Elektrotechnik 2. Klasse

Ing. Volker Regenfelder

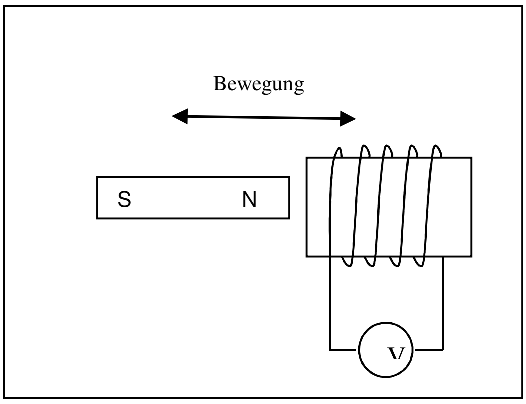
Lehrmittel:

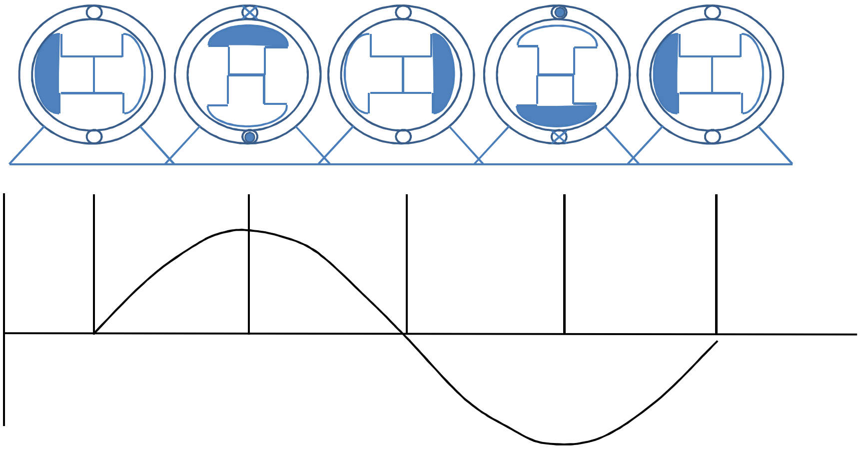
Fachkundebuch Europaverlag 26 Auflage 2009
Fachrechenbuch Europaverlag
Diverses Anschauungsmaterial

LEHRSTOFFÜBERSICHT

1. WECHSELSTROMGRÖßEN

Für Wechselspannung (-strom) gibt es auch die Abkürzung AC (alternating current = Wechselstrom). Siehe Fachkunde Buch Seite 122 Abb.2 und 3





Jedesmal, wenn der Magnet hinein- und herausbewegt wird oder eine ganze Umdrehung macht, wird eine Periode (pos. und neg. Halbwelle) induziert.Die Spannung wird also nach dem Generatorprinzip erzeugt.

1.1. Kenngrößen des Wechselstromes

Buch Seite 120

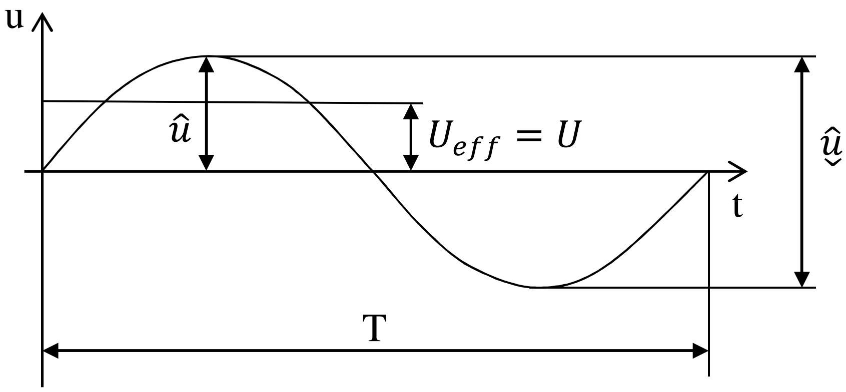
1.1.1. Periode, Scheitelwert und Effektivwert.

Eine Periode besteht aus einer **positiven** und einer **negativen** Halbwelle eines Wechselstromes oder einer Wechselspannung.

Buch Seite 126 Bild 2

Legende: erarbeiten durch Schüler

Sprich: U dach, U effektiv und U Spitze-Tal (früher Spitze-Spitze)



Effektivwert: U, $u_{eff.}$ Der Effektivwert des Wechselstromes ist so groß, wie ein Gleichstrom mit der gleichen Wärmewirkung.

Messgeräte zeigen immer Effektivwerte an !

Scheitelwert: û, Maximalwert, Amplitudenwert, Höchstwert, Spitzenwert, ist der höchste Wert einer Halbwelle.

$$\boxed{I_{eff} = I = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}}; U_{eff} = U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}}$$

Legende:

I_{eff}, I	Effektivstrom in A
U_{eff}, U	Effektivspannung in V
î	Maximal-, Scheitelstrom in A
û	Maximal-, Scheitelspg in V

1.1.2. Frequenz und Periodendauer

Periodendauer: ist die Dauer einer vollständigen Periode (2 Halbwellen).

Frequenz: Ist die Anzahl der Perioden in 1 Sekunde.

$$\boxed{f = \frac{1}{T}; \quad T = \frac{1}{f}}$$

Legende:
f ....Frequenz in Hz (Hertz)
T ....Periodendauer in s

Unsere Netzwechselspannung hat eine Frequenz von 50 Hz und eine Periodendauer von 20 ms.

1.1.3. Kreisfrequenz

Die Kreisfrequenz ω (Omega)ist die Frequenz des drehenden Zeigers im Bogenmaß. Die Sinusform entsteht durch die Kreisbewegung.

$$\boxed{\omega = 2 \cdot \pi \cdot f}$$

Legende:
ω Kreisfrequenz

$$Einheit: \frac{1}{s} \; oder \; s^{-1}$$

1.1.4. Frequenz und Maschinendrehzahl

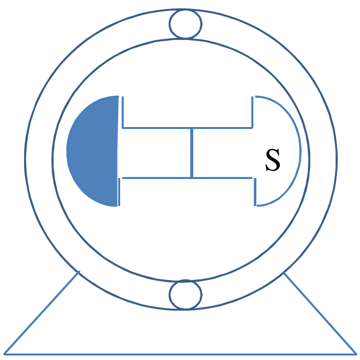
Da eine Periode aus einer pos. und einer neg. Halbwelle besteht, und dies nur mit einem Polpaar (2 Pole/Norden und Süden) erzeugt werden kann, ist die Polpaarzahl zur Umdrehungszahl zu multiplizieren.

$$\boxed{f = \frac{p \cdot n}{60}}$$

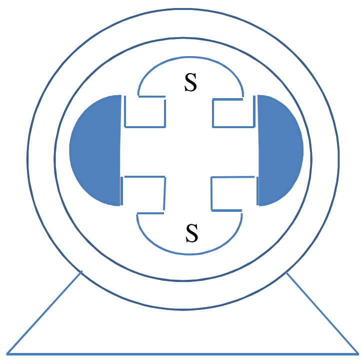
Legende:
f.........Frequenz in Hz
p ....Polpaarzahl (Anzahl der Pole / 2)
n ....Drehzahl in min^{-1}
60 ......Umrechnungsfaktor min. ⇒ sec.

Aufgabe: Mit welcher Drehzahl dreht sich ein Motor mit 2 Polpaaren in unserem Netz?

Polrad hat 2 Pole = 1 Polpaar
Polpaarzahl = 1



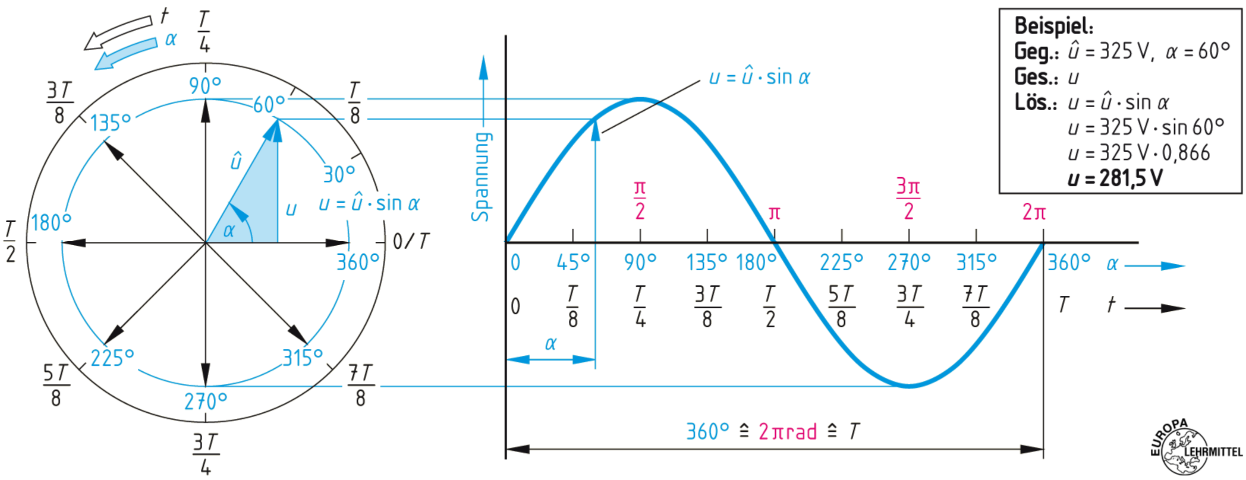
Polrad hat 4 Pole = 2 Polpaare
Polpaarzahl = 2



1.2. Sinusform der Wechselspannung

Buch Seite 124

1.2.1. Zeigerdarstellung



FK Elektrotechnik Europa 2009 S 124 (Bild 2)

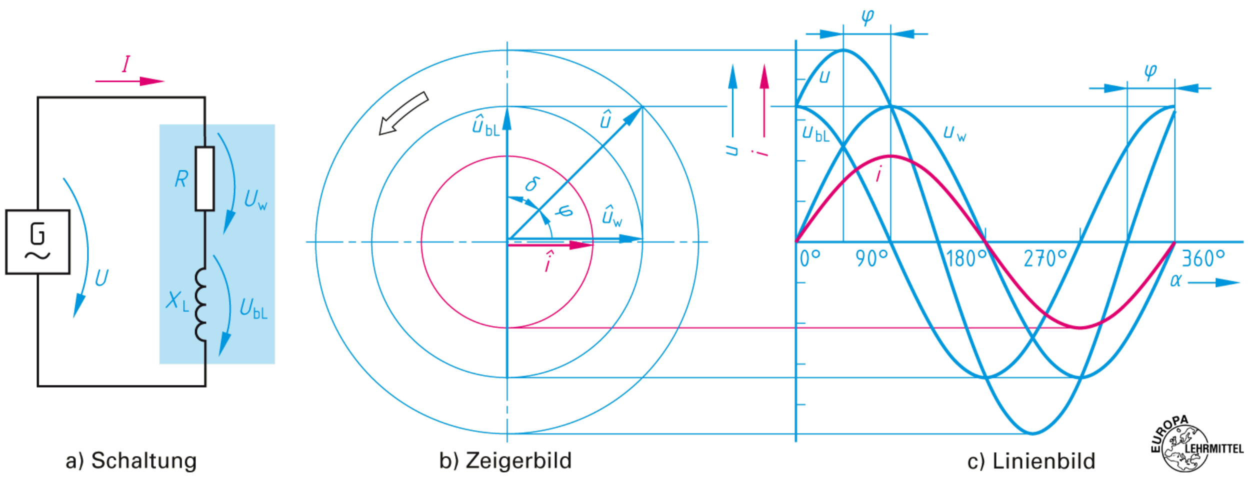
Folgende Vereinbarungen gelten:

- ☞ Zeigerlänge = Wechselgröße (u, i)
- ☞ Drehzahl des Zeigers = Frequenz der Sinuslinie
- ☞ Zeigerdrehrichtung ist entgegen dem Uhrzeigersinn

1.2.2. Addition von Sinusspannungen:

vertieft

U_w und U_{bL} müssen in Zeigerform vektoriell zusammengezählt werden (Hintereinanderlegen der Vektoren) und in Sinusform werden die Augenblickswerte addiert..



FK Elektrotechnik Europa 2009 S 131 (Bild 2)

1.2.3. Phasenverschiebung

Durch unterschiedliche Belastung wie kapazitiv (durch einen Kondensator) und/oder induktiv (durch eine Spule) sind Strom und Spannung nicht gleichzeitig beim Nulldurchgang der Perioden.

