

HANDBUCH
FÜR DEN
FERNMELDEHANDWERKER
der Deutschen Bundespost



BAND B6

(Teil 1)

DIE FACHKUNDE

Übungsbeispiele und Aufgaben aus der Fernmeldetechnik

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 1)

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 genauso viel 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 Aufstiegs 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 1)

Einführung

A. Allgemeine Rechenregeln

B. Das Fachrechnen

I. Die physikalischen Grundbegriffe	10
1. Der Rauminhalt und das Gewicht	10
a) Die Berechnung von Längen und Flächen	10
b) Berechnungen von Rauminhalten	11
c) Die Berechnung von Körpergewichten	12
d) Aufgaben	13
2. Die Kraft	16
a) Die Kräfte in gleicher Richtung	16
b) Die Kräfte in entgegengesetzter Richtung	18
c) Die Kräfte rechtwinklig zueinander gerichtet	19
d) Die Kräfte in beliebiger Richtung	19
e) Aufgaben	22
3. Das Gleichgewicht	25
a) Das Drehmoment	25
b) Das Hebelgesetz	26
c) Die Gleichgewichtsbedingungen	27
d) Aufgaben	29
4. Die Bewegung	30
a) Die Geschwindigkeit	30
b) Die Umfangsgeschwindigkeit	31
c) Die Übertragung von Drehbewegungen	32
d) Aufgaben	35
5. Die Arbeit und die Leistung	36
a) Die mechanische Arbeit	36
b) Die mechanische Leistung	38
c) Der Wirkungsgrad	39
d) Aufgaben	40
6. Die Wärme	42
a) Die Wärmemenge	42
b) Die Längenausdehnung	43
c) Aufgaben	46

C. Grundlagen der Elektrotechnik

I. Der Gleichstromkreis	49
1. Der Widerstand	49
a) Die Berechnung von Leiterwiderständen	49
b) Der Leitwert	50

c) Der Widerstand und die Temperatur	50
d) Aufgaben	53
2. Die Schaltung von Widerständen	56
a) Die Reihenschaltung	56
b) Die Parallelschaltung	57
c) Die Widerstandsgruppenschaltung	60
d) Aufgaben	63
3. Das Ohmsche Gesetz	66
a) Das Rechnen mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes	67
b) Aufgaben	68
4. Die Stromverzweigung und die Spannungsaufteilung	70
a) Das erste Kirchhoffsche Gesetz	70
b) Das zweite Kirchhoffsche Gesetz	72
c) Das Rechnen mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes und der Kirchhoffschen Gesetze	74
d) Aufgaben	79
e) Die Meßbereichserweiterung	86
f) Die elektromotorische Kraft und die Klemmenspannung	89
g) Der Spannungsverlust auf Leitungen	90
h) Aufgaben	92
5. Die elektrische Strömung	96
a) Die Elektrizitätsmenge	96
b) Die Stromdichte	97
c) Die elektrische Leistung	98
d) Die elektrische Arbeit	99
e) Der Wirkungsgrad	100
f) Die Stromkosten	101
g) Aufgaben	102
II. Der Magnetismus	106
1. Die Grundgrößen des Magnetismus	106
a) Die magnetische Durchflutung	106
b) Die magnetische Feldstärke	107
c) Die magnetische Induktion	110
d) Der magnetische Fluß	112
2. Die Anzugskraft von Magneten	113
3. Aufgaben	114
III. Die Spannungserzeugung im Magnetfeld	120
1. Die Erzeugung von Gleichspannung	120
2. Die Erzeugung von Wechselspannung	121
3. Die Wechselstromgrößen	122
a) Der Höchstwert	122
b) Der Augenblickswert	124

	Seite
c) Der Effektivwert	125
d) Die Frequenz	126
e) Die Periodendauer	127
f) Die Wellenlänge	128
4. Aufgaben	129
IV. Die statische Elektrizität	133
1. Die elektrische Feldstärke	133
2. Die Kapazität	134
3. Aufgaben	135
V. Die Wechselstromwiderstände	137
1. Die Kreisfrequenz	137
2. Die Schaltung von Induktivitäten	138
a) Die Reihenschaltung	138
b) Die Parallelschaltung	139
3. Der induktive Blindwiderstand	141
4. Die Schaltung von Kapazitäten	142
a) Die Reihenschaltung	142
b) Die Parallelschaltung	143
5. Der kapazitive Blindwiderstand	145
6. Aufgaben	146
VI. Die Schaltung von Wechselstromwiderständen	149
1. Die Reihenschaltung	150
a) Der Blindwiderstand	150
b) Der Scheinwiderstand	152
c) Aufgaben	158
2. Die Parallelschaltung	163
a) Der Blindleitwert	163
b) Der Blindwiderstand	166
c) Der Scheinleitwert	167
d) Der Scheinwiderstand	169
e) Aufgaben	176

(Teil 2)

VII. Der Wechselstromkreis

1. Das Ohmsche Gesetz für Wechselstrom
 - a) Der induktive Blindwiderstand
 - b) Der kapazitive Blindwiderstand
 - c) Der Scheinwiderstand
 - d) Aufgaben
2. Die Phasenverschiebung
 - a) Der induktive Blindwiderstand
 - b) Der kapazitive Blindwiderstand
 - c) Der Scheinwiderstand
 - d) Aufgaben
3. Die Spannungsaufteilung
 - a) Die induktiven Blindwiderstände
 - b) Die kapazitiven Blindwiderstände
 - c) Der induktive und der kapazitive Blindwiderstand
 - d) Der Wirkwiderstand und der induktive Blindwiderstand
 - e) Der Wirkwiderstand und der kapazitive Blindwiderstand
 - f) Der Wirkwiderstand, der induktive und der kapazitive Blindwiderstand
 - g) Aufgaben
4. Die Stromverzweigung
 - a) Die induktiven Blindwiderstände
 - b) Die kapazitiven Blindwiderstände
 - c) Der induktive und der kapazitive Blindwiderstand
 - d) Der Wirkwiderstand und der induktive Blindwiderstand
 - e) Der Wirkwiderstand und der kapazitive Blindwiderstand
 - f) Der Wirkwiderstand, der induktive und der kapazitive Blindwiderstand
 - g) Aufgaben
5. Die Resonanzfrequenz
 - a) Die Reihenresonanz
 - b) Die Parallelresonanz
 - c) Aufgaben
6. Die Leistung im Wechselstromkreis
 - a) Wirkleistung
 - b) Scheinleistung
 - c) Blindleistung
 - d) Phasenkompensation
 - e) Aufgaben

VIII. Transformatoren, Fernmeldeübertrager

1. Allgemeines
2. Aufgaben — Starkstromtechnik
3. Aufgaben — Fernmeldetechnik

IX. Chemische Wirkung des elektrischen Stromes

1. Galvanisierung, elektrolytische Korrosion Aufgaben
2. Die EMK von galvanischen Elementen Aufgaben

X. Galvanische Elemente und Sammler

1. Schaltung von galvanischen Elementen und Sammlern Aufgaben
2. Kapazität, Güteverhältnis und Wirkungsgrad Aufgaben
3. Batterie-Ladung und -Entladung
 - a) Aufgaben — Ladung von Sammlern
 - b) Aufgaben — Batterieentladung

D. Anwendungsbeispiele**I. Relais und Relaischaltungen**

1. Allgemeines
2. Aufgaben

II. Fernmeldeleitungen

1. Leitungswiderstand, Isolationswiderstand, Ableitung
2. Leitungskapazität, Leitungsinduktivität
3. Wellenwiderstand Aufgaben
4. Leitungsdämpfung Aufgaben
5. Grenzfrequenz Aufgaben

III. Linientechnik — Anhänge:

1. Werkstoffeigenschaften
2. Magnetisierungskurven
3. Statische Elektrizität
- 4 Tabellen der Sinus-, Cosinus und Tangenswerte

Einführung

Jeder Lehrende und Lernende weiß, daß der Lehr- und Wissensstoff über die allgemeine Physik sowie die Elektro- und Fernmeldetechnik erst dann beherrscht wird, wenn die Bestimmungen anhand von praktischen Beispielen richtig angewandt werden können. Je häufiger dies geübt wird, um so vertrauter wird der Lernende mit der für ihn oft recht schwierigen Materie. Um hier zu helfen, hat die Fachschule das „Handbuch für den Fernmeldehandwerker der DBP“ um den Band B6 „Übungsbeispiele und Aufgaben aus der Fernmeldetechnik“, (Teile 1 und 2) erweitert.

Dieser Band umfaßt mit seinen zahlreichen praxisnahen Übungsbeispielen und Aufgaben im wesentlichen den gesamten Lehrstoff der Fernmeldehandwerkerprüfung und ist zur laufenden Wiederholung und Festigung des während der dienstlichen Ausbildungszeit erlernten Wissens hervorragend geeignet.

Hinweis für Teil 1 des Bandes B6

Band B 6 (Übungsbeispiele und Aufgaben aus der Fernmeldetechnik) 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 mechanischen und elektrischen Größen sind für beide Teile in den Anhängen des Teiles 2 aufgeführt. Wegen des Inhalts des Teiles 2 dürfen wir auf die Seiten 7 und 7a des Inhaltsverzeichnisses verweisen.

A. Allgemeine Rechenregeln

Die bei der Deutschen Bundespost hochentwickelte und weitverbreitete Elektro- und Fernmeldetechnik verlangt von jedem Fernmeldehandwerker gründliche theoretische und praktische Fachkenntnisse. Hierbei sind die Kenntnisse im Fachrechnen von besonderer Bedeutung

Das *Fachrechnen des Fernmeldehandwerkers* umfaßt die *Sachgebiete der Physik, der Gleichstromlehre und der Wechselstromlehre*. Der vorliegende Band soll dem Fernmeldehandwerker die Anwendung der Rechenregeln auf diesen weitverzweigten und umfangreichen Sachgebieten anhand von zahlreichen Übungsbeispielen aufzeigen und ihm die Kenntnisse vermitteln, die er zur Lösung von Fachrechenaufgaben im Unterricht, bei Prüfungen und in der Praxis braucht.

Wer sich über den Rahmen dieses Bandes hinaus über das Zustandekommen der angewandten Größengleichungen und über die näheren physikalischen Zusammenhänge unterrichten möchte, sei auf folgende Bände des „Handbuchs für den Fernmeldehandwerker der DBP“ hingewiesen:

- B 1 — „Die Fachkunde (Grundgesetze der Physik)“,
- B 3 — „Die Fachkunde (Gleichstromlehre)“,
- B 4 — „Die Fachkunde (Wechselstromlehre)“ und
- B 5 — „Die Fachkunde (Elektrische Meßgeräte und Meßschaltungen)“.

Für das Fachrechnen gilt folgende Grundregel:

Der Lösungsgang einer Rechenaufgabe soll **folgerichtig, klar und übersichtlich** niedergeschrieben werden.

Der Aufbau des Lösungsganges einer Rechenaufgabe soll so übersichtlich gestaltet sein, daß er von dem Nachrechnenden ohne große Mühe gelesen und verstanden werden kann.

Um dieses Ziel zu erreichen, werden nachstehend einige Rechenregeln aufgestellt. Zur Vermeidung von Denk-, Schreib- und Rechenfehlern wird empfohlen, diese Regeln bei allen Fachrechenaufgaben möglichst genau zu beachten.

1. Den Aufgabentext sorgfältig durchlesen, bevor mit der Lösung begonnen wird!

2. Den Lösungsgang stets mit folgender Unterteilung beginnen:

Gegeben:

Gesucht:

Lösung:

3. Für jeden Lösungsgang möglichst eine Zeichnung oder ein Schaltbild anfertigen!

4. Für den Lösungsgang den richtigen Ansatz aufstellen!

Müssen für Nebenrechnungen weitere Nebenansätze aufgestellt werden, so ist es oftmals zweckmäßig, die Größengleichungen für die Nebenansätze etwas (~ 1 cm) nach rechts einzurücken.

5. Für Zeichnungen, Schaltbilder, Bruchstriche, Wurzeldächer und Unterstreichungen stets ein Lineal benutzen!

6. Den Ansatz (Größengleichung) nach der gesuchten Größe umstellen!

Größengleichungen und Schaltbilder stehen stets auf der linken Seite des Schreibblattes; Einheitengleichungen und Ausrechnungen stehen auf der rechten Seite des Schreibblattes.

7. In die umgestellte Größengleichung die gegebenen Zahlenwerte einsetzen!

8. Beim Zahleneinsatz stets auf die Einheiten der verwendeten Rechengrößen achten!

Bei umfangreichen Größengleichungen die Einheitengleichungen aufstellen!

9. Die Multiplikationen, die Divisionen, die Additionen, die Subtraktionen und die Quadratwurzeln der eingesetzten Zahlenwerte ausrechnen! Die Ausrechnungen für die Zahlenwerte werden auf der rechten Seite des Schreibblattes ausgeführt.

10. Die Rechengenauigkeit ist in den meisten Fällen dann ausreichend, wenn die Zahlenwerte bis zu vier Stellen, außer der Null in Verbindung mit einem Komma, ausgerechnet werden. Mit Hilfe der vierten ausgerechneten Ziffer wird das Ergebnis auf- oder abgerundet.

Z. B. Zahlenwert ausgerechnet bis 2,466, aufgerundet auf 2,47; ausgerechnet bis 0,002 464, abgerundet auf 0,002 46; ausgerechnet bis 0,002088, aufgerundet auf 0,00209.

11. Das Ergebnis der Ausrechnung auf der linken Seite des Schreibblattes niederschreiben!

Ergebnisse von Hauptrechnungen, d. h. von gesuchten Größen, werden dop-

pelt, Ergebnisse von Nebenrechnungen, d. h. von Zwischenergebnissen, nach denen in der Aufgabe nicht besonders gefragt ist, werden einmal unterstrichen.

12. Die Ergebnisse von Hauptrechnungen in einem kurzen Satz erläutern!

Die Anwendung dieser allgemeinen Rechenregeln ist aus den nachstehenden Übungsbeispielen zu ersehen.

B. Das Fachrechnen

I. Die physikalischen Grundbegriffe

Für das Fachrechnen werden physikalische Größen verwendet, bei denen man unterscheidet nach:

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Z. B. Länge	l	[m]

Die Einheit wird dabei der jeweiligen Aufgabenstellung angepaßt, z. B. für die Länge werden die Zahlen eingesetzt in mm, cm, m oder km. Die Einheit wird stets in eckiger Klammer geschrieben.

1. Der Rauminhalt und das Gewicht

a) Die Berechnung von Längen und Flächen

Die Fläche ist das Produkt aus **Länge** mal **Breite**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Fläche	A	[cm ²]

Größengleichung

$$A = a \cdot b \text{ [mm}^2\text{]}$$

Einheitengleichung

$$\text{[mm}^2\text{]} = \text{mm} \cdot \text{mm}$$

A = Fläche in mm²

a = Länge in mm

b = Breite in mm

Übungsbeispiel

Der Querschnitt einer Kupferschiene ist $a = 40$ mm hoch und $b = 10$ mm stark (Abb. 1).

Wie groß ist der Kupferquerschnitt?

Gegeben: $a = 40$ mm, $b = 10$ mm

Gesucht: A

Lösung:



(Abb. 1)

$$A = a \cdot b$$

$$A = 40 \cdot 10$$

$$A = \underline{\underline{400 \text{ mm}^2}}$$

Der Kupferquerschnitt beträgt

$$A = 400 \text{ mm}^2.$$

b) Die Berechnung von Rauminhalten

Der Rauminhalt ist das Produkt aus **Grundfläche** mal **Höhe**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Rauminhalt	V	[m ³]

Größengleichung

$$V = a \cdot b \cdot h \text{ [m}^3\text{]}$$

Einheitengleichung

$$\text{[m}^3\text{]} = \text{m} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$$

V = Rauminhalt in m³

a = Länge in m

b = Breite in m

h = Höhe in m

Übungsbeispiel

Der Durchmesser eines runden Wasserbehälters beträgt $d = 1,5$ m, die Höhe des Wasserbehälters ist $h = 1,2$ m (Abb. 2).

Wieviel Liter Wasser faßt der Wasserbehälter?

Gegeben: $d = 1,5 \text{ m}$, $h = 1,2 \text{ m}$

Gesucht: V in dm^3

Lösung:

$$V = A \cdot h$$

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

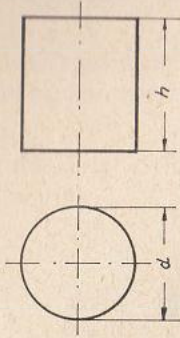
$$A = \frac{1,5^2 \cdot \pi}{4}$$

$$A = 1,77 \text{ m}^2$$

$$V = 1,77 \cdot 1,2$$

$$V = 2,124 \text{ m}^3$$

$$V = \underline{\underline{2,124 \text{ dm}^3}}$$



(Abb. 2)

Der Wasserbehälter faßt $V = 2124$ Liter.

c) Die Berechnung von Körpergewichten

Das Gewicht eines Körpers ist das Produkt aus **Rauminhalt** mal **spezifischem Gewicht**.

Begriff Gewicht	Formelzeichen G	Einheit [kp]
Größengleichung	Einheitengleichung	
$G = V \cdot \gamma \text{ [kp]}$	$\left[\text{kp} = \text{dm}^3 \cdot \frac{\text{kp}}{\text{dm}^3} \right]$	
	$G = \text{Gewicht in kp}$	
	$V = \text{Rauminhalt in dm}^3$	
	$\gamma = \text{spezifisches Gewicht in } \frac{\text{kp}}{\text{dm}^3}$	

Übungsbeispiel

Ein Stahlrohr ist $l = 4,80 \text{ m}$ lang. Der äußere Durchmesser beträgt $d_1 = 20,5 \text{ mm}$, der innere Durchmesser ist $d_2 = 13,0 \text{ mm}$ (Abb. 3).

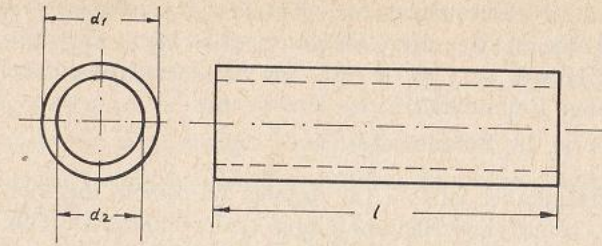
Wie schwer ist das Stahlrohr?

Gegeben: $l = 4,80 \text{ m}$, $d_1 = 20,5 \text{ mm}$, $d_2 = 13,0 \text{ mm}$, $\gamma = 7,85 \frac{\text{kp}}{\text{dm}^3}$

Gesucht: G

¹⁾ Die Werte für die spezifischen Gewichte sind dem Band B 6, Teil 2 zu entnehmen.

Lösung:



(Abb. 3)

$$G = V \cdot \gamma$$

$$V = A \cdot l$$

$$A = A_1 - A_2$$

$$A_1 = \frac{d_1^2 \cdot \pi}{4}$$

$$A_1 = \frac{20,5^2 \cdot \pi}{4}$$

$$A_1 = 330 \text{ mm}^2$$

$$A_1 = 3,3 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = \frac{d_2^2 \cdot \pi}{4}$$

$$A_2 = \frac{13^2 \cdot \pi}{4}$$

$$A_2 = 133 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 1,33 \text{ cm}^2$$

$$A = 3,3 - 1,33$$

$$A = 1,97 \text{ cm}^2$$

$$V = 1,97 \cdot 480$$

$$V = 946 \text{ cm}^3$$

$$V = 0,946 \text{ dm}^3$$

$$G = 0,946 \cdot 7,85$$

$$G = \underline{\underline{7,43 \text{ kp}}}$$

Das Gewicht des Stahlrohres beträgt $G = 7,43 \text{ kp}$.

d) Aufgaben

- Ein Fernmeldemast ist $l = 8,00 \text{ m}$ lang. Der obere Durchmesser des Mastes beträgt $d_1 = 135 \text{ mm}$, der untere Durchmesser ist $d_2 = 205 \text{ mm}$. Wie schwer ist der Fernmeldemast?

2. Ein runder hohler Betonmast ist $l = 11,20$ m lang. Der obere Durchmesser ist $d_1 = 120$ mm, der untere Durchmesser ist $d_2 = 230$ mm. Die Wandstärke des Mastes ist $s = 60$ mm. Die Stahlarmierung macht 10 v. H. des gesamten Rauminhaltes des Mastes aus.

Wie schwer ist der Betonmast?

3. Ein Drehstromkabel ist $l = 120$ m lang. Es besteht aus vier Leitern von je 16 mm^2 Cu und einer Bleiumhüllung, deren äußerer Durchmesser $d = 24$ mm beträgt. Die Stärke des Bleimantels ist $s = 2$ mm.

a) Wieviel kp Kupfer und Blei waren zur Herstellung des Drehstromkabels erforderlich?

b) Wie schwer ist das Drehstromkabel, wenn für das Gewicht des Isolationsmaterials 12 kp geschätzt werden?

4. Es soll ein Erdkabel von der Länge $l = 600$ m ausgelegt werden. Der Kabelgraben ist $a = 0,30$ m breit und $h = 0,75$ m tief. Von der Kabellänge sind 350 m in leichtem Boden und 250 m in mittelschwerem Boden zu verlegen. Das Kabel wird in seiner ganzen Länge abgedeckt. Die Kosten für die Kabelauslegung betragen:

a) Kabelgraben ausheben und zufüllen in leichtem Boden	9.—	$\frac{\text{DM}}{\text{m}^3}$
b) Kabelgraben ausheben und zufüllen in mittelschwerem Boden	11.—	$\frac{\text{DM}}{\text{m}^3}$
c) Erdkabel auslegen	0,45	$\frac{\text{DM}}{\text{m}}$
d) Kabel abdecken	0,40	$\frac{\text{DM}}{\text{m}}$

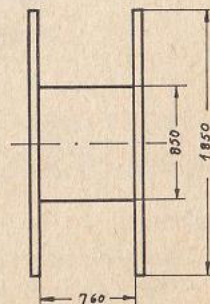
Wie hoch sind die Auftragnehmerkosten für die Auslegung des Erdkabels?

5. Aus einem Bronzestück von $a = 30$ cm, $b = 45$ cm und $h = 15$ cm soll ein Bronzedraht von $d = 3$ mm Durchmesser gezogen werden.

Wie lang wird der gezogene Bronzedraht?

6. Eine Kabeltrommel hat nebenstehende Abmessungen. Das aufzuwickelnde Kabel hat einen Außendurchmesser von $d = 40$ mm. Das Kabel wird Lage an Lage ohne Zwischenräume aufgewickelt. (Abb. 4).

Wieviel m Kabel faßt die Kabeltrommel höchstens?



(Abb. 4)

7. Mit einem Lastkraftwagen für eine Nutzlast von einer Tonne sollen 1-zügige Kabelformstücke transportiert werden. Die Außenmaße der 1-zügigen Kabelformstücke betragen $15 \text{ cm} \cdot 15 \text{ cm} \cdot 100 \text{ cm}$. Der Durchmesser des Kabelzuges ist $d = 100$ mm.

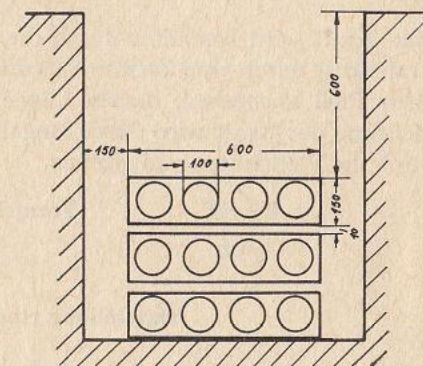
a) Wie schwer ist ein 1-zügiges Kabelformstück?

b) Mit wieviel 1-zügigen Kabelformstücken kann der Lastkraftwagen beladen werden?

8. Ein 4-zügiges Kabelformstück hat die Außenmaße von $600 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm}$. Der Durchmesser des Kabelzuges ist $d = 100$ mm.

Wie schwer ist ein 4-zügiges Kabelformstück?

9. Es soll in einem Sandboden ein Kabelkanal 3 · 4-zügig in einer Länge von $l = 350$ m ausgehoben werden. Der Querschnitt des Kabelkanals mit den Kabelformstücken hat nebenstehende Abmessungen. Die Länge eines 4-zügigen Kabelformstückes beträgt 1 m (Abb. 5).



(Abb. 5)

a) Wieviel m^3 Boden müssen ausgehoben werden?

b) Wieviel m^3 Boden müssen abgefahren werden?

c) Wie schwer ist der abzufahrende Boden?

d) Wieviel 4-zügige Kabelformstücke müssen beschafft werden?

e) Wie schwer sind die zu beschaffenden Kabelformstücke?

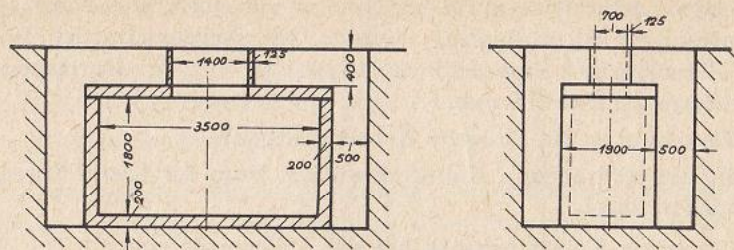
10. Für einen Kabelschacht von nachstehenden Abmessungen soll der Boden ausgehoben werden. Zwischen der Außenkante des Kabelschachts und der Grubenkante sollen 50 cm Arbeitsraum vorgesehen werden. Für die Kabelschachtabdeckung und die Höhenausgleichsschicht sind 40 cm vorzusehen (Abb. 6).

a) Wieviel m^3 Boden müssen ausgehoben werden?

b) Wieviel m^3 Boden müssen abgefahren werden?

c) Wie schwer ist der abzufahrende Boden?

d) Wie oft muß ein Lastkraftwagen mit einer Nutzlast von einer Tonne für den Abtransport des Bodens fahren?



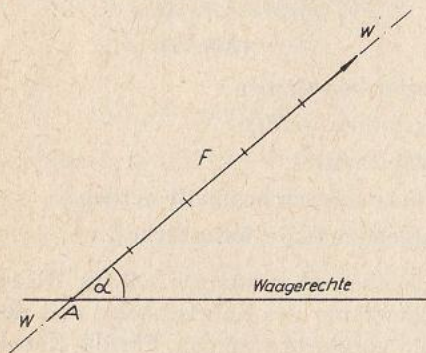
(Abb. 6)

2. Die Kraft

Eine Kraft wird bestimmt durch die **Richtung** und **Größe**. Die Größe einer Kraft wird durch eine Zahl mit zugehöriger Einheit oder zeichnerisch durch einen Pfeil angegeben, dessen Länge der Größe der Kraft entspricht. Die Richtung der Kraft wird durch Angabe des Angriffswinkels oder zeichnerisch durch die Pfeilrichtung angegeben.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Kraft	F	[kp]

Darstellung einer Kraft (Abb. 7)



(Abb. 7)

- F = Größe der Kraft
z. B. 1 kp $\cong$ 1 cm
- α = Richtungswinkel
- A = Angriffspunkt
der Kraft
- W = Wirkungslinie
der Kraft

a) Die Kräfte in gleicher Richtung

Größengleichung

$$F = F_1 + F_2 \text{ [kp]}$$

Einheitengleichung

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

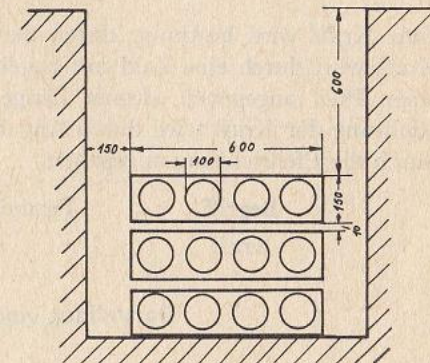
7. Mit einem Lastkraftwagen für eine Nutzlast von einer Tonne sollen 1-zügige Kabelformstücke transportiert werden. Die Außenmaße der 1-zügigen Kabelformstücke betragen 15 cm · 15 cm · 100 cm. Der Durchmesser des Kabelzuges ist $d = 100$ mm.

- a) Wie schwer ist ein 1-zügiges Kabelformstück?
- b) Mit wieviel 1-zügigen Kabelformstücken kann der Lastkraftwagen beladen werden?

8. Ein 4-zügiges Kabelformstück hat die Außenmaße von 600 mm · 150 mm · 1000 mm. Der Durchmesser des Kabelzuges ist $d = 100$ mm.

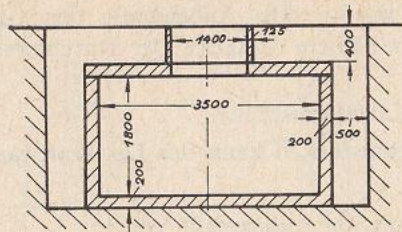
Wie schwer ist ein 4-zügiges Kabelformstück?

9. Es soll in einem Sandboden ein Kabelkanal 3 · 4-zügig in einer Länge von $l = 350$ m ausgehoben werden. Der Querschnitt des Kabelkanals mit den Kabelformstücken hat nebenstehende Abmessungen. Die Länge eines 4-zügigen Kabelformstückes beträgt 1 m (Abb. 5).

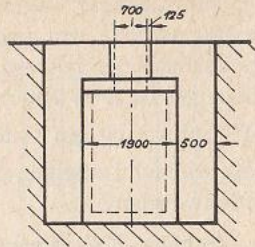


(Abb. 5)

- a) Wieviel m^3 Boden müssen ausgehoben werden?
 - b) Wieviel m^3 Boden müssen abgefahren werden?
 - c) Wie schwer ist der abzufahrende Boden?
 - d) Wieviel 4-zügige Kabelformstücke müssen beschafft werden?
 - e) Wie schwer sind die zu beschaffenden Kabelformstücke?
10. Für einen Kabelschacht von nachstehenden Abmessungen soll der Boden ausgehoben werden. Zwischen der Außenkante des Kabelschachts und der Grubenkante sollen 50 cm Arbeitsraum vorgesehen werden. Für die Kabelschachtdeckung und die Höhenausgleichsschicht sind 40 cm vorzusehen (Abb. 6).
- a) Wieviel m^3 Boden müssen ausgehoben werden?
 - b) Wieviel m^3 Boden müssen abgefahren werden?
 - c) Wie schwer ist der abzufahrende Boden?
 - d) Wie oft muß ein Lastkraftwagen mit einer Nutzlast von einer Tonne für den Abtransport des Bodens fahren?



(Abb. 6)

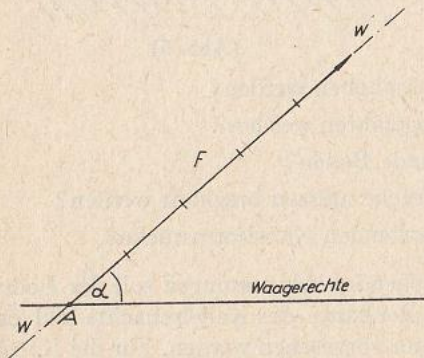


2. Die Kraft

Eine Kraft wird bestimmt durch die **Richtung** und **Größe**. Die Größe einer Kraft wird durch eine Zahl mit zugehöriger Einheit oder zeichnerisch durch einen Pfeil angegeben, dessen Länge der Größe der Kraft entspricht. Die Richtung der Kraft wird durch Angabe des Angriffswinkels oder zeichnerisch durch die Pfeilrichtung angegeben.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Kraft	F	[kp]

Darstellung einer Kraft (Abb. 7)



(Abb. 7)

F = Größe der Kraft
z. B. 1 kp $\triangleq$ 1 cm

α = Richtungswinkel

A = Angriffspunkt
der Kraft

W = Wirkungslinie
der Kraft

a) Die Kräfte in gleicher Richtung

Größengleichung

$$F = F_1 + F_2 \text{ [kp]}$$

Einheitengleichung

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

F = Gesamtkraft in kp

F_1 = Einzelkraft in kp

F_2 = Einzelkraft in kp

Übungsbeispiel

Ein Wagen wird von zwei Pferden gezogen. Das eine Pferd zieht mit einer Kraft von $F_1 = 35$ kp, das andere Pferd mit einer Kraft von $F_2 = 45$ kp (Abb. 8).

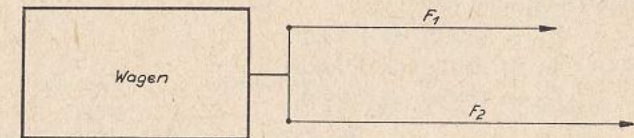
Mit welcher Gesamtkraft wird der Wagen gezogen?

Maßstab: 10 kp $\triangleq$ 1 cm

Gegeben: $F_1 = 35$ kp, $F_2 = 45$ kp

Gesucht: F

Lösung:

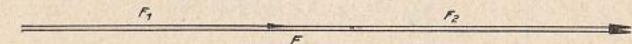


(Abb. 8)

Zeichnerische Lösung (Abb. 9)

$F_1 = 35$ kp $\triangleq$ 3,5 cm

$F_2 = 45$ kp $\triangleq$ 4,5 cm



(Abb. 9)

$F = 8$ cm $\triangleq$ 80 kp

Rechnerische Lösung

$$F = F_1 + F_2$$

$$F = 35 + 45$$

$$F = \underline{\underline{80 \text{ kp}}}$$

Die Gesamtkraft beträgt $F = 80$ kp.

b) Die Kräfte in entgegengesetzter Richtung

Größengleichung

$$F = F_1 - F_2 \text{ [kp]}$$

Einheitengleichung

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

Übungsbeispiel

Die Zugkraft eines Fahrstuhlseiles beträgt $F_1 = 180 \text{ kp}$.

Das Eigengewicht des Fahrstuhles ist $G_1 = 60 \text{ kp}$, die zu befördernde Last ist $G_2 = 100 \text{ kp}$ (Abb. 10).

Wie groß ist die nach oben gerichtete Gesamtkraft?

Maßstab: $40 \text{ kp} \triangleq 1 \text{ cm}$

Gegeben: $F_1 = 180 \text{ kp}$, $G_1 = 60 \text{ kp}$, $G_2 = 100 \text{ kp}$

Gesucht: F

Lösung:

Zeichnerische Lösung (Abb. 10)

$$F_1 = 180 \text{ kp} \triangleq 4,5 \text{ cm}$$

$$G_1 = 60 \text{ kp} \triangleq 1,5 \text{ cm}$$

$$G_2 = 100 \text{ kp} \triangleq 2,5 \text{ cm}$$

$$F = 0,5 \text{ cm} \triangleq 0,5 \cdot 40 = \underline{\underline{20 \text{ kp}}}$$

Rechnerische Lösung

$$F = F_1 - G$$

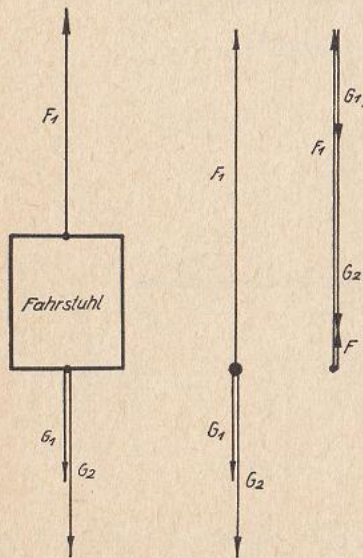
$$G = G_1 + G_2$$

$$G = 60 + 100$$

$$G = \underline{160 \text{ kp}}$$

$$F = 180 - 160$$

$$F = \underline{\underline{20 \text{ kp}}}$$



(Abb. 10)

Die Gesamtkraft beträgt $F = 20 \text{ kp}$.

Die Kraft von $F = 20 \text{ kp}$ wird benötigt, um die Reibungswiderstände in der Fahrstuhlführung zu überwinden.

c) Die Kräfte rechtwinklig zueinander gerichtet

Größengleichung

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \text{ [kp]}$$

Einheitengleichung

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

Übungsbeispiel

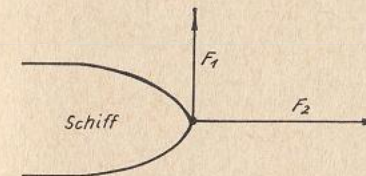
Ein Schiff wird von zwei Schleppern gezogen. Die Zugseile der beiden Schlepper sind rechtwinklig zueinander gerichtet. Die Zugkraft des einen Seiles beträgt $F_1 = 180 \text{ kp}$, die Zugkraft des anderen Seiles beträgt $F_2 = 300 \text{ kp}$ (Abb. 11). Mit welcher Kraft wird das Schiff fortbewegt?

Maßstab: $60 \text{ kp} \triangleq 1 \text{ cm}$

Gegeben: $F_1 = 180 \text{ kp}$, $F_2 = 300 \text{ kp}$

Gesucht: F

Lösung:



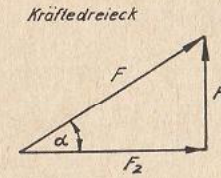
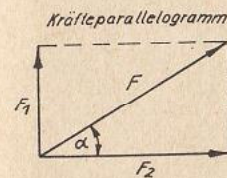
Zeichnerische Lösung (Abb. 11)

$$F_1 = 180 \text{ kp} \triangleq 3 \text{ cm}$$

$$F_2 = 300 \text{ kp} \triangleq 5 \text{ cm}$$

$$F = 5,84 \text{ cm} \triangleq \underline{\underline{350 \text{ kp}}}$$

$$\alpha = \underline{\underline{31^\circ}}$$



(Abb. 11)

Rechnerische Lösung

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \quad \sin \alpha = \frac{F_1}{F}$$

$$F = \sqrt{180^2 + 300^2} \quad \sin \alpha = \frac{180}{350}$$

$$F = \sqrt{122\,400} \quad \sin \alpha = 0,514$$

$$F = \underline{\underline{350 \text{ kp}}} \quad \alpha = \underline{\underline{31^\circ}}$$

Das Schiff wird mit einer Kraft von $F = 350 \text{ kp}$ fortbewegt. Der Richtungswinkel der Zugkraft F beträgt $\alpha = 31^\circ$.

d) Die Kräfte in beliebiger Richtung

Größengleichung

$$F = F_1 \hat{+} F_2 \text{ [kp]}$$

Einheitengleichung

$$[\text{kp} = \text{kp} \hat{+} \text{kp}]$$

Das Zeichen $\hat{+}$ bedeutet, daß die Kräfte nicht linear, sondern **räumlich** zusammengesetzt werden.

Übungsbeispiel

Zwei Kräfte von $F_1 = 3 \text{ kp}$ und $F_2 = 4 \text{ kp}$ sollen

a) linear und b) räumlich

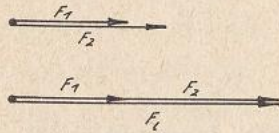
zusammengesetzt werden. Maßstab: $1 \text{ kp} \cong 1 \text{ cm}$

Gegeben: $F_1 = 3 \text{ kp}$, $F_2 = 4 \text{ kp}$

Gesucht: F_1 , F_r

Lösung:

Lineare Zusammensetzung (Abb. 12)



(Abb. 12)

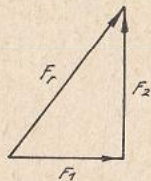
$$F_1 = F_1 + F_2$$

$$F_1 = 3 + 4$$

$$F_1 = \underline{\underline{7 \text{ kp}}}$$

Die Gesamtkraft beträgt $F_1 = 7 \text{ kp}$.

Räumliche Zusammensetzung (Abb. 13)



(Abb. 13)

$$F_r = F_1 \hat{+} F_2$$

$$F_r = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

$$F_r = \sqrt{3^2 + 4^2}$$

$$F_r = \underline{\underline{5 \text{ kp}}}$$

Die Gesamtkraft beträgt $F_r = 5 \text{ kp}$.

Übungsbeispiel

An einem Fernmeldemast greifen zwei Leitungszugkräfte von $F_1 = 90 \text{ kp}$ und $F_2 = 80 \text{ kp}$ unter einem Winkel von $\alpha = 135^\circ$ an. Der Durchhangswinkel der Leitung wird vernachlässigt. Die Höhe des Angriffspunktes des Ankers ist $h = 6,00 \text{ m}$, der Bodenabstand des Ankers vom Fernmeldemast ist $a = 2,80 \text{ m}$. (Abb. 14).

a) Wie groß ist die Gesamtzugkraft der Leitung?

b) In welcher Richtung muß der Anker gesetzt werden?

c) Wie groß ist die Zugkraft im Anker?

d) Mit welcher Kraft wird der Fernmeldemast durch den Anker senkrecht belastet?

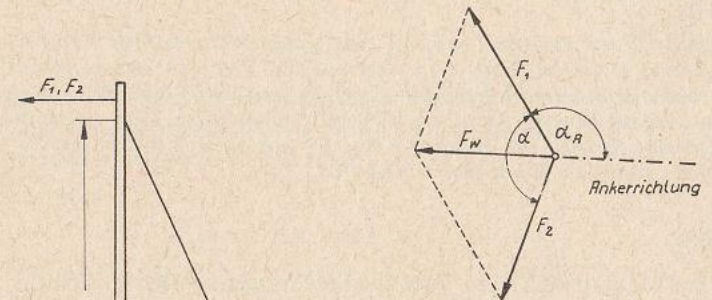
Maßstab: $20 \text{ kp} \cong 1 \text{ cm}$

Gegeben: $F_1 = 90 \text{ kp}$, $F_2 = 80 \text{ kp}$, $h = 6,00 \text{ m}$, $a = 2,80 \text{ m}$

Gesucht: F_w , α_A , F , F_s

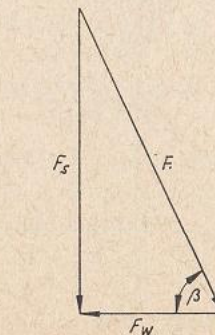
Lösung: $F_1 = 90 \text{ kp} \cong 4,5 \text{ cm}$

$F_2 = 80 \text{ kp} \cong 4,0 \text{ cm}$



$$F_w = 3,7 \text{ cm} \cong \underline{\underline{74 \text{ kp}}}$$

$$\alpha_A = \underline{\underline{123^\circ}}$$



$$F_w = 74 \text{ kp} \cong 3,7 \text{ cm}$$

$$\beta = 65^\circ$$

$$F_s = 8,1 \text{ cm} \cong \underline{\underline{162 \text{ kp}}}$$

$$F = 8,9 \text{ cm} \cong \underline{\underline{178 \text{ kp}}}$$

(Abb. 14)

Es betragen: Die Gesamtzugkraft der Leitung $F_w = 74 \text{ kp}$,
 der Winkel des Ankers $\alpha_A = 123^\circ$,
 die Zugkraft im Ankerseil $F = 198 \text{ kp}$,
 die senkrecht gerichtete Kraft $F_s = 162 \text{ kp}$.

Anmerkung

1. Aus der zeichnerischen, räumlichen Zusammensetzung der Leistungszugkräfte F_1 und F_2 ergibt sich die waagrecht wirkende Gesamtzugkraft F_w .
2. Dieser Gesamtzugkraft F_w muß durch das Ankerseil das Gleichgewicht gehalten werden. Die Richtung der Wirkungslinie der Kraft F_w ergibt den Winkel des Ankerseiles.
3. Die Zugkraft F im Ankerseil muß in eine waagrecht gerichtete Kraft F_w und in eine senkrecht gerichtete Kraft F_s zerlegt werden. Für das zu zeichnende Kräfte-dreieck sind die waagrecht gerichtete Kraft F_w und der Winkel β bekannt. An dem Anfang von F_w wird der Winkel β angetragen. Der Schnittpunkt des angetragenen Schenkels des Winkels β mit der auf die Pfeilspitze von F_w gefällten Senkrechten ergibt die Werte von F und F_s .

e) Aufgaben

1. An einem Mauerhaken sind zwei senkrecht nach unten gerichtete Lasten aufgehängt. Die Gewichte der beiden Lasten betragen $G_1 = 14 \text{ kp}$, $G_2 = 22 \text{ kp}$.

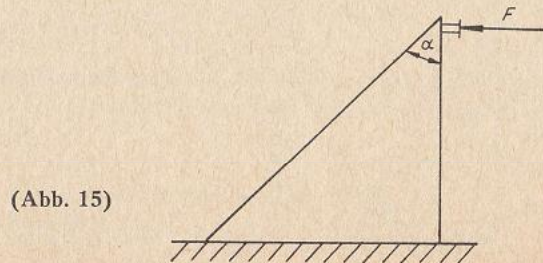
Mit welcher Gesamtkraft wird der Mauerhaken belastet?

2. An einem Fernmeldemast ziehen zwei Leitungszugkräfte von $F_1 = 68 \text{ kp}$ und $F_2 = 46 \text{ kp}$ in entgegengesetzter Richtung.

Welche Gesamtkraft F wirkt auf den Fernmeldemast?

3. Am Ende eines Eisenbahngleises befindet sich ein Prellbock. Der Pufferdruck des anstoßenden Zuges beträgt 100 Tonnen. Der Richtungswinkel der Streben ist $\alpha = 45^\circ$ (Abb. 15).

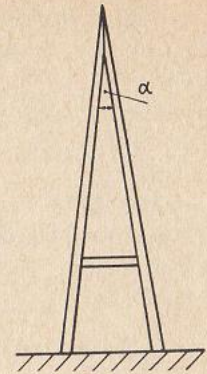
Wie groß sind die Teilkräfte F_1 und F_2 in den Streben?



(Abb. 15)

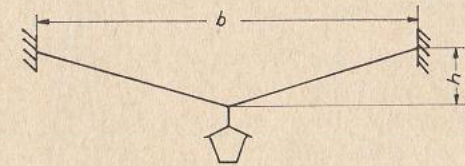
4. Ein A-Mast trägt eine senkrecht nach unten gerichtete Last von $F = 240 \text{ kp}$. Der Spitzenwinkel des A-Mastes ist $\alpha = 15^\circ$ (Abb. 16).

Wie groß sind die Teilkräfte F_1 und F_2 , die auf jeden Schenkel des A-Mastes entfallen?



(Abb. 16)

5. In einer Straße von einer Breite von $b = 8 \text{ m}$ soll eine Lampe in der Straßenmitte angebracht werden. Das Gewicht der Lampe ist $G = 20 \text{ kp}$, der Seildurchhang beträgt $h = 1,2 \text{ m}$ (Abb. 17).



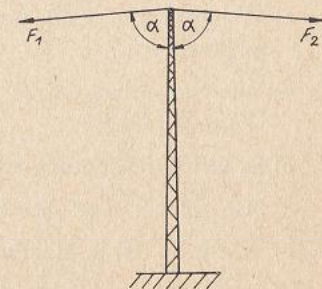
(Abb. 17)

- a) Wie groß sind die Teilkräfte F_1 und F_2 in den Tragseilen?

- b) Mit welchen senkrecht und waagrecht gerichteten Teilkräften F_w und F_s werden die Mauerhaken für die Seilbefestigung belastet?

