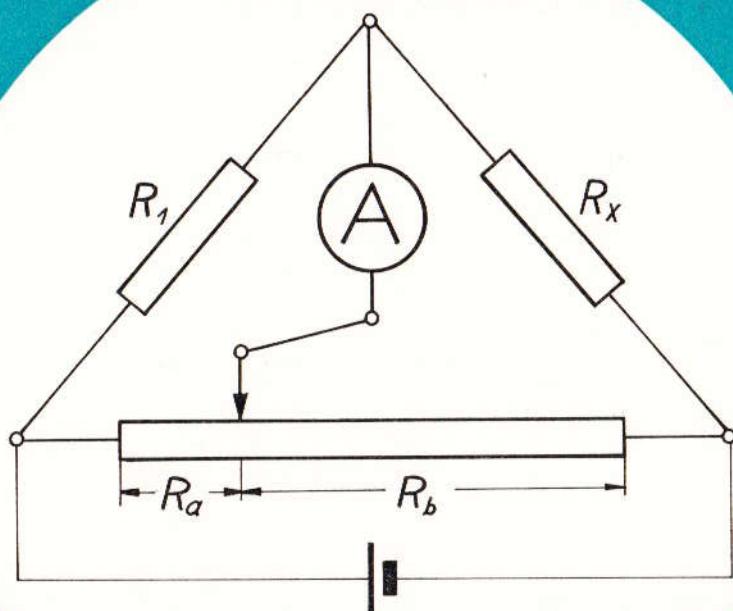


Handbuch der Fernmeldetechnik

- Buchreihe Aft -



$$R_a \cdot R_x = R_1 \cdot R_b$$

Band B 6

(Teil 2)

**Beispiele und Aufgaben
aus der Fernmeldetechnik**

Handbuch der Fernmeldetechnik

— Buchreihe AFt —

17

wichtige Lehr- und Lernwerke für den FLehrl; auch für den Handwerker F und den Fernmeldehandwerker zur Vorbereitung auf die Grundlehrgänge Ft 1 und 2 gut geeignet!

- Band A 1** — **Allgemeine Berufskunde**
Weg und Ziel der Ausbildung — Lehrvertrag — Fernmeldehandwerkerprüfung — Tarifvertrag — Gesetze und Verordnungen des Fernmeldewesens
- Band A 2** — **Allgemeine Berufskunde**
Allgemeines über den Staatsaufbau — Aufgaben und Gliederung der DBP — Sozialeinrichtungen bei der DBP — Musterausarbeitungen und Musterthemen
- Band B 1** — **Grundkenntnisse der Mathematik und Physik**
Erklärung der Grundgrößen der Physik — Buchstabenrechnen — Lösen von Gleichungen — Umstellen von Formeln
- Band B 2** — **Fachzeichnen in der Fernmeldetechnik**
(mit Beiheft) Technisches Zeichnen — Stromlaufzeichnen — Planunterlagen und Zeichnen in der Linientechnik
- Band B 3** — **Gleichstromlehre**
Wesen der Elektrizität — Größen, Einheiten und Gesetze im Gleichstromkreis — Wirkungen des elektrischen Stromes — Arten der Spannungserzeugung — Elektrisches Feld — Kondensator
- Band B 4** — **Wechselstromlehre**
(2 Teile) Dauermagnetismus — Elektromagnetismus — Fremdinduktion — Selbstinduktion — Entstehung des Wechselstromes — Wechselstromwiderstände — Stromversorgungsanlagen — Vorgänge auf elektrischen Leitungen — Elektronenröhren
- Band B 5** — **Meßgeräte und Meßschaltungen**
Meßtechnik und Meßübungen — Entstörungs- und Prüftechnik
- Band B 6** — **Beispiele und Aufgaben aus der Fernmeldetechnik**
(2 Teile) Übungsbeispiele und Aufgabensammlung aus der Physik und der Gleich- und Wechselstromlehre — Berechnen elektrischer Größen in Schaltungen der Fernmeldetechnik

— Weitere Lehrbücher siehe 3. und 4. Umschlagseite —

Handbuch der Fernmeldetechnik — Buchreihe AFt —

Herausgegeben mit Unterstützung
des Bundesministers für das Post- und Fernmeldewesen

Band B 6

(Teil 2)

Beispiele und Aufgaben aus der Fernmeldetechnik

Übungsbeispiele und Aufgabensammlung aus der Physik
und der Gleich- und Wechselstromlehre;
Berechnen elektrischer Größen in Schaltungen der Fernmeldetechnik

2., verbesserte und erweiterte Auflage

Deutsche Postgewerkschaft — Hauptvorstand — Verlag
6 Frankfurt 1 — Savignystraße 43

Vorwort

Die siebzehn Bände des „Handbuchs der Fernmeldetechnik — Buchreihe Aft —“ sollen

1. den Fernmeldelehrlingen während der Lehrzeit ein ständiger Begleiter sein und ihnen eine umfassende und gute Prüfungsvorbereitung ermöglichen,
2. den Fernmeldearbeitern bei der Vorbereitung auf die Prüfung nach dem Tarifvertrag, § 10, behilflich sein,
3. den Handwerkern aus artverwandten Berufen aufzeigen, welches Fachwissen erforderlich ist, um genausoviel zu wissen wie die Lehrlinge am Ende ihrer Lehrzeit,
4. den Fernmeldehandwerkern die Möglichkeit geben, ihr Wissen aufzufrischen und es auf den neuesten Stand der Fernmeldetechnik zu bringen und
5. eine ausreichende Vorbereitung auf den Lehrstoff der dienstlichen Grundlehrgänge gewährleisten.

In der Fernmeldehandwerkerprüfung sowie in den Grundlehrgängen Ft 1 und 2 müssen neben den praktischen Fertigkeiten auch die theoretischen Fachkenntnisse über die Fernmeldetechnik vorhanden sein. Das gleiche gilt hinsichtlich der Kenntnisse in dem wichtigen Prüfungsfach „Allgemeine Berufskunde“ sowie in bezug auf die Grundkenntnisse über die für das Fernmeldewesen wichtigen Gesetze und Verordnungen wie FAG, TWG und FeO. Einer der Bände allein kann dem Leser dieses umfangreiche Wissen nicht vermitteln; alle siebzehn Bände zusammen (vgl. hierzu die Angaben auf der 2. und 3. Umschlagseite) enthalten jedoch das Fachwissen, das sich der Leser im Interesse des Prüfungserfolges und seines weiteren Aufstiegs aneignen muß. In dem „Handbuch der Fernmeldetechnik“ ist nur der unbedingt notwendige Lehrstoff in einfachster Form behandelt worden. Die Verfasser erheben nicht den Anspruch, daß die Bände alle Vorschriften und technischen Einzelheiten sowie das in der Praxis selten oder gar nicht Vorkommende enthalten. Ihnen ging es vielmehr darum, eine

Fibel

für den Fernmeldelehrling,
für den Fernmeldearbeiter,
für den Handwerker aus artverwandten Berufen und
für den Fernmeldehandwerker

zu schaffen, die der gestellten Aufgabe ohne unnötigen Ballast im Interesse der Leser gerecht wird.

Stand: Herbst 1970

Nachdruck, auch auszugsweise, nicht gestattet.

11. Wechselstromkreis

11.1. Induktiver Blindwiderstand	5
11.2. Schaltung von induktiven Blindwiderständen	5
11.2.1. Reihenschaltung	5
11.2.2. Parallelschaltung	6
11.3. Kapazitiver Blindwiderstand	7
11.4. Schaltung von kapazitiven Blindwiderständen	8
11.4.1. Reihenschaltung	8
11.4.2. Parallelschaltung	9
11.5. Schaltung von ungleichartigen Blindwiderständen	10
11.5.1. Reihenschaltung	10
11.5.2. Parallelschaltung	11
11.6. Schaltung von Wirk- und Blindwiderständen	12
11.6.1. Reihenschaltung	12
11.6.2. Parallelschaltung	17
11.7. Reihenwiderstand – Parallelwiderstand	23
11.8. Aufgaben	25

12. Zusammengesetzter Wechselstromkreis

12.1. Spule mit Parallelwiderstand	47
12.2. Spule mit Parallelkapazität	48
12.3. Spule mit Parallelscheinwiderstand	50
12.4. Aufgaben	51

13. Die Leistung im Wechselstromkreis

13.1. Wirkleistung	54
13.2. Scheinleistung	55
13.3. Blindleistung	55
13.4. Phasenkompensation	55
13.5. Aufgaben	58

14. Transformatoren, Fernmeldeübertrager

14.1. Aufgaben	70
14.1.1. Starkstromtechnik	70
14.1.2. Fernmeldetechnik	76

15. Chemische Wirkung des elektrischen Stromes

15.1. Galvanisierung, elektrolytische Korrosion	79
15.1.1. Aufgaben	80
15.2. Die EMK von galvanischen Elementen	83
15.2.1. Aufgaben	84

16. Galvanische Elemente und Sammler

16.1. Schaltung von galvanischen Elementen und Sammlern	86
16.1.1. Aufgaben	89
16.2. Kapazität, Güteverhältnis und Wirkungsgrad	92
16.2.1. Aufgaben	93
16.3. Batterieladung und -entladung	96
16.3.1. Aufgaben - Ladung von Sammlern	97
16.3.2. Aufgaben - Batterieentladung	99

17. Anwendungsbeispiele

17.1. Relais und Relaisschaltung	101
17.1.1. Aufgaben	102
17.2. Aufgaben - Fernmeldeleitungen	115
17.2.1. Leitungswiderstand, Isolationswiderstand, Ableitung	115
17.2.2. Leitungskapazität, Leitungsinduktivität	120
17.3. Wellenwiderstand	121
17.3.1. Aufgaben	122
17.4. Leitungsdämpfung	123
17.4.1. Aufgaben	124
17.5. Grenzfrequenz und Frequenzgang	126
17.5.1. Aufgaben	127
17.6. Widerstand und Diagramm	129
17.6.1. Aufgaben	129
17.7. Aufgaben - Linientechnik	134

11. Wechselstromkreis

11.1. Induktiver Blindwiderstand

Der induktive Blindwiderstand ist das Produkt aus der **Kreisfrequenz** und der **Induktivität**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Induktiver Blindwiderstand	X_L	Ohm	Ω

Größengleichung $X_L =$ induktiver Blindwiderstand in Ω

$$X_L = \omega \cdot L \quad \Omega$$

$\omega =$ Kreisfrequenz in $1/s$

$L =$ Induktivität in $H = \Omega \cdot s = \frac{V}{As}$

Einheitengleichung

$$\Omega = \Omega \cdot s \cdot \frac{1}{s}$$

Übungsbeispiel

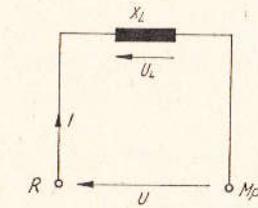
Eine Induktivität von $L = 84 \text{ mH}$ ist an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V}$ / $f = 800 \text{ Hz}$ geschaltet (Abb. 88). Wie groß sind induktiver Blindwiderstand und Stromstärke in dem Stromkreis?

Gegeben: $L = 84 \text{ mH}$, $U = 4 \text{ V}$, $f = 800 \text{ Hz}$

Gesucht: X_L, I

Lösung:

für $f = 800 \text{ Hz}$ ist $\omega \approx 5000 \text{ 1/s}$



$$X_L = \omega \cdot L = 5000 \frac{1}{s} \cdot 84 \cdot 10^{-3} \Omega \cdot s$$

$$X_L = \underline{\underline{420 \Omega}}$$

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{4 \cdot 10^3 \text{ mV}}{420 \Omega} = \underline{\underline{9,54 \text{ mA}}}$$

(Abb. 88)

Die gesuchten Werte betragen: $X_L = 420 \Omega$, $I = 9,54 \text{ mA}$.

11.2. Schaltung von induktiven Blindwiderständen

11.2.1. Reihenschaltung

Der **Gesamtwiderstand** ist die Summe aller **Einzelwiderstände**.

Größengleichung

$$X_L = X_{L1} + X_{L2} \quad \Omega$$

$X_L =$ induktiver Blindwiderstand in Ω

$X_{L1} =$ induktiver Einzelblindwiderstand in Ω

$X_{L2} =$ induktiver Einzelblindwiderstand in Ω

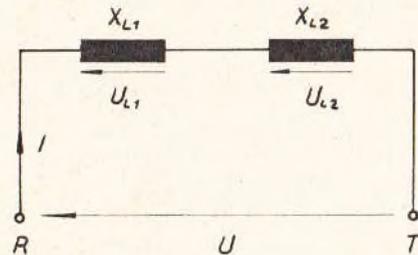
Übungsbeispiel

Zwei induktive Blindwiderstände von $X_{L1} = 320 \Omega$ und $X_{L2} = 560 \Omega$ sind an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$ hintereinandergeschaltet (Abb. 89). Wie groß sind der induktive Blindwiderstand, die Stromstärke und die Teilspannungen?

Gegeben: $X_{L1} = 320 \Omega, X_{L2} = 560 \Omega, U = 4 \text{ V}, f = 800 \text{ Hz}$

Gesucht: X_L, I, U_{L1}, U_{L2}

Lösung:



(Abb. 89)

$$X_L = X_{L1} + X_{L2} = 320 \Omega + 560 \Omega$$

$$X_L = \underline{\underline{880 \Omega}}$$

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{4 \cdot 10^3 \text{ mV}}{880 \Omega} = \underline{\underline{4,55 \text{ mA}}}$$

$$U_{L1} = I \cdot X_{L1}$$

$$U_{L1} = 4,55 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 320 \Omega = \underline{\underline{1,45 \text{ V}}}$$

$$U_{L2} = I \cdot X_{L2}$$

$$U_{L2} = 4,55 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 560 \Omega = \underline{\underline{2,55 \text{ V}}}$$

Rechenprobe: $U = U_{L1} + U_{L2} = 1,45 \text{ V} + 2,55 \text{ V} = \underline{\underline{4 \text{ V}}}$

Die gesuchten Größen betragen: $X_L = 880 \Omega, I = 4,55 \text{ mA}, U_{L1} = 1,45 \text{ V}, U_{L2} = 2,55 \text{ V}.$

11.2.2. Parallelschaltung

Der gesamte induktive **Blindleitwert** ist die Summe aller induktiven Einzelblindleitwerte.

Größengleichungen

$B_L = B_{L1} + B_{L2} \text{ S}$
$\frac{1}{X_L} = \frac{1}{X_{L1}} + \frac{1}{X_{L2}} \frac{1}{\Omega}$
$X_L = \frac{X_{L1} \cdot X_{L2}}{X_{L1} + X_{L2}} \Omega$

B_L = induktiver Blindleitwert in S
 B_{L1} = induktiver Einzelblindleitwert in S
 B_{L2} = induktiver Einzelblindleitwert in S
 X_L = induktiver Blindwiderstand in Ω
 X_{L1} = induktiver Einzelblindwiderstand in Ω
 X_{L2} = induktiver Einzelblindwiderstand in Ω

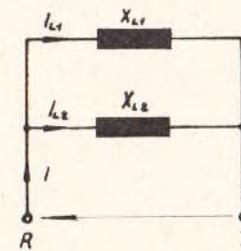
Übungsbeispiel

Zwei induktive Blindwiderstände von $X_{L1} = 320 \Omega$ und $X_{L2} = 560 \Omega$ sind an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$ parallelgeschaltet (Abb. 90). Wie groß sind der induktive Blindwiderstand, Gesamtstrom und die Teilströme?

Gegeben: $X_{L1} = 320 \Omega, X_{L2} = 560 \Omega, U = 4 \text{ V}, f = 800 \text{ Hz}$

Gesucht: X_L, I, I_{L1}, I_{L2}

Lösung:



(Abb. 90)

$$X_L = \frac{X_{L1} \cdot X_{L2}}{X_{L1} + X_{L2}} = \frac{320 \Omega \cdot 560 \Omega}{320 \Omega + 560 \Omega} = \underline{\underline{204 \Omega}}$$

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{4 \cdot 10^3 \text{ mV}}{204 \Omega} = \underline{\underline{19,6 \text{ mA}}}$$

$$I_{L1} = \frac{U}{X_{L1}} = \frac{4 \cdot 10^3 \text{ mV}}{320 \Omega} = \underline{\underline{12,5 \text{ mA}}}$$

$$I_{L2} = \frac{U}{X_{L2}} = \frac{4 \cdot 10^3 \text{ mV}}{560 \Omega} = \underline{\underline{7,1 \text{ mA}}}$$

Rechenprobe: $I = I_{L1} + I_{L2} = 12,5 \text{ mA} + 7,1 \text{ mA} = \underline{\underline{19,6 \text{ mA}}}$

Anderer Rechengang: $B_{L1} = \frac{1}{X_{L1}} = \frac{10^3}{320} = \underline{\underline{3,13 \text{ mS}}}$

$B_{L2} = \frac{1}{X_{L2}} = \frac{10^3}{560} = \underline{\underline{1,79 \text{ mS}}}$

$B_L = B_{L1} + B_{L2} = 3,13 \text{ mS} + 1,79 \text{ mS} = \underline{\underline{4,92 \text{ mS}}}$ $X_L = \frac{1}{B_L} = \frac{10^3}{4,92} = \underline{\underline{204 \Omega}}$

Die gesuchten Größen betragen: $X_L = 204 \Omega, I = 19,6 \text{ mA}, I_{L1} = 12,5 \text{ mA}, I_{L2} = 7,1 \text{ mA}.$

11.3. Kapazitiver Blindwiderstand

Der kapazitive Blindwiderstand ist der umgekehrte Wert des Produkts aus der **Kreisfrequenz** und der **Kapazität**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
---------	---------------	---------	-------------------------

Kapazitiver Blindwiderstand	X_C	Ohm	Ω
-----------------------------	-------	-----	----------

Größengleichung $X_C = \text{kapazitiver Blindwiderstand in } \Omega$

$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} \Omega$

ω = Kreisfrequenz in $1/\text{s}$
 C = Kapazität in $\text{F} = \frac{\text{s}}{\Omega} = \frac{\text{As}}{\text{V}}$

Einheitengleichung

$$\Omega = \frac{\Omega \cdot \text{s}}{\text{s}}$$

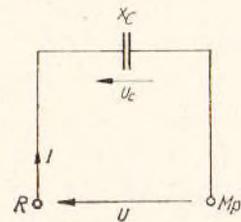
Übungsbeispiel

Eine Kapazität von $C = 480 \text{ nF}$ ist an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$ geschaltet (Abb. 91). Wie groß sind der kapazitive Blindwiderstand und die Stromstärke in dem Stromkreis?

Gegeben: $C = 480 \text{ nF}$, $U = 4 \text{ V}$, $f = 800 \text{ Hz}$

Gesucht: X_C , I

Lösung:



(Abb. 91)

Die gesuchten Werte betragen: $X_C = 417 \Omega$, $I = 9,6 \text{ mA}$.

für $f = 800 \text{ Hz}$ ist $\omega \approx 5000 \text{ 1/s}$

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{5 \cdot 10^3 \frac{1}{s} \cdot 480 \cdot 10^{-9} \frac{s}{\Omega}}$$

$$X_C = \frac{10^6}{5 \cdot 480} = \underline{\underline{417 \Omega}}$$

$$I = \frac{U}{X_C} = \frac{4 \cdot 10^3 \text{ mV}}{417 \Omega} = \underline{\underline{9,6 \text{ mA}}}$$

11.4. Schaltung von kapazitiven Blindwiderständen

11.4.1. Reihenschaltung

Der **Gesamtwiderstand** ist die Summe aller **Einzelwiderstände**.

Größengleichung

$$X_C = X_{C1} + X_{C2} \Omega$$

X_C = kapazitiver Blindwiderstand in Ω
 X_{C1} = kapazitiver Einzelblindwiderstand in Ω
 X_{C2} = kapazitiver Einzelblindwiderstand in Ω

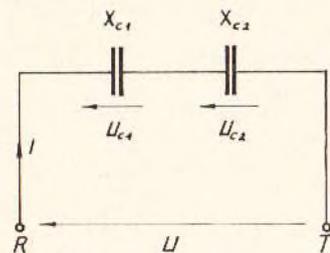
Übungsbeispiel

Zwei kapazitive Blindwiderstände von $X_{C1} = 480 \Omega$ und $X_{C2} = 560 \Omega$ sind an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V}$ / $f = 800 \text{ Hz}$ hintereinandergeschaltet (Abb. 92). Wie groß sind der kapazitive Blindwiderstand, die Stromstärke und die Teilspannungen?

Gegeben: $X_{C1} = 480 \Omega$, $X_{C2} = 560 \Omega$, $U = 4 \text{ V}$, $f = 800 \text{ Hz}$

Gesucht: X_C , I , U_{C1} , U_{C2}

Lösung:



(Abb. 92)

$$U_{C2} = I \cdot X_{C2} = 3,85 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 560 \Omega = \underline{\underline{2,13 \text{ V}}}$$

$$X_C = X_{C1} + X_{C2} = 480 \Omega + 560 \Omega$$

$$X_C = \underline{\underline{1040 \Omega}}$$

$$I = \frac{U}{X_C} = \frac{4 \cdot 10^3 \text{ mV}}{1040} = \underline{\underline{3,85 \text{ mA}}}$$

$$U_{C1} = I \cdot X_{C1} = 3,85 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 480 \Omega$$

$$U_{C1} = \underline{\underline{1,84 \text{ V}}}$$

Rechenprobe: $U = U_{C1} + U_{C2} = 1,84 \text{ V} + 2,16 \text{ V} = \underline{\underline{4,0 \text{ V}}}$

Die gesuchten Werte betragen: $X_C = 1040 \Omega$, $I = 3,85 \text{ mA}$, $U_1 = 1,84 \text{ V}$, $U_2 = 2,16 \text{ V}$.

11.4.2. Parallelschaltung

Der gesamte kapazitive **Blindleitwert** ist die Summe aller kapazitiven **Blindleitwerte**.

Größengleichungen

$$B_C = B_{C1} + B_{C2} \text{ S}$$

$$\frac{1}{X_C} = \frac{1}{X_{C1}} + \frac{1}{X_{C2}} \frac{1}{\Omega}$$

$$X_C = \frac{X_{C1} \cdot X_{C2}}{X_{C1} + X_{C2}} \Omega$$

B_C = kapazitiver Blindleitwert in S
 B_{C1} = kapazitiver Einzelblindleitwert in S
 B_{C2} = kapazitiver Einzelblindleitwert in S
 X_C = kapazitiver Blindwiderstand in Ω
 X_{C1} = kapazitiver Einzelblindwiderstand in Ω
 X_{C2} = kapazitiver Einzelblindwiderstand in Ω

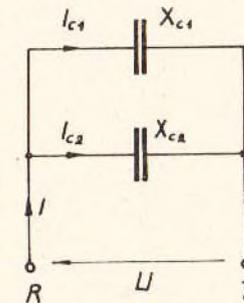
Übungsbeispiel

Zwei kapazitive Blindwiderstände von $X_{C1} = 480 \Omega$ und $X_{C2} = 560 \Omega$ sind an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V}$ / $f = 800 \text{ Hz}$ parallelgeschaltet (Abb. 93). Wie groß sind der kapazitive Blindwiderstand, Gesamtstrom und die Teilströme?

Gegeben: $X_{C1} = 480 \Omega$, $X_{C2} = 560 \Omega$, $U = 4 \text{ V}$, $f = 800 \text{ Hz}$

Gesucht: X_C , I , I_{C1} , I_{C2}

Lösung:



(Abb. 93)

Rechenprobe: $I = I_{C1} + I_{C2} = 8,35 \text{ mA} + 7,15 \text{ mA} = \underline{\underline{15,5 \text{ mA}}}$

Anderer Rechengang: $B_{C1} = \frac{1}{X_{C1}} = \frac{10^3}{480} = \underline{\underline{2,08 \text{ mS}}}$

$$B_{C2} = \frac{1}{X_{C2}} = \frac{10^3}{560} = \underline{\underline{1,79 \text{ mS}}}$$

$$B_C = B_{C1} + B_{C2} = 2,08 \text{ mS} + 1,79 \text{ mS} = \underline{\underline{3,87 \text{ mS}}} \quad X_C = \frac{1}{B_C} = \frac{10^3}{3,87} = \underline{\underline{258 \Omega}}$$

Die gesuchten Werte betragen: $X_C = 258 \Omega$, $I = 15,5 \text{ mA}$, $I_{C1} = 8,35 \text{ mA}$, $I_{C2} = 7,15 \text{ mA}$.

11.5. Schaltung von ungleichartigen Blindwiderständen

11.5.1. Reihenschaltung

Der **Blindwiderstand** ist die Differenz der ungleichartigen **Blindwiderstände**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Blindwiderstand	X	Ohm	Ω

Größengleichungen

X = Blindwiderstand in Ω

X_L = induktiver Blindwiderstand in Ω

X_C = kapazitiver Blindwiderstand in Ω

$$X = X_L - X_C \quad \Omega \quad \text{Der größte Wert}$$

$$X = X_C - X_L \quad \Omega \quad \text{steht stets vorn!}$$

Sind beide ungleichartigen **Blindwiderstände** gleich groß, dann ist der Wert des **Blindwiderstands** null **Ohm**.

Übungsbeispiel

Ein induktiver Blindwiderstand von $X_L = 640 \Omega$ ist mit einem kapazitiven Blindwiderstand von $X_C = 300 \Omega$ in Reihenschaltung an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$ geschaltet (Abb. 94). Wie groß sind der Blindwiderstand, Strom und die Teilspannungen?

Gegeben: $X_L = 640 \Omega, X_C = 300 \Omega, U = 4 \text{ V}, f = 800 \text{ Hz}$

Gesucht: X, I, U_L, U_C

Lösung:

$$X = X_L - X_C = 640 \Omega - 300 \Omega = \underline{\underline{340 \Omega}}$$

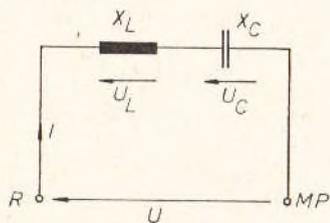
$$I = \frac{U}{X} = \frac{4 \cdot 10^3 \text{ mV}}{340 \Omega} = \underline{\underline{11,8 \text{ mA}}}$$

$$U_L = I \cdot X_L = 11,8 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 640 \Omega$$

$$U_L = \underline{\underline{7,54 \text{ V}}}$$

$$U_C = I \cdot X_C = 11,8 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 300 \Omega$$

$$U_C = \underline{\underline{3,54 \text{ V}}}$$



(Abb. 94)

Rechenprobe: $U = U_L - U_C = 7,54 \text{ V} - 3,54 \text{ V} = \underline{\underline{4,0 \text{ V}}}$

Die gesuchten Größen betragen: $X = 340 \Omega, I = 11,8 \text{ mA}, U_L = 7,54 \text{ V}, U_C = 3,54 \text{ V}.$

11.5.2. Parallelschaltung

Der **Blindleitwert** ist die Differenz der ungleichartigen **Blindleitwerte**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Blindleitwert	B	Siemens	S

Größengleichungen

$$B = B_L - B_C \quad \text{S} \quad \text{Der größte Wert}$$

$$B = B_C - B_L \quad \text{S} \quad \text{steht stets vorn!}$$

$$X = \frac{X_L \cdot X_C}{X_L - X_C} \quad \Omega \quad \text{Im Nenner}$$

$$X = \frac{X_L \cdot X_C}{X_C - X_L} \quad \Omega \quad \text{steht der größte Wert}$$

B = Blindleitwert in S
 B_L = induktiver Blindleitwert in S
 B_C = kapazitiver Blindleitwert in S

X = Blindwiderstand in Ω
 X_L = induktiver Blindwiderstand in Ω
 X_C = kapazitiver Blindwiderstand in Ω

Sind beide ungleichartigen **Blindleitwerte** gleich groß, dann ist der Wert des **Blindleitwerts** null **Siemens**; d. h., der **Blindwiderstand** ist **unendlich groß**.

Übungsbeispiel

Ein induktiver Blindwiderstand von $X_L = 640 \Omega$ ist mit einem kapazitiven Blindwiderstand von $X_C = 300 \Omega$ in Parallelschaltung an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$ geschaltet (Abb. 95). Wie groß sind der Blindwiderstand, Strom und die Teilströme?

Gegeben: $X_L = 640 \Omega, X_C = 300 \Omega, U = 4 \text{ V}, f = 800 \text{ Hz}$

Gesucht: X, I, I_L, I_C

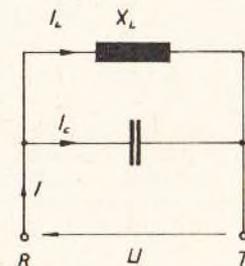
Lösung:

$$X = \frac{X_L \cdot X_C}{X_L - X_C} = \frac{640 \cdot 300}{640 - 300} = \underline{\underline{565 \Omega}}$$

$$I = \frac{U}{X} = \frac{4 \cdot 10^3 \text{ mV}}{565 \Omega} = \underline{\underline{7,10 \text{ mA}}}$$

$$I_L = \frac{U}{X_L} = \frac{4 \cdot 10^3 \text{ mV}}{640 \Omega} = \underline{\underline{6,25 \text{ mA}}}$$

$$I_C = \frac{U}{X_C} = \frac{4 \cdot 10^3 \text{ mV}}{300 \Omega} = \underline{\underline{13,33 \text{ mA}}}$$



(Abb. 95)

Rechenprobe: $I = I_C - I_L = 13,33 - 6,25 = \underline{\underline{7,08 \text{ mA}}}$

Anderer Rechengang: $B_L = \frac{1}{X_L} = \frac{10^3}{640} = \underline{\underline{1,56 \text{ mS}}}$

$B_C = \frac{1}{X_C} = \frac{10^3}{300} = \underline{\underline{3,33 \text{ mS}}}$

$B = B_C - B_L = 3,33 \text{ mS} - 1,56 \text{ mS} = \underline{\underline{1,77 \text{ mS}}}$ $X = \frac{1}{B} = \frac{10^3}{1,77} = \underline{\underline{565 \Omega}}$

Die gesuchten Größen betragen: $X = 565 \Omega$, $I = 7,10 \text{ mA}$, $I_L = 6,25 \text{ mA}$, $I_C = 13,33 \text{ mA}$.

11.6. Schaltung von Wirk- und Blindwiderständen

11.6.1. Reihenschaltung

11.6.1.1. Wirkwiderstand und induktiver Blindwiderstand

Der Scheinwiderstand ist die Quadratwurzel aus der Summe der Quadrate von Wirkwiderstand und induktivem Blindwiderstand.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Scheinwiderstand	Z	Ohm	Ω

Größengleichungen

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \text{ } \Omega$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{U_w}{U}$$

Z = Scheinwiderstand in Ω
 R = Wirkwiderstand in Ω
 X_L = induktiver Blindwiderstand in Ω
 φ = Phasenwinkel in grd

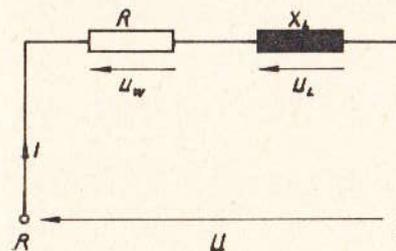
Übungsbeispiel

Eine Spule mit einem Wirkwiderstand von $R = 800 \Omega$ und einer Induktivität von $L = 76 \text{ mH}$ ist an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V}$ / $f = 800 \text{ Hz}$ geschaltet (Abb. 96). Wie groß sind der induktive Blindwiderstand, Scheinwiderstand, die Stromstärke, Wirkspannung und induktive Blindspannung sowie der Phasenwinkel in dem Stromkreis?

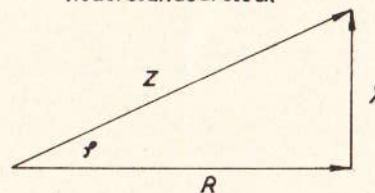
Gegeben: $R = 800 \Omega$, $L = 76 \text{ mH}$, $U = 4 \text{ V}$, $f = 800 \text{ Hz}$

Gesucht: X_L , Z , I , U_w , U_L , $\cos \varphi$, φ

Lösung:



Widerstandsdreieck



für $f = 800 \text{ Hz}$ ist $\omega \approx 5000 \text{ 1/s}$
 $X_L = \omega \cdot L = 5000 \frac{1}{\text{s}} \cdot 76 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Vs}}{\text{A}}$

$X_L = \underline{\underline{380 \Omega}}$

$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$

$Z = \sqrt{800^2 + 380^2} = \underline{\underline{885 \Omega}}$

$I = \frac{U}{Z} = \frac{4 \cdot 10^3 \text{ mV}}{885 \Omega} = \underline{\underline{4,53 \text{ mA}}}$

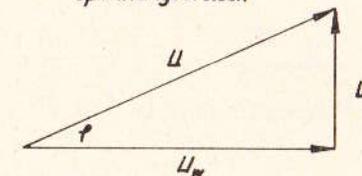
$U_w = I \cdot R = 4,53 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 800 \Omega$

$U_w = \underline{\underline{3,62 \text{ V}}}$

$U_L = I \cdot X_L = 4,53 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 380 \Omega$

$U_L = \underline{\underline{1,72 \text{ V}}}$

Spannungsdreieck



(Abb. 96)

Rechenprobe: $U = \sqrt{U_w^2 + U_L^2} = \sqrt{3,62^2 + 1,72^2} = \underline{\underline{4 \text{ V}}}$

$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{800}{885} = 0,904$; aus der Tabelle: $\varphi = 25^\circ 2'$

Die gesuchten Größen betragen: $X_L = 380 \Omega$, $Z = 885 \Omega$, $I = 4,53 \text{ mA}$, $U_w = 3,62 \text{ V}$, $U_L = 1,72 \text{ V}$, $\cos \varphi = 0,904$, $\varphi = 25^\circ 20'$.

11.6.1.2. Wirkwiderstand und kapazitiver Blindwiderstand

Der Scheinwiderstand ist die Quadratwurzel aus der Summe der Quadrate von Wirkwiderstand und kapazitivem Blindwiderstand.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Scheinwiderstand	Z	Ohm	Ω

Größengleichungen

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \text{ } \Omega$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{U_w}{U}$$

Z = Scheinwiderstand in Ω
 R = Wirkwiderstand in Ω
 X_C = kapazitiver Blindwiderstand in Ω
 φ = Phasenwinkel in grd

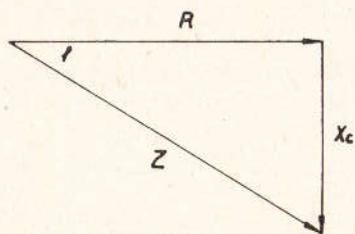
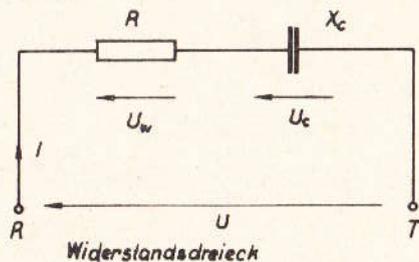
Übungsbeispiel

Ein Wirkwiderstand von $R = 800 \Omega$ ist mit einer Kapazität von $C = 400 \text{ nF}$ in Reihenschaltung an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$ geschaltet (Abb. 97). Wie groß sind der kapazitive Blindwiderstand, Scheinwiderstand, die Stromstärke, Wirkspannung und kapazitive Blindspannung sowie der Phasenwinkel in dem Stromkreis?

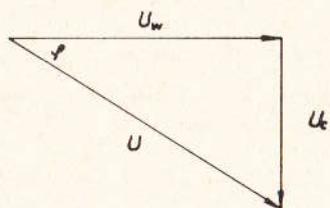
Gegeben: $R = 800 \Omega, C = 400 \text{ nF}, U = 4 \text{ V}, f = 800 \text{ Hz}$

Gesucht: $X_C, Z, I, U_w, U_C, \cos \varphi, \varphi$

Lösung:



Spannungsdreieck



(Abb. 97)

Rechenprobe: $U = \sqrt{U_w^2 + U_C^2} = \sqrt{3,4^2 + 2,12^2} = \underline{\underline{4 \text{ V}}}$

$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{800}{943} = 0,847$; aus der Tabelle: $\varphi = \underline{\underline{32^\circ 10'}}$

Die gesuchten Größen betragen: $X_C = 500 \Omega, Z = 943 \Omega, I = 4,25 \text{ mA}, U_w = 3,4 \text{ V}, U_C = 2,12 \text{ V}, \cos \varphi = 0,847, \varphi = 32^\circ 10'$.

für $f = 800 \text{ Hz}$ ist $\omega \approx 5000 \text{ 1/s}$

$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$

$X_C = \frac{1}{5000 \frac{1}{s} \cdot 400 \cdot 10^{-9} \frac{\text{As}}{\text{V}}}$

$X_C = \underline{\underline{500 \Omega}}$

$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$

$Z = \sqrt{800^2 + 500^2} = \underline{\underline{943 \Omega}}$

$I = \frac{U}{Z} = \frac{4 \cdot 10^3 \text{ mV}}{943 \Omega}$

$I = \underline{\underline{4,25 \text{ mA}}}$

$U_w = I \cdot R = 4,25 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 800 \Omega$

$U_w = \underline{\underline{3,4 \text{ V}}}$

$U_C = I \cdot X_C = 4,25 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 500 \Omega$

$U_C = \underline{\underline{2,12 \text{ V}}}$

11.6.1.3. Reihenresonanz

Der Scheinwiderstand ist die Quadratwurzel aus der Summe der Quadrate von Wirkwiderstand und Blindwiderstand.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Scheinwiderstand	Z	Ohm	Ω

Größengleichungen

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \Omega$$

$$f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \text{ Hz}$$

Z = Scheinwiderstand in Ω
 X = Blindwiderstand in Ω
 f_r = Resonanzfrequenz in $1/s$
 L = Induktivität in H
 C = Kapazität in F

Einheitengleichung

$$\frac{1}{s} = \frac{1}{1 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{\text{Vs}}{\text{A}} \cdot \frac{\text{As}}{\text{V}}}}$$

Übungsbeispiel

Ein Wirkwiderstand von $R = 800 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 76 \text{ mH}$ und einer Kapazität von 400 nF hintereinander an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$ geschaltet (Abb. 98). Wie groß sind der induktive und der kapazitive Blindwiderstand, Blindwiderstand, Scheinwiderstand, die Stromstärke, induktive und kapazitive Blindspannung, Blindspannung, der Phasenwinkel und die Resonanzfrequenz?

Gegeben: $R = 800 \Omega, L = 76 \text{ mH}, C = 400 \text{ nF}, U = 4 \text{ V}, f = 800 \text{ Hz}$

Gesucht: $X_L, X_C, X, Z, I, U_w, U_L, U_C, U_b, \cos \varphi, \varphi, f_r$

Lösung:

für $f = 800 \text{ Hz}$ $\omega \approx 5000 \text{ 1/s}$

$X_L = \omega \cdot L$

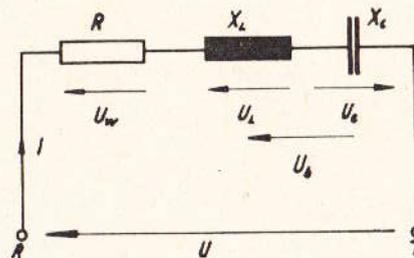
$X_L = 5000 \frac{1}{s} \cdot 76 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Vs}}{\text{A}}$

$X_L = \underline{\underline{380 \Omega}}$

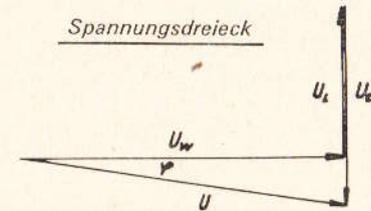
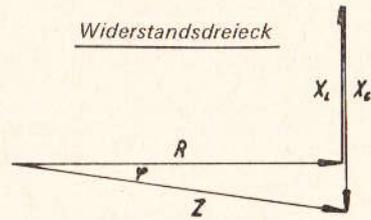
$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$

$X_C = \frac{1}{5000 \frac{1}{s} \cdot 400 \cdot 10^{-9} \frac{\text{As}}{\text{V}}}$

$X_C = \underline{\underline{500 \Omega}}$



(Abb. 98)



(noch Abb. 98)

$$\begin{aligned}
 X &= X_C - X_L = 500 \Omega - 380 \Omega \\
 X &= \underline{120 \Omega} \\
 Z &= \sqrt{R^2 + X^2} = \\
 Z &= \sqrt{800^2 + 120^2} = \underline{809 \Omega} \\
 I &= \frac{U}{Z} = \frac{4 \cdot 10^3 \text{ mV}}{809 \Omega} \\
 I &= \underline{4,95 \text{ mA}} \\
 U_w &= I \cdot R = 4,95 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 800 \Omega \\
 U_w &= \underline{3,96 \text{ V}} \\
 U_L &= I \cdot X_L = 4,95 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 380 \Omega \\
 U_L &= \underline{1,88 \text{ V}} \\
 U_C &= I \cdot X_C = 4,95 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 500 \Omega \\
 U_C &= \underline{2,47 \text{ V}}
 \end{aligned}$$

$$U_b = U_C - U_L = 2,47 \text{ V} - 1,88 \text{ V} = \underline{0,59 \text{ V}}$$

Rechenprobe: $U = \sqrt{U_w^2 + U_b^2} = \sqrt{3,96^2 + 0,59^2} = \underline{4 \text{ V}}$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{800}{809} = 0,990; \text{ nach Tabelle: } \varphi = \underline{7^\circ 50'} \text{ (kapazitiv)}$$

$$f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

$$f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{76 \cdot 10^{-3} \cdot 400 \cdot 10^{-9}}} = \frac{10^6}{2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{76 \cdot 400}}$$

$$f_r = \frac{10^6}{2 \cdot 3,14 \cdot 8,72 \cdot 20} = \frac{10^6}{1091} = \underline{917 \text{ Hz}}$$

Rechenprobe: $\omega_r = 2 \cdot \pi \cdot f_r = 2 \cdot 3,14 \cdot 917 = \underline{5750 \text{ 1/s}}$

$$X_L = \omega_r \cdot L = 5750 \cdot 76 \cdot 10^{-3} = \underline{436 \Omega}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega_r \cdot C} = \frac{1}{5750 \cdot 400 \cdot 10^{-9}} = \underline{436 \Omega}$$

Die gesuchten Werte betragen: $X_L = 380 \Omega$, $X_C = 500 \Omega$, $X = 120 \Omega$, $Z = 809 \Omega$, $I = 4,95 \text{ mA}$, $U_w = 3,96 \text{ V}$, $U_L = 1,88 \text{ V}$, $U_C = 2,47 \text{ V}$, $U_b = 0,59 \text{ V}$, $\cos \varphi = 0,990$, $\varphi = 7^\circ 50'$, $f_r = 917 \text{ Hz}$.

