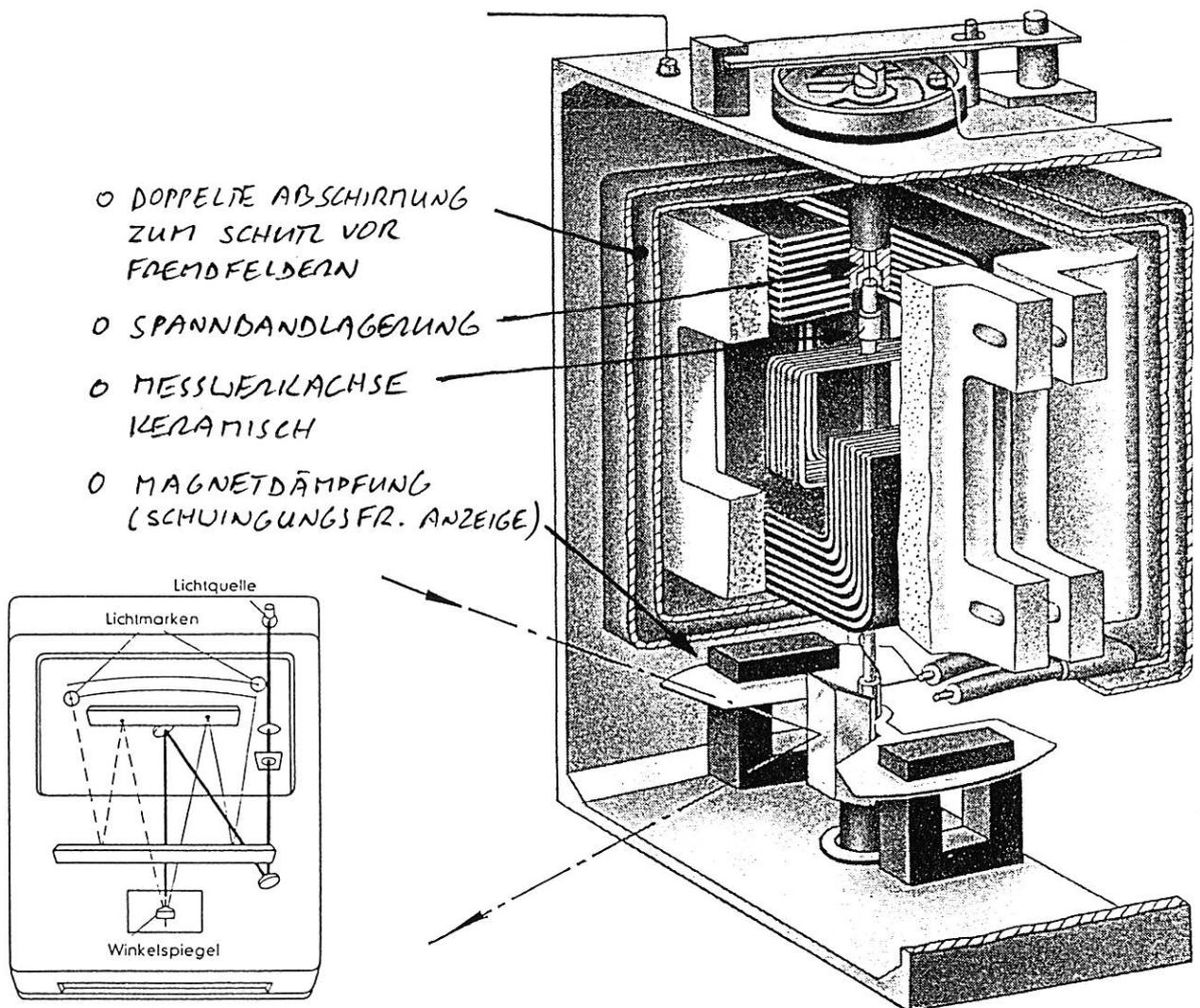


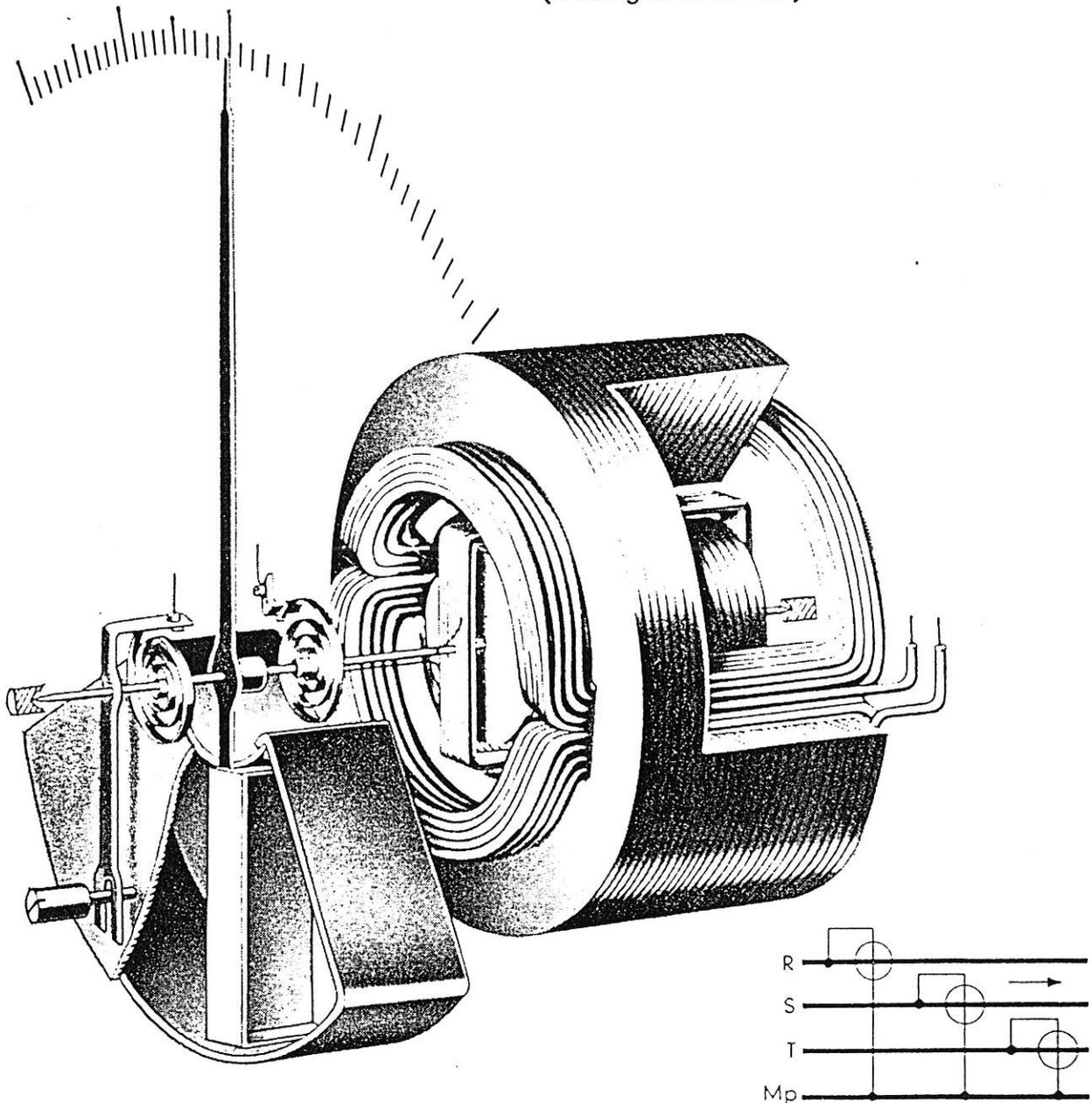
Das elektrodynamische Meßwerk besteht aus zwei Spulen, von denen die eine fest angeordnet, während die andere im Feld der ersteren drehbar gelagert ist. Fließt Strom durch die Spulen, dann entsteht ein Drehmoment, und die bewegliche Spule mit dem Zeiger dreht sich so weit, bis die zunehmende Gegenkraft zweier Spiralfedern, die gleichzeitig auch als Stromzuführung dienen, dem Drehmoment das Gleichgewicht hält. Werden nun beide Spulen durch Hintereinander-Schaltung vom gleichen Strom durchflossen, so können Ströme oder Spannungen gemessen werden; wird hingegen die feste Spule vom Strom durchflossen und die bewegliche an die Spannung gelegt, so entsteht ein Leistungsmesser. Auch bei Richtungswechsel der Spulenströme (Wechselstrom) hat das Drehmoment die gleiche Drehrichtung. Zur Erreichung möglichst schwingungsfreier Zeigereinstellung sind die Meßwerke mit einer kräftigen Luftdämpfung versehen.

Eisenlose elektrodynamische Meßwerke sind von Einflüssen fremder Felder abhängig; sie werden deshalb in der hier gezeigten Bauart heute kaum mehr hergestellt, sondern in astatischer (Bild oben links), eisengeschirmter oder eisengeschlossener Ausführung.

Elektrodynamisches Meßwerk (eisengeschirmt)



Die Anzeige erfolgt bei diesem Präzisions-Leistungs-Meßwerk durch einen Lichtstrahl, der auf einen Spiegel am beweglichen Organ fällt und als Lichtmarke auf einer kegelmantelförmigen Skala erscheint. Diese Anordnung gestattet ein parallaxenfreies und sicheres Ablesen der Meßwerte. Die besondere Form des Spiegels am Meßwerk führt zu einer zweizeiligen und damit sehr langen Skala auf kleinem Raum und bedingt dadurch eine hohe Ablesegenauigkeit. Ein Promille des Meßbereichendwertes entspricht bereits 0,3 eines Skalenteils etwa 0,3 mm.

Elektrodynamisches Meßwerk
(eisengeschlossen)

Bei dem eisengeschlossenen elektrodynamischen Meßwerk ist die feste Spule in einen geschlossenen lamellierten Eisenring (auf dem Bild ist zur Einsicht ein Stück herausgeschnitten) eingebaut. Dadurch wird eine stärkere Einstellkraft der sich um einen lamellierten Eisenkern drehenden Spule bewirkt. Außerdem schützt der Eisenring vor störendem Einfluß fremder Felder. Instrumente mit diesem Meßwerk sind insbesondere für betriebsmäßige Leistungsmessungen von Wechsel- und Drehstrom geeignet. Durch Kupplung der Achsen mehrerer Meßwerke entstehen 2- und 3-fach Leistungsmesser. Bei eisengeschlossenen Meßwerken für Gleichstrom-Leistungsmessungen wird im Gegensatz zu den anderen elektrodynamischen Meßwerken wegen der Remanenz des Eisens der Spannungspfad fest und der Strompfad beweglich angeordnet. Das Meßwerk hat kräftige Luftdämpfung.

