

# Fakultät für Maschinenbau

**Principles of  
Electrical Engineering**

**Grundlagen  
der Elektrotechnik**

for

für

Business Administration and Engineering  
Mechanical Engineering

Wirtschaftsingenieurwesen  
Maschinenbau

Exercises and  
Admitted Aid

Übungsblock und  
Hilfsmittel

Prof. Dr.-Ing. Joachim Venghaus

Stralsund 2017

10. überarbeitete Auflage

pdfL<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

## Admitted Aid

## Erlaubtes Hilfsmittel

## Symbols

## Formelzeichen

In order of appearance

Symbol	Quantity	Größe	Unit	SI Unit <sup>1</sup>
$e$	Elementary charge $1.6 \cdot 10^{-19}$	Elementarladung	C	As
$Q$	Charge (in general)	Ladung (allgemein)	C	As
$I, i$	Current constant, variable	Strom konstant, zeitveränderlich	A	A
$t$	Time	Zeit	s	s
$U, u^2$	Voltage constant, variable <sup>1</sup>	Spannung konstant, zeitabhängig <sup>1</sup>	V	$\frac{\text{m}^2 \text{ kg}}{\text{s}^3 \text{ A}}$
$R$	Resistance	Widerstand	$\Omega$	$\frac{\text{V}}{\text{A}}$
$\rho$	Resistivity	spezifischer elektrischer Widerstand	$\Omega \cdot \text{m}$	$\frac{\text{V}}{\text{A}} \text{ m}$
$G$	Conductance	Leitwert	$\text{S} = \frac{1}{\Omega}$	$\frac{\text{A}}{\text{V}}$
$W$	Work, energy	Arbeit, Energie	kWh, Ws = J	VAs = Nm
$P$	Power	Leistung	W	$\text{VA} = \frac{\text{N m}}{\text{s}}$
$E, \vec{E}$	Electric field intensity	elektrische Feldstärke	$\frac{\text{V}}{\text{m}}$	
$A$	Area of one plate	Fläche einer Kondensatorplatte	$\text{m}^2$	$\text{m}^2$
$s, \vec{s}$	Distance between the plates	Plattenabstand	m	m
$\vec{F}, F$	Force acting on charged particle	Kraft auf ein geladenes Teil	N	$\frac{\text{kg m}}{\text{s}^2}$
$C$	Capacitance	Kapazität eines Kondensators	F	$\frac{\text{A s}}{\text{V}}$
$\epsilon$	Dielectric constant, permittivity	Dielektrizitätskonstante, Permittivität	$\frac{\text{F}}{\text{m}}$	$\frac{\text{A s}}{\text{V m}}$
$\epsilon_0$	Dielectric constant of vacuum $8.85 \cdot 10^{-12}$	elektrische Feldkonstante $8,85 \cdot 10^{-12}$	$\frac{\text{F}}{\text{m}}$	$\frac{\text{A s}}{\text{V m}}$
$\epsilon_r$	Relative dielectric constant	Dielektrizitätszahl, Permittivitätszahl	1	1

<sup>1</sup> The unit "Volt" (V) is expressly not a SI base unit (Système International d'Unités). Only for a better reading we will pretend "Volt" (V) were a SI base unit. Remember the SI base units are m, s, kg, A, K, mol, cd.

<sup>2</sup> Usually the symbol for voltages is  $V$  or  $v$ , but it is rather awkward to choose the same letter for both the symbol and the unit of a quantity. The following two allocations will show you why:  $U = 3 \text{ V}$ ,  $V = 3 \text{ V}$ . Hence the symbol for the Voltage will be  $U$  or  $u$ .

Die Einheit „Volt“ (V) ist ausdrücklich keine Basiseinheit des Internationalen Einheitensystems SI (Système International d'Unités). Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird sie allerdings in dieser Spalte wie eine Basiseinheit verwendet. Zur Erinnerung die Basiseinheiten sind m, s, kg, A, K, mol, cd.

Im englischen Sprachgebrauch wird die Spannung mit  $v$ ,  $V$  (Voltage) bezeichnet. Es ist aber denkbar ungünstig für das Symbol einer Größe und seine Einheit den gleichen Buchstaben zu verwenden. Die beiden Zuordnungen  $U = 3 \text{ V}$ ,  $V = 3 \text{ V}$  machen das sehr deutlich.

## Admitted Aid

## Erlaubtes Hilfsmittel

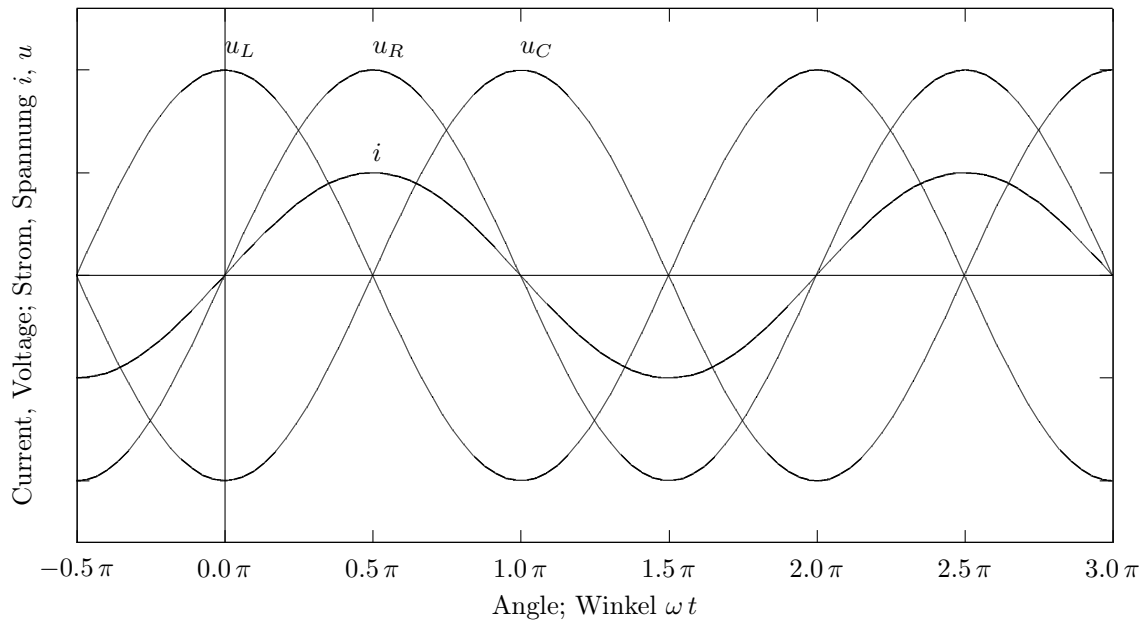
Symbol	Quantity	Größe	Unit	SI Unit
$H, \vec{H}$	Magnetic field intensity	magnetische Feldstärke	$\frac{A}{m}$	$\frac{A}{m}$
$\ell$	Length of a magnetic flux line	Länge einer magnetischen Feldlinie	m	m
$B, \vec{B}$	Magnetic flux density	magnetische Flußdichte, magn. Induktion	T	$\frac{V \cdot s}{m^2}$
$\mu$	Magnetic permeability of the material	magnetische Permeabilität	$\frac{\Omega \cdot s}{m}$	$\frac{V \cdot s}{A \cdot m}$
$\mu_0$	magnetic permeability of free space $1,26 \cdot 10^{-6}$	magn. Feldkonstante $1,26 \cdot 10^{-6}$	$\frac{\Omega \cdot s}{m}$	$\frac{V \cdot s}{A \cdot m}$
$\mu_r$	Relative permeability	Permeabilitätszahl	1	1
$\Phi$	Magnetic flux	magnetischer Fluss	Wb	V · s
$L$	Inductance	Induktivität	H	$\frac{V \cdot s}{A}$
$A$	Cross sectional area of a coil	Querschnittsfläche einer Spule	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
$\ell$	Length or mean circumference of a coil	Länge oder mittlerer Umfang einer Spule	m	m
$N$	Number of coil turns	Windungszahl einer Spule	1	1
$\ddot{u}, r$	Turns ratio	Übersetzungsverhältnis bei Transformatoren	1	1
$\omega$	Angular frequency or angular velocity	Kreisfrequenz oder Winkelgeschwindigkeit	$\frac{1}{s}$	$\frac{1}{s}$
$f$	Frequency	Frequenz	Hz	$\frac{1}{s}$
$n$	Number of revolutions	Drehzahl (z.B. einer Maschine)	$\frac{U}{min}$	
$T$	Period time, period	Periodenzeit	s	s
$\varphi, \alpha$	Phase, power angle	Phasenverschiebungswinkel	Grad, rad	
$X_L$	Inductive reactance	induktiver Blindwiderstand	$\Omega$	$\frac{V}{A}$
$X_C$	Capacity reactance	kapazitiver Blindwiderstand	$\Omega$	$\frac{V}{A}$
$Z$	Impedance	Scheinwiderstand	$\Omega$	$\frac{V}{A}$
$B_L$	Inductive susceptance	induktiver Blindleitwert	$S = \frac{1}{\Omega}$	$\frac{A}{V}$
$B_C$	Capacity susceptance	kapazitiver Blindleitwert	$S = \frac{1}{\Omega}$	$\frac{A}{V}$
$Y$	Admittance	Scheinleitwert	$S = \frac{1}{\Omega}$	$\frac{A}{V}$