Beim **ohmschen Widerstand** sind Strom und Spannung (Spannungsabfall durch den Strom) **immer in Phase** (ohne Verschiebung).

Die Phasenverschiebung wird in einem Winkel dem Phasenverschiebungswinkel φ angegeben (meist als cos φ).

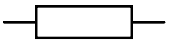
Siehe Kennlinie 1.2.2. Die Verschiebung von U_w und U_{bL} ergibt für U einen Winkel von 45°, da beide gleich groß sind.

2. WECHSELSTROMWIDERSTÄNDE

2.1. Wirkwiderstand

Buch Seite 128

So wird ein Widerstand bezeichnet, der im Wechselstromkreis die gleiche Wirkung hat, wie im Gleichstromkreis (z. B.: Glühlampe, Heizofen).

Schaltzeichen:  Formelzeichen: R Einheit: Ω

Am Wirkwiderstand sind Spannung und Strom phasengleich ($\varphi = 0°$, $\cos \varphi = 1$).

2.2. Scheinwiderstand

Buch Seite 128

Unter Scheinwiderstand versteht man, den aus den Messwerten (Effektivwerten) von Wechselspannung und Wechselstrom ermittelten Widerstand.

Schaltzeichen: 

Formelzeichen: Z Einheit: Ω

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

Legende:
Z ....Scheinwiderstand. in Ω
U ....Effektivwert Wechselspannung in V
I...........Effektivwert Wechselstrom in A

2.3. Induktiver Blindwiderstand

Buch Seite 129

Spule an Gleichspannung ⇒ hoher Strom, Spule an Wechselspannung ⇒ kleiner Strom.

Folgerung: Spule an Wechselspannung hat einen zusätzlichen Innenwiderstand = induktiver Blindwiderstand X_L.

Schaltzeichen:  Formelzeichen: X_L Einheit: Ω

$$\boxed{X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L}$$

Legende:
X_L ....ind. Blindwid. in Ω
ω.........Kreisfrequenz in s^{-1}
f ....Frequenz in Hz (Hertz)
L ....Induktivität in H (Henry)

Ursache ist die Selbstinduktion: (Betrachtet wird ein rein induktiver Verbraucher)

Der Strom wird zuerst für den Aufbau des Magnetfeldes benötigt.

I_L ist U um 90° nacheilend

Es fließt nur soviel Blindstrom (kein Wirkstrom), um jenen magnetischen Fluss aufzubauen, der die gleiche Selbstinduktionsspannung erzeugt, wie die angelegte Spannung.

vertieft

Reihenschaltung von L:	Parallelschaltung von L:
$L = L_1 + L_2 + L_3 + \ldots$	$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \ldots$
$X_L = X_{L1} + X_{L2} + X_{L3} + \ldots$	$\frac{1}{X_L} = \frac{1}{X_{L1}} + \frac{1}{X_{L2}} + \frac{1}{X_{L3}} + \ldots$

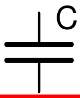
2.4. Kapazitiver Blindwiderstand

Buch Seite 137

Der Kondensator speichert Energie in Form einer Spannung, welche zuerst aufgebaut werden muss.

I_C ist U um 90° voreilend

I_C ist ein Blindstrom, da der Kondensator beim Laden Energie (W) aufnimmt und beim Entladen diese Energie wieder abgibt.

Schaltzeichen: 

Formelzeichen: X_C

Einheit: Ω

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

Legende:
X_C......kap. Blindwid. in Ω
ω........Kreisfrequenz in s^{-1}
f.........Frequenz in Hz
C........Kapazität in F (Farad)

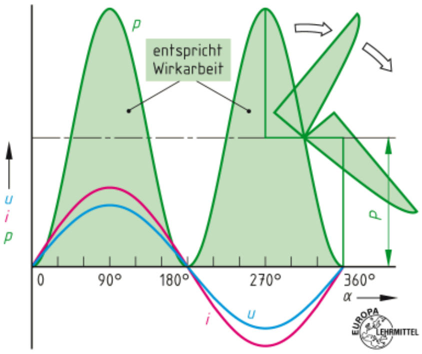
vertieft

Serienschaltung	Parallelschaltung
$X_C = X_{C1} + X_{C2} + X_{C3} + \ldots$	$\frac{1}{X_C} = \frac{1}{X_{C1}} + \frac{1}{X_{C2}} + \frac{1}{X_{C3}} + \ldots$
$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots$	$C = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots$

2.5. Wechselstromleistung

Buch Seite 134

2.5.1. Wirkleistung



FK Elektrotechnik Europa 2009 S 126/134 (Bild 1)

Zur Bestimmung der Wirkleistung multipliziert man die Augenblickswerte von Strom und Spannung. So erhält man ein neue Sinuskurve mit doppelter Frequenz, welche ausschließlich im positiven Bereich liegt.

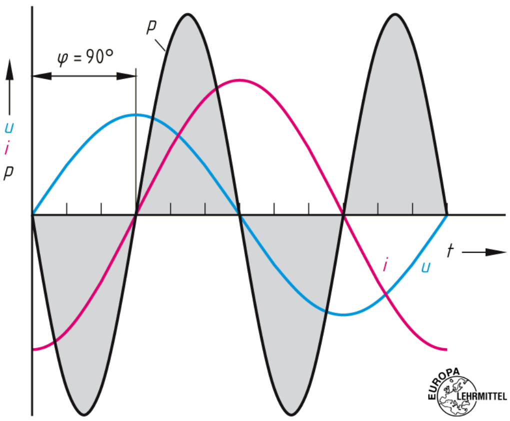
Der Effektivwert der Leistung liegt bei der gedachten Nullinie der Leistungskurve.

$$\boxed{\begin{gathered} \mathbf{P = U_{eff} \cdot I_{eff}} \\ P = \tfrac{1}{2}\,\hat{p} \end{gathered}}$$

Legende:
P ....Wirkleistung in W
U_{eff} ......Spgseffektivwert in V
I_{eff}........Stromeffektivwert in A

2.5.2. Blindleistung

Hier ist der Strom um 90° nacheilend: Induktivität.



Fachkunde Elektrotechnik 2009 S 135 (Bild 1)

Wird bei einer reinen Induktivität oder Kapazität (φ = 90°) die Augenblickswerte von Strom und Spannung multipliziert, so erhält man zwei gleich große positive und negative Leistungsflächen.

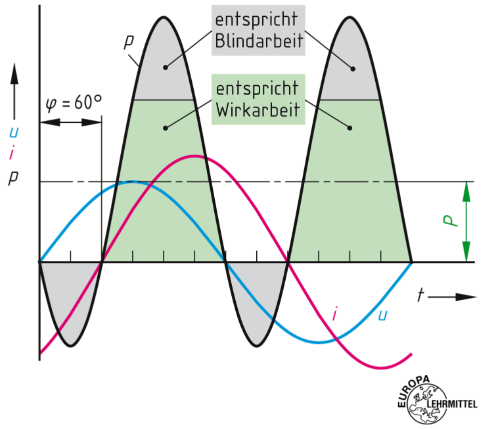
Positive Leistungsfläche: Leistungsaufnahme aus dem Netz.

Negative Leistungsfläche: Leistungsrückgabe ans Netz.

Die Leistung pendelt also zwischen Netz und Verbraucher mit der doppelten Frequenz hin und her. Sie hat keine Wirkung.

Formelzeichen: Q **Einheit: var (VoltAmpereReaktiv)**

2.5.3. Scheinleistung



Fachkunde Elektrotechnik 2009 Seite 134 (Bild 3)

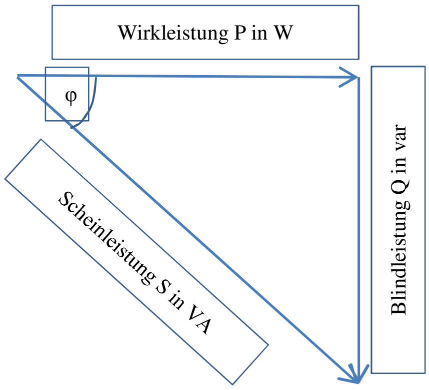
Die Multiplikation der Messwerte von Spannung (V-Meter) und phasenverschobenen Strom (A-Meter) ergibt eine scheinbare Leistung ⇒ Scheinleistung.

Auch hier wird negative Leistung an das Netz zurückgegeben.

$$\boxed{S = U \cdot I}$$

Legende:
S..........Scheinleistung in VA
U ....Spannung in V
I...........Strom in A

2.5.4. Leistungsdreieck



$S^2 = P^2 + Q^2 \Rightarrow S = \sqrt{P^2 + Q^2}$		
$\cos\varphi = \frac{P}{S}$	$P = S \bullet \cos\varphi$	$P = U \times I \times \cos\varphi$
$\sin\varphi = \frac{Q}{S}$	$Q = S \bullet \sin\varphi$	$Q = U \bullet I \bullet \sin\varphi$

Legende:

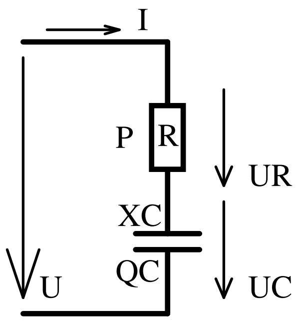
S	Scheinleistung in VA
P	Wirkleistung in W
Q	Blindleistung (kap. od. ind.) in var
cos φ	Wirk- oder Leistungsfaktor: Ist das Verhältnis von Wirk- zu Scheinleistung
sin φ	Blindleistungsfaktorfaktor

3. WIDERSTANDSSCHALTUNGEN

3.1. Reihenschaltung von Wirk- und Blindwiderständen

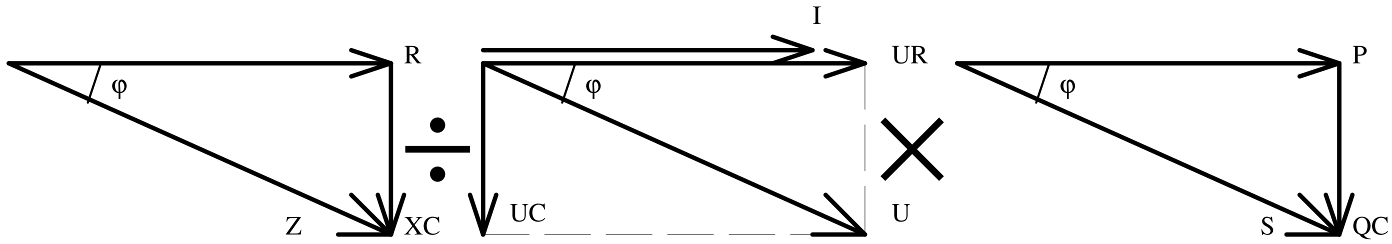
Buch Seite 138

3.1.1. Reihenschaltung von R und X_C



Die gemeinsame Größe für beide Widerstände ist bei der Reihenschaltung der Strom. U_R ist mit I phasengleich, U_C ist 90° nacheilend, die Resultierende ist U. Der Winkel zwischen U und I ist der Phasenverschiebungswinkel φ.

Dividiert man die Teilspannungen durch den Strom, so erhält man das Widerstandsdreieck und multipliziert man mit dem Strom, so ergibt sich das Leistungsdreieck.



Widerstandsdreieck	Spannungsdreieck	Leistungsdreieck
$R = \frac{U_R}{I}$	$U_R = I \cdot R$	$P = U_R \cdot I$
$X_C = \frac{U_C}{I}$	$U_B = I \cdot X$	$Q_C = U_C \cdot I$
$Z = \frac{U}{I}$	$U = I \cdot Z$	$S = U \cdot I$
$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$	$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2}$	$S = \sqrt{P^2 + Q_C^2}$
$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{U_R}{U} = \frac{P}{S}$	$\sin\varphi = \frac{X_C}{Z} = \frac{U_C}{U} = \frac{Q_C}{S}$	$\tan\varphi = \frac{X_C}{R} = \frac{U_C}{U_R} = \frac{Q_C}{P}$
$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$	$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$	

Legende:

U_R .... ohm. Spg.-sabfall in V
U_C .... kap. Spg.sabfall an X_C
U .... Gesamtspannung in V
R .... ohm. Wid. in Ω
X_C .... kap. Blindwid. in Ω

Z ....Scheinwid. in Ω
P ....Wirkleistung in W
Q_C ....kap. Blindleistung in var
S ....Scheinleistung in VA

3.1.2. Reihenschaltung aus R und X_L.

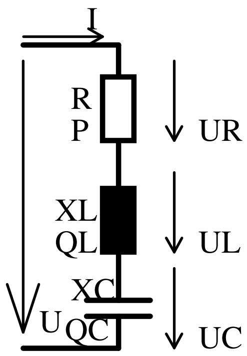
Buch Seite 130

Die gemeinsame Größe für beide Widerstände ist bei der Reihenschaltung der Strom. U_R ist mit I phasengleich, U_L ist 90° voreilend, die Resultierende ist U. Der Winkel zwischen U und I ist der Phasenverschiebungswinkel φ.

