Gehäuse und Polen werden auf 0,1 mm geschätzt. Streugrad des Stators  $\tau = 0,1$ .

#### Zu den Aufgaben 548 bis 554

Bei geringer Sättigung des Eisens (kleine Feldstärke) und geringer Streuung (kleiner Luftspalt) genügt es oft, bei Berechnung der Durchflutung allein den Luftweg zu berücksichtigen, wobei der magnetische Widerstand des Eisenkreises vernachlässigt wird.

**548.** Welche Durchflutung ist nötig, um im Luftspalt des in Bild 180 dargestellten Stahlgußkerns eine Induktion von 0,2 T zu erzeugen?

**549.** Um wieviel Prozent weicht das Ergebnis der letzten Aufgabe gegenüber einer genauen Berechnung, d. h. bei Berücksichtigung des Eisenweges, ab?

**550.** Welche Induktion kann in einem 3 mm breiten Luftspalt näherungsweise a) mit  $IN = 850$  A und b) mit 1500 A erzeugt werden?

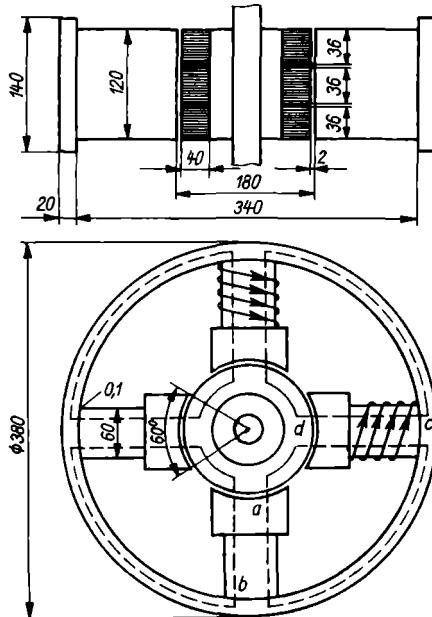


Bild 181. Aufgabe 555 (Maße in mm)

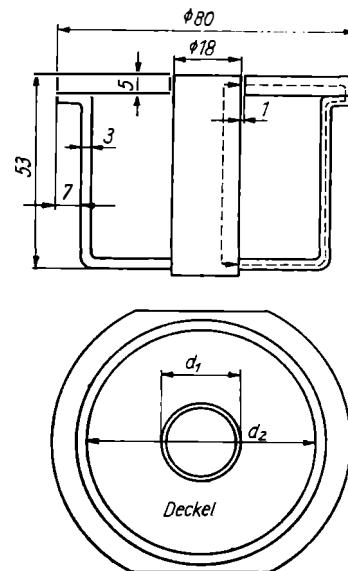


Bild 183. Aufgabe 557 (Maße in mm)

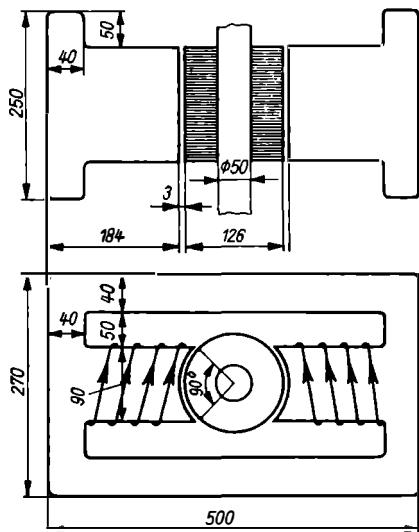


Bild 182. Aufgabe 556 (Maße in mm)

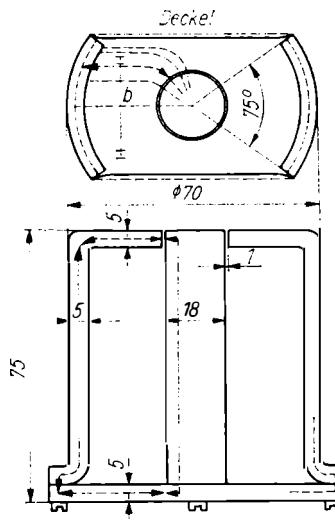


Bild 184. Aufgabe 558 (Maße in mm)

**556.** (Bild 182) Der Ständer des schematisch angegebenen Gleichstrommotors besteht aus Grauguß, der Läufer aus Dynamoblech, wobei 12 % seiner Tiefe auf Papierzwischenlagen entfällt. Die Breite des Luftspaltes wird mit 3 mm angenommen.

Welche Durchflutung ist notwendig, wenn in der unteren und oberen Ankerhälfte ein Fluß von je  $5,5 \cdot 10^{-3}$  Wb entstehen soll? Streuung beim Übertritt des Flusses in den Anker 15 %.

**557.** (Bild 183) Welche Durchflutung ist für den Lautsprechermagneten notwendig, um im Luftspalt eine Induktion von 1 T zu erzeugen? Zur Berücksichtigung der Streuung werde die Ringfläche des Luftspaltes rechnerisch um 10% vergrößert. Als mittlerer Durchmesser der unteren und oberen Kreisscheibe werde  $\frac{d_1 + d_2}{3}$  angenommen. Kurve für Dynamoblech.

**558.** (Bild 184) Welche Durchflutung ist zur Erregung des Lautsprechermagneten erforderlich, wenn im Luftspalt eine Induktion von 0,8 T herrschen soll? Die mittlere Feldlinienlänge im Deckel und Boden werde geschätzt und die mittlere Breite  $b$  des von den Feldlinien durchflossenen Querschnitts mit 25 mm bzw. 30 mm angenommen. Zur Berücksichtigung der Streuung werden auf die errechnete Durchflutung 15% zugeschlagen. Kurve für Dynamoblech.

### 6.1.2. Berechnung der Induktion bzw. des magnetischen Flusses bei gegebener Stromwindungszahl

*Formeln:*

$$(1) \quad IN = H_E l + \frac{B_E \delta}{\mu_0}$$

$$(2) \quad B_E = f(H_E)$$

(laut Magnetisierungskurve)

*Anleitung:*

1. Man setze in Formel (1)  $H_E = 0$  und erhält

$$B_0 = \frac{\mu_0 I N}{\delta}$$

2. Man setze in Formel (1)  $B_E = 0$  und erhält

$$H_0 = \frac{IN}{l}$$

3. Man trage  $B_0$  auf der Ordinatenachse und  $H_0$  auf der Abszissenachse der Magnetisierungskurve (S. 50) ein und verbinde beide Punkte durch eine Gerade.

4. Die Koordinaten des Schnittpunktes dieser „Luftspaltgeraden“ mit der Magnetisierungskurve (2) sind die gesuchten Werte  $B_E$  und  $H_E$ .

**559.** Eine Ringspule mit Stahlgußkern besitzt einen mittleren Umfang von 24 cm und einen Luftspalt von 0,5 mm. Die Erregerwicklung hat 550 Windungen, die von 2,4 A durchflossen werden. Stelle fest a) die Eiseninduktion, b) die auf den Eisenweg und c) die auf den Luftweg entfallende Stromwindungszahl.

Größe	Zeichen	Einheit
Feldstärke im Eisen	$H_E$	A/m
Induktion im Eisen	$B_E$	V s/m <sup>2</sup> = T
Luftspaltbreite	$\delta$	m
Eisenweg	$l$	m

**560.** Welche Feldstärke und Induktion besteht in einem Stahlgußkern mit 0,5 mm Luftspalt und 24 cm mittlerer Feldlinienlänge bei der Durchflutung a) 600 A und b) 800 A?

**561.** Eine Drosselspule mit 18 cm Eisenweg (Dynamoblech) und dem Luftspalt  $\delta = 0,8$  mm trägt 2000 Stromwindungen. Welche Induktion entsteht im Eisenkern?

**562.** Welche Breite muß der Luftspalt in einem Eisenkreis (Dynamoblech) von 35 cm Eisenweg haben, damit bei einer Durchflutung von 7000 A eine Induktion von 1,7 T entsteht?

**563.** Der Luftspalt des vorigen Beispiels wird bei derselben Durchflutung auf 2,8 mm verengt. Welche Induktion entsteht dann?

**564.** Die Stromstärke in der letzten Aufgabe wird auf die Hälfte herabgesetzt. Wie groß ist nunmehr die Induktion?

**565.** Der Luftspalt eines magnetischen Kreises beträgt 1 mm, die mittlere Feldlinienlänge 42 cm. Bestimme grafisch die für eine Induktion von 1,81 T erforderliche Stromwindungszahl.

**566.** Konstruiere die Magnetisierungskurve für einen Kern nach M 85 (Bild 178, S. 55) (Dynamobleeh, Eisenweg  $l = 19,7$  cm).

*Anleitung:* Man zeichne die Magnetisierungskurve des betr. Materials und eine dem gegebenen Steigungsverhältnis  $\frac{\delta}{\mu_0 l}$  entsprechende Gerade, welche die Abszissenachse bzw. die Magnetisierungskurve in  $P_1$  und  $P_2$  schneidet. Der Schnittpunkt der durch  $P_1$  gehenden Senkrechten und der durch  $P_2$  laufenden Waagerechten ist ein Punkt der gesuchten Magnetisierungskurve. Die zu der ursprünglichen Geraden gezeichneten Parallelen liefern weitere Kurvenpunkte.

**567.** Welche Induktionen ergeben sich an Hand der nach der letzten Aufgabe gezeichneten Kurve für eine Durchflutung von a) 3500 A; b) 2500 A; c) 850 A?

**568.** Konstruiere die Luftspaltgeraden und Magnetisierungskurven für einen Kern nach M 65 mit den Luftspaltbreiten a) 0,5 mm und b) 1 mm.

**569.** Welche Flüsse ergeben sich im Mittelsteg an Hand der nach der letzten Aufgabe gezeichneten Luftspaltgeraden bei folgenden Durchflutungen für die Luftspalte 0,5 mm und 1 mm: a) 2500 A; b) 1500 A; c) 500 A?

**570.** Bestimme für eine Feldstärke von 10000 A/m die Gleichstrominduktionen einer Drosselpule (Dynamoblech) bei verschiedener Breite des Luftspaltes ( $\delta = 0,5$  mm bis 8 mm) und stelle die Induktion in Abhängigkeit von der Luftspaltbreite grafisch dar. (Mittlere Länge der Feldlinien 30 cm.)

## 6.2. Verzweigte magnetische Kreise

*Anleitung:*

Verzweigte magnetische Kreise kann man nach den Gesetzen eines verzweigten elektrischen Stromkreises berechnen. Es gilt für einen Knotenpunkt  $\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$  und für eine Masche  $\Theta = \sum Hl$ .

**571.** (Bild 185) Im mittleren Steg II des Transformatorkerns (Dynamoblech) soll ein Fluß von  $2 \cdot 10^{-3}$  Wb erzeugt werden. Wieviel Stromwindungen sind auf Steg I aufzubringen?

**572.** (Bild 185) Wieviel Stromwindungen muß Steg I tragen, wenn die Induktion in Steg III 0,8 T betragen soll?

**573.** (Bild 185) Schenkel III trägt 200 Stromwindungen. Im mittleren Steg II soll ein Fluß von  $2 \cdot 10^{-3}$  Wb erzeugt werden. Wieviel Stromwindungen mit gleichem Wicklungssinn wie bei III muß Schenkel I jetzt erhalten?

**574.** (Bild 185) Ein Fluß von  $1,5 \cdot 10^{-3}$  Wb durch den Mittelsteg II soll allein durch Bewickeln von Steg III erzeugt werden. Wieviel Stromwindungen sind in diesem Fall nötig?

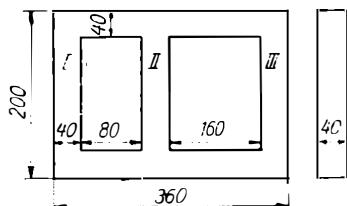


Bild 185. Aufgaben 571 bis 575 (Maße in mm)

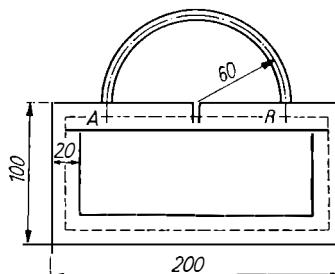


Bild 186.  
Aufgabe 576  
(Maße in  
mm),

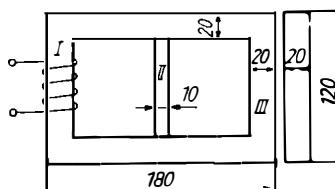


Bild 187.  
Aufgabe 577  
(Maße in  
mm)

**575.** (Bild 185) Der gleiche Fluß von  $1,5 \cdot 10^{-3}$  Wb durch den Mittelsteg II sowie gleichzeitig  $9 \cdot 10^{-4}$  Wb durch Steg I soll allein durch Bewickeln von Steg II erzeugt werden. Wieviel Stromwindungen sind dann erforderlich?

**576.** (Bild 186) Der 0,5 mm breite Luftspalt des angegebenen magnetischen Kreises (Querschnitt  $4 \text{ cm}^2$ ) hat einen Nebenschluß in Form eines halbkreisförmigen Bügels (Querschnitt  $0,5 \text{ cm}^2$ ) aus gleichem Material (Stahlguß).

Im Luftspalt soll eine Induktion von 0,75 T herrschen. Wie groß ist die erforderliche Durchflutung a) ohne und b) mit Nebenschluß?

**577.** (Bild 187) Der abgebildete Rahmen aus Stahlguß hat einen Mittelsteg (II) aus legiertem Blech. Mit welchem Strom muß die auf dem Schenkel I befindliche Spule von 800 Windungen gespeist werden, wenn der magnetische Fluß im Schenkel III  $4 \cdot 10^{-4}$  Wb betragen soll?

### 6.3. Berechnung von Spulen

**Formeln:**

$$J = \frac{I}{A}$$

$$A_w = lh$$

$$NA = k_{Cu} A_w$$

$$J \approx 1,09 \sqrt{\frac{\vartheta_u}{h}} \quad (\text{Zahlenwertgleichung})$$

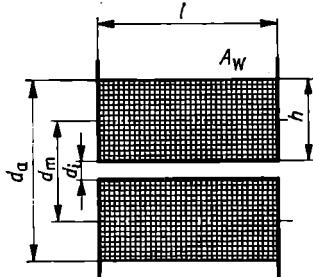
$$IN = J k_{Cu} A_w$$

$$U = J \rho N l_m$$

$$P = \frac{(IN)^2 \rho l_m}{k_{Cu} A_w}$$

Bild 188.

Aufgaben 581  
bis 592



Größe	Zeichen	Einheit
Stromdichte	$J$	$\text{A/mm}^2$
Klemmenspannung	$U$	V
Drahtquerschnitt	$A$	$\text{mm}^2$
Windungszahl	$N$	1
Wicklungsquerschnitt	$A_w$	$\text{mm}^2$
Wicklungslänge	$l$	mm
Wicklungshöhe	$h$	mm
Kupferfüllfaktor	$k_{Cu}$	1
Übertemperatur <sup>1)</sup>	$\vartheta_u$	K
mittlere Windungslänge	$l_m$	m
Kupferquerschnitt	$NA$	$\text{mm}^2$
spezifischer Widerstand (Kupfer)	$\rho = 0,02$	$\Omega \text{mm}^2/\text{m}$ (warm)

<sup>1)</sup> Temperaturdifferenzen in K (Kelvin) sind zahlenmäßig gleich den Differenzen entsprechender Temperaturen in °C

**578.** Welche Stromdichten ergeben sich für folgende Drähte:

Querschnitt in $\text{mm}^2$	1,5	2,5	4	6
höchstzulässige Stromstärke in A	16	21	27	35

**579.** Welchen Querschnitt müssen folgende Drähte haben:

Stromstärke in A	65	57	49	34
höchste Stromdichte in $\text{A/mm}^2$	4,06	9,5	12,25	13,6

**580.** Welche Stromdichten bestehen in folgenden Flachkupferleitungen:

Maße in mm	12×2	15×3	20×5	40×5
Belastung in A	140	210	370	670

- 581.** Wieviel Windungen Draht von 0,5 mm Durchmesser lassen sich auf einer Spule bei 3 cm<sup>2</sup> nutzbarem Wicklungsquerschnitt und einem Füllfaktor von 0,62 aufbringen?
- 582.** 1500 Windungen CuL-Draht sollen auf einem nutzbaren Wicklungsquerschnitt von 2,5 cm × 0,8 cm untergebracht werden. Welchen Außendurchmesser darf der (wild gewickelte) Draht bei einem Füllfaktor von 0,4 höchstens haben?
- 583.** Welche Wicklungshöhe beanspruchen 2400 Windungen CuLS-Draht von 0,4 mm Durchmesser bei einer nutzbaren Wickellänge von 4,4 cm und einem Füllfaktor von 0,54?
- 584.** Mit welcher Stromdichte darf eine Zylinderspule von a) 2,2 cm; b) 3,5 cm; c) 5,8 cm Wicklungshöhe höchstens belastet werden, wenn die Übertemperatur 50 K nicht übersteigen soll?
- 585.** Mit wieviel Ampere darf der a) 0,35 mm; b) 0,5 mm dicke Draht einer Spule von 2,5 cm Wicklungshöhe bei einer zulässigen Übertemperatur von 60 K höchstens belastet werden?
- 586.** Wieviel Stromwindungen können auf eine Spule von 3 cm Länge und 2 cm Wicklungshöhe bei einem Füllfaktor von 0,55 aufgebracht werden ( $\vartheta_u = 60$  K)?
- 587.** Welche Wickelhöhe  $h$  beanspruchen 1500 Stromwindungen bei einer zulässigen Stromdichte von 2 A/mm<sup>2</sup>, einer nutzbaren Spulenlänge von 6,5 cm und einem Füllfaktor von 0,65?
- 588.** a) Welchen Außendurchmesser hat eine auf 8 mm dickem und 45 mm langem Kern gewickelte Spule, wenn sie mit einer Stromdichte von 3,5 A/mm<sup>2</sup> belastet wird und  $IN = 1250$  aufnehmen soll ( $k_{cu} = 0,44$ )? b) Welche Spannung ist bei einer Drahtdicke von 0,6 mm anzulegen? c) Welcher Strom fließt, und d) welche Leistung wird verbraucht?
- 589.** Zur Bewicklung einer Spule stehen eine nutzbare Länge von 42 mm und für die Wicklungshöhe 19 mm zur Verfügung. Welche Drahtdicke und Windungszahl sind zu wählen, wenn ein Strom von 65 mA fließen soll ( $k_{cu} = 0,59$ ;  $\vartheta_u = 55$  K)?
- 590.** Zur Berechnung des Drahtdurchmessers bei Kleintransformatoren wird die Formel  $d = \sqrt{\frac{I}{2}}$  angegeben. Wie kommt die Formel zustande, und welche Stromdichte wird dabei zugrunde gelegt?
- 591.** Eine Spule von 12 mm innerem und 36 mm äußerem Durchmesser und 80 mm Länge wird mit Draht von 0,5 mm Durchmesser bewickelt ( $k_{cu} = 0,4$ ). Es ist die Stromdichte 2,5 A/mm<sup>2</sup> zugelassen. a) Wieviel Windungen trägt die Spule, b) welche Spannung kann angelegt werden, c) welcher Strom fließt, und d) welche Leistung verbraucht die Spule?
- 592.** Eine Spule von den Abmessungen:  $d_1 = 4,5$  cm,  $d_2 = 8,9$  cm und  $l = 14$  cm trägt 850 Windungen und soll nicht mehr als 8 W verbrauchen ( $k_{cu} = 0,45$ ). Berechne a) die Stromstärke, b) die Drahtdicke, c) die Stromdichte, d) den Spannungsabfall.
- 593.** Durch die beiden parallelgeschalteten Spulen (je 7000 Windungen, 0,2 mm Drahtdurchmesser) eines Morseschreibers fließt ein Strom von je 13 mA. Ihr Widerstand beträgt je 280 Ω. Welches ist a) die Betriebsspannung, b) der mittlere Windungsdurchmesser, c) die Stromdichte, d) der gesamte Leistungsverbrauch bei geschlossenem Stromkreis?
- 594.** Ein Relais hat 19 700 Windungen Draht von 0,1 mm Durchmesser und einen Widerstand von 2000 Ω. Berechne a) den Strom bei einer Spannung von 60 V, b) die Stromdichte, c) den mittleren Windungsdurchmesser, d) die Wickelhöhe und den Kerndurchmesser bei einer Spulenlänge von 60 mm und e) den Leistungsverbrauch ( $k_{cu} = 0,6$ ,  $\rho = 0,0178$  Ω mm<sup>2</sup>/m).
- 595.** Die Magnetwicklung einer elektrischen Tochteruhr besteht aus 2 hintereinander geschalteten Spulen von je 12000 Windungen und 1400 Ω bei einer Spulenlänge von 40 mm, einem äußeren Wicklungsdurchmesser von 23 mm und einem Kerndurchmesser

von 10 mm. Berechne a) die Drahtdicke, b) den Strom bei 12 V und c) die Stromdichte ( $\rho = 0,0178 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ).

**596.** Der Magnet eines Telefonwählers hat 1400 Windungen Draht von 0,34 mm Durchmesser. Der Kern hat eine Länge von 30 mm und einen Durchmesser von 10 mm. Füllfaktor  $k_{\text{cu}} = 0,6$ . Berechne a) die Wickel-

höhe, b) den Widerstand ( $\rho = 0,02 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ) und c) die Stromdichte bei einer Spannung von 24 V.

**597.** Wieviel Windungen hat ein Relais von  $1000 \Omega$  und 0,12 mm Drahtdurchmesser, wenn die Wicklung 6 cm lang ist und der Kern einen Durchmesser von 8 mm hat ( $k_{\text{cu}} = 0,6$ ,  $\rho = 0,0178 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ )?

## 6.4. Berechnung von Erregerwicklungen

### Formeln:

die Formeln des vorangehenden Abschnittes sowie auch

$$N = \frac{UA_w k_{\text{cu}}}{\Theta \varrho l_m}$$

**598.** Wieviel Stromwindungen können auf dem Mittelsteg eines Kerns nach Muster EI 84 (S. 56) günstigstenfalls untergebracht werden, und welche Induktion in Dynamoblech ist damit im Höchstfall erreichbar? (Wechselseitige Schichtung der Bleche ohne Luftspalt, zulässige Übertemperatur 60 K, Kupferfüllgrad 0,6)

**599.** Ein Kern nach EI 150 (S. 56) (Luftspalt 0,3 mm) soll eine Eiseninduktion von 1,7 T erhalten (Dynamoblech). Wieviel Stromwindungen und welche Stromdichte ist erforderlich, wenn der zur Verfügung stehende Wickelraum zu 60 % ausgenützt wird? (Kupferfüllgrad 0,54; als Ausgleich für die Streuung werden 10 % der berechneten Stromwindungszahl zugeschlagen.)

**600.** Welcher Fluß kann in einem Kern nach EI 150 (S. 56) (ohne Luftspalt geschichtet) erzeugt werden, wenn bei 75 %iger Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Wickelraums eine Übertemperatur von 40 K zulässig ist? Die Wickelhöhe betrage 80 % des Zwischenraumes  $g$  (legiertes Blech, Kupferfüllgrad 0,55).

**601.** Welche Induktion entsteht in einem ohne Luftspalt geschichteten Kern EI 150, Sierungskurve zu Hilfe zu nehmen [ $k_{\text{cu}} = 0,6$ ].

Größe	Zeichen
Windungszahl	N
Durchflutung (Stromwindungszahl)	$\Theta$
an der Wicklung liegende Spannung	U

wenn er mit Draht von 0,8 mm Nettodurchmesser bewickelt und eine Spannung von 12 V angelegt wird (für warmes Kupfer  $\rho = 0,02 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ , mittlere Windungslänge 21,4 cm)?

**602.** Mit welcher Übertemperatur muß gerechnet werden, wenn der Mittelsteg eines Kerns M 42 (Dynamoblech)  $IN = 540 \text{ A}$  trägt, die den Wickelraum mit  $28 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$  voll ausnutzen ( $k_{\text{cu}} = 0,65$ )?

**603.** (Bild 176) Der angegebene magnetische Kreis wird durch eine Spule von  $20 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$  nutzbarem Wickelquerschnitt mit  $68 \text{ A}$  erregt. a) Wieviel Windungen sind bei einer Stromstärke von  $0,5 \text{ A}$  erforderlich? b) Prüfe, ob bei einem Drahtdurchmesser von 0,6 mm und einem Kupferfüllgrad von 0,5 der Wickelraum ausreicht. c) Welche maximale Stromstärke kann bei voller Ausnutzung der Wickelhöhe und Verwendung von 1 mm dickem Draht gewählt werden, wenn die Übertemperatur 40 K betragen darf?

**604.** Welche Induktion kann im Kern nach M 65 (S. 55) bei guter Ausnutzung des Wickelraumes ( $40 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ ) und einer zulässigen Übertemperatur von 50 K erzielt werden? (Es ist die in Aufgabe 544 ermittelte Magnetisierungskurve zu Hilfe zu nehmen [ $k_{\text{cu}} = 0,6$ ]).

**605.** Welche Stromstärke ist für die zur Erregung eines Kerns EI 48 errechnete Durchflutung von 162 A zu wählen, wenn mit Draht von 1 mm Durchmesser der zur Verfügung stehende Wickelraum mit  $21 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$  gut ausgenützt wird ( $k_{\text{cu}} = 0,6$ )? Welche Übertemperatur entsteht in diesem Fall?

**606.** Eine mit  $\Theta = 478 \text{ A}$  berechnete Magnetwicklung ( $A_w = 27 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ ) wird an eine Spannung von 12 V angelegt. a) Welchen Querschnitt muß der Draht bei einer mittleren Windungslänge von 11 cm haben? Wie groß sind b) Windungszahl bei  $k_{\text{cu}} = 0,6$ , c) Stromdichte, d) Stromstärke, e) Übertemperatur? ( $\rho = 0,02 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ )

**607.** Dieselbe Erregerspule wird an eine Spannung von 5 V angeschlossen. Es sind dieselben Daten zu berechnen.

**608.** Die Wicklung eines Graugußkerns besteht aus 1000 Windungen Draht von 0,5 mm

Durchmesser und 6,5 cm mittlerer Windungslänge. Welche Induktion wird erzielt, wenn sie an eine Spannung von 3 V angeschlossen wird? ( $\rho = 0,02 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ )

**609.** An der mit 7780 A berechneten Erregerwicklung eines Nebenschlußmotors liegt die Spannung 65 V. Die Stromdichte beträgt  $2,8 \text{ A/mm}^2$  (Kupfer). a) Welche Drahtdicke ist zu wählen (mittlere Windungslänge 54 cm)? b) Welcher Strom fließt? c) Wie hoch ist der Leistungsverbrauch? ( $\rho = 0,02 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ )

**610.** Die Erregerwicklung eines Lautsprechermagneten ist mit 878 A berechnet und an die Spannung 220 V angeschlossen. Berechne für den Wickelraum  $42 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$ , den Füllgrad  $k_{\text{cu}} = 0,6$  und die mittlere Windungslänge 11,3 cm a) die erforderliche Windungszahl, b) die Stromstärke, c) den Widerstand, d) die Drahtdicke und e) den Leistungsverbrauch.

## 7. Induktionsvorgänge

### 7.1. Das Induktionsgesetz

Formeln:

$$u_q = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Ruhende Spule

$$u_q = Blv$$

Bewegter Leiter

$$\Delta Q = \frac{N \Delta \Phi}{R}$$

	Größe	Zeichen	Einheit
Momentanwert der induzierten Quellenspannung	$u_q$	V	
magnetische Flußänderung	$\Delta \Phi$	V s = Wb	
Induktion	$B$	V s/m <sup>2</sup> = T	
Geschwindigkeit des bewegten Leiters	$v$	m/s	
wirksame Leiterlänge	$l$	m	
Windungszahl der Induktionsspule im Leiter verschobene	$N$	1	
Ladungsmenge	$\Delta Q$	A s = C	
Widerstand der Induktionsspule	$R$	$\Omega$	

Hinweis:

Die induzierte Quellenspannung  $u_q$  bildet bei Flußzunahme  $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$  mit der Flußrichtung eine Rechtsschraube, bei Flußabnahme dagegen eine Linksschraube. Der von der Quellenspannung angetriebene Induktionsstrom ist dieser entgegen gerichtet. Bei rechtsschraubiger Zuordnung haben in den Diagrammen  $u_q$  und  $\Phi$  positives Vorzeichen. Negatives Vorzeichen von  $u_q$  bedeutet linksschraubige Zuordnung (bei Flußabnahme).

**611.** Welche Quellenspannung entsteht in einem Draht, der sich mit der Geschwindigkeit 8 cm/s quer durch ein homogenes Feld von 0,5 T und 4 cm Breite bewegt?

**612.** Ein Uhrwerk zieht innerhalb von 17 s einen Draht quer durch ein  $5\text{ cm} \times 4\text{ cm}$  großes homogenes Magnetfeld von 0,62 T. Welche Quellenspannung entsteht dabei im Draht?

**613.** Ein Draht bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 4 cm/s durch ein 3 cm breites Magnetfeld, wobei das angeschlossene Galvanometer von  $10\Omega$  einen Strom von 0,1 mA anzeigt. Welche Stärke hat das Feld?

**614.** (Bild 189) Eine Kupferscheibe von 12 cm Radius rotiert mit der Drehzahl  $n = 25\text{ 1/s}$  in einem Magnetfeld der Induktion  $B = 0,3\text{ T}$ , das die Scheibe rechtwinklig durchsetzt. Welche Spannung wird zwischen den Schleifkontakteen bei A und B abgegriffen?

**615.** Eine quadratische Spule von  $a = 5\text{ cm}$  Seitenlänge und  $N_2 = 50$  Windungen rotiert mit  $250\text{ 1/min}$  um ihre Symmetrieachse im Innern einer langen Zylinderspule, die je Zentimeter 8 Windungen trägt und von 6 A durchflossen wird. Welchen Höchstwert erreicht die induzierte Quellenspannung nach je  $1/2$  Umdrehung?

**616.** Mit welcher Drehzahl müßte die Spule in der vorigen Aufgabe rotieren, wenn die induzierte Quellenspannung einen Scheitwert von 10 mV haben soll?

**617.** Auf dem 12 cm langen Trommelanker (8 cm Durchmesser) einer Gleichstrommaschine liegen 450 Drähte. In jedem Augenblick befinden sich  $4/5$  von ihnen in dem als homogen vorausgesetzten Feld von 0,68 T. a) Welche Spannung wird induziert, wenn alle Drähte hintereinandergeschaltet sind und der Anker mit  $800\text{ 1/min}$  umläuft? b) Welche Leistung wird erzeugt, wenn der Gesamtwiderstand des Stromkreises  $40\Omega$  beträgt? c) Welcher Strom fließt hierbei?

**618. bis 622.** Der eine einfache Stromschleife durchsetzende Fluß  $\Phi$  hat den auf den Bildern 190 bis 194 angegebenen zeitlichen Verlauf. Welchen zeitlichen Verlauf hat die induzierte Quellenspannung  $u_q$ , und wie groß sind ihre Maximalwerte?

Auf den Bildern 195 bis 198 sind Größe und zeitlicher Verlauf der in einer Stromschleife induzierten Quellenspannung  $u_q$  angegeben. Welchen Betrag und welchen zeitlichen Verlauf hat der die Stromschleife durchsetzende magnetische Fluß  $\Phi$ ?

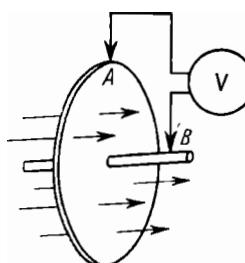


Bild 189.  
Aufgabe 614

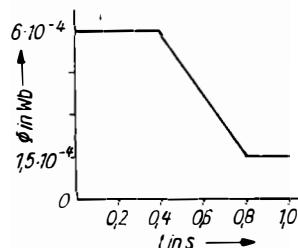


Bild 190.  
Aufgabe 618

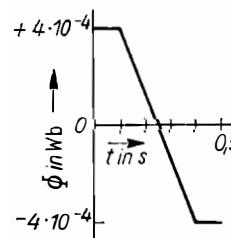


Bild 191. Aufgabe 619

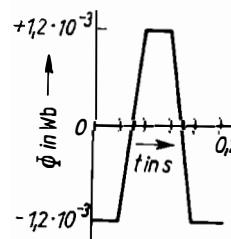


Bild 192. Aufgabe 620

**623.** (Bild 195) Anfangswert des Flusses ist nicht angegeben.

**624.** (Bild 196) Anfangswert des Flusses  $\Phi_0 = 0$ .

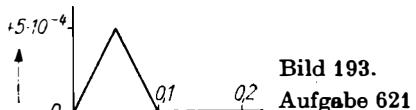


Bild 193.  
Aufgabe 621

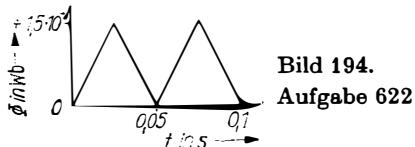


Bild 194.  
Aufgabe 622

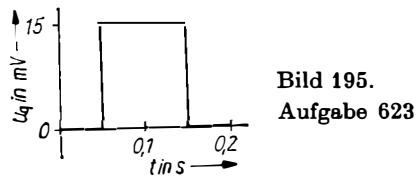


Bild 195.  
Aufgabe 623

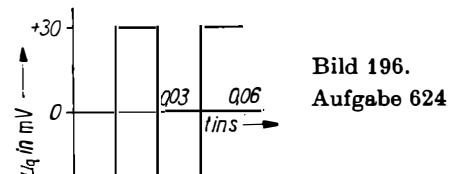


Bild 196.  
Aufgabe 624

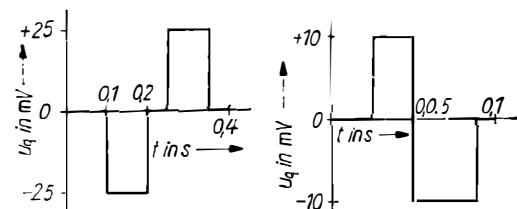


Bild 197.  
Aufgabe 625

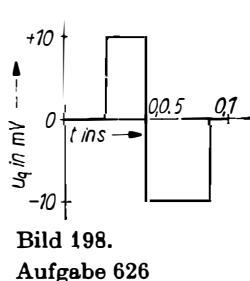


Bild 198.  
Aufgabe 626

**625.** (Bild 197) Anfangswert des Flusses  $\Phi_0 = -10^{-3}$  Wb.

**626.** (Bild 198) Anfangswert des Flusses  $\Phi_0 = +4 \cdot 10^{-4}$  Wb.

**627.** Eine Gleichstrommaschine von gleichen Abmessungen wie in Aufgabe 617, jedoch mit der Luftspaltinduktion  $0,75$  T, liefert bei einem Gesamtwiderstand von  $250$   $\Omega$  einen Strom von  $1,2$  A. a) Welche Quellenspannung  $u_q$  wird im Anker induziert, b) mit welcher Drehzahl läuft die Maschine?

**628.** Ein in Richtung Ost-West liegender Metallstab von  $2$  m Länge fällt aus  $15$  m Höhe zu Boden. Welche Spannung zwischen seinen Enden wird vom erdmagnetischen Feld ( $0,2 \cdot 10^{-4}$  T) induziert, wenn der Stab den Boden erreicht?

**629.** Der Erregerstrom eines Ringmagneten von  $1\text{ cm}^2$  Querschnitt wird so reguliert, daß die Induktion innerhalb von  $25$  s gleichförmig von  $0,1$  auf  $1,2$  T anwächst. Welche Spannung wird dadurch in der Sekundärwicklung von  $200$  Windungen induziert?

**630.** Eine Zylinderspule von  $40$  cm Länge und  $5$  cm Durchmesser trägt als Primärwicklung  $800$  Windungen und eine bedeutend kürzere Sekundärwicklung von  $2000$  Windungen. Den Primärstrom lässt man innerhalb von  $3$  s gleichförmig von  $0,1$  A auf  $5$  A anwachsen. Welche Spannung wird während dieser Zeit induziert?

**631.** Welche Ladung wird in einer Spule von  $40$  Windungen verschoben, wenn der sie durchsetzende Fluß von  $10^{-4}$  auf  $2,5 \cdot 10^{-3}$  Wb zunimmt? Die Spule bildet mit dem Meßinstrument einen Stromkreis von  $50\Omega$ .

**632.** Beim Herausziehen eines permanenten Stabmagneten aus einer Spule von  $85$  Windungen zeigt ein ballistisches Galvanometer einen Stoßausschlag von  $150\mu C$  an. Der Gesamtwiderstand des Stromkreises beträgt  $35\Omega$ . Welchen Fluß besitzt der Magnet?

**633.** Ein ballistisches Galvanometer gibt in  $1$  m Entfernung einen Ausschlag des Lichtzeigers von  $1$  mm je  $10^{-8}$  C. Welcher Flußänderung entspricht dies bei Verwendung einer Probespule von  $10$  Windungen und einem Widerstand des Instruments einschl. Meßspule von  $33\Omega$ ?

**634.** Die Probespule von  $10$  Windungen wird um eine stromdurchflossene Zylinderspule gelegt und dann heruntergezogen. Das ballistische Instrument zeigt einen Stoßausschlag von  $45 \cdot 10^{-8}$  C an. Welcher Strom floß durch die Zylinderspule? ( $l = 30$  cm;  $d = 4$  cm;  $400$  Windungen; Gesamtwiderstand  $33\Omega$ )

**635.** Während dieses Versuches trat bei ruhender Probespule eine plötzliche Stromschwankung auf, die einen Stoßausschlag von

0,12  $\mu\text{C}$  hervorrief. Um welchen Betrag hatte sich der Strom geändert?

**636.** Welchen Ausschlag wird das ballistische Galvanometer (Widerstand einschl. Meßspule 350  $\Omega$ ) zeigen, wenn eine in Nord-Süd-Richtung vertikal stehende Induktionsspule von 500 Windungen und 30cm Durchmesser (Erdinduktator) eine rasche Drehung um  $90^\circ$  um ihre Vertikalachse ausführt? (Horizontalintensität des Erdfeldes =  $0,2 \cdot 10^{-4} \text{ T}$ )

**637.** Ein Stahlgußring von 12 cm mittlerem Durchmesser trägt 350 Windungen von 2,2cm mittlerem Windungsdurchmesser. Die Stromstärke beträgt 0,5 A. Die Sekundärwicklung besitzt 5 Windungen, die an ein ballistisches Galvanometer angeschlossen sind. Wieviel Coulomb muß das Galvanometer bei jeweiligem Öffnen des Stromkreises anzeigen? Der Widerstand des Galvanometerkreises beträgt 50  $\Omega$ .

**638.** Je ein Ring von den in Aufgabe 637 genannten Abmessungen wird mit einem Eisenkern und mit einem Holzkern hergestellt. Welche Permeabilität hat das Eisen, wenn bei gleicher Durchflutung das ballistische Galvanometer in einem Fall  $198,8 \cdot 10^{-8} \text{ C}$  und im anderen Fall  $0,71 \cdot 10^{-8} \text{ C}$  anzeigt?

**639.** An einem Gleichstrommotor liegt eine Spannung von 110 V. Der Anker hat einen Widerstand von 0,3  $\Omega$  und wird von 6 A durchflossen. a) Welche Quellenspannung wird im Anker induziert? b) Welchen Wert nimmt diese an, wenn das Feld bei gleicher Drehzahl um 1,5 % geschwächt wird? c) Welchen Betrag hat dann die Stromstärke im Anker bei unveränderter Klemmenspannung?

**640.** Im Stromkreis eines Elektromagneten mit aufgelegtem Anker liegt ein mit normaler Helligkeit brennendes Lämpchen. Welche Vorgänge spielen sich ab, wenn der Anker plötzlich abgehoben wird?

## 7.2. Induktivität bei konstanter Permeabilitätszahl

### 7.2.1. Induktivität eisenfreier Spulen

**Formeln:**

$$L = \frac{N^2 \mu_0 \mu_r A}{l}$$

Größe	Zeichen	Einheit
Selbstinduktionskoeffizient (Induktivität)	$L$	$\frac{\text{Vs}}{\text{A}}$
Windungszahl mittlere Feldlinienlänge	$N$ $l$	1 m

Für kurze mehrlagige Spulen (Bild 200) gilt:

$$L = \frac{21 \mu_0 \mu_r N^2 R}{4\pi} \left( \frac{R}{l+h} \right)^n$$

$$n = 0,75, \quad \text{wenn } \left( \frac{R}{l+h} \right) < 1$$

$$n = 0,5, \quad \text{wenn } 1 < \left( \frac{R}{l+h} \right) \leq 3$$

Größe	Zeichen	Einheit
Windungsquerschnitt	$A$	$\text{m}^2$
Permeabilitätszahl	$\mu_r$	1
mittlerer Spulendurchmesser	$d_m$	m
mittlerer Spulenradius	$R$	m
Spulenlänge	$l$	m
Wickelhöhe	$h$	m
magnetische Feldkonstante $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Vs/A m}$		

*Hinweis:*

Die 1. Formel gilt nur für Ringspulen (Bild 199) und näherungsweise für lange einlagige Zylinderspulen. Für andere Spulenformen können ebenfalls nur Näherungsformeln angegeben werden.

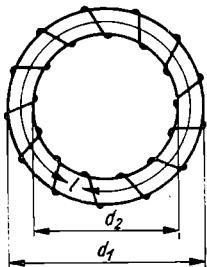


Bild 199.

Aufgaben 641 bis 644

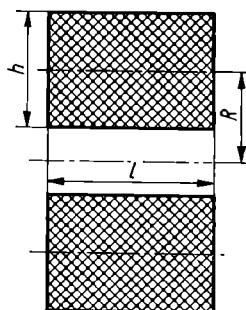


Bild 200.

Aufgaben 650 bis 654

**641.** Welche Induktivität hat eine Ringspule mit Holzkern und den Durchmessern  $d_1 = 8 \text{ cm}$ ,  $d_2 = 6 \text{ cm}$  sowie 210 Windungen?

**642.** Welche Induktivität hat eine Ringspule mit Massekern ( $\mu_r = 35$ ) und den Durchmessern  $d_1 = 65 \text{ mm}$ ,  $d_2 = 40 \text{ mm}$  sowie  $N = 125$ ?

**643.** Wieviel Windungen muß ein Keramikring von  $d_1 = 64 \text{ mm}$  und  $d_2 = 48 \text{ mm}$  erhalten, um eine Induktivität von  $0,012 \text{ mH}$  zu erzielen?

**644.** Anstatt der unmagnetischen Füllung wird im letzten Beispiel ein Ferrocartkern ( $\mu_r = 25$ ) verwendet. Wieviel Windungen genügen dann?

**645.** Welche Permeabilitätszahl hat der Füllstoff, wenn bei 49 Windungen die gleiche Induktivität gemessen wurde wie in Aufgabe 643?

**646.** Berechne die Induktivitäten folgender einlagiger, eisenloser Zylinderspulen:

	a)	b)	c)	d)
$l$	35 cm	6 cm	15 cm	50 cm
$d_m$	4,5 cm	0,8 cm	2,9 cm	5 cm
$N$	250	450	280	500

**647.** Welche Windungszahlen benötigen folgende einlagige Zylinderspulen:

	a)	b)	c)
$L$	54 mH	8,5 mH	15 mH
$\mu_r$	26	32	142
$l$	7,5 cm	4,8 cm	5,9 cm
$d_m$	1,4 cm	0,6 cm	0,75 cm

**648.** Die Länge einer Zylinderspule soll um 20 % verkürzt werden. Um wieviel Prozent muß der Durchmesser vergrößert werden, wenn die Windungszahl je Zentimeter und die Induktivität unverändert bleiben soll?

**649.** Ein eisenfreier Spulenkern von 18 cm Länge und 3 cm Durchmesser wird mit Draht von folgenden Durchmessern einlagig lückenlos eng bewickelt: a) 0,2 mm; b) 1,5 mm und c) 2,5 mm. Welche Induktivitäten ergeben sich bei Berücksichtigung der Drahtdicke?

**650.** Berechne die Induktivitäten folgender kurzer Luftspulen:

	a)	b)	c)	d)
$N$	600	350	433	1450
$R$ in cm	3	5	6,4	2,5
$l$ in cm	3	1	0,5	5
$h$ in cm	2	1,5	1,8	1,5

**651.** Mit wieviel Windungen müssen die in Aufgabe 650 genannten Spulen bei gleichen Abmessungen bewickelt werden, wenn folgende Induktionen erhalten werden sollen: a) 25 mH; b) 12 mH; c) 35 mH und d) 373 mH.

**652.** Wieviel Windungen müssen folgende Zylinderspulen (Massekern) aufnehmen:

	a)	b)
$R$ in cm	1,5	2,8
$l$ in cm	4,0	1,0
$h$ in cm	0,5	0,3
$\mu_r$	4,2	3,5
$L$ in mH	30	40

**653.** Eine einlagige Zylinderspule hat

200 Windungen, den Querschnitt  $2 \text{ cm}^2$  und ist 16 cm lang. Um welchen Betrag nimmt die Induktivität ab, wenn 50 Windungen entfernt werden?

**654.** Welche Induktivität hat eine mit Draht von a) 0,8 mm, b) 1,2 mm und c) 2,4 mm Außendurchmesser bewickelte Spule (Bild 200) von  $h = 2,4 \text{ cm}$ ,  $l = 6 \text{ cm}$ ,  $R = 2 \text{ cm}$ ? Jeder Draht beansprucht als Wickelraum ein Quadrat seines Durchmessers.

**655.** Es stehen 50 m Draht von 1,5 mm äußerem Durchmesser zur Verfügung. Welche Induktivität entsteht, wenn ein Pappzyylinder von 3 cm Durchmesser damit einzligig bewickelt wird?

**656.** Eine Spule soll mit  $l_D = 50 \text{ m}$  Draht von  $D = 1,5 \text{ mm}$  Durchmesser so gewickelt werden, daß das Verhältnis Spulenlänge( $l$ ):Kern durchmesser ( $d$ ) = 8:1 beträgt. Welche Kernabmessungen und Induktivität ergeben sich?

## 7.2.2. Induktivität bei Anwesenheit von Eisen

**Formeln:**

$$L = \frac{\Phi}{I} N$$

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 A}{l}$$

Größe	Zeichen	Einheit
Selbstinduktivität	$L$	H
magnetischer Fluß	$\Phi$	Vs = Wb
Windungszahl	$N$	1
Querschnitt des magnetischen Feldes	$A$	$\text{m}^2$
mittlere Feldlinienlänge	$l$	m
Permeabilitätszahl	$\mu_r$	1
magnetische Feldkonstante $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Vs/A m}$		

**Anleitung:**

Die Induktivität von Spulen mit Eisenkern ist keine Konstante, sondern von der Permeabilitätszahl  $\mu_r$  abhängig, die von Fall zu Fall aus der Magnetisierungskurve zu entnehmen ist (S. 50). Bei zusammengesetzten magnetischen Kreisen geht man vom Fluß  $\Phi$  aus.

**657.** Berechne für eine Ringspule (Stahlgußkern) von 175 Windungen, 12 cm mittlerem Durchmesser und  $2 \text{ cm}^2$  Windungsfläche die Permeabilitätszahlen und hieraus die Induktivitäten für folgende Stromstärken: a) 0,1 A, b) 0,2 A, c) 0,4 A, d) 0,6 A, e) 0,8 A, f) 1,0 A, g) 1,2 A, h) 1,4 A.

**658.** Stelle den Verlauf der Induktivität in Abhängigkeit von der Stromstärke für das vorstehende Beispiel grafisch dar.

**659.** Berechne für eine Ringspule (Graugußkern) die Permeabilitätszahlen und hieraus die Induktivitäten für folgende Induktionen (Abmessungen: 85 Windungen,  $l_m = 16,5 \text{ cm}$ ,  $A = 0,8 \text{ cm}^2$ ): a) 0,05 T, b) 0,1 T, c) 0,2 T, d) 0,4 T, e) 0,5 T, f) 0,6 T, g) 0,7 T, h) 0,8 T.

**660.** Stelle die Induktivität dieser Spule in Abhängigkeit von der Induktion grafisch dar.

**661.** Wie groß ist die Induktivität einer Spule mit Eisenkern bei einem magnetischen Fluß von  $5 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}$ , einer Durchflutung von 68 A und 136 Windungen?

**662.** Wie groß ist die Induktivität einer eisen gefüllten Spule bei einem magnetischen Fluß von  $2 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}$ , einer Stromstärke von 0,13 A und 3700 Windungen?

**663.** Wie groß ist die Induktivität einer eisen gefüllten Spule von 1000 Windungen, 1  $\text{cm}^2$  Querschnitt, der Induktion 0,19 T und der Stromstärke 0,45 A?

**664.** Welche Induktivität hat die Erregerwicklung eines Lautsprechermagneten von  $11,2 \text{ k}\Omega$ , die an der Spannung 220 V liegt und bei der Durchflutung von 878 A einen magnetischen Fluß von  $3,3 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$  erzeugt?

**665.** Die Erregerspule eines Lautsprechermagneten hat 18300 Windungen, den Widerstand  $1402 \Omega$ , verbraucht die Leistung 2,57 W und erzeugt den Fluß  $1,2 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$ . Wie groß ist ihre Induktivität?

**666.** Ermittle die Induktivitäten des in Aufgabe 544 berechneten magnetischen Kreises für die einzelnen Induktionen, und stelle sie in Abhängigkeit von der Durchflutung grafisch dar ( $N = 1000$  Windungen).

**667.** Welchen magnetischen Fluß erzeugt eine eisengefüllte Spule von 2000 Windungen, deren Durchflutung 162 A und Induktivität 13 H betragen?

**668.** In einem als streuungsgesättigt angenommenen magnetischen Kreis von  $10 \text{ cm}^2$  Querschnitt und 45 cm Eisenweg herrscht eine Induktion von 1,4 T (Stahlguß). Welche Windungszahl und Stromstärke sind erforderlich, um eine Induktivität von 5,83 H zu erzielen?

**669.** Derselbe Kreis soll bei einer Induktion von 0,9 T eine Induktivität von 20 H ergeben. Wie groß sind Windungszahl und Stromstärke?

**670.** Welchen Querschnitt muß ein als streuungsgesättigter magnetischer Kreis von 35 cm Eisenweg aufweisen, wenn bei einer Induktion von 0,8 T die Selbstinduktivität 15 H betragen soll? a) Stahlguß, b) Grauguß. Die Erregerspule habe in beiden Fällen 14000 Windungen. Berechne außerdem die Stromstärke.

**671.** Ein magnetischer Kreis soll bei größtmöglicher Materialersparnis in Form eines quadratischen Rahmens aus Grauguß hergestellt werden. Gemäß der sich ergebenden

Strombelastung muß der Draht einen Durchmesser von 0,3 mm haben. Berechne zunächst den sich ergebenden Wicklungsquerschnitt ( $k_{Cu} = 0,6$ ; 14000 Windungen), wobei für den Raumbedarf des Spulenkörpers usw. 20 % zuzuschlagen sind, und die Seitenlänge des sich ergebenden quadratischen Fensters. Welche Abmessungen muß der Rahmen bei quadratischem Eisenquerschnitt haben, wenn die Induktivität 15 H, die Induktion 0,8 T betragen soll?

**672.** Eine Drosselspule hat bei den Luftspaltbreiten 1,5 mm bzw. 3 mm die Induktionen 1,6 T bzw. 1,2 T. Wie groß sind die Induktivitäten, wenn die Windungszahl 1000, die Durchflutung 3000 A und der Flußquerschnitt  $8 \text{ cm}^2$  betragen?

**673.** Berechne die Induktivitäten der in Aufgabe 551 S. 56 berechneten Drosselspule mit Luftspalt bei einer Induktion von 0,3 T, 0,6 T bis 2,1 T. Die Erregerspule hat 4000 Windungen, der Eisenquerschnitt beträgt  $1 \text{ cm}^2$  (Stahlguß).

**674.** Stelle die Induktivität des letzten Beispiels in Abhängigkeit von der Durchflutung grafisch dar.

**675.** Berechne die Induktivitäten der in Aufgabe 554 S. 56 berechneten Drosselspule mit Luftspalt bei einer Induktion von 0,2 T; 0,4 T bis 1,2 T, 4000 Windungen und  $1 \text{ cm}^2$  Eisenquerschnitt (Grauguß). Stelle das Ergebnis grafisch dar.

### 7.3. Induktivität von Leitungen

#### Formeln:

Für eine Doppelleitung (Bild 201)  
(Hin- und Rückleitung):

$$L = \frac{\mu_0}{\pi} l \left( \ln \frac{a}{r} + 0,25 \right)$$

Größe	Zeichen	Einheit
Induktivität einfache Länge der Doppelleitung	<i>L</i>	$\text{H} = \text{V s/A}$

m

**Formeln:**

Für konzentrische Kabel mit dünnem Innenleiter:

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} l \left( \ln \frac{r_a}{r_i} + 0,25 \right)$$

Gesamtinduktivität einer 3-Phasen-Leitung (Bild 202):

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} l \left( \ln \frac{a}{r} + 0,25 \right)$$

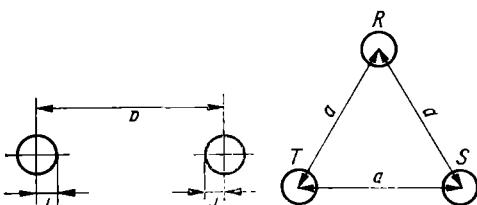


Bild 201.

Aufgaben 676 bis 681

Bild 202.

Aufgaben 687 und 688

**676.** Welche Induktivität haben folgende Doppelleitungen:

a)	b)	c)	d)
Länge $l$	30 m	500 m	3 km
$r$ in mm	1,5	2,5	1,8
$a$ in cm	5	25	30

**677.** Welche Induktivität je Kilometer hat eine Doppelleitung aus 2 mm dickem Draht bei folgenden Abständen: a) 15 cm; b) 20 cm; c) 25 cm; d) 30 cm?

**678.** Stelle die in der vorigen Aufgabe berechnete Induktivität in Abhängigkeit von 10 cm bis 3 m Leiterabstand grafisch dar.

**679.** Welche Induktivität je Kilometer hat eine Doppelleitung von 20 cm Abstand bei folgenden Drahtdicken: a) 1,5 mm b) 2 mm c) 3 mm; d) 4 mm?

**680.** Stelle die Induktivität je Kilometer der vorigen Aufgabe in Abhängigkeit von der Drahtdicke grafisch dar.

**681.** Welche Länge hat eine Doppelleitung von 30 cm Abstand und 2,5 mm Drahtdicke, deren Induktivität 4,5 mH beträgt?

Größe	Einheit	Zeichen
Abstand der Leitermittelpunkte	m	$a$
Radien der Leiter	m	$r$
Außenleiter	m	$r_a$
Innenleiter	m	$r_i$
$\ln a = 2,3 \lg a$		

**682.** Welche Induktivität hat ein koaxiales Antennenkabel von 25 m Länge, dessen Außenleiter 8 mm und Innenleiter 1 mm Durchmesser hat?

**683.** Welchen Durchmesser müßte der Außenleiter dieses Kabels haben, wenn die Induktivität den doppelten Wert haben soll, wie sich aus Aufgabe 682 ergibt?

**684.** Welche Gesamtinduktivität je Kilometer weist eine Einphasenleitung von 4,5 mm Drahtdurchmesser bei folgenden Abständen auf: a) 30 cm; b) 40 cm; c) 60 cm; d) 80 cm?

**685.** Um wieviel Prozent verringert sich die Gesamtinduktivität je Kilometer einer Doppelleitung, wenn der Drahtdurchmesser von 3,55 mm auf 5,6 mm erhöht, der Leiterabstand von 50 cm jedoch beibehalten wird?

**686.** Bei welchem Verhältnis von  $\frac{\text{Leiterabstand}}{\text{Drahtdurchm.}}$  beträgt die Gesamtinduktivität einer Einphasenleitung je Kilometer 2 mH?

**687.** Der Drahtabstand einer 3-Phasen-Leitung beträgt  $a = 60$  cm bei einem Drahtdurchmesser von 3 mm. Wie groß ist die Gesamtinduktivität je Kilometer?

**688.** Um wieviel Meter je Kilometer ist eine 3-Phasen-Leitung kürzer, wenn bei gleicher Induktivität je Kilometer und demselben Drahtdurchmesser wie in der letzten Aufgabe der Leiterabstand 80 cm beträgt?

**689.** Welchen Leiterabstand hat eine Doppelleitung vom Drahtdurchmesser 3 mm, wenn die Induktivität 2 mH je Kilometer beträgt?

**690.** Bei näherungsweiser Berechnung kann in der Formel für Doppelleitungen der Sum-

mand 0,25 weggelassen werden. Von welchem Verhältnis  $a/r$  an wird der Fehler kleiner als 5 %?

**691.** Um welchen Betrag nimmt die Induktivität eines Kabels je Kilometer ab, wenn der Durchmesser des Innenleiters verdoppelt wird?

**692.** Um welchen Betrag nimmt die Induktivität einer Doppelleitung je Kilometer zu, wenn der Leiterabstand auf das 1,5fache vergrößert wird?

**693.** Nach Vergrößerung des Leiterabstandes nimmt die Induktivität einer Doppelleitung je Kilometer um 0,35 mH zu. Wie groß ist der neue Abstand, wenn der bisherige 25 cm betrug?

**694.** (Bild 203) Eine einfache kreisringförmige Leitung vom Radius  $R$  und dem Leiterradius  $r$  hat die Induktivität

$$L = \mu_0 R \left( \ln \frac{R}{r} + 0,25 \right).$$

Wie groß ist die Induktivität bei einem Ringradius von a) 10 cm und b) 100 m und dem Drahtdurchmesser 1 mm?

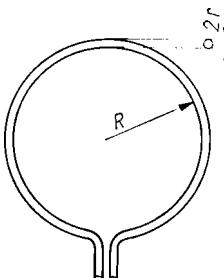


Bild 203.  
Aufgaben 694 bis 696

**695.** (Bild 203) Welchen Radius hat eine einfache Ringleitung aus Draht von 2 mm Durchmesser bei der Induktivität 2  $\mu\text{H}$ ? (Näherungsrechnung!)

**696.** (Bild 203) Um wieviel Prozent nimmt die Induktivität einer kreisringförmigen Leitung ( $R/r = 1000$ ) zu, wenn der Ringradius verdoppelt wird?

## 7.4. Gegeninduktivität und Kopplung von eisenlosen Spulen

Formeln:

$$M = k \mid L_1 L_2 \mid$$

Für 2 koaxial ineinanderliegende lange Zylinderspulen, wenn  $l_1 \ll l_2$  ist (Bild 204):

$$M = \frac{\mu_0 N_1 N_2 d_2^2 \pi}{4 l_1}$$

Für 2 lange einlagige, auf gemeinsamen Zylinder gewickelte Spulen gleicher Länge (Bild 205):

$$M = \frac{\mu_0 N_1 N_2 \pi d^2}{4 l}$$

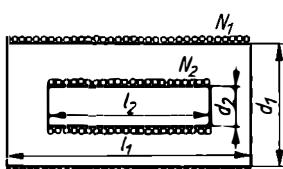


Bild 204.  
Aufgabe 704

Größe	Zeichen	Einheit
Koeffizient der Gegeninduktion bzw. der Selbstinduktion	$M$	H
Kopplungsfaktor	$L$	H
Windungszahlen	$k$	1
Durchmesser der größeren bzw. kleineren Spule	$N_1, N_2$	1
Spulenlänge	$d_1, d_2$	m
	$l_1, l_2$	m

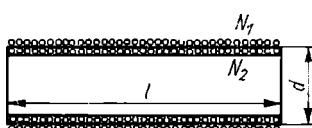


Bild 205. Aufgabe 699

**697.** Zwei Spulen haben einzeln die Induktivität  $L_1 = L_2 = 20 \text{ mH}$  und miteinander gekoppelt die Gegeninduktivität  $M = 10 \text{ mH}$ . Wie groß ist der Kopplungsfaktor  $k$ ?

**698.** Welche Gegeninduktivitäten haben folgende Spulenpaare:

	a)	b)	c)
$L_1$	$15 \mu\text{H}$	$3,2 \text{ mH}$	$4,5 \text{ mH}$
$L_2$	$24 \mu\text{H}$	$1,6 \text{ mH}$	$8,2 \text{ mH}$
$k$	0,1	0,4	1

**699.** (Bild 205) Auf einem Pertinaxrohr von 3 cm Durchmesser befinden sich übereinander  $N_1 = 80$  bzw.  $N_2 = 60$  Windungen von je 18 cm Wicklungslänge. Wie groß ist die Gegeninduktivität?

**700.** Die Gegeninduktivität der letzten Anordnung soll durch Vergrößerung der Windungszahl  $N_2$  auf  $28 \mu\text{H}$  erhöht werden. Wieviel Windungen muß die zweite Spule dann tragen?

**701.** Um wieviel Prozent erhöht sich die Selbstinduktivität dieser Wicklung durch die vorgenommene Vergrößerung der Windungszahl?

**702.** Auf einen Pappzylinder von 2,5 cm Durchmesser werden übereinander 2 getrennte Lagen von 1 mm (Außendurchmesser) starkem Draht gewickelt, so daß eine Gegeninduktivität von  $300 \mu\text{H}$  entsteht. Wieviel Windungen je Wicklung sind erforderlich?

**703.** Die Induktivitäten zweier Spulen verhalten sich wie 1:3, ihre Gegeninduktivität beträgt  $55 \text{ mH}$ . Welches sind ihre Induktivitäten bei Annahme fester Kopplung?

**704.** (Bild 204) In einer Spule von 65 Windungen und 8 cm Länge steckt konzentrisch eine zweite, jedoch kürzere Spule von 25 Win-

dungen und 1,8 cm Durchmesser. Welche Gegeninduktivität entsteht dadurch?