Elektrodynamische Leistungsmesser mit eisengeschlossenem Meßwerk

Anwendung

Messen von Leistung bei Gleichstrom, Wirk- und Blindleistung bei Einphasen-Wechselstrom und Drehstrom.

Genauigkeit

Klasse 1,5 nach DIN 43 780
Höhere Klassengenauigkeit als Sonderausführung, siehe Seite E 11/11.

Skalenverlauf

nahezu linear

Gebrauchslage

Wir liefern für senkrechte Gebrauchslage, wenn bei Ihrer Bestellung im 3. Block der Bestell-Nummer nichts anderes angegeben ist (Seite E 11/8).

Eigenverbrauch

Die Stromaufnahme im Spannungspfad beträgt ca. 3 mA (bei Kreisskala ca. 8 mA).
Der Eigenverbrauch je Strömpfad (für Faktor 0,6 . . . 1,2) beträgt bei Wandler-Anschluß
sek. 1 A ca. 0,4 VA (bei Kreisskala ca. 0,5 VA)
sek. 5 A ca. 0,5 VA (bei Kreisskala ca. 1,3 VA).

Nennfrequenz

Leistungsmesser mit Quadrant-, Quer- oder Hochskala:
45 . . . 65 Hz

Leistungsmesser mit Kreisskala:
50 oder 60 Hz, Einflußbereich $\pm 10\%$

Für Nennfrequenz 60 Hz muß die Bestell-Nr. durch -N12 (3. Block) ergänzt werden.
Andere Nennfrequenzen siehe Seite E 11/11.

Ausnahmen: Faktor $< 0,6 \dots 0,3$;
Ausführung mit frequenzabhängigen Gliedern (Typen D . . . b, D . . . hw)
49,5 . . . 50,5 Hz oder 59,5 . . . 60,5 Hz

Für Nennfrequenz 60 Hz muß die Bestell-Nr. durch -N12 (3. Block) ergänzt werden.
Andere Nennfrequenzen siehe Seite E 11/11.

Hinweise zur Auswahl eines Leistungsmessers

Für die richtige Ausführung Ihrer Bestellung sind außer der Bestell-Nummer folgende Angaben unbedingt nötig:

Nennspannung

Beim Verwenden von Spannungswandlern bitte die Betriebsspannung, das Übersetzungsverhältnis und die Schaltung der Wandler nennen.

Nennstrom

Bei Verwendung von Stromwandlern auch deren Übersetzungsverhältnis (Strom- und Spannungspfade der Leistungsmesser sind dauernd mit 20% überlastbar).

Meßgrößen und Meßbereiche

Meßgrößen bei Wirkleistung: W (Watt), kW (Kilowatt) oder MW (Megawatt)
Blindleistung: var (Var), kvar (Kilovar) oder Mvar (Megavar)

Genormte Meßbereiche: 1 – 1,2 – 1,5 – 2 – 2,5 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7,5 – 8
und deren dekadische Vielfache

Meßbereich-Endwerte sind zwischen dem 0,6- und 1,2fachen Wert (andere Faktoren siehe Sonderausführungen, Seite E 11/11) der errechneten Scheinleistung zu wählen, bzw. unter Berücksichtigung der primären Wandlerdaten:

$$\text{Einphasen-Wechselstrom: } P_s = U \cdot I$$

$$\text{Drehstrom: } P_s = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$$

Beispiel für Meßbereichsauswahl:

Drehstrom, Wandler-Nennwerte 1500/100 V, 500/5 A

$$\text{größter Meßbereichendwert} = 1,2 \cdot \sqrt{3} \cdot 1500 \text{ V} \cdot 500 \text{ A} = 1,56 \text{ MW}$$

Normwert 1,5 MW

$$\text{kleinster Meßbereichendwert} = 0,6 \cdot \sqrt{3} \cdot 1500 \text{ V} \cdot 500 \text{ A} = 0,78 \text{ MW}$$

Normwert 800 kW

Soll der Nullpunkt nicht am Anfang, sondern innerhalb der Teilung liegen, so sind die gewünschten Bereiche links und rechts vom Nullpunkt anzugeben (siehe Seite E 11/14). Wirkleistungsmesser zeigen mit dem Zeigerausschlag rechts vom Nullpunkt den Bezug von Wirkleistung und links vom Nullpunkt die Abgabe (Lieferung) von Wirkleistung an. Blindleistungsmesser zeigen rechts vom Nullpunkt den Bezug induktiver Blindleistung und links vom Nullpunkt den Bezug kapazitiver Blindleistung an.

Bei Bestellung bitte angeben

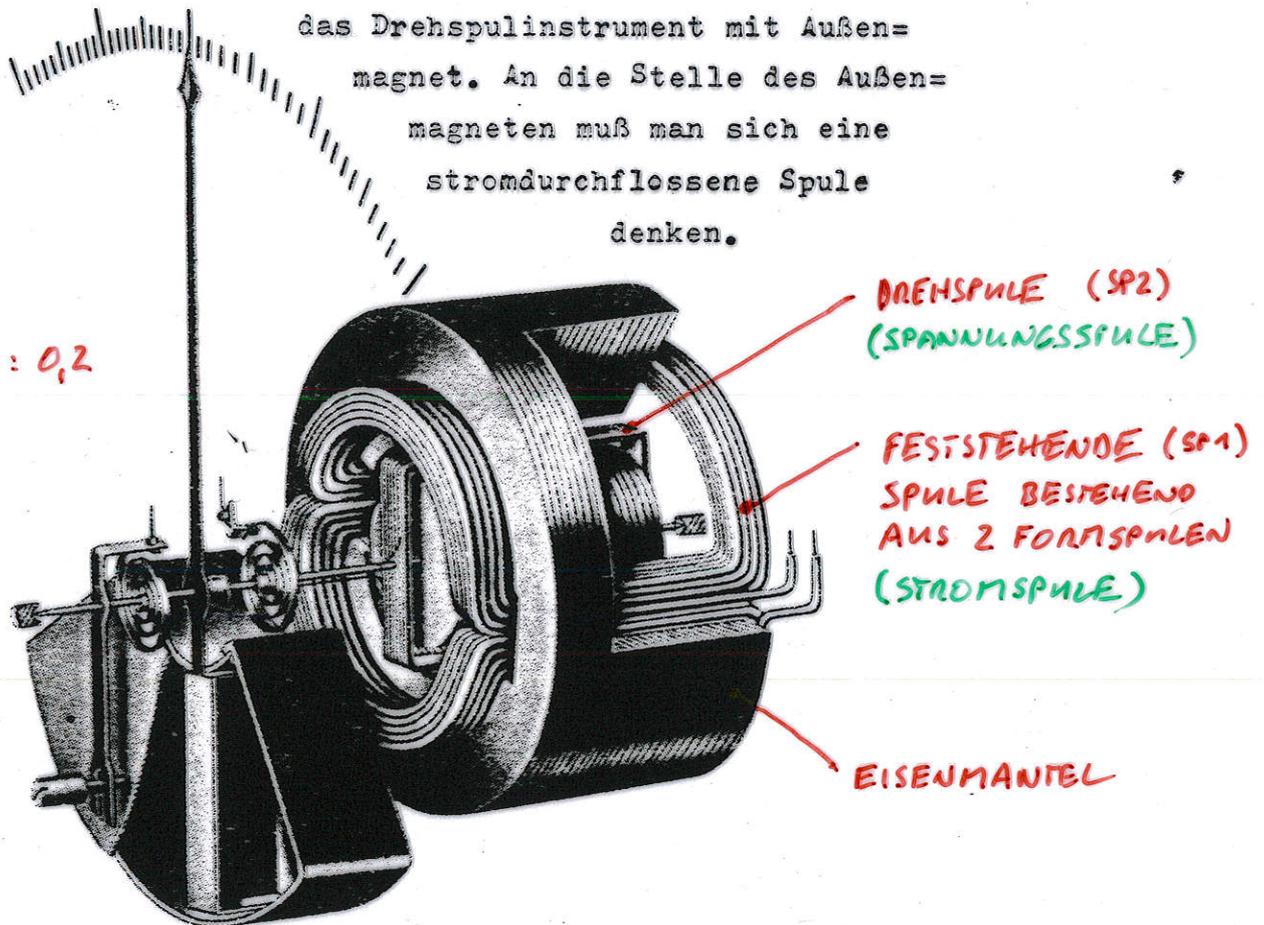
- Bestell-Nr.
- Wandlerübersetzungsverhältnis
- Meßgrößen und Meßbereiche
- Nennfrequenz – wenn nicht listenmäßig
- Falls erforderlich, weiteren Klartext für Sonderausführung

Elektrodynamisches Meßwerk

Aufbau

Das eisengeschlossene elektrodynamische Meßwerk hat einen ähnlichen Aufbau wie das Drehspulinstrument mit Außenmagnet. An die Stelle des Außenmagneten muß man sich eine stromdurchflossene Spule denken.

