2 · 2009

LERNEN und KÖNNEN

ELEKTROPRAKTIKER-Magazin
für die Aus- und Weiterbildung

Leistungsmessungen im Drehstromnetz

Die Ergebnisse von Leistungsmessungen im Wechsel- und Drehstromnetz werden wie in Gleichstromnetzen durch die Beträge von Spannung und Stromstärke bestimmt. Ihre Phasenlage zueinander beeinflusst zusätzlich den Messwert. In Drehstromnetzen ist das zu wählende Messverfahren von Leiterzahl und Belastungsform des Systems abhängig.

Belastungen in Drehstromnetzen

Die Leistung eines Drehstromsystems ist die Summe der drei Strangleistungen, sowohl als Wirkleistung $P_{3\sim} = P_1 + P_2 + P_3$ oder als Blindleistung $Q_{3\sim} = Q_1 + Q_2 + Q_3$. Bei üblicher unsymmetrischer Belastung sind $P_1 \neq P_2 \neq P_3$ und $Q_1 \neq Q_2 \neq Q_3$. Drei Einzelmessungen der Strangleistungen führen zur Drehstromleistung.

Im Sonderfall bei symmetrischer Belastung $P_1 = P_2 = P_3$ und $Q_1 = Q_2 = Q_3$ führt eine Einzelmessung zur Drehstromleistung: $P_{3\sim} = 3 \cdot P$ sowie $Q_{3\sim} = 3 \cdot Q$.

Die Messverfahren in Drehstromnetzen unterscheiden sich nicht nur in der Belastungsart, sondern auch in der Netzart – Vierleiter- oder Dreileiternetz. Nur im Vierleiternetz steht zur Bestimmung der Strangleistung die erforderliche Strangspannung direkt zur Verfügung.

Ein-Messgeräte-Verfahren

Sowohl die Wirk- als auch die Blindleistung können direkt nur im symmetrisch belasteten Drehstromnetz mit und ohne Neutralleiter gemessen werden. Unterschiedlich ist der Anschluss des Spannungspfades.

Zur Wirkleistungsmessung

Bei der Wirkleistungsmessung ist im

- Vierleiternetz der Spannungspfad zwischen den an der Stromspule anliegenden Außenleiter und dem Neutralleiter anzuschließen (Bild ❶), im
- Dreileiternetz muss durch Nullpunktwiderstände ein künstlicher Nullpunkt geschaffen werden (Bild ❷).

Der Anzeigewert ist mit 3 zu multiplizieren, wenn nicht die Skale bereits den mehrfachen Wert angibt.

Zur Blindleistungsmessung

Grundsätzlich könnte auch die Kunstschaltung nach *Hummel* verwendet werden. Da die notwendige Phasenverschiebung im Drehstromnetz durch die unterschiedlichen Phasenlagen von Strang- und Leiterspannungen vorgegeben sind (Bild ❸), ist es günstiger, den Spannungspfad des Leistungsmessers an die beiden Außenleiter anzuschließen, deren Ströme nicht von der Stromspule erfasst werden (Bild ❹).

INHALT

Grundwissen Lernfelder 1-5

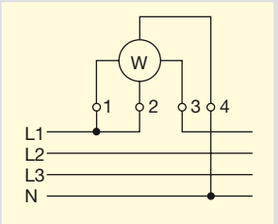
Elektrotechnik
Leistungsmessungen im Drehstromnetz 1
WISO
Wirtschafts-, Sozial- und Gemeinschaftskunde 3
Fachbegriffe
Was versteht man unter 4

Fachwissen Lernfelder 6-13

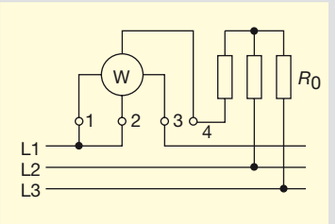
Software
MOPS – Modellrechner mit Pseudoassembler 6
Elektrotechnik
Technische Entwicklungen in der Elektrotechnik (1) 8
Arbeitssicherheit
Sicherheit bei Arbeiten mit LWL Teil 4: Fasertypen und Verbindungstechnik 10
Fremdsprache
Technisches Englisch 13

Prüfung Lernfelder 1-13

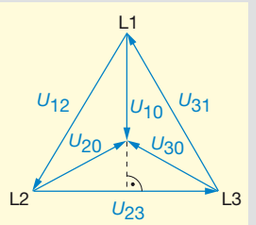
Fachtest
Lernfeld 4 14
Lernfeld 8 15
Lösungen 16