**705.** Die Windungszahlen zweier Spulen von gleichen äußeren Abmessungen verhalten sich wie 1:4. Ihre Gegeninduktivität beträgt bei ideal fester Kopplung  $150 \text{ mH}$ . Welches sind ihre Selbstinduktivitäten?

**706.** Um den Kopplungsfaktor zweier Spulen zu bestimmen, schaltet man diese einmal hintereinander und einmal gegeneinander. Im ersten Fall mißt man die Gesamtinduktivität  $L'$ , im zweiten Fall den Wert  $L''$ . Dann ist  $k = \frac{L' - L''}{\sqrt{L_1 L_2}}$ . Bestätige die Richtigkeit dieser Formel. Der magnetische Leitwert  $\Lambda$  beider Spulen sei als gleich groß angenommen.

**707.** Nach Aufgabe 706 wurden zwei Spulen von  $L_1 = 25 \text{ mH}$  und  $L_2 = 44 \text{ mH}$  in der angegebenen Weise miteinander verbunden und dabei die Werte  $L' = 50 \text{ mH}$  und  $L'' = 12 \text{ mH}$  gemessen. Welcher Kopplungsfaktor liegt vor?

**708.** Welche Induktivitäten  $L'$  und  $L''$  werden für den Fall vollständiger Kopplung gemessen, wenn wie in der vorigen Aufgabe  $L_1 = 25 \text{ mH}$  und  $L_2 = 44 \text{ mH}$  ist?

**709.** Welcher Kopplungsfaktor  $k$  liegt vor, wenn zwei Spulen einzeln die Induktivitäten von 26,3 und 39 mH haben, gemeinsam aber eine Gegeninduktivität  $M$  von a) 32 mH, b) 15,8 mH, c) 10 mH und d) 0,4 mH?

**710.** Zwei auf gemeinsamem Zylinder gewickelte Spulen ergeben hinter- bzw. gegenüberliegender geschaltet die Induktivitäten von 8 mH bzw. 2 mH. Welche Gegeninduktivität hat das Wicklungs paar (feste Kopplung)?

**711.** Die Induktivitäten zweier Spulen verhalten sich wie 2:5. Bei einem Kopplungsfaktor von 0,03 beträgt ihre Gegeninduktivität 6 mH. Welches sind ihre Induktivitäten?

## 7.5. Gegeninduktivität von Freileitungen

**Formeln:**

Anordnung 1 nach Bild 206:

$$M = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln \left( 1 + \frac{a^2}{b^2} \right)$$

Anordnung 2 nach Bild 207:

$$M = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln \frac{a_{14}a_{23}}{a_{13}a_{24}}$$

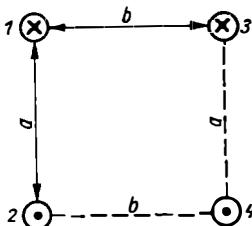


Bild 206.  
Aufgaben 712 bis  
717

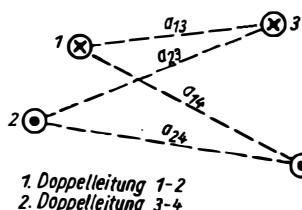


Bild 207.  
Aufgabe 718

**712.** Zwei 180 m lange Doppelleitungen von je 30 cm Drahtabstand ( $a$ ) sind in 50 cm gegenseitigem Abstand ( $b$ ) nach Anordnung 1 parallel zueinander verlegt. Berechne die Gegeninduktivität des Leitungspaares.

**713.** In welchem gegenseitigen Abstand  $b$  müssen die beiden Leitungen der vorigen Aufgabe verlegt werden, wenn die Gegeninduktivität höchstens 6  $\mu\text{H}$  betragen darf?

**714.** Welche Werte hat die Gegeninduktivität je Kilometer, wenn nach Anordnung 1 der Abstand  $a = 25$  cm und  $b$  folgende Werte hat:  
a) 40 cm; b) 80 cm und c) 120 cm?

**715.** Welche Gegeninduktivität je Kilometer hat eine Anordnung, bei der die 4 Drähte in den Eckpunkten eines Quadrates liegen?

Größe	Zeichen	Einheit
Gegeninduktivität	$M$	H
Leitungslänge	$l$	m
Leiterabstand	$a$	m
Abstand zur anderen Doppelleitung	$b$	m

**716.** Um welchen Faktor ändert sich die Gegeninduktivität der Anordnung 1, wenn a) die Abstände  $a$  doppelt so groß wie  $b$ , b) die Abstände  $b$  doppelt so groß wie  $a$  sind und c) beide Abstände  $a$  und  $b$  gleichzeitig verdoppelt werden?

**717.** Die 4 Drähte liegen in den Eckpunkten eines Rechteckes, dessen Seitenverhältnis  $a:b = 1:3$  beträgt. Welche Gegeninduktivität je Kilometer ergibt sich für den Fall, daß a) je eine Doppelleitung die kurze und b) die lange Rechteckseite bilden?

**718.** Berechne die Gegeninduktivität je Kilometer nach der für die allgemeine Anordnung 2 angegebenen Formel im Fall, daß die 4 Drähte in den Eckpunkten eines Quadrates liegen.

**719.** Die beiden Doppelleitungen sind nach Bild 208 trapezförmig angeordnet. Welche Gegeninduktivität je Kilometer ergibt sich für den Fall, daß a) je 1 Doppelleitung je einen Schenkel und b) je 1 Doppelleitung je eine Grundlinie des Trapezes bilden?

**720.** Ist es möglich, daß bei geeigneter Anordnung der Drähte die Gegeninduktivität verschwindet?

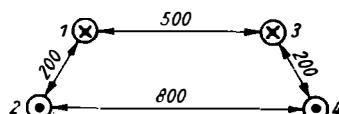


Bild 208. Aufgabe 719

## 7.6. Ein- und Ausschaltvorgänge mit Induktivitäten

**Formeln:**

$$T = \frac{L}{R}$$

Strom zur Zeit  $t$   
nach dem Einschalten:

$$i = I \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right)$$

Strom zur Zeit  $t$   
nach dem Ausschalten:

$$i = I e^{-\frac{t}{T}}$$

**Anleitung:**

Eine Induktivität bewirkt beim Anschluß einer Spannungsquelle ein allmähliches Anwachsen und beim Abschalten ein allmähliches Abklingen des Stromes. Zur Berechnung des Momentanwertes  $i$  im Zeitpunkt  $t$  verwendet man Tabellen der Exponentialfunktion  $e^x$  oder die Exponentialleiter des Rechenstabes.

**721.** Welche Zeitkonstanten haben folgende Drosselspulen:

	a)	b)	c)
$R$ in $\Omega$	300	85	20
$L$ in $H$	6,5	0,01	1,8

**722.** An einer Drosselspule von  $12 \Omega$  und  $0,6 H$  liegt eine Spannung von  $30 V$ . Welche Stärke hat der Strom a)  $0,01 s$ , b)  $0,05 s$ , c)  $0,1 s$ , d)  $0,15 s$ , e)  $0,20 s$  und f)  $0,25 s$  nach dem Einschalten?

**723.** Stelle den Verlauf des Einschaltstromes in Abhängigkeit von der Zeit grafisch dar.

**724.** Welchen Wert hat der Strom eine halbe Sekunde nach dem Einschalten, wenn die Induktivität einer Drosselspule  $2,5 H$ , ihr Widerstand  $20 \Omega$  und die Klemmenspannung  $24 V$  beträgt?

**725.** Welche Werte hat der Strom (Anfangswert  $I = 1,2 A$ ) a)  $0,01 s$ , b)  $0,05 s$ , c)  $0,1 s$  und d)  $0,2 s$  nach dem Abschalten in einer

Größe	Zeichen	Einheit
Zeitkonstante	$T$	s
Augenblickswert des Stromes	$i$	A
Zeit	$t$	s
Basis der natürlichen Logarithmen	e	
Anfangs- bzw. Endwert des Stromes	$I$	A

kurzgeschlossenen Spule, deren Zeitkonstante  $0,15 s$  beträgt?

**726.** Wann erreicht der Strom in einer Spule von  $15 \Omega$  und  $1,9 H$  nach dem Einschalten  $65\%$  seines Endwertes?

**727.** Welche Induktivität hat eine Drosselspule von  $35 \Omega$ , wenn der Strom  $0,5 s$  nach dem Einschalten  $\frac{3}{4}$  seines Höchstwertes erreicht hat?

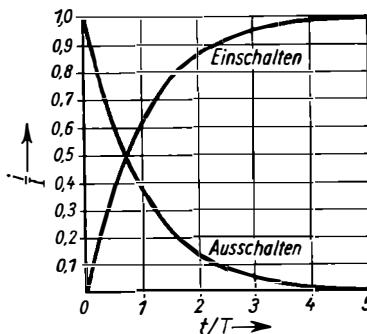


Bild 209. Aufgaben 728 bis 732

Zur Lösung der folgenden Aufgaben kann das in Bild 209 angegebene Diagramm benutzt werden.

**728.** Welche Werte hat der Strom durch eine Drosselspule von  $15 H$  und  $150 \Omega$  a)  $1/100 s$ , b)  $5/100 s$ , c)  $10/100 s$  und d)  $15/100 s$  nach

dem Einschalten bei einer Klemmenspannung von 220 V?

**729.** Die an einer Drosselspule von 2 H und  $2,1 \Omega$  liegende Spannung von 4 V wird abgeschaltet und die Spule kurzgeschlossen. Welche Werte hat der abklingende Strom nach a) 0,1 s, b) 0,3 s, c) 0,5 s und d) 2 s?

**730.** In dem geschlossenen Stahlgußkern von  $8 \text{ cm}^2$  Querschnitt einer Spule von 1000 Windungen entsteht eine Induktion 0,87 T. Die mittlere Feldlinienlänge beträgt 28 cm, der Widerstand  $5 \Omega$ . Nach welcher Zeit erreicht

der Strom beim Einschalten die Hälfte seines Endwertes?

**731.** Ein Relais hat 10000 Windungen, den Widerstand  $500 \Omega$  und die Induktivität 4,8 H. Welche Anzugszeit ergibt sich, wenn der Kontakt bei der Spannung 30 V nach Erreichen der Durchflutung 450 A geschlossen wird?

**732.** In einer Drosselspule wächst der Strom innerhalb von 0,3 s nach dem Einschalten auf Dreiviertel seines Maximalwertes an. Welchen Wert hat die Zeitkonstante?

## 8. Kraftwirkungen und Energieverhältnisse des magnetischen Feldes

### 8.1. Kraftwirkung auf Stromleiter im Magnetfeld

*Formeln:*

Kraft auf einen Stromleiter im Magnetfeld:

$$F = BlI$$

Kraft zwischen zwei parallelen Stromleitern:

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi a}$$

*Hinweis:*

Die 1. Formel gilt nur, wenn Kraftrichtung, Feldrichtung und die Richtung des Stromleiters rechtwinklig zueinander stehen.

**733.** Mit welcher Kraft weicht ein von a) 50 mA, b) 0,1 A, c) 1 A, d) 30 A durchflossener Draht seitlich aus, der rechtwinklig durch das 5 cm breite Feld eines Hufeisenmagneten von 0,085 T läuft?

**734.** Ein Bündel aus 45 Drähten, in denen je 5 A fließen, läuft durch ein 2,5 cm breites Feld von 0,4 T. Welche Kraft greift an dem Bündel an?

**735.** An einer Waage hängt ein von 2,4 A durchflossener Drahtbügel, der mit einer Breite von 3 cm quer in ein Magnetfeld taucht. Die Waage muß zum Ausgleich der

Größe	Zeichen	Einheit
Kraft	$F$	N (Newton)
Stromstärke	$I$	A
wirksame Länge des Leiters	$l$	m
Abstand der Stromleiter	$a$	m
Induktion	$B$	V s/m <sup>2</sup> = T
magnetische Feldkonstante	$\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Vs/Am}$	

wirkenden Kraft mit einem 2-g-Stück belastet werden. Welche Stärke hat das Feld?

**736.** Ein von 6 A durchflossener Leiter läuft unter dem Winkel  $\alpha$  durch ein 3,5 cm breites homogenes Magnetfeld von 0,54 T. Welche quergerichtete Kraft wirkt auf den Leiter?

**737.** Ein von 8,6 A durchflossenes Leiterstück von 2,5 cm Länge befindet sich unter einem Winkel von a)  $0^\circ$ , b)  $30^\circ$ , c)  $45^\circ$ , d)  $60^\circ$  und e)  $90^\circ$  in einem erheblich breiteren magnetischen Feld von 0,48 T. Welche Kraft wirkt auf den Leiter?

**738.** Im Luftspalt des in Bild 184 gezeichneten

ten Lautsprechermagneten befindet sich die von 150 mA durchflossene Schwingspule mit 45 Windungen. Welche Kraft wirkt auf die Membran (0,8 T)?

**739.** Welche Kraft wirkt auf die 60 Windungen einer im Luftspalt des Lautsprechermagneten (Bild 183) befindlichen Schwingspule, in der ein Strom von 0,35 A fließt, wenn die Induktion 1 T beträgt?

**740.** In dem 0,85 T starken Feld eines Drehspulinstrumentes befindet sich eine Ablenkspule mit 150 Windungen. Spulenbreite  $d = 12$  mm, im Feld liegende Spulenhöhe  $h = 8$  mm. Welches Drehmoment wirkt auf die Spule, wenn das Instrument 5 mA anzeigt?

**741.** Am Ende des  $l = 6,4$  cm langen Zeigers dieses Drehspulinstrumentes wirkt eine Kraft von  $4 \cdot 10^{-3}$  N. Welche Stromstärke herrscht in der Drehspule?

**742.** Der Trommelanker von  $2r = 44$  cm Durchmesser einer Gleichstrommaschine besitzt ein Drehmoment von 150 Nm. Am Ankerumfang liegen unter den Polen 200 Drähte von je 20 cm Länge. Von welchem Strom werden die Drähte durchflossen, wenn die Induktion 0,72 T beträgt?

**743.** (Bild 210) Mit welcher Kraft stoßen sich Hin- und Rückleitung einer 120 A führenden Doppelleitung von 50 m Länge gegenseitig ab, wenn der Abstand  $a = 50$  cm beträgt?

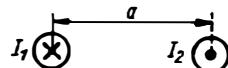


Bild 210.  
Aufgaben 743 und  
744

**744.** Welche Querkraft entsteht in dieser Leitung im Moment eines Kurzschlusses, wenn dabei ein Strom von 5000 A fließt?

**745.** Zwei Ringe von je 18 cm Durchmesser bestehen aus je 25 Windungen und hängen parallel zueinander in 5 cm Abstand. Mit welcher Kraft ziehen sie sich an, wenn sie in gleicher Richtung von je 6 A durchflossen werden?

**746.** Im Moment eines Kurzschlusses wurde eine 3 m lange Sammelschiene, die im Abstand von 10 cm parallel zur zweiten Schiene verlief, von ihrer Befestigung losgerissen. Die Kraft wurde auf 2500 N geschätzt. Welcher Stromstärke entspricht dies?

**747.** Der Trommelanker eines Elektromotors (Durchmesser 28 cm) hat 51 Nuten, deren jede 40 Drähte von je 17 cm Länge enthält, die von 14 A durchflossen werden. Es befindet sich stets die Hälfte aller Drähte in einem Feld von 0,7 T. Der Einfachheit halber wird angenommen, daß die Wicklung auf dem Umfang des Ankers liegt. Berechne a) die Kraft am Ankerumfang, b) das Drehmoment und c) die Leistung des Motors bei einer Drehzahl von 960 1/min.

**748.** Ein beweglicher, stromdurchflossener Leiter wird in einem Magnetfeld zur Seite bewegt. Was geschieht, wenn man den Leiter an der Bewegung hindert?

## 8.2. Die Energie des magnetischen Feldes

**Formeln:**

$$W = \frac{L}{2} I^2$$

Homogenes Feld bei konstanter Permeabilitätszahl:

$$W = \frac{HBV}{2}$$

$W = V \int_0^B H dB$   
bei gegebener Magnetisierungskurve

Größe	Zeichen	Einheit
Energie des Magnetfeldes	$W$	$\text{Ws} = \text{J}$
Volumen des Magnetfeldes	$V$	$\text{m}^3$
Feldstärke	$H$	$\text{A/m}$
Induktion	$B$	$\text{Vs/m}^2 = \text{T}$
Induktivität	$L$	$\text{H}$

Das Integral in der letzten Formel stellt die Fläche unter der Magnetisierungskurve des betr. Materials bzw. den Flächeninhalt der Hysteresisschleife dar.

**749.** Welche Energie ist zum Aufbau des magnetischen Feldes einer eisenlosen Ringspule von folgenden Abmessungen notwendig: mittlerer Durchmesser 28 cm, 800 Windungen, mittlerer Windungsdurchmesser 6 cm,  $I = 3 \text{ A}$ .

**750.** Welche Energie enthält das magnetische Feld einer Spule a) mit der Induktion 0,02 mH und der Stromstärke 2,5 A sowie b) mit der Induktion 0,51 mH und der Stromstärke 1,4 A?

**751.** Welche Energie ist in einer Ringspule von 2 m mittlerem Durchmesser, 500 cm<sup>2</sup> Windungsfläche und 6000 Windungen bei einem Strom von 4 A enthalten?

**752.** Welche Energie befindet sich im Luftspalt eines Kerns nach M 65 (S. 55) bei einer Induktion von 1,9 T?

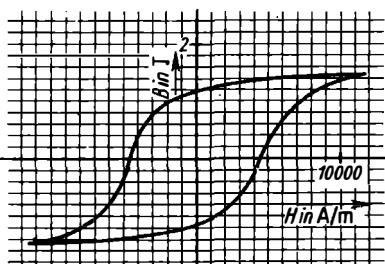


Bild 211 a. Aufgabe 760 a

**753.** Durch ein dünnwandiges Kupferrohr von 1,5 cm Durchmesser wurde zu Versuchszwecken ein kurzzeitiger Stromstoß von 200000 A geleitet, wobei sich das Rohr auf 4 mm zusammenschnürte. Wie groß war der auf die Rohrwandung ausgeübte mechanische Druck in N/m<sup>2</sup> bzw. in bar?

**754.** Welche Breite muß ein als streuungsfrei angenommener Luftspalt von 60 mm  $\times$  50 mm haben, wenn er bei einer Induktion von 1,2 T die Energie 8,6 J speichern soll?

**755.** Welche Induktion muß in einem Luftspalt vorhanden sein, wenn er die Energie 0,5 J speichern soll ( $V = 5 \text{ cm}^2 \times 0,3 \text{ cm}$ )?

**756.** Welche Arbeit wird zur Magnetisierung von 1 cm<sup>3</sup> (Energiedichte) Dynamoblech verbraucht, wenn eine Induktion von 1,2 T entstehen soll? (Auszählen der Kästchen in der Magnetisierungskurve S. 50)

**757.** Welche Arbeit ist zur Erzeugung des magnetischen Feldes von 1,3 T in einem Kern von 95 cm<sup>3</sup> Dynamoblech aufzuwenden?

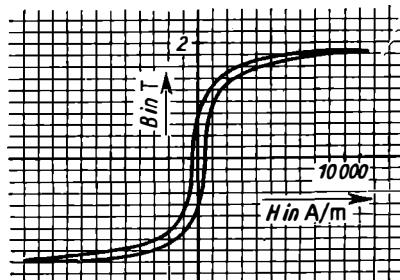


Bild 211 b. Aufgabe 760 b

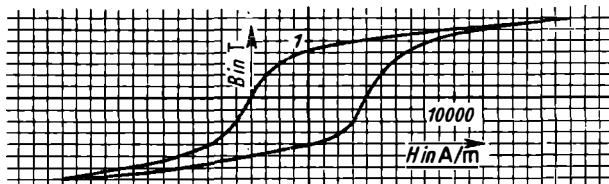


Bild 211 c. Aufgabe 760 c

**758.** Welche Energie ist nötig, um im Feld des in Bild 180 (S. 56) dargestellten Stahlgußkerns einschließlich eines Luftspaltes von 1 mm Breite eine Induktion von 1,4 T zu erzeugen?

**759.** Welche Energieverhältnisse ergeben sich, wenn bei gleichbleibender Durchflutung der Luftspalt eines Elektromagneten auseinandergezogen wird?

**760.** Welche Ummagnetisierungsarbeit ergibt sich bei einmaligem Durchlaufen der Magnetisierungsschleife von a) magnetisch hartem Eisen (Bild 211a), b) magnetisch weichem Eisen (Bild 211b) und c) gehärtetem Silberstahl (Bild 211c) je  $\text{cm}^3$ ?

**761.** Berechne an Hand der in der letzten Auf-

gabe ermittelten Werte die Hysteresisarbeit je Kilogramm bei einer Dichte des Materials von  $7,8 \text{ kg/dm}^3$ .

**762.** Berechne zur letzten Aufgabe die Ummagnetisierungsleistungen je Kilogramm bei der Frequenz des technischen Wechselstroms von 50 Hz.

### 8.3. Zugkraft von Magneten

**Formeln:**

$$F = \frac{B^2 A}{2\mu_0}$$

$$F = \frac{\Phi^2}{2\mu_0 A}$$

Größe	Zeichen	Einheit
Zugkraft	F	N (Newton)
gesamte wirksame Polfläche	A	$\text{m}^2$
Induktion im Raum zwischen Pol und Anker	B	$\text{Vs/m}^2 = \text{T}$
magnetischer Fluß	$\Phi$	$\text{Vs} = \text{Wb}$
magnetische Feldkonstante $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Vs/A m}$		

**763.** An den beiden Polen von je  $15 \text{ mm} \times 18 \text{ mm}$  eines Elektromagneten herrscht eine Induktion von je 0,64 T. Mit welcher Kraft wird der an beiden Polen hängende Anker angezogen?

**764.** Wie groß ist die Induktion, wenn der Anker des in der vorigen Aufgabe genannten Magneten mit 120 N festgehalten wird?

**765.** Welche Induktion herrscht vor dem Anker eines Relais, das eine Zugkraft von 3,5 N aufweist (Polfläche  $A = 0,25 \text{ cm}^2$ )?

**766.** (Bild 179) Der Anker eines Kerns nach EI 150 (S. 56, Dynamoblech) soll unter Zwischenlage eines Aluminiumstreifens von 0,8 mm Dicke mit einer Kraft von 500 N festgehalten werden. a) Welche Induktion ist an den Polen herzustellen, b) welche Durchflutung ist hierzu notwendig, c) welche Leistung wird bei einer mittleren Windungslänge von 20 cm und einer Stromdichte von  $3,5 \text{ A/mm}^2$  dabei verbraucht?

**767.** Welche größte Tragkraft ist in diesem Magneten bei 80%iger Ausnutzung des Wickelraumes und bei einer Stromdichte von  $4 \text{ A/mm}^2$  zu erzielen ( $k_{cu} = 0,65$ )?

**768.** Beim Prüfen eines Fernhörers durch schrittweises Beladen eines angehängten Ankers löste sich dieser bei 6,4 N ab. Welcher

Induktion entspricht dies? (2 anziehende Polflächen zu  $48 \text{ mm}^2$ )

**769.** Der in Bild 212 angegebene Hubmagnet (Stahlguß) soll in 5 mm Entfernung von den Polen auf den Anker eine Anziehungskraft von 15 N entwickeln. Betriebsspannung 220 V,  $k_{cu} = 0,65$ . Die für den Eisenweg erforderliche Durchflutung werde vernachlässigt (großer Luftzwischenraum!). Berechne a) die Windungszahl, b) die Drahtdicke, c) die Stromstärke mit  $\rho = 0,02 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ .

**770.** Nach dem Anheben des Ankers betrage der durch die Unebenheiten der Ankerflächen bedingte Luftspalt noch 0,2 mm. Wie groß ist nunmehr die Zugkraft bei unveränderter Durchflutung?

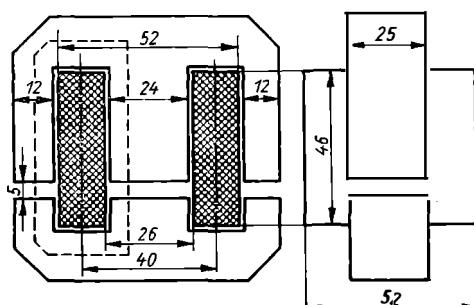


Bild 212. Aufgaben 769 und 770 (Maße in mm)

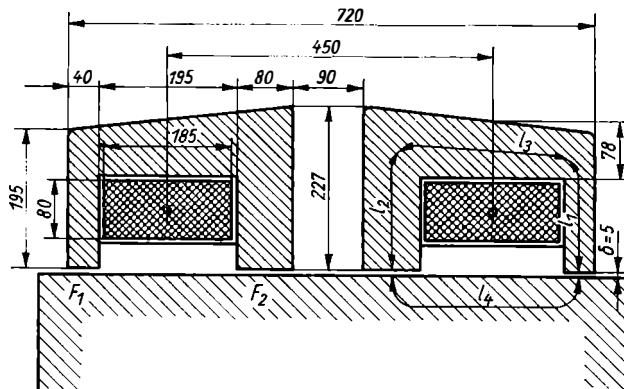


Bild 213. Aufgabe 771 (Maße in mm)

**771.** Der in Bild 213 im Querschnitt angegebene Lasthebemagnet (Topfmagnet aus Stahlguß) soll einen Stahlblock von 35 kN tragen. Die Feldlinienwege sind aus der Skizze zu entnehmen. Für den Querschnitt des Kraftflusses durch den Stahlblock nehme man das Mittel aus  $F_1$  und  $F_2$ . Die Erregerwicklung besteht aus oxydiertem Aluminiumdraht ( $\varrho_{\text{warm}} = 0,04 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ , Füllgrad 0,85). Die anzulegende Spannung beträgt 220 V. Berechne a) die notwendige Durchflutung, b) die Windungszahl, c) den Drahtdurchmesser, d) die Stromdichte, e) die Stromstärke und f) die Leistung der Erregerwicklung.

**772.** Der in Bild 214 angegebene Magnet (Stahlguß) von quadratischem Joch- und Ankerquerschnitt wird mit der Durchflutung 500 A erregt. Berechne die Zugkraft bei folgenden Ankerabständen und stelle die Zugkraft in Abhängigkeit vom Ankerabstand grafisch dar. Ankerabstände a) 0,05 mm, b) 0,1 mm, c) 0,15 mm, d) 0,25 mm, e) 0,5 mm und f) 1 mm. (Die Windungszahl sei konstant!)

**773.** Welche Zugkraft hat der Anker eines Relais, durch dessen kreisförmige Polfläche von 1,5 cm Durchmesser ein Fluß von a)  $8,5 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}$ , b)  $5 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}$ , c)  $1,965 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}$  tritt?

**774.** Wie groß ist der Erregerstrom des auf Bild 215 angegebenen Relais, wenn folgende Werte zugrunde gelegt werden: Zugkraft 1,76 N, Windungszahl 10000, relative Permeabilität des Eisens 3000, Querschnitt von

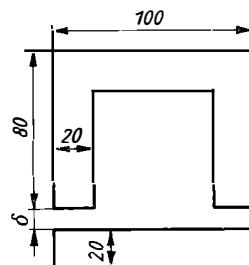


Bild 214. Aufgabe 772 (Maße in mm)

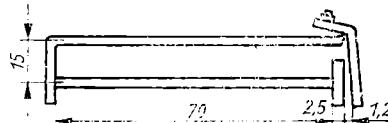


Bild 215. Aufgabe 774 (Maße in mm)

Anker und Kern  $0,4 \text{ cm}^2$ , Luftspalt und Polplatte  $1,4 \text{ cm}^2$ , Joch  $0,625 \text{ cm}^2$ ?

**775.** Ein Wählermagnet mit einer kreisförmigen Polfläche von 1,8 cm Durchmesser soll eine Zugkraft von 25 N entwickeln. Welche Induktion und welcher magnetische Fluß sind hierzu erforderlich?

**776.** Welche Induktivität hat ein Relais von 18000 Windungen bei einer Stromstärke von 30 mA, das eine Zugkraft von 4,5 N entwickelt? Die kreisförmige Polfläche hat einen Durchmesser von 1,75 cm.

**777.** Welche Zugkraft entwickelt ein Wählermagnet bei der Stromstärke 1,6 A an der  $2 \text{ cm}^2$  großen Polfläche, wenn er mit 1400 Windungen die Induktivität 0,1 H hat?

**778.** Wie ändert sich die Zugkraft eines Elektromagneten, wenn die Polflächen bei unveränderter Stromstärke auf das Doppelte vergrößert werden?

**779. a)** Wenn man den an einem permanenten

Magneten hängenden Anker anzieht, ist mechanische Arbeit aufzuwenden. Wo bleibt der Gegenwert dieser Energie? b) Wenn ein permanenter Magnet ein Stück Eisen anzieht, verrichtet dieser Arbeit. Woher stammt die entsprechende Energie?

## 9. Das elektrische Feld

### 9.1. Die elektrische Feldstärke

*Formeln:*

Für das homogene Feld:

$$E = \frac{U}{d}$$

Für den Zylinderkondensator:

$$E = \frac{U}{r \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

Für die Umgebung einer geladenen Kugel:

$$E = \frac{Ur_0}{r^2}$$

**780.** Welche Feldstärke besteht in einem auf 220 V geladenen Zweiplattenkondensator bei folgenden Plattenabständen: a). 1 mm, b) 5 mm, c) 1 cm, d) 3,5 cm, e) 5 cm und f) 0,01 mm.

**781.** Die Feldstärke in einem Plattenkondensator beträgt 58000 V/m. Welche Spannung besteht zwischen zwei auf der gleichen Feldlinie liegenden Punkten mit folgenden Abständen: a) 0,1 mm, b) 0,95 mm, c) 2,34 mm, d) 0,5 cm und e) 2 cm.

**782.** Welche elektrische Feldstärke besteht in einer Kupferleitung von 1,5 cm Durchmesser, durch die ein Strom von 6 A fließt?

**783.** Welche elektrische Feldstärke besteht in dem Draht einer Spule von 10000 Windun-

Größe	Zeichen	Einheit
Elektrische Feldstärke	$E$	V/m
Spannung	$U$	V
Länge der Feldlinien	$d$	m
Radius des Außen- bzw. Innenleiters bzw. der Kugel	$r_a$ $r_i$ $r_0$	m
Abstand des Feldpunktes vom Mittelpunkt	$r$	m

gen und einem mittleren Windungsdurchmesser von 6,5 cm, an deren Enden eine Spannung von 7,9 V liegt?

**784.** In einem Kupferdraht von 3 mm Durchmesser herrscht in Längsrichtung eine Feldstärke von 45 mV/m; welcher Strom fließt?

**785.** Welchen Abstand müssen die auf 135 V geladenen Platten eines Kondensators haben, zwischen denen die Feldstärke 8500 V/m bestehen soll?

**786.** Welche Dicke muß ein Aluminiumdraht haben, wenn im Innern bei einem Strom von 1 A eine Feldstärke von 10 mV/m herrschen soll ( $\rho = 0,029 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ )?

**787.** Die Spannung zwischen dem Heizdraht einer Glühkatodenröhre und der ihn zylin-

drisch umgebenden Anode beträgt 120 V. Der Durchmesser des Anodenzyllinders ist 2 cm. Welche Feldstärke besteht an der Oberfläche des 0,06 mm dicken Heizdrahtes?

**788.** Berechne die Feldstärke im Raum zwischen Heizdraht und Anode einer Radioröhre in folgenden Entfernungen von der Heizdrahtmitte: Durchmesser des Heizdrahtes 0,1 mm, Durchmesser des Anodenzyllinders 8 mm, Anodenspannung 150 V. Stelle die Feldstärke in Abhängigkeit von der Entfernung von der Heizdrahtmitte grafisch dar: a) Heizdrahtoberfläche, b) 0,06 mm, c) 0,08 mm, d) 0,1 mm, e) 1 mm und f) Anodenoberfläche.

**789.** Ein konzentrisches Kabel hat die Halbmesser  $r_s = 2,4$  cm und  $r_i = 1$  mm. Zwischen Innen- und Außenleiter besteht eine Spannung von 5800 V. Welche Feldstärke herrscht an der Oberfläche des Innenleiters?

**790.** Ein Plattenkondensator ist mit einer Spannungsquelle von 450 V verbunden. Bei welchem Plattenabstand wird die Luftstrecke durchschlagen, wenn die Durchschlagsfestigkeit der Luft 20 kV/cm beträgt?

**791.** Welche Feldstärke herrscht an der Oberfläche einer isoliert aufgehängten Kugel von

10 cm Durchmesser, deren Spannung gegen Erde 3500 V beträgt?

**792.** Welchen Durchmesser muß die völlig glatte Kugel einer Hochspannungsanlage mindestens haben, wenn bei einer Spannung von  $10^6$  V gegen Erde keine Sprühentladung eintreten soll? (Durchschlagsfestigkeit der Luft = 20000 V/cm).

**793.** An einzelnen Stellen eines auf 220 V geladenen Gegenstandes treten Sprühverluste auf. Welchen Krümmungsradius haben diese Stellen, wenn man sie als Teile kleiner Kugeloberflächen auffaßt?

**794.** Zwischen zwei ebenen Elektroden befindet sich eine Schicht aus

a) Plexiglas    b) Minosglas    c) Vulkanfaser  
Welche Schichtdicke wird von einer Spannung von 3800 V durchschlagen, wenn die Durchschlagsfestigkeit

a) 400 kV/cm    b) 450 kV/cm    c) 25 kV/cm  
beträgt?

**795.** Die Ecken eines auf 18000 V geladenen Leiters (in Luft) sollen zur Vermeidung von Sprühverlusten abgerundet werden. Wie groß muß der Krümmungsradius an diesen Stellen mindestens sein?

## 9.2. Verschiebungsdichte und Verschiebungsladung

Formeln:

$$D = \epsilon_0 \epsilon_r E$$

$$Q = DA$$

Größe	Zeichen	Einheit
Verschiebungsdichte (Ladungsdichte)	$D$	C/m <sup>2</sup>
Verschiebungsladung (Ladungsmenge)	$Q$	C = As
Dielektrizitätszahl	$\epsilon_r$	1
Fläche	$A$	m <sup>2</sup>
Dicke des Dielektrikums	$d$	m
elektrische Feldkonstante $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ A s/V m oder F/m		

**796.** In einen Plattenkondensator von  $250 \text{ cm}^2$  Oberfläche werden nacheinander folgende Scheiben aus Isoliermaterial eingeklemmt:

	a) Polystyrol	b) Glimmer	c) Trolitul	d) Piezolan
$d$ in mm	2	0,2	5	2
$\epsilon_r$	2,5	7,0	2,2	800

Welche Ladungsmengen befinden sich auf den Platten bei einer Spannung von 900 V?

**797.** Die Ladung einer frei stehenden Kugel von 8 cm Durchmesser wurde zu  $0,5 \cdot 10^{-8} \text{ C}$  bestimmt. Berechne a) die Ladungsdichte, b) die Feldstärke an der Kugeloberfläche, c) die Spannung gegen Erde (Potential).

	a)	b)	c)	d)
$Q$ in C	$4150 \cdot 10^{-11}$	$2590 \cdot 10^{-11}$	$6,63 \cdot 10^{-7}$	$34 \cdot 10^{-8}$
$d$ in cm	0,5	0,8	0,04	0,1

Welche Werte hat die Dielektrizitätszahl des zwischen den Platten befindlichen Materials?

**799.** In keramischen Isolierstoffen wurden folgende Durchschlagsfestigkeiten gemessen:

Durchschlagfestigkeit	a) Hartporzellan	b) Steatit	c) Quarzglas
$E_d$ in kV/cm	360	250	350
$\epsilon_r$	5,0	5,5	4,0

1. Bei welcher Spannung wird eine Schicht von 4 nm Dicke durchschlagen? 2. Welche Ladung befindet sich im Höchstfall auf 2 kreisförmigen Elektroden von 2 cm Durchmesser, die in den Prüfkörper eingearbeitet sind?

**800.** Ein Plattenkondensator wird in Luft auf eine Spannung von 220 V geladen. Wie ändert sich die Spannung, wenn der Zwischenraum mit a) Paraffinöl ( $\epsilon_r = 2,1$ ) und b) mit Nitrobenzol ( $\epsilon_r = 36,45$ ) gefüllt wird?

**798.** Ein Plattenkondensator von  $78 \text{ cm}^2$  Oberfläche enthält bei einer angelegten Spannung von 600 V folgende Ladungsmengen:

**801.** Welche Ladungsmenge enthält ein Kondensator von 15 cm Plattendurchmesser und 1 mm Abstand, wenn die Platten a) in Benzol ( $\epsilon_r = 2,3$ ) und b) in Azeton ( $\epsilon_r = 21,5$ ) getaucht sind? Die Platten sind während des Eingetauchseins mit den Polen einer Batterie von 120 V verbunden.

**802.** Zwei Metallplatten, von je  $60 \text{ cm}^2$  sind durch eine Schicht aus Phenolharz ( $\epsilon_r = 7,5$ ) getrennt, die bei einer Ladung von  $1,99 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  durchschlagen wird. Wie groß ist die Durchschlagsfestigkeit?

### 9.3. Zusammenschaltung von Kapazitäten

**Formeln:**

**Parallelschaltung:**

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

**2 Kapazitäten in Reihe:**

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

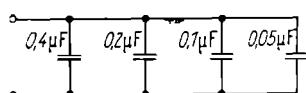


Bild 216. Aufgabe 803

**Reihenschaltung:**

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}}$$

**n gleiche Kapazitäten in Reihe:**

$$C = \frac{C_1}{n}$$

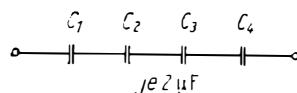


Bild 217. Aufgabe 804

**803. bis 809.** Berechne die Gesamtkapazität folgender Schaltungen (Bilder 216 bis 222):

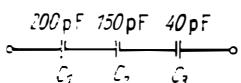


Bild 218.  
Aufgabe 805

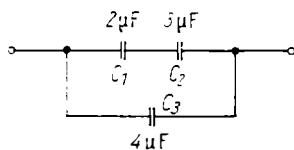


Bild 219.  
Aufgabe 806

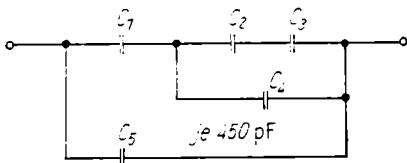


Bild 220. Aufgabe 807

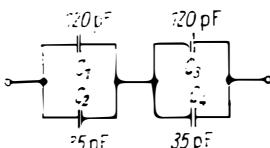


Bild 221.  
Aufgabe 808

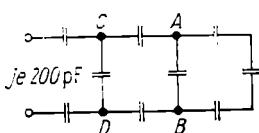


Bild 222.  
Aufgabe 809

**810.** Berechne die Kapazitäten nebenstehender Schaltung (Bild 223) bei Anschluß an die Klemmen a)  $AB$ , b)  $BC$ , c)  $CD$ , d)  $DA$ , e)  $AC$  und f)  $BD$ .

**811.** (Bild 224) Berechne die Kapazität zwischen den Klemmen  $A$  und  $B$ .

**812.** Welche Kapazitätswerte haben zwei Kondensatoren, die parallel  $300 \text{ pF}$  und in Reihe geschaltet  $50 \text{ pF}$  ergeben?

**813.** Ein Kondensator von  $350 \text{ pF}$  soll durch Zuschalten eines zweiten auf den Wert von  $270 \text{ pF}$  gebracht werden. Welche Kapazität muß dieser haben, und wie ist er anzuschließen?

**814.** Eine gegebene Kapazität von  $35 \mu\text{F}$  soll um  $20\%$  vergrößert werden. Welche Kapazität ist anzuschließen? Schaltung?

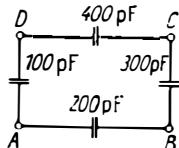


Bild 223. Aufgabe 810 Bild 224. Aufgabe 811

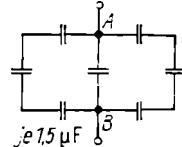


Bild 223. Aufgabe 810 Bild 224. Aufgabe 811

**815.** Von 3 in Reihe geschalteten Kondensatoren von  $150 \text{ pF}$ ,  $250 \text{ pF}$  und  $480 \text{ pF}$  ist der letztgenannte durchgeschlagen. Um a) welchen Wert und b) um wieviel Prozent ist die Kapazität dadurch angewachsen?

**816.** Welche Kapazitätswerte lassen sich durch verschiedene Schaltmöglichkeiten dreier Kondensatoren von  $1000 \text{ pF}$ ,  $2000 \text{ pF}$  und  $5000 \text{ pF}$  herstellen?

**817.** Drei gleichgroße, im Dreieck geschaltete Kondensatoren haben zwischen je 2 Klemmen eine Kapazität von  $2500 \text{ pF}$ . Welche Kapazität hat jeder einzelne Kondensator?

**818.** Die Kapazität eines Drehkondensators hat einen Anfangs- bzw. Endwert von  $30 \text{ pF}$  bzw.  $500 \text{ pF}$ . a) Welcher Wert hat das Kapazitätsverhältnis, und b) wie ändert sich dieses, wenn ein Blockkondensator von  $200 \text{ pF}$  in Reihe dazugeschaltet wird?

**819.** Die beiden in Bild 225 angegebenen Kondensatoren von  $C_1 = 3 \mu\text{F}$  bzw.  $C_2 = 5 \mu\text{F}$  sind mit einer Batterie verbunden, deren Pole eine Spannung von  $U = 100 \text{ V}$  bzw.  $-100 \text{ V}$  gegen Erde aufweisen. Welche Ladungsmenge fließt zu, wenn auch die Verbindung der Kondensatoren geerdet wird?

**820.** Zwei in Reihe geschaltete Kondensatoren von  $0,6 \mu\text{F}$  bzw.  $0,3 \mu\text{F}$  sind auf insgesamt  $220 \text{ V}$  geladen. a) Welche Ladungen sitzen auf den Platten, und b) welche Teilspannungen?

**821.** Zwei in Reihe geschaltete Kondensatoren gleicher Kapazität sind mit einer Batterie der Spannung  $\bar{U}$  verbunden. Um welchen Betrag ändert sich die an jedem der beiden Kondensatoren liegende Spannung, wenn der eine Kondensator mit einem Dielektrikum ( $\epsilon_r$ ) gefüllt wird?

**822.** (Bild 226) Am Kondensator  $C_2$  wird die Spannung  $U_2 = 48 \text{ V}$  gemessen. Wie groß sind die Spannungen  $U_1$ ,  $U_3$  und die an der

Schaltung liegende Gesamtspannung  $U_{AB}$ ? Gegeben sind  $C_1 = 3 \mu\text{F}$ ,  $C_2 = 5 \mu\text{F}$  und  $C_3 = 1,5 \mu\text{F}$ .

**823.** (Bild 227) Am Kondensator  $C_5$  wird die Spannung  $U_5 = 24 \text{ V}$  gemessen. Welche Spannungen liegen an den übrigen Kondensatoren und an den Klemmen A-B?

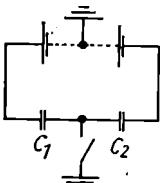
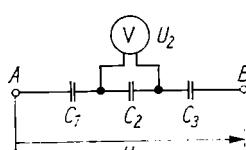


Bild 225. Aufgabe 819 Bild 226. Aufgabe 822



**824.** Ein Kondensator  $C_1 = 8 \mu\text{F}$  ist mit der Spannung  $U_1 = 60 \text{ V}$  und ein zweiter  $C_2 = 5 \mu\text{F}$  mit der Spannung  $U_2 = 80 \text{ V}$  geladen. Welche gemeinsame Spannung  $U$  entsteht, und wie groß ist die vorhandene Gesamtladung  $Q$ , wenn a) beide Kondensatoren nach

erfolgter Aufladung mit gleichen Vorzeichen parallel und b) mit entgegengesetzten Vorzeichen parallel geschaltet werden?

**825.** (Bild 228) Welche Spannungen  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  liegen an den Kondensatoren, wenn anfänglich nur der Kondensator  $C_1$  mit  $U = 100 \text{ V}$  geladen ist und hernach der Schalter geschlossen wird?

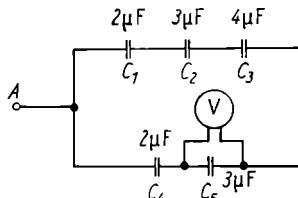


Bild 227.  
Aufgabe 823

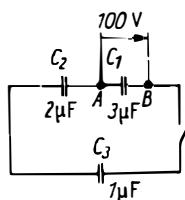


Bild 228. Aufgabe 825

## 9.4. Berechnung der Kapazität von Kondensatoren

Formeln:

$$Q = UC$$

Zweiplattenkondensator:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}$$

Kondensator mit  $(n-1)$  Metallfolien und  $n$  Isolierplatten:

$$C = (n-1) \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}$$

Wickelkondensator:

$$C = \frac{2\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}$$

Röhrchenkondensator:

$$C = \frac{2\epsilon_0 \epsilon_r \pi l r}{d}$$

Einzelne freie Kugel in Luft:

$$C = 4\pi\epsilon_0 r$$

Größe	Zeichen	Einheit
Ladungsmenge	$Q$	$\text{C} = \text{As}$
Spannung	$U$	$\text{V}$
Kapazität	$C$	$\text{F} = \text{As/V}$ $1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$
Dicke des Dielektrikums	$d$	$\text{m}$
Oberfläche mittlerer Röhrchenradius	$A$	$\text{m}^2$
Länge	$r$	$\text{m}$
Kugelradius	$l$	$\text{m}$
elektrische Feldkonstante	$\epsilon_0$	$= 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ As/V m}$

**826.** Welche Ladungen nehmen folgende Kondensatoren auf:

	a)	b)	c)	d)	e)	f)
Spannung	220 V	110 V	440 V	50 V	3 V	10 V
Kapazität	500 pF	350 pF	1,2 µF	4,5 µF	10 nF	10 µF

**827.** Welche Kapazitäten haben folgende Kondensatoren:

	a)	b)	c)	d)	e)
Spannung	1 V	60 V	50 kV	100 kV	180 V
Ladung	0,5 µC	0,35 µC	3,4 mC	15 mC	$3,6 \cdot 10^{-4}$ C

**828.** Ein Blockkondensator besteht aus 18 Aluminiumfolien mit einer wirksamen Oberfläche von je  $14 \text{ mm} \times 28 \text{ mm}$  und Glimmerscheiben von je 0,06 mm Dicke ( $\epsilon_r = 7,0$ ). Wie groß ist seine Kapazität?

**829.** Nach einer Reparatur hatte der in der letzten Aufgabe genannte Kondensator eine Kapazität von nur noch 4850 pF. Wieviel Metallfolien waren entfernt worden?

**830.** Ein Wickelkondensator enthält 2 paraffinierte Papierstreifen ( $\epsilon_r = 2,16$ ) von 0,025 mm Dicke und 2 Metallfolien von je 12 m Länge und 5 cm Breite. Wie groß ist seine Kapazität?

**831.** Wieviel Meter Wickelband sind erforderlich, um eine Kapazität von  $2 \mu\text{F}$  zu erreichen? Das Band besteht aus 2 paraffinierter Papierstreifen ( $\epsilon_r = 2,16$ ) von 0,032 mm Dicke und 2 Aluminiumfolien von 38 mm Breite.

**832.** Ein aus  $n$  Alufolien und  $(n + 1)$  Glasplatten aufgebauter Kondensator ( $\epsilon_r = 8$ ) soll eine Kapazität von  $2,22 \text{ nF}$  haben. Die Folien sind 0,1 mm dick und  $125 \text{ mm} \times 70 \text{ mm}$  groß. Die gesamte Dicke des Pakets darf 38 mm betragen. Wieviel Platten und Folien sind aufeinanderzulegen, und wie groß ist die Dicke einer Glasplatte?

**833.** Der in der vorigen Aufgabe genannte Kondensator wird mit 11 Folien und 12 je 3 mm dicken Glasplatten angefertigt ( $\epsilon_r = 8$ ). a) Kapazität in nF? b) Masse des Pakets, wenn die Dichte des Aluminiums  $2,7 \text{ g/cm}^3$  und die des Glases  $2,6 \text{ g/cm}^3$  beträgt? Die Glasplatten überragen die Folien allseitig um 5 mm.

**834.** Die Belegungen eines Röhrchenkondensators sind 15 mm lang, der Außendurchmesser beträgt 5 mm, die Dicke des Dielektrikums 0,16 mm ( $\epsilon_r = 55$ ). Wie groß ist die Kapazität?

**835.** Wie dick muß das Dielektrikum ( $\epsilon_r = 82$ ) eines Röhrchenkondensators von 20 mm wirksamer Belagslänge sein, wenn bei einem Außendurchmesser von 6 mm die Kapazität 2 nF betragen soll?

**836.** Wie groß muß der äußere Durchmesser des in der vorigen Aufgabe genannten Kondensators gemacht werden, wenn bei gleicher Schichtdicke die Kapazität 3 nF betragen soll?

**837.** Ein Röhrchenkondensator von 25 mm wirksamer Belagslänge, 8 mm äußerem Durchmesser und einer Kerafarschicht von 0,4 mm ( $\epsilon_r = 64$ ) soll zu einem Plattenkondensator mit einer Schichtdicke von 0,1 mm umgestaltet werden. Welchen Durchmesser müssen die beiden kreisförmigen Platten bei gleicher Kapazität haben?

**838.** Welche Kapazität hat eine Kugel von 1 cm Radius?

**839.** Welche Kapazität hat die Oberfläche der Erdkugel? (Erdradius  $r = 6378 \text{ km}$ )

**840.** Auf den wievelfachen Wert steigt die Kapazität eines Kondensators mit  $n$  Platten, wenn alle linearen Abmessungen verdoppelt werden?

**841.** Auf den wievelfachen Wert steigt die Kapazität eines Röhrchenkondensators, wenn die linearen Abmessungen verdoppelt werden, die Schichtdicke jedoch dieselbe bleibt?

**842.** Ein Röhrchenkondensator hat einen Außendurchmesser von 10 mm und eine Schichtdicke von 0,2 mm. Welche Dicke muß das Dielektrikum haben, wenn sich bei halbem Außendurchmesser und 3facher Länge dieselbe Kapazität ergeben soll?

**843.** Welche Oberfläche müßte ein Zweiplattenkondensator haben, wenn er bei einer Spannung von 220 V und einem Plattenabstand von 1 mm die Ladung 1 C tragen soll?

## 9.5. Die Kapazität von Kabeln und Leitungen

**Formeln:**

**Konzentrisches Kabel:**

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r l}{\ln \frac{r_a}{r_i}}$$

**Einzelleitung:**

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r l}{\ln \frac{2h}{r}}$$

**Doppelleitung:**

$$C = \frac{\pi\epsilon_0\epsilon_r l}{\ln \frac{d}{r}}$$

**844.** Welche Kapazität hat ein abgeschirmtes Antennenkabel von 18 m Länge mit den Durchmessern  $d_a = 8$  mm und  $d_i = 0,8$  mm? ( $\epsilon_r = 2,4$ )

**845.** Wie lang darf dieses Kabel höchstens sein, wenn die Kapazität 850 pF nicht überschreiten soll?

**846.** Welchen Durchmesser muß der Außenleiter eines konzentrischen Kabels von 12 m Länge haben, wenn bei einem Durchmesser des Innenleiters von 2,4 mm die Kapazität 600 pF betragen soll ( $\epsilon_r = 2,4$ )?

**847.** Ein konzentrisches Kabel soll je Kilometer eine Kapazität von 50 nF aufweisen. Welchen Durchmesser muß der Außenleiter bei folgenden Durchmessern des Innenleiters haben ( $\epsilon_r = 2,4$ ): a) 1 mm, b) 2 mm, c) 3 mm, d) 4 mm?

**848.** In welchem Verhältnis müssen die Durchmesser von Außen- und Innenleiter eines

Größe	Zeichen	Einheit
Kapazität	$C$	F
Länge des Kabels bzw. einfache		
Länge der Doppelleitung	$l$	m
Radius des Außen- bzw.	$r_a$	m
Innenleiters	$r_i$	m
Radius des Einzeldrahtes	$r$	m
Leiterabstand	$d$	m
Höhe über Erdboden	$h$	m

Kabels von 0,3  $\mu$ F je Kilometer zueinander stehen ( $\epsilon_r = 2,1$ )?

**849.** Eine durchschnittlich 7,5 m über dem Erdboden verlaufende Telegrafenleitung von 85 km Länge hat einen Durchmesser von 3 mm. Welche Kapazität hat sie?

**850.** Um die Bruchstelle einer in 6,5 m Höhe verlaufenden Telegrafenleitung (Durchmesser 2,5 mm) zu finden, wurde die Kapazität gemessen und mit 0,043  $\mu$ F bestimmt. In welcher Entfernung befindet sich die Unterbrechung?

**851.** Um wieviel Prozent verringert sich die Kapazität einer in 3,5 m Höhe laufenden 2,5 mm dicken Einzelleitung, wenn sie 1 m höher verlegt wird?

**852.** Welche Kapazität hat eine Doppelleitung von 75 m einfacher Länge, deren beide Drähte von 3,5 mm Dicke im Abstand von 15 cm verlaufen?

**853.** Zwei parallele Drähte von 1,8 mm Durchmesser werden durch solche von 2,5 mm Durchmesser ersetzt. Um das Wievielfache muß ihr Abstand vergrößert werden, wenn sich die Kapazität nicht verändern soll?

**854.** Der 20 cm betragende Abstand der beiden Drähte (Durchmesser 2 mm) einer Doppelleitung wird verdoppelt. Das Wievielfache kann bei gleicher Kapazität die Länge betragen?

**855.** Wie muß der Abstand zweier paralleler Drähte verändert werden, wenn bei a) doppelter und b) dreifacher Leitungslänge die Kapazität unverändert bleiben soll?

**856.** Mit Berücksichtigung der Erde ist die Kapazität einer Doppelleitung  $C = \frac{2\pi\epsilon_0 l}{(2h/r)^2} \ln \frac{1}{1 + (2hd)^2}$

Unter welcher Voraussetzung kann statt dessen die eingangs angeführte Gleichung verwendet werden?

## 9.6. ~ Kapazitäten im geschichteten Dielektrikum

**Formeln:**

$$U_1 = \frac{U\alpha}{1 + \alpha}$$

$$U_2 = \frac{U}{1 + \alpha}$$

wobei

$$\alpha = \frac{U_1}{U_2} = \frac{\epsilon_2 d_1}{\epsilon_1 d_2}$$

$$C = \epsilon_0 A \frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{\epsilon_2 d_1 + \epsilon_1 d_2}$$

**857.** Zwischen 2 Kondensatorplatten (Abstand 8 mm,  $U = 2500$  V) befindet sich eine Glasplatte von 2,5 mm Dicke ( $\epsilon_r = 7,5$ ). Der restliche Zwischenraum ist mit Luft gefüllt. Berechne a) die beiden Teilspannungen im Glas und im Luftspalt und b) die Feldstärken.

**858.** Die Glasplatte in der vorigen Aufgabe ist bei sonst gleichen Verhältnissen 7,8 mm dick. Wie groß sind a) die Teilspannungen, b) die Feldstärken? c) Weshalb wird die Luftsicht nunmehr durchschlagen?

**859.** Die beiden auf 1500 V geladenen Platten eines Kondensators sind 0,2 mm dick mit Schellack ( $\epsilon_r = 3,0$ ) überzogen. Der Luftzwischenraum beträgt 0,5 mm. a) Welche Spannung liegt an der Luftsicht? b) Welche Feldstärken herrschen in der Luft und im Lack? c) Wie groß ist die Feldstärke in der Luft, wenn der Lacküberzug fehlt?

Größe	Zeichen	Einheit
Spannungen	$U, U_1, U_2$	V
Schichtdicken	$d_1, d_2$	cm
Dielektrizitätszahlen	$\epsilon_1, \epsilon_2$	1
Kapazität des Plattenkondensators mit zweifach geschichtetem Dielektrikum	$C$	F

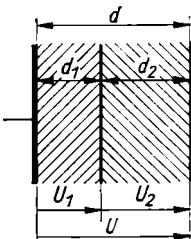


Bild 229.  
Aufgaben 857 bis 868

**860.** Welche Kapazitäten ergeben sich bei einer Plattengröße von  $15 \text{ cm}^2$  für den in Aufgabe 859 behandelten Kondensator a) mit und b) ohne Lacküberzug und c) wenn der Zwischenraum ganz mit Schellack ausgefüllt ist?

**861.** Zwischen 2 auf die Spannung  $U$  geladene Kondensatorplatten werden Hartgummischeiben verschiedener Dicke eingeschoben. Welcher formelmäßige Ausdruck ergibt sich für die Feldstärke im Hartgummi, dessen Dicke hierbei mit  $d_1$  einzusetzen ist?

**862.** Berechne nach der ermittelten Formel die Feldstärke in Hartgummi ( $\epsilon_r = 3,0$ ) von a) 0,1 mm, b) 1 mm, c) 2 mm, d) 3 mm, e) 4 mm, f) 5 mm und g) 6 mm Dicke. Der

Plattenabstand des auf 4000 V geladenen Kondensators betrage in allen Fällen 6 mm.

**863.** Stelle den formelmäßigen Ausdruck für die Feldstärke im Luftspalt ( $d_2$ ) eines Plattenkondensators auf, wenn ein Dielektrikum ( $\epsilon_1$ ) von der Dicke ( $d - d_2$ ) eingeschoben wird, das den Zwischenraum  $d$  nicht ganz ausfüllt.

**864.** Stelle den Verlauf der Feldstärke im Luftspalt und im Dielektrikum nach Aufgabe 862 in Abhängigkeit von der Dicke der Luftschicht grafisch dar.

**865.** Wie dick darf eine in den 5 mm breiten Luftzwischenraum eines auf 3000 V geladenen Kondensators geschobene Glimmerscheibe ( $\epsilon_r = 7,0$ ) höchstens sein, wenn die verbleibende Luftstrecke nicht durchschlägen werden soll (d. h. bei 20000 V/cm)?

**866.** Zwischen den  $12 \text{ cm}^2$  großen Platten eines Kondensators ist eine Quarzscheibe

( $\epsilon_r = 3,7$ ) von 4 mm Dicke eingeklemmt. Wegen mangelhafter Bearbeitung ist beiderseits eine Luftsicht von je 0,05 mm mittlerer Dicke vorhanden. Berechne a) die Kapazität in diesem Zustand, b) die Kapazität bei einwandfreiem Schliff und c) wenn die Quarzscheibe zur Verhinderung von Sprühentladungen mit Paraffin ( $\epsilon_r = 2,1$ ) von 0,1 mm mittlerer Schichtdicke eingekittet ist.

**867.** Die Platten eines Kondensators von  $20 \text{ cm}^2$  Oberfläche sollen zum Schutz gegen Kurzschluß mit einem Lacküberzug ( $\epsilon_r = 3,0$ ) versehen werden. Die Kapazität soll 20 pF betragen. Wie dick muß der Überzug sein, wenn die Platten unlackiert einen Abstand von 1 mm haben?

**868.** Welche Spannung darf an diesem Kondensator höchstens liegen, wenn die Feldstärke im Luftzwischenraum 8000 V/cm nicht überschreiten soll?

## 9.7. Ein- und Ausschaltvorgänge mit Kapazitäten

**Formeln:**

$$T = RC$$

**Ladestrom:**

$$i = I e^{-t/T}$$

**Ladespannung:**

$$u = U (1 - e^{-t/T})$$

**Entladespannung:**

$$u = U e^{-t/T}$$

Größe	Zeichen	Einheit
Zeitkonstante	$T$	s
Basis der natürlichen Logarithmen	e	
Augenblickswerte von Strom und Spannung	$i, u$	A, V
Anfangs- bzw. Endwerte von Strom und Spannung	$I, U$	A, V

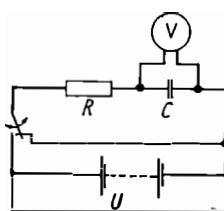


Bild 230. Lade- und Entladevorgang

**Hinweis:**

Nach Anschluß der Spannungsquelle an den Kondensator nimmt der Ladestrom vom Anfangswert  $I$  aus allmählich ab, während die Ladespannung  $u$  allmählich ihren Endwert  $U$  erreicht.  $i$  und  $u$  sind die Momentanwerte nach Ablauf der Zeit  $t$ .

**869.** Ein Kondensator von  $2 \mu\text{F}$  wird über einen Widerstand von  $3 \text{ M}\Omega$  auf eine Spannung von 150 V geladen. Welche Werte hat der Ladestrom a) 0,3 s, b) 1,2 s, c) 2,4 s,

d) 6 s und e) 15 s nach dem Einschalten?

**870.** Welche Spannung liegt zu diesen Zeitpunkten an dem Kondensator der vorigen Aufgabe?

**871.** Ein auf 320 V geladener Kondensator von  $1,5 \mu\text{F}$  wird über einen Widerstand von  $80 \text{ k}\Omega$  entladen. Welche Werte hat die nach  
a) 0,006 s, b) 0,012 s, c) 0,06 s, d) 0,12 s und  
e) 0,36 s noch vorhandene Spannung?

**872.** Nach welcher Zeit sinkt der Ladestrom eines über einen Vorschaltwiderstand von  $2,5 \text{ M}\Omega$  zu ladenden Kondensators von  $0,2 \mu\text{F}$  auf die Hälfte seines Anfangswertes ab?

**873.** Ein Kondensator von  $3,5 \mu\text{F}$  soll mit einem Vorschaltwiderstand von  $500 \Omega$  eine Zeitkonstante von 0,002 s ergeben. Welche Kapazität ist noch parallelzuschalten?