Reihenschaltung aus R und X_L ist analog zu Reihenschaltung aus R und X_c.
Schüler entwickeln die Schaltung, Dreiecke und Formeln.

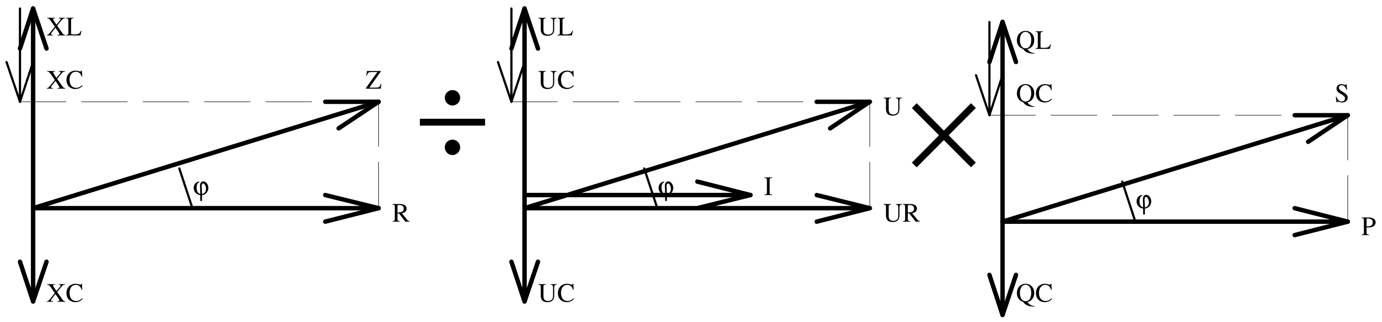
3.1.3. Reihenschaltung von R, X_L und X_C

Buch Seite 139



Annahme: $X_L > X_C$ d. h.: der Strom erzeugt über X_L einen größeren Spannungsabfall als über X_C.

Gegenüber I ist U_L um 90° voreilend und U_C um 90° nacheilend. Die zahlenmäßige Differenz der beiden Blindspannungen U_L und U_C ist zu ermitteln und mit dieser ist im Spannungsdreieck zu rechnen. Sonst gelten die Formeln wie besprochen.



Widerstände:	Spannungen:	Leistungen:
$X = X_L - X_C$ $\left(\vec{X} = \vec{X}_L + \vec{X}_C\right)$	$U_B = U_L - U_C$ $\left(\vec{U}_B = \vec{U}_L + \vec{U}_C\right)$	$Q = Q_C - Q_L$ $\left(\vec{Q} = \vec{Q}_L + \vec{Q}_C\right)$
$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$	$U = \sqrt{U_R^2 + U_B^2}$	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

Winkel:

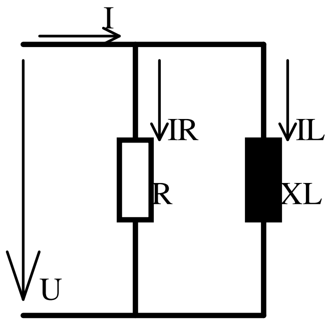
$\cos\varphi = \frac{U_R}{U} = \frac{R}{Z} = \frac{P}{S}$	$\sin\varphi = \frac{U_B}{U} = \frac{X}{Z} = \frac{Q}{S}$	$\tan\varphi = \frac{U_B}{U_R} = \frac{X}{R} = \frac{Q}{P}$

Rechenbeispiel: Europabuch FR ab Seite 102

3.2. Parallelschaltung von Wirk- und Blindwiderständen

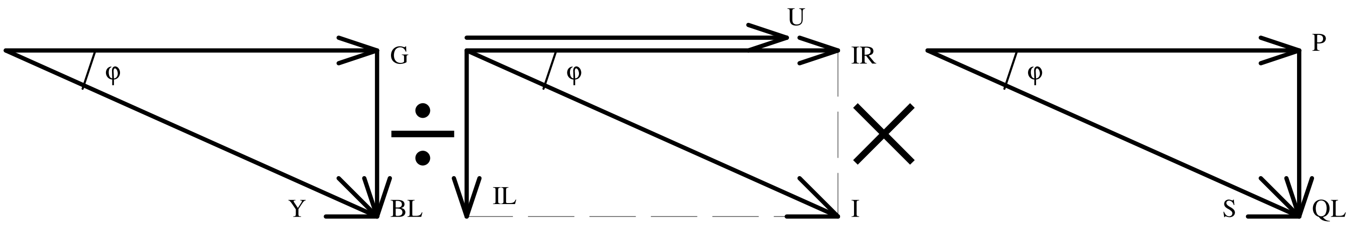
Buch Seite 133 und 140

3.2.1. Parallelschaltung von R und X_L



Die gemeinsame Größe für beide Widerstände ist bei der Parallelschaltung die Spannung. I_R ist mit U phasengleich, I_L ist 90° nacheilend, Resultierende ist I. Der Winkel zwischen U und I ist der Phasenverschiebungswinkel φ.

Dividiert man die Teilströme durch die Spannung, so erhält man das **Leitwertdreieck**, multipliziert man sie, so erhält man das Leistungsdreieck.



Leitwertdreieck	Stromdreieck	Leistungsdreieck
$G = \frac{1}{R} = \frac{I_R}{U}$	$I_R = \frac{U}{R}$	$P = U \cdot I_R$
$B_L = \frac{1}{X_L} = \frac{I_L}{U}$	$I_L = \frac{U}{X_L}$	$Q_L = U \cdot I_L$
$Y = \frac{1}{Z} = \frac{I}{U}$	$I = \frac{U}{Z}$	$S = U \cdot I$
$Y = \sqrt{G^2 + B_L^2}$	$I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$	$S = \sqrt{P^2 + Q_L^2}$
$\cos\varphi = \frac{G}{Y} = \frac{I_R}{I} = \frac{P}{S}$	$\sin\varphi = \frac{B}{Y} = \frac{I_L}{I} = \frac{Q_L}{S}$	$\tan\varphi = \frac{B}{G} = \frac{I_L}{I_R} = \frac{Q_L}{P}$

Analog dazu ist die Parallelschaltung von R und X_C

Legende:

I_R .... Strom über den ohm. Wid. in A
I_L .... Strom ü. d. ind. Blindwid. in A
I............. resultierender Strom in A
P............ Wirkleistung in W
S............ Scheinleistung in VA

G............ohm. Leitwert in S (Siemens)
B_L ....ind. Blindleitwert in S
Y............Scheinleitwert in S
Q_L ....ind. Blindleistung in var

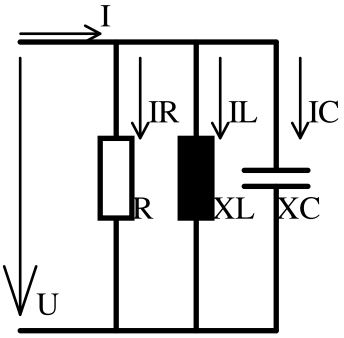
3.2.2. Parallelschaltung von R und X_L

Die gemeinsame Größe für beide Widerstände ist bei der Parallelschaltung die Spannung. I_R ist mit U phasengleich, I_L ist 90° nacheilend, die Resultierende ist I. Der Winkel zwischen U und I ist der Phasenverschiebungswinkel φ.

Parallelschaltungschaltung aus R und X_L ist analog zu Parallelschaltung aus R und X_C.
Schüler entwickeln die Schaltung, Dreiecke und Formeln.

3.2.3. Parallelschaltung von R, X_L und X_C

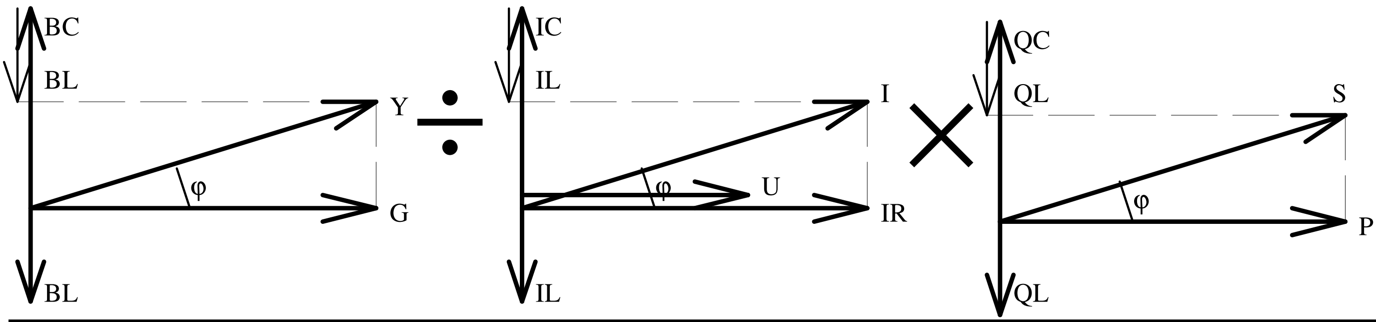
Buch Seite 143



I_R ist mit U phasengleich, I_L ist U um 90° nacheilend, I_C ist um 90° voreilend.

Die zahlenmäßige Differenz der beiden Blindströme I_C und I_L ist zu ermitteln und mit diesem verbleibenden Blindstrom I_B ist im Stromdreieck zu rechnen. Sonst gelten die Formeln wie besprochen.

Annahme: $X_C < X_L$:



Leitwerte:	Ströme:	Leistungen:
$B = B_C - B_L$ $\left(\vec{B} = \vec{B}_L + \vec{B}_C\right)$	$I_B = I_C - I_L$ $\left(\vec{I}_B = \vec{I}_L + \vec{I}_C\right)$	$Q = Q_C - Q_L$ $\left(\vec{Q} = \vec{Q}_L + \vec{Q}_C\right)$
$Y = \sqrt{G^2 + B^2}$	$I = \sqrt{I_R^2 + I_B^2}$	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

Winkel:

$\cos\varphi = \frac{I_R}{I} = \frac{G}{Y} = \frac{P}{S}$	$\sin\varphi = \frac{I_B}{I} = \frac{B}{Y} = \frac{Q}{S}$	$\tan\varphi = \frac{I_B}{I_R} = \frac{B}{G} = \frac{Q}{P}$

3.3. Verlustleistung (vertieft):

3.3.1. Verlustleistung bei Spulen:

Buch Seite 136

Bei realen Spulen treten Verluste auf, welche in Wärme umgesetzt werden.

Die Differenz zwischen aufgenommener und abgegebener elektrischen Leistung nennt man die **Verlustleistung**.

Wicklungsverluste, durch den Leiterwiderstand, treten bei Gleich- und Wechselstrom auf.
Eisenverluste, durch die Ummagnetisierung und den Induktionsströmen (im Spulenkern), treten nur bei Wechselstrom auf.

Alle Verluste werden in Wärme umgesetzt und werden daher als **zusätzlicher Wirkwiderstand R in Reihe** zur Spule in der Ersatzschaltung für reale Spulen eingezeichnet.

3.3.2. Verlustleistung bei Kondensatoren

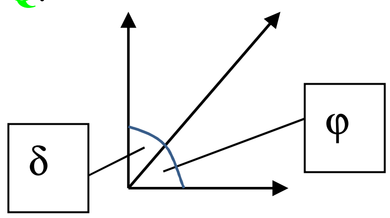
Buch Seite 141

Bei realen Kondensatoren enstehen Verluste, welche ebenfalls in Wärme umgesetzt werden.

Dielektrische Verluste entstehen bei Wechselstrom durch das Ändern der Molekuardipole im Dieelektrikum.
Strömwärmeverluste treten bei Wechselstrom und Gleichstrom dadurch auf, dass die Metallfolien als elektrischer Leiter einen Wirkwiderstand haben.

Alle Verluste werden in Wärme umgesetzt und werden daher **als zusätzlicher Wirkwiderstand R parallel** zum Kondensator in der Ersatzschaltung für reale Kondensatoren eingezeichnet.

