

HANDBUCH
FÜR DEN
FERNMELDEHANDWERKER
der Deutschen Bundespost



BAND B6

(Teil 2)

DIE FACHKUNDE

Übungsbeispiele und Aufgaben aus der Fernmeldetechnik

VERLAG: DEUTSCHE POSTGEWERKSCHAFT - VERLAG GMBH
6 FRANKFURT - SAVIGNYSTRASSE 29

Handbuch für den Fernmeldehandwerker der DBP

16 wichtige Lehr- und Lernwerke für den FLehrl; auch für den Handwerker F und den Fernmeldehandwerker zur Vorbereitung auf die Grundlagenlehrgänge gut geeignet!

Bände A 1 — Allgemeine Berufskunde

und A 2 — Weg und Ziel der Ausbildung — Der Lehrvertrag — Die Fernmeldehandwerkerprüfung — Die Tätigkeitsgebiete des Fernmeldehandwerkers, sein beruflicher Werdegang und seine Aufstiegsmöglichkeiten — Der Tarifvertrag — Gesetze und Verordnungen des Fernmeldewesens — Allgemeine Vorschriften zum Schutz gegen Starkstrom und Unfallschäden

Allgemeines über den Staatsaufbau — Aufgaben und Gliederung der DBP — Die Sozialeinrichtungen bei der DBP — Allgemeines aus der Geschichte des Post- und Fernmeldewesens — Wie fertige ich meine schriftlichen Prüfungsarbeiten? — Musterausarbeitungen und Musterthemen

Band B 1 — Die Fachkunde

Mathematische und physikalische Grundkenntnisse einschließlich der Stoffgebiete aus den beiden Grundlagenlehrgängen

Band B 2 — Die Fachkunde

Fachzeichnen — Technisches Zeichnen — Stromlaufzeichnen

Band B 3 — Die Fachkunde

Die Gleichstromlehre

Band B 4 — Die Fachkunde

Die Wechselstromlehre

Band B 5 — Die Fachkunde

Elektrische Meßgeräte und Meßschaltungen

Band B 6 — Die Fachkunde (2 Teile)

Übungsbeispiele und Aufgaben aus der Fernmeldetechnik

Band C 1 — Die handwerkliche Ausbildung

Werkstoffe der Fernmeldetechnik und ihre Bearbeitung; Werkzeuge und Werkzeugmaschinen

— Weitere Lehrbücher siehe 3. und 4. Umschlagseite —

HANDBUCH FÜR DEN FERNMELDEHANDWERKER der Deutschen Bundespost



BAND B6

(Teil 2)

DIE FACHKUNDE

Übungsbeispiele und Aufgaben aus der Fernmeldetechnik

VERLAG: DEUTSCHE POSTGEWERKSCHAFT - VERLAG GMBH
6 FRANKFURT - SAVIGNYSTRASSE 29

Vorwort

Die sechzehn Bände des „Handbuchs für den Fernmeldehandwerker der DBP“ sollen

1. den Fernmeldelehrlingen während der Lehrzeit ein ständiger Begleiter sein und ihnen eine umfassende und gute Prüfungsvorbereitung ermöglichen,
2. den Handwerkern F aufzeigen, welches Fachwissen erforderlich ist, um genausoviel zu wissen wie die Lehrlinge am Ende ihrer Lehrzeit,
3. den Fernmeldehandwerkern die Möglichkeit geben, ihr Wissen aufzufrischen und es auf den neuesten Stand der Fernmeldetechnik zu bringen und
4. eine ausreichende Vorbereitung auf den Lehrstoff der dienstlichen Grundlagenlehrgänge gewährleisten.

In der Fernmeldehandwerkerprüfung sowie in den Grundlagenlehrgängen 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 sechzehn 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 Aufstieges aneignen muß.

In dem „Handbuch für den Fernmeldehandwerker der DBP“ 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 Handwerker F und
für den Fernmeldehandwerker

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

Stand: Sommer 1965

(Nachdruck, auch auszugsweise, nicht gestattet)

INHALTSVERZEICHNIS (Teil 2)

	Seite
VII. Der Wechselstromkreis	6
1. Das Ohmsche Gesetz für Wechselstrom	6
a) Der induktive Blindwiderstand	6
b) Der kapazitive Blindwiderstand	7
c) Der Scheinwiderstand	8
d) Aufgaben	9
2. Die Phasenverschiebung	10
a) Der induktive Blindwiderstand	10
b) Der kapazitive Blindwiderstand	10
c) Der Scheinwiderstand	10
d) Aufgaben	13
3. Die Spannungsaufteilung	14
a) Die induktiven Blindwiderstände	14
b) Die kapazitiven Blindwiderstände	15
c) Der induktive und der kapazitive Blindwiderstand	17
d) Der Wirkwiderstand und der induktive Blindwiderstand	18
e) Der Wirkwiderstand und der kapazitive Blindwiderstand	20
f) Der Wirkwiderstand, der induktive und der kapazitive Blindwiderstand	23
g) Aufgaben	25
4. Die Stromverzweigung	30
a) Die induktiven Blindwiderstände	30
b) Die kapazitiven Blindwiderstände	32
c) Der induktive und der kapazitive Blindwiderstand	33
d) Der Wirkwiderstand und der induktive Blindwiderstand	35
e) Der Wirkwiderstand und der kapazitive Blindwiderstand	37
f) Der Wirkwiderstand, der induktive und der kapazitive Blindwiderstand	39
g) Aufgaben	42
5. Die Resonanzfrequenz	45
a) Die Reihenresonanz	45
b) Die Parallelresonanz	47
c) Aufgaben	48
6. Die Leistung im Wechselstromkreis	49
a) Wirkleistung	50
b) Scheinleistung	51
c) Blindleistung	51
d) Phasenkompensation	52
e) Aufgaben	56

	Seite
VIII. Transformatoren, Fernmeldeübertrager	65
1. Allgemeines	65
2. Aufgaben — Starkstromtechnik	69
3. Aufgaben — Fernmeldetechnik	75
IX. Chemische Wirkung des elektrischen Stromes	78
1. Galvanisierung; elektrolytische Korrosion	78
Aufgaben	79
2. Die EMK von galvanischen Elementen	81
Aufgaben	83
X. Galvanische Elemente und Sammler	85
1. Schaltung von galvanischen Elementen und Sammlern	85
Aufgaben	87
2. Kapazität, Güteverhältnis und Wirkungsgrad	91
Aufgaben	93
3. Batterie-Ladung und -Entladung	95
a) Aufgaben — Ladung von Sammlern	98
b) Aufgaben — Batterieentladung	100
D. Anwendungsbeispiele	
I. Relais und Relaisschaltungen	101
1. Allgemeines	101
2. Aufgaben	102
II. Fernmeldeleitungen	114
1. Leitungswiderstand, Isolationswiderstand, Ableitung	114
2. Leitungskapazität, Leitungsinduktivität	117
3. Wellenwiderstand	118
Aufgaben	119
4. Leitungsdämpfung	120
Aufgaben	122
5. Grenzfrequenz	123
Aufgaben	125
III. Linientechnik	126
Anhang 1: Werkstoffeigenschaften	134
Anhang 2: Magnetisierungskurven	135
Anhang 3: Statische Elektrizität	136
Anhang 4: Tabelle der Sinus-, Cosinus und Tangenswerte	137

Hinweis für Teil 2 des Bandes B 6

*Band B 6 (Übungsbeispiele und Aufgaben aus der Fernmelde-
technik) des „Handbuchs für den Fernmeldehandwerker der
DBP“ besteht aus den Teilen 1 und 2. Beide Teile bilden ein
Ganzes. Die für die Lösung der Aufgaben benötigten mechani-
schen und elektrischen Größen sind für beide Teile in den An-
hängen dieses Bandes aufgeführt.*

Teil 1 des vorgenannten Bandes enthält folgende Abschnitte :

A. Allgemeine Rechenregeln

B. Das Fachrechnen

I. Die physikalischen Grundbegriffe

C. Grundlagen der Elektrotechnik

I. Der Gleichstromkreis

II. Der Magnetismus

III. Die Spannungserzeugung im Magnetfeld

IV. Die statische Elektrizität

V. Die Wechselstromwiderstände

VI. Die Schaltung von Wechselstromwiderständen

VII. Der Wechselstromkreis

In einem Wechselstromkreis ändern **Spannung** und **Stromstärke** fortwährend ihre **Größe** und **Richtung**. Um die Berechnung von Wechselstromkreisen zu erleichtern, werden der Wechselspannung und dem Wechselstrom eine bestimmte Richtung gegeben, wie sie tatsächlich nur in ganz kurzen Augenblicken in den Stromkreisen bestehen. Durch die Festlegung von Spannungs- und Stromrichtung in Wechselstromkreisen wird die Rechengenauigkeit nicht beeinträchtigt.

1. Das Ohmsche Gesetz für Wechselstrom

Das **Ohmsche Gesetz** für **Wechselstrom** lautet:

Die Stromstärke ist **verhältnismäßig** der **Wechselspannung** und **umgekehrt verhältnismäßig** dem **Scheinwiderstand**.

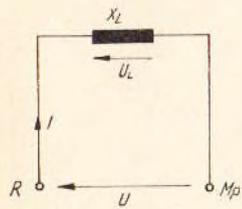
Begriffe	Formelzeichen	Einheiten
Stromstärke	I	[A]
Spannung	U	[V]
Widerstände	R, X_L, X_C, X, Z	[Ω]

a) Der induktive Blindwiderstand

Größengleichung

$$I = \frac{U}{X_L} \text{ [A]}$$

Schaltbild



(Abb. 162)

Einheitengleichung

$$\left[A = \frac{V}{\Omega} \right]$$

- I = Wechselstromstärke in A
- U = Wechselspannung in V
- X_L = induktiver Blindwiderstand in Ω
- U_L = induktive Blindspannung in V
- R = spannungsführender Pol der Spannungsquelle
- Mp = geerdeter Pol der Spannungsquelle (Mittelpunktsleiter)

Übungsbeispiel

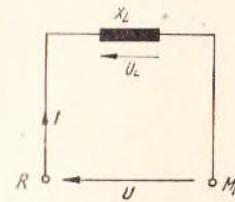
Eine Induktivität von $L = 0,125 \text{ H}$ ist an einer Wechselspannung von $U = 220 \text{ V}$ und $f = 50 \text{ Hz}$ angeschlossen (Abb. 163).

Von welcher Stromstärke wird der Stromkreis durchflossen?

Gegeben: $L = 0,125 \text{ H}, U = 220 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$

Gesucht: I

Lösung:



(Abb. 163)

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

$$X_L = \omega \cdot L$$

$$X_L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,125$$

$$X_L = \underline{39,3 \Omega}$$

$$I = \frac{220}{39,3}$$

$$I = \underline{\underline{5,6 \text{ A}}}$$

Die Stromstärke beträgt $I = 5,6 \text{ A}$.

b) Der kapazitive Blindwiderstand

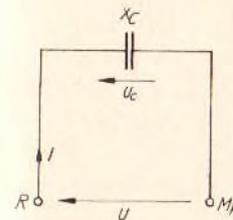
Größengleichung

$$I = \frac{U}{X_C} \text{ [A]}$$

Einheitengleichung

$$\left[A = \frac{V}{\Omega} \right]$$

Schaltbild



(Abb. 164)

- I = Wechselstromstärke in A
- U = Wechselspannung in V
- X_C = kapazitiver Blindwiderstand in Ω
- U_C = kapazitiver Blindspannung in V
- R = spannungsführender Pol der Spannungsquelle
- Mp = geerdeter Pol der Spannungsquelle (Mittelpunktsleiter)

Übungsbeispiel

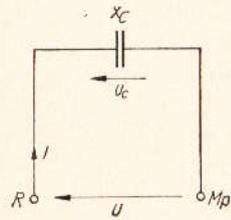
Eine Kapazität von $C = 45 \mu\text{F}$ ist an einer Wechselspannung von $f = 50 \text{ Hz}$ angeschlossen. Die in dem Stromkreis gemessene Stromstärke beträgt $I = 3,17 \text{ A}$ (Abb. 165).

Wie hoch ist die angeschaltete Wechselspannung?

Gegeben: $C = 45 \mu\text{F}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $I = 3,17 \text{ A}$

Gesucht: U

Lösung:



(Abb. 165)

$$U = I \cdot X_C$$

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

$$X_C = \frac{1000000}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 45}$$

$$X_C = 70,8 \Omega$$

$$U = 3,17 \cdot 70,8$$

$$U = \underline{\underline{220 \text{ V}}}$$

Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 220 \text{ V}$.

c) Der Scheinwiderstand

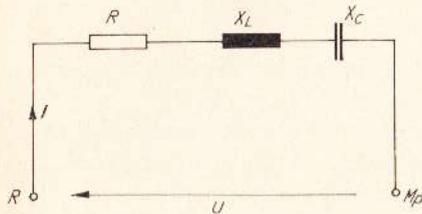
Größengleichung

$$I = \frac{U}{Z} \text{ [A]}$$

Einheitengleichung

$$\left[\text{A} = \frac{\text{V}}{\Omega} \right]$$

Schaltbild



(Abb. 166)

- I = Wechselstromstärke in A
- U = Wechselspannung in V
- Z = Scheinwiderstand in Ω
- X_L = induktiver Blindwiderstand in Ω
- X_C = kapazitiver Blindwiderstand in Ω
- R = spannungsführender Pol der Spannungsquelle
- Mp = geerdeter Pol der Spannungsquelle (Mittelpunktleiter)

Übungsbeispiel

Ein Scheinwiderstand ist in einem Wechselstromkreis von $U = 220 \text{ V}$ / $f = 50 \text{ Hz}$ geschaltet. Die gemessene Wechselstromstärke beträgt $I = 1,63 \text{ A}$ (Abb. 166).

Wie groß ist der Scheinwiderstand?

Gegeben: $U = 220 \text{ V}$, $I = 1,63 \text{ A}$

Gesucht: Z

Lösung: $Z = \frac{U}{I}$

$$Z = \frac{220}{1,63}$$

$$Z = \underline{\underline{135 \Omega}}$$

Der Scheinwiderstand beträgt $Z = 135 \Omega$.

d) Aufgaben

1. Eine Induktivität von $L = 0,128 \text{ H}$ ist an einer Wechselspannung von $U = 220 \text{ V}$ geschaltet. Die gemessene Stromstärke beträgt $I = 5 \text{ A}$.
Wie hoch ist die Frequenz der Wechselspannung?

2. Eine Induktivität von $L = 6 \text{ mH}$ ist an einer Wechselspannung von $U = 4 \text{ V}$ und der Frequenz von $f = 1000 \text{ Hz}$ geschaltet.
Welche Stromstärke fließt in der Induktivität?

3. 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?

4. 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?

5. Ein Kondensator von $C = 40 \mu\text{F}$ ist an einer Wechselspannung von $U = 220 \text{ V}$ und $f = 50 \text{ Hz}$ angeschaltet.
Von welcher Stromstärke wird der Wechselstromkreis durchflossen?

6. Eine Kapazität von $C = 23 \mu\text{F}$ ist an einer Wechselspannung von $U = 110 \text{ V}$ geschaltet. Die gemessene Stromstärke beträgt $I = 0,6 \text{ A}$.
Wie hoch ist die Frequenz der Wechselspannung?

7. Eine Kapazität ist in einem 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?

8. Ein Kondensator von $C = 300 \text{ nF}$ ist an einer Wechselspannung von $f = 1500 \text{ Hz}$ geschaltet. Die Stromstärke beträgt $I = 14 \text{ mA}$.
Wie hoch ist die angeschaltete Wechselspannung?
9. In einem Wechselstromkreis betragen die Wechselspannung $U = 220 \text{ V}$ und der Wechselstrom $I = 0,9 \text{ A}$.
Wie groß ist der Scheinwiderstand des Wechselstromkreises?
10. Ein Scheinwiderstand von $Z = 180 \Omega$ ist in einem Wechselstromkreis geschaltet. Die Wechselspannung beträgt $U = 110 \text{ V}$.
Von welcher Stromstärke wird der Wechselstromkreis durchflossen?

2. Die Phasenverschiebung

Die Phasenverschiebung gibt die **Nacheilung** bzw. die **Voreilung** des **Wechselstromes** zur **Wechselspannung** an.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Phasenwinkel	φ	[°]

a) Der induktive Blindwiderstand

Beim **induktiven Blindwiderstand** eilt der Wechselstrom der Wechselspannung um 90° **nach**.

b) Der kapazitive Blindwiderstand

Beim **kapazitiven Blindwiderstand** eilt der Wechselstrom der Wechselspannung um 90° **voraus**.

c) Der Scheinwiderstand

Beim Scheinwiderstand wird die Phasenverschiebung durch die **Widerstandsverhältnisse** des **Scheinwiderstandes** bestimmt.

Die Reihenschaltung

Größengleichungen

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

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

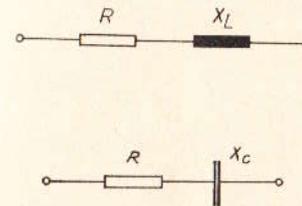
Einheitengleichungen

$$\left[- = \frac{\Omega}{\Omega} \right]$$

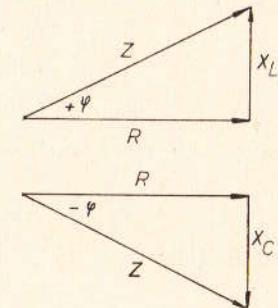
$$\left[- = \frac{\text{V}}{\text{V}} \right]$$

- φ = Phi = Phasenwinkel in °
- R = Wirkwiderstand in Ω
- Z = Scheinwiderstand in Ω
- U_w = Wirkspannung in V
- U = Scheinspannung in V

Schaltbilder



Zeigerdiagramme



(Abb. 167)

Phasenwinkel, die über der Waagerechten liegen, bekommen ein positives Vorzeichen; Phasenwinkel, die unter der Waagerechten liegen, bekommen ein negatives Vorzeichen.

Übungsbeispiel

Von einer Reihenschaltung eines Wirkwiderstandes und einer Induktivität betragen $R = 40 \Omega$ und der Scheinwiderstand $Z = 76 \Omega$ (Abb. 168).

Wie groß ist der Phasenwinkel φ ?

Gegeben: $R = 40 \Omega, Z = 76 \Omega$

Gesucht: φ

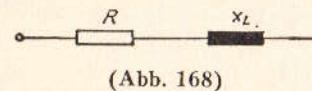
Lösung:

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

$$\cos \varphi = \frac{40}{76}$$

$$\cos \varphi = 0,526$$

$$\varphi = \underline{\underline{58^\circ}}$$



(Abb. 168)

Der Phasenwinkel der Reihenschaltung beträgt $\varphi = 58^\circ$.

Die Parallelschaltung

Größengleichungen

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

$$\cos \varphi = \frac{I_w}{I}$$

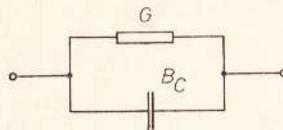
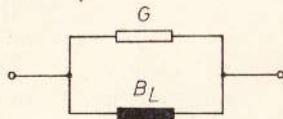
Einheitengleichungen

$$\left[- = \frac{S}{S} = \frac{\Omega}{\Omega} \right]$$

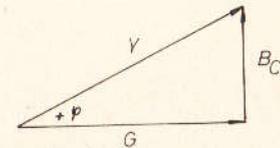
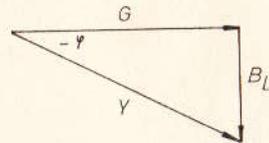
$$\left[- = \frac{A}{A} \right]$$

- φ = Phasenwinkel in $^\circ$
- G = Wirkleitwert in S
- Y = Scheinleitwert in S
- Z = Scheinwiderstand in Ω
- R = Wirkwiderstand in Ω
- I_w = Wirkstrom in A
- I = Scheinstrom in A

Schaltbilder



Zeigerdiagramme



(Abb. 169)

Phasenwinkel, die über der Waagerechten liegen, bekommen ein positives Vorzeichen; Phasenwinkel, die unter der Waagerechten liegen, bekommen ein negatives Vorzeichen.

Übungsbeispiel

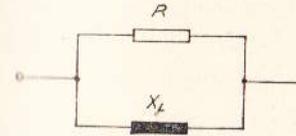
Von einer Parallelschaltung eines Wirkwiderstandes und einer Induktivität betragen $R = 40 \Omega$ und der Scheinwiderstand $Z = 24 \Omega$ (Abb. 170).

Wie groß ist der Phasenwinkel φ ?

Gegeben: $R = 40 \Omega, Z = 24 \Omega$

Gesucht: φ

Lösung:



(Abb. 170)

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

$$\cos \varphi = \frac{24}{40}$$

$$\cos \varphi = 0,6$$

$$\varphi = \underline{\underline{-53^\circ}}$$

Der Phasenwinkel beträgt $\varphi = -53^\circ$.

d) Aufgaben

1. Ein Wirkwiderstand von $R = 65 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 170 \text{ mH}$ hintereinandergeschaltet. Die Frequenz der angeschalteten Wechselspannung ist $f = 50 \text{ Hz}$. Wie groß ist der Phasenwinkel φ ?
2. Ein Wirkwiderstand von $R = 125 \Omega$ ist mit einer Kapazität von $C = 500 \text{ nF}$ bei einer Frequenz von $f = 100 \text{ Hz}$ hintereinandergeschaltet. Wie groß ist der Phasenwinkel φ ?
3. Ein Wirkwiderstand von $R = 35 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 45 \text{ mH}$ und einer Kapazität von $C = 70 \text{ nF}$ bei einer Frequenz von $f = 1000 \text{ Hz}$ hintereinandergeschaltet. Wie groß ist der Phasenwinkel φ ?
4. Ein Wirkwiderstand von $R = 3000 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 2,3 \text{ H}$ und einer Kapazität von $C = 400 \text{ pF}$ bei einer Frequenz von $f = 800 \text{ Hz}$ parallelgeschaltet. Wie groß ist der Phasenwinkel φ ?
5. Ein Wirkwiderstand von $R = 88 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 0,49 \text{ H}$ bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$ parallelgeschaltet. Wie groß ist der Phasenwinkel φ ?
6. Von einer Reihenschaltung beträgt der Scheinwiderstand $Z = 95 \Omega$ bei der Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$. Die mit dem Wirkwiderstand in Reihe geschaltete Induktivität ist $L = 200 \text{ mH}$. Wie groß ist der Phasenwinkel φ ?

7. Von einer Reihenschaltung beträgt der Scheinwiderstand $Z = 165 \Omega$ und der Phasenwinkel $\varphi = 23^\circ$.

Wie groß sind von der Reihenschaltung Wirkwiderstand und Blindwiderstand?

8. Von einer Reihenschaltung betragen der Scheinwiderstand $Z = 100 \Omega$ bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$ und der Phasenwinkel $\varphi = -61^\circ$.