**874.** Es liegen zwei Kondensatoren von  $1,8 \mu\text{F}$  bzw.  $2,5 \mu\text{F}$  sowie ein Widerstand von  $85 \text{ k}\Omega$  in Reihe. Welche Zeitkonstante hat das System?

**875.** (Bild 231) a) Berechne formelmäßig den durch die nebenstehende Schaltung fließenden Ladestrom (2 Teilströme!) bei gegebener Spannung  $U$ . b) Welche Werte hat der Strom zur Zeit  $t = 0$  und  $t = \infty$ ?

**876.** (Bild 231) Wieviel Sekunden nach dem Einschalten sind die durch  $R_1$  und  $R_2$  fließenden Ströme gleich groß, wenn  $R_1 = 2 \text{ M}\Omega$ ,  $R_2 = 5 \text{ M}\Omega$ ,  $C = 2 \mu\text{F}$  und  $U = 60 \text{ V}$  betragen?

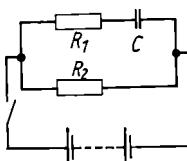


Bild 231.  
Aufgaben 875 bis 878

**877.** (Bild 231) a) Welchen Wert muß der Widerstand  $R_2$  haben, wenn der Strom durch  $R_2$  gleich dem halben Anfangswert des durch  $R_1$  fließenden Stromes sein soll ( $R_1 = 0,25 \text{ M}\Omega$ ,  $U = 125 \text{ V}$ ,  $C = 0,8 \mu\text{F}$ )? b) Wieviel Sekunden nach dem Einschalten sind die Ströme gleich groß?

**878.** (Bild 231) Welche Kapazität muß der Kondensator haben, wenn 1,5 s nach dem Einschalten der Gesamtstrom die Hälfte des Anfangstromes betragen soll?  $R_1 = 50 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 80 \text{ k}\Omega$ ,  $U = 300 \text{ V}$ .

## 9.8. Energie und Kräfte im elektrischen Feld

**Formeln:**

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4 \pi \epsilon_0 r^2} \quad \text{Kraft zwischen 2 Punktladungen}$$

$$F = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r U^2 A}{2d^2} \quad \text{Kraft zwischen 2 geladenen Platten}$$

$$F = QE \quad \text{Kraft auf eine Punktladung im homogenen Feld}$$

$$W = \frac{CU^2}{2}$$

$$W = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r E^2 V}{2}$$

**879.** Welche elektrische Energie enthält ein Kondensator von  $12 \mu\text{F}$  bei einer Ladespannung von 500 V?

Größe	Zeichen	Einheit
Energie eines geladenen Kondensators	$W$	$\text{Ws} = \text{J}$
Plattenabstand	$d$	m
Punktabstand	$r$	m
elektrische Feldkonstante $\epsilon_0$		$\text{As/V m}$
Dielektrizitätszahl	$\epsilon_r$	1
Kraft	$F$	N (Newton)

**880.** Welche Wärmemenge wird frei, wenn ein Kondensator von  $5 \mu\text{F}$  bei einer Spannung von 800 V durchschlägen wird?

**881.** Zur Speisung eines Elektronenblitzgerätes mit Hilfe eines Kondensators werden 100 J bei einer Spannung von 800 V benötigt. Welche Kapazität muß der Kondensator mindestens haben?

**882.** Welche Kapazität müßte ein Kondensator haben, wenn er bei 220 V die Energie eines kleinen Bleiakkumulators von 4 V und 20 Ah speichern sollte?

**883.** Mit welcher Kraft ziehen sich die beiden 275 cm<sup>2</sup> großen Platten eines auf 1000 V geladenen Luftkondensators gegenseitig an, und zwar a) bei einem Abstand von 1 mm, b) 1,5 mm und c) 2 mm?

**884.** Welche Kraft ist wirksam, wenn man den Zwischenraum des letztgenannten Kondensators nach der Aufladung mit Petroleum ( $\epsilon_r = 2,0$ ) füllt?

**885.** Der in Aufgabe 883 genannte Kondensator wird erst mit Petroleum ( $\epsilon_r = 2,0$ ) gefüllt und dann an die Batterie angeschlossen. Welche Kraft ist jetzt wirksam?

**886.** Welche Energie enthält eine auf 12 kV geladene Leidener Flasche, deren Oberfläche 850 cm<sup>2</sup> und Glasdicke 2,5 mm ( $\epsilon_r = 4,5$ ) beträgt?

**887.** Wie groß ist die zwischen zwei Platten größtmögliche Anziehungskraft je cm<sup>2</sup>, wenn die Durchschlagsfestigkeit der Luft mit 25000 V/cm angenommen wird?

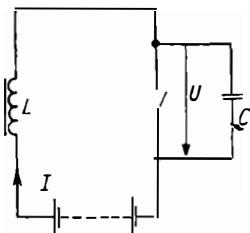


Bild 232.  
Aufgaben 888 bis 891

Um den Öffnungsfunkens beim Abschalten von stromdurchflossenen Spulen zu beseitigen, schaltet man nach Bild 232 einen Kondensator parallel zum Kontakt, der die im magnetischen Feld enthaltene Energie aufnimmt. Es gilt hierbei (bei Vernachlässigung nebensächlicher Verluste) die Gleichung

$$\frac{LI^2}{2} = \frac{CU^2}{2}$$

**888.** Der beim Abschalten eines Elektromagneten von 3,6 H und 0,3 A auftretende Öffnungsfunkens soll durch einen Kondensator beseitigt werden, der mit nicht mehr als 300 V belastet werden darf. Kapazität?

**889.** Der Kondensator wird durch einen anderen von 500 V zulässiger Spannung ersetzt. Welche Kapazität genügt dann?

**890.** Welche Spannung tritt an einem Kondensator von 2 nF auf, der den Öffnungs kontakt einer Spule von 0,7 H überbrückt, durch die ein Strom von 15 mA fließt?

**891.** Ein Relais nimmt den Strom 30 mA auf und hat die Induktivität 31 H. Der Öffnungsfunkens soll durch einen Kondensator unterdrückt werden. Zur Verfügung stehen Kondensatoren mit einer Prüfspannung von 250 V (1  $\mu$ F) und 500 V (0,1  $\mu$ F). Welcher Kondensator ist besser geeignet?

**892.** Das elektrische Feld eines Zweiplattenkondensators enthält die Energie 88,5  $\mu$ J. Wie groß sind der Plattenabstand und die Ladespannung, wenn sich die beiden 0,1 m<sup>2</sup> großen Platten mit der Kraft 4,42 N anziehen?

**893.** Mit welcher Kraft ziehen sich zwei an die Spannung 6000 V angeschlossene, je 200 cm<sup>2</sup> große Platten an, wenn das im Zwischenraum befindliche Feld die Energie  $2,5 \cdot 10^{-4}$  J enthält?

**894.** Wie groß ist der Radius einer frei stehenden Kugel, die mit der Spannung 4000 V geladen ist und deren Feld die Energie 300  $\mu$ J enthält?

**895.** Zwei isoliert nebeneinander aufgehängte Kugeln vom Radius  $R = 1$  mm werden einzeln mit der Spannung 3000 V gegen Erde geladen. Welchen Abstand haben sie, wenn die Abstoßungskraft 4  $\mu$ N beträgt?

**896.** Eine kleine Kugel wird mit der Spannung 4000 V gegen Erde geladen und danach von einer zweiten, gleich großen Metallkugel berührt. Hierauf stoßen sie sich im Abstand 6 cm mit der Kraft 0,5  $\mu$ N ab. Wie groß ist der Radius der Kugeln?

**897.** Das elektrische Feld einer frei stehenden Kugel enthält die Energie 200  $\mu$ J. Die Feldstärke an der Kugeloberfläche beträgt 25 kV/m. Wie groß ist der Radius der Kugel?

**898.** Zwei Platten von je  $80 \text{ cm}^2$  Fläche bilden einen Kondensator mit der Kapazität  $2 \text{ pF}$ . Eine im Zwischenraum befindliche Probeladung  $Q_2 = 4 \cdot 10^{-9} \text{ C}$  wird mit der Kraft  $1 \text{ mN}$  bewegt. Welche Spannung besteht zwischen den Platten?

**899.** Welche Oberfläche haben die beiden Platten eines Luftkondensators, wenn sie die

Ladung  $8 \cdot 10^{-8} \text{ C}$  tragen und sich mit der Kraft  $2 \text{ mN}$  anziehen?

**900.** Die beiden  $0,1 \text{ m}^2$  großen Platten eines Luftkondensators haben den Abstand  $5 \text{ cm}$  und tragen die Ladung  $Q = \pm 7 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ . Mit welcher Kraft wird eine kleine, im Zwischenraum aufgehängte Metallkugel von  $1 \text{ mm}$  Radius hin und her bewegt, wenn sie die Platten abwechselnd berührt?

## Lösungen

$$1. R = \frac{\rho l}{A} = \frac{0,0178 \Omega \text{ mm}^2 \cdot 4500 \text{ m}}{\text{m} \cdot 12,6 \text{ mm}^2} = 6,36 \Omega$$

$$2. R = \frac{\rho l}{A} = \frac{0,5 \Omega \text{ mm}^2 \cdot 300 \text{ m}}{\text{m} \cdot 0,126 \text{ mm}^2} = 1190 \Omega$$

$$3. R = \frac{\rho l}{A} =$$

$$= \frac{0,029 \Omega \text{ mm}^2 \cdot 500 \cdot 0,04 \text{ m}}{\text{m} \cdot 0,196 \text{ mm}^2} = 2,96 \Omega$$

$$4. R = \frac{2\rho l}{A} = \frac{0,0178 \Omega \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ m}}{\text{m} \cdot 1,5 \text{ mm}^2} = 4,75 \Omega$$

$$5. R = \frac{\rho N \pi d}{A} =$$

$$= \frac{0,43 \Omega \text{ mm}^2 \cdot 850 \cdot \pi \cdot 0,05 \text{ m}}{\text{m} \cdot 0,07 \text{ mm}^2} = 820 \Omega$$

$$6. R = \frac{\rho l}{A} = \frac{1,1 \Omega \text{ mm}^2 \cdot 10 \text{ m}}{\text{m} \cdot 0,159 \text{ mm}^2} = 69,2 \Omega$$

$$7. R = \frac{\rho l}{A} =$$

$$= \frac{5 \cdot 10^{-6} \Omega \text{ m} \cdot 8,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}}{1,5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2} = 2833 \Omega$$

$$8. A = \frac{\pi (d_1^2 - d_2^2)}{4} = 254 \text{ mm}^2; R = 0,041 \Omega$$

$$9. A = \frac{\pi (d_1^2 - d_2^2)}{4} = 13,85 \text{ mm}^2;$$

$$R = \frac{l}{\zeta A} = 0,45 \Omega$$

$$10. R = \frac{\rho l}{A} = \frac{10^{10} \Omega \text{ m} \cdot 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{0,1 \text{ m}^2} = 400 \text{ M}\Omega$$

$$11. R = \frac{\rho l}{A} = \frac{10^{11} \Omega \text{ m} \cdot 10^{-4} \text{ m}}{180 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 556 \text{ M}\Omega$$

$$12. R_1 = \frac{10^{10} \Omega \text{ m} \cdot 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{12 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 167 \text{ G}\Omega$$

$$R_2 = \frac{10^9 \Omega \text{ m} \cdot 3 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 37,5 \text{ G}\Omega;$$

$$R_3 = \frac{10^9 \Omega \text{ m} \cdot 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 667 \text{ G}\Omega$$

$$13. R = \frac{l}{\zeta A} = \frac{3 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{m}}{3,2 \text{ S} \cdot 40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 2,34 \Omega$$

$$14. R = \frac{l}{\zeta A} = \frac{8 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{m}}{65,3 \text{ S} \cdot 10^{-2} \text{ m}^2} = 12,3 \text{ m}\Omega$$

$$15. l = \frac{RA}{\rho} = \frac{500 \Omega \cdot 0,126 \text{ mm}^2 \text{ m}}{0,5 \Omega \text{ mm}^2} = 126 \text{ m}$$

$$16. l = \frac{RA}{\rho} = \frac{40 \Omega \cdot 0,00283 \text{ mm}^2 \text{ m}}{0,5 \Omega \text{ mm}^2} = 22,64 \text{ cm}$$

$$17. l = \frac{RA}{\rho} = \frac{9,5 \Omega \cdot 12,6 \text{ mm}^2 \text{ m}}{0,0178 \Omega \text{ mm}^2} = 6,72 \text{ km}$$

$$18. l = \frac{RA}{\rho} = \frac{6 \Omega \cdot 1 \text{ mm}^2 \text{ m}}{0,0178 \Omega \text{ mm}^2} = 337 \text{ m}$$

$$19. l = \frac{RA}{\rho} = \frac{48,5 \Omega \cdot 0,283 \text{ mm}^2 \text{ m}}{1,1 \Omega \text{ mm}^2} = 12,5 \text{ m}$$

20. Da sich der Querschnitt auf den 4. Teil verringert, erlangt der Draht die 4fache Länge; der Widerstand steigt auf den 16fachen Wert.

$$21. A = \frac{\rho l}{R} =$$

$$= \frac{0,0178 \Omega \text{ mm}^2 \cdot 1000 \text{ m}}{1,804 \Omega \text{ m}} = 9,87 \text{ mm}^2;$$

$$d = 2 \sqrt{\frac{9,87 \text{ mm}^2}{\pi}} = 3,54 \text{ mm}$$

$$22. A = \frac{\varrho l}{R_n} =$$

$$= \frac{0,0178 \Omega \text{ mm}^2 \cdot 1000 \text{ m}}{0,194 \Omega \text{ m} \cdot 19} = 4,83 \text{ mm}^2;$$

$$d = \underline{2,48 \text{ mm}}$$

$$23. \varrho = \frac{R_n A}{l} = \frac{0,198 \Omega \cdot 37 \cdot 3,98 \text{ mm}^2}{1000 \text{ m}} =$$

$$= 0,029 \Omega \text{ mm}^2/\text{m} \text{ (Aluminium)}$$

$$24. \varrho = \frac{RA}{l} = \frac{2 \cdot 10^{-2} \Omega \cdot 36 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{6 \cdot 10^{-3} \text{ m}} =$$

$$= 1,2 \cdot 10^{-2} \Omega \text{ m}; \quad x = 83,3 \text{ S/m}$$

25. Widerstand der Leitung  $R_g = 18,87 \Omega$ ; Übergangswiderstand

$$R_{\bar{u}} = \frac{R_1 + R_2 - R_g}{2} = 2,5 \Omega;$$

Widerstand bis zur Schadenstelle

$$R_1' = R_1 - R_{\bar{u}} = 8,35 \Omega; \text{ Entfernung}$$

$$l_1 = \frac{R_1' A}{2\varrho} = \underline{66,32 \text{ m}}$$

$$26. R_{\theta} = R_0(1 + \alpha \Delta \vartheta) = \\ = 500(1 + 0,0038 \cdot 42) \Omega = 580 \Omega$$

$$27. R_0 = \frac{\varrho l}{A} = \frac{0,055 \Omega \text{ mm}^2 \cdot 0,3 \text{ m}}{0,000452 \text{ mm}^2 \text{ m}} = 36,5 \Omega;$$

$$R_{\theta} = 36,5(1 + 0,0041 \cdot 2280 + 10^{-6} \cdot 2280^2) \Omega = \\ = \underline{567 \Omega}$$

$$28. 2R_0 = R_0(1 + \alpha \Delta \vartheta);$$

$$\Delta \vartheta = \frac{1}{\alpha} = 263 \text{ K}; \quad \vartheta = \underline{283 \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

$$29. \Delta \vartheta = \frac{R_{\theta} - R_0}{\alpha R_0} =$$

$$= \frac{(450 - 350) \Omega \text{ K}}{0,004 \cdot 350 \Omega} = 71,4 \text{ K}; \quad \vartheta = \underline{91,4 \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

$$30. R_0 = \frac{U}{I_1} = \frac{220 \text{ V}}{2,9 \text{ A}} = 76 \Omega;$$

$$R_{\theta} = \frac{U}{I_2} = \frac{220 \text{ V}}{0,5 \text{ A}} = 440 \Omega;$$

$$\Delta \vartheta = \frac{R_{\theta} - R_0}{\alpha R_0} = 1200 \text{ K}; \quad \vartheta = \underline{1220 \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

$$31. xR_0 = R_0(1 + \alpha \Delta \vartheta);$$

$$x = 1 + 0,0038 \cdot 60 = 1,228.$$

Die Zunahme beträgt demnach 22,8 %.

$$32. I_{\theta} = \frac{U}{R_{\theta}} = \frac{U}{(1 + 0,0038 \cdot 45) R} =$$

$$= \frac{I}{1,171} = 0,854 I.$$

Der Strom beträgt im Betrieb nur noch 85,4 %.

$$33. \Delta \vartheta = \frac{R_{\theta} - R_0}{\alpha R_0} =$$

$$= \frac{(1,55 - 1,5) \text{ K}}{0,0038 \cdot 1,5} = 8,8 \text{ K}; \quad \vartheta = \underline{16,8 \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

$$34. R_0 = \frac{\varrho l}{A} = \frac{39,6 \Omega \text{ mm}^2 \cdot 0,18 \text{ m}}{0,283 \text{ mm}^2 \text{ m}} = \underline{25,2 \Omega};$$

$$R_{\theta} = R_0(1 + \alpha \Delta \vartheta) = \underline{9,3 \Omega}$$

$$35. R_{\theta} = \frac{U}{I} = \frac{220 \text{ V}}{0,34 \text{ A}} = \underline{647 \Omega};$$

$$R_0 = \frac{647 \Omega}{1 + 0,0041 \cdot 2480 + 10^{-6} \cdot 2480^2} = \underline{37,4 \Omega}$$

$$36. \alpha = \frac{1,05 R_0 - R_0}{80 \text{ K} \cdot R_0} = 625 \cdot 10^{-6}/\text{K}$$

$$37. \text{ a)} R_{\bar{u}} = \frac{R_1 + R_2 - R_g}{2} = 2,5 \Omega;$$

reiner Leitungswiderstand

$$R_1' = R_1 - R_{\bar{u}} = 6,05 \Omega$$

$$\text{b)} A = 0,283 \text{ mm}^2; \Delta \vartheta = -15 \text{ K};$$

$$l_1 = \frac{R_1' A}{2\varrho(1 - \alpha \Delta \vartheta)} = \underline{51,00 \text{ m}}$$

$$38. \Delta \vartheta = \frac{R_{\theta} - R_0}{\alpha R_0} = \frac{0,2 R_0}{\alpha R_0} = 53 \text{ K};$$

$$\vartheta = \underline{173 \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

$$39. R_{\theta} = R_0(1 + \alpha \Delta \vartheta);$$

$$\frac{R_{\theta}}{R_0} = 1 + 0,004 \cdot 45 = 1,18; \quad \text{Zunahme } \underline{18 \%}$$

$$40. R_{\theta} = R_0(1 + \alpha \Delta \vartheta) \\ = 850(1 + 0,0038 \cdot 52) \Omega = \underline{1018 \Omega}$$

$$41. \Delta \vartheta = \frac{R_{\theta} - R_0}{\alpha R_0} = \frac{3 \Omega \text{ K}}{0,0038 \cdot 12 \Omega} = \underline{66 \text{ K}}$$

$$42. \Delta \vartheta = \frac{\Delta R}{\alpha R_0} = \frac{20 \Omega \text{ K}}{0,0038 \cdot 85 \Omega} = 62 \text{ K};$$

$$\vartheta = \underline{77 \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

$$43. \Delta \vartheta = \frac{\Delta R}{\alpha R_0} = \frac{0,34 \text{ K}}{0,0038} = 89 \text{ K}; \quad \vartheta = \underline{107 \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

$$44. \Delta \vartheta = \frac{\frac{U}{I_2} - \frac{U}{I_1}}{\frac{U}{\alpha I_1}} = \frac{I_1 - I_2}{\alpha I_2} = 29 \text{ K};$$

$$\vartheta = \underline{47 \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

**45. a)** Die Metallfadenlampe leuchtet zuerst auf. Wegen ihres im kalten Zustand kleineren Widerstandes hat sie die größere Anfangstromstärke, während umgekehrt die Kohlefadenlampe infolge ihres negativen Temperaturkoeffizienten anfänglich den schwächeren Strom aufnimmt.

**b)** Die Stromstärke ist in beiden Lampen stets die gleiche. Die Anfangsleistung der Kohlefadenlampe ist wegen des größeren Anfangswiderstandes im Gegensatz zur Metallfadenlampe jedoch größer. Letztere leuchtet daher später auf.

$$46. I = \frac{U}{R} = \frac{220 \text{ V}}{80 \Omega} = 2,75 \text{ A}$$

$$47. I = \frac{U}{R} = \frac{4,5 \text{ V}}{500 \Omega} = 9 \text{ mA}$$

$$48. I = \frac{U}{R} = \frac{3 \text{ V}}{50 \cdot 10^6 \Omega} = 0,06 \mu\text{A}$$

$$49. I = \frac{UA}{\varrho l} = \frac{6 \text{ V} \cdot 0,196 \text{ mm}^2 \text{ m}}{0,0178 \text{ mm}^2 \cdot 300 \text{ m}} = 0,22 \text{ A}$$

$$50. I = \frac{U}{R} = \frac{400 \text{ V}}{10000 \Omega} = 0,04 \text{ A}$$

$$51. R = \frac{U}{I} = \frac{220 \text{ V}}{0,454 \text{ A}} = 485 \Omega$$

$$52. R = \frac{U}{I} = \frac{220 \text{ V}}{6 \text{ A}} = 36,7 \Omega$$

$$53. R = \frac{U}{I} = \frac{150 \text{ V}}{0,0025 \text{ A}} = 60 \text{ k}\Omega$$

$$54. R = \frac{U}{I} = \frac{220 \text{ V}}{12 \text{ A}} = 18,3 \Omega$$

$$55. R = \frac{U}{I} = \frac{90 \text{ V}}{0,045 \text{ A}} = 2000 \Omega$$

$$56. U = IR = \frac{I\varrho l}{A} =$$

$$= \frac{1,8 \text{ A} \cdot 0,96 \Omega \text{ mm}^2 \cdot 0,75 \text{ m}}{2 \text{ mm}^2 \text{ m}} = 0,65 \text{ V}$$

$$57. R = \frac{U}{I} = \frac{300 \text{ V}}{0,1 \text{ A}} = 3000 \Omega$$

$$58. U = IR = 0,04 \text{ A} \cdot 1000 \Omega = 40 \text{ V}$$

$$59. U = IR = 6 \text{ A} \cdot 0,03 \Omega = 180 \text{ mV}$$

$$60. l = \frac{UA}{I\varrho} = \frac{10 \text{ V} \cdot 0,00785 \text{ mm}^2 \text{ m}}{0,06 \text{ A} \cdot 0,0178 \Omega \text{ mm}^2} = 73,5 \text{ m}$$

$$61. \text{ Mit } R = \frac{U}{I} = \frac{\varrho l}{A} \text{ wird } N = \frac{l}{\pi d} =$$

$$= \frac{UA}{I\varrho\pi d} = \frac{70 \text{ V} \cdot 1,131 \text{ mm}^2 \text{ m}}{3,5 \text{ A} \cdot 0,13 \Omega \text{ mm}^2 \cdot \pi \cdot 0,06 \text{ m}} =$$

= 923 Windungen

$$62. \frac{U}{I} = \frac{U + 20 \text{ V}}{1,08 I}; \quad U = 250 \text{ V}$$

$$63. U = IR = 0,0015 \text{ A} \cdot 50000 \Omega = 75 \text{ V}$$

64. Aus den Gleichungen

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{und} \quad I - \Delta I = \frac{U}{R + \Delta R}$$

folgt nach Einsetzen der ersten in die zweite

$$R = -\frac{\Delta R}{2} \pm \sqrt{\frac{U \cdot \Delta R}{\Delta I} + \left(\frac{\Delta R}{2}\right)^2} = 85 \Omega$$

$$65. U = IR = 0,05 \text{ A} \cdot 1100 \Omega = 55 \text{ V}$$

$$66. R = \frac{U}{I} = \frac{3 \cdot 2,43 \text{ V}}{2,072 \text{ A}} = 3,52 \Omega$$

$$67. I = \frac{U}{R} = \frac{0,06 \text{ V}}{20 \Omega} = 3 \text{ mA}$$

$$68. I = \frac{U}{R} = \frac{220 \text{ V}}{45 \Omega} = 4,9 \text{ A}$$

$$69. U = IR = \frac{I\varrho l}{A} = \\ = \frac{6 \text{ A} \cdot 0,0178 \Omega \text{ mm}^2 \cdot 0,4 \text{ m}}{0,785 \text{ mm}^2 \text{ m}} = 0,0544 \text{ V}$$

$$70. R_g = R_1 + R_a = 70 \Omega;$$

$$I = \frac{U}{R_g} = \frac{4 \text{ V}}{70 \Omega} = 0,057 \text{ A};$$

$$U_1 = IR_1 = 0,057 \text{ A} \cdot 10 \Omega = 0,57 \text{ V};$$

$$U_k = IR_a = 0,057 \text{ A} \cdot 60 \Omega = 3,42 \text{ V}$$

$$71. U_1 = U_q - U_k = 0,5 \text{ V}; \quad R_i = \frac{U_1}{I} = 1 \Omega;$$

$$R_a = \frac{U_k}{I} = 7 \Omega; \quad R_g = R_1 + R_a = 8 \Omega$$

$$72. R_g = R_1 + R_a = 56 \Omega; \quad I = \frac{U_k}{R_a} = 0,09 \text{ A};$$

$$U_1 = IR_1 = 0,54 \text{ V}; \quad U_q = U_k + U_1 = 5,04 \text{ V}$$

$$73. U_k = IR_a = 150 \text{ V};$$

$$U_q = U_k + U_1 = 152 \text{ V};$$

$$R_i = \frac{U_1}{I} = 667 \Omega; \quad R_g = R_a + R_i = 50667 \Omega$$

$$74. R_g = \frac{U_q}{I} = 16 \Omega; \quad R_1 = R_g - R_a = 6 \Omega;$$

$$U_1 = IR_1 = 9 \text{ V}; \quad U_k = IR_a = 15 \text{ V}$$

75. In diesem Fall könnte höchstens ( $R_1 = 0$ ) ein Strom von  $I = \frac{24V}{40\Omega} = 0,6 A$  fließen, was im Widerspruch zu dem gegebenen Wert von  $I = 1,5 A$  steht.

$$76. I = \frac{U_k}{R_a} = 1,87 A; U_1 = U_q - U_k = 2 V;$$

$$R_1 = \frac{U_1}{I} = 1,07 \Omega; R_g = R_1 + R_a = 16,07 \Omega;$$

$$77. I = \frac{U_1}{R_1} = 0,0333 A; R_g = \frac{U_q}{I} = 45 \Omega;$$

$$R_a = R_g - R_1 = 39 \Omega; U_k = IR_a = 1,3 V$$

$$78. U_q = U_1 + U_k = 16 V; R_g = \frac{U_q}{I} = 6,4 \Omega;$$

$$R_1 = \frac{U_1}{I} = 0,88 \Omega; R_a = \frac{U_k}{I} = 5,52 \Omega$$

$$79. U_k = U_q - U_1 = 11 V; R_a = \frac{U_k}{I} = 22 \Omega;$$

$$R_1 = \frac{U_1}{I} = 2 \Omega; R_g = R_1 + R_a = 24 \Omega$$

$$80. R_1 = \frac{U_q}{I} - R_a = 0,29 \Omega;$$

$$U_k = IR_a = 0,96 V$$

$$81. U_q = 12E; R_{ig} = 12R_1;$$

$$R_g = \frac{U_q}{I} = 3,4 \Omega; R_a = R_g - R_{ig} = 3,34 \Omega;$$

$$U_k = IR_a = 21,88 V$$

$$82. \frac{U}{R_1 + R_a} = \frac{6 U}{R_1 + R_a + R_v};$$

$$R_v = 5(R_1 + R_a)$$

$$83. R_g = R_1 + R_a = 13,2 \Omega;$$

$$I = \frac{U_q}{R_g} = 0,34 A; U_k = IR_a = 4,08 V$$

$$84. R_g = R_1 + R_a = 37 \Omega;$$

$$I = \frac{U_q}{R_g} = 0,081 A; U_k = IR_a = 2,025 V$$

$$85. R_1 = \frac{U_q}{I} - R_a = 0,86 \Omega$$

$$86. R_1 = \frac{U_q - U_k}{I} = 16,7 \Omega;$$

$$R_a = \frac{U_k}{I} = 1317 \Omega$$

$$87. R_L = \frac{U_k^2}{P} = 15,84 \Omega; I = \frac{U_k}{R_L} = 13,8 A;$$

$$R_1 = \frac{U_q - U_k}{I} = 0,51 \Omega$$

$$88. I = \frac{U_q}{R_1 + R_a} = 1,825 A;$$

$$U_k = IR_a = 118,6 V$$

$$89. I_1 = \frac{U_q}{R_1 + R_1}; I_2 = \frac{U_q}{R_1 + R_2}$$

Aus diesen beiden Gleichungen ergibt sich

$$R_1 = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2} = 2 \Omega; U_q = 1,8 V$$

$$90. R_1 = \frac{U_q - U_k}{I} = \frac{(U_q - U_k) R_a}{U_k} = 0,71 \Omega$$

91. Widerstand der Lampe

$$R_L = \frac{4,5^2 V^2}{2 W} = 10,13 \Omega;$$

$$R_1 = \frac{U_q - U_k}{I} = \frac{(U_q - U_k) R_L}{U_k} = 0,47 \Omega$$

$$92. R_1 = \frac{U_q}{I_k} = \frac{4,5 V}{5 A} = 0,9 \Omega$$

$$93. I = \frac{U_k}{R_a} = 50 mA; R_1 = \frac{U_q - U_k}{I} = 10 \Omega$$

$$94. I_k = \frac{U_q}{R_1} = \frac{4 V}{0,005 \Omega} = 800 A$$

$$95. I = \frac{U_q}{R_1 + R_a} = \frac{U_q}{\frac{U_q}{I_k} + \frac{U_k}{I}};$$

$$U_q = \frac{I_k U_k}{I_k - I} = 18,33 V; R_1 = \frac{U_q}{I_k} = 0,733 \Omega$$

$$96. \text{Wegen } R_a = n R_1, I = \frac{U_q}{R_1 + n R_1}$$

$$\text{und } I_k = \frac{U_q}{R_1} \text{ wird } \frac{I}{I_k} = \frac{1}{1+n}$$

$$97. U_k = IR_a = In R_1 = \frac{U_q n R_1}{R_1 (1+n)} = \frac{n U_q}{1+n};$$

$$U_1 = U_q; \frac{U_k}{U_1} = \frac{n}{1+n}$$

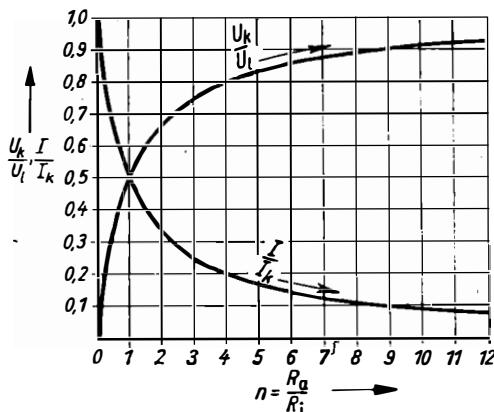


Bild 233. Aufgabe 98

98. (Bild 233)

99. a) Von etwa  $R_a = 8R_1$  an ändert sich  $U_k$  nur noch wenig.

b) Die Hälfte der Höchstwerte liegt vor, wenn  $R_a = R_1$  ist. Der Strom ist ein Drittel des Kurzschlußstromes, wenn  $R_a = 2R_1$  ist. Die Klemmenspannung ist ein Drittel der Leerlaufspannung, wenn  $R_a = R_1/2$  ist.

100.  $R_g = R_1 + R_2 = \underline{30 \Omega}$ ;  $R_s = \underline{25 \Omega}$ ;

$$I = \frac{U_k}{R_a} = \underline{0,24 \text{ A}}; \quad U_q = IR_g = \underline{7,2 \text{ V}}$$

$$U_1 = IR_1 = \underline{2,4 \text{ V}}; \quad U_2 = IR_2 = \underline{3,6 \text{ V}}$$

$$U_4 = IR_4 = \underline{1,2 \text{ V}}$$

$$101. \quad R_g = \frac{U_q}{I} = \underline{48 \Omega}; \quad U_1 = IR_1 = \underline{2 \text{ V}}$$

$$U_2 = IR_2 = \underline{2,5 \text{ V}}; \quad U_3 = IR_3 = \underline{5 \text{ V}}$$

$$U_k = U_1 + U_2 + U_3 = \underline{9,5 \text{ V}}$$

$$U_4 = U_q - U_k = \underline{14,5 \text{ V}}; \quad R_1 = \frac{U_1}{I} = \underline{29 \Omega}$$

$$102. \quad I = \frac{U_k}{R_a} = \underline{0,522 \text{ A}}; \quad U_1 = IR_1 = \underline{5,22 \text{ V}}$$

$$U_2 = IR_2 = \underline{7,83 \text{ V}}; \quad U_3 = IR_3 = \underline{10,44 \text{ V}}$$

$$U_4 = U_q - U_k = \underline{0,5 \text{ V}}; \quad R_1 = \frac{U_1}{I} = \underline{0,96 \Omega}$$

$$R_g = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = \underline{45,96 \Omega}$$

$$103. \quad R_g = \frac{U_q}{I} = \underline{54,54 \Omega}; \quad R_3 = \frac{U_3}{I} = \underline{18,18 \Omega};$$

$$R_1 = R_g - (R_1 + R_2 + R_3) = \underline{13,36 \Omega};$$

$$U_1 = IR_1 = \underline{16,5 \text{ V}}; \quad U_2 = IR_2 = \underline{8,8 \text{ V}};$$

$$U_k = I(R_1 + R_2 + R_3) = \underline{45,3 \text{ V}};$$

$$U_4 = IR_4 = \underline{14,7 \text{ V}}$$

$$104. \quad I_1 = \frac{U_q}{R_1 + R_{a1} + R_A};$$

$$I_2 = \frac{U_q}{R_1 + R_{a2} + R_A};$$

Widerstand des Strommessers

$$R_A = \frac{0,6 \text{ V}}{0,3 \text{ A}} = \underline{2 \Omega};$$

Auflösen nach  $U_g$  und Gleichsetzen ergibt

$$R_1 = \frac{I_2(R_{a2} + R_A) - I_1(R_{a1} + R_A)}{I_1 - I_2} = \underline{3 \Omega};$$

$$U_q = I_1(R_1 + R_{a1} + R_A) = \underline{6 \text{ V}}$$

$$105. \quad R_g = R_1 + R_2 = 5000 \Omega; \quad I = \frac{U}{R_1 + R_2};$$

$$U_1 = IR_1 = \frac{UR_1}{R_1 + R_2} = \underline{88 \text{ V}}; \quad U_2 = \underline{132 \text{ V}};$$

da  $U_2$  höchstens 150 V betragen kann, ist der Höchststrom

$$I_{\max} = \frac{150 \text{ V}}{3000 \Omega} = \underline{0,05 \text{ A}};$$

$$U_{\max} = I_{\max} R_1 = \underline{100 \text{ V}}; \quad U_{\max} = \underline{250 \text{ V}}$$

$$106. \quad \text{Leitungswiderstand } R_L = \frac{\rho l}{A} = \underline{0,353 \Omega};$$

$$R_g = 34,15 \Omega; \quad I = \frac{U_k}{R_g} = \underline{6,65 \text{ A}};$$

$$U_q = IR_g = \underline{227 \text{ V}}; \quad U_v = IR_L = \underline{2,35 \text{ V}};$$

$$U_1 = IR_1 = \underline{93 \text{ V}}; \quad U_2 = IR_2 = \underline{119,7 \text{ V}}$$

$$107. \quad R_v = \frac{AU}{I} = \underline{27,1 \Omega};$$

$$l = \frac{R_v A}{\rho} = \underline{42,5 \text{ m}}$$

$$108. \quad \text{a) } R_1 = \frac{U_1}{I} = \underline{2,4 \Omega}$$

$$\text{b) } R_{v1} = \frac{U - U_1}{I} = \underline{0,6 \Omega}; \quad R_{v2} = \underline{27,6 \Omega};$$

$$R_{v3} = \underline{297,6 \Omega}; \quad R_{v4} = \underline{2997,6 \Omega}.$$

c)  $R_{g1} = R_1 + R_{v1} = 3 \Omega$ ;  $R_{g2} = 30 \Omega$ ;  
 $R_{g3} = 300 \Omega$ ;  $R_{g4} = 3000 \Omega$

109.  $\frac{U_1}{U - U_1} = \frac{R_1}{R_v}$ ;

$$R_1 = \frac{R_v U_1}{U - U_1} = 60 \text{ k}\Omega$$

110.  $R_v = \frac{4U}{I} = 110 \Omega$

111.  $I = \frac{P}{U_L} = 5 \text{ A}$ ;  $R_v = \frac{U - U_L}{I} = 20,8 \Omega$

112.  $\frac{U_1}{U - U_1} = \frac{R_1}{R_v}$ ;  $R_v = \frac{R_1(U - U_1)}{U_1}$

a) 480 Ω b) 980 Ω c) 4980 Ω

d) 24980 Ω e) 99980 Ω

113.  $R_v = \frac{4U}{I} = \frac{(65 - 38)\text{V}}{6\text{A}} = 4,5 \Omega$

114.  $l_1 = \frac{lU_1}{U} = \frac{24 \text{ cm} \cdot 20 \text{ V}}{220 \text{ V}} = 2,18 \text{ cm}$ ;

$$l_2 = \frac{24 \text{ cm} \cdot 40 \text{ V}}{220 \text{ V}} = 4,36 \text{ cm}; \quad l_3 = 16,4 \text{ cm}$$

115. Aus  $U_1 = U'_2 \frac{R'_2 + R_1}{R'_2}$  und

$$U_1 = U''_2 \frac{R''_2 + R_1}{R''_2}$$

ergibt sich durch Gleichsetzen und Auflösen

$$R_1 = \frac{R'_2 R''_2 (U'_2 - U''_2)}{U''_2 R'_2 - U'_2 R''_2} = 660 \Omega$$

$$U_1 = 42 \text{ mV} \frac{(120 + 660) \Omega}{120 \Omega} = 273 \text{ mV}$$

116.  $U_1 = \frac{UR_1}{R_g} = \frac{125 \text{ V} \cdot 100 \Omega}{1000 \Omega} = 12,5 \text{ V}$ ;

$$U_2 = \frac{125 \text{ V} \cdot 200 \Omega}{1000 \Omega} = 25 \text{ V} \quad \text{usw.}$$

(Bild 234)

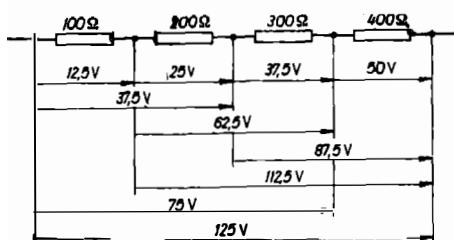


Bild 234. Aufgabe 116

117.  $N_1 = \frac{NU_1}{U} = \frac{350 \cdot 0,05 \text{ V}}{4 \text{ V}} =$

= 4,4 Windungen; ferner

$N_2 = 7$ ;  $N_3 = 13,1$ ;  $N_4 = 105$ ;  $N_5 = 263$

118.  $\frac{\frac{3}{5}l - \frac{5}{9}l}{l} = \frac{10 \text{ V}}{U}$ ;  $U = 225 \text{ V}$ ;

vorher:  $U_2 = \frac{3U}{5} = 135 \text{ V}$ ;

nachher:  $U_2 = 125 \text{ V}$

119.  $U_1 = \frac{U}{500} = 0,44 \text{ V}$

120.  $U_v = 0,03U = 6,6 \text{ V}$ ;

$$A = \frac{2Il\varrho}{U_v} = 2,27 \text{ mm}^2$$

(nächster Normquerschnitt 2,5 mm<sup>2</sup>)

121.  $A = \frac{Il\varrho}{U_v} = 103,6 \text{ mm}^2$ ;  $d = 11,5 \text{ mm}$

122. a)  $U_v = \frac{2Il\varrho}{A} = 133,5 \text{ V}$ ;

zur Verfügung steht die Spannung

$$U - U_v = 86,5 \text{ V}$$

b)  $I_1 : I_2 = U_{v1} : U_{v2}$ ;

$$I_2 = \frac{I_1 U_{v2}}{U_{v1}} = 4,5 \text{ A}$$

c)  $A = \frac{2Il\varrho}{U_v} = 13,4 \text{ mm}^2$

(nächster Normquerschnitt 16 mm<sup>2</sup>)

123.  $I = \frac{U_v A}{2l\varrho} = 7,02 \text{ A}$

124. a)  $A = \frac{2Il\varrho}{U_v} = 21,4 \text{ mm}^2$

(nächster Normquerschnitt 25 mm<sup>2</sup>)

b)  $A = 34,3 \text{ mm}^2$

(nächster Normquerschnitt 35 mm<sup>2</sup>)

125. a) Für Kupfer ist  $U_v = \frac{2Il\varrho}{A} = \frac{2 \cdot 21 \text{ A} \cdot 100 \text{ m} \cdot 0,0178 \Omega \text{ mm}^2}{2,5 \text{ mm}^2 \text{ m}} = 29,9 \text{ V}$ ;

für Alu ist  $U_v = 36,6 \text{ V}$  b) 24,0 V; 30,0 V

c) 20,8 V; 25,7 V d) 17,1 V; 21,7 V

e) 14,5 V; 18,2 V

$$126. l = \frac{U_{\text{v}} A}{2 I \rho} =$$

$$= \frac{22 \text{ V} \cdot 4 \text{ mm}^2 \text{ m}}{2 \cdot 27 \text{ A} \cdot 0,0178 \Omega \text{ mm}^2} = 91,6 \text{ m}$$

127. Der Spannungsverlust ist proportional dem spezifischen Widerstand. Dieser beträgt bei einer Temperaturzunahme um 20 K das 1,076fache, da  $(1 + 0,0038 \cdot 20) = 1,076$  ist. Die Zunahme beträgt daher 7,6 %.

$$128. U_{\text{v}} = 0,0219 U = 2,63 \text{ V};$$

$$\rho = \frac{U_{\text{v}} A}{2 I l} = 0,0286 \Omega \text{ mm}^2/\text{m} \text{ (Aluminium)}$$

$$129. \frac{2 \cdot 0,7 I \rho l'}{A} = \frac{2 I \rho l}{A};$$

$l' = 1,43l$ ; die Leitung kann um 43 % verlängert werden.

$$130. I = \frac{n U_{\text{q}}}{n R_1 + R_{\text{a}}} =$$

$$= \frac{12 \cdot 1,5 \text{ V}}{(25 + 12 \cdot 1,8) \Omega} = 0,386 \text{ A};$$

$$U_{\text{k}} = I R_{\text{a}} = 0,386 \text{ A} \cdot 25 \Omega = 9,65 \text{ V}$$

131. Man dividiert die Gleichungen

$$I = \frac{n U_{\text{q}}}{R_{\text{a}} + n R_1} \quad \text{und} \quad 1,48 I = \frac{2 n U_{\text{q}}}{R_{\text{a}} + 2 n R_1}$$

durcheinander und erhält nach Umstellen  
 $1,48 R_{\text{a}} + 2,96 n R_1 = 2 R_{\text{a}} + 2 n R_1; R_1 = 1,35 \Omega$

$$132. I (R_{\text{a}} + n R_1) = n U_{\text{q}1};$$

$$n = \frac{I R_{\text{a}}}{U_{\text{q}} - I R_1} = 9 \text{ Elemente}$$

133. Bei sehr großem  $n$  ist  $n R_1 \gg R_{\text{a}}$ .  
 Günstigstenfalls fließt ein Strom von

$$I = \frac{n U_{\text{q}}}{n R_1} = \frac{1,1 \text{ V}}{0,6 \Omega} = 1,833 \text{ A} \text{ (Kurzschlußstrom)}$$

$$134. \text{ Wegen } R_{\text{a}} = 0 \text{ wird } I = \frac{100 U}{100 R_1} = 0,6 \text{ A}$$

$$135. I_1 = \frac{3 \cdot 1,5 \text{ V}}{(30 + 3 \cdot 2,2) \Omega} = 0,123 \text{ A};$$

usw. (Bild 235)

Bei sehr großen Werten von  $n$  wird unter Vernachlässigung von  $R_{\text{a}}$  der Strom

$$I_{\text{max}} = \frac{U_{\text{q}}}{R_1} = \frac{1,5 \text{ V}}{2,2 \Omega} = 0,682 \text{ A}$$

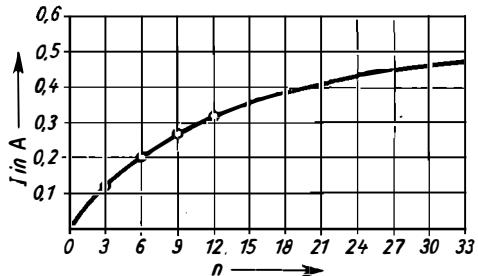


Bild 235. Aufgabe 135

136. Aus dem Ansatz

$$\Delta I = \frac{2n U_{\text{q}}}{R_{\text{a}} + 2n R_1} - \frac{n U_{\text{q}}}{R_{\text{a}} + n R_1}$$

ergibt sich die quadratische Gleichung

$$2n^2 R_1^2 + 3n R_{\text{a}} R_1 + R_{\text{a}}^2 = \frac{n U_{\text{q}} R_{\text{a}}}{\Delta I}$$

mit dem Ergebnis  $R_1 = 1 \Omega$  (die 2. Lösung ist nicht real)

$$137. I = \frac{U_{\text{q}1} + U_{\text{q}2} + U_{\text{q}3}}{R_{11} + R_{12} + R_{13} + R_{\text{a}}} = 0,214 \text{ A};$$

$$U_{\text{k}} = I R_{\text{a}} = 5,35 \text{ V};$$

$$U_1 = U - I R_{11} = 1,44 \text{ V}; U_2 = 1,75 \text{ V};$$

$$U_3 = 2,17 \text{ V}$$

$$138. I = \frac{\sum U_{\text{q}}}{R_{\text{a}} + \sum R_1} = \frac{9,5 \text{ V}}{12,73 \Omega} = 0,746 \text{ A};$$

$$U_{\text{k}} = I R_{\text{a}} = 8,95 \text{ V}$$

$$139. U_1 = \sum U_{\text{q}} = 9,5 \text{ V}; I_{\text{k}} = \frac{\sum U_{\text{q}}}{\sum R_1} = 13 \text{ A}$$

$$140. R_{\text{a}} = \frac{P}{I^2}; I = \frac{\sum U_{\text{q}}}{\sum R_1 + \frac{P}{I^2}};$$

hieraus entsteht die quadratische Gleichung

$$I^2 \sum R_1 - I \sum U_{\text{q}} = -P \text{ mit den beiden}$$

Lösungen  $I_1 = 2,32 \text{ A}$  und  $I_2 = 0,43 \text{ A}$ ;

$$R_{\text{a}1} = \frac{P}{I_1^2} = \underline{0,45 \Omega}; \quad R_{\text{a}2} = \frac{P}{I_2^2} = \underline{13 \Omega};$$

$$U_{\text{k}1} = I_1 R_{\text{a}1} = \underline{1,04 \text{ V}}; \quad U_{\text{k}2} = I_2 R_{\text{a}2} = \underline{5,6 \text{ V}}$$

$$141. \quad R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \underline{3,08 \Omega};$$

$$I = \frac{U}{R} = \underline{3,25 \text{ A}}; \quad I_1 = \frac{U}{R_1} = \underline{2 \text{ A}};$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \underline{1,25 \text{ A}}$$

$$142. \quad R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \underline{0,375 \text{ M}\Omega};$$

$$I = \frac{U}{R} = \underline{0,32 \text{ mA}}; \quad I_1 = \frac{U}{R_1} = \underline{0,24 \text{ mA}};$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \underline{0,08 \text{ mA}}$$

$$143. \quad R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \underline{11,25 \Omega};$$

$$U = IR = \underline{56,25 \text{ V}}; \quad I_1 = \frac{U}{R_1} = \underline{3,75 \text{ A}};$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \underline{1,25 \text{ A}}$$

$$144. \quad R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \underline{210 \Omega};$$

$$U = IR = \underline{2,1 \text{ V}}; \quad I_1 = \frac{U}{R_1} = \underline{7 \text{ mA}};$$

$$I_2 = I - I_1 = \underline{3 \text{ mA}}$$

$$145. \quad R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \underline{1,54 \Omega};$$

$$U = IR = \underline{37,9 \text{ V}}; \quad I_1 = \frac{U}{R_1} = \underline{20,48 \text{ A}};$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \underline{4,14 \text{ A}}$$

$$146. \quad I_1 : I_2 = 18:5 = 3,6:1$$

$$147. \quad R = \frac{U}{I} = \underline{5 \Omega};$$

$$R_2 = \frac{R_1 R}{R_1 - R} = \underline{13,33 \Omega};$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \underline{6,25 \text{ A}}; \quad I_2 = \frac{U}{R_2} = \underline{3,75 \text{ A}}$$

$$148. \quad R_1 = \frac{U}{I_1} = \underline{1,3 \text{ k}\Omega};$$

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \underline{1,03 \text{ k}\Omega};$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \underline{1,3 \text{ mA}}; \quad I = I_1 + I_2 = \underline{6,3 \text{ mA}}$$

$$149. \quad I = I_1 + I_2 = \underline{0,59 \text{ A}};$$

$$R = \frac{U}{I} = \underline{203,4 \Omega}; \quad R_1 = \frac{U}{I_1} = \underline{240 \Omega};$$

$$R_2 = \frac{U}{I_2} = \underline{1333 \Omega}$$

$$150. \quad R = \frac{U}{I} = \underline{2 \Omega}; \quad I_1 : I = 3 : 13;$$

$$I_1 = \frac{3I}{13} = \underline{1,85 \text{ A}};$$

$$I_2 = I - I_1 = (8 - 1,85) \text{ A} = \underline{6,15 \text{ A}}$$

$$R_1 = \frac{U}{I_1} = \underline{8,65 \Omega}; \quad R_2 = \frac{U}{I_2} = \underline{2,6 \Omega}$$

$$151. \quad U = IR = \underline{0,4 \text{ V}};$$

$$R_2 = \frac{R_1 R}{R_1 - R} = \underline{171,4 \Omega}; \quad I_1 = \frac{U}{R_1} = \underline{2,67 \text{ mA}};$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \underline{2,33 \text{ mA}}$$

$$152. \quad \text{Aus } U_1 = I_1 R_v = \frac{U_q R_v}{R_1 + R_v} \text{ bzw.}$$

$$U_2 = I_2 R_v = \frac{U_q R_a R_v}{\left( R_1 + \frac{R_a R_v}{R_a + R_v} \right) (R_a + R_v)}$$

$$\text{erhält man } U_q = \frac{U_1 (R_1 + R_v)}{R_a} \text{ bzw.}$$

$$U_q = \frac{U_2 [R_1 (R_a + R_v) + R_a R_v]}{R_a R_v};$$

Gleichsetzen dieser Ausdrücke ergibt

$$R_1 = \frac{(U_1 - U_2) R_a R_v}{U_2 R_v - (U_1 - U_2) R_a} = \underline{1,98 \Omega}$$

$$\text{und } U_q = \frac{U_1 (R_1 + R_v)}{R_a} = \underline{60 \text{ V}}$$

153. Für den Gesamtwiderstand gilt

$$R = \frac{R_1 (R_1 + \Delta R)}{2R_1 + \Delta R}; \quad \text{hiernach ist}$$

$$R_1 = R - \frac{\Delta R}{2} \pm$$

$$\pm \sqrt{\Delta R \cdot R + \left( \frac{\Delta R}{2} - R \right)^2} = \underline{16 \Omega}; \quad R_2 = \underline{48 \Omega}$$

154.  $I_1 : I_2 = R_2 : R_1 = 1 : 20$ ;

$$R_2 = \frac{R_1}{20} = \underline{12,5 \Omega}$$

155.  $I_1 : I_2 = R_2 : R_1 = \frac{2}{5} : \frac{3}{5}$ ;

$$R_2 = \frac{2R_1}{3} = \underline{3 \Omega}$$

156.  $\frac{0,9(R_1 + R_x)}{R_1 R_x} = \frac{(R_2 + R_x)}{R_2 R_x}$ ;

$$R_x = \frac{0,1 R_1 R_2}{0,9 R_2 - R_1} = \underline{10 \Omega}$$

157.  $I = \frac{U(R_1 + R_2)}{R_1 R_2}$ ;

$$R_2 = \frac{R_1 U}{I R_1 - U} = \underline{16,25 \text{ k}\Omega}$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \underline{0,192 \text{ A}} ; \quad I_2 = \frac{U}{R_2} = \underline{7,7 \text{ mA}}$$

Bild 236

159. a)  $\Delta R_g = \frac{1,1R \cdot R}{1,1R + R} - \frac{R}{2} = \underline{0,024R}$ ;

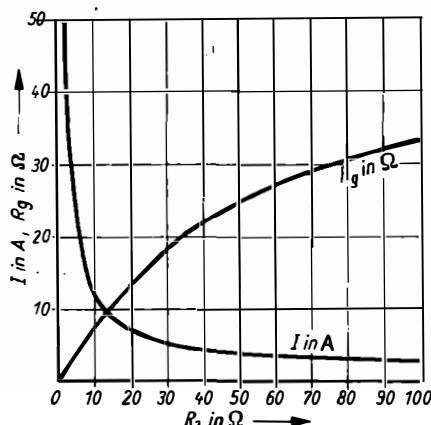


Bild 236. Aufgabe 158

$$\frac{0,024R \cdot 100}{0,5R} = \underline{4,8 \%}$$

b) 9% c) 20% (Bild 237)

160. a)  $R_1 = R_3 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ ;

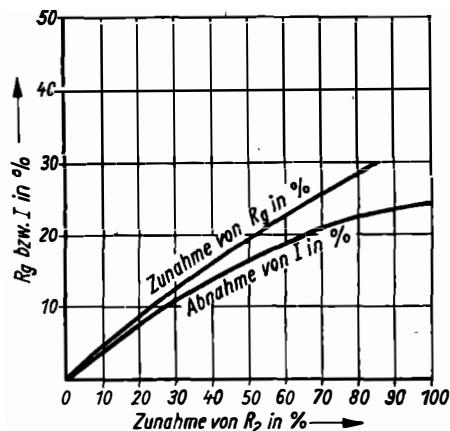


Bild 237. Aufgabe 159

hieraus folgt  $R_3 = R_1 - \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

b)  $R_2 = \frac{R_1 (R_1 - R_3)}{R_3}$

c)  $R_1 = \frac{R_3}{2} \pm \sqrt{R_2 R_3 + \frac{\tilde{R}_3^2}{4}}$

161. Da sich die Widerstände umgekehrt wie die Stromstärken verhalten, gilt

$$\frac{I'}{I''} = \frac{R''}{R'} = \frac{\frac{R_1 + 2R_2}{R_1 R_2}}{\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}} = \frac{2(R_1 + R_2)}{R_1 + 2R_2};$$

hieraus folgt  $R_2 = \frac{R_1(2I'' - I')}{2(I' - I'')} = \underline{25 \text{ k}\Omega}$

162.  $R_1 + R_x = \frac{10R_1 R_x}{R_1 + R_x};$

diese in  $R_x$  quadratische Gleichung ergibt

$$R_{x1,2} = R_1 (4 \pm \sqrt{15}); \quad R_{x1} = \underline{7,87 \Omega}$$

und  $R_{x2} = \underline{0,13 \Omega}$

163.  $x + y = 12 \Omega; \quad \frac{xy}{x+y} = 3 \Omega$

$x = y = \underline{6 \Omega}$

164.  $R_p = \frac{R_2 R_1}{R_2 - R_1} = \underline{251 \Omega}$

**165.** Zu vernichtende Spannung  $(110 - 35) \text{ V} = 75 \text{ V}$ ; wegen  $I = 20 \text{ A}$  sind je 2 Widerstände parallelzuschalten; wegen  $U_R = 10 \text{ A} \cdot 2,5 \Omega = 25 \text{ V}$  müssen je 3 Widerstände in Reihe liegen; insgesamt 6 Widerstände.

**166.** Die Widerstände sind den Längen direkt und den Querschnitten umgekehrt proportional. Werden daher die Gesamtlänge mit  $l$  und die übereinander liegenden Teillängen mit  $l'$  bezeichnet, so gilt

$$\frac{3}{4}l = \frac{l'}{2} + (l - 2l'); \quad \text{hieraus } l' = \frac{l}{6} \quad \text{und} \\ l - l' = \underline{12,5 \text{ cm}}$$

**167.** Bezeichnet man die Streifenlänge mit  $l$ , die Breite mit  $a$  und die abgeschnittene Breite mit  $a'$ , so gilt

$$\frac{5l}{a} = \frac{l}{a - a'} + \frac{l}{a'}; \quad \text{hieraus folgt}$$

$$a' = \frac{a}{2} \pm \sqrt{\frac{a^2}{20}} = \underline{4,34 \text{ cm}} \quad \text{bzw.} \quad \underline{1,66 \text{ cm}}$$

$$168. \frac{(l - l')l'}{l} = \frac{l}{4}; \quad l' = \frac{l}{2}$$

$$169. R = \frac{\rho}{A} \frac{\frac{2}{3}l \frac{l}{3}}{l} = \frac{\rho}{A} \frac{2}{9}l$$

**170.** Der Widerstand des Halbkreises ist  $2R$  und der eines Viertelkreises gleich  $R$ ;

$$R_{AC} = \frac{R \cdot 3R}{4R} = \underline{\underline{\frac{3}{4}R}}$$

**171.** Bezeichnet man die Widerstände der Rechteckseiten mit  $x$  und  $y$ , so ist  $2x + 2y = R$ .

Als zweite Gleichung ergibt sich  $\frac{x(x + 2y)}{R} = \frac{R}{10}$ . Es folgt daraus  $x = 0,113R$  und  $y = 0,387R$ ;  $x:y = \underline{0,113:0,387}$

$$172. \frac{U(R_1 + R_2)}{R_1 R_2} + \Delta I = \frac{U(R_1 + R_2 - \Delta R)}{R_1(R_2 - \Delta R)}.$$

aus dieser in  $R_2$  quadratischen Gleichung ergibt sich

$$R_2 = \frac{\Delta R}{2} \pm \sqrt{\frac{U \Delta R}{\Delta I} + \frac{\Delta R^2}{4}} = \\ = (1 \pm \sqrt{33}) \Omega; \quad R_2 = \underline{6,74 \Omega}$$

**173. a)** Da der Gesamtwiderstand zweier paralleler Leiter stets kleiner als der kleinere von

beiden Widerständen ist, muß  $l_1$  oder  $l_2$  geradlinig zwischen  $A$  und  $B$  gespannt sein. b) In diesem Fall darf keiner der beiden Drähte kürzer als der andere sein, so daß  $l_1 = l_2 = \frac{l}{2}$  ist.