11.6.1.4. Zeichnerische Lösung

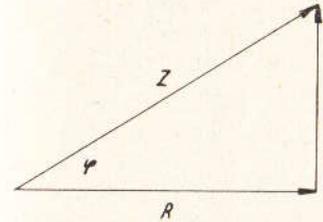
Übungsbeispiel

Ein Wirkwiderstand von $R = 800 \Omega$ ist mit einem Blindwiderstand von $X = 500 \Omega$ hintereinandergeschaltet. Wie groß ist der Scheinwiderstand?

Gegeben: $R = 800 \Omega$, $X = 500 \Omega$

Gesucht: Z

Lösung:



(Abb. 99)

Wählen Sie einen Zeichenmaßstab, der der erforderlichen Ablesegenauigkeit sowie der verfügbaren Zeichenfläche gerecht wird:

$$100 \Omega \cong 1 \text{ cm}$$

Der Wirkwiderstand wird waagrecht, der Blindwiderstand senkrecht aufgetragen. Induktive Blindwiderstände zeichnet man nach oben, kapazitive Blindwiderstände nach unten.

Die Zeigerspitzen beider Widerstände werden zu einem rechtwinkligen Dreieck miteinander verbunden. Die Länge der Hypothese entspricht der Widerstandsgröße des gesuchten Scheinwiderstands.

$$Z = 94,5 \text{ mm} \cong \underline{945 \Omega}$$

Der Scheinwiderstand der Reihenschaltung beträgt $Z = 945 \Omega$.

11.6.2. Parallelschaltung

11.6.2.1. Wirkwiderstand und induktiver Blindwiderstand

Der Scheinleitwert ist die Quadratwurzel aus der Summe der Quadrate des Wirkleitwertes und des induktiven Blindleitwertes.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Scheinleitwert	Y	Siemens	S

Größengleichungen

$$\begin{aligned}
 Y &= \sqrt{G^2 + B_L^2} \text{ S} \\
 Z &= \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \Omega \\
 \cos \varphi &= \frac{G}{Y} = \frac{Z}{R} = \frac{I_w}{I}
 \end{aligned}$$

Y = Scheinleitwert in S
 G = Wirkleitwert in S
 B_L = induktiver Blindleitwert in S
 φ = Phasenwinkel in grad

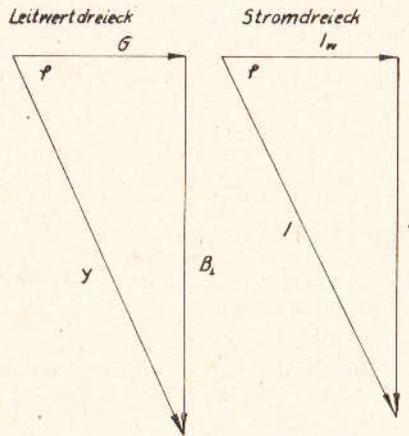
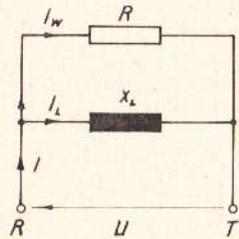
Übungsbeispiel

Ein Wirkwiderstand von $R = 800 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 76 \text{ mH}$ in Parallelschaltung an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$ geschaltet (Abb. 100). Wie groß sind der Wirkleitwert, induktive Blindwiderstand, induktive Blindleitwert, Scheinleitwert, Scheinwiderstand, Wirkstrom, induktiver Blindstrom, Gesamtstrom und der Phasenwinkel in dem Stromkreis?

Gegeben: $R = 800 \Omega, L = 76 \text{ mH}, U = 4 \text{ V}, f = 800 \text{ Hz}$

Gesucht: $G, X_L, B_L, Y, Z, I, I_w, I_L, \cos \varphi, \varphi$

Lösung:



für $f = 800 \text{ Hz}$ ist $\omega \approx 5000 \text{ 1/s}$

$$G = \frac{1}{R} = \frac{10^3}{800 \Omega} = \underline{\underline{1,25 \text{ mS}}}$$

$$X_L = \omega \cdot L$$

$$X_L = 5000 \frac{1}{\text{s}} \cdot 76 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Vs}}{\text{A}}$$

$$X_L = \underline{\underline{380 \Omega}}$$

$$B_L = \frac{1}{X_L} = \frac{10^3}{380 \Omega} = \underline{\underline{2,63 \text{ mS}}}$$

$$Y = \sqrt{G^2 + B_L^2}$$

$$Y = \sqrt{1,25^2 + 2,63^2} = \underline{\underline{2,91 \text{ mS}}}$$

$$Z = \frac{1}{Y} = \frac{10^3}{2,91 \text{ mS}} = \underline{\underline{344 \Omega}}$$

Rechenprobe:

$$Z = \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

$$Z = \frac{800 \cdot 380}{\sqrt{800^2 + 380^2}} = \underline{\underline{344 \Omega}}$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{4 \cdot 10^{-3} \text{ mV}}{344 \Omega}$$

$$I = \underline{\underline{11,6 \text{ mA}}}$$

(Abb. 100)

$$I_w = \frac{U}{R} = \frac{4 \cdot 10^3 \text{ mV}}{800 \Omega} = \underline{\underline{5 \text{ mA}}} \quad I_L = \frac{U}{X_L} = \frac{4 \cdot 10^3 \text{ mV}}{380 \Omega} = \underline{\underline{10,5 \text{ mA}}}$$

$$\text{Rechenprobe: } I = \sqrt{I_w^2 + I_L^2} = \sqrt{5^2 + 10,5^2} = \underline{\underline{11,62 \text{ mA}}}$$

$$\cos \varphi = \frac{Z}{R} = \frac{344}{800} = \underline{\underline{0,43}} \quad \varphi = \underline{\underline{64^\circ 30'}}$$

Die gesuchten Werte betragen: $G = 1,25 \text{ mS}, X_L = 380 \Omega, B_L = 2,63 \text{ mS}, Y = 2,91 \text{ mS}, Z = 344 \Omega, I = 11,6 \text{ mA}, I_w = 5 \text{ mA}, I_L = 10,5 \text{ mA}, \cos \varphi = 0,43, \varphi = 64^\circ 30'.$

11.6.2.2. Wirkwiderstand und kapazitiver Blindwiderstand

Der **Scheinleitwert** ist die Quadratwurzel aus der Summe der Quadrate des **Wirkleitwertes** und des **kapazitiven Blindleitwertes**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Scheinleitwert	Y	Siemens	S

Größengleichungen

$$Y = \sqrt{G^2 + B_C^2} \text{ S}$$

$$Z = \frac{R \cdot X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} \Omega$$

$$\cos \varphi = \frac{G}{Y} = \frac{Z}{R} = \frac{I_w}{I}$$

Y = Scheinleitwert in S
 G = Wirkleitwert in S
 B_C = kapazitiver Blindleitwert in S
 φ = Phasenwinkel in grad

Übungsbeispiel

Ein Wirkwiderstand von $R = 800 \Omega$ ist mit einer Kapazität von $C = 400 \text{ nF}$ in Parallelschaltung an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$ geschaltet (Abb. 101). Wie groß sind der Wirkleitwert, kapazitiver Blindwiderstand, kapazitiver Blindleitwert, Scheinleitwert, Scheinwiderstand, Wirkstrom, kapazitiver Blindstrom, Gesamtstrom und der Phasenwinkel in dem Stromkreis?

Gegeben: $R = 800 \Omega, C = 400 \text{ nF}, U = 4 \text{ V}, f = 800 \text{ Hz}$

Gesucht: $G, X_C, B_C, Y, Z, I, I_w, I_C, \cos \varphi, \varphi$

Lösung:

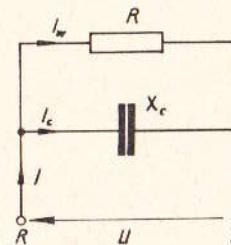
für $f = 800 \text{ Hz}$ ist $\omega \approx 5000 \text{ 1/s}$

$$G = \frac{1}{R} = \frac{10^3}{800 \Omega} = \underline{\underline{1,25 \text{ mS}}}$$

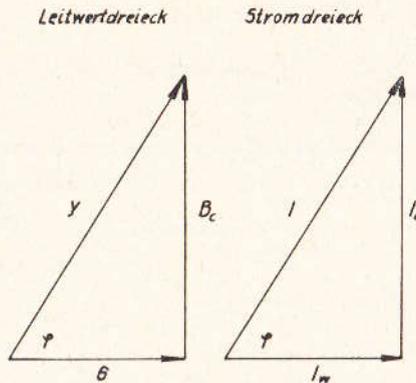
$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

$$X_C = \frac{1}{5000 \frac{1}{\text{s}} \cdot 400 \cdot 10^{-9} \frac{\text{As}}{\text{V}}}$$

$$X_C = \underline{\underline{500 \Omega}}$$



(Abb. 101)



(noch Abb. 101)

$$I_w = \frac{U}{R} = \frac{4 \cdot 10^3 \text{ mV}}{800 \Omega} = \underline{5 \text{ mA}} \quad I_C = \frac{U}{X_C} = \frac{4 \cdot 10^3 \text{ mV}}{500 \Omega} = \underline{8 \text{ mA}}$$

Rechenprobe: $I = \sqrt{I_w^2 + I_C^2} = \sqrt{5^2 + 8^2} = \underline{9,43 \text{ mA}}$

$$\cos \varphi = \frac{Z}{R} = \frac{424}{800} = 0,53 \quad \varphi = \underline{58^\circ}$$

Die gesuchten Werte betragen: $G = 1,25 \text{ mS}$, $X_C = 500 \Omega$, $B_C = 2 \text{ mS}$, $Y = 2,36 \text{ mS}$, $Z = 424 \Omega$, $I = 9,43 \text{ mA}$, $I_w = 5 \text{ mA}$, $I_C = 8 \text{ mA}$, $\cos \varphi = 0,53$, $\varphi = 58^\circ$.

11.6.2.3. Parallelresonanz

Der Scheinleitwert ist die Quadratwurzel aus der Summe der Quadrate des Wirkleitwertes und des Blindleitwertes.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Scheinleitwert	Y	Siemens	S

Größengleichungen

$Y = \sqrt{G^2 + B^2} \text{ S}$
$Z = \frac{R \cdot X}{\sqrt{R^2 + X^2}} \Omega$
$f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \text{ Hz}$

- Y = Scheinleitwert in S
- Z = Scheinwiderstand in Ω
- G = Wirkleitwert in S
- B = Blindleitwert in S
- f_r = Resonanzfrequenz in 1/s
- L = Induktivität in H
- C = Kapazität in F

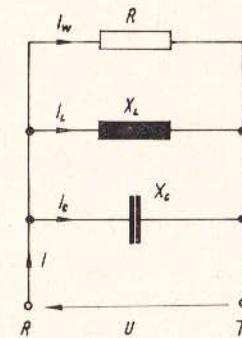
Übungsbeispiel

Ein Wirkwiderstand von $R = 800 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 76 \text{ mH}$ und einer Kapazität von $C = 400 \text{ nF}$ parallel an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V}$ / $f = 800 \text{ Hz}$ geschaltet (Abb. 102). Wie groß sind der Wirkleitwert, induktive Blindwiderstand, induktive Blindleitwert, kapazitive Blindwiderstand, kapazitive Blindleitwert, Blindwiderstand, Blindleitwert, Scheinleitwert, Scheinwiderstand, Wirkstrom, induktive Blindstrom, kapazitive Blindstrom, Gesamtstrom, Phasenwinkel und die Resonanzfrequenz?

Gegeben: $R = 800 \Omega$, $L = 76 \text{ mH}$, $C = 400 \text{ nF}$, $U = 4 \text{ V}$, $f = 800 \text{ Hz}$

Gesucht: G , X_L , B_L , X_C , B_C , B , X , Y , Z , I_w , I_L , $\cos \varphi$, φ , f_r

Lösung:



für $f = 800 \text{ Hz}$ ist $\omega \approx 5000 \text{ 1/s}$

$$G = \frac{1}{R} = \frac{10^3}{800 \Omega} = \underline{1,25 \text{ mS}}$$

$$X_L = \omega \cdot L = 5000 \frac{1}{s} \cdot 76 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Vs}}{\text{A}} = \underline{380 \Omega}$$

$$X_L = \underline{380 \Omega}$$

$$B_L = \frac{1}{X_L} = \frac{10^3}{380 \Omega} = \underline{2,63 \text{ mS}}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

$$X_C = \frac{1}{5000 \frac{1}{s} \cdot 400 \cdot 10^{-9} \frac{\text{As}}{\text{V}}} = \underline{500 \Omega}$$

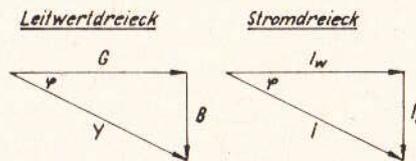
$$X_C = \underline{500 \Omega}$$

$$B_C = \frac{1}{X_C} = \frac{10^3}{500 \Omega} = \underline{2 \text{ mS}}$$

$$B = B_L - B_C = 2,63 - 2,0 = \underline{0,63 \text{ mS}}$$

$$B = \underline{0,63 \text{ mS}}$$

$$X = \frac{1}{B} = \frac{10^3}{0,63 \text{ mS}} = \underline{1587 \Omega}$$



(Abb. 102)

Rechenprobe: $X = \frac{X_C \cdot X_L}{X_C - X_L} = \frac{500 \cdot 380}{500 - 380} = \underline{1587 \Omega}$

$$Y = \sqrt{G^2 + B^2} = \sqrt{1,25^2 + 0,63^2} = \underline{1,40 \text{ mS}} \quad Z = \frac{1}{Y} = \frac{10^3}{1,40} = \underline{714 \Omega}$$

Rechenprobe: $Z = \frac{R \cdot X}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{800 \cdot 1587}{\sqrt{800^2 + 1587^2}} = \underline{714 \Omega}$

$$I_w = \frac{U}{R} = \frac{4 \cdot 10^3 \text{ mV}}{800 \Omega} = \underline{5 \text{ mA}} \quad I_L = \frac{U}{X_L} = \frac{4 \cdot 10^3 \text{ mV}}{380 \Omega} = \underline{10,5 \text{ mA}}$$

$$I_C = \frac{U}{X_C} = \frac{4 \cdot 10^3 \text{ mV}}{500 \Omega} = \underline{8 \text{ mA}} \quad I_b = I_L - I_C = 10,5 - 8,0 = \underline{2,5 \text{ mA}}$$

Rechenprobe: $I_b = \frac{U}{X} = \frac{4 \cdot 10^3 \text{ mV}}{1587 \Omega} = \underline{2,52 \text{ mA}}$

$$I = \sqrt{I_w^2 + I_b^2} = \sqrt{5^2 + 2,5^2} = 5,60 \text{ mA}$$

Rechenprobe: $I = \frac{U}{Z} = \frac{4 \cdot 10^3 \text{ mV}}{714 \Omega} = \underline{5,60 \text{ mA}}$

$$\cos \varphi = \frac{Z}{R} = \frac{714}{800} = 0,893; \quad \text{nach Tabelle: } \varphi = 26^\circ 40' \text{ (induktiv)}$$

$$f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

$$f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{76 \cdot 10^{-3} \cdot 400 \cdot 10^{-9}}} = \frac{10^6}{2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{76 \cdot 400}}$$

$$f_r = \frac{10^6}{2 \cdot 3,14 \cdot 8,72 \cdot 20} = \frac{10^6}{1091} = \underline{917 \text{ Hz}}$$

Rechenprobe: $\omega_r = 2 \cdot \pi \cdot f_r = 2 \cdot 3,14 \cdot 917 = \underline{5750 \text{ 1/s}}$

$$X_L = \omega_r \cdot L = 5750 \cdot 76 \cdot 10^{-3} = \underline{436 \Omega}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega_r \cdot C} = \frac{1}{5750 \cdot 400 \cdot 10^{-9}} = \underline{436 \Omega}$$

Die gesuchten Werte betragen: $G = 1,25 \text{ mS}$, $X_L = 380 \Omega$, $B_L = 2,63 \text{ mS}$, $X_C = 500 \Omega$, $B_C = 2 \text{ mS}$, $B = 0,63 \text{ mS}$, $X = 1587 \Omega$, $Y = 1,40 \text{ mS}$, $Z = 714 \Omega$, $I_w = 5 \text{ mA}$, $I_L = 10,5 \text{ mA}$, $I_C = 8 \text{ mA}$, $I_b = 2,5 \text{ mA}$, $I = 5,60 \text{ mA}$, $\cos \varphi = 0,893$, $\varphi = 26^\circ 40'$, $f_r = 917 \text{ Hz}$.

11.6.2.4. Zeichnerische Lösung

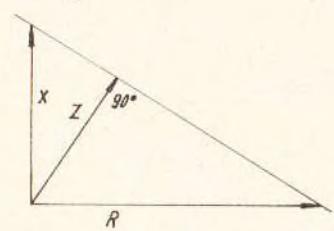
Übungsbeispiel

Ein Wirkwiderstand von $R = 800 \Omega$ ist mit einem Blindwiderstand von $X = 500 \Omega$ parallelgeschaltet (Abb. 103). Wie groß ist der Scheinwiderstand?

Gegeben: $R = 800 \Omega$, $X = 500 \Omega$

Gesucht: Z

Lösung:



(Abb. 103)

Wählen Sie einen Zeichenmaßstab, der der erforderlichen Ablesegenauigkeit sowie der verfügbaren Zeichenfläche gerecht wird:

$100 \Omega \cong 1 \text{ cm}$.

Der Wirkwiderstand wird waagrecht, der Blindwiderstand senkrecht aufgetragen. Die Zeigerspitzen beider Widerstände werden zu einem rechtwinkligen Dreieck verbunden.

Von der Hypotenuse aus wird eine Rechtwinklige derart gefällt, daß sie durch die Zeigeranfänge von R und X verläuft. Die Länge der Rechtwinkligen entspricht der Widerstandsgröße des gesuchten Scheinwiderstands.

$$Z = 42,5 \text{ mm} \cong \underline{425 \Omega}$$

Der Scheinwiderstand der Parallelschaltung beträgt $Z = 425 \Omega$.

11.7. Reihenwiderstand — Parallelwiderstand

Der **Parallelwiderstand** ist der Quotient aus dem quadratischen Wert des **Reihenscheinwiderstands** und des **Reihenwiderstands**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Parallelwiderstand	R_p	Ohm	Ω

Größengleichungen

$R_p = \frac{Z^2}{R_r} \Omega$	Z = Scheinwiderstand in Ω R_p = Parallelwirkwiderstand in Ω R_r = Reihewirkwiderstand in Ω
$X_p = \frac{Z^2}{X_r} \Omega$	X_p = Parallelblindwiderstand in Ω X_r = Reihenblindwiderstand in Ω

Näherungsformel

$$R_p = \frac{X_L^2}{R_r} \Omega$$

Die Näherungsformel wird dann angewendet, wenn der Drahtwiderstand der Stromspule vernachlässigt werden kann.

Übungsbeispiel

Eine Spule hat einen Wirkwiderstand von $R = 300 \Omega$ und eine Induktivität von $L = 80 \text{ mH}$. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 4 \text{ V}$ / $f = 800 \text{ Hz}$.

- Wie groß sind von dieser Spule der Parallelwirkwiderstand und der Parallelblindwiderstand?
- Wie groß sind von der Reihenschaltung und der Parallelschaltung die jeweiligen Werte des Scheinwiderstands, des Wechselstroms, der Teilspannungen und -ströme sowie die Phasenverschiebung?

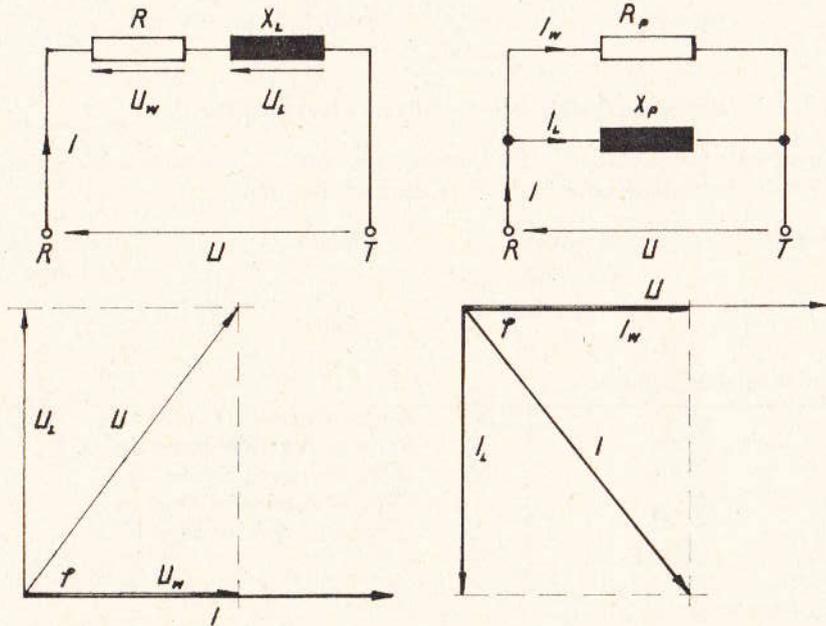
Gegeben: $R = 300 \Omega$, $L = 80 \text{ mH}$, $U = 4 \text{ V}$, $f = 800 \text{ Hz}$

Gesucht: $R_p, X_p; Z, I, U_w, U_L, \varphi; Z, I, I_w, I_L, \varphi$

Lösung: für $f = 800 \text{ Hz}$ ist $\omega \approx 5000 \text{ 1/s}$

$$X_L = \omega \cdot L = 5000 \frac{1}{s} \cdot 80 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Vs}}{\text{A}} = \underline{400 \Omega}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{300^2 + 400^2} = \underline{500 \Omega}$$



(Abb. 104)

$$R_p = \frac{Z^2}{R} = \frac{500^2}{300} = \underline{\underline{833 \Omega}}$$

Reihenschaltung

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$Z = \sqrt{300^2 + 400^2} = \underline{\underline{500 \Omega}}$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{4 \cdot 10^3}{500} = \underline{\underline{8 \text{ mA}}}$$

$$U_w = I \cdot R = 8 \cdot 10^{-3} \cdot 300$$

$$U_w = \underline{\underline{2,4 \text{ V}}}$$

$$U_L = I \cdot X_L = 8 \cdot 10^{-3} \cdot 400$$

$$U_L = \underline{\underline{3,2 \text{ V}}}$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{300}{500} = \underline{\underline{0,6}}$$

$$\sphericalangle \varphi = \underline{\underline{53^\circ 10'}}$$

$$X_p = \frac{Z^2}{X_L} = \frac{500^2}{400} = \underline{\underline{625 \Omega}}$$

Parallelschaltung

$$Z = \frac{R_p \cdot X_p}{\sqrt{R_p^2 + X_p^2}}$$

$$Z = \frac{833 \cdot 625}{\sqrt{833^2 + 625^2}} = \underline{\underline{500 \Omega}}$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{4 \cdot 10^3}{500} = \underline{\underline{8 \text{ mA}}}$$

$$I_w = \frac{U}{R_p} = \frac{4 \cdot 10^3}{833} = \underline{\underline{4,8 \text{ mA}}}$$

$$I_L = \frac{U}{X_p} = \frac{4 \cdot 10^3}{625} = \underline{\underline{6,4 \text{ mA}}}$$

$$\cos \varphi = \frac{Z}{R_p} = \frac{500}{833} = \underline{\underline{0,6}}$$

$$\sphericalangle \varphi = \underline{\underline{53^\circ 10'}}$$

Reihenschaltung und Parallelschaltung sind hinsichtlich der elektrischen Werte des Scheinwiderstandes und des Phasenwinkels völlig gleichwertig.

Die gesuchten Werte betragen: $R_p = 833 \Omega$, $X_p = 625 \Omega$, $Z = 500 \Omega$, $I = 8 \text{ mA}$, $U_w = 2,4 \text{ V}$, $U_L = 3,2 \text{ V}$, $I_w = 4,8 \text{ mA}$, $I_L = 6,4 \text{ mA}$, $\sphericalangle \varphi = 53^\circ 10'$.

11.8. Aufgaben

Induktiver Blindwiderstand

- Wie groß ist der Wert des induktiven Blindwiderstands einer Induktivität von $L = 70,6 \text{ mH}$ bei einer Frequenz von 800 Hz ?
- Berechnen Sie von einer Induktivität von $L = 64 \text{ mH}$ die jeweiligen Werte des induktiven Blindwiderstands.

$f \text{ Hz}$	300	800	1200	2400	3400
$X_L \Omega$					

- Eine Induktivität von $L = 95 \text{ mH}$ ist an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V}$ geschaltet. Wie groß sind die Stromwerte bei 300 Hz und 3400 Hz ?
- Eine Induktivität von $L = 0,128 \text{ H}$ ist an eine Wechselspannung von $U = 220 \text{ V}$ geschaltet. Die gemessene Stromstärke beträgt $I = 5 \text{ A}$. Wie hoch ist die Frequenz der Wechselspannung?
- Eine Induktivität von $L = 6 \text{ mH}$ ist an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V}$ und der Frequenz von $f = 1000 \text{ Hz}$ geschaltet. Welche Stromstärke fließt in der Induktivität?
- Eine Induktivität ist in einem Wechselstromkreis von $U = 42 \text{ V}$ und $f = 800 \text{ Hz}$ geschaltet. Die Stromstärke in dem Stromkreis beträgt $I = 28 \text{ mA}$. Wie groß ist die Induktivität?
- Eine Induktivität von $L = 18 \text{ mH}$ ist in einem Wechselstromkreis von $f = 1500 \text{ Hz}$ geschaltet. Die gemessene Stromstärke beträgt $I = 4 \text{ mA}$. Wie hoch ist die angeschaltete Wechselspannung?
- Eine Induktivität von $L = 84 \text{ mH}$ ist an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V}$ geschaltet. Wie groß sind die jeweiligen Stromwerte bei den nachstehenden Frequenzen?

$f \text{ Hz}$	300	800	1600	3400	16 000
$X_L \Omega$					
I					

9. Zwei Induktivitäten von $L_1 = 84 \text{ mH}$ und $L_2 = 116 \text{ mH}$ sind in Reihenschaltung an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V}$ / $f = 800 \text{ Hz}$ geschaltet. Wie groß sind Gesamtstrom und Spannungsaufteilung?
10. Zwei Induktivitäten von $L_1 = 120 \text{ mH}$ und $L_2 = 240 \text{ mH}$ sind in Reihenschaltung an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V}$ geschaltet. Berechnen Sie für die nachstehenden Frequenzen die jeweilige Stromstärke und die Spannungsaufteilung:

$f \text{ Hz}$	300	800	1600	3400	6000
$X_L \Omega$					
$I \text{ mA}$					
$U_1 \text{ V}$					
$U_2 \text{ V}$					

11. Zwei Induktivitäten von $L_1 = 180 \text{ mH}$ und $L_2 = 320 \text{ mH}$ sind in Parallelschaltung an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V}$ / $f = 800 \text{ Hz}$ geschaltet. Wie groß sind Gesamtinduktivität, gesamter induktiver Blindwiderstand und die Teilströme?
12. Eine Induktivität von $L = 36 \text{ mH}$ ist in einem Stromkreis von $U = 4 \text{ V}$ / $f = 800 \text{ Hz}$ geschaltet. In den Stromkreis soll eine Induktivität derart geschaltet werden, daß sich ein Gesamtstrom von $I = 82 \text{ mA}$ einstellt. Wie muß die zusätzliche Induktivität geschaltet werden und welchen Wert hat sie?
13. Zwei Induktivitäten von $L_1 = 0,184 \text{ H}$ und $L_2 = 0,216 \text{ H}$ sind in Parallelschaltung an eine Wechselspannung von $U = 220 \text{ V}$ bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$ geschaltet. Wie groß sind die Teilströme und der Gesamtstrom?
14. In einem Wechselstromkreis von $U = 24 \text{ V}$ und $f = 800 \text{ Hz}$ sind drei Induktivitäten parallelgeschaltet. Die gemessene Wechselstromstärke beträgt $I = 2,4 \text{ A}$. Die Werte von zwei Einzelinduktivitäten sind $L_1 = 14 \text{ mH}$ und $L_2 = 38 \text{ mH}$. Wie groß ist die Einzelinduktivität L_3 ?
15. Zwei Induktivitäten von $L_1 = 10 \text{ mH}$ und $L_2 = 12 \text{ mH}$ sind in Parallelschaltung an eine Wechselspannung von $U = 60 \text{ V}$ geschaltet. Die gemessene Wechselstromstärke beträgt $I = 1,0 \text{ A}$.
- a) Wie hoch ist die Frequenz der Wechselspannung?
- b) Wie groß sind die Teilströme I_{L1} und I_{L2} ?

16. Zwei Induktivitäten von $L_1 = 84 \text{ mH}$ und $L_2 = 36 \text{ mH}$ sind an eine Wechselspannung von $U = 220 \text{ V}$ und $f = 50 \text{ Hz}$ hintereinandergeschaltet. Wie groß sind die Teilspannungen U_{L1} und U_{L2} ?
17. In einem Wechselstromkreis von $U = 42 \text{ V}$ und $f = 800 \text{ Hz}$ sind drei Induktivitäten hintereinandergeschaltet. Die Werte von zwei Einzelinduktivitäten betragen $L_1 = 30 \text{ mH}$ und $L_2 = 40 \text{ mH}$. Die gemessene Stromstärke beträgt $I = 8,4 \text{ mA}$.
- a) Wie groß ist die Einzelinduktivität L_3 ?
- b) Wie groß sind die Teilspannungen U_{L1} , U_{L2} und U_{L3} ?
18. Zwei Induktivitäten von $L_1 = 12,2 \text{ mH}$ und $L_2 = 22 \text{ mH}$ sind in Reihenschaltung an eine Wechselspannung von $U = 220 \text{ V}$ geschaltet. Die in dem Stromkreis gemessene Stromstärke beträgt $I = 4,1 \text{ A}$.
- a) Wie hoch ist die Frequenz der Wechselspannung?
- b) Wie groß sind die Teilspannungen U_{L1} und U_{L2} ?
19. Eine Induktivität von $L = 56 \text{ mH}$ befindet sich in einem Stromkreis von $U = 4 \text{ V}$ / $f = 800 \text{ Hz}$. Durch Hinzuschalten einer zweiten Induktivität soll die Stromstärke auf $I = 8,4 \text{ mA}$ eingestellt werden. Wie groß muß der Wert der zusätzlichen Induktivität sein?
20. Eine Spule mit Lufthohlraum hat folgende Abmessungen: Windungszahl $N = 1400$, Spulenlänge $l = 4,8 \text{ cm}$, Querschnitt des Spulenraums $A = 0,8 \text{ cm} \cdot 0,8 \text{ cm}$. Die Spule wird an eine Wechselspannung von $U = 0,707 \text{ V}$ / $f = 1600 \text{ Hz}$ geschaltet. Welche Stromstärke stellt sich ein, wenn der Drahtwiderstand des Spulendrahts vernachlässigt wird?
21. Der Stromwert eines Stromkreises von $U = 1,0 \text{ V}$ / $f = 1600 \text{ Hz}$ soll mit Hilfe einer Spule mit Lufthohlraum auf $I = 10 \text{ mA}$ eingestellt werden. Der Drahtwiderstand der Spule wird vernachlässigt. Die Länge der Spule ist $l = 4,2 \text{ cm}$ und der Spulenquerschnitt beträgt $A = 0,36 \text{ cm}^2$. Wieviel Windungen muß die Spule erhalten?
22. Von einer Stromspule mit geschlossenem Eisenkern soll die Größe der Induktivität ermittelt werden. Bei angeschalteter Wechselspannung von $U = 4 \text{ V}$ / $f = 800 \text{ Hz}$ wird eine Stromstärke von $I = 1,06 \text{ A}$ gemessen. Der Drahtwiderstand der Spule wird vernachlässigt. Wie groß ist die Induktivität der Spule?

23. Eine Stromspule hat einen Kern mit einem Luftspalt von $s = 4 \text{ mm}$. Wird sie an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$ geschaltet, dann stellt sich eine Stromstärke von $I = 40 \text{ mA}$ ein. Die Maße des Kerns sind $A = 0,6 \text{ cm} \cdot 0,6 \text{ cm}$; der Eisenfüllfaktor wird auf $k_{\text{Fe}} = 0,8$ geschätzt. Der Drahtwiderstand und der magnetische Widerstand des Kerns werden vernachlässigt.

- a) Welche Windungszahl hat die Spule?
- b) Wie groß ist der Höchstwert des magnetischen Flusses im Kern?

24. Von einer Stromspule mit geschlossenem Eisenkern werden bei der Wechselspannung von $U = 4 \text{ V}$ folgende Stromwerte gemessen. Der Drahtwiderstand der Spule wird jedesmal vernachlässigt.

f Hz	100	200	300	400	500	600
I mA	240	102	48	18	6,4	4,6
L mH						

Kapazitiver Blindwiderstand

- 25. Wie groß ist der kapazitive Blindwiderstand einer Kapazität von $C = 360 \text{ nF}$ bei einer Frequenz von $f = 800 \text{ Hz}$?
- 26. Berechnen Sie von einer Kapazität von $C = 420 \text{ nF}$ die jeweiligen Werte des kapazitiven Blindwiderstands.

f Hz	300	800	1200	2400	3400
X_C					

- 27. Eine Kapazität von $C = 3,6 \mu\text{F}$ ist an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V}$ geschaltet. Wie groß sind die Stromwerte bei 300 Hz und 3400 Hz?
- 28. Ein Kondensator von $C = 40 \mu\text{F}$ ist an eine Wechselspannung von $U = 220 \text{ V}$ und $f = 50 \text{ Hz}$ geschaltet. Von welcher Stromstärke wird der Wechselstromkreis durchflossen?
- 29. Eine Kapazität von $C = 23 \mu\text{F}$ ist an eine Wechselspannung von $U = 110 \text{ V}$ geschaltet. Die gemessene Stromstärke beträgt $I = 0,6 \text{ A}$. Wie hoch ist die Frequenz der Wechselspannung?
- 30. Eine Kapazität ist in einen Wechselstromkreis von $U = 6 \text{ V}$ und $f = 800 \text{ Hz}$ geschaltet. Die Stromstärke im Wechselstromkreis beträgt $I = 80 \text{ mA}$. Wie groß ist die Kapazität?
- 31. Ein Kondensator von $C = 300 \text{ nF}$ ist an eine Wechselspannung von $f = 1500 \text{ Hz}$ geschaltet. Die Stromstärke beträgt $I = 14 \text{ mA}$. Wie hoch ist die angeschaltete Wechselspannung?

32. Eine Kapazität von $C = 850 \text{ nF}$ ist an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V}$ geschaltet. Wie groß sind die jeweiligen Stromwerte bei den nachstehenden Frequenzen?

f Hz	300	800	1600	3400	16 000
X_C					
I					

33. Zwei Kapazitäten von $C_1 = 600 \text{ nF}$ und $C_2 = 450 \text{ nF}$ sind in Hintereinanderschaltung an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$ geschaltet. Wie groß sind Gesamtkapazität, gesamter kapazitiver Blindwiderstand und die Teilspannungen?

34. Zwei Kapazitäten von $C_1 = 5,2 \mu\text{F}$ und $C_2 = 3,6 \mu\text{F}$ sind in Reihenschaltung an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V}$ geschaltet. Berechnen Sie für die nachstehenden Frequenzen die jeweilige Stromstärke und die Spannungsaufteilung.

f Hz	300	800	1600	3400	6000
X_C					
I					
U_1 V					
U_2 V					

35. Zwei Kondensatoren von $C_1 = 300 \text{ nF}$ und $C_2 = 500 \text{ nF}$ sind an einer Wechselspannung von $U = 110 \text{ V}$ und der Frequenz von $f = 800 \text{ Hz}$ hintereinandergeschaltet. Wie groß sind die Teilspannungen U_{C1} und U_{C2} ?

36. Drei Kondensatoren von $C_1 = 20 \mu\text{F}$, $C_2 = 50 \mu\text{F}$ und $C_3 = 80 \mu\text{F}$ sind in Reihenschaltung an eine Wechselspannung von $U = 220 \text{ V}$ geschaltet. Die gemessene Wechselstromstärke beträgt $I = 1,38 \text{ A}$.

- a) Wie hoch ist die Frequenz der Wechselspannung?
- b) Wie groß sind die Teilspannungen U_{C1} , U_{C2} und U_{C3} ?

37. Vier Kondensatoren von $C_1 = 4 \mu\text{F}$, $C_2 = 6 \mu\text{F}$, $C_3 = 12 \mu\text{F}$ und $C_4 = 8 \mu\text{F}$ sind hintereinandergeschaltet. Die gemessene Wechselstromstärke beträgt $I = 130 \text{ mA}$. Die Frequenz der angeschalteten Wechselspannung ist $f = 400 \text{ Hz}$.

- a) Wie groß ist die angeschaltete Wechselspannung?
- b) Wie groß sind die Teilspannungen U_{C1} , U_{C2} , U_{C3} und U_{C4} ?

38. Zwei Kapazitäten von $C_1 = 300 \text{ nF}$ und $C_2 = 120 \text{ nF}$ sind in Parallelschaltung an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$ geschaltet. Wie groß sind Gesamtkapazität, gesamter kapazitiver Blindwiderstand und die Teilströme?
39. Zwei Kapazitäten von $C_1 = 5,2 \mu\text{F}$ und $C_2 = 3,6 \mu\text{F}$ sind in Parallelschaltung an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V}$ geschaltet. Berechnen Sie für die nachstehenden Frequenzen die jeweilige Gesamtstromstärke und die Teilströme.

$f \text{ Hz}$	300	800	1600	3400	6000
X_C					
I					
I_1					
I_2					

40. Zwei Kondensatoren von $C_1 = 33 \text{ nF}$ und $C_2 = 44 \text{ nF}$ sind an eine Wechselspannung von $U = 42 \text{ V}$ bei einer Frequenz von $f = 800 \text{ Hz}$ parallelgeschaltet. Wie groß sind die Teilströme und der Gesamtstrom?
41. Ein Kondensator von $C = 35 \mu\text{F}$ ist an eine Wechselspannung von $U = 220 \text{ V}$ und $f = 50 \text{ Hz}$ geschaltet. Durch jeweiliges Hinzuschalten eines weiteren Kondensators soll die Wechselstromstärke jeweils auf a) $I = 3,5 \text{ A}$ und b) $I = 0,8 \text{ A}$ gebracht werden.
- a) Wie groß müssen die hinzuzuschaltenden Kondensatoren jeweils sein?
- b) Zeichnen Sie für die Kondensatorenschaltung die Schaltbilder.
42. Drei Kondensatoren von $C_1 = 20 \mu\text{F}$, $C_2 = 30 \mu\text{F}$ und $C_3 = 40 \mu\text{F}$ sind in Parallelschaltung an eine Wechselspannung von $U = 220 \text{ V}$ geschaltet. Die gemessene Gesamtstromstärke beträgt $I = 3,4 \text{ A}$.
- a) Wie hoch ist die Frequenz der Wechselspannung?
- b) Wie groß sind die Teilströme I_{C1} , I_{C2} und I_{C3} ?
43. Eine Kapazität von $C = 640 \text{ nF}$ befindet sich in einem Stromkreis von $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$. Durch Hinzuschalten einer zweiten Kapazität soll die Gesamtstromstärke des Stromkreises auf $I = 16 \text{ mA}$ eingestellt werden. Wie muß die zusätzliche Kapazität geschaltet werden und welchen Wert muß sie haben?
44. Eine Kapazität von $C = 480 \text{ nF}$ ist in einen Stromkreis von der Wechselspannung $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$ geschaltet. Durch Hinzuschalten einer weiteren Kapazität soll die Gesamtstromstärke auf $I = 4,0 \text{ mA}$ eingestellt werden. Wie ist die zusätzliche Kapazität zu schalten und welchen Wert hat sie?

45. Ein Kondensator ist an eine Wechselspannung von $U = 1 \text{ V} / f = 16000 \text{ Hz}$ geschaltet. Die gemessene Stromstärke beträgt $I = 7,6 \text{ mA}$. Als Dielektrikum ist Papier von $s = 0,12 \text{ mm}$ verwendet worden. Wie groß ist die Fläche des Aluminiumbelags, wenn der Verlustwiderstand des Kondensators vernachlässigt wird?
46. Ein Drehkondensator soll bei voll eingedrehten Belägen an einer Wechselspannung von $0,707 \text{ V} / f = 25 \text{ kHz}$ einen Strom von $I = 400 \mu\text{A}$ hindurchlassen. Der Plattenabstand beträgt $s = 0,5 \text{ mm}$. Wieviel Platten muß der Kondensator je Belag und insgesamt aufweisen, wenn die wirksame Fläche eines Belages 4 cm^2 beträgt?

Reihenschaltung von X_L und X_C

47. Eine Induktivität von $L = 84 \text{ mH}$ ist mit einer Kapazität von $C = 520 \text{ nF}$ hintereinandergeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$. Wie groß sind der Blindwiderstand, die Stromstärke und die Teilspannungen?
48. Eine Induktivität von $L = 120 \text{ mH}$ ist mit einer Kapazität von $C = 360 \text{ nF}$ in Reihenschaltung an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$ geschaltet.
- a) Wie groß sind der Blindwiderstand, die Stromstärke und die Teilspannungen?
- b) Bei welcher Frequenz sind der induktive Blindwiderstand und der kapazitive Blindwiderstand gleich groß?
49. Bei einem Reihenschwingkreis wird an einer Wechselspannung von $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$ eine Wechselstromstärke von $I = 9,54 \text{ mA}$ gemessen. Die Induktivität der Spule beträgt $L = 90 \text{ mH}$; der Spulenwiderstand wird vernachlässigt. Wie groß ist die Kapazität?
50. Eine Induktivität von $L = 220 \text{ mH}$ ist mit einer Kapazität von $C = 640 \text{ nF}$ hintereinandergeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 4 \text{ V}$. Berechnen Sie für die nachstehenden Frequenzen den Blindwiderstand, die Stromstärke und die dazugehörigen Teilblindspannungen.