6. An einem Leitungsmast greifen die Leitungszugkräfte von $F_1 = F_2 = 200 \text{ kp}$ in entgegengesetzter Richtung an. Der Durchhangswinkel der Leitung beträgt $\alpha = 80^\circ$. (Abb. 18).

Mit welcher Kraft F wird der Mast durch die Leitungszugkräfte senkrecht nach unten belastet?



(Abb. 18)

7. Es soll ein Fernmeldemast für nebenstehende Belastung aufgestellt werden. Die Leitungszugkräfte betragen

$$F_1 = 40 \text{ kp,}$$

$$F_2 = 80 \text{ kp,}$$

$$F_3 = 100 \text{ kp.}$$

Die Angriffswinkel der Leitungen betragen

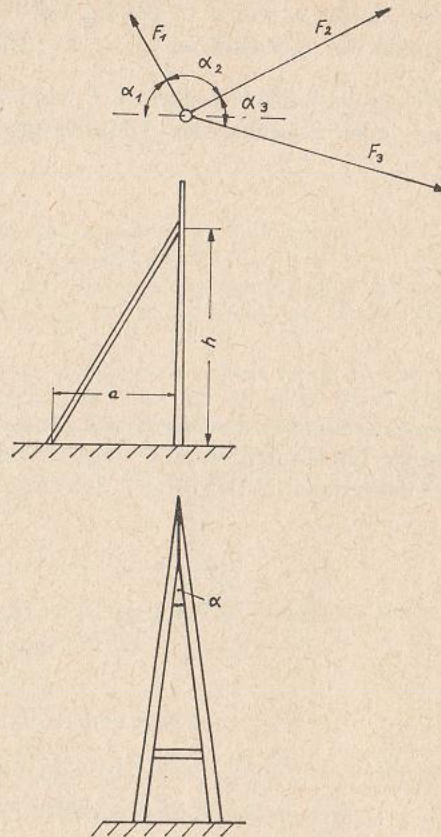
$$\alpha_1 = 60^\circ,$$

$$\alpha_2 = 90^\circ,$$

$$\alpha_3 = 45^\circ.$$

Der Seildurchhang wird vernachlässigt. Die senkrechte Belastung des Mastes beträgt $F_s = 120 \text{ kp}$. Der Fernmeldemast soll entweder mit einer Strebe gesichert oder als A-Mast ausgeführt werden.

Bei der Ausführung mit der Strebe betragen die Höhe der Strebe $h = 4,80 \text{ m}$ und der Bodenabstand $a = 2,40 \text{ m}$. Bei der Ausführung als A-Mast beträgt der Spitzenwinkel $\alpha = 20^\circ$ (Abb. 19).



(Abb. 19)

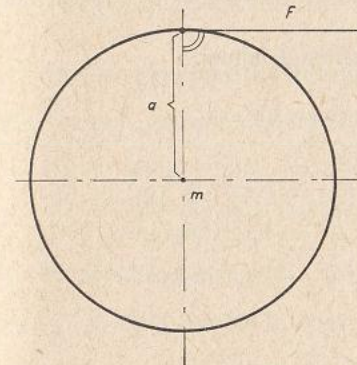
- Wie groß sind Größe und Richtung der waagrecht gerichteten Gesamtkraft F_w ?
- Wie groß sind Größe und Richtung der an den Mast angreifenden Gesamtkraft F ?
- In welcher Richtung wäre die Strebe anzubringen?
- Mit welcher Kraft wird dann die Strebe belastet?
- Wie wäre der A-Mast aufzustellen?
- Mit welchen Kräften werden dann die beiden Schenkel des A-Mastes belastet?

3. Das Gleichgewicht

a) Das Drehmoment

Das Drehmoment ist das Produkt aus **Kraft** mal **Kraftarm**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Drehmoment	M	[kpm]
Größengleichung	$M = F \cdot a \text{ [kpm]}$	
	Einheitengleichung	
	[kpm = kp · m]	



(Abb. 20)

M = Drehmoment in kpm

F = Kraft in kp

a = rechtwinkliger Abstand der Wirkungslinie der Kraft vom Drehpunkt m in Metern

Übungsbeispiel

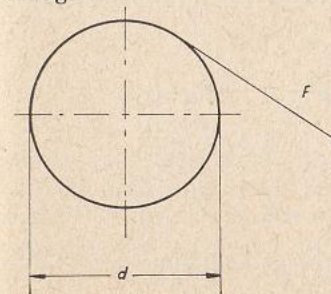
Die Riemenzugkraft eines Elektromotors beträgt $F = 25 \text{ kp}$, der Durchmesser der Riemenscheibe ist $d = 54 \text{ cm}$ (Abb. 21).

Wie groß ist das Drehmoment des Elektromotors?

Gegeben: $F = 25 \text{ kp}$, $d = 54 \text{ cm}$

Gesucht: M

Lösung:



(Abb. 21)

$$M = F \cdot a$$

$$a = \frac{d}{2}$$

$$a = \frac{54}{2}$$

$$a = 27 \text{ cm} = \underline{0,27 \text{ m}}$$

$$M = 25 \cdot 0,27$$

$$M = \underline{\underline{6,75 \text{ kpm}}}$$

Das Drehmoment des Elektromotors beträgt $M = 6,75 \text{ kpm}$.

b) Das Hebelgesetz

Das Hebelgesetz lautet:

$$\text{Kraft} \cdot \text{Kraftarm} = \text{Last} \cdot \text{Lastarm}$$

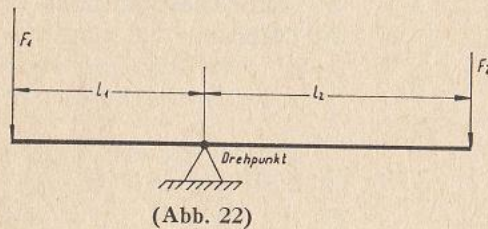
Begriff	Formelzeichen	Einheit
Kraft	F_1	[kp]
Kraftarm	l_1	[m]
Last	F_2	[kp]
Lastarm	l_2	[m]

Größengleichung

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$$

Einheitengleichung

$$[\text{kp} \cdot \text{m} = \text{kp} \cdot \text{m}]$$



F_1 = Kraft in kp
 l_1 = Kraftarm in m
 F_2 = Last in kp
 l_2 = Lastarm in m

(Abb. 22)

Übungsbeispiel

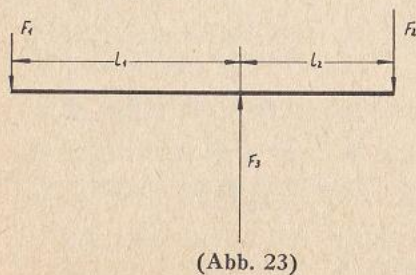
Von dem nachstehenden, in Ruhe befindlichen Hebel betragen $F_1 = 40$ kp, $F_2 = 60$ kp und $l_1 = 0,60$ m (Abb. 23).

Wie groß sind der Lastarm l_2 und die auf die Unterstüttung wirkende Kraft F_3 ?

Gegeben: $F_1 = 40$ kp, $F_2 = 60$ kp, $l_1 = 0,60$ m

Gesucht: l_2 , F_3

Lösung:



(Abb. 23)

$$\begin{aligned} F_1 \cdot l_1 &= F_2 \cdot l_2 \\ l_2 &= \frac{F_1 \cdot l_1}{F_2} \\ l_2 &= \frac{40 \cdot 0,60}{60} \\ l_2 &= \underline{\underline{0,4 \text{ m}}} \end{aligned}$$

Da der Hebel sich in Ruhe befindet, muß die Summe der nach unten gerichteten Kräfte gleich der Größe der nach oben gerichteten Kraft sein.

$$F_1 + F_2 = F_3$$

$$F_3 = F_1 + F_2$$

$$F_3 = 40 + 60$$

$$F_3 = \underline{\underline{100 \text{ kp}}}$$

Die Länge des Lastarmes beträgt $l_2 = 0,40$ m; die Kraft F_3 beträgt 100 kp.

c) Die Gleichgewichtsbedingungen

Ein Körper befindet sich im Gleichgewicht, wenn

- die Summe aller angreifenden **Kräfte** gleich Null ist und
- die Summe aller angreifenden **Drehmomente** gleich Null ist.

Größengleichungen

Zu a) $F_1 + F_2 - F_3 = 0$

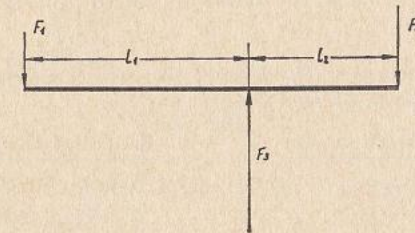
$$F_3 = F_1 + F_2$$

$$\Sigma F = 0$$

Zu b) $F_1 \cdot l_1 - F_2 \cdot l_2 = 0$

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$$

$$\Sigma M = 0$$



(Abb. 24)

Bei der Aufstellung der Gleichungen ist folgendes zu beachten:

Die nach unten gerichteten Kräfte bekommen ein positives Vorzeichen; die nach oben gerichteten Kräfte bekommen ein negatives Vorzeichen.

Die links herum gerichteten Drehmomente bekommen ein positives Vorzeichen; die rechts herum gerichteten Drehmomente bekommen ein negatives Vorzeichen.

Sind alle Kräfte bzw. Drehmomente berücksichtigt, so wird die Gleichung gleich „Null“ gesetzt. Die so erhaltene Gleichung wird nach der gesuchten Größe umgestellt.

Übungsbeispiel

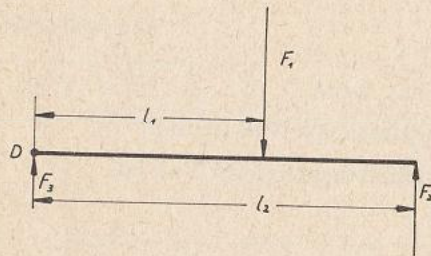
Der nachstehende einseitige Hebel befindet sich in Ruhe. Die angreifende Kraft beträgt $F_1 = 120 \text{ p}$, der Kraftarm ist $l_1 = 60 \text{ cm}$ und der Lastarm $l_2 = 100 \text{ cm}$ (Abb. 25).

Wie groß sind die Last F_2 und die Stützkraft F_3 ?

Gegeben: $F_1 = 120 \text{ p}$, $l_1 = 60 \text{ cm}$, $l_2 = 100 \text{ cm}$

Gesucht: F_2, F_3

Lösung:



(Abb. 25)

$$F_1 \cdot l_1 - F_2 \cdot l_2 = 0$$

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot l_1}{l_2}$$

$$F_2 = \frac{120 \cdot 60}{100}$$

$$F_2 = \underline{\underline{72 \text{ p}}}$$

$$+ F_1 - F_2 - F_3 = 0$$

$$F_3 = F_1 - F_2$$

$$F_3 = 120 - 72$$

$$F_3 = \underline{\underline{48 \text{ p}}}$$

Die Last beträgt $F_2 = 72 \text{ p}$; die Kraft F_3 ist 48 p groß.

Anmerkung

Die Gleichgewichtsbedingungen für Körper sind den Gesetzen des Gleichstromkreises (siehe Abschnitt C. I 4a u. b) sehr ähnlich.

Gleichgewichtsbedingungen

$$F_1 + F_2 - F_3 = 0$$

$$F_1 + F_2 = F_3$$

$$\boxed{\Sigma F = 0}$$

$$F_1 \cdot l_1 - F_2 \cdot l_2 = 0$$

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$$

$$M_1 = M_2$$

$$\boxed{\Sigma M = 0}$$

Kirchhoffschen Gesetze

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$I_1 + I_2 = I_3$$

$$\boxed{\Sigma I = 0}$$

$$I_1 \cdot R_1 - I_2 \cdot R_2 = 0$$

$$I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2$$

$$U_1 = U_2$$

$$\boxed{\Sigma U = 0}$$

Σ großer griechischer Buchstabe Sigma: „Summe aller“.

Z. B. $\Sigma F = 0$: „Summe aller Kräfte gleich Null“.

d) Aufgaben

1. Der Riemenscheibendurchmesser eines Elektromotors beträgt $d = 180 \text{ mm}$; die Riemenzugkraft ist $F = 125 \text{ kp}$.

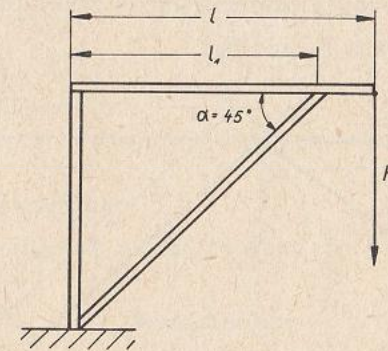
Wie groß ist das Drehmoment des Elektromotors?

2. An einem Fernmeldemast greift in Höhe von $h = 5,75 \text{ m}$ eine Leitungszugkraft von $F = 65 \text{ kp}$ rechtwinklig an.

Wie groß ist das auf den Fernmeldemast wirkende Drehmoment?

3. An nachstehendem Balken greift eine Kraft von $F = 200 \text{ kp}$ senkrecht nach unten gerichtet an. Die Balkenlänge ist $l = 2,40 \text{ m}$, der Abstand des Angriffspunktes für die Strebe ist $l_1 = 1,85 \text{ m}$. Der Winkel zwischen Balken und Strebe beträgt $\alpha = 45^\circ$ (Abb. 26).

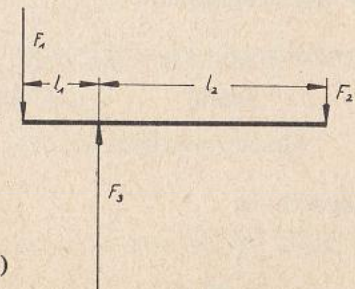
Mit welcher Kraft wird die Strebe belastet?



(Abb. 26)

4. Von nachstehendem doppelseitigem Hebel betragen: $F_1 = 33 \text{ kp}$, $l_1 = 0,85 \text{ m}$, $l_2 = 1,25 \text{ m}$ (Abb. 27).

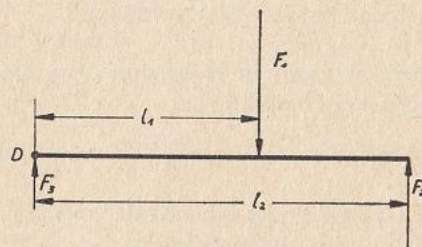
Wie groß sind F_2 und F_3 ?



(Abb. 27)

5. Von nachstehendem einseitigem Hebel betragen: $F_1 = 75 \text{ kp}$, $l_1 = 1,50 \text{ m}$, $l_2 = 2,20 \text{ m}$ (Abb. 28).

Wie groß sind F_2 und F_3 ?

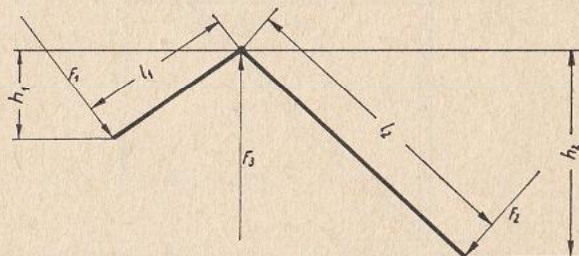


(Abb. 28)

6. Von nachstehendem Winkelhebel betragen $F_1 = 100 \text{ kp}$, $l_1 = 56 \text{ cm}$, $h_1 = 25 \text{ cm}$, $l_2 = 110 \text{ cm}$, $h_2 = 75 \text{ cm}$.

Die Kräfte F_1 und F_2 sind rechtwinklig auf die Hebelarme gerichtet (Abb. 29).

Wie groß sind die Kräfte F_2 und F_3 ?



(Abb. 29)

4. Die Bewegung

a) Die Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit ist der Quotient aus **Weg** durch **Zeit**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Geschwindigkeit	v	$\left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$

Größengleichung

$$v = \frac{s}{t} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Einheitengleichung

$$\left[\frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

$$v = \text{Geschwindigkeit in } \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$s = \text{Weg in m}$$

$$t = \text{Zeit in s}$$

Übungsbeispiel

Ein Eisenbahnzug legt eine Strecke von $s = 435 \text{ km}$ in 6 Stunden und 35 Minuten zurück.

Wie groß ist die durchschnittliche Geschwindigkeit des Zuges?

Gegeben: $s = 435 \text{ km}$, $t = 6 \text{ h } 35 \text{ min}$

Gesucht: v

Lösung:

$$v = \frac{s}{t}$$

$$t = 6 \text{ h } 35 \text{ min} = 360 \text{ min} + 35 \text{ min}$$

$$t = 395 \text{ min} = \frac{395}{60} \text{ h}$$

$$v = \frac{435 \cdot 60}{395}$$

$$v = 66,1 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Die durchschnittliche Geschwindigkeit des Zuges beträgt $v = 66,1 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

b) Die Umfangsgeschwindigkeit

Die Umfangsgeschwindigkeit ist das Produkt aus **Kreisumfang** mal **Umdrehungszahl**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Umfangsgeschwindigkeit	v	$\left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$

Größengleichung

$$v = d \cdot \pi \cdot n \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Einheitengleichung

$$\left[\frac{\text{m}}{\text{s}} = \text{m} \cdot \frac{1}{\text{s}} \right]$$

d = Durchmesser der sich drehenden Scheibe in m

π = Faktor 3,14 ohne Maßeinheit

n = Umdrehungszahl pro Sekunde in $\frac{1}{\text{s}}$

Übungsbeispiel

Der Durchmesser einer Riemenscheibe beträgt $d = 250 \text{ mm}$. Die Umdrehungszahl ist $n = 1500$ Umdrehungen pro Minute.

Wie groß ist die Riemengeschwindigkeit in $\frac{\text{m}}{\text{s}}$?

Gegeben: $d = 250 \text{ mm}$, $n = 1500 \frac{1}{\text{min}}$

Gesucht: v

Lösung: $v = d \cdot \pi \cdot n$

$$n = 1500 \frac{1}{\text{min}} \quad d = 250 \text{ mm}$$

$$n = \frac{1500}{60} \frac{1}{\text{s}} \quad d = 0,25 \text{ m}$$

$$v = \frac{0,25 \cdot 3,14 \cdot 1500}{60}$$

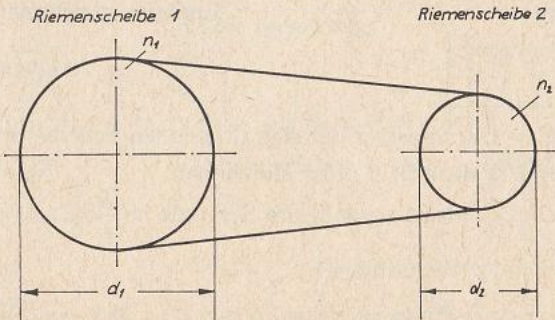
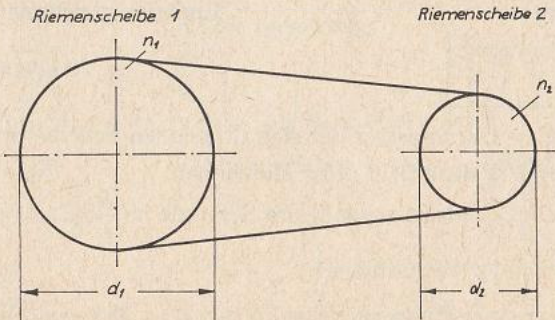
$$v = \underline{\underline{19,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

Die Riemengeschwindigkeit beträgt $v = 19,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

c) Die Übertragung von Drehbewegungen

Der Riemenantrieb

Die Umdrehungszahlen von Riemenscheiben sind **umgekehrt verhältnissgleich** den Durchmessern der Riemenscheiben.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Übersetzungsverhältnis	$\ddot{u}$	keine
Größengleichung	Einheitengleichung	
$\ddot{u} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}$	$\left[\frac{\frac{1}{\text{s}}}{\frac{1}{\text{s}}} = \frac{\text{cm}}{\text{cm}} = \frac{\text{s}}{\text{s}} = \frac{\text{cm}}{\text{cm}} \right]$	
		

(Abb. 30)

n_1 = Umdrehungszahl der Riemenscheibe 1 in $\frac{1}{\text{s}}$

n_2 = Umdrehungszahl der Riemenscheibe 2 in $\frac{1}{\text{s}}$

d_1 = Durchmesser der Riemenscheibe 1 in cm

d_2 = Durchmesser der Riemenscheibe 2 in cm

Übungsbeispiel

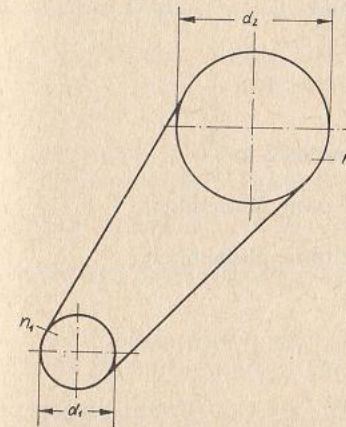
Der Durchmesser einer Riemenscheibe beträgt $d_1 = 120 \text{ mm}$, die Umdrehungszahl der Riemenscheibe ist $n_1 = 3000 \frac{1}{\text{min}}$. Mit dieser Riemenscheibe soll eine andere Riemenscheibe getrieben werden, deren Umdrehungszahl $n_2 = 600 \frac{1}{\text{min}}$ betragen soll (Abb. 31).

Wie groß muß der Durchmesser der angetriebenen Riemenscheibe sein?

Gegeben: $d_1 = 120 \text{ mm}$, $n_1 = 3000 \frac{1}{\text{min}}$, $n_2 = 600 \frac{1}{\text{min}}$

Gesucht: d_2

Lösung:



(Abb. 31)

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

$$d_2 = \frac{n_1 \cdot d_1}{n_2}$$

$$d_2 = \frac{3000 \cdot 120}{600}$$

$$d_2 = \underline{\underline{600 \text{ mm}}}$$

Der Durchmesser der angetriebenen Riemenscheibe beträgt $d_2 = 600 \text{ mm}$.

Der Zahnradantrieb

Die Umdrehungszahlen der Zahnräder sind **umgekehrt verhältnissgleich** den Zähnezahlen der Zahnräder.

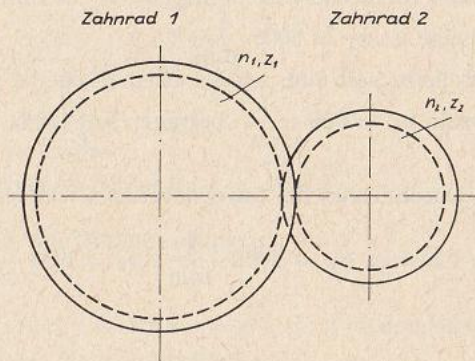
Begriff	Formelzeichen	Einheit
Übersetzungsverhältnis	$\ddot{u}$	keine

Größengleichung

$$\ddot{u} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

Einheitengleichung

$$\left[- = \frac{\frac{1}{s}}{\frac{1}{s}} = \frac{s}{s} \right]$$



(Abb. 32)

- n_1 = Umdrehungszahl des Zahnrades 1 in $\frac{1}{s}$
 n_2 = Umdrehungszahl des Zahnrades 2 in $\frac{1}{s}$
 z_1 = Zähnezahl des Zahnrades 1 ohne Maßeinheit
 z_2 = Zähnezahl des Zahnrades 2 ohne Maßeinheit

Übungsbeispiel

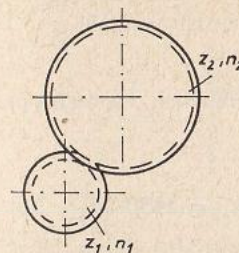
Ein Zahnrad hat $z_1 = 24$ Zähne und macht $n_1 = 1450$ Umdrehungen pro Minute. Das mit diesem Zahnrad angetriebene Zahnrad hat $z_2 = 40$ Zähne (Abb. 33).

Wie groß ist die Umdrehungszahl des angetriebenen Zahnrades?

Gegeben: $z_1 = 24, n_1 = 1450 \frac{1}{\text{min}}, z_2 = 40$

Gesucht: n_2

Lösung:



(Abb. 33)

$$\begin{aligned}
 \frac{n_1}{n_2} &= \frac{z_2}{z_1} \\
 n_2 &= \frac{n_1 \cdot z_1}{z_2} \\
 n_2 &= \frac{1450 \cdot 24}{40} \\
 n_2 &= 870 \frac{1}{\text{min}}
 \end{aligned}$$

Die Umdrehungszahl des angetriebenen Zahnrades 2 beträgt $n_2 = 870$ Umdrehungen pro Minute.

d) Aufgaben

- Ein Lastenaufzug überwindet in $t = 1 \text{ min } 18 \text{ s}$ eine Höhe von $h = 7,60 \text{ m}$. Wie groß ist die Geschwindigkeit des Lastenaufzugs?
- Eine Riemenscheibe hat einen Durchmesser von $d = 240 \text{ mm}$ und macht in einer Minute 720 Umdrehungen. Wieviel Meter Riemen laufen über der Riemenscheibe in $t = 36$ Sekunden ab?
- Bei einem Gewitter wird der Zeitunterschied zwischen dem Erkennen des Blitzes und dem Eintreffen des Donners mit $t = 4,8 \text{ s}$ gemessen. Die Schallgeschwindigkeit beträgt $v = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Wie weit ist das Gewitter von dem Standort des Betrachters entfernt?
- Eine Riemenscheibe hat einen Durchmesser von $d = 180 \text{ mm}$ und macht 1500 Umdrehungen pro Minute. Wie groß ist die Riemengeschwindigkeit in $\frac{\text{m}}{\text{s}}$?
- Die Drehzahl einer Riemenscheibe beträgt $n = 1440 \frac{1}{\text{min}}$. Die Riemengeschwindigkeit ist $v = 16,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Wie groß ist der Durchmesser der Riemenscheibe?

6. Der Durchmesser einer treibenden Riemenscheibe beträgt $d_1 = 550 \text{ mm}$; die Umfangsgeschwindigkeit dieser Riemenscheibe ist $v = 16,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Der Riemenrutsch wird auf $p = 3 \text{ v. H.}$ geschätzt.

Wie groß ist die Umdrehungszahl der angetriebenen Riemenscheibe mit einem Durchmesser von $d_2 = 400 \text{ mm}$?

7. Die Umdrehungszahl eines Motors beträgt $n_1 = 1450 \frac{1}{\text{min}}$. Mit diesem Motor soll eine Riemenscheibe angetrieben werden, deren Durchmesser $d_2 = 750 \text{ mm}$ beträgt. Die angetriebene Riemenscheibe soll pro Minute 450 Umdrehungen machen.
- Wie groß muß der Durchmesser der Riemenscheibe des Antriebsmotors sein?

8. Ein Riemenantrieb hat das Übersetzungsverhältnis von $\ddot{u} = \frac{5,5}{1}$. Die treibende Riemenscheibe hat einen Durchmesser von $d_1 = 225 \text{ mm}$; die Umdrehungszahl beträgt $n_1 = 3000 \frac{1}{\text{min}}$. Der Riemenrutsch wird auf $p = 1,8 \text{ v. H.}$ geschätzt.

- a) Wie groß ist der Durchmesser der angetriebenen Riemenscheibe?
- b) Wie groß ist die Umdrehungszahl der angetriebenen Riemenscheibe bei Vernachlässigung des Riemenrutsches und unter Berücksichtigung des Riemenrutsches?

9. Ein angetriebenes Zahnrad hat $z_2 = 75$ Zähne. Die Umdrehungszahl soll $n_2 = 140$ Umdrehungen pro Minute betragen. Die Umdrehungszahl des treibenden Zahnrades ist $n_1 = 350 \frac{1}{\text{min}}$.
- Wie groß ist die Zähnezahzahl des treibenden Zahnrades?

10. Ein Zahnrad hat $z_1 = 18$ Zähne und macht $n_1 = 140$ Umdrehungen pro Minute. Das Übersetzungsverhältnis des Zahnradantriebes beträgt $\ddot{u} = \frac{1}{3}$.
- Wie groß sind Zähnezahzahl z_2 und Umdrehungszahl n_2 des angetriebenen Zahnrades?

5. Die Arbeit und die Leistung

a) Die mechanische Arbeit

Die mechanische Arbeit ist das Produkt aus **Kraft** mal **Weg**.

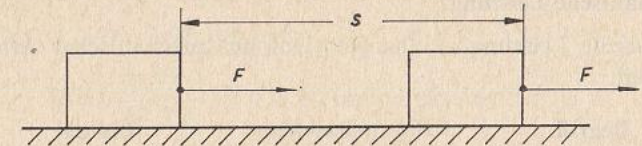
Begriff	Formelzeichen	Einheit
Mechanische Arbeit	A	[kpm]

Größengleichung

$$A = F \cdot s \quad [\text{kpm}]$$

Einheitengleichung

$$[\text{kpm} = \text{kp} \cdot \text{m}]$$



(Abb. 34)

F = Kraft in kp

s = in Kraftrichtung zurückgelegter Weg in m

Übungsbeispiel

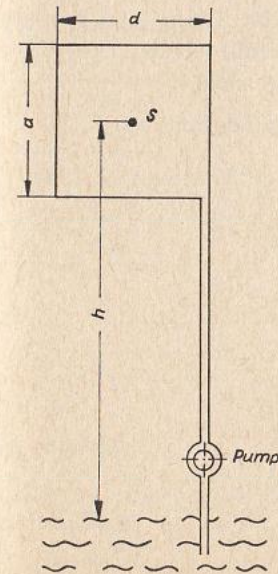
Ein zylindrischer Behälter von $d = 2,00 \text{ m}$ Durchmesser und $a = 3,00 \text{ m}$ Höhe ist $h = 11,00 \text{ m}$ über dem Wasserspiegel eines Sees aufgestellt. Der Wasserbehälter soll durch eine Pumpe gefüllt werden (Abb. 35).

Wie groß ist die von der Pumpe zu verrichtende mechanische Arbeit?

Gegeben: $d = 2,00 \text{ m}$, $a = 3,00 \text{ m}$, $h = 11,00 \text{ m}$, $\gamma = 1 \frac{\text{kp}}{\text{dm}^3}$

Gesucht: A

Lösung:



(Abb. 35)

$$A = G \cdot h$$

$$G = V \cdot \gamma$$

$$V = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot a$$

$$V = \frac{2,0^2 \cdot \pi}{4} \cdot 3,0$$

$$V = 9420 \text{ dm}^3$$

$$G = 9420 \cdot 1$$

$$G = 9420 \text{ kp}$$

$$A = 9420 \cdot 11$$

$$A = 103620 \text{ kpm}$$

Die von der Pumpe zu verrichtende mechanische Arbeit beträgt
 $A = 103\,620 \text{ kpm}$.

b) Die mechanische Leistung

Die mechanische Leistung ist der Quotient aus **mechanischer Arbeit** geteilt durch die **Zeit**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Mechanische Leistung	P	$\left[\frac{\text{kpm}}{\text{s}} \right]$
		$1 \text{ PS} \triangleq 75 \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$

Größengleichung

$$P = \frac{A}{t} \quad \left[\frac{\text{kpm}}{\text{s}} \right]$$

Einheitengleichung

$$\left[\frac{\text{kpm}}{\text{s}} = \frac{\text{kp} \cdot \text{m}}{\text{s}} \right]$$

$$P = \text{mechanische Leistung in } \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$$

$$A = \text{mechanische Arbeit in kpm}$$

$$t = \text{Zeit in s}$$

Übungsbeispiel

Ein Wasserbehälter mit rechteckiger Grundfläche von $2,5 \text{ m} \times 1,2 \text{ m}$ und $c = 2,00 \text{ m}$ Höhe soll durch eine Pumpe mit Wasser gefüllt werden. Das Wasser muß dabei auf eine Höhe von $h = 13,00 \text{ m}$ gepumpt werden.

Wie groß muß die mechanische Leistung der Pumpe mindestens sein?

Gegeben: $a = 2,5 \text{ m}$, $b = 1,2 \text{ m}$, $c = 2,00 \text{ m}$, $t = 30 \text{ min}$, $h = 13,00 \text{ m}$,

$$\gamma = 1 \frac{\text{kp}}{\text{dm}^3}$$

Gesucht: P

Lösung: $P = \frac{A}{t}$

$$A = G \cdot h$$

$$G = V \cdot \gamma$$

$$V = a \cdot b \cdot c$$

$$V = 2,5 \cdot 1,2 \cdot 2$$

$$V = \underline{6,00 \text{ m}^3}$$

$$G = 6000 \cdot 1$$

$$G = \underline{6000 \text{ kp}}$$

$$A = 6000 \cdot 13$$

$$A = \underline{78\,000 \text{ kpm}}$$

$$P = \frac{78\,000}{30 \cdot 60} \quad t = 30 \text{ min} = 30 \cdot 60 \text{ s}$$

$$P = 43,3 \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$$

$$P = \frac{43,3}{75}$$

$$P = \underline{\underline{0,577 \text{ PS}}}$$

Die mechanische Leistung der Pumpe muß mindestens $P = 0,577 \text{ PS}$ betragen.

c) Der Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad ist das **Verhältnis** der **abgegebenen** Leistung zur **zugeführten** Leistung.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Wirkungsgrad	η	keine

Größengleichungen

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

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

Einheitengleichung

$$\left[\frac{\frac{\text{kpm}}{\text{s}}}{\frac{\text{kpm}}{\text{s}}} = \frac{\text{kpm} \cdot \text{s}}{\text{kpm} \cdot \text{s}} \right]$$

$$P_{\text{ab}} = \text{abgegebene Leistung in } \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$$

$$P_{\text{zu}} = \text{zugeführte Leistung in } \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$$

$$\eta = \text{Wirkungsgrad ohne Einheit}$$

Übungsbeispiel

Einer Turbine werden in jeder Sekunde 600 Liter Wasser zugeführt. Das Wassergefälle beträgt $h = 14,00 \text{ m}$. Die abgegebene Turbinenleistung ist $P_{\text{ab}} = 71 \text{ PS}$.

Wie groß ist der Wirkungsgrad der Turbine?

Gegeben: $G = 600 \text{ kp}$, $t = 1 \text{ s}$, $h = 14,00 \text{ m}$, $P_{\text{ab}} = 71 \text{ PS}$

Gesucht: η

Lösung:

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

$$P_{\text{ab}} = 71 \cdot 75$$

$$P_{\text{ab}} = 5325 \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$$

$$P_{\text{zu}} = \frac{A_{\text{zu}}}{t}$$

$$A_{\text{zu}} = G \cdot h$$

$$A_{\text{zu}} = 600 \cdot 14$$

$$A_{\text{zu}} = 8400 \text{ kpm}$$

$$P_{\text{zu}} = \frac{8400}{1}$$

$$P_{\text{zu}} = 8400 \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$$

$$\eta = \frac{5325}{8400}$$

$$\eta = \underline{\underline{0,634}}$$

Der Wirkungsgrad der Turbine beträgt $\eta = 0,634$.

d) Aufgaben

1. Ein Mann trägt eine Last von $G = 50 \text{ kp}$ auf eine senkrechte Höhe von $h = 12,00 \text{ m}$.

Wie groß ist die dabei zu verrichtende mechanische Arbeit?

2. Zum Bewegen eines beladenen Wagens muß zur Überwindung der Reibungskräfte eine Zugkraft von $F = 18 \text{ kp}$ aufgewendet werden. Der Wagen soll waagrecht über eine Strecke von $s = 620 \text{ m}$ gezogen werden.

Wie groß ist die dabei zu verrichtende mechanische Arbeit?

3. Ein Antriebsmotor hat eine Riemenscheibe mit einem Durchmesser von $d = 375 \text{ mm}$. Die Umdrehungszahl des Antriebsmotors ist $n = 220$ Umdrehungen pro Minute. Die Riemenzugkraft beträgt $F = 65 \text{ kp}$.

Wie groß ist die von dem Antriebsmotor in 1 min verrichtete mechanische Arbeit?

4. Ein Behälter soll mit Wasser gefüllt werden. Der Rauminhalt des Behälters beträgt $V = 35 \text{ m}^3$. Das Wasser muß $h = 30 \text{ m}$ hoch gepumpt werden. Die abgegebene mechanische Leistung der Pumpe ist $P_{\text{ab}} = 3 \text{ PS}$.

In welcher Zeit ist der Behälter mit Wasser gefüllt?

5. Ein Gleichstrommotor gibt eine mechanische Leistung von $P_{\text{ab}} = 24 \text{ PS}$ ab. Der Riemenscheibendurchmesser ist $d = 280 \text{ mm}$; die Umdrehungszahl beträgt $n = 1500$ Umdrehungen pro Minute.

Wie groß ist die Riemenzugkraft des Gleichstrommotors?

6. Von einer Winde soll eine Last in 1 min 12 s auf eine Höhe von $h = 24 \text{ m}$ gehoben werden. Die zugeführte mechanische Leistung der Winde beträgt $P_{\text{zu}} = 7 \text{ PS}$, der Wirkungsgrad ist $\eta = 0,69$.

Wie schwer ist die Last?

7. Eine Wasserpumpe fördert in jeder Minute $4,6 \text{ m}^3$ Wasser auf eine Höhe von $h = 25 \text{ m}$. Der Wirkungsgrad der Wasserpumpe beträgt 78 v. H.

Wie groß ist die zugeführte mechanische Leistung in PS?

8. Einer Turbine werden in jeder Sekunde 1200 Liter Wasser über ein Wassergefälle von $h = 12 \text{ m}$ zugeführt. Dabei gibt die Turbine eine mechanische Leistung von $P_{\text{ab}} = 75 \text{ PS}$ an einen Drehstromgenerator ab.

Wie groß ist der Wirkungsgrad der Turbine?

9. Durch eine Wasserpumpe soll ein $h = 30 \text{ m}$ hoch gelegener Wasserbehälter gefüllt werden. Die Maße der rechteckigen Behälterform sind:

Länge $a = 3,40 \text{ m}$, Breite $b = 2,50 \text{ m}$ und Höhe $c = 4,00 \text{ m}$. Die Wasserpumpe wird mit einer mechanischen Leistung von $P_{\text{zu}} = 4,5 \text{ PS}$ angetrieben. Der Wirkungsgrad der Pumpe ist $\eta = 0,61$.

In welcher Zeit ist der Wasserbehälter gefüllt?

10. Von einer Turbine soll eine mechanische Leistung von $P_{\text{ab}} = 34 \text{ PS}$ abgegeben werden. Der Wirkungsgrad der Turbine ist $\eta = 0,85$. Das Wassergefälle beträgt $h = 3,5 \text{ m}$.

Wieviele m^3 Wasser müssen der Turbine in jeder Sekunde zugeführt werden?

6. Die Wärme

a) Die Wärmemenge

Die aufgenommene oder abgegebene Wärmemenge eines Körpers ist das Produkt aus dem **Gewicht** mal **Temperaturunterschied** mal **spezifischer Wärme**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Wärmemenge	Q	[kcal]
Größengleichungen		
$Q = G \cdot \Delta t \cdot c$ [kcal]		
$\Delta t = t_2 - t_1$ [°C]		
Einheitengleichungen		
$\text{kcal} = \text{kp} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{kp} \cdot ^\circ\text{C}}$		
$^\circ\text{C} = ^\circ\text{C} - ^\circ\text{C}$		

Q = Wärmemenge in kcal

Δt = Temperaturunterschied in °C

(Δ = Delta = Unterschied)

t_2 = Endtemperatur in °C

t_1 = Anfangstemperatur in °C

c = spezifische Wärme in $\frac{\text{kcal}}{\text{kp} \cdot ^\circ\text{C}}$

Übungsbeispiel 1

80 Liter Wasser sollen von $t_1 = 15^\circ\text{C}$ auf $t_2 = 90^\circ\text{C}$ erhitzt werden. Wie groß ist die dafür benötigte Wärmemenge?

Gegeben: $G = 80 \text{ kp}$, $t_1 = 15^\circ\text{C}$, $t_2 = 90^\circ\text{C}$, $c = 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kp} \cdot ^\circ\text{C}}$

Gesucht: Q

Lösung:

$$Q = G \cdot \Delta t \cdot c$$

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$$\Delta t = 90 - 15$$

$$\Delta t = 75^\circ\text{C}$$

$$Q = 80 \cdot 75 \cdot 1$$

$$Q = \underline{\underline{6000 \text{ kcal}}}$$

Die für das Erhitzen des Wassers benötigte Wärmemenge beträgt $Q = 6000 \text{ kcal}$.

Übungsbeispiel 2

Ein elektrischer Lötkolben aus Kupfer hat ein Gewicht von $G = 0,8 \text{ kp}$. Die Anfangstemperatur beträgt $t_1 = 15^\circ\text{C}$. Für die Erwärmung des Lötkolbens nimmt er eine Wärmemenge von $Q = 20 \text{ kcal}$ auf.

Wie hoch ist die Temperatur t_2 des erwärmten Lötkolbens?

Gegeben: $G = 0,8 \text{ kp}$, $t_1 = 15^\circ\text{C}$, $Q = 20 \text{ kcal}$,

$$c = 0,105 \frac{\text{kcal}}{\text{kp} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Gesucht: t_2

Lösung:

$$Q = G \cdot \Delta t \cdot c$$

$$\Delta t = \frac{Q}{G \cdot c}$$

$$\Delta t = \frac{20}{0,8 \cdot 0,105}$$

$$\Delta t = 238^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$$t_2 = \Delta t + t_1$$

$$t_2 = 238 + 15$$

$$t_2 = \underline{\underline{253^\circ\text{C}}}$$

Die Endtemperatur des erwärmten Lötkolbens beträgt $t_2 = 253^\circ\text{C}$.

b) Die Längenausdehnung

Die Längenveränderung eines Stabes infolge Temperaturveränderung ist das Produkt aus der **Stablänge** bei der Anfangstemperatur mal der **Längenausdehnungszahl** mal dem **Temperaturunterschied**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Längenausdehnung	l	m
Größengleichungen		
$\Delta l = l_1 \cdot \alpha \cdot \Delta t$ [m]		
$\Delta t = t_2 - t_1$ [°C]		
$l_2 = l_1 + \Delta l$ [m]		
Einheitengleichungen		
$\text{m} = \text{m} \cdot \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot ^\circ\text{C}$		
$^\circ\text{C} = ^\circ\text{C} - ^\circ\text{C}$		
$\text{m} = \text{m} + \text{m}$		

Durch Einsetzen ergeben sich die Größengleichungen:

$$l_2 = l_1 + l_1 \cdot a \cdot \Delta t \quad [\text{m}]$$

$$\left[\text{m} = \text{m} + \text{m} \cdot \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot ^\circ\text{C} \right]$$

$$l_2 = l_1 \cdot [1 + a \cdot \Delta t] \quad [\text{m}]$$

$$\left[\text{m} = \text{m} \cdot [1 + \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot ^\circ\text{C}] \right]$$

l_2 = Länge des Stabes bei der Temperatur t_2 in m

l_1 = Länge des Stabes bei der Temperatur t_1 in m

Δl = Längenausdehnung in m (Δ = Delta = Unterschied)

a = Längenausdehnungszahl in $\frac{1}{^\circ\text{C}}$

Δt = Temperaturunterschied in $^\circ\text{C}$

t_2 = Endtemperatur des Stabes in $^\circ\text{C}$

t_1 = Anfangstemperatur des Stabes in $^\circ\text{C}$

Übungsbeispiel 1

Ein Eisenstab ist bei der Temperatur $t_1 = 14^\circ\text{C}$ $l_1 = 16$ m lang. Infolge Sonnenbestrahlung erhöht sich die Temperatur des Stabes auf $t_2 = 42^\circ\text{C}$.

Wie lang ist der Stab nach der Temperaturerhöhung?

Gegeben: $t_1 = 14^\circ\text{C}$, $l_1 = 16$ m, $t_2 = 42^\circ\text{C}$, $a = 0,000011 \frac{1}{^\circ\text{C}}$

Gesucht: l_2

Lösung:

$$l_2 = l_1 + \Delta l$$

$$\Delta l = l_1 \cdot a \cdot \Delta t$$

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$$\Delta t = 42 - 14$$

$$\Delta t = 28^\circ\text{C}$$

$$\Delta l = 16 \cdot 28 \cdot 0,000011$$

$$\Delta l = 0,00493 \text{ m}$$

$$l_2 = 16 + 0,00493$$

$$l_2 = 16,00493 \text{ m}$$

Die Länge des Eisenstabes beträgt nach der Temperaturerhöhung $l_2 = 16,00493$ m.

Übungsbeispiel 2

Ein Kupferdraht ist bei der Temperatur $t_2 = 70^\circ\text{C}$ $l_2 = 140$ m lang.

Wie lang ist der Kupferdraht bei $t_1 = 20^\circ\text{C}$?

Gegeben: $t_2 = 70^\circ\text{C}$, $l_2 = 140$ m, $t_1 = 20^\circ\text{C}$, $a = 0,000019 \frac{1}{^\circ\text{C}}$

Gesucht: l_1

Lösung:

$$l_2 = l_1 \cdot [1 + a \cdot \Delta t]$$

$$l_1 = \frac{l_2}{1 + a \cdot \Delta t}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$$\Delta t = 70 - 20$$

$$\Delta t = 50^\circ\text{C}$$

$$l_1 = \frac{140}{1 + 0,000019 \cdot 50}$$

$$l_1 = \frac{140}{1 + 0,00095}$$

$$l_1 = \frac{140}{1,00095}$$

$$l_1 = \underline{\underline{138,88 \text{ m}}}$$

Die Länge des Kupferdrahtes bei der Temperatur $t_1 = 20^\circ\text{C}$ beträgt $l_1 = 138,88$ m.

Übungsbeispiel 3

Ein Stahlbandmaß ist bei der Temperatur $t_1 = 20^\circ\text{C}$ $l_1 = 50$ m lang.

Wie lang ist das Stahlbandmaß bei der Temperatur

$t_2 = -20^\circ\text{C}$ (Minus 20°C)?

Gegeben: $t_1 = 20^\circ\text{C}$, $l_1 = 50$ m, $t_2 = -20^\circ\text{C}$, $a = 0,000014 \frac{1}{^\circ\text{C}}$

Gesucht: l_2

Lösung:

$$l_2 = l_1 + \Delta l$$

$$\Delta l = l_1 \cdot a \cdot \Delta t$$

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$$\Delta t = -20 - 20$$

$$\Delta t = -40^\circ\text{C}$$

$$\Delta l = 50 \cdot 0,000014 \cdot -40$$

$$\Delta l = -0,028 \text{ m}$$

$$l_2 = 50 + (-0,28)$$

$$l_2 = 50 - 0,28$$

$$l_2 = \underline{\underline{49,972 \text{ m}}}$$

Die Länge des Stahlbandmaßes beträgt bei der Temperatur $t_2 = -20^\circ \text{C}$ $l_2 = 49,972 \text{ m}$.

Anmerkung

Die Berechnung von Längenänderungen infolge Temperaturänderungen sind den Berechnungen von Widerstandsveränderungen infolge Temperaturänderungen sehr ähnlich (siehe Abschnitt C. I. 1 c).

c) Aufgaben

1. In einem Kochtopf sollen 2 Liter Wasser von $t_1 = 11^\circ \text{C}$ auf $t_2 = 98^\circ \text{C}$ erwärmt werden.

Wie groß ist die dafür benötigte Wärmemenge?