**174. a)** Der Spannungsabfall von  $Z$  nach  $A$  ist

$$U_V = \frac{I \rho}{A} \frac{l_{AZ} l_{ABZ}}{l_{AZ} + l_{ABZ}} = \\ = \frac{80 \text{ A} \cdot 0,0178 \Omega \text{ mm}^2}{50 \text{ mm}^2 \text{ m}} \times \\ \times \frac{800 \text{ m} \cdot 2500 \text{ m}}{3300 \text{ m}} = \underline{17,3 \text{ V}};$$

Nutzspannung  $(240 - 17,3) \text{ V} = \underline{222,7 \text{ V}}$ ;

Nutzspannung bei  $B$  ist  
 $(240 - 19,9) \text{ V} = \underline{220,1 \text{ V}}$ .

b) Steht die Lokomotive an einer beliebigen Stelle  $C$ , so liegen die Leitungsstücke  $ZAC$  und  $ZBC$  parallel, wobei  $ZAC + ZBC = 3300 \text{ m}$  ist. Nach Aufgabe 173 ist der Widerstand  $ZC$  am größten, wenn  $ZAC = ZBC = 1650 \text{ m}$ . Dann steht die Lokomotive  $(1650 - 800) \text{ m} = 850 \text{ m}$  von  $A$  entfernt. Nutzspannung  $(240 - 23,5) \text{ V} = \underline{216,5 \text{ V}}$ .

$$175. R_{N1} = \frac{I_1 R_1}{I_N} = \frac{3 \text{ mA} \cdot 20 \Omega}{(7,5 - 3) \text{ mA}} = \underline{13,33 \Omega};$$

$$R_{N2} = \frac{3 \text{ mA} \cdot 20 \Omega}{(15 - 3) \text{ mA}} = \underline{5 \Omega};$$

$$R_{N3} = 2,22 \Omega; \quad R_{N4} = \underline{0,833 \Omega};$$

$$R_{N5} = \underline{0,408 \Omega}; \quad R_{N6} = \underline{0,202 \Omega}$$

$$176. I_1 = I_I + I_N = I_I + \frac{I_1 R_1}{R_N} =$$

$$= I_I \left( 1 + \frac{R_1}{R_N} \right) = \underline{1,5 \text{ A}}; \quad I_2 = \underline{100 \text{ mA}};$$

$$I_3 = \underline{50 \text{ mA}}; \quad I_4 = \underline{15 \text{ A}}; \quad I_5 = \underline{75 \text{ A}}$$

$$177. R_{N1} = \frac{R_1}{n - 1} = \frac{10 \Omega}{5 - 1} = \underline{2,5 \Omega};$$

$$R_{N2} = \underline{1,11 \Omega}; \quad R_{N3} = \underline{0,204 \Omega};$$

$$R_{N4} = \underline{0,101 \Omega}; \quad R_{N5} = \underline{0,02 \Omega};$$

$$R_{N6} = \underline{0,01 \Omega}$$

$$178. R_N = \frac{\rho l}{A} = 0,00036 \Omega;$$

$$I = I_I + I_N = I_I \left( 1 + \frac{R_1}{R_N} \right) = \underline{18,2 \text{ A}}$$

$$179. R_{N1} = \frac{I_1 R_1}{I_N} = \frac{1,73 \cdot 10^{-9} A \cdot 60 \Omega}{(5 - 1,73) \cdot 10^{-9} A} = \underline{31,7 \Omega};$$

$$R_{N2} = \underline{12,55 \Omega}; \quad R_{N3} = \underline{1,056 \Omega}$$

$$180. R_N = \frac{R_1}{n-1} = \frac{10 \Omega}{600 - 1} = \underline{0,0167 \Omega}$$

$$181. R_1 = \frac{U_1}{I_1}; \quad R_N = \frac{U_1}{I_1(7,5 - 1)} = \underline{11,54 \Omega}$$

$$182. R_{N1} = \frac{R_1}{n-1} = \frac{60 \Omega}{10 - 1} = \underline{6,67 \Omega};$$

$$R_{N2} = \frac{60 \Omega}{100 - 1} = \underline{0,606 \Omega}; \quad R_{N3} = \underline{0,060 \Omega};$$

$$R_{N4} = \underline{0,006 \Omega}$$

$$183. R_N = \frac{R_1}{n-4} = \frac{1 \Omega}{10 - 1} = \underline{\frac{1}{9} \Omega};$$

$$\frac{1}{99} \Omega; \quad \underline{\frac{1}{999} \Omega}$$

$$184. R = \frac{R_1 R_N}{R_1 + R_N} =$$

$$= \frac{5,5 \Omega \cdot 0,05 \Omega}{(5,5 + 0,05) \Omega} = \underline{0,495 \Omega}$$

185. Der Widerstand eines Instrumentes von  $9000 \Omega$  muß mittels Nebenwiderstandes auf  $6000 \Omega$  herabgesetzt werden.

$$R_N = \frac{9000 \Omega \cdot 6000 \Omega}{(9000 - 6000) \Omega} = \underline{18000 \Omega}$$

$$186. G = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \underline{0,137 \text{ S}};$$

$$R = \frac{1}{G} = \underline{7,3 \Omega}; \quad I_1 = \frac{U}{R_1} = \underline{3,33 \text{ A}};$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \underline{2,5 \text{ A}}; \quad I_3 = \underline{1 \text{ A}}$$

$$187. G = G_1 + G_2 + G_3 = \underline{0,804 \text{ mS}};$$

$$R = \frac{1}{G} = \underline{1,243 \text{ k}\Omega}; \quad I_1 = \frac{U}{R_1} = \underline{50 \text{ mA}};$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \underline{30,8 \text{ mA}}; \quad I_3 = \underline{80 \text{ mA}};$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = \underline{160,8 \text{ mA}}$$

$$188. G = G_1 + G_2 + G_3 + G_4 = \underline{0,208 \text{ S}};$$

$$R = \frac{1}{G} = \underline{4,8 \Omega}; \quad I_1 = \frac{U}{R_1} = \underline{6,5 \text{ A}};$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \underline{3,25 \text{ A}}; \quad I_3 = \underline{2,17 \text{ A}};$$

$$I_4 = \underline{1,63 \text{ A}}; \quad I = UG = \underline{13,5 \text{ A}}$$

$$189. G = G_1 + G_2 + G_3 + G_4 = \underline{1,09 \cdot 10^{-6} \text{ S}};$$

$$I = UG = \underline{414 \mu\text{A}}; \quad I_1 = \frac{U}{R_1} = \underline{152 \mu\text{A}};$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \underline{108,6 \mu\text{A}}; \quad I_3 = \underline{84,4 \mu\text{A}};$$

$$I_4 = \underline{69,1 \mu\text{A}}$$

$$190. R = \frac{U}{I} = \underline{5 \Omega}; \quad I_1 = \frac{I}{6} = \underline{2 \text{ A}};$$

$$I_2 = \frac{2I}{6} = \underline{4 \text{ A}}; \quad I_3 = \frac{3I}{6} = \underline{6 \text{ A}};$$

$$R_1 = \frac{U}{I_1} = \underline{30 \Omega}; \quad R_2 = \underline{15 \Omega};$$

$$R_3 = \underline{10 \Omega}; \quad G = \frac{1}{R} = \underline{0,2 \text{ S}}$$

$$191. I = I_1 + I_2 + I_3 = \underline{200 \text{ mA}};$$

$$R = \frac{U}{I} = \underline{1,75 \text{ k}\Omega}; \quad R_1 = \frac{U}{I_1} = \underline{35 \text{ k}\Omega};$$

$$R_2 = \underline{3,18 \text{ k}\Omega}; \quad R_3 = \underline{4,38 \text{ k}\Omega};$$

$$G = \frac{1}{R} = \underline{0,571 \text{ mS}}$$

$$192. R = \frac{U}{I} = \underline{6,67 \Omega}; \quad G = \frac{1}{R} = \underline{0,15 \text{ S}};$$

$$G_3 = G - G_1 - G_2 = \underline{0,1135 \text{ S}};$$

$$R_3 = \frac{1}{G} = \underline{8,81 \Omega}; \quad I_1 = \frac{U}{R_1} = \underline{1,67 \text{ A}};$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \underline{1,25 \text{ A}}; \quad I_3 = \underline{9,08 \text{ A}}$$

193. Die Widerstände vor bzw. nach dem Abschalten sind

$$R' = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_2 R_3 + R_1 R_3 + R_1 R_2} \quad \text{und}$$

$$R'' = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2};$$

die Ströme verhalten sich umgekehrt wie die Widerstände:

$$\frac{I'}{I''} = \frac{R''}{R'} = \frac{3}{1}; \quad R_3 = \frac{R_1 R_2}{2(R_1 + R_2)}$$

$$194. \frac{R_1 (R_2 + R_3) R_4}{R_1 (R_2 + R_3) + R_1 R_4 + (R_2 + R_3) R_4} =$$

$$= \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} ; \quad R_4 = \frac{R_2 (R_2 + R_3)}{R_3}$$

$$R_g = R + \frac{5}{8} R = 4,9 \Omega$$

**195.**  $R_2 = 37,5 \Omega$ ;  $R_3 = 25 \Omega$ ;

$$R_4 = 18,75 \Omega$$

**196.** Aus  $\frac{I_1}{I'} = \frac{1}{5} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

ergibt sich  $R_2 = 3,75 \Omega$ ;

aus  $\frac{I_1}{I''} = \frac{1}{25} = \frac{R_2 R_3}{(R_2 + R_3) \left( R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \right)}$

ergibt sich  $R_3 = 0,75 \Omega$

**197.**  $\frac{I_1}{I'} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1}{4}$ ;

$$\frac{I_1}{I''} = \frac{\frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}}{\left( R_2 + R_3 \right) \left( R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \right)} = \frac{1}{10};$$

$$I_1 : I' : I'' = 1 : 4 : 10$$

**198.**  $R_g = R_1 + \frac{\frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} R_4}{\frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} + R_4} =$

$$= R_1 + \frac{R_2 R_3 R_4}{R_2 R_3 + (R_2 + R_3) R_4} = 1,92 \Omega$$

**199.**  $R_g = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} +$

$$+ \frac{R_4 R_5 R_6}{R_4 R_5 + (R_4 + R_5) R_6} = 259,2 \Omega$$

**200.**  $R_g = R + \frac{R}{3} + \frac{R}{4} = \frac{19}{12} R = 7,92 \Omega$

**201.** Leitwert  $G_g = \left( \frac{1}{6} + \frac{1}{5} + \frac{1}{4} + \frac{1}{3} + \frac{1}{2} + 1 \right) S = 2,45 S$ ;

$$R_g = \frac{1}{G_g} = 0,41 \Omega$$

**202.** (Bild 238) Gruppe I:

$$R_1 = \frac{2RR}{2R + R} = \frac{2}{3} R$$

(Bild 239) Gruppe II:

$$R_{II} = \frac{R \left( 1 + \frac{2}{3} \right) R}{R + \left( 1 + \frac{2}{3} \right) R} = \frac{5}{8} R$$

**203.** (Bild 240) Gruppe I:

$$R_I = \frac{10 \cdot 4}{14} \Omega = 2,86 \Omega$$

$$R_g = \frac{4,86 \cdot 6}{10,86} \Omega = 2,69 \Omega$$

**204.** (Bild 241) Die beiden Gruppen I je:

$$R_I = \frac{2RR}{2R + R} = \frac{2}{3} R$$

(Bild 242) Gruppe II:

$$R_{II} = \frac{2R \left( R + 2 \cdot \frac{2}{3} R \right)}{2R + \left( R + 2 \cdot \frac{2}{3} R \right)} = \frac{14}{13} R$$

$$R_g = \frac{R \left( R + \frac{14}{13} R \right)}{R + \left( R + \frac{14}{13} R \right)} = 1,35 \text{ k}\Omega$$



Bild 238.

Aufgabe 202

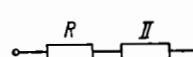


Bild 239.

Aufgabe 202

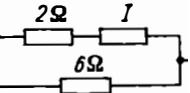


Bild 240.

Aufgabe 203

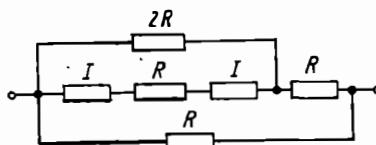


Bild 241. Aufgabe 204

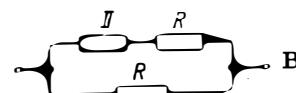


Bild 242. Aufgabe

**205.**  $R_g = \frac{\frac{3R}{2} \cdot \frac{R}{2}}{\frac{3R}{2} + \frac{R}{2}} = \frac{3}{8} R$

**206.**  $R_g = \frac{\frac{2}{3} R \left( 2 + \frac{2}{3} \right) R}{\frac{2}{3} R + \left( 2 + \frac{2}{3} \right) R} = \frac{8}{15} R$

**207.** (Bild 243) Gruppe I:

$$R_1 = \frac{2RR}{2R + R} = \frac{2}{3} R ;$$

(Bild 244) Gruppe II:

$$R_{II} = \frac{R(R + \frac{2}{3}R)}{R + (R + \frac{2}{3}R)} = \frac{5}{8} R ;$$

$$R_g = \frac{R(R + \frac{5}{6}R)}{R + (R + \frac{5}{6}R)} = \frac{13}{21} R = \underline{3,1 \Omega}$$

**208.** (Bild 245) Gruppe I je:

$$R_1 = \frac{2RR}{2R + R} = \frac{2}{3} R ;$$

(Bild 246) Gruppe II:

$$R_{II} = \frac{(R + \frac{2}{3}R)(R + \frac{2}{3}R)}{2(R + \frac{2}{3}R)} = \frac{5}{6} R ;$$

$$R_g = 2R + R_{II} = \underline{8,5 \Omega}$$

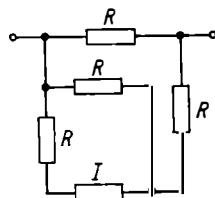


Bild 243. Aufgabe 207

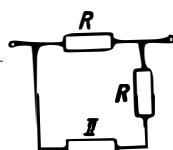


Bild 244. Aufgabe 207

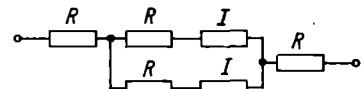


Bild 245. Aufgabe 208

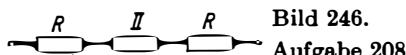


Bild 246.  
Aufgabe 208

**209.** (Bild 247)  $R_g = 2R +$

$$+ \frac{1}{\frac{1}{2R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R}} = \frac{16}{7} R = \underline{2,3 R}$$

**210.** (Bild 248) Gruppe I:

$$R_1 = \frac{55 \cdot 50}{105} \Omega = 26,2 \Omega ;$$

Gruppe II:

$$R_{II} = \frac{31,2 \cdot 50}{81,2} \Omega = 19,2 \Omega$$

$$(\text{Bild 249}) R_g = 5 + 19,2 = \underline{24,2 \Omega}$$

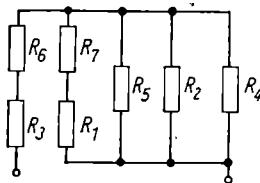


Bild 247. Aufgabe 209

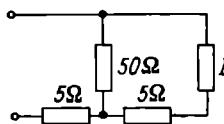


Bild 248. Aufgabe 210

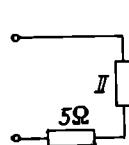


Bild 249. Aufgabe 211

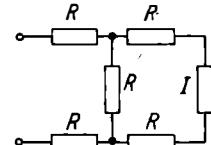


Bild 250. Aufgabe 211

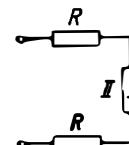


Bild 251. Aufgabe 211

**211.** (Bild 250) Gruppe I:

$$R_1 = \frac{R \cdot 3R}{R + 3R} = \frac{3}{4} R ;$$

Gruppe II:

$$R_{II} = \frac{R(2R + \frac{3}{4}R)}{R + 2R + \frac{3}{4}R} = \frac{11}{15} R ;$$

$$(\text{Bild 251}) R_g = 2R + \frac{11}{15} R = \underline{10,93 \Omega}$$

$$\mathbf{212.} R + \frac{R}{2} + \frac{R}{3} = 22 \Omega ; \quad R = \underline{12 \Omega}$$

$$\mathbf{213.} \frac{1}{2R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{2R} = \frac{1}{7,5 \Omega} ; \quad R = \underline{15 \Omega}$$

$$\mathbf{214.} \frac{R_b R}{R_b + R} = R_g - R - \frac{R}{4} ;$$

$$R_b = \frac{R(R_g - \frac{5}{4}R)}{R - R_g + \frac{5}{4}R} = \underline{15 \Omega}$$

$$\mathbf{215.} R_1 = \frac{I_1 R_1}{I_N} = \frac{10 \text{ mA} \cdot 15 \Omega}{(100 - 10) \text{ mA}} = \underline{1,667 \Omega}$$

$$U_{AB} = I_1 R_1 = 0,15 \text{ V} ; \quad U_{AC} = 5 \text{ V} ;$$

$$U_{BC} = U_{AC} - U_{AB} = 4,85 \text{ V};$$

$$R_{BC} = R_2 = \frac{U_{BC}}{I} = \underline{\underline{48,5 \Omega}}$$

$$216. \frac{I}{I_1} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}; \quad I = \underline{\underline{0,01 \text{ A}}};$$

$$R_g = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_2 = \underline{\underline{100 \Omega}};$$

$$U_{AC} = IR_g = 0,01 \text{ A} \cdot 100 \Omega = \underline{\underline{1 \text{ V}}}$$

217. Bei Anschluß an  $A - B$  gilt

$$\text{a) } \frac{R_1 + R_1 + R_2}{R_1} = \frac{I'}{I_1}; \quad \text{bei Anschluß an}$$

$$A - C \quad \text{gilt} \quad \text{b) } \frac{R_1 + R_1 + R_2}{R_1 + R_2} = \frac{I''}{I_1};$$

diese beiden Gleichungen ergeben

$$R_1 = \frac{R_1 I_1 I''}{I' (I'' - I_1)} = \underline{\underline{2 \Omega}} \quad \text{und}$$

$$R_2 = \frac{I' R_1}{I''} - R_1 = \underline{\underline{18 \Omega}}$$

218. Man bildet die Gleichung

$$R_x = \frac{(R + R_x) R}{R + R_x + R}.$$

Von den beiden Lösungen dieser quadratischen Gleichung hat nur die positive praktischen Wert

$$R_x = \frac{R}{2} \sqrt{5} - \frac{R}{2} = \underline{\underline{0,618 R}}$$

$$219. R_x = \frac{R \left[ 2R + \frac{R(2R + R_x)}{3R + R_x} \right]}{3R + \frac{R(2R + R_x)}{3R + R_x}};$$

$$R_x = R(\sqrt{3} - 1) = \underline{\underline{0,732 R}}$$

$$220. \text{ a) } r_1 = r_2 = r_3 = \frac{15 \cdot 15}{45} \Omega = \underline{\underline{5 \Omega}}$$

$$\text{b) } r_1 = \frac{24}{12} \Omega = \underline{\underline{2 \Omega}}; \quad r_2 = \frac{12}{12} \Omega = \underline{\underline{1 \Omega}};$$

$$r_3 = \frac{8}{12} \Omega = \underline{\underline{0,67 \Omega}}$$

$$\text{c) } r_1 = \frac{120 \Omega^2}{30 \Omega} = \underline{\underline{4 \Omega}}; \quad r_2 = \frac{96 \Omega^2}{30 \Omega} = \underline{\underline{3,2 \Omega}};$$

$$r_3 = \frac{80 \Omega^2}{30 \Omega} = \underline{\underline{2,67 \Omega}}$$

$$\text{d) } r_1 = r_2 = r_3 = \frac{0,25 \Omega^2}{1,5 \Omega} = \underline{\underline{0,167 \Omega}}$$

$$\text{e) } r_1 = \underline{\underline{0,598 \Omega}}; \quad r_2 = \underline{\underline{0,165 \Omega}}; \quad r_3 = \underline{\underline{0,145 \Omega}}$$

$$221. \text{ a) } R_1 = R_2 = R_3 = 120 \Omega + 120 \Omega + \frac{120^2 \Omega^2}{120 \Omega} = \underline{\underline{360 \Omega}}$$

$$\text{b) } R_1 = 12 \Omega + 18 \Omega + \frac{12 \cdot 18 \Omega^2}{6 \Omega} = \underline{\underline{66 \Omega}};$$

$$R_2 = \underline{\underline{33 \Omega}}; \quad R_3 = \underline{\underline{22 \Omega}}$$

$$\text{c) } R_1 = 6 \Omega + 7,5 \Omega + \frac{6 \cdot 7,5 \Omega^2}{4,5 \Omega} = \underline{\underline{23,5 \Omega}};$$

$$R_2 = \underline{\underline{17,63 \Omega}}; \quad R_3 = \underline{\underline{14,1 \Omega}}$$

$$\text{d) } R_1 = \underline{\underline{1 \Omega}}; \quad R_2 = \underline{\underline{2 \Omega}}; \quad R_3 = \underline{\underline{3 \Omega}}$$

$$222. \text{ Aus } 80 \Omega = 50 \Omega + \frac{r_2 r_3}{10 \Omega} \quad \text{und}$$

$$r_3 = 50 \Omega - r_2 \text{ erhält man } r_2 = \underline{\underline{6,97 \Omega}} \text{ und}$$

$$r_3 = \underline{\underline{43,03 \Omega}}; \quad \text{die Umrechnung ergibt}$$

$$R_2 = \underline{\underline{114,77 \Omega}} \text{ und } R_3 = \underline{\underline{18,59 \Omega}}.$$

223. Schrittweise Umwandlung nach Bild 252a bis c liefert die auf Bild d und e angegebenen Endergebnisse.

224. (Bild 253) Dreieckersatzwiderstände

$$R_1 = R_2 = R_3 = R + R + \frac{RR}{R} = \underline{\underline{3R}};$$

$$\text{Gruppe } R_1 = \text{Gruppe } R_{II} = \frac{R \cdot 3R}{R + 3R} = \frac{3}{4} R;$$

$$R_{AB} = \frac{3R \left( 2 \cdot \frac{3}{4} R \right)}{3R + 2 \cdot \frac{3}{4} R} = R = \underline{\underline{100 \Omega}}$$

225. (Bild 254) Sternersatzwiderstände

$$r_1 = r_2 = r_3 = \frac{R^2}{3R} = \frac{R}{3};$$

$$R_{AB} = r_2 + \frac{(R + r_3)(R + r_1)}{R + r_3 + R + r_1} = R = \underline{\underline{12 \Omega}}$$

$$226. \text{ (Bild 255) Gruppe } R_{III} = \frac{R \cdot 2R}{R + 2R} = \frac{2}{3} R;$$

$$\text{Sternersatzwiderstände } r_1 \text{ bis } r_6 = \frac{RR}{3R} = \frac{R}{3};$$

$$R_{AB} = r_1 + r_5 + \frac{(r_3 + r_4)(r_2 + r_6 + R_{III})}{r_3 + r_4 + r_2 + r_6 + R_{III}} = \frac{10}{9} R = \underline{\underline{4,44 \Omega}}$$

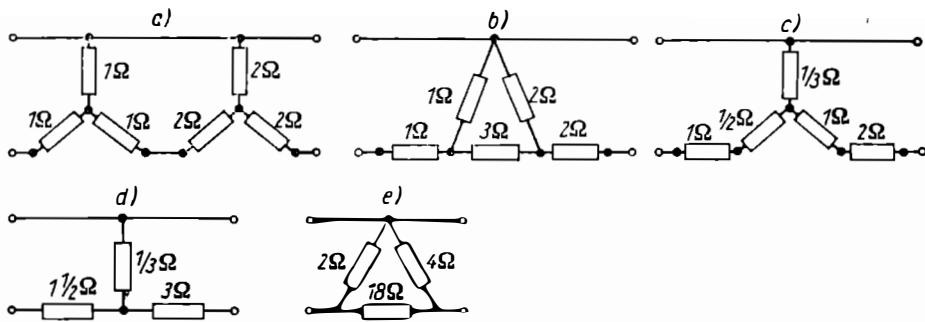


Bild 252. Aufgabe 223

227. (Bild 256) Dreieckersatzwiderstände

$$R_1 = R_2 = R_3 = R + R + \frac{R^2}{R} = 3R ;$$

linke und rechte Parallelgruppe

$$R_I = R_{II} = \frac{\left(\frac{R \cdot 3R}{R+3R}\right) 2R}{2R + \left(\frac{R \cdot 3R}{R+3R}\right)} = \frac{6}{11} R ;$$

$$(Bild\ 257)\quad R_{AB} = \frac{3R \frac{12}{11} R}{3R + \frac{12}{11} R} = \frac{4}{5} R = 4\ \Omega$$

Bild 253. Aufgabe 224

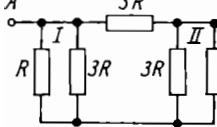


Bild 254.  
Aufgabe 225

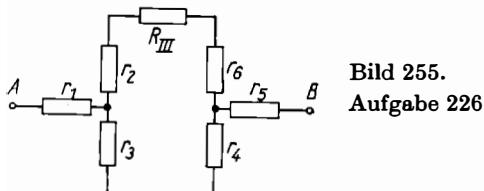


Bild 256.  
Aufgabe 227

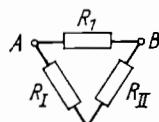


Bild 257. Aufgabe 227

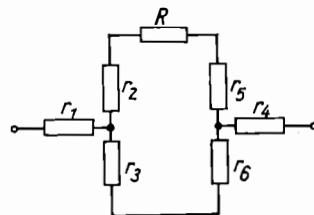


Bild 258.  
Aufgabe 228

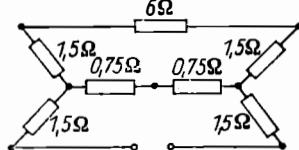


Bild 259.  
Aufgabe 229

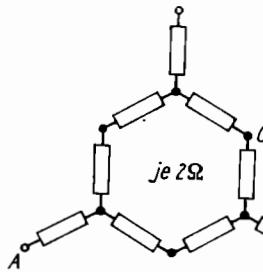


Bild 260.  
Aufgabe 230

228. (Bild 258) Sternersatzwiderstände

$$r_1 \text{ bis } r_6 = \frac{R^2}{3R} = \frac{R}{3} ;$$

$$R_{AB} = r_1 + r_4 + \frac{(r_3 + r_6)(r_2 + r_5 + R)}{r_2 + r_3 + r_5 + r_6 + R} = \\ = \frac{24}{21} R = \underline{10,3 \Omega}$$

229. (Bild 259) ,

$$R = 2 \cdot 1,5 \Omega + \frac{1,5 \cdot 9 \Omega^2}{1,5 \Omega + 9 \Omega} = \underline{4,29 \Omega}$$

230. Nach Auflösung der äußeren Dreiecke in entsprechende Sterne erhält man Bild 260.

Hiernach ist :

$$\text{a)} \quad R_{AB} = 4 \Omega + \frac{4 \cdot 8 \Omega^2}{4 \Omega + 8 \Omega} = \underline{6,67 \Omega} \quad \text{und}$$

$$\text{b)} \quad R_{AC} = 2 \Omega + \frac{6 \cdot 6 \Omega^2}{6 \Omega + 6 \Omega} = \underline{5 \Omega}$$

231. Für die entsprechende Sternschaltung gelten die Gleichungen  $r_1 + r_2 = \frac{6V}{2,4A} = 2,5 \Omega$ ;  $r_1 + r_3 = 4 \Omega$ ;  $r_2 + r_3 = 4,5 \Omega$ ; hieraus erhält man  $r_1 = 1 \Omega$ ;  $r_2 = 1,5 \Omega$  und  $r_3 = 3 \Omega$ ; die entsprechenden Dreieckwiderstände sind  $R_1 = 9 \Omega$ ;  $R_2 = 6 \Omega$ ;  $R_3 = 3 \Omega$

232. a) Der innere Stern ergibt Dreieckwiderstände von je  $R = 6 \Omega$ , die zum äußeren Dreieck parallel liegen. Die Widerstände des vereinigten Dreiecks sind je  $\frac{2 \cdot 6 \Omega^2}{2\Omega + 6\Omega} = 1,5 \Omega$ , womit  $R_{AB} = 1 \Omega$ . b) Punkt C steht in der gleichen Weise mit den übrigen Widerständen in Verbindung wie Punkt B. Die Punkte C und B können vertauscht werden. Daher ist auch  $R_{AC} = 1 \Omega$ .

233. Die Umrechnung der beiden Sterne in Dreiecke ergibt die auf Bild 261a angegebene Ersatzschaltung. Nach Umzeichnung erhält man Bild 261b und nach Zusammenfassung der Parallelglieder Bild 261c. Hiernach ist

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{6,67}{6,67 + 5,71} \quad \text{und} \quad U_2 = \underline{5,39 \text{ V.}}$$

234. (Bild 262) Mit  $R = 1 \Omega$  ist

$$r_1 = \frac{R \cdot 2R}{R + 2R + 3R} = \frac{R}{3};$$

$$r_2 = \frac{R \cdot 3R}{R + 2R + 3R} = \frac{R}{2}; \quad r_3 = R;$$

$$R_{AB} = r_1 + \frac{(r_2 + 2R)(r_3 + R)}{r_2 + 2R + r_3 + R} = \frac{13}{9} R = \underline{1,44 \Omega}$$

235. (Bild 263) Gruppe I: Mit  $R = 5 \Omega$  ist

$$R_1 = \frac{R \cdot 3R}{R + 3R} = \frac{3}{4} R;$$

$$(Bild 264) \quad r_1 = \frac{2RR}{2R + R + R} = \frac{R}{2};$$

$$r_2 = \frac{R}{2}; \quad r_3 = \frac{R}{4};$$

$$R_{AB} = r_1 + \frac{(r_2 + R)(r_3 + R + \frac{3}{4}R)}{r_2 + R + r_3 + R + \frac{3}{4}R} =$$

$$= \frac{19}{14} R = \underline{6,8 \Omega}$$

236. (Bild 265) Gruppe I:

$$R_1 = \frac{R \cdot 3R}{R + 3R} = \frac{3}{4} R;$$

$$(Bild 266) \quad r_1 = \frac{\frac{3}{4}R \cdot 2R}{\frac{3}{4}R + 2R + R} = \frac{2}{5} R = \underline{1,2 \Omega};$$

$$r_2 = \frac{1}{5} R = \underline{0,6 \Omega}; \quad r_3 = \frac{8}{15} R = \underline{1,6 \Omega};$$

$$R_{AB} = r_1 + \frac{(r_2 + 2R)(r_3 + R)}{r_2 + 2R + r_3 + R} = \underline{3,91 \Omega}$$

237. (Bild 267)

$$R_8 = \frac{3}{2} \Omega + \frac{\frac{3}{2} \cdot \frac{5}{3} \Omega^2}{\frac{3}{2} \Omega} = \underline{1,143 \Omega}$$

238. 1. Lösung: Man denke sich den Würfel durch Aufspaltung der Kanten AB und CD in eine vordere und eine hintere Hälfte zerlegt, die parallelgeschaltet den Gesamtwiderstand ergeben. Dabei wird  $R_{AB} = R_{CD} = 2 \Omega$ . Die Bilder 268, 269, 270 zeigen eine ausgebretete Hälfte:

$$R_1 = \frac{3}{5} \Omega + \frac{\frac{3}{5} \cdot \frac{3}{5} \Omega^2}{\frac{4}{5} \Omega} = \frac{5}{3} \Omega;$$

$$R = \frac{R_1}{2} = \underline{\frac{5}{6} \Omega}$$

2. Lösung: Man denke sich den Würfel zwischen den Punkten A und C auseinandergezogen und auf eine Ebene ausgebretet (Bild 271). Spaltet man die je 3 in A und C zusammenlaufenden Widerstände in je 2 parallele zu  $2 \Omega$ , so entstehen 6 parallele Zweige zu je  $5 \Omega$  (Bild 272).

$$239. I = \frac{U_q}{R_1 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}} = 1,14 \text{ A} ;$$

$$I_1 = \frac{IR_2}{R_1 + R_2} = 0,29 \text{ A} ;$$

$$I_2 = I - I_1 = 0,85 \text{ A}$$

$$240. I_2 = \frac{I_1 R_1}{R_2} = 0,56 \text{ A} ;$$

$$I = I_1 + I_2 = 0,96 \text{ A} ;$$

$$U_q = I_1 R_1 + IR_1 = 2,26 \text{ V}$$

$$241. IR_1 = U_q - U ; \quad I = \frac{U_q - I_1 R_1}{R_1} = 16 \text{ A} ;$$

$$I_2 = I - I_1 = 14 \text{ A} ;$$

$$R_2 = \frac{I_1 R_1}{I_2} = 1,43 \Omega$$

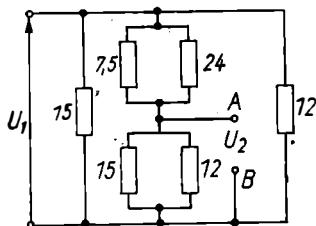


Bild 261 a.  
Aufgabe 233

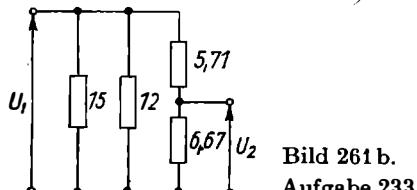


Bild 261 b.  
Aufgabe 233

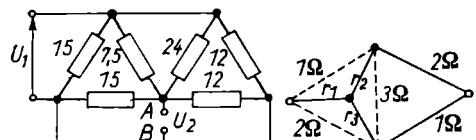


Bild 261 c. Aufgabe 233 Bild 262.  
Aufgabe 234

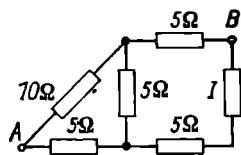


Bild 263. Aufgabe 235

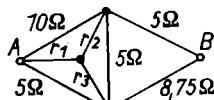


Bild 264. Aufgabe 235

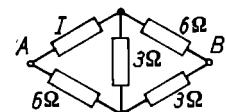


Bild 265. Aufgabe 236



Bild 266. Aufgabe 236

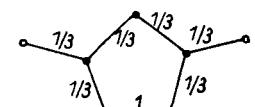


Bild 267. Aufgabe 237

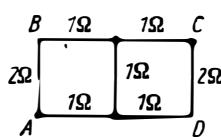


Bild 268. Aufgabe 238

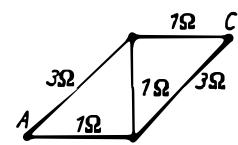


Bild 269. Aufgabe 238

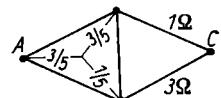


Bild 270. Aufgabe 238



Bild 271. Aufgabe 238

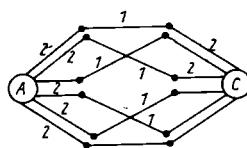


Bild 272. Aufgabe 238

$$242. R_g = R_1 + \frac{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} R_3}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3} = 4,19 \Omega ;$$

$$I = \frac{U_q}{R_g} = 3,58 \text{ A} ; \quad U_{AB} = U_q - IR_1 = 6,41 \text{ V} ;$$

$$I_1 = \frac{U_{AB}}{R_1} = 0,53 \text{ A} ; \quad I_2 = 0,92 \text{ A} ; \quad I_3 = 2,14 \text{ A}$$

$$243. \text{ Linke Gruppe: } R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} ;$$

$$U_3 = \frac{U_1 R_3 (R_1 + R_2)}{R_1 R_2} = 24 \text{ V}$$

$$244. I = \frac{U_3}{R_3} ; \quad \frac{I}{I_1} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} ;$$

$$I_1 = \frac{IR_2}{R_1 + R_2} = \frac{U_3 R_2}{R_3(R_1 + R_2)} = 1,1 \text{ A} ;$$

$$I_2 = \frac{I_1 R_1}{R_2} = 0,4 \text{ A} ; \quad I = I_1 + I_2 = 1,5 \text{ A}$$

$$\text{245. } I_2 R_3 = 3 I_1 R_2; \quad I_2 R_3 = 6 I_2 R_2;$$

$$R_3 = 6 R_2; \quad \frac{I_1}{I_2} = 2 = \frac{R_3}{R_1 + R_2} = \frac{6 R_2}{R_1 + R_2};$$

$$R_2 = \frac{R_1}{2} = 1,5 \Omega; \quad R_3 = 6 R_2 = 9 \Omega$$

$$\text{246. (Bild 273) a) } r_5 = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3 + R_5} = 5 \Omega;$$

$$r_3 = 3 \Omega; \quad r_1 = 7,5 \Omega;$$

$$R_{AB} = r_5 + \frac{(r_3 + R_2)(r_1 + R_4)}{r_3 + R_2 + r_1 + R_4} = 12,38 \Omega$$

$$\text{b) } I = \frac{U}{R_{AB}} = 8,08 \text{ A}$$

$$\text{c), d) } U_{AC} = Ir_5 = 40,4 \text{ V}$$

$$U_{CB} = U - Ir_5 = 59,6 \text{ V};$$

$$I_2 = \frac{U - Ir_5}{r_3 + R_2} = 3,31 \text{ A};$$

$$I_4 = \frac{U - Ir_5}{r_1 + R_4} = 4,77 \text{ A}; \quad U_2 = I_2 R_2 = 49,65 \text{ V};$$

$$U_4 = I_4 R_4 = 23,85 \text{ V}$$

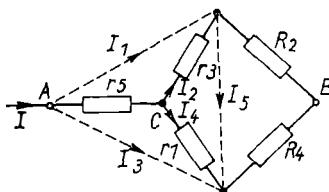


Bild 273.  
Aufgaben 246  
und 247

$$\text{247. (Bild 273) } r_3 = r_4 = r_5 = \frac{R}{3};$$

$$R_{AB} = \frac{R}{3} + \frac{\frac{4R}{3} \cdot \frac{4R}{3}}{\frac{8R}{3}} = R;$$

jeder Einzelwiderstand ist gleich dem Gesamtwiderstand  $R_{AB}$ .

$$\text{248. } I_1 R_2 = IR_4; \quad \frac{I}{I_1} = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_3};$$

$$I_1 R_2 = \frac{I_1 R_4 (R_1 + R_2 + R_3)}{R_3};$$

$$R_4 = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

249. Vor dem Abschalten ist

$$U_3 = IR_3 = \frac{UR_3}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3};$$

nach dem Abschalten ist

$$U'_3 = I' R_3 = \frac{UR_3}{R_1 + R_3};$$

aus der Gleichung  $U_3 = 2U'_3$  folgt dann

$$R_3 = \frac{R_1 (R_1 - R_2)}{R_1 + R_2}$$

$$\text{250. } I_4 = \frac{IR_5}{R_4 + R_5};$$

$$I_2 = \frac{I(R_1 R_3)}{R_1 R_3 + R_2 (R_1 + R_3)};$$

nach Gleichsetzen ergibt sich

$$R_5 = \frac{R_1 R_3 R_4}{R_2 (R_1 + R_3)}$$

$$\text{251. a) } I_2 = I_3 \frac{R_3}{R_2};$$

$$I_1 = I_3 + I_2 = I_3 \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right);$$

$$U_4 = I_1 R_1 + I_3 R_3 = I_3 \left(R_1 + \frac{R_1 R_3}{R_2} + R_3\right)$$

$$\text{b) } I_4 = \frac{U_4}{R_4} = \frac{I_3 (R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3)}{R_2 R_4}$$

252. Anwendung der Spannungsteilerregel ergibt

$$\frac{U}{U_3} = \frac{R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} + R_4}{\frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}};$$

$$U = U_3 \frac{(R_1 + R_4)(R_2 + R_3) + R_2 R_3}{R_2 R_3}$$

$$\text{253. } U_1 = \frac{U_q R_1}{R_1 + R_2}; \quad U_2 = \frac{U_q R_2}{R_1 + R_2};$$

$$U_{AB} = U_1 - U_2 = U_q \frac{(R_1 - R_2)}{R_1 + R_2}$$

$$\text{254. a) } U : U_1 = 5 : 1; \quad U_1 = 24 \text{ V};$$

$$U_1 : U_2 = 24 \text{ V} : 96 \text{ V};$$

$$R_1 = \underline{100 \text{ k}\Omega}; R_2 = \underline{400 \text{ k}\Omega}$$

$$\text{b)} I = \frac{U}{\frac{R_b R_1}{R_1 + R_b} + R_2} = \underline{0,26 \text{ mA}};$$

$$I_1 = I \frac{R_b}{R_1 + R_b} = \underline{0,17 \text{ mA}};$$

$$I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_b} = \underline{0,09 \text{ mA}}$$

$$\text{c)} U_1 = I_1 R_1 = 17 \text{ V}; U_2 = I R_2 = 104 \text{ V}; \\ U_1 : U_2 = \underline{1:6,1}$$

$$255. R_g = \frac{U}{I}; R_g - R_L = \frac{R_1(R_2 + R_x)}{R_1 + R_2 + R_x};$$

$$R_x = \underline{36 \Omega}$$

$$256. R_I = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 80 \Omega;$$

$$\frac{R_1(R_3 + R_x)}{R_1 + R_3 + R_x} = \frac{U}{I}; R_x = \underline{230 \Omega}$$

$$257. \frac{R_x}{R_x + R_3} = \frac{U_x}{U}; R_x = 40 \Omega;$$

$$R_g = \underline{30,8 \Omega}; I = \frac{U}{R_g} = \underline{0,39 \text{ A}}$$

$$258. R_{AB} = \frac{2RR}{2R + R} = \frac{2}{3} R;$$

$$\frac{U_{AB}}{U_2} = \frac{2R}{R} = \frac{2}{1}; \frac{U_1}{U_{AB}} = \frac{R + R_{AB}}{R_{AB}} = \frac{5}{2};$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{U_1}{U_{AB}} \cdot \frac{U_{AB}}{U_2} = \frac{5}{1}.$$

$$259. R_{AB} = \frac{3RR}{3R + R} = \frac{3}{4} R;$$

$$\frac{U_{AB}}{U_2} = \frac{3R}{R} = \frac{3}{1}; \frac{U_1}{U_{AB}} = \frac{2R + R_{AB}}{R_{AB}} = \frac{11}{3} R;$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{U_1}{U_{AB}} \cdot \frac{U_{AB}}{U_2} = \frac{11}{1}$$

$$260. R_{AB} = \frac{12 \Omega \cdot 6 \Omega}{(12 + 6) \Omega} = 4 \Omega;$$

$$\frac{U_{AB}}{U_2} = \frac{(3 + 9) \Omega}{3 \Omega} = \frac{4}{1};$$

$$\frac{U_1}{U_{AB}} = \frac{8 \Omega + R_{AB}}{R_{AB}} = \frac{3}{1};$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{U_1}{U_{AB}} \cdot \frac{U_{AB}}{U_2} = \frac{12}{1}$$

$$261. R_{AB} = \frac{30 \Omega \cdot 45 \Omega}{(30 + 45) \Omega} = 18 \Omega;$$

$$\frac{U_1}{U_{AB}} = \frac{36 \Omega + R_{AB}}{R_{AB}} = \frac{3}{1};$$

$$\frac{U_{AB}}{U_2} = \frac{(30 + 15) \Omega}{15 \Omega} = \frac{3}{1};$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{U_1}{U_{AB}} \cdot \frac{U_{AB}}{U_2} = \frac{9}{1}$$

$$262. (\text{Bild 274}) R_{AB} = \frac{20 \Omega \cdot 10 \Omega}{(20 + 10) \Omega} = \frac{20}{3} \Omega;$$

$$\frac{U_{AB}}{U_2} = \frac{(8 + 2) \Omega}{2 \Omega} = \frac{5}{1};$$

$$\frac{U_1}{U_{AB}} = \frac{20 \Omega + R_{AB}}{R_{AB}} = \frac{4}{1};$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{U_1}{U_{AB}} \cdot \frac{U_{AB}}{U_2} = \frac{20}{1}$$

$$263. (\text{Bild 275}) R_{AB} = \frac{12 \Omega \cdot 4 \Omega}{(12 + 4) \Omega} = 3 \Omega;$$

$$\frac{U_{AB}}{U_2} = \frac{(8 + 4) \Omega}{4 \Omega} = \frac{3}{1};$$

$$\frac{U_1}{U_{AB}} = \frac{3 \Omega + R_{AB}}{R_{AB}} = \frac{2}{1};$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{U_1}{U_{AB}} \cdot \frac{U_{AB}}{U_2} = \frac{6}{1}$$

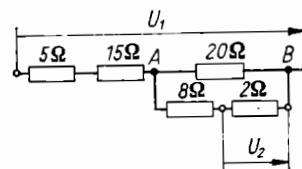


Bild 274.  
Aufgabe 262

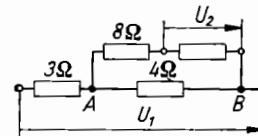


Bild 275.  
Aufgabe 263

$$264. R_{AB} = \frac{(12 + 24) \Omega \cdot 12 \Omega}{(12 + 24 + 12) \Omega} = 9 \Omega;$$

$$\frac{U_{AB}}{U_2} = \frac{(12 + 24) \Omega}{24 \Omega} = \frac{3}{2};$$

$$\frac{U_1}{U_{AB}} = \frac{6 \Omega + R_{AB}}{R_{AB}} = \frac{5}{3};$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{U_1}{U_{AB}} \cdot \frac{U_{AB}}{U_2} = \frac{5}{2}$$

$$265. \text{ (Bild 276)} \quad R_{AB} = \frac{7 \Omega \cdot 5 \Omega}{(7+5) \Omega} = 2,92 \Omega ;$$

$$R_{CD} = \frac{5 \Omega (2 \Omega + R_{AB})}{(5+2) \Omega + R_{AB}} = 2,48 \Omega ;$$

$$\frac{U_{AB}}{U_2} = \frac{(2+5) \Omega}{5 \Omega} = 1,4 ;$$

$$\frac{U_{CD}}{U_{AB}} = \frac{2 \Omega + R_{AB}}{R_{AB}} = 1,69 ;$$

$$\frac{U_1}{U_{CD}} = \frac{2 \Omega + R_{CD}}{R_{CD}} = 1,81 ;$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{U_1}{U_{CD}} \cdot \frac{U_{CD}}{U_{AB}} \cdot \frac{U_{AB}}{U_2} = 4,26 ; \quad U_2 = \underline{23,47 \text{ V}}$$

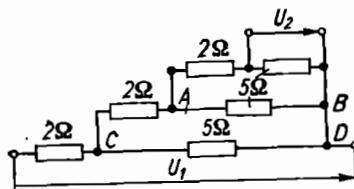


Bild 276.  
Aufgabe 265

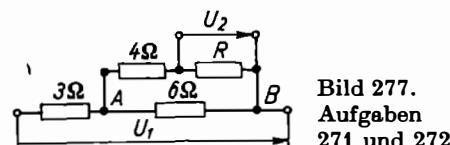


Bild 277.  
Aufgaben  
271 und 272

266. Faßt man die Widerstände von rechts nach links zusammen, so erhält man die Ersatzwiderstände  $R_{EF} = 6 \Omega$ ,  $R_{CD} = 5 \Omega$  und

$$R_{AB} = 1 \Omega; \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{R_{AB}}{R_{CD}} = \frac{2}{1} ;$$

$$U_2 = \underline{50 \text{ V}}; \quad \frac{U_2}{U_3} = \frac{4 \Omega + R_{EF}}{R_{EF}} = \frac{5}{3} ;$$

$$U_3 = \underline{30 \text{ V}}; \quad \frac{U_3}{U_4} = \frac{(10+5) \Omega}{5 \Omega} = \frac{3}{1} ;$$

$$U_4 = \underline{10 \text{ V}}$$

$$267. \quad R_{AB} = \frac{4 \Omega \cdot 12 \Omega}{(4+12) \Omega} = 3 \Omega;$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{(10+7) \Omega + R_{AB}}{10 \Omega} = \frac{2}{1} ;$$

$$\frac{I_2}{I_3} = \frac{(4+12) \Omega}{4 \Omega} = \frac{4}{1}; \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{I_2}{I_3} = \frac{8}{1} .$$

268. Faßt man die Widerstände von rechts nach links zusammen, so sind die Ersatzwiderstände

$$R_{CD} = \frac{3 \Omega \cdot 6 \Omega}{(3+6) \Omega} = 2 \Omega \text{ und } R_{AB} = 3 \Omega;$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{(2+5+5) \Omega + R_{AB}}{2 \Omega} = \frac{15}{2} ;$$

$$\frac{I_2}{I_3} = \frac{(4+5+5) \Omega + R_{CD}}{4 \Omega} = \frac{4}{1} ;$$

$$\frac{I_3}{I_4} = \frac{(3+6) \Omega}{3 \Omega} = \frac{3}{1} ; \quad \frac{I_1}{I_4} = \frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{I_2}{I_3} \cdot \frac{I_3}{I_4} = \frac{90}{1}$$

$$269. \quad \frac{U_{AB}}{U_4} = \frac{10 \Omega + R_{CD}}{R_{CD}} = \frac{6}{1} ;$$

$$\frac{U_1}{U_{AB}} = \frac{10 \Omega + R_{AB}}{R_{AB}} = \frac{13}{3} ; \quad \frac{U_1}{U_4} = \frac{26}{1} .$$

$$270. \quad I_3 = \frac{120 \text{ V}}{8 \Omega} = \underline{15 \text{ A}}; \quad R_{CD} = 3 \Omega;$$

$$R_{AB} = 4 \Omega; \quad \frac{I_3}{I_2} = \frac{4 \Omega}{8 \Omega + R_{AB}} = \frac{1}{3} ;$$

$$I_2 = 3I_3 = \underline{45 \text{ A}}; \quad I_1 = (15+45) \text{ A} = \underline{60 \text{ A}};$$

$$\frac{I_3}{I_4} = \frac{(8+5) \Omega + R_{CD}}{5 \Omega + R_{CD}} = \frac{2}{1} ; \quad I_4 = \underline{7,5 \text{ A}};$$

$$I_5 = I_3 - I_4 = \underline{7,5 \text{ A}};$$

$$\frac{I_5}{I_6} = \frac{(4+8+4) \Omega}{(8+4) \Omega} = \frac{4}{3} ; \quad I_6 = \underline{5,625 \text{ A}};$$

$$I_7 = I_6 - I_5 = \underline{1,875 \text{ A}}.$$

$$271. \text{ (Bild 277)} \quad \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{6} = \frac{U_2}{U_{AB}} \cdot \frac{U_{AB}}{U_1} =$$

$$= \frac{R}{4 \Omega + R} \cdot \frac{\frac{(4 \Omega + R) 6 \Omega}{4 \Omega + R + 6 \Omega}}{\frac{(4 \Omega + R) 6 \Omega}{4 \Omega + R + 6 \Omega} + 3 \Omega} ;$$

$$R = \underline{2,57 \Omega}$$

$$272. \text{ (Bild 277)} \quad \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{10} = \frac{R_z}{R + R_z} \times$$

$$\times \frac{\frac{(R + R_z) R_z}{R + 2R_z}}{\frac{(R + R_z) R_z}{R + 2R_z} + R} ; \quad R_z = \underline{0,54 R}$$

$$273. \text{ a)} \quad R_z = \frac{U}{I - \frac{U}{R_v}} = \underline{77,7 \Omega}$$

$$\text{b)} \quad R'_z = \frac{U}{I} = \underline{77,3 \Omega} ;$$

$$\Delta R_z = R_z - R'_z = \underline{0,4 \Omega}$$

$$\text{c)} \quad \frac{\Delta R_z}{R_z} = 0,005, \quad \text{d. s. } \underline{0,5 \%}$$

$$274. \frac{\Delta R}{R} = \frac{\frac{U}{I - I_v} - \frac{U}{I}}{\frac{U}{I - I_v}} = \frac{I_v}{I} =$$

$$= \frac{R}{R + R_v} = 0,074, \quad \text{d. s. } \underline{7,4\%}$$

$$275. \frac{U}{I - I_v} = R_x; \quad \text{mit } \frac{U}{I} = 0,97 R_x \text{ und}$$

$$I_v = \frac{U}{R_v} \text{ wird } R_v = \frac{0,97 R_x}{0,03} = \underline{1617 \Omega}$$

$$276. R_x = \frac{0,98 U}{I - I_v}; \quad \text{mit } I = \frac{U}{R_x} \text{ und}$$

$$I_v = \frac{U}{R_v} \text{ wird}$$

$$R_x = 0,02 R_v = \underline{10 \Omega}$$

$$277. \text{ Ohne Fehler: } R_x = \frac{U}{I - I_v};$$

$$\text{mit Fehler: } R'_x = \frac{U}{I};$$

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{\left( \frac{U}{I - I_v} - \frac{U}{I} \right)}{\frac{U}{I - I_v}} = \frac{I_v}{I} - \frac{1}{46} = 0,0247,$$

d. s. 2,17%

$$278. R'_x = \frac{U}{I}; \quad R_x = \frac{U}{I - I_v} = \frac{U}{\frac{U}{R'_x} - \frac{U}{R_v}};$$

$$R_v = \frac{R_x R'_x}{R_x - R'_x} = \underline{9883 \Omega}$$

$$279. (\text{s. vor. Aufg.}) R_v = \frac{R_x R'_x}{R_x - R'_x};$$

$$R_x = \frac{R'_x R_v}{R_v - R'_x} = \underline{137 \Omega}$$

$$280. R_x = \frac{U}{I} - R_A = \underline{4257 \Omega}$$

$$281. R_A = 1 \Omega; \quad R_x = \frac{U}{I} - R_A = \underline{1321 \Omega}$$

282. Nach Bild 86 zeigt der Strommesser an:

$$I = \frac{U}{R_A + \frac{R_x R_v}{R_x + R_v}} = \underline{0,126 A}$$

und der Spannungsmesser:

$$U_x = U - IR_A = 99,87 V;$$

daraus errechnet sich der Widerstand

$$R_x = \frac{U_x}{I} = 793 \Omega,$$

d. h. um 7 Ω bzw. 1% zu wenig

$$283. \text{ Nach Bild 86 ist } R_x = \frac{U}{I - \frac{U}{R_v}} = \underline{38,78 \Omega}$$

$$\text{nach Bild 87 ist } U_x = U + IR_A = 3,14 V;$$

$$I_x = \frac{U_x}{R_x + R_A} = \underline{0,08 A}$$

284. Aus  $R_2 = R_1 (1 + \alpha \Delta \vartheta)$  wird

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 (\vartheta_2 - \vartheta_1)} \quad (\text{s. Abschn. 1.2.});$$

z. B. zwischen 50 und 60°C ist

$$\alpha = \frac{(1200 - 130) \Omega}{130 \Omega \cdot 10 K} = \underline{0,821/K}$$

$$285. \frac{R_2}{R_1} = 1 + 0,5 \frac{1}{K} \cdot 40 K = \underline{21}$$

286. Dividieren von  $R_1 = a e^{b(1/T_1)}$  durch

$$R_2 = a e^{b(1/T_2)} \text{ ergibt: } R_1/R_2 = e^{b(1/T_1 - 1/T_2)}$$

und nach Logarithmieren

$$b = \frac{\ln R_1/R_2}{1/T_1 - 1/T_2}$$

287. Mit dem Ergebnis von Aufgabe 286 ist

$$b = \frac{\ln 4}{1/293 - 1/323} = \underline{4375 K}$$

288. Nach der gleichen Formel ist

$$\ln R_1/R_2 = b(1/T_1 - 1/T_2) = 3,56626;$$

$$R_1/R_2 = 35,38; \quad R_2 = \underline{2,83 \Omega}$$

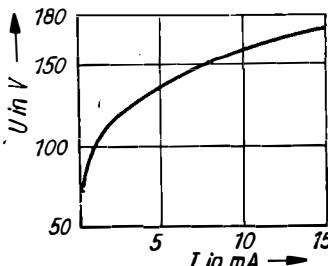


Bild 278.  
Aufgabe 289

$$289. a = R e^{-b/T} = 200 \cdot e^{-5,362} \Omega = 0,94 \Omega$$

$$290. a) \alpha_1 = \frac{(R_2 - R_1)}{R_1 (\theta_2 - \theta_1)} = \frac{14 \Omega}{18 \Omega \cdot 60 K} = \\ = 0,0130 \text{ } ^\circ/\text{K};$$

$$b) \alpha_2 = -0,0125 \text{ } ^\circ/\text{K}$$

$$291. \frac{dR}{dT} = -\frac{ab}{T^2} e^{b/T} = -\frac{bR}{T^2}; \quad a = -\frac{b}{T^2}$$

292. Nach dem Verfahren von Aufgabe 287 ergibt sich  $b = 3000 \text{ K}$ ;

$$A) \alpha_1 = \frac{3000 \text{ K}}{323^2 \text{ K}^2} = -0,029 \text{ } ^\circ/\text{K}$$

$$B) \alpha_2 = -0,019 \text{ } ^\circ/\text{K}$$

$$293. \text{ Mit } R = \frac{U}{I} \text{ wird } U = \frac{CI}{I^{(1-\beta)}} = CI^\beta$$

294. Bild 278

$$295. \text{ Mit } P = I^2 R \text{ wird } P = \frac{CI^2}{I^{(1-\beta)}} = \\ = \underline{\underline{CI^{(1+\beta)}}}$$

296.  $P = UI$ ; mit dem Ergebnis von Aufgabe 293 ist

$$I = \left(\frac{U}{C}\right)^{1/\beta} \quad \text{und} \quad P = U \left(\frac{U}{C}\right)^{1/\beta}$$

297. Beim Dividieren von  $U_1 = CI_1^\beta$  durch  $U_2 = CI_2^\beta$  fällt die Konstante  $C$  weg; durch Logarithmieren des Quotienten erhält man

$$\beta = \frac{\lg U_1/U_2}{\lg I_1/I_2}$$

298. a) Für je ein Wertepaar von  $U$  und  $I$  ergibt sich z. B.

$$\beta = \frac{\lg 120/77}{\lg 2/0,2} = 0,19;$$

$$b) \beta = 0,22$$

299. Nach Bild 94 ist z. B. für  $I_1 = 2,0 \text{ mA}$  und  $U_1 = 120 \text{ V}$  die Leistung  $P = UI = 0,24 \text{ W}$  und andererseits wegen  $P = CI^{(1+\beta)}$  (s. Aufgabe 295). Hiernach ist

$$C = \frac{P}{I^{(1+\beta)}} = \frac{0,24 \text{ W}}{(0,002 \text{ A})^{1,19}} = \underline{\underline{391 \text{ VA}^{-\beta}}}$$

300. Aus  $P = CI^{(1+\beta)}$  (s. Aufgabe 295) erhält

$$\text{man } \lg I = \frac{\lg P/C}{1 + \beta} = \frac{\lg 0,008}{1,25} = -1,6775;$$

$$I = 10^{-1,6775} = 0,021 \text{ A};$$

$$U = \frac{P}{I} = \frac{2 \text{ W}}{0,021 \text{ A}} = 95 \text{ V}$$

301. Wegen  $R = \frac{U}{I}$  liegt ein ohmscher Widerstand vor.

302. Nach Aufgabe 293 ist  $U = CI^\beta = 120 \text{ V}$ ;

$$R = \frac{U}{I} = \underline{\underline{60 \text{ k}\Omega}} \quad \text{oder auch} \quad R = \frac{C}{I^{(1-\beta)}} = \\ = \underline{\underline{60 \text{ k}\Omega}}$$

303. Bild 279; z. B. für  $U = -100 \text{ mV}$  ist

$$I = (e^{-4} - 1) \text{ mA} = (0,00183 - 1) \text{ mA} = \\ = \underline{\underline{-0,98 \text{ mA}}}$$

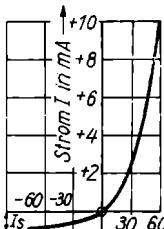


Bild 279. Aufgabe 302

Spannung  $U$  in mV

$$304. \text{ Aus } \frac{I}{I_S} = e^{U/U_T} - 1 \text{ wird } U/U_T = \ln 2 \text{ und} \\ U = 25 \cdot 0,693 \text{ mV} = \underline{\underline{17,3 \text{ mV}}}$$

$$305. U = U_T \ln(10^6 + 1) = 0,345 \text{ V}; I = 1 \text{ A}; \\ U_B = IR = 0,5 \text{ V}; U_{\text{ges}} = \underline{\underline{0,845 \text{ V}}}$$

$$306. -0,9 = e^{U/U_T} - 1; \\ U/U_T = \ln 0,1 = -2,303; \quad U = \underline{\underline{-57,6 \text{ mV}}}$$

$$307. \text{ Knoten A) } I_A + I_3 = I_1;$$

$$\text{Knoten B) } I_1 = I_B + I_2;$$

$$\text{Knoten C) } I_2 = I_C + I_3;$$

$$\text{Masche: } U_{q1} - U_{q2} = I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3$$

Die Unbekannten  $I_2$  und  $I_3$  werden durch  $I_A$  und  $I_B$  ausgedrückt:

$$I_2 = I_1 - I_B; \quad I_3 = I_1 - I_A$$

$$\text{Damit wird } I_1 = \frac{U_{q1} - U_{q2} + I_B R_2 + I_A R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \\ = \underline{\underline{1,5 \text{ A}}}$$

$$I_2 = I_1 - I_B = \underline{-1,5} \text{ A}; U_1 = I_1 R_1 = \underline{3} \text{ V};$$

$$I_3 = I_1 - I_A = \underline{-0,5} \text{ A};$$

$$U_2 = I_2 R_2 = \underline{-7,5} \text{ V}; I_C = I_2 - I_3 = \underline{-1} \text{ A};$$

$$U_3 = I_3 R_3 = \underline{-0,5} \text{ V}$$

Da  $I_C$  negativ wird, fließt dieser Strom der Masche zu.