$f \text{ Hz}$	0	200	400	600	800	1000
$X \ \Omega$						
$I \ \text{mA}$						
$U_L \text{ V}$						
$U_C \text{ V}$						
$U_b \text{ V}$						

51. Für einen Reihenschwingkreis steht eine Spule mit einer Induktivität von $L = 54 \text{ mH}$ zur Verfügung; der Drahtwiderstand der Spule wird vernachlässigt. Die Resonanzfrequenz des Schwingkreises soll 800 Hz betragen. Wie groß muß die Kapazität sein?
52. Für eine Resonanzfrequenz von $f_r = 16 \text{ kHz}$ soll ein Reihenresonanzkreis zusammengesetzt werden. Hierfür soll eine Kapazität von $C = 100 \text{ nF}$ verwendet werden. Welche Induktivität muß die dazugehörige Spule aufweisen?

Parallelschaltung von X_L und X_C

53. Eine Induktivität von $L = 84 \text{ mH}$ ist mit einer Kapazität von $C = 520 \text{ nF}$ parallelgeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$. Wie groß sind der Blindwiderstand, die Stromstärke und die Teilströme?
54. Eine Induktivität von $L = 120 \text{ mH}$ ist mit einer Kapazität von $C = 360 \text{ nF}$ in Parallelschaltung an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$ geschaltet.
- a) Wie groß sind der Blindwiderstand, die Stromstärke und die Teilströme?
- b) Bei welcher Frequenz sind der induktive und der kapazitive Blindwiderstand gleich groß?
55. Bei einem Parallelschwingkreis wird an einer Wechselspannung von $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$ eine Wechselstromstärke von $I = 2,54 \text{ mA}$ gemessen. Die Induktivität der Spule beträgt $L = 90 \text{ mH}$; der Drahtwiderstand der Spule wird vernachlässigt. Wie groß ist die Kapazität?
56. Eine Induktivität von $L = 220 \text{ mH}$ ist mit einer Kapazität von $C = 640 \text{ nF}$ parallelgeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 4 \text{ V}$. Berechnen Sie für die nachstehenden Frequenzen den Blindwiderstand, die Stromstärke und die dazugehörigen Teilblindströme.

f Hz	0	200	400	600	800	1000
$X \ \Omega$						
$I \ \text{mA}$						
$I_L \ \text{mA}$						
$I_C \ \text{mA}$						
$I_b \ \text{mA}$						

57. Für einen Parallelschwingkreis steht eine Spule mit einer Induktivität von $L = 66 \text{ mH}$ zur Verfügung; der Drahtwiderstand der Spule wird vernachlässigt. Die Resonanzfrequenz des Schwingkreises soll 800 Hz betragen. Wie groß muß die Kapazität sein?
58. Für eine Resonanzfrequenz von $f_r = 16 \text{ kHz}$ soll ein Parallelresonanzkreis zusammengesetzt werden. Hierfür soll eine Kapazität von $C = 100 \text{ nF}$ verwendet werden. Welche Induktivität muß die dazugehörige Spule aufweisen?
59. Eine Induktivität von $L = 0,4 \text{ H}$ ist mit einem Kondensator von $C = 100 \ \mu\text{F}$ hintereinandergeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 220 \text{ V}$ mit $f = 50 \text{ Hz}$. Wie groß sind die Teilspannungen U_L und U_C ?
60. An eine Wechselspannung von $U = 220 \text{ V}$ und $f = 50 \text{ Hz}$ ist eine Reihenschaltung einer Induktivität von $L = 180 \text{ mH}$ mit einem Kondensator geschaltet. Die gemessene Wechselstromstärke beträgt $I = 3,63 \text{ A}$. Wie groß ist die Kapazität des Kondensators?
61. Eine Induktivität von $L = 45 \text{ mH}$ ist an eine Wechselspannung von $U = 110 \text{ V}$ und $f = 800 \text{ Hz}$ geschaltet. Durch Hintereinanderschalten eines Kondensators soll die Stromstärke auf $I = 1 \text{ A}$ gebracht werden.
- a) Welche Kapazität muß der Kondensator haben?
- b) Wie groß sind die Teilspannungen U_L und U_C ?

Reihenschaltung von R und X_L

62. Eine Spule hat einen Wirkwiderstand von $R = 64 \ \Omega$ und eine Induktivität von $L = 60 \text{ mH}$. Die angeschaltete Wechselspannung ist $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$. Wie groß sind induktiver Blindwiderstand, Scheinwiderstand, Stromstärke, Wirkspannung, induktive Blindspannung und die Phasenverschiebung?
63. Eine Spule hat einen Wirkwiderstand von $R = 4 \ \Omega$ und eine Induktivität von $L = 24 \text{ mH}$. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 14 \text{ V}$ mit einer Frequenz von $f = 250 \text{ Hz}$.
- a) Wie groß sind Wirkspannung und induktive Blindspannung der Spule?
- b) Wie groß ist die Phasenverschiebung zwischen Wechselspannung und Wechselstromstärke?
- c) Prüfen Sie die errechneten Werte mit Hilfe eines Zeigerdiagramms zeichnerisch nach.
64. Eine Spule hat einen Wirkwiderstand von $R = 100 \ \Omega$ und eine Induktivität von $L = 30 \text{ mH}$. Die angeschaltete Wechselspannung ist

$U = 4 \text{ V}$. Berechnen Sie für die nachstehenden Frequenzen den Blindwiderstand, Scheinwiderstand, die Wechselstromstärke, die Wirkspannung, induktive Blindspannung sowie den Phasenwinkel.

f Hz	0	200	400	600	800	1000
X_L Ω						
Z Ω						
I mA						
U_w V						
U_L V						
φ grad						

65. Eine Spule ist in einen Stromkreis geschaltet. Bei Anschluß der Spule an eine Gleichspannung von $U = 110 \text{ V}$ beträgt die gemessene Stromstärke $I_1 = 10,2 \text{ A}$. Bei Anschluß der Spule an Wechselspannung von $U = 110 \text{ V}$ und $f = 50 \text{ Hz}$ beträgt die gemessene Stromstärke $I_2 = 2,62 \text{ A}$.
- Wie groß ist der Wirkwiderstand der Spule?
 - Wie groß ist der Scheinwiderstand der Spule?
 - Wie groß ist der induktive Blindwiderstand der Spule?
 - Wie groß ist die Induktivität der Spule?
 - Wie groß sind Wirkspannung und induktive Blindspannung?
 - Wie groß ist der Phasenwinkel φ ?
 - Zeichnen Sie für den Wechselstromkreis das Zeigerdiagramm.

Maßstab: I $0,5 \text{ A} \triangleq 10 \text{ mm}$
 U $10 \text{ V} \triangleq 10 \text{ mm}$

66. Eine Spule von $R = 36 \Omega$ und $L = 290 \text{ mH}$ ist an eine Wechselspannung von $U = 60 \text{ V}$ geschaltet. Die gemessene Stromstärke beträgt $I = 85 \text{ mA}$. Wie hoch ist die Frequenz der Wechselspannung?
67. Von einer Drosselspule mit geschlossenem Eisenkern sollen Wirkwiderstand und Induktivität ermittelt werden. An einer Gleichspannung von $U = 24 \text{ V}$ wird eine Stromstärke von $I = 0,48 \text{ A}$ gemessen; an einer Wechselspannung von $U = 4 \text{ V}$ / $f = 450 \text{ Hz}$ werden 33 mA gemessen. Wie groß sind Wirkwiderstand und Induktivität der Spule?
68. Eine Spule hat einen Wirkwiderstand von $R = 210 \Omega$ und eine Induktivität von $L = 0,1 \text{ H}$. Wird die Spule an eine Wechselspan-

nung von $U = 7,3 \text{ V}$ geschaltet, dann soll die Phasenverschiebung zwischen Wechselspannung und -strom $\varphi = 45^\circ$ betragen.

- Bei welcher Frequenz stellt sich die erforderliche Phasenverschiebung ein?
 - Wie groß sind bei der errechneten Frequenz der Scheinwiderstand, Wechselstrom, die Wirkspannung und induktive Blindspannung?
 - Zeichnen Sie für den Scheinwiderstand und die Teilspannungen die Zeigerdiagramme.
69. Eine Signallampe für $U = 24 \text{ V}$ / $f = 50 \text{ Hz}$ hat eine Leistungsaufnahme von $P = 6 \text{ W}$. Durch Hinzuschalten einer Induktivität soll die Leistungsaufnahme der Lampe auf $2,4 \text{ W}$ vermindert werden. Drahtwiderstand der Spule sowie Widerstandsverminderung infolge Temperaturverminderung werden vernachlässigt. Wie groß muß die Reiheninduktivität sein?

70. Nachstehend sind für mehrere Signallampen die Spannungs- und Leistungswerte angegeben. Die Leistungsaufnahme dieser Lampen soll mit Hilfe einer Vorschaltinduktivität auf den jeweiligen Wert P_1 vermindert werden. Drahtwiderstände der Spulen und Widerstandsvermindierungen infolge Temperatureinflusses werden vernachlässigt.

Berechnen Sie die jeweiligen Vorschaltinduktivitäten.

Lampe	24 V/8 W	7,5 V/3,5 W	25 V/5 W	110 V/60 W
f Hz	50	100	100	50
P_1 W	4,0	2,0	3,2	25
L				

Reihenschaltung von R und X_C

71. Ein Wirkwiderstand von $R = 240 \Omega$ ist mit einer Kapazität von $C = 400 \text{ nF}$ hintereinandergeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 4 \text{ V}$ / $f = 800 \text{ Hz}$. Wie groß sind kapazitiver Blindwiderstand, Scheinwiderstand, Stromstärke, Wirkspannung, induktive Blindspannung und die Phasenverschiebung?
72. Ein Wirkwiderstand von $R = 40 \Omega$ ist mit einem Kondensator von $C = 80 \mu\text{F}$ hintereinandergeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 60 \text{ V}$ mit einer Frequenz von $f = 400 \text{ Hz}$.
- Wie groß sind die Teilspannungen U_w und U_C ?
 - Wie groß ist die Phasenverschiebung zwischen Wechselspannung und Wechselstrom?

- c) Prüfen Sie die errechneten Werte mit Hilfe eines Zeigerdiagramms zeichnerisch nach.
73. Ein Wirkwiderstand und ein Kondensator sind in einem Wechselstromkreis bei $U = 110 \text{ V}$ und einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$ hintereinandergeschaltet. Bei einem einzelnen Anschluß des Wirkwiderstands an $110 \text{ V}/50 \text{ Hz}$ beträgt die gemessene Stromstärke $I_1 = 3,1 \text{ A}$. Bei individuellem Anschluß des Kondensators an $110 \text{ V}/50 \text{ Hz}$ beträgt die gemessene Stromstärke $I_2 = 1,54 \text{ A}$.
- Wie groß ist der Wirkwiderstand?
 - Wie groß ist der kapazitive Blindwiderstand?
 - Wie groß ist der Scheinwiderstand der Hintereinanderschaltung von Wirkwiderstand und Kondensator?
 - Wie groß ist die Kapazität des Kondensators?
 - Wie groß sind Wirkspannung und kapazitive Blindspannung?
 - Wie groß ist die Phasenverschiebung zwischen Wechselspannung und Wechselstrom?
 - Zeichnen Sie für den Wechselstromkreis das Zeigerdiagramm.
Maßstab: $I \ 0,3 \text{ A} \triangle 10 \text{ mm}$ (blau)
 $U \ 10 \text{ V} \triangle 10 \text{ mm}$ (rot)
74. Ein Wirkwiderstand von $R = 250 \ \Omega$ ist mit einem Kondensator von $C = 500 \text{ nF}$ hintereinandergeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 42 \text{ V}$; die gemessene Wechselstromstärke $I = 34 \text{ mA}$. Wie hoch ist die Frequenz der angeschalteten Wechselspannung?
75. Ein Wirkwiderstand von $R = 400 \ \Omega$ ist mit einem Kondensator von $C = 300 \text{ nF}$ in Reihenschaltung an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V}$ geschaltet. Berechnen Sie für die nachstehenden Frequenzen den kapazitiven Blindwiderstand, Scheinwiderstand, die Wechselstromstärke, die Wirkspannung, kapazitive Blindspannung sowie den Phasenwinkel.

$f \text{ Hz}$	0	200	400	600	800	1000
$X_C \ \Omega$						
$I \ \text{mA}$						
$U_w \text{ V}$						
$U_C \text{ V}$						
$\varphi \ \text{grad}$						

76. Eine Kapazität von $C = 440 \text{ nF}$ ist mit einem Wirkwiderstand von $R = 260 \ \Omega$ hintereinandergeschaltet. Wird diese Reihenschaltung an eine Wechselspannung von $U = 7,3 \text{ V}$ geschaltet, dann soll die Phasenverschiebung zwischen Wechselspannung und -strom $\varphi = 45^\circ$ betragen.
- Bei welcher Frequenz stellt sich der erforderliche Phasenwinkel ein?
 - Wie groß sind bei der errechneten Frequenz der Scheinwiderstand, Wechselstrom, die Wirkspannung und die kapazitive Blindspannung?
 - Zeichnen Sie für den Scheinwiderstand und die Teilspannungen das Zeigerdiagramm.
77. Eine Signallampe für $U = 24 \text{ V} / f = 50 \text{ Hz}$ hat eine Leistungsaufnahme von $P = 6 \text{ W}$. Durch Hinzuschalten einer Kapazität soll die Leistungsaufnahme der Lampe auf $2,4 \text{ W}$ vermindert werden. Verlustwiderstand des Kondensators sowie die Widerstandsverminderung infolge Temperatureinflusses werden vernachlässigt. Wie groß muß die Reihenskapazität sein?
78. Nachstehend sind für mehrere Signallampen die Spannungs- und Leistungswerte angegeben. Die Leistungsaufnahme dieser Lampen soll mit Hilfe von Vorschaltkapazitäten auf den jeweiligen Wert P_1 vermindert werden. Verlustwiderstände und Widerstandsverminderung infolge Temperatureinflusses werden vernachlässigt. Berechnen Sie die jeweiligen Vorschaltkapazitäten.

Lampe	24 V/8 W	7,5 V/3,5 W	25 V/5 W	110 V/60 W
$f \text{ Hz}$	50	100	100	50
$P_1 \text{ W}$	4,0	2,0	3,2	25
C				

Reihenschaltung von R , X_L und X_C

79. Ein Wirkwiderstand von $R = 150 \ \Omega$, eine Induktivität von $L = 40 \text{ mH}$ und eine Kapazität von $C = 360 \text{ nF}$ sind in Hintereinanderschaltung an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$ geschaltet. Wie groß sind der induktive Blindwiderstand, kapazitive Blindwiderstand, Blindwiderstand, Scheinwiderstand, Wechselstrom, die Wirkspannung, induktive Blindspannung, kapazitive Blindspannung, Blindspannung, der Phasenwinkel sowie die Resonanzfrequenz?
80. Ein Wirkwiderstand von $R = 200 \ \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 200 \text{ mH}$ und einer Kapazität von $C = 560 \text{ nF}$ hintereinander

an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V}$ geschaltet. Berechnen Sie für die nachstehenden Frequenzen den induktiven und kapazitiven Blindwiderstand, Blindwiderstand, Scheinwiderstand, Wechselstrom, die Wirkspannung, induktive und kapazitive Blindspannung, Blindspannung sowie den Phasenwinkel.

f Hz	0	200	400	600	800	1000
X_L						
X_C						
X						
Z						
I mA						
U_w V						
U_L V						
U_C V						
U_b V						
φ grad						

81. Eine Spule mit einem Wirkwiderstand von $R = 48 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 0,36 \text{ H}$ und einem Kondensator von $C = 20 \mu\text{F}$ hintereinandergeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 120 \text{ V}$ mit einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$.
- Zeichnen Sie für den Wechselstromkreis das Schaltbild.
 - Wie groß ist der induktive Blindwiderstand?
 - Wie groß ist der kapazitive Blindwiderstand?
 - Wie groß ist der Blindwiderstand?
 - Wie groß ist der Scheinwiderstand?
 - Zeichnerische Lösung ($20 \Omega \triangleq 1 \text{ cm}$).
 - Rechnerische Lösung.
 - Wie groß ist die Wechselstromstärke?
 - Wie groß sind Wirkspannung, induktive Blindspannung, kapazitive Blindspannung, Blindspannung und Scheinspannung?
 - Wie groß ist der Phasenwinkel φ ?
 - Zeichnen Sie für den Wechselstromkreis das Zeigerdiagramm.
 Maßstab: $I \ 0,2 \text{ A} \triangleq 1 \text{ cm}$ (blau)
 $U \ 30 \text{ V} \triangleq 1 \text{ cm}$ (rot)

82. Eine Spule hat einen Wirkwiderstand von $R = 56 \Omega$ und eine Induktivität von $L = 96 \text{ mH}$. Zu dieser Spule soll eine Kapazität derart hintereinandergeschaltet werden, daß zwischen der Wechselspannung und dem -strom bei $f = 800 \text{ Hz}$ keine Phasenverschiebung entsteht. Wie groß muß der hinzuzuschaltende Kondensator sein?
83. Eine Spule mit einem Wirkwiderstand von $R = 400 \Omega$ hat eine Induktivität von $L = 100 \text{ mH}$. Sie ist an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$ geschaltet. Zu dieser Spule soll eine Kapazität derart hintereinandergeschaltet werden, daß die Phasenverschiebung von $\varphi = 45^\circ$ entsteht.
- Wie groß muß die Kapazität sein, damit der Strom um 45° nacheilt?
 - Wie groß muß die Kapazität sein, damit der Strom um 45° voreilt?
 - Wie groß sind bei induktivem Phasenwinkel der Blindwiderstand, Scheinwiderstand, Wechselstrom, Wirkspannung, induktive und kapazitive Blindspannung?
 - Wie groß sind bei kapazitivem Phasenwinkel der Blindwiderstand, Scheinwiderstand, Wechselstrom, Wirkspannung, induktive und kapazitive Blindspannung?
84. Ein Reihenresonanzkreis ist aus einer Spule mit einem Wirkwiderstand von $R = 24 \Omega$ und der Induktivität von $L = 1,2 \text{ H}$ sowie einem Kondensator von $C = 1,0 \mu\text{F}$ zusammengesetzt. Wie groß ist die Resonanzfrequenz?
85. Für die Schaltung eines Reihenresonanzkreises für $f = 3850 \text{ Hz}$ steht eine Spule von $R = 60 \Omega$ und $L = 0,1 \text{ H}$ zur Verfügung. Wie groß muß die Kapazität des hinzuzuschaltenden Kondensators sein?
86. Eine Induktivität von $L = 14 \text{ mH}$ ist mit einem Kondensator von $C = 350 \text{ nF}$ hintereinandergeschaltet. Wie hoch ist die Resonanzfrequenz?
87. Mit einer Spule von $L = 0,155 \text{ H}$ soll ein Reihenresonanzkreis hergestellt werden. Die Resonanzfrequenz soll $f_r = 80 \text{ Hz}$ betragen. Wie groß muß die Kapazität sein?
88. Aus einem Kondensator mit der Kapazität von $C = 660 \text{ nF}$ soll ein Reihenresonanzkreis zusammengesetzt werden. Welche Induktivität muß die hinzuzuschaltende Spule aufweisen?
89. Berechnen Sie für die nachstehend angegebenen Induktivitäts- und Kapazitätswerte die jeweiligen Werte der Resonanzfrequenz.

L	40 mH	120 mH	450 mH	1,25 H	2,1 H
C	300 nF	660 nF	0,8 μ F	3,2 μ F	8,5 μ F
f					

90. Es soll ein Resonanzkreis für $f_r = 625$ Hz hergestellt werden. Bei der Resonanzfrequenz von $f_r = 625$ Hz soll die Wechselstromstärke 1 A betragen. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 24$ V. Für die Herstellung des Resonanzkreises steht ein Kondensator von $C = 12 \mu$ F zur Verfügung.
- Wie groß müssen der Wirkwiderstand und die Induktivität der in Reihe zu schaltenden Spule sein?
 - Wie groß ist die Wechselstromstärke bei der Frequenz von $f = 100$ Hz?
91. Ein Reihenresonanzkreis ist an $U = 220$ V bei $f = 50$ Hz angeschaltet. Die gemessene Stromstärke beträgt $I = 2,13$ A. Wird nur die Spule, deren Wirkwiderstand hierbei vernachlässigt werden soll, an 220 V / 50 Hz geschaltet, so beträgt die gemessene Stromstärke 1,5 A; bei Anschluß der Spule an eine Gleichspannung von $U = 60$ V beträgt die gemessene Stromstärke 1,6 A.
- Wie groß ist der Wirkwiderstand der Spule?
 - Wie groß ist die Induktivität der Spule, wenn bei der Stromstärkenmessung an 220 V / 50 Hz der Drahtwiderstand vernachlässigt wird?
 - Wie groß ist die Kapazität des Kondensators?
 - Wie hoch ist die Resonanzfrequenz der Reihenschaltung von Spule und Kondensator?

Parallelschaltung von R und X_L

92. Ein Wirkwiderstand von $R = 64 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 60$ mH parallelgeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung ist $U = 4$ V / $f = 800$ Hz. Wie groß sind induktiver Blindwiderstand, Scheinwiderstand, Wechselstrom, Wirkstrom, induktiver Blindstrom und die Phasenverschiebung?
93. Ein Wirkwiderstand von $R = 68 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 270$ mH parallelgeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 100$ V bei einer Frequenz von $f = 100$ Hz.
- Wie groß sind Wirkstrom, induktiver Blindstrom und Scheinstrom?
 - Machen Sie die Rechenprobe und prüfen Sie die errechneten Werte mit Hilfe eines Zeigerdiagramms nach.

94. Ein Wirkwiderstand von $R = 140 \Omega$ ist mit einer Induktivität parallelgeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 157$ V bei einer Frequenz von $f = 50$ Hz. Der gemessene Scheinstrom ist $I = 1,54$ A. Wie groß ist die Induktivität?
95. Ein Wirkwiderstand von $R = 100 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 30$ mH parallelgeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 4$ V. Berechnen Sie für die nachstehenden Frequenzen den Blindwiderstand, Scheinwiderstand, den Wechselstrom, Wirkstrom, induktiven Blindstrom sowie den Phasenwinkel.

f Hz	0	200	400	600	800	1000
$X_L \Omega$						
$Z \Omega$						
I mA						
I_w mA						
I_L mA						
φ grd						

96. Ein Wirkwiderstand ist an eine Wechselspannung von $U = 220$ V bei einer Frequenz von $f = 50$ Hz geschaltet. Die gemessene Stromstärke beträgt $I = 4,3$ A. Dem Wirkwiderstand wird eine Induktivität parallelgeschaltet, so daß sich die Scheinstromstärke auf $I = 7,0$ A erhöht.
- Wie groß ist der Wirkwiderstand?
 - Wie groß ist der induktive Blindstrom bei der Parallelschaltung?
 - Wie groß ist der induktive Blindwiderstand?
 - Wie groß ist die Induktivität?
 - Wie groß ist der Scheinwiderstand der Parallelschaltung?
 - Wie groß ist die Phasenverschiebung?
97. Ein Wirkwiderstand von $R = 600 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 550$ mH parallel an eine Wechselspannung von $U = 4$ V geschaltet. Die Phasenverschiebung zwischen der Wechselspannung und dem -strom soll $\varphi = 45^\circ$ betragen.
- Bei welcher Frequenz stellt sich der erforderliche Phasenwinkel ein?
 - Wie groß sind bei der errechneten Frequenz der Scheinwiderstand, Wechselstrom, Wirk- und induktiver Blindstrom?

Parallelschaltung von R und X_C

98. Ein Wirkwiderstand von $R = 240 \Omega$ ist mit einer Kapazität von $C = 400 \text{ nF}$ parallelgeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$. Wie groß sind kapazitiver Blindwiderstand, Scheinwiderstand, Wechselstrom, Wirkstrom, kapazitiver Blindstrom und die Phasenverschiebung?
99. Ein Wirkwiderstand von $R = 45 \Omega$ ist mit einem Kondensator von $C = 45 \mu\text{F}$ parallelgeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 220 \text{ V}$ bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$.
- Wie groß sind Wirkstrom, kapazitiver Blindstrom und Scheinstrom?
 - Wie groß ist der Phasenwinkel φ ?
 - Machen Sie die Rechenprobe und prüfen Sie die errechneten Werte mit Hilfe eines Zeigerdiagramms nach.
100. Ein Wirkwiderstand von $R = 30 \Omega$ ist mit einem Kondensator parallelgeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 220 \text{ V}$; die gemessene Scheinstromstärke $I = 8,36 \text{ A}$. Der Kondensator hat eine Kapazität von $C = 60 \mu\text{F}$.
- Wie hoch ist die Frequenz der Wechselspannung?
 - Wie groß ist die Phasenverschiebung?
101. Ein Wirkwiderstand von $R = 400 \Omega$ ist mit einer Kapazität von $C = 600 \text{ nF}$ parallelgeschaltet; die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 4 \text{ V}$. Berechnen Sie für die nachstehenden Frequenzen den kapazitiven Blindwiderstand, Scheinwiderstand, den Wechselstrom, Wirkstrom, kapazitiven Blindstrom und die Phasenverschiebung.

f Hz	0	200	400	600	800	1000
$X_C \Omega$						
$Z \Omega$						
$I \text{ mA}$						
$I_w \text{ mA}$						
$I_C \text{ mA}$						
$\varphi \text{ grd}$						

102. Ein Wirkwiderstand ist an eine Wechselspannung von $U = 150 \text{ V}$ bei einer Frequenz von $f = 80 \text{ Hz}$ geschaltet. Die gemessene Stromstärke beträgt $I = 120 \text{ mA}$. Dem Wirkwiderstand wird ein Kondensator parallelgeschaltet, so daß sich die Stromstärke auf $I = 2,0 \text{ A}$ erhöht.

sator parallelgeschaltet, so daß sich die Stromstärke auf $I = 2,0 \text{ A}$ erhöht.

- Wie groß ist der Wirkwiderstand?
 - Wie groß ist der kapazitive Blindstrom?
 - Wie groß ist der kapazitive Blindwiderstand?
 - Wie groß ist die Kapazität des Kondensators?
 - Wie groß ist der Scheinwiderstand der Parallelschaltung?
 - Wie groß ist der Phasenwinkel φ ?
103. Eine Kapazität von $C = 560 \text{ nF}$ ist mit einem Wirkwiderstand von $R = 400 \Omega$ parallelgeschaltet. Wird diese Parallelschaltung an eine Wechselspannung von $U = 7,3 \text{ V}$ geschaltet, dann soll eine Phasenverschiebung zwischen Wechselspannung und -strom $\varphi = 45^\circ$ betragen.
- Bei welcher Frequenz stellt sich der erforderliche Phasenwinkel ein?
 - Wie groß sind bei der errechneten Frequenz der Scheinwiderstand, Wechselstrom, Wirkstrom und kapazitiver Blindstrom?
 - Zeichnen Sie für den Scheinleitwert und die Teilströme das Zeigerdiagramm.
104. Eine Kapazität von $C = 300 \text{ nF}$ ist an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$ geschaltet. Durch Hinzuschalten eines Parallelwiderstands soll sich die Stromstärke in dem Stromkreis auf $I = 55 \text{ mA}$ einstellen. Wie groß muß der Wirkwiderstand sein?
105. Ein Kondensator wird an eine Wechselspannung von $U = 7 \text{ V} / f = 450 \text{ Hz}$ geschaltet. Hierbei wird eine Wechselstromstärke von $I = 108 \text{ mA}$ gemessen. Danach wird der Kondensator an eine Gleichspannung von $U = 60 \text{ V}$ geschaltet. Der dabei festgestellte Leckstrom beträgt $I = 8,6 \text{ mA}$.
- Wie groß ist der Isolationswiderstand des Dielektrikums?
 - Wie groß ist die Kapazität des Kondensators?
 - Wie groß sind Verlustfaktor und Verlustwinkel des Kondensators?
 - Welche Phasenverschiebung entsteht zwischen Wechselspannung und -strom?

Parallelschaltung von R, X_L und X_C

106. Ein Wirkwiderstand von $R = 250 \Omega$, eine Induktivität von $L = 40 \text{ mH}$ und eine Kapazität von $C = 360 \text{ nF}$ sind in Parallelschaltung an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$ ge-

schaltet. Wie groß sind der induktive Blindwiderstand, kapazitive Blindwiderstand, Blindwiderstand, Scheinwiderstand, Wirkleitwert, induktive Blindleitwert, kapazitive Blindleitwert, Blindleitwert, Scheinleitwert, Wechselstrom, induktive Blindstrom, kapazitive Blindstrom, Blindstrom, Phasenwinkel und die Resonanzfrequenz?

107. Ein Wirkwiderstand von $R = 2000 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 200 \text{ mH}$ und einer Kapazität von $C = 560 \text{ nF}$ parallel an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V}$ geschaltet. Berechnen Sie für die nachstehenden Frequenzen den induktiven und kapazitiven Blindwiderstand, Blindwiderstand, Scheinwiderstand, Wechselstrom, Wirkstrom, induktiven und kapazitiven Blindstrom, Blindstrom, die Phasenverschiebung und die Resonanzfrequenz.

f Hz	0	200	400	600	800	1000
$X_L \Omega$						
$X_C \Omega$						
$X \Omega$						
$Z \Omega$						
I mA						
I_w mA						
I_L mA						
I_C mA						
I_p mA						
φ grd						

108. Ein Wirkwiderstand von $R = 40 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 0,125 \text{ H}$ und einer Kapazität von $C = 45 \mu\text{F}$ parallelgeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 220 \text{ V}$ bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$.
- Zeichnen Sie für den Wechselstromkreis das Schaltbild.
 - Wie groß ist der induktive Blindwiderstand?
 - Wie groß ist der kapazitive Blindwiderstand?
 - Wie groß ist der induktive Blindstrom?
 - Wie groß ist der kapazitive Blindstrom?
 - Wie groß ist der Blindstrom?
 - Wie groß ist der Scheinstrom?
 - Zeichnerische Lösung ($1 \text{ A} \triangle 1 \text{ cm}$).
 - Rechnerische Lösung.

- Wie groß ist der Scheinwiderstand?
- Wie groß ist der Wirkleitwert?
- Wie groß ist der induktive Blindleitwert?
- Wie groß ist der kapazitive Blindleitwert?
- Wie groß ist der Scheinleitwert?
 - Rechnerische Lösung.
 - Zeichnerische Lösung ($5 \text{ mS} \triangle 1 \text{ cm}$).
- Prüfen Sie den errechneten Wert des Scheinwiderstands mit Hilfe des Scheinleitwerts nach.
- Wie groß ist die Phasenverschiebung?
- Zeichnen Sie für den Wechselstromkreis das Zeigerdiagramm.

Maßstab: U $50 \text{ V} \triangle 1 \text{ cm}$ (rot)
 I $1 \text{ A} \triangle 1 \text{ cm}$ (blau)

109. Ein Wirkwiderstand von $R = 560 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 98 \text{ mH}$ in Parallelschaltung an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$ geschaltet. Hierzu soll eine Kapazität derart parallelgeschaltet werden, daß zwischen der Wechselspannung und dem -strom keine Phasenverschiebung entsteht. Welche Kapazität muß der hinzuzuschaltende Kondensator aufweisen?
110. Ein Wirkwiderstand von $R = 800 \Omega$ ist mit einer Kapazität von $C = 400 \text{ nF}$ parallelgeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$. Hierzu soll eine Induktivität derart parallelgeschaltet werden, daß eine Phasenverschiebung von $\varphi = 45^\circ$ entsteht.
- Wie groß muß die Induktivität sein, damit der Strom um 45° voreilt?
 - Wie groß muß die Induktivität sein, damit der Strom um 45° nacheilt?
 - Wie groß sind bei kapazitivem Phasenwinkel der Blindwiderstand, Scheinwiderstand, Wechselstrom, Wirkstrom und induktiver und kapazitiver Blindstrom?
 - Wie groß sind bei induktivem Phasenwinkel der Blindwiderstand, Scheinwiderstand, Wechselstrom, Wirkstrom, induktiver und kapazitiver Blindstrom?
111. Ein Parallelresonanzkreis ist aus einem Wirkwiderstand von $R = 1 \text{ k}\Omega$, einer Induktivität von $L = 360 \text{ mH}$ und einer Kapazität von $C = 400 \text{ nF}$ zusammengesetzt. Wie groß ist die Resonanzfrequenz?
112. Eine Induktivität von $L = 2,3 \text{ H}$ ist mit einem Kondensator von $1 \mu\text{F}$ parallelgeschaltet. Wie hoch ist die Resonanzfrequenz?

113. Mit einem Kondensator von 30 pF soll ein Parallelresonanzkreis für eine Resonanzfrequenz von $f_r = 16 \text{ kHz}$ hergestellt werden. Welche Induktivität muß die Spule haben?
114. Ein Wirkwiderstand von $R = 100 \Omega$, eine Induktivität von $L = 0,8 \text{ H}$ und ein Kondensator von $C = 35 \mu\text{F}$ sind parallelgeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 220 \text{ V}$ bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$.
- Wie groß ist der Scheinwiderstand der Parallelschaltung bei $f = 50 \text{ Hz}$?
 - Wie groß ist die Resonanzfrequenz?
 - Wie groß sind die Stromstärken bei $f = 50 \text{ Hz}$ und bei der Resonanzfrequenz?

Reihen-/Parallelwiderstand

115. Eine Spule hat einen Wirkwiderstand von $R = 240 \Omega$ und eine Induktivität von $L = 120 \text{ mH}$. Die angeschaltete Wechselspannung hat eine Frequenz von $f = 800 \text{ Hz}$. Die Widerstandsreihenschaltung der Spule soll umgerechnet werden in eine gleichwertige Widerstandsparallelschaltung. Wie groß sind Parallelwirkwiderstand und Parallelblindwiderstand?
116. Eine Spule mit einem Drahtwiderstand von $R = 100 \Omega$ und einer Induktivität von $L = 66 \text{ mH}$ ist an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$ geschaltet.
- Wie groß sind Scheinwiderstand, Wechselstrom, die Teilspannung und die Phasenverschiebung in dem Stromkreis?
 - Wie groß sind Parallelwirkwiderstand und Parallelscheinwiderstand für eine gleichwertige Widerstandsparallelschaltung?
 - Wie groß sind Scheinwiderstand, Wechselstrom, die Teilströme und die Phasenverschiebung in dem umgerechneten Parallelstromkreis?
117. Berechnen Sie für die nachstehend angegebenen Spulenwerte und Frequenzen die Parallelwiderstände für eine gleichwertige Parallelschaltung.

$R \ \Omega$	220	60	42	450	610
$L \ \text{mH}$	88	24	120	680	100
$f \ \text{Hz}$	800	1600	3400	3850	16 000
$X_L \ \Omega$					
$R_p \ \Omega$					
$X_p \ \Omega$					

12. Zusammengesetzter Wechselstromkreis

Zusammengesetzte Wechselstromkreise enthalten **Reihen- und Parallelschaltungen** von Wechselstromwiderständen. Sämtliche Widerstandsgruppenschaltungen von Wechselstromwiderständen können auf die **Grundsaltungen** – Reihenschaltung und Parallelschaltung – zurückgeführt werden.

12.1. Spule mit Parallelwiderstand

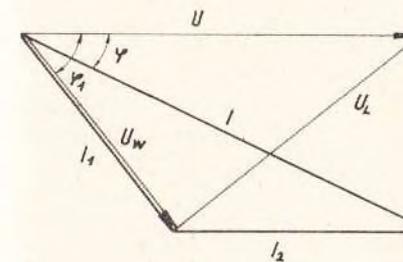
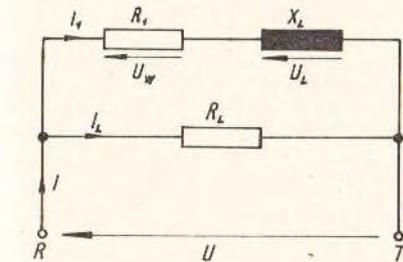
Übungsbeispiel

Eine Stromspule hat einen Wirkwiderstand von $R = 400 \Omega$ und eine Induktivität von $L = 100 \text{ mH}$. Zu dieser Spule ist ein Wirkwiderstand von $R = 600 \Omega$ parallelgeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$ (Abb. 105). Wie groß ist der Scheinwiderstand und welche Strom- und Spannungsaufteilung ergibt sich?

Gegeben: $R_1 = 400 \Omega, L = 100 \text{ mH}, R_2 = 600 \Omega, U = 4 \text{ V}, f = 800 \text{ Hz}$

Gesucht: $Z, I, I_1, I_2, U_w, U_L, \varphi$

Lösung:



(Abb. 105)

für $f = 800 \text{ Hz}$ ist $\omega \approx 5000 \text{ 1/s}$

$$X_L = \omega \cdot L = 5000 \cdot 100 \cdot 10^{-3}$$

$$X_L = 500 \Omega$$

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_L^2} = \sqrt{400^2 + 500^2}$$

$$Z_1 = 640 \Omega$$

$$R_{p1} = \frac{Z^2}{R_1} = \frac{640^2}{400} = 1025 \Omega$$

$$X_p = \frac{Z^2}{X_L} = \frac{640^2}{500} = 820 \Omega$$

$$R_p = \frac{R_{p1} \cdot R_2}{R_{p1} + R_2} = \frac{1025 \cdot 600}{1025 + 600}$$

$$R_p = 379 \Omega$$

$$Z = \frac{R_p \cdot X_p}{\sqrt{R_p^2 + X_p^2}}$$

$$Z = \frac{379 \cdot 820}{\sqrt{379^2 + 820^2}} = 344 \Omega$$

$$\cos \varphi = \frac{Z}{R_p} = \frac{344}{379} = 0,908; \quad \text{nach Tabelle: } \varphi = \underline{\underline{24^\circ 50'}}$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{4 \cdot 10^3}{344} = \underline{\underline{11,6 \text{ mA}}} \quad I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{4 \cdot 10^3}{600} = \underline{\underline{6,67 \text{ mA}}}$$

$$I_{w1} = \frac{U}{R_{p1}} = \frac{4 \cdot 10^3}{1025} = \underline{\underline{3,9 \text{ mA}}} \quad I_L = \frac{U}{X_p} = \frac{4 \cdot 10^3}{820} = \underline{\underline{4,88 \text{ mA}}}$$

$$I_1 = \sqrt{I_{w1}^2 + I_L^2} = \sqrt{3,9^2 + 4,88^2} = \underline{\underline{6,25 \text{ mA}}}$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{I_{w1}}{I_1} = \frac{3,9}{6,25} = 0,625; \quad \text{nach Tabelle: } \varphi_1 = \underline{\underline{51^\circ 20'}}$$

Rechenprobe:

$$I = \sqrt{(I_w + I_2)^2 + I_L^2} = \sqrt{(3,9 + 6,67)^2 + 4,88^2} = \underline{\underline{11,65 \text{ mA}}}$$

$$U_w = I_1 \cdot R_1 = 6,25 \cdot 10^{-3} \cdot 400 = \underline{\underline{2,50 \text{ V}}}$$

$$U_L = I_1 \cdot X_L = 6,25 \cdot 10^{-3} \cdot 500 = \underline{\underline{3,12 \text{ V}}}$$

Rechenprobe:

$$U = \sqrt{U_w^2 + U_L^2} = \sqrt{2,5^2 + 3,12^2} = \underline{\underline{4,0 \text{ V}}}$$

Die gesuchten Werte betragen: $X_L = 500 \Omega$, $Z_1 = 640 \Omega$, $Z = 344 \Omega$, $\varphi = 24^\circ 50'$, $I = 11,6 \text{ mA}$, $I_1 = 6,25 \text{ mA}$, $I_2 = 6,67 \text{ mA}$, $\varphi_1 = 51^\circ 20'$, $U_w = 2,5 \text{ V}$, $U_L = 3,12 \text{ V}$.

12.2. Spule mit Parallelkapazität

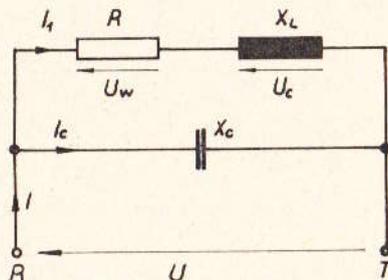
Übungsbeispiel

Eine Stromspule hat einen Wirkwiderstand von $R = 400 \Omega$ und eine Induktivität von $L = 100 \text{ mH}$. Zu dieser Spule ist eine Kapazität von $C = 500 \text{ nF}$ parallelgeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung ist $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$ (Abb. 106). Wie groß ist der Scheinwiderstand, und welche Strom- und Spannungsaufteilung ergibt sich in dem Stromkreis?