KLASSE : 0,2



ANWENDUNG FÜR GLEICH- UND WECHSELSPANNUNG BIS
CA. 100HZ

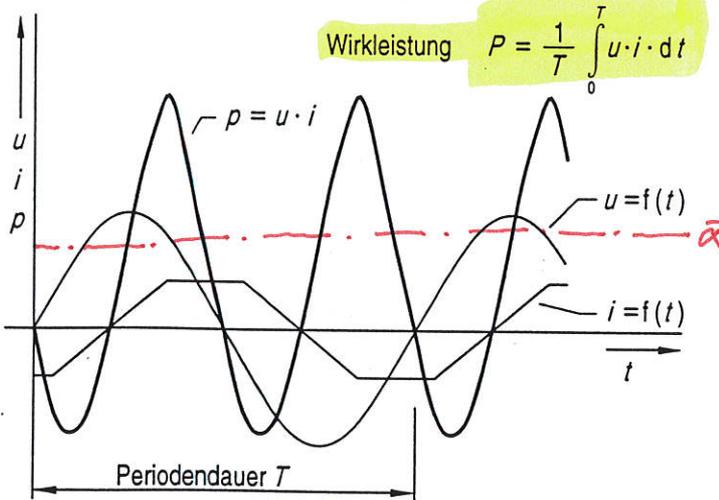
$$\alpha \sim U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

=> LINEARE SKALENTEILUNG

=> MESSUNG DER WIRKLEISTUNG

Wechselstromgrößen

Leistung als Funktion von Spannung und Strom

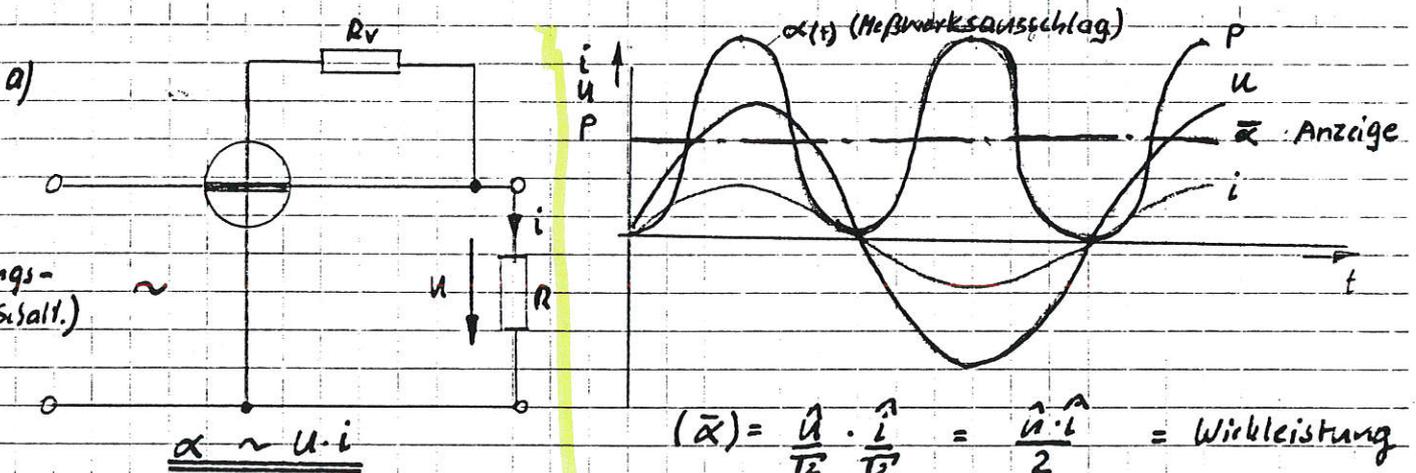


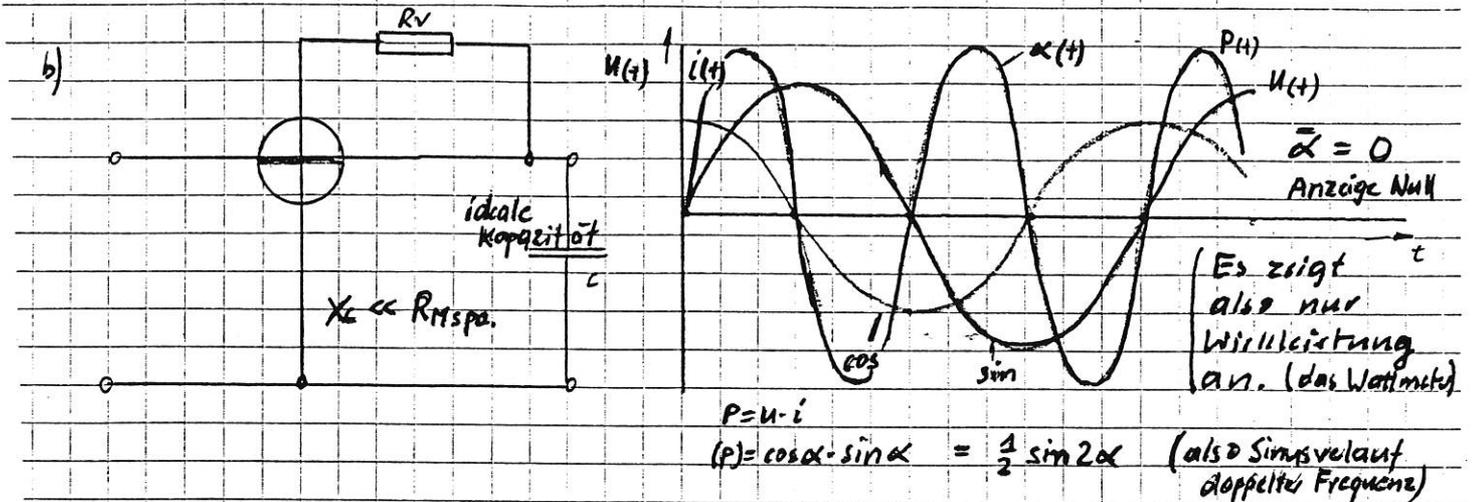
Leistung

Ist u der Augenblickswert der Spannung zwischen zwei Klemmen eines Stromkreises und i der Augenblickswert des zugehörigen Stromes, so gilt für die Augenblicksleistung in diesem Abschnitt $p = u \cdot i$. Bei Wechselspannungen und -strömen hat dieses Produkt während einer Periode meist positive und negative Werte. Die positiven Leistungswerte zeigen einen Energiefluß in die eine, die negativen Werte hingegen einen Energiefluß in die andere Richtung an. Der Durchschnittswert der positiven Leistung wird auch Vorlaufleistung, der Durchschnittswert der negativen Leistung entsprechend Rücklaufleistung genannt. Die mittlere Leistung wird Wirkleistung, die zwischen Erzeuger und Verbraucher pendelnden Leistungen werden Blindleistung genannt.

$$\bar{\alpha} = \frac{\hat{u} \cdot \hat{i}}{\sqrt{2}} = \text{WIRKLEISTUNG}$$

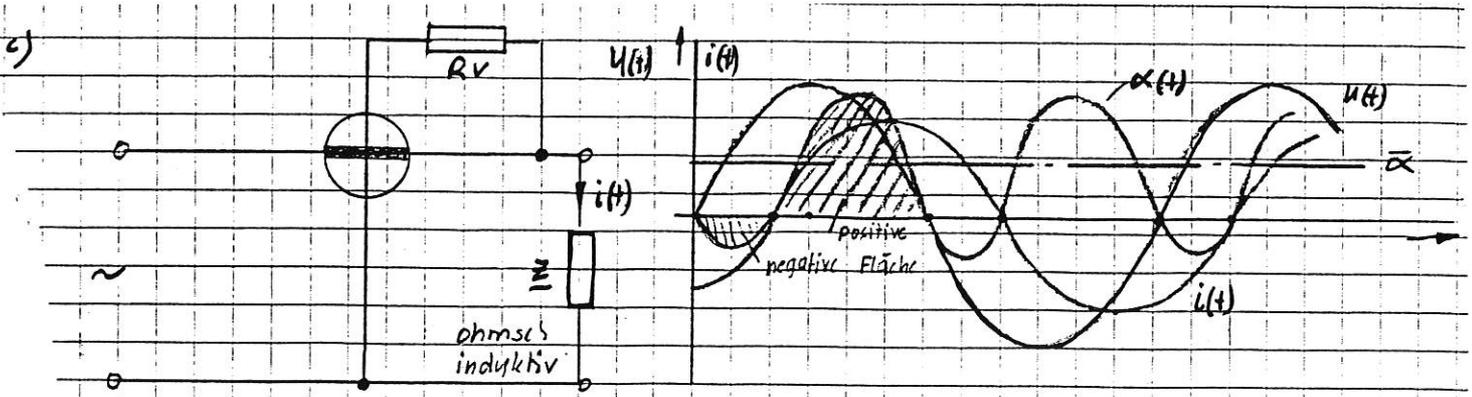
Wattmeter im Wechselstromkreis





Wenn R_v durch ein gleich großes X_C ersetzt wird, dann erhält man als angezeigte Größe die Blindleistung, weil der Strom dann auch um 90° verschoben wird, (wodurch man wieder Fall (a) hat.) Dies gilt auch für Induktivitäten.

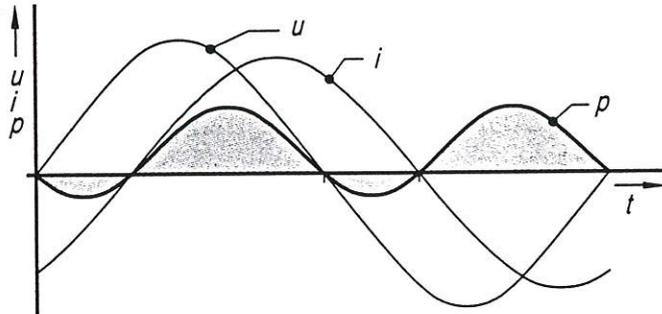
(Beim Einsatz von Leistungsmessern muß man auf die maximale Einsatzfrequenz achten)



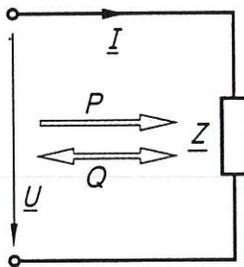
Je größer die Phasenverschiebung zwischen R/X_L desto größer werden die negativen Flächen, desto kleiner wird $\bar{\alpha}$. Also je größer f desto kleiner $\bar{\alpha}$, daraus folgt, das man hier die Wirkleistung mißt.