**308.** Aus  $U_{q1} - U_{q2} = I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3$  kann  $I_3$  unmittelbar berechnet werden:

$$I_3 = \underline{-10,8} \text{ A}; I_A = \underline{14,8} \text{ A};$$

$$I_B = \underline{-0,8} \text{ A}; I_C = \underline{15,6} \text{ A};$$

$$U_1 = \underline{24} \text{ V}; U_2 = \underline{28,8} \text{ V}; U_3 = \underline{-64,8} \text{ V}$$

**309.**  $I_B = I_1 - I_2 = \underline{-2,5} \text{ A};$

$$I_3 R_3 = U_3 = U_{q1} - U_{q2} - I_1 R_1 - I_2 R_2 = \underline{-21} \text{ V};$$

$$I_3 = I_1 - I_A = \underline{-0,5} \text{ A}; R_3 = \frac{U_3}{I_3} = \underline{42} \Omega;$$

$$U_1 = I_1 R_1 = \underline{5} \text{ V}; I_C = I_2 - I_3 = \underline{5,5} \text{ A};$$

$$U_2 = I_2 R_2 = \underline{20} \text{ V}$$

**310.** Masche:  $I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3 = 0$ ;

Knoten A)  $I_2 + I_A = I_3$ ;

Knoten B)  $I_1 + I_B = I_2$ ;

Knoten C)  $I_3 = I_C + I_1$ ;

hieraus mit Gleichung A und B:

$$I_2 R_1 - I_B R_1 + I_2 R_2 + I_2 R_3 + I_A R_3 = 0;$$

$$I_2 = \frac{I_B R_1 - I_A R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \underline{-3,56} \text{ A};$$

$$I_C = I_A + I_B = \underline{14} \text{ A}; I_1 = \underline{-7,56} \text{ A};$$

$$I_3 = \underline{6,44} \text{ A}$$

**311.**  $I_1 = \underline{1} \text{ A}; I_2 = \underline{0,6} \text{ A}; I_3 = \underline{-0,7} \text{ A};$

$$I_A = \underline{-1,3} \text{ A}; I_C = \underline{-1,7} \text{ A};$$

$$I_B = \underline{-0,4} \text{ A}$$

**312.**  $I_C = \underline{2} \text{ A}; I_1 = I_4 = \underline{3,75} \text{ A};$

$$I_2 = \underline{-2,25} \text{ A}; I_3 = \underline{-4,25} \text{ A}$$

**313.**  $I_D = \underline{16} \text{ A}; I_1 = \underline{-5,06} \text{ A};$

$$I_2 = \underline{2,94} \text{ A}; I_3 = \underline{4,94} \text{ A}; I_4 = \underline{-11,06} \text{ A}$$

**314.**  $I_C = \underline{12} \text{ A}; I_1 = \underline{5,86} \text{ A};$

$$I_2 = \underline{7,86} \text{ A}; I_3 = \underline{-4,14} \text{ A}$$

**315.**  $I_C = \underline{2} \text{ A}; I_1 = \underline{1,22} \text{ A};$

$$I_2 = \underline{-0,78} \text{ A}; I_3 = \underline{-2,78} \text{ A}$$

**316.**  $I_1 = \underline{0,67} \text{ A}; I_2 = \underline{8,67} \text{ A};$

$$I_3 = \underline{-11,33} \text{ A}; I_C = \underline{20} \text{ A}$$

**317.** Masche:  $2 U_q = 6 IR; I = \frac{U_q}{3R}; U_{AB} - 2U_q = -3IR; U_{AB} = U_q$

**318.**  $2U_{q2} - 2U_{q1} = I(2R_1 + 2R_2);$

$I = 0,04 \text{ A}; U_{AB} + 2U_{q1} = I(R_1 + R_2);$

$$U_{AB} = \underline{-14} \text{ V}$$

$$U_{CD} = U_{q2} - U_{q1} - I(R_1 + R_2) = \underline{0}$$

**319.** Knoten A:  $I_1 = I_2 + I_4$ ;

Masche I:  $U_{q1} + U_{q2} = I_1(R_1 + R_3) + I_2 R_2$ ;

Masche II:  $-U_{q2} = I_4 R_4 - I_2 R_2$

Einsetzen von Gleichung A in I und II ergibt

$$I_4 = \frac{U_{q1} R_2 - U_{q2} (R_1 + R_3)}{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4) + R_2 R_4}$$

**320.** Knoten A:  $I_1 + I_3 = I_2$ ;

Masche I:  $U_{q1} + U_{q2} = I_1 R_1 + I_2 R_2$ ;

Masche II:  $U_{q2} + U_{q3} = I_3 R_3 + I_2 R_2$

Einsetzen von Gleichung A in I und Zusammenfassen mit II ergibt

$$I_2 = \frac{(U_{q1} + U_{q2}) R_3 + (U_{q2} + U_{q3}) R_1}{R_1 (R_2 + R_3) + R_2 R_3}$$

**321.** Zur Berechnung der 6 Zweigströme sind 6 unabhängige Gleichungen notwendig

Knoten A:  $I_1 = I_3 + I_4$ ;

Knoten B:  $I_2 = I_4 + I_6$ ;

Knoten C:  $I_1 = I_2 + I_5$ ;

Masche I:  $U_{q1} - U_{q2} = R(I_1 + I_2 + I_4)$ ;

Masche II:  $U_{q3} = R(I_3 - I_4 + I_6)$ ;

Masche III:  $U_{q2} = R(I_5 - I_2 - I_6)$

Schrittweises Einsetzen der Gleichungen A, B, C in die Gleichungen I, II, III und Zusammenfassen ergibt

$$I_1 = \frac{2U_{q1} - U_{q2} + U_{q3}}{4R} = \underline{0,625} \text{ A};$$

$$I_2 = \frac{U_{q1} - 2U_{q2}}{4R} = \underline{-0,5} \text{ A};$$

$$I_3 = \frac{U_{q1} + 2U_{q3}}{4R} = \underline{1,25 \text{ A}} ;$$

$$I_4 = \frac{U_{q1} - U_{q2} - U_{q3}}{4R} = \underline{-0,625 \text{ A}} ;$$

$$I_5 = \frac{U_{q1} + U_{q2} + U_{q3}}{4R} = \underline{1,125 \text{ A}} ;$$

$$I_6 = \frac{U_{q3} - U_{q2}}{4R} = \underline{0,125 \text{ A}}$$

**322.** Zur Berechnung der 6 unbekannten Zweigströme sind 6 unabhängige Gleichungen notwendig:

$$\text{Knoten } A: I_1 = I_3 + I_4;$$

$$\text{Knoten } B: I_4 + I_6 = I_5;$$

$$\text{Knoten } C: I_3 = I_2 + I_6;$$

$$\text{Masche I: } U_{q1} = R(I_1 + I_4 + I_5);$$

$$\text{Masche II: } U_{q3} = R(I_3 + I_6 - I_4);$$

$$\text{Masche III: } -U_{q2} = -R(I_5 + I_6 - I_2)$$

Durch schrittweises Einsetzen der Gleichungen A, B, C in die Gleichungen I, II, III und Zusammenfassen erhält man

$$I_1 = \frac{2U_{q1} - U_{q2} + U_{q3}}{4R} = \underline{1,7 \text{ A}} ;$$

$$I_2 = \frac{U_{q1} - 2U_{q2} + U_{q3}}{4R} = \underline{0} ;$$

$$I_3 = \frac{U_{q1} - U_{q2} + 2U_{q3}}{4R} = \underline{1,5 \text{ A}} ;$$

$$I_4 = \frac{U_{q1} - U_{q3}}{4R} = \underline{0,2 \text{ A}} ;$$

$$I_5 = \frac{U_{q1} + U_{q2}}{4R} = \underline{1,7 \text{ A}} ;$$

$$I_6 = \frac{U_{q2} + U_{q3}}{4R} = \underline{1,5 \text{ A}}$$

**323.** Knoten A:  $I_1 + I_2 = I_5 + I_7$ ;

Knoten B:  $I_1 + I_2 = I_6$ ;

$$\text{Masche I: } 0 = -RI_2 + 2RI_1;$$

$$\begin{aligned} \text{Masche II: } U_q &= RI_3 + RI_5 + RI_6 = \\ &= R(I_2 + I_5 + I_6); \end{aligned}$$

$$\text{Masche III: } -U_q = R(2I_7 - I_5)$$

Schrittweises Einsetzen der Gleichungen A, B in die Gleichungen I, II, III ergibt

$$I_2 = \frac{2U_q}{10,5R} = \underline{8 \text{ A}} ; \quad I_1 = \frac{I_2}{2} = \underline{4 \text{ A}} ;$$

$$I_5 = \frac{5,5U_q}{10,5R} = \underline{22 \text{ A}} ;$$

$$I_6 = I_1 + I_2 = \underline{12 \text{ A}} ; \quad I_7 = \underline{-10 \text{ A}}$$

$$\text{324. Knoten } A: I_6 = I_2 + I_3;$$

$$\text{Knoten } B: I_5 + I_6 = I_1 + I_2;$$

$$\text{Knoten } D: I_4 = I_1 + I_7;$$

$$\text{Masche I: } U_q = R(I_2 + I_6);$$

$$\text{Masche II: } U_q = R(I_7 + I_4);$$

$$\text{Masche III: } U_q = R(I_2 - I_3 + I_5);$$

vollständiger Umlauf IV:

$$0 = R(-I_7 + I_1 + I_3 + I_6)$$

Gegenseitiges Einsetzen und Zusammenfassen ergibt

$$I_1 = \frac{U_q}{7R} ; \quad I_2 = \frac{4U_q}{7R} ; \quad I_3 = -\frac{U_q}{7R} ;$$

$$I_4 = \frac{4U_q}{7R} ; \quad I_5 = \frac{2U_q}{7R} ; \quad I_6 = \frac{3U_q}{7R} ;$$

$$I_7 = \frac{3U_q}{7R}$$

$$\text{325. } I_1 = I_3 = I_4 = \underline{0,90 \text{ A}};$$

$$I_2 = \underline{3,92 \text{ A}} ; \quad I_5 = \underline{4,82 \text{ A}}$$

**326.** Bei Umlaufen der äußeren Umgrenzung ergibt der Maschensatz  $I_1 = I_2 = I_3 = \frac{U_q}{R}$ ; ferner ist z. B. im Knoten B:  $I_1 = I_5 + I_2$ , wonach  $I_5 = I_1 - I_2 = \underline{0}$  usw.

$$\text{327. Knoten } A: I_3 = I_1 + I_4;$$

$$\text{Knoten } B: I_1 = I_2 + I_5;$$

$$\text{Knoten } C: I_2 = I_3 + I_6;$$

$$\text{Masche I: } U_q = R(I_1 - 2I_4 + 2I_5);$$

$$\text{Masche II: } U_q = R(I_2 - 2I_5 + 2I_6);$$

$$\text{Masche III: } U_{q3} = R(I_3 + 2I_4 - 2I_6)$$

Einsetzen der Gleichungen A, B, C in die Gleichungen I, II, III ergibt

$$I_1 = \frac{5U_q + 2U_{q3}}{7R} = \underline{3,8 \text{ A}} ; \quad I_2 = I_1 = \underline{3,8 \text{ A}} ;$$

$$I_3 = \frac{4U_q + 3U_{q3}}{7R} = \underline{3,7 \text{ A}} ;$$

$$I_4 = \frac{U_{q3} - U_q}{7R} = \underline{-0,1 \text{ A}} ;$$

$$I_5 = \underline{0} ; \quad I_6 = \frac{U_q - U_{q3}}{7R} = \underline{0,1 \text{ A}}$$

**328.**  $I_1 = I_4 = I_5 = 0,025 \text{ A};$   
 $I_6 = I_7 = 0,175 \text{ A}; I_2 = -0,150 \text{ A};$   
 $I_3 = -1,025 \text{ A}; I_8 = 1,200 \text{ A}$

**329.**  $I_1 = I_3 = I_6 = I_7 = 0,070 \text{ A};$   
 $I_5 = 0; I_2 = I_4 = 0,209 \text{ A}; I_8 = 0,279 \text{ A}$

**330.** (Bild 280) 1. Kurzschluß von  $U_{q1}$ : Um den von  $U_{q2}$  angetriebenen Teilstrom  $I_5'$  zu berechnen, muß erst der Ersatzwiderstand des ganzen Kreises bekannt sein.

$$R_I = \frac{25,2 \Omega \cdot 25 \Omega}{50,2 \Omega} = 12,55 \Omega;$$

$$I_5' = \frac{80 \text{ V}}{(25,2 + 12,55) \Omega} = 2,11 \text{ A}$$

(Bild 281) 2. Kurzschluß von  $U_{q2}$ : Nunmehr muß der Ersatzwiderstand berechnet werden, durch den  $U_{q1}$  den Strom  $I_1''$  treibt.

$$R_{II} = \frac{25,4 \Omega \cdot 25 \Omega}{50,4 \Omega} = 12,6 \Omega;$$

$$I_1'' = \frac{60 \text{ V}}{(25,2 + 12,6) \Omega} = 1,59 \text{ A}.$$

Dieser Strom verzweigt sich in der Gruppe II, so daß  $I_5'' = \frac{1,59 \text{ A} \cdot 25 \Omega}{50,4 \Omega} = 0,79 \text{ A}$ ; der gesuchte Strom ist die Summe der Teilströme  $I_5'$  und  $I_5''$ , d. h.  $(2,11 + 0,79) \text{ A} = 2,90 \text{ A}$

**331.** (Bild 282) 1. Kurzschluß von  $U_{q1}$  und  $U_{q3}$ :

$$I_4' = \frac{6 \text{ V}}{(6 + 12/7) \Omega} = 0,778 \text{ A};$$

(Bild 283) 2. Kurzschluß von  $U_{q1}$  und  $U_{q2}$ :

$$R_{AB} = \frac{3 \Omega \cdot 6 \Omega}{9 \Omega} = 2 \Omega;$$

$$I_3'' = \frac{7,5 \text{ V}}{(4 + 2) \Omega} = 1,25 \text{ A};$$

$$I_4'' = \frac{1,25 \text{ A} \cdot 3 \Omega}{9 \Omega} = 0,417 \text{ A};$$

(Bild 284) 3. Kurzschluß von  $U_{q2}$  und  $U_{q3}$ :

$$I_1''' = \frac{4,5 \text{ V}}{(3 + 24/10) \Omega} = 0,833 \text{ A};$$

$$I_4''' = \frac{0,833 \text{ A} \cdot 4 \Omega}{10 \Omega} = 0,333 \text{ A};$$

$$I_4 = (0,778 + 0,333 - 0,417) \text{ A} = 0,694 \text{ A};$$

(die Vorzeichen entsprechen den jeweiligen Stromrichtungen)

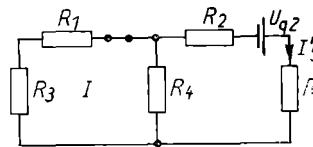


Bild 280.  
Aufgabe 330

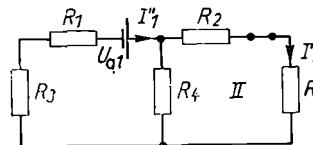


Bild 281.  
Aufgabe 330

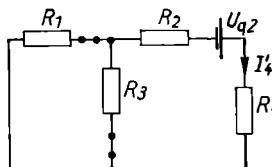


Bild 282.  
Aufgabe 331

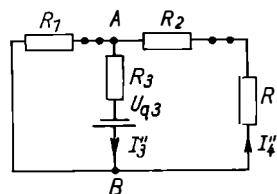


Bild 283.  
Aufgabe 331

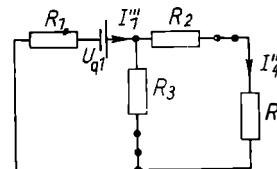


Bild 284.  
Aufgabe 331

**332.** (Bild 285) 1. Kurzschluß von  $U_{q1}$ :  $R_{11}$  und  $R_a$  liegen parallel und ihrerseits in Reihe mit  $R_{12}$  und  $U_{q2}$ . Der durch  $R_{12}$  fließende Strom ist

$$I_2' = \frac{65 \text{ V}}{\left(0,3 + \frac{0,5 \cdot 5}{0,5 + 5}\right) \Omega} = 86,14 \text{ A}.$$

Dieser Strom verzweigt sich in

$$I' = 7,83 \text{ A} \text{ und } I_1' = \frac{86,14 \text{ A} \cdot 5 \Omega}{(0,5 + 5) \Omega} = 78,31 \text{ A};$$

(Bild 286) 2. Kurzschluß von  $U_{q2}$ : Jetzt liegen  $R_{12}$  und  $R_a$  parallel und ihrerseits in Reihe mit  $R_{11}$  und  $U_{q1}$ . Der nunmehr durch  $R_{11}$  fließende Teilstrom ist

$$I_1'' = \frac{65 \text{ V}}{\left(0,5 + \frac{0,3 \cdot 5}{0,3 + 5}\right) \Omega} = 83,01 \text{ A}.$$

Dieser Strom verzweigt sich in

$$I'' = \frac{83 \text{ A} \cdot 0,3 \Omega}{(0,3 + 5) \Omega} = 4,70 \text{ A} \quad \text{und}$$

$$I_2'' = \frac{83 \text{ A} \cdot 5 \Omega}{(0,3 + 5) \Omega} = 78,30 \text{ A}.$$

Unter Berücksichtigung der aus den Hilfsschaltbildern ersichtlichen Stromrichtungen ergibt sich

$$I = I' + I'' = (7,83 + 4,70) \text{ A} = 12,53 \text{ A};$$

$$I_1 = I_1'' - I_1' = (83,01 - 78,31) \text{ A} = 4,70 \text{ A};$$

$$I_2 = I_2' - I_2'' = (86,14 - 78,30) \text{ A} = 7,84 \text{ A}.$$

**333. (Bild 287) 1. Kurzschluß von  $U_{q1}$  und  $U_{q2}$ :**

$$R_1 = \frac{2,5 \Omega \cdot 1,5 \Omega}{4 \Omega} = 0,938 \Omega;$$

$$R_{AB} = \frac{1,938 \Omega \cdot 4 \Omega}{5,938 \Omega} = 1,305 \Omega;$$

$$I_3' = \frac{1,5 \text{ V}}{(1,5 + 1,305) \Omega} = 0,535 \text{ A};$$

$$I_8' = \frac{0,535 \text{ A} \cdot 1,938 \Omega}{(4 + 1,938) \Omega} = 0,175 \text{ A};$$

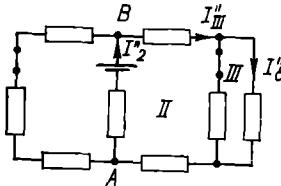


Bild 288.  
Aufgabe 333

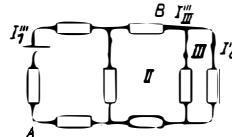


Bild 289. Aufgabe 333

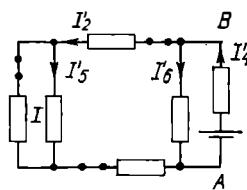


Bild 290. Aufgabe 335 Bild 291. Aufgabe 335

Durch die Gruppe III fließt der Strom

$$I_{III}'' = \frac{0,569 \text{ A} \cdot 2,5 \Omega}{(2,5 + 2,09) \Omega} = 0,31 \text{ A};$$

$$I_8'' = \frac{0,31 \text{ A} \cdot 1,5 \Omega}{(1,5 + 4) \Omega} = 0,0845 \text{ A};$$

(Bild 289) 3. Kurzschluß von  $U_{q2}$  und  $U_{q3}$ :  
 $R_{III} = 1,09 \Omega$ ; Ersatzwiderstand von Gruppe III und II zusammen

$$R_{III||II} = 0,873 \Omega; R_{AB} = 1,873 \Omega;$$

$$I_1''' = \frac{1,5 \text{ V}}{(1,5 + 1,873) \Omega} = 0,445 \text{ A}.$$

Durch Gruppe III fließt der Strom

$$I_{III}''' = \frac{0,445 \text{ A} \cdot 1,5 \Omega}{(1,5 + 2,09) \Omega} = 0,186 \text{ A};$$

$$I_8''' = 0,0507 \text{ A};$$

$$I_8 = (0,175 + 0,0845 + 0,0507) \text{ A} = 0,310 \text{ A}$$

**334. Es wird derselbe Weg wie bei Aufgabe 333 eingeschlagen.**

$$I_8 = I_8' + I_8'' + I_8''' = (0,635 + 0,173 + 0,058) \text{ A} = 0,866 \text{ A}$$

**335. (Bild 290) 1. Kurzschluß von  $U_{q1}$ ,  $U_{q2}$  und  $U_{q3}$ :**

Bild 285. Aufgabe 332

Bild 286. Aufgabe 332

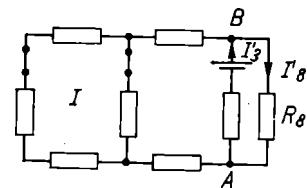


Bild 287.  
Aufgabe 333

(Bild 288) 2. Kurzschluß von  $U_{q1}$  und  $U_{q3}$ :

$$R_{III} = \frac{1,5 \Omega \cdot 4 \Omega}{5,5 \Omega} = 1,09 \Omega;$$

$$R_{AB} = \frac{2,09 \Omega \cdot 2,5 \Omega}{(2,09 + 2,5) \Omega} = 1,138 \Omega;$$

$$I_2'' = \frac{1,5 \text{ V}}{(1,5 + 1,138) \Omega} = 0,569 \text{ A}.$$

$$R_1 = \frac{20 \Omega^2}{12 \Omega} = 1,667 \Omega ;$$

$$R_{AB} = \frac{5,667 \Omega \cdot 10 \Omega}{15,667 \Omega} = 3,62 \Omega ;$$

$$I'_4 = \frac{6 \text{ V}}{(2 + 3,62) \Omega} = 1,068 \text{ A} ;$$

$$I'_6 = \frac{1,068 \text{ A} \cdot 5,667 \Omega}{15,667 \Omega} = 0,386 \text{ A} ;$$

$$I'_2 = \frac{1,068 \text{ A} \cdot 10 \Omega}{15,667 \Omega} = 0,682 \text{ A} ;$$

$$I'_5 = \frac{0,682 \text{ A} \cdot 2 \Omega}{12 \Omega} = 0,114 \text{ A} ;$$

2. Kurzschluß von  $U_{q2}$ ,  $U_{q3}$  und  $U_{q4}$ : Entsprechend ergibt sich aus Symmetriegründen  $I'_5'' = I'_5' = 0,114 \text{ A}$ ;  $I'_6'' = I'_6' = 0,386 \text{ A}$ ;

(Bild 291) 3. Kurzschluß von  $U_{q1}$ ,  $U_{q2}$  und  $U_{q4}$ :

$$I'''_3 = \frac{6 \text{ V}}{(4 + 2 \cdot 1,667) \Omega} = 0,82 \text{ A} ;$$

$$I'''_5 = \frac{0,82 \text{ A} \cdot 2 \Omega}{12 \Omega} = 0,137 \text{ A} ; I'''_6 = 0,137 \text{ A} ;$$

4. Kurzschluß von  $U_{q1}$ ,  $U_{q3}$  und  $U_{q4}$ : Entsprechend dem Vorigen:

$$I''''_5 = 0,137 \text{ A} ; I''''_6 = 0,137 \text{ A} ;$$

$$I_5 = (0,114 + 0,386 - 0,137 - 0,137) \text{ A} = 0,226 \text{ A} ;$$

$$I_6 = (0,386 + 0,114 + 0,137 + 0,137) \text{ A} = 0,774 \text{ A}$$

336. (Bild 292) 1. Kurzschluß von  $U_{q2}$ : Von rechts nach links fortschreitend, ergeben sich die angegebenen Ersatzwiderstände und hieraus

$$I_1 = \frac{80 \text{ V}}{64,7 \Omega} = 1,236 \text{ A} ;$$

$$I'_a = \frac{1,236 \text{ A} \cdot 40 \Omega}{(40 + 64,6) \Omega} = 0,473 \text{ A} ;$$

$$I''_z = \frac{0,473 \text{ A} \cdot 64 \Omega}{(40 + 64) \Omega} = 0,291 \text{ A} ;$$

(Bild 293) 2. Kurzschluß von  $U_{q1}$ : Von links nach rechts fortschreitend, ergeben sich dieselben Ersatzwiderstände und daraus

$$I''_2 = \frac{60 \text{ V}}{64,7 \Omega} = 0,927 \text{ A} ;$$

$$I''_b = \frac{0,927 \text{ A} \cdot 40 \Omega}{(40 + 64,6) \Omega} = 0,354 \text{ A} ;$$

$$I''_c = \frac{0,354 \text{ A} \cdot 40 \Omega}{104 \Omega} = 0,136 \text{ A} ;$$

$$I''_x = \frac{0,136 \text{ A} \cdot 60 \Omega}{100 \Omega} = 0,082 \text{ A} ;$$

$$I_x = (0,291 + 0,082) \text{ A} = 0,373 \text{ A}$$

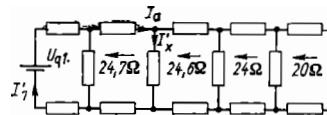


Bild 292.  
Aufgabe 336

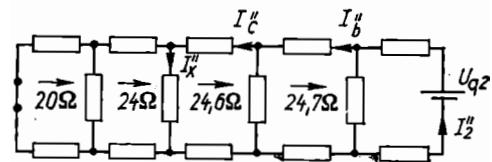


Bild 293. Aufgabe 336

### 337. Masche I:

$$U_{q1} + U_{q2} = y_1(R_1 + R_3) + (y_1 - y_2)R_2 ;$$

$$\text{Masche II: } -U_{q2} = (y_2 - y_1)R_2 + y_2R_4$$

Durch Zusammenfassen (Erweitern und Addieren) erhält man

$$I_4 = y_2 = \frac{U_{q1}R_2 - U_{q2}(R_1 + R_3)}{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4) + R_2R_4}$$

### 338. Masche I:

$$U_{q1} = (y_1 - y_2)R_4 + y_1R_1 \\ = y_1(R_1 + R_4) - y_2R_4 ;$$

### Masche II:

$$0 = -y_1R_4 + y_3R_5 + y_2(R_3 + R_4 + R_5) ;$$

$$\text{Masche III: } U_{q2} = y_3(R_5 + R_2) + y_2R_5$$

Die Zusammenfassung ergibt

$$I_3 = y_2 = \frac{U_{q1}R_4(R_3 + R_4) - U_{q2}R_5(R_1 + R_4)}{(R_1 + R_4)(R_2R_3 + R_3R_5 + R_2R_6) + R_1R_4(R_3 + R_5)}$$

### 339. Masche I:

$$U_{q1} = y_1(R_1 + R_3 + R_4) + y_2(R_1 + R_4) ;$$

ganzer Umlauf II:

$$U_{q1} - U_{q2} = y_1(R_1 + R_4) + y_2(R_1 + R_2 + R_4 + R_5)$$

Die Zusammenfassung ergibt

$$I_3 = y_1 = \frac{U_{q1}(R_2 + R_3) + U_{q2}(R_1 + R_4)}{(R_1 + R_4)(R_2 + R_3 + R_5) + R_3(R_2 + R_5)}$$

$$340. \text{ Masche I: } U_{q1} = 3Ry_1 + Ry_2 - Ry_3 ;$$

$$\text{Masche II: } U_{q2} = Ry_1 + 3Ry_2 + Ry_3 ;$$

Masche III:  $0 = -Ry_1 + Ry_2 + 3Ry_3$

$$\text{Hieraus folgen } y_1 = \frac{2U_{q1} - U_{q2}}{4R};$$

$$y_2 = \frac{2U_{q2} - U_{q1}}{4R}; \quad I_6 = y_3 = \frac{U_{q1} - U_{q2}}{4R}$$

**341.** Masche I:  $U_{q1} = 3Ry_1 + Ry_2 - Ry_3$ ;

Masche II:  $U_{q2} = 3Ry_2 + Ry_1 + Ry_3$ ;

Masche III:

$$U_{q2} - U_{q1} = Ry_2 - Ry_1 + 3Ry_3$$

$$\text{Hieraus folgen } y_1 = \frac{U_{q1}}{4R}; \quad y_2 = \frac{U_{q2}}{4R};$$

$$I_6 = y_3 = \frac{U_{q2} - U_{q1}}{4R}$$

**342.** Masche I:  $U_q = 3Ry_1 + Ry_2 + Ry_3$ ;

Masche II:  $U_q = Ry_1 + 4Ry_2 - Ry_3$ ;

Masche III:  $0 = Ry_1 - Ry_2 + 5Ry_3$ ;

$$\text{hieraus folgen } I_6 = y_3 = -\frac{U_q}{46R}; \quad y_1 = \frac{13U_q}{46R};$$

$$y_2 = \frac{4U_q}{23R};$$

$$I_1 = y_1 + y_2 = \frac{21U_q}{46R}$$

**343.** Masche I:  $U_{q1} = 4Ry_1 + Ry_2 + 2Ry_3$ ;

Masche II:  $U_{q1} = Ry_1 + 4Ry_2 - Ry_3$ ;

Masche III:  $-U_{q2} = 2Ry_1 - Ry_2 + 6Ry_3$ ;

$$\text{hieraus folgen } y_1 = \frac{5U_{q1} + 3U_{q2}}{22R};$$

$$y_2 = \frac{2U_{q1} - U_{q2}}{11R};$$

$$I_1 = y_1 + y_2 = \frac{9U_{q1} + U_{q2}}{22R};$$

$$I_6 = y_3 = -\frac{U_{q1} + 5U_{q2}}{22R}$$

**344.** Nach Anwenden von Knotenpunkt- und Maschensatz erhält man

$$I_3 = 0,143 \text{ A und } U_1 = I_3 R_3 = 2,86 \text{ V};$$

$$R_1 = R_1 \parallel R_2 \parallel R_3 = 2,86 \Omega$$

Bei Kurzschluß von  $A - B$  entfällt  $R_3$  (Bild 294)  
Masche I liefert  $I_1 R_1 + I_2 R_2 = U_{q1}$ ;

Masche II:  $I_2 R_2 = U_{q2}$ ;

Knotenpunkt:  $I_1 = I_2 - I_k$ ;

diese Gleichungen ergeben

$$I_k = \frac{U_{q2} (R_1 + R_2) - U_{q1} R_2}{R_1 R_2} = 1 \text{ A};$$

$$I_k = \frac{U_1}{R_1} = \frac{2,86 \text{ V}}{2,86 \Omega} = 1 \text{ A}$$

**345.** (Bild 295) Nach Umwandlung des Dreiecks  $R_1 - R_2 - R_3$  in den Stern  $r_1 - r_2 - r_3$  lässt sich die Spannungsteilerregel anwenden:

$$U_1 = \frac{U_q (r_1 + R_4)}{r_1 + r_2 + R_4} = \frac{U_q [R_2 R_3 + R_4 (R_1 + R_2 + R_3)]}{(R_1 + R_2) (R_3 + R_4) + R_3 R_4};$$

$$R_1 = \frac{R_1 [R_2 (R_3 + R_4) + R_3 R_4]}{(R_1 + R_2) (R_3 + R_4) + R_3 R_4};$$

$$I_k = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_q [R_2 R_3 + R_4 (R_1 + R_2 + R_3)]}{R_1 [R_2 (R_3 + R_4) + R_3 R_4]}$$

**346.** Leerlaufspannung  $U_1 =$  Spannungsabfall an  $R_2$ . Bei offenen Klemmen  $A - B$  fließt durch

$$R_2 \text{ der Strom } I_2 = \frac{80 \text{ V}}{400 \Omega} = 0,2 \text{ A};$$

$$U_1 = 0,2 \text{ A} \cdot 300 \Omega = 60 \text{ V}$$

$$(\text{Bild 296}) R_{AB} = R_1 = R_3 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 575 \Omega;$$

$$I_4 = \frac{U_1}{R_1 + R_4} = 0,0436 \text{ A};$$

$$U_4 = I_4 \cdot R_4 = 34,88 \text{ V}$$

Oder (Bild 297): Bei kurzgeschlossenem Weg  $AB$  ist der Widerstand des Stromkreises

$$R = 100 \Omega + \frac{300 \Omega \cdot 500 \Omega}{800 \Omega} = 287,5 \Omega \text{ und}$$

$$I_1 = \frac{80 \text{ V}}{287,5 \Omega} = 0,278 \text{ A};$$

$$\frac{I_k}{I_1} = \frac{R_2}{R_2 + R_3}; \quad I_k = 0,1043 \text{ A}$$

$$U_1 = I_k \cdot R_1 = 0,1043 \text{ V} \cdot 575 \Omega = 60 \text{ V}$$

in Übereinstimmung mit vorhin.

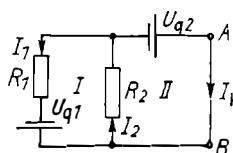


Bild 294. Aufgabe 344

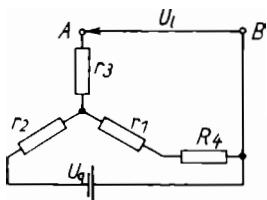


Bild 295. Aufgabe 345

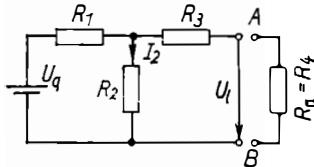


Bild 296.  
Aufgabe 346

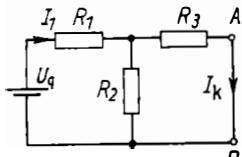


Bild 297.  
Aufgabe 346

347. (Bild 298) Leerlaufspannung  $U_1$  = Spannungsabfall an  $R_{3+4}$ .

Bei herausgelöstem  $R_2$  fließt der Strom

$$I_1 = \frac{80 \text{ V}}{1400 \Omega} = 0,0571 \text{ A}.$$

$$U_1 = 0,0571 \text{ A} \cdot 1300 \Omega = 74,2 \text{ V};$$

$$R_{AB} = R_1 = \frac{R_1 (R_3 + R_4)}{R_1 + R_3 + R_4} = 92,9 \Omega;$$

$$R_a = R_2; I_2 = \frac{U_1}{R_1 + R_a} = 0,189 \text{ A};$$

$$U_2 = I_2 \cdot R_2 = 56,7 \text{ V} \text{ oder (Bild 299)}$$

Bei kurzgeschlossenen Klemmen AB ist

$$I_k = \frac{U_q}{R_1} = 0,8 \text{ A}; U_1 = I_k R_1 = 74,2 \text{ V} \text{ in Übereinstimmung mit vorhin.}$$

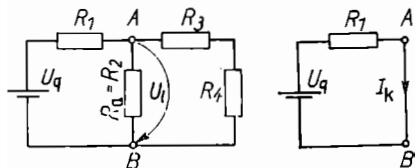


Bild 298. Aufgabe 347

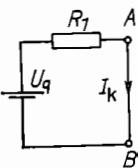


Bild 299. Aufgabe 347

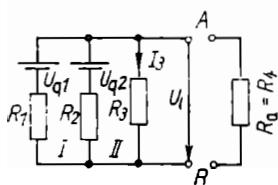


Bild 300.  
Aufgabe 348

348. (Bild 300) Leerlaufspannung  $U_1$  = Spannungsabfall an  $R_3$ .

Durch  $R_3$  fließt unter Verwendung von Masche I und II ein Strom von

$$I_3 = \frac{U_{q1} R_2 + U_{q2} R_1}{R_1 R_3 + R_1 R_2 + R_2 R_3} = 0,622 \text{ A};$$

$$U_1 = I_3 R_3 = 3,73 \text{ V};$$

$$R_1 = R_1 || R_2 || R_3 = 0,293 \Omega;$$

$$R_a = R_4; I_4 = \frac{U_1}{R_1 + R_a} = 0,87 \text{ A};$$

$$U_4 = I_4 R_4 = 3,48 \text{ V}$$

oder:

nach Kurzschluß von AB ist

$$I_k = \frac{U_{q1} R_2 + U_{q2} R_1}{R_1 R_2} = 12,75 \text{ A};$$

$$U_1 = I_k R_1 = 3,73 \text{ V} \text{ wie oben.}$$

349. Leerlaufspannung  $U_1$  = Spannung an  $R_5$ . Strom  $I_5$  durch  $R_5$

$$I_5 = \frac{U_q}{R_1 + R_3 + R_5} = 0,1625 \text{ A};$$

$$U_1 = I_5 R_5 = 32,5 \text{ V};$$

$$R_4 = R_2 + R_4 + \frac{(R_1 + R_3) R_5}{R_1 + R_3 + R_5} = 300 \Omega;$$

$$I_6 = \frac{U_1}{R_1 + R_6} = 0,065 \text{ A};$$

$$U_6 = I_6 R_6 = 13 \text{ V}$$

oder: Bei Kurzschluß von AB ist

$$R_1 = R_2 + R_4 + \frac{(R_1 + R_3) R_5}{R_1 + R_3 + R_5} = 300 \Omega \text{ und}$$

$$I = \frac{U_q}{R_1} = 0,2167 \text{ A}; I_k = \frac{I}{2} = 0,1083 \text{ A};$$

$$U_1 = I_k R_1 = 32,5 \text{ V}$$

wie vorhin.

350. (Bild 301) Leerlaufspannung  $U_1$ ; Masche I:

$$U_{q1} - U_{q2} - U_{q3} = I(R_1 + R_2 + R_3);$$

$$\text{hieraus } I = -0,218 \text{ A};$$

$$\text{Masche II: } U_{q3} = -IR_3 + U_{AB};$$

$$U_{AB} = 4,76 \text{ V}; R_1 = \frac{(R_1 + R_2) R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = 0,193 \Omega;$$

$$R_a = R_1; I_4 = \frac{U_{AB}}{R_1 + R_4} = 2,81 \text{ A};$$

$$U_4 = I_4 R_4 = 4,22 \text{ V}$$

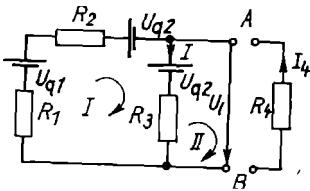


Bild 301.  
Aufgabe 350

$$R_a = (3 + 2) \Omega = 5 \Omega;$$

$$I = \frac{U_1}{R_1 + R_a} = 1,41 \text{ A}$$

355. Leerlaufspannung  $U_{AB} = U_1$ .

Für die ganze Masche gilt:

$$U_q = I_1 (R_1 + R_2); \quad I_1 = \frac{U_q}{R_1 + R_2}.$$

Für die untere Masche gilt:

$$U_q = I_3 (R_3 + R_4); \quad I_3 = \frac{U_q}{R_3 + R_4};$$

$$U_1 = U_1 - U_3 = I_1 R_1 - I_3 R_3;$$

$$U_1 = \frac{U_q (R_1 R_4 - R_2 R_3)}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}$$

Bei Kurzschluß von  $U_q$  ist

$$R_1 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4};$$

$$R_1 = \frac{R_1 R_2 (R_3 + R_4) + R_3 R_4 (R_1 + R_2)}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)};$$

$$I_5 = \frac{U_1}{R_1 + R_5};$$

$$I_5 = \frac{U_q (R_1 R_4 - R_2 R_3)}{(R_3 + R_4)(R_5 (R_1 + R_3) + R_1 R_5) + R_3 R_4 (R_1 + R_2)}$$

Gleichgewicht, d. h. Brückenstrom = 0,

wenn  $R_1 R_4 = R_2 R_3$

356.  $U_{AB} = U_1 = U_q; R_1 \text{ ers} = (R_1 + R_a)$ ;

$$I_r = \frac{U_q}{(R_1 + R_a) + r}$$

$$357. U_{AB} = U_1 = IR_a = \frac{U_q R_a}{R_1 + R_a};$$

$$R_1 \text{ ers} = \frac{R_1 R_a}{R_1 + R_a}; \quad I_r = \frac{U_1}{R_1 \text{ ers} + r};$$

$$I_r = \frac{\frac{U_q R_a}{R_1 + R_a}}{(R_1 + R_a) \left( \frac{R_1 R_a}{R_1 + R_a} + r \right)} =$$

$$= \frac{U_q R_a}{R_1 R_a + r (R_1 + R_a)}$$

$$\text{und entsprechend } I_a = \frac{U_q r}{R_1 R_a + r (R_1 + R_a)}$$

$$358. \text{ a) } I_2 = \frac{U_{q1} - U_{q2}}{2 R_1} = \frac{(110 - 109) \text{ V}}{0,04 \Omega} = 25 \text{ A};$$

$$I_1 = 25 \text{ A}$$

$$\text{b) } I_2 = \frac{U_{q1} - U_{q2}}{2 R_1} - \frac{IR_1}{2 R_1} = 20 \text{ A};$$

$$I_1 = I + I_2 = 30 \text{ A}$$

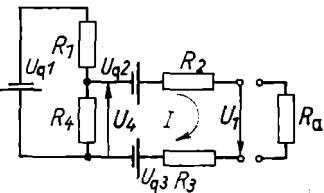


Bild 302.  
Aufgabe 352

$$351. U_1 = 10,1 \text{ V}; \quad R_1 = 0,030 \Omega;$$

$$I = 2,09 \text{ A}; \quad U_{AB} = 10,03 \text{ V}$$

$$352. (\text{Bild 302}) \quad U_4 = \frac{U_{q1} R_4}{R_1 + R_4};$$

$$\text{Masche I ergibt } U_1 + U_4 = U_{q2} - U_{q3}$$

$$\text{oder } U_1 = U_{q2} - U_{q3} - \frac{U_{q1} R_4}{R_1 + R_4} = 2,83 \text{ V};$$

$$R_1 = R_2 + R_3 + \frac{R_1 R_4}{R_1 + R_4} = 12,92 \Omega;$$

$$R_a = \left( 6 + \frac{18 \cdot 6}{18 + 6} \right) \Omega = 10,5 \Omega;$$

$$I = \frac{U_1}{R_1 + R_a} = 0,12 \text{ A}$$

$$353. (\text{Bild 303}) \quad U_1 = \frac{U_q R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = 26,67 \text{ V};$$

$$R_1 = \frac{R_3 (R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_3} = 4,44 \Omega;$$

$$R_a = \frac{R_5 (R_4 + R_6)}{R_4 + R_5 + R_6} = 2 \Omega;$$

$$I = \frac{U_1}{R_1 + R_a} = 4,14 \text{ A}$$

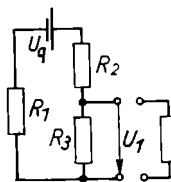


Bild 303  
Aufgabe 353

354. (Siehe auch vorige Aufgabe.)

$$U_1 = U_{q2} - \frac{U_{q1} R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = (40 - 26,67) \text{ V} = 13,33 \text{ V}; \quad R_1 = 4,44 \Omega;$$

$$359. \text{ a)} I_2 = \frac{U_{q1} - U_{q2}}{2R_4} =$$

$$= \frac{(110 - 109,9) \text{ V}}{0,04 \Omega} = \underline{\underline{2,5 \text{ A}}}$$

$$\text{b)} I_2 = (2,5 - 5) \text{ A} = \underline{\underline{-2,5 \text{ A}}};$$

Generator 2 gibt 2,5 A an den Verbraucher ab  
 $I_1 = I + I_2 = (10 - 2,5) \text{ A} = \underline{\underline{7,5 \text{ A}}}$

$$360. I_2 = \frac{U_{q1} - U_{q2}}{R_{11} + R_{12}} = \underline{\underline{6,25 \text{ A}}};$$

$$U = U_{q1} - I_2 R_{11} = \underline{\underline{58,13 \text{ V}}}$$

$$\begin{aligned} 361. \quad U_{q2} &= U_{q1} - I_2(R_{11} + R_{12}) \\ &= 60 \text{ V} - 15 \text{ A} \cdot 0,8 \Omega = \underline{\underline{48 \text{ V}}}; \\ U &= U_{q1} - I_2 R_{11} = \underline{\underline{55,5 \text{ V}}} \end{aligned}$$

362. Aus  $U = U_{q1} - I_2 R_{11}$  erhält man

$$I_2 = \frac{U_{q1} - U}{R_{11}}.$$

Dies in  $U = U_{q2} + I_2 R_{12}$  eingesetzt, gibt

$$U_{q2} = U - \frac{U_{q1} - U}{R_{11}} = \underline{\underline{33,33 \text{ V}}};$$

$$I_2 = \frac{(60 - 33,33) \text{ V}}{0,8 \Omega} = \underline{\underline{33,3 \text{ A}}}$$

$$\begin{aligned} 363. \quad I_2 &= \frac{U_{q1} - U_{q2}}{R_{11} + R_{12} + R_1 + R_2} = \\ &= \frac{(60 - 55) \text{ V}}{(0,8 + 20 + 30) \Omega} = \underline{\underline{0,098 \text{ A}}}; \end{aligned}$$

$$U_1 = U_{q1} - I_2 R_{11} = \underline{\underline{59,97 \text{ V}}};$$

$$\checkmark U_2 = U_{q2} + I_2 R_{12} = \underline{\underline{55,05 \text{ V}}}.$$

$$364. \text{ a)} I_2 = \frac{U_{q1} - U_{q2}}{R_{11} + R_{12}} = \underline{\underline{1,45 \text{ A}}} \quad (\text{Ladestrom});$$

$$U = U_{q1} - I_2 R_{11} = \underline{\underline{2,28 \text{ V}}}$$

$$\text{b)} I_2 = \frac{U_{q1} - U_{q2}}{R_{11} + R_{12}} = \underline{\underline{0,55 \text{ A}}};$$

$$U = U_{q1} - I_2 R_{11} = \underline{\underline{2,73 \text{ V}}}$$

$$365. \quad I_2 = \frac{U_{q1} - U_{q2}}{R_{11} + R_{12}} = \underline{\underline{2,17 \text{ A}}};$$

$$U = U_{q1} - I_2 R_{11} = \underline{\underline{1,92 \text{ V}}}$$

$$366. \quad I_2 = \frac{U_{q1} - U_{q2}}{R_{11} + R_{12}} - \frac{IR_{11}}{R_{11} + R_{12}} = \underline{\underline{-1,09 \text{ A}}};$$

$$I_1 = I + I_2 = \underline{\underline{3,91 \text{ A}}}.$$

Beide Zellen geben Strom ab.

$$367. \text{ a)} I_2 = \frac{U_{q1} - U_{q2}}{R_{11} + R_{12}} = \underline{\underline{12,1 \text{ mA}}};$$

$$U = U_{q1} - I_2 R_{11} = \underline{\underline{118,2 \text{ V}}}$$

$$\text{b)} I_2 = \frac{U_{q1} - U_{q2}}{R_{11} + R_{12}} - \frac{IR_{11}}{R_{11} + R_{12}} = \underline{\underline{-56 \text{ mA}}};$$

die zweite Batterie gibt 56 mA ab, die erste

$$I + I_2 = (150 - 56) \text{ mA} = \underline{\underline{94 \text{ mA}}};$$

$$U_k = (120 - 0,094 \cdot 150) \text{ V} = \underline{\underline{105,9 \text{ V}}}$$

$$\text{c)} \text{ Mit } I_2 = 0 \text{ wird } \frac{IR_{11}}{R_{11} + R_{12}} = \frac{U_{q1} - U_{q2}}{R_{11} + R_{12}},$$

$$\text{wonach } I = \frac{U_{q1} - U_{q2}}{R_{11}} = \underline{\underline{26,7 \text{ mA}}} \text{ ist}$$

$$368. \text{ a)} R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2 \text{ V}^2}{40 \text{ W}} = \underline{\underline{1210 \Omega}};$$

$$I_2 = \frac{U_{q1} - U_{q2}}{R} = \frac{(220 - 4) \text{ V}}{1210 \Omega} = \underline{\underline{0,179 \text{ A}}}$$

$$\text{b)} \text{ Wegen } R_{11} = 0 \text{ ist ebenfalls } I'_2 = \underline{\underline{0,179 \text{ A}}}$$

$$369. \text{ a)} I_2 = \frac{U_{q1} - U_{q2}}{R_{11} + R_{12}} = \frac{(6,5 - 6) \text{ V}}{0,51 \Omega} = \underline{\underline{0,98 \text{ A}}}$$

$$\text{b)} I = \frac{30 \text{ W}}{6 \text{ V}} = \underline{\underline{5 \text{ A}}};$$

$$I_2 = \frac{U_{q1} - U_{q2}}{R_{11} + R_{12}} - \frac{IR_{11}}{R_{11} + R_{12}} = \underline{\underline{-3,92 \text{ A}}};$$

$$I_1 = I + I_2 = \underline{\underline{1,08 \text{ A}}};$$

$$U = U_{q1} - I_1 R_{11} = \underline{\underline{5,96 \text{ V}}}$$

$$370. \quad U_{q1} - 15U_{q2} = I(R_s + 15R_1);$$

$$R_s = \frac{U_{q1} - 15U_{q2}}{I} - 15R_1 = \underline{\underline{27,2 \Omega}}$$

371. Aus

$$I_1 = \frac{U_{q1} - U}{R_{11}} \quad \text{und}$$

$$I_2 = \frac{U_{q2} - U}{R_{12}}$$

folgt durch Addition und Umformen

$$U = \frac{U_{q1} R_{12} + U_{q2} R_{11}}{R_{11} + R_{12}} - I \frac{R_{11} R_{12}}{R_{11} + R_{12}} = \underline{\underline{23,0 \text{ V}}};$$

der erste Term dieses Ausdrucks ist die gesuchte Quellenspannung  $U_q = 23,33 \text{ V}$ , der zweite Term enthält den inneren Widerstand

$$R_1 = \frac{0,2 \Omega \cdot 0,1 \Omega}{0,3 \Omega} = \underline{\underline{0,067 \Omega}}$$

**372.** Knotenpunkt A)  $I_1 + I_2 = I$ ; Masche I:  $U_{q1} - U_{q2} = I_1 R_{11} - I_2 R_{12}$ ; Masche II:  $U_{q2} = I_2 R_{12} + I R_a$ ; durch gegenseitiges Einsetzen erhält man

$$I = \frac{U_{q1} R_{12} + U_{q2} R_{11}}{R_{11} R_{12} + R_a R_{11} + R_a R_{12}} ;$$

$$I_1 = \frac{U_{q1} - I R_a}{R_{11}} ; \quad I_2 = \frac{U_{q2} - I R_a}{R_{12}}$$

a) Mit den eingesetzten Zahlenwerten ergibt sich

$$I = \underline{14,36 \text{ A}}; \quad I_1 = \underline{9,2 \text{ A}}; \quad I_2 = \underline{5,14 \text{ A}}$$

$$\text{b)} \quad I = \underline{4,366 \text{ A}}; \quad I_1 = \underline{3,38 \text{ A}}; \quad I_2 = \underline{0,986 \text{ A}}$$

$$\text{c)} \quad I = \underline{1,096 \text{ A}}; \quad I_1 = \underline{1,472 \text{ A}};$$

$$I_2 = \underline{-0,376 \text{ A}}$$

**373.** a) Hierbei ist  $I_1 = -I_2$  und  $I = 0$ ;

$$I_1 = \frac{U_{q1} - U_{q2}}{R_{11} + R_{12}} = \underline{0,83 \text{ A}}$$

b) Die beiden Stromquellen liefern die Kurzschlußströme

$$I_1 = \underline{440 \text{ A}} \text{ und } I_2 = \underline{313 \text{ A}};$$

$$I = I_1 + I_2 = \underline{753 \text{ A}}$$

**374.** Wegen  $I_2 = 0$  ist  $U_{q2} = I R_a$  und

$$I = \frac{U_{q1}}{R_{11} + R_a}, \quad \text{so daß}$$

$$R_a = \frac{U_{q2} R_{11}}{U_{q1} - U_{q2}} = \underline{109,5 \Omega}$$

**375.** Knoten A:  $I = I_1 + I_2$ ;

Masche I:  $U_{q1} - U_{q2} = I_1 R_{11} - I_2 R_{12}$ ;

Masche II:  $U_{q2} = I_2 R_{12} + I R_a$ ; durch Einsetzen und Zusammenfassung wird hieraus

$$\text{a)} \quad I_2 = \frac{U_{q2} (R_{11} + R_a) - U_{q1} R_a}{R_{11} R_{12} + R_a (R_{11} + R_{12})} = \underline{14,3 \text{ A}};$$

$$\text{aus Masche II: } I = \frac{U_{q2} - I_2 R_{12}}{R_a} = \underline{20,5 \text{ A}};$$

$$U_a = I R_a = \underline{6,15 \text{ V}}$$

$$\text{b)} \quad I_2 = \underline{-5,2 \text{ A}}; \quad I = \underline{20,9 \text{ A}}; \quad U_a = \underline{6,26 \text{ V}}$$

$$\text{376. a)} \underline{0,2 \text{ A}} \quad \text{b)} \underline{0,32 \text{ A}} \quad \text{c)} \underline{0,48 \text{ A}} \quad \text{d)} \underline{0,6 \text{ A}}$$

$$\text{377. } P = \frac{U^2}{R} = \frac{220^2 \text{ V}^2}{48,4 \Omega} = \underline{1 \text{ kW}}$$

$$\text{378. } R = \frac{\rho l}{A} = \frac{0,0178 \text{ mm}^2 \cdot 200 \text{ m}}{1,5 \text{ mm}^2 \text{ m}} = \underline{2,37 \Omega};$$

$$P_V = I^2 R = \underline{171 \text{ W}}$$

$$\text{379. } P = I^2 R = \underline{313 \text{ mW}}$$

$$\text{380. } I = \frac{P}{U} = \underline{0,5 \text{ A}}$$

$$\text{381. } P = UI = 240 \text{ A} \cdot 25 \text{ V} = \underline{6 \text{ kW}}$$

$$\text{382. } R_1 = \frac{U_q}{I_k} = \underline{0,6 \Omega}; \quad I = \frac{I_k}{2} = \underline{0,4 \text{ A}};$$

$$P = I^2 R_a = \underline{96 \text{ mW}}$$

$$\text{383. } I = \frac{P_L}{U_L}; \quad P_V = \frac{(U - U_L) P_L}{U_L} = \underline{114 \text{ W}}$$

$$\text{384. } P = \frac{(U_q - U_k)^2}{R_1} = \frac{(85 - 78)^2 \text{ V}^2}{1,4 \Omega} = \underline{35 \text{ W}}$$

**385.** Da der Lampenwiderstand größer wird, die Netzspannung aber konstant bleibt, wird die aufgenommene Leistung kleiner.

$$\text{386. a)} \underline{1,320 \text{ kW}}; \quad \underline{2,2 \text{ kW}}; \quad \underline{3,3 \text{ kW}}$$

$$\text{b)} \underline{0,75 \text{ kW}}; \quad \underline{1,25 \text{ kW}}; \quad \underline{1,875 \text{ kW}}$$

$$\text{387. } P = \frac{U^2}{R} = \frac{3000^2 \text{ V}^2}{10^5 \Omega} = \underline{90 \text{ W}};$$

je Widerstand  $\underline{9 \text{ W}}$

$$\text{388. } R = \frac{U^2}{P} = \frac{3000^2 \text{ V}^2}{10 \cdot 2 \text{ W}} = \underline{0,45 \text{ M}\Omega};$$

je Widerstand  $\underline{45 \text{ k}\Omega}$

$$\text{389. a)} \underline{500 \text{ mA}} \quad \text{b)} \underline{158 \text{ mA}} \quad \text{c)} \underline{14 \text{ mA}}$$

$$\text{d)} \underline{3,9 \text{ mA}} \quad \text{e)} \underline{1,4 \text{ mA}} \quad \text{f)} \underline{1,4 \text{ mA}}$$

$$\text{390. a)} \underline{500 \text{ V}} \quad \text{b)} \underline{750 \text{ V}} \quad \text{c)} \underline{1000 \text{ V}}$$

$$\text{d)} \underline{1500 \text{ V}} \quad \text{e)} \underline{5000 \text{ V}}$$

$$\text{391. } R = \frac{0,2 \text{ m} \cdot 1,4 \Omega (1 + 0,0007 \cdot 780)}{\text{m}} =$$

$$= \underline{0,433 \Omega}; \quad P = \underline{94,8 \text{ W}}$$

$$\text{392. } \frac{\Delta P}{P} = \frac{\frac{U^2}{R} - \frac{U'^2}{R}}{\frac{U^2}{R}} = \frac{U^2 - U'^2}{U^2} = \frac{0,045}{R}$$

$$= \underline{4,5\%}$$

$$393. \frac{U_2^2}{R} = 2 \frac{U_1^2}{R}; \quad U_2 = U_1 \sqrt{2} = \underline{1,41} \underline{U_1}$$

$$394. \text{ a) } P_1 = \frac{U^2}{R} = \underline{400 \text{ W}}$$

$$\text{b) } P_2 = \frac{U^2}{2R} = \underline{200 \text{ W}} \quad \text{c) } P_3 = \frac{U^2}{R/2} = \underline{800 \text{ W}}$$

$$395. \quad P_1 = \frac{U^2}{R_1} = \frac{220^2 \text{ V}^2}{40 \Omega} = \underline{1210 \text{ W}};$$

$$P_2 = \frac{U^2}{R_2} = \underline{403 \text{ W}};$$

$$P_3 = \frac{U^2}{R_1 + R_2} = \underline{302,5 \text{ W}};$$

$$P_4 = \frac{U^2}{R_1 R_2} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \underline{1613 \text{ W}}$$

396. Die Widerstände  $\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}, R_1, R_2, (R_1 + R_2)$  bilden die geometrische Reihe  $R_0, xR_0, x^2R_0, x^3R_0$ . Einsetzen der Werte  $xR_0$  bzw.  $x^2R_0$  in die Gleichung  $R_0 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$  ergibt die Gleichung  $x^2 = x + 1$ , wonach  $x = 1,618$  ist. Somit ist

$$P_3 = \frac{P_4}{x} = \frac{1200 \text{ W}}{1,618} = \underline{741,7 \text{ W}};$$

$$P_2 = \frac{P_4}{x^2} = \underline{458,4 \text{ W}}; \quad P_1 = \underline{283,3 \text{ W}};$$

$$R_1 = \frac{U^2}{P_3} = \underline{65 \Omega}; \quad R_2 = \frac{U^2}{P_2} = \underline{106 \Omega}$$

$$397. \quad R'_1 = R_1 + R_2 = \frac{220^2 \text{ V}^2}{121 \text{ W}} = \underline{400 \Omega};$$

$$R'_4 = \frac{220^2 \text{ V}^2}{645,33 \text{ W}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \underline{75 \Omega}$$

Setzt man in diese Gleichung  $R_2 = R'_1 - R_1$  ein, so erhält man  $R_1 = \underline{300 \Omega}$  und  $R_2 = \underline{100 \Omega}$

$$P_2 = \underline{161,3 \text{ W}}; \quad P_3 = \underline{484 \text{ W}}$$

$$398. \text{ Wegen } R_a = \frac{P}{I^2} \text{ ist } I = \frac{U_a}{R_1 + \frac{P}{I^2}};$$

aus dieser quadratischen Gleichung ergibt sich  $I_1 = \underline{39 \text{ A}}; \quad R_{a1} = \underline{0,039 \Omega}; \quad U_{k1} = \underline{1,52 \text{ V}}$

und  $I_2 = \underline{1 \text{ A}}; \quad R_{a2} = \underline{60 \Omega}; \quad U_{k2} = \underline{60 \text{ V}}$

$$399. \quad R = \frac{U^2}{P_1 + P_2} = \underline{302,5 \Omega};$$

$$I = \frac{U}{E} = \underline{0,727 \text{ A}}; \quad P = UI = \underline{160 \text{ W}}$$

$$400. \quad R_g = \frac{U^2}{P_1} - \Delta R; \quad P_g = \frac{U^2}{\frac{U^2}{P_1} - \Delta R};$$

$$P_2 = P_g - P_1 = \underline{100 \text{ W}}$$

$$401. \quad P_1 = UI = \underline{18 \text{ W}}; \quad R_1 = \frac{U}{I};$$

$$R_2 = \frac{U}{E} - R_1 = \frac{U}{E} - \frac{U}{I};$$

$$P_2 = \frac{U^2}{E_2} = \frac{UI'I}{I - I'} = \underline{12 \text{ W}}$$

#### 402. Widerstand einer Lampe

$$R_1 = \frac{U^2}{P_1} = \underline{391 \Omega};$$

ursprünglicher Gesamtwiderstand

$$R_g = \frac{R_1}{85} = \underline{4,6 \Omega}; \quad n = \frac{R_1}{R_g + \Delta R} = \underline{20 \text{ Lampen}}.$$

403. Wird die ursprüngliche Anzahl der Lampen mit  $n$  und die der ausgefallenen mit  $m$  bezeichnet, so ist die verminderte Leistung  $P_g' = (n - m)P_1$  und

$$(n - m) = \frac{3300 \text{ W}}{60 \text{ W}} = \underline{55}; \quad R_g' = \frac{1,4U^2}{nP_1};$$

$$P_g' = \frac{U^2}{R_g'} = \frac{nP_1}{1,4}; \quad n = \frac{1,4P_g'}{P_1} = \underline{77 \text{ Lampen}};$$

$$m = \underline{22 \text{ Lampen}}$$

$$404. \quad R_L = \frac{U_1^2}{P_1} = \frac{125^2 \text{ V}^2}{60 \text{ W}} = \underline{260,4 \Omega};$$

$$R_V = \frac{U_2^2}{P_2} = \frac{220^2 \text{ V}^2}{80 \text{ W}} = \underline{605 \Omega};$$

$$I = \frac{U_2}{R_V + R_L} = \underline{0,254 \text{ A}};$$

$$P_L = I^2 R_L = \underline{16,8 \text{ W}}$$

$$405. \quad I = \frac{P_1 + P_2}{U} = \underline{0,455 \text{ A}};$$

$$R_1 = \frac{P_1}{I^2} = \underline{386 \Omega}; \quad R_2 = \frac{P_2}{I^2} = \underline{97 \Omega}$$

**406.** Durch die beiden Lampen müssen die Ströme fließen

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1} = 1,5 \text{ A} \quad \text{und} \quad I_2 = \frac{P_2}{U_2} = 2 \text{ A} ;$$

durch einen zu  $L_1$  parallel gelegten Widerstand  $R_N$  muß ein Zusatzstrom von  $I_N = 0,5 \text{ A}$  fließen, damit  $L_2$  2 A erhält.  $R_N = \frac{U_1}{I_N} = 8 \Omega$

**407.** (Bild 304) Widerstand der Lampe bei normalem Betrieb  $R_L = \frac{125^2 \text{ V}^2}{40 \text{ W}} = 390,6 \Omega$ ; dieser werde als konstant angenommen. Dann gilt

$$\frac{U_L}{U_V} = \frac{R_L}{R_V} ; \text{ mit } R_V = \frac{U_V^2}{P_V} \text{ und } U_V = U - U_L$$

erhält man die quadratische Gleichung

$U_L(U - U_L) = R_L P_V$  und hieraus die Lösungen  $U_{L1} = 175,5 \text{ V}$  und  $U_{L2} = 44,5 \text{ V}$ ; mit dem Widerstand  $R_L$  ergibt das die Leistungen  $P_{L1} = 78,9 \text{ W}$  oder  $P_{L2} = 5,07 \text{ W}$ ; dies kann mit zwei unterschiedlichen Widerständen  $R_V$  erreicht werden.