Gegeben: $R_1 = 400 \Omega$, $L = 100 \text{ mH}$, $C = 500 \text{ nF}$, $U = 4 \text{ V}$, $f = 800 \text{ Hz}$

Gesucht: Z , I , I_1 , I_2 , U_w , U_L , φ

Lösung:



(Abb. 106)

für $f = 800 \text{ Hz}$ ist $\omega \approx 5000 \text{ 1/s}$

$$X_L = \omega \cdot L = 5000 \cdot 100 \cdot 10^{-3}$$

$$X_L = \underline{\underline{500 \Omega}}$$

$$Z_1 = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{400^2 + 500^2}$$

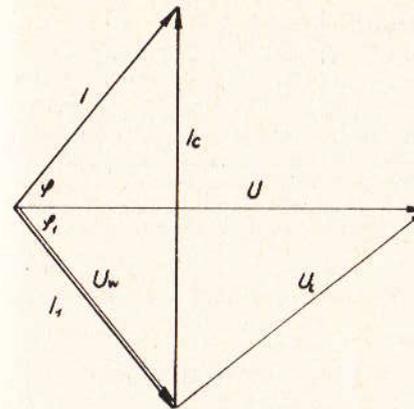
$$Z_1 = \underline{\underline{640 \Omega}}$$

$$R_p = \frac{Z^2}{R_1} = \frac{640^2}{400} = \underline{\underline{1025 \Omega}}$$

$$X_p = \frac{Z^2}{X_L} = \frac{640^2}{500} = \underline{\underline{820 \Omega}}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{5000 \cdot 500 \cdot 10^{-9}}$$

$$X_C = \underline{\underline{400 \Omega}}$$



(noch Abb. 106)

$$X = \frac{X_p \cdot X_C}{X_p - X_C}$$

$$X = \frac{820 \cdot 400}{820 - 400} = \underline{\underline{782 \Omega}}$$

$$Z = \frac{R_p \cdot X}{\sqrt{R_p^2 + X^2}}$$

$$Z = \frac{1025 \cdot 782}{\sqrt{1025^2 + 782^2}} = \underline{\underline{622 \Omega}}$$

$$\cos \varphi = \frac{Z}{R_p} = \frac{622}{1025} = 0,607; \quad \text{nach Tabelle: } \varphi = \underline{\underline{52^\circ 40'}}$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{4 \cdot 10^3}{622} = \underline{\underline{6,44 \text{ mA}}} \quad I_C = \frac{U}{X_C} = \frac{4 \cdot 10^3}{400} = \underline{\underline{10 \text{ mA}}}$$

$$I_w = \frac{U}{R_p} = \frac{4 \cdot 10^3}{1025} = \underline{\underline{3,90 \text{ mA}}} \quad I_L = \frac{U}{X_p} = \frac{4 \cdot 10^3}{820} = \underline{\underline{4,88 \text{ mA}}}$$

$$I_1 = \sqrt{I_w^2 + I_L^2} = \sqrt{3,9^2 + 4,88^2} = \underline{\underline{6,25 \text{ mA}}}$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{I_w}{I_1} = \frac{3,90}{6,25} = 0,625; \quad \text{nach Tabelle: } \varphi_1 = \underline{\underline{51^\circ 20' \text{ (induktiv)}}}$$

Rechenprobe:

$$I = \sqrt{I_w^2 + (I_C - I_L)^2} = \sqrt{3,9^2 + (10 - 4,88)^2} = \underline{\underline{6,41 \text{ mA}}}$$

$$U_w = I_1 \cdot R = 6,25 \cdot 10^{-3} \cdot 400 = \underline{\underline{2,50 \text{ V}}}$$

$$U_L = I_1 \cdot X_L = 6,25 \cdot 10^{-3} \cdot 500 = \underline{\underline{3,12 \text{ V}}}$$

Rechenprobe:

$$U = \sqrt{U_w^2 + U_L^2} = \sqrt{2,5^2 + 3,12^2} = \underline{\underline{4 \text{ V}}}$$

Die gesuchten Größen betragen: $X_L = 500 \Omega$, $X_C = 400 \Omega$, $Z_1 = 640 \Omega$, $Z = 622 \Omega$, $\varphi = 52^\circ 40'$ (kapazitiv), $I = 6,44 \text{ mA}$, $I_1 = 6,25 \text{ mA}$, $I_C = 10 \text{ mA}$, $\varphi_1 = 51^\circ 20'$ (induktiv), $U_w = 2,5 \text{ V}$, $U_L = 3,12 \text{ V}$.

12.3. Spule mit Parallelscheinwiderstand

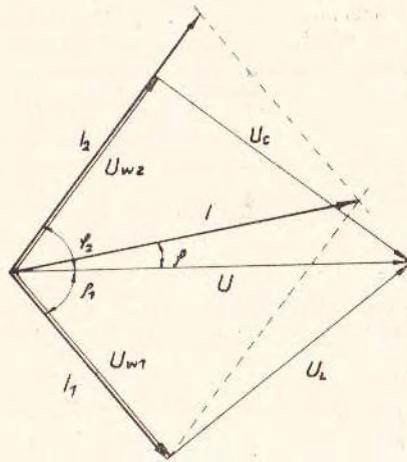
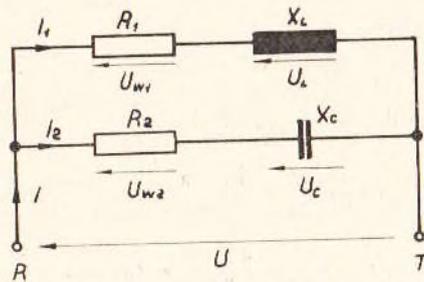
Übungsbeispiel

Eine Stromspule hat einen Wirkwiderstand von $R = 400 \Omega$ und eine Induktivität von $L = 100 \text{ mH}$. Zu dieser Spule ist eine Reihenschaltung eines Wirkwiderstandes von $R = 300 \Omega$ und einer Kapazität von $C = 500 \text{ nF}$ parallelgeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$ (Abb. 107). Wie groß ist der Scheinwiderstand, und welche Strom- und Spannungsaufteilung ergibt sich in dem Stromkreis?

Gegeben: $R_1 = 400 \Omega, L = 100 \text{ mH}, R_2 = 300 \Omega, C = 500 \text{ nF}, U = 4 \text{ V}, f = 800 \text{ Hz}$

Gesucht: $Z, I, I_1, I_2, U_{w1}, U_L, U_{w2}, U_C, \varphi$

Lösung:



(Abb. 107)

$$X_p = \frac{X_{pL} \cdot X_{pC}}{X_{pL} - X_{pC}} = \frac{820 \cdot 625}{820 - 625} = 2630 \Omega$$

für $f = 800 \text{ Hz}$ ist $\omega \approx 5000 \text{ 1/s}$

$$X_L = \omega \cdot L = 5000 \cdot 100 \cdot 10^{-3}$$

$$X_L = 500 \Omega$$

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_L^2}$$

$$Z_1 = \sqrt{400^2 + 500^2} = 640 \Omega$$

$$R_{p1} = \frac{Z_1^2}{R_1} = \frac{640^2}{400} = 1025 \Omega$$

$$X_{pL} = \frac{Z_1^2}{X_L} = \frac{640^2}{500} = 820 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

$$X_C = \frac{1}{5000 \cdot 500 \cdot 10^{-9}} = 400 \Omega$$

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_C^2}$$

$$Z_2 = \sqrt{300^2 + 400^2} = 500 \Omega$$

$$R_{p2} = \frac{Z_2^2}{R_2} = \frac{500^2}{300} = 833 \Omega$$

$$R_p = \frac{R_{p1} \cdot R_{p2}}{R_{p1} + R_{p2}}$$

$$R_p = \frac{1025 \cdot 833}{1025 + 833} = 460 \Omega$$

$$X_{pC} = \frac{Z_2^2}{X_C} = \frac{500^2}{400} = 625 \Omega$$

$$Z = \frac{R_p \cdot X_p}{\sqrt{R_p^2 + X_p^2}} = \frac{460 \cdot 2630}{\sqrt{460^2 + 2630^2}} = 455 \Omega$$

$$\cos \varphi = \frac{Z}{R_p} = \frac{455}{460} = 0,990; \text{ nach Tabelle: } \varphi = 8^\circ \text{ (kapazitiv)}$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{4 \cdot 10^3}{455} = 8,80 \text{ mA} \quad I_1 = \frac{U}{Z_1} = \frac{4 \cdot 10^3}{640} = 6,25 \text{ mA}$$

$$I_{w1} = \frac{U}{R_{p1}} = \frac{4 \cdot 10^3}{1025} = 3,9 \text{ mA} \quad I_L = \frac{U}{X_{pL}} = \frac{4 \cdot 10^3}{820} = 4,88 \text{ mA}$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{I_{w1}}{I_1} = \frac{3,9}{6,25} = 0,625; \text{ nach Tabelle: } \varphi_1 = 51^\circ 20' \text{ (induktiv)}$$

$$I_2 = \frac{U}{Z_2} = \frac{4 \cdot 10^3}{500} = 8,0 \text{ mA}$$

$$I_{w2} = \frac{U}{R_{p2}} = \frac{4 \cdot 10^3}{833} = 4,80 \text{ mA} \quad I_C = \frac{U}{X_{pC}} = \frac{4 \cdot 10^3}{625} = 6,4 \text{ mA}$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{I_{w2}}{I_2} = \frac{4,80}{8,0} = 0,601; \text{ nach Tabelle: } \varphi_2 = 53^\circ \text{ (kapazitiv)}$$

Rechenprobe:

$$I = \sqrt{(I_{w1} + I_{w2})^2 + (I_C - I_L)^2} = \sqrt{(3,9 + 4,80)^2 + (6,4 - 4,88)^2}$$

$$I = 8,83 \text{ mA}$$

$$U_{w1} = I_1 \cdot R_1 = 6,25 \cdot 10^{-3} \cdot 400 = 2,50 \text{ V}$$

$$U_L = I_1 \cdot X_L = 6,25 \cdot 10^{-3} \cdot 500 = 3,12 \text{ V}$$

$$\text{Rechenprobe: } U = \sqrt{U_{w1}^2 + U_L^2} = \sqrt{2,5^2 + 3,12^2} = 4,0 \text{ V}$$

$$U_{w2} = I_2 \cdot R_2 = 8,0 \cdot 10^{-3} \cdot 300 = 2,4 \text{ V}$$

$$U_C = I_2 \cdot X_C = 8,0 \cdot 10^{-3} \cdot 400 = 3,2 \text{ V}$$

$$\text{Rechenprobe: } \sqrt{U_{w2}^2 + U_L^2} = \sqrt{2,4^2 + 3,2^2} = 4,0 \text{ V}$$

Die gesuchten Größen betragen: $X_L = 500 \Omega, Z_1 = 640 \Omega, X_C = 400 \Omega, Z_2 = 500 \Omega, Z = 455 \Omega, \varphi = 8^\circ$ (kapazitiv), $I_1 = 6,25 \text{ mA}, \varphi_1 = 51^\circ 20'$ (induktiv), $I_2 = 8,0 \text{ mA}, \varphi_2 = 53^\circ$ (kapazitiv), $U_{w1} = 2,5 \text{ V}, U_L = 3,12 \text{ V}, U_{w2} = 2,4 \text{ V}, U_C = 3,2 \text{ V}$.

12.4. Aufgaben

1. Eine Stromspule hat einen Wirkwiderstand von $R = 66 \Omega$ und eine Induktivität von $L = 360 \text{ mH}$. Zu dieser Spule ist ein Wirkwiderstand von $R_2 = 300 \Omega$ parallelgeschaltet. Die angeschaltete Spannung beträgt $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$. Wie groß ist der Scheinwiderstand, und welche Strom- und Spannungsaufteilung ergibt sich?
2. Eine Stromspule hat einen Drahtwiderstand von $R = 300 \Omega$ und eine Induktivität von $L = 460 \text{ mH}$. Zu dieser Spule ist ein Wirk-

widerstand von $R = 600 \Omega$ parallelgeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 4 \text{ V}$. Berechnen Sie die Werte des Scheinwiderstandes, der Teilströme und Teilspannungen sowie die Phasenverschiebung für die nachstehenden Frequenzen.

f Hz	0	200	400	600	800	1000
$Z_1 \Omega$						
$Z \Omega$						
$\varphi \text{ grad}$						
$I \text{ mA}$						
$I_1 \text{ mA}$						
$\varphi_1 \text{ grad}$						
$U_w \text{ V}$						
$U_L \text{ V}$						

3. Eine Stromspule mit einem Wirkwiderstand von $R = 100 \Omega$ und der Induktivität von $L = 100 \text{ mH}$ ist mit einer Kapazität von $C = 400 \text{ nF}$ parallelgeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$. Wie groß ist der Scheinwiderstand, und welche Strom- und Spannungsaufteilung ergibt sich?
4. Eine Stromspule hat einen Drahtwiderstand von $R = 300 \Omega$ und eine Induktivität von $L = 80 \text{ mH}$. Sie ist mit einer Kapazität von $C = 400 \text{ nF}$ parallelgeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 4 \text{ V}$. Berechnen Sie die Werte des Scheinwiderstands, der Teilströme und Teilspannungen sowie die Phasenverschiebung für die nachstehenden Frequenzen.

f Hz	0	200	400	600	800	1000
$Z_1 \Omega$						
$Z \Omega$						
$\varphi \text{ grad}$						
$I \text{ mA}$						
$I_1 \text{ mA}$						
$\varphi_1 \text{ grad}$						
$U_w \text{ V}$						
$U_L \text{ V}$						

5. Eine Stromspule von $R = 400 \Omega$ und der Induktivität von $L = 40 \text{ mH}$ ist mit einer Reihenschaltung eines Wirkwiderstands von $R = 600 \Omega$ und einer Kapazität von $C = 500 \text{ nF}$ parallelgeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$.
 - a) Wie groß ist der Scheinwiderstand, und welche Strom- und Spannungsaufteilung ergibt sich in dem Stromkreis?
 - b) Zeichnen Sie von den Strom- und Spannungswerten das Zeigerdiagramm.
6. Ein Kondensator hat eine Kapazität von $C = 600 \text{ nF}$ und einen Verlustparallelwiderstand von $R = 2500 \Omega$. Der Kondensator ist mit einem Wirkwiderstand von $R = 600 \Omega$ hintereinandergeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung ist $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$. Wie groß ist der Scheinwiderstand, und welche Strom- und Spannungsaufteilung ergibt sich in dem Stromkreis?
7. Ein Kondensator mit einer Kapazität von $C = 450 \text{ nF}$ und einem Verlustparallelwiderstand von $R = 4000 \Omega$ ist mit einer Stromspule hintereinandergeschaltet. Der Drahtwiderstand der Spule beträgt $R = 120 \Omega$, und die Induktivität ist $L = 100 \text{ mH}$. Die angeschaltete Wechselspannung ist $U = 4 \text{ V} / f = 800 \text{ Hz}$. Wie groß ist der Scheinwiderstand, und welche Strom- und Spannungsaufteilung ergibt sich in dem Stromkreis?

13. Die Leistung im Wechselstromkreis

Die Leistungsaufnahme eines Verbrauchers kann im Wechselstromkreis nicht ohne weiteres anhand einer Spannungs- und Strommessung bestimmt werden. Sobald der Verbraucher Blindwiderstände (Induktivitäten bzw. Kapazitäten) enthält, tritt zwischen Spannung und Strom eine Phasenverschiebung „ φ “ auf. Diese Phasenverschiebung beeinflusst die Leistungsaufnahme.

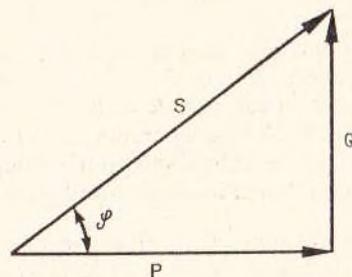
Lediglich für Verbraucher, die nur Wirkwiderstände enthalten (Glühlampen, Heizgeräte usw.), kann die Leistungsaufnahme wie bei Gleichstrom bestimmt werden. Wirkwiderstände verursachen keine Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom.

Man muß im Wechselstromkreis unterscheiden zwischen:

1. **Wirkleistung**, d.i. die vom Verbraucher tatsächlich aufgenommene, also „verbrauchte“ Leistung,

- 2. **Scheinleistung**, d.i. die vom Verbraucher scheinbar aufgenommene Leistung (Spannung mal Strom) und
- 3. **Blindleistung**, d.i. der Anteil der Leistung, der an die Energiequelle zurückgegeben wird, also nicht „verbraucht“ wird.

Der Zusammenhang der drei Arten der Leistung im Wechselstromkreis ergibt sich aus folgendem Zeigerdiagramm:



(Abb. 108)

13.1. Wirkleistung

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Wirkleistung	P	Watt	W

Größengleichungen	
$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$	U = Effektivwert der Gesamtspannung, z.B. mit einem Voltmeter gemessen,
$P = \frac{U_R^2}{R}$	I = Effektivwert des Gesamtstromes, z.B. durch Messung mit einem Amperemeter ermittelt,
$P = I_R^2 \cdot R$	$\cos \varphi$ = der sog. Leistungsfaktor (er kann gemessen werden oder mit den Widerständen berechnet werden, z.B. bei Reihenschaltung $\cos \varphi = \frac{R}{Z}$),
	U_R = der Spannungsabfall am Wirkwiderstand des Verbrauchers,
	I_R = der Strom, der durch den Wirkwiderstand des Verbrauchers fließt,
	R = der Wirkwiderstand des Verbrauchers.

13.2. Scheinleistung

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Scheinleistung	S	Voltampere	VA

Größengleichungen

$S = U \cdot I$	U_z = der Spannungsabfall am Scheinwiderstand Z des Verbrauchers,
$S = \frac{U_z^2}{Z}$	I_z = der Strom, der durch den Scheinwiderstand des Verbrauchers fließt,
$S = I_z^2 \cdot Z$	Z = der Scheinwiderstand des Verbrauchers.

13.3. Blindleistung

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Blindleistung	Q	Voltampere reaktiv	var

Größengleichungen

$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$	U_x = der Spannungsabfall am Blindwiderstand X des Verbrauchers,
$Q = \sqrt{P_s^2 - P_w^2}$	I_x = der Strom, der durch den Blindwiderstand des Verbrauchers fließt,
$Q = \frac{U_x^2}{X}$	X = der Blindwiderstand des Verbrauchers.
$Q = I_x^2 \cdot X$	

13.4. Phasenkompensation

Der Leistungsfaktor $\cos \varphi$ kann durch sog. Phasenkompensation verbessert werden. Induktivität und Kapazität verursachen im Wechselstrom eine um 180° entgegengesetzte Phasenverschiebung. Die beispielsweise durch die Induktivität einer Motorenwicklung verursachte Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom wird durch das Parallelschalten einer Kapazität aufgehoben.

Der zur Kompensation erforderliche Blindwiderstand ist nach der Blindleistung des Verbrauchers zu bestimmen. Der Kompensationswiderstand

muß dabei die gleiche Blindleistung wie der Verbraucher erzeugen, jedoch mit entgegengesetztem Vorzeichen.

Dafür gilt $Q_{\text{induktiv}} = Q_{\text{kapazitiv}}$.

Merke:

Die Phasenverschiebung an einer Induktivität kann durch Zuschalten einer Kapazität, die Phasenverschiebung an einer Kapazität durch Zuschalten einer Induktivität aufgehoben werden.

Übungsbeispiel

Eine Spule mit der Induktivität $L = 0,5 \text{ H}$ und einem Wirkwiderstand von $50 \text{ } \Omega$ wird an eine Spannung $U = 220 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$ gelegt. Wie groß sind

- Scheinleistung,
 - Blindleistung,
 - Wirkleistung und
 - der Leistungsfaktor?
- e) Welchen Kapazitätswert müßte ein Phasenschieber-Kondensator haben, der den Leistungsfaktor auf 1 verbessert?

Zu a)

Gegeben: $U = 220 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $L = 0,5 \text{ H}$, $R = 50 \text{ } \Omega$

Gesucht: S

Lösung: $S = U_z^2$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$R^2 = 2500$$

$$X = \omega \cdot L$$

$$X = 314 \cdot 0,5 = 157 \text{ } \Omega$$

$$X^2 = 24\,649$$

$$Z = \sqrt{2500 + 24\,649}$$

$$Z = \sqrt{27\,149}$$

$$Z = 165 \text{ } \Omega$$

$$S = \frac{220 \cdot 220}{165} = \frac{48\,400}{165}$$

$$S = \underline{\underline{294 \text{ VA}}}$$

Die Spule nimmt eine Scheinleistung von 294 VA auf.

Zu b)

Gegeben: $U = 220 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $L = 0,5 \text{ H}$, $R = 50 \text{ } \Omega$
 $Z = 165 \text{ } \Omega$

Gesucht: Q

Lösung: $Q = I_x^2 \cdot X$

$$I_x = I = \frac{U}{Z}$$

$$I_x = \frac{220}{165} = 1,33 \text{ A}$$

$$I_x^2 = 1,77$$

$$X = 157 \text{ } \Omega \text{ (aus Lösung a)}$$

$$Q = 1,77 \cdot 157$$

$$Q = \underline{\underline{278 \text{ var}}}$$

Die Blindleistungsaufnahme der Spule beträgt 278 Var.

Zu c)

Gegeben: $R = 50 \text{ } \Omega$, $I = 1,33 \text{ A}$

Gesucht: P

Lösung: $P = I_R^2 \cdot R$

$$I_R = I = 1,33 \text{ A}$$

$$I_R^2 = 1,77$$

$$P = 1,77 \cdot 50$$

$$P = \underline{\underline{88,5 \text{ W}}}$$

Die Spule verbraucht eine Wirkleistung von 88,5 Watt.

Zu d)

Gegeben: $R = 50 \text{ } \Omega$, $Z = 165 \text{ } \Omega$

Gesucht: $\cos \varphi$

Lösung: $\cos \varphi = \frac{R}{Z}$

$$\cos \varphi = \frac{50}{165}$$

$$\cos \varphi = \underline{\underline{0,303}}$$

oder

Gegeben: $P = 88,5 \text{ W}$, $S = 294 \text{ VA}$

Gesucht: $\cos \varphi$

Lösung: $\cos \varphi = \frac{P}{S}$

$$\cos \varphi = \frac{88,5}{294}$$

$$\cos \varphi = \underline{\underline{0,301}}$$

(Der Unterschied in der 3. Stelle hinter dem Komma ist auf die Rundung der Zwischenergebnisse zurückzuführen.)

Für die Spule ergibt sich ein Leistungsfaktor von 0,303.

Zu e)

Gegeben: $U = 220 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $Q = 278 \text{ var}$

Gesucht: C zur Phasenkompensation

Lösung: Q (kapazitiv) = Q (induktiv)

$$Q = \frac{U_x^2}{X_C}$$

$$X_C = \frac{U_x^2}{Q}$$

$$X_c = \frac{220 \cdot 220}{278} = 174 \Omega$$

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

$$C = \frac{1}{\omega \cdot X_c}$$

$$C = \frac{1}{314 \cdot 174} = \frac{1}{54\,636}$$

$$C = 0,0000183 \text{ F} = \underline{\underline{18,3 \mu\text{F}}}$$

Der Phasenschieberkondensator müßte eine Kapazität von $18,3 \mu\text{F}$ haben.

13.5. Aufgaben

- Welche Wirkleistung nimmt ein elektrisches Bügeleisen mit dem Widerstand $R = 100 \text{ Ohm}$ an $220 \text{ Volt} / 50 \text{ Hz}$ auf?
- Wie groß wäre die Leistungsaufnahme des Bügeleisens (Aufg. 1) beim Anschluß an $110 \text{ Volt} / 50 \text{ Hz}$?
- Ein elektrisches Heizgerät wird bei einer Netzspannung von $220 \text{ Volt} / 50 \text{ Hz}$ von einem Strom von $I = 0,91 \text{ Ampere}$ durchflossen.
 - Welche Leistungsaufnahme hat das Gerät?
 - Wie groß ist der Widerstand des Geräts?
- Ein elektrischer LötKolben nimmt an $220 \text{ Volt} 60 \text{ Watt}$ auf.
 - Welchen Widerstand hat die Heizwicklung des LötKolbens?
 - Auf welchen Wert sinkt die Leistungsaufnahme, wenn die Netzspannung nur noch 200 Volt beträgt?
- Eine Nebenstellenanlage nimmt aus dem Netzspeisegerät bei 24 Volt einen Strom von 5 Ampere auf. Der Gleichrichter einschließlich Siebkette hat einen Wirkungsgrad von 92% . Wie groß ist die Wirkleistungsaufnahme des Transformators?
- Eine Glühlampe $110 \text{ Volt} / 40 \text{ Watt}$ wird mit einer Glühlampe $110 \text{ Volt} / 25 \text{ Watt}$ in Reihe geschaltet und die Reihenschaltung an 220 Volt gelegt.
 - Wie groß ist dabei die Leistungsaufnahme jeder Lampe?
 - Wie müßte ein Widerstand geschaltet werden, der die Leistungsaufnahme jeder der beiden Lampen auf den Sollwert begrenzt?
 - Wie groß müßte dieser Widerstand sein?

- An einer Spannung von 220 Volt liegen 3 Widerstände $R_1 = 300 \text{ Ohm}$, $R_2 = 200 \text{ Ohm}$ und $R_3 = 600 \text{ Ohm}$ in Reihenschaltung. Welche Leistung nimmt jeder der drei Widerstände auf?
- Damit eine Glühlampe $110 \text{ Volt} / 60 \text{ Watt}$ beim Anschluß an $220 \text{ Volt} / 50 \text{ Hz}$ nicht durchbrennt, muß sie mit einem Vorschaltwiderstand betrieben werden.
 - Wie groß muß der Vorschaltwiderstand sein?
 - Welche Wirkleistung nimmt der Vorschaltwiderstand auf?
 - Wie groß ist die gesamte Wirkleistungsaufnahme der Reihenschaltung?
 - Im Wechselstromkreis kann die Leistungsaufnahme der Glühlampe auch durch einen Blindwiderstand begrenzt werden. Welche Kapazität müßte ein Vorschaltkondensator haben?
 - Wie groß ist die Leistungsaufnahme der Reihenschaltung Lampe – Kondensator in Schein-, Wirk- und Blindleistung?
 - Für welche Durchschlagspannung müßte der Kondensator gebaut sein?
- Welche Blindleistung nimmt ein Kondensator von 100 Mikrofarad an einer Wechselspannung von $220 \text{ Volt} / 50 \text{ Hz}$ auf?
Würde die Absicherung des Stromkreises mit einer 6-Ampere -Sicherung ausreichen?
Wie groß sind Schein-, Wirk- und Blindleistungsaufnahme des Kondensators, wenn sein Verlustwiderstand (als Reihewiderstand) $2,5 \text{ Ohm}$ beträgt?
- Die Zählertafel einer Bautruppunterkunft ist mit 6 Ampere abgesichert.
 - Welche Leistung darf dem 220-Volt -Wechselstromnetz höchstens entnommen werden?
 - Darf ein Motor angeschlossen werden, der eine Wirkleistung von 1 Kilowatt bei einem $\cos \varphi$ von $0,725$ aufnimmt?
- Wie groß sind die aufgenommene Schein-, Wirk- und Blindleistung einer Reihenschaltung von $R = 100 \text{ Ohm}$ und $C = 20 \text{ Mikrofarad}$ an $220 \text{ Volt} / 50 \text{ Hz}$?
Welchen Wert hat der Leistungsfaktor der Reihenschaltung?
- An einem Transformator mit einem Wirkwiderstand der Primärwicklung von $R = 75 \text{ Ohm}$ wird bei voller Belastung an einer Primärspannung von $220 \text{ Volt} / 50 \text{ Hz}$ ein $\cos \varphi$ von $0,8$ gemessen. Wie groß sind Schein-, Blind- und Wirkleistung?

13. An einem Wechselstrommotor werden bei Vollast folgende Werte gemessen:

- a) mit einem Voltmeter $U = 220 \text{ Volt} / 50 \text{ Hz}$,
 b) mit einem Amperemeter $I = 15 \text{ Ampere}$,
 c) mit einem Wattmeter $P = 2700 \text{ Watt}$.

Die abgegebene mechanische Leistung beträgt 3,1 PS.
Wie groß sind

- a) Scheinleistung,
 b) Blindleistung,
 c) der Leistungsfaktor $\cos \varphi$,
 d) der Wirkungsgrad des Motors?

14. An einem 1-PS-Wechselstrommotor werden bei Vollast und Leerlauf folgende Messungen durchgeführt:

	Vollast	Leerlauf
mit einem Voltmeter:	220 Volt	220 Volt
mit einem Amperemeter:	5 Ampere	1,5 Ampere
mit einem Wattmeter:	900 Watt	110 Watt

- a) Welche Scheinleistung nimmt der Motor bei Vollast und Leerlauf auf?
 b) Wie groß ist sein Leistungsfaktor bei Vollast und Leerlauf?
 c) Welchen Wirkungsgrad besitzt der Motor?

15. Auf dem Motortypenschild eines Maschinenumformers ist die Betriebsspannung nicht zu entziffern.

Die anderen Angaben betragen:

Wirkleistung:	600 Watt,
Stromaufnahme:	3,5 Ampere,
$\cos \varphi$:	0,78.

An welche Spannung muß der Motor des Umformers angeschlossen werden?

16. Wie verändert sich die Stromstärke im Versorgungskabel eines Fernmeldeamts, das bei 220 Volt Netzspannung eine Wirkleistung von 30 Kilowatt aufnimmt, wenn der Leistungsfaktor von 0,72 auf 0,96 verbessert wird?

17. Der Siebkondensator 100 Mikrofarad im Netzteil eines Verstärkers erhält aus der pulsierenden Gleichspannung einen überlagerten

Wechselspannungsanteil von 60 Volt/100 Hz. Der Verlustwiderstand beträgt (als Serienwiderstand) 3 Ohm.

- a) Welche Wirkleistung nimmt der Siebkondensator auf?
 b) Wie groß ist die Wärmemenge, die durch die Verlustleistung im Kondensator in 8 Betriebsstunden erzeugt wird?

18. Ein Industriebetrieb nimmt bei 220 Volt Netzspannung einen Strom von 250 Ampere auf. Der Leistungsfaktor beträgt 0,65. Wie groß sind aufgenommene Schein-, Wirk- und Blindleistung?

19. Das Versorgungskabel zwischen Transformator und Industriebetrieb (zu Aufg. 18) hat einen Widerstand von 0,05 Ohm.

- a) Wie groß ist der Wirkleistungsverlust im Kabel bei dem gemessenen Leistungsfaktor von 0,65?
 b) Wie groß wäre der Leistungsverlust im Versorgungskabel, wenn der Industriebetrieb nur die Wirkleistung aufnehmen würde (Leistungsfaktor also 1)?
 c) Welcher zusätzliche Leistungsverlust wird demnach durch den schlechten Leistungsfaktor 0,65 verursacht?

20. Der 220-Volt-Netztransformator in der Stromversorgungsanlage einer VStW gibt bei Nennbelastung 72 Volt und 30 Ampere ab. Der Wirkungsgrad des Transformators beträgt 90%. An der Primärseite des Transformators wird bei 220 Volt ein Strom von 14 Ampere gemessen.

- a) Welche Schein- und Wirkleistung nimmt der Transformator auf?
 b) Wie groß ist der Leistungsfaktor $\cos \varphi$?

21. Die Leistungsaufnahme einer Glühlampe 220 Volt / 60 Watt soll durch Vorschalten eines Kondensators auf 40 Watt gedrosselt werden. Die Netzspannung beträgt 220 Volt / 50 Hz. Welche Kapazität muß der Kondensator haben?

22. Um die Überhitzung eines Lötkolbens 220 Volt / 60 Watt im Dauerbetrieb zu vermeiden, wird seine Leistungsaufnahme in den Arbeitspausen durch Vorschalten eines Kondensators von $C = 8 \text{ Mikrofarad}$ gedrosselt (Gabelumschalter).

- a) Welchen Wirkwiderstand besitzt der Lötkolben?
 b) Auf welchen Wert sinkt die Wirkleistungsaufnahme des Lötkolbens durch das Vorschalten des Kondensators?
 c) Wie groß ist der Leistungsfaktor der Reihenschaltung?

23. Die Leistungsaufnahme der Treppenhausbeleuchtung eines Hochhauses besteht aus 12 Lampen je 60 Watt und soll nachts durch Vorschalten eines Kondensators auf $\frac{2}{3}$ der Lampen-Nennleistung gedrosselt werden. Die Netzspannung beträgt 220 Volt / 50 Hz.
- Wie groß ist der Gesamtwiderstand der 12 parallelgeschalteten Glühlampen?
 - Welche Kapazität müßte der Vorschaltkondensator haben?
 - Wie verändert sich die Wirkleistungsaufnahme der Beleuchtungsanlage mit vorgeschaltetem Kondensator, wenn 3 Glühlampen durchgebrannt sind?
24. In Reihe mit einer Leuchtstofflampe liegt eine Vorschalt-drossel von 1,35 Henry. Der Widerstand der Lampe beträgt 200 Ohm. Die Wicklung der Vorschalt-drossel hat einen Widerstand von 45 Ohm. Die Netzspannung beträgt 220 Volt / 50 Hz. Wie groß sind:
- der Scheinwiderstand der Schaltung,
 - die Wirkleistungsaufnahme der Lampe,
 - die Wirkleistungsaufnahme der Drossel,
 - die aufgenommene Scheinleistung der Lampenschaltung,
 - der Leistungsfaktor der Lampenschaltung?
25. Eine Leuchtstofflampe nimmt 20 Watt, die Vorschalt-drossel 5 Watt Wirkleistung auf. Die Reihenschaltung Lampe – Drossel wird beim Anschluß an 220 Volt / 50 Hz von 0,227 Ampere durchflossen.
- Wie groß ist die aufgenommene Scheinleistung?
 - Welchen Leistungsfaktor hat die Lampenschaltung?
 - Welche Induktivität besitzt die Vorschalt-drossel?
26. Wie hoch müßte der Stromkreis einer Beleuchtungsanlage mit 32 Leuchtstofflampen abgesichert sein, wenn jede Lampe einschließlich Vorschalt-drossel eine Wirkleistung von 78 Watt aufnimmt und der Leistungsfaktor der Lampenschaltung 0,5 beträgt. Die Netzspannung beträgt 220 Volt / 50 Hz.
- Wie groß ist der Wirkwiderstand der Beleuchtungsanlage?
 - Welche Induktivität ergibt sich für die Beleuchtungsanlage?
 - Welche Kapazität muß der Phasenschieberkondensator haben, wenn er den Leistungsfaktor der Beleuchtungsanlage auf den Wert 1 verbessern soll?

27. Auf dem Typenschild eines Wechselstrommotors sind folgende Angaben enthalten:

$$\begin{array}{ll} 220 \text{ V} / 50 \text{ Hz} & 29,4 \text{ A} \\ 6,8 \text{ PS} & \cos \varphi 0,89 \\ \eta 87\% & \end{array}$$

- Wie groß ist die Wirkleistungsaufnahme des Motors?
 - Welche Scheinleistung nimmt der Motor auf?
 - Welche Induktivität besitzt der Motor?
 - Welche Kapazität müßte parallel zu den Motorklemmen geschaltet werden, um den Leistungsfaktor auf 1 zu verbessern?
28. An einem Hochspannungstransformator werden bei voller Belastung folgende Werte gemessen:
- $$\begin{array}{l} U_1 = 20500 \text{ Volt,} \\ I_1 = 2,08 \text{ Ampere,} \\ \cos \varphi = 0,875. \end{array}$$
- Wie groß ist die vom Transformator aufgenommene Schein-, Blind- und Wirkleistung?
 - Welche Wirkleistung gibt der Transformator bei einem Wirkungsgrad von 94% ab?
 - Welche Wirkleistung könnte der Transformator abgeben, wenn es gelänge, seinen Leistungsfaktor auf 1 zu verbessern?
29. Ein Industriebetrieb nimmt bei 220 Volt / 50 Hz einen Gesamtstrom von 227 Ampere auf. Der Leistungsfaktor wird mit 0,75 gemessen.
- Wie groß sind Schein-, Wirk- und Blindleistungsaufnahme des Betriebs?
 - Welcher Blindwiderstand (induktiv) ergibt sich?
 - Welche Kapazität müßte ein Phasenschieberkondensator haben, der den Leistungsfaktor auf 1 verbessern soll?
 - Auf welche Stärke ginge der Gesamtstrom bei einem $\cos \varphi$ von 1 bei gleicher Wirkleistungsabnahme des Betriebs zurück?
30. Das Niederspannungskabel 220 Volt zwischen Transformatorstation und Verstärkeramt darf höchstens einen Spannungsverlust von 4% aufweisen. Der höchste Energiebedarf des Verstärkeramts beträgt 50 Kilowatt; dabei beträgt der Leistungsfaktor 0,9.
- Wie groß darf der Widerstand des Niederspannungskabels sein?
 - Wie groß ist der Energieverlust im Kabel bei voller Lastabnahme des Verstärkeramts?

- c) Wie groß ist der Spannungsverlust im Kabel bei einer Lastabnahme von 35 Kilowatt und einem Leistungsfaktor von 0,78?
31. Der Wechselstromwecker eines Fernsprechapparats besitzt einen Wicklungswiderstand von $R = 1500 \text{ Ohm}$ und eine Induktivität von 17 Henry. Er spricht gerade noch an, wenn er von einem Strom $I = 6 \text{ Milliampere}$ durchflossen wird.
- Wie groß ist die Wirkleistung, die der Wecker benötigt?
 - Auf welchen Wert steigt die Wirkleistung, wenn der Rufstrom auf 12 Milliampere erhöht wird?
32. Damit die Ruf- und Signalmaschine (RSM) bei einem evtl. Leitungskurzschluß nicht ausfällt, wird zwischen RSM und Verbraucher eine Glühlampe als Schutzwiderstand geschaltet. Die Ruf- und Signalmaschinen geben eine Leerlaufspannung von 75 Volt / 25 Hz ab. Welche Daten (U und I) müßten die Glühlampen für RSM mit 5 VA, 15 VA bzw. 60 VA Nennleistung haben?
33. Welche Scheinleistung nimmt der Rufstromkreis einer Fernsprechverbindung mit den Werten
- | | |
|---------------------------------|----------------|
| Schleifenwiderstand der Leitung | = 300 Ohm, |
| Wicklungswiderstand des Weckers | = 600 Ohm, |
| Induktivität des Weckers | = 4,8 Henry, |
| Vorschaltkondensator | = 1 Mikrofarad |
- auf, wenn die RSM eine Spannung von 60 Volt / 25 Hz abgibt?
- Wie viele Rufstromkreise dürfen höchstens gleichzeitig angeschlossen werden, wenn die RSM eine Nennleistung von 5 VA besitzt?
 - Wie viele Rufstromkreise können betrieben werden, wenn man berücksichtigt, daß durch den 10-Sekunden-Schalter nur jeweils $\frac{1}{10}$ aller Rufstromkreise geschaltet werden?
34. In die neueren Fernsprechapparate wird der Wechselstromwecker 50 eingebaut.
- Wie groß ist die Scheinleistungsaufnahme einer Fernsprechverbindung mit den Werten:

Schleifenwiderstand der Leitung	= 300 Ohm
Wicklungswiderstand des Weckers	= 1500 Ohm
Induktivität des Weckers	= 17 Henry
Vorschaltkondensator	= 1 Mikrofarad

 wenn die RSM eine Spannung von 60 Volt / 25 Hz abgibt?
 - Welcher Rufstrom fließt dabei über den Wecker?
 - Wie viele Rufstromkreise dürfen höchstens gleichzeitig angeschlossen werden, wenn die Nennleistung der RSM 5 VA beträgt?
 - Welche Wirkleistung nimmt der Wecker auf?
35. Die Tauchspule eines dynamischen Lautsprechers hat einen Wirkwiderstand von 3 Ohm und bei 800 Hz einen Scheinwiderstand von 5 Ohm. An den Lautsprecher wird eine Spannung von 3 Volt / 800 Hz gelegt.
- Welcher Strom fließt durch die Lautsprecherwicklung?
 - Welche Scheinleistung nimmt der Lautsprecher auf?
 - Wie groß ist die vom Lautsprecher aufgenommene Wirkleistung?
36. Ein Lautsprecher mit dem Scheinwiderstand $Z_{800} = 6 \text{ Ohm}$ und einem Wirkwiderstand von 4 Ohm hat eine Nennleistungsaufnahme von 5 Watt.
- Wie groß ist die erforderliche Wechselspannung 800 Hz zur Vollaussteuerung des Lautsprechers?
 - Welche Spannung wäre für eine Leistungsaufnahme von 0,5 Watt (Zimmerlautstärke) erforderlich?
 - Welches Widerstand-Übersetzungsverhältnis muß der Lautsprecherübertrager erhalten, wenn er primär an den Widerstand der Röhre von 7000 Ohm und sekundär an den Scheinwiderstand des Lautsprechers angepaßt sein soll?
 - Wie hoch muß die Wechselspannung an der Primärwicklung des Lautsprecherübertragers sein, damit der Lautsprecher seine Nennleistung erhält?
37. Die Hörkapsel eines Fernsprechapparats benötigt zur Wiedergabe einer genügenden Lautstärke eine elektrische Leistung von 0,1 Milliwatt. Wie groß muß die zugeführte Wechselspannung sein, wenn die Hörkapsel einen Gleichstromwiderstand von 250 Ohm und einen Scheinwiderstand von 350 Ohm (800 Hz) besitzt?
38. Der in einer Wechselstrommeßbrücke als Nullinstrument verwendete Kopfhörer spricht noch bei einer Scheinleistungsaufnahme von 10–12 Voltampere hörbar an. Sein Scheinwiderstand beträgt 600 Ohm.
- Welcher Strom bzw. welche Spannung wird durch den Kopfhörer noch „angezeigt“?
 - Wievievielmal empfindlicher ist der Kopfhörer gegenüber einem Meßinstrument mit einer Empfindlichkeit von 1 Mikroampere?
39. An einer Verstärkerröhre liegt eine Anodenspannung von 200 Volt. Dabei fließt ein Ruhestrom von 45 Milliampere. Bei Steuerung der Röhre durch eine Wechselspannung wird im Belastungswiderstand der Röhre $R_a = 5000 \text{ Ohm}$ eine Stromänderung zwischen 45 und 5 Milliampere erzielt.

- a) Wie groß ist die Gleichstromverlustleistung, die die Röhre im ungesteuerten Zustand aufnimmt (Anodenverlustleistung)?
- b) Wie groß ist bei Steuerung der Röhre der Effektivwert des Wechselstroms im Belastungswiderstand?
- c) Welche Wechselstromleistung nimmt den Belastungswiderstand auf?
40. An den Eingang eines Transistorverstärkers wird eine Wechselspannung von 300 Millivolt gelegt. Dabei fließt ein Wechselstrom von 0,25 Milliampere. Am Ausgang des Verstärkers liegt ein Verbraucherwiderstand von 200 Ohm. Der Wechselstrom im Verbraucherwiderstand hat eine Größe von 90 Milliampere.
- a) Welche Wechselstromleistung nimmt der Verstärker auf?
- b) Wie groß ist der Eingangswiderstand des Verstärkers?
- c) Wie groß ist die abgegebene Wechselstromleistung?
- d) Eine wievielfache Leistungsverstärkung ergibt sich?
41. An den Ausgang eines Verstärkers wird ein Lautsprecher mit $R = 2,2 \text{ Ohm}$ und $Z = 5 \text{ Ohm}$ geschaltet. Zur Beschneidung der tiefen Frequenzen liegt in Reihe zum Lautsprecher ein Kondensator mit einer Kapazität von $C = 25 \mu\text{F}$. Der Verstärker liefert eine Ausgangsspannung von 7,5 V.
- a) Welche Schein- und Wirkleistung nimmt der Lautsprecher bei 1000 Hz auf?
- b) Wie groß ist die vom Lautsprecher abgegebene Schalleistung, wenn sein Wirkungsgrad 4% beträgt?
- c) Bei welcher Frequenz ergibt sich für den Lautsprecher die größte Leistungsaufnahme?
- d) Wie groß sind Schein- und Wirkleistungsaufnahme des Lautsprechers bei 50 Hz und bei 10000 Hz?