**Admitted Aid**

**Erlaubtes Hilfsmittel**

Symbol	Quantity	Größe	Unit	SI unit
$P_t$	Instantaneous value of power	Augenblickswert der Leistung	W	V · A
$P$	(Active) power	Wirkleistung	W	V · A
$Q$	Reactive power	Blindleistung	var	V · A
$S$	Apparent power	Scheinleistung	VA	V · A
$\lambda$	Power factor	Leistungsfaktor	1	1
$j$	Imaginary unit	imaginäre Einheit	$j = \sqrt{-1}$	
$\underline{z}$	Complex number	komplexe Zahl	$\underline{z} = a + jb$	
$a$	Real part of a complex number	Realteil einer komplexen Zahl	miscellaneous	
$b$	Imaginary part of a complex number	Imaginärteil einer komplexen Zahl	miscellaneous	
$z$	Magnitude of a complex number, modulus	Betrag einer komplexen Zahl	miscellaneous	
$\underline{z}^*$	Complex conjugate	konjugiert komplexe Zahl	$\underline{z}^* = a - jb$	
$\underline{U}, \underline{I}$	Complex voltage, current	komplexe(r) Spannung, Strom		

Power Angle of; Phasenverschiebung bei  $R, L, C$



## Admitted Aid

## Erlaubtes Hilfsmittel

## List of Formulas

## Formelsammlung

In the following list nearly all the formulas being used in the lectures are listed following the order of the lectures. You won't find any comment and there will be no hint whether a special formula is universally valid or just describes a special case. Please consult your notes.

In dieser Formelsammlung werden nahezu kommentarlos die in der Vorlesung auftauchenden Formeln in der Reihenfolge des Erscheinens zusammengetragen. An dieser Stelle wird *nicht* darauf hingewiesen, ob ein mathematischer Zusammenhang allgemeingültig ist oder einen Spezialfall beschreibt. Hier ist die Vorlesungsmitschrift zu Rate zu ziehen.

Current	Stromstärke	$I = \frac{Q}{t}. \quad (1)$
OHM's law	OHM'sches Gesetz	$I = \frac{U}{R}. \quad (2)$
Resistance of a wire	Widerstand eines Drahtes	$R = \varrho \frac{\ell}{A}. \quad (3)$
Work	Arbeit	$W = U I t. \quad (4)$
Power	Leistung	$P = U I = I^2 R = \frac{U^2}{R}. \quad (5)$
KIRCHHOFF'S current law	Knotenregel	$\sum I_{zu} = \sum I_{ab}. \quad (6)$
KIRCHHOFF'S voltage law	Maschenregel	$\sum U = 0. \quad (7)$
Series connection of resistances	Reihenschaltung von Widerständen	$R_e = \sum_{i=1}^n R_i. \quad (8)$
Parallel connection of resistances	Parallelschaltung von Widerständen	$\frac{1}{R_e} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}; \quad G_e = \sum_{i=1}^n G_i. \quad (9)$
Parallel connection of two resistances	Parallelschaltung von zwei Widerständen	$R_e = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}. \quad (10)$
Homogeneous electric field	Homogenes elektrisches Feld	$U = E s. \quad (11)$

Force acting on a charge $Q$ in an electric field	Kraft auf eine Ladung $Q$ im elektrischen Feld	$\vec{F} = Q \vec{E}$ .	(12)
Charge of a capacitor	Ladung eines Kondensators	$Q = C U$ .	(13)
Capacitance of a capacitor	Kapazität eines Kondensators	$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r A}{s}$ .	(14)
Magnetic field is caused by current	Durchflutungsgesetz	$I = H \ell$ .	(15)
Magnetic flux density	Magnetische Flussdichte	$B = \mu_0 \mu_r H$ ; $\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H}$ .	(16)
Magnetic flux	Magnetischer Fluss	$\Phi = B A$ .	(17)
FARADAY'S law of electromagnetic induction	Induktionsgesetz	$u_q = N \frac{d\Phi}{dt}$ .	(18)
Inductance of a coil without core	Induktivität einer Luftspule	$L = \mu_0 \frac{N^2 A}{\ell}$ .	(19)
Relationship of an ideal transformer	Übersetzungsverhältnis eines idealen Transformators	$\ddot{u} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{u_1}{u_2} = \frac{i_2}{i_1}$ .	(20)
Angular frequency	Kreisfrequenz	$\omega = 2\pi f = \frac{\pi n}{30} \approx \frac{n}{10}$ .	(21)
RMS, root - mean - square	Effektivwerte	$U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$ , $I = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}}$ .	(22)
Phase, power angle	Phasenverschiebungswinkel	$\varphi = \varphi_u - \varphi_i$ .	(23)

**Admitted Aid****Erlaubtes Hilfsmittel****Complex Numbers****Komplexe Zahlen**

Cartesian form of a complex number,

Komponentenform einer komplexen Zahl:

$$\underline{z} = a + jb,$$

Polar form of a complex number,

Exponentialform einer komplexen Zahl:

$$\underline{z} = z e^{j\alpha}.$$

Conversion from cartesian to polar form ( $z$ : modulus,  $\alpha$ : argument),

Umrechnung von Komponentenform in Exponentialform:

$$z = \sqrt{a^2 + b^2}, \quad \tan \alpha = \frac{b}{a}.$$

Conversion from polar to cartesian form ( $a$ : real part,  $b$ : imaginary part),

Umrechnung von Exponentialform in Komponentenform:

$$a = z \cos \alpha, \quad b = z \sin \alpha.$$

Add and subtract complex numbers always in cartesian form,

Addition und Subtraktion von komplexen Zahlen wird üblicherweise in Komponentenform vorgenommen:

$$\begin{aligned} \underline{z}_1 + \underline{z}_2 - \underline{z}_3 = \\ (a_1 + jb_1) + (a_2 + jb_2) - (a_3 + jb_3) = \\ (a_1 + a_2 - a_3) + j(b_1 + b_2 - b_3) \end{aligned}$$

Multiply and divide complex numbers always in polar form,

Multiplikation und Division von Komplexen Zahlen wird üblicherweise in Exponentialform vorgenommen:

$$\begin{aligned} \frac{\underline{z}_1 \cdot \underline{z}_2}{\underline{z}_3} = \frac{z_1 \cdot e^{j\alpha_1} \cdot z_2 \cdot e^{j\alpha_2}}{z_3 \cdot e^{j\alpha_3}} = \\ \frac{z_1 \cdot z_2}{z_3} \cdot e^{j(\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_3)}. \end{aligned}$$

Some rules,

Einige Rechenregeln:

$$\begin{aligned} e^{j0} = 1, \quad e^{j90^\circ} = j, \quad e^{j-90^\circ} = -j, \\ j^2 = -1, \quad \frac{1}{j} = -j. \end{aligned}$$

Complex conjugate number,

Konjugiert komplexe Zahlen:

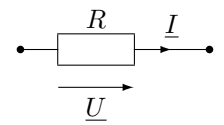
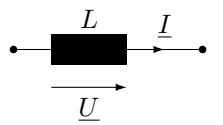
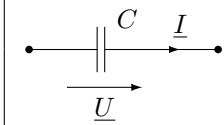
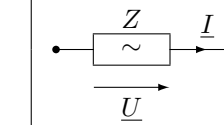
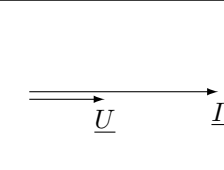
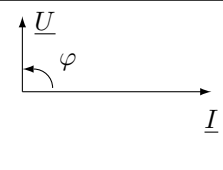
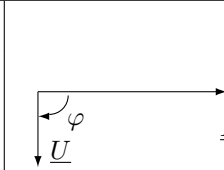
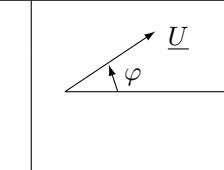
$$\begin{aligned} \underline{z} = a + jb, \quad \underline{z}^* = a - jb, \\ \underline{z} = z \cdot e^{j\alpha}, \quad \underline{z}^* = z \cdot e^{-j\alpha}. \end{aligned}$$

Admitted Aid

Erlaubtes Hilfsmittel

Formulary

Formelsammlung

Resistance, Work, Power of R, L, C		Widerstand, Arbeit, Leistung von R, L, C		
	Resistance; Widerstand	Inductance; Induktivität	Capacitance; Kapazität	Impedance; p. Zweipol
Connexion scheme; Schaltplan				
Phasor; Zeigerbild				
Law; Gesetz	$U = I R$ $I = U G$	$U = I \omega L = I X_L$ $I = \frac{U}{\omega L} = U B_L$	$U = \frac{I}{\omega C} = I X_C$ $I = U \omega C = U B_C$	$U = I Z$ $I = U Y$
Resistance, Reactance, Impedance; Widerstand	R	$X_L = \omega L$	$X_C = \frac{1}{\omega C}$	Z
Conductance, Susceptance, Admittance; Leitwert	$G = \frac{1}{R}$	$B_L = \frac{1}{\omega L}$	$B_C = \omega C$	$Y = \frac{1}{Z}$
Phase, Power angle; Phasenverschiebung	$\varphi = 0^\circ$	$\varphi = 90^\circ$	$\varphi = -90^\circ$	$90^\circ \geq \varphi \geq -90^\circ$
Active Power; Wirkleistung	$P = U I$	$P = 0$	$P = 0$	$P = U I \cos \varphi$
Reactive Power; Blindleistung	$Q = 0$	$Q = U I$	$Q = -U I$	$Q = U I \sin \varphi$
Apparent Power; Scheinleistung	$S = U I$	$S = U I$	$S = U I$	$S = U I$ $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$
Power Factor; Leistungsfaktor	$\cos \varphi = 1$	$\cos \varphi = 0$	$\cos \varphi = 0$	$\cos \varphi = \frac{P}{S}$
Active Work; Wirkarbeit	$W = U I t$	$W = 0$	$W = 0$	$W = P t$
Reactive Work; Blindarbeit	$W_q = 0$	$W_q = U I t$	$W_q = -U I t$	$W_q = Q t$
Complex Calculation		Komplexe Berechnung		
Law; Gesetz	$\underline{U} = \underline{I} R$ $\underline{I} = \underline{U} G$	$\underline{U} = j \underline{I} X_L$ $\underline{I} = -j \underline{U} B_L$	$\underline{U} = -j \underline{I} X_C$ $\underline{I} = j \underline{U} B_C$	$\underline{U} = \underline{I} Z$ $\underline{I} = \underline{U} Y$
Resistance, ...; Widerstand	R	$\underline{X}_L = j \omega L = j X_L$	$\underline{X}_C = -j \frac{1}{\omega C} = -j X_C$	$\underline{Z} = R + j(X_L - X_C)$ $\underline{Z} = Z \cdot e^{j\varphi}$
Conductance, ...; Leitwert	$G = \frac{1}{R}$	$\underline{B}_L = -j \frac{1}{\omega L} = -j B_L$	$\underline{B}_C = j \omega C = j B_C$	$\underline{Y} = G + j(B_C - B_L)$ $\underline{Y} = Y \cdot e^{-j\varphi}$
Apparent Power <sup>4</sup> ; Scheinleistung <sup>4</sup>	$\underline{S} = \underline{U} \underline{I}^*$	$\underline{S} = \underline{U} \underline{I}^*$	$\underline{S} = \underline{U} \underline{I}^*$	$\underline{S} = \underline{U} \underline{I}^*$

<sup>4</sup> The expression  $\underline{I}^*$  indicates that the complex current  $\underline{I}$  must be conjugated.

Der Ausdruck  $\underline{I}^*$  bedeutet, dass der konjugiert komplexe Strom hier eingesetzt werden muss.



## Literatur

- [BUS] Busch, Rudolf; *Elektrotechnik und Elektronik*. Springer, 2015
- [FLE] Flegel, Birnstiel; *Elektrotechnik für Maschinenbau und Mechatronik*. Hanser, 2016
- [HAM] Hambley, Allan R.; *Electrical Engineering*. Pearson Education International, 2005
- [LIN] Fischer, Linse; *Elektrotechnik für Maschinenbauer*. Springer, 2012
- [OSE] Ose, Rainer; *Elektrotechnik für Ingenieure: Grundlagen*. Hanser, 2013

## 1 Introduction

## Einleitung

There are no exercises in this chapter.

Keine Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.

## 2 Electric Current

## Elektrischer Strom

### 2.0.1

A current of 200 A flows through a wire. How many electrons pass an arbitrary cross section of the wire in 5 seconds?

Durch ein einadriges Kabel fließt ein Strom von 200 A. Wieviele freie Elektronen durchqueren in 5 Sekunden einen beliebigen Kabelquerschnitt?

## 3 DC Circuits

## Elektrischer Gleichstromkreis

### 3.1 Voltage and Resistance

### Spannung und Widerstand

#### 3.1.1

Calculate the total resistance of a 50 m two-core extension cable. The cross section of one core is  $1.5 \text{ mm}^2$ . The core is made of copper.

Welchen Gesamtwiderstand hat ein zweiadriges Verlängerungskabel von 50 m Länge und einem Aderquerschnitt von  $1,5 \text{ mm}^2$  (Material Cu).

#### 3.1.2

A cable with aluminium core shall have the same resistance as a cable with copper core of same length. Calculate the factor  $k$  which describes how much larger the diameter of the aluminium core must be compared to the copper core.

Um welchen Faktor  $k$  muss der Durchmesser eines Al - Kabels größer gewählt werden, damit sich der gleiche Ohm'sche Widerstand wie bei einem gleich langen Cu - Kabel einstellt?

## 3.2 Electric Power

## Elektrische Leistung

### 3.2.1

An electric heater delivers a power of 2 kW. It is applied to a constant voltage of 230 V. Find

- the current through the heater,
- the resistance of the heater.

Ein Ölradiator mit einer Heizleistung von 2 kW wird an einer konstanten Spannung von 230 V betrieben.

**Ges.:**

- Welcher Strom stellt sich ein?
- Wie groß ist der Ohm'sche Widerstand?

### 3.2.2

Find the resistance of a 55 W H4 headlight bulb in operating condition. It is applied to a voltage of 12 V

Welchen Widerstand hat eine 55 W H4 - Lampe, die an 12 V betrieben wird unter Betriebsbedingung.

## 3.3 KIRCHHOFF'S laws

## KIRCHHOFF'sche Regeln

### 3.3.1

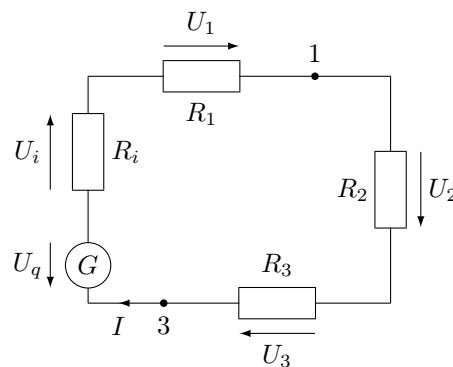
Consider the shown circuit. Given that  $U_q = 12$  V,  $U_i = 0.2$  V,  $U_1 = 3$  V,  $U_3 = 7$  V,  $R_i = 0.5$   $\Omega$ , determine

- $U_2$ ,
- the voltage between tap (point) 1 und 3 ( $U_{13}$ ),
- the current  $I$ .