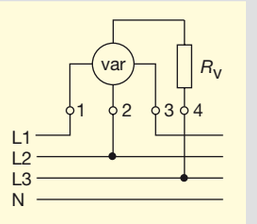
❶ Wirkleistungsmessung im symmetrisch belasteten Vierleiternetz



❷ Wirkleistungsmessung im symmetrisch belasteten Dreileiternetz



❸ Phasenlage von Strang- und Leiterspannungen



❹ Blindleistungsmessung im symmetrisch belasteten Drehstromnetz

Wie die Messschaltung (Bild ❹) zeigt, ist

- der Neutralleiter für die Blindleistungsmessung nicht erforderlich. Die Messung ist damit im Vierleiter- und Dreileiternetz möglich.
- Der Spannungspfad liegt an der Leiterspannung an. Der Anzeigewert ist hier nur mit $\sqrt{3}$ zu multiplizieren.

Drei-Messgeräte-Verfahren

Bei diesem Verfahren können direkt Wirk- und Blindleistung bei unsymmetrischer Belastung (selbstverständlich auch bei symmetrischer) gemessen werden. Die Messung der drei Strangleistungen sollte gleichzeitig erfolgen, da bei Einzelmessungen in den zwangsläufigen Messpausen Laständerungen auftreten könnten. Bei Mehrfachleistungsmessern wirken die messwertabhängigen Kräfte der drei gekoppelten Messwerke auf eine gemeinsame Achse, so dass die Drehmomente mechanisch addiert werden. Der angezeigte Messwert entspricht als Gesamtleistung der Drehstromleistung.

Zur Wirkleistungsmessung

Die Strompfade der drei Messinstrumente sind in die Außenleiter einzufügen. Im Vierleiternetz liegen die Spannungspfade zwischen Außenleiter und Neutralleiter, gegebenenfalls über Vorwiderstände R_V, an (Bild ❺). Im Dreileiternetz müssen die Spannungspfade über Nullpunktwiderstände R_0 zu einem künstlichen Nullpunkt verbunden werden (Bild ❻). In beiden Netzen ist die Drehstrom-Wirkleistung die Summe der drei Messwerte.

Zur Blindleistungsmessung

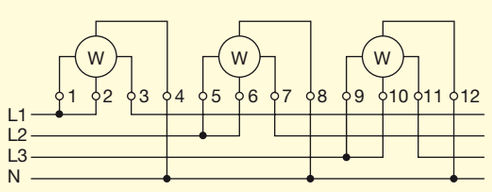
Die drei elektrodynamischen Messwerke der Leistungsmesser sind zur Blindleistungsmessung so anzuschließen, dass sich die Strom- und Spannungspfade in bzw. an verschiedenen Außenleitern befinden (Bild ❼). Dann sind, wie bei Blindleistungsmessern erforderlich, die Leiterspannung (verkettete Spannung) und die entsprechende Strangspannung gegenseitig um 90° phasenverschoben.
Da die Leiterspannung $\sqrt{3}$-mal so groß wie die Strangspannung ist, muss zur Bestimmung der Drehstrom-Blindleistung die Summe der Messwerte durch $\sqrt{3}$ dividiert werden:

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

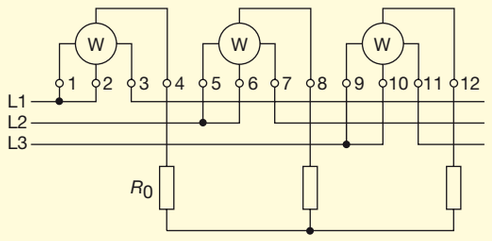
Werden dagegen die Vorwiderstände in den Spannungspfaden $\sqrt{3}$-mal so groß gewählt wie bei der Wirkleistungsmessung, ergibt die Addition der drei Messwerte ohne Umrechnungsfaktor sofort die Drehstrom-Blindleistung.
Auch hier ist die Messschaltung, wie bei dem Ein-Messgeräte-Verfahren, nicht von der Netzart abhängig, da ein N-Leiter für diese Schaltung nicht erforderlich ist.

Zwei-Messgeräte-Verfahren (Aron-Schaltung)

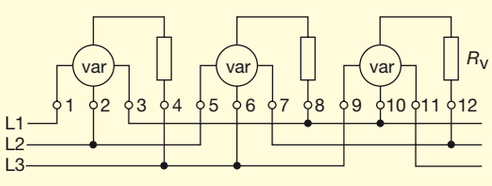
Ein Dreileitersystem kann man als ein System mit zwei Hinleitern und einem gemeinsamen Rückleiter auffassen, deren Funktionen je nach dem betrachteten Zeitpunkt zwischen den Außenleitern L1, L2 und L3 wechseln. Im Dreileiternetz reichen deshalb auch bei unsymmetrischer Belastung zwei Messgeräte bzw. zwei Messwerke eines Mehrfachmessgeräts. Die Strompfade werden in zwei frei wählbare Außenleiter eingefügt. Die Anschlüsse der Spannungspfade sind von den gewählten Außenleitern und von dem Messziel – Messung der Wirk- oder Messung der Blindleistung – abhängig.