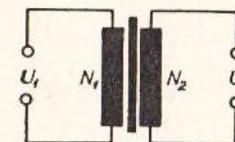
14. Transformatoren, Fernmeldeübertrager

Bei einem Transformator verhalten sich die Spannungen wie die Windungszahlen.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Primärspannung	U_1	Volt	V
Sekundärspannung	U_2	Volt	V
Primärwindungszahl	N_1	l	—
Sekundärwindungszahl	N_2	l	—

Größengleichung

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$



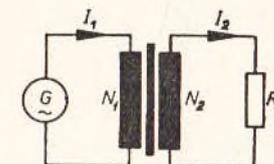
(Abb. 109)

Die Ströme verhalten sich beim Transformator – wenn der Wirkungsgrad unberücksichtigt bleibt – umgekehrt wie die Windungszahlen.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Primärstrom	I_1	Ampere	A
Sekundärstrom	I_2	Ampere	A

Größengleichung

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$



(Abb. 110)

Als Übersetzungsverhältnis „ü“ bezeichnet man beim Starkstromtransformator

- a) das Verhältnis $\frac{\text{große Windungszahl}}{\text{kleine Windungszahl}}$ oder

b) das Verhältnis $\frac{\text{große Leerlaufspannung}}{\text{kleine Leerlaufspannung}}$

Das Übersetzungsverhältnis eines Starkstromtransformators ist also immer größer oder gleich 1.

Da im Transformator Verluste auftreten, ist sein

$$\text{Wirkungsgrad } \eta = \frac{\text{abgegebene Leistung } P_{\text{ab}}}{\text{zugeführte Leistung } P_{\text{zu}}}$$

Bei **Fernmeldeübertragern** versteht man unter dem Übersetzungsverhältnis „ \ddot{u} “ das Verhältnis

$$\frac{\text{Wellenwiderstand der Primärwicklung } (Z_1)}{\text{Wellenwiderstand der Sekundärwicklung } (Z_2)}$$

Unter der **Nennleistung** eines Transformators versteht man die im Dauerbetrieb an der Sekundärseite abnehmbare Leistung. Sie wird mit Rücksicht auf die größtmögliche Stromstärke in VA angegeben.

Anpassung ist dann vorhanden, wenn der Widerstand eines Zweipols (z. B. Leitung, Energiequelle) mit dem Widerstand des angeschlossenen Zweipols (z. B. Primärwicklung eines Übertragers) übereinstimmt.

Hinweis für den Formelansatz bei Verhältnisgleichungen:

Beginnen Sie den Formelansatz immer mit der gesuchten Größe! Dadurch ist eine einfache und schnelle Formelumstellung möglich.

Beispiel: **Gegeben:** N_1, U_1, U_2
Gesucht: N_2

$$\text{Lösung: } \frac{N_2}{N_1} = \frac{U_2}{U_1}$$

nach Umstellung:

$$N_2 = \frac{U_2 \cdot N_1}{U_1}$$

Übungsbeispiel

Der Netztransformator zur Stromversorgung einer Nebenstellenanlage soll beim Betrieb an 220 V eine Sekundärspannung von 24 V abgeben. Die Nennleistung des Transformators beträgt 36 VA. Seine Primärwindungszahl beträgt 1100 und der Wirkungsgrad 90%.

- Wie viele Windungen muß die Sekundärwicklung erhalten?
- Wie groß ist das Übersetzungsverhältnis des Transformators?
- Welche Stromstärke kann dem Transformator entnommen werden?
- Wie groß ist die aufgenommene Leistung des Transformators bei Nennbelastung?
- Welche Stromstärke fließt bei Nennbelastung durch die Primärwicklung?

Zu a)

Gegeben: $U_1 = 220 \text{ V}, U_2 = 24 \text{ V}, N_1 = 1100 \text{ Wdg.}$

Gesucht: N_2

$$\text{Lösung: } \frac{N_2}{N_1} = \frac{U_2}{U_1}$$

$$N_2 = \frac{U_2 \cdot N_1}{U_1}$$

$$N_2 = \frac{24 \cdot 1100}{220}$$

$$N_2 = \underline{\underline{120 \text{ Windungen}}}$$

Die Sekundärwicklung des Transformators muß 120 Windungen erhalten.

Zu b)

Gegeben: $N_1 = 1100 \text{ Wdg.}, N_2 = 120 \text{ Wdg.}$

Gesucht: \ddot{u}

$$\text{Lösung: } \ddot{u} = \frac{\text{große Windungszahl}}{\text{kleine Windungszahl}}$$

$$\ddot{u} = \frac{1100}{120}$$

$$\ddot{u} = \underline{\underline{9,17}}$$

Das Übersetzungsverhältnis des Transformators beträgt 9,17.

Zu c)

Gegeben: $S_{\text{ab}} = 36 \text{ VA}, U_2 = 24 \text{ V}$

Gesucht: $I_2 = I_{\text{ab}}$

$$\text{Lösung: } P = U \cdot I$$

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

$$I = \frac{36}{24} = \underline{\underline{1,5 \text{ A}}}$$

Dem Transformator kann eine Stromstärke von 1,5 A entnommen werden.

Zu d)

Gegeben: $S_{\text{ab}} = P_{\text{Nenn}} = 36 \text{ VA}, \eta = 90\% = 0,90$

Gesucht: S_{zu}

$$\text{Lösung: } \eta = \frac{S_{\text{ab}}}{S_{\text{zu}}}$$

$$S_{\text{zu}} = \frac{S_{\text{ab}}}{\eta}$$

$$S_{\text{zu}} = \frac{36}{0,90} = \underline{\underline{40 \text{ VA}}}$$

Bei Nennbelastung nimmt der Transformator eine Leistung von 40 VA auf.

Zu e)

Gegeben: $S_{\text{zu}} = 40 \text{ VA}, U_1 = 220 \text{ V}$

Gesucht: I_1

Lösung: $S = U \cdot I$

$$I_1 = \frac{S_{zu}}{U_1}$$

$$I_1 = \frac{40}{220} = \underline{\underline{0,182 \text{ A}}}$$

Bei Nennbelastung fließt durch die Primärwindung des Transformators ein Strom von 0,182 A.

14.1. Aufgaben

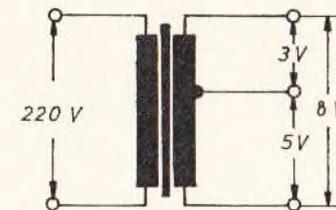
14.1.1. Starkstromtechnik

1. Welche Sekundärspannung gibt ein Netztransformator ab, wenn er eine Primärwindungszahl von $N_1 = 1300$, eine Sekundärwindungszahl von $N_2 = 250$ besitzt und an 220 Volt betrieben wird? Wie groß ist das Übersetzungsverhältnis des Transformators?
2. Wie groß muß die Sekundärwindungszahl eines Kleintransformators sein, der 220 Volt auf 6 Volt umspannen soll und eine Primärwindungszahl von 4800 besitzt?
3. Welche Spannung liegt an der Primärwindung eines Spannungswandlers, dessen Primärwindungszahl 12000 und Sekundärwindungszahl 30 beträgt, wenn ein angeschlossener Spannungsmesser an der Sekundärwicklung 50 Volt anzeigt?
4. Ein Transformator spannt 220 Volt in 48 Volt um. Seine Sekundärwindungszahl beträgt 250. Wie groß ist seine Primärwindungszahl?
5. Die Primärwindung eines Transformators besteht aus 900 Windungen und wird beim Anschluß an 220 Volt von 125 Milliampere durchflossen. Die Sekundärwicklung besitzt 75 Windungen.
 - a) Welche Stromstärke gibt die Sekundärwicklung ab?
 - b) Wie groß ist die Sekundärspannung des Transformators?
 - c) Wie groß ist das Übersetzungsverhältnis des Transformators?
6. Ein Transformator mit einer Primärwindungszahl von 1050 und einer Sekundärwindungszahl von 60 soll beim Anschluß an 220 Volt an der Sekundärseite einen Strom von 3 Ampere abgeben.
 - a) Wie groß ist die Sekundärspannung?
 - b) Welches Übersetzungsverhältnis hat der Transformator?
 - c) Wie groß ist die Stromstärke in der Primärwicklung, wenn der Sekundärstrom 3 Ampere beträgt?
 - d) Wie groß ist die Nennleistung des Transformators?

7. Zur Messung von Stromstärken bis zu 750 Ampere soll ein Amperemeter mit einem Meßbereich von 15 Ampere verwendet werden. Wie groß muß die Sekundärwindungszahl des erforderlichen Stromwandlers sein, wenn die Primärwicklung nur 1 Windung aufweist?
8. Die Primärwindungszahl eines Transformators beträgt 600, die Sekundärwindungszahl 90. Bei Nennbelastung nimmt der Transformator an 220 Volt 1,5 Ampere auf.
 - a) Welche Stromstärke gibt der Transformator ab?
 - b) Wie groß ist die Sekundärspannung?
 - c) Wie groß ist die abgegebene Leistung (Nennleistung)?
9. Ein Transformator besitzt folgende Windungszahlen:

Primärwicklung	1375 Windungen
Sekundärwicklung	75 Windungen

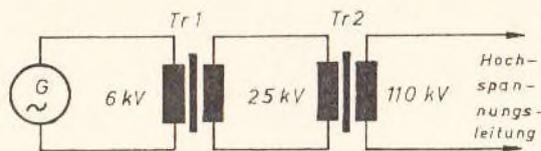
 Er soll an 220 Volt betrieben werden. Der Widerstand der Sekundärwicklung beträgt 0,2 Ohm.
 - a) Welche Sekundärspannung gibt der Transformator im Leerlauf ab?
 - b) Wie groß ist die Sekundärspannung, wenn dem Transformator ein Strom von 10 Ampere entnommen wird?
10. Damit je nach Bedarf verschiedene Sekundärspannungen abgegriffen werden können, enthält die Sekundärwicklung eines Klingeltransformators eine Anzapfung. Der Klingeltransformator soll an 220 Volt betrieben werden und sekundär die Spannungen 3, 5 und 8 Volt abgeben. Seine Primärwindungszahl beträgt 5500.



(Abb. 111)

- a) Wie groß muß die Sekundärwindungszahl für 8 Volt bemessen sein?
- b) Nach wieviel Windungen muß die Sekundärwicklung angezapft werden, damit auch die Teilspannungen 3 Volt und 5 Volt abgegriffen werden können?

11. Ein Transformator 220 V / 60 VA besitzt eine Primärwicklung mit 1200 Windungen.
- Wie groß müßte die Sekundärwindungszahl für 24 Volt sein?
 - Für welche Stromstärke müßten die Primär- und Sekundärwicklung ausgelegt werden?
 - Nach wieviel Windungen müßte die 24-Volt-Wicklung angezapft werden, wenn auch 18 Volt abgegriffen werden sollen?
12. Ein Schweißtransformator mit einer Nennleistung von 2750 VA wird an 220 Volt betrieben. Die Primärwicklung besteht aus 500 Windungen, die Sekundärwicklung aus 15 Windungen.
- Wie hoch ist die Spannung an der Sekundärwicklung?
 - Welche Stromstärke kann der Schweißtransformator an der Sekundärseite abgeben?
13. Ein Hochspannungstransformator spannt 20 Kilovolt auf 380 Volt um. Seine Nennleistung beträgt 100 kVA, sein Wirkungsgrad 95%.
- Wie groß ist sein Übersetzungsverhältnis?
 - Wie groß sind bei Nennlast die Ströme in Primär- und Sekundärwicklung?
14. In einem Kraftwerk wird die Generatorspannung von 6 Kilovolt durch einen Transformator zunächst auf 25 Kilovolt und in einem Freilufttransformator auf 110 Kilovolt umgespannt. Die Generatorleistung beträgt 50 Mega-VA. Der Wirkungsgrad jedes Transformators ist 96%.



(Abb. 112)

- Wie groß ist die an die Hochspannungsleitung abgegebene Leistung?
- Welche Ströme fließen in den einzelnen Stromkreisen?
- Wie groß sind die Übersetzungsverhältnisse der beiden Transformatoren?
- Wie groß ist der Leistungsverlust in jedem Transformator?

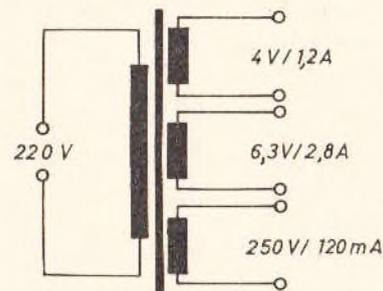
- Welchen Querschnitt müßten die Verbindungsleitungen in den einzelnen Stromkreisen haben, wenn für die Leiter eine Stromdichte von

$$3,5 \frac{\text{Ampere}}{\text{mm}^2} \text{ zugelassen wird?}$$

15. Netztransformatoren für Nachrichtengeräte mit Röhren enthalten auf der Sekundärseite mehrere getrennte Wicklungen, weil
- damit eine galvanische Trennung der verschiedenen Sekundärstromkreise gewährleistet ist und
 - der Strombedarf in den Sekundärstromkreisen meistens sehr verschieden ist und die Drahtstärke der Wicklungen dem jeweiligen Strombedarf angepaßt werden kann.

Der Netztransformator eines älteren Röhrenverstärkers besitzt eine Primärwicklung mit 1250 Windungen. Der Transformator soll beim Betrieb an 220 Volt folgende Sekundärspannungen und -ströme abgeben:

- 4 Volt/1,2 Ampere,
- 6,3 Volt/2,8 Ampere,
- 250 Volt/120 Milliampere.



(Abb. 113)

- Wieviel Windungen muß jede der drei Sekundärwicklungen erhalten?
 - Wie groß ist die Nennleistung des Transformators?
 - Welche Leistung nimmt der Transformator mit voller Belastung bei einem Wirkungsgrad von 90% auf?
 - Wie groß ist dabei der Strom in der Primärwicklung?
16. Für einen Röhrenverstärker soll ein Netztransformator gewickelt werden. Zur Speisung des Verstärkers werden folgende Spannungen und Ströme benötigt:

- a) 6,3 Volt / 3 Ampere (Röhrenheizung)
 b) 230 Volt / 175 Milliampere (Anodenstromversorgung).

Die Primärwicklung soll aus 1400 Windungen bestehen und ist für 220 Volt ausgelegt.

- a) Welche Windungszahlen müssen die beiden Sekundärwicklungen erhalten?
 b) Wie groß sind die Übersetzungsverhältnisse?
 c) Welche Nennleistung hat der Transformator?
 d) Wie groß ist bei Nennbelastung seine Leistungsaufnahme, wenn sein Wirkungsgrad mit 84% angenommen wird?
 e) Welche Größe hat der Primärstrom bei Nennbelastung des Transformators?
 f) Welchen Querschnitt und welchen Durchmesser müssen die Wicklungsdrähte der Primär- und der beiden Sekundärwicklungen haben, wenn eine Stromdichte von $1,5 \frac{\text{Ampere}}{\text{mm}^2}$ zugelassen wird?

17. Der Netztransformator eines Verstärkers ist durchgebrannt. Er soll neu gewickelt werden.

Für den Transformator gelten folgende Betriebsdaten:

Primärspannung	220 Volt,
1. Sekundärwicklung	6,3 Volt/3,5 Ampere,
2. Sekundärwicklung	250 Volt/200 Milliampere.

Am Transformator ist nur noch die Sekundärwicklung für 6,3 Volt erkennbar. Ihre Windungszahl wird mit 32 Windungen ermittelt.

- a) Wie groß müssen die Windungszahlen für die Primärwicklung 220 V und die Sekundärwicklung 250 V sein?
 b) Welche Nennleistung muß der Transformator abgeben können?
 c) Wie groß ist die Leistungsaufnahme bei einem Wirkungsgrad von 92% (Nennbelastung)?
 d) Wie groß ist bei Nennbelastung die Stromstärke in der Primärwicklung?
 e) Welchen Querschnitt und welchen Durchmesser müssen die Wicklungsdrähte für eine zugelassene Stromdichte von $1,8 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$ erhalten?

18. Auf einen Transformator, der beim Anschluß an 220 V eine Sekundärspannung von 4 Volt abgibt, soll eine Zusatzwicklung für 6,3 Volt gewickelt werden. Die Windungszahl der 4-Volt-Wicklung wurde zu 18 ermittelt.

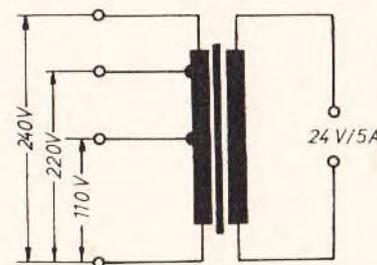
- a) Wieviele Windungen müssen als 6,3-Volt-Wicklung zusätzlich angebracht werden?
 b) Aus wievielen Windungen besteht die Primärwicklung?

19. Den Angaben auf dem Typenschild entsprechend soll der Netztransformator für eine Nebenstellenanlage beim Anschluß an 220 Volt eine Sekundärspannung von 24 Volt abgeben. Bei der Prüfung des Transformators an einer Netzspannung von 210 Volt wird eine Sekundärspannung von 29 Volt gemessen.

- a) In welcher Wicklung des Transformators liegt ein Windungskurzschluß vor?
 b) Wieviel Prozent der Windungen sind an der gestörten Wicklung kurzgeschlossen?

20. Vielfach werden die Primärwicklungen der Netztransformatoren mit Anzapfungen versehen, um die Geräte bei verschiedenen Netzspannungen verwenden zu können.

Der Netztransformator einer Nebenstellenanlage ist für die Netzspannungen 240 V, 220 V und 110 V umschaltbar. Bei voller Belastung gibt der Transformator 24 Volt / 5 Ampere ab. Sein Wirkungsgrad beträgt 82%. Die Sekundärwicklung enthält 120 Windungen.



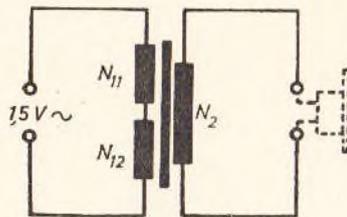
(Abb. 114)

- a) Wieviele Windungen muß die Primärwicklung für 240 Volt erhalten?
 b) Nach wievielen Windungen muß die Primärwicklung für 110 Volt und 220 Volt angezapft werden?

- c) Wie groß ist die Leistungsaufnahme des Transformators?
 d) Wie groß sind die Primärströme bei 240 Volt, 220 Volt und 110 Volt?
 e) Welchen Wert müßten die Feinsicherungen für 240-Volt-, 220-Volt- und 110-Volt-Betrieb erhalten?
21. Ein Klingeltransformator nimmt im Leerlauf 0,5 Watt Verlustleistung auf.
 a) Wie groß ist der Energieverbrauch des Transformators in einem Jahr (365 Tage) für den Leerlaufbetrieb?
 b) Wie hoch sind die dafür aufkommenden Stromkosten, wenn 1 Kilowattstunde 11 Pf kostet?
22. Wie groß ist der Leistungsverlust in einem Transformator mit 120 Kilowatt Nennleistung und einem Wirkungsgrad von 96%?
 Welcher Energieverlust wird durch den Transformator in einem Monat (30 Tage) verursacht?

14.1.2. Fernmeldetechnik

1. Die Induktionsspule eines Fernsprechapparats besitzt auf der Primärseite zwei Wicklungen mit 800 und 1500 Windungen in Reihenschaltung und auf der Sekundärseite (Hörerstromkreis) 1100 Windungen.

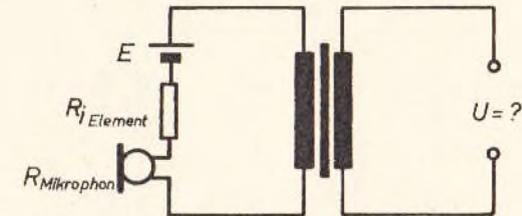


(Abb. 115)

Wie groß ist die Spannung an der Sekundärseite, wenn an den beiden Primärwicklungen zusammen 1,5 Volt Wechselspannung liegen?

2. Die Induktionsspule eines OB-Apparats besitzt folgende Wicklungsdaten:
- | | | |
|------------------|------------------|----------|
| Primärwicklung | 480 Windungen, | 5 Ohm, |
| Sekundärwicklung | 2400 Wicklungen, | 123 Ohm. |

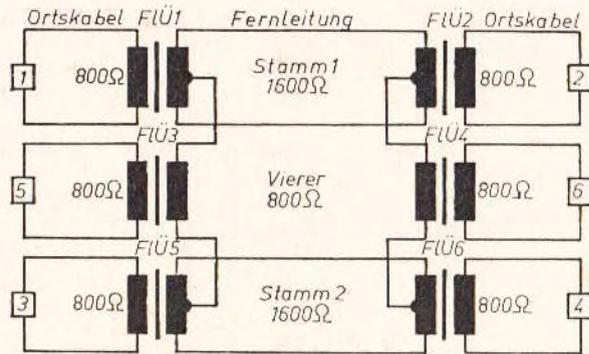
Im Primärstromkreis liegt ein Trockenelement mit einer EMK von 1,5 Volt und einem inneren Widerstand von 0,4 Ohm sowie das OB-Mikrofon, dessen Widerstand sich bei Beschallung mit einem Sinuston (Meßton) zwischen 5 und 20 Ohm verändert.



(Abb. 116)

- a) Wie groß ist die Spannungsänderung an der Primärwicklung der Induktionsspule?
 b) Wie groß ist die entsprechende Spannungsänderung an der Sekundärseite der Induktionsspule?
 c) Wie groß ist der Effektivwert der Sekundärspannung? (Vorsicht vor Trugschlüssen!)
3. Eine Kabeldoppelleitung mit einem Wellenwiderstand von 800 Ohm soll durch einen Fernmeldeübertrager an eine Fernleitung angepaßt werden, deren Wellenwiderstand 1600 Ohm beträgt. Welches Übersetzungsverhältnis muß der Fernmeldeübertrager besitzen?
4. Welchen Sekundär-Wellenwiderstand hat ein Anpassungsübertrager mit dem Übersetzungsverhältnis 1:2,4, wenn sein Eingangs-Wellenwiderstand 670 Ohm beträgt?
5. Bestimmen Sie die Übersetzungsverhältnisse folgender Fernmeldeübertrager anhand ihrer Wellenwiderstände.
- | | | |
|----|---------------------------|--------------------------|
| a) | $Z_1 = 800 \text{ Ohm},$ | $Z_2 = 1600 \text{ Ohm}$ |
| b) | $Z_1 = 1440 \text{ Ohm},$ | $Z_2 = 600 \text{ Ohm}$ |
| c) | $Z_1 = 1440 \text{ Ohm},$ | $Z_2 = 300 \text{ Ohm}$ |
| d) | $Z_1 = 800 \text{ Ohm},$ | $Z_2 = 400 \text{ Ohm}$ |
6. An einem Fernmeldeübertrager 1:2,4 liegt eine Tonfrequenz-Wechselspannung von 250 mV. Wie hoch ist die Ausgangsspannung?
7. Welches Übersetzungsverhältnis besitzt ein Fernmeldeübertrager, an dem beim Anlegen einer Primärspannung von 460 mV eine Sekundärspannung von 325 mV gemessen wird?

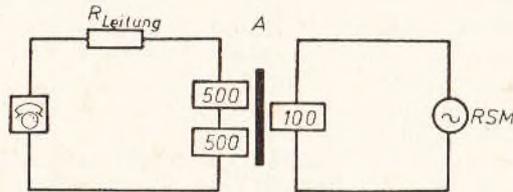
8. In einer Phantomschaltung ergeben sich folgende Wellenwiderstände:



(Abb. 117)

Welche Übertragungsverhältnisse müssen die sechs Fernmeldeübertrager haben?

9. Beim W-System 40 wird das Wählzeichen durch das A-Relais in der I. GW-Stufe induktiv übertragen.



(Abb. 118)

Das A-Relais hat folgende Windungszahlen:

- 100-Ohm-Wicklung ... 730 Windungen,
- 1. 500-Ohm-Wicklung ... 6100 Windungen,
- 2. 500-Ohm-Wicklung ... 6100 Windungen.

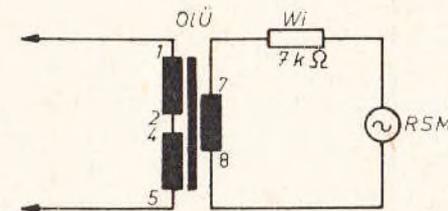
Wie groß ist die Leerlaufspannung, die an den beiden 500-Ohm-Wicklungen erzeugt wird, wenn an der 100-Ohm-Wicklung eine Spannung von 4 Volt / 450 Hz liegt?

Welche Spannung liegt am Fernsprechapparat, wenn sein Widerstand 150 Ohm, der Leitungswiderstand mit 400 Ohm und der Widerstand der 1000-Ohm-Wicklung des A-Relais mit 7000 Ohm berücksichtigt wird?

10. Zur Übertragung des Wählzeichens dient im W-System 50 der OLÜ in der I. GW-Stufe. Die Wicklungen des OLÜ haben folgende Daten:

- Wicklung 1 – 2 = 170 Windungen,
- Wicklung 4 – 5 = 170 Windungen,
- Wicklung 7 – 8 = 340 Windungen,
- Wicklung 7 – 8 = 18 Ohm Gleichstromwiderstand,
- Wicklung 7 – 8 = 1,24 Henry Induktivität.

In Reihe mit der Wicklung 7 – 8 ist ein Widerstand von 7 Kiloohm geschaltet.



(Abb. 119)

- a) Wie groß ist der Scheinwiderstand Z im Primärstromkreis (7 – 8) bei 450 Hz?
- b) Welcher Strom fließt im Primärstromkreis, wenn die RSM eine Spannung von 6 Volt / 450 Hz abgibt?
- c) Wie groß ist dabei der Spannungsabfall an der Wicklung 7 – 8 des OLÜ? (Der Gleichstromwiderstand der Wicklung kann vernachlässigt werden.)
- d) Welche Spannung wird dadurch in den Wicklungen 1 – 2 und 4 – 5 induziert?

15. Chemische Wirkung des elektrischen Stromes

15.1. Galvanisierung, elektrolytische Korrosion

Nach dem Faradayschen Gesetz hängt die beim Stromdurchgang durch einen Elektrolyten ausgeschiedene Stoffmenge vom elektrochemischen Äquivalentgewicht, von der Stromstärke und der Zeit des Stromdurchgangs ab.

Die Möglichkeit, mit Hilfe des el. Stroms Stoffe aus Elektrolyten zu scheiden, wird technisch bei der Galvanisierung und zur Reingewinnung von Metallen (Raffination) ausgenutzt.

Eine Materialwanderung tritt z. B. auch ungewollt auf, wenn Streuströme oder Isolationsströme durch Stoffe fließen, die einen Elektrolyten darstellen (z. B. feuchtes Erdreich). Diese ungewollte Materialwanderung nennt man elektrolytische Korrosion.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
ausgeschiedene Stoffmenge, in Lösung gegangene Stoffmenge	G	pond	p
elektrochem. Äquivalentgewicht	c	pond/Amperestd.	p/As
Stromstärke im Elektrolyten	I	Ampere	A
Zeit des Stromdurchgangs	t	Sekunde	s

Größengleichung

$$G = c \cdot I \cdot t$$

Einheitengleichung

$$p = \frac{p}{As} \cdot A \cdot s$$

Übungsbeispiel

Wieviel p Chrom werden aus einem Chromsalzbad bei $I = 300$ A in 5 Stunden ausgeschieden?

Gegeben: $c = 0,18 \cdot 10^{-3} \frac{p}{As}$, $I = 300$ A, $t = 5$ h

Gesucht: G

Lösung: $G = c \cdot I \cdot t$

$$t = 5 \text{ h} = 5 \cdot 3600 \text{ s} = 18000 \text{ s}$$

$$G = 0,18 \cdot 10^{-3} \cdot 300 \cdot 18000$$

$$G = 0,18 \cdot 10^{-3} \cdot 300 \cdot 18 \cdot 10^3$$

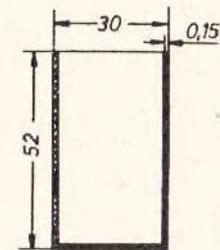
$$G = 0,18 \cdot 300 \cdot 18 = \underline{\underline{972 \text{ p}}}$$

Die ausgeschiedene Chrommenge beträgt 972 p.

15.1.1. Aufgaben

- Wieviel p Kupfer werden aus einer Kupfersulfatlösung in 8 Stunden ausgeschieden, wenn die Stromstärke 10 A beträgt?

- In welcher Zeit werden aus einer Kupfersulfatlösung bei einem Strom von 10 A 15 cm³ Kupfer ausgeschieden?
- Wieviel kp Chrom werden aus einem Chromsalzbad bei $I = 250$ A in 8 Stunden ausgeschieden?
- Ein Kupferblech mit einer Oberfläche von 1 m² soll eine Nickelaufgabe von 0,2 mm erhalten.
 - Wie groß ist das erforderliche Nickelvolumen?
 - Wieviel wiegt die benötigte Nickelmenge?
 - Welche Zeit wird zur Galvanisierung benötigt, wenn im galvanischen Bad eine Stromstärke von 400 A herrscht?
- Zur Versilberung von 24 Besteckteilen werden 90 p Silber aufgalvanisiert (90er Versilberung). Wie groß muß die Stromstärke im galv. Bad sein, wenn die Auflage in 3 Stunden vorhanden sein soll?
- Ein Kupferdraht von 3 mm Durchmesser und 50 m Länge soll eine Silberaufgabe von 0,1 mm Dicke erhalten.
 - Wie groß ist das erforderliche Silbergewicht?
 - In welcher Zeit ist die Silberaufgabe vorhanden, wenn das galv. Bad mit einer Stromstärke von 20 A betrieben wird?
- Wieviel kp Aluminium werden in einem Elektrolyseofen in 8 Stunden aus Bauxit gewonnen, wenn die Stromstärke 10000 A beträgt?
- Wieviel Amperestunden sind für die elektrolytische Gewinnung von 1 kp Aluminium erforderlich?
- Wieviel p Zink werden in einem Zink-Kohle-Element zersetzt, das eine Kapazität von 500 Milliamperestunden hat?
- Welche Elektrizitätsmenge kann ein Zink-Kohle-Element abgeben, wenn der Zinkbecher folgende Maße hat



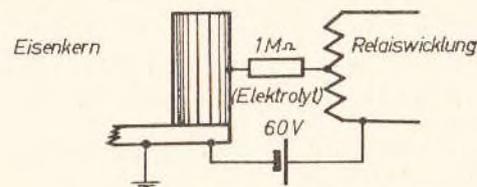
(Abb. 120)

Außendurchmesser = 30 mm
 Höhe = 52 mm und
 Wandstärke = 0,15 mm

und aus Sicherheitsgründen bis zur zulässigen Entladegrenze nur ein Fünftel der Zinkmenge verbraucht wird?

11. Die Bleisammlerbatterie eines Wählamts wird nach Erreichen des Gasungspunkts noch 8 Stunden mit 15 A weitergeladen.
- Wie groß ist die in dieser Zeit durch Elektrolyse verbrauchte Wassermenge (Gewicht Wasserstoff und Gewicht Sauerstoff)?
 - Welche Knallgasmenge wird dabei frei?
 (Volumen Wasserstoff und Volumen Sauerstoff)
 1 p Wasserstoff = 11,123 Liter,
 1 p Sauerstoff = 0,7 Liter.

12. Der Isolationswiderstand einer Relaiswicklung ist durch Feuchtigkeit auf 1 Megohm gegen den Eisenkern gesunken. Zwischen Wicklung und Eisenkern liegt eine Spannung von 60 V (Annahme: + an der Wicklung und - am Eisenkern).



(Abb. 121)

- Wie groß ist der Isolationsstrom?
 - Welche Gewichtsmenge Kupfer geht durch elektrolytische Zersetzung in einem Monat (= 30 Tage) bzw. in einem Jahr (= 12 Monate) verloren?
 - Wie groß ist der prozentuale Gewichtsverlust an der Relaiswicklung in einem Jahr, wenn das gesamte Kupfergewicht der Relaiswicklung 10 p beträgt?
 - Wie groß ist bei umgekehrter Polung der Amtsbatterie (+ Pol geerdet, - Pol an der Wicklung) der durch elektrolytische Zersetzung auftretende Gewichtsverlust am Eisenkern des Relais in einem Monat und in einem Jahr?
13. Wie hoch ist der monatliche (1 M = 30 Tage) Korrosionsverlust am Bleimantel eines Kabels, das in der Nähe von Straßenbahnschienen

verlegt worden ist, wenn der Bleimantel durchschnittlich 1,5 A Rückstrom führt?

14. Um das elektrochemische Grammäquivalent für Chrom zu bestimmen, wurde eine Kupferplatte vor und nach dem Galvanisieren gewogen. Das Gewicht der Kupferplatte betrug vor der Galvanisierung 275 p. Nach 6stündigem Aufgalvanisieren von Chrom bei einer konstanten Stromstärke von 10 A wog die verchromte Platte 310 p.
- Welches elektrochemische Grammäquivalent ergibt sich für Chrom?
 - Wie groß ist der prozentuale Fehler des gefundenen Werts gegenüber dem Tabellenwert (Begründung!)?

15.2. Die EMK von galvanischen Elementen

Die EMK (auch Ursprung oder Leerlaufspannung genannt) eines galvanischen Elements hängt von der Art des verwendeten Elektrodenmaterials ab. Sie kann anhand der **Voltaschen Spannungsreihe** bestimmt werden. Als Bezugspunkt dient in der Voltaschen Spannungsreihe der Wasserstoff mit dem Potential 0. Die EMK eines galvanischen Elements ergibt sich aus der Differenz der Potentiale der verwendeten Elektrodenstoffe gegen Wasserstoff.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
elektromotorische Kraft (abgekürzt EMK)	E	Volt	V
Potential	U	Volt	V

Größengleichung

$$E = U_1 - U_2$$

Einheitengleichung

$$V = V - V$$

Hier die wichtigsten Werte der Voltaschen Spannungsreihe:

Sauerstoff	+ 1,393 V	Blei	- 0,13 V
Braunstein	+ 0,9 V	Zinn	- 0,14 V
Kohle	+ 0,85 V	Nickel	- 0,23 V
Silber	+ 0,8 V	Eisen	- 0,44 V
Kupfer	+ 0,35 V	Zink	- 0,76 V
Bronze	+ 0,3 V	Aluminium	- 1,66 V
Wasserstoff	± 0 V		

Das Vorzeichen im Ergebnis gibt die Polarität des ersten Elektrodenstoffes gegenüber dem zweiten an.

Übungsbeispiel

Wie groß ist die EMK eines Zink-Kupfer-Elements?

Gegeben: $U_{\text{Zink}} = -0,76 \text{ V}$, $U_{\text{Kupfer}} = +0,35 \text{ V}$

Gesucht: E

Lösung: $E = U_1 - U_2 = U_{\text{Zink}} - U_{\text{Kupfer}}$
 $E = -0,76 - (+0,35)$
 $E = -0,76 - 0,35$
 $E = \underline{\underline{-1,11 \text{ V}}}$

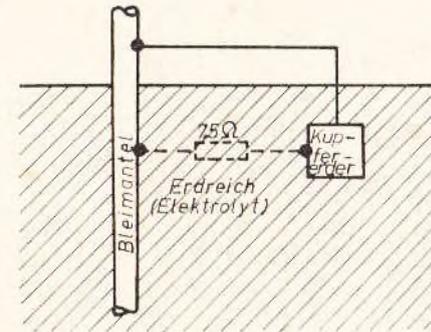
Ein Zink-Kupfer-Element besitzt eine EMK von 1,11 V.
 Die Zinkelektrode stellt den Minuspol des Elements dar.

15.2.1. Aufgaben

1. In den gebräuchlichen Trockenelementen bestehen die Elektroden aus Zink und Braunstein. Wie hoch ist die EMK? Welche Elektrode bildet den Plus-, welche den Minuspol?
2. Bei einem Versuch über den Bleisammler werden zwei Bleielektroden in ein Gefäß mit verdünnter Schwefelsäure gehängt. Wie hoch ist die EMK zwischen den Bleiplatten? (Begründung!)
3. Die Elektroden eines Luft-Sauerstoff-Elements bestehen aus Zink und Kohle. Wie groß ist die EMK?
4. Ein Kabel mit Bleimantel verläuft parallel zu einem Wasserleitungsrohr aus Eisen. Die feuchte Erde stellt einen Elektrolyten dar. Welche Spannung besteht zwischen Kabel und Rohr?
5. Bei den älteren alkalischen Gegenzellen nutzt man die Tatsache aus, daß sich beim Stromdurchgang durch den Elektrolyten die eine Elektrode mit Wasserstoff, die andere mit Sauerstoff überzieht. Wie hoch ist die dabei zwischen den Elektroden auftretende Spannung?
6. Fehlt in einem Zink-Kohle-Element ein Depolarisator, so setzt sich beim Stromdurchgang (Belastung des Elements) an der Kohlelektrode Wasserstoff ab. Wie hoch ist dann die EMK des Elements?
7. Korrosionserscheinungen an Schiffskörpern beruhen zum Teil auf der Entstehung von galvanischen Spannungen und einer dadurch verursachten Metallwanderung. Wie hoch ist die EMK zwischen einer Schiffsschraube aus Bronze und dem Schiffskörper aus Eisen?
8. Eine Kupferschiene wird mit verzinnnten Schrauben befestigt. Wie hoch ist die EMK, die sich an der Verbindungsstelle ergeben kann,

wenn zwischen den Berührungsflächen infolge Feuchtigkeit ein Elektrolyt entsteht?

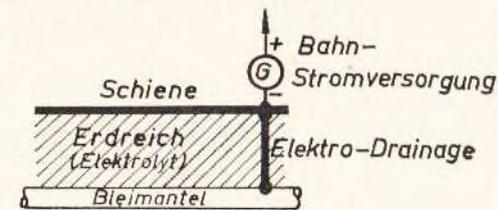
9. Bei der Kabeleinführung in ein VStW-Gebäude werden die Kabelmäntel mit dem Amtserder aus Kupfer verbunden.
 - a) Wie hoch ist die EMK zwischen Kabel-Bleimantel und dem Erder aus Kupfer?
 - b) Wie groß ist der durch diese EMK verursachte Strom, wenn der Widerstand des feuchten Erdreichs zwischen Kabel und Erder 7,5 Ohm beträgt? (Die anderen Widerstände können vernachlässigt werden.)



(Abb. 122)

- c) Welcher Bleiverlust würde dadurch in einem Monat (= 30 Tage) infolge elektrolytischer Korrosion auftreten?

10. In der Nähe von gleichstrombetriebenen Bahnen (Straßenbahn) werden die Bleimäntel der Kabel durch die zur Stromversorgung der Bahn zurückfließenden Streuströme elektrolytisch korrodiert. Zur Vermeidung werden sog. Elektro-Drainagen eingebaut. (Die Kabelmäntel werden mit dem Minuspol der Bahnstromversorgung leitend verbunden.) Dadurch entsteht aber gleichzeitig eine galvanische Spannung zwischen Schienen und Bleimantel.



(Abb. 123)

- a) Wie hoch ist die EMK zwischen Stahlschiene (Eisen) und Bleimantel?
- b) Welche Stromstärke herrscht im vorhandenen Stromkreis, wenn der Widerstand des Erdreichs zwischen Schiene und Kabelmantel 0,8 Ohm beträgt?
- c) Wie groß ist der durch diesen Strom verursachte Materialverlust an den Schienen in einem Monat (= 30 Tage)?

16. Galvanische Elemente und Sammler

16.1. Schaltung von galvanischen Elementen und Sammlern

Die zur Stromversorgung von Geräten und Fernmeldeanlagen benötigten Spannungen sind meistens höher als die Spannungen der gebräuchlichen galvanischen Einzelemente (Primär- oder Sekundärelemente). Manchmal werden auch Ströme gefordert, die die zulässige Strombelastbarkeit eines Einzelementes übersteigen. Für diese Zwecke sind zwei Grundschaltungsarten für galvanische Elemente und Sammler üblich, und zwar:

Zur Erhöhung der Gesamtspannung die **Reihenschaltung** von Elementen oder Zellen,

zur Erhöhung der Strombelastbarkeit die **Parallelschaltung** von Elementen oder Zellen.

Wird neben einer höheren Gesamtspannung auch eine höhere Strombelastbarkeit gefordert, so werden – wenn auch selten – galvanische Stromquellen zur **Gruppenschaltung** vereinigt.

Grundsätzlich werden für alle drei Schaltungsarten nur Elemente verwendet, die jeweils gleiche EMK, gleichen inneren Widerstand und gleiche Strombelastbarkeit haben!

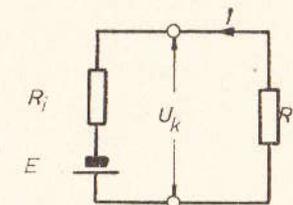
Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Gesamt-EMK	E	Volt	V
EMK eines Elements	E_1	Volt	V

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Innenwiderstand	R_i	Ohm	Ω
Innenwiderstand eines Elements	R_{i1}	Ohm	Ω
Zahl der in Reihe geschalteten Elemente	n	—	—
Zahl der parallelgeschalteten Elemente oder Zweige	p	—	—

Größengleichungen

Reihenschaltung	$E = n \cdot E_1$ $R_i = n \cdot R_{i1}$
Parallelschaltung	$E = E_1$ $R_i = \frac{R_{i1}}{p}$
Gruppenschaltung	$E = n \cdot E_1$ $R_i = \frac{n \cdot R_{i1}}{p}$

Bei der Berechnung von Stromkreisen mit galvanischen Stromquellen werden zweckmäßig zunächst Gesamt-EMK und gesamter Innenwiderstand der Batterie bestimmt. Nachdem diese Werte bestimmt worden sind, kann für den Stromkreis das Ersatzschaltbild mit E und R_i der Batterie und dem Belastungswiderstand R_a gezeichnet werden.