- a) Wie groß ist der Wirkwiderstand?
- b) Wie groß ist der kapazitive Blindwiderstand?
- c) Wie groß ist die Kapazität?

9. Von einer Parallelschaltung betragen der Scheinwiderstand $Z = 33 \Omega$ und der Phasenwinkel $\varphi = -35^\circ$.

Wie groß ist der Wirkwiderstand der Parallelschaltung?

10. Von einer Parallelschaltung betragen der Scheinwiderstand $Z = 80 \Omega$ bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$ und der Phasenwinkel $\varphi = 45^\circ$.

- a) Wie groß ist der Wirkwiderstand?
- b) Wie groß ist der kapazitive Blindwiderstand?
- c) Wie groß ist die Kapazität?

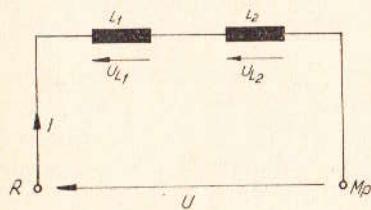
3. Die Spannungsaufteilung

a) Die induktiven Blindwiderstände

Größengleichung

$$U = U_{L1} + U_{L2} \quad [V]$$

Schaltbild



(Abb. 171)

Einheitengleichung

$$[V = V + V]$$

U = Gesamtspannung in V

U_{L1} = induktive Teilblindspannung in V

U_{L2} = induktive Teilblindspannung in V

Übungsbeispiel

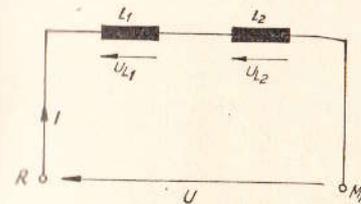
Zwei Induktivitäten von $L_1 = 0,125 \text{ H}$ und $L_2 = 0,3 \text{ H}$ sind an einer Wechselspannung von $U = 220 \text{ V}$ und $f = 50 \text{ Hz}$ hintereinandergeschaltet (Abb. 172).

Wie groß sind die Teilspannungen U_{L1} und U_{L2} ?

Gegeben: $L_1 = 0,125 \text{ H}, L_2 = 0,3 \text{ H}$
 $U = 220 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$

Gesucht: U_{L1}, U_{L2}

Lösung:



(Abb. 172)

$$X_{L1} = \omega \cdot L_1$$

$$X_{L1} = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,125$$

$$X_{L1} = 39,3 \Omega$$

$$X_{L2} = \omega \cdot L_2$$

$$X_{L2} = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,3$$

$$X_{L2} = 94,3 \Omega$$

$$X_L = X_{L1} + X_{L2}$$

$$X_L = 39,3 + 94,3$$

$$X_L = 133,6 \Omega$$

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

$$U_{L1} = 1,65 \cdot 39,3$$

$$U_{L1} = 64,5 \text{ V}$$

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

$$I = \frac{220}{133,6}$$

$$I = 1,65 \text{ A}$$

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

$$U_{L2} = 1,65 \cdot 94,3$$

$$U_{L2} = 155,5 \text{ V}$$

Rechenprobe:

$$U = U_{L1} + U_{L2} \quad U = 64,5 + 155,5 = 220 \text{ V}$$

Die Teilspannungen betragen $U_{L1} = 64,5 \text{ V}$ und $U_{L2} = 155,5 \text{ V}$.

b) Die kapazitiven Blindwiderstände

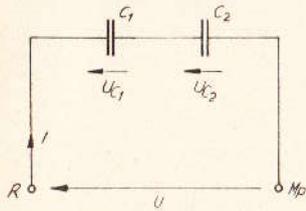
Größengleichung

$$U = U_{C1} + U_{C2} \quad [V]$$

Einheitengleichung

$$[V = V + V]$$

Schaltbild



(Abb. 173)

U = Gesamtspannung in V

U_{C1} = kapazitive Teilblindspannung in V

U_{C2} = kapazitive Teilblindspannung in V

Übungsbeispiel

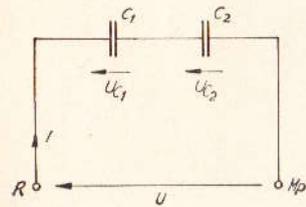
Zwei Kondensatoren von $C_1 = 40 \mu\text{F}$ und $C_2 = 80 \mu\text{F}$ sind an einer Wechselspannung von $U = 220 \text{ V}$ und $f = 50 \text{ Hz}$ hintereinandergeschaltet (Abb. 174).

Wie groß sind die Teilspannungen U_{C1} und U_{C2} ?

Gegeben: $C_1 = 40 \mu\text{F}$, $C_2 = 80 \mu\text{F}$, $U = 220 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$

Gesucht: U_{C1} , U_{C2}

Lösung:



(Abb. 174)

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

$$X_C = 79,3 + 39,7$$

$$X_C = \underline{119 \Omega}$$

$$U_{C1} = I \cdot X_{C1}$$

$$U_{C1} = 1,85 \cdot 79,3$$

$$U_{C1} = \underline{146,7 \text{ V}}$$

$$X_{C1} = \frac{1}{\omega C}$$

$$X_{C1} = \frac{1000000}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 40}$$

$$X_{C1} = \underline{79,3 \Omega}$$

$$X_{C2} = \frac{1}{\omega C}$$

$$X_{C2} = \frac{1000000}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 80}$$

$$X_{C2} = \underline{39,7 \Omega}$$

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

$$I = \frac{220}{119}$$

$$I = \underline{1,85 \text{ A}}$$

$$U_{C2} = I \cdot X_{C2}$$

$$U_{C2} = 1,85 \cdot 39,7$$

$$U_{C2} = \underline{73,3 \text{ V}}$$

Rechenprobe:

$$U = U_{C1} + U_{C2} \quad U = 146,7 + 73,3 = 220 \text{ V}$$

Die Teilspannungen betragen $U_{C1} = 146,7 \text{ V}$ und $U_{C2} = 73,3 \text{ V}$.

e) Der induktive und der kapazitive Blindwiderstand

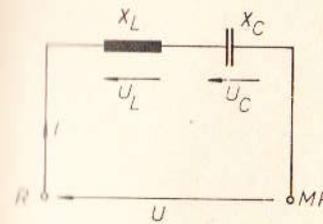
Größengleichung

$$U = U_L - U_C \quad [\text{V}]$$

Einheitengleichung

$$[\text{V} = \text{V} - \text{V}]$$

Schaltbild



(Abb. 175)

U = Gesamtspannung in V

U_L = induktive Blindspannung in V

U_C = kapazitive Blindspannung in V

Übungsbeispiel

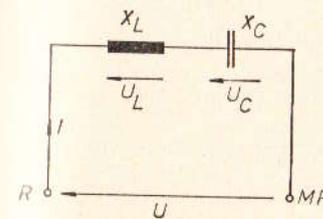
Eine Induktivität von $L = 0,125 \text{ H}$ ist mit einer Kapazität von $C = 45 \mu\text{F}$ bei einer Wechselspannung von $U = 220 \text{ V}$ und $f = 50 \text{ Hz}$ hintereinandergeschaltet (Abb. 176).

Wie groß sind die Teilspannungen U_C und U_L ?

Gegeben: $L = 0,125 \text{ H}$, $C = 45 \mu\text{F}$, $U = 220 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$

Gesucht: U_L , U_C

Lösung:



(Abb. 176)

$$X_L = \omega \cdot L$$

$$X_L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,125$$

$$X_L = \underline{39,3 \Omega}$$

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

$$X_C = \frac{1000000}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 45}$$

$$X_C = \underline{70,6 \Omega}$$

$$X = X_L - X_C$$

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

$$X = 39,3 - 70,6$$

$$I = \frac{220}{31,3}$$

$$X = -31,3 \Omega \text{ (kapazitiv)}$$

$$I = 7,03 \text{ A (voreilend)}$$

$$U_L = I \cdot X_L$$

$$U_C = I \cdot X_C$$

$$U_L = 7,03 \cdot 39,3$$

$$U_C = 7,03 \cdot 70,6$$

$$U_L = \underline{\underline{276 \text{ V}}}$$

$$U_C = \underline{\underline{496 \text{ V}}}$$

Rechenprobe:

$$U = U_L - U_C \quad U = 276 - 496 = -220 \text{ V (kapazitiv)}$$

Die Teilspannungen betragen $U_L = 276 \text{ V}$ und $U_C = 496 \text{ V}$.

Beachte: Die Teilblindspannungen sind größer als die angeschaltete Wechselspannung!

d) Der Wirkwiderstand und der induktive Blindwiderstand

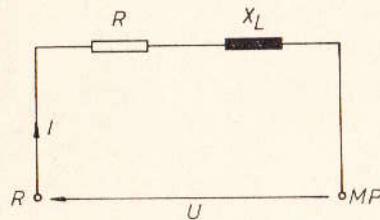
Größengleichung

$$U = \sqrt{U_w^2 + U_L^2} \quad [\text{V}]$$

Einheitengleichung

$$[\text{V} = \sqrt{\text{V}^2 + \text{V}^2} = \sqrt{\text{V}^2}]$$

Schaltbild



(Abb. 177)

U = Scheinspannung in V
 U_w = Wirkspannung in V
 U_L = induktive Blindspannung in V

Übungsbeispiel

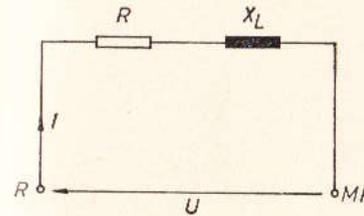
Eine Spule hat einen Wirkwiderstand von $R = 50 \Omega$ und eine Induktivität von $L = 0,25 \text{ H}$. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 220 \text{ V}$ bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$ (Abb. 178).

Wie groß sind Wirkspannung und induktive Blindspannung?

Gegeben: $R = 50 \Omega, L = 0,25 \text{ H}, U = 220 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$

Gesucht: U_w, U_L

Lösung:



(Abb. 178)

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

$$X_L = \omega \cdot L$$

$$X_L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,25$$

$$X_L = \underline{\underline{78,5 \Omega}}$$

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

$$Z = \sqrt{50^2 + 78,5^2}$$

$$I = \frac{220}{93,1}$$

$$Z = \sqrt{8662}$$

$$I = \underline{\underline{2,36 \text{ A}}}$$

$$Z = \underline{\underline{93,1 \Omega}}$$

$$U_w = I \cdot R$$

$$U_L = I \cdot X_L$$

$$U_w = 2,36 \cdot 50$$

$$U_L = 2,36 \cdot 78,5$$

$$U_w = \underline{\underline{118 \text{ V}}}$$

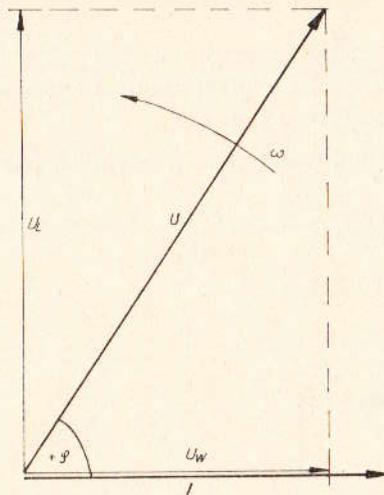
$$U_L = \underline{\underline{185 \text{ V}}}$$

Probe mit Hilfe des Zeigerdiagramms (Abb. 179):

Maßstab: $I \ 0,5 \text{ A} \triangleq 1 \text{ cm}; I = 2,36 \text{ A} \triangleq 4,7 \text{ cm}$

$U \ 30 \text{ V} \triangleq 1 \text{ cm}; U_w = 118 \text{ V} \triangleq 4,0 \text{ cm}$

$U_L = 185 \text{ V} \triangleq 6,2 \text{ cm}$



(Abb. 179)

$U = 7,33 \text{ cm} \hat{=} 220 \text{ V}$

Die Stromstärke ist die für Wirkwiderstand und induktiven Blindwiderstand gemeinsame Größe. Die Stromstärke wird daher als waagrecht liegender Zeiger dargestellt. Wirkspannung und Stromstärke sind phasengleich; sie werden daher gleichgerichtet aufgetragen. Die induktive Blindspannung eilt der Stromstärke um 90° vor. Da die Drehrichtung des Zeigerdiagramms der Uhrzeigerrichtung entgegengerichtet ist, so wird die induktive Blindspannung nach oben aufgetragen. Die Diagonale des aus Wirkspannung und induktiver Blindspannung gebildeten rechtwinkligen Dreiecks ergibt die Größe der Scheinspannung.

Die Teilspannungen betragen $U_w = 118 \text{ V}$ und $U_L = 185 \text{ V}$.

Die Phasenverschiebung zwischen Stromstärke und Scheinspannung beträgt:

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

$$\cos \varphi = \frac{118}{220}$$

$$\cos \varphi = 0,54$$

$$\varphi = \underline{57^\circ}$$

Prüfe die Größe des errechneten Phasenwinkels φ mit Hilfe eines Winkelmessers nach!

e) Der Wirkwiderstand und der kapazitive Blindwiderstand

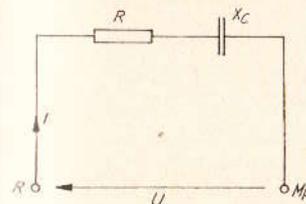
Größengleichung

$$U = \sqrt{U_w^2 + U_c^2} \quad [\text{V}]$$

Einheitengleichung

$$[\text{V}] = \sqrt{\text{V}^2 + \text{V}^2} = \sqrt{\text{V}^2}$$

Schaltbild



(Abb. 180)

- U = Scheinspannung in V
- U_w = Wirkspannung in V
- U_c = kapazitive Blindspannung in V

Übungsbeispiel

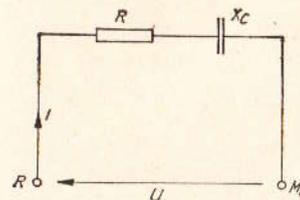
Ein Wirkwiderstand von $R = 50 \Omega$ ist mit einem Kondensator von $C = 45 \mu\text{F}$ hintereinandergeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 220 \text{ V}$ und $f = 50 \text{ Hz}$ (Abb. 181).

Wie groß sind die Teilspannungen U_w und U_c ?

Gegeben: $R = 50 \Omega, C = 45 \mu\text{F}, U = 220 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$

Gesucht: U_w, U_c

Lösung:



(Abb. 181)

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

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

$$X_c = \frac{1000000}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 45}$$

$$X_c = \underline{70,6 \Omega}$$

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

$$I = \frac{220}{86,5}$$

$$I = \underline{2,54 \text{ A}}$$

$$U_w = I \cdot R$$

$$U_w = 2,54 \cdot 50$$

$$U_w = \underline{127 \text{ V}}$$

$$Z = \sqrt{50^2 + 70,6^2}$$

$$Z = \sqrt{7484}$$

$$Z = \underline{86,5 \Omega}$$

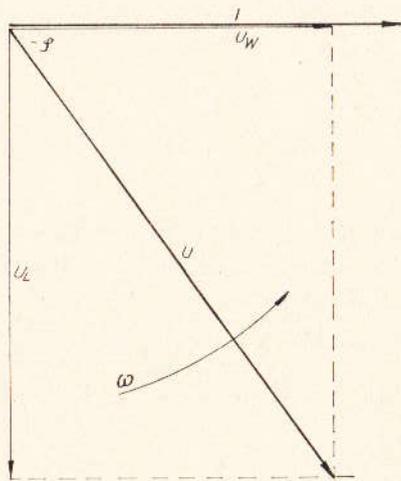
$$U_c = I \cdot X_c$$

$$U_c = 2,54 \cdot 70,6$$

$$U_c = \underline{179 \text{ V}}$$

Probe mit Hilfe des Zeigerdiagramms (Abb. 182):

Maßstab: $I \ 0,5 \text{ A} \cong 1 \text{ cm}$; $I = 2,54 \text{ A} \cong 5,1 \text{ cm}$
 $U \ 20 \text{ V} \cong 1 \text{ cm}$; $U_w = 127 \text{ V} \cong 4,2 \text{ cm}$
 $U_c = 179 \text{ V} \cong 6,0 \text{ cm}$



(Abb. 182)

$U = 7,33 \text{ cm} \cong 220 \text{ V}$

Die Stromstärke wird als waagrecht liegender Zeiger dargestellt. Wirkspannung und Stromstärke sind phasengleich; sie werden daher gleichgerichtet gezeichnet. Die kapazitive Blindspannung eilt der Stromstärke um 90° nach. Da die Drehrichtung des Zeigerdiagramms der Uhrzeigerichtung entgegengerichtet ist, so wird die kapazitive Blindspannung nach unten aufgetragen. Die Diagonale des aus Wirkspannung und kapazitiver Blindspannung gebildeten rechtwinkligen Dreiecks ergibt die Größe der Scheinspannung.

Die Teilspannungen betragen $U_w = 127 \text{ V}$ und $U_c = 179 \text{ V}$.

Die Phasenverschiebung zwischen Stromstärke und Scheinspannung beträgt:

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

$$\cos \varphi = \frac{127}{220}$$

$$\cos \varphi = 0,577$$

$$\varphi = -54^\circ$$

Prüfe die Größe des errechneten Phasenwinkels φ mit Hilfe eines Winkelmessers nach!

f) Der Wirkwiderstand, der induktive und der kapazitive Blindwiderstand

Größengleichungen

$$U = \sqrt{U_w^2 + U_b^2} \quad [\text{V}]$$

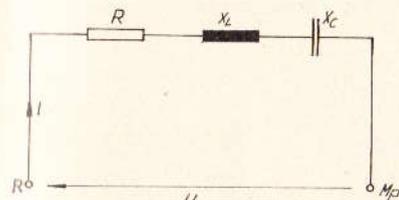
$$U_b = U_L - U_C \quad [\text{V}]$$

Einheitengleichungen

$$\left[\text{V} = \sqrt{\text{V}^2 + \text{V}^2} = \sqrt{\text{V}^2} \right]$$

$$[\text{V} = \text{V} - \text{V}]$$

Schaltbild



(Abb. 183)

- U = Scheinspannung in V
- U_w = Wirkspannung in V
- U_b = Blindspannung in V
- U_L = induktive Blindspannung in V
- U_C = kapazitive Blindspannung in V

Übungsbeispiel

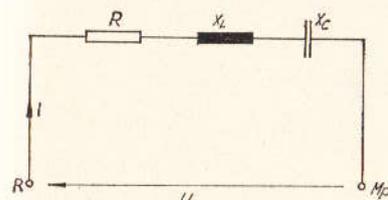
Ein Wirkwiderstand von $R = 50 \ \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 0,25 \text{ H}$ und einer Kapazität von $C = 80 \ \mu\text{F}$ hintereinandergeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 220 \text{ V}$ bei $f = 50 \text{ Hz}$ (Abb. 194).

Wie groß sind Wirkspannung, induktive Blindspannung und kapazitive Blindspannung?

Gegeben: $R = 50 \ \Omega, L = 0,25 \text{ H}, C = 80 \ \mu\text{F}, U = 220 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$

Gesucht: U_w, U_L, U_C

Lösung:



(Abb. 184)

$$X_L = \omega \cdot L$$

$$X_L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,25$$

$$X_L = 78,5 \ \Omega$$

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

$$X_C = \frac{1000000}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 80}$$

$$X_C = 39,8 \ \Omega$$

$$X = X_L - X_C$$

$$X = 78,5 - 39,8$$

$$X = 38,7 \ \Omega$$

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

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

$$Z = \sqrt{50^2 + 38,7^2}$$

$$I = \frac{220}{63,2}$$

$$Z = \sqrt{3990}$$

$$I = \underline{3,5 \text{ A}}$$

$$Z = \underline{63,2 \Omega}$$

$$U_w = I \cdot R$$

$$U_L = I \cdot X_L$$

$$U_C = I \cdot X_C$$

$$U_w = 3,5 \cdot 50$$

$$U_L = 3,5 \cdot 78,5$$

$$U_C = 3,5 \cdot 39,8$$

$$U_w = \underline{175 \text{ V}}$$

$$U_L = \underline{275 \text{ V}}$$

$$U_C = \underline{139 \text{ V}}$$

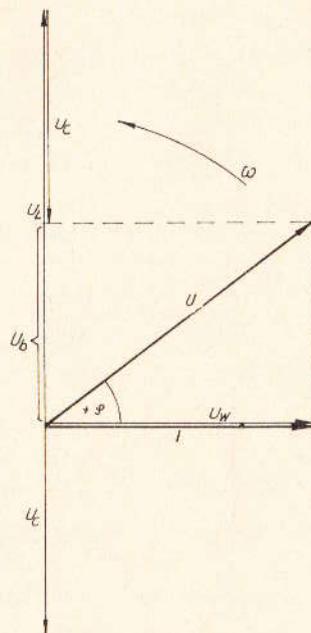
Probe mit Hilfe des Zeigerdiagramms (Abb. 185):

Maßstab: $I \ 1 \text{ A} \hat{=} 1 \text{ cm}$; $I \ 3,5 \text{ A} \hat{=} 3,5 \text{ cm}$

$U \ 50 \text{ V} \hat{=} 1 \text{ cm}$; $U_w \ 175 \text{ V} \hat{=} 3,5 \text{ cm}$

$U_L \ 275 \text{ V} \hat{=} 5,5 \text{ cm}$

$U_C \ 139 \text{ V} \hat{=} 2,8 \text{ cm}$



(Abb. 185)

$$U = 4,4 \text{ cm} \hat{=} 220 \text{ V}$$

Die Stromstärke wird als waagrecht liegender Zeiger dargestellt. Wirkspannung und Stromstärke werden gleichgerichtet gezeichnet. Die kapazitive Blindspannung wird nach unten und die induktive Blindspannung nach oben aufgetragen. Da die induktive Blindspannung größer ist als die kapazitive Blindspannung, so wird von der Zeigerspitze der induktiven Blindspannung aus die Größe der kapazitiven Blindspannung nach unten abgetragen. Die Diagonale des aus Wirkspannung und Blindspannung U_b gebildeten rechtwinkligen Dreiecks ergibt die Größe der Scheinspannung.

Die Teilspannungen betragen $U_w = 175 \text{ V}$, $U_L = 275 \text{ V}$ und $U_C = 139 \text{ V}$.

Die Phasenverschiebung zwischen Stromstärke und Scheinspannung beträgt:

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

$$\cos \varphi = \frac{175}{220}$$

$$\cos \varphi = 0,795$$

$$\varphi = + \underline{37^\circ}$$

Prüfe die Größe des errechneten Phasenwinkels φ mit Hilfe eines Winkelmessers nach!

g) Aufgaben

1. Zwei Induktivitäten von $L_1 = 84 \text{ mH}$ und $L_2 = 36 \text{ mH}$ sind an einer Wechselspannung von $U = 220 \text{ V}$ und $f = 50 \text{ Hz}$ hintereinandergeschaltet.