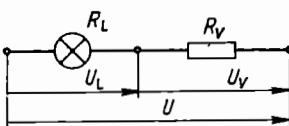


Bild 304.  
Aufgabe 407

**408.** Lampenwiderstand

$$R_L = \frac{U^2}{P_L} = \frac{125^2 \text{ V}^2}{60 \text{ W}} = 260,4 \Omega ;$$

Strom bei 20 W ist  $I = \sqrt{\frac{20 \text{ W}}{260,4 \Omega}} = 0,277 \text{ A} ;$

$$R_V = \frac{U}{I} - R_L = 533,4 \Omega$$

$$409. P_N = (P_N + P_V) \eta = 12,86 \text{ kW} \cdot 0,85 = 10,9 \text{ kW}$$

$$410. \frac{P_N}{P_N + P_V} = \eta ; P_N = \frac{P_V \cdot \eta}{1 - \eta} = 4,6 \text{ kW}$$

$$411. P_N + P_V = \frac{mgh}{t\eta_1\eta_2} = \\ = \frac{12 \cdot 10^6 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m} \cdot 8,5 \text{ m}}{\text{s}^2 \cdot 3 \cdot 6 \cdot 3600 \text{ s} \cdot 0,7 \cdot 0,89} = 24,8 \text{ kW}$$

$$412. \eta = \frac{P_N}{P_N + P_V} = \frac{mgh}{tP_z} = \\ = \frac{4,5 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m} \cdot 9,3 \text{ m}}{\text{s}^2 \cdot 2,5 \cdot 60 \text{ s} \cdot 3,5 \cdot 10^3 \text{ W}} = 0,78$$

$$413. P_N + P_V = \frac{mgh}{t\eta_1\eta_2} ; \frac{m}{t} = \frac{(P_N + P_V) \eta_1 \eta_2}{gh}$$

$$= \frac{15 \cdot 10^9 \text{ W} \cdot 0,65 \cdot 0,92 \text{ s}^2}{9,81 \text{ m} \cdot 140 \text{ m}} = 6,53 \text{ kg/s} = 23,5 \text{ t/h}$$

$$414. \text{ a)} R = \frac{\rho l}{A} =$$

$$= \frac{0,0178 \Omega \text{ mm}^2 \cdot 1000 \text{ m}}{16 \text{ mm}^2 \text{ m}} = 1,11 \Omega ;$$

$$I = \frac{P}{U} = \frac{15000 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 68,2 \text{ A} ;$$

$$P_V = I^2 R = 5,17 \text{ kW}$$

$$\text{b)} 51,7 \text{ W} \quad \text{c)} 827 \text{ W}$$

**415.** Die 3fache Spannung erfordert bei gleicher Leistung nur  $\frac{1}{3}$  der Stromstärke;

$$\text{a)} P_V = \left(\frac{I}{3}\right)^2 R = \frac{I^2 R}{9} = \frac{550 \text{ W}}{9} = 61 \text{ W}$$

$$\text{b)} P_V = \frac{61 \text{ W} \cdot 10 \text{ mm}^2}{4 \text{ mm}^2} = 152,5 \text{ W}$$

$$416. A = \frac{200 l P_e}{\kappa p U_e^2} =$$

$$= \frac{200 \cdot 600 \text{ m} \cdot 30000 \text{ W mm}^2}{5 \cdot 57 \text{ S m} \cdot 418^2 \text{ V}^2} = 72,3 \text{ mm}^2$$

$$417. A = 50,3 \text{ mm}^2 ;$$

$$p = \frac{200 l P_e}{\kappa A U_e^2} =$$

$$= \frac{200 \cdot 2400 \text{ m} \cdot 20000 \text{ W mm}^2}{57 \text{ S m} \cdot 50,3 \text{ mm}^2 \cdot 440^2 \text{ V}^2} = 17,3 \%$$

**418.** Da in der genannten Formel der Querschnitt  $A$  dem spezifischen Widerstand proportional ist, ergibt sich für Aluminium:

$$A = \frac{23 \text{ mm}^2 \cdot 0,029}{0,0178} = 37,5 \text{ mm}^2$$

und ein Durchmesser von  $d = 6,9 \text{ mm}$

$$419. A = \frac{200 l P_e}{\kappa p U_e^2} =$$

$$= \frac{200 \cdot 600 \text{ m} \cdot 20000 \text{ W mm}^2}{0,85 \cdot 57 \text{ S m} \cdot 220^2 \text{ V}^2 \cdot 10} = 102 \text{ mm}^2$$

$$420. \text{ a)} P = \frac{25 \text{ kW}}{0,8} = 31,25 \text{ kW} ;$$

hierzu  $30 \cdot 60 \text{ W} = 1,8 \text{ kW}$ , so daß

$$P_{\text{ges}} = 33,05 \text{ kW} ; \quad p = \frac{200 l P_e}{\kappa A U_e^2} =$$

$$= \frac{200 \cdot 1600 \text{ m} \cdot 33050 \text{ W mm}^2}{57 \text{ Sm} \cdot 28,3 \text{ mm}^2 \cdot 220^2 \text{ V}^2} = \underline{135\%}$$

$$\text{b) } P_V = P_{\text{ges}} p = \underline{44,6 \text{ kW}} \quad \text{c) } P_V = \frac{U_V^2}{R};$$

$$R = \frac{l}{zA} = \frac{3200 \text{ m mm}^2}{57 \text{ Sm} \cdot 28,3 \text{ mm}^2} = 1,98 \Omega;$$

$$U_V = \sqrt{P_V R} = \underline{297 \text{ V}}$$

$$\text{d) } U_a = (U_v + U_V) = \underline{517 \text{ V}}$$

$$\text{421. } P_e = \frac{2 \text{ kW}}{0,8} = 2,5 \text{ kW};$$

$$A = \frac{200 l P_e}{\pi p U_e^2} = \underline{27 \text{ mm}^2}$$

$$\text{422. a) } A = 12,6 \text{ mm}^2; \quad p = \frac{200 l P_{e0}}{A U_e^2} = \\ = \frac{200 \cdot 500 \text{ m} \cdot 3500 \text{ W} \cdot 0,029 \Omega \text{ mm}^2}{12,6 \text{ mm}^2 \cdot 250^2 \text{ V}^2 \text{ m}} = \underline{12,9\%}$$

$$\text{b) } P_V = P_e p = \underline{452 \text{ W}} \quad \text{c) } R = \frac{\rho l}{A} = \\ = \frac{1000 \text{ m} \cdot 0,029 \Omega \text{ mm}^2}{12,6 \text{ mm}^2 \text{ m}} = 2,3 \Omega;$$

$$U_V = \sqrt{P_V R} = 32,2 \text{ V};$$

$$U_a = U_e + U_V = \underline{282,2 \text{ V}}$$

$$\text{423. } A = \frac{200 l P_e}{\pi p U_e^2} = \\ = \frac{200 \cdot 400 \text{ m} \cdot 4500 \text{ W mm}^2}{57 \text{ Sm} \cdot 6 \cdot 110^2 \text{ V}^2} = \underline{87 \text{ mm}^2}$$

$$\text{424. } Pt \cdot 8 \text{ Pf/kWh} = \underline{54 \text{ Pf}}$$

$$\text{425. } P = \frac{W}{t} = \frac{z}{nt} = \frac{1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s}}{1800 \cdot 75 \text{ s}} = \underline{26,7 \text{ W}}$$

$$\text{426. } P = \frac{z}{nt} = \frac{1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} \cdot 25}{1800 \cdot 60 \text{ s}} = \underline{833 \text{ W}}$$

$$\text{427. } P = \frac{z}{nt} = \frac{1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} \cdot 8}{1800 \cdot 300 \text{ s}} = \underline{53,3 \text{ W}}$$

$$\text{428. } \frac{z}{n} \cdot 40 \text{ Pf} = \underline{7 \text{ Pf}}$$

$$\text{429. } W = Pt = (4 \cdot 40 + 2 \cdot 60 + 100) \text{ W} \times \\ \times 5 \cdot 30 \text{ h} = 57 \text{ kWh};$$

$$57 \text{ kWh} \cdot 0,4 \text{ M/kWh} = \underline{22,80 \text{ M}}$$

$$\text{430. } W = Pt = 40 \text{ W} \cdot 30 \text{ h} \cdot 6 = 7,2 \text{ kWh}; \\ \underline{0,58 \text{ M}}$$

$$\text{431. } W = QU \cdot 20 \\ = 60 \text{ Ah} \cdot 1,8 \text{ V} \cdot 20 = \underline{2,16 \text{ kWh}}$$

$$\text{432. } W = UIt;$$

$$n = \frac{z}{W} = \frac{z}{UIt} = \underline{17291/\text{kWh}}$$

$$\text{433. } P = \frac{z}{nt}; \quad I = \frac{P}{U} = \frac{z}{ntU} = \underline{13,8 \text{ A}}$$

#### 434. Verrichtete Arbeit

$$W_1 = 115 \text{ V} \cdot 19,8 \text{ A} \cdot 245,6 \text{ s} = 559 \text{ kW s}; \\ \text{angezeigte Arbeit}$$

$$W_2 = \frac{3600 \text{ kW s} \cdot 150}{900} = 600 \text{ kW s};$$

Fehler 41 kW s;

$$\text{d. s. } \frac{41 \text{ kW s} \cdot 100 \%}{600 \text{ kW s}} = \underline{6,8 \%} \text{ zuviel.}$$

$$\text{435. } Q = mc(\vartheta_2 - \vartheta_1) = \\ = \frac{4,19 \text{ kJ} (100 - 12) \text{ K} \cdot 5 \text{ kg}}{\text{kg K}} = 1844 \text{ kJ} = \\ = \frac{1844}{3600} \text{ kWh} = 0,51 \text{ kWh};$$

$$0,51 \text{ kWh} \cdot 40 \text{ Pf/kWh} = \underline{20 \text{ Pf}}$$

$$\text{436. } m = \frac{Q}{c(\vartheta_2 - \vartheta_1)} = \\ = \frac{15 \cdot 3600 \text{ kJ kg K}}{4,19 \text{ kJ} (80 - 15) \text{ K}} = \underline{198 \text{ kg}}$$

$$\text{437. } 0,360 \cdot 3600 \text{ kJ} = \underline{1296 \text{ kJ}}$$

$$\text{438. } Q = mc\Delta\vartheta = \frac{10^7 \text{ kg} \cdot 4,19 \text{ kJ} \cdot 2 \text{ K}}{\text{kg K}} = \\ = 8,38 \cdot 10^7 \text{ kJ} = \underline{23,3 \text{ MWh}}$$

$$\text{439. } W = 1000 \text{ W} \cdot 0,25 \text{ h} \cdot 0,7 = 0,175 \text{ kWh};$$

$$m = \frac{Q}{c\Delta t} = \frac{0,175 \cdot 3600 \text{ kJ kg K}}{4,19 \text{ kJ} \cdot 82 \text{ K}} = \underline{1,83 \text{ kg}}$$

$$\text{440. } t = \frac{W}{P\eta} = \frac{cm(\vartheta_2 - \vartheta_1)}{P\eta} = \\ = \frac{4,19 \text{ kJ} \cdot 5 \text{ kg} \cdot 85 \text{ K}}{\text{kg K} \cdot 800 \text{ W} \cdot 0,75} = 2968 \text{ s} = \underline{49,5 \text{ min}}$$

$$\text{441. } P = \frac{cm(\vartheta_2 - \vartheta_1)}{t\eta} = \\ = \frac{4,19 \text{ kJ} \cdot 300 \text{ kg} \cdot 90 \text{ K}}{\text{kg K} \cdot 2 \cdot 3600 \text{ s} \cdot 0,85} = \underline{18,5 \text{ kW}}$$

$$442. P_1 = \frac{W}{t} = \frac{U_1^2}{R}; \quad P_2 = \frac{W}{t + \Delta t} = \frac{U_2^2}{R};$$

dividiert man beide Gleichungen, so ergibt sich

$$t = \frac{\Delta t U_2^2}{U_1^2 - U_2^2} = \underline{791 \text{ s}}$$

$$t = \frac{\Delta t U_2^2}{U_1^2 - U_2^2} = \underline{791 \text{ s}}$$

$$443. m = \frac{Pt\eta}{c(\vartheta_2 - \vartheta_1)} =$$

$$= \frac{2,4 \text{ kW} \cdot 3600 \text{ s} \cdot 0,9 \text{ kg K}}{4,19 \text{ kJ} \cdot 50 \text{ K}} = \underline{37,1 \text{ kg}}$$

$$444. W = \frac{cm(\vartheta_2 - \vartheta_1)}{\eta} =$$

$$= \frac{4,19 \text{ kJ} \cdot 150 \text{ kg} \cdot 28 \text{ K}}{\text{kg K} \cdot 0,8} =$$

$$= 22000 \text{ kJ} = 6,1 \text{ kWh}; 6,1 \cdot 40 \text{ Pf} = \underline{2,44 \text{ M}}$$

$$445. W = I^2 R t$$

$$= \frac{6^2 A^2 \cdot 0,0178 \Omega \text{ mm}^2 \cdot 200 \text{ m} \cdot 3600 \text{ s}}{1 \text{ mm}^2 \text{ m}} = \underline{461 \text{ kJ}}$$

$$446. W = \frac{U^2 t \eta}{R}; \quad R = \frac{U^2 t \eta}{W} =$$

$$= \frac{220^2 \text{ V}^2 \cdot 900 \text{ s} \cdot 0,78 \text{ kg K}}{2 \text{ kg} \cdot 88 \text{ K} \cdot 4,19 \text{ kJ}} = \underline{46,1 \Omega}$$

$$447. W = UIt = 110 \text{ V} \cdot 5 \text{ A} \cdot 3600 \text{ s} = \underline{1980 \text{ kJ}}$$

$$448. P = \frac{cm(\vartheta_2 - \vartheta_1)}{t\eta} =$$

$$= \frac{4,19 \text{ kJ} \cdot 120 \text{ kg} \cdot 73 \text{ K}}{\text{kg K} \cdot 5400 \text{ s} \cdot 0,9} = \underline{7,55 \text{ kW}}$$

$$449. R_g = 2,62 \Omega; \quad I = \sqrt{\frac{P}{R_g}} = 5,53 \text{ A};$$

Zweigströme:  $I_1 = 3,62 \text{ A}$ ;  $I_2 = 1,91 \text{ A}$ ;

$I_3 = 0,38 \text{ A}$ ;  $I_4 = 1,52 \text{ A}$ ;  $P_1 = \underline{52,5 \text{ W}}$ ;

$P_2 = \underline{21,8 \text{ W}}$ ;  $P_3 = \underline{4,6 \text{ W}}$ ;  $P_4 = \underline{1,1 \text{ W}}$

$$450. \frac{P_1}{P_2} = \frac{I_1^2 R_1}{I_2^2 R_2}; \quad \text{mit} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

$$\text{wird daraus} \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{P_2}{P_1}$$

$$451. R_a = \frac{U_k^2}{P_a} = \underline{1,40 \Omega};$$

$$R_1 = \frac{U_q}{I} - R_a = \frac{U_k}{P_a} (U_q - U_k) = \underline{0,048 \Omega};$$

$$I = \frac{P_a}{U_k} = \underline{41,4 \text{ A}}$$

$$452. R_a = \frac{P_a}{I^2} = \underline{3,06 \Omega};$$

$$R_1 = \frac{U_q}{I} - R_a = \underline{0,15 \Omega};$$

$$U_k = U_q - IR_1 = \underline{4,29 \text{ V}}$$

453. Durch Dividieren der Gleichungen

$$I^2(R_1 + R_a) = P_1 + P_a \text{ und } I(R_1 + R_a) = U_q$$

$$\text{erhält man} \quad I = \frac{P_1 + P_a}{U_q} = \underline{11 \text{ A}};$$

$$R_1 = \frac{P_1}{I^2} = \underline{0,083 \Omega}; \quad R_a = \underline{0,83 \Omega};$$

$$U_k = U_q - IR_1 = 10 \text{ V} - 0,91 \text{ V} = \underline{9,09 \text{ V}}$$

$$454. \text{ Aus} \quad I_1^2 R_1 = I_2^2 R_2 \quad \text{und} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{2R_1}$$

folgt  $4R_1 = R_2$ ; für die ganze Schaltung gilt

$$\frac{P}{I^2} = \frac{2R_1 + 4R_1}{2R_1 + 4R_1} = \frac{4}{3} R_1; \quad \text{damit wird}$$

$$R_1 = \frac{3P}{4I^2} = \underline{3 \frac{3}{8} \Omega} \quad \text{und} \quad R_2 = 4R_1 = \underline{13 \frac{1}{2} \Omega}$$

$$455. \text{ Nach Aufgabe 450 ist} \quad P_2 = \frac{P_1 R_1}{R_2};$$

$$P_1 + P_2 = P_1 \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right);$$

$$I^2 = \frac{P_1 \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}};$$

$$P_3 = I^2 R_3 = \frac{P_1 (R_1 + R_2)^2 R_3}{R_1 R_2^2} = \underline{61,25 \text{ W}}$$

$$456. I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 = I_3^2 R_3; \quad \text{mit}$$

$$I_2 = \frac{I_1 R_1}{R_2 + R_3} \quad \text{entsteht die Gleichung}$$

$$I_1^2 R_1 + \frac{I_1^2 R_1^2 R_2}{(R_2 + R_3)^2} = \frac{I_1^2 R_1^2 R_3}{(R_2 + R_3)^2} \quad \text{und daraus}$$

$$R_1 = \frac{(R_2 + R_3)^2}{R_3 - R_2} = \underline{90 \Omega}$$

$$457. \text{ Einsetzen von} \quad I_2 = \frac{I_1 R_1}{R_2 + R_3 + R_4} \quad \text{in die Gleichung} \quad I_3^2 R_3 = I_1^2 R_1 \quad \text{ergibt}$$

$$\frac{I_1^2 R_1^2 R_3}{(R_2 + R_3 + R_4)^2} = I_1^2 R_1 ; \text{ hieraus folgt}$$

$$R_2 = R_4 = \frac{\sqrt{R_1 R_3} - R_3}{2} = 1,5 \Omega$$

$$458. P = \frac{U^2}{R_1} + \frac{U^2}{R_2 + R_3 + R_4} =$$

$$= 2 \left( \frac{U^2}{R_3} + \frac{U^2}{R_1 + R_2 + R_4} \right);$$

$$R_1 = \frac{2 R_2 R_3}{4 R_2 + R_3} = 1,54 \Omega$$

$$459. I_4 = I_3 \frac{R_3}{R_4} = 3,2 \text{ mA}; \quad I_1 = 4,32 \text{ mA};$$

$$I_2 = 2,88 \text{ mA}; \quad I = 7,2 \text{ mA};$$

$$P_1 = I_1^2 R_1 = 187 \text{ mW}; \quad P_2 = 124 \text{ mW};$$

$$P_3 = 320 \text{ mW};$$

$$P_4 = 256 \text{ mW}; \quad P_g = 887 \text{ mW}$$

$$460. R_g = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3} + R_4 + \\ + R_5 = (1,67 + 1,50) \text{ k}\Omega = 3,17 \Omega;$$

$$U = \sqrt{R_g P} = 39,8 \text{ V}; \quad U:U_1 = R_g:R_{1,2,3},$$

$$U_1 = 20,9 \text{ V};$$

$$U_2 = U - U_1 = 18,9 \text{ V}; \quad U_4 = 6,3 \text{ V};$$

$$U_5 = 12,6 \text{ V};$$

$$P_1 = \frac{U_1^2}{R_1} = 146 \text{ mW}; \quad P_2 = 73 \text{ mW};$$

$$P_3 = 44 \text{ mW}; \quad P_4 = 79 \text{ mW};$$

$$P_5 = 158 \text{ mW}$$

$$461. R_g = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3} + R_4 = \\ = (2,35 + 1,50) \text{ k}\Omega = 3,85 \text{ k}\Omega;$$

$$U_1 = I_2 R_2 = 32 \text{ V}; \quad U_1:U = R_{1,2,3}:R_g;$$

$$U = 52,4 \text{ V};$$

$$P = \frac{U^2}{R_g} = 0,71 \text{ W}$$

$$462. I = \frac{U_q}{R_1 + R_g} = \frac{U_q}{R_1 + \frac{P_g}{I^2}};$$

$$I = \frac{U_q}{2R_1} \pm \sqrt{\left(\frac{U_q}{2R_1}\right)^2 - \frac{P_g}{R_1}} = 10,74 \text{ A bzw. } 1,86 \text{ A}$$

$$\text{b)} R_{a1} = \frac{P_a}{I^2} = 0,087 \Omega \quad \text{bzw.} \quad R_{a2} = 2,89 \Omega$$

c) Da der Radikand nicht negativ werden darf, ist im Grenzfall

$$\frac{P_{a\max}}{R_1} = \left(\frac{U_q}{2R_1}\right)^2,$$

$$\text{woraus} \quad P_{a\max} = \frac{U_q^2}{4R_1} = 19,85 \text{ W} \quad \text{folgt.}$$

$$\text{d)} \quad R_a = \frac{P_{a\max}}{I^2} = \frac{4U_q^2 R_1^2}{4R_1 U_q^2} = R_1 = 0,5 \Omega$$

$$463. \text{ a)} \text{ Mit} \quad I = \frac{U_q}{R_1 + R_a} \quad \text{ist vor dem Ab-}$$

$$\text{schalten} \quad R_a = \frac{R}{2} = \frac{P}{I^2} = \frac{P\left(R_1 + \frac{R}{2}\right)^2}{U_q^2};$$

nach dem Abschalten ist

$$R'_a = R = \frac{P(R_1 + R)^2}{U_q^2}$$

Dividieren der Gleichungen ergibt

$$\frac{1}{2} = \frac{\left(R_1 + \frac{R}{2}\right)^2}{R_1 + R} \quad \text{und daraus} \quad R = R_1 \sqrt{2}$$

$$\text{b)} P = I^2 R = \frac{U_q^2 \sqrt{2}}{R_1 (1 + \sqrt{2})^2}$$

$$\text{c)} I_{\text{vorh}} = \frac{2U_q}{R_1 (2 + \sqrt{2})};$$

$$I_{\text{nachh}} = \frac{U_q}{R_1 (1 + \sqrt{2})}$$

$$464. \text{ a)} l = \pi \frac{d_1 + d_2}{2} = 17,3 \text{ cm};$$

$$H = \frac{IN}{l} = \frac{1,5 \text{ A} \cdot 300}{0,173 \text{ m}} = 2601 \text{ A/m}$$

$$\text{b)} B = \mu_0 H = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Vs/A} \cdot 2601 \text{ A/m} \\ = 0,00327 \text{ T}$$

$$\text{c)} \Phi = BA = \frac{0,00327 \text{ Wb/m}^2 \cdot 0,58^2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \pi}{4} \\ = 8,6 \cdot 10^{-8} \text{ Wb}$$

$$465. \text{ a)} l = \pi \frac{d_1 + d_2}{2} = 13 \text{ cm};$$

$$H = \frac{IN}{l} = 1477 \text{ A/m}$$

$$\text{b) } B = \mu_0 H = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Vs/A m} \cdot 1477 \text{ A/m} = 0,00186 \text{ T}$$

$$\text{c) } \Phi = BA = 0,00186 \text{ Wb/m}^2 \cdot 0,173 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 3,2 \cdot 10^{-8} \text{ Wb}$$

$$\text{466. a) } l = 17,6 \text{ cm; } H = 1491 \text{ A/m}$$

$$\text{b) } B = 0,00187 \text{ T}$$

$$\text{c) } A = 1,039 \text{ cm}^2; \Phi = 19,4 \cdot 10^{-8} \text{ Wb}$$

$$\text{467. a) Innerer Kreisumfang} = 267 \text{ mm}; \\ 267 : 1,6 = 167 \text{ Windungen}$$

$$\text{b) } l = 32,2 \text{ cm; } H = \frac{IN}{l} = 1141 \text{ A/m}$$

$$\text{c) } B = \mu_0 H = 0,00143 \text{ T} \quad \text{d) } \Phi = 41 \cdot 10^{-8} \text{ Wb}$$

$$\text{468. } I = \frac{\Phi l}{A \mu_0 N} =$$

$$= \frac{65 \cdot 10^{-8} \text{ Vs} \cdot 0,35 \text{ m A m}}{3,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Vs} \cdot 250} = 2,07 \text{ A}$$

$$\text{469. } IN = \frac{\Phi l}{A \mu_0} =$$

$$= \frac{8,2 \cdot 10^{-7} \text{ Vs} \cdot 0,42 \text{ m A m}}{2,85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Vs}} = 962 \text{ A}$$

$$\text{470. } N = \frac{Bl}{\mu_0 I} = \frac{6,5 \cdot 10^{-4} \text{ Vs Am} \cdot 0,285 \text{ m}}{1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Vs} \cdot 0,2 \text{ A}} = \\ = 737 \text{ Windungen}$$

471. Da bei gleicher Stromstärke der Fluß der Windungszahl proportional ist, gilt:

$$8,6 : 300 = 6 : N; N = \frac{1800}{8,6} = 209 \text{ Windungen}$$

$$\text{472. a) } H = \frac{IN}{l} = 1643 \text{ A/m} \quad \text{b) } B = 0,00207 \text{ T}$$

$$\text{c) } A = 4,91 \text{ cm}^2; \Phi = BA = 101 \cdot 10^{-8} \text{ Wb}$$

$$\text{473. a) } B = \frac{\mu_0 IN}{l} = 0,000628 \text{ T}$$

$$\text{b) } A = 0,342 \text{ cm}^2; \Phi = BA = 2,15 \cdot 10^{-8} \text{ Wb}$$

474. Bei gleicher Windungszahl und Spulenlänge bleibt die Induktion die gleiche, weshalb der Fluß dem Querschnitt proportional ist.

Neuer Querschnitt

$$A = \frac{0,342 \cdot 3}{2,15} \text{ cm}^2 = 0,477 \text{ cm}^2;$$

$$d = (7,8 - 0,1) \text{ mm} = 7,7 \text{ mm}$$

$$\text{475. Windungszahl } N = \frac{l}{1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}};$$

$$\Phi = \frac{\pi d^2 \mu_0 I l}{4l \cdot 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}};$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 300 \cdot 10^{-8} \text{ Vs Am}}{\pi \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Vs} \cdot 2 \text{ A}}} = \\ = 0,0427 \text{ m}$$

Die Länge der Spule muß wenigstens  $l = 5d = 22 \text{ cm}$  sein, wenn der Fehler nicht größer als 2 % sein soll.

$$\text{476. a) } H = \frac{IN}{l} = \frac{0,12 \text{ A} \cdot 15}{0,01 \text{ m}} = 180 \text{ A/m};$$

$$B = 0,000226 \text{ T}$$

$$\text{b) } A = 7,07 \text{ cm}^2; \Phi = 16 \cdot 10^{-8} \text{ Wb}$$

$$\text{477. } A = 4,9 \text{ cm}^2;$$

$$\frac{N}{l} = \frac{\Phi}{\mu_0 A I} =$$

$$= \frac{18 \cdot 10^{-8} \text{ Vs Am}}{1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Vs} \cdot 4,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 1,4 \text{ A}} = \\ = 209 \text{ Windungen je Meter}$$

$$\text{478. } l = \frac{\mu_0 A I N}{\Phi} =$$

$$= \frac{1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Vs} \cdot 5,12 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 2,5 \text{ A} \cdot 350}{\text{Am} \cdot 75 \cdot 10^{-8} \text{ Vs}} = \\ = 0,75 \text{ m}$$

$$\text{479. } \frac{\pi \mu_0 d_2^2 I N_2}{4l} = \frac{\pi \mu_0 d_1^2 I N_1}{4l}; \quad d_2^2 N_2 = d_1^2 N_1;$$

$$d_2 = d_1 \sqrt{\frac{N_1}{N_2}} = 2,2 \text{ cm}$$

$$\text{480. } \frac{\pi \mu_0 d_2^2 I N}{4l \cdot 2} = \frac{\pi \mu_0 \cdot 1,2 d_1^2 I N}{4l}; \quad d_2^2 = 2,4 d_1^2;$$

$$d_2 = 3,87 \text{ cm}$$

$$\text{481. a) } |\mathbf{H}| = \frac{I}{2\pi r} = 11,1 \text{ A/m}$$

$$\text{b) } |\mathbf{H}| = 5,6 \text{ A/m} \quad \text{c) } |\mathbf{H}| = 3,1 \text{ A/m}$$

$$\text{482. a) } |\mathbf{B}| = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = 7,5 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

b)  $|\mathbf{B}| = \underline{1,88 \cdot 10^{-5} \text{ T}}$

c)  $|\mathbf{B}| = \underline{1,25 \cdot 10^{-5} \text{ T}}$

483.

a)

b)

$|\mathbf{H}|$  in A/m

1790

2515

$|\mathbf{B}|$  in T

$22,5 \cdot 10^{-4}$

$31,6 \cdot 10^{-4}$

c)

d)

$|\mathbf{H}|$  in A/m

3157

3183

$|\mathbf{B}|$  in T

$39,7 \cdot 10^{-4}$

$40 \cdot 10^{-4}$

484. (Bild 305)

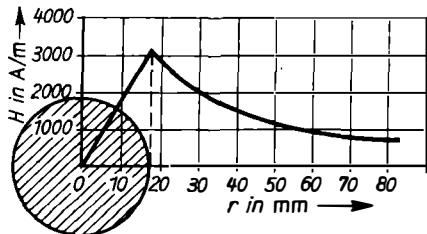


Bild 305. Aufgabe 484

485. Da die von beiden Leitern erzeugten Feldstärken in den Punkten A, B, C, die gleiche Richtung haben, sind ihre Werte jeweils zu addieren.

Punkt A)  $\mathbf{H}_1 = \frac{2I}{2\pi r} = \underline{45,5 \text{ A/m}}$ ;

Punkt B)  $|\mathbf{H}| = \frac{I}{2\pi r_1} + \frac{I}{2\pi r_2} = \frac{25 \text{ A}}{2\pi \cdot 0,05 \text{ m}} +$

$+ \frac{25 \text{ A}}{2\pi \cdot 0,3 \text{ m}} = \underline{92,8 \text{ A/m}}$ ;

Punkt C)  $|\mathbf{H}| = \frac{I}{2\pi r_1} + \frac{I}{2\pi r_2} = \frac{25 \text{ A}}{2\pi \cdot 0,1 \text{ m}} +$

$+ \frac{25 \text{ A}}{2\pi \cdot 0,25 \text{ m}} = \underline{55,7 \text{ A/m}}$

486. Die Feldrichtungen sind jeweils entgegengesetzt, so daß die Teilbeträge zu subtrahieren sind.

Punkt A)  $|\mathbf{H}| = \frac{I}{2\pi r_1} - \frac{I}{2\pi r_2} = \frac{18 \text{ A}}{2\pi \cdot 0,05 \text{ m}} -$   
 $- \frac{18 \text{ A}}{2\pi \cdot 0,4 \text{ m}} = \underline{50,1 \text{ A/m}}$ ;

Punkt B)  $|\mathbf{H}| = \underline{20,5 \text{ A/m}}$ ; C)  $|\mathbf{H}| = \underline{9,5 \text{ A/m}}$

487. (Bild 306)

Punkt A)  $|\mathbf{H}_1| = |\mathbf{H}_2| = \frac{I}{2\pi r} = \frac{15 \text{ A}}{2\pi \cdot 0,15\sqrt{2} \text{ m}} ;$

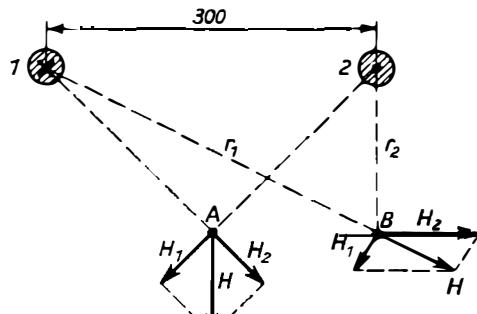


Bild 306. Aufgabe 487 (Maße in mm)

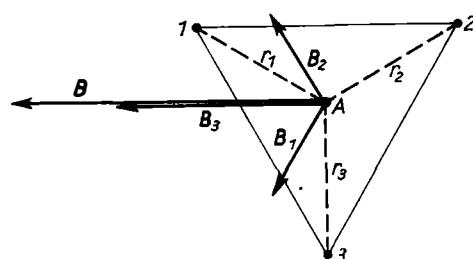


Bild 307. Aufgabe 488, Punkt A

$|\mathbf{H}| = |\mathbf{H}_1| \sqrt{2} = \underline{15,9 \text{ A/m}}$ ;

Punkt B)  $r_1 = \sqrt{900 + 225} \text{ cm} = 33,5 \text{ cm};$   
 $r_2 = 15 \text{ cm};$

$|\mathbf{H}_1| = \frac{15 \text{ A}}{2\pi \cdot 0,335 \text{ m}} = 7,13 \text{ A/m}; |\mathbf{H}_2| = 15,9 \text{ A/m}.$

Grafisch findet man hieraus  $|\mathbf{H}| = \underline{14 \text{ A/m}}$

488. Punkt A) (Bild 307)

$r_1 = r_2 = r_3 = \frac{35}{5}\sqrt{3} \text{ cm} = 20,2 \text{ cm};$

$|\mathbf{B}_1| = |\mathbf{B}_2| = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = 3,96 \cdot 10^{-5} \text{ T};$

$|\mathbf{B}_3| = 7,92 \cdot 10^{-5} \text{ T};$

$|\mathbf{B}| = |\mathbf{B}_3| + \frac{2|\mathbf{B}_1|}{2} = \underline{11,88 \cdot 10^{-5} \text{ T}}$ ;

Punkt B) (Bild 308)  $r_1 = r_3 = 17,5 \text{ cm};$   
 $r_2 = 30,3 \text{ cm};$

$|\mathbf{B}_1| = 4,57 \cdot 10^{-5} \text{ T}; |\mathbf{B}_3| = 9,14 \cdot 10^{-5} \text{ T};$

$|\mathbf{B}_2| = 2,64 \cdot 10^{-5} \text{ T};$

$|\mathbf{B}| = \underline{1,4 \cdot 10^{-4} \text{ T}}$ ;

Punkt C) (Bild 309)  $r_1 = 30,3 \text{ cm};$

$r_2 = 46,3 \text{ cm}; r_3 = 17,5 \text{ cm};$

$|\mathbf{B}_1| = 2,64 \cdot 10^{-5} \text{ T}; |\mathbf{B}_2| = 1,73 \cdot 10^{-5} \text{ T};$

$|\mathbf{B}_3| = 9,14 \cdot 10^{-5} \text{ T};$

$|\mathbf{B}| = \underline{8,6 \cdot 10^{-5} \text{ T}}$ ;

Punkt D) (Bild 310)  $r_1 = r_2 = 35 \text{ cm};$

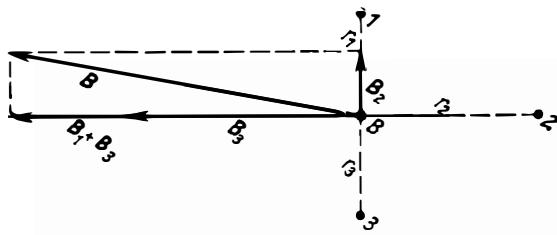


Bild 308. Aufgabe 488, Punkt B

$$\begin{aligned} |\mathbf{B}_3| &= |\mathbf{B}_4| = 2,02 \cdot 10^{-5} \text{ T}; \\ |\mathbf{B}| &= (1,3 + 6,4) \cdot 10^{-5} \text{ T} = 7,7 \cdot 10^{-5} \text{ T}; \\ \text{Punkt } B) \text{ (Bild 313)} \quad &|\mathbf{B}_2| = |\mathbf{B}_4| = 4,52 \cdot 10^{-5} \text{ T}; \\ |\mathbf{B}_1| &= |\mathbf{B}_3| = 2,02 \cdot 10^{-5} \text{ T}; \\ |\mathbf{B}_1 + \mathbf{B}_3| &= 3,83 \cdot 10^{-5} \text{ T}; \\ |\mathbf{B}_2 + \mathbf{B}_4| &= 6,4 \cdot 10^{-5} \text{ T}; \\ |\mathbf{B}| &= (6,4 - 3,83) \cdot 10^{-5} \text{ T} = 2,57 \cdot 10^{-5} \text{ T}; \end{aligned}$$

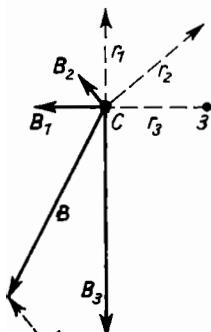


Bild 309. Aufgabe 488, Punkt C

$$\begin{aligned} r_3 &= 0; \quad |\mathbf{B}_1| = |\mathbf{B}_2| = 2,29 \cdot 10^{-5} \text{ T} \\ |\mathbf{B}| &= \underline{3,96 \cdot 10^{-5} \text{ T}} \end{aligned}$$

**489.** (Punkt A)  $|\mathbf{B}| = (4 + 4 - 1,33 + 0,8) \times 10^{-5} \text{ T} = 7,47 \cdot 10^{-5} \text{ T}$  (nach unten);

Punkt B)  $|\mathbf{B}| = (8 - 2,66) \cdot 10^{-5} \text{ T} = 5,34 \cdot 10^{-5} \text{ T}$  (nach oben);

Punkt C)  $|\mathbf{B}| = \underline{7,47 \cdot 10^{-5} \text{ T}}$  (nach unten)

**490.** Bild 311

**491.** (Punkt A) (Bild 312)  $r_1 = r_2 = 3,54 \text{ cm}$ ;  
 $r_3 = r_4 = 7,9 \text{ cm}$ ;  
 $|\mathbf{B}_1| = |\mathbf{B}_2| = 4,52 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ ;

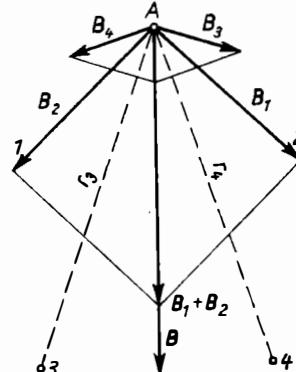


Bild 310. Aufgabe 488, Punkt D

Bild 312. Aufgabe 491, Punkt A

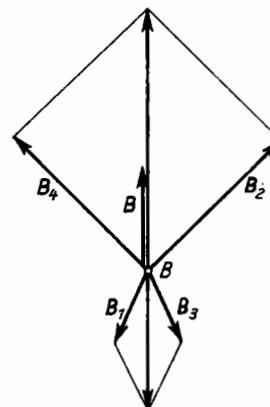


Bild 313. Aufgabe 491, Punkt B

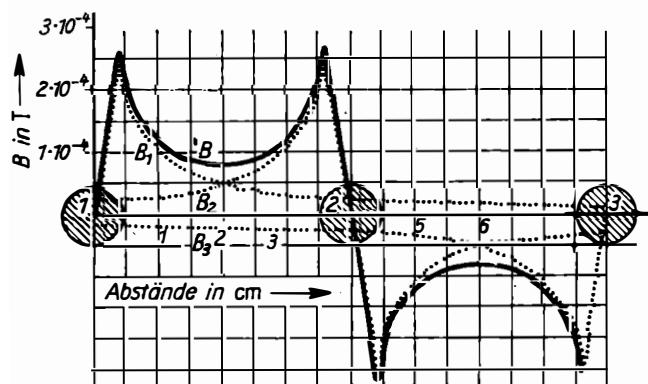


Bild 311. Aufgabe 490

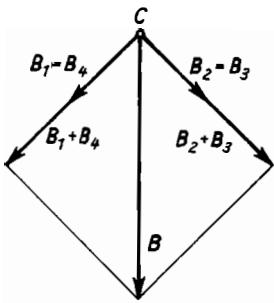


Bild 314. Aufgabe 491, Punkt C

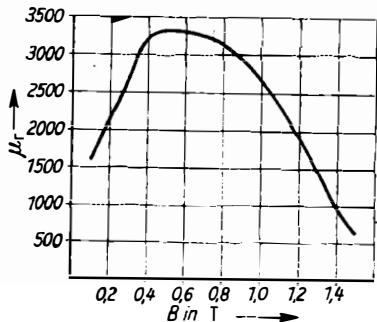


Bild 315. Aufgabe 497

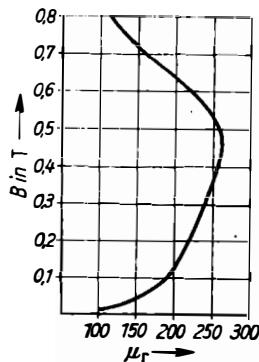


Bild 316. Aufgabe 498

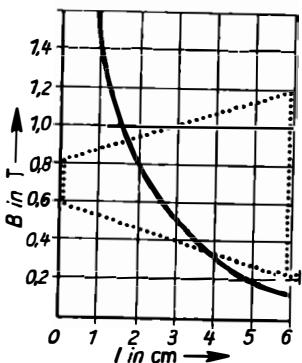


Bild 317.  
Aufgabe 503

Punkt C) (Bild 314)

$$|\mathbf{B}_1| = |\mathbf{B}_2| = |\mathbf{B}_3| = |\mathbf{B}_4| = 4,52 \cdot 10^{-4} \text{ T}; \\ |\mathbf{B}| = \underline{1,28 \cdot 10^{-4} \text{ T}}$$

Aus den Magnetisierungskurven (Bild 167) liest man ab (ungefähre Werte):

492. a) 2000 A/m b) 500 A/m c) 140 A/m  
d) 75 A/m e) 225 A/m f) 540 A/m

493. a) 0,02 T b) 0,05 T c) 0,47 T  
d) 1,08 T e) 1,15 T f) 0,3 T

494. a) 25 A/m b) 550 A/m c) 7200 A/m  
d) 170000 A/m

495. a) 100 A/m;  $\mu_r = \underline{3182}$  b) 200 A/m;  
c) 2750 A/m; 448 d) 14000 A/m;  
e) 210000 A/m; 8,71

496. a)  $\mu_r = \frac{B}{\mu_0 H} = \underline{212}$  b) 255 c) 253 d) 51

497. Bild 315

498. Bild 316

499. a)  $\Phi = BA = 5 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$

b) 1,353 \cdot 10^{-3} \text{ Wb} c) 2,2 \cdot 10^{-6} \text{ Wb}  
d) 2,38 \cdot 10^{-6} \text{ Wb} e) 1,389 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}

500. a)  $B = \mu_0 \mu_r H = 17,6 \cdot 10^{-6} \text{ T}$

b) 40,2 \cdot 10^{-6} \text{ T} c) 180 \cdot 10^{-6} \text{ T}  
d) 9,65 \cdot 10^{-6} \text{ T} e) 84,5 \cdot 10^{-6} \text{ T}

501. a)  $\Phi = Ak_{Fe} \mu_0 \mu_r H = 19 \cdot 10^{-8} \text{ Wb}$

b) 139 \cdot 10^{-8} \text{ Wb} c) 130 \cdot 10^{-8} \text{ Wb}  
d) 334 \cdot 10^{-8} \text{ Wb} e) 914 \cdot 10^{-8} \text{ Wb}

502. a)  $B = \frac{\Phi}{A} = \frac{2 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}}{12,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = \underline{0,159 \text{ T}}$   
b) B = 3,98 \text{ T}

503. Bild 317

504.  $\Phi_s = BA\sigma = 5,64 \cdot 10^{-5} \text{ Wb};$   
 $\Phi_n = BA = 37,62 \cdot 10^{-5} \text{ Wb};$   
 $\Phi = \Phi_s + \Phi_n = \underline{43,26 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}}$

505.  $\Phi_n + \sigma \Phi_n = \Phi; \quad \Phi_n = \frac{\Phi}{1 + \sigma} =$   
 $= 9,643 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}; \quad B = \underline{0,546 \text{ T}}$

506. a)  $\Phi_n + \sigma \Phi_n = \Phi; \quad \Phi_n = \frac{\Phi}{1 + \sigma} =$

$$= \underline{1,42 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}} \\ \text{b)} \Phi_\sigma = \Phi - \Phi_n = \underline{3,3 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}}$$

$$507. \Phi_\sigma = \Phi - \Phi_n; \quad \sigma = \frac{\Phi - B_n A}{B_n A} = \underline{0,10}$$

$$508. \text{ Ringfläche } A = \pi \cdot 2,3 \text{ cm} \cdot 0,8 \text{ cm} \\ = 5,78 \text{ cm}^2; \quad \Phi_n = B_n A; \\ \Phi = B_n A (1 + \sigma) = \underline{4,985 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}}$$

$$509. B = \frac{1,5\Phi}{\pi d m h} = \frac{\Phi}{\pi x h}; \quad x = \underline{1,87 \text{ cm}}$$

$$510. \sigma_1 = \frac{\Phi_1}{B_{n1} A_1} - 1; \quad \Delta\sigma = \frac{\Phi_1}{B_{n1} A_1} - \\ - \frac{\Phi_1}{B_{n2} A_2} = 1,20 - 1,06 = 0,14 = \underline{14\%}$$

511. a) Mittlerer, von den Feldlinien durchsetzter Querschnitt im Luftspalt

$$A' = \frac{\pi \cdot 1,35 \text{ cm} \cdot 0,5 \text{ cm}}{2} = 1,06 \text{ cm}^2;$$

$$\Phi = \frac{B_n A'}{0,4} = \underline{4,72 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}}$$

$$\text{b)} \Phi_\sigma = 0,6\Phi = \underline{2,83 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}}$$

$$\text{c)} B = \frac{\Phi}{A} = \frac{4,72 \cdot 10^{-5} \text{ Vs}}{0,75 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = \underline{0,63 \text{ T}}$$

512. a) Fläche des Luftspaltes

$$A = 4,8 \text{ cm} \times 2,4 \text{ cm} = 11,5 \text{ cm}^2; \\ \Phi = \Phi_n (1 + \sigma) = B_n A (1 + \sigma) = \underline{2,053 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}}$$

$$\text{b)} B = \frac{\Phi}{A'} = \frac{2,053 \cdot 10^{-4} \text{ Vs}}{5,76 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = \underline{0,356 \text{ T}}$$

513.  $H$  (lt. Magn.-Kurve) = 5300 A/m;

$$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 H} = 120;$$

$$R_m = \frac{\pi d}{\mu_0 \mu_r A} = \frac{\pi d H}{BA} = \\ = \frac{\pi \cdot 0,85 \text{ m} \cdot 5300 \text{ Am}^2}{\text{m} \cdot 0,8 \text{ Vs} \cdot 4,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} \\ = \underline{3,69 \cdot 10^{11} \text{ H}}$$

$$514. R_{mE} = \frac{(\pi d - \delta) H}{BA} = \\ = \frac{(\pi \cdot 0,085 - 0,001) \text{ m} \cdot 5300 \text{ Am}^2}{\text{m} \cdot 0,8 \text{ Vs} \cdot 4,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = \\ = \underline{3,67 \cdot 10^{11} \text{ H}};$$

$$R_{mL} = \frac{\delta}{\mu_0 \mu_r A} = \\ = \frac{0,001 \text{ m}}{1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Vs/A m} \cdot 4,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = \\ = \underline{1,66 \cdot 10^{11} \text{ H}};$$

$$R_m \text{ insgesamt: } \underline{5,33 \cdot 10^{11} \text{ H}}$$

$$515. \text{ a)} R_m = \frac{\delta}{\mu_0 \mu_r A} = \\ = \frac{0,005 \text{ m}}{1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Vs/A m} \cdot 8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = \underline{4,97 \cdot 10^{11} \text{ H}}$$

$$\text{b)} A = \frac{1}{R_m} = \frac{1 \text{ Vs}}{4,97 \cdot 10^{11} \text{ A}} = \underline{2,01 \cdot 10^{-7} \text{ H}}$$

$$516. \text{ a)} R_m = \frac{\pi d}{\mu_0 \mu_r A} = \frac{\pi d H}{\Phi} = \\ = \underline{3,4 \cdot 10^{11} \text{ H}} \text{ (mit } H = 6500 \text{ A/m)}$$

$$\text{b)} \Theta = \Phi R_m = \underline{5100 \text{ A}} \quad \text{c)} I = \frac{\Theta}{N} = \underline{10,2 \text{ A}}$$

$$517. \Theta = \frac{\Phi \delta}{\mu_0 \mu_r A} = \underline{891 \text{ A}}$$

$$518. \text{ Mit } R_m = \frac{\Theta}{\Phi} \text{ wird } l = \frac{\Theta \mu_0 \mu_r A}{\Phi} = \underline{1,39 \text{ mm}}$$

519.  $\Theta = \Phi R_m$ ; zusätzliche Stromstärke

$$I = \frac{\Theta}{N} = \frac{\Phi l}{N \mu_0 \mu_r A} = \underline{1,95 \text{ A}}$$

$$520. \Phi_1 (R_{mE1} + R_{mL}) = \Phi_2 R_{mE2}; \\ \text{mit } \mu_r = 460 \text{ bei } 1,54 \text{ T ist vorher}$$

$$R_{mE1} = \frac{l}{\mu_0 \mu_r A} = \underline{1,24 \cdot 10^{11} \text{ H}};$$

$$\text{mit } \mu_r = 204 \text{ bei } 1,67 \text{ T ist nachher} \\ R_{mE2} = \underline{2,8 \cdot 10^{11} \text{ H}};$$

diese Werte, in obige Gleichung eingesetzt, ergeben  $R_{mL} = \underline{1,79 \cdot 10^{11} \text{ H}}$ ;

$$l = R_{mL} \mu_0 \mu_r A = \underline{0,9 \text{ mm}}$$

$$521. \text{ a)} \Phi = \frac{\Theta}{R_m} = \underline{1,8 \cdot 10^{-1} \text{ Wb}}$$

$$\text{b)} \Phi = \underline{1 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}} \quad \text{c)} \Phi = \underline{3,7 \cdot 10^{-6} \text{ Wb}}$$

$$522. \text{ a)} A = \frac{\mu_0 A}{l} =$$

$$= \frac{1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Vs/A m} \cdot 4,91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{0,35 \text{ m}} = \\ = \underline{1,76 \cdot 10^{-9} \text{ H}}$$

b)  $1,73 \cdot 10^{-9} \text{ H}$  c)  $1,82 \cdot 10^{-9} \text{ H}$

523. a)  $I = \frac{\Phi R_m}{N} = \frac{1,5 \cdot 10^{-5} \text{ Vs} \cdot 12 \cdot 10^6 \text{ A}}{2300 \text{ Vs}} = 0,0783 \text{ A}$  b)  $I = 0,626 \text{ A}$  c)  $1,565 \text{ A}$

524.  $\mu_r = 2500$ ;  $B = \mu_0 \mu_r H = 2,20 \text{ T}$

525. Die Gleichung für die magnetischen Widerstände ergibt:

$$\frac{4l}{\mu_0 \mu_r d^2 (1+x)^2} = \frac{4 \cdot 0,8l}{\mu_0 \mu d^2}; \quad x = 12\%$$

526.  $\Theta = \Phi R_{mL} = \frac{BA\Delta l}{\mu_0 \mu A} = \Delta IN$ ;

$$\Delta I = \frac{B\Delta l}{\mu_0 \mu_r N} = 0,632 \text{ A} \quad \text{zusätzlich.}$$

527. Die magnetischen Widerstände verhalten sich umgekehrt wie die zugehörigen Permeabilitätszahlen, so daß  $\frac{\mu_{r1}}{\mu_{r2}}$  das gesuchte Verhältnis ist. Zu den Feldstärken 2800 A/m bzw. 18000 A/m gehören lt. Kurve die Induktionen 0,65 T bzw. 1,15 T. Hiernach berechnen sich die Permeabilitätszahlen

$$\mu_{r1} = \frac{0,65 \text{ Vs/m}^2}{1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Vs/Am} \cdot 2800 \text{ A/m}} = 185 \text{ bzw.}$$

$$\mu_{r2} = 50,8; \quad \frac{185}{50,8} = 3,64, \quad \text{d. h.,}$$

der magnetische Widerstand steigt auf das 3,64fache des ursprünglichen Wertes.

528. a)  $l = (2 \cdot 14 + 2 \cdot 8) \text{ cm} = 44 \text{ cm}$ ;

$$H = \frac{IN}{l} = 264 \text{ A/m}$$

b)  $B$  (lt. Magn.-Kurve) =  $0,87 \text{ T}$

529.  $H_E$  (lt. Magn.-Kurve) =  $264 \text{ A/m}$ ;

$$H_L = \frac{B}{\mu_0} = 6,92 \cdot 10^5 \text{ A/m};$$

$$l_E = 0,436 \text{ m}; \quad l_L = 0,004 \text{ m};$$

$$I = \frac{H_E l_E + H_L l_L}{N} = 4,97 \text{ A}$$

530. a)  $H$  (lt. Magn.-Kurve) =  $15200 \text{ A/m}$ ;  
 $\Sigma Hl = (4 \cdot 0,06 + 4 \sqrt{8 \cdot 10^{-4}}) \text{ m} \cdot 14500 \text{ A/m} = 5120 \text{ A}$

b) An den Ecken ist der vom Kraftfluß durchsetzte Querschnitt größer als in den übrigen Teilen, so daß dort die Induktion geringer sein muß.

531.  $\delta \approx \frac{\mu_0 \mu_r I N}{B} = 2,5 \text{ mm}$

$$(\mu_r = 1)$$

532. Induktion in den dicken Teilen

$$B_1 = \frac{\Phi}{A_1} = 0,283 \text{ T};$$

Induktion in den dünnen Teilen

$$B_2 = \frac{\Phi}{A_2} = 0,637 \text{ T};$$

$$H_1 \text{ (lt. Magn.-Kurve)} = 950 \text{ A/m};$$

$$H_2 \text{ (lt. Magn.-Kurve)} = 2600 \text{ A/m};$$

$$\Sigma Hl = 0,235 \text{ m} (950 + 2600) \text{ A/m} = 834 \text{ A}$$

533.  $Hl_{AB} = Hl_{CD} = 0,118 \text{ m} \cdot 950 \text{ A/m} = 112 \text{ A};$

$$Hl_{BC} = Hl_{DA} = 306 \text{ A}$$

534. a)  $H = 11000 \text{ A/m}$ ;

$$Hl = 11000 \text{ A/m} \cdot 0,25 \text{ m} = 2750 \text{ A}$$

b)  $Hl = 11000 \text{ A/m} \cdot 0,045 \text{ m} = 495 \text{ A}$

c)  $Hl = 11000 \text{ A/m} \cdot 0,382 \text{ m} = 4202 \text{ A}$

535.  $B = \frac{\Phi}{A} = 0,914 \text{ T},$

$$H = 8000 \text{ A/m}; \quad Hl = 640 \text{ A}$$

536.  $B_1 = \frac{\Phi}{A_1} = 0,875 \text{ T};$

$$B_2 = 1,750 \text{ T}; \quad H_1 = 230 \text{ A/m};$$

$$H_2 = 11000 \text{ A/m}; \quad l_1 = 0,28 \text{ m}; \quad l_2 = 0,04 \text{ m};$$

$$\Theta = H_1 l_1 + H_2 l_2 = 504 \text{ A}$$

537.	Teil	$A$ in $\text{m}^2$	$B = \frac{\Phi}{A}$ in T	$H$ in A/m	$l$ in m	$V = Hl$ in A
	a	$1 \cdot 10^{-4}$	0,5	100	0,0385	3,85
	b	$0,8 \cdot 10^{-4}$	0,625	140	0,0225	3,15
	c	$0,5 \cdot 10^{-4}$	1,0	350	0,061	21,35
	Luftspalt	$1 \cdot 10^{-4}$	0,5	398000	0,0001	39,80
					$\Theta = \Sigma Hl = 68,15 \text{ A}$	

538.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
	Teil	$A$ brutto in $\text{m}^2$	$A$ netto in $\text{m}^2$	$\Phi$ in Wb	$B = \Phi/A$ in T	$H$ in A/m	$l$ in m	$V = Hl$ in A
	$a - a$		$0,636 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-5}$	0,47	110	$2 \cdot 0,063$	13,9
	$b - b$		$0,27 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-5}$	1,11	390	$2 \cdot 0,075$	58,5
			<u><math>I = 52 \text{ mA}</math></u>				$\Theta = \sum Hl = 72,4 \text{ A}$	

539.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
	Teil	$A$ brutto in $\text{m}^2$	$A$ netto in $\text{m}^2$	$\Phi$ in Wb	$B = \Phi/A$ in T	$H$ in A/m	$l$ in m	$V = Hl$ in A
	Luftspalt	$0,9 \cdot 10^{-4}$	$0,9 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4} \cdot 0,9$ $= 1,08 \cdot 10^{-4}$	1,2	$9,55 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^{-4}$	477,5
	Eisenteile	$0,9 \cdot 10^{-4}$	$0,855 \cdot 10^{-4}$	$1,08 \cdot 10^{-4}$	1,263	620	$2 \cdot 0,03 +$ $2 \cdot 0,021$ $= 0,102$	63,2
							$\Theta = \sum Hl = 540,7 \text{ A}$	

540.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
	Eisen	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-4} \cdot 0,85$ $= 2,30 \cdot 10^{-4}$	$3,68 \cdot 10^{-4}$	1,6	3 800	0,155	589
	Luftspalt	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$3,68 \cdot 10^{-4}$	1,363	$1,084 \cdot 10^6$	0,001	1 084
							$\Theta = \sum Hl = 1673 \text{ A}$	

541.  $H = \frac{\Theta}{l_E} = \frac{1673 \text{ A}}{0,155 \text{ m}} = 10794 \text{ A/m}; B = 1,75 \text{ T}$

542.  $l_E = (2 \cdot 0,056 + 2 \cdot 0,0425) \text{ m} = 0,197 \text{ m}; A_E = (1,45 \cdot 3,5) \text{ cm}^2 \cdot 0,85 = 4,3 \text{ cm}^2;$

$H = \frac{\Theta}{l_E} = 7614 \text{ A/m}; B = 1,69 \text{ T}; \Phi = BA_E = 7,267 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$

543.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
	Eisen (Kernhälfte)	$5,07 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-4}$	2,09	49000	0,197	9653
	Luftspalt	$5,07 \cdot 10^{-4}$	$5,07 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-4}$	1,775	$1,413 \cdot 10^6$	0,002	2826
							$\sum Hl = 12479 \text{ A}$	

544. (Bild 318)

545.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
	Luftspalt	$1,28 \cdot 10^{-4}$	$1,28 \cdot 10^{-4}$	$1,05 \cdot 10^{-4}$	0,82	652350	0,0016	1044
	Joch	$1,28 \cdot 10^{-4}$	$1,09 \cdot 10^{-4}$	$1,155 \cdot 10^{-4}$	1,06	420	0,072	30,2
	Anker		$1,09 \cdot 10^{-4}$	$1,05 \cdot 10^{-4}$	0,9633	330	0,024	7,9
							$\sum Hl = 1082,1 \text{ A}$	

546.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
	$Luftspalt$	$1,28 \cdot 10^{-4}$	$1,28 \cdot 10^{-4}$	$1,05 \cdot 10^{-4}$	0,82	652350	0,0002	130,5
	Eisen	$1,28 \cdot 10^{-4}$	$1,09 \cdot 10^{-4}$	$1,05 \cdot 10^{-4}$	0,9633	330	0,096	31,7

$$\Sigma Hl = 162,2 \text{ A}$$

#### 547. Eisenweg

$$l_E = (2 \cdot 0,042 + 2 \cdot 0,042) \text{ m} = 0,168 \text{ m};$$

$$548. H = \frac{B}{\mu_0} = 159110 \text{ A/m};$$

$$\delta = 0,3 \text{ cm}; H\delta = 477 \text{ A}$$

549. Eisenweg  $l_E = (2 \cdot 2,75 + 2 \cdot 5) \text{ cm} = 15,5 \text{ cm}; H = 60 \text{ A/m}; Hl_E = 9,3 \text{ A}; \Sigma Hl = 486,3 \text{ A}$ . Das Näherungsresultat ist um 1,9 % zu klein.