2. Das Gewicht eines Kupfer-Lötkolbens beträgt $G = 0,8 \text{ kp}$. Der Lötkolben soll von $t_1 = 15^\circ \text{C}$ auf $t_2 = 330^\circ \text{C}$ erhitzt werden.

Wie groß ist die dafür benötigte Wärmemenge?

3. In einem Heißwasserspeicher werden 110 Liter Wasser von $t_1 = 12^\circ \text{C}$ auf $t_2 = 86^\circ \text{C}$ erwärmt. Die von dem Heißwasserspeicher dafür aufgenommene Wärmemenge beträgt $Q_{\text{zu}} = 8800 \text{ kcal}$.

Wie groß ist der Wirkungsgrad des Heißwasserspeichers?

4. Um 6 Liter Wasser von $t_1 = 10^\circ \text{C}$ zu erwärmen, werden $Q = 380 \text{ kcal}$ verbraucht.

Welche Temperatur t_2 hat das Wasser nach der Erwärmung?

5. In eine Badewanne fließen aus dem Kaltwasserhahn 50 Liter Wasser von 12°C und aus dem Warmwasserhahn 30 Liter Wasser von 80°C .

Welche Temperatur erhält das Badewasser?

6. Ein Durchlauferhitzer soll in 5 min 30 Liter Wasser von $t_1 = 12^\circ \text{C}$ auf $t_2 = 60^\circ \text{C}$ erwärmen. Der Wirkungsgrad des Durchlauferhitzers beträgt 95,5 v.H.

Welche Wärmemenge muß von der Heizpatrone des Durchlauferhitzers in jeder Minute erzeugt werden?

7. Mit einer Wärmemenge von $Q = 32500 \text{ kcal}$ sollen 400 kp Stahl erwärmt werden. Die Anfangstemperatur des Stahles beträgt $t_1 = 20^\circ \text{C}$.

Wie groß ist die Endtemperatur des Stahles?

8. Ein Stahlkörper soll mit einer Wärmemenge von 64500 kcal von $t_1 = 15^\circ \text{C}$ auf $t_2 = 780^\circ \text{C}$ erwärmt werden.

Wie schwer darf der Stahlkörper höchstens sein?

9. Mit einer Wärmemenge von $Q = 21600 \text{ kcal}$ werden 300 kp eines Metalls von $t_1 = 20^\circ \text{C}$ auf $t_2 = 400^\circ \text{C}$ erwärmt.

Wie groß ist die spezifische Wärme dieses Metalls?

10. Ein Widerstandsdraht aus Nickel ist bei $t_1 = 20^\circ \text{C}$ $l_1 = 220 \text{ m}$ lang. Infolge Stromdurchgangs erhöht sich die Temperatur des Widerstandsdrahtes auf $t_2 = 410^\circ \text{C}$.

Wie lang ist der Widerstandsdraht nach der Erwärmung?

11. Eine Freileitung aus Bronze hat bei $t_1 = 20^\circ \text{C}$ eine Länge von $l_1 = 240 \text{ m}$. Durch Kälteeinbruch sinkt die Temperatur der Leitung auf $t_2 = -40^\circ \text{C}$.

Wie lang ist die Freileitung nach der Abkühlung?

12. Ein Aluminiumrohr ist bei $t_1 = 20^\circ \text{C}$ $l_1 = 19 \text{ m}$ lang. Infolge Erwärmung hat sich das Aluminiumrohr um 3,4 mm ausgedehnt.

Auf welche Temperatur t_2 hat sich das Aluminiumrohr erwärmt?

13. Ein Wagenrad aus Holz soll mit einem Eisenreifen versehen werden. Der Durchmesser des Eisenreifens beträgt bei $t_1 = 20^\circ \text{C}$ $d_1 = 120 \text{ cm}$. Durch Erhitzen des Eisenreifens soll der Reifendurchmesser auf $d_2 = 120,8 \text{ cm}$ vergrößert werden.

Auf welche Temperatur muß der Eisenreifen erhitzt werden?

14. Eine Leitung aus Kupfer hat bei $t_1 = 20^\circ \text{C}$ eine Länge von $l_1 = 640 \text{ m}$.

Wie lang ist die Kupferleitung a) bei $t_2 = 40^\circ \text{C}$,

b) bei $t_2 = -25^\circ \text{C}$?

15. Ein Bimetallstreifen besteht aus zwei aufeinandergegalzten Metallstreifen von $l_1 = 40 \text{ mm}$ bei $t_1 = 20^\circ \text{ C}$. Der eine Streifen besteht aus einer Fe-Ni-Legierung mit der Längenausdehnungszahl $\alpha = 0,0000019 \frac{1}{^\circ \text{C}}$; der andere Streifen besteht aus einer Cu-Ni-Legierung mit der Längenausdehnungszahl $\alpha = 0,00001523 \frac{1}{^\circ \text{C}}$. Durch eine Widerstandswicklung wird der Bimetallstreifen auf $t_2 = 90^\circ \text{ C}$ erwärmt.

Wie lang sind die beiden Metallstreifen nach der Erwärmung?

16. Eine Warmwasserleitung aus Eisen hat bei der Wassertemperatur von $t_2 = 80^\circ \text{ C}$ eine Rohrlänge von $l_2 = 45 \text{ m}$. Durch Ausfall der Heizungsanlage fällt die Wassertemperatur auf $t_1 = 11^\circ \text{ C}$ herab.

Um wieviel mm hat sich die Rohrleitung nach der Abkühlung verkürzt?

17. Eine Freileitung aus Bronze von $l_2 = 244 \text{ m}$ wird im Sommer bei $t_2 = 28^\circ \text{ C}$ ausgelegt. Im Winter fällt die Temperatur auf $t_1 = -20^\circ \text{ C}$ herab.

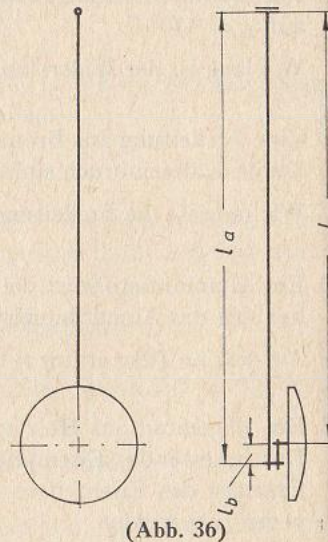
Wie lang ist die Freileitung bei $t_1 = -20^\circ \text{ C}$?

18. Die Ganggenauigkeit einer Pendeluhr, wie sie z. B. für Zeitansageeinrichtungen verwendet werden, hängt weitgehend von der Länge des Pendels ab. Die Pendellänge ist dabei die Entfernung zwischen dem Drehpunkt und dem gemeinsamen Schwerpunkt von Pendelscheibe und Pendelgestänge, die auch bei Temperaturveränderungen möglichst gleich groß bleiben soll (Abb. 36).

Von einem Pendelgestänge betragen bei $t_1 = 18^\circ \text{ C}$ $l = 1200 \text{ mm}$, $l_a = 1260 \text{ mm}$ und $l_b = 60 \text{ mm}$. Die lange Pendelstange ist aus einer Fe-Ni-

Legierung von $\alpha_a = 0,0000012 \frac{1}{^\circ \text{C}}$, die kurze Pendelstange ist aus einer Cu-Ni-Legierung von $\alpha_b = 0,000016 \frac{1}{^\circ \text{C}}$ hergestellt. Die Raumtemperatur steigt im Sommer auf $+28^\circ \text{ C}$ an und fällt im Winter auf $+13^\circ \text{ C}$.

Wie lang ist die Pendellänge l im Sommer und im Winter?



(Abb. 36)

C. Grundlagen der Elektrotechnik

I. Der Gleichstromkreis

Die Grundgrößen des elektrischen Stromkreises sind:

Begriffe	Formelzeichen	Einheiten
Stromstärke	I	[A]
Spannung	U	[V]
Widerstand	R	[Ω]

1. Der Widerstand

a) Die Berechnung von Leiterwiderständen

Der Widerstand eines Leiters ist verhältnismäßig der **Leiterlänge** und dem **spezifischen Widerstand** und umgekehrt verhältnismäßig dem **Leiterquerschnitt**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Widerstand	R	[Ω]
Größengleichung	$R = \frac{l \cdot \rho}{A} \quad [\Omega]$	
Einheitengleichung	$\left[\Omega = \frac{\text{m} \cdot \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}}{\text{mm}^2} = \frac{\text{m} \cdot \Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{mm}^2 \cdot \text{m}} \right]$	

R = Widerstand des Leiters in Ω (Ohm)

l = Leiterlänge in m

ρ = Rho = spezifischer Widerstand in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ (bei $t = 20^\circ \text{ C}$)

A = Leiterquerschnitt in mm^2

Übungsbeispiel

Der Durchmesser eines Kupferdrahtes beträgt $d = 0,8 \text{ mm}$.

Die Länge des Kupferdrahtes ist $l = 840 \text{ m}$.

Wie groß ist der Widerstand des Kupferdrahtes?

Gegeben: $d = 0,8 \text{ mm}$, $l = 840 \text{ m}$, $\rho = 0,018 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ ¹⁾

Gesucht: R

Lösung:

$$R = \frac{l \cdot \rho}{A}$$

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

¹⁾ Die Werte für die spezifischen Widerstände sind dem Band B 6, Teil 2 zu entnehmen.

$$A = \frac{0,8^2 \cdot \pi}{4}$$

$$A = 0,502 \text{ mm}^2$$

$$R = \frac{840 \cdot 0,018}{0,502}$$

$$R = 30,1 \, \Omega$$

Der Widerstand des Kupferdrahtes beträgt $R = 30,1 \, \Omega$.

b) Der Leitwert

Der Leitwert ist der **umgekehrte Wert** des **Widerstandes**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Leitwert	G	[S]

Größengleichung

$$G = \frac{1}{R} \text{ [S]}$$

Einheitengleichung

$$\left[S = \frac{1}{\Omega} \right]$$

G = Leitwert in S (Siemens)
 R = Widerstand in Ω (Ohm)

Übungsbeispiel

Der Widerstand eines Kupferdrahtes beträgt $R = 30 \, \Omega$.
 Wie groß ist der Leitwert des Kupferdrahtes?

Gegeben: $R = 30 \, \Omega$

Gesucht: G

Lösung:

$$G = \frac{1}{R}$$

$$G = \frac{1}{30}$$

$$G = 0,0333 \text{ S}$$

Der Leitwert des Kupferdrahtes beträgt $G = 0,0333 \text{ S}$.

c) Der Widerstand und die Temperatur

Die Widerstandsveränderung infolge Temperaturveränderung ist das Produkt aus dem **Widerstandswert** bei $t_1 = 20^\circ \text{C}$ mal dem **Temperaturbeiwert** mal dem **Temperaturunterschied**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Widerstandsveränderung	ΔR	[Ω]

Größengleichungen

$$\Delta R = R_{20} \cdot \alpha \cdot \Delta t \text{ [}\Omega\text{]}$$

Einheitengleichungen

$$\left[\Omega = \Omega \cdot \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot ^\circ\text{C} \right]$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 \text{ [}^\circ\text{C}\text{]}$$

$$[^\circ\text{C} = ^\circ\text{C} - ^\circ\text{C}]$$

$$R_t = R_{20} + \Delta R \text{ [}\Omega\text{]}$$

$$[\Omega = \Omega + \Omega]$$

Durch Einsetzen ergeben sich die Größengleichungen:

$$R_t = R_{20} + R_{20} \cdot \alpha \cdot \Delta t \text{ [}\Omega\text{]}$$

$$\left[\Omega = \Omega + \Omega \cdot \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot ^\circ\text{C} \right]$$

$$R_t = R_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot \Delta t] \text{ [}\Omega\text{]}$$

$$\left[\Omega = \Omega \cdot [1 + \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot ^\circ\text{C}] \right]$$

R_t = Widerstandswert in Ω bei der Endtemperatur t_2

R_{20} = Widerstandswert in Ω bei der Normaltemperatur t_1

ΔR = Widerstandsveränderung in Ω (Δ = Delta = Unterschied)

α = Temperaturbeiwert in $\frac{1}{^\circ\text{C}}$ (α = Alpha)

Δt = Temperaturunterschied in $^\circ\text{C}$

t_2 = Endtemperatur in $^\circ\text{C}$

t_1 = Normaltemperatur = 20°C

Übungsbeispiel 1

Der Querschnitt eines Stahldrahtes ist $A = 0,75 \text{ mm}^2$; die Länge des Drahtes ist $l = 34 \text{ m}$.

Wie groß sind die Widerstandswerte des Stahldrahtes

a) bei $t_1 = 20^\circ \text{C}$ und

b) bei $t_2 = 120^\circ \text{C}$?

Gegeben: $A = 0,75 \text{ mm}^2$, $l = 34 \text{ m}$, $\varrho = 0,125 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$
 $t_1 = 20^\circ \text{ C}$, $t_2 = 120^\circ \text{ C}$, $\alpha = 0,0048 \frac{1}{^\circ \text{C}}$

Gesucht: R_{20} , R_t

Lösung:

$$R_{20} = \frac{l \cdot \varrho}{A} \quad \Delta t = 120 - 20$$

$$R_{20} = \frac{34 \cdot 0,125}{0,75} \quad \Delta t = 100^\circ \text{C}$$

$$R_{20} = \underline{5,67 \Omega} \quad \Delta R = 5,67 \cdot 0,0048 \cdot 100$$

$$R_t = R_{20} + \Delta R \quad \Delta R = \underline{2,72 \Omega}$$

$$\Delta R = R_{20} \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad R_t = 5,67 + 2,72$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad R_t = \underline{8,39 \Omega}$$

Bei $t_1 = 20^\circ \text{ C}$ beträgt der Widerstand des Stahldrahtes $R_{20} = 5,67 \Omega$; bei $t_2 = 120^\circ \text{ C}$ beträgt der Widerstand des Stahldrahtes $R_t = 8,39 \Omega$.

Übungsbeispiel 2

Eine Widerstandswicklung aus WM 13 (Stahl) hat bei der Temperatur von $t_1 = 20^\circ \text{ C}$ einen Widerstand von $R_{20} = 37,0 \Omega$. Infolge Stromdurchgangs erhöht sich der Widerstandswert des Stahldrahtes auf $R_t = 38,2 \Omega$.

Auf welche Temperatur t_2 hat sich die Widerstandswicklung erwärmt?

Gegeben: $t_1 = 20^\circ \text{ C}$, $R_{20} = 37 \Omega$, $R_t = 38,2 \Omega$, $\alpha = 0,0048 \frac{1}{^\circ \text{C}}$

Gesucht: t_2

Lösung:

$$R_t = R_{20} + \Delta R \quad \Delta t = \frac{1,2}{37,0 \cdot 0,0048}$$

$$\Delta R = R_t - R_{20} \quad \Delta t = \underline{6,75^\circ \text{ C}}$$

$$\Delta R = 38,2 - 37 \quad \Delta t = t_2 - t_1$$

$$\Delta R = \underline{1,2 \Omega} \quad t_2 = \Delta t + t_1$$

$$\Delta R = R_{20} \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad t_2 = 6,75 + 20$$

$$\Delta t = \frac{\Delta R}{R_{20} \cdot \alpha} \quad t_2 = \underline{26,75^\circ \text{ C}}$$

Die Widerstandswicklung hat sich auf $t_2 = 26,75^\circ \text{ C}$ erwärmt.

¹⁾ Die Werte für den Temperaturbeiwert sind dem Band B 6, Teil 2 zu entnehmen.

Übungsbeispiel 3

Eine Widerstandswicklung aus Stahldraht hat bei der Temperatur von $t_2 = 115^\circ \text{ C}$ einen Widerstand von $R_t = 780 \Omega$.

Wie groß ist der Widerstand des Stahldrahtes bei der Temperatur von $t_1 = 20^\circ \text{ C}$?

Gegeben: $t_2 = 115^\circ \text{ C}$, $R_t = 780 \Omega$, $\alpha = 0,0048 \frac{1}{^\circ \text{C}}$
 $t_1 = 20^\circ \text{ C}$

Gesucht: R_{20}

Lösung:

$$R_t = R_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot \Delta t] \quad R_{20} = \frac{R_t}{1 + \alpha \cdot \Delta t}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad R_{20} = \frac{780}{1 + 0,0048 \cdot 95}$$

$$\Delta t = 115 - 20 \quad R_{20} = \underline{536 \Omega}$$

$$\Delta t = \underline{95^\circ \text{ C}}$$

Der Widerstand der Widerstandswicklung beträgt bei $t_1 = 20^\circ \text{ C}$ $R_{20} = 536 \Omega$.

d) Aufgaben

- Ein Kupferdraht ist $l = 262 \text{ m}$ lang und hat einen Durchmesser von $d = 0,4 \text{ mm}$.

Wie groß ist der Widerstand des Kupferdrahtes?

- Die Wicklung einer Spule besteht aus Kupferdraht von $d = 0,75 \text{ mm}$ Durchmesser und hat einen Widerstand von $R = 54 \Omega$.

Wieviel Meter Kupferdraht wurden für die Herstellung der Spule benötigt?

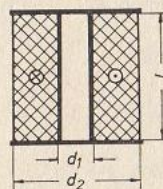
- Für einen Gleichstrommotor, der 104 m von der nächsten Anschlußstelle entfernt ist, soll eine Kupferleitung verlegt werden. Der Widerstand der Kupferleitung soll nicht höher als $R = 35 \Omega$ sein.

Welcher Kupferquerschnitt ist für die Anschlußleitung zu verlegen?

- Für einen Fernsprechananschluß beträgt die Entfernung zwischen dem Hauptanschluß und der Vermittlungsstelle $1,670 \text{ km}$. Die Adernstärke für die Anschlußleitung ist $d = 0,4 \text{ mm Cu}$.

Wie groß ist der Widerstand der Anschlußleitung?

5. Die Wicklung einer Relaisspule besteht aus lackisoliertem Kupferdraht. Der Durchmesser des blanken Kupferdrahtes beträgt 0,7 mm, der Durchmesser des lackisolierten Kupferdrahtes beträgt 0,765 mm. Die Windungen der inneren Lage haben einen Durchmesser von $d_1 = 12$ mm, die Windungen der äußeren Lage haben einen Durchmesser von $d_2 = 38$ mm. Die Länge des Wickelraumes beträgt $l = 66$ mm (Abb. 37).



(Abb. 37)

- Zeichne den Spulenquerschnitt im Maßstab 1 : 1!
- Wie groß ist der Widerstand der Spule bei $t_1 = 20^\circ \text{C}$?
- Wie groß ist der Widerstand der Spule bei $t_2 = 65^\circ \text{C}$?

Widerstandswert eines Vorwiderstandes beträgt $R = 104 \Omega$. Die Länge des Widerstandsdrahtes ist $l = 125$ m und der Drahtquerschnitt ist mm^2 .

Wie groß ist der spezifische Widerstand des Drahtes?

Ein Draht aus Nickeldraht hat einen Durchmesser von $d = 0,45$ mm. Soll aus Konstantandraht neu gewickelt werden, ohne daß die Länge ändert.

Welchen Drahtdurchmesser des Konstantandrahtes sein?

Wie groß ist der Widerstand der Spule bei $t_1 = 20^\circ \text{C}$? Wie groß ist der Widerstand am Tage bei der Temperatur $t_2 = 65^\circ \text{C}$?

Wie groß ist der Widerstand nachts bei der Temperatur $t_3 = 10^\circ \text{C}$?

Wie groß ist der Widerstand im ausgeschalteten Zustand?

Wird die Lampe eingeschaltet, so steigt die Temperatur des Kohlefadens an auf $t_2 = 1200^\circ \text{C}$.

Wie groß ist der Widerstand der Kohlefadenlampe im eingeschalteten Zustand?

10. Der Wolframfaden einer Glühlampe hat während des Betriebszustandes einen Widerstand von $R_t = 1205 \Omega$. Die Temperatur des Wolframfadens beträgt dann $t_2 = 2400^\circ \text{C}$. Wird die Lampe ausgeschaltet, so fällt die Temperatur des Wolframfadens auf $t_1 = 20^\circ \text{C}$ herab.

Wie groß ist der Widerstand der Glühlampe in ausgeschaltetem Zustand?

11. Die Kupferwicklung eines Relais wird bei der Temperatur $t_1 = 20^\circ \text{C}$ und nach längerem Betrieb gemessen. Bei der Temperatur $t_1 = 20^\circ \text{C}$ beträgt der Widerstand der Kupferwicklung $R_{20} = 450 \Omega$. Nach längerem Betrieb beträgt der Widerstand der Kupferwicklung $R_t = 463 \Omega$.

Auf welche Temperatur t_2 hat sich die Kupferwicklung des Relais während des Betriebes erwärmt?

12. Die Grenzerwärmung eines Transformators beträgt nach VDE 05032 70°C . Die Unterspannungswicklung eines Transformators hat nach einer Messung bei der Temperatur $t_1 = 20^\circ \text{C}$ einen Widerstandswert von $R_{20} = 3,8 \Omega$. Nach längerem Betrieb wird der Widerstand der Unterspannungswicklung erneut gemessen. Der Widerstandswert der Unterspannungswicklung beträgt nunmehr $R_t = 4,9 \Omega$.

Genügt die Wicklung den VDE-Vorschriften für die Grenzerwärmung?

13. Ein Widerstandsdraht aus Stahl hat während des Stromdurchgangs eine Temperatur von $t_2 = 650^\circ \text{C}$ und einen Widerstand von $R_t = 37 \Omega$.

Wie groß ist der Widerstand des Stahldrahtes bei $t_1 = 20^\circ \text{C}$?

14. Eine eingeschaltete Kohlefadenlampe hat einen Widerstand von $R_t = 1650 \Omega$; die Temperatur des Kohlefadens beträgt dabei $t_2 = 900^\circ \text{C}$. Wird die Lampe ausgeschaltet, so fällt die Temperatur des Kohlefadens auf $t_1 = 20^\circ \text{C}$ herab.

Wie groß ist der Widerstand der ausgeschalteten Kohlefadenlampe?

15. Die Kupferwicklung eines längere Zeit angezogenen Relais hat einen Widerstand von $R_t = 1240 \Omega$. Die Temperatur des Relais mit eingeschalteten Kontakten beträgt $t_2 = 55^\circ \text{C}$. Nach Abfall des Relais fällt die Relais-Temperatur auf die Raumtemperatur von $t_1 = 20^\circ \text{C}$ herab.

Wie groß ist der Widerstand der Relaiswicklung bei der Raumtemperatur?

16. Eine Freileitung aus Bronze hat während der Sommerszeit bei $+ 30^\circ \text{C}$ einen Widerstand von 65Ω .

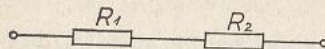
Wie groß ist der Widerstand der Freileitung

- bei der Temperatur von $+ 20^\circ \text{C}$ und
- bei der Temperatur von $- 20^\circ \text{C}$?

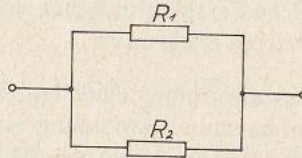
2. Die Schaltung von Widerständen

Die Widerstände können entweder **hintereinandergeschaltet** oder **parallelgeschaltet** werden.

Hintereinanderschaltung



Parallelschaltung



(Abb. 38)

a) Die Reihenschaltung

Bei der Reihenschaltung von Widerständen ist der Gesamtwiderstand gleich der **Summe** aller **Einzelwiderstände**.

Begriff

Gesamtwiderstand

Formelzeichen

R

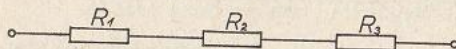
Einheit

$[\Omega]$

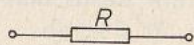
Größengleichung

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad [\Omega]$$

Schaltbild



Ersatzschaltbild



(Abb. 39)

R = Gesamtwiderstand in Ω

R_1 = Einzelwiderstand in Ω

R_2 = Einzelwiderstand in Ω

R_3 = Einzelwiderstand in Ω

Übungsbeispiel

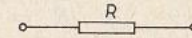
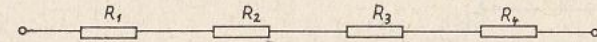
Die Widerstandswerte von vier hintereinandergeschalteten Widerständen betragen $R_1 = 14 \Omega$, $R_2 = 38 \Omega$, $R_3 = 17 \Omega$ und $R_4 = 9 \Omega$ (Abb. 40).

Wie groß ist der Gesamtwiderstand R ?

Gegeben: $R_1 = 14 \Omega$, $R_2 = 38 \Omega$, $R_3 = 17 \Omega$, $R_4 = 9 \Omega$

Gesucht: R

Lösung:



(Abb. 40)

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R = 14 + 38 + 17 + 9$$

$$R = \underline{\underline{78 \Omega}}$$

Der Gesamtwiderstand der Hintereinanderschaltung beträgt $R = 78 \Omega$.

b) Die Parallelschaltung

Bei der Parallelschaltung von Widerständen ist der Gesamtleitwert gleich der **Summe** aller **Einzelwertwerte**.

Begriff

Gesamtleitwert

Formelzeichen

G oder $\frac{1}{R}$

Einheit

$\frac{1}{R}$ oder $[\text{S}]$

Größengleichungen

$$G = G_1 + G_2 + G_3 \quad [\text{S}]$$

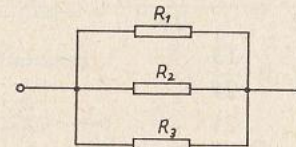
Einheitengleichungen

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

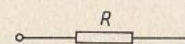
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \left[\frac{1}{\Omega} \right]$$

$$\left[\frac{1}{\Omega} \right] = \frac{1}{\Omega} + \frac{1}{\Omega} + \frac{1}{\Omega}$$

Schaltbild



Ersatzschaltbild



(Abb. 41)

G = Gesamtleitwert in S

G_1 = Einzelleitwert in S

G_2 = Einzelleitwert in S

G_3 = Einzelleitwert in S

R = Gesamtwiderstand in Ω

R_1 = Einzelwiderstand in Ω

R_2 = Einzelwiderstand in Ω

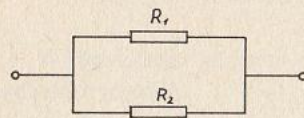
R_3 = Einzelwiderstand in Ω

Bei der Parallelschaltung von **zwei** Widerständen errechnet sich der Gesamtwiderstand aus dem **Produkt** der beiden Einzelwiderstände geteilt durch die **Summe** der beiden Einzelwiderstände.

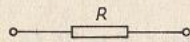
Größengleichung

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad [\Omega]$$

Schaltbild



Ersatzschaltbild



(Abb. 42)

Einheitengleichung

$$\left[\Omega = \frac{\Omega \cdot \Omega}{\Omega + \Omega} = \frac{\Omega \cdot \Omega}{\Omega} \right]$$

R = Gesamtwiderstand in Ω

R_1 = Einzelwiderstand in Ω

R_2 = Einzelwiderstand in Ω

Übungsbeispiel 1

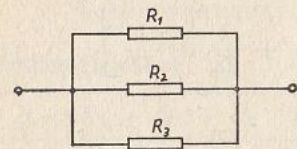
Drei Widerstände von $R_1 = 4 \Omega$, $R_2 = 6 \Omega$ und $R_3 = 8 \Omega$ sind parallelgeschaltet (Abb. 43).

Wie groß ist der Gesamtwiderstand?

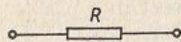
Gegeben: $R_1 = 4 \Omega$, $R_2 = 6 \Omega$, $R_3 = 8 \Omega$

Gesucht: R

Lösung:



Ersatzschaltbild



(Abb. 43)

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

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{4} + \frac{1}{6} + \frac{1}{8}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{6 + 4 + 3}{24}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{13}{24}$$

$$R = \frac{24}{13}$$

$$R = \underline{\underline{1,85 \Omega}}$$

Der Gesamtwiderstand beträgt $R = 1,85 \Omega$.

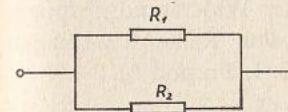
Übungsbeispiel 2

Zwei Widerstände von $R_1 = 25 \Omega$ und $R_2 = 40 \Omega$ sind parallelgeschaltet. Wie groß ist der Gesamtwiderstand?

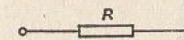
Gegeben: $R_1 = 25 \Omega$, $R_2 = 40 \Omega$

Gesucht: R

Lösung:



Ersatzschaltbild



(Abb. 44)

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

$$R = \frac{25 \cdot 40}{25 + 40}$$

$$R = \frac{25 \cdot 40}{65}$$

$$R = \underline{\underline{15,4 \Omega}}$$

Der Gesamtwiderstand beträgt $R = 15,4 \Omega$.

Übungsbeispiel 3

Zwei Widerstände sind parallelgeschaltet. Der Gesamtwiderstand der Parallelschaltung beträgt $R = 12 \Omega$.

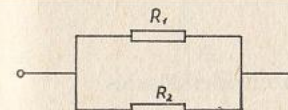
Der Einzelwiderstand ist $R_1 = 30 \Omega$ (Abb. 45).

Wie groß ist der Einzelwiderstand R_2 ?

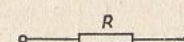
Gegeben: $R = 12 \Omega$, $R_1 = 30 \Omega$

Gesucht: R_2

Lösung:



Ersatzschaltbild



(Abb. 45)

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

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R} - \frac{1}{R_1}$$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{12} - \frac{1}{30}$$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{5 - 2}{60}$$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{3}{60}$$

$$R_2 = \frac{60}{3}$$

$$R_2 = \underline{\underline{20 \Omega}}$$

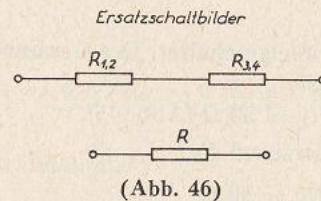
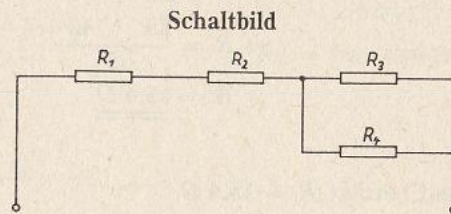
Der Einzelwiderstand beträgt $R_2 = 20 \Omega$.

c) Die Widerstandsgruppenschaltung

Der Gesamtwiderstand einer Widerstandsgruppenschaltung setzt sich zusammen aus der Summe aller **Einzelwiderstände** bzw. aller **Ersatzwiderstände**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Gesamtwiderstand	R	$[\Omega]$

Für die Berechnung des Gesamtwiderstandes einer Widerstandsgruppenschaltung werden die Formeln für die Berechnung von Reihenschaltungen und Parallelschaltungen verwendet (siehe Abschnitt C. I. 2 a und b).



- R = Gesamtwiderstand in Ω
- R_1 = Einzelwiderstand in Ω
- R_2 = Einzelwiderstand in Ω
- R_3 = Einzelwiderstand in Ω
- R_4 = Einzelwiderstand in Ω
- $R_{1,2}$ = Ersatzwiderstand der Einzelwiderstände R_1 und R_2 in Ω
- $R_{3,4}$ = Ersatzwiderstand der Einzelwiderstände R_3 und R_4 in Ω

Übungsbeispiel 1

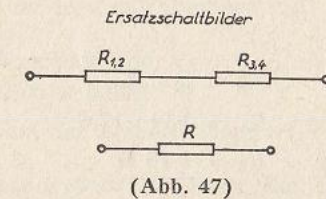
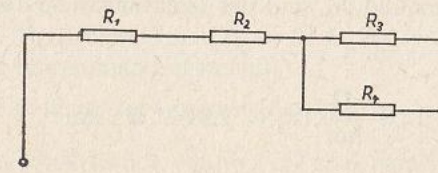
Von nachstehender Widerstandsgruppenschaltung betragen $R_1 = 4 \Omega$, $R_2 = 12 \Omega$, $R_3 = 6 \Omega$ und $R_4 = 3 \Omega$ (Abb. 47).

Wie groß ist der Gesamtwiderstand?

Gegeben: $R_1 = 4 \Omega$, $R_2 = 12 \Omega$, $R_3 = 6 \Omega$, $R_4 = 3 \Omega$

Gesucht: R

Lösung:



$$R_{1,2} = R_1 + R_2$$

$$R_{1,2} = 4 + 12$$

$$R_{1,2} = 16 \Omega$$

$$R_{3,4} = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4}$$

$$R_{3,4} = \frac{6 \cdot 3}{6 + 3}$$

$$R_{3,4} = \frac{6 \cdot 3}{9}$$

$$R_{3,4} = 2 \Omega$$

$$R = R_{1,2} + R_{3,4}$$

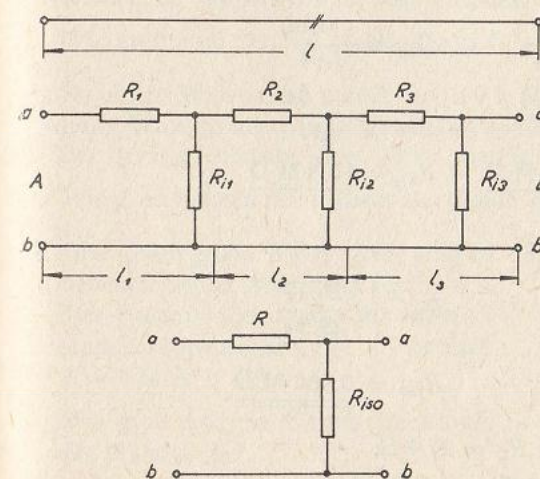
$$R = 16 + 2$$

$$R = 18 \Omega$$

Der Gesamtwiderstand beträgt $R = 18 \Omega$.

Übungsbeispiel 2

Text und Ausrechnung des Übungsbeispiels 2 Seite 62.



$$l_1 = 1 \text{ km}$$

$$l_2 = 1 \text{ km}$$

$$l_3 = 0,14 \text{ km}$$

(Abb. 48)

Die Linienlänge einer Fernsprechleitung beträgt $l = 2,14$ km. Es betragen der Leitungswiderstand je km Doppelleitung $R = 12,8 \frac{\Omega}{\text{km}}$ und der Isolationswiderstand je km Doppelleitung $R_1 = 1,94 \text{ M } \Omega \cdot \text{km}$ (Abb. 48).

Wie groß sind der Leitungswiderstand R_L und der Isolationswiderstand R_{iso} der Fernsprechleitung?

Schaltbild Seite 61.

Gegeben: $l = 2,14$ km, $R = 12,8 \frac{\Omega}{\text{km}}$, $R_1 = 1,94 \text{ M } \Omega \cdot \text{km}$

Gesucht: R_L , R_{iso}

Lösung:

$$R_L = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_1 = l_1 \cdot R$$

$$R_2 = l_2 \cdot R$$

$$R_3 = l_3 \cdot R$$

$$R_1 = 1 \cdot 12,8$$

$$R_2 = 1 \cdot 12,8$$

$$R_3 = 0,14 \cdot 12,8$$

$$R_1 = \underline{12,8 \Omega}$$

$$R_2 = \underline{12,8 \Omega}$$

$$R_3 = \underline{1,79 \Omega}$$

$$R_L = 12,8 + 12,8 + 1,79$$

$$R_L = \underline{27,4 \Omega}$$

$$G_{\text{iso}} = G_{i_1} + G_{i_2} + G_{i_3}$$

$$\frac{1}{R_{\text{iso}}} = \frac{1}{R_{i_1}} + \frac{1}{R_{i_2}} + \frac{1}{R_{i_3}}$$

$$G_{i_1} = l_1 \cdot G_i$$

$$G_{i_2} = l_2 \cdot G_i$$

$$G_{i_3} = l_3 \cdot G_i$$

$$G_{i_1} = l_1 \cdot \frac{1}{R_1}$$

$$G_{i_2} = l_2 \cdot \frac{1}{R_1}$$

$$G_{i_3} = l_3 \cdot \frac{1}{R_1}$$

$$G_{i_1} = 1 \cdot \frac{1}{1,94}$$

$$G_{i_2} = 1 \cdot \frac{1}{1,94}$$

$$G_{i_3} = 1 \cdot \frac{1}{1,94}$$

$$G_{i_1} = \frac{1}{1,94}$$

$$G_{i_2} = \frac{1}{1,94}$$

$$G_{i_3} = \frac{0,14}{1,94}$$

$$R_{i_1} = \frac{1,94}{1}$$

$$R_{i_2} = \frac{1,94}{1}$$

$$R_{i_3} = \frac{1,94}{0,14}$$

$$R_{i_1} = \underline{1,94 \text{ M } \Omega}$$

$$R_{i_2} = \underline{1,94 \text{ M } \Omega}$$

$$R_{i_3} = \underline{13,8 \text{ M } \Omega}$$

$$\frac{1}{R_{\text{iso}}} = \frac{1}{1,94} + \frac{1}{1,94} + \frac{1}{13,8}$$

$$\frac{1}{R_{\text{iso}}} = \frac{13,8 + 13,8 + 1,94}{1,94 \cdot 13,8}$$

$$R_{\text{iso}} = \frac{26,77}{29,54}$$

$$\frac{1}{R_{\text{iso}}} = \frac{29,54}{26,77}$$

$$R_{\text{iso}} = \underline{0,906 \text{ M } \Omega}$$

Der Leitungswiderstand beträgt $R_L = 27,4 \Omega$.

Der Isolationswiderstand beträgt $R_{\text{iso}} = 0,906 \text{ M } \Omega$.

d) Aufgaben

1. Drei Widerstände von je 18Ω sind hintereinandergeschaltet.

Wie groß ist der Gesamtwiderstand?

2. Vier Widerstände von $R_1 = 24 \Omega$, $R_2 = 12 \Omega$, $R_3 = 36 \Omega$ und $R_4 = 18 \Omega$ sind hintereinandergeschaltet.

Wie groß ist der Gesamtwiderstand?

3. Drei Widerstände von je 24Ω sind parallelgeschaltet.

Wie groß ist der Gesamtwiderstand?

4. Vier Widerstände von $R_1 = 6 \Omega$, $R_2 = 42 \Omega$, $R_3 = 24 \Omega$ und $R_4 = 12 \Omega$ sind parallelgeschaltet.

Wie groß ist der Gesamtwiderstand?

5. Der Gesamtwiderstand einer Reihenschaltung von zwei Widerständen beträgt $R = 144 \Omega$. Der eine Widerstand ist $R_1 = 78 \Omega$ groß.

Wie groß ist der Einzelwiderstand R_2 ?

6. Der Gesamtwiderstand einer Parallelschaltung von zwei Widerständen beträgt $R = 160 \Omega$. Der eine Widerstand ist $R_1 = 240 \Omega$ groß.

Wie groß ist der Einzelwiderstand R_2 ?

7. Zwei Widerstände von $R_1 = 14 \Omega$ und $R_2 = 30 \Omega$ sind parallelgeschaltet. Zu dieser Parallelschaltung soll ein dritter Widerstand parallelgeschaltet werden, so daß der Gesamtwiderstand $R = 4 \Omega$ beträgt.

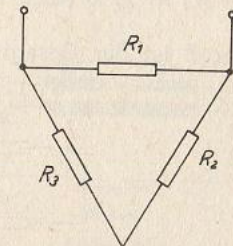
Wie groß muß der Einzelwiderstand R_3 sein?

8. Zu einem Widerstand von $R_1 = 100 \text{ k } \Omega$ sollen zwei untereinander gleich große Widerstände parallelgeschaltet werden, so daß der Gesamtwiderstand der Parallelschaltung $R = 22 \text{ k } \Omega$ beträgt.

Wie groß müssen die Einzelwiderstände R_1 und R_2 sein?

9. Drei gleich große Widerstände sind in nebenstehender Schaltung geschaltet. Der Gesamtwiderstand der Widerstandsgruppenschaltung beträgt $R = 4 \Omega$ (Abb. 49).

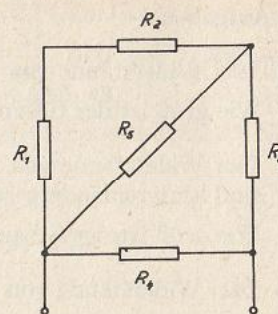
Wie groß sind die Einzelwiderstände R_1 , R_2 und R_3 ?



(Abb. 49)

10. Von nebenstehender Widerstandsgruppenschaltung betragen $R_1 = 4 \Omega$, $R_2 = 6 \Omega$, $R_3 = 15 \Omega$, $R_4 = 20 \Omega$ und $R_5 = 10 \Omega$ (Abb. 50).

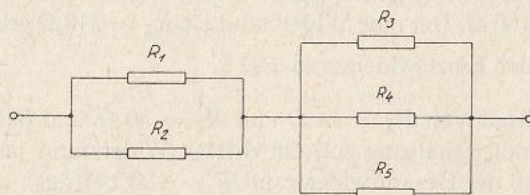
- Zeichnen Sie für die Berechnung des Gesamtwiderstandes die Ersatzschaltbilder!
- Wie groß ist der Gesamtwiderstand der Widerstandsgruppenschaltung?



(Abb. 50)

11. Von nachstehender Widerstandsgruppenschaltung betragen $R_1 = 8 \Omega$, $R_2 = 24 \Omega$, $R_3 = 4 \Omega$, $R_4 = 6 \Omega$, $R_5 = 12 \Omega$ (Abb. 51).

- Zeichnen Sie für die Berechnung des Gesamtwiderstandes die Ersatzschaltbilder!
- Wie groß ist der Gesamtwiderstand der Widerstandsgruppenschaltung?

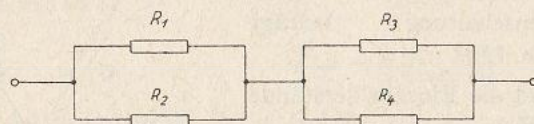


(Abb. 51)

12. Von nachstehender Widerstandsgruppenschaltung betragen

$$R_1 = 36 \Omega, R_2 = 24 \Omega, R_3 = 45 \Omega \text{ und } R_4 = 75 \Omega \text{ (Abb. 52).}$$

Wie groß ist der Gesamtwiderstand der Widerstandsgruppenschaltung?

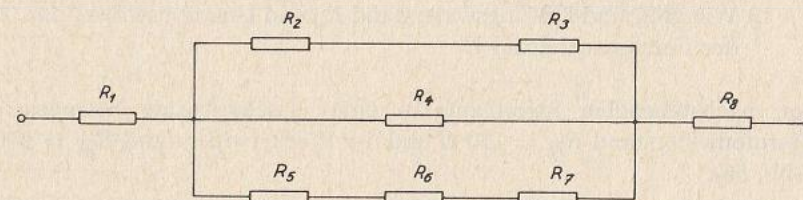


(Abb. 52)

13. Von nachstehender Widerstandsgruppenschaltung betragen

$$R_1 = 8 \Omega, R_2 = 15 \Omega, R_3 = 10 \Omega, R_4 = 15 \Omega, \\ R_5 = 8 \Omega, R_6 = 12 \Omega, R_7 = 2 \Omega \text{ und } R_8 = 18 \Omega \text{ (Abb. 53).}$$

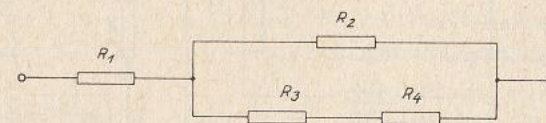
Wie groß ist der Gesamtwiderstand der Widerstandsgruppenschaltung?



(Abb. 53)

14. Von nachstehender Widerstandsgruppenschaltung betragen der Gesamtwiderstand $R = 150 \Omega$ und die Einzelwiderstände $R_1 = 85 \Omega$, $R_2 = 420 \Omega$ und $R_3 = 40 \Omega$ (Abb. 54).

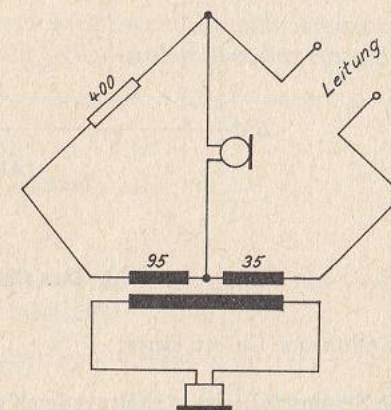
Wie groß ist der Einzelwiderstand R_4 ?



(Abb. 54)

15. Von nebenstehender Dämpfungsschaltung ZB/W beträgt der Mikrofonwiderstand $R_M = 100 \Omega$ (Abb. 55).

- Zeichnen Sie für die Dämpfungsschaltung das Schaltbild!
- Wie groß ist der Gesamtwiderstand der Dämpfungsschaltung?



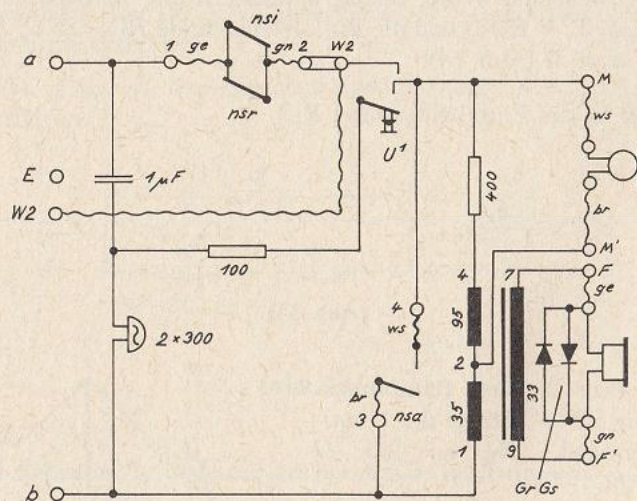
(Abb. 55)

16. Die Linienlänge einer Fernsprechleitung beträgt $l = 3,4 \text{ km}$. Der Leitungswiderstand je km Doppelleitung ist $R = 3 \frac{\Omega}{\text{km}}$ und der Isolationsleitwert ist $G = 0,5 \frac{\mu\text{S}}{\text{km}}$ groß.

- Zeichnen Sie für die Fernsprechleitung das Schaltbild!
- Wie groß sind Leitungswiderstand R_L und Isolationswiderstand R_{iso} der Fernsprechleitung?

17. Von nachstehendem Stromlaufplan eines Tischapparats betragen der Mikrofonwiderstand $R_M = 110 \, \Omega$ und der Weckerwiderstand $R_W = 600 \, \Omega$ (Abb. 56).

- a) Zeichnen Sie für den Tischapparat das Schaltbild bei geschlossenem Gabelumschalter U_1 !
- b) Wie groß ist der Gesamtwiderstand des Tischapparats?



