

Info-Brief Nr. 2

Messwandler in Drehstromnetzen (Teil 2)

Leistungsmessung im symmetrisch belasteten Dreileiter-Drehstromnetz mit einem zweipolig isolierten Spannungswandler

Im symmetrisch belasteten Dreileiter-Drehstromnetz kann zur Leistungsmessung ein zweipolig isolierter Spannungswandler nur dann verwendet werden, wenn im Messmittel die Phasenverschiebung der Dreiecksspannung gegenüber der dem Strom zugehörigen Sternspannung durch ein phasendrehendes Glied wieder beseitigt wird. Die erforderliche Phasenverschiebung hängt von den ausgewählten Spannungen ab.

Bei $\varphi = 0$ gilt:

Anschluss U_{12} und $I_1 \Rightarrow U_{12}$ eilt I_1 um 30° vor;

Anschluss U_{13} und $I_1 \Rightarrow U_{13}$ eilt I_1 um 30° nach

Anschluss U_{32} und $I_1 \Rightarrow U_{32}$ eilt I_1 um 90° vor;

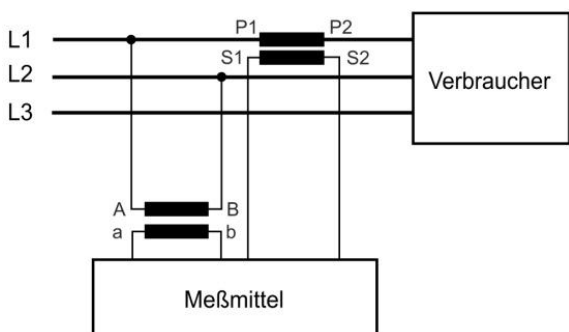


Bild 2.1 Leistungsmessung mit einem zweipolig isolierten Einphasen-Spannungswandler

Durch Verwendung eines einpolig isolierten Spannungswandlers, der gegen Leiter und Erde geschaltet wird, kann die Sternspannung gemessen werden. Damit werden die mit der Verwendung eines zweipoligen Spannungswandlers bei bestimmten Betriebszuständen verbundenen Erschwernisse vermieden.

Zyklische Vertauschung bei Stromanschluss in anderen Außenleitern

Normalerweise sind die Messmittel für den Anschluss von I_1 vorgesehen. Wenn jedoch dem Messmittel anstelle des Stromes I_1 der Strom I_2 oder I_3 zugeführt wird, muss auch der Spannungsanschluss zyklisch getauscht werden.

Messung der Ströme in allen drei Außenleitern mit zwei Stromwandlern

Aus den beiden Strömen von zwei beliebigen Außenleitern lässt sich in einem Dreileiter-Drehstromnetz wegen

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

der Strom im dritten Außenleiter exakt ermitteln. Die erforderliche Schaltung ist in Bild 2.2 dargestellt.

Um einen offenen Sekundärkreis eines Stromwandlers zu vermeiden, ist die Verdrahtung mit besonderer Sorgfalt durchzuführen!

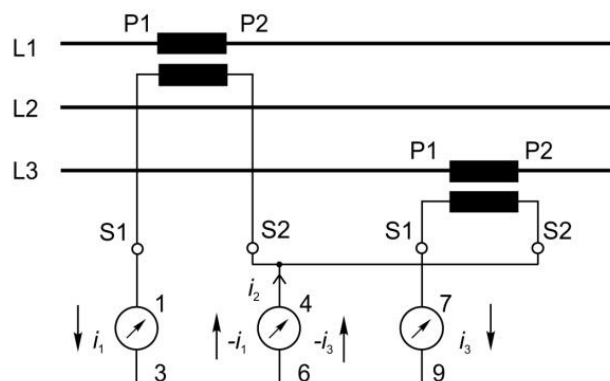


Bild 2.2 Messung des Stromes im dritten Außenleiter

Einflusseffekte durch vorgeschaltete Messwandler

Beim Anschluss des Messmittels an das Netz über Messwandler müssen deren Amplituden- und Winkelfehler beachtet werden.

Amplitudenfehler der Messwandler

$$f_x = \frac{(X_2 \cdot K_n) - X_1}{X_1}$$

X_1 = Wert an der Primärwicklung,

X_2 = Wert an der Sekundärwicklung

Der Amplitudenfehler wird positiv gerechnet, wenn der Sekundärwert den Sollwert übersteigt.

Winkelfehler der Messwandler

Die Phasenverschiebung der Sekundärgröße gegen die Primärgröße wird als Winkelfehler des Messwandlers bezeichnet. Der Winkelfehler wird in *Winkelminuten* angegeben. Das Vorzeichen ist positiv, wenn die sekundäre Größe gegenüber der primären voreilend ist.