(Abb. 124)

Die Bestimmung des Stroms und der Klemmenspannung ist jetzt nach dem Ohmschen Gesetz einfach:

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Gesamtstrom	I	Ampere	A
innerer Spannungsverlust	U_{vi}	Volt	V
Klemmenspannung	U_K	Volt	V

Größengleichungen

$I = \frac{E}{R_i + R_a}$
$U_K = I \cdot R_a$
$U_K = E - U_{vi}$
$U_K = E - I \cdot R_i$

Übungsbeispiel

Eine Trockenbatterie aus drei in Reihe geschalteten Zink-Kohle-Elementen mit einer EMK von je 1,5 V und einem Innenwiderstand von je 0,25 Ω wird mit einem Widerstand von 5 Ω belastet. Wie groß ist der Strom und welche Spannung liegt dabei am Belastungswiderstand?

Gegeben: $E_1 = 1,5 \text{ V}$, $R_{i1} = 0,25 \text{ Ω}$, $n = 3$, $R_a = 5 \text{ Ω}$

Gesucht: I , U_K

Lösung:

$$I = \frac{E}{R_i + R_a}$$

$$E = n \cdot E_1$$

$$E = 3 \cdot 1,5 = \underline{4,5 \text{ V}}$$

$$R_i = n \cdot R_{i1}$$

$$R_i = 3 \cdot 0,25 = \underline{0,75 \text{ Ω}}$$

$$I = \frac{4,5}{0,75 + 5} = \frac{4,5}{5,75}$$

$$I = \underline{\underline{0,7826 \text{ A}}}$$

$$U_K = I \cdot R_a$$

$$U_K = 0,7826 \cdot 5$$

$$U_K = \underline{\underline{3,913 \text{ V}}}$$

oder

$$U_K = E - U_{vi}$$

$$U_{vi} = I \cdot R_i$$

$$U_{vi} = 0,7826 \cdot 0,75 = \underline{0,587 \text{ V}}$$

$$U_K = 4,5 - 0,587$$

$$U_K = \underline{\underline{3,913 \text{ V}}}$$

Bei Belastung der Batterie mit 5 Ω fließt ein Strom von 0,7826 A. Die Klemmenspannung beträgt dabei 3,913 V.

16.1.1. Aufgaben

- An einer Batterie, die aus 4 in Reihe geschalteten Elementen besteht, liegt ein Verbraucherwiderstand von 6 Ohm. Jedes Element hat eine EMK von 1,5 V und einen inneren Widerstand von 0,15 Ohm. Wie groß sind I und U_K ?
- In den Stromkreis zu Aufg. 1 wird ein Amperemeter mit $R_i = 1 \text{ Ohm}$ geschaltet.
 - Wie groß sind jetzt der Strom und die Spannung am Verbraucherwiderstand von 6 Ohm?
 - Welcher Strom-Meßfehler ergibt sich durch die Einschaltung des Amperemeters?
- Eine Anodenbatterie besteht aus 50 in Reihe geschalteten Trockenelementen mit einer EMK von je 1,5 V und einem R_i von je 0,3 Ohm.
 - Welchen Wert darf der Verbraucherwiderstand haben, wenn der zulässige Strom 150 mA betragen darf?
 - Wie groß ist die Klemmenspannung der Batterie bei der zulässigen Belastung?
- Der Transistorverstärker einer Suchsonde für ein Kabelsuchgerät wird mit einer Stabbatterie aus zwei in Reihe geschalteten Zink-Kohle-Elementen gespeist. Die einzelnen Elemente haben eine EMK von 1,55 V und einen inneren Widerstand von 0,45 Ohm. Die Stromaufnahme der Suchsonde beträgt 12,5 mA. Welche Klemmenspannung ist bei der gegebenen Belastung vorhanden? Für welche Betriebszeit reicht die Batterie, wenn die Kapazität der Batterie 0,4 Amperestunden beträgt?
- Die Amtsbatterie einer VStW besteht aus 30 Zellen mit einer EMK von je 2,4 V und einem inneren Widerstand von 0,002 Ohm. Der Widerstand der Entladeleitung von der Batterie bis zum Gestellrahmen beträgt 0,08 Ohm. Wie groß sind bei der höchsten Stromentnahme von 75 A
 - die Klemmenspannung der Batterie,
 - der Spannungsverlust auf der Entladeleitung,
 - die Spannung am Gestellrahmen?
 - Wieviele Gegenzellen 0,5 V müßten eingeschaltet werden, wenn die Spannung am Gestellrahmen höchstens 60 V betragen darf?
- Die Amtsbatterie für eine VStW hat eine Nennspannung von 60 V. Der innere Widerstand der gesamten Batterie und der Widerstand der Batterieleitung zum Gestellrahmen betragen zusammen 0,03

- Ohm. Wie groß darf die Höchststromstärke sein, wenn aus betriebstechnischen Gründen am Gestellrahmen nicht weniger als 58,5 V vorhanden sein dürfen?
7. Für den Betrieb eines kleinen Abhörverstärkers mit Transistoren werden 8 V bei einem Strom von 25 mA benötigt. Als Spannungsquelle stehen sog. Knopfzellen zur Verfügung. Die Knopfzellen haben eine EMK von 1,2 V und eine Kapazität von 1 Amperestunde.
- Wieviele Knopfzellen müssen in Reihe geschaltet werden, um die erforderliche Spannung von 8 V zu erzielen?
 - Für wieviele Betriebsstunden reicht die Kapazität der Batterie?
8. Um den inneren Widerstand einer Transistorbatterie mit 9 V EMK zu bestimmen, wird die Batterie mit einem Widerstand von 100 Ohm belastet. Dabei sinkt die Klemmenspannung auf 8,8 V.
- Wie groß ist der innere Widerstand der Batterie?
 - Welchen Wert hat der innere Widerstand eines einzelnen Elements, wenn die Batterie aus einer Reihenschaltung von Zink-Kohle-Elementen mit einer EMK von je 1,5 V besteht?
9. An einer Trockenbatterie werden folgende Messungen durchgeführt: Spannungsmessung im unbelasteten Zustand ergibt 4,55 V. Spannungs- und Strommessung im belasteten Zustand ergeben $U_k = 4,4$ V und $I = 200$ mA.
- Wie groß ist der innere Widerstand der Batterie?
 - Mit welchem Widerstand wurde die Batterie belastet?
10. Wie groß ist der Ruhestrom im Mikrofonstromkreis eines Fernsprechapparates mit Ortsbatterie-Betrieb, wenn folgende Werte bekannt sind:
- | | |
|---|------------|
| EMK der Ortsbatterie | = 1,5 V, |
| R_i der Ortsbatterie | = 0,5 Ohm, |
| Mikrofon-Widerstand | = 20 Ohm, |
| Widerstand der Induktionsspulenwicklung | = 3,5 Ohm. |
- Welche Spannung liegt dabei an der Wicklung der Induktionsspule?
11. An eine Batterie mit einer EMK von 20 V und einem inneren Widerstand von 10 Ohm werden nacheinander folgende Belastungswiderstände geschaltet:
- 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 Ohm.
- Stellen Sie in einer Tabelle für die verschiedenen Belastungswiderstände die Werte für R_{ges} , I , U_k und die von den Belastungswiderständen aufgenommene Leistung P_a zusammen.
- Zeichnen Sie das Liniendiagramm für die Anpassung (abgegebene Leistung in Abhängigkeit vom Belastungswiderstand). (Maßstab: 1 cm = 10 Ohm, 1 cm = 1 Watt)
 - In welchem Belastungsfall ist die abgegebene Leistung am größten?
12. Vier Bleisammlerzellen mit einer EMK von je 2 V und einem inneren Widerstand von je 0,02 Ohm werden einmal in Reihe und einmal parallelgeschaltet. Wie groß ist in jedem Fall E und R_i sowie bei Belastung mit $R_a = 7,5$ Ohm U_k und I ?
13. Für den Betrieb eines Summers wird eine Spannung von 1,5 V und ein Strom von 750 mA benötigt. Wieviele Trockenelemente (je 1,5 V) müssen parallelgeschaltet werden, wenn jedes nur mit höchstens 0,2 A belastet werden darf?
14. Zur Stromversorgung einer VStW sind zwei Bleisammlerbatterien parallelgeschaltet. Jede Batterie besteht aus 30 Zellen mit einer EMK von je 2,0 V und einem inneren Widerstand von je 0,0015 Ohm.
- Wie groß sind Gesamt-EMK und innerer Gesamtwiderstand der Gruppenschaltung?
 - Welche Klemmenspannung ergibt sich bei einer Stromentnahme von 12 Ampere?
15. Eine Gruppenschaltung besteht aus drei parallelgeschalteten Zweigen. In jedem Zweig sind 16 Elemente mit einer EMK von je 1,5 V in Reihe geschaltet. Der innere Widerstand eines Elements beträgt 0,4 Ohm.
- Welche EMK hat die Gruppenschaltung?
 - Wie groß ist ihr gesamter innerer Widerstand?
 - Welche Klemmenspannung und welcher Strom ergeben sich bei einer Belastung mit 50 Ohm?
16. Für den Betrieb einer Versuchsanordnung mit Transistoren werden 9 Volt und 0,8 Ampere benötigt. Als Stromquelle stehen Taschenlampen-Flachbatterien in genügender Stückzahl zur Verfügung. Die Batterien haben eine EMK von 4,5 V, einen inneren Widerstand von 0,9 Ohm und dürfen mit höchstens 300 mA belastet werden.
- Wie müssen die Batterien zusammengeschaltet werden, damit die EMK von 9 V erreicht wird und die einzelnen Taschenlampen-Flachbatterien nicht mit mehr als 300 mA belastet werden?
 - Wie groß ist die Klemmenspannung der gesamten Batterie bei der Belastung durch die Versuchsanordnung?

16.2. Kapazität, Güteverhältnis und Wirkungsgrad

Bei galvanischen Stromquellen versteht man unter **Kapazität** die bis zur zulässigen Entladegrenze entnehmbare Amperestundenzahl. Werden bei Sekundärelementen (Sammlern) Auflade- und Entladevorgänge berücksichtigt, so ist die Amperestundenzahl für die Ladung besonders zu kennzeichnen.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Kapazität	K	Amperestunden	Ah
Stromstärke	I	Ampere	A
Zeit	t	Stunden	h

Größengleichung

$$K = I \cdot t$$

Einheitengleichung

$$\text{Ah} = \text{A} \cdot \text{h}$$

Beim Wirkungsgrad von Sekundärelementen ist zu unterscheiden zwischen **Amperestundenwirkungsgrad** (richtiger ist die Bezeichnung Güteverhältnis oder Gütefaktor) und **Wattstundenwirkungsgrad**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
abgegebene Amperestundenzahl	K	Amperestunde	Ah
aufgenommene Amperestundenzahl	Q_{zu}	Amperestunde	Ah
Güteverhältnis	η_{Ah} od. q	—	—
Wattstundenwirkungsgrad	η_{Wh}	—	—
el. Arbeit	W	Wattstunden	Wh

Größengleichungen

$$\eta_{Ah} = q = \frac{K}{Q_{zu}}$$

$$\eta_{Wh} = \frac{W_{ab}}{W_{zu}}$$

Im allgemeinen darf bei Bleisammlern die Entladezeit nicht unter 10 Stunden betragen, die Entladestromstärke also nicht größer als

$$\frac{K}{10 \text{ h}} \text{ sein.}$$

Übungsbeispiel

Eine Bleisammler-Batterie wird 10 Stunden lang mit 12 A geladen. Die mittlere Ladespannung beträgt 2,25 V. Bei einer anschließenden Entladung mit 11 A gibt der Sammler 10 Stunden lang bis zur zulässigen Entladegrenze elektrische Energie ab. Dabei beträgt die mittlere Entladespannung 1,9 V.

- Wie groß ist die Kapazität des Sammlers?
- Welchen Amperestunden-Wirkungsgrad (Güteverhältnis) hat der Sammler?
- Welcher Wattstunden-Wirkungsgrad ergibt sich?

Gegeben: Ladung: $I_L = 12 \text{ A}$, $t_L = 10 \text{ h}$, $U_L = 2,25 \text{ V}$,
Entladung: $I_E = 11 \text{ A}$, $t_E = 10 \text{ h}$, $U_E = 1,9 \text{ V}$.

Gesucht: K , η_{Ah} , η_{Wh}

Lösung: $K = I_E \cdot t_E$
 $K = 11 \cdot 10 = \underline{\underline{110 \text{ Ah}}}$

Die Kapazität des Sammlers beträgt 110 Ah.

$$\eta_{Ah} = \frac{K}{Q_{zu}}$$

$$Q_{zu} = I_L \cdot t_L$$

$$Q_{zu} = 12 \cdot 10 = \underline{\underline{120 \text{ Ah}}}$$

$$\eta_{Ah} = \frac{110}{120} = \underline{\underline{0,917}}$$

Der Amperestunden-Wirkungsgrad des Sammlers beträgt $0,917 \triangleq 91,7\%$.

$$\eta_{Wh} = \frac{W_{ab}}{W_{zu}}$$

$$W_{ab} = U_E \cdot I_E \cdot t_E$$

$$W_{ab} = 1,9 \cdot 11 \cdot 10 = \underline{\underline{209 \text{ Wh}}}$$

$$W_{zu} = 2,25 \cdot 12 \cdot 10 = \underline{\underline{270 \text{ Wh}}}$$

$$\eta_{Wh} = \frac{209}{270} = \underline{\underline{0,774}}$$

Der Wattstunden-Wirkungsgrad beträgt 0,774 oder 77,4%.

16.2.1. Aufgaben

- Die Bleisammler-Batterie einer VStW hat eine Kapazität von 1080 Ah.
 - Für welche Betriebszeit reicht die Kapazität der Batterie aus, wenn der Entladestrom 48 A beträgt?
 - Wie hoch darf der Entladestrom höchstens sein, damit die zulässige Entladezeit von 10 Stunden nicht unterschritten wird?
- Eine Trocken-Batterie hat eine Kapazität von 0,4 Ah. Wie lange kann ein Transistorverstärker mit der Batterie betrieben werden, wenn er eine Stromaufnahme von 12,5 mA hat?
- Welche Stromstärke darf einem Sammler mit einer Kapazität von 144 Amperestunden bei 10stündiger Entladung entnommen werden?

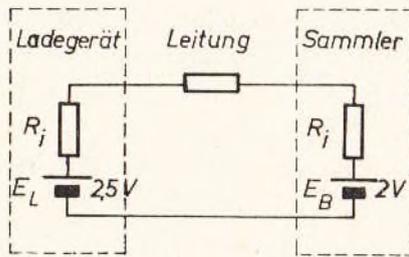
4. Ein Bleisammler wird 12 Stunden mit einer Stromstärke von 6,25 A voll aufgeladen. Bei der Entladung bis zur zulässigen Grenze gibt der Sammler 30 Stunden lang 2,2 A ab. Wie groß sind
- die Kapazität und
 - der Amperestunden-Wirkungsgrad (Güteverhältnis) des Sammlers?
5. Die Kapazität eines Stahlsammlers wird mit 35 Amperestunden angegeben. Wie groß ist der Amperestundenwirkungsgrad, wenn der entladene Sammler nach 12 Stunden Ladung mit 3,75 A wieder voll geladen ist?
6. Wie groß ist die Gesamtkapazität, wenn zwei Batterien mit einer Kapazität von je 108 Ah parallelgeschaltet werden?
7. Die Stromaufnahme einer VStW ändert sich im Verlauf eines Tages wie folgt:
- | | |
|---------------------------|-------|
| 0.00 Uhr bis 6.30 Uhr = | 10 A |
| 6.30 Uhr bis 8.00 Uhr = | 50 A |
| 8.00 Uhr bis 10.00 Uhr = | 100 A |
| 10.00 Uhr bis 12.30 Uhr = | 250 A |
| 12.30 Uhr bis 15.00 Uhr = | 120 A |
| 15.00 Uhr bis 19.00 Uhr = | 200 A |
| 19.00 Uhr bis 21.30 Uhr = | 80 A |
| 21.30 Uhr bis 24.00 Uhr = | 40 A |
- Wie groß muß die Kapazität der Batterie bemessen werden, wenn sie – voll geladen – bei Netzausfall die Stromversorgung der VStW 24 Stunden lang sicherstellen soll?
 - Welche Kapazität wäre erforderlich, wenn die Batterie 6 Stunden lang den Spitzenstrom liefern muß?
8. Wie groß ist der tägliche Strombedarf in Amperestunden einer VStW mit 8500 geschalteten Anschlüssen, wenn je Gespräch 0,035 Ah verbraucht und durchschnittlich von jedem Anschluß je Tag 6 Gespräche geführt werden?
- Wie hoch wird der Strombedarf, wenn die VStW mit 9999 Anschlüssen voll beschaltet ist?
 - Welche Kapazität müßte in den beiden vorstehenden Fällen die Sammlerbatterie haben, wenn sie jeweils den halben Tagesstromverbrauch sicherstellen soll?
9. Welche Kapazität müßte die Amtsbatterie für eine VStW mit 800 Beschaltungseinheiten (BE) haben, wenn sie den halben Tagesstrombedarf decken soll? Je BE werden täglich im Durchschnitt 5,5 Gespräche geführt und je Gespräch 0,035 Ah verbraucht.

10. Eine Taschenlampen-Flachbatterie 4,5 V ergibt bei einer Belastung mit 15 Ohm eine Betriebszeit von zwei Stunden und 30 Minuten.
- Wie groß ist die Kapazität der Batterie?
 - Wie lange kann mit einer Batterie eine Glühlampe betrieben werden, deren Stromaufnahme 200 mA beträgt?
11. Eine Transistorbatterie liefert bei einer Belastung mit 60 Ohm 90 Stunden lang Strom. Die mittlere Entladespannung beträgt dabei 5,25 V.
- Welche Kapazität hat die Batterie?
 - Wie groß ist die von ihr abgegebene elektrische Arbeit?
 - Was würde eine Batterie-Kilowattstunde kosten, wenn der Preis der Batterie 7,50 DM beträgt?
12. Ein Bleisammler hat eine Kapazität von 72 Ah und ein Güteverhältnis von 0,9. Mit welcher Stromstärke darf der Sammler höchstens geladen werden, wenn die Ladezeit von 10 Stunden nicht unterschritten werden darf?
13. Ein Sammler, dessen Amperestunden-Wirkungsgrad 0,89 beträgt, ist nach 35ständiger Ladung mit 20 A voll aufgeladen. Welche Kapazität hat der Sammler?
14. Das Güteverhältnis einer Sammlerbatterie beträgt 0,92. Die Batterie hat eine Kapazität von 216 Amperestunden. Wie lange muß die völlig entladene Batterie aufgeladen werden, wenn das Batterie-Ladegerät eine Stromstärke von 12 A abgibt?
15. Eine Stabbatterie 3 Volt für eine Taschenlampe liefert gemäß VDE-Prüfung 0807 bei einer Belastung mit 10 Ohm 1 Stunde und 20 Minuten lang elektrische Energie.
- Wie lange kann eine Glühlampe mit 100 mA Stromaufnahme mit der Batterie betrieben werden?
 - Welche elektrische Arbeit kann die Batterie abgeben, wenn die mittlere Entladespannung 2,45 Volt beträgt?
 - Was würde eine Batterie-Kilowattstunde kosten, wenn der Preis für die Stabbatterie 0,60 DM beträgt?
16. Bei einer Sammlerbatterie mit einer Kapazität von 216 Amperestunden wird durch Messung festgestellt, daß sie $\frac{3}{4}$ entladen ist. Der Entladestrom beträgt 12 Ampere. Für welche Zeit kann die Batterie noch Strom liefern?

16.3. Batterieladung und -entladung

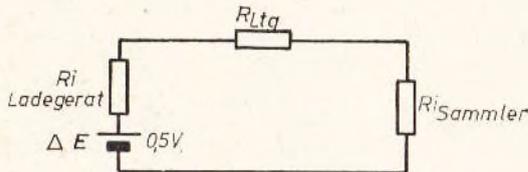
Bei der Ladung von Sekundärelementen (Sammlern) ergeben sich Schaltungen mit zwei Spannungsquellen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß der Pluspol der Ladespannungsquelle mit dem Pluspol des Sammlers bzw. der Sammlerbatterie verbunden wird. Die beiden Spannungsquellen sind im Gleichstromkreis entgegengesetzt gerichtet. Als treibende Spannung ist also ausschließlich der Spannungsunterschied (Potentialdifferenz) der beiden Spannungsquellen vorhanden.

Im folgenden Beispiel beträgt die treibende Spannung $2,5 - 2 = 0,5$ Volt.



(Abb. 125)

Für den Gleichstromkreis kann daher auch folgendes Ersatzschaltbild gezeichnet werden:



(Abb. 126)

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
treibende od. wirk-same Spannung	ΔE	Volt	V
EMK der Spannungsquellen	E_L, E_B	Volt	V
Ladestromstärke	I_L	Ampere	A
Gesamtwiderstand im Stromkreis	R_g	Ohm	Ω

Größengleichungen

$\Delta E = E_L - E_B$
$\Delta E = I_L \cdot R_g$
$I_L = \frac{\Delta E}{R_g}$

Die EMK des Ladegeräts (E_L) muß immer um einen bestimmten Betrag ΔE größer sein als die EMK der zu ladenden Spannungsquelle (E_B)!

Da die EMK des Sammlers bei der Ladung ansteigt, legt man im allgemeinen für die Berechnungen die Nennspannung zugrunde. Die Nennspannung beträgt

für eine Bleisammlerzelle 2,0 Volt
und für eine Stahlsammlerzelle 1,2 Volt.

Übungsbeispiel

Eine Bleisammlerbatterie aus 6 in Reihe geschalteten Zellen soll mit 5 A geladen werden, die EMK einer Sammlerzelle beträgt 2,0 V, der innere Widerstand einer Zelle 0,035 Ω . Die Ladeleitungen haben einen Widerstand von 0,25 Ω . Das Ladegerät besitzt einen inneren Widerstand von 0,14 Ω . Wie hoch muß die EMK des Ladegeräts sein?

Gegeben: Batterie: $n = 6, E_B = 12 \text{ V}, R_{i1} = 0,035 \frac{\Omega}{\text{Zelle}}$
Ladegerät: $R_i = 0,14 \Omega$
Leitungen: $R_{Ltg} = 0,25 \Omega$
Ladestromstärke $I_L = 5 \text{ A}$

Gesucht: $E_{\text{Ladegerät}}$

Lösung: $E_L = E_B + \Delta E$
 $E_B = 12 \text{ V}$
 $\Delta E = I_L \cdot R_g$
 $R_g = R_{iL} + R_{iB} + R_{Ltg}$
 $R_{iB} = n \cdot R_{i1}$
 $R_{iB} = 6 \cdot 0,035 = 0,21 \Omega$
 $R_g = 0,14 + 0,21 + 0,25$
 $R_g = 0,6 \Omega$
 $\Delta E = 5 \cdot 0,6 = 3 \text{ V}$
 $E_L = 12 + 3 = 15 \text{ V}$

Das Ladegerät muß eine EMK von 15 V haben.

16.3.1. Aufgaben – Ladung von Sammlern

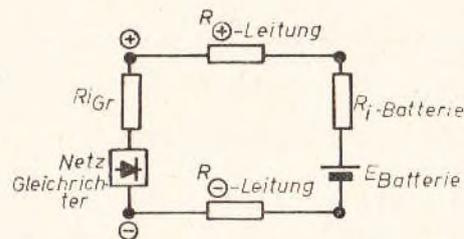
1. Eine Sammlerbatterie besteht aus 12 in Reihe geschalteten Zellen, deren EMK je 2 Volt beträgt. Die Batterie soll aus einem 110-V-

Gleichstromnetz eine Dauerladung mit 0,1 Ampere erhalten. Der innere Widerstand des 110-V-Netzes und der Batterie sollen unberücksichtigt bleiben.

- a) Wie groß muß der Vorwiderstand sein?
 - b) Welcher Leistungsverlust tritt am Vorwiderstand auf?
2. Für die Ladung einer 60-V-Sammlerbatterie, deren Kapazität 108 Amperestunden beträgt, steht ein Ladegerät mit einer Leerlaufspannung von 72 V und einem inneren Widerstand von 0,02 Ohm zur Verfügung. Die Batterie hat einen inneren Widerstand von 0,03 Ohm und einen Amperestundenwirkungsgrad von 0,9.
- a) Wie groß muß der Vorwiderstand sein, wenn die Batterie mit einer Stromstärke von 10 Ampere geladen werden soll?
 - b) Wie lange dauert die Ladung?

3. In folgender Schaltung betragen die Werte für

- R_i des Netzgleichrichters = 0,2 Ohm
- R der \ominus -Leitung = 0,15 Ohm
- R der \oplus -Leitung = 0,15 Ohm
- EMK der Batterie = 26 Volt
- R_i der Batterie = 0,1 Ohm



(Abb. 127)

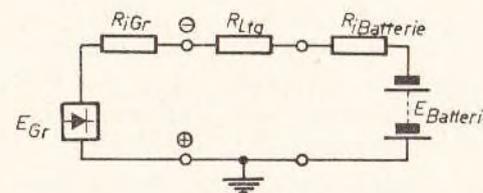
Die Sammlerbatterie soll mit 12 Ampere geladen werden.

- a) Wie groß muß die Leerlaufspannung (EMK) des Netzgleichrichters sein?
- b) Welche Leistung muß der Netzgleichrichter abgeben?
- c) Wie groß ist die Leistungsaufnahme des Netzgleichrichters, wenn sein Wirkungsgrad 70% beträgt?
- d) Welchen Gesamtwirkungsgrad hat die ganze Stromversorgungsanlage unter Berücksichtigung eines Wattstundenwirkungsgrads der Batterie von 78%?

4. Die Amtsbatterie einer VStW mit 30 Zellen hat einen inneren Widerstand von 0,01 Ohm und wird aus einem Netzgleichrichter geladen, dessen Leerlaufspannung 80 V und innerer Widerstand 0,25 Ohm beträgt. Die Ladeleitungen haben einen Widerstand von zusammen 0,38 Ohm.

- a) Wie groß ist die Ladestromstärke, wenn die Zellenspannung bei Beginn der Ladung 1,95 Volt beträgt?
- b) Auf welchen Wert sinkt die Ladestromstärke beim Erreichen des Gasungspunktes 2,4 V je Zelle?

5. In folgender Schaltung wird zur Ladung der Batterie bis zu einer Batteriespannung von 72 V ein Strom von mind. 50 A benötigt.



(Abb. 128)

- $E_{Gr} = 78 \text{ V}$
- $R_{iGr} = 0,045 \text{ } \Omega$
- $R_{iB} = 0,035 \text{ } \Omega$

- a) Wie groß darf der Widerstand der Ladeleitung sein?
- b) Wie groß müßten Querschnitt und Durchmesser der Batterieleitung aus Rundkupfer sein, wenn die Doppelleitung 28 m lang ist?

6. Die Bleisammlerbatterie einer Nebenstellenanlage besteht aus 12 Zellen mit einer EMK von je 2 Volt. Der innere Widerstand einer Zelle beträgt 0,015 Ohm.

- a) Wie groß ist die EMK der Batterie?
- b) Welchen inneren Widerstand hat die Batterie?
- c) Wie hoch müßte die Klemmenspannung des Netzgleichrichters sein, wenn die Batterieleitung einen Widerstand von 0,2 Ohm hat und die Batterie mit 6 Ampere bis zu einer Zellenspannung von 2,4 Volt geladen werden soll?

16.3.2. Aufgaben – Batterieentladung

1. Der Spannungsverlust auf einer $2 \times 18 \text{ m}$ langen Batterie-Entladeleitung darf bei einem Höchststrom von 80 Ampere 1,2 Volt betragen.
 - a) Welchen Widerstand darf die Entladeleitung haben?

- b) Welchen Querschnitt müssen die Leitungen haben, wenn sie aus Kupfer hergestellt werden sollen?
- c) Wie groß muß der entsprechende Durchmesser bei rundem Leiterquerschnitt sein?
- d) Welchen Durchmesser müßten die Leitungen haben, wenn sie aus Aluminium hergestellt werden sollten?
2. Wie groß müssen Querschnitt und Durchmesser einer Batterie-Leitung für eine Nebenstellenanlage bemessen werden, wenn der Spannungsabfall bei einem Höchststrom von 8 Ampere 0,6 Volt betragen darf und die Leitung eine Länge von 2×24 m hat? Die Leitung soll aus Kupfer hergestellt werden.
3. Eine VStW nimmt in der Hauptverkehrszeit 75 Ampere auf. Der Spannungsabfall auf der Batterie-Entladeleitung darf höchstens 1,2 Volt betragen.
- a) Welcher Querschnitt muß für die Leitung gewählt werden, wenn sie aus Kupfer hergestellt werden soll und 2×12 m lang ist?
- b) Wie viele Selen-Gegenzellen mit 0,4 Volt Gegen-EMK müssen eingeschaltet werden, wenn die Batterie eine Spannung von 67 Volt abgibt und am Ende der Batterie-Entladeleitung höchstens 62 Volt vorhanden sein dürfen?
4. Die Sammlerbatterie einer VStW besteht aus 30 Zellen, von denen jede eine EMK von 1,95 Volt und einen inneren Widerstand von 0,0001 Ohm hat. Die Verbindungen zwischen Batterie und Wählergestell sollen so ausgelegt werden, daß die Spannung am Wählergestell nicht unter 58 Volt sinken kann. Die höchste Stromaufnahme beträgt 45 Ampere.
- a) Wie groß sind EMK und innerer Widerstand der Batterie?
- b) Welche Klemmenspannung ist bei der Stromentnahme von 45 Ampere noch an der Batterie vorhanden?
- c) Welcher Spannungsverlust darf demnach an den Entladeleitungen auftreten?
- d) Welchen Widerstand darf die gesamte Entladeleitung höchstens haben?
- e) Wie groß muß der Leitungsquerschnitt aus Kupfer sein, damit der zulässige Widerstand nicht überschritten wird? Die Länge der Zuleitungen beträgt 2×12 m.
- f) Welchen Durchmesser müssen die Zuleitungen haben, wenn sie aus Rundkupferdraht hergestellt werden sollen?

5. Zwischen einer Sammlerbatterie (12 Zellen mit einer EMK von je 1,95 Volt und einem inneren Widerstand von je 0,0025 Ohm) und einer Nebenstellenanlage muß eine 15 m lange Doppelleitung verlegt werden. Bei einer höchsten Stromentnahme von 12,5 Ampere darf die Spannung auf der Batterieleitung um höchstens 0,5 Volt abfallen.
- a) Wie groß ist die Klemmenspannung der Batterie bei der höchsten Stromentnahme?
- b) Welchen Widerstand darf die Batterieleitung haben?
- c) Welchen Durchmesser muß die Batterieleitung aus Rundkupfer erhalten?

17. Anwendungsbeispiele

17.1. Relais und Relaisschaltung

Zur Berechnung der Grundwerte eines Relais, wie Wicklungswiderstand, erforderliche Stromstärke und Spannung, sind im allgemeinen die bekannten Formeln für den Gleichstromkreis heranzuziehen.

Für die überschlägliche Bestimmung der Anzugsbedingung eines Fernmelderelais kann die Kontaktbestückung herangezogen werden.

Dabei gilt:

für den 1. Kontakt	60 Amperewindungen,
für den 2. Kontakt	25 Amperewindungen,
für jeden weiteren Kontakt	10 Amperewindungen.

Das Sinken der Amperewindungen (AW) mit steigender Kontaktzahl hängt mit der quadratischen Zunahme der Anzugskraft bei steigenden AW zusammen. Unter Kontakt ist eine aus zwei Federn bestehende Anordnung zu verstehen.

Anordnungen aus drei Federn – z. B. Umschaltkontakte – werden als zwei Kontakte gerechnet. Die so ermittelten AW zum Anzug eines Relais enthalten jedoch keinerlei Sicherheit.

Unter **Anzugsicherheit** „ S “ versteht man das Verhältnis von tatsächlich fließendem Strom I zum erforderlichen Mindeststrom I_a :

$$S = \frac{I}{I_a}$$

Für den praktischen Betrieb eines Relais ist immer eine gewisse Sicherheit zugrunde zu legen, da eine bloße Berührung der Kontakte nicht genügt. Man wählt für den Anzug etwa zwei- bis dreifache Sicherheit. Für die Fehlstrombedingung setzt man etwa $\frac{2}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ der für den Anzug erforderlichen Amperewindungen in Rechnung.

17.1.1. Aufgaben

- Ein Relais besitzt eine Wicklung mit 6000 Windungen Kupferdraht mit 0,1 mm Durchmesser. Der mittlere Windungsdurchmesser beträgt 1,2 cm. Welchen Widerstand hat die Relaiswicklung?
- Die Wicklung eines Relais hat einen Widerstand von 350 Ohm. Sie wurde aus Kupferdraht mit 0,12 mm Durchmesser hergestellt. Der mittlere Windungsdurchmesser beträgt 1,2 cm. Wie viele Windungen enthält die Wicklung?
- Die Kupferdrahtwicklung eines Relais hat bei 20° C einen Widerstand von 750 Ohm. Während des Betriebs steigt die Temperatur auf 60° C. Die Spannung beträgt $U = 60$ Volt.
 - Wie groß ist der Widerstand der Wicklung bei 60° C?
 - Wie groß sind die Ströme, die das Relais im kalten und im betriebswarmen Zustand aufnimmt?
 - Welche elektrische Leistung nimmt die Wicklung in beiden Fällen auf?
- An einem Relais werden folgende Werte gemessen:
 - bei 20° C $U = 60$ Volt, $I = 75$ Milliampere
 - nach längerem Betrieb $U = 60$ Volt, $I = 65$ Milliampere
 Auf welche Temperatur hat sich die Relaiswicklung aus Kupferdraht im Betrieb erwärmt?
- Wieviel Meter Chromnickeldraht mit 0,1 mm Durchmesser werden zur Herstellung einer Heizwendel für ein Thermorelais benötigt, wenn sie einen Widerstand von 300 Ohm erhalten soll?

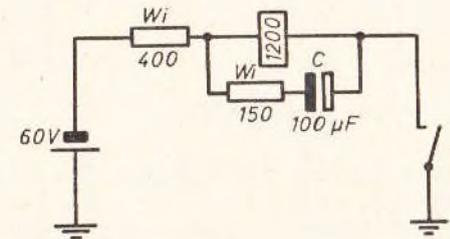
Welche elektrische Leistung nimmt die Heizwendel an 60 Volt auf?
- Für ein Relais, das bei 24-Volt-Betrieb 80 Milliampere Anzugstrom benötigt, soll ein Vorwiderstand für 60-Volt-Betrieb ermittelt werden.
 - Welchen Widerstandswert muß er besitzen?
 - Für welche Belastbarkeit in Watt muß der Vorwiderstand ausgelegt sein?

- Um die Induktivität der Wicklung eines Wechselstromphasenrelais zu ermitteln, werden zwei Messungen durchgeführt:

- Messung an Gleichspannung: $U = 60$ Volt,
 $I = 86,6$ mA,
- Messung an Wechselspannung: $U = 48$ Volt,
 $I = 32$ mA,
 $f = 50$ Hz.

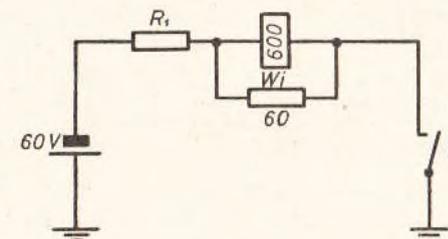
Welche Induktivität hat die Wicklung?

- Wie groß ist in folgender Schaltung für ein abfallverzögertes Relais der Relaisstrom bei geschlossenem s-Kontakt?



(Abb. 129)

- Welche Ladespannung erhält der Kondensator?
 - Wie groß ist der Relaisstrom unmittelbar nach dem Öffnen des s-Kontaktes?
- Ein Relais mit 5400 Windungen hat einen Wirkwiderstand von 400 Ohm. Unter Vorschaltung eines Schutzwiderstands von 1000 Ohm wird beim Anlegen an 220 Volt/50 Hz ein Strom von 135 mA gemessen. Wie groß ist die Induktivität der Relaiswicklung?
 - Das Relais in folgender Schaltung zieht bei einem Strom von 50 mA an.

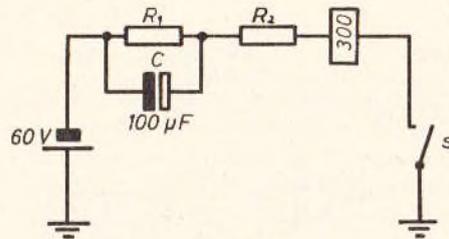


(Abb. 130)

Wie groß darf der Widerstand R_1 sein, damit das Relais gerade noch anziehen kann?

11. Ein Relais mit verkürzter Anzugszeit hat folgende Bedingungen:

Anzugstrom = 75 mA und
Haltestrom = 48 mA.



(Abb. 131)

Wie groß müssen die Widerstände R_1 und R_2 sein, damit diese Bedingungen eingehalten werden?

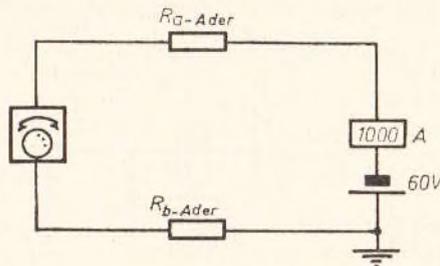
(Was ist bei der Bemessung der Kondensatorkapazität zu beachten?)

12. Für einen Fernsprechkreis wird mit Rücksicht auf eine ausreichende Verständigung ein Speisestrom von 30 Milliampere gefordert.

Im Stromkreis liegen:

die Amtsbatterie mit $U = 60$ Volt,

das Speisereis mit $R = 1000$ Ohm bei 12200 Windungen, der Leitungswiderstand $R_{Leitung}$ und der Widerstand des Fernsprechapparates mit $R = 150$ Ohm.

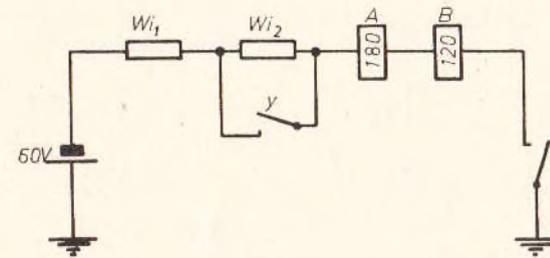


(Abb. 132)

a) Wie groß darf der zulässige Leitungswiderstand bei 30 Milliampere Speisestrom sein?

b) Mit welcher Sicherheit zieht das Speisereis an, wenn zum Anzug mindestens 125 Amperewindungen erforderlich sind?

13. In einem Stromkreis liegen nach folgender Schaltung zwei Relais in Reihe.



(Abb. 133)

Das A-Relais enthält 4170 Windungen mit einem Widerstand von 180 Ohm, das B-Relais 2250 Windungen mit einem Widerstand von 120 Ohm. Zum Anzug benötigt das A-Relais mindestens 125 Amperewindungen, das B-Relais 180 Amperewindungen. Die Fehlstrombedingung für das B-Relais beträgt 65 Milliampere.

Für die Relaischaltung gilt folgende Funktion:

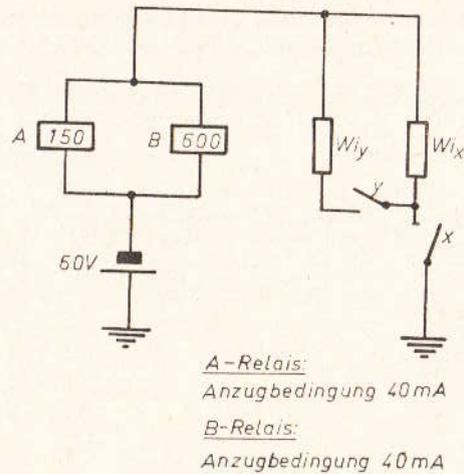
Durch das Schließen des x-Kontaktes soll das A-Relais anziehen und das B-Relais Fehlstrom erhalten.

Beim Schließen des y-Kontaktes soll auch das B-Relais anziehen.

- a) Wie groß müssen die Widerstände W_{i1} und W_{i2} bemessen werden?
- b) Prüfen Sie, ob die Fehlstrombedingung für das B-Relais beim Schließen des x-Kontaktes eingehalten wird.

14. Jedes der beiden Relais A und B in der folgenden Schaltung benötigt zum Anzug 40 Milliampere.

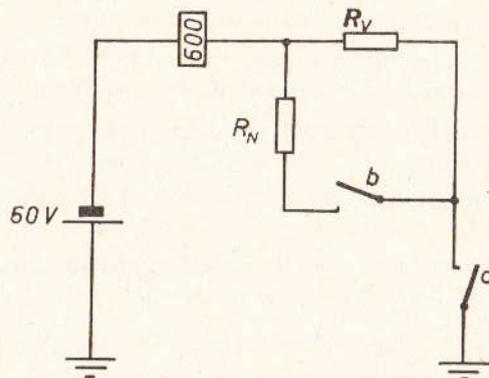
- a) Wie groß müßte W_{ix} sein, damit beim Schließen des x-Kontaktes nur das A-Relais anzieht?
- b) Welcher Strom fließt dabei durch das B-Relais?
- c) Welchen Widerstandswert müßte W_{iy} erhalten, damit auch das B-Relais anzieht, wenn x- und y-Kontakt geschlossen werden?
- d) Wie groß ist der Strom im A-Relais bei geschlossenen x- und y-Kontakten?



(Abb. 134)

15. In folgender Schaltung bestehen für das Relais die Bedingungen:

Fehlstrom bei 50 mA,
Anzug bei 80 mA.



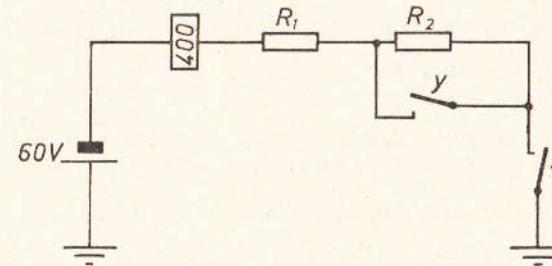
(Abb. 135)

- Wie groß muß R_y sein, damit das Relais beim Schließen des a-Kontakts gerade noch Fehlstrom erhält?
- Welchen Wert muß R_n haben, damit das Relais anzieht, wenn bei bereits geschlossenem a-Kontakt der b-Kontakt zusätzlich geschlossen wird?