Gegeben ist ein Stromkreis mit  $U_q = 12$  V,  $U_i = 0,2$  V,  $U_1 = 3$  V,  $U_3 = 7$  V,  $R_i = 0,5$   $\Omega$ .

**Ges.:**

- $U_2$
- Spannung zwischen den Punkten 1 und 3 ( $U_{13}$ )
- Welcher Strom  $I$  stellt sich ein

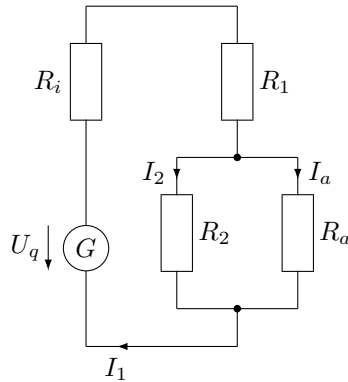


3.3.2

Given that  $U_q = 12\text{ V}$ ,  $R_i = 0.1\ \Omega$ ,  $R_1 = 10\ \Omega$ ,  $R_2 = 20\ \Omega$ ,  $R_a = 15\ \Omega$ , find  $I_a$ .

**Geg.:**  $U_q = 12\text{ V}$ ,  $R_i = 0,1\ \Omega$ ,  $R_1 = 10\ \Omega$ ,  $R_2 = 20\ \Omega$ ,  $R_a = 15\ \Omega$ .

**Ges.:** Wie groß ist  $I_a$ ?



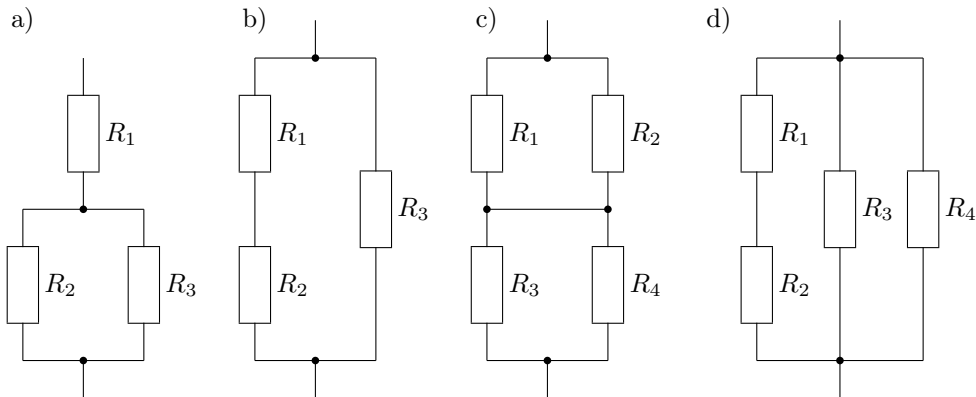
3.4 Resistive Circuits

Widerstandsschaltungen

3.4.1

Find the equivalent resistances of the shown networks.  
 $R_1 = 56\ \Omega$ ,  $R_2 = 33\ \Omega$ ,  $R_3 = 68\ \Omega$ ,  $R_4 = 100\ \Omega$ ,

Berechnen Sie die Gesamtwiderstände der nachfolgenden Schaltungen:  
 $R_1 = 56\ \Omega$ ,  $R_2 = 33\ \Omega$ ,  $R_3 = 68\ \Omega$ ,  $R_4 = 100\ \Omega$ ,



## 4 Electric Field

## Das elektrische Feld

### 4.1 Capacitor

### Der Kondensator

#### 4.1.1

Suppose that we have a parallel-plate capacitor with plates of metal each having a width of 20 cm and a length of 40 cm. The plates are separated by a PVC foil of 0.1 mm thickness. The capacitor is applied to a source of 100 V. Determine

- the capacitance of the capacitor,
- the electric field intensity within the capacitor,
- the charge of the capacitor,
- the force acting on one electron within the capacitor. In which direction does the force act?

Ein Kondensator wurde aus zwei Metallplatten mit den Maßen 20 cm x 40 cm gebaut. Zwischen den Platten befindet sich eine PVC Folie mit 0,1 mm Dicke. Der Kondensator liegt an einer Spannung von 100 V. **Ges.:**

- Die Kapazität des Kondensators,
- die Elektrische Feldstärke im Kondensator,
- die Ladung des Kondensators,
- die Kraft, die auf ein Elektron im Inneren des Kondensators wirkt. Wie ist die Orientierung der Kraft?

## 5 Magnetic Field

## Das magnetische Feld

### 5.1 Current through Conductors

### Der stromdurchflossene Leiter

There are no exercises in this chapter.

Keine Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.

### 5.2 Matter in Magnetic Fields

### Materie im Magnetfeld

There are no exercises in this chapter.

Keine Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.

### 5.3 Magnetic Induction

### Magnetische Induktion

There are no exercises in this chapter.

Keine Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.

### 5.4 Generation by Transformers

### Transformatorische Spannungserzeugung

#### 5.4.1

The primary coil of an ideal Transformer has 1200 turns of wire. You need an AC voltage of 12 V there is only a source of 230 V AC. What are you going to do?

Die Primärwicklung eines idealen Transformators hat 1200 Windungen. Sie benötigen eine Wechselspannung von 12 V, Ihnen stehen 230 V zur Verfügung. Was machen Sie?

## 5.5 Rotatory Generation

There are no exercises in this chapter.

## Rotatorische Spannungserzeugung

Keine Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.

## 6 AC Current

## Wechselstrom

### 6.1 Sinusoidal Currents and Voltages

### Sinusförmige Wechselgrößen

#### 6.1.1

The terminals of a wall outlet are applied to a source of 230 V AC; the line frequency is 50 Hz. Find the peak value of the voltage  $\hat{u}$ , the angular frequency  $\omega$  and the period  $T$

An den Klemmen einer Steckdose liegt eine Wechselspannung von 230 V an; die Netzfrequenz beträgt 50 Hz.

**Ges.:** Scheitelwert der Spannung  $\hat{u}$ , Kreisfrequenz  $\omega$ , Periodenzeit  $T$ .

#### 6.1.2

A resistor  $R$  of 300  $\Omega$  is applied to a sinusoidal voltage of 230 V, 50 Hz. Find voltage and current as a function of time  $t$ .

Ein Ohm'scher Widerstand  $R$  von 300  $\Omega$  liegt an einer sinusförmigen Wechselspannung von 230 V, 50 Hz.

**Ges.:** Tatsächlicher Verlauf der Wechselgrößen Strom und Spannung.

#### 6.1.3

An ideal coil ( $R = 0$ ) is applied to a source of 230 V, 50 Hz. A current meter shows 3 A rms. Calculate inductance, reactance and susceptance of the coil. Find voltage and current as a function of time  $t$ .

Eine ideale Spule ( $R = 0$ ) liegt an 230 V, 50 Hz. Ein Wechselstrommeßgerät zeigt 3 A an.

**Ges.:** Induktivität, Blindwiderstand, Blindleitwert, tatsächlicher Verlauf der Wechselgrößen Strom und Spannung.

#### 6.1.4

A capacitor is applied to a voltage of 110 V, 60 Hz (North America, Japan). A current meter shows 0.6 A rms. Calculate capacitance, reactance and susceptance of the capacitor. Find voltage and current as a function of time  $t$ .

Ein Kondensator liegt an 110 V bei 60 Hz (Nordamerika, Japan). Ein Strom von 0,6 A wird gemessen.

**Ges.:** Kapazität, Blindwiderstand, Blindleitwert, Wechselgrößen  $u, i$ .

#### 6.1.5

Sketch the resistances and reactances to scale versus frequency in a range from 0 to 500 Hz.

$R = 200 \Omega$ ,  $C = 5,3 \mu\text{F}$ ,  $L = 0,48 \text{ H}$ .

What can you conclude?