Komplexe Leistung

Liniendiagramm



- Bei Wechselstrom gibt es Wirk- Blind- und Scheinleistung

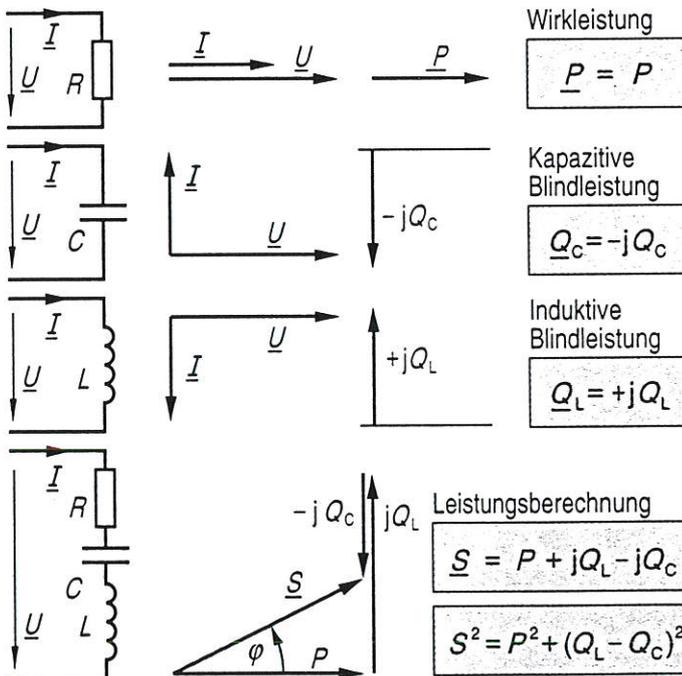


$$\underline{S} = \underline{U} \cdot \underline{I}^* = U \cdot I / \varphi$$

$$\underline{S} = UI \cos \varphi + j UI \sin \varphi = P + j Q$$

Scheinleistung S [S] = VA
Wirkleistung P [P] = W
Blindleistung Q [Q] = var

- Bei der Leistungsberechnung ist die komplexe Spannung \underline{U} und der konjugiert komplexe Strom \underline{I}^* einzusetzen



- Der Zeiger der induktiven Blindleistung zeigt immer nach oben, der kapazitive Blindleistungszeiger immer nach unten

Leistung im Wechselstromkreis

Die Augenblicksleistung ist in Gleich- und Wechselstromkreisen stets gleich dem Produkt aus Strom und Spannung: $p = u \cdot i$. Dabei ist aber entscheidend, ob Strom und Spannung phasengleich sind, oder nicht. Im allgemeinen Wechselstromkreis sind Strom und Spannung meist phasenverschoben. In diesem Fall wird ein Teil der aufgenommenen Leistung in Wärme oder mechanische Arbeit umgewandelt; dies ist die Wirkleistung. Ein anderer Teil pendelt zwischen Verbraucher und Generator; dies ist die Blindleistung. Die gesamte Leistung wird Scheinleistung genannt.

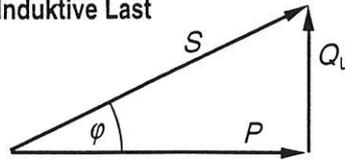
Berechnung

Der Effektivwert der Scheinleistung kann aus dem Produkt der Effektivwerte von Spannung und Strom berechnet werden; bei der komplexen Berechnung ist allerdings der konjugiert komplexe Wert des Stromes \underline{I}^* einzusetzen. Durch Verwendung des konjugiert komplexen Stromwertes ist es völlig gleichgültig, welchen Nullphasenwinkel Spannung und Strom haben; entscheidend ist allein die Phasenverschiebung φ zwischen beiden Größen.

Wirk-, Blind-, Scheinleistung

Die Art des Verbrauchers entscheidet über die Art der aufgenommenen Leistung. Ohmsche Widerstände sind reine Wirkverbraucher, sie nehmen nur Wirkleistung auf. Wirkleistung hat keinen Imaginäranteil, der Wirkleistungszeiger liegt immer waagrecht nach rechts zeigend in der komplexen Zahlenebene. Wirkleistung wird in Watt (W) gemessen. Kapazitive Widerstände nehmen nur kapazitive Blindleistung auf; der kapazitive Blindleistungszeiger liegt immer senkrecht nach unten zeigend in der komplexen Zahlenebene. Induktive Widerstände nehmen nur induktive Blindleistung auf; der induktive Blindleistungszeiger zeigt in der komplexen Zahlenebene immer nach oben. Kapazitive und induktive Blindleistung erhalten meist zur deutlichen Unterscheidung von der Wirkleistung die Einheit var (lies: Volt-Ampere-reaktiv). Die Scheinleistung ist gleich der komplexen Summe der Wirk- und Blindleistungen. Dies gilt gleichermaßen für Reihen-, Parallel- und Mischschaltungen. Als Einheit wird das VA (lies: Volt-Ampere) verwendet.

Induktive Last



Leistungsfaktor

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

- Das Verhältnis von Wirk- zu Scheinleistung, der „ $\cos \varphi$ “, wird als Leistungsfaktor bezeichnet

Leistung, mathematische Deutung

Für den Augenblickswert von Wechselstromleistung gilt allgemein: $p(t) = u(t) \cdot i(t)$.

Sind Spannung und Strom in Phase, so ergibt sich zu jeder Zeit eine positive Leistung. Diese schwingt mit doppelter Grundfrequenz um den Mittelwert $P = U \cdot I$. Dieser Mittelwert heißt Wirkleistung.

Sind Spannung und Strom um 90° bzw. $\pi/2$ phasenverschoben, so ist die Leistung abwechselnd positiv und negativ. Sie schwingt mit doppelter Grundfrequenz um den Mittelwert Null. Der Scheitelwert (Amplitude) dieser Schwingung hat den Wert $Q = U \cdot I$, dieser Scheitelwert wird als Blindleistung bezeichnet.

Im Beispiel wird die kapazitive Blindleistung $Q_C = U_C \cdot I_C$ eines Kondensators hergeleitet, für eine Induktivität gilt entsprechend $Q_L = U_L \cdot I_L$.

Phasenverschiebungswinkel

In komplexen Schaltungen tritt zwischen der Spannung und dem zugehörigen Strom meist eine zeitliche Verschiebung, die sogenannte Phasenverschiebung, auf. In der Praxis wird dabei üblicherweise der Spannungszeiger als Bezugsgröße angenommen. Ein der Spannung voreilender Strom hat danach einen positiven, ein nacheilender Strom einen negativen Phasenverschiebungswinkel φ . Diese Festlegung ist sinnvoll, weil im normalen Konstantspannungssystem die Spannung die natürliche Bezugsgröße darstellt.

Nach DIN 40110 wird jedoch der Strom als Bezugsgröße festgelegt. Diese Festlegung führt dazu, daß die induktive Blindleistung positiv imaginär und die kapazitive Blindleistung negativ imaginär gezählt wird.

Leistungsfaktor

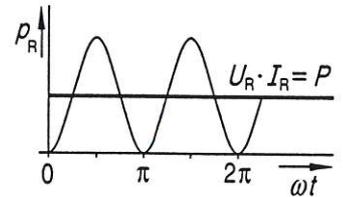
Für die Wirtschaftlichkeit von elektrischen Maschinen ist von Bedeutung, welcher Anteil der Gesamtleistung S als Wirkleistung P auftritt. Das Verhältnis von Wirk- zu Scheinleistung wird Leistungsfaktor genannt. Er ist gleich dem Kosinus des Phasenverschiebungswinkels. Auf dem Leistungsschild elektrischer Maschinen wird der Nennleistungsfaktor immer angegeben.

Wirkleistung

$$p_R = \hat{u}_R \cdot \sin \omega t \cdot \hat{i}_R \cdot \sin \omega t = \hat{u}_R \cdot \hat{i}_R \cdot \sin^2 \omega t$$

Mit der trigonometrischen Formel $\sin^2 \omega t = \frac{1}{2} (1 - \cos 2\omega t)$ folgt:

$$p_R = \frac{\hat{u}_R \cdot \hat{i}_R}{2} (1 - \cos 2\omega t) = \frac{\hat{u}_R}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\hat{i}_R}{\sqrt{2}} (1 - \cos 2\omega t) = U \cdot I (1 - \cos 2\omega t)$$

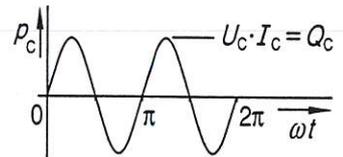


Blindleistung des Kondensators

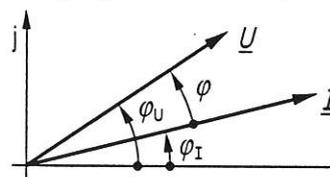
$$p_C = \hat{u}_C \cdot \sin \omega t \cdot \hat{i}_C \cdot \cos \omega t = \hat{u}_C \cdot \hat{i}_C \cdot \sin \omega t \cdot \cos \omega t$$

Mit der trigonometrischen Formel $\sin \omega t \cdot \cos \omega t = \frac{1}{2} \sin 2\omega t$ folgt:

$$p_C = \frac{\hat{u}_C \cdot \hat{i}_C}{2} \sin 2\omega t = \frac{\hat{u}_C}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\hat{i}_C}{\sqrt{2}} \sin 2\omega t = U \cdot I \cdot \sin 2\omega t$$



Festlegung nach DIN 40110



Nullphasenwinkel φ_U, φ_I
Phasenverschiebung $\varphi = \varphi_U - \varphi_I$

Leistung

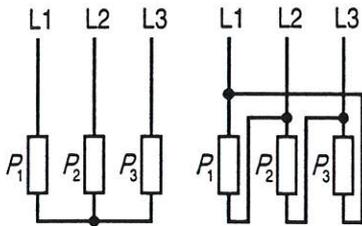
$$\underline{S} = \underline{U} \cdot \underline{I}^* = U / \varphi_U \cdot I / -\varphi_I = U \cdot I / \varphi_U - \varphi_I = U \cdot I / \varphi$$

$$\underline{S} = U \cdot I \cdot \cos \varphi + j \cdot U \cdot I \cdot \sin \varphi$$

Wirkleistung

Blindleistung
induktiv, wenn φ positiv
kapazitiv, wenn φ negativ

Drehstromleistung



$$P_{\text{gesamt}} = P_1 + P_2 + P_3$$

mit

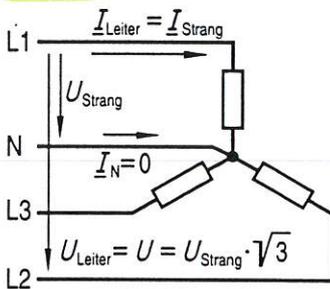
$$P_1 = U_{\text{Str.1}} \cdot I_{\text{Str.1}} \cdot \cos \varphi_{\text{Str.1}}$$

$$P_2 = U_{\text{Str.2}} \cdot I_{\text{Str.2}} \cdot \cos \varphi_{\text{Str.2}}$$

$$P_3 = U_{\text{Str.3}} \cdot I_{\text{Str.3}} \cdot \cos \varphi_{\text{Str.3}}$$

- Die Wirkleistungen der drei Stränge dürfen direkt zur gesamten Wirkleistung zusammengefaßt werden