16. Welchen Wert müssen die Widerstände R_1 und R_2 in folgender Schaltung für ein Relais mit verkürzter Anzugskraft erhalten, damit das Relais

- beim Schließen des x-Kontakts 100 Amperewindungen (Fehlstrombedingung),
- beim zusätzlichen Schließen des y-Kontakts 240 Amperewindungen (Anzugsbedingung) erhält?

Das Relais enthält eine Wicklung aus 3200 Windungen.



(Abb. 136)

17. Die Wicklung eines 50-Hz-Wechselstromrelais mit 3500 Windungen besitzt einen Gleichstromwiderstand von 450 Ohm und eine Induktivität von 0,9 H. Das Relais benötigt 300 AW, um sicher anzuziehen.

- Welche Stromstärke muß durch die Wicklung fließen, damit das Relais anzieht?
- Wie groß darf im äußersten Fall ein ohmscher Vorwiderstand bei 60-V-Betrieb (50 Hz) sein?

18. Die Wicklung eines Relais besteht aus 3700 Windungen Cu-Draht und besitzt einen Widerstand von 185 Ohm. Das Relais benötigt zum sicheren Anziehen 250 Amperewindungen.

- Welche Stromstärke muß durch das Relais fließen, damit es anzieht?
- Welche Spannung muß dazu mindestens am Relais liegen?
- Wie groß darf der Vorwiderstand bei 60-Volt-Speisung sein?

19. Das P-Relais eines LW besitzt folgende Kontaktbestückung:

- 4 Arbeitskontakte,
- 1 Ruhkontakt und
- 1 Umschaltkontakt.

Die Wicklung besteht aus 12000 Windungen mit einem Widerstand von 1500 Ohm.

- a) Welche AW-Zahl ist zum Anzug mindestens erforderlich?
- b) Wie groß muß der Anzugstrom sein?
- c) Welche Spannung muß dabei am P-Relais liegen?
- d) Kann das Relais anziehen, wenn es eine Spannung von 5,6 Volt erhält?
- e) Wie groß müssen Strom und Spannung am P-Relais bei zweifacher Sicherheit sein?

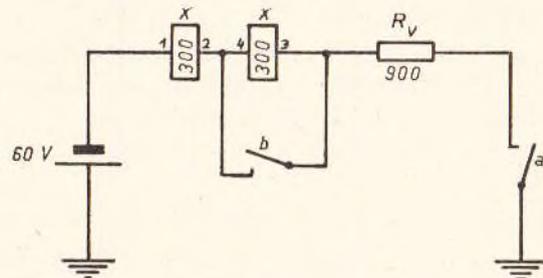
20. Das A-Relais im I. GW 40 ist mit folgenden Kontakten bestückt:

- 2 Arbeitskontakte,
- 2 Ruhekontakte.

Es enthält eine Reihenschaltung aus zwei Wicklungen mit je 6100 Windungen mit einem Widerstand von je 500 Ohm.

- a) Wieviel Amperewindungen benötigt das Relais zum Anziehen?
- b) Wie groß muß der Anzugstrom mindestens sein?
- c) Wie groß müßte der Anzugstrom unter Berücksichtigung einer 2,5fachen Sicherheit sein?
- d) Welche Spannung muß nach c) am Relais liegen?
- e) Wie groß darf der Vorwiderstand zum Relais nach e) bei 60-Volt-Betrieb sein?

21. Das Differentialrelais in folgender Schaltung benötigt zum Anziehen 125 Amperewindungen. Die Relaiswicklungen 1 - 2 und 3 - 4 enthalten je 5210 Windungen.

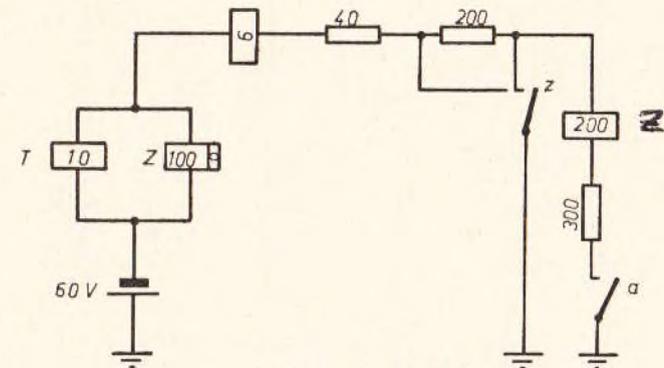


(Abb. 137)

- a) Wie groß ist die wirksame Amperewindungszahl für das X-Relais bei geschlossenem a-Kontakt?

- b) Wie verändert sich die wirksame Amperewindungszahl, wenn a- und b-Kontakt geschlossen sind?
- c) Wie groß ist die Anzugsicherheit für das X-Relais?
- d) Wie groß darf R_v werden, damit das X-Relais gerade noch anziehen kann?

22. Für die Zählung ergibt sich in einer Fernsprechverbindung folgender Stromkreis:



Zähler $Z = 100 \Omega$;

Anzugsbedingung 46 mA

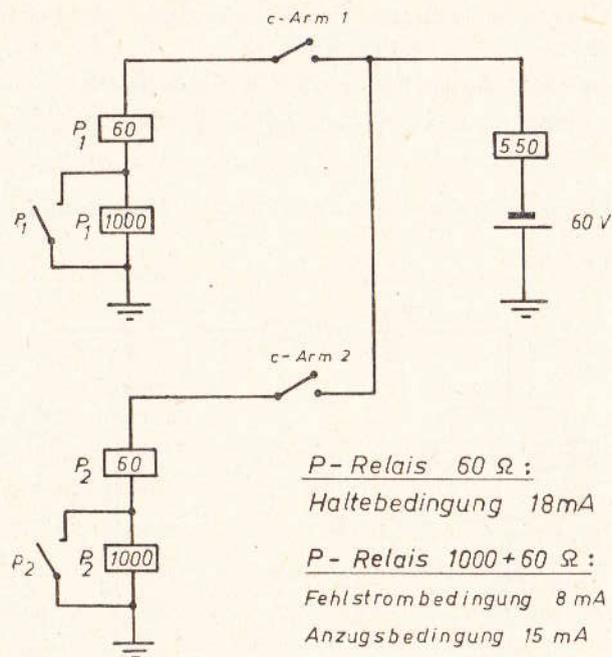
(Abb. 138)

- a) Wie groß ist der Strom im Zähler Z, nachdem der a-Kontakt geschlossen worden ist?
- b) Welche Größe erhält der Zählerstrom, wenn zusätzlich zum a-Kontakt auch die beiden z-Kontakte geschlossen sind?
- c) Durch welchen Kontakt wird also der eigentliche Zählvorgang ausgelöst?

23. Das Schaltkennzeichen der Sperrung für einen aufprüfenden Wähler in einem Wählamt ist: Die Steuerleitung führt stark verminderte oder keine Spannung. Dieser Zustand genügt nicht, um ein aufprüfendes Relais zu erregen.

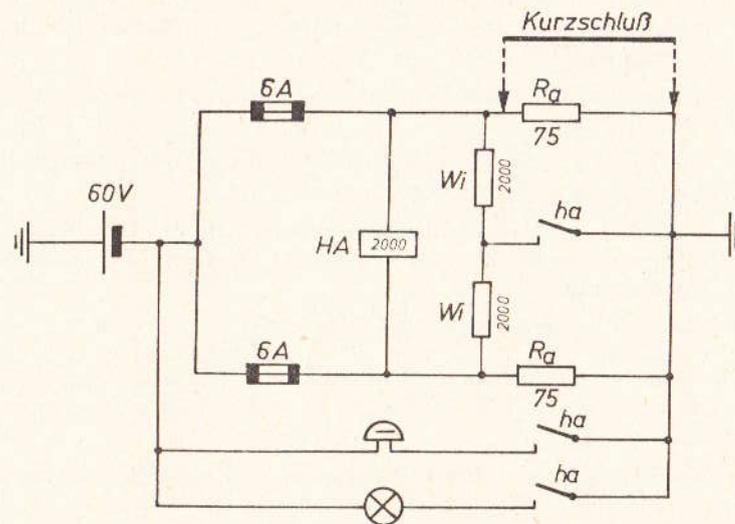
Anhand des folgenden Schaltungsauszeuges kann der Aufprüfvorgang berechnet werden.

- a) Wie groß sind Spannung und Strom für das P₁-Relais im Augenblick des Aufprüfens (c-Arm 1 durchgeschaltet)?



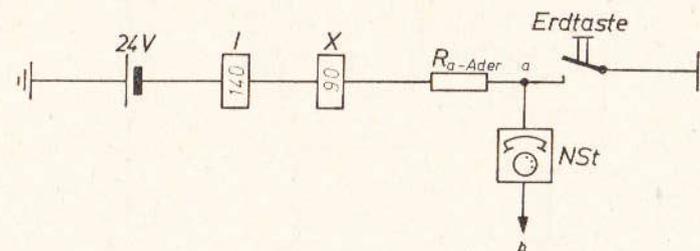
(Abb. 139)

- b) Welcher Strom fließt nach dem Ansprechen des P_1 -Relais über die noch im Stromkreis liegende 60-Ohm-Wicklung?
 - e) Wie groß ist die Spannung am P_1 -Relais?
 - d) Durch den c-Arm 2 wird das P_2 -Relais aufgeschaltet. Wie groß ist der Strom, den das P_2 -Relais ($60 + 1000$ Ohm) erhält?
 - e) Kann das P_2 -Relais anziehen?
24. Die Schaltung nach Abb. 140 stellt die Signalisierung eines Sicherungsausfalls (Abzweigsicherung) dar.
- Bedingungen für das HA-Relais: Anzug 25 mA, Halten 12,5 mA.
- a) Wie groß ist die Spannung am HA-Relais im normalen Betrieb?
 - b) Was geschieht, wenn durch Kurzschluß eine Sicherung durchbrennt?
 - c) Berechnen Sie Spannung und Strom am HA-Relais
 1. für den Kurzschlußfall (eine Sicherung ausgefallen),
 2. für den Fall, daß der Kurzschluß zwar behoben, die Sicherung aber noch nicht ausgewechselt worden ist.
 - d) Wie reagiert das HA-Relais auf die Betriebszustände c 1 und c 2?



(Abb. 140)

25. In Nebenstellenanlagen mit 24-Volt-Speisung kann von einer außenliegenden Nebenstelle mit langer, hochohmiger Anschlußleitung u.U. kein Amtsgespräch mehr geführt werden, weil beim Betätigen der Erdtaste das X-Relais nur noch Fehlstrom erhält. Das X-Relais in folgender Schaltung (W 1/1) benötigt zum Anziehen 115 Ampere-windungen. Seine Wicklung besteht aus 2900 Windungen Cu-Draht.



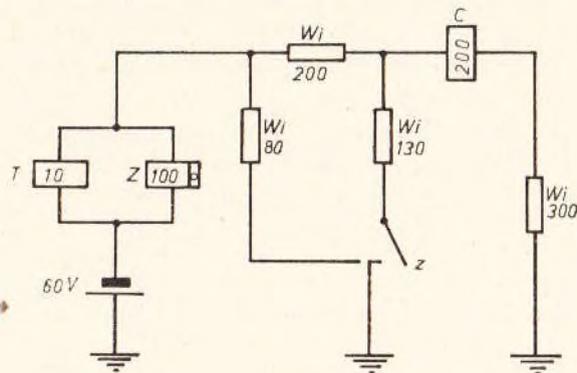
(Abb. 141)

- a) Wie groß darf der Widerstand der a-Ader der Anschlußleitung sein, damit die Anzugsbedingung für das X-Relais noch gerade erfüllt wird?

- b) Auf welchen Wert ändert sich der zulässige Widerstand der a-Ader, wenn für das X-Relais mindestens 1,5fache Sicherheit verlangt wird?
- c) Wie groß ist demnach der zulässige Schleifenwiderstand der Anschlußleitung?
- d) Wie lang darf die Kabeldoppelader, 0,6 mm Durchmesser, für eine außenliegende Nebenstelle sein?
- e) Bei einem gegebenen Leitungswiderstand von 375 Ohm wird ein Zusatzspeisegerät 20 Volt eingesetzt. Wieviel AW erhält das X-Relais jetzt?
- f) Wie groß ist die Sicherheit im Beispiel e)?

26. Wie groß sind die Ströme im Z-Relais des in Abb. 142 dargestellten Zählstromkreises (I. VW – I. GW 50) bei geöffnetem und geschlossenem z-Kontakt?

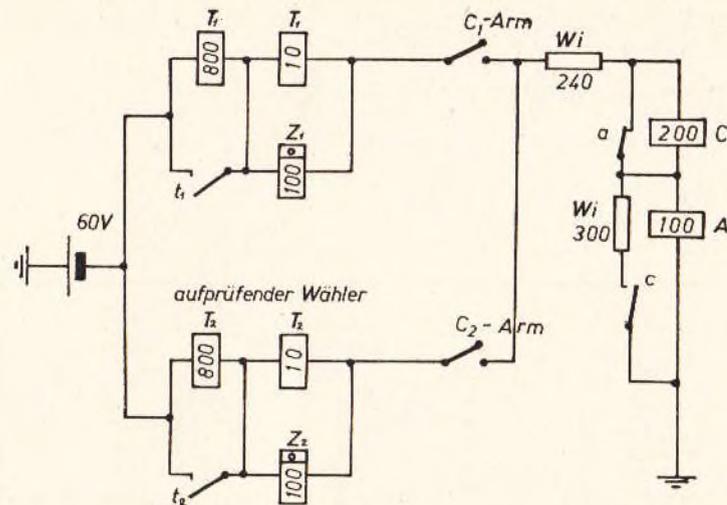
- a) Wie verändert sich der Gesamtstrom im Zählstromkreis, wenn die beiden z-Kontakte nacheinander betätigt werden?
- b) Berechnen Sie die Belastung folgender Widerstände in Watt:
 W_i 300 und W_i 200 bei geöffnetem z-Kontakt,
 W_i 130 und W_i 200 nach dem Schließen des ersten z-Kontakts,
 W_i 80 bei vollkommen geschlossenem z-Kontakt.



(Abb. 142)

27. Berechnen Sie für folgende Relaischaltung (Aufprüfungsvorgang):

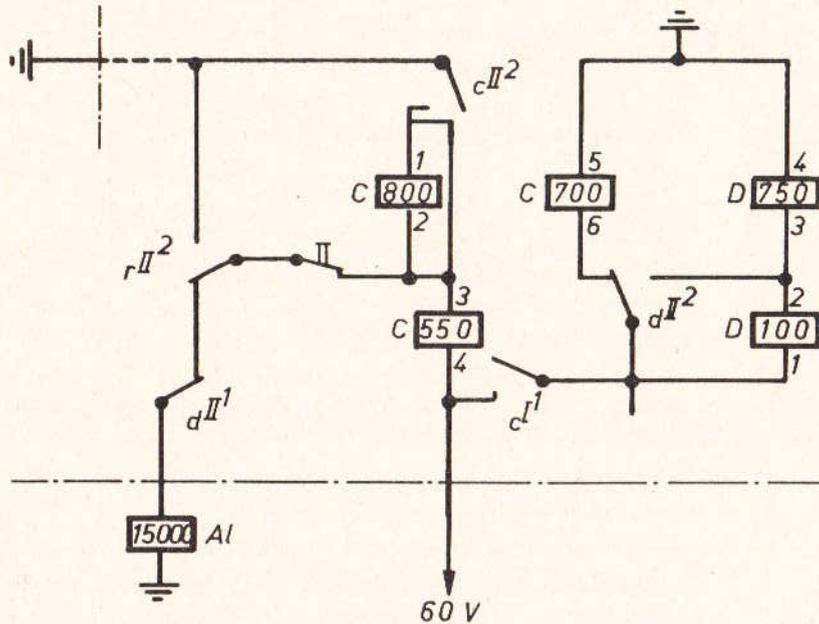
- a) den Gesamtwiderstand im Prüfstromkreis bei geschlossenem c_1 -Arm,



(Abb. 143)

- b) den Strom, den das T-Relais (800) beim Schließen des c_1 -Arms erhält (wird die Anzugsbedingung erfüllt?),
 - c) den Haltestrom des T-Relais (10), nachdem
 1. das A-Relais seinen Ruhekontakt öffnet,
 2. das C-Relais seinen Arbeitskontakt geschlossen und
 3. das T-Relais seinen Arbeitskontakt geschlossen hat (wird die Haltbedingung für das T-Relais (10) erfüllt?),
 - d) den Gesamt-Widerstand des Prüfstromkreises, nachdem
 1. die Schaltvorgänge unter c) beendet sind und
 2. der c_2 -Arm geschlossen wird,
 - e) die Spannung an T (800 + 10) des aufprüfenden Wählers (2),
 - f) den Strom, der durch die T-800-Wicklung des aufprüfenden Wählers fließt (ist die Anzugsbedingung für T 800 gegeben?).
28. Abb. 144 stellt einen Schaltungsauszug einer Gleichstromübertragung mit Wechselstromauslösung dar. Durch das R-Relais wird die Ue belegt, danach fällt R wieder ab.
- a) Welcher Anzugsstrom fließt, während das C-Relais anzieht?
 - b) Welcher Strom fließt, nachdem C angezogen hat?

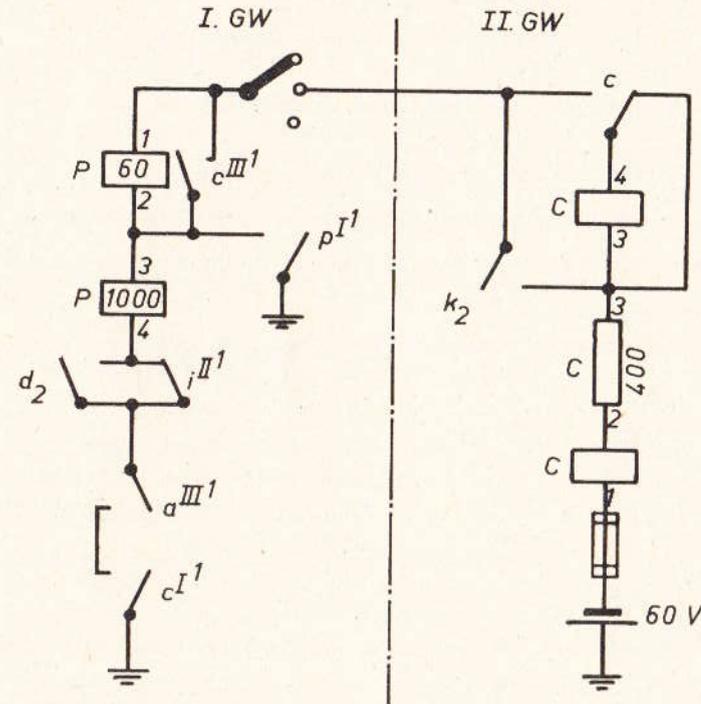
- e) Welcher Strom fließt nach dem Abfall von R, bevor das D-Relais angezogen hat?
- d) Welcher Strom fließt nach dem Anziehen von D?
- e) Zeichnen Sie das Relaisdiagramm.



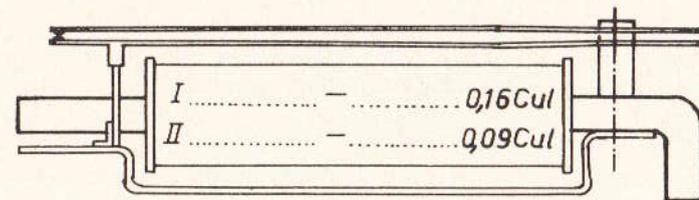
(Abb. 144)

29. Im Prüfstromkreis des II. GW liegt das C-Relais (vgl. Abb. 145), das C-Relais im I. GW hat angezogen.

- a) Wie heißt der Merksatz für das Aufprüfen?
- b) Wie groß ist der Widerstand der Wicklung C_{1-2} , wenn im niederohmigen Zustand 37,2 mA gemessen werden?
- c) Wie groß ist der Widerstand der Wicklung C_{3-4} , wenn nach dem Aufprüfen 21,3 mA gemessen werden?
- d) Welche Angaben fehlen auf dem Relais? Ergänzen Sie das Schild in Abb. 146 aus den errechneten Werten.



(Abb. 145)



(Abb. 146)

17.2. Aufgaben — Fernmeldeleitungen

17.2.1. Leitungswiderstand, Isolationswiderstand, Ableitung

- 1. Die Anschlußleitung zu einer außenliegenden Nebenstelle hat folgende Führung:

- a) NStAnl – KVz A 1 =
= 845 m Kabel mit 0,6 mm Aderndurchmesser,
- b) KVz A 1 – KVz A 4 =
= 980 m Kabel mit 0,6 mm Aderndurchmesser,
- c) KVz A 4 – EVz A 4.18 =
= 1325 m Kabel mit 0,8 mm Aderndurchmesser.

Welchen Schleifenwiderstand hat die Nebenstellenleitung?

2. Eine Privatfernmeldeleitung hat im Netz der Deutschen Bundespost folgende Führung:

- a) ON A-Dorf 650 m Freileitung 1,5 mm Bronze,
1840 m Kabel mit 0,6 mm
Aderndurchmesser,
- b) Bezirkskabel 17380 m Kabel mit 0,9 mm
Aderndurchmesser,
- c) ON B-Dorf 1450 m Kabel mit 0,8 mm
Aderndurchmesser,
3560 m Kabel mit 0,6 mm
Aderndurchmesser.

Wie groß ist der Schleifenwiderstand der Privatfernmeldeleitung?

3. Bei welcher Leitungslänge haben Kabeldoppeladern mit 0,4, 0,6 bzw. 0,8 mm Aderndurchmesser einen Schleifenwiderstand von 1000 Ohm?
4. Wie lang darf die Leitung zu einer außenliegenden Nebenstelle in einem Kabel mit 0,6 mm Aderndurchmesser sein, wenn der Schleifenwiderstand höchstens 350 Ohm betragen darf?
5. Zur Erzielung einer ausreichenden Verständigung soll für einen Fernsprechapparat der Speisestrom den Wert 30 Milliampere nicht unterschreiten.
- a) Wie groß darf der Leitungswiderstand eines Hauptanschlusses bei einer VStW mit 60-Volt-Speisung sein, wenn außer der Leitung folgende Widerstände im Stromkreis liegen:
1. Speiserelais (A-Relais) mit 1000 Ohm und
 2. Fernsprechapparat mit 150 Ohm?
- b) Wie lang dürfte eine Kabel-Doppelader mit dem nach a) errechneten Schleifenwiderstand bei 0,4 bzw. 0,6 mm Aderndurchmesser sein?

- c) Wie groß ist der Speisestrom, wenn bei einem gegebenen Leitungswiderstand von 975 Ohm ein Zusatzspeisegerät 20 Volt eingeschaltet wird?

6. Wie groß ist der Widerstand einer Fernkabel-Doppelader (bei 20° C) mit 1,2 mm Aderndurchmesser bei einer Länge von 125 km, wenn man einen Verseilungsfaktor von 1,02 und die Widerstände der Pupinspulen mit je 8 Ohm bei einem Spulenabstand von 1,7 km berücksichtigt?

Um wieviel Ohm nimmt der Schleifenwiderstand ab, wenn das Kabel im Winter nur noch eine Temperatur von 0° C hat?

Um wieviel Meter kann ein Kabelmeßbeamter demnach einen Kabelfehler falsch einmessen, wenn er die Temperatur nicht berücksichtigt?

7. Welchen Schleifenwiderstand hat eine 3,2 km lange Freileitung aus 1,5 mm Bronze bei 20° C? Auf welchen Wert erhöht sich der Schleifenwiderstand, wenn die Temperatur der Leitungsdrähte durch Sonnenbestrahlung auf 42° C steigt?

8. In einem Ortskabel mit 0,6 mm Aderndurchmesser ist eine 3,5 km lange Doppelader durch Adernberührung gestört. Der Prüfschrankbeamte mißt an der gestörten Doppelader einen Schleifenwiderstand von 275 Ohm.

In welcher Entfernung vom Meßstandort (HVt) liegt der Fehler?

Welchen Widerstand müßte die am Ende kurzgeschlossene Leitung im ungestörten Zustand haben?

9. Die Anschlußleitung eines Hauptanschlusses ist vom Hauptverteiler aus über eine 2650 m lange Kabeldoppelader mit 0,6 mm Aderndurchmesser und eine 2350 m lange Kabeldoppelader mit 0,8 mm Aderndurchmesser geschaltet. An dieser durch Adernberührung gestörten Anschlußleitung wird vom Prüfschrankbeamten ein Schleifenwiderstand von 385 Ohm gemessen. In welcher Entfernung vom Hauptverteiler liegt der Fehler?

10. Eine Anschlußleitung mit folgender Führung:

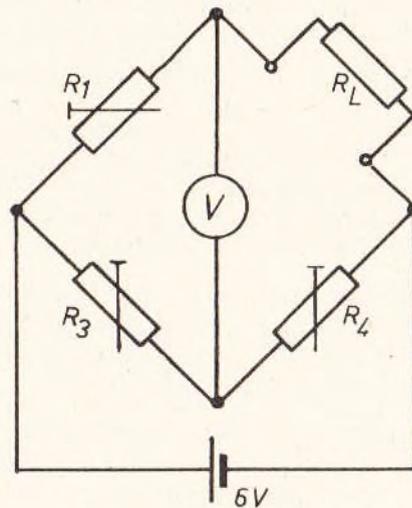
1750 m Doppelader mit 0,6 mm Aderndurchm.,
375 m Doppelader mit 0,8 mm Aderndurchm. und
1975 m Freileitung mit 1,5 mm Leitungsdurchmesser (Bronze)

ist durch Berührung gestört. Beim Messen wird am Prüfschrank ein Schleifenwiderstand von 265 Ohm ermittelt.

- a) In welchem Leitungsabschnitt liegt der Fehler?
b) Wie läßt sich der Fehlerort am einfachsten genauer eingrenzen?

11. Welchen Durchmesser müßten die Kabeladern aus Aluminium haben, wenn sie den gleichen Widerstand wie Kupferadern mit 1,2 mm Aderndurchmesser haben sollen?
12. Wie groß ist der Isolationswiderstand einer 3,2 km langen oberirdischen Doppelleitung, wenn der kilometrische Isolationswiderstand 2,5 Megohm beträgt?
13. Die Isolatoren einer Freileitung haben einen mittleren Isolationswiderstand von 20 Megohm gegen Erde.
 - a) Welcher Isolationswiderstand ergibt sich für 1 km Doppelleitung, wenn man einen Mastabstand von 50 m zugrunde legt?
 - b) Wie groß ist der entsprechende Leitwert? (Ableitung)
14. Die Ableitung einer Freileitung soll $1 \mu\text{S}/\text{km}$ betragen. Wie groß ist der Isolationswiderstand einer 3,8 km langen Freileitung?
15. Der Isolationswiderstand eines Bezirkskabels soll 5000 Megohm je km betragen. An einem 14,5 km langen Bezirkskabel wird ein Isolationswiderstand von 350 Megohm gemessen. Ist dieser Wert noch ausreichend?
16. In einem 3 km langen Kabel besteht eine Berührung. Mit Hilfe einer Brückenmessung soll die Fehlerstelle genau bestimmt werden (vgl. Abb. 147). Auf der Meßbrücke sind nach dem Abgleich folgende Werte abgelesen worden:

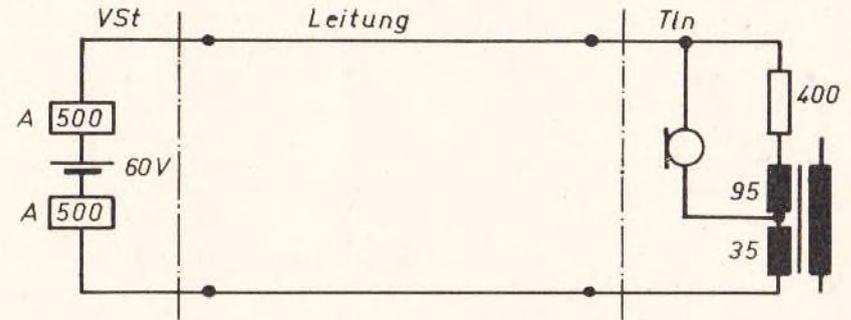
$$\begin{aligned} R_1 &= 53 \Omega \\ R_2 &= 215 \Omega \\ R_4 &= 116 \Omega \end{aligned}$$



(Abb. 147)

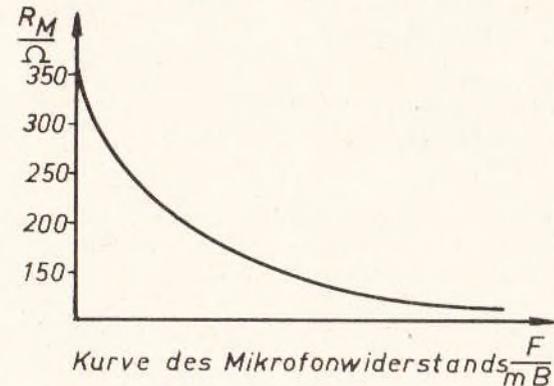
- a) Wie weit liegt die Fehlerstelle in dem DM-verseilten Kabel, 0,8 mm Aderndurchmesser, von dem Meßpunkt entfernt?
 - b) Welche Länge ergibt sich, wenn R_1 und R_4 eine Toleranz von $+1\%$ haben und R_3 eine Toleranz von -1% hat?
17. Die Leitung zwischen VSt und HA nach Abb. 148 besteht aus folgenden Kabelstücken:

$$\begin{aligned} 2 \times 835 / 1000 / 0,4 \quad (R' &= 260 \Omega/\text{km}), \\ 2 \times 260 / 200 / 0,4 \quad (R' &= 300 \Omega/\text{km}), \\ 2 \times 185 / 50 / 0,6 \quad (R' &= 130 \Omega/\text{km}). \end{aligned}$$



(Abb. 148)

- a) Welcher Mikrofonstrom fließt in der Sprechpause? Benutzen Sie zur Lösung das Diagramm Abb. 149.



(Abb. 149)

- b) An welcher Spannung liegt das Mikrofon dabei?
- c) Tragen Sie die Werte in ein Ersatzschaltbild ein.

17.2.2. Leitungskapazität, Leitungsinduktivität

1. Wie groß ist die Kapazität einer 18,7 km langen Bezirkskabel-doppelader mit 0,9 mm Aderndurchmesser, wenn der Leitungskennwert $C' = 34 \text{ nF/km}$ beträgt?
2. Die Kapazität einer 3,2 km langen Ortskabel-doppelader mit 0,6 mm Aderndurchmesser wird mit $97,5 \text{ nF}$ ermittelt. Welchen Wert hat der Leitungskennwert C' für dieses Kabel?
3. Eine 92 km lange Fernkabel-doppelader ist durch Unterbrechung gestört. Der Leitungskennwert C' für den betreffenden Kabeltyp beträgt 36 nF/km . An der gestörten Doppelader mißt der Kabelmeßbeamte eine Kapazität von $1,15 \mu\text{F}$. In welcher Entfernung vom Meßstandort liegt der Fehler?
4. Die Induktivität für einen Kilometer Doppelleitung beträgt bei den gebräuchlichen Kabel-doppeladern mit 0,6 bis 1,4 mm Aderndurchmesser $0,7 \text{ mH/km}$.
 - a) Wie groß ist die Gesamtinduktivität einer 11,9 km langen Bezirkskabel-doppelader mit 0,9 mm Aderndurchmesser?
 - b) Auf welchen Wert erhöht sich die Gesamtinduktivität der Doppelader, wenn im Abstand von 1,7 km Spulen mit einer Induktivität von 80 mH eingebaut werden (Anlauf- und Auslauf-feld = 850 m)?
5. Für ein Fernkabel mit 1,2 mm Aderndurchmesser sind folgende Leitungskennwerte gegeben:

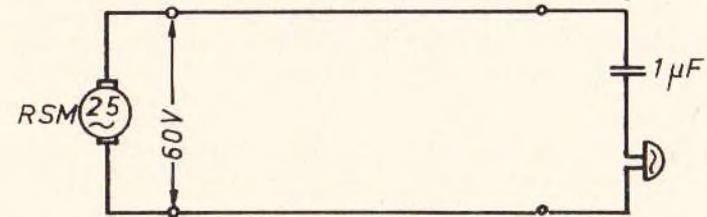
Schleifenwiderstand	$R' = 32,5 \text{ Ohm/km}$,
Leitungsinduktivität	$L' = 0,7 \text{ mH/km}$,
Leitungskapazität	$C' = 35 \text{ nF/km}$,
Ableitung	$G' = 1 \mu\text{S/km}$.

Die Kabel-doppeladern sind in Abständen von 1,7 km (Anlauf- und Auslauf-feld berücksichtigen!) mit 140 mH bespult. Der Wirkwiderstand der einzelnen Spulen beträgt 8 Ohm .

Bestimmen Sie für eine 136 km lange bespulte und unbespulte Doppelader:

- a) den gesamten Schleifenwiderstand,
- b) die Gesamtinduktivität,
- c) die Leitungskapazität und
- d) die Ableitung.

6. Welchen Strom erhält der Wechselstromwecker im FeApp nach Abb. 150?



(Abb. 150)

Eine Gleichstrommessung hat bei einer separaten Messung des Weckers bei 5 V einen Strom von 4 mA ergeben, eine Wechselstrommessung bei $5 \text{ V}/50 \text{ Hz}$ einen Strom von $1,7 \text{ V}$. Die Leitungskennwerte des Kabels zwischen VSt und HA betragen

$$R' = 260 \text{ Ohm/km und}$$

$$C' = 27,5 \text{ nF/km.}$$

Die Verbindung besteht aus $2 \times 750/1000/0,4 \text{ PMbc-Kabel}$.

17.3. Wellenwiderstand

Unter dem Wellenwiderstand einer Fernmeldeleitung versteht man den Wechselstromscheinwiderstand der Leitung bei einer Bezugshfrequenz (z. B. für das Fernsprechen 800 Hz).

Der Wellenwiderstand für ein **unbespultes Kabel** kann nach der Näherungsformel

$$Z = \sqrt{\frac{R}{\omega \cdot C}} \quad \text{Maßeinheit } \Omega$$

und für eine **Freileitung** sowie ein **bespultes Kabel** nach der Näherungsformel

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{Maßeinheit } \Omega$$

bestimmt werden.

Für R , L und C sind die Leitungskennwerte in den Grundeinheiten Ohm, Henry bzw. Farad einzusetzen. Bei bespulten Kabeln ist der auf einen km Leitung entfallende Anteil der Spuleninduktivität zu berücksichtigen.

Für die Kreisfrequenz ω_{800} kann im allgemeinen der abgerundete Wert 5000 eingesetzt werden.

Übungsbeispiel

Welcher Wellenwiderstand ergibt sich für eine Freileitung mit 3 mm Leitungsdurchmesser? Die Leitungskennwerte betragen $R' = 5,3 \Omega/\text{km}$, $L' = 2,0 \text{ mH}/\text{km}$ und $C' = 6,0 \text{ nF}/\text{km}$.

Gegeben: $R' = 5,3 \Omega/\text{km}$, $L' = 2,0 \text{ mH}/\text{km}$, $C' = 6,0 \text{ nF}/\text{km}$

Gesucht: Z

Lösung: $Z = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$

$$L' = 2,0 \text{ mH} = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ H}$$

$$C' = 6,0 \text{ nF} = 6,0 \cdot 10^{-9} \text{ F}$$

$$Z = \sqrt{\frac{2,0 \cdot 10^{-3}}{6,0 \cdot 10^{-9}}} = \sqrt{\frac{2,0 \cdot 10^6}{6,0}}$$

$$Z = \sqrt{333333} = \underline{\underline{578 \Omega}}$$

Die Freileitung besitzt einen Wellenwiderstand von 578 Ω .

17.3.1. Aufgaben

- Bestimmen Sie den Wellenwiderstand (800 Hz) für eine Ortskabel-doppelader mit 0,6 mm Aderndurchmesser.
 $R' = 130 \text{ Ohm}/\text{km}$, $L' = 0,7 \text{ mH}/\text{km}$, $C' = 31 \text{ nF}/\text{km}$.
- Wie groß ist der Wellenwiderstand (800 Hz) einer Freileitung mit 1,5 mm Leitungsdurchmesser, wenn
 $R' = 31,4 \text{ Ohm}/\text{km}$, $L' = 2,3 \text{ mH}/\text{km}$ und $C' = 5,1 \text{ nF}/\text{km}$ betragen?
- Welchen Wellenwiderstand hat eine bespulte Bezirkskabel-doppel-ader mit 0,9 mm Aderndurchmesser? Die Leitungskennwerte be-tragen:
 $R' = 51,6 \text{ Ohm}/\text{km}$, $L' = 0,7 \text{ mH}/\text{km}$ und $C' = 34 \text{ nF}/\text{km}$.
Der Spulenabstand beträgt 1,7 km bei einer Induktivität von 80 mH je Spule.
- Wie groß ist der Wellenwiderstand einer für Rundfunkübertragungs-zwecke vorgesehenen unbespulten Bezirkskabel-doppelader mit den Leitungskennwerten nach Aufg. 3?

- Die Rundfunkleitung in einem Fernkabel mit 1,4 mm Aderndurch-messer ist bei einem Spulenabstand von 1,7 km mit 3,2 mH bespult. Die Leitungskennwerte für die 1,4 mm Kabel-doppelader betragen:

$$R' = 21,3 \text{ Ohm}/\text{km}, L' = 0,7 \text{ mH}/\text{km} \text{ und } C' = 36 \text{ nF}/\text{km}.$$

Welchen Wellenwiderstand hat die Rundfunkleitung?

- Die Leitungskennwerte für einen Vierer in einem mittelschwer be-spulten Bezirkskabel mit 0,9 mm Aderndurchmesser betragen:

$$R' = 25,8 \text{ Ohm}/\text{km}, L' = 0,4 \text{ mH}/\text{km} \text{ und } C' = 54 \text{ nF}/\text{km}.$$

Der Vierer ist bei einem Spulenabstand von 1,7 km mit 40 mH be-spult. Welchen Wellenwiderstand hat der Vierer?

17.4. Leitungsdämpfung

Der Dämpfungskennwert α' läßt sich für eine **unbespulte Kabel-doppel-ader** nach der Näherungsformel

$$\alpha' = \sqrt{\frac{R' \cdot \omega C'}{2}} \quad \text{Maßeinheit } \frac{\text{Np}}{\text{km}} \quad \left(\frac{\text{Neper}}{\text{km}} \right)$$

und für eine **Freileitungs-Doppelleitung** sowie eine **bespulte Kabel-doppel-ader** nach der Näherungsformel

$$\alpha' = \frac{R'}{2} \cdot \sqrt{\frac{C'}{L'}} \quad \text{Maßeinheit } \frac{\text{Np}}{\text{km}}$$

bestimmen.

In diese Formeln sind für R , L und C die Werte für einen km Dopp-el-leitung in den Grundeinheiten Ohm, Henry und Farad einzusetzen. Bei bespulten Doppelleitungen ist der auf einen km entfallende Anteil der Spuleninduktivitäten zu berücksichtigen.

Als Bezugsfrequenz gilt für das Fernsprechen 800 Hz (ω_{800} angenähert = 5000). Die Gesamtdämpfung einer Leitung von der Länge „ l “ km ergibt sich, wenn man den Dämpfungskennwert mit der Leitungslänge multi-pliziert.

Begriff	Formel-zeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Leitungsdämpfung	α	Neper	Np
Dämpfungs-kennwert	α'	Neper je km	Np/km
Leitungslänge	l	Kilometer	km

Größengleichung

$$\alpha = \alpha' \cdot l$$

Übungsbeispiel

Wie groß ist die Dämpfungskonstante für eine Kabel-doppelader mit 0,4 mm Aderndurchmesser in einem unbespulten Ortskabel? Die Leitungskennwerte betragen: $R' = 260 \Omega/\text{km}$, $C' = 27,5 \text{ nF}/\text{km}$ und $L' = 0,77 \text{ mH}/\text{km}$.

Gegeben: $R' = 260 \Omega/\text{km}$, $C' = 27,5 \text{ nF}/\text{km}$, $L' = 0,77 \text{ mH}/\text{km}$, $f = 800 \text{ Hz}$

Gesucht: α'

$$\begin{aligned} \text{Lösung: } \alpha' &= \sqrt{\frac{R' \cdot \omega C'}{2}} \\ C' &= 27,5 \text{ nF}/\text{km} = 27,5 \cdot 10^{-9} \text{ F}/\text{km} \\ \omega_{800} &= 5000 \\ \alpha' &= \sqrt{\frac{260 \cdot 5000 \cdot 27,5 \cdot 10^{-9}}{2}} \\ \alpha' &= \sqrt{\frac{2,6 \cdot 5 \cdot 27,5 \cdot 10^{-4}}{2}} \\ \alpha' &= \sqrt{\frac{357,5 \cdot 10^{-4}}{2}} \\ \alpha' &= \sqrt{0,017875} \\ \alpha' &= 0,1336 \frac{\text{N}}{\text{km}} \approx \underline{\underline{134 \frac{\text{mNp}}{\text{km}}}} \end{aligned}$$

Der Dämpfungskennwert für eine unbespulte Ortskabel-doppelader mit 0,4 mm Durchmesser beträgt $134 \frac{\text{mNp}}{\text{km}}$.

17.4.1. Aufgaben

1. Berechnen Sie den Dämpfungskennwert einer Ortskabel-Doppelader mit 0,6 mm Aderndurchmesser (Leitungskennwerte siehe Abschn. 17.3.1., Aufg. 1).
2. Welche kilometrische Dämpfung hat eine Freileitung mit 1,5 mm Leitungsdurchmesser? (Leitungskennwerte siehe Abschn. 17.3.1., Aufg. 2).
3. Wie groß ist der Dämpfungskennwert einer unbespulten Bezirkskabel-Doppelader mit 0,9 mm Aderndurchmesser? (Leitungskennwerte siehe Abschn. 17.3.1. Aufg. 3.)
4. Auf welchen Wert sinkt die kilometrische Dämpfung der Bezirkskabel-Doppelader mit 0,9 mm Aderndurchmesser nach Aufg. 3, wenn das Kabel in 1,7-km-Abständen mit 80 mH bespult wird? (Der auf einen km entfallende Anteil der Spuleninduktivität ist dabei zu berücksichtigen!)