Stellen Sie die Frequenzabhängigkeit der (Blind-) Widerstände im Bereich von 0 bis 500 Hz dar.

$R = 200 \Omega$ ,  $C = 5,3 \mu\text{F}$ ,  $L = 0,48 \text{ H}$ .

Welche Folgerungen können aus dem Ergebnis gezogen werden.

## 6.2 Phasors, Diagram for Sinusoidal Quantities

Exercises in the next chapter.

### 6.3 Power, Work, Powerfactor

#### 6.3.1

The following devices are separately applied to a power supply of 230 V, 50 Hz one at a time.

$$R = 220 \, \Omega, C = 5 \, \mu\text{F}, L = 0,3 \, \text{H}.$$

Calculate active power, reactive power, apparent power and power factor for each device. Find work and apparent work for an operating time of 4 hours for each device.

#### 6.3.2

The three devices from the previous exercise are now connected to the power supply simultaneously:

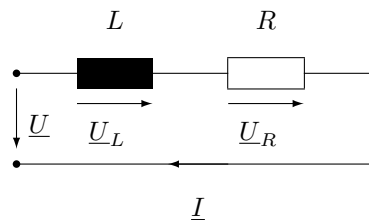
$$R = 220 \, \Omega, C = 5 \, \mu\text{F}, L = 0,3 \, \text{H}.$$

Calculate active-, reactive- and apparent power, current in the power line, phase and sketch a phasor diagram and a power triangle.

## 6.4 AC – Circuits

### 6.4.1

Consider the given circuit with  $R = 240 \, \Omega$  and  $L = 0,3 \, \text{H}$  applied to  $U = 230 \, \text{V}$ ,  $f = 50 \, \text{Hz}$ . Find  $U_L$ ,  $U_R$ ,  $I$ ,  $\varphi$ . Sketch a phasor diagram with respect to  $\underline{I}$ .



## Zeigerbild, eine Darstellung von Wechselgrößen

Übungen im nachfolgenden Kapitel.

### Leistung, Arbeit, Leistungsfaktor

Die folgenden Schaltelemente werden einzeln an 230 V, 50 Hz angeschlossen.

$$R = 220 \, \Omega, C = 5 \, \mu\text{F}, L = 0,3 \, \text{H}.$$

**Ges.:** Für jedes einzelne Bauteil Wirkleistung, Blindleistung, Scheinleistung, Leistungsfaktor, Arbeit bzw. Blindarbeit für 4 Stunden Betrieb.

Die 3 Schaltelemente der vorigen Aufgabe werden gleichzeitig eingeschaltet:

$$R = 220 \, \Omega, C = 5 \, \mu\text{F}, L = 0,3 \, \text{H}.$$

**Ges.:** Wirk-, Blind-, Scheinleistung, Netzstrom, Phasenverschiebungswinkel, Zeigerbild, Leistungsdreieck.

## Wechselstromkreise

Gegeben ist eine Reihenschaltung aus  $R = 240 \, \Omega$  und  $L = 0,3 \, \text{H}$  an  $U = 230 \, \text{V}$  und  $f = 50 \, \text{Hz}$ .

**Ges.:**  $U_L$ ,  $U_R$ ,  $I$ ,  $\varphi$ , Zeigerbild mit Bezug auf  $\underline{I}$ .

## 7 AC Circuits and their Description with Complex Numbers

## Komplexe Berechnung von Wechselstromschaltungen

### 7.1 Complex Voltages and Currents

### Komplexe Spannungen und Ströme

Only abstract exercises for complex numbers.

Hier nur allgemeine komplexe Rechenübungen.

#### 7.1.1

Given that  $\underline{z}_1 = 12 - j18$  and  $\underline{z}_2 = 5 \cdot e^{-j53^\circ}$ , find  $\underline{z}_1$  in polar form and  $\underline{z}_2$  in cartesian form.

Gegeben sei  $\underline{z}_1 = 12 - j18$ ,  $\underline{z}_2 = 5 \cdot e^{-j53^\circ}$ ,

**Ges.:**  $\underline{z}_1$  in Exponentialform,  $\underline{z}_2$  in Komponentenform.

#### 7.1.2

Given that

$$\underline{z}_1 = 4 - j3,$$

$$\underline{z}_2 = 2 + j5,$$

$$\underline{z}_3 = 4 - j6,$$

$$\underline{z}_4 = 1 + j2,$$

find

$$\text{a) } \underline{z}_A = \underline{z}_1 - \underline{z}_2 - \underline{z}_3 + \underline{z}_4,$$

$$\text{b) } \underline{z}_B = \frac{\underline{z}_1 \cdot \underline{z}_2}{\underline{z}_3 \cdot \underline{z}_4},$$

$$\text{c) } \underline{z}_C = \frac{(\underline{z}_1 + \underline{z}_2) \cdot \underline{z}_3}{\underline{z}_4}.$$

**Geg.:**

$$\underline{z}_1 = 4 - j3,$$

$$\underline{z}_2 = 2 + j5,$$

$$\underline{z}_3 = 4 - j6,$$

$$\underline{z}_4 = 1 + j2.$$

**Ges.:**

$$\text{a) } \underline{z}_A = \underline{z}_1 - \underline{z}_2 - \underline{z}_3 + \underline{z}_4$$

$$\text{b) } \underline{z}_B = \frac{\underline{z}_1 \cdot \underline{z}_2}{\underline{z}_3 \cdot \underline{z}_4}$$

$$\text{c) } \underline{z}_C = \frac{(\underline{z}_1 + \underline{z}_2) \cdot \underline{z}_3}{\underline{z}_4}$$

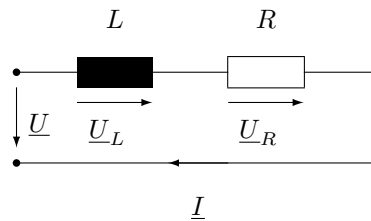
## 7.2 Complex Resistances and Conductances Komplexe Widerstände und Leitwerte

### 7.2.1

Consider the shown circuit with  $R = 240 \Omega$  and  $L = 0.3 \text{ H}$ . It is applied to a power supply of  $U = 230 \text{ V}$  and  $f = 50 \text{ Hz}$ .

Find

- the equivalent complex resistance and conductance of the circuit,
- the complex current  $\underline{I}$  when you assume a voltage  $\underline{U} = (230 + j0) \text{ V}$ ,
- the power angle and compare the result with exercise 6.4.1.



Gegeben ist eine Reihenschaltung aus  $R = 240 \Omega$  und  $L = 0,3 \text{ H}$  an  $U = 230 \text{ V}$  und  $f = 50 \text{ Hz}$ .

**Ges.:**

- Komplexer Widerstand und Leitwert der Gesamtschaltung
- Welcher kompl. Strom  $\underline{I}$  stellt sich ein, wenn Sie  $\underline{U} = (230 + j0) \text{ V}$  annehmen?
- Geben Sie den Phasenverschiebungswinkel an und vergleichen Sie mit Aufgabe 6.4.1.

### 7.2.2

Consider the shown circuit with  $R = 120 \Omega$  and  $C = 6 \mu\text{F}$ . It is applied to a power supply of  $U = 230 \text{ V}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$ .

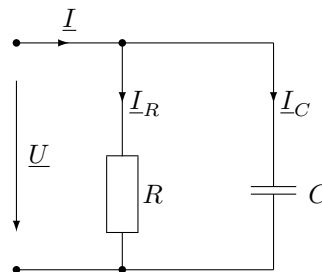
Find

- the equivalent complex resistance and conductance of the circuit,
- the complex voltage and current when you assume that  $\underline{I}$  will have a phase of  $\varphi_i = 0^\circ$ ; Sketch phasors,
- the power angle.

Gegeben ist eine Parallelschaltung aus  $R = 120 \Omega$  und  $C = 6 \mu\text{F}$  an  $U = 230 \text{ V}$  mit  $f = 50 \text{ Hz}$ .

**Ges.:**

- Der komplexe Widerstand und Leitwert der Gesamtschaltung
- $\underline{I}$  habe den Phasenwinkel  $\varphi_i = 0^\circ$ ; stellen Sie die komplexe Spannung und den komplexen Strom dar.
- Phasenverschiebungswinkel





7.2.3

Consider the given circuit with  $C = 220 \mu\text{F}$ ,  $R_1 = 20 \Omega$ ,  $\omega L = 40 \Omega$  and  $R_2 = 5 \Omega$ . It is applied to a power supply of  $\underline{U} = 220 \cdot e^{j30^\circ}$  V and 50 Hz.