Infolge der Verluste ist der Phasenverschiebungswinkel nicht genau 90° sondern stets kleiner. Die Differenz 90° - φ bezeichnet man als **Verlustwinkel δ (Delta)**. Der Tangens des Verlustwinkel wird **Verlustfaktor d** genannt und der Kehrwert ist der **Gütefaktor Q**.

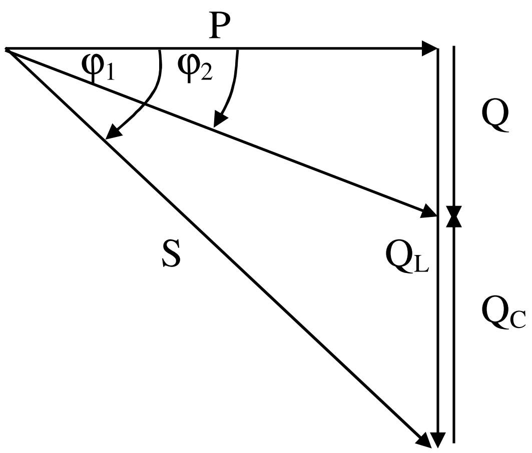


4. WECHSELSTROMKOMPENSATION

Buch Seite 156

Die induktive Blindleistung und die kapazitive Blindleistung sind um 180° phasenverschoben, dh. der Kondensator liefert immer dann Blindenergie in das Netz, wenn die Induktivität der Drossel Blindenergie aufnimmt. Bleibt die Wirkleistung gleich, so sinken die Scheinleistung und die Stromstärke.
Man nennt das Ausgleichen der induktiven durch die kapazitive Blindleistung **KOMPENSATION** . Buch Seite 156 Bild 2

$$Q_C = Q_L - Q$$



$$Q_c = P \cdot (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$$

Durch die Kompensation wird das Netz der EVU`s entlastet. Buch Seite 156 Bild 3
Man ist erstrebt eine Kompensation von cosφ 0,9 – 0,95 zu erreichen.
Den Fachmann interessiert nur wie groß der Kondenssator gewählt werden muss.

Man unterscheidet:

- **Einzelkompensation**: jeder Motor hat seinen eigenen Kompensationskondensator
- **Gruppenkompensation**: mehrere Verbraucher werden von einem Kondensator kompensiert.
- **Zentralkompensation**: eine zentrale Kondensatorbatterie kompensiert einen ganzen Betrieb. Der cosφ wird automatisch geregelt.

Geräte die den cosφ des Netzes verbessern heißen Phasenschieber.
Kompensation auf cosφ = 1 bringt Probleme wegen der Spannungs- und Stromüberhöhung (Schwingkreis).

5. SCHWINGKREISE

Siehe auch Fachkunde Elektrotechnik S 144-147

Schwingkreise sind Reihen- oder Parallelschaltungen von einer Spule und eines Kondensators. Man verwendet Schwingkreise zum Herausheben oder Unterdrücken einer bestimmten Frequenz aus einem Frequenzgemisch z. B.: die Frequenz eines Senders oder Empfängers.

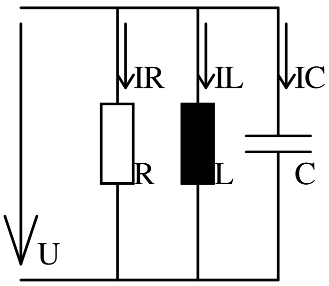
Resonanz: Resonanz heißt, dass X_L des Schwingkreises gleich groß ist wie X_C.

$X_C = X_L$	$\Rightarrow$	$\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$
$1 = 2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \pi \cdot f \cdot f \cdot L \cdot C$	$\Rightarrow$	$1 = 2^2 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot L \cdot C$
$f^2 = \frac{1}{2^2 \cdot \pi^2 \cdot L \cdot C}$	$\Rightarrow$	$f = \sqrt{\frac{1}{2^2 \cdot \pi^2 \cdot L \cdot C}}$

$$\boxed{f_{res} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}}$$

5.1. Stromresonanz (Parallelschwingkreis)

Buch Seite 146



Gegeben:
U = 220 V
R = 10 Ω
L = 50 mH
C = 203 µF

Gesucht:
X_L = ?
X_C = ?
I_R = ?
I_L = ?
I_C = ?
I = ?
cosφ = ?
φ = ?
Z = ?

5.1.1. $X_L < X_C$

f = 25 Hz

$$X_L = \omega \times L$$
$$X_L = 2 \times \pi \times 25\text{Hz} \times 50 \times 10^{-3}\,\text{H}$$
$$X_L = 7{,}85\Omega$$

$$X_C = \frac{1}{\omega \times C}$$
$$X_C = \frac{1}{2 \times \pi \times 25\text{Hz} \times 203 \times 10^{-6}\,\text{F}}$$
$$X_C = 31{,}4\Omega$$

$$I_R = \frac{U}{R} = \frac{220V}{10\Omega}$$
$$\underline{\underline{I_R = 22A}}$$

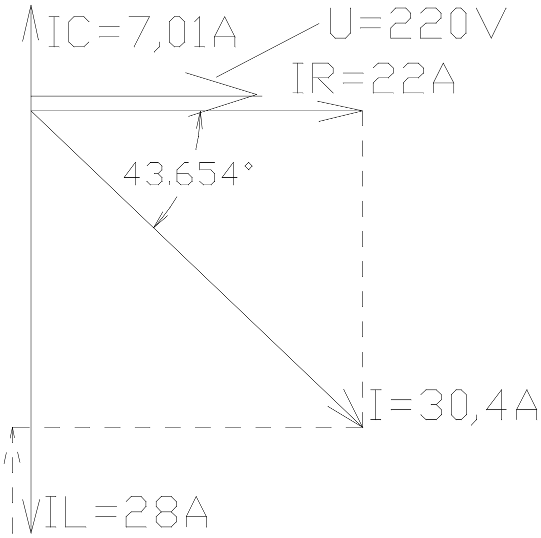
$$I_L = \frac{U}{X_L} = \frac{220V}{7{,}85\Omega}$$
$$\underline{\underline{I_L = 28A}}$$

$$I_C = \frac{U}{X_C} = \frac{220V}{31{,}4\Omega}$$
$$\underline{\underline{I_C = 7{,}01A}}$$

$$I_B = I_L - I_C$$
$$I_B = 28A - 7{,}01A$$
$$\underline{I_B = 21A}$$
$$I = \sqrt{I_R^2 + I_B^2}$$
$$I = \sqrt{22A^2 + 21A^2}$$
$$\underline{\underline{I = 30{,}4A}}$$

$$\cos\varphi = \frac{I_R}{I} = \frac{22A}{30{,}4A}$$
$$\underline{\underline{\cos\varphi = 0{,}724 \Rightarrow \varphi = 43{,}6°}}$$

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{220V}{30{,}4A}$$
$$\underline{\underline{Z = 7{,}24\Omega}}$$



5.1.2. $X_L = X_C$

f = 50 Hz

$$X_L = \omega \times L$$
$$X_L = 2 \times \pi \times 50Hz \times 50 \times 10^{-3} H$$
$$\underline{\underline{X_L = 15{,}7\Omega}}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega \times C}$$
$$X_C = \frac{1}{2 \times \pi \times 50Hz \times 203 \times 10^{-6} F}$$
$$\underline{\underline{X_C = 15{,}7\Omega}}$$

$$I_R = \frac{U}{R} = \frac{220V}{10\Omega}$$
$$\underline{\underline{I_R = 22A}}$$

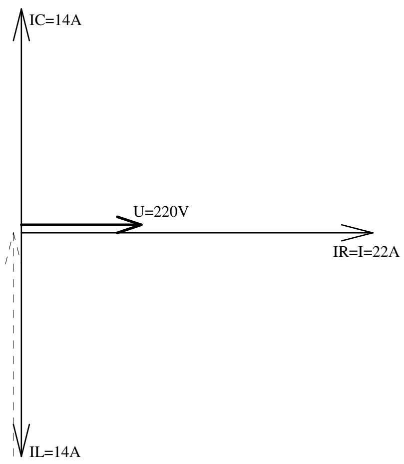
$$I_L = \frac{U}{X_L} = \frac{220V}{15{,}7\Omega}$$
$$\underline{\underline{I_L = 14A}}$$

$$I_C = \frac{U}{X_C} = \frac{220V}{15{,}7\Omega}$$
$$\underline{\underline{I_C = 14A}}$$

$$I_B = I_L - I_C$$
$$I_B = 14A - 14A$$
$$\underline{I_B = 0A}$$
$$I = \sqrt{I_R^2 + I_B^2}$$
$$I = \sqrt{22A^2 + 0A^2}$$
$$\underline{\underline{I = 22A}}$$

$$\cos\varphi = \frac{I_R}{I} = \frac{22A}{22A}$$
$$\underline{\underline{\cos\varphi = 1 \Rightarrow \varphi = 0°}}$$

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{220V}{22A}$$
$$\underline{\underline{Z = 10\Omega}}$$



5.1.3. $X_L > X_C$

f = 100 Hz

$$X_L = \omega \times L$$
$$X_L = 2 \times \pi \times 100Hz \times 50 \times 10^{-3} H$$
$$\underline{\underline{X_L = 31,4\Omega}}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega \times C}$$
$$X_C = \frac{1}{2 \times \pi \times 100Hz \times 203 \times 10^{-6} F}$$
$$\underline{\underline{X_C = 7,84\Omega}}$$

$$I_R = \frac{U}{R} = \frac{220V}{10\Omega}$$
$$\underline{\underline{I_R = 22A}}$$

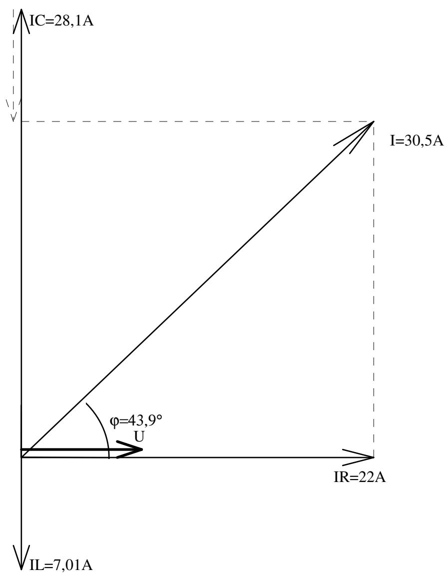
$$I_L = \frac{U}{X_L} = \frac{220V}{31,4\Omega}$$
$$\underline{\underline{I_L = 7,01A}}$$

$$I_C = \frac{U}{X_C} = \frac{220V}{7,84\Omega}$$
$$\underline{\underline{I_C = 28,1A}}$$

$$I_B = |I_L - I_C|$$
$$I_B = |7,01A - 28,1A|$$
$$\underline{I_B = 21,1A}$$
$$I = \sqrt{I_R^2 + I_B^2}$$
$$I = \sqrt{22A^2 + 21,1A^2}$$
$$\underline{\underline{I = 30,5A}}$$

$$\cos\varphi = \frac{I_R}{I} = \frac{22A}{30,5A}$$
$$\underline{\underline{\cos\varphi = 0,721 \Rightarrow \varphi = 43,9°}}$$

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{220V}{30,5A}$$
$$\underline{\underline{Z = 7,21\Omega}}$$



5.1.4. Folgerung

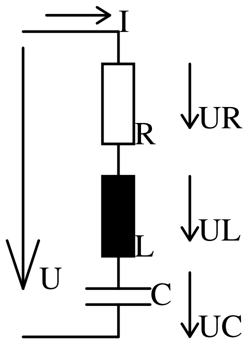
Die Stromresonanz tritt bei einer Parallelschaltung von L und C auf, wenn die Frequenz der Wechselspannung der (Eigen-) Resonanzfrequenz ($X_L = X_C$) des Schwingkreises entspricht.

Der Scheinwiderstand Z ist am größten, der **Strom I in der Zuleitung ist am kleinsten** (Sperrkreis).

Gefahr: Wenn X_C und X_L gegenüber R sehr klein sind, dann fließt im Resonanzfall **zwischen X_C und X_L ein sehr großer Strom**, ohne dass dies an den Zuleitungen bemerkt wird!

5.2. Spannungsresonanz (Reihenschwingkreis)

Buch Seite 145



Gegeben:
U = 220 V
R = 10 Ω
L = 50 mH
C = 203 µF

Gesucht:
X_L = ?
X_C = ?
Z = ?
I = ?
U_R = ?
U_L = ?
U_C = ?
cosφ = ?
φ = ?