Einflusseffekt auf die Messung der Wirkleistung bei sinusförmigen Wechselgrößen

Der prozentuale Fehler F [%] der durch die Fehler des Stromwandlers und des Spannungswandlers bei der Messung von $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$ verursacht wird, ergibt sich zu:

$$F [\%] = \left[f_u + f_i + \left(\frac{\cos \varphi - \cos(\varphi + \delta_i - \delta_u)}{\cos \varphi} \right) \right] \cdot 100\%$$

f_u = Amplitudenfehler des Spannungswandlers

f_i = Amplitudenfehler des Stromwandlers

δ_u = Winkelfehler des Spannungswandlers

δ_i = Winkelfehler des Stromwandlers

Die Amplitudenfehler f_u und f_i und ebenso die Winkelfehler δ_i und δ_u gehen mit ihrem Vorzeichen in das Ergebnis ein.

In der Tabelle 2.2 sind für verschiedene Differenzen der Winkelfehler, die durch diese Differenzen bei der Wirkleistungsmessung verursachten Messfehler bei unterschiedlichen Werten des $\cos \varphi$ als Beispiele angegeben.

Tabelle 2.2

$\delta_i - \delta_u$	$\cos \varphi = 0,9$	$\cos \varphi = 0,5$	$\cos \varphi = 0,1$
0´	0	0	0
5´	0,07 %	0,25 %	1,45 %
10´	0,14 %	0,50 %	2,89 %
20´	0,28 %	1,01 %	5,79 %

Aus den Werten der Tabelle ist erkennbar, dass sich eine Differenz der Winkelfehler nichtlinear auf den Wert des $\cos \varphi$ und damit auf den Messwert auswirkt. Dieser Einflusseffekt nimmt mit der Verkleinerung des $\cos \varphi$ deutlich zu.

Frequenzfehler der Messwandler

Stromwandler und Spannungswandler mit der Nennfrequenz 50 Hz können ohne wesentliche Einschränkungen der Genauigkeit und des Bürdenbereiches in einem größeren Frequenzbereich eingesetzt werden.

Für Stromwandler liegt dieser Bereich zwischen etwa 15 Hz und 500 Hz. Bei Werten unter 50 Hz sinkt die verfügbare Nennleistung proportional mit der Frequenz des Stromes. Ebenso wird der Übertragungsfehler größer. Einschränkungen der Funktion bestehen nicht.

Spannungswandler mit der Nennfrequenz 50 Hz können ohne wesentliche Einschränkungen der Genauigkeit und der Bürde im Bereich von 50 Hz bis 1000 Hz eingesetzt werden. Bei Frequenzen unterhalb von 50 Hz ist das nur mit stark herabgesetzten Werten der Eingangsspannung und geringerer Nennleistung möglich. Der Grund dafür ist die höhere Stromaufnahme des frequenzabhängigen Eingangswiderstandes und die Überschreitung der Sätti-

gungsgrenze des Eisenkerns des Wandlers. Der Übertragungsfehler wird größer.

Einflusseffekt von falschem Anschluss der Netzspannungen an das Messmittel

Der Anschluss der Spannungs- und Strompfade an das Messmittel und die erforderliche Erdung an den Sekundärseiten von vorgeschalteten Messwandlern sind in DIN 43807 für die jeweiligen Messgrößen, Netzarten und Belastungsarten angegeben.

In Drehstromnetzen kann bei der Leistungsmessung ein falscher Anschluss der Spannungs- und/oder der Strompfade an das Messmittel erhebliche Messfehler verursachen. Praktische Erfahrungen zeigen, dass die Wahrscheinlichkeit eines falschen Anschlusses relativ hoch ist. Dessen Auswirkungen auf das Messergebnis werden am nachfolgenden Beispiel dargestellt.

Beispiel

An die Spannungseingänge eines Messmittels zur Messung der Wirkleistung im **Vierleiter-Drehstromnetz** können die drei Außenleiterspannungen auf 6 verschiedene Arten angeschlossen werden. Alle von DIN 43807 abweichenden Anschlüsse verursachen falsche Messergebnisse.

Durch Darstellung der gemessenen einzelnen Strangleistungen sollen die Zusammenhänge am folgenden Beispiel deutlich gemacht werden.

Gegebene Werte

U1N	230 V	I1	1,6 A	$\cos \varphi 1$	0,883
U2N	232 V	I2	2,8 A	$\cos \varphi 2$	0,755
U3N	226 V	I3	2,4 A	$\cos \varphi 3$	0,819

Die angezeigten Messwerte der Wirkleistung sind in Tabelle 2.4 aufgeführt.