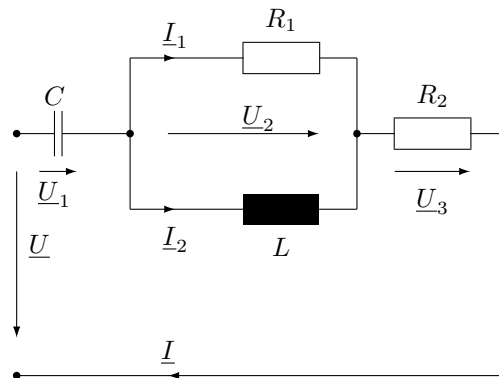
Gegeben ist eine Schaltung mit  $C = 220 \mu\text{F}$ ,  $R_1 = 20 \Omega$ ,  $\omega L = 40 \Omega$  und  $R_2 = 5 \Omega$ . Sie liegt an einer Spannung  $\underline{U} = 220 \cdot e^{j30^\circ}$  V, die Frequenz ist 50 Hz.

Find

- a) the equivalent complex impedance,
- b) the complex current,
- c) the resulting power angle.

Ges.:

- a) Komplexer Widerstand der Gesamtschaltung.
- b) Der sich einstellende komplexe Strom.
- c) Der sich einstellende Phasenverschiebungswinkel.



7.3 Complex Power and Work

Komplexe Leistung und Arbeit

7.3.1

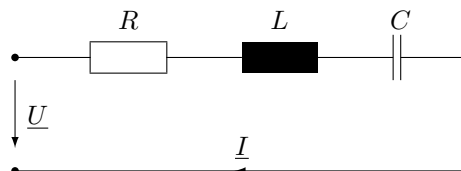
$R = 200 \Omega$ ,  $L = 0.6 \text{ H}$  and  $C = 8 \mu\text{F}$  are connected in series and applied to 230 V and 50 Hz.

Gegeben ist eine Reihenschaltung von  $R = 200 \Omega$ ,  $L = 0,6 \text{ H}$  und  $C = 8 \mu\text{F}$  an einer Spannung von 230 V und 50 Hz.

Find the complex power, the active power, the reactive power, the apparent power as well as the active and reactive work for an operating time of 3 hours

Ges.:

Komplexe Leistung, Wirkleistung, Blindleistung, Scheinleistung sowie die Wirkarbeit und Blindarbeit für 3 Stunden Betrieb.



## 7.3.2

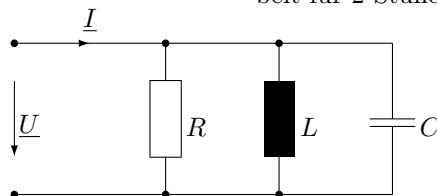
$R = 200 \Omega$ ,  $L = 0.6 \text{ H}$  and  $C = 8 \mu\text{F}$  are connected in parallel. The circuit is applied to 230 V and 50 Hz.

Find the complex power, the active power, the reactive power, the apparent power as well as the active and reactive work for an operating time of 2 hours.

Gegeben ist eine Parallelschaltung von  $R = 200 \Omega$ ,  $L = 0,6 \text{ H}$  und  $C = 8 \mu\text{F}$  an einer Spannung von 230 V und 50 Hz.

**Ges.:**

Komplexe Leistung, Wirkleistung, Blindleistung, Scheinleistung sowie die Wirkarbeit und Blindarbeit für 2 Stunden Betrieb.



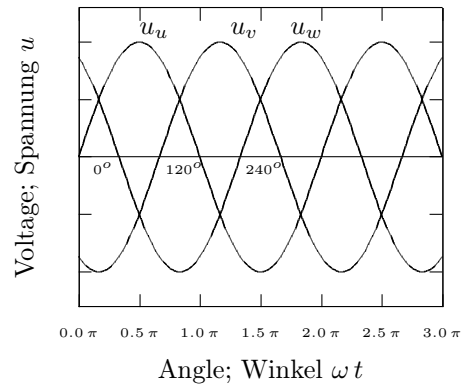
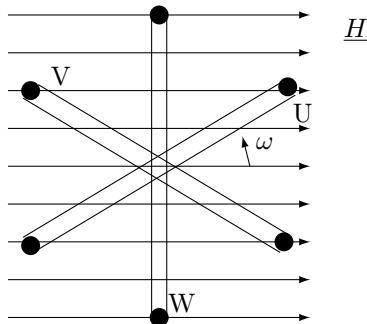
## 8 Three Phase AC Systems

## Drehstrom

Three identical windings (coils) are rotating in a magnetic field. Each windings is shifted by  $120^\circ$  and  $240^\circ$  to the anothers. They are labeld U, V, W in the first instance. In these windings (also called phases) of the described three-phase generator voltages are induced of the same magnitude and frequency. The only difference is that their phases are  $120^\circ$  apart.

In einem Magnetfeld drehen sich drei identische, um je  $120^\circ$  versetzte Spulen, sie werden zunächst mit U, V, W bezeichnet.

In den Spulen eines solchen Drehstromgenerators, auch Stränge genannt, werden Spannungen von gleichem Effektivwert und gleicher Frequenz induziert. Einziger Unterschied ist die Phasenverschiebung von jeweils  $120^\circ$ .



The induced voltage across one phase (here: source, or winding) is

Die in einem Strang induzierte Spannungsamplitude ist

$$\hat{u}_{st} = \sqrt{2} U_{st} = \omega N_{st} \Phi_{max}.$$

The windigs of the coils have standardised connexion designations:

Die Wicklungen der Spulen haben genormte Anschlußbezeichnungen:

Beginning of the windings: U1, V1, W1,  
end of the windings: U2, V2, W2.

Wicklungsanfänge: U1, V1, W1,  
Wicklungsenden: U2, V2, W2.

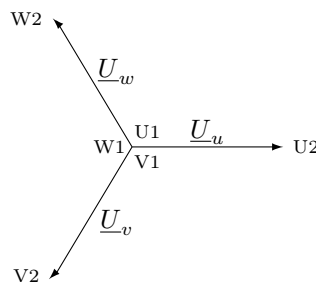
The voltages across each phase (here: source or winding) is given by

Die Gleichungen für die drei Strangspannungen lauten

$$u_u = \sqrt{2} U_{st} \sin \omega t, \quad u_v = \sqrt{2} U_{st} \sin (\omega t - 120^\circ), \quad u_w = \sqrt{2} U_{st} \sin (\omega t - 240^\circ).$$

Phasor diagram of voltages across each phase

Darstellung im Zeigerbild:



### 8.1 Connection of Phases

It is possible to conduct the voltages of the three phases of the generator to three parts of a distant load (again the three loads are called phases) with 6 lines. However, a clever connection of the three sources will reduce the number of necessary lines to four or even three.

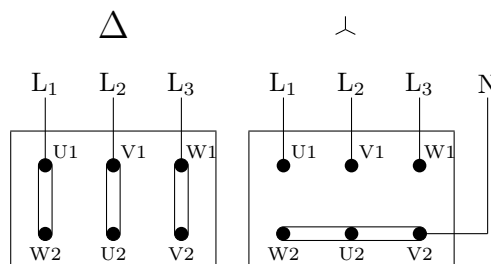
#### Y (Wye) – Connection

The ends of each winding U<sub>2</sub>, V<sub>2</sub>, W<sub>2</sub> are connected with each other at the so called neutral-terminal. The beginnings of each winding are connected to three lines L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub> which go to the distant load (3 line power distribution system). Often a fourth line is added and connected to the neutral terminal. This line is called neutral N (4 line power distribution system). Public low voltage (0,4 kV) distribution systems are designed with four lines.

#### Delta – Connection

The end of one winding or phase (e.g. U<sub>2</sub>) is connected with the beginning of the next winding or phase (V<sub>1</sub>). In doing so 3 terminals are created to which the three lines are connected. There is no possibility to connect the fourth or neutral line (3 line power distribution system). Public high voltage (110 kV ... 400 kV) distribution systems are designed this way.