5.2.1. $X_L < X_C$

f = 25 Hz

$$X_L = \omega \times L$$
$$X_L = 2 \times \pi \times 25Hz \times 50 \times 10^{-3} H$$
$$X_L = 7{,}85\Omega$$

$$X_C = \frac{1}{\omega \times C}$$
$$X_C = \frac{1}{2 \times \pi \times 25Hz \times 203 \times 10^{-6} F}$$
$$X_C = 31{,}4\Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$
$$Z = \sqrt{10\Omega^2 + (7{,}85\Omega - 31{,}4\Omega)^2}$$
$$Z = 25{,}6\Omega$$

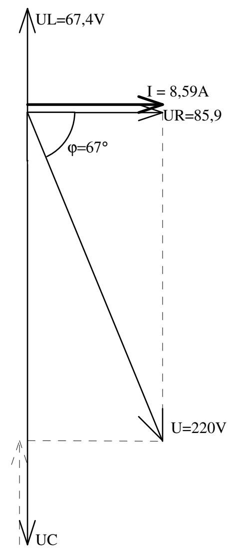
$$I = \frac{U}{Z} = \frac{220V}{25{,}6\Omega}$$
$$I = 8{,}59A$$

$$U_R = I \times R$$
$$U_R = 8{,}59A \times 10\Omega$$
$$U_R = 85{,}9V$$

$$U_L = I \times X_L$$
$$U_L = 8{,}59A \times 7{,}85\Omega$$
$$U_L = 67{,}4V$$

$$U_C = I \times X_C$$
$$U_C = 8{,}59A \times 31{,}4\Omega$$
$$U_C = 270V$$

$$\cos\varphi = \frac{U_R}{U} = \frac{85{,}9V}{220V}$$
$$\underline{\underline{\cos\varphi = 0{,}39 \Rightarrow \varphi = 67°}}$$



5.2.2. $X_L = X_C$

$\underline{\underline{f = 50\text{ Hz}}}$

$$X_L = \omega \times L$$
$$X_L = 2 \times \pi \times 50Hz \times 50 \times 10^{-3} H$$
$$\underline{\underline{X_L = 15{,}7\Omega}}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega \times C}$$
$$X_C = \frac{1}{2 \times \pi \times 50Hz \times 203 \times 10^{-6} F}$$
$$\underline{\underline{X_C = 15{,}7\Omega}}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$
$$Z = \sqrt{10\Omega^2 + (15{,}7\Omega - 15{,}7\Omega)^2}$$
$$\underline{\underline{Z = 10\Omega}}$$

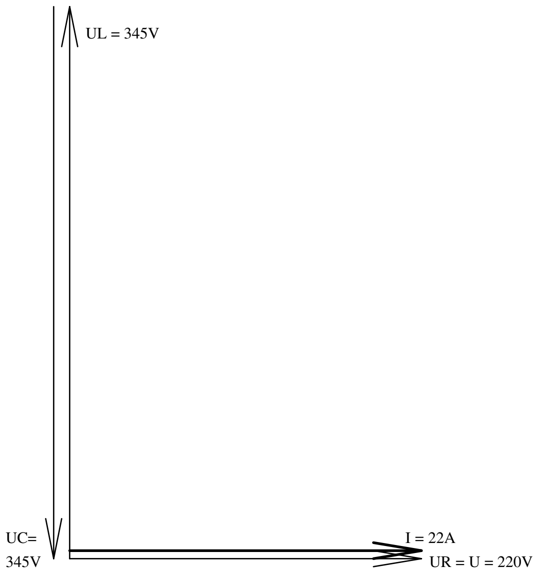
$$I = \frac{U}{Z} = \frac{220V}{10\Omega}$$
$$\underline{\underline{I = 22A}}$$

$$U_R = I \times R$$
$$U_R = 22A \times 10\Omega$$
$$\underline{\underline{U_R = 220V}}$$

$$U_L = I \times X_L$$
$$U_L = 22A \times 15{,}7\Omega$$
$$\underline{\underline{U_L = 345V}}$$

$$U_C = I \times X_L$$
$$U_C = 22A \times 15{,}7\Omega$$
$$\underline{\underline{U_C = 345V}}$$

$$\cos\varphi = \frac{U_R}{U} = \frac{220V}{220V}$$
$$\underline{\underline{\cos\varphi = 1 \Rightarrow \varphi = 0°}}$$



5.2.3. $X_L > X_C$

f = 100 Hz

$$X_L = \omega \times L$$
$$X_L = 2 \times \pi \times 100Hz \times 50 \times 10^{-3} H$$
$$X_L = 31{,}4\Omega$$

$$X_C = \frac{1}{\omega \times C}$$
$$X_C = \frac{1}{2 \times \pi \times 100Hz \times 203 \times 10^{-6} F}$$
$$X_C = 7{,}84\Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$
$$Z = \sqrt{10\Omega^2 + (31{,}4\Omega - 7{,}84\Omega)^2}$$
$$Z = 25{,}6\Omega$$

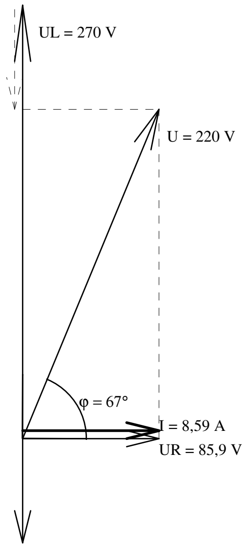
$$I = \frac{U}{Z} = \frac{220V}{25{,}6\Omega}$$
$$I = 8{,}59A$$

$$U_R = I \times R$$
$$U_R = 8{,}59A \times 10\Omega$$
$$U_R = 85{,}9V$$

$$U_L = I \times X_L$$
$$U_L = 8{,}59A \times 31{,}4\Omega$$
$$U_L = 270V$$

$$U_C = I \times X_C$$
$$U_C = 8{,}59A \times 7{,}84\Omega$$
$$U_C = 67{,}3V$$

$$\cos\varphi = \frac{U_R}{U} = \frac{85{,}9V}{220V}$$
$$\cos\varphi = 0{,}39 \Rightarrow \varphi = 67°$$



5.2.4. Folgerung

Die Spannungsresonanz tritt bei einer Serienschaltung von L und C auf, wenn die Frequenz der Wechselspannungsquelle der (Eigen-) Resonanzfrequenz des Schwingkreises entspricht.

Scheinwiderstand Z ist am kleinsten, **Strom I in der Zuleitung ist am größten** (Saugkreis).

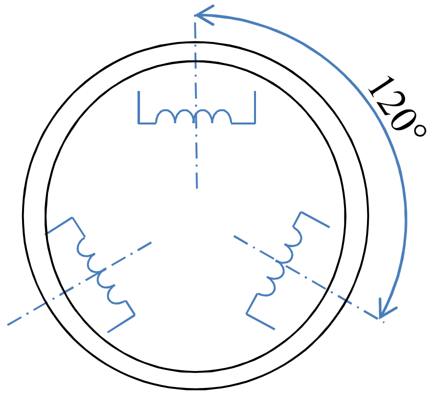
Gefahr:

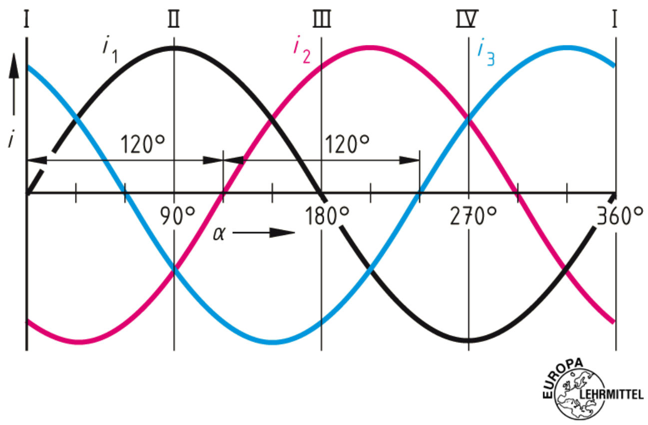
Wenn X_C und X_L gegenüber R sehr groß sind, dann fällt im Resonanzfall **über X_C und X_L eine sehr große Spannung ab**, obwohl nur eine vergleichsweise kleine Spannung angelegt ist.

Weiters ist bei einer Leuchstofflampe (Serienkompensation) eine Kompensation auf cosφ = 1 nicht möglich, da sonst die volle Netzspannung an der Lampe anliegt, die aber nur für ca. 110 V ausgelegt ist. Aus diesem Grund ist eine kompensierte Leuchtstofflampe stets so überkompensiert, dass sie jenen schlechten cosφ, den sie zuvor in induktiver Richtung hatte, dann in kapazitiver Richtung hat. Nur dadurch ist gewährleistet, dass die Leuchtstofflampe die richtige Betriebsspannung erhält!

6. DREHSTROMENTSTEHUNG

6.1. Erzeugung des Dreiphasenwechselstromes (Drehstrom)





Fachkunde Elektrotechnik 2009 Seite 150 (Bild 2)

Dreht man einen Magneten (Stab- oder Elektromagnet) zwischen drei um 120° räumlich versetzten, gleichen Spulen, so werden in ihnen Spannungen induziert.

Werden die um 120° phasenverschobenen Spannungen in ein Liniendiagramm eigetragen; so erhält man die drei Sinuslinien für den Drehstrom.

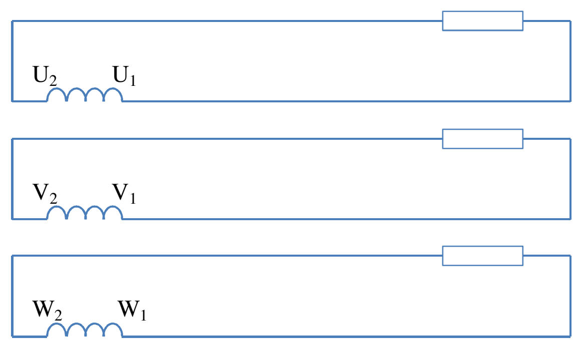
Drehstrom sind drei um 120° verschobene Wechselströme !

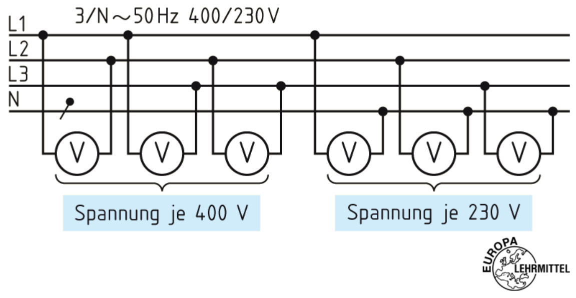
Die drei Spulen eines solchen Generators nennt man die **Stränge** und die darin induzierte Spannung nennt man **Strangspannungen**.

Die Anfänge der Stränge nennt man U1, V1 und W1, die Enden nennt man U2, V2 und W2. Oben ist der Einritt, unten tritt der Strom bei UVW(1) aus.

Addiert man zu einem beliebigen Zeitaugenblick die Spannungen (vorzeichenrichtig), **so ist die Summe immer Null**.

6.2. Verkettung





Fachkunde Elektrotechnik 2009 Seite 194 (Bild 4)

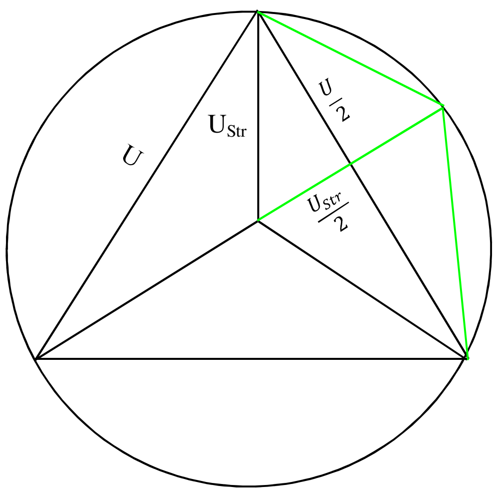
Würde man an jede Spule einen Verbraucher anschließen, so erhält man drei voneinander isolierte Stromkreise. Es wären dann sechs Leitungen zu verlegen, die miteinander nicht vertauscht werden dürfen.

Dies ist unpraktisch und daher nicht üblich.