Symmetrische Sternschaltung

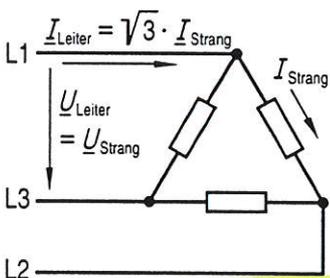


$$P_{\text{gesamt}} = P = 3 \cdot P_{\text{Str.}}$$

mit $P_{\text{Str.}} = U_{\text{Str.}} \cdot I_{\text{Str.}} \cdot \cos \varphi_{\text{Str.}}$
 und $I_{\text{Str.}} = I_{\text{Leiter}} = I$
 und $U_{\text{Str.}} = U_{\text{Leiter}} : \sqrt{3} = U : \sqrt{3}$
 folgt: $P = 3 \cdot \frac{U}{\sqrt{3}} \cdot I \cdot \cos \varphi$

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

Symmetrische Dreieckschaltung



$$P_{\text{gesamt}} = P = 3 \cdot P_{\text{Str.}}$$

mit $P_{\text{Str.}} = U_{\text{Str.}} \cdot I_{\text{Str.}} \cdot \cos \varphi_{\text{Str.}}$
 und $I_{\text{Str.}} = I_{\text{Leiter}} : \sqrt{3} = I : \sqrt{3}$
 und $U_{\text{Str.}} = U_{\text{Leiter}} = U$
 folgt: $P = 3 \cdot U \cdot \frac{I}{\sqrt{3}} \cdot \cos \varphi$

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

- Für einen symmetrischen Drehstromverbraucher gilt bei Stern- und bei Dreieckschaltung: $P = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi$

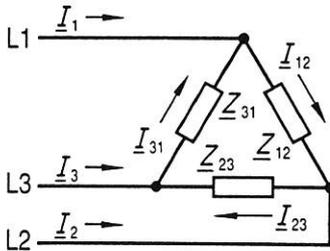
Wirkleistung

Die gesamte Wirkleistung eines Drehstromverbrauchers setzt sich aus den Leistungen der drei Stränge zusammen. Bei unsymmetrischer Belastung müssen die drei Einzelleistungen berechnet und addiert werden. Sowohl für Stern- als auch für Dreieckschaltung gilt deshalb: gesamte Wirkleistung $P_{\text{gesamt}} = P_1 + P_2 + P_3$. Die Blind- und die Scheinleistungen der drei Stränge dürfen nur unter Berücksichtigung ihrer möglicherweise unterschiedlichen Phasenlagen addiert werden.

Symmetrische Last

Ist ein Dreiphasennetz symmetrisch belastet, so ist die gesamte Wirkleistung gleich der dreifachen Strangleistung. Sowohl für Stern- als auch für Dreieckschaltung gilt: $P_{\text{gesamt}} = 3 \cdot P_{\text{Strang}}$. Bei symmetrischer Last können auch die Blindleistungen bzw. die Scheinleistungen der drei Stränge jeweils direkt addiert werden, da sie in allen Strängen die gleiche Phasenlage haben. Damit erhält man die einfachen Formeln: $S_{\text{gesamt}} = 3 \cdot S_{\text{Strang}}$ und $Q_{\text{gesamt}} = 3 \cdot Q_{\text{Strang}}$. Die Strangleistung erhält man dabei für Schein-, Wirk- und Blindleistung aus dem Produkt von Strangspannung und Strangstrom, nämlich $S_{\text{Strang}} = U_{\text{Strang}} \cdot I_{\text{Strang}}$, $P_{\text{Strang}} = U_{\text{Strang}} \cdot I_{\text{Strang}} \cdot \cos \varphi$ und $Q_{\text{Strang}} = U_{\text{Strang}} \cdot I_{\text{Strang}} \cdot \sin \varphi$. Da bei der Sternschaltung die Spannungen, bei der Dreieckschaltung die Ströme durch den Faktor $\sqrt{3}$ miteinander verkettet sind, lassen sich für beide Schaltungen die gleichen Formeln ableiten: $S = U \cdot I \cdot \sqrt{3}$, $P = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi$ und $Q = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \sin \varphi$. U und I stellen dabei Leiterwerte dar, φ ist der Winkel zwischen Strangspannung und Strangstrom.

Beispiel: komplexe, unsymmetrische Dreieckschaltung



$$\begin{aligned} U_{12} &= 400 \text{ V } \angle 0^\circ \\ U_{23} &= 400 \text{ V } \angle -120^\circ \\ U_{31} &= 400 \text{ V } \angle -240^\circ \\ Z_{12} &= 200 \Omega \angle -30^\circ \\ Z_{23} &= 250 \Omega \angle 30^\circ \\ Z_{31} &= 400 \Omega \angle 20^\circ \end{aligned}$$

Ströme

$$\underline{I}_{12} = 2 \text{ A } \angle 30^\circ \quad \underline{I}_{23} = 1,6 \text{ A } \angle -150^\circ \quad \underline{I}_{31} = 1 \text{ A } \angle -260^\circ$$

Strangleistungen

$$\begin{aligned} \underline{S}_1 &= \underline{U}_{12} \cdot \underline{I}_{12}^* = 400 \text{ V } \angle 0^\circ \cdot 2 \text{ A } \angle -30^\circ = 800 \text{ W } \angle -30^\circ \\ &= 800 \text{ W} \cdot (\cos(-30^\circ) + j \cdot \sin(-30^\circ)) = \boxed{693 \text{ W}} - \boxed{j \cdot 400 \text{ W}} \end{aligned}$$

Wirkleistung Blindleistung

$$\underline{S}_2 = \underline{U}_{23} \cdot \underline{I}_{23}^* = \dots = 640 \text{ W } \angle 30^\circ = 554 \text{ W} + j \cdot 320 \text{ W}$$

$$\underline{S}_3 = \underline{U}_{31} \cdot \underline{I}_{31}^* = \dots = 400 \text{ W } \angle 20^\circ = 376 \text{ W} + j \cdot 137 \text{ W}$$

- Der Realteil der komplexen Leistung stellt die Wirkleistung, der Imaginärteil stellt die Blindleistung dar

Zeigerbilder

Auch für die Leistungen der drei Stränge können wie für Ströme und Spannungen Zeigerbilder gezeichnet werden. Die Wirkleistungen haben dabei immer die Richtung der positiven reellen Achse. Induktive Blindleistungen haben die Richtung der positiven, imaginären Achse und kapazitive Blindleistungen die Richtung der negativen, imaginären Achse.

Die Zeiger der Leistungen können addiert werden. Die Wirkleistungen der drei Stränge ergeben die gesamte Wirkleistung des Drehstromverbrauchers.

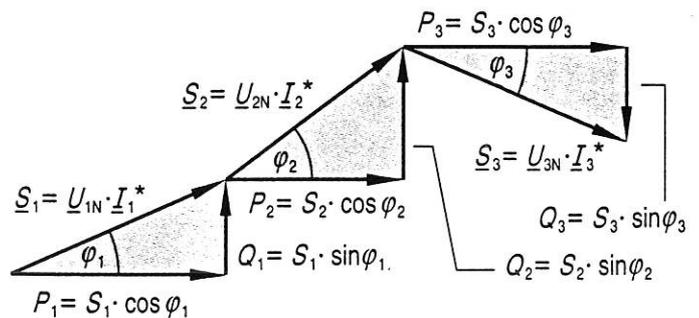
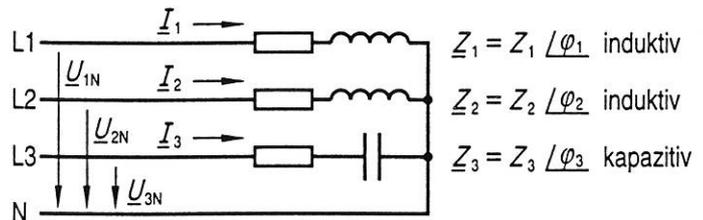
Die Blindleistungen der drei Stränge können sich auch zu Null addieren, d.h. die einzelnen Stränge nehmen Blindleistung auf, die Gesamtleistung ist aber Null. Eine Entlastung der Leitungen von Blindstrom bedeutet dies aber nicht unbedingt, da kapazitive und induktive Leistungen ja in verschiedenen Strängen auftreten.

Komplexe Berechnung

Die verschiedenen Leistungen lassen sich auch durch komplexe Rechnung ermitteln. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Leistung gleich dem Produkt aus Spannung \underline{U} und dem zugehörigen konjugiert komplexen Strom \underline{I}^* ist. Damit erhält man unabhängig von der Phasenlage der Strangspannungen und Strangströme:

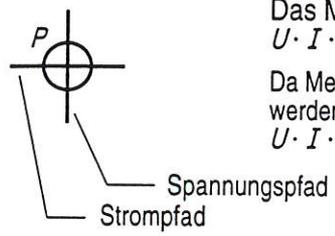
1. Wirkleistung hat immer die Phasenlage 0° , das heißt $\underline{P} = P \angle 0^\circ$. Die Wirkleistungen der drei Stränge können direkt zur Gesamtleistung addiert werden.
 2. Induktive Blindleistung hat immer die Phasenlage $+90^\circ$, d.h. $\underline{Q}_L = Q_L \angle 90^\circ$, kapazitive Blindleistung hat immer die Phasenlage -90° , d.h. $\underline{Q}_C = Q_C \angle -90^\circ$. Die Blindleistungen der drei Stränge können unter Beachtung des Vorzeichens zur gesamten Blindleistung addiert werden.
 3. Die Scheinleistungen der drei Stränge können unter Berücksichtigung ihrer jeweiligen Phasenlage zur Gesamtscheinleistung addiert werden.
- Das Beispiel zeigt die Bestimmung der Leistungen in einer unsymmetrisch belasteten Dreieckschaltung.

Unsymmetrische Sternschaltung



Drehstrom-Leistungsmessung

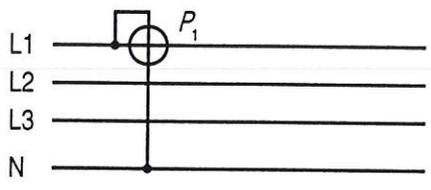
Meßwerk zur Produktbildung



Das Meßwerk zeigt das Produkt $U \cdot I \cdot \cos \varphi$, d.h. die Wirkleistung an.
Da Meßwerk kann auch so beschaltet werden, daß die Blindleistung $U \cdot I \cdot \sin \varphi$ angezeigt wird.