❺ Drei-Messgeräte-Verfahren, Wirkleistungsmessung im Vierleiternetz

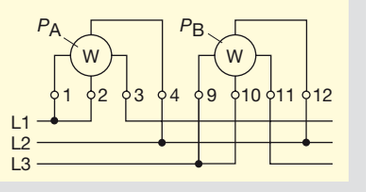


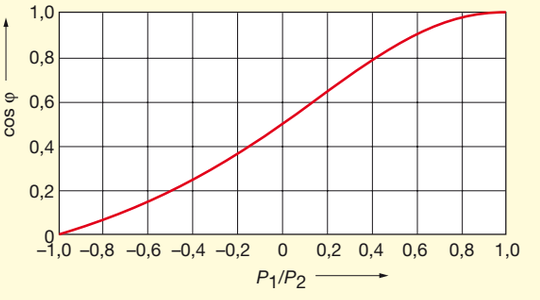
❻ Drei-Messgeräte-Verfahren, Wirkleistungsmessung im Dreileiternetz



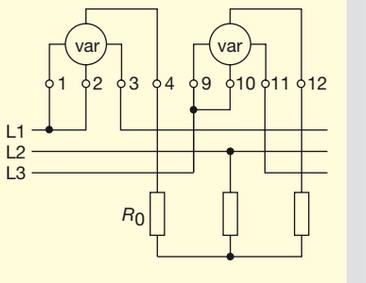
❼ Drei-Messgeräte-Verfahren, Blindleistungsmessung

❽ Aronschaltung zur Messung der Wirkleistung





▲ ❾ Diagramm zur Ermittlung des Leistungsfaktors



❿ Aronschaltung zur Messung der Blindleistung ▶

Tafel ❶ Übersicht der Messverfahren nach Drehstromnetz und Belastung

Netz	Belastung	Messverfahren: Wirkleistung			Blindleistung		
Vierleiter	symmetrisch	I	–	III	I mit R_V	–	III mit R_V
	unsymmetrisch	–	–		–	–	
Dreileiter	symmetrisch	I mit R_0	II	III mit R_0	I mit R_V	II mit R_0	
	unsymmetrisch	–			–		

Zur Wirkleistungsmessung

Die Spannungspfade werden in Energieflussrichtung gesehen an die Eingangsklemmen der Strompfade angeschlossen. Die Ausgänge der Spannungspfade beider Messgeräte führen zu dem durchgehenden Außenleiter, zum Beispiel im Bild ❽ an L2. Die Messgeräte zeigen die Beträge (P_A und P_B) zweier Wirkleistungen an.

Um die komplexe Berechnung mit den Spannungs- und Stromgrößen zu umgehen, betrachten wir im Folgenden die gesetzmäßigen Zusammenhänge anhand ihrer Augenblickswerte.
Beide Messwerke bilden die Leistungsgrößen als Produkte der entsprechenden Spannungen und Ströme:

$p_A = u_{12} \cdot i_1$ und $p_B = u_{32} \cdot i_3$.

Überträgt man die im Bild ❸ dargestellten Spannungsverhältnisse der Effektivwerte auf die Augenblickswerte, ist

$u_{12} = u_{10} - u_{20}$ und $u_{32} = u_{30} - u_{20}$.

Für die Drehstromleistung als Gesamtgröße gilt

$p_{3\sim} = p_1 + p_2 + p_3$ bzw.
$p_{3\sim} = u_{10} \cdot i_1 + u_{20} \cdot i_2 + u_{30} \cdot i_3$.

Im Dreileiternetz ist wegen des fehlenden Rückleiters

$i_1 + i_2 + i_3 = 0$, damit $i_2 = -i_1 - i_3$,

in die obere Gleichung eingesetzt

$p_{3\sim} = u_{10} \cdot i_1 - u_{20} \cdot i_1 - u_{20} \cdot i_3 + u_{30} \cdot i_3$
$p_{3\sim} = (u_{10} - u_{20}) \cdot i_1 + (u_{30} - u_{20}) \cdot i_3$
$p_{3\sim} = u_{12} \cdot i_1 + u_{32} \cdot i_3$
$p_{3\sim} = p_A + p_B$

Im Ergebnis der Umrechnung – Augenblickswerte in Effektivwerte – wird deutlich, dass die Summe der beiden angezeigten Wirkleistungswerte P_A und P_B die Drehstrom-Wirkleistung des Dreileiternetzes ist:

$P_{3\sim} = P_A + P_B$.