(Abb. 56)

3. Das Ohmsche Gesetz

Das Ohmsche Gesetz lautet:

„Die Stromstärke ist verhältnisgleich der Spannung und umgekehrt verhältnisgleich dem Widerstand.“

Begriffe	Formelzeichen	Einheiten
Stromstärke	I	[A]
Spannung	U	[V]
Widerstand	R	[Ω]

Größengleichungen

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

$$U = I \cdot R [\text{V}]$$

$$R = \frac{U}{I} [\Omega]$$

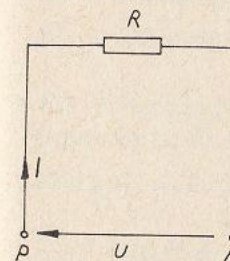
Einheitengleichungen

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

$$[V = A \cdot \Omega]$$

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

Schaltbild



(Abb. 57)

I = Stromstärke in A
 U = Spannung in V
 R = Widerstand in Ω
 P = positiver Pol der Spannungsquelle
 N = negativer Pol der Spannungsquelle

Da der Strom von der Spannung durch den geschlossenen Stromkreis hindurch getrieben wird, werden die Spannungspfeile von **stromtreibenden** Spannungen **in** Stromrichtung gezeichnet.

- ### a) Das Rechnen mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes

Übungsbeispiel 1

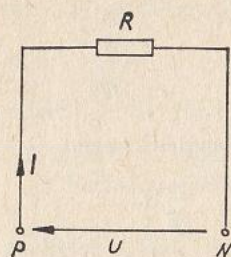
Eine Glühlampe ist an einer Spannung von $U = 220 \text{ V}$ geschaltet. Der Widerstand der Glühlampe beträgt $R = 1200 \Omega$ (Abb. 58).

Von welcher Stromstärke wird die Glühlampe durchflossen?

Gegeben: $U = 220 \text{ V}, R = 1200 \Omega$

Gesucht: *I*

Lösung:



(Abb. 58)

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

$$I = \frac{220}{1200}$$

$$I = 0,183 \text{ A}$$

Die Stromstärke beträgt

$$I = 0,183 \text{ A.}$$

Übungsbeispiel 2

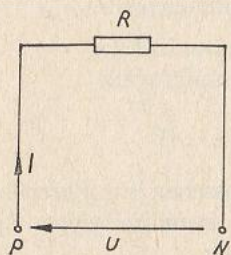
Ein Widerstand von $R = 1,5 \text{ k}\Omega$ ist bis zu einer Stromstärke von $I = 85 \text{ mA}$ belastbar (Abb. 59).

An welche Spannung darf der Widerstand höchstens geschaltet werden?

Gegeben: $R = 1,5 \text{ k}\Omega$, $I = 85 \text{ mA}$

Gesucht: U

Lösung:



(Abb. 59)

$$U = I \cdot R$$

$$U = 0,085 \cdot 1500$$

$$U = 127,5 \text{ V}$$

Die höchstzulässige Spannung beträgt $U = 127,5 \text{ V}$.

b) Aufgaben

1. Eine Glühlampe hat einen Widerstand von $R = 112 \Omega$.

Die angeschaltete Spannung beträgt $U = 24 \text{ V}$.

Von welcher Stromstärke wird die Glühlampe durchflossen?

2. Ein Widerstand ist an einer Spannung von $U = 220 \text{ V}$ angeschaltet. Die gemessene Stromstärke beträgt $I = 2,2 \text{ A}$.

Wie groß ist der Widerstand?

3. Vier Widerstände von $R_1 = 24 \Omega$, $R_2 = 13 \Omega$, $R_3 = 38 \Omega$ und $R_4 = 29 \Omega$ sind hintereinandergeschaltet. Die angeschaltete Spannung beträgt $U = 60 \text{ V}$.

Wie groß ist die Stromstärke in dem Stromkreis?

4. Vier gleich große Widerstände von je 320Ω sind parallelgeschaltet. Die angeschaltete Spannung beträgt $U = 220 \text{ V}$.

Wie groß ist die Stromstärke in dem Stromkreis?

5. Ein Widerstand von $R = 2,5 \text{ k}\Omega$ wird von einer Stromstärke von $I = 24 \text{ mA}$ durchflossen.

Wie hoch ist der Spannungsverbrauch an diesem Widerstand?

6. Die Magnetspule eines Relais besteht aus 100 m Kupferdraht von $d = 0,2 \text{ mm}$. Die Stromstärke in der Spule soll $I = 0,8 \text{ A}$ betragen.

An welche Spannung muß die Spule geschaltet werden?

7. Ein Widerstand ist an einer Spannung von $U = 42 \text{ V}$ angeschaltet. Die Stromstärke beträgt $I = 18 \text{ mA}$.

Wie groß ist der Leitwert des Widerstandes?

8. Der Leitwert eines Widerstandes beträgt $G = 6 \mu\text{S}$.

Der Widerstand wird an eine Spannung von $U = 60 \text{ V}$ geschaltet.

Wie groß ist die Stromstärke in dem Widerstand?

9. Ein Widerstand aus Chromnickel ist mit einem Widerstand aus Kohle hintereinandergeschaltet. Der Chromnickel-Widerstand hat bei $t_1 = 20^\circ \text{C}$ einen Widerstand von $R_C = 76 \Omega$; der Kohle-Widerstand ist bei $t_1 = 20^\circ \text{C}$ $R_K = 50 \Omega$ groß. Die angeschaltete Spannung beträgt $U = 60 \text{ V}$. Infolge Stromdurchgangs erwärmt sich der Chromnickel-Widerstand auf $t_2 = 90^\circ \text{C}$ und der Kohlewiderstand auf $t_2 = 65^\circ \text{C}$.

a) Zeichnen Sie das Schaltbild für die Widerstandsschaltung!

b) Wie groß ist der Gesamtwiderstand bei $t_1 = 20^\circ \text{C}$?

c) Wie groß sind die Einzelwiderstände R_C und R_K nach der Erwärmung?

d) Wie groß ist der Gesamtwiderstand der Hintereinanderschaltung nach der Erwärmung?

- e) Wie groß ist die Widerstandsveränderung des Gesamtwiderstandes infolge der Erwärmung?
- f) Welche Stromstärke durchfließt die Widerstände bei der Temperatur $t_1 = 20^\circ \text{C}$?
- g) Welche Stromstärke durchfließt die Widerstände nach der Erwärmung?
10. Eine Glühlampe hat in eingeschaltetem Zustand einen Widerstand von $R_t = 1200 \, \Omega$. Die Temperaturen des Wolframfadens betragen bei ausgeschalteter Glühlampe $t_1 = 20^\circ \text{C}$ und bei eingeschalteter Glühlampe $t_2 = 2400^\circ \text{C}$. Die angeschaltete Spannung ist $U = 220 \text{ V}$,
- Wie groß ist die Betriebsstromstärke der Glühlampe?
 - Wie hoch ist der Einschaltstromstoß bei der Einschaltung der Glühlampe?
 - Um wieviel Prozent übersteigt der Einschaltstromstoß die Betriebsstromstärke?

4. Die Stromverzweigung und die Spannungsaufteilung

Die Stromverzweigung und die Spannungsaufteilung in Stromkreisen werden mit Hilfe der **Kirchhoffschen Gesetze** ermittelt. Ebenso wie das **Ohmsche Gesetz** sind auch die **Kirchhoffschen Gesetze** von **überragender Bedeutung** für die gesamte Elektrotechnik.

a) Das erste Kirchhoffsche Gesetz

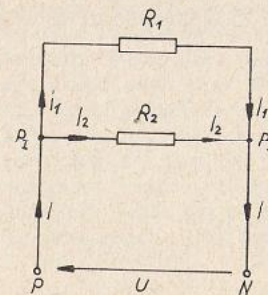
Das erste Kirchhoffsche Gesetz lautet:

„In jedem Stromverzweigungspunkt ist die Summe aller zufließenden und abfließenden Ströme gleich Null.“

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Stromstärke	I, I_1, I_2	[A]
Größengleichungen	Einheitengleichung	
$I - I_1 - I_2 = 0$ umgestellt nach I :		
$I = I_1 + I_2$ [A]	$[A = A + A]$	

$$\sum I = 0$$

Schaltbild



(Abb. 60)

- I = Gesamtstrom in A
- I_1 = Teilstrom in A, der durch den Widerstand R_1 fließt
- I_2 = Teilstrom in A, der durch den Widerstand R_2 fließt
- P_I = Stromverzweigungspunkt I
- P_{II} = Stromverzweigungspunkt II

Beim Aufstellen der Gleichungen für die Stromverzweigung werden die Ströme, die auf den Stromverzweigungspunkt **zufließen**, mit einem **positiven Vorzeichen** versehen. Die Ströme, die von dem Stromverzweigungspunkt **abfließen**, werden mit einem **negativen Vorzeichen** versehen.

Anmerkung

Σ = großer griechischer Buchstabe Sigma: „Summe aller“

$\Sigma I = 0$: „Summe aller Ströme in einem Stromverzweigungspunkt gleich Null“

Vergleiche hierzu die Gleichgewichtsbedingungen für Körper (Abschnitt B. I. 3. c).

Übungsbeispiel

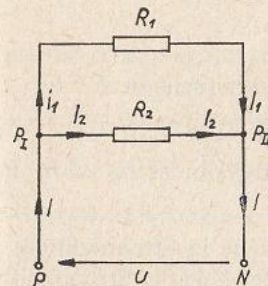
Zwei Widerstände sind parallelgeschaltet. Der Gesamtstrom beträgt $I = 6,4 \text{ A}$, der Teilstrom I_1 beträgt $I_1 = 4,2 \text{ A}$ (Abb. 61).

Wie groß ist der Teilstrom I_2 ?

Gegeben: $I = 6,4 \text{ A}$, $I_1 = 4,2 \text{ A}$

Gesucht: I_2

Lösung:



(Abb. 61)

Für Punkt P_I gilt:

$$+ I - I_1 - I_2 = 0$$

$$I_2 = I - I_1$$

$$I_2 = 6,4 - 4,2$$

$$I_2 = \underline{\underline{2,2 \text{ A}}}$$

Die Teilstromstärke I_2 beträgt $I_2 = 2,2 \text{ A}$.

Wäre die Gleichung nach Punkt P_{II} aufgestellt worden, so hätte dieser Ansatz das gleiche Ergebnis gebracht. Zur Probe werden die Zahlenwerte in die Ausgangsgleichung eingesetzt:

$$P_I : + 6,4 - 4,2 - 2,2 = 0$$

$$P_{II} : - 6,4 + 4,2 + 2,2 = 0$$

b) Das zweite Kirchhoffsche Gesetz

Das zweite Kirchhoffsche Gesetz lautet:

„In jedem geschlossenen Stromkreis ist die Summe aller Spannungen gleich Null.“

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Spannung	U, U_1, U_2	[V]

Größengleichungen

$U - U_1 - U_2 = 0$ umgestellt nach U :

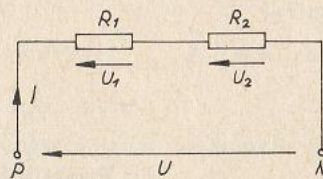
$$U = U_1 + U_2 \quad [V]$$

Einheitengleichung

$$[V = V + V]$$

$$\Sigma U = 0$$

Schaltbild



(Abb. 62)

U = treibende Spannung der Spannungsquelle in V

U_1 = Spannungsabfall am Widerstand R_1 in V; $U_1 = I \cdot R_1$

U_2 = Spannungsabfall am Widerstand R_2 in V; $U_2 = I \cdot R_2$

Für **treibende Spannungen** werden die Spannungspfeile in **Stromrichtung** gezeichnet; für **Spannungsabfälle** werden die Spannungspfeile der **Stromrichtung entgegengesetzt** gezeichnet.

Beim Aufstellen der Gleichung für die Spannungsaufteilung im Stromkreis wird der geschlossene Stromkreis einmal in Uhrzeigerrichtung umkreist, z. B. von dem negativen Pol der Spannungsquelle N aus über den Spannungspfeil der treibenden Spannung U und über die Spannungspfeile der Spannungsabfälle U_1 und U_2 hinweg zurück nach dem negativen Pol der Spannungsquelle N. Die Spannungen, deren Spannungspfeile bei der Umkreisung des Stromkreises **in Pfeilrichtung** übergegangen werden, bekommen ein **positives Vorzeichen**. Die Spannungen, deren Spannungspfeile bei der Umkreisung des Stromkreises **gegen die Pfeilrichtung** übergegangen werden, bekommen ein **negatives Vorzeichen**. Sind sämtliche Spannungspfeile eines geschlossenen Leitungszuges berücksichtigt worden, wird die Gleichung gleich „Null“ gesetzt.

Übungsbeispiel

Zwei Widerstände sind hintereinandergeschaltet. Die treibende Gesamtspannung beträgt $U = 220$ V, der Spannungsabfall am Widerstand R_1 beträgt $U_1 = 160$ V (Abb. 63).

Wie groß ist der Spannungsabfall U_2 am Widerstand R_2 ?

Gegeben: $U = 220$ V, $U_1 = 160$ V

Gesucht: U_2

Lösung:

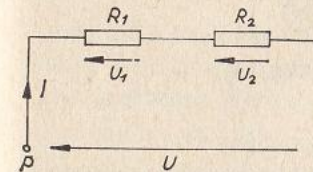
Vom negativen Pol ausgehend:

$$+ U - U_1 - U_2 = 0$$

$$U_2 = U - U_1$$

$$U_2 = 220 - 160$$

$$U_2 = \underline{\underline{60 \text{ V}}}$$



(Abb. 63)

Die Teilspannung U_2 beträgt $U_2 = 60$ V.

Wäre die Gleichung mit einer Umkreisung des Stromkreises aufgestellt worden, die der Uhrzeigerrichtung entgegengerichtet ist, so hätte dieser Ansatz das gleiche Ergebnis gebracht.

Zur Probe werden die Zahlenwerte in die Ausgangsgleichung eingesetzt:

In Uhrzeigerrichtung: $+ 220 - 160 - 60 = 0$

Der Uhrzeigerrichtung entgegengerichtet:

$$+ 60 + 160 - 220 = 0$$

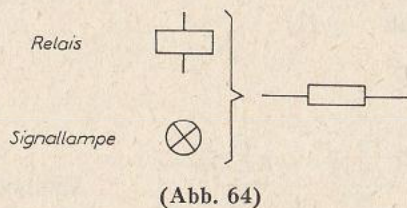
c) Das Rechnen mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes und der Kirchhoffschen Gesetze

Für das Rechnen mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes und der Kirchhoffschen Gesetze läßt sich keine allgemeingültige Regel aufstellen. Verschiedene Aufgabenstellungen erfordern eine andere Anwendung dieser Gesetze. Die Reihenfolge der Anwendung dieser Gesetze muß daher stets der jeweiligen Aufgabenstellung angepaßt werden.

Das Rechnen mit Hilfe des **Ohmschen Gesetzes** und der **Kirchhoffschen Gesetze** erfordert **Übung** in der **Aufstellung** und **Umstellung von Gleichungen**, wie sie sich aus dem Schaltbild für die Aufgabenstellung ergeben. Bei richtiger Anwendung des Ohmschen Gesetzes und der Kirchhoffschen Gesetze lassen sich von **jeder** Widerstandsgruppenschaltung die Stromverzweigung und die Spannungsaufteilung errechnen.

Nachstehende Regeln sollen die Anwendung dieser wichtigen Gesetze bei der Berechnung von Widerstandsgruppenschaltungen erleichtern.

1. Zeichnen Sie für jede zu berechnende Widerstandsgruppenschaltung ein **Schaltbild**, in dem jedes Schaltglied (Relais, Signallampe, Wecker usw.) als Widerstand dargestellt ist (Abb. 64)!



(Abb. 64)

2. Zeichnen Sie das Schaltbild so, daß sämtliche Widerstände **waagerecht** liegen und legen Sie die Stromrichtung so fest, daß der Strom **in Uhrzeigerichtung** durch den Stromkreis fließt!

Eine Übereinstimmung der angenommenen Stromrichtung mit der tatsächlichen Stromrichtung in dem Stromkreis von Plus nach Minus ist dabei nicht erforderlich, weil die Stromrichtung keine Bedeutung für die Größe und Stärke von Teilspannungen und Teilströmen hat.

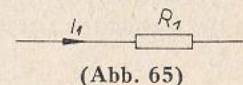
3. Bezeichnen Sie jeden Widerstand und jedes als Widerstand gezeichnetes Schaltglied mit R_1, R_2, R_3 usw.!

4. Bei umfangreicheren Widerstandsgruppenschaltungen werden für die Berechnung des Gesamtwiderstandes ein oder mehrere **Ersatzschaltbilder** gezeichnet. Werden z. B. zwei Widerstände R_1 und R_2 , die hintereinander-

oder parallelgeschaltet sein können, zusammengefaßt, so bekommt der sich daraus ergebende Ersatzwiderstand die Bezeichnung $R_{1,2}$.

5. Tragen Sie in das Schaltbild die **Strompfeile** ein (Abb. 65)!

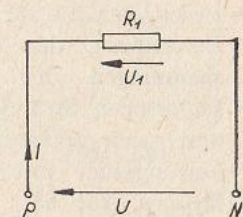
Mit den Strompfeilen wird die Stromrichtung für die Berechnung der Widerstandsgruppenschaltung festgelegt. Sie werden in schwarzer Farbe auf die Leitungslinie gezeichnet. Durch den Widerstand R_1 fließt der Teilstrom I_1 , durch R_2 fließt I_2 usw.



(Abb. 65)

6. Tragen Sie in das Schaltbild die **Spannungspfeile** ein (Abb. 66)!

Die Spannungspfeile werden in roter Farbe zwischen die Pole der Spannungsquelle und unter die Widerstände gezeichnet. Der Spannungspfeil für die treibende Spannung wird in Stromrichtung gezeichnet; die Spannungspfeile für die Spannungsabfälle an den Widerständen werden der Stromrichtung entgegengerichtet gezeichnet. Die treibende Spannung der Spannungsquelle wird mit U bezeichnet; der Spannungsabfall am Widerstand R_1 mit U_1 , am Widerstand R_2 mit U_2 usw.



(Abb. 66)

7. Prüfen Sie nach dem mit Strom- und Spannungspfeilen versehenen Schaltbild, welche **gesuchte Größe** dieser Widerstandsgruppenschaltung mit den **gegebenen Werten** errechnet werden kann!

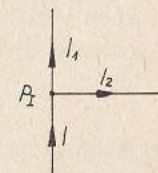
Die für die Berechnung verwendeten Gleichungen dürfen nur eine unbekannte Größe enthalten, weil sie sonst nicht lösbar sind.

8. Für die Berechnung des **Gesamtwiderstandes** vgl. die Gleichungen des Abschnittes C. I. 2.

Für die Berechnung des Gesamtstromes, der Teilströme und der Teilspannungen siehe die Gleichungen der Abschnitte C. I. 3. und C. I. 4.

9. Für die Berechnung der **Teilströme** sind die Stromverzweigungspunkte mit P_I, P_{II} usw. zu bezeichnen (Abb. 67).

Die Teilströme, die auf den Stromverzweigungspunkt zufließen, bekommen ein positives Vorzeichen



Gesucht: I_2

$$+I - I_1 - I_2 = 0$$

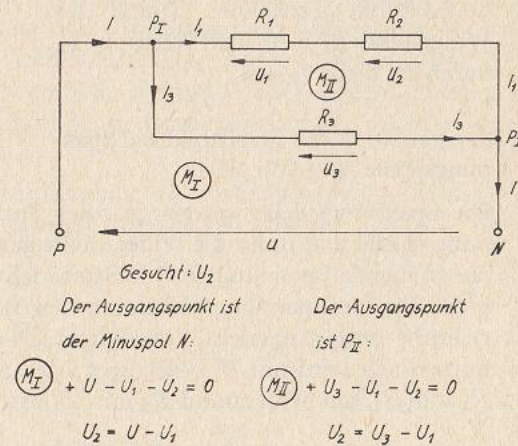
$$I_2 = I - I_1$$

(Abb. 67)

chen; die Teilströme, die von dem Stromverzweigungspunkt abfließen, bekommen ein negatives Vorzeichen. Sind sämtliche Teilströme mit einem Vorzeichen versehen, so wird die Gleichung gleich Null gesetzt und nach der gesuchten Größe umgestellt.

10. Bezeichnen Sie für die Berechnung der **Teilspannungen** den geschlossenen Stromkreis und in sich geschlossene Leitungszüge mit M_I , M_{II} usw. (Abb. 68)!

Da in sich geschlossene Leitungszüge keine Spannungsquelle enthalten, werden sie auch als „Masche“ bezeichnet. Für das Aufstellen der Gleichung werden der geschlossene Stromkreis bzw. die geschlossenen Leitungszüge einmal in Uhrzeigerichtung umkreist. Die Spannungen, die bei der Umkreisung in Pfeilrichtung überstrichen werden, bekommen ein positives Vorzeichen; die Spannungen, die der Pfeilrichtung entgegengerichtet überstrichen werden, bekommen ein negatives Vorzeichen. Sind bei einer Umkreisung sämtliche Spannungen mit Vorzeichen versehen, so ist die Gleichung gleich Null zu setzen und die so erhaltene Gleichung nach der gesuchten Größe umzustellen.



(Abb. 68)

11. Machen Sie am Schluß einer jeden Rechnung die **Rechenprobe!** Bei umfangreicheren Widerstandsgruppenschaltungen ist es zweckmäßig, während der Berechnung auch Zwischenwerte nachzuprüfen.

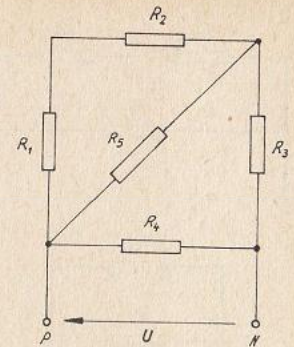
Für die Rechenproben werden die Stromverzweigungspunkte und geschlossene Leitungszüge benutzt, die für die Berechnung der Strom- und Spannungs- werte nicht verwendet worden sind.

Übungsbeispiel 1

Von nebenstehender Widerstandsgruppenschaltung betragen (Abb. 69):

$$R_1 = 4 \Omega, R_2 = 6 \Omega, R_3 = 15 \Omega, \\ R_4 = 20 \Omega, R_5 = 10 \Omega; U = 50 \text{ V.}$$

- Wie groß ist der Gesamtwiderstand R ?
- Wie groß ist der Gesamtstrom I ?
- Wie groß sind die Teilströme I_1, I_3, I_4 und I_5 ?
- Wie groß sind die Teilspannungen U_1, U_2, U_3, U_4, U_5 ?



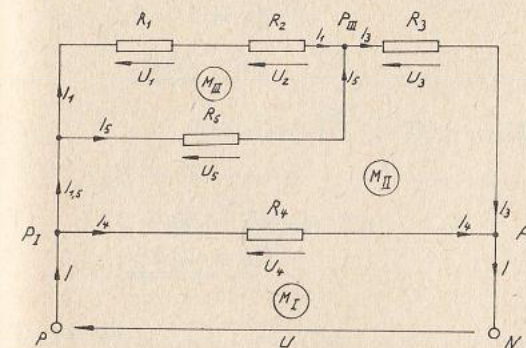
(Abb. 69)

Gegeben: $R_1 = 4 \Omega, R_2 = 6 \Omega, R_3 = 15 \Omega, R_4 = 20 \Omega, \\ R_5 = 10 \Omega, U = 50 \text{ V}$

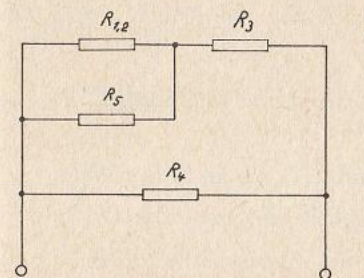
Gesucht: $R, I, I_1, I_3, I_4, I_5, U_1, U_2, U_3, U_4, U_5$

Lösung:

Schaltbild



Ersatzschaltbilder



$$R_{1,2} = R_1 + R_2$$

$$R_{1,2} = 4 + 6$$

$$R_{1,2} = 10 \Omega$$

$$R_{1,2,5} = \frac{R_{1,2} \cdot R_5}{R_{1,2} + R_5}$$

$$R_{1,2,5} = \frac{10 \cdot 10}{10 + 10}$$

$$R_{1,2,5} = 5 \Omega$$

$$R_{1,2,3,5} = R_{1,2,5} + R_3$$

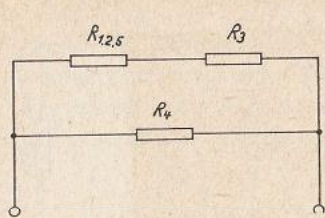
$$R_{1,2,3,5} = 5 + 15$$

$$R_{1,2,3,5} = 20 \Omega$$

$$R = \frac{R_{1,2,3,5} \cdot R_4}{R_{1,2,3,5} + R_4}$$

$$R = \frac{20 \cdot 20}{20 + 20}$$

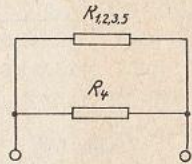
$$R = 10 \Omega$$



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

$$I = \frac{50}{10}$$

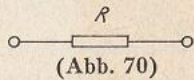
$$I = \underline{\underline{5 \text{ A}}}$$



$$M_I: + U - U_4 = 0$$

$$U_4 = U$$

$$U_4 = \underline{\underline{50 \text{ V}}}$$



(Abb. 70)

$$I_4 = \frac{U_4}{R_4}$$

$$I_4 = \frac{50}{20}$$

$$I_4 = \underline{\underline{2,5 \text{ A}}}$$

$$U_3 = I_3 \cdot R_3$$

$$U_3 = 2,5 \cdot 15$$

$$U_3 = \underline{\underline{37,5 \text{ V}}}$$

$$I_5 = \frac{U_5}{R_5}$$

$$I_5 = \frac{12,5}{10}$$

$$I_5 = \underline{\underline{1,25 \text{ A}}}$$

$$U_1 = I_1 \cdot R_1$$

$$U_1 = 1,25 \cdot 4$$

$$U_1 = \underline{\underline{5 \text{ V}}}$$

$$U_2 = I_1 \cdot R_2$$

$$U_2 = 1,25 \cdot 6$$

$$U_2 = \underline{\underline{7,5 \text{ V}}}$$

$$P_{II}: + I_4 + I_3 - I = 0$$

$$I_3 = I - I_4$$

$$I_3 = 5 - 2,5$$

$$I_3 = \underline{\underline{2,5 \text{ A}}}$$

$$M_{II}: + U - U_5 - U_3 = 0$$

$$U_5 = U - U_3$$

$$U_5 = 50 - 37,5$$

$$U_5 = \underline{\underline{12,5 \text{ V}}}$$

$$P_{III}: + I_1 - I_3 + I_5 = 0$$

$$I_1 = I_3 - I_5$$

$$I_1 = 2,5 - 1,25$$

$$I_1 = \underline{\underline{1,25 \text{ A}}}$$

Rechenprobe:

$$P_I: + I - I_4 - I_{1,5} = 0$$

$$I_{1,5} = I_1 + I_5$$

$$I_{1,5} = 1,25 + 1,25$$

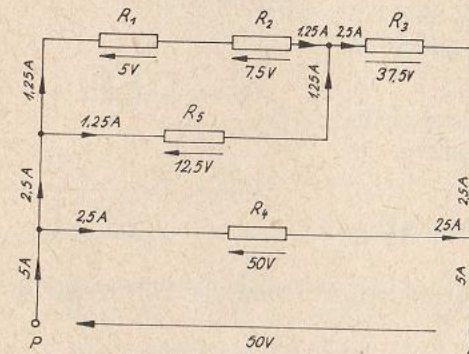
$$I_{1,5} = 2,5 \text{ A}$$

$$+ 5 - 2,5 - 2,5 = 0$$

$$M_{III}: + U_5 - U_1 - U_2 = 0$$

$$+ 12,5 - 5 - 7,5 = 0$$

Strom- und Spannungsaufteilung:



(Abb. 71)

Prüfen Sie bei jedem **Stromverzweigungspunkt** und bei jedem **geschlossenen Leitungszug** bzw. **Stromkreis** nach, ob überall die **Summe aller Ströme** gleich Null ist bzw. die **Summe aller Spannungen** gleich Null ist. (Abb. 71)

d) Aufgaben

- In einer Alarmanlage sind 5 Wecker hintereinandergeschaltet. Jeder Wecker hat einen Widerstand von $R = 4,5 \Omega$. Die zum Betrieb benötigte Stromstärke beträgt $I = 0,2 \text{ A}$.

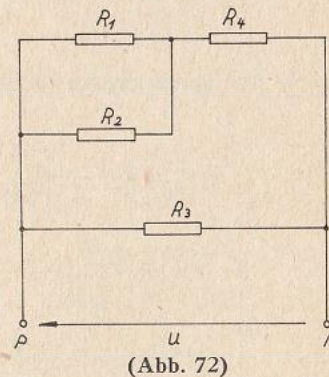
- Zeichnen Sie für die Alarmanlage den Stromlaufplan und das Schaltbild!
- Wie groß ist der Gesamtwiderstand?
- Wie groß sind die Teilspannungen an jedem Wecker?
- Wie groß ist die Gesamtspannung?

2. Die 5 Glühlampen eines Kronleuchters sind parallelgeschaltet. Der Betriebswiderstand jeder Glühlampe beträgt $R = 315 \Omega$. Die angeschaltete Spannung ist $U = 220 \text{ V}$.

- Zeichnen Sie für den Kronleuchter den Stromlaufplan und das Schaltbild!
- Wie groß ist der Gesamtwiderstand des eingeschalteten Kronleuchters?
- Welche Stromstärke fließt durch jede Glühlampe?
- Welche Gesamtstromstärke fließt in der Zuleitung?

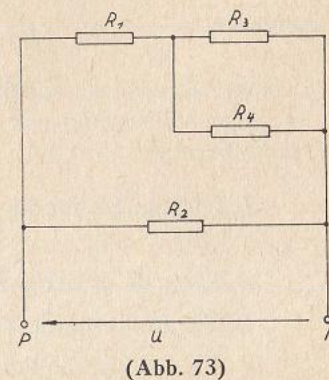
3. Von nebenstehender Widerstandsgruppenschaltung betragen: $R_1 = 3 \Omega$, $R_2 = 6 \Omega$, $R_3 = 12 \Omega$, $R_4 = 4 \Omega$, $U = 24 \text{ V}$ (Abb. 72).

- Zeichnen Sie das Schaltbild mit eingetragenen Strom- und Spannungspfeilen!
- Zeichnen Sie die Ersatzschaltbilder für die Berechnung des Gesamtwiderstandes!
- Wie groß ist der Gesamtwiderstand?
- Wie groß sind der Gesamtstrom I und die Teilströme I_1 , I_2 , I_3 und I_4 ?
- Wie groß sind die Teilspannungen U_1 , U_3 und U_4 ?
- Machen Sie die Rechenprobe!



4. Von nebenstehender Widerstandsgruppenschaltung betragen: $R_1 = 4 \Omega$, $R_2 = 12 \Omega$, $R_3 = 3 \Omega$, $R_4 = 6 \Omega$, $U = 24 \text{ V}$ (Abb. 73).

- Zeichnen Sie das Schaltbild mit eingetragenen Strom- und Spannungspfeilen!
- Zeichnen Sie die Ersatzschaltbilder für die Berechnung des Gesamtwiderstandes!
- Wie groß ist der Gesamtwiderstand?

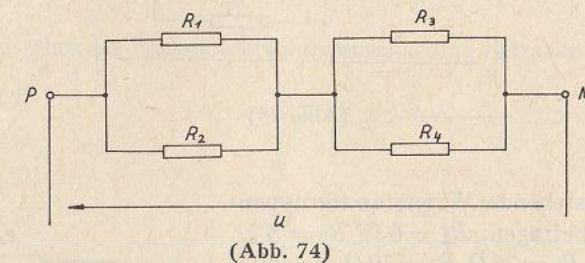


d) Wie groß sind der Gesamtstrom I und die Teilströme I_1 , I_2 , I_3 und I_4 ?

e) Wie groß sind die Teilspannungen U_1 , U_3 und U_4 ?

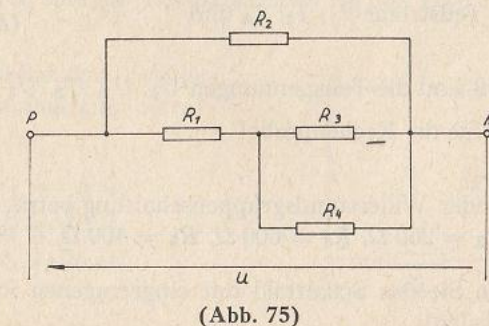
5. Von nachstehender Widerstandsgruppenschaltung betragen: $R_1 = 3 \Omega$, $R_2 = 6 \Omega$, $R_3 = 4 \Omega$, $R_4 = 12 \Omega$, $U = 20 \text{ V}$ (Abb. 74).

- Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild mit eingetragenen Strom- und Spannungspfeilen!
- Wie groß ist der Gesamtwiderstand?
- Wie groß sind der Gesamtstrom I und die Teilströme I_1 , I_2 , I_3 und I_4 ?
- Wie groß sind die Teilspannungen U_1 und U_3 ?
- Machen Sie die Rechenprobe!



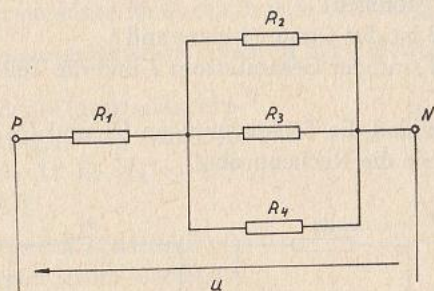
6. Von nachstehender Widerstandsgruppenschaltung betragen: $R_1 = 2 \Omega$, $R_2 = 12 \Omega$, $R_3 = 6 \Omega$, $R_4 = 4 \Omega$, $U = 10 \text{ V}$ (Abb. 75).

- Wie groß ist der Gesamtwiderstand R ?
- Wie groß sind der Gesamtstrom I und die Teilströme I_1 , I_2 , I_3 und I_4 ?
- Wie groß sind die Teilspannungen U_1 und U_3 ?
- Machen Sie die Rechenprobe!



7. Von nachstehender Widerstandsgruppenschaltung betragen: $R_1 = 8 \Omega$, $R_2 = 4 \Omega$, $R_3 = 6 \Omega$, $R_4 = 12 \Omega$, $U = 30 \text{ V}$ (Abb. 76).

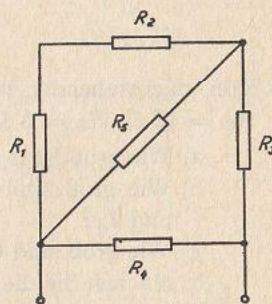
- Wie groß ist der Gesamtwiderstand R ?
- Wie groß sind der Gesamtstrom I und die Teilströme I_2 , I_3 und I_4 ?
- Wie groß sind die Teilspannungen U_1 und U_2 ?



(Abb. 76)

8. Von nebenstehender Widerstandsgruppenschaltung betragen: $R_1 = 6 \Omega$, $R_2 = 4 \Omega$, $R_3 = 20 \Omega$, $R_4 = 25 \Omega$, $R_5 = 10 \Omega$, $U = 50 \text{ V}$ (Abb. 77).

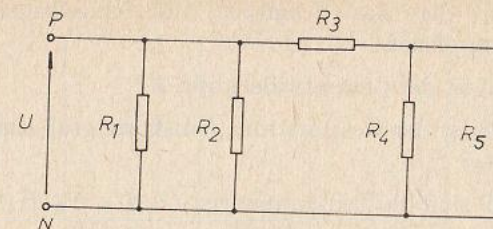
- Zeichnen Sie das Schaltbild mit eingetragenen Strom- und Spannungspfeilen!
- Wie groß ist der Gesamtwiderstand R ?
- Wie groß sind der Gesamtstrom I und die Teilströme I_1 , I_2 , I_4 und I_5 ?
- Wie groß sind die Teilspannungen U_1 , U_2 , U_3 , U_4 und U_5 ?
- Machen Sie die Rechenprobe!



(Abb. 77)

9. Von nachstehender Widerstandsgruppenschaltung betragen: $R_1 = 350 \Omega$, $R_2 = 500 \Omega$, $R_3 = 260 \Omega$, $R_4 = 600 \Omega$, $R_5 = 400 \Omega$, $U = 42 \text{ V}$ (Abb. 78).

- Zeichnen Sie das Schaltbild mit eingetragenen Strom- und Spannungspfeilen!

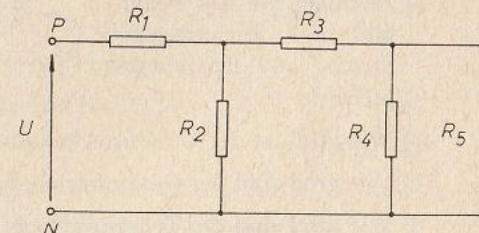


(Abb. 78)

- Wie groß ist der Gesamtwiderstand R ?
- Wie groß sind der Gesamtstrom I und die Teilströme I_2 , I_3 , I_4 und I_5 ?
- Wie groß sind die Teilspannungen U_1 , U_2 , U_3 und U_4 ?

10. Von nebenstehender Widerstandsgruppenschaltung betragen (Abb. 79):

$R_1 = 75 \Omega$,
 $R_2 = 300 \Omega$,
 $R_3 = 160 \Omega$,
 $R_4 = 600 \Omega$,
 $R_5 = 400 \Omega$,
 $U = 60 \text{ V}$

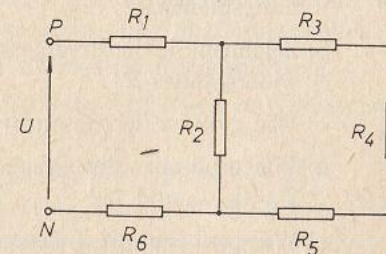


(Abb. 79)

- Zeichnen Sie das Schaltbild mit eingetragenen Strom- und Spannungspfeilen!
- Wie groß ist der Gesamtwiderstand R ?
- Wie groß sind der Gesamtstrom I und die Teilströme I_1 , I_2 , I_3 , I_4 und I_5 ?
- Wie groß sind die Teilspannungen U_3 und U_4 ?

11. Von nebenstehender Widerstandsgruppenschaltung betragen (Abb. 80):

$R_1 = 80 \Omega$, $R_2 = 5 \Omega$,
 $R_3 = 4 \Omega$, $R_4 = 10 \Omega$,
 $R_5 = 6 \Omega$, $R_6 = 26 \Omega$,
 $U = 220 \text{ V}$.



(Abb. 80)

- Zeichnen Sie das Schaltbild mit eingetragenen Strom- und Spannungspfeilen!
- Wie groß ist der Gesamtwiderstand R ?
- Wie groß ist der Gesamtstrom I und wie groß sind die Teilströme I_2 und I_3 ?
- Wie groß sind die Teilspannungen U_1, U_2, U_3, U_4, U_5 und U_6 ?

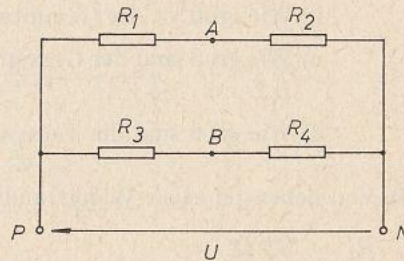
12. Von nebenstehender Widerstandsgruppenschaltung betragen (Abb. 81):

$$R_1 = 6 \, \Omega, R_2 = 12 \, \Omega,$$

$$R_3 = 24 \, \Omega, R_4 = 48 \, \Omega;$$

$$U = 220 \, \text{V}.$$

- Zeichnen Sie das Schaltbild mit eingetragenen Strom- und Spannungspfeilen!
- Wie groß ist der Gesamtwiderstand R ?
- Wie groß sind der Gesamtstrom I und die Teilströme I_1 und I_3 ?
- Wie groß sind die Teilspannungen U_1, U_2, U_3 und U_4 ?
- Wie groß ist die Spannung U_{AB} zwischen den Punkten A und B?

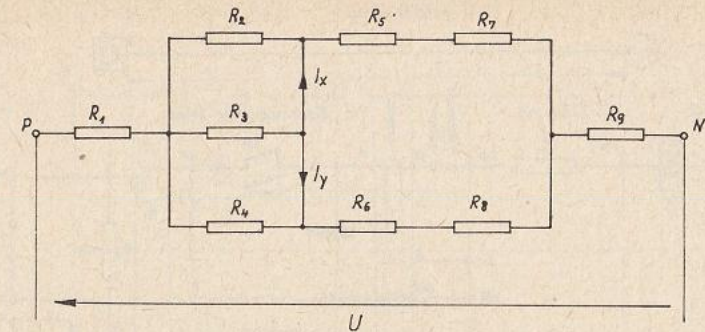


(Abb. 81)

13. Von nachstehender Widerstandsgruppenschaltung betragen (Abb. 82):

$$R_1 = 5 \, \Omega, R_2 = 6 \, \Omega, R_3 = 4 \, \Omega, R_4 = 12 \, \Omega, R_5 = 2 \, \Omega, R_6 = 7 \, \Omega, R_7 = 3 \, \Omega, R_8 = 13 \, \Omega, R_9 = 9 \, \Omega; U = 60 \, \text{V}.$$

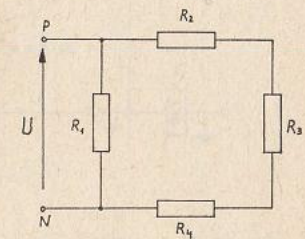
- Zeichnen Sie das Schaltbild mit eingetragenen Strom- und Spannungspfeilen!
- Zeichnen Sie die Ersatzschaltbilder für die Berechnung des Gesamtwiderstandes R !
- Wie groß ist der Gesamtwiderstand R ?
- Wie groß sind der Gesamtstrom I und die Teilströme $I_2, I_3, I_4, I_x, I_y, I_5$ und I_6 ?
- Wie groß sind die Teilspannungen $U_1, U_2, U_5, U_6, U_7, U_8$ und U_9 ?
- Machen Sie die Rechenprobe!



(Abb. 82)

14. Vier gleich große Widerstände sind in nebenstehender Schaltung geschaltet. Die angeschaltete Spannung beträgt $U = 30 \, \text{V}$; die Stromstärke ist $I = 6 \, \text{A}$ (Abb. 83).

- Wie groß ist der Gesamtwiderstand?
- Wie groß sind die Einzelwiderstände R_1, R_2, R_3 und R_4 ?
- Wie groß sind die Teilströme I_1 und I_2 ?
- Wie groß sind die Teilspannungen U_2, U_3 und U_4 ?

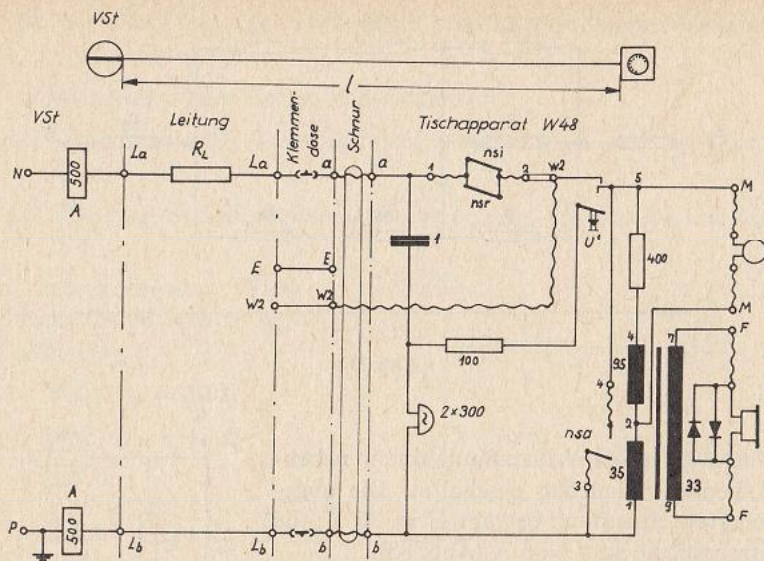


(Abb. 83)

15. Es soll der Gesamtwiderstand eines Hauptanschlusses mit angeschaltetem Tischapparat W 48 berechnet werden (Abb. 84).

Der Widerstand des Speiserelais beträgt je Sprechader $500 \, \Omega$, der Leitungswiderstand für die Hin- und Rückleitung beträgt $R_L = 950 \, \Omega$, der Weckerwiderstand $R_w = 600 \, \Omega$, und der Mikrophonwiderstand ist $110 \, \Omega$. Die angeschaltete Spannung beträgt $U = 60 \, \text{V}$.

- Zeichnen Sie für die nachstehende Schaltung des Tischapparats W 48 das Schaltbild mit eingetragenen Strom- und Spannungspfeilen!
- Wie groß ist der Gesamtwiderstand des Hauptanschlusses?
- Wie groß sind der Gesamtstrom und die Teilströme im Tischapparat W 48?
- Wie groß sind die Teilspannungen im Tischapparat W 48?
- Machen Sie für jeden Stromverzweigungspunkt die Rechenprobe!
- Machen Sie für jeden geschlossenen Stromkreis und für jeden geschlossenen Leitungszug die Rechenprobe!



(Abb. 84)

e) Die Meßbereichserweiterung

Strommesser werden **in** den Stromkreis geschaltet und Spannungsmesser werden **an** den Stromkreis geschaltet. Für die Meßbereichserweiterung eines **Strommessers** wird dem Meßgerät ein Nebenwiderstand **parallelgeschaltet**. Für die Meßbereichserweiterung eines **Spannungsmessers** wird zu dem Meßgerät ein Vorwiderstand **in Reihe** geschaltet.

Die Strommessung

Für die Berechnung von Nebenwiderständen für Strommesser gilt:

Bei Parallelschaltung von Widerständen sind die Teilströme **umgekehrt** verhältnissgleich den Widerständen.

Begriffe	Formelzeichen	Einheiten
Gesamtstrom	I	[A]
Teilströme	I_1, I_2	[A]
Einzelwiderstände	R_1, R_2	[Ω]

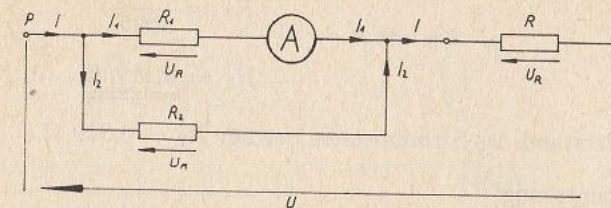
Größengleichung

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Einheitengleichung

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

Schaltbild



(Abb. 85)

- R = Verbraucherwiderstand in Ω
- R_1 = innerer Widerstand des Strommessers in Ω
- R_2 = Nebenwiderstand des Strommessers in Ω
- I_1 = Teilstrom bei Vollausschlag des Strommessers in A
- I_2 = Teilstrom des Nebenwiderstandes in A
- I = Gesamtstrom des Stromkreises in A
- U_A = Spannungsabfall am Strommesser in V
- U_R = Spannungsabfall am Verbraucherwiderstand in V
- U = angeschaltete Spannung in V

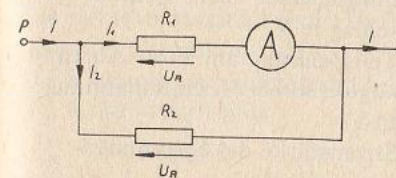
Übungsbeispiel

Ein Strommesser hat einen inneren Widerstand von $R_1 = 5 \Omega$. Der Meßbereich des Strommessers soll von 1,5 A auf 25 A erweitert werden (Abb. 86). Wie groß muß der Nebenwiderstand R_2 sein?