How to realize delta – and Y – connections with electric motors and generators. They usually have standardised terminal boxes.



### Verkettung der Stränge

Mit sechs Leitern könnten die Spannungen der drei Stränge vom Generator zum Verbraucher geführt werden. Durch „Verkettung“ kann die Zahl der notwendigen Leiter auf vier oder gar drei reduziert werden.

#### Sternschaltung

Die Strangenden U<sub>2</sub>, V<sub>2</sub>, W<sub>2</sub> werden im „Sternpunkt“ miteinander verbunden. Die Stranganfänge U<sub>1</sub>, V<sub>1</sub>, W<sub>1</sub> werden mit drei Leitern, den „Außenleitern“ L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub> verbunden (sog. Drehstrom 3-Leiternetz). Zusätzlich kann der „Neutralleiter“ N, verbunden mit dem Sternpunkt mitgeführt werden (Drehstrom 4-Leiternetz); letzteres ist üblich beim öffentlichen Niederspannungs – Verteilernetz.

#### Dreieckschaltung

Ein Strangende (z.B. U<sub>2</sub>) wird mit dem nächsten Stranganfang (V<sub>1</sub>) verbunden. Die so entstehenden drei Verbindungsstellen werden mit den Außenleitern L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub> verbunden (Drehstrom 3-Leiternetz). Eine solche Verkettung ist üblich bei Hochspannungsnetzen.

Reale Ausführung von Stern- und Dreieckschaltung an genormten Anschlusskästen von Elektromaschinen:

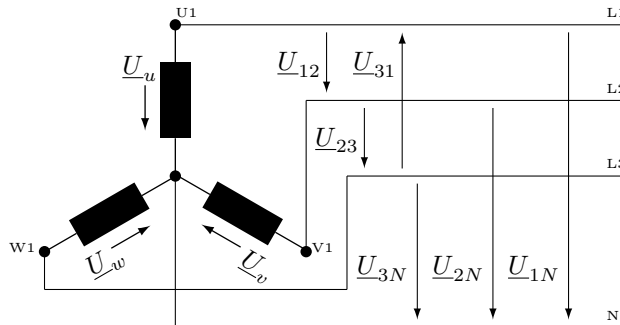
8.2 Electric Quantities when using Delta – and Y – Connection

Elektrische Größen bei Stern- und Dreieckschaltung

Spannungen

Example: Generator in Y – connection

Beispiel eines Generators in Sternschaltung:



The voltages across one phase (here: source)  $\underline{U}_u$ ,  $\underline{U}_v$ ,  $\underline{U}_w$  are same to the line to neutral voltages<sup>5</sup>.

$$\underline{U}_{1N} = \underline{U}_u, \quad \underline{U}_{2N} = \underline{U}_v, \quad \underline{U}_{3N} = \underline{U}_w.$$

or in short:

$$U_\lambda = U_{ph}.$$

But you can also find the higher line to line voltages<sup>6</sup>. With the help of the isosceles triangle (U1, V1, N) it is easy to derive the line to line voltages.

$$U_{12} = 2 U_{ph} \cos 30^\circ = 2 U_{ph} \frac{\sqrt{3}}{2},$$

$$U = U_{12} = \sqrt{3} U_\lambda.$$

Since 1987 the german low voltage distribution system has a line to neutral voltage of 230 V rms and a line to line voltage of 400 V rms (before 1987: 220 / 380 V). How are the voltages in your country?

Die Strangspannungen  $\underline{U}_u$ ,  $\underline{U}_v$ ,  $\underline{U}_w$  sind gleich den Spannungen zwischen Außen- und Neutralleiter:

$$\underline{U}_{1N} = \underline{U}_u, \quad \underline{U}_{2N} = \underline{U}_v, \quad \underline{U}_{3N} = \underline{U}_w.$$

oder kurz:

$$U_\lambda = U_{st}.$$

Aber es sind auch die sog. Außenleiter- oder Dreiecksspannungen zu finden. Aus den gleichschenkligen Dreiecken (z.B. U1, V1, N) ist der Effektivwert der Dreiecksspannung bestimmbar.

$$U_{12} = 2 U_{st} \cos 30^\circ = 2 U_{st} \frac{\sqrt{3}}{2},$$

$$U = U_{12} = \sqrt{3} U_\lambda.$$

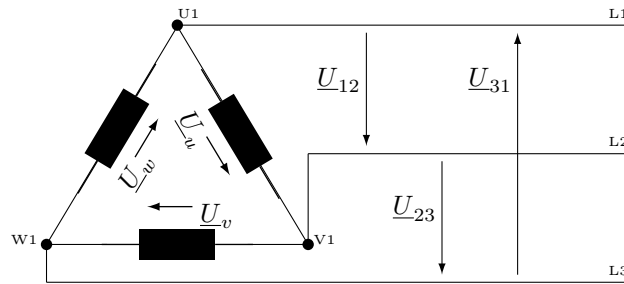
Im öffentlichen Niederspannungsnetz beträgt die Spannung zwischen Außen- und Neutralleiter 230 V. Die Dreiecksspannung wird mit 400 V angegeben (vor 1987: 220 / 380 V).

<sup>5</sup> In German the line to neutral voltage is called "Sternspannung" which means "star voltage". In our case the term Y – voltage is quite ok, however rather unusual.

<sup>6</sup> In German the line to line voltage is called "Dreiecksspannung" which means "triangular voltage". In our case the term delta – voltage is quite ok, however rather unusual.

Example: Generator in delta – connection

Beispiel eines Generators in Dreieckschaltung:



You can only find line to line voltages

Es treten nur Dreiecksspannungen auf

$$\underline{U}_{12} = \underline{U}_u, \quad \underline{U}_{23} = \underline{U}_v, \quad \underline{U}_{31} = \underline{U}_w.$$

$$\underline{U}_{12} = \underline{U}_u, \quad \underline{U}_{23} = \underline{U}_v, \quad \underline{U}_{31} = \underline{U}_w.$$

or in short:

$$U = U_{ph}.$$

oder kurz:

$$U = U_{st}.$$

**Currents**

**Ströme**

OHM's law is still valid for each phase (here: load)

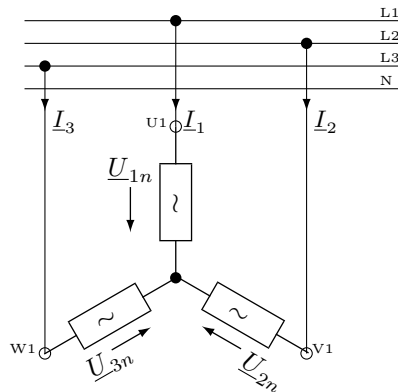
Auch für die einzelnen Stränge gilt

$$I_{ph} = \frac{U_{ph}}{Z}.$$

$$I_{st} = \frac{U_{st}}{Z}.$$

Consider a balanced load in Y – connection

Betrachtet wird ein symmetrischer Verbraucher in Sternschaltung:



According to the fact that the load is balanced you can derive for each phase:

Wegen der Symmetrie gilt für jeden Strang:

$$U_{ph} = U_{\lambda} = \frac{U}{\sqrt{3}}.$$

$$U_{st} = U_{\lambda} = \frac{U}{\sqrt{3}}.$$

Using KIRCHHOFF's current law with neutral terminal as node the phase currents (currents through each single load) are:

$$\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = 0.$$

The line currents  $I$  are equal to the phase currents. They are:

$$I = I_{ph} = \frac{U_{ph}}{Z} = \frac{U}{\sqrt{3}Z}.$$

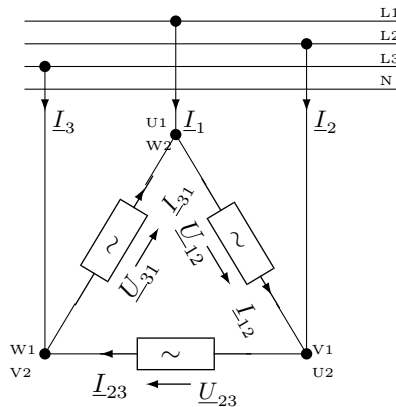
Consider now a balanced load in delta - connection