Wie groß sind die Teilspannungen U_{L1} und U_{L2} ?

2. 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 $I = 84 \text{ mA}$.

a) Wie groß ist die Einzelinduktivität L_3 ?

b) Wie groß sind die Teilspannungen U_{L1} , U_{L2} und U_{L3} ?

3. Zwei Induktivitäten von $L_1 = 12,2 \text{ mH}$ und $L_2 = 22 \text{ mH}$ sind in Reihenschaltung an einer 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} ?

4. 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_{C_1} und U_{C_2} ?

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

- a) Wie hoch ist die Frequenz der Wechselspannung?
b) Wie groß sind die Teilspannungen U_{C_1} , U_{C_2} und U_{C_3} ?

6. Vier Kondensatoren von $C_1 = 4 \text{ } \mu\text{F}$, $C_2 = 6 \text{ } \mu\text{F}$, $C_3 = 12 \text{ } \mu\text{F}$ und $C_4 = 8 \text{ } \mu\text{F}$ 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_{C_1} , U_{C_2} , U_{C_3} und U_{C_4} ?

7. Eine Induktivität von $L = 0,4 \text{ H}$ ist mit einem Kondensator von $C = 100 \text{ } \mu\text{F}$ hintereinandergeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 220 \text{ V}$ mit $f = 50 \text{ Hz}$.

Wie groß sind die Teilspannungen U_L und U_C ?

8. An einer Wechselspannung von $U = 220 \text{ V}$ und $f = 50 \text{ Hz}$ ist eine Reihenschaltung einer Induktivität von $L = 180 \text{ mH}$ mit einem Kondensator angeschlossen. Die gemessene Wechselstromstärke beträgt $I = 3,63 \text{ A}$.

Wie groß ist die Kapazität des Kondensators?

9. Eine Induktivität von $L = 45 \text{ mH}$ ist an einer 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 ?

10. Eine Spule hat einen Wirkwiderstand von $R = 4 \text{ } \Omega$ 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!

11. Eine Spule ist in einem 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 $I_2 = 2,62 \text{ A}$.

- a) Wie groß ist der Wirkwiderstand der Spule?
b) Wie groß ist der Scheinwiderstand der Spule?
c) Wie groß ist der induktive Blindwiderstand der Spule?
d) Wie groß ist die Induktivität der Spule?
e) Wie groß sind Wirkspannung und induktive Blindspannung?
f) Wie groß ist der Phasenwinkel φ ?
g) Zeichnen Sie für den Wechselstromkreis das Zeigerdiagramm!

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

12. Eine Spule von $R = 36 \text{ } \Omega$ und $L = 290 \text{ mH}$ ist an einer Wechselspannung von $U = 60 \text{ V}$ geschaltet. Die gemessene Stromstärke beträgt $I = 85 \text{ mA}$. Wie hoch ist die Frequenz der Wechselspannung?

13. Ein Wirkwiderstand von $R = 40 \text{ } \Omega$ ist mit einem Kondensator von $C = 80 \text{ } \mu\text{F}$ hintereinandergeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 60 \text{ V}$ mit einer Frequenz von $f = 400 \text{ Hz}$.

- a) Wie groß sind die Teilspannungen U_w und U_C ?
b) Wie groß ist die Phasenverschiebung zwischen Wechselspannung und Wechselstrom?
c) Prüfen Sie die errechneten Werte mit Hilfe eines Zeigerdiagramms zeichnerisch nach!

14. Ein Wirkwiderstand und ein Kondensator sind in einem Wechselstromkreis bei $U = 110 \text{ V}$ und einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$ hintereinandergeschaltet. Bei individuellem Anschluß des Wirkwiderstandes 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: $I \ 0,3 \text{ A} \cong 10 \text{ mm}$ (blau)

$U \ 10 \text{ V} \cong 10 \text{ mm}$ (rot)

15. 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?

16. Eine Spule mit einem Wirkwiderstand von $R = 35 \ \Omega$ und einer Induktivität von $L = 260 \text{ mH}$ ist mit einem Kondensator von $C = 30 \ \mu\text{F}$ hintereinandergeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 380 \text{ V}$ mit einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$.

- Zeichnen Sie das Schaltbild für den Wechselstromkreis!
- Wie groß ist der induktive Blindwiderstand?
- Wie groß ist der kapazitive Blindwiderstand?
- Wie groß ist der Blindwiderstand?
- Wie groß ist der Scheinwiderstand?
 - Zeichnerische Lösung ($10 \ \Omega \cong 1 \text{ cm}$).
 - Rechnerische Lösung.
- Wie groß ist die Wechselstromstärke?
- Wie groß sind Wirkspannung, induktive Blindspannung, kapazitive Blindspannung, Blindspannung und Scheinspannung?

- h) Wie groß ist der Phasenwinkel φ ?

- i) Zeichnen Sie für den Wechselstromkreis das Zeigerdiagramm!

Maßstab: $I \ 1 \text{ A} \cong 1 \text{ cm}$ (blau)

$U \ 100 \text{ V} \cong 1 \text{ cm}$ (rot)

17. 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 ($20 \ \Omega \cong 1 \text{ cm}$).
 - 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: $I \ 0,2 \text{ A} \cong 1 \text{ cm}$ (blau)

$U \ 30 \text{ V} \cong 1 \text{ cm}$ (rot)

18. Der Wirkwiderstand einer Spule beträgt $R = 30 \ \Omega$, die Induktivität ist $L = 14,2 \text{ mH}$. Die Spule wird an eine Wechselspannung von $U = 4 \text{ V}$ bei den Frequenzen 50 Hz , 1000 Hz , 2000 Hz , 4000 Hz , 6000 Hz , 8000 Hz , 10000 Hz und 12000 Hz geschaltet.

Wie groß sind bei den vorstehenden Frequenzen

- die Werte des induktiven Blindwiderstandes,
- die Werte des Scheinwiderstandes,
- die Werte der Wechselstromstärke und
- die Werte des jeweiligen Phasenwinkels φ ?

Tragen Sie die Werte des induktiven Blindwiderstandes, des Scheinwiderstandes, der Stromstärke und des Phasenwinkels in nachstehende Tabelle (Abb. 186) ein!

Tragen Sie die in der Tabelle vermerkten Werte in ein Diagramm ein!

Maßstab: Waagrecht: f 1 kHz \cong 10 mm

Senkrecht: X_L 100 Ω \cong 10 mm (schwarz)

Z 100 Ω \cong 10 mm (schwarz)

I 10 mA \cong 10 mm (blau)

φ 10° \cong 10 mm (grün)

N_r	f [Hz]	X_L [Ω]	Z [Ω]	I [mA]	$\cos \varphi$	φ [°]
1	50					
2	1000					
3	2000					
4	4000					
5	6000					
6	8000					
7	10000					
8	12000					

(Abb. 186)

4. Die Stromverzweigung

a) Die induktiven Blindwiderstände

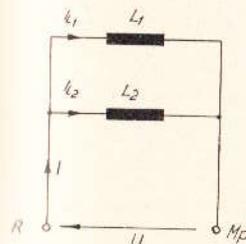
Größengleichung

$$I = I_{L1} + I_{L2} \quad [A]$$

Einheitengleichung

$$[A = A + A]$$

Schaltbild



(Abb. 187)

I = Gesamtstrom in A

I_{L1} = induktiver Teilblindstrom in A

I_{L2} = induktiver Teilblindstrom in A

Übungsbeispiel

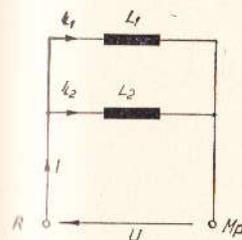
Zwei Induktivitäten von $L_1 = 0,64$ H und $L_2 = 0,44$ H sind an einer Wechselspannung von $U = 220$ V und $f = 50$ Hz parallelgeschaltet (Abb. 188).

Wie groß sind die Teilströme I_{L1} und I_{L2} und der Gesamtstrom I ?

Gegeben: $L_1 = 0,64$ H, $L_2 = 0,44$ H, $U = 220$ V, $f = 50$ Hz

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

Lösung:



(Abb. 188)

$$X_{L1} = \omega \cdot L_1$$

$$X_{L1} = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,64$$

$$X_{L1} = 201 \Omega$$

$$X_{L2} = \omega \cdot L_2$$

$$X_{L2} = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,44$$

$$X_{L2} = 138 \Omega$$

$$I_{L1} = \frac{U}{X_{L1}}$$

$$I_{L2} = \frac{U}{X_{L2}}$$

$$I = I_{L1} + I_{L2}$$

$$I_{L1} = \frac{220}{201}$$

$$I_{L2} = \frac{220}{138}$$

$$I = 1,09 + 1,6$$

$$I_{L1} = \underline{\underline{1,09 \text{ A}}}$$

$$I_{L2} = \underline{\underline{1,6 \text{ A}}}$$

$$I = \underline{\underline{2,69 \text{ A}}}$$

Rechenprobe:

$$X_L = \frac{X_{L1} \cdot X_{L2}}{X_{L1} + X_{L2}}$$

$$X_L = \frac{139 \cdot 201}{139 + 201}$$

$$X_L = \underline{82,1 \Omega}$$

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

$$I = \frac{220}{82,1}$$

$$I = \underline{2,69 \text{ A}}$$

Die Teilströme betragen $I_{L1} = 1,09 \text{ A}$ und $I_{L2} = 1,6 \text{ A}$.
Der Gesamtstrom beträgt $I = 2,69 \text{ A}$.

b) Die kapazitiven Blindwiderstände

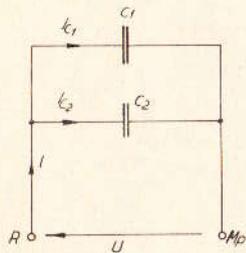
Größengleichung

$$I = I_{C1} + I_{C2} \text{ [A]}$$

Einheitengleichung

$$[\text{A} = \text{A} + \text{A}]$$

Schaltbild



(Abb. 189)

I = Gesamtstrom in A

I_{C1} = kapazitiver Teilblindstrom in A

I_{C2} = kapazitiver Teilblindstrom in A

Übungsbeispiel

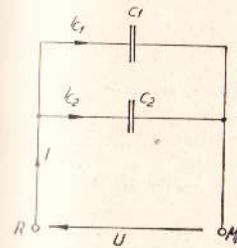
Zwei Kondensatoren von $C_1 = 16 \mu\text{F}$ und $C_2 = 20 \mu\text{F}$ sind an einer Wechselspannung von $U = 220 \text{ V}$ und $f = 50 \text{ Hz}$ parallelgeschaltet (Abb. 190).

Wie groß sind die Teilströme I_{C1} und I_{C2} und der Gesamtstrom I ?

Gegeben: $C_1 = 16 \mu\text{F}$, $C_2 = 20 \mu\text{F}$, $U = 220 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$

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

Lösung:



(Abb. 190)

$$X_{C1} = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

$$X_{C1} = \frac{1000000}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 16}$$

$$X_{C1} = \underline{199 \Omega}$$

$$X_{C2} = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

$$X_{C2} = \frac{1000000}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 20}$$

$$X_{C2} = \underline{160 \Omega}$$

$$I_{C1} = \frac{U}{X_{C1}}$$

$$I_{C2} = \frac{U}{X_{C2}}$$

$$I = I_{C1} + I_{C2}$$

$$I_{C1} = \frac{220}{199}$$

$$I_{C2} = \frac{220}{160}$$

$$I = 1,11 + 1,38$$

$$I_{C1} = \underline{1,11 \text{ A}}$$

$$I_{C2} = \underline{1,38 \text{ A}}$$

$$I = \underline{2,49}$$

Rechenprobe:

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

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

$$X_C = \frac{199 \cdot 160}{199 + 160}$$

$$I = \frac{220}{88,6}$$

$$X_C = \underline{88,6 \Omega}$$

$$I = \underline{2,49 \text{ A}}$$

Die Teilströme betragen $I_{C1} = 1,11 \text{ A}$ und $I_{C2} = 1,38 \text{ A}$.

Der Gesamtstrom beträgt $I = 2,49 \text{ A}$.

c) Der induktive und der kapazitive Blindwiderstand

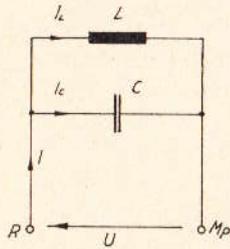
Größengleichung

$$I = I_C - I_L \text{ [A]}$$

Einheitengleichung

$$[\text{A} = \text{A} - \text{A}]$$

Schaltbild



(Abb. 191)

I = Gesamtstrom in A
 I_C = kapazitiver Blindstrom in A
 I_L = induktiver Blindstrom in A

Übungsbeispiel

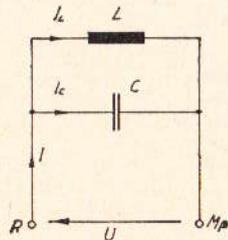
Eine Induktivität von $L = 0,64$ H ist mit einer Kapazität von $C = 20 \mu\text{F}$ bei einer Wechselspannung von $U = 220$ V und $f = 50$ Hz parallelgeschaltet (Abb. 192).

Wie groß sind die Teilströme I_C und I_L und der Gesamtstrom I ?

Gegeben: $L = 0,64$ H, $C = 20 \mu\text{F}$, $U = 220$ V, $f = 50$ Hz

Gesucht: I_C , I_L , I

Lösung:



(Abb. 192)

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

$$X_C = \frac{1000000}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 20}$$

$$X_C = \underline{160 \Omega}$$

$$X_L = \omega \cdot L$$

$$X_L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,64$$

$$X_L = \underline{201 \Omega}$$

$$I_C = \frac{U}{X_C} \quad I_L = \frac{U}{X_L} \quad I = I_C - I_L$$

$$I_C = \frac{220}{160} \quad I_L = \frac{220}{201} \quad I = 1,38 - 1,09$$

$$I_C = \underline{1,38 \text{ A}} \quad I_L = \underline{1,09 \text{ A}} \quad I = \underline{0,29 \text{ A}}$$

Rechenprobe:

$$X = \frac{X_L \cdot X_C}{X_L - X_C} \quad I = \frac{U}{X}$$

$$X = \frac{201 \cdot 160}{201 - 160} \quad I = \frac{220}{782}$$

$$X = \underline{782 \Omega} \quad I = \underline{0,285 \text{ A}}$$

Die Teilspannungen betragen $I_C = 1,38$ A und $I_L = 1,09$ A. Der Gesamtstrom beträgt $I = 0,29$ A.

Beachte: Die Teilblindströme sind größer als der Gesamtstrom!

d) Der Wirkwiderstand und der induktive Blindwiderstand

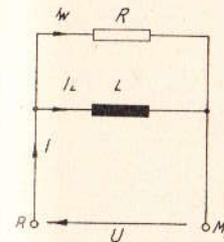
Größengleichung

$$I = \sqrt{I_w^2 + I_L^2} \quad [\text{A}]$$

Einheitengleichung

$$[\text{A} = \sqrt{\text{A}^2 + \text{A}^2} = \sqrt{\text{A}^2}]$$

Schaltbild



(Abb. 193)

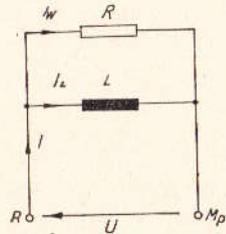
I = Scheinstrom in A
 I_w = Wirkstrom in A
 I_L = induktiver Blindstrom in A

Übungsbeispiel

Ein Wirkwiderstand von $R = 120 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 0,44$ H parallelgeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 220$ V bei einer Frequenz von $f = 50$ Hz (Abb. 194).

Wie groß sind die Teilströme I_w und I_L und der Gesamtstrom I ?

Gegeben: $R = 120 \Omega, L = 0,44 \text{ H}, U = 220 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$
Gesucht: I_w, I_L, I
Lösung:



(Abb. 194)

$$X_L = \omega \cdot L$$

$$X_L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,44$$

$$X_L = \underline{138 \Omega}$$

$$I_w = \frac{U}{R} \quad I_L = \frac{U}{X_L} \quad I = \sqrt{I_w^2 + I_L^2}$$

$$I_w = \frac{220}{120} \quad I_L = \frac{220}{138} \quad I = \sqrt{1,83^2 + 1,6^2}$$

$$I_w = \underline{1,83 \text{ A}} \quad I_L = \underline{1,6 \text{ A}} \quad I = \underline{2,43 \text{ A}}$$

Rechenprobe:

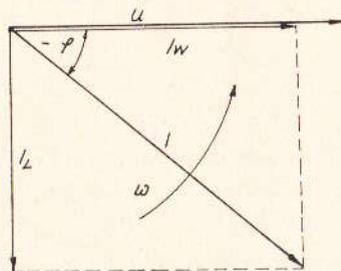
$$Z = \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \quad I = \frac{U}{Z}$$

$$Z = \frac{120 \cdot 138}{\sqrt{120^2 + 138^2}} \quad I = \frac{220}{90,6}$$

$$Z = 90,6 \Omega \quad I = \underline{2,43 \text{ A}}$$

Probe mit Hilfe des Zeigerdiagramms (Abb. 195):

Maßstab: $U \ 50 \text{ V} \hat{=} 1 \text{ cm}; \ U = 220 \text{ V} \hat{=} 4,4 \text{ cm}$
 $I \ 0,5 \text{ A} \hat{=} 1 \text{ cm}; \ I_w = 1,83 \text{ A} \hat{=} 3,7 \text{ cm}$
 $I_L = 1,6 \text{ A} \hat{=} 3,2 \text{ cm}$
 $I = 2,43 \text{ A} \hat{=} 4,9 \text{ cm}$



$I = 4,9 \text{ cm} \hat{=} 2,43 \text{ A}$
 (Abb. 195)

Die Spannung ist die für Wirkwiderstand und induktiven Blindwiderstand gemeinsame Größe. Die Spannung wird daher als waagrecht liegender Zeiger dargestellt. Wirkstrom und Spannung sind phasengleich; sie werden daher gleichgerichtet aufgetragen. Der induktive Blindstrom eilt der Spannung um 90° nach. Da die Drehrichtung des Zeigerdiagramms der Uhrzeigerrichtung entgegengerichtet ist, so wird der induktive Blindstrom nach unten aufgetragen. Die Diagonale des aus Wirkstrom und induktivem Blindstrom gebildeten rechtwinkligen Dreiecks ergibt die Größe des Scheinstroms.

Die Teilströme betragen $I_w = 1,83 \text{ A}$ und $I_L = 1,6 \text{ A}$.

Der Scheinstrom beträgt $I = 2,43 \text{ A}$.

Die Phasenverschiebung zwischen Spannung und Scheinstrom beträgt:

$$\cos \varphi = \frac{I_w}{I}$$

$$\cos \varphi = \frac{1,83}{2,43} \quad \text{Prüfe die Größe des errechneten Phasenwinkels } \varphi \text{ mit}$$

$$\cos \varphi = 0,753 \quad \text{Hilfe eines Winkelmessers nach!}$$

$$\varphi = \underline{41^\circ}$$

e) Der Wirkwiderstand und der kapazitive Blindwiderstand

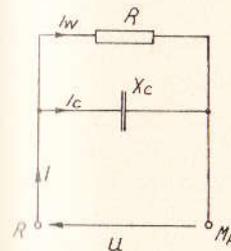
Größengleichung

Einheitengleichung

$$I = \sqrt{I_w^2 + I_C^2} \quad [\text{A}]$$

$$[\text{A} = \sqrt{\text{A}^2 + \text{A}^2} = \sqrt{\text{A}^2}]$$

Schaltbild



(Abb. 196)

I = Scheinstrom in A
 I_w = Wirkstrom in A
 I_C = kapazitiver Blindstrom in A

Übungsbeispiel

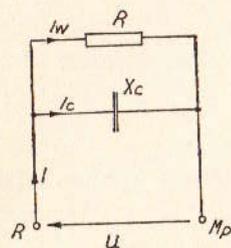
Ein Wirkwiderstand von $R = 150 \Omega$ ist mit einer Kapazität von $C = 20 \mu\text{F}$ parallelgeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 220 \text{ V}$ bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$ (Abb. 197).

Wie groß sind die Teilströme I_w und I_c und der Gesamtstrom I ?

Gegeben: $R = 150 \Omega$, $C = 20 \mu\text{F}$, $U = 220 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$

Gesucht: I_w , I_c , I

Lösung:



(Abb. 197)

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

$$X_c = \frac{1000000}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 20}$$

$$X_c = \underline{159 \Omega}$$

$$I_w = \frac{U}{R} \quad I_c = \frac{U}{X_c} \quad I = \sqrt{I_w^2 + I_c^2}$$

$$I_w = \frac{220}{150} \quad I_c = \frac{220}{159} \quad I = \sqrt{1,47^2 + 1,38^2}$$

$$I_w = \underline{1,47 \text{ A}} \quad I_c = \underline{1,38 \text{ A}} \quad I = \underline{2,01 \text{ A}}$$

Rechenprobe:

$$Z = \frac{R \cdot X_c}{\sqrt{R^2 + X_c^2}} \quad I = \frac{U}{Z}$$

$$Z = \frac{150 \cdot 159}{\sqrt{150^2 + 159^2}} \quad I = \frac{220}{110}$$

$$Z = \underline{110 \Omega} \quad I = \underline{2 \text{ A}}$$

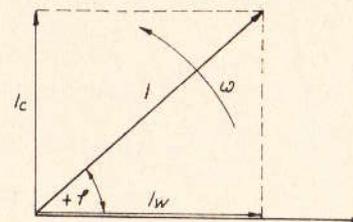
Probe mit Hilfe des Zeigerdiagramms (Abb. 198):

Maßstab: $U \ 50 \text{ V} \cong 1 \text{ cm}; \quad U = 220 \text{ V} \cong 4,4 \text{ cm}$

$I \ 0,5 \text{ A} \cong 1 \text{ cm}; \quad I_w = 1,47 \text{ A} \cong 2,9 \text{ cm}$

$I_c = 1,38 \text{ A} \cong 2,8 \text{ cm}$

$I = 2,0 \text{ A} \cong 4,0 \text{ cm}$



(Abb. 198)

$$I = 4,0 \text{ cm} \cong 2,0 \text{ A}$$

Die Spannung wird als waagrecht liegender Zeiger dargestellt. Wirkstrom und Spannung sind phasengleich; sie werden daher gleichgerichtet gezeichnet. Der kapazitive Blindstrom eilt der Spannung um 90° voraus. Da die Drehrichtung des Zeigerdiagramms der Uhrzeigerrichtung entgegengerichtet ist, so wird der kapazitive Blindstrom nach oben aufgetragen. Die Diagonale des aus Wirkstrom und kapazitivem Blindstrom gebildeten rechtwinkligen Dreiecks ergibt die Größe des Scheinstromes.