Gegeben: $R_1 = 5 \Omega$, $I_1 = 1,5 \text{ A}$, $I = 25 \text{ A}$

Gesucht: R_2

Lösung:



(Abb. 86)

Lösung 1:

$$U_A = I_1 \cdot R_1$$

$$U_A = 1,5 \cdot 5$$

$$U_A = 7,5 \text{ V}$$

$$R_2 = \frac{U_A}{I_2}$$

$$R_2 = \frac{7,5}{23,5}$$

$$R_2 = 0,319 \Omega$$

Lösung 2:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

$$R_2 = \frac{I_1 \cdot R_1}{I_2}$$

$$R_2 = \frac{1,5 \cdot 5}{23,5}$$

$$R_2 = \underline{\underline{0,319 \, \Omega}}$$

Der Nebenwiderstand des Strommessers beträgt $R_2 = 0,319 \, \Omega$.

Die Spannungsmessung

Für die Berechnung von Vorwiderständen für Spannungsmesser gilt:

Bei Hintereinanderschaltung von Widerständen sind die Teilspannungen **verhältnisgleich** den Widerständen.

Begriffe	Formelzeichen	Einheiten
Gesamtspannung	U	[V]
Teilspannung	U_1, U_2	[V]
Einzelwiderstand	R_1, R_2	[Ω]

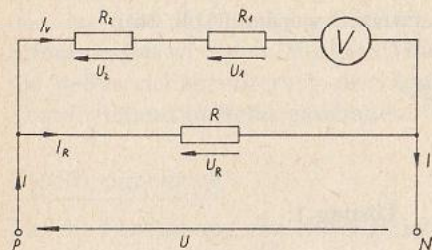
Größengleichung

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

Einheitengleichung

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

Schaltbild



(Abb. 87)

- R = Verbraucherwiderstand in Ω
- R_1 = innerer Widerstand des Spannungsmessers in Ω
- R_2 = Vorwiderstand des Spannungsmessers in Ω
- U_1 = Teilspannung am Spannungsmesser bei Vollausschlag in V
- U_2 = Teilspannung am Vorwiderstand
- U = angeschaltete Gesamtspannung in V
- I_V = Stromstärke des Spannungsmessers in A

Übungsbeispiel

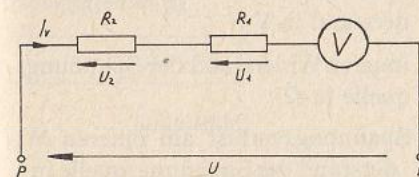
Ein Spannungsmesser für $U_1 = 25 \, \text{V}$ hat einen Innenwiderstand von $R_1 = 14500 \, \Omega$. Mit dem Spannungsmesser sollen Spannungswerte bis $150 \, \text{V}$ gemessen werden (Abb. 88).

Wie groß muß der Vorwiderstand R_2 sein?

Gegeben: $U_1 = 25 \, \text{V}$, $R_1 = 14500 \, \Omega$, $U = 150 \, \text{V}$

Gesucht: R_2

Lösung:



(Abb. 88)

$$U = U_1 + U_2$$

$$U_2 = U - U_1$$

$$U_2 = 150 - 25$$

$$U_2 = 125 \, \text{V}$$

$$\text{Lösung 2: } \frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

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

$$R_2 = \frac{14500 \cdot 125}{25}$$

$$R_2 = \underline{\underline{72500 \, \Omega}}$$

Der Vorwiderstand des Spannungsmessers beträgt $R_2 = 72500 \, \Omega$.

Lösung 1:

$$I_V = \frac{U_1}{R_1}$$

$$I_V = \frac{25}{14500}$$

$$I_V = 0,001724 \, \text{A}$$

$$R_2 = \frac{U_2}{I_V}$$

$$R_2 = \frac{125}{0,001724}$$

$$R_2 = \underline{\underline{72500 \, \Omega}}$$

f) Die elektromotorische Kraft und die Klemmenspannung

Die elektromotorische Kraft ist der Spannungsdruck, der den Strom durch den gesamten Stromkreis treibt.

Die Klemmenspannung ist der Spannungsdruck, der den Strom durch den äußeren Stromkreis treibt.

Begriffe	Formelzeichen	Einheiten
Elektromotorische Kraft (EMK)	E	[V]
Klemmenspannung	U	[V]

Größengleichungen

$$E = U + U_i \, [\text{V}]$$

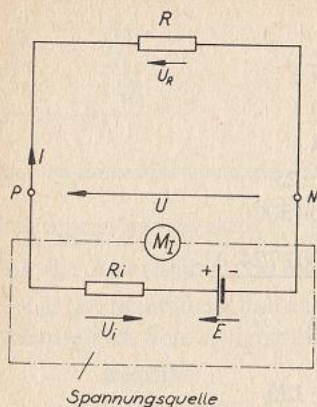
$$E = U + I \cdot R_i \, [\text{V}]$$

Einheitengleichungen

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

$$[\text{V} = \text{V} + \text{A} \cdot \Omega]$$

Schaltbild



(Abb. 89)

- R = äußerer Widerstand in Ω
 U_R = Spannungsabfall am äußeren Widerstand in V
 R_i = innerer Widerstand der Spannungsquelle in Ω
 U_i = Spannungsverlust am inneren Widerstand der Spannungsquelle in V
 E = Elektromotorische Kraft in V
 U = Klemmenspannung in V

Nach dem Kirchhoffschen Gesetz II gilt:

$$\begin{aligned}
 M_I: +E - U_i - U &= 0 \\
 E &= U + U_i \text{ [V]} \\
 U_i &= I \cdot R_i \text{ [V]}
 \end{aligned}$$

Übungsbeispiel

Eine Batterie hat eine Klemmenspannung von $U = 218 \text{ V}$ bei einer Strombelastung von $I = 40 \text{ A}$. Der innere Widerstand der Batterie beträgt $R_i = 0,05 \Omega$.

Wie groß ist die Elektromotorische Kraft der Batterie?

Gegeben: $U = 218 \text{ V}$, $I = 40 \text{ A}$, $R_i = 0,05 \Omega$

Gesucht: E

Lösung:

$$\begin{aligned}
 E &= U + I \cdot R_i \\
 E &= 218 + 40 \cdot 0,05 \\
 E &= 218 + 2 \\
 E &= \underline{\underline{220 \text{ V}}}
 \end{aligned}$$

Die EMK der Batterie beträgt $E = 220 \text{ V}$.

g) Der Spannungsverlust auf Leitungen

Der Spannungsverlust auf Leitungen ist das Produkt aus **Stromstärke** mal **Leitungswiderstand**.

Begriff

Spannungsverlust

Formelzeichen

U_v

Einheit

[V]

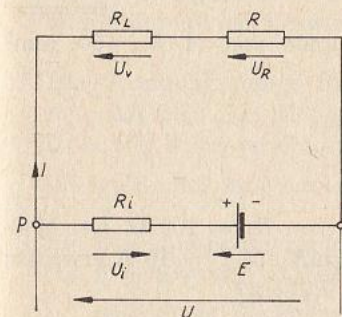
Größengleichung

$$U_v = I \cdot R_L \text{ [V]}$$

Einheitengleichung

$$[V = A \cdot \Omega]$$

Schaltbild



(Abb. 90)

- R_L = Leitungswiderstand in Ω
 R = Verbraucherwiderstand in Ω
 R_i = innerer Widerstand der Spannungsquelle in Ω
 I = Stromstärke in A
 U_v = Spannungsverlust am Leitungswiderstand in V
 U_i = Spannungsverlust am inneren Widerstand der Spannungsquelle in V
 U_R = Spannungsabfall am Verbraucherwiderstand in V
 E = Elektromotorische Kraft in V
 U = Klemmenspannung in V

Übungsbeispiel

Für die Stromversorgung einer Vermittlungsstelle beträgt die Leitungslänge $l = 2 \times 85 \text{ m}$; die Strombelastung während der Hauptverkehrszeit ist $I = 150 \text{ A}$.

Die Klemmenspannung des Gleichrichters beträgt bei dieser Strombelastung $U = 64 \text{ V}$. Der Spannungsverlust auf der Leitung darf 2 v.H. der Klemmenspannung nicht überschreiten (Abb. 91).

a) Wie groß ist der Leitungswiderstand R_L ?

b) Welcher Kupferquerschnitt ist zu verlegen?

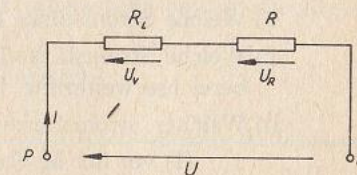
Gegeben: $l = 2 \times 85 \text{ m}$, $I = 150 \text{ A}$, $U = 64 \text{ V}$, $\rho = 2 \text{ v.H.}$,

$$\rho = 0,018 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$$

Gesucht: R_L , A

Lösung:

$$\begin{aligned}
 U_v &= U \cdot \rho \\
 U_v &= 64 \cdot 0,02 \\
 U_v &= \underline{\underline{1,28 \text{ V}}}
 \end{aligned}$$



(Abb. 91)

$$R_L = \frac{U_v}{I}$$

$$R_L = \frac{1,28}{150}$$

$$R_L = \underline{\underline{0,00853 \, \Omega}}$$

$$R_L = \frac{l \cdot \rho}{A}$$

$$A = \frac{l \cdot \rho}{R_L}$$

$$A = \frac{2 \cdot 85 \cdot 0,018}{0,00853}$$

$$A = 359 \, \text{mm}^2; \text{ gewählt } \underline{\underline{400 \, \text{mm}^2}}$$

Für die Stromversorgungsleitung ist Flachkupfer von $A = 400 \, \text{mm}^2$ (Flach-Cu $2 \times 40 \times 5$) zu verlegen.

h) Aufgaben

1. Ein Strommesser hat einen Innenwiderstand von $R_1 = 100 \, \Omega$. Der Meßbereich des Strommessers soll von $I_1 = 1,5 \, \text{mA}$ auf $I = 10 \, \text{A}$ erweitert werden. Wie groß muß der Nebenwiderstand R_2 sein?

2. Ein Strommesser hat einen Innenwiderstand von $R_1 = 0,1 \, \Omega$. Bei Vollausschlag zeigt der Strommesser $150 \, \text{mA}$ an. Mit diesem Strommesser sollen Stromstärken bis zu $7,5 \, \text{A}$ gemessen werden.

Wie groß muß der Nebenwiderstand des Strommessers sein?

3. Ein Strommesser hat einen Innenwiderstand von $R_1 = 8 \, \Omega$. Der Meßbereich des Strommessers soll von $I_1 = 0,20 \, \text{A}$ auf $I = 60 \, \text{A}$ erweitert werden.

Wie groß muß der Nebenwiderstand R_2 sein?

4. Ein Strommesser mit einer 150-teiligen Skala hat einen Innenwiderstand von $R_1 = 1 \, \Omega$. Bei Vollausschlag fließen durch das Meßgerät $I_1 = 0,15 \, \text{A}$. Diesem Strommesser wird ein Nebenwiderstand von $R_2 = 0,0101 \, \Omega$ parallelgeschaltet.

- Welche Spannung liegt an den Klemmen des Meßgeräts?
- Welche Stromstärke fließt durch den Nebenwiderstand?
- Welche Stromstärke läßt sich mit dem Strommesser nach der Meßbereichserweiterung höchstens messen?
- Welcher Stromstärke entspricht ein Skalenteil
 - vor der Meßbereichserweiterung und
 - nach der Meßbereichserweiterung?

5. Ein Spannungsmesser für $U_1 = 25 \, \text{V}$ hat einen Innenwiderstand von $R_1 = 18 \, \text{k}\Omega$. Mit dem Spannungsmesser sollen Spannungen bis zu $220 \, \text{V}$ gemessen werden.

Wie groß muß der Vorwiderstand des Spannungsmessers sein?

6. Ein Spannungsmesser hat einen Innenwiderstand von $R_1 = 10 \, \text{k}\Omega$. Der Meßbereich des Spannungsmessers ist von 0 bis $75 \, \text{V}$. Mit diesem Spannungsmesser sollen Spannungen bis zu $U = 300 \, \text{V}$ gemessen werden.

Wie groß muß der Vorwiderstand des Spannungsmessers sein?

7. Ein Spannungsmesser für $U_1 = 120 \, \text{V}$ hat einen Innenwiderstand von $R_1 = 20 \, \text{k}\Omega$. Das Meßgerät soll für Spannungsmessungen bis zu $U = 600 \, \text{V}$ verwendet werden.

Wie groß muß der Vorwiderstand R_2 sein?

8. Ein Drehspul-Spannungsmesser für $U_1 = 5 \, \text{V}$ hat einen Innenwiderstand von $R = 1000 \, \Omega$. Die Meßskala ist in 50 Teile eingeteilt.

- Welcher Widerstand ist dem Meßgerät jeweils vorzuschalten, wenn es für Spannungsmessungen bis zu $75 \, \text{V}$, $120 \, \text{V}$ und $250 \, \text{V}$ verwendet werden soll?
- Welcher Spannung entspricht bei dem jeweiligen Meßbereich ein Skalenteil?

9. Eine Batterie hat eine EMK von $E = 100 \, \text{V}$, der innere Widerstand der Batterie beträgt $R_1 = 0,8 \, \Omega$. Die Batterie wird mit einer Stromstärke von $I = 10 \, \text{A}$ belastet.

Wie groß ist die Klemmenspannung U ?

10. Eine Batterie hat eine Klemmenspannung von $U = 218 \, \text{V}$. Die Strombelastung beträgt $I = 40 \, \text{A}$ und der innere Widerstand der Batterie $R_1 = 0,05 \, \Omega$.

Wie groß ist die EMK der Batterie?

11. Eine Batterie hat eine EMK von $E = 64 \, \text{V}$ und einen inneren Widerstand von $R_1 = 0,09 \, \Omega$. Bei einer bestimmten Strombelastung beträgt die Klemmenspannung $U = 62 \, \text{V}$.

Mit welcher Stromstärke wird die Batterie belastet?

12. Eine Batterie hat eine EMK von $E = 24 \, \text{V}$ und einen inneren Widerstand von $R_1 = 0,8 \, \Omega$.

Wie groß ist die Kurzschlußstromstärke der Batterie?

13. Eine Batterie mit der EMK von $E = 48 \text{ V}$ wird mit einer Stromstärke von $I = 4,5 \text{ A}$ belastet. Dabei beträgt die Klemmenspannung $U = 46,5 \text{ V}$.
Wie groß ist der innere Widerstand der Batterie?
14. Mit zwei Trockenelementen von je $R_1 = 0,8 \Omega$ soll ein Signalapparat betätigt werden. Der Widerstand des Signalapparats beträgt $R = 0,5 \Omega$. Die EMK der Trockenelemente ist $E_1 = E_2 = 1,5 \text{ V}$. Der Leitungswiderstand für Hin- und Rückleitung beträgt $R_L = 0,1 \Omega$.
Die Trockenelemente sollen hintereinandergeschaltet und parallelgeschaltet werden.
- Zeichnen Sie das Schaltbild für die Hintereinanderschaltung der Trockenelemente mit eingetragenen Strom- und Spannungspfeilen!
 - Wie groß ist die Klemmenspannung bei Hintereinanderschaltung der Trockenelemente?
 - Zeichnen Sie das Schaltbild für die Parallelschaltung der Trockenelemente mit eingetragenen Strom- und Spannungspfeilen!
 - Wie groß ist die Klemmenspannung bei Parallelschaltung der Trockenelemente?
15. Mit Hilfe von drei Trockenelementen soll eine Batterie aufgebaut werden. Die EMK eines jeden Trockenelements beträgt $E_1 = E_2 = E_3 = 1,5 \text{ V}$; der innere Widerstand eines jeden Trockenelements beträgt $R_{11} = R_{12} = R_{13} = 0,75 \Omega$. In dem Stromkreis sind der Verbraucherwiderstand von $R = 1,2 \Omega$ und der Leitungswiderstand von $R_L = 0,3 \Omega$ geschaltet.
- Zeichnen Sie für den Stromkreis das Schaltbild mit eingetragenen Strom- und Spannungspfeilen
 - bei Hintereinanderschaltung der Trockenelemente,
 - bei Parallelschaltung der Trockenelemente!
 - Wie groß sind EMK, innerer Widerstand, Stromstärke und Klemmenspannung bei Hintereinanderschaltung der Trockenelemente?
 - Wie groß sind EMK, innerer Widerstand, Stromstärke und Klemmenspannung bei Parallelschaltung der Trockenelemente?
16. Von einer Spannungsquelle betragen $E = 64 \text{ V}$ und $R_1 = 0,4 \Omega$. Der Leitungswiderstand ist $R_L = 0,8 \Omega$.
Der Verbraucherwiderstand im Stromkreis beträgt $R = 18 \Omega$. In diesem Stromkreis sollen mit Hilfe von Strom- und Spannungsmessern Stromstärke im Verbraucherwiderstand und Verbraucherspannung gemessen

werden. Der Innenwiderstand des verwendeten Strommessers beträgt $R_A = 0,8 \Omega$; der Innenwiderstand des verwendeten Spannungsmessers beträgt $R_V = 1400 \Omega$.

- Zeichnen Sie für den Stromkreis mit angeschalteten Meßgeräten das Schaltbild mit eingetragenen Strom- und Spannungspfeilen!
 - Wie groß sind ohne Anschaltung der Meßgeräte Stromstärke I , Klemmenspannung U , Spannungsverlust auf der Leitung U_V und am inneren Widerstand der Batterie U_i , Verbraucherspannung U_R ?
 - Wie groß sind mit Anschaltung der Meßgeräte Stromstärke I , Klemmenspannung U , Spannungsverlust auf der Leitung U_V und am inneren Widerstand der Batterie U_i , Verbraucherspannung U_R , Verbraucherstromstärke I_R und Teilstromstärke für den Spannungsmesser I_V ?
 - Wie groß sind in dem Stromkreis die Strom- und Spannungsabweichungen, die durch die Anschaltung der Meßgeräte entstehen in v.H.-Sätzen?
17. Mit einer Kupferleitung von $l = 2 \times 35 \text{ m}$ soll eine Stromstärke von $I = 35 \text{ A}$ übertragen werden.
Der Spannungsverlust auf der Leitung darf $U_V = 2 \text{ V}$ nicht übersteigen. Welcher Querschnitt ist zu verlegen?
18. Die Stromzuführungsleitung einer Wählvermittlungsstelle ist $l = 2 \times 65 \text{ m}$ lang. Die Strombelastung während der Hauptverkehrszeit beträgt $I = 240 \text{ A}$. Der Spannungsverlust auf der Leitung darf $U_V = 2 \text{ V}$ nicht überschreiten.
- Wie groß muß der Mindestquerschnitt der Stromzuführung sein?
 - Welcher Kupfer-Querschnitt (Flachkupfer) ist zu verlegen?
 - Wie groß ist der Spannungsverlust auf der Stromzuführungsleitung bei dem gewählten Querschnitt?
19. Eine Aluminium-Leitung soll mit $I = 26 \text{ A}$ bei einer Betriebsspannung von $U = 220 \text{ V}$ belastet werden.
Der Länge der Leitung beträgt $l = 2 \times 120 \text{ m}$. Der Spannungsverlust darf höchstens 3 v.H. der Betriebsspannung betragen.
Welcher Aluminium-Querschnitt ist zu verlegen?
20. Eine $2 \times 70 \text{ m}$ lange Kupfer-Leitung soll mit einer Stromstärke von $I = 35 \text{ A}$ belastet werden. Bei einer Betriebsspannung von $U = 220 \text{ V}$ darf der Spannungsverlust 2. v. H. nicht überschreiten.

- a) Welcher Mindestquerschnitt ist erforderlich?
 b) Welcher Querschnitt ist zu wählen?
 c) Wie groß ist der Spannungsverlust in v.H.-Satz bei dem gewählten Querschnitt?

21. Eine Anschlußleitung aus Kupfer ist $l = 2 \times 55$ m lang und der Querschnitt beträgt $A = 16$ mm². Durch die Leitung fließt eine Stromstärke von $I = 85$ A. Am Ende der Leitung wird eine Verbraucherspannung von $U = 210$ V gemessen.

- a) Wie groß ist der Widerstand der Leitung?
 b) Wie groß ist die Netzspannung an der Anschlußstelle?
 c) Wie groß ist der Spannungsabfall auf der Leitung im v.H.-Satz der Netzspannung?

22. Eine Aluminium-Leitung von $l = 535$ m Länge und $A = 95$ mm² Querschnitt soll anderweitig verwendet werden. Die Netzspannung für die Wiederverwendung der Leitung beträgt $U = 220$ V und der Spannungsverlust darf 3 v.H. nicht überschreiten.

Mit welcher Stromstärke darf die Anschlußleitung mit Rücksicht auf den Spannungsverlust höchstens belastet werden?

5. Die elektrische Strömung

Die elektrische Strömung ist die **gerichtete Bewegung von freien Elektronen** durch einen Leiter. Ursache für die Elektronenbewegungen sind die Elektromotorischen Kräfte bzw. die Spannungen in den Stromkreisen. Die Wirkungen der Elektronenbewegungen sind vor allem das Magnetfeld um den stromdurchflossenen Leiter und die Erwärmung des Leiters.

a) Die Elektrizitätsmenge

Die Elektrizitätsmenge ist das Produkt aus **Stromstärke** mal **Zeit**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Elektrizitätsmenge	Q	[As] [C] (Coulomb)

Größengleichung

$$Q = I \cdot t \quad [\text{As}]$$

Einheitengleichung

$$[\text{As} = A \cdot s]$$

I = Stromstärke in A

t = Zeit in s

Q = Elektrizitätsmenge in As

Übungsbeispiel

Ein elektrischer Kocher nimmt $I = 10$ A auf und ist $t = \frac{1}{2}$ Stunde angeschaltet.

Wie groß ist die aufgenommene Elektrizitätsmenge in As und Ah?

Gegeben: $I = 10$ A, $t = \frac{1}{2}$ h

Gesucht: Q

Lösung:

$$Q = I \cdot t$$

$$1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

$$Q = 10 \cdot \frac{1}{2}$$

$$Q = 5 \cdot 3600$$

$$Q = \underline{\underline{5 \text{ Ah}}}$$

$$Q = \underline{\underline{18000 \text{ As}}}$$

Die aufgenommene Elektrizitätsmenge beträgt $Q = 5$ Ah.

b) Die Stromdichte

Die Stromdichte ist der Quotient aus **Stromstärke** geteilt durch den **Leiterquerschnitt**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Stromdichte	S	$\frac{A}{\text{mm}^2}$

Größengleichung

$$S = \frac{I}{A} \left[\frac{A}{\text{mm}^2} \right]$$

Einheitengleichung

$$\left[\frac{A}{\text{mm}^2} = \frac{A}{\text{mm}^2} \right]$$

S = Stromdichte in $\frac{A}{\text{mm}^2}$

I = Stromstärke in A

A = Leiterquerschnitt in mm²

Übungsbeispiel

Ein Kupfer-Leiter mit einem Querschnitt von $A = 16 \text{ mm}^2$ wird mit einer Stromstärke von $I = 80 \text{ A}$ belastet.

Wie groß ist die Stromdichte in diesem Leiter?

Gegeben: $A = 16 \text{ mm}^2$, $I = 80 \text{ A}$

Gesucht: S

Lösung:

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

$$S = \frac{80}{16}$$

$$S = 5 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

Die Stromdichte in dem Leiter beträgt $S = 5 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$.

c) Die elektrische Leistung

Die elektrische Leistung ist das Produkt aus **Spannung** mal **Stromstärke**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Elektrische Leistung	P	[W]

Größengleichungen

$$P = U \cdot I \quad [\text{W}]$$

$$P = I^2 \cdot R \quad [\text{W}]$$

$$P = \frac{U^2}{R} \quad [\text{W}]$$

Einheitengleichungen

$$[\text{W} = \text{V} \cdot \text{A}]$$

$$[\text{W} = \text{A}^2 \cdot \Omega]$$

$$\left[\text{W} = \frac{\text{V}^2}{\Omega} \right]$$

P = elektrische Leistung in W

U = Spannung in V

I = Stromstärke in A

R = Widerstand in Ω

$$1 \text{ kW} \triangleq 1,36 \text{ PS}$$

$$1 \text{ PS} \triangleq 0,736 \text{ kW}$$

Übungsbeispiel

Eine Glühlampe ist an einer Spannung von $U = 220 \text{ V}$ angeschlossen. In der Zuleitung wird eine Stromstärke von $I = 0,182 \text{ A}$ gemessen.

Wie groß ist die von der Glühlampe aufgenommene elektrische Leistung?

Gegeben: $U = 220 \text{ V}$, $I = 0,182 \text{ A}$

Gesucht: P

Lösung:

$$P = U \cdot I$$

$$P = 220 \cdot 0,182$$

$$P = \underline{\underline{40 \text{ W}}}$$

Die von der Glühlampe aufgenommene elektrische Leistung beträgt $P = 40 \text{ W}$.

d) Die elektrische Arbeit

Die elektrische Arbeit ist das Produkt aus **elektrischer Leistung** mal **Zeit**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Elektrische Arbeit	A	[kWh]

Größengleichung

$$A = P \cdot t \quad [\text{kWh}]$$

Einheitengleichung

$$[\text{kWh} = \text{kW} \cdot \text{h}]$$

A = elektrische Arbeit in kWh

P = elektrische Leistung in kW

t = Zeit in h

$$1 \text{ kWh} \triangleq 860 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ kWh} \triangleq 366850 \text{ kpm}$$

Übungsbeispiel

Eine Glühlampe für 220 V wird von einer Stromstärke von $I = 0,455 \text{ A}$ durchflossen. Die Glühlampe ist $t = 5 \text{ h}$ eingeschaltet.

Wie groß ist die verbrauchte elektrische Arbeit?

Gegeben: $U = 220 \text{ V}$, $I = 0,455 \text{ A}$, $t = 5 \text{ h}$

Gesucht: A

Lösung:

$$P = U \cdot I$$

$$P = 220 \cdot 0,455$$

$$P = \underline{100 \text{ W}}$$

$$A = P \cdot t$$

$$A = 100 \cdot 5$$

$$A = \underline{500 \text{ Wh}}$$

$$A = \underline{\underline{0,5 \text{ kWh}}}$$

Die verbrauchte elektrische Arbeit beträgt $A = 0,5 \text{ kWh}$.

e) Der Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad ist das **Verhältnis** der **abgegebenen elektrischen Leistung** zur **zugeführten elektrischen Leistung**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Wirkungsgrad	η (Eta)	—

Größengleichungen

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

Einheitengleichungen

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

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

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

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

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

- η = Wirkungsgrad ohne Einheit
 P_{ab} = abgegebene elektrische Leistung in kW
 P_{zu} = zugeführte elektrische Leistung in kW
 A_{ab} = abgegebene elektrische Arbeit in kWh
 A_{zu} = zugeführte elektrische Arbeit in kWh
 Q_{ab} = abgegebene Wärmemenge in kcal
 Q_{zu} = zugeführte Wärmemenge in kcal

Übungsbeispiel

Ein Gleichstromgenerator für $U = 230 \text{ V}$ läßt eine Stromstärke von $I = 64 \text{ A}$ durch den Stromkreis fließen. Die mechanische Leistung, die dem Generator durch die Antriebsmaschine zugeführt wird, beträgt $P_{zu} = 25 \text{ PS}$.

Welchen Wirkungsgrad hat der Gleichstromgenerator?

Gegeben: $U = 230 \text{ V}$, $I = 64 \text{ A}$, $P_{zu} = 25 \text{ PS}$

Gesucht: η

Lösung:

$$\begin{aligned}
 1 \text{ PS} &= 0,736 \text{ kW} \\
 P_{zu} &= 25 \cdot 0,736 \\
 P_{zu} &= \underline{18,4 \text{ kW}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{ab} &= U \cdot I \\
 P_{ab} &= 230 \cdot 64 \\
 P_{ab} &= 14\,720 \text{ W} \\
 P_{ab} &= \underline{14,72 \text{ kW}}
 \end{aligned}$$

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

$$\eta = \frac{14,72}{18,4}$$

$$\eta = \underline{\underline{0,8}}$$

Der Wirkungsgrad des Gleichstromgenerators beträgt $\eta = 0,8$.

f) Die Stromkosten

Die Stromkosten ergeben sich aus dem Produkt der **verbrauchten elektrischen Arbeit** mal dem **Tarifpreis**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Stromkosten	K	[DM]

Größengleichung

$$K = A \cdot k \text{ [DM]}$$

Einheitengleichung

$$\left[\text{DM} = \text{kWh} \cdot \frac{\text{DM}}{\text{kWh}} \right]$$

- K = Stromkosten in DM
 A = elektrische Arbeit in kWh
 k = Tarifpreis in $\frac{\text{DM}}{\text{kWh}}$

Übungsbeispiel

Eine Küchenmaschine nimmt während des Betriebes eine elektrische Leistung von $P = 350 \text{ W}$ auf. Sie wird täglich drei Stunden benutzt. Der Tarifpreis beträgt $k = 0,11 \frac{\text{DM}}{\text{kWh}}$.

Welche Kosten entstehen für die monatliche Benutzung der Küchenmaschine?
1 Monat = 30 Tage.

Gegeben: $P = 350 \text{ W}$, $t = 3 \text{ h}$, $k = 0,11 \frac{\text{DM}}{\text{kWh}}$, $t_2 = 30 \text{ Tage}$

Gesucht: K

Lösung:

$$\begin{aligned}
 K &= A \cdot k \\
 A &= P \cdot t \\
 A &= 0,35 \cdot 3 \cdot 30 \\
 A &= \underline{31,5 \text{ kWh}} \\
 K &= 31,5 \cdot 0,11 \\
 K &= \underline{\underline{3,47 \text{ DM}}}
 \end{aligned}$$

Die Kosten für die monatliche Benutzung der Küchenmaschine betragen $K = 3,45 \text{ DM}$.

g) Aufgaben

1. Ein Akkumulator soll in drei Stunden mit einer Stromstärke von $I = 4 \text{ A}$ entladen werden.
Welche Kapazität in Ah muß der Akkumulator haben?
2. Für eine Notbeleuchtung von $U = 110 \text{ V}$ wird eine elektrische Leistung von $P = 1,475 \text{ kW}$ gebraucht.
Die Notbeleuchtung soll nachts $t = 7$ Stunden in Betrieb sein.
Welche Kapazität muß die Notlichtbatterie mindestens haben?
3. Für die Stromversorgungsanlage einer Wählvermittlungsstelle wird eine durchschnittliche Stromstärke von $I = 120 \text{ A}$ benötigt. Bei etwaigem Netzausfall soll die Vermittlungsstelle mindestens 6 Stunden aus der Batterie mit Strom versorgt werden können.
Welche Kapazität muß die Batterie für die Vermittlungsstelle mindestens haben?
4. Eine Wählvermittlungsstelle benötigt während der Vormittagsstunden eine durchschnittliche Stromstärke von $I_1 = 180 \text{ A}$, während der Nachtstunden eine durchschnittliche Stromstärke von $I_2 = 35 \text{ A}$. Die Kapazität der Batterie beträgt $Q = 1244 \text{ Ah}$.
Der Ah-Wirkungsgrad ist 87 v.H.
 - a) Wie lange kann die Vermittlungsstelle während der Vormittagsstunden durch die Batterie mit Strom versorgt werden?
 - b) Wie lange kann die Vermittlungsstelle während der Nachtstunden durch die Batterie mit Strom versorgt werden?
5. Ein Relais einer Feuermeldeanlage ist an einer Batterie für $Q = 60 \text{ Ah}$ 30 Tage angeschaltet. Nach 30-tägigem Anschluß des Relais ist die Batterie entladen.
Welche durchschnittliche Stromstärke fließt während der 30 Tage durch das Relais?
6. Eine Kupferleitung von $A = 16 \text{ mm}^2$ wird mit einer Stromstärke von $I = 80 \text{ A}$ belastet.
Wie groß ist die Stromdichte in dem Leiter?
7. Der Glühfaden einer Glühlampe hat einen Wolframquerschnitt von $A = 0,000036 \text{ mm}^2$. Die Strombelastung während des Betriebes beträgt $I = 0,3 \text{ A}$.
Wie groß ist die Stromdichte im Wolframfaden?

8. Die Dauerstromstärke für ein Relais soll $I = 180 \text{ mA}$ betragen. Die Stromdichte in der Wicklung darf höchstens $S = 100 \text{ mA pro mm}^2$ betragen.
Wie groß muß der Drahtdurchmesser gewählt werden?
9. Ein Heizwiderstand aus Nickelin hat einen Querschnitt von $A_1 = 0,25 \text{ mm}^2$. Der Querschnitt der Zuleitung aus Kupfer beträgt $A_2 = 1,5 \text{ mm}^2$. In der Zuleitung wird eine Stromstärke von $I = 3 \text{ A}$ gemessen.
 - a) Wie groß ist die Stromdichte in der Zuleitung?
 - b) Wie groß ist die Stromdichte im Heizwiderstandsdraht?
10. Eine Kohlefadenlampe nimmt bei der Spannung von $U = 220 \text{ V}$ eine elektrische Leistung von $P = 75 \text{ W}$ auf.
Welche Stromstärke fließt während des Betriebes durch die Glühlampe?
11. Ein Widerstand von $R = 184 \Omega$ nimmt eine elektrische Leistung von $P = 15 \text{ W}$ auf.
Wie groß ist die angeschaltete Spannung?
12. Eine Relaispule hat einen Widerstand von $R = 600 \Omega$. Die angeschaltete Spannung beträgt $U = 60 \text{ V}$.
Welche elektrische Leistung nimmt die Relaispule auf?
13. Ein Tauchsieder für $P = 500 \text{ W}$ nimmt eine Stromstärke von $I = 2,27 \text{ A}$ auf.
Für welche Spannung ist der Tauchsieder vorgesehen?
14. Ein Heizgerät nimmt bei Anschluß an $U = 220 \text{ V}$ eine elektrische Leistung von $P_1 = 1800 \text{ W}$ auf.
Durch Vorschalten eines Widerstandes soll die aufgenommene Leistung auf $P_2 = 1200 \text{ W}$ verringert werden.
 - a) Wie groß muß der Vorwiderstand sein?
 - b) Welche elektrische Leistung nimmt der Vorwiderstand auf?
 - c) Für welche Mindeststromstärke ist der Vorwiderstand vorzusehen?
15. Eine Glühlampe ist an $U = 220 \text{ V}$ angeschaltet. In ausgeschaltetem Zustand beträgt der Widerstand des Wolframfadens $R_{20} = 112 \Omega$; während des Betriebs beträgt der Widerstand des Wolframfadens $R_t = 1200 \Omega$.

- a) Wie groß ist die aufgenommene elektrische Leistung im Einschalt-
augenblick?
- b) Wie groß ist die aufgenommene elektrische Leistung während des
Betriebs?
16. Ein elektrisches Gerät ist $t = 2,5$ Stunden an einer Spannung von
 $U = 220$ V angeschaltet. Die Stromstärke beträgt $I = 0,64$ A.
Wie groß ist die verbrauchte elektrische Arbeit?
17. Der Antriebsmotor einer Bohrmaschine nimmt bei Anschluß an $U = 220$ V
eine Stromstärke von $I = 2,4$ A auf. Die tägliche Betriebsdauer beträgt
5 Stunden. Die Bohrmaschine wird an 25 Tagen des Monats benutzt. Der
Tarifpreis für die Stromkosten beträgt $k = 0,08 \frac{\text{DM}}{\text{kWh}}$.
- a) Wie groß ist die aufgenommene elektrische Leistung?
- b) Wie groß ist die monatlich verbrauchte elektrische Arbeit?
- c) Wie hoch sind die monatlichen Betriebskosten?
18. Wie lange kann eine 60-Watt-Lampe eingeschaltet sein, bis eine elektrische
Arbeit von $A = 1$ kWh verbraucht ist?
19. Ein Gleichstromgenerator gibt eine elektrische Leistung von $P_{\text{ab}} = 75$ kW
ab. Die Spannung des Gleichstromgenerators beträgt $U = 460$ V. Der
Wirkungsgrad ist $\eta = 0,9$.
- a) Welche Stromstärke kann der Gleichstromgenerator abgeben?
- b) Welche elektrische Leistung muß dem Generator zugeführt werden?
- c) Welche mechanische Leistung muß dem Generator durch die An-
triebsmaschine zugeführt werden?
20. Durch einen Widerstand von $R = 0,8 \Omega$ fließen 25 Minuten lang 14 A
hindurch.
- a) Wie groß ist die in dem Widerstand verbrauchte elektrische Arbeit?
- b) Wie groß ist die in dem Widerstand erzeugte Wärmemenge?
21. In einem Wasserkocher werden in 28 Minuten 3 Liter Wasser von
 $t_1 = 15^\circ \text{C}$ auf $t_2 = 95^\circ \text{C}$ erhitzt. Der Wirkungsgrad des Wasserkochers
beträgt $\eta = 0,64$.
Welche elektrische Leistung nimmt der Wasserkocher auf?

22. Mit einem Tauchsieder sollen 2,2 Liter Wasser von $t_1 = 12^\circ \text{C}$ erwärmt
werden. Die aufgenommene elektrische Leistung des Tauchsieders beträgt
 $P = 500$ W, der Wirkungsgrad ist $\eta = 0,98$. Der sich im Wasser befind-
liche Tauchsieder ist $t = 15$ Minuten angeschaltet.

Welche Temperatur t_2 hat das Wasser nach der Erwärmung?

23. Ein Heißwasserspeicher von $P = 800$ W erwärmt 95 Liter Wasser von
 $t_1 = 10^\circ \text{C}$ Anfangstemperatur 6 Stunden lang. Der Wirkungsgrad des
Heißwasserspeichers ist 92 v.H. Der Tarifpreis für die Stromkosten be-
trägt $k = 0,08 \frac{\text{DM}}{\text{kWh}}$.

a) Welche Temperatur t_2 hat das erwärmte Wasser?

b) Wie hoch sind die monatlichen Stromkosten (1 Monat = 30 Tage)
bei täglichem Heißwasserverbrauch von 285 Litern heißen Wassers
von der Temperatur t_2 ?

24. Ein elektrischer Kupfer-Lötkolben mit einem Gewicht von $G = 0,8$ kp
soll in der Zeit von $t = 5$ min von $t_1 = 20^\circ \text{C}$ auf $t_2 = 340^\circ \text{C}$ erhitzt werden.
Der Wirkungsgrad ist $\eta = 0,71$.

Welche elektrische Leistung muß die Heizpatrone des Kupfer-Lötkolbens
aufnehmen?

25. In einem Kochtopf werden 1,5 Liter Wasser von der Anfangstemperatur
 $t_1 = 16^\circ \text{C}$ in $t = 13$ min zum Kochen gebracht. Die aufgenommene elek-
trische Leistung der Kochplatte beträgt $P = 650$ W.

Mit welchem Wirkungsgrad arbeitet die Kochplatte?

26. Ein Heißwasserspeicher von 200 Litern Inhalt nimmt eine elektrische Lei-
stung von $P = 2,5$ kW auf. Der Wirkungsgrad beträgt $\eta = 0,92$. Das
Wasser soll von $t_1 = 12^\circ \text{C}$ auf $t_2 = 90^\circ \text{C}$ erhitzt werden. Der Tarifpreis
beträgt $k = 0,08 \frac{\text{DM}}{\text{kWh}}$.

a) Wie lang ist die Betriebsdauer für die einmalige Erhitzung des In-
halts?

b) Wie hoch sind die Stromkosten für die einmalige Erhitzung des
Inhalts?

II. Der Magnetismus

1. Die Grundgrößen des Magnetismus

Die Grundgrößen des Magnetismus sind:

Begriffe	Formelzeichen	Einheiten	
		alt	neu
Magnetische Durchflutung	Θ (Theta)	[Aw]	[A]
Magnetische Feldstärke	H	[Oe]	$\left[\frac{\text{A}}{\text{cm}}\right]$
Magnetische Induktion	B	[G]	$\left[\frac{\text{Vs}}{\text{cm}^2}\right]$
Magnetischer Fluß	Φ (Phi)	[M]	[Vs]
Permeabilität	μ (My)	[—]	[—]

a) Die magnetische Durchflutung

Die magnetische Durchflutung ist das Produkt aus **Stromstärke** mal **Windungszahl**.

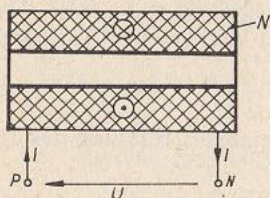
Begriff	Formelzeichen	Einheit
magnetische Durchflutung	Θ (Theta)	[A]

Größengleichung

$$\Theta = I \cdot N \quad [\text{A}]$$

Einheitengleichung

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



(Abb. 92)

Übungsbeispiel

Eine Relaispule von $N = 1400$ Windungen wird von einer Stromstärke von $I = 25 \text{ mA}$ durchflossen (Abb. 92).

Wie groß ist die magnetische Durchflutung der Relaispule?

Gegeben: $N = 1400, I = 25 \text{ mA}$

Gesucht: Θ

Lösung:

$$\Theta = I \cdot N$$

$$\Theta = 0,025 \cdot 1400$$

$$\Theta = \underline{\underline{35 \text{ A}}}$$

Die magnetische Durchflutung der Relaispule beträgt $\Theta = 35 \text{ A}$.

b) Die magnetische Feldstärke

Die Stromspule mit Lufthohlraum

Die magnetische Feldstärke ist das Produkt aus **Stromstärke** mal **Windungszahl pro cm Spulenlänge**.

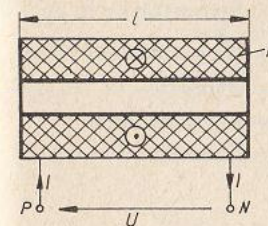
Begriff	Formelzeichen	Einheit
Magnetische Feldstärke	H	$\left[\frac{\text{A}}{\text{cm}}\right]$

Größengleichung

$$H = \frac{I \cdot N}{l} \quad \left[\frac{\text{A}}{\text{cm}}\right]$$

Einheitengleichung

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



(Abb. 93)

H = magnetische Feldstärke in $\frac{\text{A}}{\text{cm}}$

I = Stromstärke in A

l = Spulenlänge in cm

Übungsbeispiel

Eine Relaispule von $N = 3000$ Windungen wird von einer Stromstärke von $I = 5 \text{ mA}$ durchflossen. Die Spulenlänge beträgt $l = 6,5 \text{ cm}$ (Abb. 93).

Wie groß ist die magnetische Feldstärke der Relaispule?

Gegeben: $N = 3000$, $I = 5 \text{ mA}$, $l = 6,5 \text{ cm}$.

Gesucht: H

Lösung:

$$H = \frac{I \cdot N}{l}$$

$$H = \frac{0,005 \cdot 3000}{6,5}$$

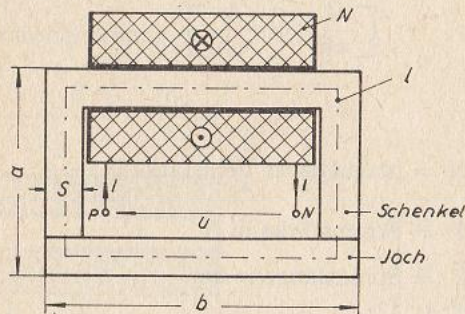
$$H = 2,32 \frac{\text{A}}{\text{cm}}$$

Die magnetische Feldstärke der Relaispule beträgt $H = 2,32 \frac{\text{A}}{\text{cm}}$.

Die Stromspule mit geschlossenem Eisenkern

Die magnetische Feldstärke ist das Produkt aus **Stromstärke** mal **Windungszahl** pro **cm mittlerer Feldlinienlänge**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Magnetische Feldstärke	H	$\left[\frac{\text{A}}{\text{cm}} \right]$
Größengleichung		
$H = \frac{I \cdot N}{l} \left[\frac{\text{A}}{\text{cm}} \right]$		
Einheitengleichung		
$\left[\frac{\text{A}}{\text{cm}} \right] = \frac{\text{A}}{\text{cm}}$		
H = magnetische Feldstärke in $\frac{\text{A}}{\text{cm}}$ I = Stromstärke in A N = Windungszahl ohne Einheit l = mittlere Feldlinienlänge in cm		



(Abb. 94)

$$l = a + (a - 2 \cdot s) + b + (b - 2 \cdot s) \quad [\text{cm}]$$

a = Höhe des Eisenkerns in cm

b = Breite des Eisenkerns in cm

s = Kantenlänge des Eisenkerns in cm

Übungsbeispiel

Von nachstehender Stromspule betragen: $N = 1200$ Windungen, $I = 45 \text{ mA}$. Die Abmessungen des Eisenkerns sind:

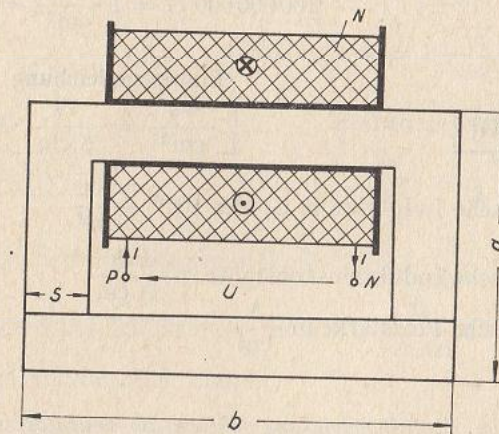
Höhe $a = 35 \text{ mm}$, Breite $b = 40 \text{ mm}$, Kantenlänge des Eisenkerns $s = 8 \text{ mm}$ (Abb. 95).

Wie groß ist die magnetische Feldstärke der Stromspule?

Gegeben: $N = 1200$, $I = 45 \text{ mA}$, $a = 35 \text{ mm}$, $b = 40 \text{ mm}$, $s = 8 \text{ mm}$

Gesucht: H

Lösung:



(Abb. 95)

$$\begin{aligned} l &= a + (a - 2s) + b + (b - 2s) \\ l &= 35 + (35 - 2 \cdot 8) + 40 + (40 - 2 \cdot 8) \\ l &= 35 + (35 - 16) + 40 + (40 - 16) \\ l &= 35 + 19 + 40 + 24 \\ l &= 118 \text{ mm} = \underline{11,8 \text{ cm}} \end{aligned}$$

$$H = \frac{I \cdot N}{l}$$

$$H = \frac{0,045 \cdot 1200}{11,8}$$

$$H = 4,58 \frac{\text{A}}{\text{cm}}$$

Die magnetische Feldstärke der Stromspule beträgt $H = 4,58 \frac{\text{A}}{\text{cm}}$.

c) Die magnetische Induktion

Die Stromspule mit Lufthohlraum

Die magnetische Induktion ist das Produkt aus der **Induktionskonstanten** 1,256 mal der **magnetischen Feldstärke**.