Tabelle 2.4

Anschlussfolge	P1 [W]	P2 [W]	P3 [W]	Summe	Verhältnis Pn : Pa
L1, L2, L3	324,9	490,3	444,3	1259,5	1,00
L2, L1, L3	-314,8	122,9	444,3	252,4	0,20
L3, L2, L1	-12,6	490,3	-500,3	-22,6	-0,02
L1, L3, L2	324,9	-598,3	48,5	-224,9	-0,18
L2, L3, L1	-314,8	-598,3	-500,3	-1413,4	-1,12
L3, L1, L2	-12,6	122,9	48,5	158,8	0,13

Kontrolle der Spannungsanschlüsse am Messmittel

Die dargestellten Zusammenhänge können zur Kontrolle der Anschlüsse benutzt werden. Mit einem Messmittel, das neben der gesamten Wirkleistung des Netzes zusätzlich noch die Wirkleistungen aller drei Stränge gleichzeitig anzeigt, kann aufgrund eines gegensinnigen Vorzeichens einer Strangleistung ein falscher Anschluss des Messmittels sofort erkannt werden. Alle Strangleistungen müssen dasselbe Vorzeichen wie die Netzleistung haben. Wenn

der Messwert von einer oder die Messwerte von zwei Strangleistungen ein gegensinniges Vorzeichen aufweisen, dann ist der Anschluss falsch und damit auch der Wert für die gesamte Netzleistung. Bei negativem Vorzeichen *aller* Strangleistungen gibt es zwei Möglichkeiten: entweder ist *nur* das Vorzeichen falsch oder Betrag *und* Vorzeichen.

Einflusseffekt von falschem Anschluss der Netzströme an das Messmittel

a) Bei Vertauschung der Stränge

Bei richtigem Anschluss der Spannungen und falschen Anschlüssen der Netzströme bezüglich des Stranges ergeben sich für die Anzeige der Wirkleistung des Drehstromnetzes dieselben Werte wie bei falschen Anschlüssen der Netzspannung.

b) Bei Vertauschung der Polung S1(k) und S2(l)

Bei richtigem Anschluss der Spannungen und Vertauschung von S1(k) und S2(l) im Strompfad eines Stranges oder auch zweier Stränge lässt sich eine derartige Vertauschung einfach feststellen.

Gegensinnig angeschlossene Strompfade ändern den Winkel φ auf $(\varphi + 180^\circ)$, so dass sich dadurch auch das Vorzeichen der zugeordneten Strangleistung umkehrt. Durch Kurzschließen eines Strompfades (Brücke zwischen S1(k) und S2(l) an den Anschlussklemmen des Messmittels) kann der richtige Anschluss des Strompfades schnell und eindeutig überprüft werden.

Bei Messmitteln mit linearer Kennlinie wird durch Kurzschließen des Strompfades bei richtigem Anschluss der angezeigte Wert der Netzleistung kleiner, bei falschem Anschluss (Umkehrung von S1(k) und S2(l)) wird der Wert größer. Bei anderen Kennlinienarten muss zusätzlich deren Übertragungsverhalten mit einbezogen werden!

Besonderheit bei der Aron-Schaltung

Das geschilderte Verhalten tritt auf bei der Messung der Wirkleistung im Dreileiter-Drehstromnetz mit einem Messmittel das zwei Messwerke hat (Aron-Schaltung), nach DIN 43807 angeschlossen ist und φ_1 kleiner als $+ 60^\circ$ und φ_3 größer als $- 60^\circ$ sind.

Wird jedoch bei einem der Winkel φ_1 oder φ_3 der Betrag von 60° überschritten, gilt das Umgekehrte. Das Vorzeichen von $\cos(\varphi_1 + 30^\circ)$ wird negativ bei $\varphi_1 > 60^\circ$ und ebenso auch bei $\varphi_3 < - 60^\circ$. Bei $\varphi = 60^\circ$ ist die von einem Messwerk gemessene Wirkleistung gleich Null ($\cos 90^\circ = 0$), so dass sich keine Änderung durch das Vertauschen von S1(k) und S2(l) ergibt.

Auszug aus: H. Karger "Messungen in Netzen der elektrischen Energietechnik"

*Die Reihe wird fortgesetzt.
Fehlende Info-Briefe liefern wir Ihnen jederzeit gerne nach.*

Ausgabe: 03-2013 / 1002-1-D-1-001-04.docx