Die Teilströme betragen $I_w = 1,47 \text{ A}$ und $I_c = 1,38 \text{ A}$

Der Scheinstrom beträgt $I = 2,0 \text{ A}$.

Die Phasenverschiebung zwischen Spannung und Scheinstrom beträgt:

$$\cos \varphi = \frac{I_w}{I}$$

$$\cos \varphi = \frac{1,47}{2}$$

$$\cos \varphi = 0,735$$

$$\varphi = \underline{43^\circ}$$

Prüfe die Größe des errechneten Phasenwinkels φ mit Hilfe eines Winkelmessers nach!

f) Der Wirkwiderstand, der induktive und der kapazitive Blindwiderstand

Größengleichungen

$$I = \sqrt{I_w^2 + I_b^2} \quad [\text{A}]$$

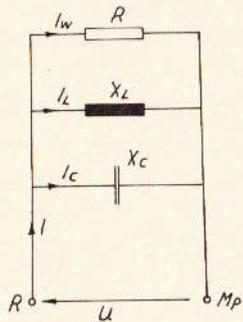
$$I_b = I_c - I_L \quad [\text{A}]$$

Einheitengleichungen

$$[\text{A} = \sqrt{\text{A}^2 + \text{A}^2} = \sqrt{\text{A}^2}]$$

$$[\text{A} = \text{A} - \text{A}]$$

Schaltbild



(Abb. 199)

- I = Scheinstrom in A
- I_w = Wirkstrom in A
- I_b = Blindstrom in A
- I_c = kapazitiver Blindstrom in A
- I_L = induktiver Blindstrom in A

Übungsbeispiel

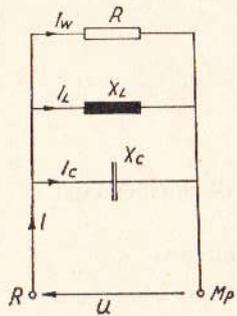
Ein Wirkwiderstand von $R = 80 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 0,44 \text{ H}$ und einer Kapazität von $C = 15 \mu\text{F}$ parallelgeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 220 \text{ V}$ bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$ (Abb. 200).

Wie groß sind Wirkstrom, induktiver Blindstrom, kapazitiver Blindstrom und Scheinstrom?

Gegeben: $R = 80 \Omega$, $L = 0,44 \text{ H}$, $C = 15 \mu\text{F}$, $U = 220 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$

Gesucht: I_w , I_L , I_C , I

Lösung:



(Abb. 200)

$$X_L = \omega \cdot L$$

$$X_L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,44$$

$$X_L = \underline{138 \Omega}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad X_C = \frac{1000000}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 15} \quad X_C = \underline{212 \Omega}$$

$$I_w = \frac{U}{R} \quad I_L = \frac{U}{X_L} \quad I_C = \frac{U}{X_C} \quad I_b = I_C - I_L$$

$$I_w = \frac{220}{180} \quad I_L = \frac{220}{138} \quad I_C = \frac{220}{212} \quad I_b = 1,04 - 1,6$$

$$I_w = \underline{1,22 \text{ A}} \quad I_L = \underline{1,6 \text{ A}} \quad I_C = \underline{1,04 \text{ A}} \quad I_b = \underline{-0,56 \text{ A}} \text{ (induktiv)}$$

$$I = \sqrt{I_w^2 + I_b^2}$$

$$I = \sqrt{1,22^2 + 0,56^2}$$

$$I = \underline{1,34 \text{ A}}$$

Rechenprobe:

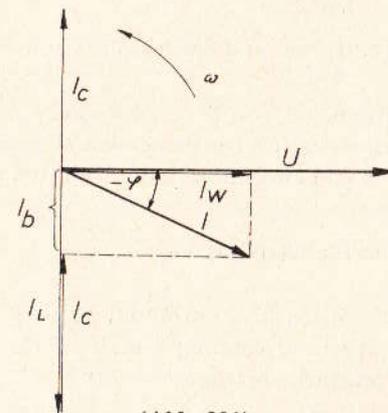
$$X = \frac{X_L \cdot X_C}{X_L - X_C} \quad Z = \frac{R \cdot X}{\sqrt{R^2 + X^2}} \quad I = \frac{U}{Z}$$

$$X = \frac{138 \cdot 212}{138 - 212} \quad Z = \frac{180 \cdot 396}{\sqrt{180^2 + 396^2}} \quad I = \frac{220}{164}$$

$$X = -396 \Omega \text{ (induktiv)} \quad Z = 164 \Omega \quad I = \underline{1,34 \text{ A}}$$

Probe mit Hilfe des Zeigerdiagramms (Abb. 201):

Maßstab: $U \ 50 \text{ V} \hat{=} 1 \text{ cm}$; $U = 220 \text{ V} \hat{=} 4,4 \text{ cm}$
 $I \ 0,5 \text{ A} \hat{=} 1 \text{ cm}$; $I_w = 1,22 \text{ A} \hat{=} 2,4 \text{ cm}$
 $I_L = 1,6 \text{ A} \hat{=} 3,2 \text{ cm}$
 $I_C = 1,04 \text{ A} \hat{=} 2,1 \text{ cm}$
 $I_b = 0,56 \text{ A} \hat{=} 1,1 \text{ cm}$
 $I = 1,34 \text{ A} \hat{=} 2,7 \text{ cm}$



(Abb. 201)

$$I = 2,7 \text{ cm} \hat{=} \underline{1,35 \text{ A}}$$

Die Spannung wird als waagrecht liegender Zeiger dargestellt. Wirkstrom und Spannung werden gleichgerichtet gezeichnet. Der kapazitive Blindstrom wird nach oben und der induktive Blindstrom nach unten aufgetragen. Da der induktive Blindstrom größer ist als der kapazitive Blindstrom, so wird von der Zeigerspitze des induktiven Blindstromes aus die Größe des kapazitiven Blindstromes nach oben abgetragen. Die Diagonale des aus Wirkstrom und Blindstrom I_b gebildeten rechtwinkligen Dreiecks ergibt die Größe des Scheinstroms.

Die Größe der Teilströme betragen $I_w = 1,22$ A, $I_L = 1,6$ A und $I_C = 1,04$ A. Der Scheinstrom beträgt $I = 1,34$ A.

Die Phasenverschiebung zwischen Spannung und Scheinstrom beträgt:

$$\cos \varphi = \frac{I_w}{I}$$

$$\cos \varphi = \frac{1,22}{1,38}$$

$$\cos \varphi = 0,91$$

$$\varphi = \underline{\underline{25^\circ}}$$

Prüfe die Größe des errechneten Phasenwinkels φ mit Hilfe eines Winkelmessers nach!

g) Aufgaben

1. Zwei Induktivitäten von $L_1 = 0,184$ H und $L_2 = 0,216$ H sind in Parallelschaltung an einer Wechselspannung von $U = 220$ V bei einer Frequenz von $f = 50$ Hz angeschaltet.

Wie groß sind die Teilströme und der Gesamtstrom?

2. In einem Wechselstromkreis von $U = 24$ V und $f = 800$ Hz sind drei Induktivitäten parallelgeschaltet. Die gemessene Wechselstromstärke beträgt $I = 2,4$ A. Die Werte von zwei Einzelinduktivitäten sind $L_1 = 14$ mH und $L_2 = 38$ mH.

Wie groß ist die Einzelinduktivität L_3 ?

3. Zwei Induktivitäten von $L_1 = 10$ mH und $L_2 = 12$ mH sind in Parallelschaltung an einer Wechselspannung von $U = 60$ V geschaltet. Die gemessene Wechselstromstärke beträgt $I = 1,0$ A.

a) Wie hoch ist die Frequenz der Wechselspannung?

b) Wie groß sind die Teilströme I_{L_1} und I_{L_2} ?

4. Zwei Kondensatoren von $C_1 = 33$ nF und $C_2 = 44$ nF sind an einer Wechselspannung von $U = 42$ V bei einer Frequenz von $f = 800$ Hz angeschaltet. Wie groß sind die Teilströme und der Gesamtstrom?

5. Ein Kondensator von $C = 35$ μ F ist an einer Wechselspannung von $U = 220$ V und $f = 50$ Hz angeschaltet. Durch jeweiliges Hinzuschalten eines weiteren Kondensators soll die Wechselstromstärke jeweils auf a) $I = 3,5$ A und b) $I = 0,8$ A gebracht werden.

a) Wie groß müssen die hinzuzuschaltenden Kondensatoren jeweils sein?

b) Zeichnen Sie für die Kondensatorenschaltung die Schaltbilder!

6. Drei Kondensatoren von $C_1 = 20$ μ F, $C_2 = 30$ μ F und $C_3 = 40$ μ F sind in Parallelschaltung an einer Wechselspannung von $U = 220$ V angeschaltet. Die gemessene Gesamtstromstärke beträgt $I = 3,4$ A.

a) Wie hoch ist die Frequenz der Wechselspannung?

b) Wie groß sind die Teilströme I_{C_1} , I_{C_2} und I_{C_3} ?

7. Ein Wirkwiderstand von $R = 68$ Ω ist mit einer Induktivität von $L = 270$ mH parallelgeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 100$ V bei einer Frequenz von $f = 100$ Hz.

a) Wie groß sind Wirkstrom, induktiver Blindstrom und Scheinstrom?

b) Machen Sie die Rechenprobe und prüfen Sie die errechneten Werte mit Hilfe eines Zeigerdiagramms nach!

8. Ein Wirkwiderstand von $R = 140$ Ω 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?

9. Ein Wirkwiderstand ist an einer Wechselspannung von $U = 220$ V bei einer Frequenz von $f = 50$ Hz angeschaltet. 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.

a) Wie groß ist der Wirkwiderstand?

b) Wie groß ist der induktive Blindstrom bei der Parallelschaltung?

c) Wie groß ist der induktive Blindwiderstand?

- d) Wie groß ist die Induktivität?
- e) Wie groß ist der Scheinwiderstand der Parallelschaltung?
- f) Wie groß ist die Phasenverschiebung?
10. 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 $f = 50 \text{ Hz}$.
- a) Wie groß sind Wirkstrom, kapazitiver Blindstrom und Scheinstrom?
- b) Wie groß ist der Phasenwinkel φ ?
- c) Machen Sie die Rechenprobe und prüfen Sie die errechneten Werte mit Hilfe eines Zeigerdiagramms nach!
11. 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 $C = 60 \mu\text{F}$.
- a) Wie hoch ist die Frequenz der Wechselspannung?
- b) Wie groß ist die Phasenverschiebung?
12. Ein Wirkwiderstand ist an einer Wechselspannung von $U = 150 \text{ V}$ bei einer Frequenz von $f = 80 \text{ Hz}$ angeschaltet. 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.
- a) Wie groß ist der Wirkwiderstand?
- b) Wie groß ist der kapazitive Blindstrom?
- c) Wie groß ist der kapazitive Blindwiderstand?
- d) Wie groß ist die Kapazität des Kondensators?
- e) Wie groß ist der Scheinwiderstand der Parallelschaltung?
- f) Wie groß ist der Phasenwinkel φ ?
13. 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 $f = 50 \text{ Hz}$.
- a) Zeichnen Sie für den Wechselstromkreis das Schaltbild!
- b) Wie groß ist der induktive Blindwiderstand?

- c) Wie groß ist der kapazitive Blindwiderstand?
- d) Wie groß ist der induktive Blindstrom?
- e) Wie groß ist der kapazitive Blindstrom?
- f) Wie groß ist der Blindstrom?
- g) Wie groß ist der Scheinstrom?
- (1) Zeichnerische Lösung ($1 \text{ A} \cong 1 \text{ cm}$).
- (2) Rechnerische Lösung.
- h) Wie groß ist der Scheinwiderstand?
- i) Wie groß ist der Wirkleitwert?
- j) Wie groß ist der induktive Blindleitwert?
- k) Wie groß ist der kapazitive Blindleitwert?
- l) Wie groß ist der Scheinleitwert?
- (1) Rechnerische Lösung.
- (2) Zeichnerische Lösung ($5 \text{ mS} \cong 1 \text{ cm}$).
- m) Prüfen Sie den errechneten Wert des Scheinwiderstandes mit Hilfe des Scheinleitwertes nach!
- n) Wie groß ist die Phasenverschiebung?
- o) Zeichnen Sie für den Wechselstromkreis das Zeigerdiagramm!

Maßstab: $U \ 50 \text{ V} \cong 1 \text{ cm}$ (rot)

$I \ 1 \text{ A} \cong 1 \text{ cm}$ (blau)

5. Die Resonanzfrequenz

Bei der Resonanzfrequenz sind in einem Wechselstromkreis der induktive Blindwiderstand und der kapazitive Blindwiderstand gleich groß. Da induktiver und kapazitiver Blindwiderstand entgegengesetzte Phasenverschiebung verursachen, heben sich induktiver und kapazitiver Blindwiderstand gegenseitig auf, d.h. bei der Resonanzfrequenz ist der Blindwiderstand gleich Null.

a) Die Reihenresonanz

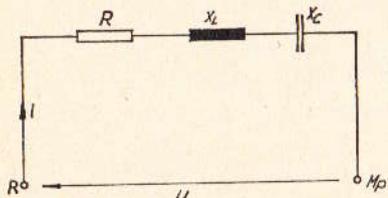
Bei der Reihenresonanz sind der **Blindwiderstand** und die **Blindspannung** gleich Null.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Resonanzfrequenz	f_r	$\left[\text{Hz}; \frac{1}{\text{s}} \right]$

Größengleichung

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

Schaltbild



(Abb. 202)

Beim Zahleneinsatz der Kapazität in μF :

Größengleichung

$$f_r = \frac{1000}{2 \cdot \pi \sqrt{L \cdot C}} \quad [\text{Hz}]$$

f_r = Resonanzfrequenz in Hz
 L = Induktivität in H
 C = Kapazität in μF

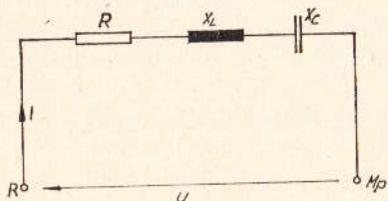
Übungsbeispiel

Ein Wirkwiderstand von $R = 40 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 0,125 \text{ H}$ und einer Kapazität von $C = 45 \mu\text{F}$ hintereinandergeschaltet (Abb. 203). Wie groß ist die Resonanzfrequenz der Reihenschaltung?

Gegeben: $L = 0,125 \text{ H}, C = 45 \mu\text{F}$

Gesucht: f_r

Lösung:



(Abb. 203)

Die Resonanzfrequenz beträgt $f_r = 66,7 \text{ Hz}$.

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

$$f_r = \frac{1000}{2 \cdot \pi \sqrt{0,125 \cdot 45}}$$

$$f_r = \frac{1000}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,36}$$

$$f_r = \underline{\underline{66,7 \text{ Hz}}}$$

b) Die Parallelresonanz

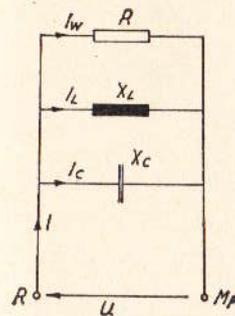
Bei der Parallelresonanz sind der **Blindleitwert** und der **Blindstrom** gleich Null.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Resonanzfrequenz	f_r	$\left[\frac{1}{\text{s}} \right]$

Größengleichung

$$f_r = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{L \cdot C}} \quad [\text{Hz}]$$

Schaltbild



(Abb. 204)

f_r = Resonanzfrequenz in Hz
 L = Induktivität in H oder $\Omega \cdot \text{s}$
 C = Kapazität in F oder $\frac{\text{s}}{\Omega}$

Beim Zahleneinsatz der Kapazität in μF :

Größengleichung

$$f_r = \frac{1000}{2 \cdot \pi \sqrt{L \cdot C}} \quad [\text{Hz}]$$

f_r = Resonanzfrequenz in Hz
 L = Induktivität in H
 C = Kapazität in μF

Übungsbeispiel

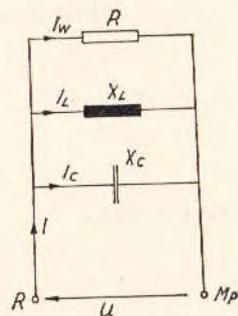
Ein Wirkwiderstand von $R = 300 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 0,5 \text{ H}$ und einer Kapazität von $C = 20 \mu\text{F}$ parallelgeschaltet (Abb. 205).

Wie hoch ist die Resonanzfrequenz?

Gegeben: $L = 0,5 \text{ H}, C = 20 \mu\text{F}$

Gesucht: f_r

Lösung:



(Abb. 205)

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

$$f_r = \frac{1000}{2 \cdot \pi \sqrt{0,5 \cdot 20}}$$

$$f_r = \frac{1000}{2 \cdot 3,14 \cdot 3,16}$$

$$f_r = \underline{\underline{19,8 \text{ Hz}}}$$

Die Resonanzfrequenz beträgt $f_r = 19,8 \text{ Hz}$.

c) Aufgaben

- Eine Induktivität von $L = 14 \text{ mH}$ ist mit einem Kondensator von $C = 350 \text{ nF}$ hintereinandergeschaltet. Wie hoch ist die Resonanzfrequenz?
- Eine Induktivität von $L = 2,3 \text{ H}$ ist mit einem Kondensator von $1 \mu\text{F}$ parallelgeschaltet. Wie hoch ist die Resonanzfrequenz?
- 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?
- 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?
- Ein Wirkwiderstand von $R = 40 \Omega$, eine Induktivität von $L = 0,8 \text{ H}$ und ein Kondensator von $C = 35 \mu\text{F}$ sind hintereinandergeschaltet. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 220 \text{ V}$ bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$.

- Wie groß ist der Scheinwiderstand der Reihenschaltung bei $f = 50 \text{ Hz}$?
- Wie groß ist die Resonanzfrequenz?
- Wie groß sind die Stromstärken bei $f = 50 \text{ Hz}$ und bei der Resonanzfrequenz?

- Es soll ein Resonanzkreis für $f_r = 625 \text{ Hz}$ hergestellt werden. Bei der Resonanzfrequenz von $f_r = 625 \text{ Hz}$ soll die Wechselstromstärke 1 A betragen. Die angeschaltete Wechselspannung beträgt $U = 24 \text{ V}$. Für die Herstellung des Resonanzkreises steht ein Kondensator von $C = 12 \mu\text{F}$ 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 $f = 100 \text{ Hz}$?

- Ein Reihenresonanzkreis ist an $U = 220 \text{ V}$ bei $f = 50 \text{ Hz}$ angeschaltet. Die gemessene Stromstärke beträgt $I = 2,13 \text{ A}$. Wird nur die Spule, deren Wirkwiderstand hierbei vernachlässigt werden soll, an $220 \text{ V}/50 \text{ Hz}$ geschaltet, so beträgt die gemessene Stromstärke $1,5 \text{ A}$; bei Anschluß der Spule an eine Gleichspannung von $U = 60 \text{ V}$ beträgt die gemessene Stromstärke $1,6 \text{ A}$.

- Wie groß ist der Wirkwiderstand der Spule?
- Wie groß ist die Induktivität der Spule, wenn bei der Stromstärkenmessung an $220 \text{ V}/50 \text{ Hz}$ der Drahtwiderstand vernachlässigt wird?
- Wie groß ist die Kapazität des Kondensators?
- Wie hoch ist die Resonanzfrequenz der Reihenschaltung von Spule und Kondensator?

6. Die Leistung im Wechselstromkreis

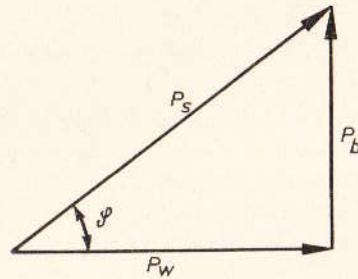
Die Leistungsaufnahme eines Verbrauchers kann im Wechselstromkreis nicht ohne weiteres anhand einer Spannungs- und Strommessung bestimmt werden. Sobald der Verbraucher Blindwiderstände (Induktivitäten bzw. Kapazitäten) enthält, tritt zwischen Spannung und Strom eine Phasenverschiebung „φ“ auf. Diese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

Nur für Verbraucher, die nur Wirkwiderstände enthalten (Glühlampen, Holzgeräte 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. 206)

a) Wirkleistung

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Wirkleistung	P_w	W (Watt)

Größengleichungen

$$P_w = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$P_w = \frac{U_R^2}{R}$$

$$P_w = I_R^2 \cdot R$$

darin bedeuten:

U = Effektivwert der Gesamtspannung, z. B. mit einem Voltmeter gemessen,

I = Effektivwert des Gesamtstromes, z. B. durch Messung mit einem Amperemeter ermittelt,

$\cos \varphi$ = 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.

b) Scheinleistung

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Scheinleistung	P_s	VA (Voltampere)

Größengleichungen

$$P_s = U \cdot I$$

$$P_s = \frac{U_z^2}{Z}$$

$$P_s = I_z^2 \cdot Z$$

darin bedeuten:

U_z = der Spannungsabfall am Scheinwiderstand Z des Verbrauchers,

I_z = der Strom, der durch den Scheinwiderstand des Verbrauchers fließt,

Z = der Scheinwiderstand des Verbrauchers.

c) Blindleistung

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Blindleistung	P_b	Var (Voltampere reactiv)

Größengleichungen

$P_b = U \cdot I \cdot \sin \varphi$
$P_b = \sqrt{P_s^2 - P_w^2}$
$P_b = \frac{U_x^2}{X}$
$P_b = I_x^2 \cdot X$

darin bedeuten:

U_x = der Spannungsabfall am Blindwiderstand X des Verbrauchers,

I_x = der Strom, der durch den Blindwiderstand des Verbrauchers fließt,

X = der Blindwiderstand des Verbrauchers.

d) Phasenkompensation

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

Im einfachsten Fall wird der Verbraucherstromkreis auf Resonanz abgestimmt. Dabei gilt $X_L = X_C$.

Aus dieser Resonanzbedingung läßt sich der zur Phasenkompensation erforderliche Blindwiderstand mit guter Annäherung bestimmen.

Genauer ist die Methode, den zur Kompensation erforderlichen Blindwiderstand nach der Blindleistung des Verbrauchers zu bestimmen. Der Kompensationswiderstand muß dabei die gleiche Blindleistung wie der Verbraucher erzeugen, jedoch mit entgegengesetztem Vorzeichen.

Dafür gilt P_b induktiv = P_b 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 $L = 0,5$ Henry und einem Wirkwiderstand von 50 Ohm wird an eine Spannung von 220 V/50 Hz gelegt.

Wie groß sind

- Scheinleistung,
- Blindleistung,
- Wirkleistung und
- der Leistungsfaktor?