Begriff	Formelzeichen	Einheiten
Magnetische Induktion	B	alt: [G] (Gauß) neu: $\left[\frac{\text{Vs}}{\text{cm}^2} \right] = \left[\frac{\text{Weber}}{\text{cm}^2} \right]$ $100\,000\,000 \text{ G} = 1 \frac{\text{Vs}}{\text{cm}^2} = 1 \frac{\text{Wb}}{\text{cm}^2}$

Größengleichung

$$B = 1,256 \cdot H \quad [\text{G}]$$

Einheitengleichung

$$\left[\frac{\text{Vs}}{\text{cm}^2} \right] = \frac{\text{Vs}}{\text{A cm}} \cdot \frac{\text{A}}{\text{cm}}$$

$$B = \text{magnetische Induktion in G oder } 10^{-8} \cdot \frac{\text{Vs}}{\text{cm}^2}$$

$$1,256 = \text{magnetische Induktionskonstante in } \frac{\text{Vs}}{\text{A cm}}$$

$$H = \text{magnetische Feldstärke in } \frac{\text{A}}{\text{cm}}$$

Anmerkung

Für das Aufstellen der Einheitengleichung müssen die neuen Einheiten verwendet werden, weil nur die neuen Einheiten mit den technischen Einheiten des elektrischen Stromkreises übereinstimmen.

Übungsbeispiel

Die magnetische Feldstärke einer Stromspule mit Lufthohlraum beträgt $H = 4,3 \frac{\text{A}}{\text{cm}}$.

Wie groß ist die magnetische Induktion im Spulenraum?

Gegeben: $H = 4,3 \frac{\text{A}}{\text{cm}}$

Gesucht: B

Lösung:

$$B = 1,256 \cdot H$$

$$B = 1,256 \cdot 4,3$$

$$B = \underline{\underline{5,4 \text{ G}}}$$

$$B = 5,4 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Vs}}{\text{cm}^2}$$

Die magnetische Induktion im Spulenraum der Stromspule beträgt $B = 5,4 \text{ G}$ oder $B = 5,4 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Vs}}{\text{cm}^2}$.

Die Stromspule mit geschlossenem Eisenkern

Die magnetische Induktion ist das Produkt aus der **Induktionskonstanten** 1,256 mal der **Permeabilität** des Eisenkerns mal der **magnetischen Feldstärke**.

Begriff	Formelzeichen	Einheiten
Magnetische Induktion	B	alt: [G] (Gauß) neu: $\left[\frac{\text{Vs}}{\text{cm}^2} \right] = \left[\frac{\text{Weber}}{\text{cm}^2} \right]$ $100\,000\,000 \text{ G} = 1 \frac{\text{Vs}}{\text{cm}^2} = 1 \frac{\text{Wb}}{\text{cm}^2}$

Größengleichung

$$B = 1,256 \cdot \mu \cdot H \quad [\text{G}]$$

Einheitengleichung

$$\left[\frac{\text{Vs}}{\text{cm}^2} \right] = \frac{\text{Vs}}{\text{A cm}} \cdot \frac{\text{A}}{\text{cm}}$$

$$B = \text{magnetische Induktion in G oder } 10^{-8} \cdot \frac{\text{Vs}}{\text{cm}^2}$$

$$1,256 = \text{magnetische Induktionskonstante in } \frac{\text{Vs}}{\text{A cm}}$$

$$\mu = \text{Permeabilität ohne Einheit}$$

$$H = \text{magnetische Feldstärke in } \frac{\text{A}}{\text{cm}}$$

Anmerkung

Für das Aufstellen der Einheitengleichung müssen die neuen Einheiten verwendet werden, weil nur die neuen Einheiten mit den technischen Einheiten des elektrischen Stromkreises übereinstimmen.

Übungsbeispiel

Nach der Magnetisierungskurve für Dynamoblech (siehe Anhang) beträgt bei der magnetischen Feldstärke von $H = 8,5 \frac{\text{A}}{\text{cm}}$ die magnetische Induktion $B = 14\,000 \text{ G}$.

Wie groß ist die Permeabilität des Dynamobleches bei dieser Magnetisierung?

Gegeben: $H = 8,5 \frac{\text{A}}{\text{cm}}$, $B = 14\,000 \text{ G}$, Dynamoblech

Gesucht: μ

Lösung:

$$B = 1,256 \cdot \mu \cdot H$$

$$\mu = \frac{B}{1,256 \cdot H}$$

$$\mu = \frac{14000}{1,256 \cdot 8,5}$$

$$\mu = \underline{\underline{1311}}$$

Die Permeabilität des Dynamobleches beträgt bei der magnetischen Induktion $B = 14000 \text{ G}$ $\mu = 1311$.

d) Der magnetische Fluß

Der magnetische Fluß ist das Produkt aus der **magnetischen Induktion** mal der **Polfläche**.

Begriff	Formelzeichen	Einheiten
Magnetischer Fluß	Φ	alt: [M] (Maxwell) neu: [Vs] = Weber
		100000000 M = 1 Vs = 1 Wb

Größengleichung

$$\Phi = B \cdot A \quad [\text{M}]$$

Einheitengleichung

$$\left[\text{Vs} = \frac{\text{Vs}}{\text{cm}^2} \cdot \text{cm}^2 \right]$$

Φ = magnetischer Fluß in M oder 10^{-8} Vs

B = magnetische Induktion in G oder $10^{-8} \frac{\text{Vs}}{\text{cm}^2}$

A = Polfläche in cm^2

Anmerkung

Für das Aufstellen der Einheitengleichung müssen die neuen Einheiten verwendet werden, weil nur die neuen Einheiten mit den technischen Einheiten des elektrischen Stromkreises übereinstimmen.

Übungsbeispiel

Von einem Elektromagneten betragen der Kernquerschnitt $A = 4 \text{ cm}^2$ und die magnetische Induktion $B = 4500 \text{ G}$.

Wie stark ist der magnetische Fluß in dem Eisenkern des Elektromagneten?

Gegeben: $A = 4 \text{ cm}^2$, $B = 4500 \text{ G}$

Gesucht: Φ

Lösung:

$$\Phi = B \cdot A$$

$$\Phi = 4500 \cdot 4$$

$$\Phi = \underline{\underline{18000 \text{ M}}}$$

$$\Phi = \underline{\underline{18000 \cdot 10^{-8} \text{ Vs}}}$$

Der magnetische Fluß im Eisenkern beträgt $\Phi = 18000 \text{ M}$ oder $\Phi = 18000 \cdot 10^{-8} \text{ Vs}$.

2. Die Anzugskraft von Magneten

Die Anzugskraft von Magneten ist verhältnismäßig der **magnetischen Induktion** ins Quadrat und der **Polfläche**. Die Anzugskraft von Magneten wird mit Hilfe einer Näherungsgleichung ermittelt, so daß für diese Größengleichung keine Einheitengleichung aufgestellt werden kann.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Kraft	F	[kp]

Größengleichung

$$F = \left[\frac{B}{5000} \right]^2 \cdot A \quad [\text{kp}]$$

F = Anzugskraft des Magneten in kp

B = magnetische Induktion in G

A = Polfläche in cm^2

Bei Hufeisenmagneten werden die Polflächen des Nordpoles und des Südpoles eingesetzt.

Übungsbeispiel

In dem Eisenkern eines Fernmelderlais ohne Trennblech beträgt die magnetische Induktion $B = 1800 \text{ G}$, der Kernquerschnitt ist $A = 0,9 \text{ cm}^2$ groß.

Mit welcher Kraft wird der Anker des Fernmelderlais festgehalten?

Gegeben: $B = 1800 \text{ G}$, $A = 0,9 \text{ cm}^2$

Gesucht: F

Lösung:

$$F = \left[\frac{B}{5000} \right]^2 \cdot A$$

$$F = \left[\frac{1800}{5000} \right]^2 \cdot 0,9$$

$$F = \underline{\underline{0,117 \text{ kp}}}$$

$$F = \underline{\underline{117 \text{ p}}}$$

Der Anker wird mit einer Kraft von $F = 117 \text{ p}$ festgehalten.

3. Aufgaben

1. Eine Spule von $N = 3500$ Windungen wird von einer Stromstärke von $I = 25 \text{ mA}$ durchflossen.

Wie groß ist die magnetische Durchflutung?

2. Die magnetische Durchflutung beträgt $\Theta = 18 \text{ A}$. Die Windungszahl ist $N = 2000$.

Von welcher Stromstärke wird die Stromspule durchflossen?

3. Die Länge der Spule eines Fernmelderelais beträgt $l = 6 \text{ cm}$, die Windungszahl ist $N = 1200$. Die magnetische Durchflutung der Spule soll $\Theta = 6,6 \text{ A}$ betragen.

- Welchen Wert muß die Betriebsstromstärke haben?
- Wie groß ist die magnetische Feldstärke der Stromspule ohne Eisenkern?

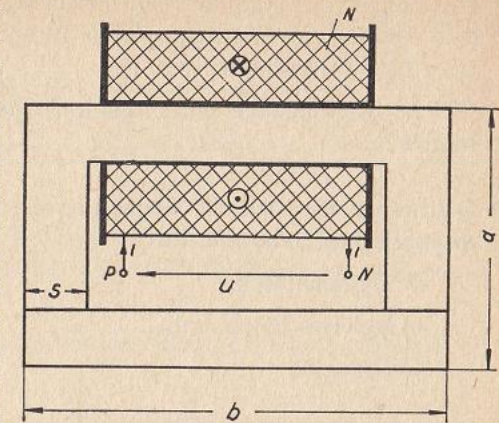
4. Eine Stromspule von $N = 800$ Windungen wird von einer Stromstärke von $I = 3,5 \text{ A}$ durchflossen. Die Spulenlänge beträgt $l = 8 \text{ cm}$.

- Wie groß ist die magnetische Feldstärke der Stromspule ohne Eisenkern?
- Wie groß ist die magnetische Induktion im Spulenraum der Stromspule ohne Eisenkern?

5. Die magnetische Feldstärke einer Stromspule mit geschlossenem Eisenkern beträgt $H = 8 \frac{\text{A}}{\text{cm}}$. Die Permeabilität des Eisenkerns ist bei dieser magnetischen Feldstärke $\mu = 1350$ groß.

Wie groß ist die magnetische Induktion im Eisenkern?

6. Von nebenstehender Spule mit quadratischem Eisenkern aus Dynamoblech tragen: Spulenlänge $l = 6 \text{ cm}$, Spulenquerschnitt des Luft-hohlraumes $A = 12 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$, Schenkelquerschnitt des Eisenkerns $A_{\text{Fe}} = 8 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$, die Höhe des Eisenkerns $a = 5 \text{ cm}$, die Länge des Eisenkerns $b = 8 \text{ cm}$; der Eisenfüllfaktor ist 0,85. Die Stromstärke der Stromspule beträgt $I = 38 \text{ mA}$ und die Windungszahl ist $N = 1550$ groß (Abb. 96).



(Abb. 96)

- Zeichnen Sie die Vorderansicht der Stromspule im Maßstab 1 : 1!
 - Wie groß ist die magnetische Durchflutung der Stromspule?
 - Wie groß ist die magnetische Feldstärke der Stromspule ohne Eisenkern?
 - Wie groß ist die magnetische Induktion der Stromspule ohne Eisenkern?
 - Wie groß ist der magnetische Fluß im Spulenraum der Stromspule ohne Eisenkern?
 - Wie groß ist die mittlere Feldlinienlänge des geschlossenen Eisenkerns?
 - Wie groß ist die magnetische Feldstärke der Stromspule mit geschlossenem Eisenkern?
 - Wie groß ist die magnetische Induktion im geschlossenen Eisenkern in G und $\frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2}$?
 - Wie stark ist der magnetische Fluß im geschlossenen Eisenkern in M und Vs?
 - Wie groß ist die Permeabilität des Eisenkerns während des Betriebes?
7. Der Eisenkern eines Elektromagneten hat einen Querschnitt von $A = 12 \text{ cm}^2$. Der magnetische Fluß in dem Eisenkern beträgt $\Phi = 120000 \text{ M}$. Wie groß ist die magnetische Induktion im Eisenkern?

8. Der magnetische Fluß in einem Eisenkern eines Lasthebemagneten beträgt $\Phi = 4800000$ M. Die magnetische Induktion im Eisenkern soll höchstens $B = 12000$ G betragen.

Welche Kantenlänge eines quadratischen Schenkelquerschnittes ist zu wählen?

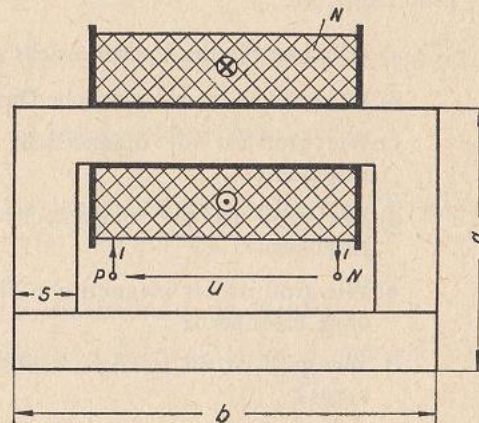
9. Bestimmen Sie nach der Magnetisierungskurve im Anhang die Werte der magnetischen Induktion für

- Dynamoblech,
- legiertes Blech und
- Grauguß,

die durch eine magnetische Feldstärke von $H = 7 \frac{\text{A}}{\text{cm}}$ hervorgerufen werden.

10. Von nebenstehender Stromspule mit quadratischem Eisenkern aus Dynamoblech betragen $N = 3200$ Windungen und $I = 60$ mA. Die Abmessungen des Eisenkernes sind: $a = 40$ mm, $b = 60$ mm und $s = 8$ mm, der Eisenfüllfaktor ist 0,90 (Abb. 97).

Wie stark ist der magnetische Fluß im Eisenkern?



(Abb. 97)

11. In dem Eisenkern einer Stromspule beträgt die magnetische Induktion $B = 14000$ G bei der magnetischen Feldstärke von $H = 11,5 \frac{\text{A}}{\text{cm}}$.

- Wie groß ist die Permeabilität des Eisenkerns?
- Aus welchem Material besteht der Eisenkern?

12. Bestimmen Sie aus der Magnetisierungskurve im Anhang für Dynamoblech die Werte der Permeabilität bei den magnetischen Feldstärken von 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 und $20 \frac{\text{A}}{\text{cm}}$!

Tragen Sie die errechneten Werte für die Permeabilität in ein Diagramm ein!

Maßstab: waagrecht: $H \ 1 \frac{\text{A}}{\text{cm}} \triangleq 1 \text{ cm},$

senkrecht : $\mu \ 250 \triangleq 1 \text{ cm}.$

13. Ein Fernmelderelais hat einen Kernquerschnitt von $A = 1,2 \text{ cm}^2$. Die Stärke des magnetischen Flusses beträgt $\Phi = 2100$ M. Die Streuverluste werden auf 20 v.H. geschätzt.

Mit welcher Kraft wird der Anker von dem Kern des Fernmelderelais ohne Trennblech festgehalten?

14. Ein Hufeisenmagnet hat eine magnetische Induktion von $B = 10000$ G bei einem Schenkelquerschnitt von $A = 16 \text{ cm}^2$. Die Streuverluste werden auf 15 v. H. geschätzt.

Wie groß ist die Tragkraft des Hufeisenmagneten?

15. Ein Fernmelderelais hat einen Kernquerschnitt von $A = 1,15 \text{ cm}^2$. Der Anker wird von dem Eisenkern ohne Trennblech mit einer Kraft von $F = 200$ p festgehalten.

Wie stark ist der magnetische Fluß im Relaiskern?

16. Der magnetische Fluß eines Elektro-Hufeisenmagneten beträgt $\Phi = 280000$ M, die magnetische Induktion ist $B = 14000$ G. Die Streuverluste werden vernachlässigt.

Mit welcher Kraft wird das Joch von den Schenkeln des Hufeisenmagneten festgehalten?

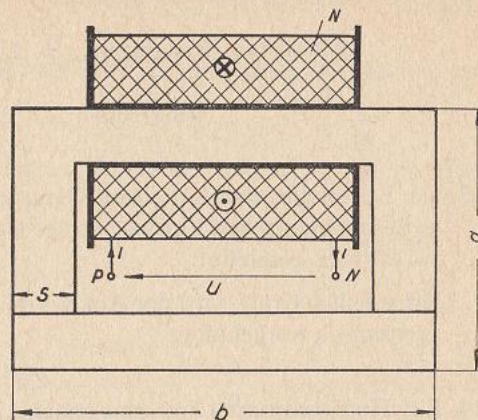
17. Der Kernquerschnitt eines Elektro-Hufeisenmagneten beträgt $A = 45 \text{ cm}^2$. Der magnetische Fluß in dem Kern ist $\Phi = 650000$ M stark. Die Streuverluste betragen 18 v.H.

Mit welcher Kraft wird das Joch von den Schenkeln festgehalten?

18. Ein Hufeisenmagnet hat eine Anzugskraft von $F = 110$ kp. Die magnetische Induktion im Eisenkern beträgt $B = 10800$ G. Die Streuverluste werden auf 15 v. H. geschätzt.

Wie groß ist die Kantenlänge des quadratischen Schenkelquerschnittes?

19. Eine Stromspule mit geschlossenem Eisenkern hat folgende Abmessungen (Abb. 98): $a = 55 \text{ mm}$, $b = 90 \text{ mm}$, $s = 10 \text{ mm}$. Die Spulenlänge ist $l = 6 \text{ cm}$; der Eisenfüllfaktor beträgt 0,85. Die Stromstärke in der Stromspule beträgt $I = 300 \text{ mA}$; die Windungszahl ist $N = 800$. Die Streuverluste werden mit 20 v. H. angenommen. Der Schenkelquerschnitt ist quadratisch und der Querschnitt des Lufthohlraumes der Stromspule ist $12 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$ groß.



(Abb. 98)

- Wie groß ist die magnetische Feldstärke der Stromspule mit Lufthohlraum?
- Wie groß ist die magnetische Induktion im Lufthohlraum der Stromspule?
- Wie groß ist der magnetische Fluß im Lufthohlraum der Stromspule?
- Wie groß ist die magnetische Feldstärke der Stromspule mit geschlossenem Eisen?
- Wie groß ist die magnetische Induktion in dem Eisenkern aus Dynamoblech?
- Wie groß ist der magnetische Fluß im Eisenkern aus Dynamoblech?
- Wie groß ist die Permeabilität des Eisenkernes bei dieser magnetischen Induktion?
- Mit welcher Kraft wird das Joch von den beiden Schenkeln festgehalten, wenn die Streuverluste auf 20 v. H. geschätzt werden?
- Welche Anzugskraft entfällt auf einen Pol des Hufeisenmagneten?
- Wie groß ist die Anzugskraft eines Poles der Stromspule mit Lufthohlraum, wenn die Streuverluste vernachlässigt werden?
- Tragen Sie die Werte der magnetischen Feldstärken, der magnetischen Induktionen, der magnetischen Flüsse, der Permeabili-

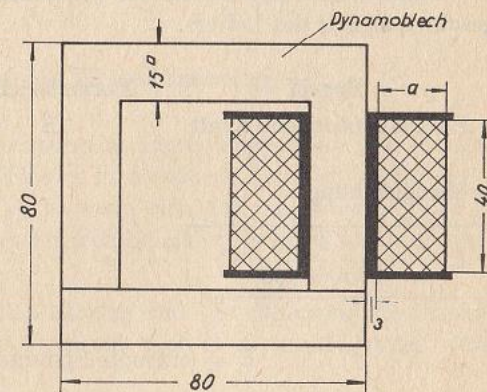
täten und der Anzugskräfte für jeweils einen Pol in nachstehende Tabelle (Abb. 99) ein und vergleichen Sie die Werte miteinander!

Nr		$H [\frac{A}{cm}]$	$B [G]$	$\Phi [M]$	μ	$F [kp]$
1	Spule mit Lufthohlraum					
2	Spule mit geschlossenem Eisenkern					

(Abb. 99)

20. Es soll ein Elektromagnet von nebenstehenden Abmessungen berechnet werden. Das Joch soll mit einer Kraft von $F = 20 \text{ kp}$ festgehalten werden. Die Streuverluste werden auf 20 v. H. geschätzt.

Die Stromstärke in der Stromspule soll 100 mA nicht übersteigen. Der Außendurchmesser des lackisolierten Kupferdrahtes beträgt $d = 0,8 \text{ mm}$ (Abb. 100).



(Abb. 100)

- Wie groß ist die magnetische Induktion im Eisenkern?
- Wie groß ist die magnetische Feldstärke der Stromspule mit geschlossenem Eisenkern?
- Welche Windungszahl muß die Spule aufweisen?
- Wieviel Windungen liegen senkrecht übereinander und wieviel Lagen liegen waagrecht übereinander?
- Wie groß ist der Querschnitt des benötigten Wickelraumes?
- Wieviel m Kupferdraht werden für die Herstellung der Spule benötigt?
- Zeichnen Sie den Elektromagneten in der Vorderansicht und in der Draufsicht im Maßstab 1 : 1!

III. Die Spannungserzeugung im Magnetfeld

1. Die Erzeugung von Gleichspannung

In einem Leiter wird dann eine elektrische Spannung erzeugt, wenn sich der magnetische Fluß in der durch den Leiter gebildeten **Leiterschleife verstärkt** oder **vermindert**. Die Ursache für die Verstärkung oder für die Verminderung des magnetischen Flusses in einer Leiterschleife kann die **Bewegung** eines **Leiters** oder des **Magnetfeldes** sein.

Die Größe der in einem Magnetfeld erzeugten Spannung ist verhältnismäßig der **magnetischen Induktion**, der **wirksamen Leiterlänge** und der **Bewegungsgeschwindigkeit** des Leiters.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Elektromotorische Kraft	E	[V]
Größengleichung	Einheitengleichung	
$E = \frac{B \cdot l \cdot v}{100000000} \text{ [V]}$	$\left[V = \frac{V_s}{\text{cm}^2} \cdot \text{cm} \cdot \frac{\text{cm}}{\text{s}} \right]$	
E = erzeugte Spannung (EMK) in V		
B = magnetische Induktion in G		
l = wirksame Leiterlänge in cm		
v = Bewegungsgeschwindigkeit in $\frac{\text{cm}}{\text{s}}$		

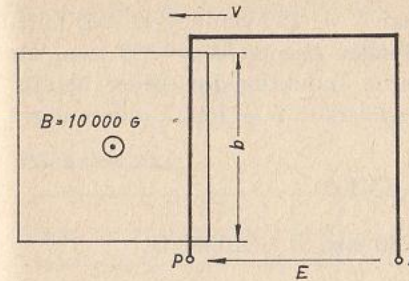
Übungsbeispiel

Durch ein magnetisches Feld von der Stärke $B = 10000 \text{ G}$ wird ein Leiter mit einer Geschwindigkeit von $v = 8 \text{ m}$ in der Sekunde rechtwinklig zur Feldlinienrichtung bewegt. Die Länge des sich im Magnetfeld befindlichen Leiters beträgt $l = 50 \text{ cm}$ (Abb. 101).

Wie hoch ist die in dem Leiter erzeugte EMK?

Gegeben: $B = 10000 \text{ G}$, $v = 8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $l = 50 \text{ cm}$
Gesucht: E

Lösung:



(Abb. 101)

$$E = \frac{B \cdot l \cdot v}{100000000}$$

$$E = \frac{10000 \cdot 50 \cdot 800}{100000000}$$

$$E = \underline{\underline{4V}}$$

Die in dem Leiter erzeugte EMK beträgt $E = 4 \text{ V}$.

2. Die Erzeugung von Wechselspannung

In einem Leiter wird dann eine Wechselspannung erzeugt, wenn sich die **Änderungsrichtung** des magnetischen Flusses in der durch den Leiter gebildeten **Leiterschleife** fortwährend ändert, d. h. wenn sich der magnetische Fluß in einer Leiterschleife bei gleichbleibender Feldlinienrichtung fortwährend **vermehrt** und **vermindert**.

Die Ursache für die fortwährende Vermehrung und Verminderung des magnetischen Flusses in der Leiterschleife kann eine sich in einem Magnetfeld **drehende Leiterschleife** sein.

Die Größe der in einem Magnetfeld erzeugten Spannung ist verhältnismäßig der **magnetischen Induktion**, der **wirksamen Leiterlänge** und der **Bewegungsgeschwindigkeit** des Leiters.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Elektromotorische Kraft	E	[V]
Größengleichung	Einheitengleichung	
$E = \frac{B \cdot l \cdot v}{100000000} \text{ [V]}$	$\left[V = \frac{V_s}{\text{cm}^2} \cdot \text{cm} \cdot \frac{\text{cm}}{\text{s}} \right]$	

E = Höchstwert der erzeugten EMK in V

B = magnetische Induktion in G

l = wirksame Leiterlänge in cm

v = Umfangsgeschwindigkeit in $\frac{\text{cm}}{\text{s}}$

Übungsbeispiel

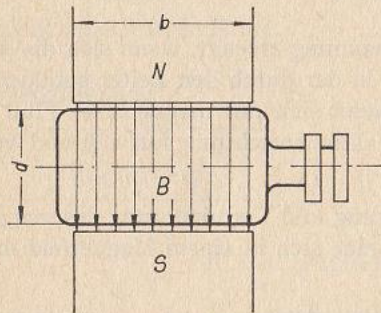
Der Anker eines Wechselstromgenerators hat $N = 25$ Windungen. Der mittlere Windungsdurchmesser der Ankerwindungen beträgt $d = 200$ mm, die Polbreite ist $b = 250$ mm. Die magnetische Induktion im Anker beträgt $B = 10000$ G und die Umdrehungszahl des Ankers ist $n = 1500$ Umdrehungen pro Minute (Abb. 102).

Wie groß ist der Höchstwert der erzeugten EMK?

Gegeben: $N = 25$, $d = 200$ mm, $b = 250$ mm, $B = 10000$ G,
 $n = 1500 \frac{1}{\text{min}}$

Gesucht: E

Lösung:



(Abb. 102)

$$\begin{aligned} l &= (b + b) \cdot N \\ l &= (250 + 250) \cdot 25 \\ l &= 12500 \text{ mm} = 1250 \text{ cm} \\ v &= d \cdot \pi \cdot n \\ v &= \frac{20 \cdot 3,14 \cdot 1500}{60} \\ v &= 1570 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= \frac{B \cdot l \cdot v}{100000000} \\ E &= \frac{10000 \cdot 1250 \cdot 1570}{100000000} \\ E &= \underline{\underline{196 \text{ V}}} \end{aligned}$$

Die erzeugte EMK beträgt $E = 196$ V.

3. Die Wechselstromgrößen

a) Der Höchstwert

Der Höchstwert einer Wechselspannung wird dann erzeugt, wenn die Bewegungsrichtung der sich drehenden Leiterschleife **rechtwinklig** zur Feldlinienrichtung des Magnetfeldes verläuft. Bei senkrechtem Verlauf der magnetischen

Feldlinien wird der Höchstwert einer Wechselspannung erzeugt bei den Umdrehungswinkeln der Leiterschleife von 90° und 270° .

Begriff	Formelzeichen	Einheiten
Höchstwert	U_{max}	[V]
	I_{max}	[A]
Größengleichung	Einheitengleichung	
$E_{\text{max}} = \frac{B \cdot l \cdot v}{100000000} [\text{V}]$		$\left[V = \frac{V_s}{\text{cm}^2} \cdot \text{cm} \frac{\text{cm}}{\text{s}} \right]$
E = Höchstwert der erzeugten Wechselspannung in V B = magnetische Induktion in G l = wirksame Leiterlänge in cm Die wirksame Leiterlänge bei Wechselstromgeneratoren ergibt sich aus der doppelten Polbreite mal der Windungszahl. v = Umdrehungsgeschwindigkeit der Leiterschleife in $\frac{\text{cm}}{\text{s}}$		

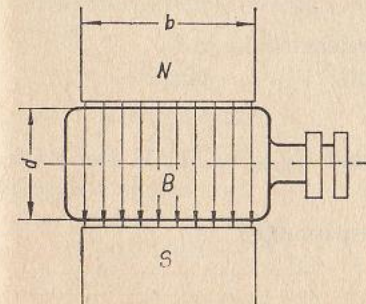
Übungsbeispiel

Mit einem zweipoligen Wechselstromgenerator soll eine Wechselspannung mit einem Höchstwert von $U_{\text{max}} = 156$ V erzeugt werden. Die Umdrehungszahl des Wechselstromgenerators beträgt $n = 3000 \frac{1}{\text{min}}$. Die Polbreite der Magnetpole beträgt $b = 15$ cm; der mittlere Windungsdurchmesser der Leiterschleife ist $d = 10$ cm; die Windungszahl ist $N = 60$ Windungen (Abb. 103). Auf welchen Wert muß die magnetische Induktion eingestellt werden?

Gegeben: $U_{\text{max}} = 156$ V, $n = 3000 \frac{1}{\text{min}}$, $b = 15$ cm,
 $d = 10$ cm, $N = 60$

Gesucht: B

Lösung:



(Abb. 103)

$$\begin{aligned} l &= (b + b) \cdot N \\ l &= (15 + 15) \cdot 60 \\ l &= 30 \cdot 60 \\ l &= 1800 \text{ cm} \\ v &= d \cdot \pi \cdot n \\ v &= \frac{10 \cdot 3,14 \cdot 3000}{60} \\ v &= 1570 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \end{aligned}$$

$$U_{\max} = \frac{B \cdot l \cdot v}{100000000}$$

$$B = \frac{U_{\max} \cdot 100000000}{l \cdot v}$$

$$B = \frac{156 \cdot 100000000}{1800 \cdot 1570}$$

$$B = \underline{\underline{5500 \text{ G}}}$$

Die magnetische Induktion muß auf $B = 5500 \text{ G}$ eingestellt werden.

b) Der Augenblickswert

Der Augenblickswert einer Wechselspannung ist das Produkt aus dem **Höchstwert** mal dem **Sinus** des **Umdrehungswinkels** der Leiterschleife.

Begriff	Formelzeichen	Einheiten
Augenblickswert	u	[V]
	i	[A]

Größengleichungen

$$u = U_{\max} \cdot \sin \alpha \quad [\text{V}]$$

$$i = I_{\max} \cdot \sin \alpha \quad [\text{A}]$$

u = Augenblickswert der Wechselspannung in V

i = Augenblickswert des Wechselstromes in A

$U_{\max}$ = Höchstwert der Wechselspannung in V

$I_{\max}$ = Höchstwert des Wechselstromes in A

$\sin \alpha$ — Sinus des Winkels der Leiterschleifenstellung ohne Einheit

α = Winkel der Leiterschleifenstellung in °

Übungsbeispiel

Der Höchstwert einer Wechselspannung beträgt $U_{\max} = 311 \text{ V}$. Der Winkel der Leiterschleifenstellung beträgt $\alpha = 40^\circ$.

Wie groß ist der Augenblickswert der Wechselspannung?

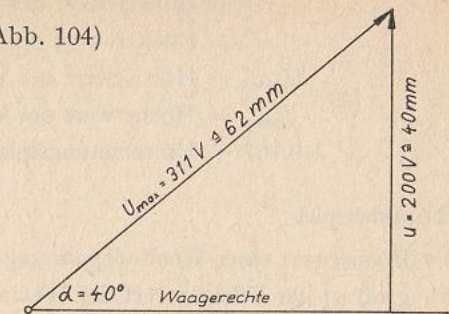
Gegeben: $U_{\max} = 311 \text{ V}$, $\alpha = 40^\circ$

Gesucht: u

Lösung:

Zeichnerische Lösung (Abb. 104)

Maßstab: $5 \text{ V} \triangleq 1 \text{ mm}$



(Abb. 104)

$$u = 40 \text{ mm} \triangleq \underline{\underline{200 \text{ V}}}$$

Anmerkung zur Lösung: Der Winkel $\alpha = 40^\circ$ wird an der Waagerechten aufgetragen. An der schräg verlaufenden Linie wird der Wert von $U_{\max} = 311 \text{ V} \triangleq 62 \text{ mm}$ abgemessen. Die Senkrechte, die von der Zeigerspitze von $U_{\max}$ aus auf die Waagerechte gefällt wird, ergibt den Augenblickswert $u = 40 \text{ mm} \triangleq 200 \text{ V}$.

Rechnerische Lösung

$$u = U_{\max} \cdot \sin \alpha$$

$$u = 311 \cdot \sin 40^\circ$$

$$u = 311 \cdot 0,643$$

$$u = \underline{\underline{200 \text{ V}}}$$

Der Augenblickswert der Wechselspannung beträgt $u = 200 \text{ V}$.

c) Der Effektivwert

Der Effektivwert einer Wechselspannung ist das Produkt aus dem **Höchstwert** mal **0,707**.

Begriff	Formelzeichen	Einheiten
Effektivwert	U	[V]
	I	[A]

Größengleichungen

$$U = U_{\max} \cdot 0,707 \quad [\text{V}]$$

$$I = I_{\max} \cdot 0,707 \quad [\text{A}]$$

U = Effektivwert der Wechselspannung in V
 I = Effektivwert des Wechselstromes in A
 $U_{\max}$ = Höchstwert der Wechselspannung in V
 $I_{\max}$ = Höchstwert des Wechselstromes in A
0,707 = Umrechnungsfaktor ohne Einheit

Übungsbeispiel

Der Höchstwert einer Wechselspannung beträgt $U_{\max} = 311$ V.
Wie groß ist der Effektivwert der Wechselspannung?

Gegeben: $U_{\max} = 311$ V

Gesucht: U

Lösung:

$$U = U_{\max} \cdot 0,707$$

$$U = 311 \cdot 0,707$$

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

Der Effektivwert der Wechselspannung beträgt $U = 220$ V.

d) Die Frequenz

Die Frequenz ist die **Schwingungszahl pro Sekunde**.

Bei Wechselspannungen ist eine Schwingung gleich einer **Periode** der Wechselspannung.

Begriffe	Formelzeichen	Einheit
Frequenz	f	$[\text{Hz}] = \left[\frac{1}{\text{s}}\right]$

Größengleichung

$$f = \frac{n \cdot p}{60} \left[\frac{1}{\text{s}}\right]$$

Einheitengleichung

$$\left[\frac{1}{\text{s}} = \frac{\frac{1}{\text{min}}}{60} = \frac{1}{\text{min} \cdot 60}\right]$$

f = Frequenz der Wechselspannung in Hz oder $\frac{1}{\text{s}}$

n = Umdrehungszahl in $\frac{1}{\text{min}}$

p = Polpaarzahl ohne Einheit

Übungsbeispiel

Ein Wechselstromgenerator hat $p = 2$ Polpaare. Die Umdrehungszahl des Generators beträgt $n = 1500$ Umdrehungen pro Minute.

Wie groß ist die Frequenz der erzeugten Wechselspannung?

Gegeben: $p = 2, n = 1500 \frac{1}{\text{min}}$

Gesucht: f

Lösung:

$$f = \frac{n \cdot p}{60}$$

$$f = \frac{1500 \cdot 2}{60}$$

$$f = \underline{\underline{50}} \text{ Hz}$$

Die Frequenz der erzeugten Wechselspannung beträgt $f = 50$ Hz.

e) Die Periodendauer

Die Periodendauer ist der **umgekehrte Wert** der Frequenz.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Periodendauer	T	$[\text{s}]$

Größengleichung

$$T = \frac{1}{f} [\text{s}]$$

Einheitengleichung

$$\left[\text{s} = \frac{1}{\frac{1}{\text{s}}} = \text{s}\right]$$

T = Periodendauer in s

f = Frequenz in Hz oder $\frac{1}{\text{s}}$

Übungsbeispiel

Die Frequenz einer Wechselspannung beträgt $f = 50$ Hz.

Wie groß ist die Periodendauer?

Gegeben: $f = 50$ Hz

Gesucht: T

Lösung:

$$T = \frac{1}{f}$$

$$T = \frac{1}{\underline{\underline{50}}} \text{ s}$$

Die Periodendauer beträgt $T = \frac{1}{50} \text{ s}$.

f) Die Wellenlänge

Die Wellenlänge einer Wechselspannung ist die **Entfernung**, bei der sich längs eines Leiters oder im freien Raum eine **Periode** der Wechselspannung **ausbreitet**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Wellenlänge	λ (Lambda)	[km]

Größengleichung

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [\text{km}]$$

λ = Wellenlänge in km

c = Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wechselspannung in $\frac{\text{km}}{\text{s}}$

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit im freien Raum ist gleich der Lichtgeschwindigkeit $c = 300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$

f = Frequenz in Hz

Einheitengleichung

$$\left[\text{km} = \frac{\frac{\text{km}}{\text{s}}}{\frac{1}{\text{s}}} = \frac{\text{km} \cdot \text{s}}{\text{s}} \right]$$

Übungsbeispiel

Ein Rundfunksender arbeitet mit einer Frequenz von $f = 1500 \text{ kHz}$.

Wie groß ist die Wellenlänge der elektromagnetischen Wellen des Senders?

Gegeben: $f = 1500 \text{ kHz}$, $c = 300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$

Gesucht: λ

Lösung:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$\lambda = \frac{300\,000}{1\,500\,000}$$

$$\lambda = 0,2 \text{ km}$$

$$\lambda = 200 \text{ m}$$

Die Wellenlänge des Rundfunksenders beträgt $\lambda = 200 \text{ m}$.

4. Aufgaben

- Durch ein magnetisches Feld von $B = 8000 \text{ G}$ wird ein Leiter mit einer Geschwindigkeit von $v = 6,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ rechtwinklig zur Feldlinienrichtung bewegt. Die für die Spannungserzeugung wirksame Leiterlänge beträgt $l = 64 \text{ cm}$.

Wie groß ist die in dem Leiter erzeugte EMK?

- Eine Spule von $N = 75$ Windungen wird durch ein Magnetfeld von $B = 7500 \text{ G}$ rechtwinklig zur Feldlinienrichtung bewegt. Die Bewegungsgeschwindigkeit des Leiters beträgt $v = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Die Abmessungen des Magnetpoles sind $a = 4 \text{ cm}$, $b = 4 \text{ cm}$; die Abmessungen des Wicklungshohlraumes sind $a_1 = 4,5 \text{ cm}$, $a_2 = 4,5 \text{ cm}$.

a) Zeichnen Sie diese Anordnung zur Erzeugung von Bewegungsspannung in der Draufsicht im Maßstab 1 : 1!

b) Wie groß ist die in der Leiterschleife erzeugte EMK?

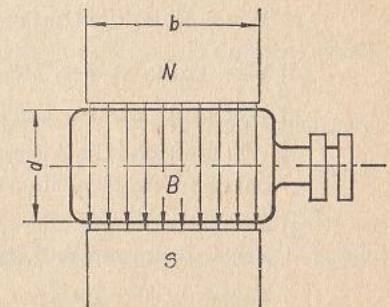
- Durch ein Magnetfeld von $B = 12000 \text{ G}$ wird ein Leiter mit einer Geschwindigkeit von $v = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ rechtwinklig zur Feldlinienrichtung bewegt. Die Länge des sich im Magnetfeld befindlichen Leiters beträgt $l = 25 \text{ cm}$, die Anzahl der Windungen ist $N = 200$.

Wie groß ist die in der Spule erzeugte EMK?

- Ein Leiter von $l = 120 \text{ cm}$ wird mit einer Geschwindigkeit von $v = 9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ durch ein Magnetfeld bewegt. Die dabei erzeugte EMK beträgt $E = 15 \text{ V}$. Wie stark ist die magnetische Induktion des Magnetfeldes?

- Der Anker eines Wechselstromgenerators hat $N = 20$ Windungen und einen mittleren Windungsdurchmesser von $d = 150 \text{ mm}$. Die Polbreite der Magnetpole beträgt $b = 200 \text{ mm}$. Die magnetische Induktion ist $B = 8000 \text{ G}$ stark. Der Anker macht $n = 1500$ Umdrehungen pro Minute (Abb. 105).

Wie groß ist der Höchstwert der erzeugten Wechselspannung?



(Abb. 105)

6. Mit einem zweipoligen Wechselstromgenerator soll eine Wechselspannung mit der Frequenz von $f = 50$ Hz erzeugt werden. Die für die Spannungserzeugung wirksame Leiterlänge beträgt $l = 60$ cm. Der mittlere Windungsdurchmesser ist $d = 12$ cm groß und die Windungszahl beträgt $N = 60$. Die magnetische Induktion zwischen den Magnetpolen ist $B = 5500$ G.

a) Wie groß ist die Umfangsgeschwindigkeit der Leiterschleife?

b) Wie groß ist der Höchstwert der erzeugten Wechselspannung?

7. Mit einem vierpoligen Wechselstromgenerator soll eine Wechselspannung von der Frequenz $f = 50$ Hz erzeugt werden. Der Höchstwert der erzeugten Wechselspannung soll $U_{\max} = 156$ V betragen. Die für die Spannungserzeugung wirksame Leiterlänge ist $l = 60$ cm, der mittlere Windungsdurchmesser ist $d = 18$ cm und die Windungszahl beträgt $N = 60$ Windungen.

a) Wie groß ist die Umdrehungszahl des Wechselstromgenerators?

b) Wie groß ist die Umfangsgeschwindigkeit der Ankerspule?

c) Wie stark muß die magnetische Induktion zwischen den Magnetpolen sein?

8. Mit einer Leiterschleife soll eine Wechselspannung erzeugt werden. Der mittlere Windungsdurchmesser der Leiterschleife beträgt $d = 30$ cm bei einer Windungszahl von $N = 12$ Windungen. Die Breite der Magnetpole ist $b = 50$ cm, ihre Stärke ist $a = 25$ cm. Die Stärke der magnetischen Induktion zwischen den Magnetpolen ist $B = 10000$ G.

a) Zeichnen Sie den zweipoligen Wechselstromgenerator in Vorderansicht und Seitenansicht im Maßstab $1 : 10$!

b) Wie groß muß die Umdrehungszahl der Leiterschleife pro Sekunde sein, damit eine Wechselspannung von $f = 50$ Hz erzeugt wird?

c) Wie groß ist die Umfangsgeschwindigkeit der Leiterschleife in $\frac{\text{cm}}{\text{s}}$?

d) Wie groß ist der Höchstwert der erzeugten Wechselspannung?

e) Wie groß ist der Effektivwert der erzeugten Wechselspannung?

f) Wie groß sind die Augenblickswerte der erzeugten Wechselspannung bei den Leiterschleifenstellungen von 30° , 45° und 60° ?

g) Zeichnen Sie für die erzeugte sinusförmige Wechselspannung das Zeigerdiagramm und das Liniendiagramm!

Maßstab: Waagrecht: $\alpha \quad 45^\circ \triangleq 15$ mm und

$t \quad 0,01\text{s} \triangleq 60$ mm.

Senkrecht: $u \quad 20$ V $\triangleq 1$ mm (rot).

9. Der Höchstwert einer Wechselspannung beträgt $U_{\max} = 500$ V.

Wie groß ist der Augenblickswert der Wechselspannung bei der Leiterschleifenstellung von $\alpha = 60^\circ$?

a) Zeichnerische Lösung (7 V $\triangleq 1$ mm).

b) Rechnerische Lösung.

10. Der Höchstwert einer Wechselspannung beträgt $U_{\max} = 311$ V; der Höchstwert eines Wechselstromes beträgt $I_{\max} = 4$ A.

a) Wie groß sind die Augenblickswerte von Wechselspannung und Wechselstrom bei den in nachstehender Tabelle (Abb. 106, Spalte 2) angegebenen Leiterschleifenstellungen?

b) Tragen Sie die errechneten Werte in nachstehende Tabelle (Abb. 106, Spalten 4 u. 6) ein!

c) Rechnen Sie die Spannungswerte und Stromwerte nach folgendem Maßstab um:

Spannung $u \quad 8$ V $\triangleq 1$ mm,

Strom $i \quad 0,2$ A $\triangleq 1$ mm.

Tragen Sie die millimetrischen Werte von Spannung und Strom in nachstehende Tabelle (Abb. 106, Spalten 5 u. 7) ein!

d) Zeichnen Sie für die Wechselspannung und für den Wechselstrom das Zeigerdiagramm und das Liniendiagramm!

Maßstab: Waagrecht: $\alpha \quad 30^\circ \triangleq 15$ mm.

Senkrecht: $u \quad 8$ V $\triangleq 1$ mm (rot),

$i \quad 0,2$ A $\triangleq 1$ mm (blau).

11. Der Höchstwert einer Wechselspannung beträgt $U_{\max} = 535$ V.

Wie groß ist der Effektivwert der Wechselspannung?

12. Mit einem achtpoligen Wechselstromgenerator soll eine Wechselspannung von $f = 50$ Hz erzeugt werden.

Welche Umdrehungszahl pro Minute muß der Wechselstromgenerator haben?

13. Ein Wechselstromgenerator macht 750 Umdrehungen pro Minute. Mit dem Wechselstromgenerator soll eine Wechselspannung von $f = 50$ Hz erzeugt werden.

Wieviele Pole und wieviele Polpaare muß der Wechselstromgenerator aufweisen?

Tabelle zu Aufgabe 10

	$\alpha [^\circ]$	$\sin \alpha$	$[V]$	$u [mm]$	$[A]$	$i [mm]$
1	10					
2	20					
3	30					
4	40					
5	50					
6	60					
7	70					
8	80					
9	90					

(Abb. 106)

14. Ein vierpoliger Wechselstromgenerator macht pro Minute 500 Umdrehungen.

Wie hoch ist die Frequenz der erzeugten Wechselspannung?

15. Der Effektivwert eines Wechselstromes beträgt $I = 15 \text{ A}$.

Wie groß ist der Höchstwert der Wechselstromstärke?

16. Der Höchstwert einer Wechselspannung von $f = 50 \text{ Hz}$ beträgt $U_{\max} = 311 \text{ V}$.

- a) Zeichnen Sie für die Wechselspannung das Liniendiagramm!

Maßstab: Waagrecht: $\alpha 45^\circ \cong 15 \text{ mm}$ und

$t 0,01 \text{ s} \cong 60 \text{ mm}$.

Senkrecht: $u 7 \text{ V} \cong 1 \text{ mm}$ (rot).

- b) Wie groß ist der Augenblickswert der Wechselspannung $\frac{1}{300} \text{ s}$ nach dem Nulldurchgang?

- c) Tragen Sie die Werte für die Bruchteile der Periodendauer für jeweils $45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$ und 360° in das Liniendiagramm ein!

17. Die Frequenz einer Wechselspannung beträgt $f = 2000 \text{ Hz}$.

Wie groß ist die Periodendauer der Wechselspannung?