#### 551. (Bild 319)

B in T	$H_E$ in A/m	$H_L$ in A/m	$V_E$ in A	$V_L$ in A	$\Theta$ in A
0,3	75	239000	12	717	729
0,6	140	478000	22	1434	1456
:	:	:	:	:	:
2,1	50000	1671000	7750	5013	12763

#### 552. Näherungsrechnung:

$$H = \frac{B}{\mu_0} = 517100 \text{ A/m}; H\delta = 1551,3 \text{ A};$$

Eisen:  $H = 150 \text{ A/m}; Hl = 150 \text{ A/m} \cdot 0,155 \text{ m} = 23,25 \text{ A}; \Sigma Hl = 1574,55 \text{ A}; \text{Fehler} = 1,5 \%$

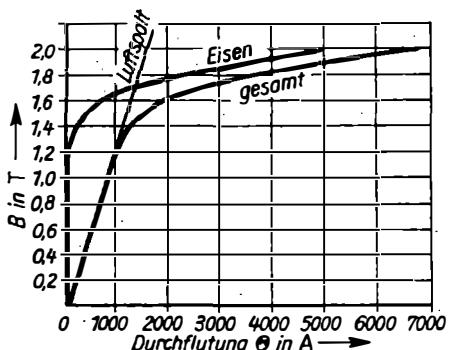


Bild 318. Aufgabe 544

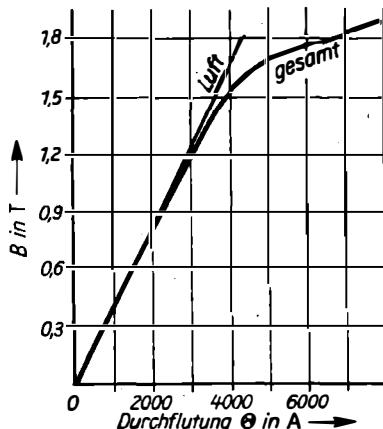


Bild 319. Aufgabe 551

553. Aus  $\frac{H_L \cdot 0,3}{H_E \cdot 15,5 + H_L \cdot 0,3} = \frac{1}{1,1}$  sowie  $H_L = \frac{B}{\mu_0}$  findet man  $H_E = 1540 B$ ; auf der Magnetisierungskurve für Stahlguß sucht man denjenigen Punkt auf, wo der Zahlenwert der Feldstärke das 1540fache von dem der Induktion beträgt, und findet etwa  $B = 1,52 \text{ T}$ ;  $H_E = 2340 \text{ A/m}$

**554.** (Bild 320)

$B$ in T	$H_E$ in A/m	$H_L$ in A/m	$V_E$ in A	$V_L$ in A	$\Theta$ in A
0,2	750	159110	116	477	593
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1,2	22000	954650	3410	2864	6274

<b>555.</b>	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Teil	$A$ in $\text{cm}^2$	$\Phi$ in Wb	$B = \Phi/A$ in T	$H$ in A/m	$l$ in cm	$Hl$ in A	
Luftspalt	112	$8,4 \cdot 10^{-3}$	0,75	596660	0,4	2387	
Pole	72	$9,24 \cdot 10^{-3}$	1,28	680	$2 \cdot 9 = 18$	122	
Stoßfugen	72	$9,24 \cdot 10^{-3}$	1,28	1018300	0,02	204	
Gehäuse	28	$4,62 \cdot 10^{-3}$	1,65	5700	$\frac{36\pi}{4} - 3 = 25,27$	1440	
Anker	43,2	$4,2 \cdot 10^{-3}$	0,97	280	$\frac{13,6\pi}{4} - 3 + 4 = 11,7$	33	
Für je 2 Pole zusammen $\Sigma Hl = 4186$ A							

**556.** (Bild 321)

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Anker	$3,8 \cdot 13,2 = 50,2$	$5,5 \cdot 10^{-3}$ je Hälfte	1,096	375	$l_{\text{ef}} = 14,17$	53
Luftspalt	$\frac{12,9\pi}{4} \cdot 15 = 152$	$11 \cdot 10^{-3}$	0,7237	575740	0,6	3454
Pole	135	$11 \cdot 10^{-3}$ $+ 1,65 \cdot 10^{-3}$	0,937	8500	$2l_{\text{cd}} = 28,8$	2448
Rahmen	100	$6,325 \cdot 10^{-3}$	0,6325	2600	$l_{\text{abc}} = 70$ $\Theta = \sum Hl = 7775$ A	1820

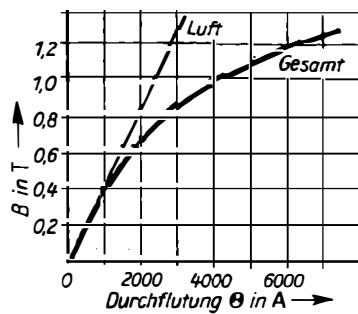


Bild 320. Aufgabe 554

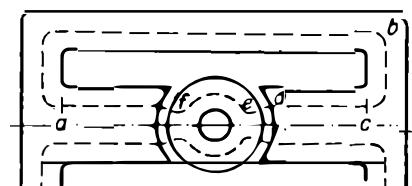


Bild 321. Aufgabe 556

557.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
	Teil	$A$ in $\text{cm}^2$	$\Phi$ in Wb	$B$ in T	$H$ in A/m	$l$ in cm	$Hl$ in A
	Luftspalt	$1,1 \cdot 1,9\pi \cdot 0,5 = 3,28$	$3,28 \cdot 10^{-4}$	1,0	795540	0,1	796
	Deckel	$\frac{(2+8)\pi \cdot 0,5}{3} = 5,23$	$,28 \cdot 10^{-4}$	0,627	150	2,8	4
	Mantel	$3,15\pi \cdot 0,3 = 2,97$	$3,28 \cdot 10^{-4}$	1,104	380	5	19
	Boden	$\frac{(1,8+6)\pi \cdot 0,3}{3} = 2,45$	$3,28 \cdot 10^{-4}$	1,34	900	2,1	19
	Kern	2,54	$3,28 \cdot 10^{-4}$	1,291	700	5,6	39
						$\Theta = \sum Hl = 877 \text{ A}$	

558.	Teil	$A$ in $\text{cm}^2$	$\Phi$ in Wb	$B$ in T	$H$ in A/m	$l$ in cm	$Hl$ in A
	Luftspalt	$\frac{1,9\pi \cdot 0,5}{2} = 1,49$	$1,192 \cdot 10^{-4}$	0,8	636440	0,1	636
	Deckel	1,25	$1,192 \cdot 10^{-4}$	0,954	280	2,5	7
	Mantel	$\frac{6,5\pi \cdot 0,5 \cdot 75}{360} = 2,13$	$1,192 \cdot 10^{-4}$	0,56	130	7	9
	Boden	1,5	$1,192 \cdot 10^{-4}$	0,795	200	3	6
	Kern	1,275	$1,192 \cdot 10^{-4}$	0,935	270	8	22
						$\Sigma Hl + 15\% = 782 \text{ A}$	

559.  $IN = 500 \cdot 2,4 \text{ A} = 1200 \text{ A}$ ;

$$B_0 = \frac{\mu_0 IN}{\delta} = 3,0 \text{ T};$$

$$H_0 = \frac{IN}{l} = 5000 \text{ A/m}$$

a) Der Schnittpunkt der Luftspaltgeraden mit der Magnetisierungskurve (Bild 322,  $P_1$ ) liefert  $B_E = 1,53 \text{ T}$ .

b) Abszisse dieses Schnittpunktes ist  $H_E = 2500 \text{ A/m}$ ;  $H_E l_E = 600 \text{ A}$

c)  $H_{L\delta} = (1200 - 600) \text{ A} = 600 \text{ A}$

560. a)  $H_0 = \frac{\Theta}{l} = 2500 \text{ A/m}$ ;

$$B_0 = \frac{\mu_0 IN}{\delta} = 1,51 \text{ T}; \quad H_E = 500 \text{ A/m};$$

$B_E = 1,2 \text{ T}$  (Bild 322,  $P_2$ )

b)  $H_0 = \frac{\Theta}{l} = 3330 \text{ A/m}$ ;

$$B_0 = \frac{\mu_0 IN}{\delta} = 2,01 \text{ T}; \quad H_E = 1000 \text{ A/m};$$

$B_E = 1,39 \text{ T}$  (Bild 322,  $P_3$ )

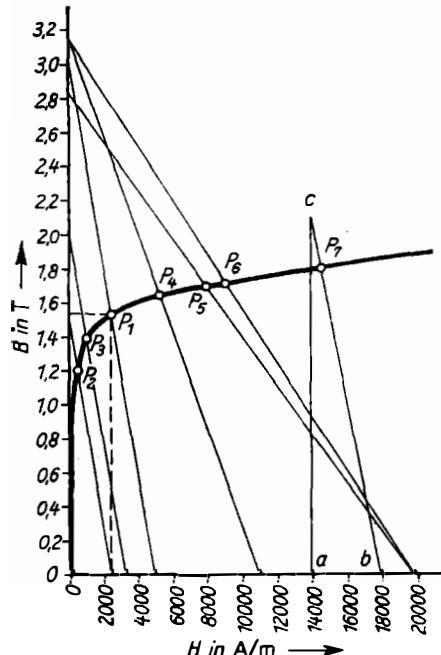


Bild 322. Aufgaben 559 bis 565

561.  $B_0 = 3,14 \text{ T}$ ;  $H_0 = 11100 \text{ A/m}$ ;

$$B_E = 1,64 \text{ T} \text{ (Bild 322, P}_4\text{)}$$

562.  $H_0 = \frac{\Theta}{l} = 20000 \text{ A/m}$ ; man legt durch den Punkt  $P_5$  (Bild 322) für 1,7 T der Magnetisierungskurve und den Abszissenpunkt für 20000 A/m eine Gerade und findet als Ordinatenabschnitt  $B_0 = 2,83 \text{ T}$ ;

$$\delta = \frac{\mu_0 IN}{B_0} = 3,11 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$563. B_0 = \frac{\mu_0 IN}{\delta} = 3,14 \text{ T};$$

$$H_0 = 20000 \text{ A/m} \text{ (wie vorhin);}$$

$$B_E = 1,72 \text{ T} \text{ (Bild 322, P}_6\text{)}$$

564.  $B_0 = 1,57 \text{ T}$ ;  $H_0 = 10000 \text{ A/m}$ ;

$$B_E = 1,39 \text{ T}$$

565. Bildet man das Verhältnis  $\frac{H_0}{B_0}$ , so erhält man

$$\frac{IN\delta}{\mu_0 l IN} = \frac{\delta}{1,257 \text{ Vs/Am} \cdot 10^{-6} l} = \frac{\text{Am}}{527,9 \cdot 10^{-6} \text{ Vs}}$$

damit ist die Neigung der Luftspaltgeraden gegeben. Man zeichnet hierzu das Dreieck abc (Bild 322), dessen Basis man mit 4000 A/m willkürlich annehmen kann und dessen Höhe sich dann zu  $4000 \cdot 527,9 \cdot 10^{-6} \text{ Vs je m}^2 = 2,11 \text{ T}$  ergibt. Die Seite bc legt man dabei so, daß sie durch den Punkt  $P_7$  der Magnetisierungskurve geht, für den  $B_E = 1,81 \text{ T}$  ist. Sie schneidet die Abszisse bei  $H_0 = 18000 \text{ A/m}$ . Damit wird  $IN = H_0 l = 7560 \text{ A}$ .

566.  $l = 19,7 \text{ cm}$ ;  $\delta = 2 \text{ mm}$ ;

$$\frac{H_0}{B_0} = \frac{0,002 \text{ Am}}{1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 0,197 \text{ Vs}} = \frac{\text{Am}}{123,8 \cdot 10^{-6} \text{ Vs}}$$

Dreieck abc (Bild 323) zur Konstruktion der Luftspaltgeraden mit der Grundlinie 10000 A/m und der Höhe 1,238 T

567. (Bild 323)  $l = 19,7 \text{ cm}$ ;

a)  $H = \frac{\Theta}{l} = 17770 \text{ A/m}$ ;  $B = 1,63 \text{ T}$

b)  $H = 12700 \text{ A/m}$ ;  $B = 1,4 \text{ T}$

c)  $H = 4310 \text{ A/m}$ ;  $B = 0,52 \text{ T}$

568.  $l = 15,5 \text{ cm}$  (Bild 324)

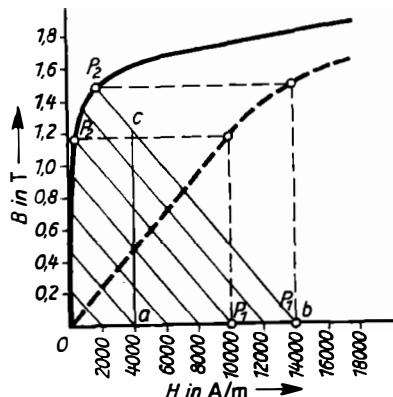


Bild 323. Aufgaben 566 und 567

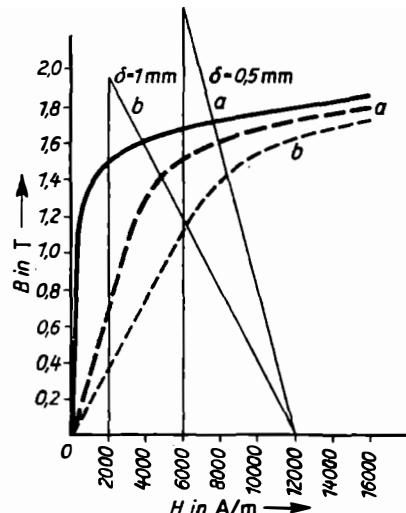


Bild 324. Aufgaben 568 und 569

a)  $\frac{H_0}{B_0} = \frac{\delta}{\mu_0 l} = \frac{\text{Am}}{390 \cdot 10^{-6} \text{ Vs}}$

b)  $\frac{\delta}{\mu_0 l} = \frac{\text{Am}}{194,8 \cdot 10^{-6} \text{ Vs}}$

569. (Bild 324)

$A = (2 \cdot 2,7) \text{ cm}^2 \cdot 0,85 = 4,6 \text{ cm}^2$ ;  $l = 15,5 \text{ cm}$ ;

a)  $H = 16130 \text{ A/m}$  b)  $H = 9680 \text{ A/m}$

c)  $H = 3230 \text{ A/m}$

0,5 mm: a)  $B = 1,75 \text{ T}$ ;  $\Phi = 8,05 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$

b)  $B = 1,5 \text{ T}$ ;  $\Phi = 6,9 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$

c)  $B = 1,1 \text{ T}$ ;  $\Phi = 5,1 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$

- 1 mm : a)  $B = 1,7 \text{ T}$ ;  $\Phi = 7,8 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$   
 b)  $B = 1,5 \text{ T}$ ;  $\Phi = 6,9 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$   
 c)  $B = 0,6 \text{ T}$ ;  $\Phi = 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$

570. (Bild 325)  $\delta = 0,5 \text{ mm}$ :

$$\frac{H_0}{B_0} = \frac{\delta}{\mu_0 l} = \frac{\text{Am}}{754 \cdot 10^{-6} \text{ Vs}};$$

$$\delta = 1 \text{ mm}; \quad \frac{H_0}{B_0} = \frac{\text{Am}}{377 \cdot 10^{-6} \text{ Vs}} \quad \text{usw.}$$

Damit ergeben sich für die einzelnen Luftspaltbreiten die Induktionen (Bild 326)

$\delta \text{ in mm}$	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
$B \text{ in T}$	1,69	1,65	1,59	1,5	1,17
$\delta \text{ in mm}$	4,0	5,0	6,0	8,0	
$B \text{ in T}$	0,9	0,71	0,59	0,45	

571. (Bild 327) Die magnetischen Spannungen der beiden Zweige II und III sind einander gleich, so daß  $H_2 l_2 = H_3 l_3$ .

$$\text{Man geht von } H_2 \text{ aus: } B_2 = \frac{\Phi_2}{A} = 1,25 \text{ T};$$

$$H_2 = 600 \text{ A/m}; l_2 = 16 \text{ cm}; l_3 = 56 \text{ cm};$$

$$H_3 = \frac{H_2 l_2}{l_3} = 171,4 \text{ A/m}; \quad B_3 = 0,7 \text{ T};$$

$$\Phi_3 = B_3 A = 11,2 \cdot 10^{-4} \text{ Wb};$$

$$\Phi_1 = \Phi_2 + \Phi_3 = 31,2 \cdot 10^{-4} \text{ Wb};$$

$$B_1 = \frac{\Phi_1}{A} = 1,95 \text{ T};$$

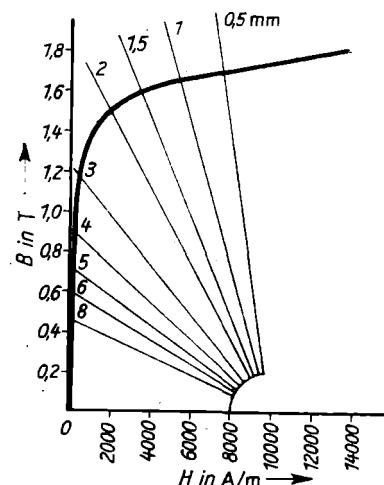


Bild 325. Aufgabe 570

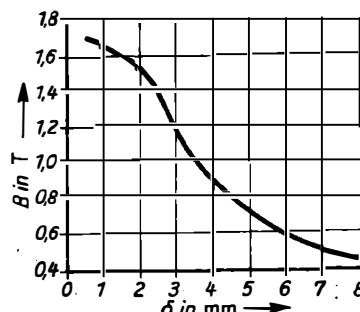


Bild 326. Aufgabe 570

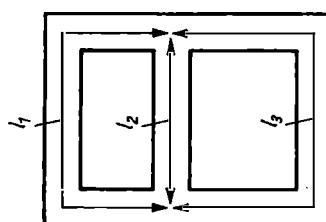


Bild 327. Aufgaben 571 bis 575

$H_1 = 26000 \text{ A/m}; l_1 = 40 \text{ cm}$ ; die MMK ist ferner gleich der Summe der magnetischen Spannungen  $\Theta = H_1 l_1 + H_2 l_2 = 10496 \text{ A}$

$$572. \quad \Phi_3 = B_3 A = 12,8 \cdot 10^{-4} \text{ Wb};$$

$$H_3 = 200 \text{ A/m}; \quad H_2 = \frac{H_3 l_3}{l_2} = 700 \text{ A/m};$$

$$B_2 = 1,25 \text{ T}; \quad \Phi_2 = B_2 A = 20,64 \cdot 10^{-4} \text{ Wb};$$

$$\Phi_1 = \Phi_2 + \Phi_3 = 33,44 \cdot 10^{-4} \text{ Wb};$$

$$B_1 = \frac{\Phi_1}{A} = 2,09 \text{ T}; \quad H_1 = 48000 \text{ A/m};$$

$$\Theta = H_1 l_1 + H_2 l_2 = 19312 \text{ A}$$

$$573. \quad B_2 = 1,25 \text{ T}; \quad H_2 = 600 \text{ A/m};$$

$$l_2 = 16 \text{ cm}; \quad l_3 = 56 \text{ cm}; \quad \Theta_3 = 200 \text{ A};$$

$$H_3 = \frac{\Theta_3 - H_2 l_2}{l_3} = 186 \text{ A/m}; \quad B_3 = 0,76 \text{ T};$$

$$\Phi_3 = B_3 A = 12,16 \cdot 10^{-4} \text{ Wb};$$

$$\Phi_1 = \Phi_2 - \Phi_3 = 7,84 \cdot 10^{-4} \text{ Wb};$$

$$B_1 = 0,49 \text{ T}; \quad H_1 = 110 \text{ A/m}; \quad H_1 l_1 = 44 \text{ A};$$

$$\Theta_1 = H_1 l_1 + H_2 l_2 = 140 \text{ A}$$

$$574. \quad B_2 = \frac{\Phi_2}{A} = 0,94 \text{ T}; \quad H_2 = 270 \text{ A/m};$$

$$H_1 = \frac{H_2 l_2}{l_1} = 108 \text{ A/m} ; \quad B_1 = 0,46 \text{ T} ;$$

$$\Phi_1 = B_1 A = 7,36 \cdot 10^{-4} \text{ Wb} ;$$

$$\Phi_3 = \Phi_2 + \Phi_1 = 22,36 \cdot 10^{-4} \text{ Wb} ;$$

$$B_3 = \frac{\Phi_3}{A} = 1,4 \text{ T} ; \quad H_3 = 1170 \text{ A/m} ;$$

$$\Theta_3 = H_3 l_3 + H_2 l_2 = 698 \text{ A}$$

$$575. \quad B_2 = \frac{\Phi_2}{A} = 0,94 \text{ T} ;$$

$$H_2 = 270 \text{ A/m} ; \quad H_2 l_2 = 43,2 \text{ A} ;$$

$$\Phi_3 = \Phi_2 - \Phi_1 = 6 \cdot 10^{-4} \text{ Wb} ;$$

$$B_3 = \frac{\Phi_3}{A} = 0,38 \text{ T} ; \quad H_3 = 90 \text{ A/m} ;$$

$$\Theta_2 = H_2 l_2 + H_3 l_3 = 93,6 \text{ A}$$

$$576. \quad \text{a) } l_E = 52 \text{ cm} ; \quad \Phi = BA = 3 \cdot 10^{-4} \text{ Wb} ;$$

$$H_E = 180 \text{ A/m} ; \quad H_E l_E = 93,6 \text{ A} ;$$

$$H_L = \frac{B}{\mu_0} = 596700 \text{ A/m} ; \quad H_L l_L = 298,4 \text{ A} ;$$

$$\Sigma Hl = 392 \text{ A}$$

$$\text{b) } l_1 = 40 \text{ cm} ; \quad l_2 = 12 \text{ cm} ;$$

$$l_3 = 18,85 \text{ cm} ; \quad \Phi_2 = B_2 A = 3 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

Die magnetischen Spannungen zwischen den Verzweigungspunkten A und B sind  $H_2 l_2 = H_3 l_3$ ; nach a) ist  $H_2 l_2 = H_E l_E + H_L l_L = 320 \text{ A}$ ;

$$H_3 = \frac{H_2 l_2}{l_3} = 1700 \text{ A/m} ; \quad B_3 = 1,47 \text{ T} ;$$

$$\Phi_3 = 0,735 \cdot 10^{-4} \text{ Wb} ;$$

$$\Phi_1 = \Phi_2 + \Phi_3 = 3,735 \cdot 10^{-4} \text{ Wb} ;$$

$$B_1 = \frac{\Phi_1}{A} = 0,934 \text{ T} ; \quad H_1 = 260 \text{ A/m} ;$$

$$H_1 l_1 = 104 \text{ A} ; \quad \Theta = H_1 l_1 + H_2 l_2 = 424 \text{ A}$$

$$577. \quad B_3 = \frac{\Phi}{A} = 1 \text{ T} ; \quad H_3 = 300 \text{ A/m} ;$$

$$l_2 = 10 \text{ cm} ; \quad l_1 = l_3 = 26 \text{ cm} ;$$

$$H_2 = \frac{H_3 l_3}{l_2} = 780 \text{ A/m} ; \quad B_2 = 1,32 \text{ T} ;$$

$$\Phi_2 = B_2 A = 2,64 \cdot 10^{-4} \text{ T} ;$$

$$\Phi_1 = \Phi_2 + \Phi_3 = 6,64 \cdot 10^{-4} \text{ Wb} ;$$

$$B_1 = \frac{\Phi_1}{A_1} = 1,66 \text{ T} ; \quad H_1 = 6000 \text{ A/m} ;$$

$$\Theta = H_1 l_1 + H_2 l_2 = 1638 \text{ A} ; \quad I = \frac{\Theta}{N} = \underline{2,05 \text{ A}}$$

578. a) 10,67 A/mm<sup>2</sup>      b) 8,4 A/mm<sup>2</sup>  
c) 6,75 A/mm<sup>2</sup>      d) 5,83 A/mm<sup>2</sup>

579. a) 16 mm<sup>2</sup>      b) 6 mm<sup>2</sup>  
c) 4 mm<sup>2</sup>      d) 2,5 mm<sup>2</sup>

580. a) 5,83 A/mm<sup>2</sup>      b) 4,67 A/mm<sup>2</sup>  
c) 3,7 A/mm<sup>2</sup>      d) 3,35 A/mm<sup>2</sup>

$$581. \quad N = \frac{k_{Cu} A_w}{A} = \underline{947 \text{ Windungen}}$$

$$582. \quad A = \frac{k_{Cu} A_w}{N} = 0,0533 \text{ mm}^2 ;$$

$$d = \underline{0,26 \text{ mm}}$$

$$583. \quad h = \frac{N \cdot A}{l k_{Cu}} = \underline{12,7 \text{ mm}}$$

$$584. \quad \text{a) } J = 1,09 \sqrt{\frac{50}{22}} \text{ A/mm}^2 = 1,64 \text{ A/mm}^2$$

$$\text{b) } J = \underline{1,3 \text{ A/mm}^2} \quad \text{c) } J = \underline{1,01 \text{ A/mm}^2}$$

$$585. \quad \text{a) } J = 1,69 \text{ A/mm}^2 ;$$

$$I = AJ = 0,0962 \cdot 1,69 \text{ A} = \underline{0,1626 \text{ A}}$$

$$\text{b) } I = 0,1963 \text{ mm}^2 \cdot 1,69 \text{ A/mm}^2 = \underline{0,332 \text{ A}}$$

$$586. \quad J = 1,888 \text{ A/mm}^2 ;$$

$$IN = J k_{Cu} A_w = \underline{623 \text{ A}}$$

$$587. \quad h = \frac{IN}{l J k_{Cu}} = \underline{17,8 \text{ mm}}$$

$$588. \quad \text{a) } h = \frac{IN}{l J k_{Cu}} = 18 \text{ mm} ;$$

$$\text{Gesamtdurchmesser } (8 + 2 \cdot 18) \text{ mm} = \underline{44 \text{ mm}}$$

$$\text{b) } U = J \varrho N l_m = J \varrho \frac{l h k_{Cu}}{A} \frac{\pi (d_a + d_l)}{2} = \underline{7,2 \text{ V}}$$

$$\text{c) } I = JA = \underline{0,99 \text{ A}}$$

$$\text{d) } P = UI = \underline{7,13 \text{ W}} \quad (\text{mit } \varrho = 0,02 \Omega \text{ mm}^2/\text{m})$$

$$589. \quad J = 1,09 \sqrt{\frac{\vartheta_u}{h}} = 1,85 \text{ A/mm}^2 ;$$

$$A = \frac{I}{J} = 0,035 \text{ mm}^2; \quad d = \underline{0,21 \text{ mm}};$$

$$N = \frac{J k_{\text{Cu}} A_w}{I} = \underline{13\,400 \text{ Windungen}}$$

590. Setzt man in die Formel für den Durch-

$$\text{messer } d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \text{ den Ausdruck } A = \frac{I}{J},$$

so wird  $d = \sqrt{\frac{4I}{\pi J}}$ ; Gleichsetzen mit

$$d = \sqrt{\frac{I}{2}} \text{ ergibt } J = \frac{8}{\pi} = \underline{2,55 \text{ A/mm}^2}$$

591. a)  $A = 0,196 \text{ mm}^2$ ;

$$N = \frac{k_{\text{Cu}} A_w}{A} = \underline{1959} \quad \text{b) } U = J \varrho N \pi d_m = \underline{7,4 \text{ V}}$$

c)  $I = JA = \underline{0,49 \text{ A}}$

d)  $P = UI = \underline{3,6 \text{ W}}$  (mit  $\varrho = 0,02 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ )

592. a)  $l_m = \frac{\pi(d_i + d_s)}{2} = 21 \text{ cm}$ ;

$$I = \frac{1}{N} \sqrt{\frac{P k_{\text{Cu}} A_w}{\varrho l_m}} = \underline{1,91 \text{ A}}$$

b)  $A = \frac{k_{\text{Cu}} A_w}{N} = 1,63 \text{ mm}^2$ ;

d)  $d = \underline{1,44 \text{ mm}}$  c)  $J = \frac{I}{A} = 1,17 \text{ A/mm}^2$

d)  $U = J \varrho N l_m = \underline{4,18 \text{ V}}$

(mit  $\varrho = 0,02 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ )

593. Verwendet wird wegen der geringen Stromdichte  $\varrho = 0,0178 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ;  $A = 0,0314 \text{ mm}^2$

a)  $U = IR = \underline{3,64 \text{ V}}$  b)  $l_m = \frac{UA}{I \varrho N} = 7,06 \text{ cm}$ ;

$d_m = \underline{2,25 \text{ cm}}$  c)  $J = \frac{I}{A} = \underline{0,41 \text{ A/mm}^2}$

d)  $P = 2UI = \underline{0,095 \text{ W}}$

594. a)  $I = \frac{U}{R} = \underline{30 \text{ mA}}$

b)  $J = \frac{I}{A} = \underline{3,82 \text{ A/mm}^2}$

c)  $l_m = \frac{RA}{N \varrho} = 4,48 \text{ cm}; \quad d_m = \underline{14,3 \text{ mm}}$

d)  $h = \frac{NA}{lk_{\text{Cu}}} = \underline{4,3 \text{ mm}}$ ;

$d_s = d_m + h = 18,6 \text{ mm}$ ;

d)  $d_i = d_m - h = \underline{10 \text{ mm}}$  e)  $P = UI = \underline{1,8 \text{ W}}$

595. a)  $l_m = \frac{\pi(d_s + d_i)}{2} = 5,18 \text{ cm}$ ;

$$A = \frac{\varrho l_m N}{R} = 0,0079 \text{ mm}^2; \quad d = \underline{0,1 \text{ mm}}$$

b)  $I = \frac{U}{R} = \underline{4,3 \text{ mA}}$

c)  $J = \frac{I}{A} = \underline{0,544 \text{ A/mm}^2}$

596. a)  $h = \frac{NA}{lk_{\text{Cu}}} = \underline{7,06 \text{ mm}}$

b)  $d_m = d_i + h = 17,06 \text{ mm}; \quad l_m = 5,36 \text{ cm}$ ;

$$R = \frac{\varrho l_m N}{A} = \underline{16,5 \Omega} \quad \text{c) } J = \frac{U}{RA} = \underline{16 \text{ A/mm}^2}$$

597. Drahtlänge  $l_D = \frac{RA}{\varrho} = 635 \text{ m}$ ;

$$h = \frac{NA}{lk_{\text{Cu}}}; \quad h = d_m - d_i = \frac{l_D}{N\pi} - d_i;$$

Gleichsetzen ergibt  $\frac{NA}{lk_{\text{Cu}}} = \frac{l_D}{N\pi} - d_i$ ;

diese quadratische Gleichung ergibt  $N = \underline{15\,648}$

598.  $A_w = eg = 588 \text{ mm}^2$ ;

$$J = 1,09 \sqrt{\frac{60}{14}} = 2,26 \text{ A/mm}^2;$$

$IN = J k_{\text{Cu}} A_w = \underline{797 \text{ A}}$ ;

$$H_E = \frac{IN}{l_E} = 4740 \text{ A/m}; \quad B_E = \underline{1,625 \text{ T}}$$

599.  $H_E = 8200 \text{ A/m}; \quad l_E = 31 \text{ cm}$ ;

$H_E l_E = 2542 \text{ A}$ ;

Eisenquerschnitt  $A_E = 9,5 \text{ cm}^2$ ;

$\Phi = B_E A_E = 16,15 \cdot 10^{-4} \text{ T}$ ;

$$R_L = \frac{\Phi}{A_L} = 1,62 \text{ T};$$

$$H_L = \frac{B_L}{\mu_0} = 1,289 \cdot 10^6 \text{ A/m}; \quad H \cdot 2\delta = 773 \text{ A};$$

$NI = 1,1 (H_E l_E + H_L \cdot 2\delta) = \underline{3647 \text{ A}}$ ;

$A_w = 0,6eg = 1,680 \text{ mm}^2$ ;

$$J = \frac{IN}{k_{\text{Cu}} A_w} = 4 \text{ A/mm}^2$$

600.  $h = 0,8g = 28 \text{ mm}$ ;

$$J = 1,09 \sqrt{\frac{40}{28}} \text{ A/mm}^2 = 1,3 \text{ A/mm}^2$$

$$A_w = 0,75eg = 2100 \text{ mm}^2$$

$$IN = J k_{\text{Cu}} A_w = 1500 \text{ A}$$

$$H = \frac{IN}{l} 4840 \text{ A/m}; \quad B_E = 1,565 \text{ T};$$

$$\Phi = B_E A_E = 14,87 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

$$601. H = \frac{IN}{l_E} = \frac{UN}{R l_E} = \frac{U A}{l_m \rho l_E} = 4546 \text{ A/m};$$

$$B = 1,62 \text{ T}$$

$$602. \text{ Aus } J = 1,09 \sqrt{\frac{\vartheta_u}{h}} = \frac{IN}{k_{\text{Cu}} h b}$$

folgt für den Zahlenwert der Übertemperatur

$$\vartheta_u = \frac{(IN)^2}{1,09^2 \pi k_{\text{Cu}}^2 b^2} = 93 \text{ K}$$

$$603. \text{ a) } N = 136 \quad \text{b) } A_w = \frac{NA}{k_{\text{Cu}}} = 77 \text{ mm}^2$$

$$\text{c) } I = A \cdot 1,09 \sqrt{\frac{40}{10}} \text{ A/mm}^2 = 1,71 \text{ A}$$

$$604. J = 2,44 \text{ A/mm}^2;$$

$$IN = J k_{\text{Cu}} A_w = 586 \text{ A};$$

$$B = 0,65 \text{ T} \text{ (Bild 318)}$$

$$605. I = \frac{\Theta}{N} = \frac{\Theta A}{k_{\text{Cu}} A_w} = 1,68 \text{ A};$$

$$J = \frac{I}{A} = 2,14 \text{ A/mm}^2;$$

Zahlenwert der Übertemperatur

$$\vartheta_u = \frac{J^2 h}{1,09^2} = 23 \text{ K}$$

$$606. \text{ a) } A = \frac{IN \rho l_m}{U} = 0,088 \text{ mm}^2$$

$$\text{b) } N = \frac{k_{\text{Cu}} A_w}{A} = 3680$$

$$\text{c) } J = \frac{U}{N \rho l_m} = 1,48 \text{ A/mm}^2$$

$$\text{d) } I = JA = 0,13 \text{ A} \quad \text{e) } \vartheta_u = 36,9 \text{ K}$$

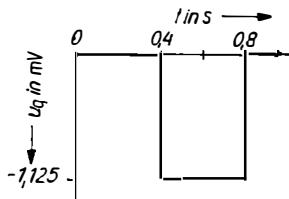


Bild 328. Aufgabe 618

$$607. \text{ a) } A = 0,210 \text{ mm}^2 \quad \text{b) } N = 1543$$

$$\text{c) } J = 1,47 \text{ A/mm}^2 \quad \text{d) } I = 0,31 \text{ A}$$

$$\text{e) } \vartheta_u = 36,4 \text{ K}$$

$$608. IN = \frac{UN}{R} = \frac{UA}{\rho l_m} = 453 \text{ A}; \quad B = 0,11 \text{ T}$$

$$609. \text{ a) } A = \frac{\rho l_m N}{R} = \frac{\rho l_m N I}{U} = 1,29 \text{ mm}^2;$$

$$\text{d) } d = 1,3 \text{ mm} \quad \text{b) } I = AJ = 3,61 \text{ A}$$

$$\text{c) } P = UI = 235 \text{ W}$$

$$610. \text{ a) } N = \frac{UA_w k_{\text{Cu}}}{\Theta \rho l_m} = 44700 \text{ Windungen}$$

$$\text{b) } I = \frac{\Theta}{N} = 0,02 \text{ A} \quad \text{c) } R = \frac{U}{I} = 11000 \Omega$$

$$\text{d) } A = \frac{\rho l_m N}{R} = 0,009 \text{ mm}^2; \quad d = 0,11 \text{ mm}$$

$$\text{e) } P = I^2 R = 4,4 \text{ W}$$

$$611. u = Blv = 0,5 \text{ T} \cdot 0,04 \text{ m} \cdot 0,08 \text{ m/s} \\ = 1,6 \text{ mV}$$

$$612. u = Blv$$

$$= \frac{0,62 \text{ V s/m}^2 (4 \cdot 5) 10^{-4} \text{ m}^2}{17 \text{ s}} = 73 \mu \text{V}$$

$$613. B = \frac{u}{lv} = \frac{iR}{lv} = 0,83 \text{ T}$$

614. Da die Geschwindigkeit vom Mittelpunkt bis zum Rand linear zunimmt, ist die mittlere Geschwindigkeit  $v_m = \frac{2\pi r n}{2}$  einzusetzen. Mit

$$l = r \text{ wird } u = Br^2 \pi n = 0,34 \text{ V}$$

$$615. u = B 2av N_2 = H \mu_0 a a \pi n 2 N_2$$

$$= \frac{IN \mu_0 a^2 \pi n 2 N_2}{l_{\text{sp}}} = 20 \text{ mV} \quad (l_{\text{sp}}, \text{ Spulenlänge})$$

616. Da die induzierte Spannung der Drehzahl proportional ist, muß bei halber Spannung auch die Drehzahl die Hälfte betragen:  $n = 125^1/\text{min}$

**617. a)**  $v = \pi d n = 3,35 \text{ m/s}$

$$u = \frac{B v l 4 N}{5} = 98,4 \text{ V}$$

b)  $P = \frac{e^2}{R} = \underline{242 \text{ W}}$  c)  $I = \frac{e}{R} = \underline{2,46 \text{ A}}$

**618.** (Bild 328)  $u = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} =$

$$= \frac{(1,5 - 6) \cdot 10^{-4} \text{ Vs}}{(0,8 - 0,4) \text{ s}} = \underline{-1,125 \text{ mV}}$$

(Flußabnahme hat negativ gerichtete Quellenspannung zur Folge.)

**619.** (Bild 329)

$$u = \frac{-8 \cdot 10^{-4} \text{ Vs}}{0,5 \cdot \frac{3}{5} \text{ s}} = \underline{-2,67 \text{ mV}}$$

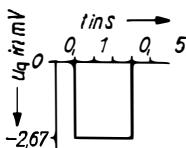


Bild 329. Aufgabe 619

**620.** (Bild 330)

$$u = \frac{2,4 \cdot 10^{-3} \text{ Vs}}{0,2 \cdot \frac{1}{5} \text{ s}} = \underline{60 \text{ mV}}$$

(Flußzunahme hat positiv gerichtete Quellenspannung zur Folge.)

**621.** (Bild 331)

$$u = \frac{5 \cdot 10^{-4} \text{ Vs}}{0,05 \text{ s}} = \underline{10 \text{ mV}}$$

**622.** (Bild 332)

$$u = \frac{1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Vs}}{0,1 \cdot \frac{1}{4} \text{ s}} = \underline{60 \text{ mV}}$$

**623.** (Bild 333)

$$\Delta \Phi = u \cdot \Delta t = 15 \cdot 10^{-3} \text{ V} (0,15 - 0,05) \text{ s} \\ = \underline{1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}}$$

Da die Aufgabe keine Angabe über Anfangs- oder Endwert oder einen Zwischenwert des Flusses enthält, ist die Höhenlage der Kurve unbestimmt; außer den auf Bild 333 angegebenen Verläufen sind unendlich viele andere möglich.

**624. (Bild 334)**

$$\Delta \Phi_1 = \frac{-30 \cdot 10^{-3} \text{ Vs} \cdot 0,06 \text{ s}}{4 \text{ s}} = \underline{-4,5 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}}$$

$$\Phi_1 = \Phi + \Delta \Phi_1 = 0 - 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ Wb} \\ = \underline{-4,5 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}}; \Delta \Phi_2 = \underline{4,5 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}};$$

Endwert im Zeitpunkt  $t_2$  ist  $\Phi_2 = 0$  usw.

**625. (Bild 335)**

$$\Delta \Phi_1 = -25 \cdot 10^{-3} \text{ V} \cdot 0,1 \text{ s} = \underline{-2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}};$$

Endwert im Zeitpunkt  $t_2$  ist

$$\Phi_2 = (1 - 2,5) \cdot 10^{-3} \text{ Wb} = \underline{-1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}};$$

von hier an bleibt  $\Phi_2$  konstant bis Zeitpunkt  $t_3$  usw.

**626. (Bild 336)** Ausgehend vom Anfangswert  $\Phi_0 = -4 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$ , nimmt der Fluß von  $t_1$  bis  $t_2$  zu um

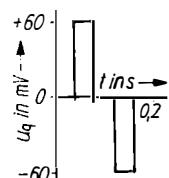


Bild 330. Aufgabe 620

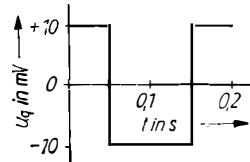


Bild 331. Aufgabe 621

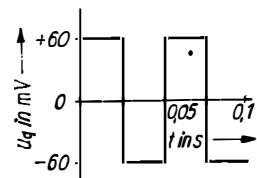


Bild 332. Aufgabe 622

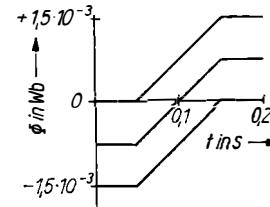


Bild 333. Aufgabe 623

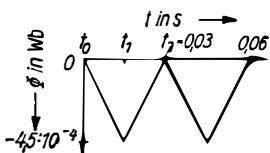


Bild 334. Aufgabe 624

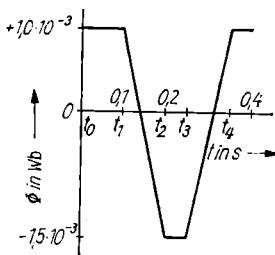


Bild 335.  
Aufgabe 625

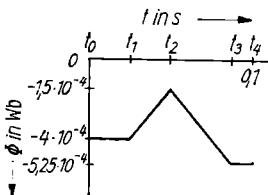


Bild 336.  
Aufgabe 626

$\Delta\Phi_1 = 10 \cdot 10^{-3} \text{ V} \cdot 0,025 \text{ s} = -2,5 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$   
und nimmt von  $t_2$  bis  $t_3$  wieder ab um den Betrag  $-3,75 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$ ; Endwert im Zeitpunkt  $t_3$  ist  $(-1,5 - 3,75) 10^{-4} \text{ Wb} = -5,25 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$

627. a)  $U = IR = 1,2 \text{ A} \cdot 250 \Omega = 300 \text{ V}$

b) Mit  $v = \frac{5U}{4B\ln N}$  wird  $n = \frac{v}{d\pi} = \frac{5U}{4Bld\pi N} = 36,84 \text{ 1/s} = 2210 \text{ 1/min}$

628.  $v = \sqrt{2gh} = 17,16 \text{ m/s}; U = 0,686 \text{ mV}$

629.  $u = \frac{\Delta BAN}{\Delta t} = 0,88 \text{ mV}$

630.  $u = \frac{N_2 \Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta I N_1 \mu_0 A N_2}{l \Delta t} = 16,12 \text{ mV}$

631.  $Q = \frac{N \Delta \Phi}{R} = 1,92 \text{ mC}$

632.  $\Phi = \frac{QR}{N} = 6,18 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}$

633.  $\Delta \Phi = \frac{QR}{N} = 3,3 \cdot 10^{-8} \text{ Wb}$

634.  $\Phi = H \mu_0 A = \frac{QR}{N_2};$

$I = \frac{QRl}{\mu_0 A N_1 N_2} = 0,71 \text{ A}$

635. Mit  $\frac{IN_1}{l} = \frac{\Phi}{A\mu_0}$  wird

$I = \frac{QRl}{\mu_0 A N_1 N_2} = 0,19 \text{ A}$

636.  $Q = \frac{\Phi N}{R} = \frac{BAN}{R} = 202 \cdot 10^{-8} \text{ C}$

637.  $H = \frac{IN_1}{l} = 464 \text{ A/m}; B = 1,17 \text{ T};$

$Q = \frac{BAN_2}{R} = 44,5 \mu\text{C}$

638. Da sich die Stoßausschläge wie die Flüsse verhalten und diese bei gleicher Durchflutung wie die Permeabilitätszahlen, muß die Permeabilitätszahl im Eisenkern gleich 280 sein.

639. a)  $U_q = U_k - IR_1 = 108,2 \text{ V}$  b) Die Gegenspannung sinkt ebenfalls um 1,5 % und beträgt dann  $U_{q'} = 108,2 \text{ V} \cdot 0,985 = 106,6 \text{ V}$

c)  $I' R_1 = U_k - U_{q'}; I' = 11,3 \text{ A}$

640. Beim Abheben des Ankers erhöht sich der, magnetische Widerstand. Da die magnetische Spannung konstant bleibt, tritt eine plötzliche Abnahme des Flusses ein. Die dadurch induzierte Spannung ist von gleicher Richtung wie die Klemmenspannung. Das Lämpchen blitzt hell auf und kann dabei durchbrennen.

641.  $A = 0,785 \text{ cm}^2; l = \frac{\pi(d_1 + d_2)}{2} = 22 \text{ cm}; L = \frac{N^2 \mu_0 A}{l} = 0,020 \text{ mH}$

642.  $A = 1,23 \text{ cm}^2; l = 16,5 \text{ cm}; L = 0,512 \text{ mH}$

643.  $N = \sqrt{\frac{Ll}{\mu_0 A}}; A = 0,503 \text{ cm}^2;$

$l = 17,6 \text{ cm}; N = 183 \text{ Windungen}$

644. Da im Wurzausdruck  $\mu_r$  im Nenner steht, ergibt sich  $1/5$  der vorigen Zahl, d. h.  $\frac{183}{5}$  oder rd. 37 Windungen

645.  $\mu_r = \frac{Ll}{N^2 \mu_0 A} = 14$

646.

	a)	b)	c)	d)
$A$ in $\text{cm}^2$	15,9	0,503	6,6	19,6
$L$ in $\text{mH}$	0,357	0,213	0,433	1,23

647.

	a)	b)	c)
$A$ in $\text{cm}^2$	1,54	0,283	0,442
$N$	897	599	335

**648.** Infolge der Verkürzung der Spule ändert sich die Windungszahl um den gleichen Prozentsatz, so daß

$$\frac{(0,8 N)^2 \mu_0 \mu_r x^2 \pi}{4 \cdot 0,8 l} = \frac{N^2 \mu_0 \mu_r d^2 \pi}{4l};$$

$$x = d \sqrt{\frac{1}{0,8}} = d \cdot 1,12,$$

d. h. Vergrößerung des Durchmessers um 12 %.

649.	a)	b)	c)
$N$	900	120	72
Windungsdurchmesser in cm	3,02	3,15	3,25
$A$ in $\text{cm}^2$	7,16	7,8	8,3
$L$	<u>4,05 mH</u>	<u>0,078 mH</u>	<u>30 <math>\mu\text{H}</math></u>

**650.** a)  $L = 15,5 \text{ mH}$  b)  $18,2 \text{ mH}$

c) 42 mH d) 54 mH

**651.** Da die Induktivität dem Quadrat der Windungszahl proportional ist, gilt:

a)  $600^2 : N^2 = 15,5 : 25$ ;  $N = \underline{762}$  Windungen

b) 284 Windungen c) 395 Windungen

d) 3811 Windungen

**652.** a)  $N = 719$  b)  $N = 364$

**653.**  $L_1 = 62,9 \mu\text{H}$ ;  $L_2 = 47,1 \mu\text{H}$ ;  $L = 15,8 \mu\text{H}$   
(bei entsprechender Verkleinerung der Spulenlänge)

**654.** Entsprechend dem zur Verfügung stehenden Wickelquerschnitt ergeben sich a) 2250, b) 1000 und c) 250 Windungen und nach der Formel für kurze Spulen ( $n = 0,75!$ )

a)  $L = 72,5 \text{ mH}$  b)  $L = 14,3 \text{ mH}$

c)  $L = 0,895 \text{ mH}$

**655.** Windungsdurchmesser 3,15 cm;  
 $A = 7,8 \text{ cm}^2$ ; Länge einer Windung 9,9 cm;  
Windungszahl  $N = 505$ ;  
Spulenlänge  $l = 75,8 \text{ cm}$ ;  $L = \underline{0,330 \text{ mH}}$

**656.** Mit der Windungslänge  $l_w = \pi(d + D)$  wird die Spulenlänge  $l = ND = \frac{l_w \cdot D}{\pi(d + D)}$ ;  
diese ist andererseits  $l = 8d$ ; Gleichsetzen ergibt  $l_w D = 8\pi d(d + D)$  und hieraus  $d = 5,4 \text{ cm}$ ;  
 $l = \underline{43,2 \text{ cm}}$ ;  $A = \underline{23,8 \text{ cm}^2}$ ;  $N = 287$ ;  
 $L = \underline{0,67 \text{ mH}}$

657.	a)	b)	c)	d)
$H$ in A/m	46	93	186	279
$B$ in T	0,1	0,35	0,76	0,97
$\mu_r$	1730	2990	3250	2770
$L$ in mH	35,3	61,1	66,4	56,6
	e)	f)	g)	h)

$H$ in A/m	372	464	557	650
$B$ in T	1,08	1,17	1,23	1,27
$\mu_r$	2310	2010	1760	1550
$L$ in mH	47,2	41,0	35,9	31,7

**658.** Bild 337

659.	a)	b)	c)	d)
$H$ in A/m	250	400	720	1250
$\mu_r$	159	199	221	255
$L$ in mH	0,700	0,876	0,973	1,13
	e)	f)	g)	h)

$H$ in A/m	1570	2200	3500	5300
$\mu_r$	253	217	159	120
$L$ in mH	1,114	0,956	0,7	0,528

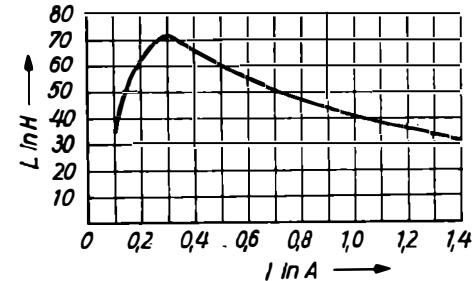
**660.** Bild 338

$$661. L = \frac{\Phi N^2}{\Theta} = \underline{13,6 \text{ mH}}$$

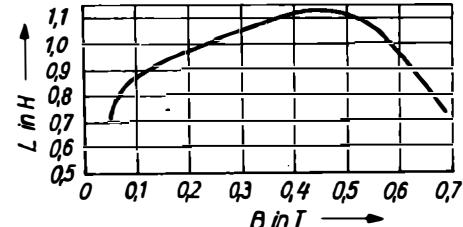
$$662. L = \frac{\Phi N}{I} = \underline{569 \text{ mH}}$$

$$663. L = \frac{BAN}{I} = \underline{42 \text{ mH}}$$

$$664. L = \frac{\Phi \Theta R^2}{U^2} = \underline{751 \text{ H}}$$



**Bild 337. Aufgabe 658**



**Bild 338. Aufgabe 660**

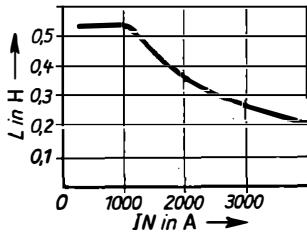


Bild 339.  
Aufgabe 666

$$665. L = \frac{\Phi N}{\sqrt{\frac{P}{R}}} = 51 \text{ H}$$

666. (Bild 339)

$$A = (2,0 \cdot 2,7) \text{ cm}^2 \cdot 0,85 = 4,59 \text{ cm}^2$$

$IN \text{ in A}$	$B \text{ in T}$	$\Phi \text{ in Wb}$	$L \text{ in H}$
500	0,58	$2,66 \cdot 10^{-4}$	0,53
750	0,88	$4,04 \cdot 10^{-4}$	0,54
1000	1,17	$5,37 \cdot 10^{-4}$	0,54
1500	1,50	$6,89 \cdot 10^{-4}$	0,46
2000	1,63	$7,48 \cdot 10^{-4}$	0,37
2500	1,71	$7,85 \cdot 10^{-4}$	0,31
3000	1,76	$8,08 \cdot 10^{-4}$	0,27
4000	1,83	$8,4 \cdot 10^{-4}$	0,21

$$667. \Phi = \frac{L \Theta}{N^2} = 5,27 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

668.  $H = 1150 \text{ A/m}$ ;  $IN = 518 \text{ A}$ ;

$$N = \sqrt{\frac{LIN}{BA}} = 1469; I = \frac{IN}{N} = 353 \text{ mA}$$

669.  $H = 250 \text{ A/m}$ ;  $IN = 112,5 \text{ A}$ ;

$$N = \sqrt{\frac{LIN}{BA}} = 1580; I = 71,2 \text{ mA}$$

$$670. \text{ a)} IN = Hl = 70 \text{ A}; A = \frac{LIN}{BN^2} =$$

$$= \frac{15 \text{ V s/A} \cdot 70 \text{ A}}{0,8 \text{ Vs/m}^2 \cdot 14000^2} = 6,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 = 6,7 \text{ mm}^2;$$

$$I = 5 \text{ mA} \quad \text{b)} IN = 1855 \text{ A}; A = \frac{LIN}{BN^2} = \\ = \frac{1,775 \text{ cm}^2}{k_{Cu}}; I = 132,5 \text{ mA}$$

$$671. A_w = \frac{AN1,2}{k_{Cu}} = 1980 \text{ mm}^2;$$

$H = 5300 \text{ A/m}$ ;

Seitenlänge des quadratischen Fensters

$$a = \sqrt{A_w} = 4,45 \text{ cm};$$

Eisenquerschnitt  $x^2$ ; Eisenweg  $4(a + x)$ ;

$$IN = H \cdot 4(a + x); x^2 = \frac{LIN}{BN^2} =$$

$$= \frac{LH \cdot 4(a + x)}{BN^2};$$

$x = 1,17 \text{ cm}$ ; äußere Seitenlänge des Rahmens  $(4,45 + 2 \cdot 1,17) \text{ cm} = 6,79 \text{ cm}$ ;  
Seitenlänge des Querschnitts  $1,17 \text{ cm}$

$$672. L = \frac{\Phi N^2}{\Theta} = 0,43 \text{ H} \quad \text{bzw.} \quad 0,32 \text{ H}$$

$$673. L = \frac{0,3 \cdot 10^{-4} \text{ Vs} \cdot 4000^2}{729 \text{ A}} = 0,66 \text{ H}$$

$B \text{ in T}$	$IN \text{ in A}$	$L \text{ in H}$
0,6	1456	0,66
0,9	2189	0,66
1,2	2946	0,65
1,5	3892	0,62
1,8	6470	0,45
2,1	12770	0,26

674. (Bild 340, Kurve a)

675.

$B \text{ in T}$	0,2	0,4	0,6
$L \text{ in H}$	0,54	0,56	0,54
$B \text{ in T}$	0,8	1,0	1,2
$L \text{ in H}$	0,47	0,40	0,31

(Bild 340, Kurve b)

$$676. \text{ a)} L = 0,045 \text{ mH} \quad \text{b)} L = 0,97 \text{ mH} \\ \text{c)} L = 6,44 \text{ mH} \quad \text{d)} L = 92,4 \text{ mH}$$

$$677. \text{ a)} L = 2,10 \text{ mH} \quad \text{b)} L = 2,22 \text{ mH} \\ \text{c)} L = 2,31 \text{ mH} \quad \text{d)} L = 2,38 \text{ mH}$$

678. Bild 341

$$679. \text{ a)} L = 2,34 \text{ mH} \quad \text{b)} L = 2,22 \text{ mH} \\ \text{c)} L = 2,06 \text{ mH} \quad \text{d)} L = 1,94 \text{ mH}$$

680. Bild 342

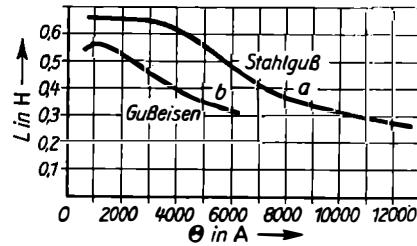


Bild 340. Aufgaben 674 und 675

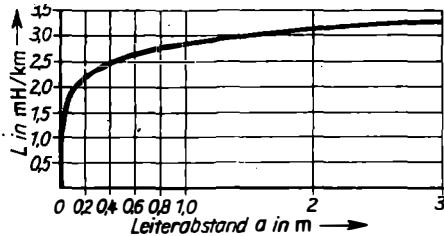


Bild 341. Aufgabe 678

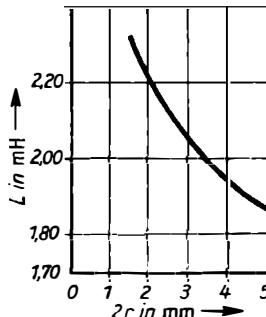


Bild 342.  
Aufgabe 680

$$681. l = \frac{L\pi}{\mu_0 (\ln 240 + 0,25)} = 1,96 \text{ km}$$

$$682. L = \frac{\mu_0 l (\ln 8 + 0,25)}{2\pi} = 11,7 \mu\text{H}$$

$$683. \ln \frac{r_a}{r_1} = \frac{2\pi L}{\mu_0 l} - 0,25 ;$$

$$d_a = 2r_a = 16 \text{ mm}$$

$$684. \text{ a) } L = \frac{\mu_0}{\pi} l (\ln 133,3 + 0,25) = 2,06 \text{ mH} \\ (\text{ } l = 1000 \text{ m})$$

$$\text{b) } 2,17 \text{ mH} \quad \text{c) } 2,34 \text{ mH} \quad \text{d) } 2,45 \text{ mH}$$

685. Bei 3,55 mm Drahtdicke ist

$$L_{\text{ges}} = 2,357 \text{ mH}; \text{ bei } 5,6 \text{ mm ist}$$

$$L_{\text{ges}} = 2,175 \text{ mH}; L_1 - L_2 = 0,182 \text{ mH};$$

$$\frac{0,182}{2,357} = 0,077 = 7,7 \%$$

$$686. \ln \frac{a}{r} = \frac{\pi L}{\mu_0 l} - 0,25 = 4,7486 ;$$

$$\frac{a}{r} = 115 ; \quad \frac{a}{d} = 58:1$$

$$687. 1,249 \text{ mH}$$

688. Mit  $a = 80 \text{ cm}$  wird  $L' = 1,306 \text{ mH}$ ; da die Induktivität der Länge proportional ist, gilt

$1,306l' = 1,249 \cdot 1000; l' = 956 \text{ m}$ ; die Leitung muß also 44 m kürzer sein.

$$689. \ln \frac{a}{r} + 0,25 = \frac{\pi L}{\mu_0 l} ; \quad \ln \frac{a}{r} = 5 ;$$

$$\frac{a}{r} = 148,4 ; \quad a = 0,22 \text{ m}$$

$$690. \frac{\Delta L}{L} = 0,05 = \frac{\ln a/r + 0,25 - \ln a/r}{\ln a/r} =$$

$$= \frac{0,25}{\ln a/r} ; \quad \ln a/r = \frac{0,25}{0,05} = 5 ; \quad a/r = \underline{148:1}$$

$$691. \Delta L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left( \ln \frac{r_a}{r_1} + 0,25 - \ln \frac{r_a}{2r_1} - 0,25 \right) = \\ = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln 2 = \underline{0,14 \text{ mH}}$$

$$692. \Delta L = \frac{\mu_0 l}{\pi} \left( \ln \frac{1,5a}{r} + 0,25 - \ln \frac{a}{r} - 0,25 \right) =$$

$$= \frac{\mu_0 l}{\pi} \ln 1,5 = \underline{0,16 \text{ mH}}$$

$$693. \Delta L = \frac{\mu_0 l}{\pi} \ln x ; \quad \ln x = \frac{\Delta L \pi}{\mu_0 l} = 0,977 ;$$

$$x = 2,4 ; \quad a' = \underline{60 \text{ cm}}$$

$$694. \text{ a) } L = \underline{0,70 \mu\text{H}} ; \quad \text{b) } L = \underline{1,57 \text{ mH}}$$

695. Durch schrittweise Annäherung angenommener Werte für  $R$  findet man mit  $R = \underline{0,272 \text{ m}}$  die Induktivität  $L = 2 \mu\text{H}$ .

$$696. \frac{\Delta L}{L} = \frac{2 \ln 2000}{\ln 1000} - 1 = \frac{15,2}{6,9} - 1 = 1,2 = \\ = \underline{120 \%}$$

$$697. k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} = 0,5$$

$$698. \text{ a) } M = \underline{1,9 \mu\text{H}} \quad \text{b) } \underline{0,905 \text{ mH}} \quad \text{c) } \underline{6,07 \text{ mH}}$$

$$699. M = \frac{\mu_0 N_1 N_2 \pi d^2}{4l} = \underline{24 \mu\text{H}}$$

700. Da die Gegeninduktionen den Windungszahlen proportional sind, gilt  $N_2' = M' N_2 / M = \underline{70}$  Windungen

$$701. \text{ Mit } N_2 = 60 \text{ ist } L_2 = \frac{N_2^2 \mu_0 A}{l} = 17,8 \mu\text{H} ;$$

mit  $N_2' = 70$  Windungen ist  $L_2' = 24,1 \mu\text{H}$ ;

$$L_2' - L_2 = 6,3 \mu\text{H} ; \quad \frac{6,3}{17,8} = 0,37 = \underline{37 \%}$$

**702.** Mit dem Drahtdurchmesser  $d_D$  ist  $l = d_D N$ , so daß mit  $N_1 = N_2$

$$N = \frac{4M d_D}{\mu_0 \pi d^2} = \underline{486 \text{ Windungen}}$$

$$\underline{703. \quad M = \sqrt{L_1 \cdot 3L_1};}$$

$$L_1 = \frac{55 \cdot 10^{-3} \text{ H}}{\sqrt{3}} = \underline{31,8 \text{ mH}}; \quad L_2 = \underline{95,4 \text{ mH}}$$

$$\underline{704. \quad M = \frac{\mu_0 N_1 N_2 \pi d_2^2}{4l_1} = 6,5 \mu\text{H}}$$

**705.** Da bei gleichen äußereren Abmessungen sich die Induktivitäten wie die Quadrate der Windungszahlen verhalten, haben die Induktivitäten die Werte  $L_1$  bzw.  $16L_1$ . Damit ist  $M = \sqrt{L_1 \cdot 16L_1}$  woraus sich  $L_1 = \underline{37,5 \text{ mH}}$  und  $L_2 = \underline{600 \text{ mH}}$  ergibt.

**706.** Bei Hintereinanderschaltung ist  $L' = (N_1 + N_2)^2 A$ , im anderen Fall ist  $L'' = (N_1 - N_2)^2 A$ ;  $L' - L'' = A(N_1^2 + 2N_1N_2 + N_2^2 - N_1^2 + 2N_1N_2 - N_2^2) = 4N_1N_2 A = 4M$ ; damit ist  $L' - L'' = 4M = 4k \sqrt{L_1 L_2}$  usw.

$$\underline{707. \quad k = \frac{L' - L''}{4 \sqrt{L_1 L_2}} = 0,286}$$

$$\begin{aligned} \underline{708. \quad L' = (N_1 + N_2)^2 A} \\ &= A(N_1^2 + 2N_1N_2 + N_2^2) \\ &= L_1 + 2M + L_2 = \underline{135,3 \text{ mH}}; \end{aligned}$$

entsprechend ergibt sich für  $L' = L_1 - 2M + L_2 = \underline{2,7 \text{ mH}}$

**709.**

a)	b)	c)	d)
$k = 1$	$0,5$	$0,31$	$0,012$

**710.** Nach der in Aufgabe 706 gegebenen Formel ist  $L' - L'' = 4 \sqrt{L_1 L_2}$ , d. h. mit  $k = 1$  ist  $M = \frac{L' - L''}{4} = \underline{1,5 \text{ mH}}$

$$\underline{711. \quad M = k \sqrt{LL} \frac{5}{2}; \quad L_1 = 0,127 \text{ H};}$$

$$\underline{L_2 = 0,316 \text{ H}}$$

$$\underline{712. \quad M = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln \left(1 + \frac{9}{25}\right) = 11,1 \mu\text{H}}$$

$$\underline{713. \quad \ln \left(1 + \frac{30^2}{b^2}\right) = \frac{2\pi M}{\mu_0 l}; \quad b = 70,5 \text{ cm}}$$

$$\underline{714. \quad \text{a) } 66,0 \mu\text{H} \quad \text{b) } 18,6 \mu\text{H} \quad \text{c) } 8,5 \mu\text{H}}$$

**715.** Wegen  $a = b$  ergibt sich

$$M = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln(1 + 1) = \underline{138,7 \mu\text{H}}$$

**716.** a) Aus dem Faktor  $\ln(1 + 1)$  wird  $\ln(1 + 4)$ , das Verhältnis beider ist  $\frac{\ln 5}{\ln 2} = 2,32$ . b) Aus dem Faktor  $\ln(1 + 1)$  wird  $\ln \left(1 + \frac{1}{4}\right)$ , das Verhältnis beider ist  $\frac{\ln 1,25}{\ln 2} = 0,322$ . c) Da das Verhältnis  $\frac{a^2}{b^2}$  konstant bleibt, ist auch die Gegeninduktivität unverändert.