Nach der Knotenregel, angewandt auf den Sternpunkt gilt für die Strangströme:

Die Ströme  $I$  in den Außenleitern sind gleich den Strangströmen und berechnen sich zu:

$$I = I_{st} = \frac{U_{st}}{Z} = \frac{U}{\sqrt{3}Z}.$$

Betrachtet wird jetzt ein symmetrischer Verbraucher in Dreieckschaltung:



The phase currents can be calculated as:

$$\underline{I}_{12} = \frac{U_{12}}{Z} = \frac{U}{Z}.$$

The line currents  $I$  can be derived with KIRCHHOFF's current law. Use terminal U1/W2 as node:

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_{12} - \underline{I}_{31}.$$

Analog equations can be formulated for the other nodes. We assume furthermore that the load is balanced. In this case the phase of the phase currents  $\underline{I}_{12}$  and  $\underline{I}_{31}$  is  $120^\circ$  apart. With the help of trigonometry we can derive

$$I = \sqrt{3} I_{ph} = \sqrt{3} \frac{U}{Z}.$$

Für die Strangströme (z.B.  $\underline{I}_{12}$ ) gilt:

Die Ströme  $I$  in den Außenleitern sind wiederum mit Hilfe der Knotenregel zu bestimmen. Angewandt auf den Knoten, gebildet von den Anschlüssen W2 und U1 lautet sie:

Für die beiden anderen Knoten können analoge Gleichungen aufgestellt werden. Bei den hier vorausgesetzten symmetrischen Verbrauchern haben die Strangströme  $\underline{I}_{12}$  und  $\underline{I}_{31}$  eine Phasenlage von  $120^\circ$ . Aus Geometriebetrachtung kann für den Strom  $I$  in jedem Außenleiter gefolgert werden:

$$I = \sqrt{3} I_{st} = \sqrt{3} \frac{U}{Z}.$$

### 8.3 Power, Power Factor, Work

### Leistung, Leistungsfaktor, Arbeit

The (active) power, delivered to one phase (here: load) is:

$$P_{ph} = U_{ph} I_{ph} \cos \varphi.$$

The total power of all three phases is:

$$P = 3 P_{ph} = 3 U_{ph} I_{ph} \cos \varphi.$$

It is independent in which way the phases are connected. Even when the power is to be calculated with line current  $I$  and line to line voltage  $U$  and you must decide whether there is a delta – or Y – connection, the results are identically.

Using Y – connection it is

$$P = 3 \frac{U}{\sqrt{3}} I \cos \varphi = \sqrt{3} U I \cos \varphi.$$

Using delta – connection it is

$$P = 3 U \frac{I}{\sqrt{3}} \cos \varphi = \sqrt{3} U I \cos \varphi.$$

In systems with balanced sources and loads the (active) power can be calculated as

$$P = \sqrt{3} U I \cos \varphi,$$

the reactive power as

$$Q = \sqrt{3} U I \sin \varphi,$$

and the apparent power as

$$S = \sqrt{3} U I = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

Remember:

$U$ : Line to line voltage or delta voltage (e.g. 400 V in public distribution systems),

$I$ : Line current (current through one of the lines  $L_1$ ,  $L_2$  or  $L_3$ )

$\varphi$ : Power angle i.e. angle between line to line voltage and line current.

Also in three-phase AC systems the power factor is

$$\lambda = \frac{|P|}{S} = |\cos \varphi|.$$

Die in einem Strang umgesetzte Wirkleistung berechnet sich zu:

$$P_{st} = U_{st} I_{st} \cos \varphi.$$

Die gesamte Wirkleistung aller drei Stränge ist dann:

$$P = 3 P_{st} = 3 U_{st} I_{st} \cos \varphi.$$

Dies ist unabhängig, wie die drei Stränge verketten sind. Selbst wenn mit Außenleiterströmen  $I$  und Dreiecksspannungen  $U$  die Drehstromleistung bestimmt werden soll, also zwischen Stern- und Dreieckschaltung unterschieden wird, sind die Ergebnisse identisch.

Bei Sternschaltung gilt:

Bei Dreieckschaltung gilt:

In nach wie vor symmetrischen Netzen gilt bei symmetrischer Belastung für die Wirkleistung:

für die Blindleistung:

und für die Scheinleistung:

Hierbei ist:

$U$ : Dreiecksspannung (z.B. 400 V im öffentlichen Niederspannungsnetz),

$I$ : Strom im Außenleiter,

$\varphi$ : Phasenverschiebungswinkel zwischen Strangspannung und Strangstrom.

Auch bei Drehstromsystemen gilt für den Leistungsfaktor:



When we assume constant power, the work can be calculated by multiplying with the operating time  $t$ :

(active) work:  $W = P t$ ,  
 reactive work:  $W_q = Q t$ ,  
 apparent work:  $W_s = S t$ .

Die Arbeiten werden bei konstanter Leistung durch Multiplikation mit der Zeit  $t$  berechnet:

Wirkarbeit:  $W = P t$ ,  
 Blindarbeit:  $W_q = Q t$ ,  
 Scheinarbeit:  $W_s = S t$ .

## 8.4 Summary

## Zusammenfassung

Comparison of Y – and Delta – Connection				
Vergleich zwischen Stern- und Dreieckschaltung				
		Y – Connection $\star$	Delta – connection $\Delta$	Ratio $\star : \Delta$
		Sternschaltung $\star$	Dreieckschaltung $\Delta$	Verhältnis $\star : \Delta$
Phase voltage $U_{ph}$	Strangspannung $U_{st}$	$\frac{U}{\sqrt{3}}$	$U$	$1 : \sqrt{3}$
Phase current $I_{ph}$	Strangstrom $I_{st}$	$\frac{U}{\sqrt{3}Z}$	$\frac{U}{Z}$	$1 : \sqrt{3}$
Line current $I$	Außenleiterstrom $I$	$\frac{U}{\sqrt{3}Z}$	$\frac{\sqrt{3}U}{Z}$	$1 : 3$
(Active) power $P$	Wirkleistung $P$	$\frac{U^2}{Z} \cos \varphi$	$\frac{3U^2}{Z} \cos \varphi$	$1 : 3$
Reactive power $Q$	Blindleistung $Q$	$\frac{U^2}{Z} \sin \varphi$	$\frac{3U^2}{Z} \sin \varphi$	$1 : 3$
Apparent power $S$	Scheinleistung $S$	$\frac{U^2}{Z}$	$\frac{3U^2}{Z}$	$1 : 3$
<b><math>U</math> without any subscript means line to line voltage, mostly 400 V!</b>				
<b><math>U</math> ohne Index bedeutet Dreiecksspannung, meist 400 V!</b>				

**8.4.1**

A three-phase electric kiln (furnace, oven) in delta – connection receives 10 kW. It is applied to a 230/400 V distribution system.

Find

- a) the resistance of one phase,
- b) line current and phase current.
- c) Calculate  $P$ ,  $I$  and  $I_{ph}$  for the same kiln in Y – connection.

**8.4.2**

A three-phase asynchronous motor is delta – connected to a 230/400 V – distribution system. Under nominal load the following values are known: Aktive power 11 kW, power factor  $\lambda = 0.85$ .

- a) Sketch the necessary connections in the standardised terminal box of the motor?
- b) Calculate line current and phase current.
- c) Find reactive and apparent power.

Ein Drehstromofen nimmt in Dreieckschaltung 10 kW auf. Er wird an einem 400/230 V – Netz betrieben.

Ges:

- a) Widerstand eines Heizstranges,
- b) Außenleiter- und Strangstrom,
- c) Wie stellen sich  $P$ ,  $I$  und  $I_{St}$  für Sternschaltung ein?

Ein Drehstrommotor ist in Dreieckschaltung an ein 230/400 V – Netz anzuschließen. Bei Nennlast sind folgende Daten bekannt: El. Wirkleistung 11 kW, Leistungsfaktor  $\lambda = 0,85$ .

- a) Wie ist der genormte Anschlusskasten zu beschalten?
- b) Welcher Außenleiterstrom, welcher Strangstrom stellt sich ein?
- c) Wie groß ist Blind- und Scheinleistung?