18. Ein an einer Wechselspannung geschalteter Spannungsmesser zeigt einen Wert von $U = 220 \text{ V}$ an.

Wie groß ist der Höchstwert der Wechselspannung?

19. Die Periodendauer eines Wechselstromes beträgt $T = \frac{1}{800} \text{ s}$.

Wie hoch ist die Frequenz des Wechselstromes?

20. Ein Rundfunksender strahlt sein Programm mit einer Trägerfrequenz von $f = 394 \text{ kHz}$ aus.

Wie groß ist die Wellenlänge des Rundfunksenders?

21. Die Wellenlänge eines Rundfunksenders beträgt $\lambda = 15 \text{ cm}$.

Mit welcher Trägerfrequenz arbeitet der Rundfunksender?

22. Die Betriebsspannung eines Kondensators ist $U = 450 \text{ V}$.

Wie groß ist der Effektivwert der Wechselspannung, die höchstens an den Kondensator geschaltet werden kann?

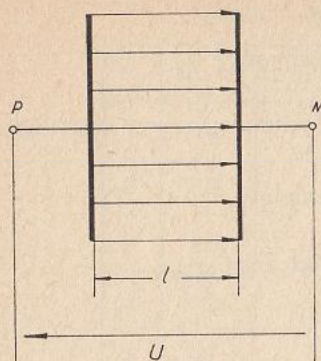
IV. Die statische Elektrizität

Die statische Elektrizität wird durch **elektrische Ladungen** dargestellt, die sich untereinander **nicht** ausgleichen können. Bei der statischen Elektrizität fließt also kein Strom. Die Ladungsträger (Elektronen) befinden sich in **Ruhe**.

1. Die elektrische Feldstärke

Die elektrische Feldstärke ist der **Spannungsunterschied pro cm Feldlinienlänge**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Elektrische Feldstärke	E	$\left[\frac{\text{V}}{\text{cm}} \right]$
Größengleichung	Einheitengleichung	
$E = \frac{U}{l} \left[\frac{\text{V}}{\text{cm}} \right]$	$\left[\frac{\text{V}}{\text{cm}} = \frac{\text{V}}{\text{cm}} \right]$	



(Abb. 107)

E = elektrische Feldstärke in $\frac{\text{V}}{\text{cm}}$

U = Spannung in V

l = Feldlinienlänge in cm

Größengleichung

$$C = \frac{Q}{U} \quad [\text{F}]$$

Einheitengleichung

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

C = Kapazität in F

Q = aufgenommene Elektrizitätsmenge in As

U = angeschaltete Spannung in V

Übungsbeispiel

An einen Kondensator von $C = 20 \mu\text{F}$ wird eine Gleichspannung von $U = 250 \text{ V}$ geschaltet.

Welche Elektrizitätsmenge wird von dem Kondensator aufgenommen?

Gegeben: $C = 20 \mu\text{F}$, $U = 250 \text{ V}$

Gesucht: Q

Lösung:

$$C = \frac{Q}{U}$$

$$Q = C \cdot U$$

$$Q = 20 \cdot 10^{-6} \cdot 250$$

$$Q = \underline{\underline{5 \cdot 10^{-3} \text{ As}}}$$

$$Q = \underline{\underline{5 \text{ mAs}}}$$

Die aufgenommene Elektrizitätsmenge beträgt $Q = 5 \text{ mAs}$.

Übungsbeispiel

Ein Kondensator ist an einer Gleichspannung von $U = 500 \text{ V}$ angeschaltet. Der Plattenabstand des Kondensators beträgt $l = 0,5 \text{ mm}$ (Abb. 107).

Wie groß ist die elektrische Feldstärke im Isolierstoff des Kondensators?

Gegeben: $U = 500 \text{ V}$, $l = 0,5 \text{ mm}$

Gesucht: E

Lösung:

$$E = \frac{U}{l}$$

$$E = \frac{500}{0,05}$$

$$E = \underline{\underline{10000 \frac{\text{V}}{\text{cm}}}}$$

Die elektrische Feldstärke im Isolierstoff des Kondensators beträgt

$$E = 10000 \frac{\text{V}}{\text{cm}}$$

2. Die Kapazität

Die Kapazität eines Kondensators ist der Quotient aus der aufgenommenen **Elektrizitätsmenge** geteilt durch die angeschaltete **Spannung**.

Begriff
Kapazität

Formelzeichen
 C

Einheit
[F]

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

3. Aufgaben

1. Der Plattenabstand eines Kondensators beträgt $l = 0,3 \text{ mm}$. Der Kondensator ist an einer Gleichspannung von $U = 150 \text{ V}$ angeschaltet.

Wie groß ist die elektrische Feldstärke im Isolierstoff des Kondensators?

2. Die Oxydschicht eines Elektrolytkondensators beträgt $l = 10^{-4} \text{ mm}$, die angeschaltete Gleichspannung ist $U = 24 \text{ V}$.

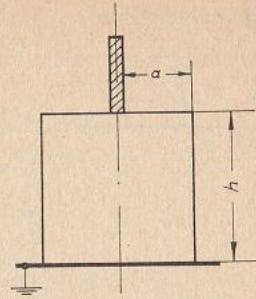
Wie groß ist die elektrische Feldstärke in der Oxydschicht des Elektrolytkondensators?

3. Die Durchschlagsfestigkeit für Luft beträgt $E = 15 \frac{\text{kV}}{\text{cm}}$. Die Spannung zwischen zwei Schaltkontakten ist $U = 311 \text{ V}$ groß.

Bei welcher Entfernung zwischen den Schaltkontakten springt der Schließungsfunkle über?

4. Eine Sammelschiene für eine Spannung von $U = 15000 \text{ V}$ gegen Erde ist mit einem Isolator nach nebenstehender Zeichnung befestigt. Die Abmessungen betragen: $a = 90 \text{ mm}$, $h = 200 \text{ m}$. Die Durchschlagsfestigkeiten sind für Luft $E_L = 15 \frac{\text{kV}}{\text{cm}}$

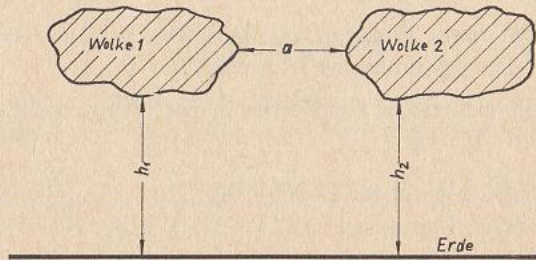
und für Porzellan $E_P = 200 \frac{\text{kV}}{\text{cm}}$
(Abb. 108).



(Abb. 108)

- Wie groß ist die größte elektrische Feldstärke in der Luftstrecke zwischen der Sammelschiene und dem geerdeten Befestigungsseil?
- Wie groß ist die größte elektrische Feldstärke im Porzellankörper?
- Durch Blitzeinschlag erhöht sich die Spannung der Sammelschiene gegen Erde beträchtlich.
 - Bei welcher Spannung erfolgt ein Überschlag der Spannung zwischen der Sammelschiene und dem Befestigungsseil durch die Luftstrecke?
 - Bei welcher Spannung der Sammelschiene wird der Isolator durch den Durchschlag der Spannung zwischen Sammelschiene und dem geerdeten Befestigungsseil zerstört?

5. Bei zwei Regenwolken beträgt der Abstand: $a = 200 \text{ m}$, die Höhe ist $h_1 = h_2 = 500 \text{ m}$. Die Spannung der einen Regenwolke gegen Erde beträgt $U_1 = +5 \text{ MV}$, die der anderen Wolke $U_2 = +4 \text{ MV}$ (Abb. 109).



(Abb. 109)

- Wie groß sind die elektrischen Feldstärken der beiden Regenwolken gegen Erde?
- Wie groß ist die elektrische Spannung zwischen den beiden Regenwolken?
- Wie groß ist die elektrische Feldstärke zwischen den beiden Regenwolken?
- Wie groß muß die Spannung der Regenwolken gegen Erde sein, damit der Blitz zur Erde niederschlägt?

Die Durchschlagsfestigkeit der feuchten Luft wird auf $E = 10 \frac{\text{kV}}{\text{cm}}$ geschätzt.

6. Die elektrische Feldstärke einer Hochspannungsleitung von $U = 15 \text{ kV}$ gegen Erde beträgt $E = 600 \frac{\text{V}}{\text{cm}}$.

In welcher Höhe über der Erde befindet sich die Hochspannungsleitung?

7. Von einem Kondensator kann der Plattenabstand verändert werden. Die Eigenspannung des aufgeladenen Kondensators beträgt $U = 750 \text{ V}$ bei einem Plattenabstand von $l = 1 \text{ mm}$.

Auf welche Werte verändert sich die Eigenspannung des Kondensators, wenn der Plattenabstand auf

- $l_1 = 0,5 \text{ mm}$ und
- $l_2 = 2,0 \text{ mm}$ verändert wird?

8. Eine Hochspannungsleitung von $U = 30 \text{ kV}$ gegen Erde befindet sich in einer Höhe von $h = 18 \text{ m}$ über einer Straße, die von Fußgängern benutzt wird.

Welcher elektrischen Feldstärke sind die Fußgänger bei Unterquerung der Hochspannungsleitung ausgesetzt?

V. Die Wechselstromwiderstände

1. Die Kreisfrequenz

Die Kreisfrequenz ist das Produkt aus $2 \cdot \pi$ mal der Frequenz.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Kreisfrequenz	ω (Omega)	$\left[\frac{1}{\text{s}} \right]$

Größengleichung
Einheitengleichung

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \left[\frac{1}{s} \right]$$

$$\left[\frac{1}{s} \right] = \frac{1}{s}$$

$\omega = \text{Omega} = \text{Kreisfrequenz in } \frac{1}{s}$

$2 \cdot \pi = 6,28 = \text{Umrechnungsfaktor (ohne Einheit)}$

$f = \text{Frequenz in Hz oder } \frac{1}{s}$

Übungsbeispiel

Die Frequenz einer Wechselspannung beträgt $f = 50 \text{ Hz}$.

Wie groß ist die Kreisfrequenz der Wechselspannung?

Gegeben: $f = 50 \text{ Hz}$

Gesucht: ω

Lösung:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$\omega = 2 \cdot 3,14 \cdot 50$$

$$\omega = 314 \frac{1}{s}$$

Die Kreisfrequenz der Wechselspannung beträgt $\omega = 314 \frac{1}{s}$.

2. Die Schaltung von Induktivitäten

Die Induktivitäten können entweder **hintereinandergeschaltet** oder **parallelgeschaltet** werden (siehe Abschnitt C. I. 2.).

a) Die Reihenschaltung

Bei einer Reihenschaltung von Induktivitäten ist die Gesamtinduktivität gleich der Summe aller Einzelinduktivitäten.

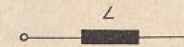
Begriff	Formelzeichen	Einheit
Gesamtinduktivität	L	[H]

Größengleichung
Einheitengleichung

$$L = L_1 + L_2 + L_3 \text{ [H]}$$

$$[H] = H + H + H$$

Schaltbild

Ersatzschaltbild


(Abb. 110)

$L = \text{Gesamtinduktivität in H}$

$L_1 = \text{Einzelinduktivität in H}$

$L_2 = \text{Einzelinduktivität in H}$

$L_3 = \text{Einzelinduktivität in H}$

Übungsbeispiel

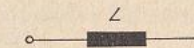
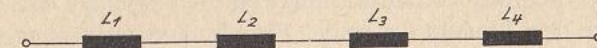
Die Werte von vier hintereinandergeschalteten Induktivitäten betragen $L_1 = 0,124 \text{ H}$, $L_2 = 40 \text{ mH}$, $L_3 = 2,6 \text{ H}$ und $L_4 = 800 \text{ mH}$ (Abb. 111).

Wie groß ist die Gesamtinduktivität?

Gegeben: $L_1 = 0,124 \text{ H}$, $L_2 = 40 \text{ mH}$, $L_3 = 2,6 \text{ H}$, $L_4 = 800 \text{ mH}$

Gesucht: L

Lösung:



(Abb. 111)

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4$$

$$L = 0,124 + 0,040 + 2,6 + 0,800$$

$$L = 3,564 \text{ H}$$

Die Gesamtinduktivität beträgt $L = 3,564 \text{ H}$.

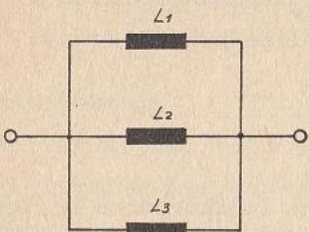
b) Die Parallelschaltung

Bei einer Parallelschaltung von Induktivitäten ist der **umgekehrte** Wert der **Gesamtinduktivität** gleich der Summe der **umgekehrten** Werte aller **Einzelinduktivitäten** (siehe Abschnitt C. I. 2.).

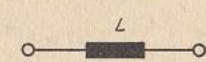
Begriff	Formelzeichen	Einheiten
Gesamtinduktivität	L	[H]

Größengleichung	Einheitengleichung
$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \left[\frac{1}{M} \right]$	$\left[\frac{1}{H} = \frac{1}{H} + \frac{1}{H} + \frac{1}{H} \right]$

Schaltbild



Ersatzschaltbild



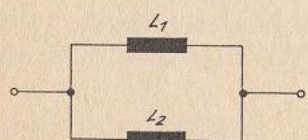
(Abb. 112)

L = Gesamtinduktivität in H
 L_1 = Einzelinduktivität in H
 L_2 = Einzelinduktivität in H
 L_3 = Einzelinduktivität in H

Bei der Parallelschaltung von zwei Induktivitäten errechnet sich die Gesamtinduktivität aus dem **Produkt** der beiden Einzelinduktivitäten geteilt durch die **Summe** der beiden Einzelinduktivitäten.

Größengleichung	Einheitengleichung
$L = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2} \text{ [H]}$	$\left[H = \frac{H \cdot H}{H + H} = \frac{H \cdot H}{H} \right]$

Schaltbild



Ersatzschaltbild



(Abb. 113)

L = Gesamtinduktivität in H
 L_1 = Einzelinduktivität in H
 L_2 = Einzelinduktivität in H

Übungsbeispiel

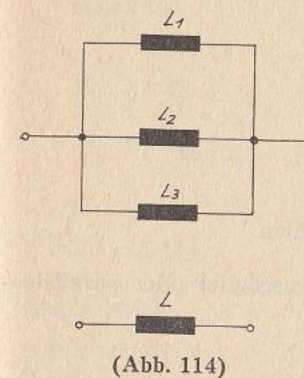
Drei Induktivitäten von $L_1 = 0,12 \text{ H}$, $L_2 = 0,24 \text{ H}$ und $L_3 = 0,48 \text{ H}$ sind parallelgeschaltet (Abb. 114).

Wie groß ist die Gesamtinduktivität der Parallelschaltung?

Gegeben: $L_1 = 0,12 \text{ H}$, $L_2 = 0,36 \text{ H}$, $L_3 = 0,48 \text{ H}$

Gesucht: L

Lösung:



$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{0,12} + \frac{1}{0,24} + \frac{1}{0,48}$$

$$\frac{1}{L} = \frac{4 + 2 + 1}{0,48}$$

$$L = \frac{0,48}{7}$$

$$L = \underline{\underline{0,0687 \text{ H}}} \quad L = \underline{\underline{68,7 \text{ mH}}}$$

Die Gesamtinduktivität beträgt $L = 68,7 \text{ mH}$.

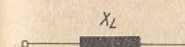
3. Der induktive Blindwiderstand

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

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Induktiver Blindwiderstand	X_L	[Ω]

Größengleichung	Einheitengleichung
$X_L = \omega \cdot L \text{ [}\Omega\text{]}$	$\left[\Omega = \frac{1}{s} \cdot \Omega \cdot s \right]$

Schaltbild



(Abb. 115)

X_L = induktiver Blindwiderstand
 ω = Kreisfrequenz in $\frac{1}{s}$
 L = Induktivität in H oder $\Omega \cdot s = \frac{V_s}{A}$

Übungsbeispiel

Die Induktivität einer Spule beträgt $L = 0,64 \text{ H}$. Die Frequenz der angeschalteten Wechselspannung ist $f = 50 \text{ Hz}$.

Wie groß ist der induktive Blindwiderstand?

Gegeben: $L = 0,64 \text{ H}$, $f = 50 \text{ Hz}$

Gesucht: X_L

Lösung:

$$\begin{aligned} X_L &= \omega \cdot L \\ X_L &= 2 \pi \cdot f \cdot L \\ X_L &= 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,64 \\ X_L &= \underline{\underline{201 \Omega}} \end{aligned}$$

Der induktive Blindwiderstand der Spule beträgt $X_L = 201 \Omega$.

4. Die Schaltung von Kapazitäten

Die Kapazitäten können entweder **hintereinandergeschaltet** oder **parallelgeschaltet** werden (siehe Abschnitt C. I. 2).

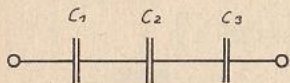
a) Die Reihenschaltung

Bei der Reihenschaltung von Kapazitäten ist der **umgekehrte** Wert der **Gesamtkapazität** gleich der Summe der **umgekehrten Werte** aller **Einzelkapazitäten**.

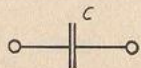
Begriff	Formelzeichen	Einheit
Gesamtkapazität	C	$[\mu\text{F}]$

Größengleichung	Einheitengleichung
$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \left[\frac{1}{\mu\text{F}} \right]$	$\left[\frac{1}{\mu\text{F}} = \frac{1}{\mu\text{F}} + \frac{1}{\mu\text{F}} + \frac{1}{\mu\text{F}} \right]$

Schaltbild



Ersatzschaltbild



(Abb. 116)

C = Gesamtkapazität in μF

C_1 = Einzelkapazität in μF

C_2 = Einzelkapazität in μF

C_3 = Einzelkapazität in μF

Bei der Hintereinanderschaltung von zwei Kapazitäten errechnet sich die Gesamtkapazität aus dem **Produkt** der beiden Einzelkapazitäten geteilt durch die **Summe** der beiden Einzelkapazitäten.

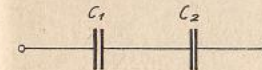
Größengleichung

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} [\mu\text{F}]$$

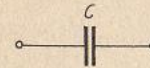
Einheitengleichung

$$\left[\mu\text{F} = \frac{\mu\text{F} \cdot \mu\text{F}}{\mu\text{F} + \mu\text{F}} \quad \frac{\mu\text{F} \cdot \mu\text{F}}{\mu\text{F}} \right]$$

Schaltbild



Ersatzschaltbild



(Abb. 117)

C = Gesamtkapazität in μF

C_1 = Einzelkapazität in μF

C_2 = Einzelkapazität in μF

Übungsbeispiel

Vier Kapazitäten von $C_1 = 40 \mu\text{F}$, $C_2 = 25 \mu\text{F}$, $C_3 = 50 \mu\text{F}$ und $C_4 = 20 \mu\text{F}$ sind hintereinandergeschaltet (Abb. 118).

Wie groß ist die Gesamtkapazität?

Gegeben: $C_1 = 40 \mu\text{F}$, $C_2 = 25 \mu\text{F}$, $C_3 = 50 \mu\text{F}$, $C_4 = 20 \mu\text{F}$

Gesucht: C

Lösung:

$$\begin{aligned} \frac{1}{C} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} \\ \frac{1}{C} &= \frac{1}{40} + \frac{1}{25} + \frac{1}{50} + \frac{1}{20} \\ \frac{1}{C} &= \frac{5 + 8 + 4 + 10}{200} \\ C &= \frac{200}{27} \\ C &= \underline{\underline{7,41 \mu\text{F}}} \end{aligned}$$

(Abb. 118)

Die Gesamtkapazität beträgt $C = 7,41 \mu\text{F}$.

b) Die Parallelschaltung

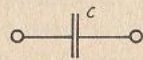
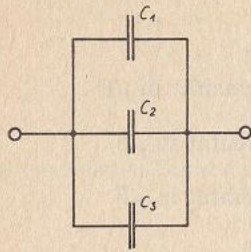
Bei Parallelschaltung von Kapazitäten ist die **Gesamtkapazität** gleich der Summe aller **Einzelkapazitäten** (siehe Abschnitt C. I. 2).

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Gesamtkapazität	C	$[\mu F]$

Größengleichung

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad [\mu F]$$

Schaltbild



(Abb. 119)

C = Gesamtkapazität in μF
 C_1 = Einzelkapazität in μF
 C_2 = Einzelkapazität in μF
 C_3 = Einzelkapazität in μF

Übungsbeispiel

Vier Kapazitäten von $C_1 = 40 \mu F$, $C_2 = 25 \mu F$, $C_3 = 50 \mu F$ und $C_4 = 20 \mu F$ sind parallelgeschaltet (Abb. 120).

Wie groß ist die Gesamtkapazität?

Gegeben: $C_1 = 40 \mu F$, $C_2 = 25 \mu F$, $C_3 = 50 \mu F$, $C_4 = 20 \mu F$

Gesucht: C

Lösung:

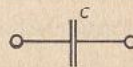
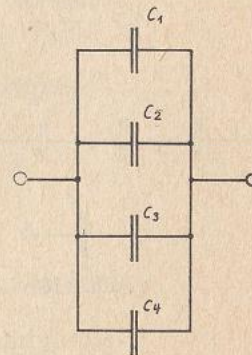
$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$$

$$C = 40 + 25 + 50 + 20$$

$$C = \underline{\underline{135 \mu F}}$$

Die Gesamtkapazität beträgt

$$C = 135 \mu F.$$



(Abb. 120)

5. Der kapazitive Blindwiderstand

Der kapazitive Blindwiderstand ist der **umgekehrte** Wert des Produktes aus der **Kreisfrequenz** mal der **Kapazität**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Kapazitiver Blindwiderstand	X_C	$[\Omega]$

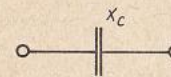
Größengleichung

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

Einheitengleichung

$$\left[\Omega = \frac{1}{\frac{1}{s} \cdot \frac{s}{F}} = \frac{s \cdot \Omega}{s} \right]$$

Schaltbild



(Abb. 121)

X_C = kapazitiver Blindwiderstand in Ω

ω = Kreisfrequenz in $\frac{1}{s}$

C = Kapazität in F oder $\frac{s}{\Omega} = \frac{As}{V}$

Beim Zahleneinsatz der Kapazität in μF :

Größengleichung

$$X_C = \frac{1000000}{\omega \cdot C} \quad [\Omega]$$

X_C = kapazitiver Blindwiderstand in Ω

ω = Kreisfrequenz in $\frac{1}{s}$

C = Kapazität in μF

Übungsbeispiel

Die Kapazität eines Kondensators beträgt $C = 35 \mu F$. Die Frequenz der angeschalteten Wechselspannung ist $f = 50 \text{ Hz}$.

Wie groß ist der kapazitive Blindwiderstand des Kondensators?

Gegeben: $C = 35 \mu F$, $f = 50 \text{ Hz}$

Gesucht: X_C

Lösung:

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

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

$$X_C = \frac{1000000}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 35}$$

$$X_C = \frac{1\,000\,000}{10990}$$

$$X_C = \underline{\underline{91,9\,\Omega}}$$

Der kapazitive Blindwiderstand beträgt $X_C = 91,9\,\Omega$.

6. Aufgaben

- Die Frequenz einer Wechselspannung beträgt $f = 50\,\text{Hz}$.
Wie groß ist die Kreisfrequenz der Wechselspannung?
- Die Frequenz einer Wechselspannung beträgt $f = 1,5\,\text{kHz}$.
Wie groß ist die Kreisfrequenz der Wechselspannung?
- Zwei Induktivitäten von $L_1 = 1,25\,\text{H}$ und $L_2 = 0,87\,\text{H}$ sind hintereinandergeschaltet.
Wie groß ist die Gesamtinduktivität?
- Drei Induktivitäten von $L_1 = 0,44\,\text{H}$, $L_2 = 156\,\text{mH}$ und $L_3 = 85\,\text{mH}$ sind parallelgeschaltet.
Wie groß ist die Gesamtinduktivität?
- Die Gesamtinduktivität einer Parallelschaltung von zwei Einzelinduktivitäten beträgt $L = 13\,\text{mH}$. Die eine Einzelinduktivität ist $L_1 = 64\,\text{mH}$ groß.
Wie groß ist die Einzelinduktivität L_2 ?
- Drei Kapazitäten von $C_1 = 35\,\mu\text{F}$, $C_2 = 45\,\mu\text{F}$ und $C_3 = 18\,\mu\text{F}$ sind parallelgeschaltet.
Wie groß ist die Gesamtkapazität?
- Vier Kapazitäten von $C_1 = 335\,\text{nF}$, $C_2 = 0,52\,\mu\text{F}$, $C_3 = 150\,\text{nF}$ und $C_4 = 30\,300\,\text{pF}$ sind hintereinandergeschaltet.
Wie groß ist die Gesamtkapazität?
- Zwei Induktivitäten von $L_1 = 0,124\,\text{H}$ und $L_2 = 0,64\,\text{H}$ sind parallelgeschaltet.
Wie groß ist die Gesamtinduktivität?

- Zwei Kapazitäten von $C_1 = 40\,\mu\text{F}$ und $C_2 = 28\,\mu\text{F}$ sind hintereinandergeschaltet.

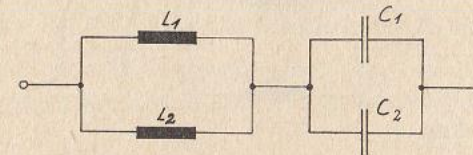
Wie groß ist die Gesamtkapazität?

- Die Gesamtkapazität von zwei hintereinandergeschalteten Kapazitäten beträgt $C = 20\,\text{nF}$. Eine Einzelkapazität ist $C_1 = 40\,\text{nF}$ groß.

Wie groß ist die Einzelkapazität C_2 ?

- Von nachstehender Gruppenschaltung betragen: $L_1 = 445\,\text{mH}$, $L_2 = 0,655\,\text{H}$, $C_1 = 15\,\mu\text{F}$, $C_2 = 25\,\mu\text{F}$ (Abb. 122).

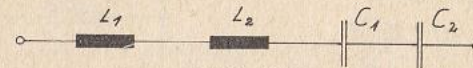
Wie groß sind Gesamtinduktivität L und Gesamtkapazität C ?



(Abb. 122)

- Von nachstehender Gruppenschaltung betragen: $L_1 = 445\,\text{mH}$, $L_2 = 0,655\,\text{H}$, $C_1 = 15\,\mu\text{F}$ und $C_2 = 25\,\mu\text{F}$ (Abb. 123).

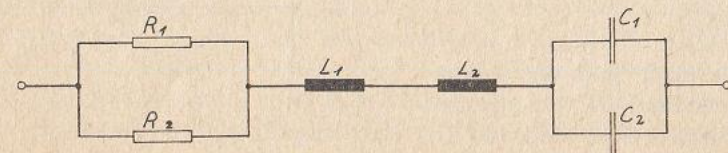
Wie groß sind Gesamtinduktivität L und Gesamtkapazität C ?



(Abb. 123)

- Von nachstehender Gruppenschaltung betragen: $R_1 = 25\,\Omega$, $R_2 = 35\,\Omega$, $L_1 = 240\,\text{mH}$, $L_2 = 380\,\text{mH}$, $C_1 = 330\,\text{nF}$ und $C_2 = 440\,\text{nF}$ (Abb. 124).

- Zeichnen Sie für diese Gruppenschaltung das Ersatzschaltbild!
- Wie groß sind der Gesamt Widerstand R , die Gesamtinduktivität L und die Gesamtkapazität C ?
- Wie groß sind bei einer Frequenz von $f = 50\,\text{Hz}$ der induktive Blindwiderstand X_L und der kapazitive Blindwiderstand X_C ?

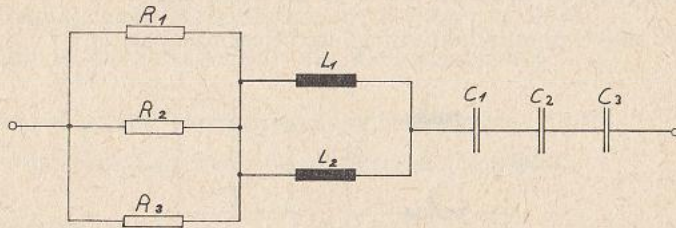


(Abb. 124)

14. Von nachstehender Gruppenschaltung (Abb. 125) betragen:

$$R_1 = 42 \, \Omega, R_2 = 54 \, \Omega, R_3 = 75 \, \Omega, L_1 = 0,84 \, \text{H}, L_2 = 125 \, \text{mH}, C_1 = 24 \, \mu\text{F}, \\ C_2 = 36 \, \mu\text{F} \text{ und } C_3 = 48 \, \mu\text{F}.$$

- Zeichnen Sie für die Gruppenschaltung das Ersatzschaltbild!
- Wie groß sind der Gesamtwiderstand R , die Gesamtinduktivität L und die Gesamtkapazität C ?
- Wie groß sind bei einer Frequenz von $f = 50 \, \text{Hz}$ der induktive Blindwiderstand X_L und der kapazitive Blindwiderstand X_C ?

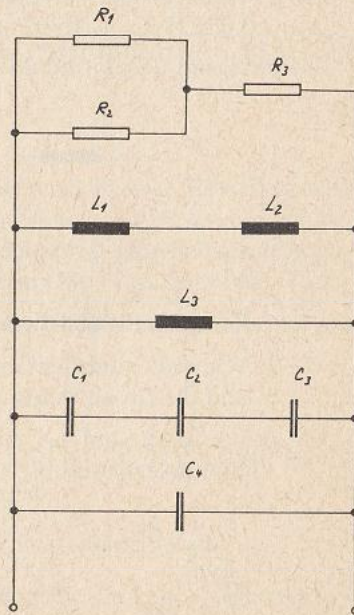


(Abb. 125)

15. Von nebenstehender Gruppenschaltung (Abb. 126) betragen:

$$R_1 = 120 \, \Omega, R_2 = 80 \, \Omega, \\ R_3 = 65 \, \Omega, L_1 = 0,25 \, \text{H}, \\ L_2 = 0,12 \, \text{H}, L_3 = 0,4 \, \text{H}, \\ C_1 = 15 \, \mu\text{F}, C_2 = 40 \, \mu\text{F}, \\ C_3 = 36 \, \mu\text{F}, C_4 = 10 \, \mu\text{F}.$$

- Zeichnen Sie für die Gruppenschaltung die Ersatzschaltbilder für die Berechnung der Werte für den Gesamtwiderstand R , die Gesamtinduktivität L und die Gesamtkapazität C !
- Wie groß sind der Gesamtwiderstand R , die Gesamtinduktivität L und die Gesamtkapazität C ?



(Abb. 126)

- Wie groß sind bei einer Frequenz von $f = 50 \, \text{Hz}$ der induktive Blindwiderstand X_L und der kapazitive Blindwiderstand X_C ?

16. Die Linienlänge einer Ortskabelleitung 0,6 mm Cu beträgt $l = 1,6 \, \text{km}$. Je km Doppelleitung betragen der Leitungswiderstand $R = 130 \, \frac{\Omega}{\text{km}}$, der Isolationswiderstand $R_i = 1,25 \, \text{M}\Omega \cdot \text{km}$, die Induktivität $L = 0,7 \, \frac{\text{mH}}{\text{km}}$ und die Kapazität $C = 36 \, \frac{\text{nF}}{\text{km}}$.

- Zeichnen Sie für die Ortskabelleitung das Schaltbild mit sämtlichen Einzelwiderständen!
- Zeichnen Sie für die Ortskabelleitung das Ersatzschaltbild!
- Wie groß sind Leitungswiderstand R_L , Isolationswiderstand R_{iso} , Leitungsinduktivität L_L und Leitungskapazität C_L ?

17. Die Linienlänge einer Fernmeldeleitung beträgt $l = 1,85 \, \text{km}$. Je km Doppelleitung betragen der Leitungswiderstand $R = 80 \, \frac{\Omega}{\text{km}}$, der Isolationswiderstand $R_i = 1,9 \, \text{M}\Omega \cdot \text{km}$, die Induktivität $L = 0,85 \, \frac{\text{mH}}{\text{km}}$ und die Kapazität $C = 44 \, \frac{\text{nF}}{\text{km}}$.

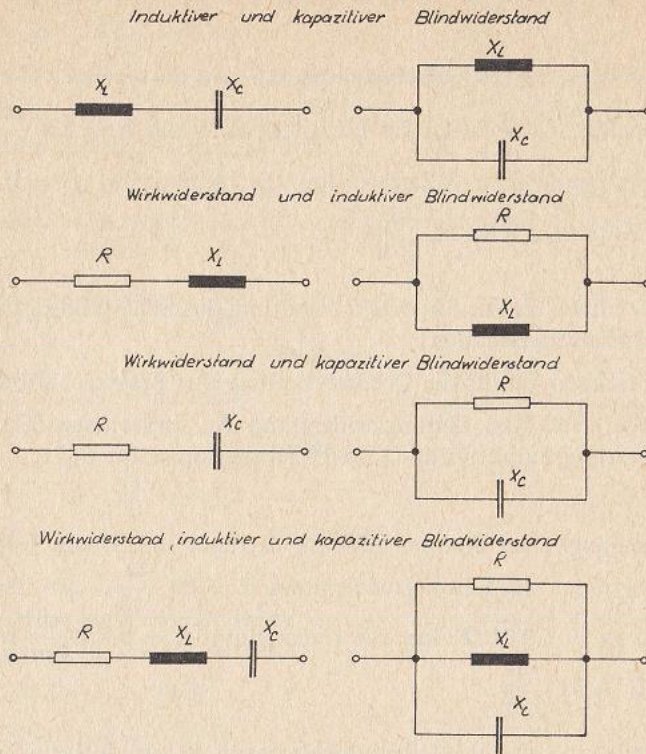
- Wie groß sind der Leitungswiderstand R_L , der Isolationswiderstand R_{iso} , die Leitungsinduktivität L_L und die Leitungskapazität C_L ?
- Wie groß sind der induktive Blindwiderstand und der kapazitive Blindwiderstand der Fernmeldeleitung bei einer Frequenz von $f = 800 \, \text{Hz}$?

VI. Die Schaltung von Wechselstromwiderständen

Die Wechselstromwiderstände werden in einem Wechselstromkreis durch **Ohmsche Widerstände**, **Spulen** und **Kondensatoren** dargestellt. Ohmsche Widerstände stellen Wirkwiderstände, Spulen und Kondensatoren stellen Blindwiderstände dar. Die Blindwiderstände können untereinander entweder **hintereinandergeschaltet** oder **parallelgeschaltet** oder mit Wirkwiderständen **zusammengeschaltet** werden.

Hintereinanderschaltung

Parallelschaltung



(Abb. 127)

Gleichnamige Blindwiderstände bzw. Blindleitwerte werden **einfach zusammengezählt** (siehe Abschnitt B. I. 2a).

Ungleichnamige Blindwiderstände bzw. Blindleitwerte werden **voneinander abgezogen** (siehe Abschnitt B. I. 2b).

Wirkwiderstände und Blindwiderstände bzw. Wirkleitwerte und Blindleitwerte werden **quadratisch zusammengesetzt** (siehe Abschnitt B. I. 2c).

1. Die Reihenschaltung

a) Der Blindwiderstand

Der Blindwiderstand ist gleich dem **induktiven Blindwiderstand** minus dem **kapazitiven Blindwiderstand**.

Begriff
Blindwiderstand

Formelzeichen

X

Einheit

$[\Omega]$

Größengleichung

$$X = X_L - X_C \quad [\Omega]$$

Einheitengleichung

$$[\Omega = \Omega - \Omega]$$

Schaltbild



(Abb. 128)

X = Blindwiderstand in Ω

X_L = induktiver Blindwiderstand in Ω

X_C = kapazitiver Blindwiderstand in Ω

Übungsbeispiel

Von einer Reihenschaltung betragen die Induktivität $L = 400 \text{ mH}$ und die Kapazität $C = 50 \text{ } \mu\text{F}$ (Abb. 129).

Wie groß ist der Blindwiderstand der Reihenschaltung bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$?

Gegeben: $L = 400 \text{ mH}$, $C = 50 \text{ } \mu\text{F}$, $f = 50 \text{ Hz}$

Gesucht: X

Lösung:



(Abb. 129)

$$X_L = \omega \cdot L$$

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

$$X_L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,4$$

$$X_L = 126 \text{ } \Omega$$

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

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

$$X_C = \frac{1\,000\,000}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 50}$$

$$X_C = \frac{1\,000\,000}{15710}$$

$$X_C = 64,1 \text{ } \Omega$$

$$X = X_L - X_C$$

$$X = 126 - 64,1$$

$$X = + \underline{\underline{61,9 \text{ } \Omega}}$$

Das positive Vorzeichen des Blindwiderstandes bedeutet, daß der Blindwiderstand überwiegend durch den induktiven Blindwiderstand dargestellt wird, d. h. der Blindwiderstand der Reihenschaltung ist induktiv. Bei einem negativen Vorzeichen des Ergebnisses ist der Blindwiderstand einer Reihenschaltung kapazitiv.

Der Blindwiderstand der Reihenschaltung beträgt $X = 61,9 \, \Omega$ (induktiv).

b) Der Scheinwiderstand

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

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Scheinwiderstand	Z	$[\Omega]$

Größengleichung

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

Einheitengleichung

$$[\Omega] = \sqrt{\Omega^2 + \Omega^2} = \sqrt{\Omega^2}$$

Schaltbild



(Abb. 130)

- Z = Scheinwiderstand in Ω
- R = Wirkwiderstand in Ω
- X = Blindwiderstand in Ω
- X_L = induktiver Blindwiderstand in Ω
- X_C = kapazitiver Blindwiderstand in Ω

Übungsbeispiel

Von einer Reihenschaltung eines Wirkwiderstandes, einer Induktivität und einer Kapazität betragen der Wirkwiderstand $R = 50 \, \Omega$ und der Blindwiderstand $X = 40 \, \Omega$ (induktiv).

Wie groß ist der Scheinwiderstand der Reihenschaltung (Abb. 130):

Zeichnerische Lösung ($10 \, \Omega \approx 10 \, \text{mm}$)?

Rechnerische Lösung?

Gegeben: $R = 50 \, \Omega$, $X = +40 \, \Omega$

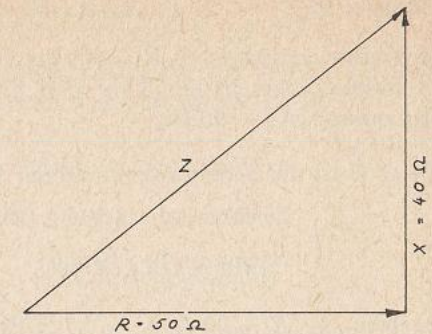
Gesucht: Z

Lösung:

Zeichnerische Lösung (Abb. 131)

$$R = 50 \, \Omega \approx 50 \, \text{mm}$$

$$X = 40 \, \Omega \approx 40 \, \text{mm}$$



(Abb. 131)

$$Z = 64 \, \text{mm} \approx \underline{\underline{64 \, \Omega}}$$

Der Wirkwiderstand R wird als waagrecht liegender Zeiger dargestellt. Blindwiderstände werden von der Zeigerspitze des Wirkwiderstandes aus in senkrechter Richtung aufgetragen. Induktive Blindwiderstände werden nach oben, kapazitive Blindwiderstände nach unten gezeichnet. Die Verbindungslinie der Zeigerspitze von X mit dem Zeigeranfang von R ergibt die Zeigerlänge des Scheinwiderstandes Z .

Rechnerische Lösung

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad Z = \sqrt{4100}$$

$$Z = \sqrt{50^2 + 40^2} \quad Z = \underline{\underline{64 \, \Omega}}$$

Der Scheinwiderstand der Reihenschaltung beträgt $Z = 64 \, \Omega$.

Der Wirkwiderstand und der induktive Blindwiderstand

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

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Scheinwiderstand	Z	$[\Omega]$

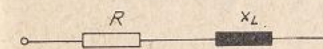
Größengleichung

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad [\Omega]$$

Einheitengleichung

$$[\Omega] = \sqrt{\Omega^2 + \Omega^2} = \sqrt{\Omega^2}$$

Schaltbild



(Abb. 132)

- Z = Scheinwiderstand in Ω
- R = Wirkwiderstand in Ω
- X_L = induktiver Blindwiderstand in Ω

Übungsbeispiel

Ein Wirkwiderstand von $R = 40 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 0,125 \text{ H}$ hintereinandergeschaltet (Abb. 133). Die Frequenz der angeschalteten Wechselspannung ist $f = 50 \text{ Hz}$.

Wie groß ist der Scheinwiderstand der Reihenschaltung:

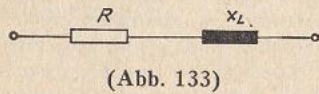
Zeichnerische Lösung ($10 \Omega \cong 10 \text{ mm}$)?

Rechnerische Lösung?

Gegeben: $R = 40 \Omega$, $L = 0,125 \text{ H}$, $f = 50 \text{ Hz}$

Gesucht: Z

Lösung:



(Abb. 133)

$$X_L = \omega \cdot L$$

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

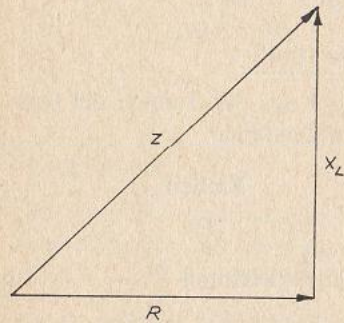
$$X_L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,125$$

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

Zeichnerische Lösung (Abb. 134)

$$R = 40 \Omega \cong 40 \text{ mm}$$

$$X_L = 39,2 \Omega \cong 39 \text{ mm}$$



(Abb. 134)

$$Z = 57 \text{ mm} \cong \underline{\underline{57 \Omega}}$$

Der Scheinwiderstand beträgt $Z = 56,7 \Omega$.

Der Wirkwiderstand und der kapazitive Blindwiderstand

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

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Scheinwiderstand	Z	$[\Omega]$

Größengleichung

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \quad [\Omega]$$

Einheitengleichung

$$[\Omega = \sqrt{\Omega^2 + \Omega^2} = \sqrt{\Omega^2}]$$

Schaltbild



(Abb. 135)

Z = Scheinwiderstand in Ω
 R = Wirkwiderstand in Ω
 X_C = kapazitiver Blindwiderstand in Ω

Übungsbeispiel

Ein Wirkwiderstand von $R = 40 \Omega$ ist mit einer Kapazität von $C = 45 \mu\text{F}$ hintereinandergeschaltet. Die Frequenz der angeschalteten Wechselspannung ist $f = 50 \text{ Hz}$ (Abb. 136).

Wie groß ist der Scheinwiderstand der Reihenschaltung:

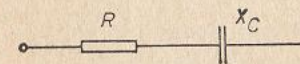
Zeichnerische Lösung ($10 \Omega \cong 10 \text{ mm}$)?

Rechnerische Lösung?

Gegeben: $R = 40 \Omega$, $C = 45 \mu\text{F}$, $f = 50 \text{ Hz}$

Gesucht: Z

Lösung:



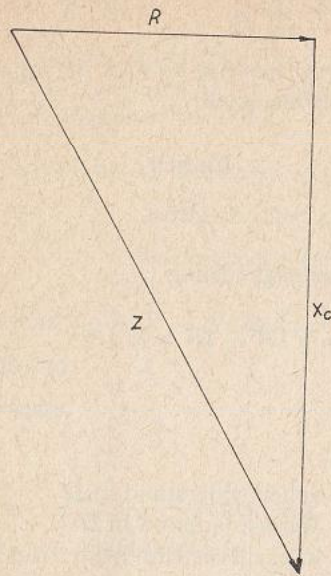
(Abb. 136)

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

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

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

$$X_C = \underline{\underline{70,8 \Omega}}$$



(Abb. 137)

Rechnerische Lösung

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

$$Z = \sqrt{40^2 + 70,8^2}$$

$$Z = \sqrt{6613}$$

$$Z = \underline{\underline{81,3 \, \Omega}}$$

Zeichnerische Lösung (Abb. 137)

$$R = 40 \, \Omega \hat{=} 40 \, \text{mm}$$

$$X_C = 70,8 \, \Omega \hat{=} 71 \, \text{mm}$$

$$Z = 82 \, \text{mm} \hat{=} \underline{\underline{82 \, \Omega}}$$

Der Scheinwiderstand der Reihenschaltung beträgt $Z = 81,3 \, \Omega$.

Der Wirkwiderstand, der induktive und der kapazitive Blindwiderstand

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

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Scheinwiderstand	Z	$[\Omega]$

Größengleichungen	Einheitgleichungen
$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad [\Omega]$	$[\Omega] = \sqrt{\Omega^2 + \Omega^2} = \sqrt{\Omega^2}$
$X = X_L - X_C \quad [\Omega]$	$[\Omega] = \Omega - \Omega$

Schaltbild	
(Abb. 138)	

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

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. Die Frequenz der angeschalteten Wechselspannung ist $f = 50 \, \text{Hz}$ (Abb. 139).

Wie groß ist der Scheinwiderstand:

Zeichnerische Lösung ($10 \, \Omega \hat{=} 10 \, \text{mm}$)?

Rechnerische Lösung?

Gegeben: $R = 40 \, \Omega$, $L = 0,125 \, \text{H}$, $C = 45 \, \mu\text{F}$, $f = 50 \, \text{Hz}$

Gesucht: Z

Lösung:



(Abb. 139)

$$X_L = \omega \cdot L$$

$$X_L = 2 \pi \cdot f \cdot L$$

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

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

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

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

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

$$X_C = \underline{\underline{70,8 \, \Omega}}$$

Zeichnerische Lösung (Abb. 140)

$$R = 40 \, \Omega \hat{=} 40 \, \text{mm}$$

$$X_L = 39,2 \, \Omega \hat{=} 39 \, \text{mm}$$

$$X_C = 70,8 \, \Omega \hat{=} 71 \, \text{mm}$$

$$Z = 51 \, \text{mm} \hat{=} \underline{\underline{51 \, \Omega}}$$

Rechnerische Lösung

$$X = X_L - X_C$$

$$X = 39,3 - 70,8$$

$$X = -31,5 \, \Omega \text{ (kapazitiv)}$$

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

$$Z = \sqrt{40^2 + (-31,5)^2}$$

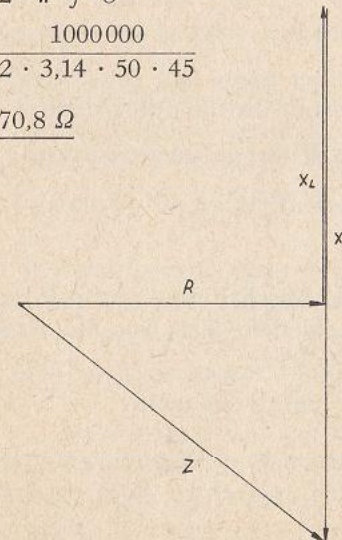
$$Z = \sqrt{40^2 + 31,5^2}$$

$$Z = \sqrt{2592}$$

$$Z = \underline{\underline{50,9 \, \Omega}}$$

Der Scheinwiderstand beträgt

$$Z = 50,9 \, \Omega$$



(Abb. 140)

c) Aufgaben

1. Eine Spule ist mit einem Kondensator hintereinandergeschaltet. Die Induktivität der Spule beträgt $L = 30 \text{ mH}$, die Kapazität des Kondensators $C = 350 \text{ nF}$ und die Frequenz der angeschalteten Wechselspannung $f = 1500 \text{ Hz}$.