Welchen Kapazitätswert müßte ein Phasenschieber-Kondensator haben, der den Leistungsfaktor auf 1 verbessert?

Zu a)

Gegeben: $U = 220$ V/50 Hz, $L = 0,5$ H, $R = 50$ Ω .

Gesucht: P_s

Lösung:

$$P_s = \frac{U_z^2}{Z}$$

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

$$R^2 = 2500$$

$$X = \omega \cdot L$$

$$X = 314 \cdot 0,5 = 157 \Omega$$

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

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

$$Z = \sqrt{27149}$$

$$Z = 165 \Omega$$

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

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

Die Spule nimmt eine Scheinleistung von 294 VA auf.

Zu b)

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

Gesucht: P_b

Lösung:

$$P_b = I_x^2 \cdot X$$

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

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

$$I_x^2 = 1,77$$

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

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

$$P_b = \underline{\underline{278 \text{ Var}}}$$

Die Blindleistungsaufnahme der Spule beträgt 278 Var.

Zu c)

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

Gesucht: P_w

Lösung:

$$P_w = I_R^2 \cdot R$$

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

$$I_R^2 = 1,77$$

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

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

Die Spule verbraucht eine Wirkleistung von 88,5 Watt.

Zu d)

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

Gesucht: $\cos \varphi$

Lösung:

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

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

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

oder

Gegeben: $P_w = 88,5 \text{ W}$, $P_s = 294 \text{ VA}$.

Gesucht: $\cos \varphi$

Lösung:

$$\cos \varphi = \frac{P_w}{P_s}$$

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

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

(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: $L = 0,5 \text{ H}$, $f = 50 \text{ Hz}$.

Gesucht: C zur Phasenkompensation.

Lösung:

bei Resonanz gilt

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

$$C = \frac{1}{\omega^2 \cdot L}$$

$$C = \frac{1}{314^2 \cdot 0,5} = \frac{1}{98596 \cdot 0,5}$$

$$C \approx \frac{1}{50000}$$

$$C = 0,000020 \text{ F} = \underline{\underline{20 \mu \text{ F}}}$$

oder genauer

Gegeben: $U = 220 \text{ V}/50 \text{ Hz}$, $P_b = 278 \text{ Var}$.

Gesucht: C zur Phasenkompensation.

Lösung:

$$P_b \text{ kapazitiv} = P_b \text{ induktiv}$$

$$P_b = \frac{U_x^2}{X_c}$$

$$X_c = \frac{U_x^2}{P_b}$$

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

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

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

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

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

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

e) Aufgaben

1. Welche Wirkleistung nimmt ein elektrisches Bügeleisen mit dem Widerstand $R = 100 \, \text{Ohm}$ an $220 \, \text{Volt}/50 \, \text{Hz}$ auf?
2. Wie groß wäre die Leistungsaufnahme des Bügeleisens (Aufg. 1) beim Anschluß an $110 \, \text{Volt}/50 \, \text{Hz}$?
3. Ein elektrisches Heizgerät wird bei einer Netzspannung von $220 \, \text{Volt}/50 \, \text{Hz}$ von einem Strom von $I = 0,91 \, \text{Ampere}$ durchflossen.
 - a) Welche Leistungsaufnahme hat das Gerät?
 - b) Wie groß ist der Widerstand des Geräts?
4. Ein elektrischer LötKolben nimmt an $220 \, \text{Volt}$ $60 \, \text{Watt}$ auf.
 - a) Welchen Widerstand hat die Heizwicklung des LötKolbens?
 - b) Auf welchen Wert sinkt die Leistungsaufnahme, wenn die Netzspannung nur noch $200 \, \text{Volt}$ beträgt?
5. Eine Nebenstellenanlage nimmt aus dem Netzspeisegerät bei $24 \, \text{Volt}$ einen Strom von $5 \, \text{Ampere}$ auf. Der Gleichrichter einschließlich Siebkette hat einen Wirkungsgrad von 92% .
Wie groß ist die Wirkleistungsaufnahme des Transformators?
6. 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 $220 \, \text{Volt}$ gelegt.

- a) Wie groß ist dabei die Leistungsaufnahme jeder Lampe?
- b) Wie müßte ein Widerstand geschaltet werden, der die Leistungsaufnahme jeder der beiden Lampen auf den Sollwert begrenzt?
- c) Wie groß müßte dieser Widerstand sein?

7. An einer Spannung von $220 \, \text{Volt}$ 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?

8. 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.

- a) Wie groß muß der Vorschaltwiderstand sein?
- b) Welche Wirkleistung nimmt der Vorschaltwiderstand auf?
- c) Wie groß ist die gesamte Wirkleistungsaufnahme der Reihenschaltung?
- d) Im Wechselstromkreis kann die Leistungsaufnahme der Glühlampe auch durch einen Blindwiderstand begrenzt werden. Welche Kapazität müßte ein Vorschaltkondensator haben?
- e) Wie groß ist die Leistungsaufnahme der Reihenschaltung Lampe — Kondensator in Schein-, Wirk- und Blindleistung?
- f) Für welche Durchschlagspannung müßte der Kondensator gebaut sein?

9. Welche Blindleistung nimmt ein Kondensator von $100 \, \text{Mikrofarad}$ 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?

10. Die Zählertafel einer Bautrupunterkunft ist mit $6 \, \text{Ampere}$ abgesichert.
- a) Welche Leistung darf dem 220-Volt -Wechselstromnetz höchstens entnommen werden?
 - b) Darf ein Motor angeschlossen werden, der eine Wirkleistung von $1 \, \text{Kilowatt}$ bei einem $\cos \varphi$ von $0,725$ aufnimmt?

11. 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?

12. 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 $P_w = 2700 \text{ Watt}$.

Die abgegebene mechanische Leistung beträgt $3,1 \text{ PS}$.

Wie groß sind

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

14. An einem 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 $60 \text{ Volt}/100 \text{ Hz}$. 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 $8 \text{ Betriebsstunden}$ 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 $0,05 \text{ Ohm}$.

- 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 besitzen?

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 $C = 8$ Mikrofarad gedrosselt (Gabelumschalter).

- Welchen Wirkwiderstand besitzt der Lötkolben?
- Auf welchen Wert sinkt die Wirkleistungsaufnahme des Lötkolbens durch das Vorschalten des Kondensators?
- 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:

220 V / 50 Hz	29,4 A
68 PS	$\cos \varphi$ 0,89
η 87%	

- 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:

$$U_1 = 20\,500 \text{ Volt,}$$

$$I_1 = 2,08 \text{ Ampere}$$

$$\cos \varphi = 0,875.$$

- 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 Betriebes?
 - 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 Betriebes 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?
 - 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 $R = 1500$ Ohm und eine Induktivität von 17 Henry. Er spricht gerade noch an, wenn er von einem Strom $I = 6$ 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. a) Welche Scheinleistung nimmt der Rufstromkreis einer Fernsprechverbindung mit folgenden Werten auf:

Schleifenwiderstand der Leitung	= 300 Ohm
Wicklungswiderstand des Weckers	= 600 Ohm
Induktivität des Weckers	= 4,8 Henry
Vorschaltkondensator	= 1 Mikrofarad

- wenn die RSM eine Spannung von 60 Volt/25 Hz abgibt?
- Wieviele Rufstromkreise dürfen höchstens gleichzeitig angeschlossen werden, wenn die RSM eine Nennleistung von 5 VA besitzt?
 - Wieviele Rufstromkreise können betrieben werden, wenn man berücksichtigt, daß durch den 10-Sekunden-Schalter nur jeweils $1/10$ aller Rufstromkreise geschaltet werden?
34. In die neueren Fernsprechapparate wird nur noch 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?
 - Wieviele 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 $Z_{800} = 6$ 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?

- c) 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?
- d) 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 350Ω (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.

- a) Welcher Strom bzw. welche Spannung wird durch den Kopfhörer noch „angezeigt“?
- b) Wieviel mal 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 $R_a = 5000$ 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 der 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?

VIII. Transformatoren, Fernmeldeübertrager

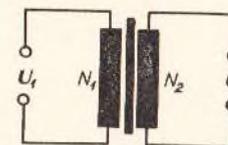
I. Allgemeines

Bei einem Transformator verhalten sich die Spannungen wie die Windungszahlen.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Primärspannung	U_1	V
Sekundärspannung	U_2	V
Primärwindungszahl	N_1	—
Sekundärwindungszahl	N_2	—

Größengleichung

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



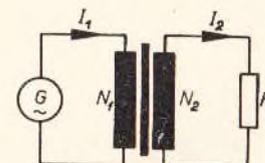
(Abb. 207)

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

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Primärstrom	I_1	A
Sekundärstrom	I_2	A

Größengleichung

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



(Abb. 208)

Als **Übersetzungsverhältnis** „ \ddot{u} “ 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 Volt eine Sekundärspannung von 24 Volt abgeben. Die Nennleistung des Transformators beträgt 36 VA.

Seine Primärwindungszahl beträgt 1100 und der Wirkungsgrad 90%.

- Wieviele 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 .

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} .

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: $P_{ab} = 36 \text{ VA}$, $U_2 = 24 \text{ V}$.Gesucht: $I_2 = I_{ab}$.

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: $P_{ab} = P_{Nenn} = 36 \text{ VA}$, $\eta = 90\% = 0,90$.Gesucht: P_{zu} .

Lösung:

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

$$P_{zu} = \frac{P_{ab}}{\eta}$$

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

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

Zu e)

Gegeben: $P_{zu} = 40 \text{ VA}$, $U_1 = 220 \text{ V}$.Gesucht: I_1 .

Lösung:

$$P = U \cdot I$$

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

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

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

2. Aufgaben — Starkstromtechnik

- 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?
- Wie groß muß die Sekundärwindungszahl eines Kleintransformators sein, der 220 Volt auf 6 Volt umspannen soll und eine Primärwindungszahl von 4800 besitzt?
- Welche Spannung liegt an der Primärwicklung eines Spannungswandlers, dessen Primärwindungszahl 12000 und Sekundärwindungszahl 30 beträgt, wenn ein angeschlossener Spannungsmesser an der Sekundärwicklung 50 Volt anzeigt?
- Ein Transformator spannt 220 Volt in 48 Volt um. Seine Sekundärwindungszahl beträgt 250.
Wie groß ist seine Primärwindungszahl?
- Die Primärwicklung eines Transformators besteht aus 900 Windungen und wird beim Anschluß an 220 Volt von 125 Milliampere durchflossen. Die Sekundärwicklung besitzt 75 Windungen.
 - Welche Stromstärke gibt die Sekundärwicklung ab?
 - Wie groß ist die Sekundärspannung des Transformators?
 - Wie groß ist das Übersetzungsverhältnis des Transformators?
- 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.
 - Wie groß ist die Sekundärspannung?
 - Welches Übersetzungsverhältnis hat der Transformator?
 - Wie groß ist die Stromstärke in der Primärwicklung, wenn der Sekundärstrom 3 Ampere beträgt?
 - Wie groß ist die Nennleistung des Transformators?
- 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)?

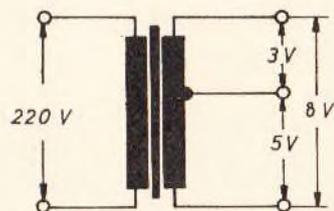
9. Ein Transformator besitzt folgende Windungszahlen:

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. 209)

- 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 Volt/60 VA besitzt eine Primärwicklung mit 1200 Windungen.

- a) Wie groß müßte die Sekundärwindungszahl für 24 Volt sein?
- b) Für welche Stromstärke müßten die Primär- und Sekundärwicklung ausgelegt werden?
- c) Nach wieviel Windungen müßte die 24 Volt-Wicklung angezapft werden, wenn auch 18 Volt abgegriffen werden sollen?

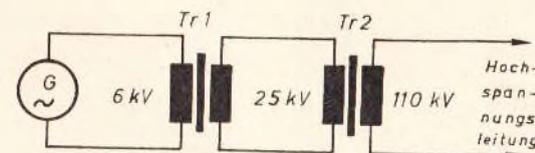
12. Ein Schweißtransformator mit einer Nennleistung von 2750 VA wird an 220 Volt betrieben. Die Primärwicklung besteht aus 500 Windungen, die Sekundärwicklung aus 15 Windungen.

- a) Wie hoch ist die Spannung an der Sekundärwicklung?
- b) 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%.

- a) Wie groß ist sein Übersetzungsverhältnis?
- b) 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. 210)

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

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

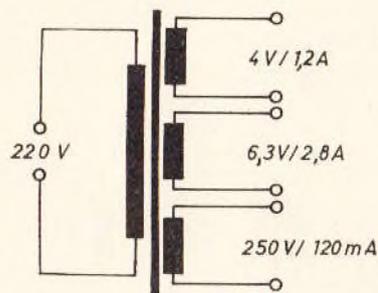
$$3,5 \frac{\text{Ampere}}{\text{mm}^2} \text{ zugelassen wird?}$$

15. Netztransformatoren für Nachrichtengeräte mit Röhren enthalten auf der Sekundärseite mehrere getrennte Wicklungen, da

- a) damit eine galvanische Trennung der verschiedenen Sekundärstromkreise gewährleistet ist und
- b) 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:

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



(Abb. 211)

- a) Wieviel Windungen muß jede der drei Sekundärwicklungen erhalten?
- b) Wie groß ist die Nennleistung des Transformators?
- c) Welche Leistung nimmt der Transformator mit voller Belastung bei einem Wirkungsgrad von 90% auf?
- d) 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 94% 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

$$1,5 \frac{\text{Ampere}}{\text{mm}^2} \text{ zugelassen wird?}$$

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)?

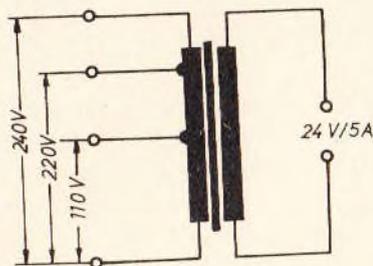
- d) Wie groß ist bei Nennbelastung die Stromstärke in der Primärwicklung?
- e) Welchen Querschnitt und welchen Durchmesser müssen die Wicklungsdrähte für eine zugelassene Stromdichte von

$$1,8 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \text{ erhalten?}$$

18. 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 92%. Die Sekundärwicklung enthält 120 Windungen.



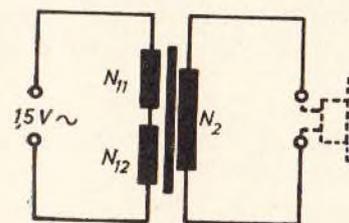
(Abb. 212)

- 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?
19. 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 Dpf kostet?

20. 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?

3. Aufgaben — 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. 213)

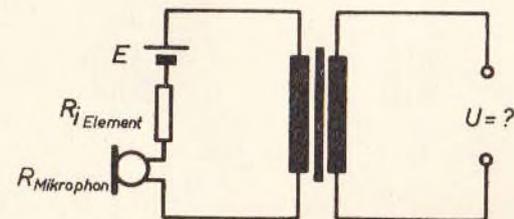
Wie groß ist die Spannung an der Sekundärseite, wenn an den beiden Primärwicklungen zusammen 1,5 Volt Wechselspannung liegen?

2. Die Induktionsspule eines OB-Apparats besitzt folgende Wicklungsdaten:

Primärwicklung 480 Windungen, 5 Ohm,

Sekundärwicklung 2400 Windungen, 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. 214)

- 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.

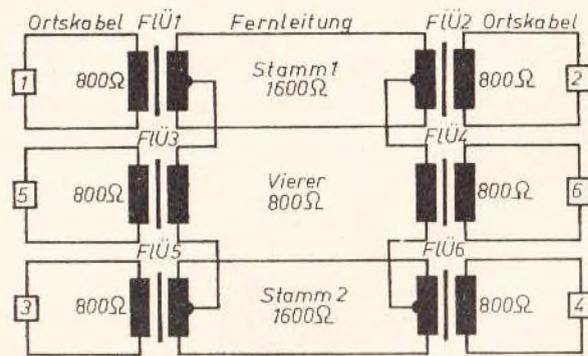
Welches Übersetzungsverhältnis muß der Fernmeldeübertrager besitzen?

4. Welchen Sekundär-Wellenwiderstand hat ein Anpassungsübertrager mit dem Übersetzungsverhältnis 1 : 2,4, wenn sein Eingangs-Wellenwiderstand 670 Ohm beträgt?

5. Bestimme die Übersetzungsverhältnisse folgender Fernmeldeübertrager anhand ihrer Wellenwiderstände!

- a) $Z_1 = 800 \Omega, Z_2 = 1600 \Omega$
- b) $Z_1 = 1440 \Omega, Z_2 = 600 \Omega$
- c) $Z_1 = 1440 \Omega, Z_2 = 300 \Omega$
- d) $Z_1 = 800 \Omega, Z_2 = 400 \Omega$

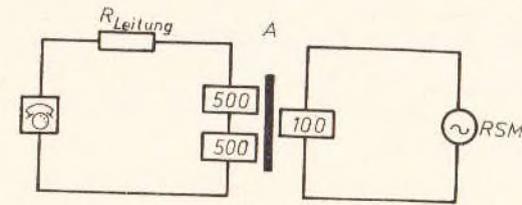
6. In einer Phantomschaltung ergeben sich folgende Wellenwiderstände:



(Abb. 215)

Welche Übersetzungsverhältnisse müssen die sechs Fernmeldeübertrager haben?

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



(Abb. 216)

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?

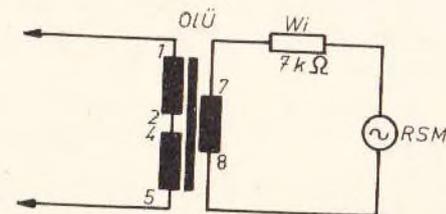
Welche Spannung liegt am Fernsprechapparat, wenn sein Widerstand mit 150 Ohm, der Leitungswiderstand mit 400 Ohm und der Scheinwiderstand der 1000-Ohm-Wicklung des A-Relais mit 7000 Ohm berücksichtigt wird?

8. 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. 217)

- 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 die Wicklungen 1— 2 — 4—5 induziert?

IX. Chemische Wirkung des elektrischen Stromes

1. Galvanisierung; elektrolytische Korrosion

Nach dem Faradayschen Gesetz hängt die beim Stromdurchgang durch einen Elektrolyten ausgeschiedene Stoffmenge vom elektrodurchgangs ab. Die Möglichkeit, mit Hilfe des el. Stroms Stoffe aus Elektrolyten zu scheiden, wird technisch bei der Galvanisierung und zur Reingewinnung von Metallen (Refination) 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
ausgeschiedene Stoffmenge, in Lösung gegangene Stoffmenge	G	P
		$\frac{p}{As}$
elektrochem. Äquivalentgewicht	c	$\frac{p}{As}$
Stromstärke im Elektrolyten	I	A
Zeit des Stromdurchgangs	t	s

Größengleichung

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

Einheitengleichung

$$\left[p = \frac{P}{As} \cdot A \cdot s \right]$$

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:

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

$$t = 5 h = 5 \cdot 3600 s = 18000 s$$

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

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

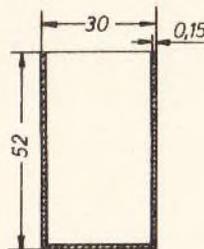
$$G = 0,18 \cdot 300 \cdot 18 = \underline{\underline{972 p}}$$

Die ausgeschiedene Chrommenge beträgt 972 p.

Aufgaben

1. Wieviel p Kupfer werden aus einer Kupfersulfatlösung in 8 Stunden ausgeschieden, wenn die Stromstärke 10 A beträgt?
2. In welcher Zeit werden aus einer Kupfersulfatlösung bei einem Strom von 10 A 15 cm³ Kupfer ausgeschieden?
3. Wieviel kp Chrom werden aus einem Chromsalzbad bei $I = 250 A$ in 8 Stunden ausgeschieden?
4. Ein Kupferblech mit einer Oberfläche von 1 m² soll eine Nickelauflage von 0,2 mm erhalten.
 - a) Wie groß ist das erforderliche Nickelvolumen?
 - b) Wieviel wiegt die benötigte Nickelmenge?
 - c) Welche Zeit wird zur Galvanisierung benötigt, wenn im galvanischen Bad eine Stromstärke von 400 A herrscht?
5. Zur Versilberung von 24 Besteckteilen werden 90 p Silber aufgalvanisiert (90-er Versilberung).
Wie groß muß die Stromstärke im galv. Bad sein, wenn die Auflage in 3 Stunden vorhanden sein soll?

6. Ein Kupferdraht von 3 mm Durchmesser und 50 m Länge soll eine Silberauflage von 0,1 mm Dicke erhalten.
- Wie groß ist das erforderliche Silbergewicht?
 - In welcher Zeit ist die Silberauflage vorhanden, wenn das galv. Bad mit einer Stromstärke von 20 A betrieben wird?
7. Wieviel kp Aluminium werden in einem Elektrolyseofen in 8 Stunden aus Bauxit gewonnen, wenn die Stromstärke 10000 A beträgt?
8. Wieviel Amperestunden sind für die elektrolytische Gewinnung von 1 kp Aluminium erforderlich?
9. Wieviel p Zink werden in einem Zink-Kohle-Element verbraucht, das eine Kapazität von 500 Milliamperestunden hat?
10. Welche Elektrizitätsmenge kann ein Zink-Kohle-Element abgeben, wenn der Zinkbecher folgende Maße hat



(Abb. 218)

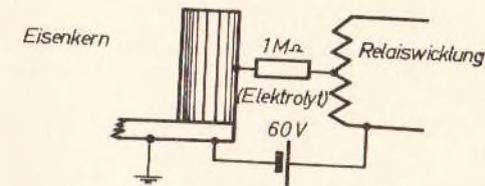
Außendurchmesser = 30 mm
 Höhe = 52 mm und
 Wandstärke = 0,15 mm

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. 219)

- 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?

2. Die EMK von galvanischen Elementen

Die EMK (auch Ursprungspannung 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
elektromotorische Kraft (abgekürzt EMK)	E	V
Potential	U	V

Größengleichung

$$E = U_1 - U_2$$

Einheitengleichung

$$[V = V - V]$$

Hier die wichtigsten Werte der *Voltaschen Spannungsreihe*:

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

$$E = U_1 - U_2 = U_{\text{Zink}} - U_{\text{Kupfer}}$$

$$E = - 0,76 - (+ 0,35)$$

$$E = - 0,76 - 0,35$$

$$E = \underline{\underline{- 1,11 \text{ V}}}$$

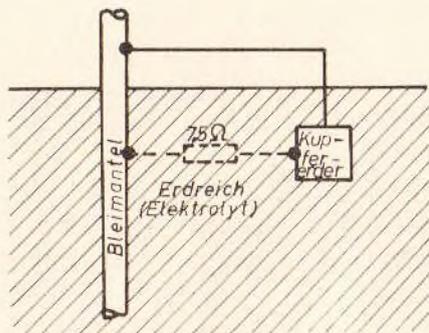
Ein Zink-Kupfer-Element besitzt eine EMK von 1,11 V.
Die Zinkelektrode stellt den Minuspol des Elements dar.