- Die Meßschaltung richtet sich nach dem Drehstromnetz (Drei- oder Vierleiter) und der Last (symmetrisch, beliebig)

Schaltung 3200

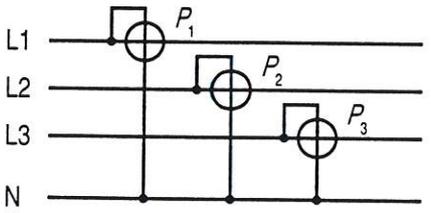


Symmetrische Last
(Y oder Δ)

$$P = 3 \cdot P_1$$

- Zur Leistungsmessung im Vierleiternetz ist bei symmetrischer Last nur ein Leistungsmesser nötig

Schaltung 6200



Beliebige Last
(Y oder Δ)

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

- Bei unsymmetrischer Last sind 3 Leistungsmesser nötig

Prinzip

Bei der Leistungsmessung müssen die Spannungen und die zugehörigen Ströme erfaßt und miteinander multipliziert werden. Im Drehstromsystem erfordert dies unterschiedliche Meßschaltungen, je nachdem ob in einem Drei- oder Vierleiternetz gemessen wird, und ob die Last symmetrisch oder unsymmetrisch ist.

Als Meßwerke werden elektrodynamische Meßwerke, Drehspulmeßwerke mit Meßzusatz (Hall-Generator) sowie elektronische Meßumformer eingesetzt. Die Meßschaltungen sind nach DIN 43807 genormt.

Vierleiternetz

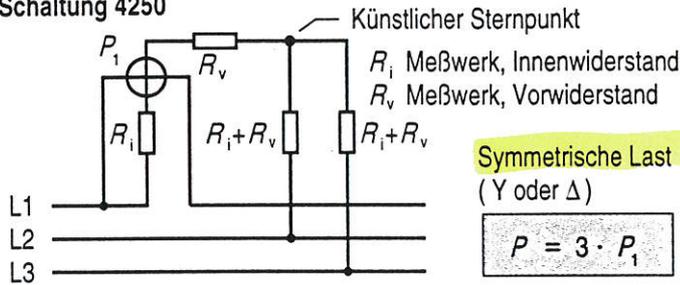
Symmetrische Last

Stellt der Verbraucher eine symmetrische Belastung dar (Motor, Elektroheizung), so genügt es, eine Strangleistung zu messen. Die gesamte Leistung erhält man durch Multiplikation mit dem Faktor 3. Bei manchen Meßgeräten ist der Faktor 3 bereits bei der Eichung berücksichtigt. Diese Meßmethode wird Ein-Wattmeter-Methode genannt.

Unsymmetrische Last

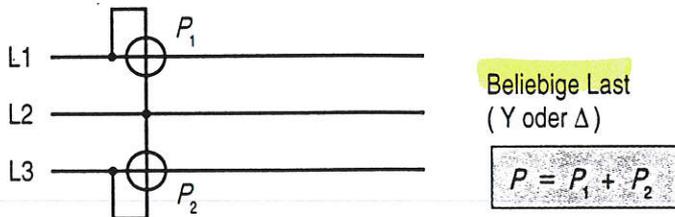
Enthält der Drehstromverbraucher unterschiedliche Stränge, so müssen drei Leistungsmesser eingesetzt werden (Drei-Wattmeter-Methode). Jeder Leistungsmesser zeigt die Wirkleistung in einem Strang an, die Gesamtleistung ist gleich der Summe der Einzelleistungen. Wirken alle drei Meßwerke auf eine gemeinsame Welle, so kann die Gesamtleistung direkt abgelesen werden.

Schaltung 4250



- Mit 2 Zusatzwiderständen kann im Dreileiternetz ein künstlicher Sternpunkt (Potential Null) gemacht werden

Schaltung 5200



- Bei der Aron-Schaltung muß die Richtung des Zeigerausschlags bei der Summenbildung berücksichtigt werden

Dreileiternetz

Künstlicher Sternpunkt

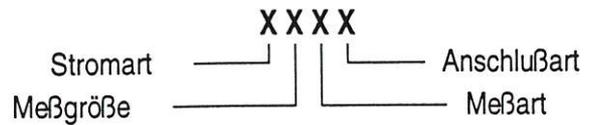
In Dreileiternetzen, die naturgemäß keinen Sternpunkt haben, lassen sich Strangleistungen nicht direkt messen. Mit Hilfe von zwei zusätzlichen Widerständen, die aus dem Innenwiderstand des Spannungspfad und seinem Vorwiderstand berechnet werden, läßt sich jedoch ein künstlicher Sternpunkt nachbilden. Bei **symmetrischer Last** wird vom Meßgerät die Strangleistung angezeigt; die Gesamtleistung erhält man dann durch Multiplikation mit dem Faktor 3.

Aron-Schaltung

Im Dreileiternetz kann mit Hilfe einer Zwei-Wattmeter-Methode (Aron-Schaltung) **bei symmetrischer und unsymmetrischer Last** die Gesamtleistung gemessen werden. Bei dieser Schaltung können beide Meßwerke auch bei symmetrischer Last je nach Leistungsfaktor verschiedene Werte anzeigen: Bei $\cos\varphi = 1$ sind beide Zeigerausschläge gleich, bei $\cos\varphi = 0,5$ ist ein Ausschlag Null. Ist $\cos\varphi < 0,5$, so ist ein Ausschlag negativ, die Meßwerte sind dann voneinander abzuziehen. Für $\cos\varphi < 0,3$ wird die Messung sehr ungenau.

Schaltungsnummern für Leistungsmesser

Die Schaltungen zur Messung der Leistung in Gleich- sowie Wechsel- und Drehstromkreisen werden durch Kennziffern nach DIN 43 807 bezeichnet. Die Schaltungsnummern enthalten 4 Kennziffern für Stromart, Meßgröße, Meßart und Anschlußart.



Ziffer	Stromart	Meßgröße	Meßart	Anschlußart
0		Strom	alle Fälle außer 1...6	unmittelbar
1	Zweileiter-Gleichstrom	Spannung	L+ in Stromspule	an Stromwandler
2	Dreileiter-Gleichstrom	Wirkleistung	L- in Stromspule	an Strom- u. Sp.-W.
3	einphasiger Wechselstrom	Blindleistung	o. angeschl. N-Leiter	an Nebenwiderstände
4	Dreileiter-Drehstrom, symmetrische Last	Leistungsfaktor	mit angeschl. N-Leiter	
5	Dreileiter-Drehstrom, beliebige Last		eingeb. Nullp.-Widerst.	
6	Vierleiter-Drehstrom, beliebige Last		eingeb. Kunstschtaltung	

Blindleistungsmessung

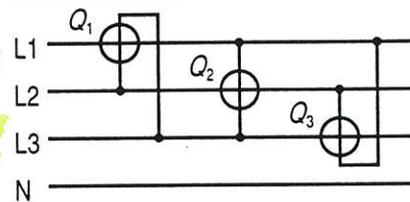
Werden in den verschiedenen Meßschaltungen die Wirkleistungsmesser durch Blindleistungsmesser ersetzt, so wird naturgemäß die Blindleistung erfaßt.

In Drehstromschaltungen kann die Blindleistung auch mit Wirkleistungsmessern gemessen werden, wenn der Spannungspfad so angeschlossen wird, daß im Vergleich zu entsprechenden Wirkleistungsmessung die Spannung um 90° phasenverschoben ist.

Die Schaltbilder zeigen die Möglichkeiten der Blindleistungsmessung mit Wirkleistungsmessern im beliebig belasteten Vierleiter- und Dreileiternetz. Bei der Berechnung der gesamten Blindleistung ist in beiden Schaltungen noch der Faktor $\sqrt{3}$ zu berücksichtigen. Zur Messung der Blindleistung in symmetrisch belasteten Netzen genügt ein Meßgerät.

Messung der Blindleistung mit Wirkleistungsmesser

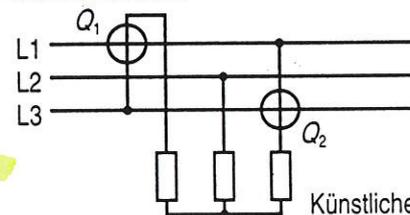
im Vierleiternetz



Gesamte
Blindleistung

$$Q = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{\sqrt{3}}$$

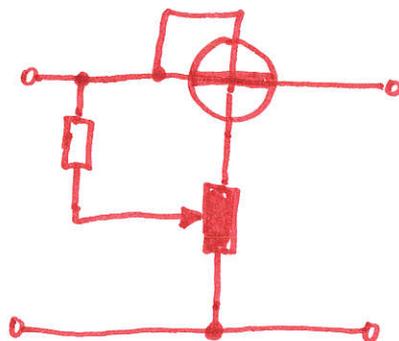
im Dreileiternetz



Gesamte
Blindleistung

$$Q = \sqrt{3} \cdot (Q_1 + Q_2)$$

BLINDELEISTUNGS-
MESSER



DURCH DIE SPULE IN
SPANNUNGSPFAD

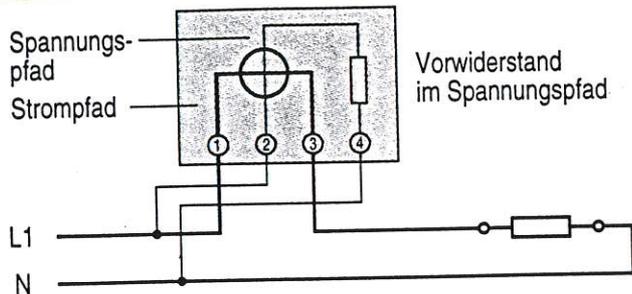
$$\varphi' = 90^\circ - \varphi$$

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi'$$

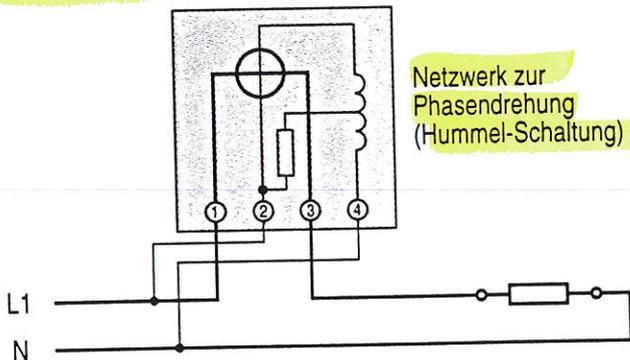
$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$$

Leistungs- und Arbeitsmessung

Wirkleistungsmesser, Schaltung 3200

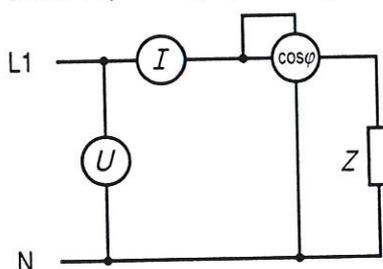


Blindleistungsmesser, Schaltung 3300



- Wirk- und Blindleistung werden meist mit elektrodynamischen Meßwerken bestimmt; mit einigen Digitalmeßgeräten kann auch die Scheinleistung direkt gemessen werden

Strom-, Spannungs-, Leistungsfaktormessung



Scheinleistung

$$S = U \cdot I$$

Wirkleistung

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

Blindleistung

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$$

- Durch indirekte Leistungsmessung mit Spannungs- und Strommesser wird vor allem die Scheinleistung bestimmt

Direkte Leistungsmessung

Bei der Leistungsmessung muß zunächst entschieden werden, ob die Wirk-, Blind- oder Scheinleistung gemessen werden soll.