**717.** a) Hier ist  $\frac{a^2}{b^2} = \frac{1}{9}$  und

$$M = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln 1,11 = \underline{21 \mu\text{H}}$$

$$\text{b)} \frac{a^2}{b^2} = 9; \quad M = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln 10 = \underline{461 \mu\text{H}}$$

$$\underline{718. \quad a_{13} = a_{24}; \quad a_{23} = a_{14} = a_{13} \sqrt{2};}$$

$$M = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln 2 = \underline{138,7 \mu\text{H}} \text{ (vgl. Aufgabe 715!)}$$

$$\underline{719. \quad \text{a) } a_{13} = 50 \text{ cm}; \quad a_{24} = 80 \text{ cm};}$$

$$a_{14} = a_{23} = \sqrt{(65^2 + 20^2 - 15^2) \text{ cm}^2} = 66,3 \text{ cm};$$

$$M = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln \frac{4400}{4000} = \underline{19,07 \mu\text{H}}$$

b) Hier sind  $a_{13} = a_{24} = 20 \text{ cm}$ , während wie vorhin  $a_{14} = a_{23} = 66,3 \text{ cm}$ ;  $M = \underline{480 \mu\text{H}}$

**720.** Zunächst müßte der Faktor  $\ln \frac{a_{14} a_{23}}{a_{13} a_{24}} = 0$  sein, d. h. der Bruch selbst gleich 1, so daß  $a_{14}a_{23} = a_{13}a_{24}$ . Dies ergibt die Verhältnisgleichung  $a_{13}:a_{14} = a_{23}:a_{24}$ . Damit müßten die beiden Dreiecke 1 3 4 und 2 3 4 einander ähnlich sein (Bild 343). Da sie aber außerdem die Seite 3 4 gemeinsam haben, müßten sie dann kongruent sein, d. h. zusammenfallen. Die 4 Drähte können daher kein Viereck bilden und auch nicht getrennt verlegt werden.

$$\underline{721. \quad \text{a) } 21,7 \text{ ms} \quad \text{b) } 12 \text{ ms} \quad \text{c) } 90 \text{ ms}}$$

$$\underline{722. \quad 1/T = R/L = 20 \text{ s}^{-1}; \quad I = \frac{30}{12} \text{ A} = 2,5 \text{ A};}$$

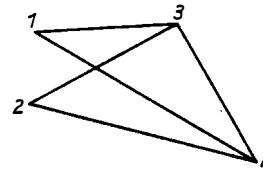


Bild 343.  
Aufgabe 720

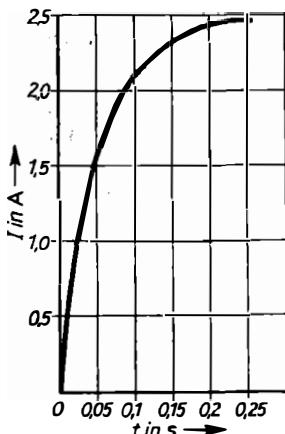


Bild 344:  
Aufgabe 723

$t$ in s	$t/T$	$1 - e^{-t/T}$	$i$ in A
a) 0,01	0,2	0,1813	0,453
b) 0,05	1,0	0,6321	1,58
c) 0,10	2,0	0,8647	2,16
d) 0,15	3,0	0,9502	2,38
e) 0,20	4,0	0,9817	2,45
f) 0,25	5,0	0,9933	2,48

723. Bild 344

$$724. \frac{t}{T} = \frac{tR}{L} = 4,0; \quad 1 - e^{-4} = 0,9817;$$

$$i = \frac{U}{R} 0,9817 = 1,178 \text{ A}$$

725.

$t$ in s	$t/T$	$e^{-t/T}$	$i$ in A
a) 0,01	0,0667	0,9355	1,123
b) 0,05	0,3333	0,7166	0,860
c) 0,1	0,6667	0,5134	0,616
d) 0,2	1,3333	0,2636	0,316

$$726. T = \frac{L}{R} = 0,1267 \text{ s};$$

$$0,65 = 1 - e^{-\frac{t}{T}}; \quad \ln 2,86 = \frac{t}{T};$$

$$t = T \cdot \ln 2,86 = 0,133 \text{ s}$$

$$727. 0,75 = 1 - e^{-t/T};$$

$$e^{t/T} = 4; \quad t/T = \ln 4; \quad L = tR/\ln 4 = 12,62 \text{ H}$$

728. Anleitung: Man dividiere die gegebene Zeit  $t$  durch die Zeitkonstante  $T$ , wodurch man ein bestimmtes Vielfaches von  $T$  erhält. Zu diesem  $T$ -Wert liest man im Diagramm den zu-

gehörigen  $\frac{i}{I}$ -Wert ab und multipliziert diesen mit dem Höchstwert  $I$  des Stromes.

$$I = 1,467 \text{ A}; \quad T = 0,1 \text{ s};$$

- |        |  |
|--------|--|
| $t/T$  | $i/I \cdot I$                                  |
| a) 0,1 | $0,1 \cdot 1,467 \text{ A} = 0,147 \text{ A}$  |
| b) 0,5 | $0,39 \cdot 1,467 \text{ A} = 0,572 \text{ A}$ |
| c) 1,0 | $0,63 \cdot 1,467 \text{ A} = 0,924 \text{ A}$ |
| d) 1,5 | $0,775 \cdot 1,467 \text{ A} = 1,14 \text{ A}$ |

$$729. I = 1,905 \text{ A}; \quad T = 0,952 \text{ s};$$

a) 1,72 A b) 1,39 A c) 1,12 A d) 0,23 A

$$730. \Phi = BA = 6,96 \cdot 10^{-4} \text{ Wb};$$

$$H = 230 \text{ A/m}, IN = Hl = 64,4 \text{ A};$$

$$L = \frac{\Phi N^2}{IN} = 10,8 \text{ H}; \quad T = \frac{L}{R} = 2,16 \text{ s};$$

die Einschaltkurve gibt für  $\frac{i}{I} = 0,5$  die Zeit  $0,7T$  an;  $t = 0,7T = 1,51 \text{ s}$

$$731. T = \frac{L}{R} = 9,6 \text{ ms}; \quad I = \frac{U}{R} = 60 \text{ mA};$$

$$i = \frac{\Theta}{N} = 45 \text{ mA}; \quad i/I = 0,75;$$

$$1 - i/I = e^{-\frac{t}{T}}; \quad t = T \ln 4 = 13,3 \text{ ms}$$

732. Nach Bild 209 ist dies nach der Zeit  $1,4T$  der Fall:  $1,4T = 0,3 \text{ s}; \quad T = 0,214 \text{ s}$

$$733. \text{ a)} F = BlI = 0,085T \cdot 0,05 \text{ m} \cdot 0,05 \text{ A}$$

$$= 2,13 \cdot 10^{-4} \text{ N}$$

b) 42,5 mN c) 4,25 mN d) 0,13 N

$$734. F = 45BlI = 2,25 \text{ N}$$

$$735. B = \frac{F}{lI} = \frac{(2 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81) \text{ N}}{0,03 \text{ m} \cdot 2,4 \text{ A}} = 0,27 \text{ T}$$

736. In diesem Fall ist zwar die wirksame Länge des Leiters größer (nämlich  $\frac{l}{\cos \alpha}$ ), die Induktion (Feldlinien je cm Länge) ist aber entsprechend geringer ( $B \cos \alpha$ ), so daß die Wirkung dieselbe ist, als ob der Leiter das Feld rechtwinklig durchkreuzt.  $F = 0,113 \text{ N}$

737. Bilden Stromleiter und Feldlinien den Winkel  $\alpha$ , so gilt  $F = BlI \sin \alpha$ ;

a) 0 b) 51 mN c) 72 mN d) 88 mH e) 102 mN

$$738. \text{ Spulendurchmesser } d = 1,9 \text{ cm}; \text{ wirksame Länge des Leiters } \pi dN = 269 \text{ cm}; \quad F = 0,323 \text{ N}$$

$$739. F = BlI = 1,25 \text{ N}$$

$$740. M = Fd = BhNI d = 0,0051 \text{ N} \cdot 1,2 \text{ cm}$$

$$= 6,12 \cdot 10^{-5} \text{ Nm}$$

741. An der Wicklung angreifende Kraft

$$F' = \frac{Fl}{d};$$

$$I = \frac{F'}{BhN} = \frac{Fl}{dBhN} = 21 \text{ mA}$$

$$742. I = \frac{M}{\pi BlN} = 24 \text{ A}$$

$$743. F = \frac{\mu_0 I^2 l}{2\pi a} = 288 \text{ mN}$$

$$744. F = \frac{\mu_0 I^2 l}{2\pi a} = 500 \text{ N}$$

$$745. F = \frac{\mu_0 I^2 d\pi N^2}{2\pi a} = 51 \text{ mN}$$

$$746. I = \sqrt{\frac{2\pi a F}{\mu_0 l}} = 20409 \text{ A}$$

$$747. \text{ a) } F = BlIN = 1700 \text{ N}$$

$$\text{b) } M = Fr = 238 \text{ Nm}$$

$$\text{c) } P = M \cdot 2\pi n = 24 \text{ kW}$$

748. Da der Leiter an der Bewegung gehindert ist, fällt die sonst induzierte Quellenspannung weg. Der Strom erhöht sich, wodurch sich der Leiter stärker erwärmt als vorher.

$$749. W = \frac{LI^2}{2} = \frac{\mu_0 N^2 A I^2}{2l} = 0,012 \text{ J}$$

$$750. \text{ a) } W = \frac{LI^2}{2} = 0,063 \text{ mJ} \quad \text{b) } 0,5 \text{ mJ}$$

$$751. W = \frac{N^2 \mu_0 A I^2}{2l} = 1,27 \text{ J}$$

$$752. H = \frac{B}{\mu_0} = 1,51 \cdot 10^6 \text{ A/m}; \quad d = 1 \text{ mm};$$

$$V = 2 \cdot 2,7 \cdot 0,1 \text{ cm}^3 = 0,54 \text{ cm}^3;$$

$$W = \frac{HBV}{2} = 0,77 \text{ J}$$

753. Die Feldstärke am Rohrumfang ist

$$H = \frac{200000 \text{ A}}{2\pi \cdot 0,0075 \text{ m}} = 4,244 \cdot 10^6 \text{ A/m};$$

$$W = \frac{H^2 \mu_0}{2} = 11,32 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3;$$

$$\frac{W}{r} = \frac{F}{A} = p;$$

$$p = 11,32 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 = 113 \text{ bar}$$

$$754. W = \frac{B^2 \delta A}{2\mu_0}; \quad \delta = \frac{2W\mu_0}{B^2 A} = 5 \text{ mm}$$

$$755. W = \frac{B^2 V}{2\mu_0}; \quad B = \sqrt{\frac{2W\mu_0}{V}} = 0,915 \text{ T}$$

756. Durch Auszählen findet man zwischen Ordinate und Magnetisierungskurve 21 Kästchen, wobei 1 Kästchen der Arbeit  $0,1 \text{ V s/m}^2 \cdot 100 \text{ A/m} = 10 \text{ J/m}^3$  entspricht.  
 $W = 21 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \text{ J/cm}^3 = 210 \mu\text{J/cm}^3$

757. Die Auszählung ergibt 27 Kästchen zu je  $10 \text{ J/m}^3$ , so daß  
 $W = 27 \cdot 10 \text{ J/m}^3 \cdot 95 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = 25,7 \text{ mJ}$

758.  $V_E = (2 \cdot 5 + 2 \cdot 2,75) \text{ cm}^3 = 15,5 \text{ cm}^3$ ;  
 36 Kästchen je  $10 \text{ J/m}^3$ ;  
 $W_E = 36 \cdot 15,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot 10 \text{ J/m}^3 = 5,58 \text{ mJ}$ ;

$$V_L = 0,2 \text{ cm}^3; \quad H = \frac{B}{\mu_0} = 1,114 \cdot 10^6 \text{ A/m}; \\ W_L = 0,156 \text{ J}; \quad W_{\text{ges}} = W_E + W_L = 0,162 \text{ J}$$

759. Bei Vergrößerung des Luftspaltes wird die Induktion und damit die Induktivität des magnetischen Kreises kleiner, da sich die Durchflutung voraussetzungsgemäß nicht ändert. Entsprechend nimmt die Feldenergie um  $\frac{\Delta L}{2} I^2$  ab.

Der Fluß nimmt dabei ebenfalls ab um  $\Delta\Phi = \frac{\Delta L}{N} I$ , wodurch die Quellenspannung  $u = N \frac{\Delta\Phi}{dt} = \frac{\Delta L I}{dt}$  induziert wird. Diese liefert dielektrische Arbeit  $\int uI dt = \int \frac{\Delta L II dt}{dt} = \Delta LI^2$ , die der Batterie zugeführt wird. Letztere besteht somit je zur Hälfte aus dem Energierückgang des Feldes und der aufgewandten mechanischen Arbeit.

760. a) Durch Auszählen erhält man innerhalb der Hysteresisschleife 120 Kästchen zu je  $0,2 \text{ V s/m}^2 \cdot 1000 \text{ A/m} = 200 \text{ W s/m}^3$ ;  
 $W_H = 120 \cdot 200 \text{ W s/m}^3 = 24000 \text{ J/m}^3$

$$= 0,024 \text{ J/cm}^3$$

$$\text{b) } 0,0044 \text{ J/cm}^3 \quad \text{c) } 0,016 \text{ J/cm}^3$$

$$761. \text{ a) } \frac{0,024 \text{ J/cm}^3 \cdot 1000 \text{ cm}^3}{7,8 \text{ kg}} = 3,08 \text{ J/kg}$$

$$\text{b) } 0,56 \text{ J/kg} \quad \text{c) } 2,05 \text{ J/kg}$$

$$762. \text{ a) } P = Wf = \frac{3,08 \text{ J/kg} \cdot 50}{s} = 154 \text{ W/kg}$$

$$\text{b) } 28 \text{ W/kg} \quad \text{c) } 103 \text{ W/kg}$$

$$763. F = \frac{B^2 A}{2\mu_0} =$$

$$= \frac{0,64^2 V^2 s^2/m^4 \cdot 5,4 \cdot 10^{-4} m^2}{2 \cdot 1,257 V s/A m \cdot 10^{-6}} = \underline{\underline{88 \text{ N}}}$$

764.  $B = \sqrt{\frac{2\mu_0 F}{A}} =$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} V s/A m \cdot 120 \text{ N}}{5,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}} = \underline{\underline{0,75 \text{ T}}}$$

765.  $B = \underline{\underline{0,59 \text{ T}}}$

766. a)  $A_E = (4 + 2 \cdot 2) 5 \text{ cm}^2 = 40 \text{ cm}^2$ ;

$$B = \sqrt{\frac{2\mu_0 F}{A}} = \underline{\underline{0,561 \text{ T}}} \quad \text{b) } B_L = 0,556 \text{ T};$$

$$B_E = \frac{0,556 \text{ T}}{0,95} = 0,59 \text{ T};$$

$$H_E = 130 \text{ A/m}; \quad H_L = 44200 \text{ A/m};$$

$$l_E = 31 \text{ cm}; \quad IN = \sum Hl = \underline{\underline{748 \text{ A}}}$$

$$\text{c) } P = INl_m \rho J = \underline{\underline{9,32 \text{ W}}}$$

767.  $A_w = (80 \cdot 35) \text{ mm}^2 = 2800 \text{ mm}^2$ ;

$$IN = J k_{Cu} A_w \cdot 0,8 = 5824 \text{ A};$$

nach S. 58 ist  $B_0 = \frac{\mu_0 IN}{\delta} = 4,575 \text{ T}$ ;

$$H_0 = \frac{IN}{l_E} = 18800 \text{ A/m};$$

die Luftspaltgerade verläuft sehr steil und schneidet die Magnetisierungskurve bei etwa 1,75 T. Die Induktion an den Polflächen ist dann wegen des Eisenfüllfaktors

$$B = 1,75 \text{ T} \cdot 0,95 = 1,663 \text{ T};$$

$$A = 40 \text{ cm}^2; \quad F = \underline{\underline{4400 \text{ N}}}$$

768.  $B = \underline{\underline{0,41 \text{ T}}}$

769. a)  $A = 12,5 \text{ cm}^2; \quad B = 0,1740 \text{ T}$ ;

$$IN = \frac{B^2 \delta}{\mu_0} = 1384 \text{ A};$$

mittlere Windungslänge  $l_m = (4 \cdot 4) \text{ cm} = 16 \text{ cm}$ ;

zu 771.

Teil des Magneten	1	2	3	4	Luftspalt innen	Luftspalt außen
Feldlinienweg $l$ in cm	15,6	17	25,5	36	0,5	0,5
Querschnitt $A$ in $\text{cm}^2$	854	427	1100	640	427	854
Induktion $B$ in T	0,59	1,17	0,45	0,78	1,17	0,59
Feldstärke $H$ in A/m	130	450	110	180	931000	469000
magnetische Spannung $Hl$ in A	20,3	76,5	28,1	64,8	4655	2345
gesamte Durchflutung $\Sigma Hl = \underline{\underline{7190 \text{ A}}}$						

$A_w = 0,65 (46 \cdot 13) \text{ mm}^2 = 389 \text{ mm}^2$ ;  
nach S. 62 ist

$$N = \frac{UA_w}{\Theta \varrho l_m} = \underline{\underline{19300}}$$

$$\text{b) } A = \frac{389 \text{ mm}^2}{19300} = 0,020 \text{ mm}^2;$$

$$d = \underline{\underline{0,16 \text{ mm}}} \quad \text{c) } I = \frac{IN}{N} = \underline{\underline{0,072 \text{ A}}}$$

770. Bei gegebener Durchflutung ist nach S. 58 zu verfahren.

$$B_0 = \frac{\mu_0 IN}{\delta} = 8,84 \text{ T};$$

$$H_0 = \frac{IN}{l_E} = 7690 \text{ A/m};$$

mittlerer Eisenweg lt. Skizze  $l_E = 18,3 \text{ cm}$ ; die ziemlich steile Luftspaltgerade schneidet die Magnetisierungskurve bei etwa  $B = 1,65 \text{ T}$ ;  $A = 12 \text{ cm}^2$ ;  $F = \underline{\underline{1300 \text{ N}}}$

771. a)  $A_1 = 854 \text{ cm}^2$  (Kreisring);  $A_2 = 427 \text{ cm}^2$  (Kreisring);

$$F = \frac{\Phi^2}{2\mu_0 A_1} + \frac{\Phi^2}{2\mu_0 A_2};$$

$$\Phi = \sqrt{\frac{2\mu_0 F A_1 A_2}{A_1 + A_2}} = 0,050 \text{ Wb}$$

b)  $A_w = (18,5 \cdot 8) \text{ cm}^2 = 148 \text{ cm}^2$ ;

$$l_m = 0,45 \text{ m} \cdot \pi = 1,414 \text{ m}$$

$$N = \frac{UA_w k_{Cu}}{\Theta \varrho l_m} = \underline{\underline{6800}}$$

$$\text{c) } A = \frac{k_{Cu} A_w}{N} = 1,85 \text{ mm}^2; \quad d = \underline{\underline{1,5 \text{ mm}}}$$

$$\text{d) } J = \frac{IN}{k_{Cu} A_w} = \underline{\underline{0,57 \text{ A/mm}^2}} \quad \text{e) } I = JA = \underline{\underline{1,1 \text{ A}}}$$

$$\text{f) } P = UI = \underline{\underline{242 \text{ W}}}$$

772. Es ist zunächst nach dem auf S. 58 angegebenen Verfahren die Induktion bei den einzelnen Luftspaltbreiten zu ermitteln (Bild 345), wobei in die Berechnung von  $B_0$  der doppelte

Wert für  $\delta$  einzusetzen ist, weil der magnetische Fluß den Luftspalt zweimal durchsetzt;

$$H_0 = \frac{500 \text{ A}}{0,32 \text{ m}} = 1560 \text{ A/m} ;$$

	a)	b)	c)
$\delta$ in mm	0,05	0,1	0,15
$B_0$ in T	6,28	3,14	2,09
$B$ in T	1,4	1,34	1,25
	d)	e)	f)
$\delta$ in mm	0,25	0,5	1
$B_0$ in T	1,26	0,628	0,314
$B$ in T	1,0	0,58	0,3
Hieraus ergeben sich die Zugkräfte:			
$F$ in N:	a)	b)	c)
(Bild 346)	624	571	497
	d)	e)	f)
	318	107	29

$$773. \text{ a)} F = \frac{\Phi^2}{2\mu_0 A} = 16,3 \text{ N}$$

$$\text{b)} 5,6 \text{ N} \quad \text{c)} 0,88 \text{ N}$$

$$774. \Phi = \sqrt{2\mu_0 F A} =$$

$$= \sqrt{2 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ V s/A} \cdot \text{m} \cdot 1,76 \text{ N} \cdot 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = \\ = 2,49 \cdot 10^{-5} \text{ Wb};$$

Teil	Anker, Kern	Polpl.	Luftspalt	Joch
$A$ in $\text{cm}^2$	0,4	1,4	1,4	0,625
$B$ in T	0,623	0,178	0,178	0,398
$H$ in A/m	165	47	141720	106
$l$ in m	0,085	0,0025	0,0012	0,09
$Hl$ in A	14,0	0,1	170,1	9,5

gesamte Durchflutung  $\Sigma Hl = 193,7 \text{ A}$

Erregerstrom  $I = 19,4 \text{ mA}$

$$775. B = \sqrt{\frac{2\mu_0 F}{A}} = 0,50 \text{ T} ;$$

$$\Phi = BA = 1,26 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

$$776. L = \frac{N\Phi}{I} = \frac{N}{I} \sqrt{2\mu_0 F A} = 31 \text{ H}$$

$$777. \text{ Wegen } L = \frac{\Phi N}{I} \text{ ist mit } \Phi = \frac{LI}{N}$$

$$\text{die Kraft } F = \frac{L^2 I^2}{N^2 \cdot 2\mu_0 A} = 26 \text{ N}$$

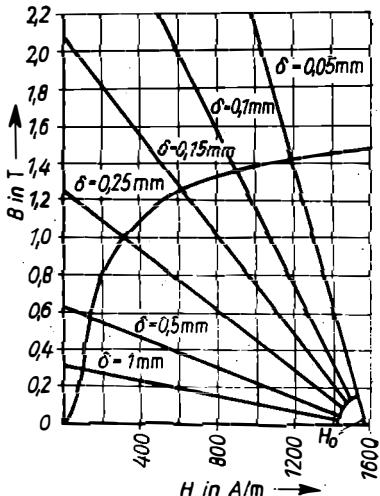


Bild 345. Aufgabe 772

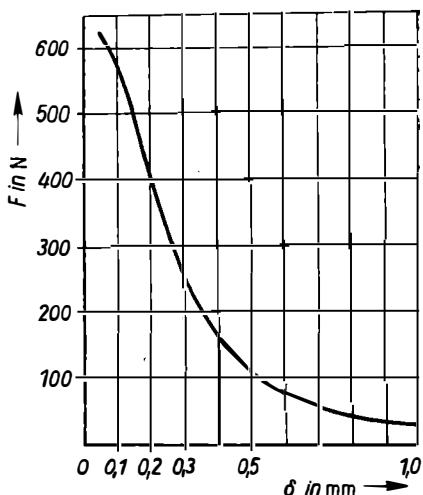


Bild 346. Aufgabe 772

778. Da der magnetische Fluß derselbe bleibt, verdoppelt sich der Nenner in der oben angegebenen Formel, so daß die Zugkraft nur noch die Hälfte beträgt.

779. a) Zwischen Polen und Anker entsteht ein magnetisches Feld, in dem die Arbeit in Form magnetischer Feldenergie gespeichert ist.

b) Die mechanische Arbeit ist der Gegenwert der Energie des gleichzeitig verschwindenden magnetischen Feldes.

$$780. \text{ a)} E = \frac{U}{d} = \frac{220 \text{ V}}{0,001 \text{ m}} = 220 \text{ kV/m}$$

b) 44 kV/m c) 22 kV/m d) 6290 V/m  
e) 4400 V/m f) 22 MV/m

781. a)  $U = Ed = 5,8 \text{ V}$  b) 55,1 V  
c) 136 V d) 290 V e) 1160 V

782.  $E = \frac{U}{d} = \frac{IR}{d} = \frac{I\rho d}{Ad} = \frac{I\rho}{A} = 0,06 \text{ V/m}$

783.  $E = \frac{U}{d} = \frac{U}{l_m N} = \frac{7,9 \text{ V}}{2042 \text{ m}} = 3,87 \text{ mV/m}$

784.  $I = \frac{U}{R} = \frac{Ed}{R} = \frac{EdA}{\rho d} = \frac{EA}{\rho} = 17,9 \text{ A}$

785.  $d = \frac{E}{E} = \frac{135 \text{ V}}{8500 \text{ V/m}} = 1,59 \text{ cm}$

786.  $A = \frac{\rho l}{R} = \frac{\rho l I}{U} = \frac{\rho I}{E} = 2,9 \text{ mm}^2$ ;  
 $d = 1,92 \text{ mm}$

787.  $E = \frac{U}{r_1 \ln \frac{r_a}{r_1}} = 690 \text{ kV/m}$

788.  $E = \frac{U}{r \ln \frac{r_a}{r_1}}$ ; a) 685 kV/m

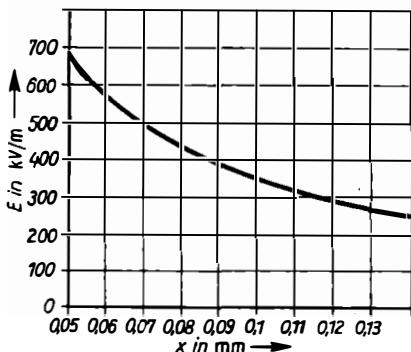


Bild 347. Aufgabe 788

b) 571 kV/m c) 428 kV/m d) 342 kV/m  
e) 34 kV/m f) 8,6 kV/m (Bild 347)

789.  $E = \frac{U}{r_1 \ln \frac{r_a}{r_1}} = 1825 \text{ kV/m}$

790.  $d = \frac{U}{E} = \frac{450 \text{ V}}{20000 \text{ V/cm}} = 0,23 \text{ mm}$

791.  $E = \frac{U}{r} = \frac{3500 \text{ V}}{0,05 \text{ m}} = 70 \text{ kV/m}$

792.  $r = \frac{U}{E} = \frac{10^6 \text{ V}}{2 \cdot 10^4 \text{ V/cm}} = 50 \text{ cm}$

793.  $r = \frac{U}{E} = \frac{220 \text{ V}}{2 \cdot 10^4 \text{ V/cm}} = 0,11 \text{ mm}$

794. a) d = 0,095 mm b) 0,0844 mm  
c) 1,52 mm

795.  $r = \frac{U}{E} = \frac{18000 \text{ V}}{20000 \text{ V/cm}} = 0,9 \text{ cm}$

796.  $Q = DA = \epsilon_0 \epsilon_r U_q A = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r U A}{d}$ ;

a)  $24,9 \cdot 10^{-8} \text{ C}$  b)  $69,7 \cdot 10^{-7} \text{ C}$

c)  $8,8 \cdot 10^{-8} \text{ C}$  d)  $80 \mu\text{C}$

797. a)  $A = 4\pi r^2 = 201 \text{ cm}^2$ ;

$D = \frac{Q}{A} = 0,249 \mu\text{C}/\text{m}^2$

b)  $E = \frac{D}{\epsilon_0} = 28120 \text{ V/m}$

c)  $U = rE = 1125 \text{ V}$

798.  $\epsilon_r = \frac{Qd}{\epsilon_0 U A}$ ; a) 5 b) 5 c) 6,4 d) 8,2

799. 1 a)  $U = E_d d = 144 \text{ kV}$

b) 100 kV c) 140 kV

2 a)  $Q = \epsilon_0 \epsilon_r E_d A = 5 \cdot 10^{-7} \text{ C}$

b)  $382 \cdot 10^{-9} \text{ C}$  c)  $389 \cdot 10^{-9} \text{ C}$

800. a) Hierbei wird an der vorhandenen Ladungsmenge bzw. Ladungsdichte nichts geändert, so daß  $D_1 = \epsilon_0 \frac{U_1}{d} = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{U_2}{d}$  und

$U_2 = \frac{U_1}{\epsilon_r} = \frac{220}{2,1} = 104,8 \text{ V}$

b) 6,04 V

801. In diesem Fall ist die Feldstärke konstant,

so daß  $E = \frac{U}{d}$  ist;

a)  $Q = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r U A}{d} = 43,2 \cdot 10^{-9} \text{ C}$

b)  $404 \cdot 10^{-9} \text{ C}$

$$802. U_q = \frac{Q}{\epsilon_0 r A} = \frac{1,99 \cdot 10^{-6} \text{ A s}}{8,854 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm} \cdot 7,5 \cdot 60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = \underline{5000 \text{ kV/m}}$$

$$803. C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 = \underline{0,75 \mu F}$$

$$804. C = \frac{C_1}{4} = \underline{0,5 \mu F}$$

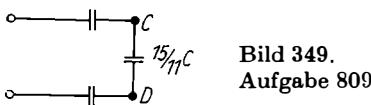
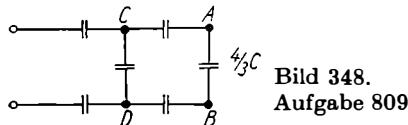
$$805. C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}} = \frac{C_1 C_2 C_3}{C_2 C_3 + C_1 C_3 + C_1 C_2} = \underline{27,3 \text{ pF}}$$

$$806. C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + C_3 = \underline{5,2 \mu F}$$

$$807. C_{\text{ges}} = \frac{\left( \frac{C_2 C_3}{C_2 + C_3} + C_4 \right) C_1}{\frac{C_2 C_3}{C_2 + C_3} + C_4 + C_1} + C_5 =$$

$$= \frac{\left( \frac{C}{2} + C \right) C}{\frac{C}{2} + 2C} + C = 1 \frac{3}{5} C = \underline{720 \text{ pF}}$$

$$808. C_{\text{ges}} = \frac{(C_1 + C_2)(C_3 + C_4)}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4} = \underline{77,5 \text{ pF}}$$



809. (Bild 348 und 349) Von rechts nach links

$$\text{fortschreitend ist } C_{AB} = \frac{C}{3} + C = \frac{4}{3} C ;$$

$$C_{CD} = \frac{\frac{C}{2} \frac{4}{3} C}{\frac{C}{2} + \frac{4C}{3}} + C = \frac{15}{11} C ;$$

$$C_{\text{ges}} = \frac{\frac{C}{2} \frac{15}{11} C}{\frac{C}{2} + \frac{15C}{11}} = \frac{15C}{41} = \underline{73,2 \text{ pF}}$$

$$810. \text{ a) } C_{AB} = \frac{1}{0,0033 + 0,0025 + 0,01} \text{ pF} + 200 \text{ pF} = \underline{263,3 \text{ pF}} \quad \text{b) } C_{BC} = \underline{357,1 \text{ pF}}$$

$$\text{c) } C_{CD} = \underline{454,6 \text{ pF}} \quad \text{d) } C_{DA} = \underline{192,6 \text{ pF}}$$

$$\text{e) } C_{AC} = \underline{200 \text{ pF}} \quad \text{f) } C_{BD} = \underline{238,1 \text{ pF}}$$

$$811. C_{AB} (\text{rechte H\"alfte}) = \frac{C}{3} + C = \frac{4}{3} C ;$$

$$C_{\text{ges}} = \frac{C}{3} + \frac{4C}{3} = \frac{5C}{3} = \underline{2,5 \mu F}$$

$$812. \text{ Aus den Gleichungen } C_1 + C_2 = 300 \text{ pF}$$

$$\text{und } \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = 50 \text{ pF} \text{ erh\"alt man}$$

$$C_1 = \underline{236,6 \text{ pF}} \text{ und } C_2 = \underline{63,4 \text{ pF}}.$$

$$813. C_2 = \frac{C C_1}{C_1 - C} = \underline{1181 \text{ pF}} (\text{Reihenschaltung})$$

$$814. \text{ Zur Vergr\"o\333erung mu\333 ein Kondensator parallel dazu geschaltet werden, und zwar } (35 \cdot 0,2) \mu F = \underline{7 \mu F}.$$

$$815. \text{ Urspr\"ungliche Kapazit\"at } C = 78,3 \text{ pF}; \\ \text{nachher } C' = 93,75 \text{ pF};$$

$$\text{a) Zunahme } \Delta C = \underline{15,3 \text{ pF}} \quad \text{b) } \frac{\Delta C}{C} = \underline{19,5 \%}$$

$$816. 1||2||3: 8000 \text{ pF}; \quad 1 - 2 - 3: \underline{588 \text{ pF}};$$

$$(1 - 2)||3: \underline{5667 \text{ pF}};$$

$$(2 - 3)||1: \underline{2429 \text{ pF}}; \quad (1 - 3)||2: \underline{2833 \text{ pF}};$$

$$1 - (2||3): \underline{875 \text{ pF}};$$

$$3 - (1||2): \underline{1875 \text{ pF}}; \quad 2 - (1||3): \underline{1500 \text{ pF}}$$

$$817. C + \frac{C}{2} = 2500 \text{ pF}; \quad C = \underline{1667 \text{ pF}}$$

$$818. \text{ a) } 500:30 = \underline{16,7:1} \quad \text{b) } C_1 = 143 \text{ pF}; \\ C_2 = 26,1 \text{ pF}; \quad 143:26,1 = \underline{5,48:1}$$

819. Vor der Erdung

$$Q_1 = Q_2 = 2U \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = 3,75 \cdot 10^{-4} \text{ C} ;$$

nach der Erdung  $Q_1 = UC_1 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ C}$  und  $Q_2 = UC_2 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ C}$ ;  $C_1$  gibt ab  $0,75 \cdot 10^{-4} \text{ C}$ ;  $C_2$  nimmt auf  $1,25 \cdot 10^{-4} \text{ C}$ . Unter Beachtung der Ladungsvorzeichen flie\33en dem Erdungspunkt zu

$$\Delta Q = [1,25 - (-0,75)] \cdot 10^{-4} \text{ C} = \underline{+2 \cdot 10^{-4} \text{ C}}$$

$$820. \text{ a) } Q = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} U = \underline{44 \cdot 10^{-6} \text{ C}}$$

b)  $U_1 = \frac{Q}{C_1} = 73 \text{ V}$ ;  $U_2 = 147 \text{ V}$

**821.** An jedem Kondensator liegt zuerst die Spannung  $\frac{U}{2}$ ; dann beträgt die Gesamtkapazität

$$\frac{C_{\epsilon_r} C}{C + \epsilon_r C} = \frac{\epsilon_r C}{\epsilon_r + 1}. \text{ Hinsichtlich der Spannung gilt:}$$

$$U_2 = \frac{U C}{C (\epsilon_r + 1)} = \frac{U}{\epsilon_r + 1} \text{ und } U_1 = \frac{\epsilon_r U}{\epsilon_r + 1}.$$

$$\text{Änderung: } \Delta U_2 = \frac{U}{2} - \frac{U}{\epsilon_r + 1} = \frac{U}{2} \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1}.$$

**822.** Da in Reihenschaltung alle Kondensatoren gleiche Ladung tragen, gilt

$$Q = C_2 U_2 = C_1 U_1; \quad U_1 = \frac{C_2 U_2}{C_1} = 80 \text{ V};$$

$$U_3 = 160 \text{ V};$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = 288 \text{ V}$$

**823.**  $U_4 = \frac{C_5 U_5}{C_4} = 36 \text{ V};$

$$U_{AB} = U_4 + U_5 = 60 \text{ V}; \text{ obere Reihe:}$$

$$\frac{1}{C'} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}; \quad C' = \frac{12}{13} \mu\text{F};$$

$$Q' = U_{AB} C' = 55,4 \mu\text{C};$$

$$U_1 = \frac{Q'}{C_1} = 27,7 \text{ V}; \quad U_2 = 18,5 \text{ V};$$

$$U_3 = 13,9 \text{ V}$$

**824. a)**  $Q = Q_1 + Q_2 = C_1 U_1 + C_2 U_2 = 880 \mu\text{C};$

$$C = C_1 + C_2 = 13 \mu\text{F};$$

$$U = \frac{Q}{C_1 + C_2} = 67,7 \text{ V}$$

b) Infolge teilweisen Ladungsausgleiches verbleibt  $Q' = Q_1 - Q_2 = 80 \mu\text{C};$

$$U' = \frac{Q'}{C_1 + C_2} = 6,2 \text{ V}$$

**825.** (Bild 350) Die anfängliche Ladung  $Q = UC_1 = 300 \mu\text{C}$  verteilt sich auf die Gesamtkapazität

$$C_{AB} = C_1 + \frac{C_2 C_3}{C_2 + C_3} = 3 \frac{2}{3} \mu\text{F};$$

$$U_{AB} = U_1 = \frac{Q}{C_{AB}} = 81,8 \text{ V};$$

$$U_3 = \frac{U_1 C_2}{C_2 + C_3} = 54,5 \text{ V}; \quad U_2 = 27,3 \text{ V}$$

**826. a)**  $Q = UC = 220 \text{ V} \cdot 500 \cdot 10^{-12} \text{ F} = 0,11 \mu\text{C}$

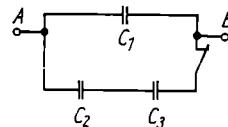


Bild 350. Aufgabe 825

b) 0,0385 μC c) 0,528 mC d) 225 μC

e) 30 nC f) 100 μC

**827. a)**  $C = \frac{Q}{U} = \frac{0,5 \cdot 10^{-6} \text{ A s}}{1 \text{ V}} = 0,5 \mu\text{F}$

b) 5,83 nF c) 68 nF d) 0,15 μF e) 2 μF

**828.**  $C = \frac{(n-1) \epsilon_0 \epsilon_r A}{d} = 6884 \text{ pF}$

**829.**  $n' - 1 = \frac{(n-1) C'}{C} = 12; \quad n' = 13;$

entfernt wurden also 5 Folien

**830.**  $C = \frac{2 \epsilon_0 \epsilon_r A}{d} = 0,92 \mu\text{F}$

**831.**  $l = \frac{Cd}{2 \epsilon_0 \epsilon_r b} = 44 \text{ m}$

**832.** Mit der Foliendicke  $d_1$  und der Platten-dicke  $d_2$  ist bei  $n$  Folien die Gesamtdicke

$$d = d_1 n + d_2 (n+1); \quad n = \frac{d - d_2}{d_1 + d_2};$$

$$n - 1 = \frac{d - d_1 - 2d_2}{d_1 + d_2};$$

$$\text{aus } C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A (d - d_1 - 2d_2)}{(d_1 + d_2) d_2}$$

ergibt sich die Plattendicke  $d_2 = 2,94 \text{ mm}$ ;

$n = 11,52$  Folien. Mit 11 Folien wird die Kapazität ein wenig kleiner.

**833. a)**  $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r (n-1) A}{d} = 2,27 \text{ nF}$

b)  $m_{A1} = 11 (87,5 \cdot 0,01) \text{ cm}^3 \cdot 2,7 \text{ g/cm}^3 = 26 \text{ g};$

$$m_{G1} = 12 (13,5 \cdot 8,0 \cdot 0,3) \text{ cm}^3 \cdot 2,6 \text{ g/cm}^3 = 1011 \text{ g}; \text{ Gesamtmasse } m = 1037 \text{ g}$$

**834.**  $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r 2 \pi l r}{d} = 700 \text{ pF}$

**835.** Mittlerer Röhrchenradius  $r_m = r_a - \frac{d}{2}$ ;

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r 2 \pi l \left( r_a - \frac{d}{2} \right)}{d}$$

hieraus folgt  $d = 0,13 \text{ mm}$

**836.** Aus dem Ansatz von Aufg. 835 folgt  $r_a = 0,43 \text{ cm}$ ;  $D = 0,87 \text{ cm}$

**837. Aus der Gleichung**

$$\frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r 2\pi l \left( r_a - \frac{d_1}{2} \right)}{d_1} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r D^2 \pi}{4d_2} \text{ folgt } D = 1.38 \text{ mm}$$

**838.  $C = 4\pi\varepsilon_0 r = 1,11 \mu\text{F}$**

**839.  $C = 4\pi\varepsilon_0 r = 710 \mu\text{F}$**

**840. Hat die Kapazität dieses Kondensators den  $x$ -fachen Wert, so gilt:**

$$x \left[ \varepsilon_0 \varepsilon_r (n-1) \frac{A}{d} \right] = \varepsilon_0 \varepsilon_r (n-1) \frac{4A}{2l} ; \quad x = 2$$

**841.  $\frac{x [\varepsilon_0 \varepsilon_r 2\pi l (r_a - d/2)]}{d} =$**

$$= \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r 2\pi l (2r_a - d/2)}{d} ;$$

hieraus ergibt sich  $x = \frac{8r_a - 2d}{2r_a - d}$ ;

wenn  $d \ll r_a$  ist, ergibt sich  $x = 4$ , d. h. die 4fache Kapazität.

**842.  $\frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r 2\pi l (r_a - r'/2)}{d} =$**

$$= \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r 2\pi l (r_a/2 - r'/2)}{d'} ;$$

hieraus erhält man  $r' = \frac{3r_a l}{2r_a + d} = 0,297 \text{ mm}$

**843.  $C = \frac{Q}{U} = \frac{\varepsilon_0 A}{d} ; \quad A = \frac{Cd}{U \varepsilon_0} = 513400 \text{ m}^2$**

**844.  $C = \frac{2\pi\varepsilon_0 r l}{\ln \frac{r_a}{d}} = 1044 \mu\text{F}$**

**845. Die Kapazität ist der Länge proportional;**

$$l_2 = \frac{C_2 l_1}{C_1} = 14,7 \text{ m}$$

**846.  $\ln \left( \frac{d_a}{d_1} \right) = \frac{2\pi\varepsilon_0 \varepsilon_r l}{C} = 2,67 ;$**

$$\frac{d_a}{d_1} = 14,4 ; \quad d_a = 34,7 \text{ mm}$$

**847. a)  $\ln \left( \frac{d_a}{d_1} \right) = \frac{2\pi\varepsilon_0 \varepsilon_r l}{C} ; \quad d_a = 1,44 \text{ cm}$**

b)  $d_a = 2,88 \text{ cm}$  c)  $d_a = 4,32 \text{ cm}$

d)  $d_a = 5,76 \text{ cm}$

**848.  $\ln \left( \frac{d_a}{d_1} \right) = 0,39 ; \quad d_a : d_1 = 1,48 : 1$**

**849.  $C = 0,51 \mu\text{F}$**

$$C \ln \frac{1300}{0,125} = 7,45 \text{ km}$$

**850.  $C' = \frac{\ln \frac{7000}{1,25}}{\ln \frac{9600}{1,25}} = 0,97 = 97 \%$**

Die Verringerung beträgt 3 %.

**852.  $C = \frac{\pi \varepsilon_0 l}{\ln \frac{d}{r}} = 469 \mu\text{F}$**

**853. Da das Verhältnis  $\frac{d}{r}$  konstant bleiben**  
muss, gilt  $\frac{d'}{1,25} = \frac{d}{0,9} ; \quad d' = 1,39 d$

**854. Es gilt die Gleichung**

$$\frac{l'}{\frac{2l}{\ln \frac{d}{r}}} = \frac{l}{\ln \frac{d'}{r}} ; \quad l' = 1,15 l$$

**855. a)  $\frac{l}{\ln \frac{d}{r}} = \frac{2l}{\ln \frac{d'}{r}} ; \quad d' = \frac{d^2}{r}$**

b)  $d'' = \frac{d^3}{r^2}$

**856. Wenn  $(2h/d)^2 \gg 1$ , d. h., wenn der Drahtabstand viel kleiner als die doppelte Höhe der Leitung ist, kann die 1 im Nenner wegfallen. Es wird dann  $\ln(d/r)^2 = 2 \ln(d/r)$  usw.**

**857. Index 1 für Glas, Index 2 für Luft;**

a)  $\alpha = \frac{\varepsilon_2 / I_1}{\varepsilon_1 / I_2} = 0,0606 ;$

$$U_2 = \frac{U}{1 + \alpha} = 2357 \text{ V} ; \quad U_1 = U - U_2 = 143 \text{ V}$$

b)  $E_2 = \frac{U_2}{d_2} = 4,29 \cdot 10^5 \text{ V/m} ;$

$E_1 = 5,72 \cdot 10^4 \text{ V/m}$

**858. Index 1 für Glas, Index 2 für Luft;**

$\alpha = 5,2 ; \quad U_2 = 403 \text{ V} ; \quad U_1 = 2097 \text{ V}$

b)  $E_2 = 2,016 \cdot 10^6 \text{ V/m} ; \quad E_1 = 2,69 \cdot 10^5 \text{ V/m}$

c) Die Durchschlagsspannung der Luft von 20000 V/cm wird überschritten.

**859. Index 1 für Lack, Index 2 für Luft;**

$\alpha = 0,267 ; \quad U_2 = 1184 \text{ V}$

b)  $E_2 = 2,37 \cdot 10^6 \text{ V/m}$  (Durchschlag!);  
 $E_1 = 7,9 \cdot 10^5 \text{ V/m}$  c)  $E = 1,67 \cdot 10^6 \text{ V/m}$   
 (kein Durchschlag mehr!)

860. a)  $C = \frac{8,854 \cdot 10^{-12} \text{ As/V m} \cdot 3 \cdot 15 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{(0,04 + 3 \cdot 0,05) \cdot 10^{-2} \text{ m}} = 21 \text{ pF}$

b)  $C = \frac{8,854 \cdot 10^{-12} \text{ As/V m} \cdot 15 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{0,09 \cdot 10^{-2} \text{ m}} = 14,76 \text{ pF}$  c)  $C = 44,3 \text{ pF}$

861.  $\epsilon_2$  (Luft) = 1;  $\alpha = \frac{d_1}{\epsilon_1(d - d_1)}$ ; dies in die

oben angeführte Formel für  $U_1$  eingesetzt und umgeformt, ergibt

$$U_1 = \frac{Ud_1}{\epsilon_1(d - d_1) + d_1}; \quad E_1 = \frac{U}{\epsilon_1(d - d_1) + d_1}$$

862. a)  $E = \frac{4000 \text{ V}}{1,78 \text{ cm}} = 2247 \text{ V/cm}$

b)  $\frac{4000 \text{ V}}{(3 \cdot 0,5 + 0,1) 10^{-2} \text{ m}} = 2,5 \cdot 10^5 \text{ V/m}$

c)  $2,86 \cdot 10^5 \text{ V/m}$  d)  $3,33 \cdot 10^5 \text{ V/m}$

e)  $4 \cdot 10^5 \text{ V/m}$  f)  $5 \cdot 10^5 \text{ V/m}$

g)  $6,67 \cdot 10^5 \text{ V/m}$

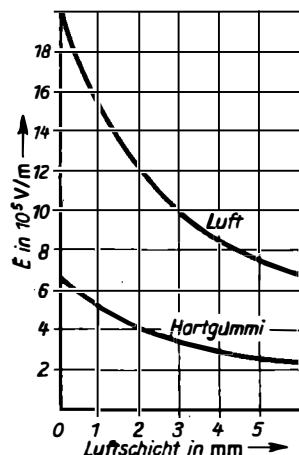


Bild 351.  
Aufgabe 864

863.  $\alpha = \frac{d - d_2}{\epsilon_1 d_2};$

$$U_2 = \frac{U}{1 + \frac{d - d_2}{\epsilon_1 d_2}} = \frac{U \epsilon_1 d_2}{d + d_2 (\epsilon_1 - 1)},$$

$$E_2 = \frac{U \epsilon_1}{d + d_2 (\epsilon_1 - 1)}$$

864. Bild 351

865. Index 1 für Glimmer, Index 2 für Luft;

$U_1 = U - E_2(d - d_1);$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{\epsilon_1 (d - d_1)}{\epsilon_2 d_1} = \frac{E_2 (d - d_1)}{U - E_2 (d - d_1)},$$

$$d_1 = \frac{\epsilon_1 (E_2 d - U)}{E_2 (\epsilon_1 - \epsilon_2)} = 0,41 \text{ cm}$$

866. a)  $C = \frac{8,854 \cdot 10^{-12} \text{ As/V m} \cdot 3,7 \cdot 12 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{(1 \cdot 0,4 + 3,7 \cdot 0,01) 10^{-2} \text{ m}} = 9 \text{ pF}$

b)  $9,83 \text{ pF}$

c)  $C = \frac{8,854 \cdot 10^{-12} \text{ As/V m} \cdot 3,7 \cdot 2,1 \cdot 12 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{(2,1 \cdot 0,4 + 3,7 \cdot 0,02) 10^{-2} \text{ m}} = 0,03 \text{ pF}$

867.  $C = \frac{\epsilon_0 A \epsilon_1}{d_1 + (d - d_1) \epsilon_1};$

nach Einsetzen der gegebenen Werte ergibt sich  
 für  $d_1 = 0,0171 \text{ cm};$

Dicke der Lackschicht  $\frac{d_1}{2} = 0,086 \text{ mm}$

868.  $U_2 = E_2 d_2 = 8 \cdot 10^5 \text{ V/m} \cdot 8,29 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 663 \text{ V};$

$$U_1 = \frac{U_2 d_1}{\epsilon_1 d_2} = \frac{663 \text{ V} \cdot 0,0171 \text{ cm}}{3 \cdot 0,0829 \text{ cm}} = 46 \text{ V};$$

$U = (663 + 46) \text{ V} = 709 \text{ V}$

869. und 870.

$T = RC = 3 \cdot 10^6 \Omega \cdot 2 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 6 \text{ s};$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{150 \text{ V}}{3 \cdot 10^6 \Omega} = 50 \mu\text{A}$$

$t$ in s	$t/T$	$e^{-t/T}$	$i$ in $\mu\text{A}$	$1 - e^{-t/T}$	$u$ in V
a) 0,3	0,05	0,9512	47,56	0,0488	7,32
b) 1,2	0,2	0,8187	40,94	0,1813	27,20
c) 2,4	0,4	0,6703	33,52	0,3297	49,46
d) 6,0	1	0,3679	18,4	0,6321	94,82
e) 15	2,5	0,0821	4,11	0,9179	137,69

871.  $T = 0,12 \text{ s}$

$t \text{ in s}$	$t/T$	$e^{-t/T}$	$u \text{ in V}$
a) 0,006	0,05	0,9512	304,4
b) 0,012	0,1	0,9048	289,5
c) 0,06	0,5	0,6065	194,1
d) 0,12	1	0,3679	117,7
e) 0,36	3	0,0498	15,9

872.  $T = 0,5 \text{ s}; \quad 0,5 = e^{-\frac{t}{T}}$

$$\frac{t}{T} = 0,693; \quad t = 0,693 T = \underline{\underline{0,347 \text{ s}}}$$

873.  $T = R(C + C');$

$$C' = \frac{T}{R} - C = \underline{\underline{0,5 \mu\text{F}}}$$

874.  $T = R \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \underline{\underline{89 \text{ ms}}}$

875. a)  $i = i_1 + I_2 = \frac{U}{R_1} e^{-\frac{t}{T}} + \frac{U}{R_2};$

$$i = \frac{U}{R_2} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} e^{-\frac{t}{T}} \right)$$

b) Für  $t = 0$  wird  $i = U \left( \frac{R_2 + R_1}{R_2 R_1} \right).$

Für  $t = \infty$  wird  $i = \frac{U}{R_2}.$

876.  $T = 4 \text{ s}; \quad e^{-t/T} = R_1/R_2;$

$$e^{t/T} = R_2/R_1;$$

$$t = T \ln(R_2/R_1) = 4 \cdot 0,916 \text{ s} = \underline{\underline{3,67 \text{ s}}}$$

877. Nach dem Gesetz der Stromverzweigung muß  $R_2$  den doppelten Wert von  $R_1$  haben.  $R_2 = 0,5 \text{ M}\Omega$ ; dann ist

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = 500 \mu\text{A}; \quad \text{a)} \quad I_2 = \frac{U}{R_2} = \underline{\underline{250 \mu\text{A}}};$$

b)  $I_2 = I_1 e^{-\frac{t}{T}}; \quad t = R_1 C \ln 2 = \underline{\underline{0,139 \text{ s}}}$

878. Gesamt-Anfangstrom

$$I_0 = \frac{U(R_1 + R_2)}{R_1 R_2} = 9,75 \text{ mA};$$

$$\frac{I_0}{2} = \frac{U}{R_2} (1 + 1,6 e^{-t/T}) \quad (\text{s. Aufgabe 875});$$

$$1 + 1,6 e^{-t/T} = 1,3; \quad t/T = 1,674;$$

$$T = \frac{1,5 \text{ s}}{1,674} = 0,896 \text{ s}; \quad C = \frac{0,896}{R_1} = \underline{\underline{17,9 \mu\text{F}}}$$

879.  $W = \frac{CU^2}{2} = \frac{12 \cdot 10^{-6} \text{ F} \cdot 500^2 \text{ V}^2}{2} = \underline{\underline{1,5 \text{ J}}}$

880.  $W = \frac{CU^2}{2} = \underline{\underline{1,6 \text{ J}}}$

881.  $C = \frac{2W}{U^2} = \underline{\underline{313 \mu\text{F}}}$

882.  $C = \frac{2W}{U^2} = \underline{\underline{11,9 \text{ F}}}$

883. a)  $F = \frac{\epsilon_0 A U^2}{2d^2} =$

$$= \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \text{ As/V m} \cdot 275 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 10^6 \text{ V}^2}{2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} =$$

$$= \underline{\underline{122 \text{ mN}}}$$

b)  $\underline{\underline{54 \text{ mN}}}$  c)  $\underline{\underline{30 \text{ mN}}}$

884. Nach dem Abschalten der Spannungsquelle bleibt die Ladungsmenge  $Q$  konstant, die Spannung nimmt aber auf die Hälfte ab, da die Kapazität sich durch Einbringen des Dielektrikums verdoppelt.

a)  $F = \underline{\underline{61 \text{ mN}}}$  b)  $\underline{\underline{27 \text{ mN}}}$  c)  $\underline{\underline{15 \text{ mN}}}$

885. In diesem Fall bleibt die volle Spannung erhalten;

a)  $\underline{\underline{244 \text{ mN}}}$  b)  $\underline{\underline{108 \text{ mN}}}$  c)  $\underline{\underline{60 \text{ mN}}}$

886.  $W = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r V^2 E^2}{2} = \underline{\underline{0,098 \text{ J}}}$

887. Mit  $E = 2,5 \cdot 10^6 \text{ V/m}$  und  $A = 10^{-4} \text{ m}^2$  wird

$$F = \frac{\epsilon_0 E^2 A}{2} = \underline{\underline{2,77 \text{ mN}}}$$

888.  $C = \frac{LI^2}{U^2} = \frac{3,6 \text{ H} \cdot 0,3^2 \text{ A}^2}{300^2 \text{ V}^2} = \underline{\underline{3,6 \mu\text{F}}}$

889.  $C = \underline{\underline{1,3 \mu\text{F}}}$

890.  $U = I \sqrt{\frac{L}{C}} = \underline{\underline{281 \text{ V}}}$

891. Mit  $C = 1 \mu\text{F}$  wird  $U = I \sqrt{\frac{L}{C}} = \underline{\underline{167 \text{ V}}};$

mit  $C' = 0,1 \mu\text{F}$  wird  $U' = 528 \text{ V};$  da dieser Kondensator gefährdet ist, nimmt man besser den erstgenannten.

**892.** Aus  $F = \frac{\epsilon_0 U^2 A}{2d^2}$  wird  $U^2 = \frac{2d^2 F}{\epsilon_0 A} \rightarrow$

dies in  $W = \frac{\epsilon_0 A U^2}{2d}$  eingesetzt ergibt

$$d = \frac{W}{F} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 2 \text{ cm};$$

$$U = \sqrt{\frac{2d^2 F}{\epsilon_0 A}} = 2000 \text{ V}$$

**893.** Einsetzen von  $d = \frac{W}{F}$  (s. Aufg. 892) in

$$F = \frac{\epsilon_0 U^2 A}{2d^2} \text{ ergibt } F = \frac{2W^2}{\epsilon_0 U^2 A} = 19,6 \text{ mN}$$

**894.**  $W = \frac{CU^2}{2} = \frac{4\pi\epsilon_0 r U^2}{2};$

$$r = \frac{2W}{4\pi\epsilon_0 U^2} = 33,7 \text{ cm}$$

**895.** Mit  $Q = CU = 4\pi\epsilon_0 RU$  erhält man aus

$$F = \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \text{ die Gleichung}$$

$$r = RU \sqrt{\frac{4\pi\epsilon_0}{F}} = 0,016 \text{ m} = 16 \text{ mm}$$

**896.** Die Ladung verteilt sich auf beide Kugeln und beträgt je Kugel

$$Q_1 = Q_2 = \frac{CU}{2} = \frac{4\pi\epsilon_0 RU}{2};$$

aus  $F = \frac{(4\pi\epsilon_0)^2 R^2 U^2}{4 \cdot 4\pi\epsilon_0 r^2}$  wird

$$R = \frac{r}{U} \sqrt{\frac{F}{\pi\epsilon_0}} = 2 \text{ mm}$$

**897.** Mit  $U = Er$  wird

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{CE^2 r^2}{2} = \frac{4\pi\epsilon_0 r E^2 r^2}{2};$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{2W}{4\pi\epsilon_0 E^2}} = 18 \text{ cm}$$

**898.** Mit  $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$  erhält man aus

$$F = Q_2 E = Q_2 \frac{U}{d} \text{ die Spannung}$$

$$U = \frac{\epsilon_0 A F}{Q_2 C} = 8854 \text{ V}$$

**899.** Mit  $Q = DA = \epsilon_0 EA$  und

$$F = \frac{\epsilon_0 A E^2}{2} \text{ wird } A = \frac{Q^2}{2\epsilon_0 F} = 0,181 \text{ m}^2$$

**900.** Feldstärke im Plattenzwischenraum

$$E = \frac{Q_1}{\epsilon_0 A};$$

Spannung gegen Erde  $\pm U = Ed = \frac{Q_1 d}{\epsilon_0 A};$

beim Berühren einer Platte übernimmt die Kugel die Ladung

$$Q_2 = CU = \frac{4\pi\epsilon_0 r Q_1 d}{\epsilon_0 A} = \frac{4\pi r Q_1 d}{A};$$

$$F = Q_2 E = \frac{4\pi r Q_1^2 d}{\epsilon_0 A^2} = 3,48 \text{ mN}$$

Die dreibändige Sammlung von Elektro-Aufgaben enthält in systematischer Anordnung reichlichen Übungsstoff für alle, die in irgendeiner Form das Studium der Elektrotechnik betreiben. Jedem Abschnitt sind die benötigten Formeln und Gesetze mit einer Übersicht über die Größen und Einheiten (SI) vorangestellt, ergänzt durch kurze Erläuterungen, Anleitungen und Hinweise. Die Aufgaben sind zum großen Teil der elektrotechnischen Praxis entnommen und werden mit steigendem Schwierigkeitsgrad geboten, so daß für jede Vorbildungsstufe geeignetes Übungsmaterial zu finden ist.

Die Aufgabensammlung ist als Hilfsmittel für den Unterricht und das Selbststudium bestimmt, sie kann auch dem erfahrenen Praktiker beim Auffrischen seiner Kenntnisse und zur Förderung seiner Rechenfertigkeit nützlich sein.

Die Ergebnisse sind im zweiten Teil jedes Bandes zusammengefaßt, wobei vielfach ein Lösungsweg mit angegeben ist. Zahlreiche Bilder erläutern die Themenstellung oder die Lösung.

Band I enthält Übungsmaterial zum Thema „Gleichstrom“, wobei der unverzweigte und der verzweigte Stromkreis, die Berechnung von Netzwerken, Leistung und Arbeit des Gleichstroms, die Grundgrößen des magnetischen Feldes, die Berechnung magnetischer Kreise, Induktionsvorgänge, Kraftwirkungen und Energieverhältnisse des magnetischen Feldes sowie das elektrische Feld mit insgesamt 900 Aufgaben behandelt werden.

Band II setzt die Sammlung für das Gebiet des Wechselstromes mit 768 Aufgaben fort. Im ersten Teil werden elementare Berechnungen zu sinusförmigen Wechselgrößen, Widerständen, Schaltungen, Resonanz, Leistung, Drehstrom und Spulen mit Eisen geboten; der zweite Teil enthält Berechnungen mit der symbolischen Methode, ausgehend vom Rechnen mit komplexen Zahlen über Schaltungen, Umwandlungen, Übertragungsfunktionen und Transformator bis zu Inversion und Ortskurven.

Band III ist eine Sammlung von Formeln und Aufgaben zur Leitungs- und zur Vierpoltheorie sowie zur FOURIER-Analyse und LAPLACE-Transformation, denen zur Übung der mathematischen Hilfsmittel Aufgaben mit Funktionen komplexer Zahlen und zur Matrizenrechnung vorangestellt sind. Hier wird die Kenntnis der Differential- und Integralrechnung vorausgesetzt.