Aufgaben

- In den gebräuchlichen Trockenelementen bestehen die Elektroden aus Zink und Braunstein.
Wie hoch ist die EMK? Welche Elektrode bildet den Plus-, welche den Minuspol?
- 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?)
- Die Elektroden eines Luft-Sauerstoff-Elements bestehen aus Zink und Kohle.
Wie groß ist die EMK?
- 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?
- 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?
- 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?
- 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?
- 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.

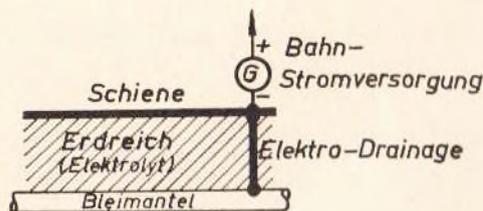
- a) Wie hoch ist die EMK zwischen Kabel-Bleimantel und dem Erder aus Kupfer?
- b) Wie groß ist der durch diese EMK verursachte Strom, wenn der Widerstand des feuchten Erdreichs zwischen Kabel und Erder 7,5 Ohm beträgt? (Die anderen Widerstände können vernachlässigt werden)



(Abb. 220)

- 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. 221)

- 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)?

X. Galvanische Elemente und Sammler

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 Einzelements 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
Gesamt-EMK	E	V
EMK eines Elements	E_1	V
Innenwiderstand	R_i	Ω
Innenwiderstand eines Elements	R_{11}	Ω
Zahl der in Reihe geschalteten Elemente		
Zahl der parallelgeschalteten Elemente	p	—

Größengleichungen

Reihenschaltung

$$\begin{aligned} E &= n \cdot E_1 \\ R_i &= n \cdot R_{i1} \end{aligned}$$

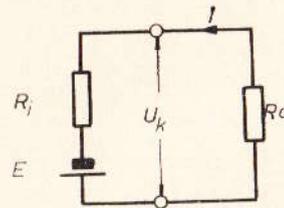
Parallelschaltung

$$\begin{aligned} E &= E_1 \\ R_i &= \frac{R_{i1}}{p} \end{aligned}$$

Gruppenschaltung

$$\begin{aligned} E &= n \cdot E_1 \\ R_i &= \frac{n \cdot E_1}{p} \end{aligned}$$

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. 222)

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

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Gesamtstrom	I	A
innerer Spannungsverlust	U_{vi}	V
Klemmenspannung	U_K	V

Größengleichungen

$$\begin{aligned} I &= \frac{E}{R_i + R_a} \\ U_k &= I \cdot R_a \\ U_k &= E - U_{vi} \\ U_k &= E - I \cdot R_i \end{aligned}$$

Übungsbeispiel

Eine Trockenbatterie aus drei in Reihe geschalteten Zink-Kohle-Elementen mit einer EMK von je 1,5 Volt und einem Innenwiderstand von je 0,25 Ohm wird mit einem Widerstand von 5 Ohm belastet.

Wie groß ist der Strom und welche Spannung liegt dabei am Belastungswiderstand?

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

Gesucht: I , U_k .

Lösung:

$$\begin{aligned} I &= \frac{E}{R_i + R_a} \\ E &= n \cdot E_1 \\ E &= 3 \cdot 1,5 = \underline{4,5 \text{ V}} \\ R_i &= n \cdot R_{i1} \\ R_i &= 3 \cdot 0,25 = \underline{0,75 \Omega} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I &= \frac{4,5}{0,75 + 5} = \frac{4,5}{5,75} \\ I &= \underline{0,7826 \text{ A}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_k &= I \cdot R_a \\ U_k &= 0,7826 \cdot 5 \\ U_k &= \underline{3,913 \text{ V}} \end{aligned}$$

oder

$$\begin{aligned} U_k &= E - U_{vi} \\ U_{vi} &= I \cdot R_i \\ U_{vi} &= 0,7826 \cdot 0,75 = \underline{0,587 \text{ V}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_k &= 4,5 - 0,587 \\ U_k &= \underline{3,913 \text{ V}} \end{aligned}$$

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

Aufgaben

1. An einer Batterie, die aus 4 in Reihe geschalteten Elementen besteht, liegt ein Verbraucherwiderstand von 6 Ω . Jedes Element hat eine EMK von 1,5 V und einen inneren Widerstand von 0,15 Ω .

Wie groß sind I und U_k ?

2. In den Stromkreis zu Aufg. 1 wird ein Amperemeter mit $R_i = 1 \Omega$ geschaltet.
Wie groß sind jetzt der Strom und die Spannung am Verbraucherwiderstand von 6Ω ?
Welcher Strom-Meßfehler ergibt sich durch die Einschaltung des Ampere-meters?
3. Eine Anodenbatterie besteht aus 50 in Reihe geschalteten Trockenelemen-ten mit einer EMK von je 1,5 V und einem R_i von je $0,3 \Omega$.
a) Welchen Wert darf der Verbraucherwiderstand haben, wenn der zulässige Strom 150 mA betragen darf?
b) Wie groß ist die Klemmenspannung der Batterie bei der zulässigen Belastung?
4. 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?
5. 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
a) die Klemmenspannung der Batterie,
b) der Spannungsverlust auf der Entladeleitung,
c) die Spannung am Gestellrahmen?
d) Wieviele Gegenzellen 0,4 V müßten eingeschaltet werden, wenn die Spannung am Gestellrahmen höchstens 60 V betragen darf?
6. Die Amtsbatterie für eine VStW hat eine Nennspannung von 60 V. Der innere Widerstand der gesamten Batterie und der Widerstand der Batterie-leitung 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.
a) Wieviele Knopfzellen müssen in Reihe geschaltet werden, um die erforderliche Spannung von 8 V zu erzielen?
b) 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.
a) Wie groß ist der innere Widerstand der Batterie?
b) 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:
A) Spannungsmessung im unbelasteten Zustand ergibt 4,55 V.
B) Spannungs- und Strommessung im belasteten Zustand ergeben $U_k = 4,4 \text{ V}$ und $I = 200 \text{ mA}$.
a) Wie groß ist der innere Widerstand der Batterie?
b) Mit welchem Widerstand wurde die Batterie belastet?
10. Wie groß ist der Ruhestrom im Mikrofonstromkreis eines Fernsprechappa-rates 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 Induk-tionsspulenwicklung = 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 ge-schaltet:
1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 Ohm.

- a) 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!
- b) Zeichnen Sie das Liniendiagramm für die Anpassung (abgegebene Leistung in Abhängigkeit vom Belastungswiderstand)!
(Maßstab: 1 cm = 10 Ohm, 1 cm = 1 Watt)
- c) 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.
- a) Wie groß sind Gesamt-EMK und innerer Gesamtwiderstand der Gruppenschaltung?
- b) 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.
- a) Welche EMK hat die Gruppenschaltung?
- b) Wie groß ist ihr gesamter innerer Widerstand?
- c) 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.

- a) 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?
- b) Wie groß ist die Klemmenspannung der gesamten Batterie bei der Belastung durch die Versuchsanordnung?

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
Kapazität	K	Ah
Stromstärke	I	A
Zeit	t	h

Größengleichung

$$K = I \cdot t$$

Einheitengleichung

$$[Ah = A \cdot h]$$

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

Begriff	Formelzeichen	Einheit
abgegebene Amperestundenzahl	K	Ah
aufgenommene Amperestundenzahl	K_{zu}	Ah
Güteverhältnis	η_{Ah} od. q	—
Wattstundenwirkungsgrad	η_{Wh}	—
el. Arbeit	A	Wh

Größengleichungen

$\eta_{Ah} = q = \frac{K}{K_{zu}}$
$\eta_{Wh} = \frac{A_{ab}}{A_{zu}}$

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 elektr. Energie ab. Dabei beträgt die mittlere Entladespannung 1,9 V.

- Wie groß ist die Kapazität des Sammlers?
- Welchen Amperestunden-Wirkungsgrad (Güeverhältnis) 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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 Trockenbatterie 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 10-stündiger Entladung entnommen werden?
- 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 (Güeverhältnis) des Sammlers?
- 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?
- 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

- 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?
- b) 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?
- a) Wie hoch wird der Strombedarf, wenn die VStW mit 9999 Anschlüssen voll beschaltet ist?
- b) 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.
- a) Wie groß ist die Kapazität der Batterie?
- b) 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.
- a) Welche Kapazität hat die Batterie?

b) Wie groß ist die von ihr abgegebene elektrische Arbeit?

c) Was würde eine Batterie-Kilowattstunde kosten, wenn der Preis der Batterie 7,50 DM beträgt?

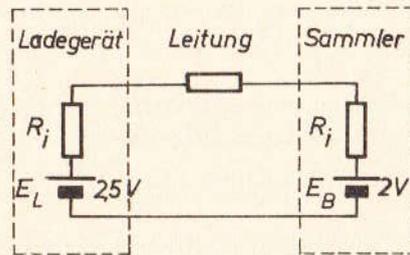
12. Ein Bleisammler hat eine Kapazität von 72 Ah und ein Güteverhältnis von 0,9.
- Mit welcher Stromstärke darf der Sammler höchstens geladen werden, wenn die Ladezeit von 10 Stunden nicht unterschritten werden darf?
13. Ein Sammler, dessen Amperestunden-Wirkungsgrad 0,89 beträgt, ist nach 35stündiger 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. Die 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.
- a) Wie lange kann eine Glühlampe mit 100 mA Stromaufnahme mit der Batterie betrieben werden?
- b) Welche elektrische Arbeit kann die Batterie abgeben, wenn die mittlere Entladespannung 2,45 Volt beträgt?
- c) 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?

3. Batterie-Ladung 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

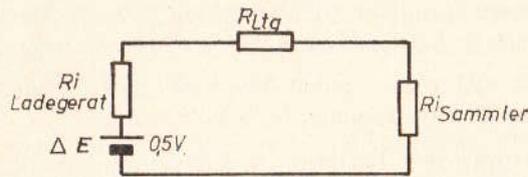
rie verbunden wird. Die beiden Spannungsquellen sind im Gleichstromkreis entgegengesetzt gerichtet. Als treibende Spannung ist also ausschließlich der Spannungsunterschied (Potentialdifferenz) der beiden Spannungsquellen vorhanden.

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



(Abb. 223)

Für den Gleichstromkreis kann daher auch folgendes Ersatzschaltbild gezeichnet werden:



(Abb. 224)

Begriff	Formelzeichen	Einheit
treibende oder wirksame Spannung	ΔE	V
EMK der Spannungsquellen	E_L, E_B	V
Ladestromstärke	I_L	A
Gesamtwiderstand im Stromkreis	R_g	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 Bleisammlerbattery aus 6 in Reihe geschalteten Zellen soll mit 5 Ampere 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: $n = 6, E_B = 12$ V, $R_{i1} = 0,035 \frac{\Omega}{\text{Zelle}}$
 Ladegerät: $R_i = 0,14 \Omega$.
 Leitungen: $R_{Ltg} = 0,25 \Omega$.
 Ladestromstärke $I_L = 5$ 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.

a) Aufgaben — Ladung von Sammlern

1. Eine Sammlerbatteie 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.

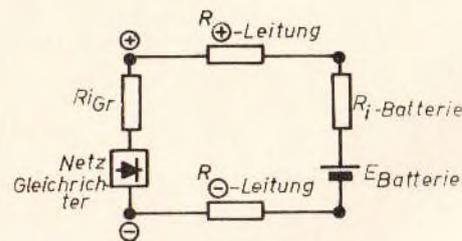
- a) Wie groß muß der Vorwiderstand sein?
- b) Welcher Leistungsverlust tritt am Vorwiderstand auf?

2. Für die Ladung einer 60 V-Sammlerbatteie, deren Kapazität 100 Ampere-stunden beträgt, steht ein Ladegerät mit einer Leerlaufspannung von 80 V und einem inneren Widerstand von 0,02 Ohm zur Verfügung. Die Batterie hat einen inneren Widerstand von 0,03 Ohm und einen Amperestunden-wirkungsgrad 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. 225)

Die Sammlerbatteie soll mit 12 Ampere geladen werden.

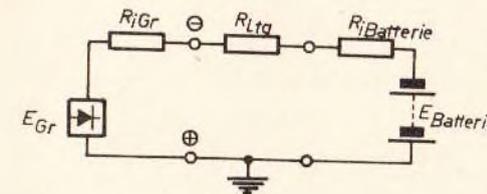
- a) Wie groß muß die Leerlaufspannung (EMK) des Netzgleichrichters sein?
- b) Welche Leistung muß der Netzgleichrichter abgeben?

- 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. 226)

- 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 Bleisammlerbatteie einer Nebenstellenanlage besteht aus 13 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 Batterie-ladeleitung einen Widerstand von 0,2 Ohm hat und die Batterie mit 6 Ampere bis zu einer Zellenspannung von 2,4 Volt geladen werden soll?

b) Aufgaben — Batterieentladung

1. Der Spannungsverlust auf einer 2×18 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 58,5 Volt sinken kann. Die höchste Stromaufnahme der VStW 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?

D. Anwendungsbeispiele

I. Relais und Relaisschaltungen

1. Allgemeines

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

Für die überschlägliche Bestimmung der Anzugsbedingung eines Fernmelde-relais 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.

2. 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. Im Betrieb 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?

4. An einem Relais werden folgende Werte gemessen:

a) bei 20° C $U = 60$ Volt, $I = 75$ Milliampere,

b) nach längerem Betrieb $U = 60$ Volt, $I = 65$ Milliampere

Auf welche Temperatur hat sich die Relaiswicklung aus Kupferdraht im Betrieb erwärmt?

5. 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?

6. Für ein Relais, das bei 24 Volt-Betrieb 80 Milliampere Anzugstrom benötigt, soll ein Vorwiderstand für 60 Volt-Betrieb ermittelt werden.

a) Welchen Widerstandswert muß er besitzen?

b) Für welche Belastbarkeit in Watt muß der Vorwiderstand ausgelegt sein?

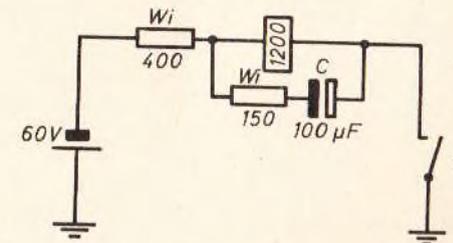
7. Um die Induktivität der Wicklung eines Wechselstromphasenrelais zu ermitteln, werden zwei Messungen durchgeführt:

1. Messung an Gleichspannung: $U = 60$ Volt,
 $I = 86,6$ mA,

2. Messung an Wechselspannung: $U = 48$ Volt,
 $I = 32$ mA,
 $f = 50$ Hz

Welche Induktivität hat die Wicklung?

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



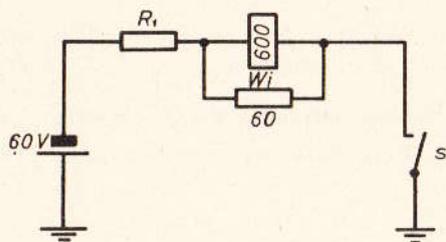
(Abb. 227)

- a) Welche Ladespannung erhält der Kondensator?
- b) Wie groß ist der Relaisstrom unmittelbar nach dem Öffnen des s-Kontaktes?

9. 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?

10. Das Relais in folgender Schaltung zieht bei einem Strom von 50 mA an.



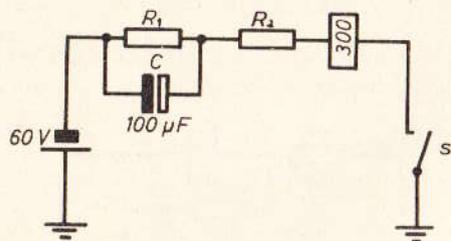
(Abb. 228)

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. 229)

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

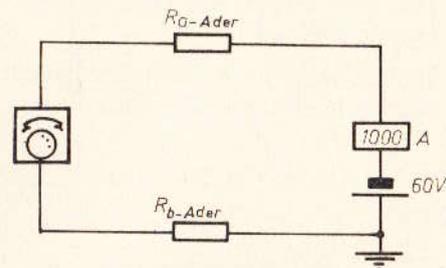
(Was ist bei der Bemessung der Kondensatorkapazität zu beachten?)

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

Im Stromkreis liegen:

die Amtsbatterie mit $U = 60$ Volt,

das Speiserelais mit $R = 1000$ Ohm bei 12 200 Windungen, der Leitungswiderstand R_{Leitung} und der Widerstand des Fernsprechapparates mit $R = 150$ Ohm.

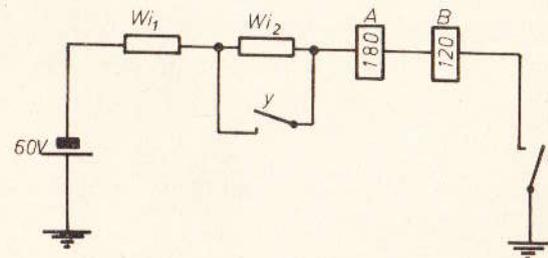


(Abb. 230)

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

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

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



(Abb. 231)

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.

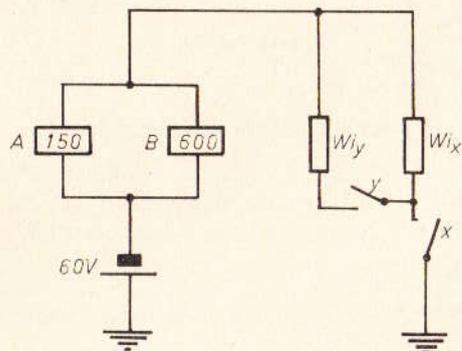
Für die Relaisschaltung gilt folgende Funktion:

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.

- Wie groß müssen die Widerstände W_{i1} und W_{i2} bemessen werden?
- Prüfen Sie, ob die Fehlstrombedingungen für das B-Relais beim Schließen des x-Kontaktes eingehalten werden!

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



A-Relais:
Anzugsbedingung 40 mA

B-Relais:
Anzugsbedingung 40 mA

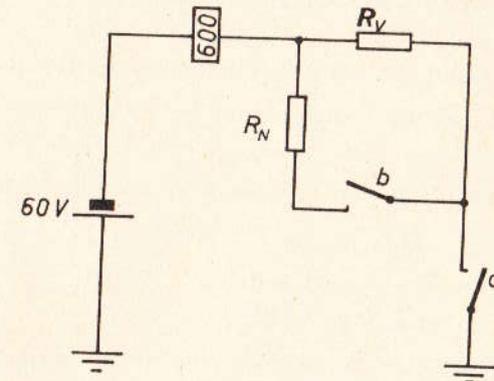
(Abb. 232)

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

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

Fehlstrom bei 50 mA,

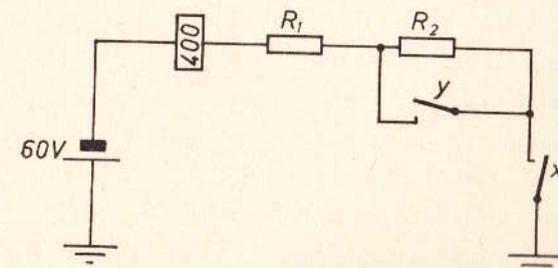
Anzug bei 80 mA.



(Abb. 233)

- Wie groß muß R_V sein, damit das Relais beim Schließen des a-Kontaktes 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-Kontaktes 100 Amperewindungen (Fehlstrombedingung),
 - beim zusätzlichen Schließen des y-Kontaktes 240 Amperewindungen (Anzugsbedingung) erhält?

Das Relais enthält eine Wicklung aus 3200 Windungen.



(Abb. 234)

17. 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?

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

- 4 Arbeitskontakte
- 1 Ruhekontakt und
- 1 Umschaltkontakt.

Die Wicklung besteht aus 12000 Windungen mit einem Widerstand von 1500 Ohm.

- Welche AW-Zahl ist zum Anzug mindestens erforderlich?
- Wie groß muß der Anzugstrom sein?
- Welche Spannung muß dabei am P-Relais liegen?
- Kann das Relais anziehen, wenn es eine Spannung von 5,6 Volt erhält?
- Wie groß müssen Strom und Spannung am P-Relais bei zweifacher Sicherheit sein?

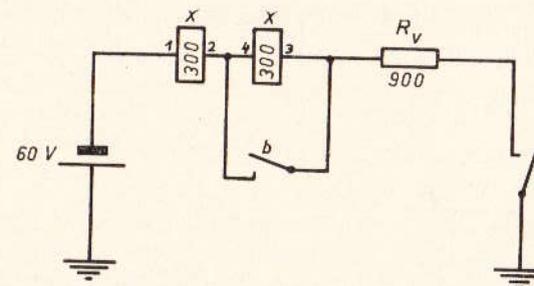
19. Das A-Relais im I.GW 40 ist mit folgenden Kontakten bestückt:

- 2 Arbeitskontakte,
- 2 Ruhekontakte.

Es enthält eine Reihenschaltung aus zwei Wicklungen mit je 6100 Windungen mit einem Widerstand von je 500 Ohm.

- Wie viele Amperewindungen benötigt das Relais zum Anziehen?
- Wie groß muß der Anzugstrom mindestens sein?
- Wie groß müßte der Anzugstrom unter Berücksichtigung einer 2,5-fachen Sicherheit sein?
- Welche Spannung muß nach c) am Relais liegen?
- Wie groß darf der Vorwiderstand zum Relais nach c) bei 60 Volt-Betrieb sein?

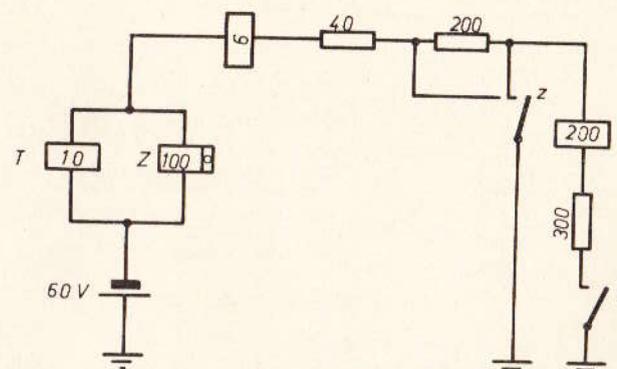
20. Das Differentialrelais in folgender Schaltung benötigt zum Anziehen 125 Amperewindungen. Die Relaiswicklungen 1—2 und 3—4 enthalten je 5210 Windungen.