In den meisten Fällen interessiert die Wirkleistung; sie wird insbesondere zur Bestimmung des Energieverbrauchs benötigt. Zur Messung werden sowohl Analogmeßgeräte mit elektrodynamischem Meßwerk als auch Digitalmeßgeräte angeboten. In jedem Fall muß das Meßgerät den Strom und die Spannung des Verbrauchers erfassen.

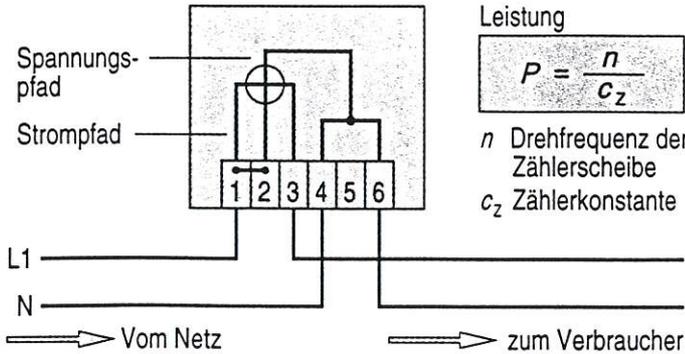
Die Blindleistung kann mit elektrodynamischen Meßwerken erfaßt werden, wenn der Strom im Spannungspfad mit Hilfe eines Phasenschiebers gegenüber der Spannung um -90° gedreht wird. Die im Beispiel dargestellte Hummel-Schaltung zur Phasendrehung arbeitet nur bei einer bestimmten Frequenz, z. B. 50 Hz, korrekt. Auch Messungen bei Spannungen mit hohem Oberschwingungsgehalt (Phasenanschnittsteuerung) sind fehlerhaft. Der Zeigerausschlag von Blindleistungsmessern ist bei induktiver Leistung positiv, bei kapazitiver Leistung negativ.

Die direkte Messung der Scheinleistung ist mit elektrodynamischen Meßwerken nicht möglich, wird aber von einigen Digital-Meßgeräten angeboten.

Indirekte Leistungsmessung

Die Scheinleistung eines Verbrauchers kann leicht mit Hilfe einer Spannungs- und einer Strommessung bestimmt werden. Eventuell muß dabei der systematische Fehler, der durch die Spannungsfehler- bzw. Stromfehlerschaltung entsteht, berücksichtigt werden. Zur Bestimmung der Wirk- und der Blindleistung muß zusätzlich die Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom bzw. der Leistungsfaktor bekannt sein. Der Leistungsfaktor kann z. B. mit einem elektrodynamischen Quotientenmeßwerk oder einem digitalen Leistungsfaktormesser ermittelt werden.

Wechselstromzähler, Schaltung 1000



Leistung

$$P = \frac{n}{c_z}$$

n Drehfrequenz der
Zählerscheibe
 c_z Zählerkonstante

- Elektrische Arbeit wird mit Hilfe von Induktionszählern oder durch eine Messung von Leistung und Zeit bestimmt

Vielfach-Leistungsmesser, Beispiel

Das im Beispiel dargestellte Meßgerät eignet sich zur Leistungsmessung bei Einphasen-Wechselstrom und bei symmetrisch belastetem Dreileiter-Drehstrom ohne N-Leiter.

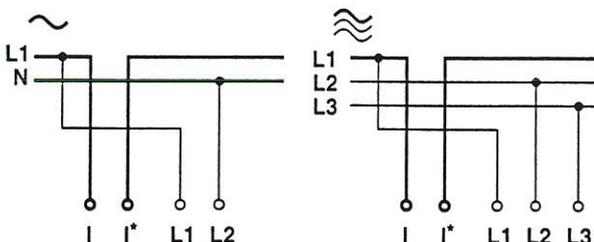
Konstantentabelle

Nennstrom	Nennspannung	Ablesefaktor			
		0...100	0.250	0...100	0.250
1 A	100 V	1	-	2	-
	200 V	2	-	4	-
	500 V	5	-	10	-
5 A	100 V	5	-	10	-
	200 V	10	-	20	-
	500 V	-	10	-	20
25 A	100 V	-	10	-	20
	200 V	-	20	100	-
	500 V	-	50	-	100

Vorsicht!

Bei der Messung darf weder der Spannungspfad noch der Strompfad überlastet werden.

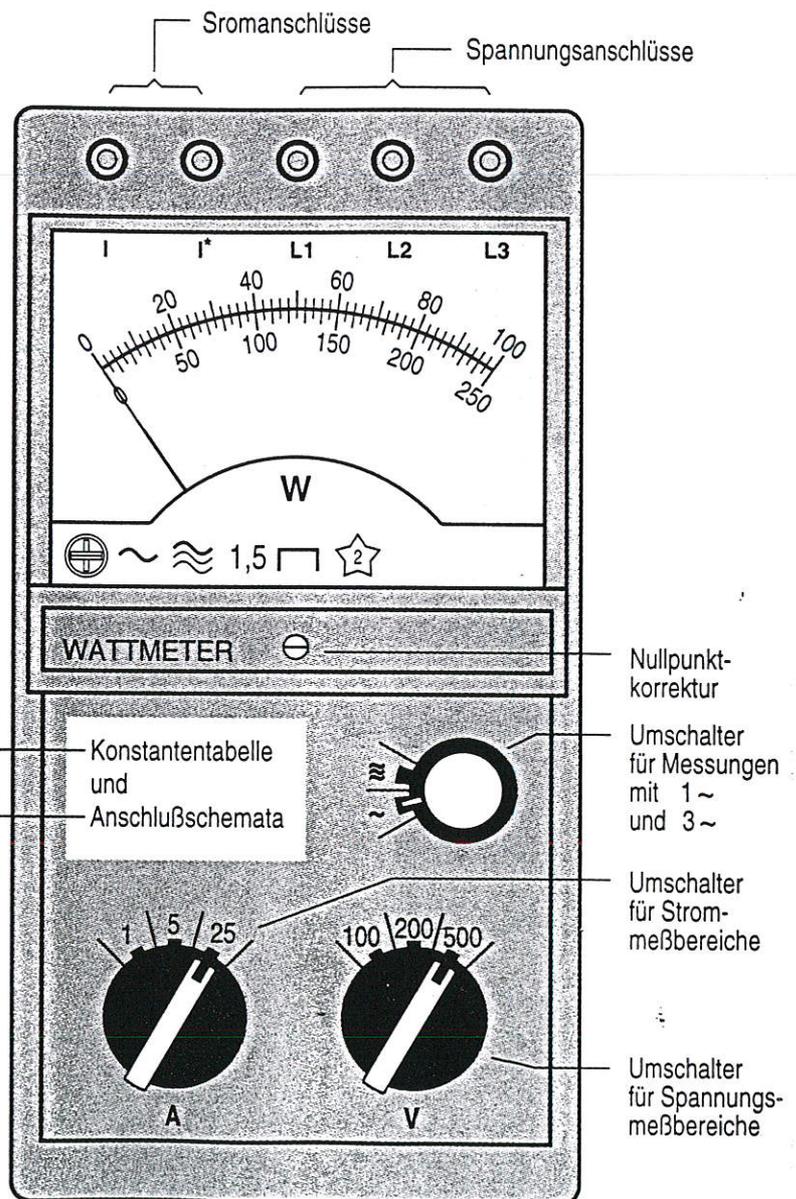
Anschlussschemata für Wechsel- und Drehstrom



Arbeitsmessung

Die in einer bestimmten Zeitspanne in einem Betriebsmittel umgesetzte elektrische Arbeit kann mit Hilfe einer Leistungs- und einer Zeitmessung bestimmt werden. Voraussetzung ist allerdings, daß die Leistung während der ganzen Meßzeit konstant ist.

Soll die Arbeit über eine längere Zeit hinweg bei veränderlicher Leistung gemessen werden, so wird die Messung mit einem Elektrizitätszähler (Induktionszähler siehe Kap. 8.5) bevorzugt. Induktionszähler messen die Wirkarbeit; wird der Strom im Spannungspfad mit einer phasendrehenden Schaltung um -90° gedreht, so kann auch die Blindleistung gemessen werden. Mit Hilfe eines Elektrizitätszählers kann über die Zählerkonstante auch die Leistung ermittelt werden.



Stromwandler

Stromwandler sind Spezialtransformatoren zur proportionalen Umsetzung von Strömen großer Stromstärken auf direkt meßbare Werte. Bedingt durch ihre konstruktive Gestaltung und ihr physikalisches Wirkprinzip erzielt man mit ihnen eine galvanische Trennung des Primärkreises vom Meßkreis und somit eine Schutzwirkung für die nachgeschalteten Meßgeräte im Falle einer Störung.

NENN-ÜBERSETZUNG ist das Verhältnis des Primär-Nennstromes zum Sekundär-Nennstrom. Es wird als ungekürzter Bruch auf dem Leistungsschild angegeben.

BEMESSUNGS-STROMSTÄRKE ist der auf dem Leistungsschild angegebene Wert des primären und sekundären Nennstromes.

Genormte Primär-Nennströme sind nachfolgende Werte:

5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 75; 100 A und dekadische Vielfache der vorgenannten Werte bis maximal 5000 A.

Genormte Sekundär-Nennströme sind die Werte: 5 A und 1 A.

HÖCHSTE SPANNUNG FÜR BETRIEBSMITTEL kennzeichnet den höchsten Wert der Leiter-Leiter-Spannung, für welchen die Isolation des Stromwandlers bemessen ist.

BEMESSUNGSBÜRDE eines Stromwandlers ist der durch Betrag und Bürdenleistungsfaktor $\cos \beta$ ausgedrückte Scheinwiderstand des äußeren Sekundärkreises. Die Bemessungsbürde ist maßgebend für die Bestimmung der Fehlergrenzen des Stromwandlers.