<u>Vorteile der Verkettung:</u>

- Weniger Leitungen
- Mehr Spannungen
- Erzeugung eines Drehfeldes

6.2.1. Verkettungsfaktor



$\sin 60° \, . \, U_{Str} = 0{,}5 \, . \, U_{Str}$ (Gleichschenkeliges Dreieck)

$$U_{Ustr}^2 = \left(\frac{U}{2}\right)^2 + \left(\frac{U_{Str}}{2}\right)^2$$

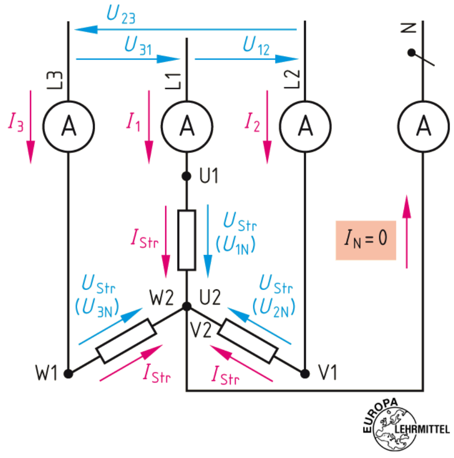
…….

…….

$$U_{Str}\sqrt{3} = U$$

7. Stern- und Dreieckschaltung

7.1.1. Sternschaltung



Fachkunde Elektrotechnik 2009 Seite 150 (Bild 1)

Man erhält eine Sternschaltung, indem man die Enden der drei Spulen miteinander verbindet. Die Anfänge der Spulen sind dann an den Außenleitern angeschlossen, der Verbindungspunkt der Enden ist der Anschluss für den Neutralleiter (Mittelpunktsleiter).

Gehen von einem Spannungserzeuger vier Leitungen weg, so spricht man von einem Vierleiternetz (wie unser Netz 230 V / 400 V).

Werden an jeden Außenleiter **gleich große Verbraucher** zum Neutralleiter angeschlossen, so fließt über den **Neutralleiter kein Strom**. Sind die Verbraucher an den drei Außenleitern unterschiedlich groß fließt über den Neutralleiter ein Ausgleichsstrom.

Daher kann bei symmetrischen Stromverbrauchern (Motore, Glühöfen, Warmwasserspeicher usw.) auf den Neutralleiter verzichtet werden, ohne dass sich die Ströme (Leistungen) verändern.

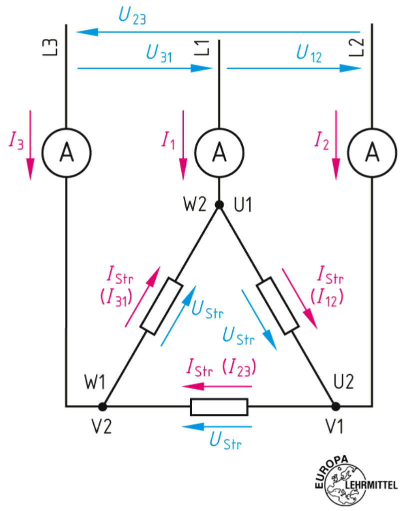
Bei der Sternschaltung sind die Strangströme gleich groß wie die Außenleiterströme!

$$\mathbf{I = I_{Str}}$$

Bei der Sternschaltung ist die Außenleiterspannung um $\sqrt{3}$ (=1,732) größer als die Strangspannung.

$$U = \sqrt{3}\,.\,U_{Str} \qquad U_{Str} = \frac{U}{\sqrt{3}}$$

7.1.2. Dreieckschaltung



Fachkunde Elektrotechnik 2009 Seite 152 (Bild 1)

Man erhält eine Dreieckschaltung, indem man die Enden der einen Spule mit den Anfängen der nächsten Spule verbindet. In diesem System gibt es keinen Neutralleiter $\Rightarrow$ Dreileiternetz.

Es tritt hier nur eine Spannung auf.

Bei der Dreieckschaltung ist die Außenleiterspannung gleich der Strangspannung.

$$\mathbf{U = U_{Str}}$$

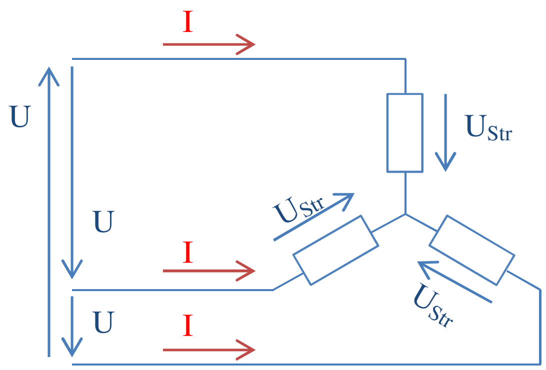
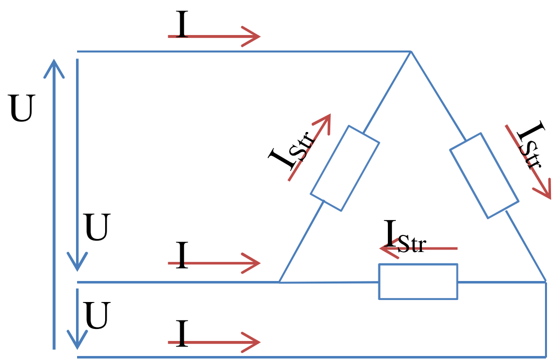
Man erhält den Außenleiterstrom, wenn man die Strangströme geometrisch subtrahiert:

Bei der Dreieckschaltung ist der Außenleiterstrom um $\sqrt{3}$ größer als der Strangstrom.

$$I = \sqrt{3} \,.\, I_{Str} \qquad I_{Str} = \frac{I}{\sqrt{3}}$$

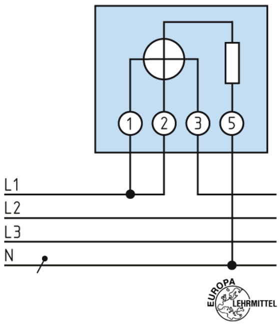
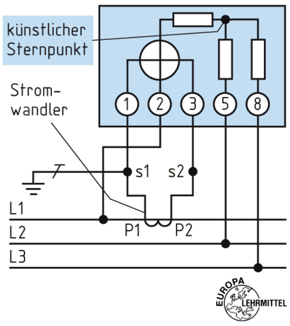
8. Drehstromleistung

8.1. Gleichmäßige Phasenbelastung

Sternschaltung	**Dreieckschaltung**
	
$I = I_{Str}$	$U = U_{Str}$
$U_{Str} = \frac{U}{\sqrt{3}}$	$I_{Str} = \frac{I}{\sqrt{3}}$
$S_{DS} = 3 \times S_{Str}$	$S_{DS} = 3 \times S_{Str}$
$S_{Str} = U_{Str} \times I_{(Str)}$	$S_{Str} = U_{(Str)} \times I_{Str}$
$S_{DS} = 3 \times U_{Str} \times I$	$S_{DS} = 3 \times U \times I_{Str}$
$S_{DS} = 3 \times \frac{U}{\sqrt{3}} \times I$	$S_{DS} = 3 \times U \times \frac{I}{\sqrt{3}}$
$S_{DS} = \sqrt{3} \times \sqrt{3} \times \frac{U}{\sqrt{3}} \times I$	$S_{DS} = \sqrt{3} \times \sqrt{3} \times U \times \frac{I}{\sqrt{3}}$
$S_{DS} = U \times I \times \sqrt{3}$	
$P_{DS} = U \times I \times \sqrt{3} \times \cos\varphi$	
$Q_{DS} = U \times I \times \sqrt{3} \times \sin\varphi$	

Erkenntnis: Wenn man die Außenleiterspannung und den Außenleiterstrom misst, so ist es für die Berechnung der symmetrischen DS-Leistung egal, ob der Verbraucher in Y oder in Δ geschaltet ist (allerdings ist es nicht das Gleiche, ob man einen Verbraucher in Y oder Δ schaltet!!!).

8.1.1. Leistungsmessung bei gleichmäßiger Phasenbelastung im

Vierleiternetz	Dreileiternetz
 Fachkunde Elektrotechnik 2009 Seite 155 (Bild 1)	 Fachkunde Elektrotechnik 2009 Seite 155 (Bild 2)

Ermittelt man mit einem Messgerät in einem Drehstromkreis den Außenleiterstrom und -spannung, so kann man nur die Scheinleistung errechnen. Bei einem rein ohmschen Verbraucher ist die Scheinleistung S gleich der Wirkleistung P (cos φ = 1). Ist jedoch die Phasenverschiebung nicht bekannt, so muss man mittels eines cos φ-Messers der Phasenverschiebungswinkel oder mittels eines Leistungsmessers die Wirkleistung ermitteln.

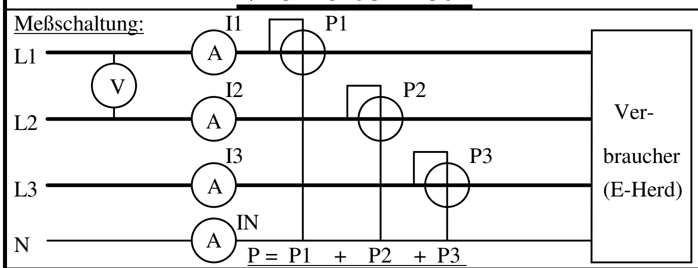
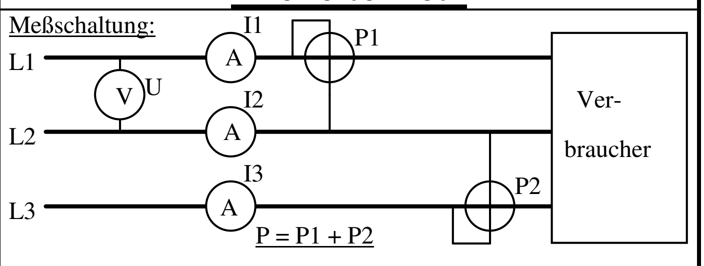
Da im Gegensatz zum Leistungsmessgerät ein cos φ-Messgerät selten zur Verfügung steht, wird der cos φ über I, U und P (Einwattmetermethode) errechnet:

$S_{DS} = U \times I \times \sqrt{3}$	$P_{DS} = 3 \times P_{Str}$	$\cos\varphi = \frac{P_{DS}}{S_{DS}}$

8.2. Ungleiche Phasenbelastung

Beachte: Bei ungleicher Phasenbelastung dürfen die Drehstromformeln für die Leistungsberechnung nicht verwendet werden. Sämtliche Größen müssen jeweils für einen einzelnen Strang errechnet werden. Dies ist sehr einfach, weil es sich dann um ein Wechselstromsystem handelt. Der Neutralleiterstrom (Sternschaltung) bzw. der Außenleiterstrom (Dreieckschaltung) kann zeichnerisch ermittelt werden.