(Abb. 235)

- Wie groß ist die wirksame Amperewindungszahl für das X-Relais bei geschlossenem a-Kontakt?
- Wie verändert sich die wirksame Amperewindungszahl, wenn a- und b-Kontakt geschlossen sind?
- Wie groß ist die Anzugsicherheit für das X-Relais?
- Wie groß darf R_v werden, damit das X-Relais gerade noch anziehen kann?

21. Für die Zählung ergibt sich in einer Fernsprechverbindung folgender Stromkreis:



Zähler Z 100 Ω :

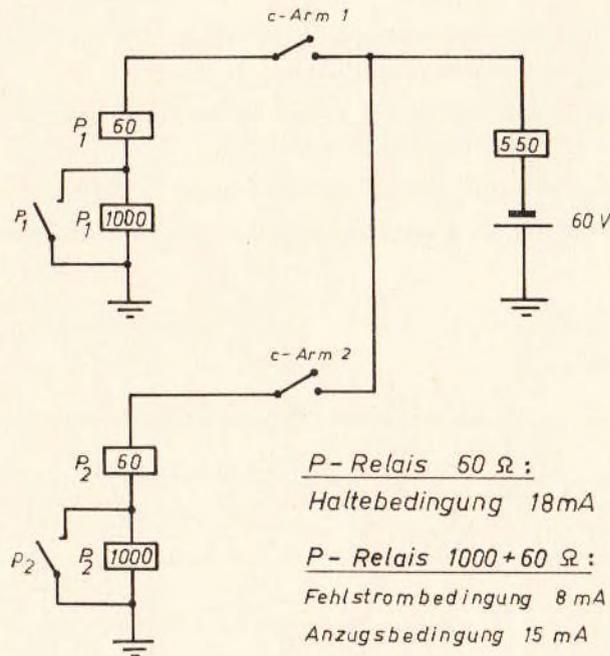
Anzugsbedingung 46 mA

(Abb. 236)

- 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?

22. 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:

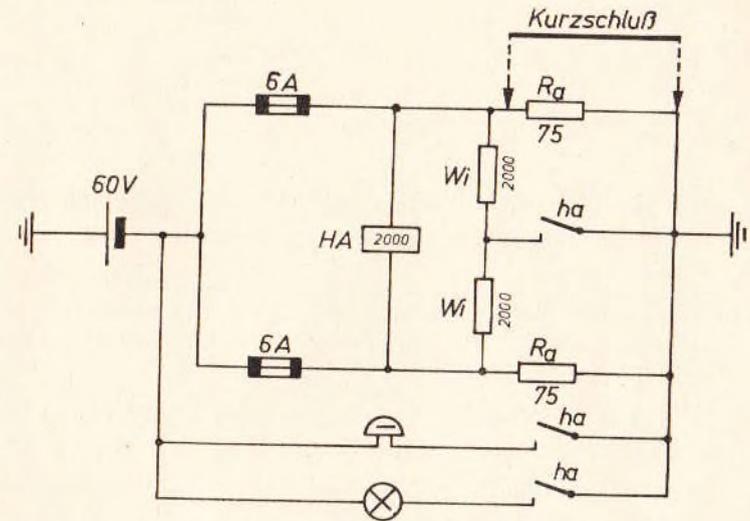


(Abb. 237)

- a) Wie groß sind Spannung und Strom für das P₁-Relais im Augenblick des Aufprüfens (c-Arm 1 durchgeschaltet)?
- b) Welcher Strom fließt nach dem Ansprechen des P₁-Relais über die noch im Stromkreis liegende 60-Ohm-Wicklung?

- c) Wie groß ist die Spannung am P₁-Relais?
- d) Durch den c-Arm 2 wird das P₂-Relais aufgeschaltet. Wie groß ist der Strom, den das P₂-Relais (60 + 1000 Ohm) erhält?
- e) Kann das P₂-Relais anziehen?

23. Untenstehende Schaltung stellt die Signalisierung eines Sicherungsausfalls (Abzweigsicherung) dar.

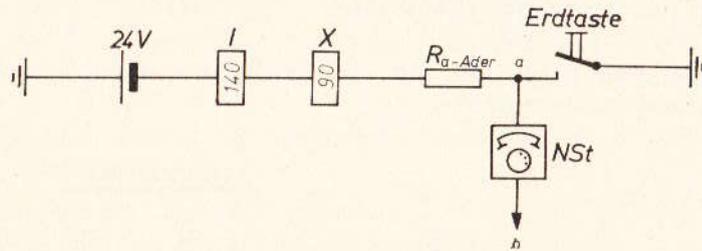


(Abb. 238)

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?
24. 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 Amperewindungen. Seine Wicklung besteht aus 2900 Windungen Cu-Draht.

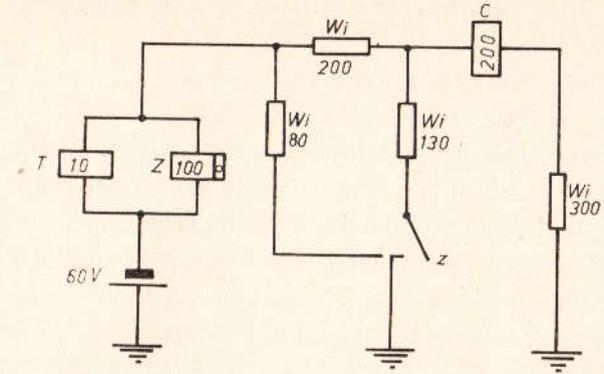


(Abb. 239)

- Wie groß darf der Widerstand der a-Ader der Anschlußleitung sein, damit die Anzugsbedingung für das X-Relais noch gerade erfüllt wird?
- Auf welchen Wert ändert sich der zulässige Widerstand der a-Ader, wenn für das X-Relais mindestens 1,5-fache Sicherheit verlangt wird?
- Wie groß ist demnach der zulässige Schleifenwiderstand der Anschlußleitung?
- Wie lang darf die Kabeldoppelader 0,6 mm Durchmesser für eine außenliegende Nebenstelle sein?
- Bei einem gegebenen Leitungswiderstand von 375 Ohm wird ein Zusatzspeisegerät 20 Volt eingesetzt.
Wie viele AW erhält das X-Relais jetzt?
- Wie groß ist die Sicherheit im Beispiel e)?

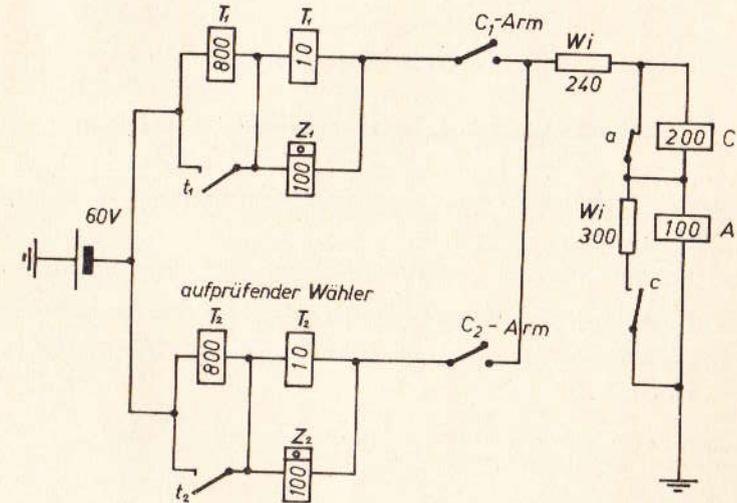
25. Wie groß sind die Ströme im Z-Relais des umstehend dargestellten Zählstromkreises (I.VW — I.GW 50) bei geöffnetem und geschlossenem z-Kontakt?

- Wie verändert sich der Gesamtstrom im Zählstromkreis, wenn die beiden z-Kontakte nacheinander betätigt werden?
- 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. 240)

26. Berechnen Sie für folgende Relaischaltung (Aufprüfungsvorgang):



T-Relais 800 + 10 Ω :
 Anzugsbedingung 42 mA
 Fehlstrombedingung 24 mA

T-Relais 10 Ω :
 Haltebedingung 52 mA

(Abb. 241)

- den Gesamtwiderstand im Prüfstromkreis bei geschlossenem c_1 -Arm.

- 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 geöffnet,
 - 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?)

II. Fernmeldeleitungen

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 = 1235 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 | 1840 m Kabel mit 0,6 mm Aderndurchm., |
| b) Oberird. Fernlinie | 2630 m Freileitung 2 mm Bronze, |
| c) Hochspannungskreuzung | 160 m Kabel mit 0,8 mm Aderndurchm., |
| d) Oberird. Fernlinie | 8920 m Freileitung 2 mm Bronze, |

- e) ON B-Dorf

1450 m Kabel mit 0,8 mm Aderndurchm.
3560 m Kabel mit 0,6 mm Aderndurchm.

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 500 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?

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 von 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.

- In welchem Leitungsabschnitt liegt der Fehler?
 - 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.
- Welcher Isolationswiderstand ergibt sich für 1 km Doppelleitung, wenn man einen Mastabstand von 50 m zugrunde legt?
 - 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?

2. Leitungskapazität, Leitungsinduktivität

1. Wie groß ist die Kapazität einer 18,7 km langen Bezirkskabeldoppelader mit 0,9 mm Aderndurchmesser, wenn die Leitungskonstante $C = 34 \text{ nF}/\text{km}$ beträgt?

2. Die Kapazität einer 3,2 km langen Ortskabeldoppelader mit 0,6 mm Aderndurchmesser wird mit 97,5 nF ermittelt.

Welchen Wert hat die Leitungskonstante C für dieses Kabel?

3. Eine 92 km lange Fernkabeldoppelader ist durch Unterbrechung gestört. Die Leitungskonstante C für den betreffenden Kabeltyp beträgt $36 \text{ nF}/\text{km}$. 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 Kabeldoppeladern mit 0,6 bis 1,4 mm Aderndurchmesser $0,7 \text{ mH}/\text{km}$.

a) Wie groß ist die Gesamtinduktivität einer 11,9 km langen Bezirkskabeldoppelader 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 Leitungskonstanten gegeben:

Schleifenwiderstand $R = 32,5 \text{ Ohm}/\text{km}$,
Leitungsinduktivität $L = 0,7 \text{ mH}/\text{km}$,

Leitungskapazität $C = 35 \text{ nF/km}$,

Ableitung $G = 1 \text{ } \mu\text{S/km}$.

Die Kabeldoppeladern sind in Abständen von 1,7 km (Anlauf- und Auslauf-feld berücksichtigen!) mit 140 mH bespult. Der Wirkwiderstand der einzelnen Spulen beträgt 8 Ohm:

Bestimme für eine 136 km lange bespulte und unbespulte Doppelader:

- den gesamten Schleifenwiderstand,
- die Gesamtinduktivität,
- die Leitungskapazität und
- die Ableitung!

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 Leitungs-konstanten 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 Leitungs-konstanten betragen $R = 5,3 \text{ Ohm/km}$, $L = 2,0 \text{ mH/km}$ und $C = 6,0 \text{ nF/km}$.

Gegeben: $R = 5,3 \text{ } \Omega/\text{km}$, $L = 2,0 \text{ mH/km}$, $C = 6,0 \text{ nF/km}$.

Gesucht: Z .

Lösung:

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$L = 2,0 \text{ mH} = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ H}$$

$$C = 6,0 \text{ nF} = 6,0 \cdot 10^{-9} \text{ F}$$

$$Z = \sqrt{\frac{2,0 \cdot 10^{-3}}{6,0 \cdot 10^{-9}}} = \sqrt{\frac{2,0 \cdot 10^6}{6,0}}$$

$$Z = \sqrt{333333} = \underline{\underline{578 \text{ } \Omega}}$$

Die Freileitung besitzt einen Wellenwiderstand von 578 Ω .

Aufgaben

- Bestimmen Sie den Wellenwiderstand (800 Hz) für eine Ortskabel-doppelader mit 0,6 mm Aderndurchmesser!

$$R = 130 \text{ Ohm/km}, L = 0,7 \text{ mH/km}, C = 31 \text{ nF/km}.$$

- Wie groß ist der Wellenwiderstand (800 Hz) einer Freileitung mit 1,5 mm Leitungsdurchmesser, wenn

$$R = 31,4 \text{ Ohm/km},$$

$$L = 2,3 \text{ mH/km und}$$

$$C = 5,1 \text{ nF/km betragen?}$$

- Welchen Wellenwiderstand hat eine bespulte Bezirkskabel-doppelader mit 0,9 mm Aderndurchmesser? Die Leitungs-konstanten betragen:

$$R = 51,6 \text{ Ohm/km},$$

$$L = 0,7 \text{ mH/km und}$$

$$C = 34 \text{ nF/km}.$$

Der Spulenabstand beträgt 1,7 km bei einer Induktivität von 80 mH je Spule.

- Wie groß ist der Wellenwiderstand einer für Rundfunkübertragungszwecke vorgesehenen unbespulten Bezirkskabel-doppelader mit den Leitungs-konstanten nach Aufg. 3?

5. Die Rundfunkleitung in einem Fernkabel mit 1,4 mm Aderndurchmesser ist bei einem Spulenabstand von 1,7 km mit 3,2 mH bespult. Die Leitungs-konstanten für die 1,4 mm Kabeldoppelader betragen:

$$R = 21,3 \text{ Ohm/km,}$$

$$L = 0,7 \text{ mH/km und}$$

$$C = 36 \text{ nF/km.}$$

Welchen Wellenwiderstand hat die Rundfunkleitung?

6. Die Leitungskonstanten für einen Vierer in einem mittelschwer bespulten Bezirkskabel mit 0,9 mm Aderndurchmesser betragen:

$$R = 25,8 \text{ Ohm/km,}$$

$$L = 0,4 \text{ mH/km und}$$

$$C = 54 \text{ nF/km.}$$

Der Vierer ist bei einem Spulenabstand von 1,7 km mit 40 mH bespult. Welchen Wellenwiderstand hat der Vierer?

4. Leitungsdämpfung

Die Dämpfungskonstante „ a “ läßt sich für eine **unbespulte Kabeldoppelader** nach der Näherungsformel

$$a = \sqrt{\frac{R \cdot \omega C}{2}} \quad \text{Maßeinheit } \frac{\text{N}}{\text{km}} \quad \left(\frac{\text{Neper}}{\text{km}} \right)$$

und für eine **Freileitungs-Doppelleitung** sowie eine **bespulte Kabeldoppelader** nach der Näherungsformel

$$a = \frac{R}{2} \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} \quad \text{Maßeinheit } \frac{\text{N}}{\text{km}}$$

bestimmen.

In diese Formeln sind für R , L und C die Werte für einen km Doppelleitung in den Grundeinheiten Ohm, Henry und Farad einzusetzen. Bei bespulten Doppelleitungen ist der auf einen km entfallende Anteil der Spuleninduktivitäten zu berücksichtigen.

Als Bezugshfrequenz gilt für das Fernsprechen 800 Hz (ω_{800} angenähert = 5000). Die Gesamtdämpfung einer Leitung von der Länge „ l “ km ergibt sich, wenn man die Dämpfungskonstante mit der Leitungslänge multipliziert.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Leitungsdämpfung	a	N (Neper)
Dämpfungskonstante	a	$\frac{\text{N}}{\text{km}}$
Leitungslänge	l	km

Größengleichung

$$a = a \cdot l$$

Einheitengleichung

$$\left[\text{N} = \frac{\text{N}}{\text{km}} \cdot \text{km} \right]$$

Übungsbeispiel

Wie groß ist die Dämpfungskonstante für eine Kabeldoppelader mit 0,4 mm Aderndurchmesser in einem unbespulten Ortskabel?

Die Leitungskonstanten betragen:

$$R = 260 \text{ Ohm/km,}$$

$$C = 27,5 \text{ nF/km und}$$

$$L = 0,77 \text{ mH/km.}$$

Gegeben: $R = 260 \text{ } \Omega/\text{km}$, $C = 27,5 \text{ nF/km}$, $L = 0,77 \text{ mH/km}$,
 $f = 800 \text{ Hz}$.

Gesucht: a

$$a = \sqrt{\frac{R \cdot \omega C}{2}}$$

$$C = 27,5 \text{ nF/km} = 27,5 \cdot 10^{-9} \text{ F/km}$$

$$\omega_{800} = 5000$$

$$a = \sqrt{\frac{260 \cdot 5000 \cdot 27,5 \cdot 10^{-9}}{2}}$$

$$a = \sqrt{\frac{2,6 \cdot 5 \cdot 27,5 \cdot 10^{-4}}{2}}$$

$$a = \sqrt{\frac{357,5 \cdot 10^{-4}}{2}}$$

$$\alpha = \sqrt{0,017875}$$

$$\alpha = 0,1336 \frac{\text{N}}{\text{km}} = \underline{\underline{134 \frac{\text{mN}}{\text{km}}}}$$

Die Dämpfungskonstante für eine unbespulte Ortskabel-Doppelader mit 0,4 mm Durchmesser beträgt $134 \frac{\text{mN}}{\text{km}}$.

Aufgaben

- Berechnen Sie die Dämpfungskonstante einer Ortskabel-Doppelader mit 0,6 mm Aderndurchmesser! (Leitungskonstanten siehe Aufg. 3.1!)
- Welche kilometrische Dämpfung hat eine Freileitung mit 1,5 mm Leitungsdurchmesser? (Leitungskonstanten siehe Aufg. 3.2)
- Wie groß ist die Dämpfungskonstante einer unbespulten Bezirkskabel-Doppelader mit 0,9 mm Aderndurchmesser?
(Leitungskonstanten siehe Aufg. 3.3!)
- 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!)
- Berechnen Sie mit Hilfe der nach Aufg. 3 und 4 ermittelten Dämpfungskonstanten 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?
- 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 Dämpfungskonstanten 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.

- An einem 175 km langen mittelschwer bespulten Fernkabel mit 1,2 mm Aderndurchmesser wird eine Gesamtdämpfung von 2,3 Neper gemessen.
Welche Dämpfungskonstante besitzt das Kabel?
- Eine 9,8 km lange oberirdische Fernleitung mit 2 mm Leitungsdurchmesser ($R = 17,6 \text{ Ohm/km}$, $L = 2,2 \text{ mH/km}$, $C = 5,4 \text{ nF/km}$) wird durch ein 10,2 km langes bespultes Bezirkskabel mit 0,9 mm Aderndurchmesser ersetzt ($R = 51,6 \text{ Ohm/km}$, $L = 0,7 \text{ mH/km}$, $C = 34 \text{ nF/km}$, Spulenabstand 1,7 km, Spuleninduktivität 80 mH).
Um welchen Wert verändert sich die Gesamtdämpfung der Fernmeldeverbindung?
- Eine Bezirkskabel-Doppelader mit 0,8 mm Aderndurchmesser soll nach Bespulation in Abständen von 1,7 km eine Dämpfungskonstante von höchstens 40 mN/km haben.
Die Leitungskonstanten betragen: $R = 65,7 \text{ Ohm/km}$, $L = 0,7 \text{ mH/km}$, $C = 33 \text{ nF/km}$.
 - Wie groß müßte die Induktivität je Kilometer Leitung sein?
 - Um wieviel mH müßte die Induktivität der unbespulten Doppelader je Kilometer erhöht werden?
 - Welche Induktivität müßten demnach die zusätzlich eingebauten Spulen unter Berücksichtigung des Spulenabstands von 1,7 km haben?

5. Grenzfrequenz

Die Leitungskonstanten — 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
Grenzfrequenz	f_0	Hz
Induktivität eines Spulenfeldes	L_0	H
Kapazität eines Spulenfeldes	C_0	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 Kabel Doppelader mit 1,4 mm Aderndurchmesser?

Die Leitungskonstanten 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 .

Lösung:

$$f_0 = \frac{1}{\pi \sqrt{L_0 \cdot C_0}}$$

$$L_0 = 1,7 \cdot L + L_p$$

$$L_0 = 1,7 \cdot 0,7 + 140 = 1,19 + 140$$

$$L_0 = 141,2 \text{ mH} \approx \underline{141 \cdot 10^{-3} \text{ H}}$$

$$C_0 = 1,7 \cdot C$$

$$C_0 = 1,7 \cdot 36 = 61,2 \text{ nF}$$

$$C_0 = \underline{61,2 \cdot 10^{-9} \text{ F}}$$

$$f_0 = \frac{1}{\pi \sqrt{141 \cdot 10^{-3} \cdot 61,2 \cdot 10^{-9}}}$$

$$f_0 = \frac{1}{\pi \sqrt{8630 \cdot 10^{-12}}}$$

$$f_0 = \frac{1}{\pi \cdot 93 \cdot 10^{-6}} = \frac{10^6}{292}$$

$$f_0 = \underline{\underline{3420 \text{ Hz}}}$$

Die Grenzfrequenz der Kabel Doppelader beträgt 3420 Hz.

Aufgaben

1. Bestimmen Sie die Grenzfrequenz einer bespulten Bezirkskabel-Doppelader mit 0,9 mm Aderndurchmesser!

Spulenabstand $s = 1,7 \text{ km}$,

Spuleninduktivität $L_p = 80 \text{ mH}$,

Leitungsinduktivität $L = 0,7 \text{ mH/km}$,

Leitungskapazität $C = 34 \text{ nF/km}$.

2. Wie hoch liegt die Grenzfrequenz einer Bezirkskabel-Doppelader (Aufg. 1), wenn sie nicht bespult ist? (Setze für L_0 und C_0 die Werte für 1,7 km Leitungslänge ein!)

3. Welche Grenzfrequenz ergibt sich für eine Kabel Doppelader mit 1,4 mm Aderndurchmesser, die nach älterer Norm in 2'km-Spulenabständen mit 200 mH bespult ist?

Leitungsinduktivität $L = 0,7 \text{ mH/km}$,

Leitungskapazität $C = 36 \text{ nF/km}$.

4. Die sehr leicht bespulte Rundfunkübertragungsleitung 1,4 mm in einem Fernkabel hat folgende Daten:

Spulenabstand $s = 1,7 \text{ km}$,

Spuleninduktivität $L_p = 3,2 \text{ mH}$,

Leitungsinduktivität $L = 0,7 \text{ mH/km}$,

Leitungskapazität $C = 36 \text{ nF/km}$.

Wie hoch liegt die Grenzfrequenz der Rundfunkübertragungsleitung?