Beide Leistungswerte haben als einzelne Größen keinerlei physikalische Bedeutung. Bei einer Phasenverschiebung über 60° ($\cos\varphi < 0{,}5$) zeigt einer der Leistungsmesser einen negativen Ausschlag. Durch Vertauschen der Anschlüsse des Spannungspfades wird der Ausschlag wieder positiv und ist dann vom Anzeigewert des anderen Messinstrumentes zu subtrahieren.
Als Kriterium für den richtigen Anschluss zur Wirkleistungsmessung gilt bei annähernd symmetrischer Belastung und einem Leistungsfaktor über 0,5 der positive Anzeigewert beider Instrumente.
Messungen in Netzen mit intermittierenden Erdschlüssen sind sehr unsicher, da die Voraussetzung für das Messverfahren – Summe der Leiterströme = 0 – nicht erfüllt ist.
Interessant ist, dass bei symmetrischer Belastung mit den Anzeigewerten P_A und P_B der Leistungsfaktor

- mit Hilfe der Gleichung

$$\cos\varphi = \frac{P_A + P_B}{2 \cdot \sqrt{P_A^2 - P_A \cdot P_B + P_B^2}}$$

berechnet oder

- aus dem Diagramm (Bild ❾) abgelesen werden kann.

Die Vorzeichen der angezeigten Leistungsgrößen sind unbedingt zu beachten.

Zur Blindleistungsmessung

Zwei Leistungsmesser werden mit ihren Strompfaden in zwei Außenleiter geschaltet (Bild ❿). Die Spannungspfade und den durchgehenden Außenleiter schließt man über Nullpunktwiderstände R_0 zu einem künstlichen Nullpunkt zusammen.
Gegenüber der Aronschaltung zur Wirkleistungsmessung wird die Leiterspannung durch die um den Faktor $1/\sqrt{3}$ kleinere und um 90° phasenverschobene Strangspannung ersetzt. Auch hier ist die Gesamtleistung als Drehstrom-Blindleistung die Summe beider Anzeigewerte: $Q_{3\sim} = \sqrt{3} \cdot (Q_A + Q_B)$. Der Faktor $\sqrt{3}$ kann entweder bei der Widerstandsbemessung der Nullpunktwiderstände oder bei den Skalenwerten berücksichtigt werden.

Fazit. Tafel ❶ zeigt, in welchen Drehstromnetzen und bei welcher Belastungsart die entsprechenden Messverfahren eingesetzt werden können. Es bedeuten:

I Ein-Messgeräte-Verfahren
II Zwei-Messgeräte-Verfahren
III Drei-Messgeräte-Verfahren
R_V Vorwiderstand zur Reduzierung der Leiterspannung
R_0 Nullpunktwiderstand zum Bereitstellen der Strangspannung.

H. Spanneberg

Wiso-Test

Die Fragen zur Wirtschafts-, Sozial- und Gemeinschaftskunde wiederholen den Lehrstoff zum Bereich „Kaufvertrag“. Sie stammen aus dem Prüfungsbuch des Directa-Teams „Wirtschafts- und Betriebslehre“ (www.directa-verlag.de).
Die Lösungen finden Sie auf Seite 16.

1

Vorauszahlung

Sie wollen einen Werkstattwagen komplett kaufen. Der Verkäufer will zustimmen, wenn 80 % des Endpreises vorausgezahlt werden. Ist dies zulässig?

A Nein.
B Ja, solche Vereinbarungen sind frei aushandelbar.
C Nach HGB ja, nach BGB nein.
D Nein, es ist eine Bedingung gegen die guten Sitten.

2

Probekauf

Bei einem Kauf auf Probe hat der Käufer das Recht, die erhaltene Ware:

A Nur im Geschäft anzusehen.
B Nach beliebig langer Zeit zurückzugeben.
C Innerhalb einer vereinbarten Frist zurückzugeben.
D Nach 6 Monaten Probe zu verkaufen.

3

Bedingungen

In Zahlungsbedingungen wird festgelegt, ob Barzahlung erfolgt, Rabatt gewährt wird oder:

A Eine spätere Zielzahlung erfolgt.
B Nur Zahlungen erfolgen wenn keine Ware geliefert wird.
C Nur Dienstleistungen abgegolten werden.
D Zeugen den Vertrag bestätigen müssen.