8.2.1. Leistungsmessung bei ungleichmäßiger Phasenbelastung in

Vierleiternetz	Dreileiternetz
	

8.2.2. Sternschaltung

Beispiel 1:

geg:
E-Herd, drei Platten
U= 220 V/380 V
Platte 1 = 1500 W
Platte 2 = 850 W
Platte 3 = 1800 W

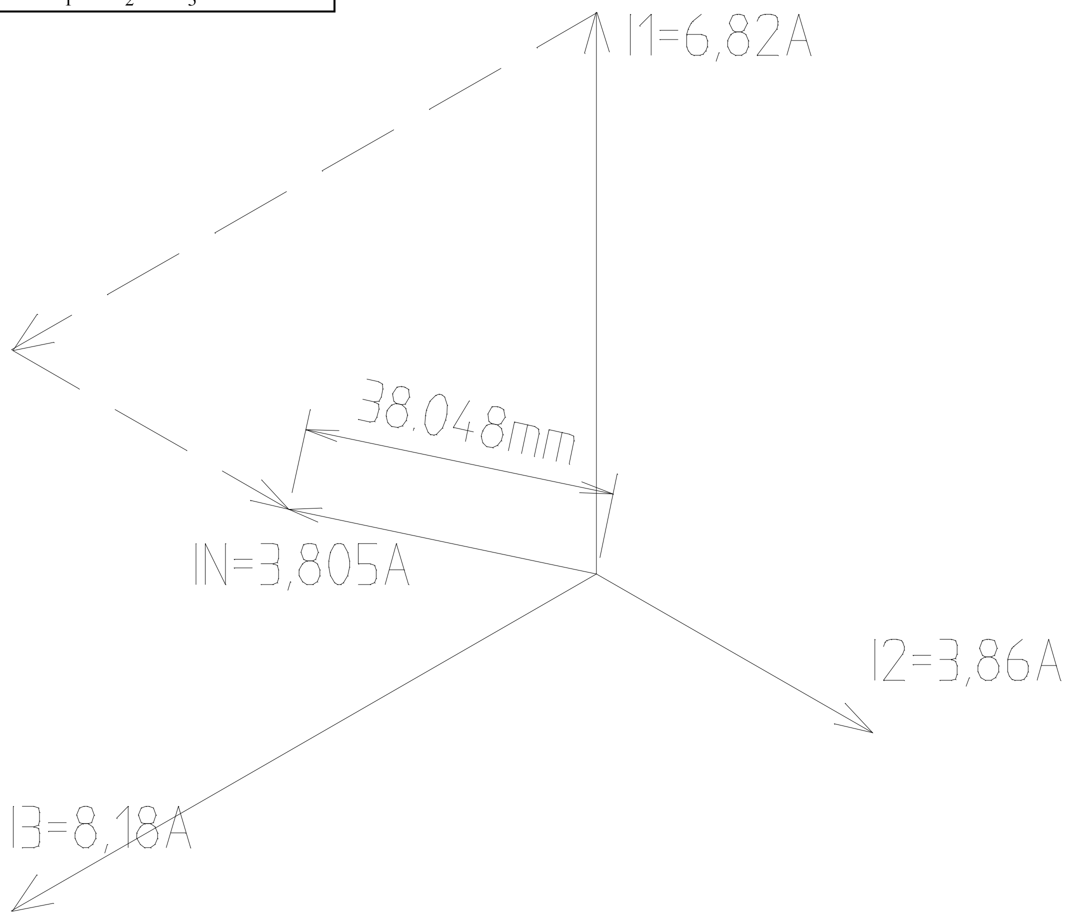
I_1=
I_2=
I_3=
I_N=

$$I_1 = \frac{P_1}{U} = \frac{1500W}{220V}$$
$$\underline{\underline{I_1 = 6,82A}}$$

$$I_2 = \frac{P_2}{U} = \frac{850W}{220V}$$
$$\underline{\underline{I_2 = 3,86A}}$$

$$I_3 = \frac{P_3}{U} = \frac{1800W}{220V}$$
$$\underline{\underline{I_3 = 8,18A}}$$

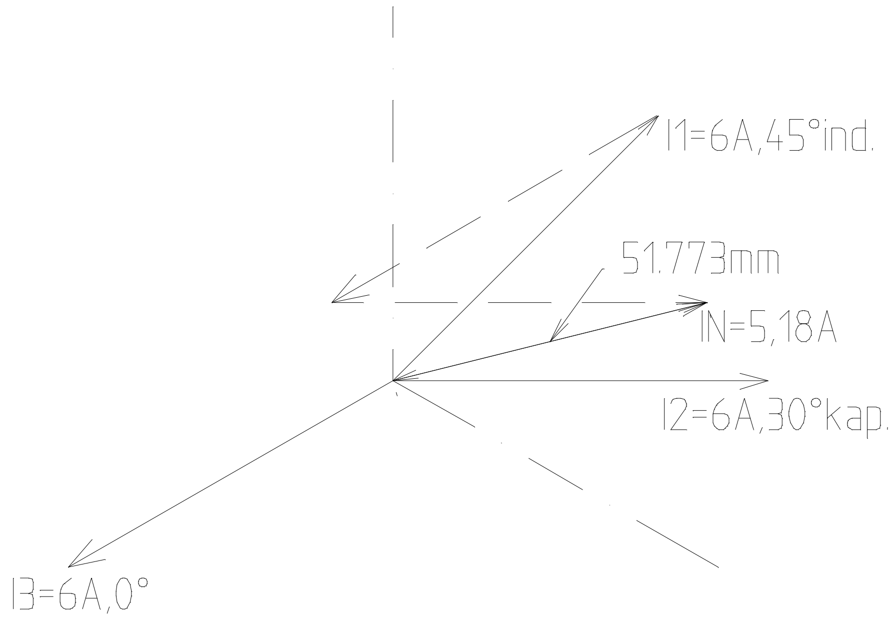
Zeichnerische Ermittlung des Neutralleiterstromes:
$$\vec{I}_N = \vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3$$



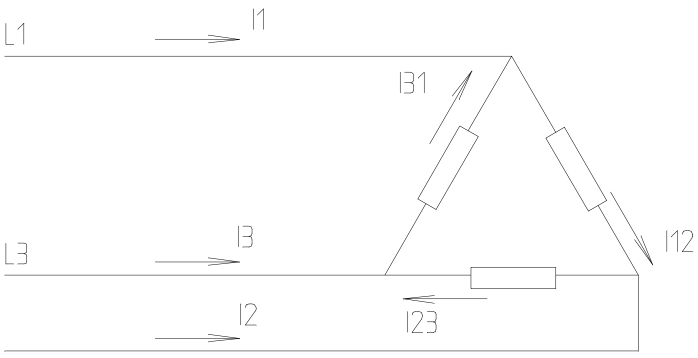
Beispiel 2:

$I_1 = 6$ A, $\cos\varphi = 0{,}7071$ ind.
$I_2 = 6$ A, $\cos\varphi = 0{,}866$ kap.
$I_3 = 6$ A, $\cos\varphi = 1$
Strommaßstab: 1 cm = 1 A

$I_N =$



8.2.3. Dreieckschaltung



1. Kirchhoff´sches Gesetz: Die Summe der zufließenden Ströme ist gleich die Summe der abfließenden Ströme.

$$\vec{I}_1 + \vec{I}_{31} = \vec{I}_{12} \Rightarrow \vec{I}_1 = \vec{I}_{12} - \vec{I}_{31}$$
$$\vec{I}_2 + \vec{I}_{12} = \vec{I}_{23} \Rightarrow \vec{I}_2 = \vec{I}_{23} - \vec{I}_{12}$$
$$\vec{I}_3 + \vec{I}_{23} = \vec{I}_{31} \Rightarrow \vec{I}_3 = \vec{I}_{31} - \vec{I}_{23}$$

Zeichnerische Ermittlung der Außenleiterströme (geometrisch)

geg:
$U = 220\ V/380\ V$
$I_{12} = 2\ A$
$I_{23} = 3\ A$
$I_{31} = 4\ A$
ohmsche Belastung

$P_{12}=$
$P_{23}=$
$P_{31}=$
$P_{ges}=$
$I_1=$
$I_2=$
$I_3=$

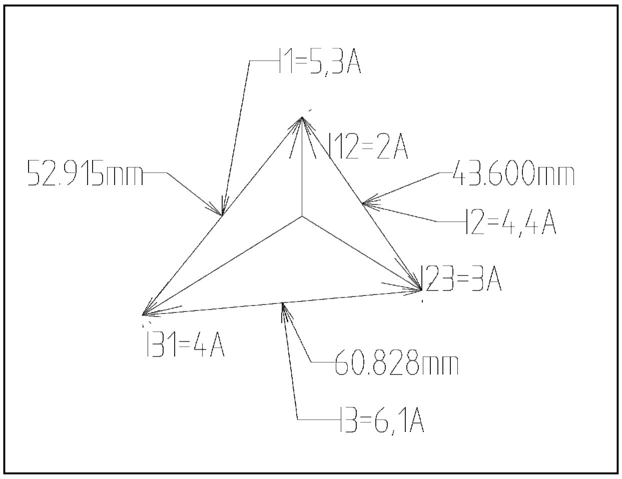
Beispiel 1:

$P_{12} = U \text{ x } I_{12} = 380\ V \text{ x } 2\ A$
$\underline{\underline{P_{12} = 760\ W}}$

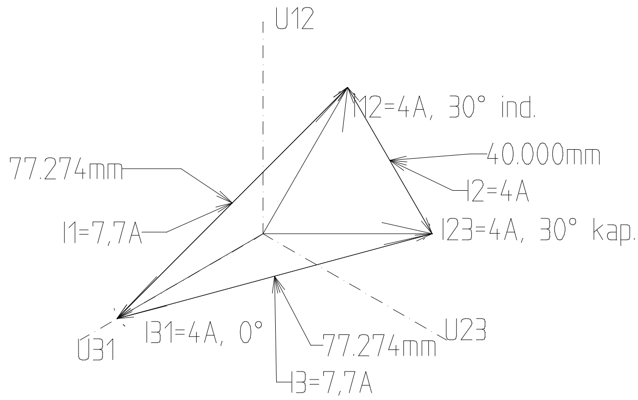
$P_{23} = U \text{ x } I_{23} = 380\ V \text{ x } 3\ A$
$\underline{\underline{P_{23} = 1140\ W}}$

$P_{31} = U \text{ x } I_{31} = 380\ V \text{ x } 4\ A$
$\underline{\underline{P_{31} = 1520\ W}}$

$P_{ges} = P_{12} + P_{23} + P_{31}$
$P_{ges} = 760W+1140W+1520W$
$\underline{\underline{P_{ges} = 3420\ W}}$



Beispiel 2:
$I_{12} = 4\ A$, $\cos\varphi = 0{,}866$ ind.
$I_{23} = 4\ A$, $\cos\varphi = 0{,}866$ kap.
$I_{31} = 4\ A$, $\cos\varphi = 1$
Strommaßstab: 1 cm = 1 A



8.3. Leiterbruch

8.3.1. Außenleiterbruch bei Sternschaltung

8.3.1.1. Mit Neutralleiter

Ist der Neutralleiter angeschlossen, so fallen nur jene Verbraucher aus, die auf diesem Außenleiter angeschlossen sind. Für die Verbraucher der anderen Außenleiter hat dies keine Auswirkung. Z. B. E-Herd: Fällt hier eine Außenleitersicherung, so können die Platten (Backrohr), die an den verbliebenen Außenleitern angeschlossen sind, weiterhin betrieben werden.

Handelt es sich um einen symmetrischen Verbraucher (z. B. Drehstromwarmwasserspeicher mit angeschlossenem Neutralleiter), so gilt bei Bruch eines Außenleiters:

Außenleiterbruch bei Sternschaltung mit angeschlossenem Neutralleiter	$\underline{P_{Rest} = \frac{2}{3} \times P_{DS}}$

8.3.1.2. Ohne Neutralleiter

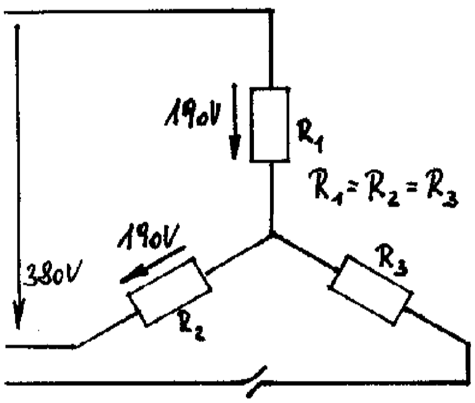
Ist der Neutralleiter nicht angeschlossen (üblich bei symmetrischen Verbrauchern) so handelt es sich um eine Reihenschaltung von zwei Widerständen, die gemeinsam an 380 V (= je 190 V/Wid.) liegen.

geg:

P_{DS} = 6 kW ==> P_{Str} = 2 kW

ges:

Leistung bei Leiterbruch



$$P_{Str} = \frac{U^2}{R_1} \Rightarrow R_1 = \frac{U^2}{P_{Str}}$$

$$\underline{R_1} = \frac{220^2 V}{2000W} = \underline{24{,}2\Omega}$$

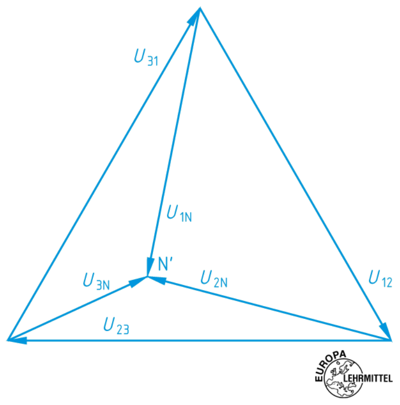
$$P_{Rest} = \frac{U^2}{R_1 + R_2} = \frac{\left(220V \times \sqrt{3}\right)^2}{2 \times 24{,}2\Omega}$$

$$\underline{\underline{P_{Rest} = 3000W}}$$

Außenleiterbruch bei Sternschaltung ohne angeschlossenen Neutralleiter	$\underline{P_{Rest} = \frac{1}{2} \times P_{DS}}$

8.3.2. Neutralleiterbruch

Bricht bei einem symmetrischen Drehstromverbraucher der Neutralleiter, so verändert sich nichts, da ja ohnehin kein Strom über den Neutralleiter floss.