Wie groß ist der Blindwiderstand der Reihenschaltung?

2. Der Blindwiderstand einer Hintereinanderschaltung einer Spule und eines Kondensators von $C = 55 \text{ }\mu\text{F}$ beträgt bei der Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$ $X = 88 \text{ }\Omega$.

Wie groß ist die Induktivität der Spule?

3. Der Blindwiderstand einer Hintereinanderschaltung einer Spule von $L = 34 \text{ mH}$ und eines Kondensators beträgt bei der Frequenz von $f = 1500 \text{ Hz}$ $X = 16 \text{ }\Omega$.

Wie groß ist die Kapazität des Kondensators?

4. Eine Induktivität von $L = 0,144 \text{ H}$ und eine Kapazität von $C = 35 \text{ }\mu\text{F}$ sind bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$ hintereinandergeschaltet.

Wie groß ist der Blindwiderstand der Hintereinanderschaltung?

- a) Zeichnerische Lösung ($10 \text{ }\Omega \triangleq 10 \text{ mm}$).
- b) Rechnerische Lösung.

5. Von einer Hintereinanderschaltung einer Spule und eines Kondensators betragen der Wirkwiderstand $R = 65 \text{ }\Omega$ und der Blindwiderstand $X = 44 \text{ }\Omega$.

Wie groß ist der Scheinwiderstand der Hintereinanderschaltung?

- a) Zeichnerische Lösung ($10 \text{ }\Omega \triangleq 10 \text{ mm}$).
- b) Rechnerische Lösung.

6. Der Scheinwiderstand einer Hintereinanderschaltung einer Spule mit einem Kondensator beträgt $Z = 133 \text{ }\Omega$ bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$. Der Wirkwiderstand der Spule beträgt $R = 85 \text{ }\Omega$.

Wie groß ist der Blindwiderstand der Reihenschaltung?

7. Eine Spule hat einen Wirkwiderstand von $R = 15 \text{ }\Omega$ und eine Induktivität von $L = 24 \text{ mH}$. Die Frequenz der angeschalteten Wechselspannung beträgt $f = 800 \text{ Hz}$.

Wie groß ist der Scheinwiderstand der Spule?

8. Der Scheinwiderstand einer Spule beträgt bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$ $Z = 98 \text{ }\Omega$. Der mit Gleichspannung gemessene Wirkwiderstand ist $R = 37 \text{ }\Omega$ groß.

Wie groß ist die Induktivität der Spule?

9. Von einer Spule betragen der Ohmsche Widerstand $R = 35 \text{ }\Omega$ und die Induktivität $L = 136 \text{ mH}$. Die Frequenz ist $f = 50 \text{ Hz}$.

Wie groß ist der Scheinwiderstand der Spule?

- a) Zeichnerische Lösung ($10 \text{ }\Omega \triangleq 10 \text{ mm}$).
- b) Rechnerische Lösung?

10. Der Scheinwiderstand einer Spule beträgt $Z = 185 \text{ }\Omega$ bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$. Die Spuleninduktivität ist $L = 184 \text{ mH}$ groß.

Wie groß ist der Wirkwiderstand der Spule?

11. Der Scheinwiderstand einer Spule beträgt $Z = 1,5 \text{ k}\Omega$ bei einer Frequenz von $f = 800 \text{ Hz}$. Der Wirkwiderstand der Spule ist $R = 55 \text{ }\Omega$.

Wie groß ist die Induktivität der Spule?

12. Ein Wirkwiderstand von $R = 150 \text{ }\Omega$ ist mit einem Kondensator von $C = 3500 \text{ nF}$ hintereinandergeschaltet. Die Frequenz der angeschalteten Wechselspannung beträgt $f = 300 \text{ Hz}$.

Wie groß ist der Scheinwiderstand der Hintereinanderschaltung?

13. Ein Ohmscher Widerstand ist mit einem Kondensator in Reihe geschaltet. Der Scheinwiderstand der Reihenschaltung beträgt $Z = 95 \text{ }\Omega$ bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$. Die Kapazität des Kondensators ist $C = 35 \text{ }\mu\text{F}$.

Wie groß ist der Ohmsche Widerstand der Reihenschaltung?

14. Der Scheinwiderstand einer Hintereinanderschaltung eines Wirkwiderstandes von $R = 85 \text{ }\Omega$ und eines Kondensators beträgt $Z = 186 \text{ }\Omega$. Die Frequenz der angeschalteten Wechselspannung ist $f = 100 \text{ Hz}$.

Wie groß ist die Kapazität des Kondensators?

15. Ein Ohmscher Widerstand und ein Kondensator sind in Reihenschaltung in einem Wechselstromkreis $110 \text{ V}/50 \text{ Hz}$ geschaltet. Bei individuellem Anschluß des Ohmschen Widerstandes 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 $I_2 = 1,54 \text{ A}$.

- a) Wie groß ist der Ohmsche Widerstand?
b) Wie groß ist der kapazitive Blindwiderstand?
c) Wie groß ist der Scheinwiderstand der Reihenschaltung?
d) Wie groß ist die Kapazität des Kondensators?
16. Eine Spule ist in einem Stromkreis geschaltet. Bei Anschluß der Spule an Gleichspannung von $U = 110 \text{ V}$ beträgt die gemessene Stromstärke $I_1 = 10,2 \text{ A}$, bei Anschluß der Spule an Wechselspannung $U = 110 \text{ V}/50 \text{ Hz}$ 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?
17. Ein Wirkwiderstand von $R = 60 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 95 \text{ mH}$ und einem Kondensator von $C = 68 \mu\text{F}$ hintereinandergeschaltet. Die Frequenz der angeschalteten Wechselspannung ist $f = 50 \text{ Hz}$.
Wie groß ist der Scheinwiderstand der Hintereinanderschaltung?
- a) Zeichnerische Lösung ($10 \Omega \triangleq 10 \text{ mm}$).
b) Rechnerische Lösung.
18. Ein Wirkwiderstand ist mit einer Induktivität und einem Kondensator bei einer Frequenz von $f = 800 \text{ Hz}$ hintereinandergeschaltet. Die Induktivität ist $L = 16 \text{ mH}$, die Kapazität $C = 50 \text{ nF}$. Der Scheinwiderstand beträgt $Z = 520 \Omega$.
Wie groß ist der Wirkwiderstand der Hintereinanderschaltung?
19. Ein Wirkwiderstand von $R = 50 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 0,130 \text{ H}$ bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$ hintereinandergeschaltet. Zu dieser Reihenschaltung soll ein Kondensator derart hintereinandergeschaltet werden, so daß der Blindwiderstand der gesamten Reihenschaltung gleich Null beträgt.
- a) Wie groß ist der Scheinwiderstand der Reihenschaltung von Wirkwiderstand und Induktivität?
b) Wie groß muß die Kapazität des Kondensators sein, damit der Blindwiderstand der gesamten Reihenschaltung gleich Null wird?

- c) Wie groß ist der Scheinwiderstand der Reihenschaltung von Wirkwiderstand und Kapazität?
d) Wie groß ist der Scheinwiderstand der gesamten Reihenschaltung von Wirkwiderstand, Induktivität und Kapazität?
20. Ein Wirkwiderstand von $R = 50 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 0,130 \text{ H}$ und einem Kondensator von $C = 40 \mu\text{F}$ bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$ hintereinandergeschaltet.
- a) Wie groß ist der Scheinwiderstand der Hintereinanderschaltung von Wirkwiderstand, Induktivität und Kapazität?
b) Vergleiche die errechneten Werte des induktiven Blindwiderstandes, des kapazitiven Blindwiderstandes, des Blindwiderstandes und des Scheinwiderstandes mit denen der Aufgabe 19!
21. Ein Wirkwiderstand von $R = 50 \Omega$, eine Induktivität von $L = 0,29 \text{ H}$ und ein Kondensator von $C = 35 \mu\text{F}$ sind hintereinandergeschaltet. Die Frequenzen der angeschalteten Wechselspannung betragen: 10 Hz , 20 Hz , 30 Hz , 40 Hz , 50 Hz , 60 Hz , 70 Hz , 80 Hz , 90 Hz und 100 Hz .
- a) Wie groß sind bei den vorstehenden Frequenzen die Werte des induktiven Blindwiderstandes?
b) Wie groß sind bei den vorstehenden Frequenzen die Werte des kapazitiven Blindwiderstandes?
c) Wie groß sind bei den vorstehenden Frequenzen die Werte des Blindwiderstandes.
d) Wie groß sind bei den vorstehenden Frequenzen die Werte des Scheinwiderstandes?
e) Tragen Sie die Werte des induktiven Blindwiderstandes, des kapazitiven Blindwiderstandes, des Blindwiderstandes und des Scheinwiderstandes in nachstehende Tabelle (Abb. 141, Seite 162) ein!
f) Tragen Sie die Werte des induktiven Blindwiderstandes, des kapazitiven Blindwiderstandes, des Blindwiderstandes und des Scheinwiderstandes in ein Diagramm ein!
- Maßstab: Waagrecht f : $10 \text{ Hz} \triangleq 15 \text{ mm}$.
Senkrecht X_L, X_C, X, Z : $1 \Omega \triangleq 1 \text{ mm}$.
22. Der Scheinwiderstand einer Hintereinanderschaltung eines Wirkwiderstandes mit einer Induktivität und einer Kapazität beträgt $Z = 159 \Omega$. Der Wirkwiderstand ist $R = 35 \Omega$, die Induktivität ist $L = 164 \text{ mH}$.

Wie groß ist die Kapazität der Hintereinanderschaltung bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$?

Tabelle zu Aufgabe 21

Nr.	$f[\text{Hz}]$	$X_L[\Omega]$	$X_C[\Omega]$	$X[\Omega]$	$Z[\Omega]$
1	10				
2	20				
3	30				
4	40				
5	50				
6	60				
7	70				
8	80				
9	90				
10	100				

(Abb. 141)

23. Der Scheinwiderstand einer Hintereinanderschaltung eines Wirkwiderstandes von $R = 45 \Omega$ und einer Induktivität und einer Kapazität von $C = 50 \mu\text{F}$ beträgt bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$ $Z = 264 \Omega$.

Wie groß ist die Induktivität der Reihenschaltung?

24. Der Wechselstromwecker des Tischapparats W 48 ist mit einem Kondensator von $C = 1 \mu\text{F}$ hintereinandergeschaltet. Der Ohmsche Widerstand des Weckers beträgt $R = 600 \Omega$, die Induktivität des Weckers ist $L = 2,3 \text{ H}$. Die Frequenz des Rufwechselstromes ist $f = 25 \text{ Hz}$.

- Wie groß ist der kapazitive Blindwiderstand des Kondensators?
- Wie groß ist der induktive Blindwiderstand des Weckers?
- Wie groß ist der Blindwiderstand der Reihenschaltung?
- Wie groß ist der Scheinwiderstand der Reihenschaltung?

2. Die Parallelschaltung

a) Der Blindleitwert

Der Blindleitwert ist der **umgekehrte** Wert des **Blindwiderstandes**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Blindleitwert	B	$[\text{S}]$
Größengleichung	Einheitengleichung	

$$B = \frac{1}{X} \quad [\text{S}]$$

$$\left[\text{S} = \frac{1}{\Omega} \right]$$

B = Blindleitwert in S

X = Blindwiderstand einer Parallelschaltung von ungleichnamigen Blindwiderständen in Ω

Der induktive Blindleitwert

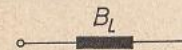
Der induktive Blindleitwert ist der **umgekehrte** Wert des **induktiven Blindwiderstandes**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Induktiver Blindleitwert	B_L	$[\text{S}]$
Größengleichung	Einheitengleichung	

$$B_L = \frac{1}{X_L} \quad [\text{S}]$$

$$\left[\text{S} = \frac{1}{\Omega} \right]$$

Schaltbild



(Abb. 142)

B_L = induktiver Blindleitwert in S

X_L = induktiver Blindwiderstand in Ω

Übungsbeispiel

Eine Induktivität von $L = 85 \text{ mH}$ ist an einer Wechselspannung von $f = 50 \text{ Hz}$ angeschlossen (Abb. 142).

Wie groß ist der Blindleitwert?

Gegeben: $L = 85 \text{ mH}$, $f = 50 \text{ Hz}$

Gesucht: B_L

Lösung:

$$X_L = \omega L$$

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

$$X_L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,085$$

$$X_L = 26,7 \, \Omega$$

$$B_L = \frac{1}{X_L}$$

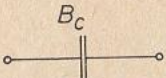
$$B_L = \frac{1000}{26,7}$$

$$B_L = 37,4 \, \text{mS}$$

Der Blindleitwert beträgt $B_L = 37,4 \, \text{mS}$.

Der kapazitive Blindleitwert

Der kapazitive Blindleitwert ist der **umgekehrte** Wert des **kapazitiven Blindwiderstandes**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Kapazitiver Blindleitwert	B_C	[S]
Größengleichung	Einheitengleichung	
$B_C = \frac{1}{X_C} \, [\text{S}]$	$[S = \frac{1}{\Omega}]$	
Schaltbild		
		
(Abb. 143)		
	$B_C = \text{kapazitiver Blindleitwert in S}$	
	$X_C = \text{kapazitiver Blindwiderstand in } \Omega$	

Übungsbeispiel

Ein Kondensator von $C = 50 \, \mu\text{F}$ ist an einer Wechselspannung von $f = 50 \, \text{Hz}$ angeschlossen (Abb. 143).

Wie groß ist der kapazitive Blindleitwert?

Gegeben: $C = 50 \, \mu\text{F}, f = 50 \, \text{Hz}$

Gesucht: B_C

Lösung:

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

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

$$X_C = \frac{1\,000\,000}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 50}$$

$$B_C = \frac{1}{X_C}$$

$$X_C = \frac{1\,000\,000}{15\,700}$$

$$B_C = \frac{1000}{63,7}$$

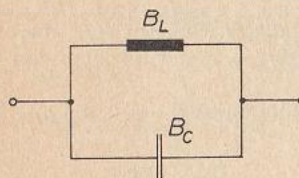
$$X_C = 63,7 \, \Omega$$

$$B_C = 15,7 \, \text{mS}$$

Der kapazitive Blindleitwert beträgt $B_C = 15,7 \, \text{mS}$.

Der Blindleitwert

Der Blindleitwert ist gleich dem **kapazitiven** Blindleitwert minus dem **induktiven** Blindleitwert.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Blindleitwert	B	[S]
Größengleichung	Einheitengleichung	
$B = B_C - B_L \, [\text{S}]$	$[S = S - S]$	
Schaltbild		
		
(Abb. 144)		
	$B = \text{Blindleitwert in S}$	
	$B_L = \text{induktiver Blindleitwert in S}$	
	$B_C = \text{kapazitiver Blindleitwert in S}$	

Übungsaufgabe

Eine Induktivität von $L = 0,125 \, \text{H}$ ist mit einem Kondensator von $C = 40 \, \mu\text{F}$ bei einer Frequenz von $f = 50 \, \text{Hz}$ parallelgeschaltet (Abb. 144).

Wie groß ist der Blindleitwert der Parallelschaltung?

Gegeben: $L = 0,125 \, \text{H}, C = 40 \, \mu\text{F}, f = 50 \, \text{Hz}$

Gesucht: B

Lösung:

$$X_L = \omega \cdot L$$

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

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

$$X_L = 39,3 \, \Omega$$

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

$$B_L = \frac{1}{X_L}$$

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

$$B_L = \frac{1000}{39,3}$$

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

$$B_L = \underline{25,4 \text{ mS}}$$

$$X_C = \frac{1000000}{12560}$$

$$B_C = \frac{1}{X_C}$$

$$X_C = \underline{79,3 \Omega}$$

$$B_C = \frac{1000}{79,3}$$

$$B_C = \underline{12,6 \text{ mS}}$$

$$B = B_C - B_L$$

$$B = 12,6 - 25,4$$

$$B = \underline{\underline{-12,8 \text{ mS}}}$$

Der Blindleitwert der Parallelschaltung beträgt $B = -12,8 \text{ mS}$ (induktiv).

Das negative Vorzeichen des Blindleitwertes bedeutet, daß der Blindleitwert überwiegend durch den induktiven Blindleitwert dargestellt wird, d. h. der Blindleitwert der Parallelschaltung ist induktiv.

Bei einem positiven Vorzeichen des Ergebnisses ist der Blindleitwert einer Parallelschaltung kapazitiv.

b) Der Blindwiderstand

Bei Parallelschaltung von Blindwiderständen ist der Blindwiderstand gleich dem **Produkt** des induktiven Blindwiderstandes mal dem kapazitiven Blindwiderstand **geteilt durch** den induktiven Blindwiderstand **minus** dem kapazitiven Blindwiderstand.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Blindwiderstand	X	$[\Omega]$

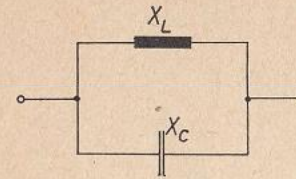
Größengleichung

$$X = \frac{X_L \cdot X_C}{X_L - X_C} [\Omega]$$

Einheitengleichung

$$\left[\Omega = \frac{\Omega \cdot \Omega}{\Omega - \Omega} = \frac{\Omega^2}{\Omega} \right]$$

Schaltbild



(Abb. 145)

X = Blindwiderstand in Ω

X_L = induktiver Blindwiderstand in Ω

X_C = kapazitiver Blindwiderstand in Ω

Übungsbeispiel

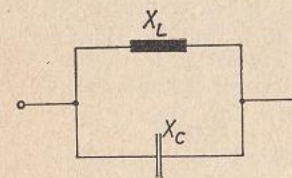
Von einer Parallelschaltung betragen der induktive Blindwiderstand $X_L = 39,3 \Omega$ und der kapazitiver Blindwiderstand $X_C = 79,3 \Omega$ (Abb. 146).

Wie groß ist der Blindwiderstand der Parallelschaltung?

Gegeben: $X_L = 39,3 \Omega$, $X_C = 79,3 \Omega$

Gesucht: X

Lösung:



(Abb. 146)

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

$$X = \frac{39,3 \cdot 79,3}{39,3 - 79,3}$$

$$X = \frac{39,3 \cdot 79,3}{-40}$$

$$X = \underline{\underline{-77,4 \Omega}} \text{ (induktiv)}$$

Der Blindwiderstand der Parallelschaltung beträgt $X = -77,4 \Omega$ (induktiv).

Das negative Vorzeichen des Blindwiderstandes bedeutet, daß der Blindwiderstand der Parallelschaltung induktiv ist.

c) Der Scheinleitwert

Der Scheinleitwert ist gleich der Quadratwurzel aus der Summe der Quadrate von **Wirkleitwert** und **Blindleitwert**.

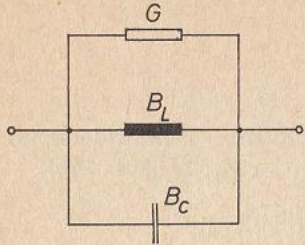
Begriff	Formelzeichen	Einheit
Scheinleitwert	Y	$[S]$

Größengleichungen

$$Y = \sqrt{G^2 + B^2} \quad [S]$$

$$B = B_C - B_L \quad [S]$$

Schaltbild



(Abb. 147)

Einheitengleichungen

$$[S] = \sqrt{S^2 + S^2} = \sqrt{S^2}$$

$$[S] = S - S$$

Y = Scheinleitwert in S

G = Wirkleitwert in S

B = Blindleitwert in S

B_C = kapazitiver Blindleitwert in S

B_L = induktiver Blindleitwert in S

Übungsbeispiel

Von einer Parallelschaltung eines Wirkwiderstandes, einer Induktivität und einer Kapazität betragen der Wirkwiderstand $R = 40 \, \Omega$ und der Blindwiderstand $X = + 31,5 \, \Omega$ kapazitiv (Abb. 148).

Wie groß ist der Scheinleitwert der Parallelschaltung:

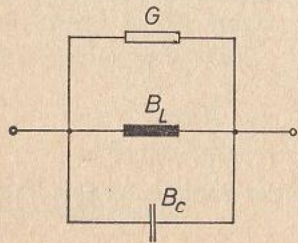
Zeichnerische Lösung (1 mS $\hat{=}$ 2 mm)?

Rechnerische Lösung?

Gegeben: $R = 40 \, \Omega$, $X = 31,5 \, \Omega$

Gesucht: Y

Lösung:



(Abb. 148)

$$G = \frac{1}{R}$$

$$G = \frac{1000}{40}$$

$$G = 35 \text{ mS}$$

$$B = \frac{1}{X}$$

$$B = \frac{1000}{31,5}$$

$$B = 31,4 \text{ mS}$$

Zeichnerische Lösung (Abb. 149)

$$B_L = + 31,5 \text{ mS} \hat{=} 63 \text{ mm}$$

$$G = 25 \text{ mS} \hat{=} 50 \text{ mm}$$

$$Y = 80 \text{ mm} \hat{=} \underline{\underline{40 \text{ mS}}}$$

Rechnerische Lösung

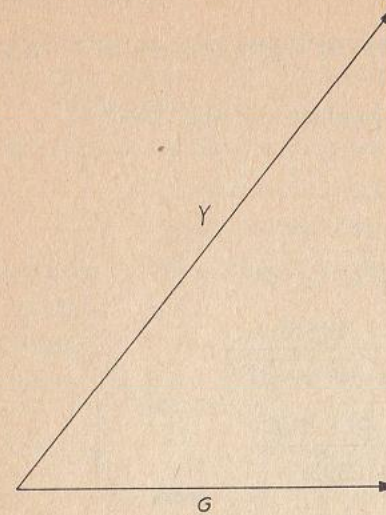
$$Y = \sqrt{G^2 + B^2}$$

$$Y = \sqrt{25^2 + 31,5^2}$$

$$Y = \sqrt{1611}$$

$$Y = \underline{\underline{40,1 \text{ mS}}}$$

Der Scheinleitwert der Parallelschaltung beträgt $Y = 40,1 \text{ mS}$.



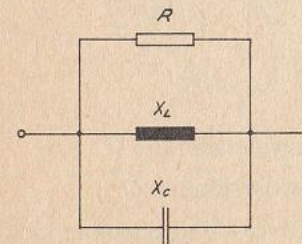
(Abb. 149)

d) Der Scheinwiderstand

Der Scheinwiderstand ist das **Produkt** aus Wirkwiderstand mal Blindwiderstand **geteilt** durch die Quadratwurzel aus der **Summe** der Quadrate von Wirkwiderstand und Blindwiderstand.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Scheinwiderstand	Z	$[\Omega]$
Größengleichung	Einheitengleichung	
$Z = \frac{R \cdot X}{\sqrt{R^2 + X^2}} \quad [\Omega]$		$\left[\Omega = \frac{\Omega \cdot \Omega}{\sqrt{\Omega^2 + \Omega^2}} = \frac{\Omega \cdot \Omega}{\sqrt{\Omega^2}} \right]$

Schaltbild



(Abb. 150)

R = Wirkwiderstand in Ω

X = Blindwiderstand der Parallelschaltung des induktiven und kapazitiven Blindwiderstandes in Ω

Übungsbeispiel

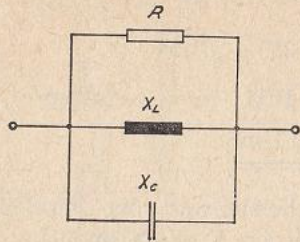
Von nachstehender Parallelschaltung betragen der Wirkwiderstand $R = 40 \Omega$ und der Blindwiderstand $X = 31,5 \Omega$.

Wie groß ist der Scheinwiderstand der Parallelschaltung (Abb. 151)?

Gegeben: $R = 40 \Omega$, $X = 31,5 \Omega$

Gesucht: Z

Lösung:



(Abb. 151)

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

$$Z = \frac{40 \cdot 31,5}{\sqrt{40^2 + 31,5^2}}$$

$$Z = \frac{40 \cdot 31,5}{\sqrt{2592}}$$

$$Z = \underline{\underline{24,7 \Omega}}$$

Der Scheinwiderstand der Parallelschaltung beträgt $Z = 24,7 \Omega$.

Der Wirkwiderstand und der induktive Blindwiderstand

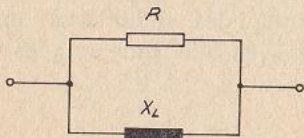
Der Scheinwiderstand ist das **Produkt** aus Wirkwiderstand mal induktivem Blindwiderstand **geteilt** durch die Quadratwurzel aus der **Summe** der Quadrate von Wirkwiderstand und induktivem Blindwiderstand.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Scheinwiderstand	Z	$[\Omega]$

Größengleichung

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

Schaltbild



(Abb. 152)

Einheitengleichung

$$\left[\Omega = \frac{\Omega \cdot \Omega}{\sqrt{\Omega^2 + \Omega^2}} = \frac{\Omega \cdot \Omega}{\sqrt{\Omega^2}} \right]$$

Z = Scheinwiderstand in Ω

R = Wirkwiderstand in Ω

X_L = induktiver Blindwiderstand in Ω

Übungsbeispiel

Ein Wirkwiderstand von $R = 40 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 0,125 \text{ H}$ parallelgeschaltet. Die Frequenz der angeschalteten Wechselspannung ist $f = 50 \text{ Hz}$ (Abb. 153).

Wie groß ist der Scheinwiderstand der Parallelschaltung:

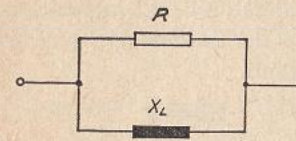
Zeichnerische Lösung ($5 \text{ mS} \triangleq 10 \text{ mm}$)?

Rechnerische Lösung?

Gegeben: $R = 40 \Omega$, $L = 0,125 \text{ H}$, $f = 50 \text{ Hz}$

Gesucht: Z

Lösung:



(Abb. 153)

$$X_L = \omega \cdot L$$

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

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

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

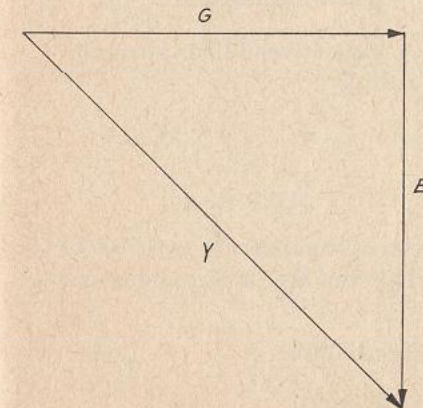
Zeichnerische Lösung (Abb. 154)

$R = 40 \Omega$

$$G = \frac{1000}{40} = 25 \text{ mS} \triangleq 50 \text{ mm}$$

$X_L = 39,3 \Omega$

$$B_L = \frac{1000}{39,3} = 25,3 \text{ mS} \triangleq 51 \text{ mm}$$



(Abb. 154)

Rechnerische Lösung

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

$$Z = \frac{40 \cdot 39,3}{\sqrt{40^2 + 39,3^2}}$$

$$Z = \frac{40 \cdot 39,3}{\sqrt{3144}}$$

$$Z = \frac{40 \cdot 39,3}{56,7}$$

$$Z = \underline{\underline{27,7 \Omega}}$$

Der Scheinwiderstand der Parallelschaltung beträgt $Z = 27,7 \Omega$.

$$Y = 72 \text{ mm} \hat{=} 36 \text{ mS}$$

$$Z = \frac{1}{Y}$$

$$Z = \frac{1000}{36}$$

$$Z = \underline{\underline{27,8 \Omega}}$$

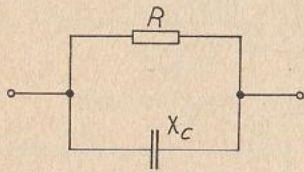
Bei der zeichnerischen Lösung werden induktive Blindleitwerte nach unten und kapazitive Blindleitwerte nach oben aufgetragen.

Der Wirkwiderstand und der kapazitive Blindwiderstand

Der Scheinwiderstand ist das **Produkt** aus Wirkwiderstand mal kapazitivem Blindwiderstand **geteilt** durch die Quadratwurzel aus der **Summe** der Quadrate von Wirkwiderstand und kapazitivem Blindwiderstand.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Scheinwiderstand	Z	$[\Omega]$
Größengleichung	Einheitengleichung	
$Z = \frac{R \cdot X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} \quad [\Omega]$	$\left[\Omega = \frac{\Omega \cdot \Omega}{\sqrt{\Omega^2 + \Omega^2}} = \frac{\Omega \cdot \Omega}{\sqrt{\Omega^2}} \right]$	

Schaltbild



(Abb. 155)

Z = Scheinwiderstand in Ω

R = Wirkwiderstand in Ω

X_C = kapazitiver Blindwiderstand in Ω

Übungsbeispiel

Ein Wirkwiderstand von $R = 40 \Omega$ ist mit einem Kondensator von $C = 45 \mu\text{F}$ parallelgeschaltet. Die Frequenz der angeschalteten Wechselspannung beträgt $f = 50 \text{ Hz}$ (Abb. 156).

Wie groß ist der Scheinwiderstand der Parallelschaltung:

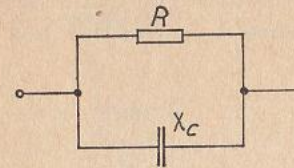
Zeichnerische Lösung ($5 \text{ mS} \hat{=} 10 \text{ mm}$)?

Rechnerische Lösung?

Gegeben: $R = 40 \Omega$, $C = 45 \mu\text{F}$, $f = 50 \text{ Hz}$

Gesucht: Z

Lösung:



(Abb. 156)

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

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot l}$$

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

$$X_C = \frac{1000000}{14130}$$

$$X_C = \underline{\underline{70,8 \Omega}}$$

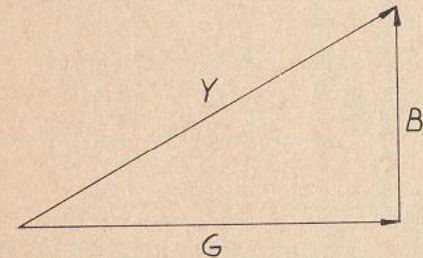
Zeichnerische Lösung (Abb. 157)

$$R = 40 \Omega$$

$$G = \frac{1000}{40} = 25 \text{ mS} \hat{=} 50 \text{ mm}$$

$$X_C = 70,8 \Omega$$

$$X_C = \frac{1000}{70,8} = 14,1 \text{ mS} \hat{=} 28 \text{ mm}$$



(Abb. 157)

$$Y = 58 \text{ mm} \hat{=} 29 \text{ mS}$$

$$Z = \frac{1}{Y}$$

$$Z = \frac{1000}{29}$$

$$Z = \underline{\underline{34,8 \Omega}}$$

Rechnerische Lösung

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

$$Z = \frac{40 \cdot 70,8}{\sqrt{40^2 + 70,8^2}}$$

$$Z = \frac{40 \cdot 70,8}{\sqrt{6613}}$$

$$Z = \frac{40 \cdot 70,8}{81,3}$$

$$Z = \underline{\underline{34,9 \Omega}}$$

Der Scheinwiderstand der Parallelschaltung beträgt $Z = 34,9 \Omega$.

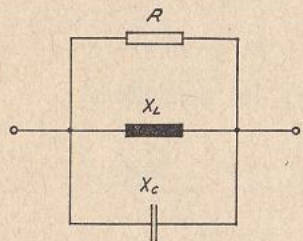
Bei der zeichnerischen Lösung werden kapazitive Blindleitwerte nach oben und induktive Blindleitwerte nach unten aufgetragen.

Der Wirkwiderstand, der induktive und der kapazitive Blindwiderstand

Der Scheinwiderstand ist das **Produkt** aus Wirkwiderstand mal Blindwiderstand **geteilt** durch die Quadratwurzel aus der **Summe** der Quadrate aus Wirkwiderstand und Blindwiderstand.

Begriff	Formelzeichen	Einheit
Scheinwiderstand	Z	$[\Omega]$
Größengleichungen ¹⁾	Einheitengleichungen	
$Z = \frac{R \cdot X}{\sqrt{R^2 + X^2}} \quad [\Omega]$	$\left[\Omega = \frac{\Omega \cdot \Omega}{\sqrt{\Omega^2 + \Omega^2}} = \frac{\Omega \cdot \Omega}{\sqrt{\Omega^2}} \right]$	
$X = \frac{X_L \cdot X_C}{X_L - X_C} \quad [\Omega]$	$\left[\Omega = \frac{\Omega \cdot \Omega}{\Omega - \Omega} = \frac{\Omega \cdot \Omega}{\Omega} \right]$	

Schaltbild



(Abb. 158)

Z = Scheinwiderstand in Ω
 R = Wirkwiderstand in Ω
 X = Blindwiderstand in Ω
 X_L = induktiver Blindwiderstand in Ω
 X_C = kapazitiver Blindwiderstand in Ω

Übungsbeispiel

Ein Wirkwiderstand von $R = 40 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 0,125 \text{ H}$ und einer Kapazität von $C = 45 \mu\text{F}$ parallelgeschaltet. Die Frequenz der angeschalteten Wechselspannung beträgt $f = 50 \text{ Hz}$ (Abb. 159).

Wie groß ist der Scheinwiderstand der Parallelschaltung:

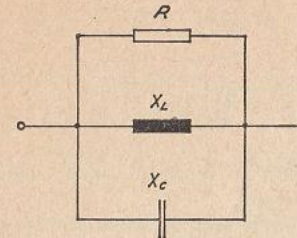
Zeichnerische Lösung (5 mS $\hat{=}$ 10 mm)?

Rechnerische Lösung?

Gegeben: $R = 40 \Omega$, $L = 0,125 \text{ H}$, $C = 45 \mu\text{F}$, $f = 50 \text{ Hz}$

Gesucht: Z

Lösung:

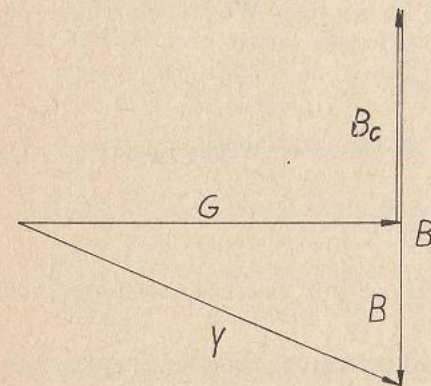


(Abb. 159)

$$\begin{aligned} X_L &= \omega \cdot L \\ X_L &= 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \\ X_L &= 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,125 \\ X_L &= 39,3 \Omega \\ X_C &= \frac{1}{\omega C} \\ X_C &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \\ X_C &= \frac{1\,000\,000}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 45} \\ X_C &= 70,8 \Omega \end{aligned}$$

Zeichnerische Lösung (Abb. 160)

$$\begin{aligned} R &= 40 \Omega \\ G &= \frac{1000}{40} = 25 \text{ mS} \hat{=} 50 \text{ mm} \\ X_L &= 39,3 \Omega \\ B_L &= \frac{1000}{39,3} = 25,3 \text{ mS} \hat{=} 51 \text{ mm} \\ X_C &= 70,8 \Omega \\ B_C &= \frac{1000}{70,8} = 14,1 \text{ mS} \hat{=} 28 \text{ mm} \end{aligned}$$



(Abb. 160)

$$\begin{aligned} Y &= 55 \text{ mm} \hat{=} 27,5 \text{ mS} \\ Z &= \frac{1}{Y} \end{aligned}$$

Rechnerische Lösung

$$\begin{aligned} X &= \frac{X_L \cdot X_C}{X_L - X_C} \\ X &= \frac{39,3 \cdot 70,8}{39,3 - 70,8} \\ X &= \frac{39,3 \cdot 70,8}{-31,5} \\ X &= -88,3 \Omega^1) \\ Z &= \frac{R \cdot X}{\sqrt{R^2 + X^2}} \\ Z &= \frac{40 \cdot 88,3}{\sqrt{40^2 + 88,3^2}} \\ Z &= \frac{40 \cdot 88,3}{\sqrt{9397}} \\ Z &= \frac{40 \cdot 88,3}{96,9} \\ Z &= 36,2 \Omega \end{aligned}$$

¹⁾ Siehe Anmerkung Seite 176

$$Z = \frac{1000}{27,5}$$

$$Z = \underline{\underline{36,5 \, \Omega}}$$

Der Scheinwiderstand der Parallelschaltung beträgt $Z = 36,2 \, \Omega$.

Bei der zeichnerischen Lösung wird der kapazitive Blindwiderstand nach oben und der induktive Blindwiderstand nach unten aufgetragen. Das negative Vorzeichen des Blindwiderstandes bedeutet, daß Blindwiderstand und Blindleitwert induktiv sind. Bei der Berechnung des Scheinwiderstandes wird das negative Vorzeichen des Blindwiderstandes nicht berücksichtigt.

e) Aufgaben

1. Der Blindwiderstand einer Parallelschaltung einer Induktivität mit einer Kapazität beträgt $X = 45 \, \Omega$.

Wie groß ist der Blindleitwert der Parallelschaltung?

2. Der Blindleitwert einer Parallelschaltung einer Induktivität mit einer Kapazität beträgt $B = 27 \, \text{mS}$.

Wie groß ist der Blindwiderstand der Parallelschaltung?

3. Eine Induktivität von $L = 86 \, \text{mH}$ ist an einer Wechselspannung von $f = 800 \, \text{Hz}$ angeschaltet.

Wie groß ist der induktive Blindleitwert?

4. Eine Kapazität von $C = 300 \, \text{nF}$ ist an einer Wechselspannung von $f = 1500 \, \text{Hz}$ angeschaltet.

Wie groß ist der kapazitive Blindleitwert?

5. Eine Induktivität von $L = 38 \, \text{mH}$ ist mit einem Kondensator von $C = 500 \, \text{nF}$ parallelgeschaltet.

Wie groß ist der Blindleitwert der Parallelschaltung bei einer Frequenz von $f = 1000 \, \text{Hz}$?

6. Eine Induktivität von $L = 0,144 \, \text{H}$ ist mit einer Kapazität von $C = 35 \, \mu\text{F}$ bei einer Frequenz von $f = 50 \, \text{Hz}$ parallelgeschaltet.

Wie groß ist der Blindleitwert der Parallelschaltung?

a) Zeichnerische Lösung ($1 \, \text{mS} \hat{=} 10 \, \text{mm}$).

b) Rechnerische Lösung.

7. Von einer Parallelschaltung betragen der induktive Blindwiderstand $X_L = 144 \, \Omega$ und der kapazitive Blindwiderstand $X_C = 200 \, \Omega$.

Wie groß ist der Blindwiderstand der Parallelschaltung?

8. Der Blindwiderstand einer Parallelschaltung einer Induktivität von $L = 0,85 \, \text{H}$ mit einem Kondensator beträgt bei einer Frequenz von $f = 150 \, \text{Hz}$ $X = 88 \, \Omega$.

Wie groß ist die Kapazität des Kondensators?

9. Der Blindwiderstand einer Parallelschaltung einer Induktivität mit einem Kondensator von $C = 3300 \, \text{pF}$ beträgt bei einer Frequenz von $f = 800 \, \text{Hz}$ $X = 4 \, \Omega$.

Wie groß ist die Induktivität der Parallelschaltung?

10. Ein Wirkwiderstand von $R = 45 \, \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 194 \, \text{mH}$ bei einer Frequenz von $f = 50 \, \text{Hz}$ parallelgeschaltet.

Wie groß ist der Scheinwiderstand der Parallelschaltung?

a) Zeichnerische Lösung ($5 \, \text{mS} \hat{=} 10 \, \text{mm}$).

b) Rechnerische Lösung.

11. Der Scheinwiderstand einer Parallelschaltung eines Wirkwiderstandes mit einer Induktivität von $L = 0,164 \, \text{H}$ beträgt bei einer Frequenz von $f = 50 \, \text{Hz}$ $Z = 44 \, \Omega$.

Wie groß ist der Wirkwiderstand der Parallelschaltung?

12. Der Scheinwiderstand einer Parallelschaltung eines Wirkwiderstandes mit einer Induktivität beträgt $Z = 68 \, \Omega$. Der Wirkwiderstand ist $R = 55 \, \Omega$ groß. Die Frequenz der angeschalteten Wechselspannung beträgt $f = 50 \, \text{Hz}$.

Wie groß ist die Induktivität?

13. Ein Wirkwiderstand von $R = 80 \, \Omega$ ist mit einem Kondensator von $C = 44 \, \mu\text{F}$ parallelgeschaltet. Die Frequenz der angeschalteten Wechselspannung beträgt $f = 50 \, \text{Hz}$.

Wie groß ist der Scheinwiderstand der Parallelschaltung?

a) Rechnerische Lösung.

b) Zeichnerische Lösung ($2 \, \text{mS} \hat{=} 10 \, \text{mm}$).

14. Der Scheinwiderstand einer Parallelschaltung eines Wirkwiderstandes mit einer Kapazität beträgt bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$ $Z = 44 \Omega$. Die Kapazität ist $C = 55 \mu\text{F}$ groß.

Wie groß ist der Wirkwiderstand der Parallelschaltung?

15. Der Scheinwiderstand einer Parallelschaltung eines Wirkwiderstandes von $R = 95 \Omega$ mit einer Kapazität beträgt bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$ $Z = 155 \Omega$.

Wie groß ist die Kapazität?

16. Ein Wirkwiderstand von $R = 60 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 95 \text{ mH}$ und einer Kapazität von $C = 68 \mu\text{F}$ parallelgeschaltet. Die Frequenz der angeschalteten Wechselspannung beträgt $f = 50 \text{ Hz}$.

a) Wie groß sind der induktive Blindwiderstand und der induktive Blindleitwert?

b) Wie groß sind der kapazitive Blindwiderstand und der kapazitive Blindleitwert?

c) Wie groß sind der Blindwiderstand und der Blindleitwert?

d) Wie groß ist der Scheinleitwert der Parallelschaltung?

(1) Zeichnerische Lösung ($1 \text{ mS} \hat{=} 10 \text{ mm}$).

(2) Rechnerische Lösung.

e) Wie groß ist der Scheinwiderstand der Parallelschaltung?

f) Prüfe den errechneten Wert des Scheinwiderstandes mit Hilfe des Scheinleitwertes nach Pkt. e) nach !

17. Ein Wirkwiderstand von $R = 50 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 0,130 \text{ H}$ bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$ parallelgeschaltet. Zu dieser Parallelschaltung soll ein Kondensator derart parallelgeschaltet werden, so daß der Blindwiderstand der gesamten Parallelschaltung gleich Null Ohm beträgt.

a) Wie groß ist der Scheinwiderstand der Parallelschaltung von Wirkwiderstand und Induktivität?

b) Wie groß muß die Kapazität des Kondensators sein, damit der kapazitive Blindleitwert gleich dem induktiven Blindleitwert und der kapazitive Blindwiderstand gleich dem induktiven Blindwiderstand ist?

c) Wie groß ist der Scheinwiderstand der Parallelschaltung des Wirkwiderstandes mit dem Kondensator?

d) Wie groß ist der Scheinwiderstand der Parallelschaltung von Wirkwiderstand, induktivem Blindwiderstand und kapazitivem Blindwiderstand?

18. Ein Wirkwiderstand von $R = 50 \Omega$ ist mit einer Induktivität von $L = 0,130 \text{ H}$ und einem Kondensator von $C = 40 \mu\text{F}$ bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$ parallelgeschaltet.

a) Wie groß ist der Scheinwiderstand der Parallelschaltung?

b) Vergleichen Sie die Werte des induktiven Blindwiderstandes, des kapazitiven Blindwiderstandes, des Blindwiderstandes und des Scheinwiderstandes mit denen der Aufgabe 17!

19. Ein Wirkwiderstand von $R = 100 \Omega$, eine Induktivität von $L = 0,29 \text{ H}$ und eine Kapazität von $C = 35 \mu\text{F}$ sind parallelgeschaltet. Die Frequenzen der angeschalteten Wechselspannung betragen 10 Hz , 20 Hz , 30 Hz , 40 Hz , 50 Hz , 60 Hz , 70 Hz , 80 Hz , 90 Hz und 100 Hz .

a) Wie groß sind bei vorstehenden Frequenzen die Werte des induktiven Blindwiderstandes?

b) Wie groß sind bei vorstehenden Frequenzen die Werte des kapazitiven Blindwiderstandes?

c) Wie groß sind bei vorstehenden Frequenzen die Werte des Blindwiderstandes?

d) Wie groß sind bei vorstehenden Frequenzen die Werte des Scheinwiderstandes?

e) Tragen Sie die Werte des induktiven Blindwiderstandes, des kapazitiven Blindwiderstandes, des Blindwiderstandes und des Scheinwiderstandes in nachstehende Tabelle (Abb. 161) ein!

f) Tragen Sie die Werte des induktiven Blindwiderstandes, des kapazitiven Blindwiderstandes, des Blindwiderstandes und des Scheinwiderstandes in ein Diagramm ein!

Maßstab: Waagerecht:

$f : 10 \text{ Hz} \hat{=} 10 \text{ mm}$.

Senkrecht: $X_L, X_C, X, Z : 10 \Omega \hat{=} 10 \text{ mm}$.

$Nr.$	$f[Hz]$	$X_L[\Omega]$	$X_C[\Omega]$	$X[\Omega]$	$Z[\Omega]$
1	10				
2	20				
3	30				
4	40				
5	50				
6	60				
7	70				
8	80				
9	90				
10	100				

(Abb. 161)

20. Der Scheinwiderstand einer Parallelschaltung eines Wirkwiderstandes mit einer Induktivität und einer Kapazität beträgt bei der Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$ $Z = 14 \Omega$. Der Wirkwiderstand ist $R = 35 \Omega$ und die Induktivität ist $L = 0,160 \text{ H}$ groß.

Wie groß ist die Kapazität der Parallelschaltung?

21. Der Scheinwiderstand einer Parallelschaltung eines Wirkwiderstandes mit einer Induktivität und einer Kapazität beträgt bei der Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$ $Z = 25 \Omega$. Der Wirkwiderstand ist $R = 45 \Omega$ und die Kapazität ist $C = 50 \mu\text{F}$ groß.

Wie groß ist die Induktivität der Parallelschaltung?

Band C 2 — Die handwerkliche Ausbildung

Der oberirdische Linienbau — Planung und Bau oberirdischer Anschluß- und Fernlinien — Schlauchdrahtleitungen 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 Zusatzseinrichtungen

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 — Zeichensetzung — 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