5. 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 $\frac{3400}{0,7} \approx 4800$ 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 Leitungskonstanten betragen:

$$R = 51,6 \text{ Ohm/km}$$

$$L = 0,7 \text{ mH/km und}$$

$$C = 34 \text{ nF/km.}$$

III. Linientechnik

- Bestimmen Sie das Gewicht eines einzügigen Kabelkanalformsteins! Die Maße betragen (Länge \times Breite \times Höhe) $100 \times 15 \times 15$ cm. Der Zug hat einen Durchmesser von 10 cm.
- Welches Gewicht hat ein dreizügiger Kabelkanalformstein mit den Maßen (Länge \times Breite \times Höhe) $100 \times 38 \times 15$ cm. Der Durchmesser der Züge beträgt je 10 cm.
- Wieviel wiegt ein Holzmast 7×16 mit den Maßen:

$$\begin{aligned} \text{Länge} &= 7 \text{ m} \\ \text{Fußdurchmesser} &= 16 \text{ cm} \\ \text{Zopfdurchmesser} &= 12 \text{ cm?} \end{aligned}$$
- 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?

5. Welches Gewicht hat ein Holzmast 8×18 mit den Maßen:

$$\text{Länge} = 8 \text{ m}$$

$$\text{Fußdurchmesser} = 18 \text{ cm}$$

$$\text{Zopfdurchmesser} = 13 \text{ cm?}$$

- Ein Vertragsunternehmer will mit einem Lastkraftwagen mit 3,5 t Tragkraft vierzügige Kabelkanalformsteine an eine Baustelle transportieren. Die Maße der vierzügigen Kabelformsteine betragen (Länge \times Breite \times Höhe) $100 \times 50 \times 15$ cm. Zugdurchmesser = 10 cm. Wie viele vierzügige Kabelkanalformsteine dürfen auf den Lkw geladen werden?
- Der Mastenanhängen eines Bautrupplkw darf mit $3/4$ Tonnen beladen werden. Wieviele Holzmasten 6×15 mit den Maßen

$$\begin{aligned} \text{Länge} &= 6 \text{ m} \\ \text{Fußdurchmesser} &= 15 \text{ cm} \\ \text{Zopfdurchmesser} &= 12 \text{ cm} \end{aligned}$$
 dürfen höchstens auf den Mastenanhängen geladen werden?
- Wie groß ist das Gewicht von 1 km Doppelleitung aus Bronzedraht mit 1,5 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 mm Aderndurchmesser?
- Wieviel Kilopond Blei enthält der Bleimantel eines 100-paarigen Ortskabels von 1 Kilometer Länge, wenn der Bleimantel folgende Abmessungen hat:

$$\begin{aligned} \text{Außendurchmesser} &= 30,5 \text{ mm} \\ \text{Dicke des Bleimantels} &= 1,5 \text{ mm?} \end{aligned}$$
- Beim Abbruch einer oberirdischen Fernmeldelinie wurden 650 Kilopond Bronzedraht mit 1,5 mm Durchmesser gewonnen. Wieviel Meter Doppelleitung sind abgebrochen worden?
- Wieviel Meter Bronzedraht 1,5 mm Durchmesser können aus einem Bronzestück mit den Maßen $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 75 \text{ cm}$ hergestellt werden?

13. Auf einem Bund Schlauchleitung mit einem mittleren Durchmesser von 50 cm befinden sich noch 40 Windungen.

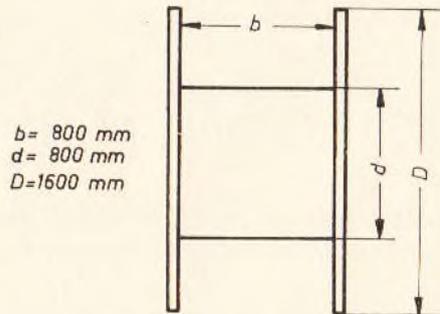
Wieviele Meter Schlauchleitung sind das?

14. Der Kerndurchmesser einer Kabeltrommel soll mindestens das 20fache des Kabeldurchmessers betragen.

Wie groß müssen die Kerndurchmesser der Kabeltrommeln für folgende PMbc-Kabel sein:

20-paarig 0,6,	Kabel-Außendurchmesser =	22,5 mm
50-paarig 0,6,	„ „	= 27,5 mm
100-paarig 0,8,	„ „	= 39,5 mm
200-paarig 0,6,	„ „	= 44,0 mm
1000-paarig 0,6,	„ „	= 83,5 mm
1000-paarig 0,8,	„ „	= 105,0 mm?

15. Eine Kabeltrommel (Nr. 16 nach DIN 46391) hat nach nebenstehender Skizze folgende Maße:



$b = 800 \text{ mm}$
 $d = 800 \text{ mm}$
 $D = 1600 \text{ mm}$

(Abb. 242)

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.

Wieviele 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.

Wieviele 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 hinzugegerechnet werden. Im Verlauf einer Kabeltrasse mit 30 cm Kabelgrabenbreite sind auf einer Länge von 285 Metern Pflasterarbeiten auszuführen.

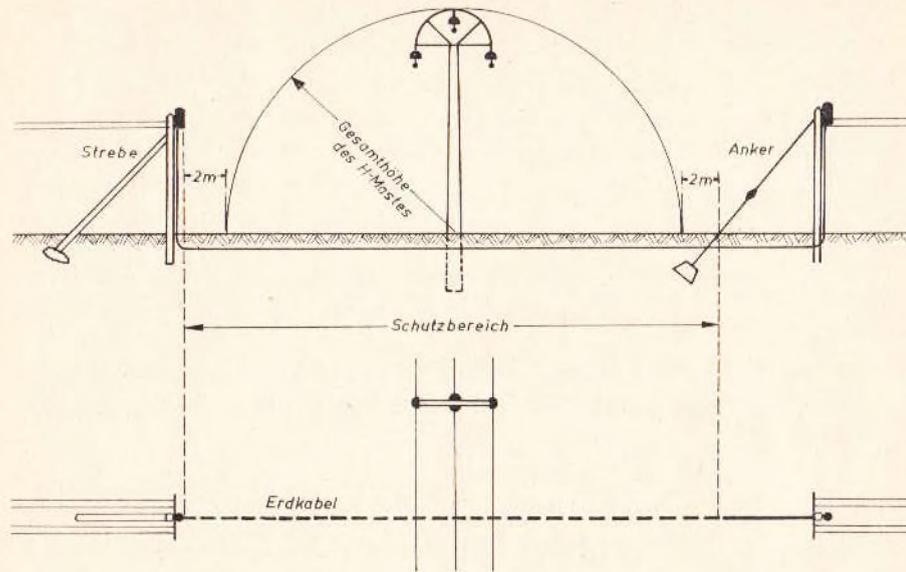
Wieviele Quadratmeter Pflasterarbeiten dürfen höchstens berechnet werden?

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 nach nebenstehender Zeichnung 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. 243)

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.

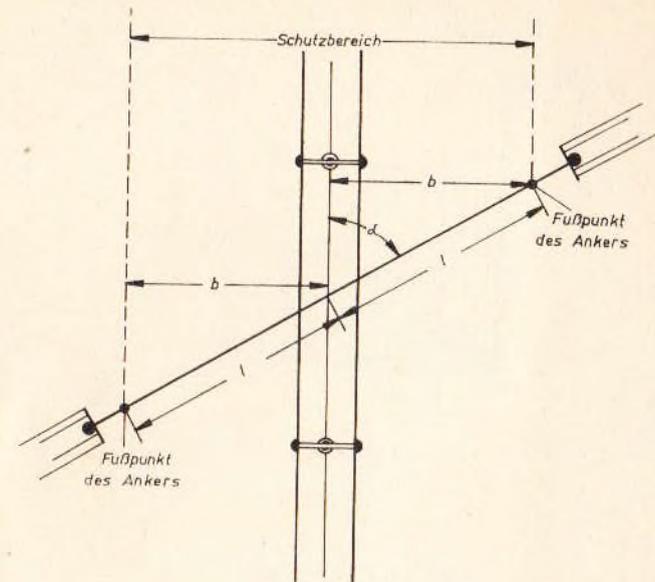
Wie lang muß das Kabel sein, wenn die Endmasten der Fernmeldeleitung durch Streben abgestützt werden sollen?

c) Wie viele Meter Kabelgraben müssen ausgehoben werden?

22. Im Gefährdungsbereich einer Hochspannungsleitung soll eine oberirdische Fernmeldeleitung verkabelt werden. Die Höhe der Hochspannungsmasten beträgt 18 m, der Kreuzungswinkel $\alpha = 60^\circ$. (Abb. 244)

a) Welche Breite hat der erforderliche Schutzbereich?

b) Wie lang muß der Kabelgraben sein, wenn die Endmasten der Fernmeldeleitung durch Anker gesichert werden sollen? Der Abstand Fußpunkt Anker bis Fußpunkt Mast beträgt 3,5 m.



(Abb. 244)

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?

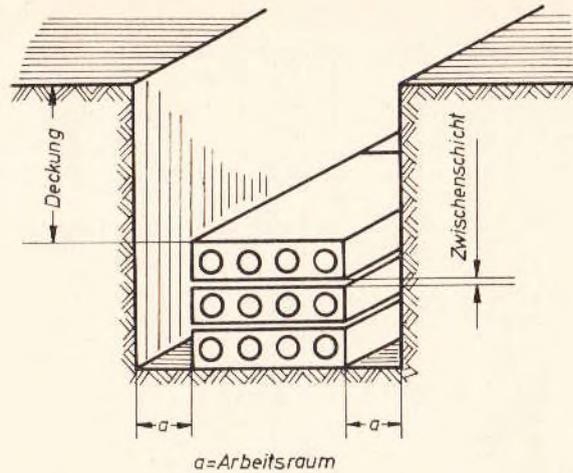
23. Für den Bau eines 350 Meter langen Kabelkanals mit vier Zügen nebeneinander und drei Zügen übereinander soll der Kabelkanalgraben hergestellt werden. Die Außenmaße eines vierzügigen Kabelkanalformsteins betragen (Länge \times Breite \times Höhe) $100 \times 50 \times 15$ cm. Zwischen den Lagen ist 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. 245)

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. 245)

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 20 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 einzügigen 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 Fräsers?
- Wieviel kostet jeweils die Herstellung von einem Meter Kabelgraben?

27. Um einen Kabelgraben von 75 cm Tiefe auszuheben, benötigen 12 Arbeiter 8 Tage.

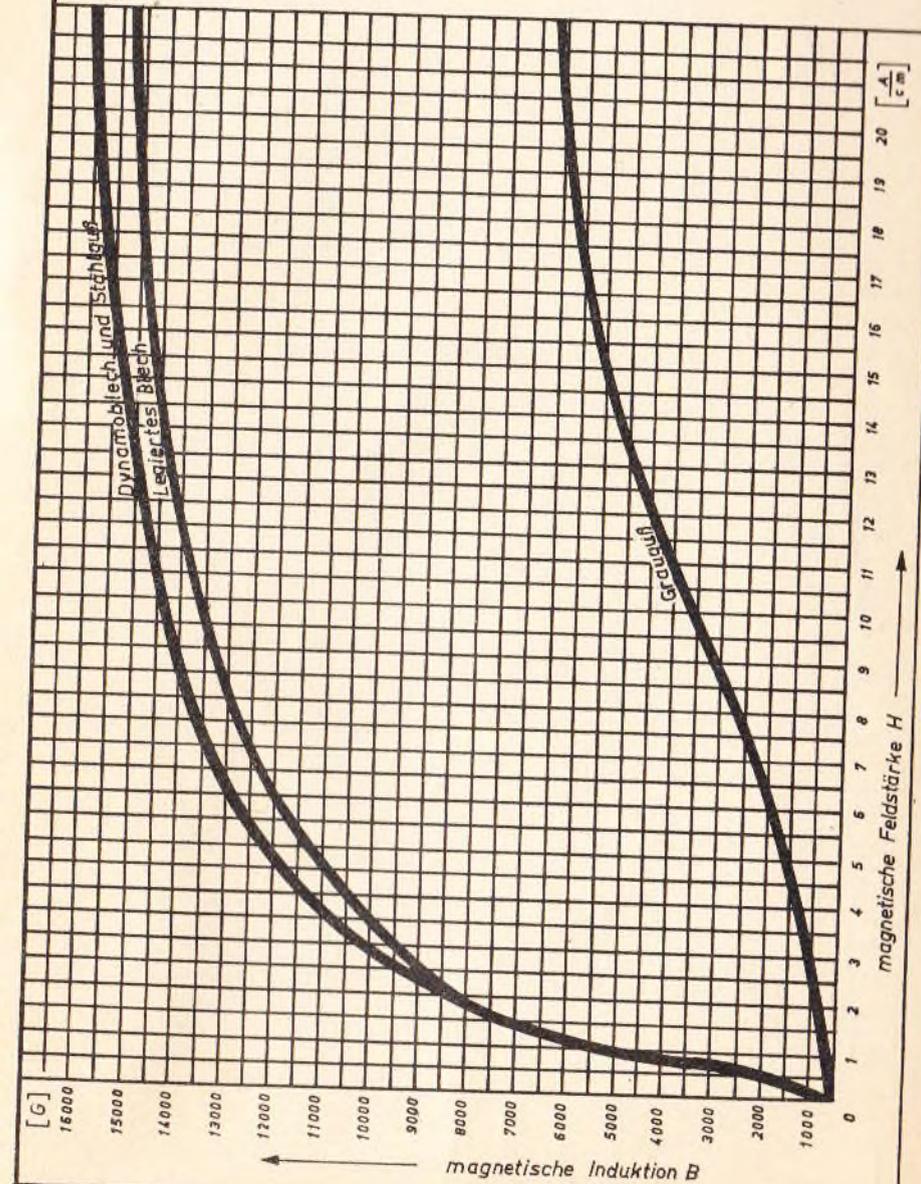
Wieviele Arbeiter müssen zusätzlich an der Baustelle eingesetzt werden, wenn der Kabelgraben 10 cm tiefer werden soll und in 6 Tagen fertig sein muß?

Anhang 1

Werkstoffeigenschaften

Nr.	Werkstoff	Spezifischer Widerstand $\rho \left[\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right]$	Spezifisches Gewicht $\gamma \left[\frac{\text{kp}}{\text{dm}^3} \right]$	Spezifische Wärme $c \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kp} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$	Temperaturbeiwert $\alpha \left[\frac{1}{^\circ\text{C}} \right]$	Längenausdehnungszahl $\alpha \left[\frac{1}{^\circ\text{C}} \right]$	Elektrochemisches Äquivalent $e \left[\frac{\text{mp}}{\text{As}} \right]$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Aldrey	0,033	2,7	—	0,0036	—	—
2	Aluminium	0,0278	2,7	0,235	0,004	0,000024	0,093
3	Blei	0,22	11,3	0,031	0,0042	0,000029	1,072
4	Beton	—	2,1	0,21	—	0,000021	—
5	Bronze	0,018	8,6	0,09	0,004	0,000007	—
6	Chrom	0,15	6,92	—	—	—	0,183
7	Chrom-Nickel	1,1	—	—	0,001	—	—
8	Eisen s. Stahl	—	—	—	—	—	—
9	Gold	0,021	19,3	0,034	0,0036	0,000014	0,68
10	Graphit	20..100	2,0	0,2	-0,0002	0,000001	—
11	Holz	—	0,53	—	—	—	—
12	Kohle s. Graphit	—	—	—	—	—	—
13	Konstantan	0,5	8,9	—	-0,00003	—	—
14	Kupfer	0,018	8,9	0,105	0,004	0,000019	0,329
15	Nickel	0,1	8,7	0,132	0,004	0,000013	0,304
16	Nickelin	0,43	8,8	0,132	0,00023	0,000013	—
17	Manganin	0,42	8,4	0,108	0,00001	—	—
18	Quecksilber	0,953	13,6	0,033	0,0009	0,000182	1,036
19	Sand	—	1,7	—	—	—	—
20	Sauerstoff	—	0,00143	—	—	—	0,083
21	Silber	0,016	10,5	0,062	0,0036	0,00002	1,118
22	Stahl	0,125	7,85	0,158	0,0048	0,000014	0,289
23	Wasserstoff	—	0,000089	—	—	—	0,0104
24	Wolfram	0,055	19,1	0,034	0,0041	—	—
25	Zink	0,06	7,2	0,096	0,004	0,000027	0,339
26	Zinn	0,1	7,28	0,056	0,0046	0,000023	0,61

Magnetisierungskurven



Anhang 3

Statische Elektrizität

Durchschlagsfestigkeit

Nr.	Werkstoff	Durchschlagsfestigkeit $\left[\frac{\text{kV}}{\text{cm}} \right]$
1	2	3
1	Luft	10 — 20
2	Papier	100 — 200
3	Porzellan	100 — 300
4	Glimmer	400 — 800

Umrechnungstabelle für Kapazitätswerte

	Farad	Mikrofarad	Nanofarad	Pikofarad
1 Farad	1	1 000 000 10^6	1 000 000 000 10^9	1 000 000 000 000 10^{12}
1 Mikrofarad	0,000 001 10^{-6}	1	1 000 10^3	1 000 000 10^6
1 Nanofarad	0,000 000 001 10^{-9}	0,001 10^{-3}	1	1 000 10^3
1 Pikofarad	0,000 000 000 001 10^{-12}	0,000 001 10^{-6}	0,001 10^{-3}	1

Grad	sin	cos	tg	Grad	sin	cos	tg
0	0,000	1,000	0,000	45	0,707	0,707	1,000
1	0,017	1,000	0,017	46	0,719	0,695	1,036
2	0,035	0,999	0,035	47	0,731	0,682	1,072
3	0,052	0,999	0,052	48	0,743	0,669	1,111
4	0,070	0,998	0,070	49	0,755	0,656	1,150
5	0,087	0,996	0,087	50	0,766	0,643	1,192
6	0,105	0,995	0,105	51	0,777	0,629	1,235
7	0,122	0,993	0,123	52	0,788	0,616	1,280
8	0,139	0,990	0,141	53	0,799	0,602	1,327
9	0,156	0,988	0,158	54	0,809	0,588	1,376
10	0,174	0,985	0,176	55	0,819	0,574	1,428
11	0,191	0,982	0,194	56	0,829	0,559	1,483
12	0,208	0,978	0,213	57	0,839	0,545	1,540
13	0,225	0,974	0,231	58	0,848	0,530	1,600
14	0,242	0,970	0,249	59	0,857	0,515	1,664
15	0,259	0,966	0,268	60	0,866	0,500	1,732
16	0,276	0,961	0,287	61	0,875	0,485	1,804
17	0,292	0,956	0,306	62	0,883	0,469	1,881
18	0,309	0,951	0,325	63	0,891	0,454	1,963
19	0,326	0,946	0,344	64	0,899	0,438	2,05
20	0,342	0,940	0,364	65	0,906	0,423	2,14
21	0,358	0,934	0,384	66	0,914	0,407	2,25
22	0,375	0,927	0,404	67	0,921	0,391	2,36
23	0,391	0,921	0,424	68	0,927	0,375	2,48
24	0,407	0,914	0,445	69	0,934	0,358	2,61
25	0,423	0,906	0,466	70	0,940	0,342	2,75
26	0,438	0,899	0,488	71	0,946	0,326	2,90
27	0,454	0,891	0,510	72	0,951	0,309	3,08
28	0,469	0,883	0,532	73	0,956	0,292	3,27
29	0,485	0,875	0,554	74	0,961	0,276	3,49
30	0,500	0,866	0,577	75	0,966	0,259	3,73
31	0,515	0,857	0,601	76	0,970	0,242	4,01
32	0,530	0,848	0,625	77	0,974	0,225	4,33
33	0,545	0,839	0,649	78	0,978	0,208	4,70
34	0,559	0,829	0,675	79	0,982	0,191	5,14
35	0,574	0,819	0,700	80	0,985	0,174	5,67 ¹⁾
36	0,588	0,809	0,727	81	0,988	0,156	6,31
37	0,602	0,799	0,754	82	0,990	0,139	7,12
38	0,616	0,788	0,781	83	0,993	0,122	8,14
39	0,629	0,777	0,810	84	0,995	0,105	9,51
40	0,643	0,766	0,839	85	0,996	0,087	11,4
41	0,656	0,755	0,869	86	0,998	0,070	14,3
42	0,669	0,743	0,900	87	0,999	0,052	19,1
43	0,682	0,731	0,933	88	0,999	0,035	28,6
44	0,695	0,719	0,966	89	1,000	0,017	57,3
45	0,707	0,707	1,000	90	1,000	0,000	—

¹⁾ Die Werte für Tangens steigen mit zunehmendem Winkel immer unregelmäßiger an. Ab 80° werden sie sehr ungenau; für den hier beabsichtigten Zweck genügen sie jedoch vollauf.

- Band C 2** — **Die handwerkliche Ausbildung**
Der oberirdische Linienbau — Planung und Bau oberirdischer
Anschluß- und Fernlinien — Installationskabel und Luftkabel
- Band C 3** — **Die handwerkliche Ausbildung**
Der unterirdische Linienbau — Gestaltung der Fernmeldenetze
— Die Fernmeldekabel — Aufgaben und Aufbau der Bauteile
im Anschlußnetz
- Band C 4** — **Die handwerkliche Ausbildung**
Aufbau und Wirkungsweise der Fernsprechapparate und Zu-
satzeinrichtungen
- Band C 5** — **Die handwerkliche Ausbildung**
Grundzüge der Wählvermittlungstechnik
- Band C 6** — **Die handwerkliche Ausbildung**
Nebenstellenanlagen
- Band C 7** — **Die handwerkliche Ausbildung**
Der Sprechstellenbau
- Umfang je Band etwa 140 Seiten —
-

Deutsch und Rechnen

Wichtig zur Vorbereitung
auf Eignungsfeststellungen und Prüfungen

Deutsch

Rechtschreiblehre — Wortlehre — Satzlehre — Zeichen-
setzung — Stil- und Aufsatzkunde
Umfang rd. 180 Seiten — 2 Bände; Preis je Band 2,50 DM

Rechenlehre

Rechnen — Raumlehre — Sortenverwandlung
Übungs- und Prüfungsaufgaben — Lösungsheft
Umfang rd. 160 Seiten Preis 3,20 DM

— Weitere Lehrbücher siehe 2. und 4. Umschlagseite —

Handbuch für den mittleren fernmeldetechnischen Dienst

10

wichtige Lehr- und Lernwerke zur Vorbereitung auf den Grundlagenlehrgang 2, die verschiedenen Aufbaulehrgänge und den Dienstlehrgang

Band A/B — Allgemeine Berufskunde

Band G — Grundlagen der Fernmeldetechnik (2 Bände)

Band E — Fachbereich Entstörungstechnik (2 Bände)

Band L — Fachbereich Linientechnik

Band V — Fachbereich Vermittlungstechnik (2 Bände)

Band T — Fachbereich Telegraphentechnik

Band Ü — Fachbereich Übertragungstechnik

— Umfang je Band etwa 180 Seiten —

— Weitere Lehrbücher siehe 2. und 3. Umschlagseite —

Sämtliche Lehrwerke können bestellt werden bei
Deutsche Postgewerkschaft, Verlag GmbH
6 Frankfurt — Savignystraße 29