Einheitengleichung

$$\text{Np} = \frac{\text{Np}}{\text{km}} \cdot \text{km}$$

5. Berechnen Sie mit Hilfe des nach Aufg. 3 und 4 ermittelten Dämpfungskennwertes die Gesamtdämpfung je einer 15 km langen unbespulten und bespulten Bezirkskabel-Doppelader mit 0,9 mm Aderndurchmesser.

Wie lang darf ein bespultes Bezirkskabel mit 0,9 mm Aderndurchmesser und 80 mH Spuleninduktivität bei einem Spulenabstand von 1,7 km sein, wenn die Gesamtdämpfung höchstens 0,4 Neper betragen darf?

6. Wie groß ist die Gesamtdämpfung einer Fernmeldeverbindung über folgende Kabel-Doppeladern:

4250 m 0,6 mm Aderndurchmesser (unbespult),
1575 m 0,8 mm Aderndurchmesser (unbespult),
17340 m 0,9 mm Aderndurchmesser (bespultes Bezirkskabel),
1625 m 0,4 mm Aderndurchmesser (unbespult)?

Nach Tabellen der Deutschen Bundespost betragen die Dämpfungskennwerte für die einzelnen Leitungstypen:

0,4 mm Aderndurchmesser (unbespult)	133 mN/km,
0,6 mm Aderndurchmesser (unbespult)	100 mN/km,
0,8 mm Aderndurchmesser (unbespult)	75 mN/km,
0,9 mm Aderndurchmesser (bespult)	23 mN/km.

7. An einem 175 km langen mittelschwer bespulten Fernkabel mit 1,2 mm Aderndurchmesser wird eine Gesamtdämpfung von 2,3 Neper gemessen. Welchen Dämpfungskennwert besitzt das Kabel?
8. Eine 9,8 km lange oberirdische Fernleitung mit 2 mm Leitungsdurchmesser ($R' = 17,6 \Omega/\text{km}$, $L' = 2,2 \text{ mH}/\text{km}$, $C' = 5,4 \text{ nF}/\text{km}$) wird durch ein 10,2 km langes bespultes Bezirkskabel mit 0,9 mm Aderndurchmesser ersetzt ($R' = 51,6 \Omega/\text{km}$, $L' = 0,7 \text{ mH}/\text{km}$, $C' = 34 \text{ nF}/\text{km}$, Spulenabstand 1,7 km, Spuleninduktivität 80 mH). Um welchen Wert verändert sich die Gesamtdämpfung der Fernmeldeverbindung?
9. Eine Bezirkskabel-Doppelader mit 0,8 mm Aderndurchmesser soll nach Bespuling in Abständen von 1,7 km einen Dämpfungskennwert von höchstens 40 mN/km haben. Die Leitungskennwerte betragen: $R' = 65,7 \Omega/\text{km}$, $L' = 0,7 \text{ mH}/\text{km}$, $C' = 33 \text{ nF}/\text{km}$.
 - a) Wie groß müßte die Induktivität je Kilometer Länge sein?
 - b) Um wieviel mH müßte die Induktivität der unbespulten Doppelader je Kilometer erhöht werden?
 - c) Welche Induktivität müßten demnach die zusätzlich eingebauten Spulen unter Berücksichtigung des Spulenabstands von 1,7 km haben?

17.5. Grenzfrequenz und Frequenzgang

Die Leitungskennwerte – insbesondere die Wechselstromgrößen Induktivität L und Kapazität C – beeinflussen die Übertragung hoher Frequenzen. Die Übertragung hoher Frequenzen wird durch das zusätzliche Bespulen von Fernmeldeleitungen weiter verschlechtert.

Das Ersatzschaltbild einer Fernmeldeleitung stellt einen Tiefpaß dar. Die Resonanzfrequenz der Reihenschaltung aus Leitungsinduktivität L und Leitungskapazität C wird als Grenzfrequenz bezeichnet, da oberhalb dieser Resonanzfrequenz nichts mehr übertragen wird.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Grenzfrequenz	f_0	Hertz	Hz
Induktivität eines Spulenfeldes	L_0	Henry	H
Kapazität eines Spulenfeldes	C_0	Farad	F

Größengleichung

$$f_0 = \frac{1}{\pi \sqrt{L_0 \cdot C_0}} \quad \text{Maßeinheit Hz}$$

Übungsbeispiel

Welche Grenzfrequenz ergibt sich für eine in 1,7-km-Abständen mit 140 mH bespulte Kabeldoppelader mit 1,4 mm Aderndurchmesser? Die Leitungskennwerte betragen: $C' = 36 \text{ nF/km}$ und $L' = 0,7 \text{ mH/km}$.

Gegeben: $C' = 36 \text{ nF/km}$, $L' = 0,7 \text{ mH/km}$, Spulenabstand $s = 1,7 \text{ km}$, Spuleninduktivität $L_p = 140 \text{ mH}$

Gesucht: f_0

$$\begin{aligned} \text{Lösung: } f_0 &= \frac{1}{\pi \sqrt{L_0 \cdot C_0}} \\ L_0 &= 1,7 \cdot L' + L_p \\ L_0 &= 1,7 \cdot 0,7 + 140 = 1,19 + 140 \\ L_0 &= 141,2 \text{ mH} \approx \underline{141 \cdot 10^{-3} \text{ H}} \\ C_0 &= 1,7 \cdot C' \\ C_0 &= 1,7 \cdot 36 = 61,2 \text{ nF} \\ C_0 &= \underline{61,2 \cdot 10^{-9} \text{ F}} \end{aligned}$$

$$f_0 = \frac{1}{\pi \sqrt{141 \cdot 10^{-3} \cdot 61,2 \cdot 10^{-9}}}$$

$$f_0 = \frac{1}{\pi \sqrt{8630 \cdot 10^{-12}}}$$

$$f_0 = \frac{1}{\pi \cdot 93 \cdot 10^{-6}} = \frac{10^6}{292}$$

$$f_0 = \underline{\underline{3420 \text{ Hz}}}$$

Die Grenzfrequenz der Kabeldoppelader beträgt 3420 Hz.

17.5.1. Aufgaben

- Bestimmen Sie die Grenzfrequenz einer bespulten Bezirkskabel-Doppelader mit 0,9 mm Aderndurchmesser

$$\begin{aligned} \text{Spulenabstand} & s = 1,7 \text{ km}, \\ \text{Spuleninduktivität} & L_p = 80 \text{ mH}, \\ \text{Leitungsinduktivität} & L' = 0,7 \text{ mH/km}, \\ \text{Leitungskapazität} & C' = 34 \text{ nF/km}. \end{aligned}$$

- Wie hoch liegt die Grenzfrequenz einer Bezirkskabel-Doppelader (Aufg. 1), wenn sie nicht bespult ist? (Setzen Sie für L_0 und C_0 die Werte für 1,7 km Leitungslänge ein!)

- Welche Grenzfrequenz ergibt sich für eine Kabeldoppelader mit 1,4 mm Aderndurchmesser, die nach älterer Norm in 2-km-Spulenabständen mit 200 mH bespult ist?

$$\begin{aligned} \text{Leitungsinduktivität} & L' = 0,7 \text{ mH/km}, \\ \text{Leitungskapazität} & C' = 36 \text{ nF/km}. \end{aligned}$$

- Die sehr leicht bespulte Rundfunkübertragungsleitung 1,4 mm in einem Fernkabel hat folgende Daten:

$$\begin{aligned} \text{Spulenabstand} & s = 1,7 \text{ km}, \\ \text{Spuleninduktivität} & L_p = 3,2 \text{ mH}, \\ \text{Leitungsinduktivität} & L' = 0,7 \text{ mH/km}, \\ \text{Leitungskapazität} & C' = 36 \text{ nF/km}. \end{aligned}$$

Wie hoch liegt die Grenzfrequenz der Rundfunkübertragungsleitung?

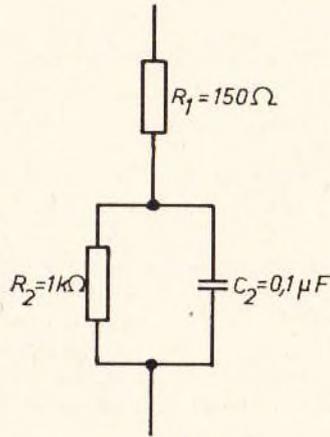
- Für das Fernsprechen ist die Übertragung eines Frequenzbandes von 300 bis 3400 Hz erforderlich. Damit die obere Frequenz von 3400 Hz noch ausreichend übertragen wird, muß die Grenzfrequenz einer Fernsprechleitung mindestens $\frac{3400}{0,7} \approx 4800 \text{ Hz}$ betragen.

Wie groß darf in einer Kabeldoppelader mit 0,9 mm Aderndurchmesser bei 1,7 km Spulenabstand die Induktivität der Pupinspulen sein, damit die Grenzfrequenz 4800 Hz beträgt?

Die Leitungskennwerte betragen:

$$R' = 51,6 \text{ Ohm/km}, L' = 0,7 \text{ mH/km} \text{ und } C' = 34 \text{ nF/km}.$$

6. Der Frequenzgang der komplexen Nachbildung des FeApp 611 (vgl. Abb. 151) ist für Frequenzen zwischen 300 Hz und 3400 Hz grafisch darzustellen. Außerdem sind die theoretisch einzusetzenden Werte des Kondensators C_2 einer wellenwiderstandsgleichen Reihenschaltung zu ermitteln.



(Abb. 151)

Maßstab: $500 \Omega = 2,5 \text{ cm}$
 $100 \text{ Hz} = 0,75 \text{ cm}$

Die Parallelschaltung muß in eine Reihenschaltung mit dem gleichen Wellenwiderstand umgerechnet werden.

Tragen Sie die Werte in die untenstehende Tabelle ein.

	f [Hz]	B [S]	Z_P [Ω]	$\cos\varphi$	φ [$^\circ$]	$\sin\varphi$	R [Ω]	R_R [Ω]	X_{CR} [Ω]	C [μF]	Z [Ω]
1	300										
2	500										
3	800										
4	1000										
5	1200										
6	1500										
7	1800										
8	2100										
9	2400										
10	2700										
11	3000										
12	3200										
13	3400										

17.6. Widerstand und Diagramm

Der Widerstand stellt das Verhältnis zwischen Spannung und Strom dar.

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

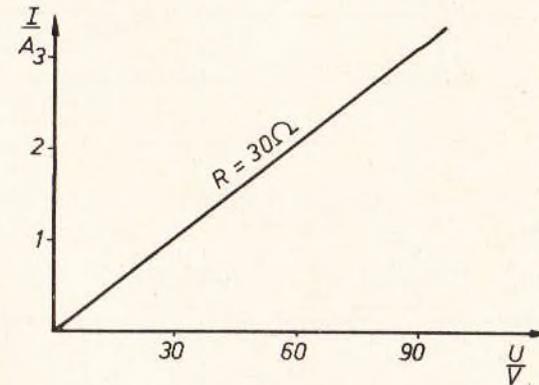
$$30 \Omega = \frac{30 \text{ V}}{1 \text{ A}}$$

Es sind 30 V erforderlich, um 1 A über diesen Widerstand zu treiben.

In der grafischen Darstellung von Verhältnissen wird auf der waagerechten Achse (Abszisse) immer die Ursache, auf der senkrechten Achse (Ordinate) die Wirkung aufgetragen. Die Darstellung des Spannungs-Strom-Verhältnisses heißt Widerstandsdiagramm. Bleibt das Verhältnis gleich, d.h., steigen Spannung und Strom im gleichen Verhältnis, so ergibt sich eine Gerade. Steigt der Widerstand, z. B. aufgrund der Erwärmung durch die Verlustleistung, so nimmt die Steigung ab. Ein großer Widerstand ergibt eine stark geneigte Gerade, große Ursache, kleine Wirkung. Wenn ein Widerstand von 30Ω mit einer Spannung von 20 V betrieben werden soll, dann liegt bei 20 V der Arbeitspunkt A auf der Widerstandsgeraden.

Übungsbeispiel

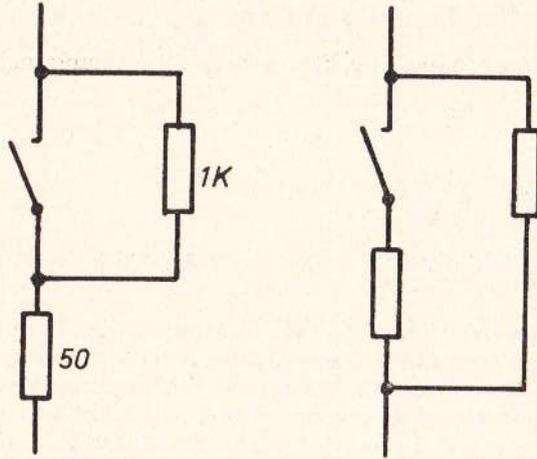
Stellen Sie den Widerstand 30Ω grafisch dar und geben Sie den Arbeitspunkt für 20 V an.



(Abb. 152)

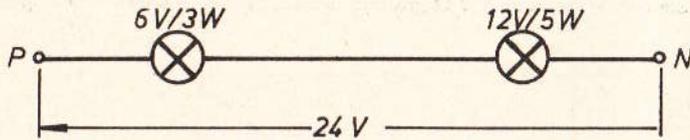
17.6.1. Aufgaben

1. Rechnen Sie die linke Schaltung des Ersatzschaltbildes eines Schalters nach Abb. 153 in eine Ersatzschaltung nach der rechten Darstellung um.



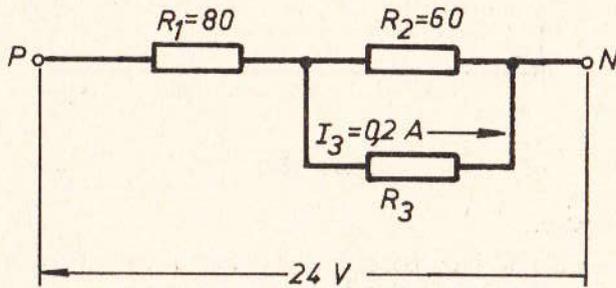
(Abb. 153)

2. Welche schaltungstechnischen Maßnahmen sind zu ergreifen, damit die Glühlampen in der nach Abb. 154 dargestellten Weise verwendet werden können?



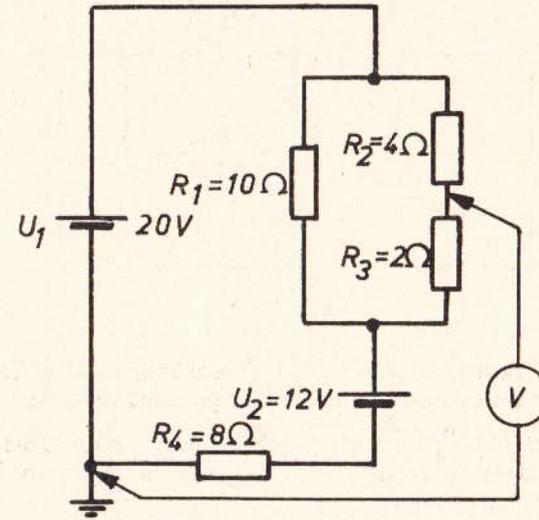
(Abb. 154)

3. Ergänzen Sie in der folgenden Schaltung nach Abb. 155 die fehlenden Werte, R_3 , U_1 , U_2 , I und I_2 .



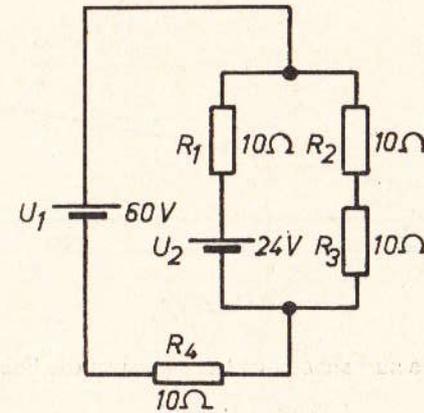
(Abb. 155)

4. Welche Spannung zeigt der Spannungsmesser in Abb. 156 (unter Vernachlässigung des Innenwiderstandes) an?



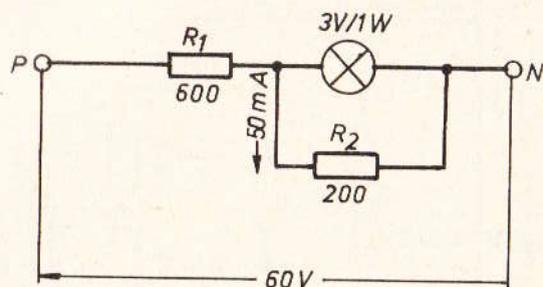
(Abb. 156)

5. In der Schaltung nach Abb. 157 werden der Gesamtstrom und die Teilströme gesucht.



(Abb. 157)

6. Ergänzen Sie die Schaltung nach Abb. 158 so mit Widerständen, daß die Glühlampe die richtige Spannung und den richtigen Strom erhält.

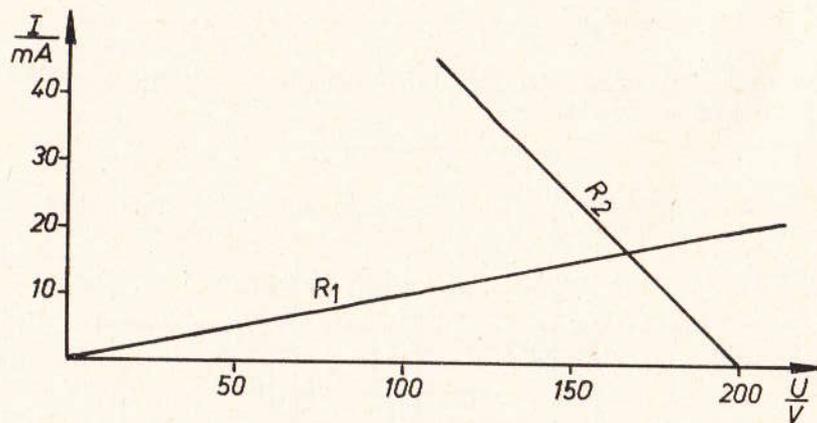


(Abb. 158)

7. Aus einem Sortiment von 100- Ω -Widerständen sollen die Werte der E-12-Serie zwischen 100 und 1000 Ω gebildet werden;

Schrittfaktor = $\sqrt[12]{10}$. Unter Berücksichtigung der Toleranz ist jeweils der Ersatzwiderstand mit der geringstmöglichen Anzahl von Widerständen zu bilden.

8. Aus dem Widerstandsdiagramm nach Abb. 159 ist die Schaltung mit allen Angaben zu entwickeln.



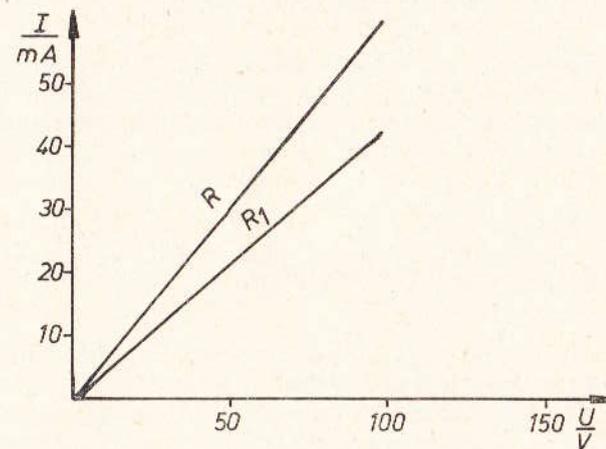
(Abb. 159)

9. Entwickeln Sie zu nachstehenden Angaben die Schaltung:

$$\frac{350 \Omega}{2800 \Omega} = \frac{15 \text{ mA}}{I_2}$$

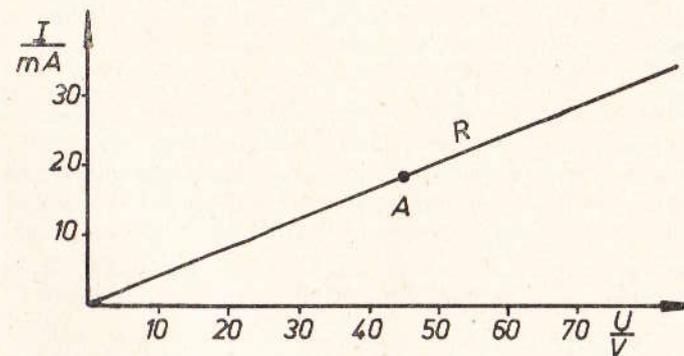
10. Im Diagramm nach Abb. 160 sind Widerstandsgeraden von R und R_1 bekannt.

- a) Um was für eine Schaltung handelt es sich?
b) Wie groß ist der Widerstand R_2 ? Kontrollieren Sie den errechneten Wert grafisch im Diagramm.



(Abb. 160)

11. Ermitteln Sie die Verlustleistung eines Widerstandes nach dem Diagramm in Abb. 161 und stellen Sie den ermittelten Wert grafisch dar.



(Abb. 161)

12. An einer Reihenschaltung von 2 Widerständen werden bei 135 V 82 mA gemessen. Die beiden Widerstände nehmen in Parallelschaltung an 80 V 34,75 mA auf. Wie groß sind sie?

13. Zwei Potentiometer, 500Ω lin, Anfangsanschlagwert 50Ω , werden in einer Parallelschaltung entgegengesetzt geregelt. Der Ersatzwiderstandsverlauf ist grafisch darzustellen.

Maßstab: $10 \Omega = 1 \text{ cm}$ (Ordinate)

Für die Abszisse ist das Verhältnis $R_1:R_2$ in Stufen von 50Ω zu bilden; die Werte sind in 1 cm Abstand aufzutragen.

14. Ein Widerstand von $5 \text{ k}\Omega/1 \text{ W}$ soll in einer Schaltung mit 200 V betrieben werden. Wie groß muß der Vorwiderstand sein? Das Ergebnis ist grafisch mit Hilfe der Leistungshyperbel zu kontrollieren.

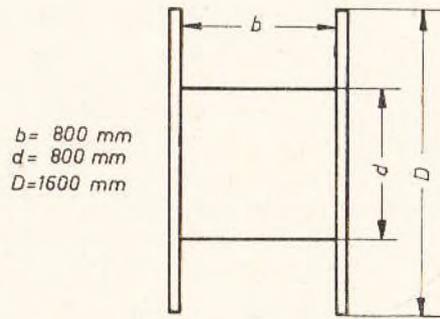
17.7. Aufgaben — Linientechnik

- Bestimmen Sie das Gewicht eines einzigen Kabelkanalformsteins! Die Maße betragen (Länge \times Breite \times Höhe) $100 \times 15 \times 15 \text{ cm}$. Der Zug hat einen Durchmesser von 10 cm .
- Welches Gewicht hat ein dreizügiger Kabelkanalformstein mit den Maßen (Länge \times Breite \times Höhe) $100 \times 38 \times 15 \text{ cm}$? Der Durchmesser der Züge beträgt je 10 cm .
- Wieviel wiegt ein Holzmast 7×16 mit den Maßen: Länge = 7 m , Fußdurchmesser = 16 cm und Zopfdurchmesser = 12 cm ?
- Bei der Imprägnierung von Holzmasten nach dem Kesseldruckverfahren soll ein Kubikmeter Holz etwa 90 Kilogramm Teeröl aufnehmen. Wie groß wird durch die Imprägnierung das spezifische Gewicht des Holzes, wenn es vor dem Imprägnieren $0,5$ beträgt?
- Welches Gewicht hat ein Holzmast 8×18 mit den Maßen: Länge = 8 m , Fußdurchmesser = 18 cm , Zopfdurchmesser = 13 cm ?
- Ein Vertragsunternehmer will mit einem Lastwagen mit $3,5 \text{ t}$ Tragkraft vierzügige Kabelkanalformsteine an eine Baustelle transportieren. Die Maße der vierzügigen Kabelformsteine betragen (Länge \times Breite \times Höhe) $100 \times 50 \times 15 \text{ cm}$. Zugdurchmesser = 10 cm . Wie viele vierzügige Kabelkanalformsteine dürfen auf den Lkw geladen werden?

- Der Mastenanhängen eines Bautrupplkw darf mit $3/4 \text{ Mp}$ beladen werden. Wie viele Holzmasten 6×15 mit den Maßen: Länge = 6 m , Fußdurchmesser = 15 cm und Zopfdurchmesser = 12 cm dürfen höchstens auf den Mastenanhängen geladen werden?
- Wie groß ist das Gewicht von 1 km Doppelleitung aus Bronzedraht mit $1,5 \text{ mm}$ Durchmesser, wenn für Durchhang usw. ein Zuschlag von 5% berücksichtigt wird?
- Wie groß ist das Kupfergewicht eines 650 Meter langen Anschlußkabels mit 100 Doppeladern mit $0,6 \text{ mm}$ Aderndurchmesser?
- Wieviel Kilopond Blei enthält der Bleimantel eines 100 paarigen Ortskabels von 1 Kilometer Länge, wenn der Bleimantel folgende Abmessungen hat: Außendurchmesser = $30,5 \text{ mm}$, Dicke des Bleimantels = $1,5 \text{ mm}$?
- Beim Abbruch einer oberirdischen Fernmeldelinie werden 650 Kilopond Bronzedraht mit $1,5 \text{ mm}$ Durchmesser gewonnen. Wieviel Meter Doppelleitung sind abgebrochen worden?
- Wieviel Meter Bronzedraht $1,5 \text{ mm}$ Durchmesser können aus einem Bronzestück mit den Maßen $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 75 \text{ cm}$ hergestellt werden?
- Auf einem Bund Schlauchleitung mit einem mittleren Durchmesser von 50 cm befinden sich noch 40 Windungen. Wieviel Meter Schlauchleitung sind das?
- Der Kerndurchmesser einer Kabeltrommel soll mindestens das 20 fache des Kabeldurchmessers betragen. Wie groß müssen die Kerndurchmesser der Kabeltrommeln für folgende PMbc-Kabel sein:

- 20paarig $0,6$, Kabel-Außendurchmesser = $22,5 \text{ mm}$,
- 50paarig $0,6$, Kabel-Außendurchmesser = $27,5 \text{ mm}$,
- 100paarig $0,8$, Kabel-Außendurchmesser = $39,5 \text{ mm}$,
- 200paarig $0,6$, Kabel-Außendurchmesser = $44,0 \text{ mm}$,
- 1000paarig $0,6$, Kabel-Außendurchmesser = $83,5 \text{ mm}$,
- 1000paarig $0,8$, Kabel-Außendurchmesser = $105,0 \text{ mm}$?

15. Eine Kabeltrommel (Nr. 16 nach DIN 46391) hat nach Skizze (Abb. 162) folgende Maße:



$b = 800 \text{ mm}$
 $d = 800 \text{ mm}$
 $D = 1600 \text{ mm}$

(Abb. 162)

- a) Darf auf diese Trommel ein Bezirkskabel $60 \times 2 \times 0,9 \text{ DM}$ aufgewickelt werden, wenn das Kabel einen Außendurchmesser von 41 mm hat?
- b) Wieviel Meter Kabel mit einem Außendurchmesser von 32 mm können aufgetrommelt werden? (Lage auf Lage!)
16. Für die Verlegung eines 600 Meter langen Kabels soll ein Kabelgraben von 30 cm Breite und 75 cm Tiefe hergestellt werden. Wieviel Kubikmeter Boden müssen ausgehoben werden?
17. Im Verlauf der 600 Meter langen Strecke (Aufg. 16) handelt es sich bei 250 m um leichten Boden, bei 300 m um mittelschweren Boden und bei 50 m um schweren Boden. Wieviel Kubikmeter Bodenaushub entfallen auf die einzelnen Bodenarten?
18. Das Aufmaß einer Kabeltrasse ergibt:

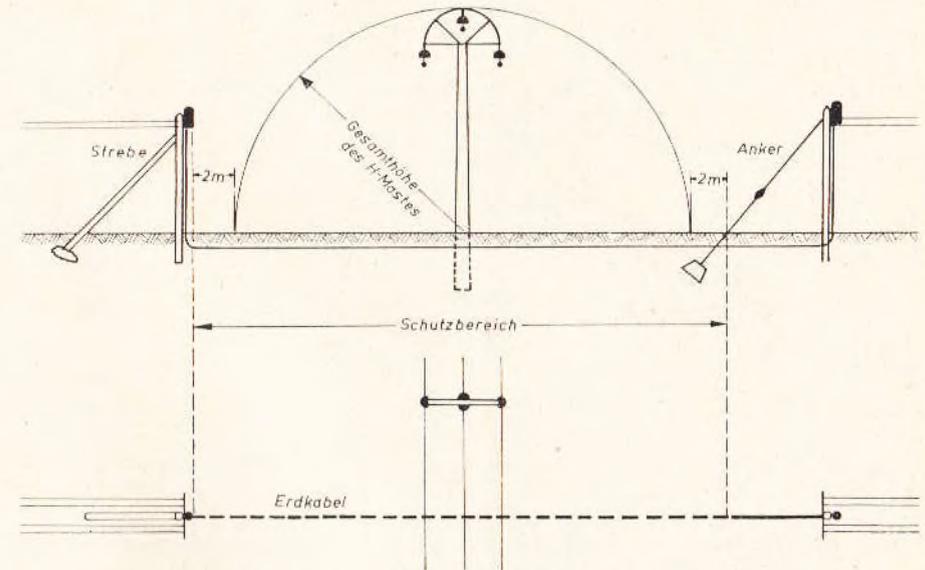
354 m Kabelgraben in leichtem Boden,
 785 m Kabelgraben in mittelschwerem Boden und
 132 m Kabelgraben in schwerem Boden.

Die Breite des Kabelgrabens beträgt 30 cm. Der mit der Ausführung der Erdarbeiten beauftragte Vertragsunternehmer erhält für einen Kubikmeter Bodenaushub

bei leichtem Boden	16,50 DM,
bei mittelschwerem Boden	18,75 DM und
bei schwerem Boden	21,25 DM.

Wie hoch sind die Kosten für die Herstellung des gesamten Kabelgrabens?

19. Für das Aufbrechen und Wiederherstellen der Pflasterdecke über einer Baugrube können zur Baugrubenbreite an jeder Seite maximal 15 cm hinzugerechnet werden. Im Verlauf einer Kabeltrasse mit 30 cm Kabelgrabenbreite sind auf einer Länge von 285 Metern Pflasterarbeiten auszuführen. Wieviel Quadratmeter Pflasterarbeiten dürfen höchstens berechnet werden?
20. Wieviel Zentimeter beträgt die geringste Höhe einer Freileitung an 7-Meter-Masten, wenn für diese Masten eine Einstelltiefe von 1,30 m gilt und die Leitungen 40 cm vom Zopfende entfernt an den Masten befestigt werden? Der Durchhang ist mit 26 cm zu berücksichtigen!
21. Eine oberirdische Fernmeldelinie kreuzt eine Hochspannungslinie. Nach den Starkstrom-Schutzbestimmungen ist (Abb. 163) für die Verkabelung ein Schutzbereich zu berücksichtigen, der die Länge von 2 mal Gesamthöhe der Hochspannungsmasten über Erde nebst einem Zuschlag von 2×2 Metern hat.
- a) Wie lang ist insgesamt der erforderliche Schutzbereich bei rechtwinkliger Kreuzung zwischen Fernmelde- und Hochspannungslinie, wenn die Höhe der Hochspannungsmasten 15 m beträgt?

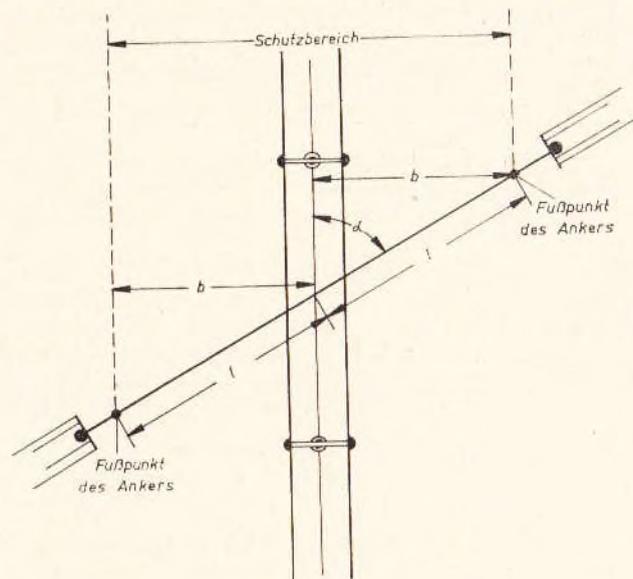


(Abb. 163)

- b) Das Kabel wird 0,75 m tief eingegraben. Der Kabelabschluß wird in 6 m Höhe am Mast angebracht. Für das Anbringen der Kabelabschlußeinrichtungen ist zur Kabellänge ein Zuschlag von $2 \times 0,5$ m zu machen. Wie lang muß das Kabel sein, wenn die Endmasten der Fernmeldelinie durch Streben abgestützt werden sollen?
- c) Wieviel Meter Kabelgraben müssen ausgehoben werden?

22. Im Gefährdungsbereich einer Hochspannungsleitung soll eine oberirdische Fernmeldelinie verkabelt werden. Die Höhe der Hochspannungsmasten beträgt 18 m, der Kreuzungswinkel $\alpha = 60^\circ$ (Abb. 164).

- a) Welche Breite hat der erforderliche Schutzbereich?
- b) Wie lang muß der Kabelgraben sein, wenn die Endmasten der Fernmeldelinie durch Anker gesichert werden sollen? Der Abstand Fußpunkt Anker bis Fußpunkt Mast beträgt 3,5 m.

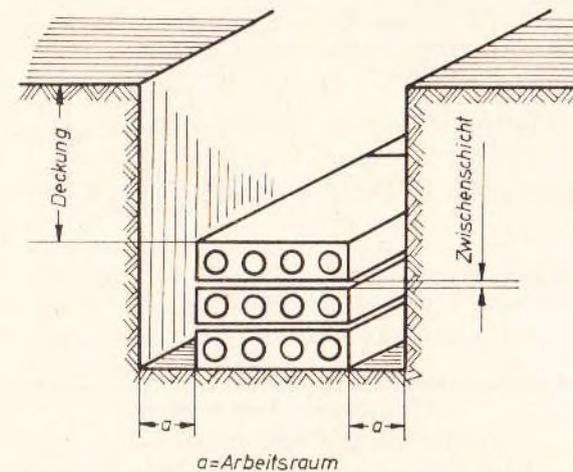


(Abb. 164)

- c) Wie lang muß das Kabel sein, wenn es 0,75 m tief eingegraben werden soll, die Abschlußeinrichtungen in 6 m Höhe an den Endmasten angebracht werden sollen und ein Zuschlag von 2 mal 0,5 m berücksichtigt werden muß?

23. Für den Bau eines 350 Meter langen Kabelkanals mit vier Zügen nebeneinander und drei Zügen übereinander soll der Kabelkanalgraben hergestellt werden. Die Außenmaße eines vierzügigen Kabelkanalformsteins betragen (Länge \times Breite \times Höhe) $100 \times 50 \times 15$ cm. Zwischen den Lagen ist eine Mörtelschicht von 1 cm Dicke und an den Seiten des Kabelkanals ein Arbeitsraum von je 20 cm vorgesehen. Die Deckung über dem Kabelkanal soll 60 cm betragen (Abb. 165).

- a) Wie viele Kabelkanalformsteine werden benötigt?
- b) Wieviel Kubikmeter Boden müssen ausgehoben werden?
- c) Wieviel Kubikmeter Boden bleiben nach Fertigstellung des Kanals übrig, müssen also abgefahren werden?
- d) Wieviel Kubikmeter Zementmörtel sind allein für die Herstellung der Zwischenschichten erforderlich?



(Abb. 165)

24. Im Zuge eines Kabelkanals sollen zwei rechteckige Fertigschächte aus Beton mit den Nennmaßen (= Innenmaße: Länge \times Breite \times Höhe) $190 \times 150 \times 165$ cm eingebaut werden. Die Wanddicken sowie die Dicke des Schachtbodens und der Schachtdecke betragen 12 cm. Für die Baugrube ist an den Seiten ein Zuschlag von 50 cm zu den Außenmaßen des Schachts zu machen. Über der Schachtdecke ist eine Deckung von 35 cm (Berücksichtigung von Ausgleichsschichten) vorgesehen. Wieviel Kubikmeter Boden müssen für die beiden Baugruben zusammen ausgehoben werden?

25. Auf einen vorhandenen Kabelkanal von 165 Meter Länge soll ein zusätzlicher Kanalzug aus einzügigen Kabelkanalformsteinen aufgebracht werden. Die Deckung über dem vorhandenen Kanal beträgt 70 cm. Als Arbeitsraum sind an den Seiten des neuen Kanalzuges je 15 cm zu berücksichtigen. Die Maße eines einzigen Kabelkanalformsteins betragen $100 \times 15 \times 15$ cm.

- Wieviel Kubikmeter Boden müssen ausgehoben werden?
- Wieviel Kubikmeter Boden bleiben nach beendeter Kanalerweiterung unter Berücksichtigung der erforderlichen Zwischenschicht von 1 cm Dicke übrig?
- Wie groß ist die Deckung über dem erweiterten Kabelkanal?

26. Für die Herstellung eines zwei Kilometer langen Kabelgrabens von 30 cm Breite und 75 cm Tiefe können eingesetzt werden:

- 12 Arbeiter mit einer Leistung von je $0,7 \text{ m}^3$ pro Stunde oder
- 1 Bagger mit einer Leistung von $5,5 \text{ m}^3$ pro Stunde oder
- 1 Grabenfräser mit einer Leistung von 40 m pro Stunde.

Die Kosten für eine Arbeits- bzw. Betriebsstunde betragen:

1 Arbeiterstunde		7,80 DM
1 Baggerstunde	(einschl. Baggerführer u. 1 Arbeiter zum Nacharbeiten der Grabensohle)	30,— DM
1 Fräserstunde	(einschl. Führer u. 1 Arbeiter zum Nacharbeiten der Grabensohle)	45,— DM.

- Wie lange dauert die Herstellung des Kabelgrabens durch die 12 Arbeiter, den Bagger bzw. den Fräser?
- Wie hoch sind die Kosten für die Herstellung des Kabelgrabens beim Einsatz der 12 Arbeiter, des Baggers bzw. des Fräasers?
- Wieviel kostet jeweils die Herstellung von einem Meter Kabelgraben?

27. Um einen Kabelgraben von 75 cm Tiefe auszuheben, benötigen 12 Arbeiter 8 Tage. Wie viele Arbeiter müssen zusätzlich an der Baustelle eingesetzt werden, wenn der Kabelgraben 10 cm tiefer werden soll und in 6 Tagen fertig sein muß?

Band C 1 — Werkstoffkunde und Werkstoffbearbeitung
Werkstoffe der Fernmeldetechnik und ihre Bearbeitung — Werkzeuge und Werkzeugmaschinen — Werkstoffprüfung — Oberflächenschutz der Metalle — Nichtmetallische Werkstoffe — Isolierstoffe — Kunststoffe

Band C 2 — Oberirdischer Linienbau
FBG und FBZ im oberirdischen Linienbau — Planung und Bau oberirdischer Anschlußlinien — Installationskabel und Luftkabel — Erdungsanlagen

Band C 3 — Unterirdischer Linienbau
Gestaltung der Fernmeldenetze — Fernmeldekabel — Aufgaben und Aufbau der Bauteile im Anschlußnetz — Schaltungen in Verzweigungseinrichtungen — Druckluftprüfeinrichtungen

Band C 4 — Fernsprechapparate und Zusatzeinrichtungen
Aufbau, Schaltung und Wirkungsweise der Fernsprechapparate und Zusatzeinrichtungen

Band C 5 — Wählvermittlungstechnik
(mit Beiheft) Grundzüge der Wählvermittlungstechnik — Bauelemente und ihre Verwendung — Gliederung und Aufbau der Ortsvermittlungen — Vorfeldeinrichtungen — Stromversorgungs- und Erdungsanlagen — Fernwählvermittlungsstellen

Band C 6 — Nebenstellenanlagen
(mit Beiheft) Zweck der Nebenstellenanlagen — Baustufen — Stromversorgung — Schaltungsaufbau der kleinen Nebenstellenanlagen und der Reihenanlagen

Band C 7 — Sprechstellenbau
Bauauftrag — Einrichtungs- und Änderungsgebühren — Teilnehmer-einrichtungen — Fernmeldebauzeug — Bauausführung

Umfang je Band rund 140 Seiten

Wichtig zur Vorbereitung auf Eignungsfeststellungen und Prüfungen

Deutschlehre
(mit Beiheft)

Rechtschreibung — Wortlehre — Satzlehre — Zeichensetzung — Stil- und Aufsatzkunde — Übungsaufgaben — Übungsdiktate — Lösungen

Umfang rund 200 Seiten

Preis 5,— DM

Rechenlehre

Rechnen — Raumlehre — Sortenverwandlung — Übungsaufgaben — Angewandte Aufgaben — Lösungsheft

Umfang rund 190 Seiten

Preis 5,— DM

— Weitere Lehrbücher siehe 2. und 4. Umschlagseite —

Handbuch der Fernmeldetechnik

— Buchreihe BFt —

15

wichtige Lehr- und Lernwerke zur Vorbereitung auf den
Grundlehrgang Ft 2, die verschiedenen Aufbaulehrgänge
BFt und den Abschlußlehrgang BFt

Band G — Grundlagen der Fernmeldetechnik (2 Teile)

Band E — Entstörungstechnik (2 Teile)

Band L — Linientechnik (2 Teile)

Band V — Vermittlungstechnik (3 Teile)

Band T — Telegrafentechnik (2 Teile)

Band U — Übertragungstechnik (2 Teile)

Band Fu — Funktechnik (2 Teile)

U m f a n g j e B a n d e t w a 1 8 0 S e i t e n

Sonderband:

Allgemeines Prüfungswissen
(für die Kräfte des BFw-, BFt- und BPt-Dienstes)
(2 Teile)

Sämtliche Lehrwerke können bestellt werden bei
Deutsche Postgewerkschaft — Hauptvorstand — Verlag

6 Frankfurt 1 — Savignystraße 43