Fachkunde Elektrotechnik 2009 Seite 151 (Bild 3)

Bricht jedoch bei einem unsymmetrischen Verbraucher (z. B. bei einer Verteilerzuleitung) der Neutralleiter, **so verändern sich die Spannungen** an den Widerständen derart, dass am größten Widerstand die größte Spannung abfällt. Dies ist besonders für Kleinverbraucher (z. B. ein Radio an Außenleiter 1, und eine E-Herdplatte an Außenleiter 2 oder 3) eine Gefahr, weil dann der Kleinverbraucher bis zu 380 V erhalten kann.

Mathematisch lassen sich die Spannungsabfälle an den Widerständen nur mit Komplexrechnung ermitteln (höhere Mathematik - für uns nicht notwendig), es läßt sich jedoch einfach die Gesamtleistung ermitteln:

Beispiel:

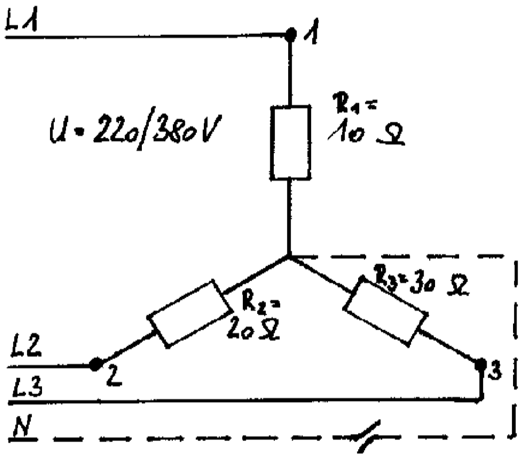
Geg:

$R_1 = 10\ \Omega$

$R_2 = 20\ \Omega$

$R_3 = 30\ \Omega$

Ges: P mit und ohne N-Leiter



P mit Neutralleiter:

$$\underline{P_1} = \frac{U^2}{R_1} = \frac{220^2\ V}{10\Omega} = \underline{4840W}$$

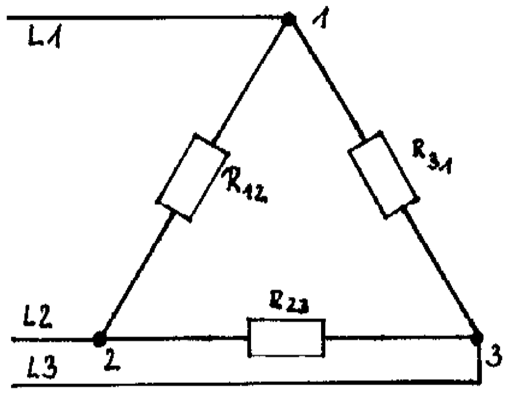
$$\underline{P_2} = \frac{U^2}{R_2} = \frac{220^2\ V}{20\Omega} = \underline{2420W}$$

$$\underline{P_3} = \frac{U^2}{R_3} = \frac{220^2\ V}{30\Omega} = \underline{1613W}$$

$$P_{DS} = P_1 + P_2 + P_3 = 4840W + 2420W + 1613W$$

$$\underline{\underline{P_{DS} = 8873W}}$$

Um nun die Leistung bei gebrochenen N-Leiter zu ermitteln, muss die Sternschaltung- in eine Dreieckschaltung umgerechnet werden:



$$\underline{R_{12}} = \frac{10\Omega \times 20\Omega}{30\Omega} + 10\Omega + 20\Omega = \underline{36,67\Omega}$$

$$\underline{R_{23}} = \frac{20\Omega \times 30\Omega}{10\Omega} + 20\Omega + 30\Omega = \underline{110\Omega}$$

$$\underline{R_{31}} = \frac{30\Omega \times 10\Omega}{20\Omega} + 30\Omega + 10\Omega = \underline{55\Omega}$$

$$\underline{P_{12}} = \frac{380^2\,V}{36,67\Omega} = \underline{3960W}$$

$$\underline{P_{23}} = \frac{380^2\,V}{110\Omega} = \underline{1320W}$$

$$\underline{P_{12}} = \frac{380^2\,V}{55\Omega} = \underline{2640W}$$

$$P_{Rest} = P_{12} + P_{23} + P_{31} = 3960W + 1320W + 2640W$$

$$\underline{\underline{P_{Rest} = 7920W}}$$

Formeln: Stern in Dreieck

$$R_{12} = \frac{R_1 \times R_2}{R_3} + R_1 + R_2$$

$$R_{23} = \frac{R_2 \times R_3}{R_1} + R_2 + R_3$$

$$R_{31} = \frac{R_3 \times R_1}{R_2} + R_3 + R_1$$

Formeln: Dreieck in Stern

$$\Sigma R = R_{12} + R_{23} + R_{31}$$

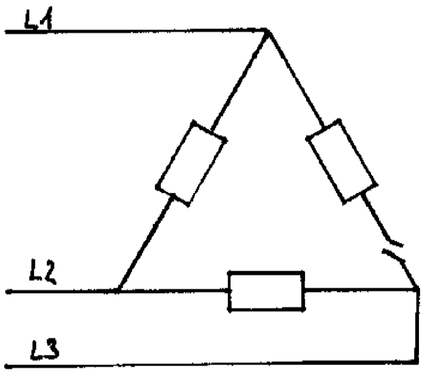
$$R_1 = \frac{R_{12} \times R_{31}}{\Sigma R}$$

$$R_2 = \frac{R_{23} \times R_{12}}{\Sigma R}$$

$$R_3 = \frac{R_{31} \times R_{23}}{\Sigma R}$$

8.3.3. Leiterbruch bei Dreieckschaltung

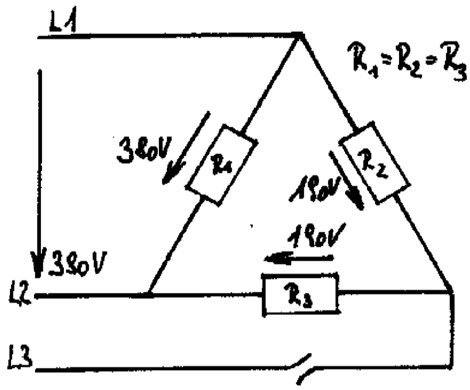
8.3.3.1. Innerer Leiterbruch



Es tritt hier nur der eine Widerstand außer Funktion, die beiden anderen Widerstände bleiben voll spannungsversorgt.

Innerer Leiterbruch bei Dreieckschaltung	$P_{Rest} = \frac{2}{3} \times P_{DS}$

8.3.3.2. Äußerer Leiterbruch



Es bleibt hier ein Widerstand voll an Spannung (380 V), die beiden anderen Widerstände bilden eine Reihenschaltung und es liegen jeweils 190 V an (Gruppenschaltung).

Beispiel:
geg.:
$P_{DS} = 6$ kW

ges.:
P_{Rest} nach Außenleiterbruch

$$P_{Str} = \frac{U^2}{R_1} \quad \Rightarrow \quad R_1 = \frac{U^2}{P_{Str}} = \frac{380^2\,V}{2000W} = 72{,}2\Omega$$

$$R_{23} = R_2 + R_3 = 72{,}2\Omega + 72{,}2\Omega = 144{,}4\Omega$$

$$R_{ges} = \frac{R_1 \times R_{23}}{R_1 + R_{23}} = \frac{72{,}2\Omega \times 144{,}4\Omega}{72{,}2\Omega + 144{,}4\Omega} = 48{,}13\Omega$$

$$P_{Rest} = \frac{U^2}{R_{ges}} = \frac{380^2\,V}{48{,}13\Omega}$$

$$\underline{\underline{P_{Rest} = 3000W}}$$

Außenleiterbruch bei Dreieckschaltung	$P_{Rest} = \frac{1}{2} \times P_{DS}$

8.4. Vergleich Stern-Dreieckverkettung

Beispiel:
Drei Heizwiderstände je 20 Ω können wahlweise in Y bzw. in Δ angeschlossen werden.

Ges: P bei Stern und bei Dreieck.

$$P_{Sterm} = 3 \times \frac{U_{Str}^2}{R_1} = 3 \times \frac{220^2\,V}{20\Omega}$$

$$\underline{\underline{P_{Sterm} = 7260W}}$$

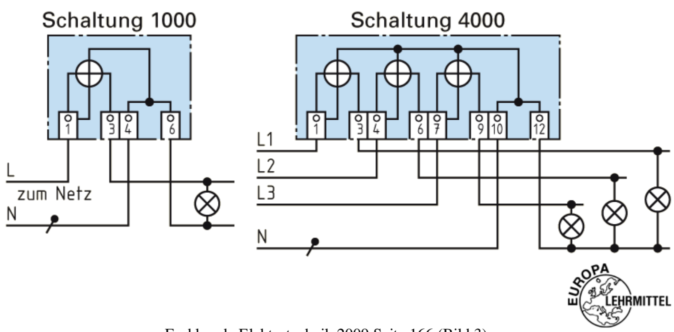
$$P_{Dreieck} = 3 \times \frac{U^2}{R_1} = 3 \times \frac{\left(220 \times \sqrt{3}\right)^2 V}{20\Omega}$$

$$\underline{\underline{P_{Dreieck} = 21780W}}$$

$$P_{Dreieck} = 3 \times P_{Stern}$$

Bei gleicher Netzspannung nimmt ein Verbraucher bei Dreieckschaltung 3 mal soviel Leistung auf als bei Sternschaltung !

8.5. Drehstromarbeit



Fachkunde Elektrotechnik 2009 Seite 166 (Bild 3)

Sowohl für Wechsel- als auch für die Drehstromleistung gilt:

$$W = P \times t$$

Legende:
W .... Arbeit in kWh (Ws)
P............ Leistung in kW (W)
t............. Zeit in h (s)

Zähler zählen immer nur die Wirkleistung (Effektivwerte).

Man kann auch mittels eines Zählers die Leistung messen. Dies kann dann sinnvoll sein, wenn bei Phasenverschiebung das Multiplizieren von Strom und Spannung nur die Scheinleistung ergibt und kein Leistungsmesser zur Verfügung steht.

Vorgangsweise:

Man zählt einige Umdrehungen der Zählerscheibe und misst dazu die Zeit. Weiters benötigt man die Zählerkonstante Z (U/kWh - steht am Zähler).

$$\boxed{P = \frac{n}{t \times C_Z}}$$

Legende:
P............ Leistung in kW
n............ gezählte Umdrehungen
C_Z.......... Zählerkonstante in $U/_{kWh}$
t............. gemessene Zeit in Stunden h

Beispiel:
Es wurden 10 Umdrehungen in 75 Sekunden gemessen. Die Zählerkonstante ist 150 U/kWh.

n = 10 U
t = 75 s
C_Z = 150 U/kWh

$$t = \frac{75s}{3600} = 0{,}02083h$$

$$P = \frac{n}{t \times C_z} = \frac{10U}{0{,}02083h \times 150\, U/_{kWh}}$$

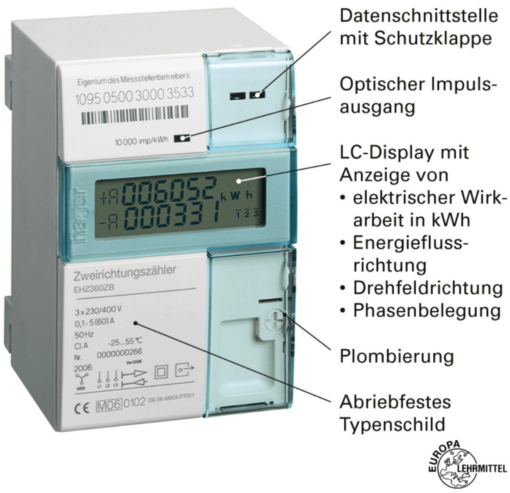
$$\underline{\underline{P = 32{,}kW}}$$

8.5.1. Elektronische Zähler

Haben im wesentlichen mehr Messmöglichkeiten.

Für den Haushalt gibt es den eHZ (elektronischer Haushaltszähler) welcher in drei Betriebsarten eingesetzt werden kann:

- Drehstrombezugszähler
- Drehstromlieferzähler (Photovoltaik)
- Zweirichtungszähler



Fachkunde Elektrotechnik 2009 Seite 167 (Bild 2)