BEMESSUNGS-LEISTUNG ist das Produkt aus Bemessungsbürde und dem Quadrat des sekundären Nennstromes in VA. Nach DIN VDE 0414, S. 7, Pkt. 7, sind für Stromwandler folgende Bemessungsleistungen genormt: 2,5; 5; 7,5; 10; 15 und 30 VA.

BEMESSUNGS-BEGRENZUNGS-STROMSTÄRKE ist der Strom, bei dem bei Bemessungsbürde die für Stromwandler für Schutzzwecke festgelegten Gesamtfehler noch nicht überschritten sind und bei dem für Stromwandler für Meßzwecke der Gesamtfehler gleich oder größer als 10% ist. Er ist Bezugsgröße für die Festlegung bzw. Ermittlung des Überstrom-Begrenzungsfaktors FS

ÜBERSTROM-BEGRENZUNGSFAKTOR ist der Faktor, mit welchem der Primärstrom multipliziert werden muß, um die primäre Bemessungs-Begrenzungs-Stromstärke zu erhalten.

GESAMTFEHLER

eines Stromwandlers ist das prozentuale Verhältnis des über die Periodendauer gebildeten Effektivwertes der Differenz aus den mit der Nenn-Übersetzung multiplizierten Augenblickswerten des Sekundärstromes und den Augenblickswerten des Primärstromes zum Effektivwert des Primärstromes.

$$F_g = \frac{100}{I_1} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (K_n \times i_2 - i_1)^2 dt}$$

F_g = Gesamtfehler in %
 T = Dauer einer Periode in Sekunden
 K_n = Nenn-Übersetzung
 I_1 = Effektivwert des Primärstromes in A
 i_1 = Augenblickswert des Primärstromes in A
 i_2 = Augenblickswert des Sekundärstromes in A

STROMFEHLER F_i

ist die prozentuale Abweichung des mit der Nenn-Übersetzung multiplizierten Sekundärstromes vom Primärstrom.
 Der Stromfehler wird positiv gerechnet, wenn der tatsächliche Wert des Sekundärstromes den Sollwert übersteigt.

$$F_i = \frac{I_2 \times K_n - I_1}{I_1} \times 100 \%$$

F_i = Stromfehler in %
 I_1 = primärer Strom in A (Effektivwert)
 I_2 = sekundärer Strom in A (Effektivwert)
 K_n = Nenn-Übersetzung

FEHLWINKEL

bedeutet die Phasenverschiebung des Sekundärstromes gegen den Primärstrom. Die Ausgangsrichtungen sind hierbei so festgelegt, daß bei Fehlerfreiheit des Wandlers sich eine Verschiebung von 0° ergibt. Der Fehlwinkel wird in Winkelminuten oder Centiradianen angegeben ($1 \text{ Grad} = 34,4 \text{ min}$) und positiv gerechnet, wenn die sekundäre Größe der primären voraneilt.

**GENAUIGKEITS-
KLASSE**

Die Stromwandler werden entsprechend ihrer Genauigkeit in Klassen eingeteilt. Jeder Klasse sind bestimmte Fehlergrenzen zugeordnet.

**THERMISCHE-
BEMESSUNGS-
KURZZEIT-
STROMSTÄRKE I_{th}**

Dieser Wert kennzeichnet den Effektivwert des Primärstromes, welchem der Wandler bei kurzgeschlossener Sekundärwicklung für die Dauer von 1 Sekunde ausgesetzt werden darf, ohne beschädigt zu werden.

**BEMESSUNGS-
STOSSSTROM-
STÄRKE [I_{DYN}]** $I_{dyn} = 2,5 \times I_{th}$ für unsere Wickelstromwandler-Typen $I_{dyn} = 100 \text{ kA}$ für unsere Einleiter-Stromwandler

Dieser Wert kennzeichnet den Scheitelwert des Primärstromes, dessen mechanischen und elektromagnetischen Wirkungen der Wandler bei kurzgeschlossener-Sekundärwindung widersteht.

**THERMISCHER
NENNDAUERSTROM I_D**

Dieser Wert gibt den Primärstrom an, mit welchem der Wandler bei angeschlossener Bemessungsbürde betrieben werden kann, ohne daß die Temperatur der Wicklung spezifizierte Werte übersteigt.

Die Wandlerauslegung gilt für 35° C Umgebungs- und 85° C Schienentemperatur.

WICHTIG:

Alle Wandler unserer Verrechnungswandlerpalette sind, in Übereinstimmung mit der DIN VDE 0414, für einen thermischen Nenndauerstrom von $I_D = 1,2 I_N$ ausgelegt.

Der Überstrom-Begrenzungsfaktor wird auf dem Leistungsschild eines Meßwandlers durch einen, den Buchstaben „FS“ nachfolgenden, Zahlenwert gekennzeichnet. Die Angabe „FS5“ drückt aus, daß der **Gesamtfehler** des Meßwandlers beim 5fachen primären Nennstrom infolge der eintretenden magnetischen Sättigung des Kerneisens mindestens 10 % beträgt.

„OFFENSPANNUNG“ VON STROMWANDLERN

Stromwandler, welche nicht direkt mit einer Bürde belastet werden, werden im allgemeinen sekundärseitig kurzgeschlossen. Ein sekundärseitig offen betriebener Stromwandler wirkt wie ein mit nahezu unendlich hohem Widerstand bebürdeter Wandler. Dabei ist die Kurvenform des Sekundärstromes sehr stark verzerrt, und es treten Spannungsspitzen auf, welche für den Menschen gefährdend wirken können. Die Höhe der induzierten „Leerlaufspannung“ hängt vom Kernquerschnitt und den sekundären Windungszahlen ab. Für MBS-Stromwandler niedrigerer Leistung und ein Nennübersetzungs-Verhältnis bis 500/5 A ist der Scheitelwert dieser Spannung $\hat{U} \leq 200 \text{ V}$. Aus Gründen des Gefährdungsschutzes und zur Verhinderung der Magnetisierung des Kerneisens ist ein „Offen-Betrieb“ (offener Sekundärkreis) zu vermeiden.

Leistungsbedarf von Meßgeräten und Relais

Beim Einsatz von Stromwandlern werden durch den Anwender folgende zwei Hauptforderungen erhoben:

- hohe Meßgenauigkeit im Nennstrombereich
- Schutzfunktion im Überstrombereich

Für die Erfüllung dieser Forderungen ist es notwendig, daß das Leistungsangebot (Nennleistung) eines Stromwandlers weitgehend an den tatsächlichen Leistungsbedarf der Meßanordnung angepaßt wird.

Bei der Ermittlung des tatsächlichen Leistungsbedarfes sind neben den Verlustleistungen der anzuschließenden Geräte auch die Verluste der Meßleitungen zu berücksichtigen.

a) Strommesser	Weicheisen bis 100 mm Ø	0,700 – 1,500 VA
	Gleichr.-Strommesser	0,001 – 0,250 VA
	Vielfach-Strommesser	0,005 – 5,000 VA
	Stromschreiber	0,300 – 9,000 VA
	Bimetall-Strommesser	2,500 – 3,000 VA
b) Leistungsmesser		0,200 – 5,000 VA
	Leistungsschreiber	3,000 – 12,000 VA
	Leistungsfaktormesser	2,000 – 6,000 VA
	Leistungsfaktorschreiber	9,000 – 16,000 VA
c) Zähler		0,400 – 1,000 VA
d) Relais	N-Relais	14,000 VA
	Überstrom-Relais	0,200 – 6,000 VA
	Überstrom-Zeitrelais	3,000 – 6,000 VA
	Richtungsrelais	10,000 VA
	Bimetall-Relais	7,000 – 11,000 VA
		1,000 – 30,000 VA
	Distanzrelais	0,200 – 2,000 VA
	Differentialrelais	1,000 – 15,000 VA
e) Wandlerstrom-Auslöser		5,000 – 150,000 VA
f) Regler		5,000 – 180,000 VA

Fehlergrenzwerte für Meßwandler der Genauigkeitsklassen 0,2 ... 3

Klassen- genauigkeit	Stromfehler $\pm F_i$ bei					Fehlwinkel $\pm \vartheta_i$ bei				
	$1,2 I_N$ $1,0 I_N$	$0,2 I_N$	$0,1 I_N$	$0,05 I_N$	$0,01 I_N$	$1,2 I_N$ $1,0 I_N$	$0,2 I_N$	$0,1 I_N$	$0,05 I_N$	$0,01 I_N$
	%	%	%	%	%	min	min	min	min	min
0,2	0,2	0,35		0,75		10,0	15,0		30,0	
0,5	0,5	0,75		1,50		30,0	45,0		90,0	
1	1,0	1,50		3,00		60,0	90,0		180,0	
3	3,0	–		–		120,0*	–		–	
0,5 s	0,5	0,5		0,75	1,50	30,0	30,0		45,0	90,0

 *bei $0,5 I_N$ und thermischem Nenn-Dauerstrom

Fehlergrenzwerte der Stromwandler für Schutzzwecke

Klassen- genauigkeit	Stromfehler $\pm F_i$ bei			
	$1,0 I_N$ und therm. Nenn-Dauerstrom	$0,5 I_N$	$0,2 I_N$	$0,05 I_N$
	%	%	%	%
5 P...	1,0	–	1,5	3,0
10 P...	3,0	3,0	–	–

Klassen- genauigkeit	Fehlwinkel $\pm \vartheta_i$ [min] bei % I_N			
5 P...	60,0	–	90,0	180,0
10 P...	120,0	120,0	–	–

Gesamtfehler F_G bei Nenn-Fehlergrenzstrom und Nennbürde

Klasse 5 P... 5 %

Klasse 10 P... 10 %

Strombelastbarkeit von Sammelschienen (Abmessungen und Stromwerte gemäß DIN 43670 und DIN 43671)

Schienenquerschnitt	1 Schiene	2 Schienen	3 Schienen
20 x 10	427 A	925 A	1180 A
30 x 05	379 A	672 A	896 A
30 x 10	573 A	1060 A	1480 A
40 X 05	482 A	836 A	1090 A
40 X 10	715 A	1290 A	1770 A
50 X 10	852 A	1510 A	2040 A
60 x 10	985 A	1720 A	2300 A
80 x 10	1240 A	2110 A	2790 A
100 x 10	1490 A	2480 A	3260 A
Schienenoberfläche	blank		

Vorstehende Werte gelten für Dauerstrombelastung bei ca. 30 °C Übertemperatur.

Überstrom-Fehlerkurven

Fehlerkurven von Niederspannungsstromwandlern

