Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 66 (1975)

Heft: 24

Artikel: Untersuchungen über den Einfluss von unsymmetrischen Netzspannungen auf die Mess- und Prüfschaltungen von Drehstrom-Elektrizitätszählern

Autor: Tschappu, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915331

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 26.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Untersuchungen über den Einfluss von unsymmetrischen Netzspannungen auf die Mess- und Prüfschaltungen von Drehstrom-Elektrizitätszählern

Von F. Tschappu

621.316.313 : 621.317.785.025

Nach einem kurzen Überblick über die auf dem europäischen Kontinent gebräuchlichen Schaltungen der Drehstrom-Elektrizitätszähler wird der Einfluss der unsymmetrischen Spannungen auf die Messeigenschaften bei Wirk- und Blindlastmessungen untersucht. In einem weiteren Kapitel werden die die Messeigenschaften der Zähler beeinflussenden Randbedingungen angegeben, wenn die Prüflinge im Netz mit transportablen Eichzählern geprüft werden, die sich in ihrer Schaltung voneinander unterscheiden.

Die Untersuchungen haben ergeben, dass alle gebräuchlichen Eichzählerschaltungen zur Überprüfung der Wirklastzähler im Netz unabhängig von der Unsymmetrie in den Netzspannungen bei symmetrischer und einseitiger Belastung richtig messen.

Die gebräuchlichen Eichzähler-Schaltungen zur Überprüfung der Blindlastzähler mit 60°, 90° bzw. 180° Abgleich messen bei allseitiger Belastung auch bei unsymmetrischem Spannungsdreieck annähernd richtig. Bei 1-seitigen Messungen sind messbare Zusatzfehler zu erwarten, wenn sich die Schaltungen von Prüfling und Eichzähler unterscheiden. Diese Zusatzfehler sind u. a. von der Grösse der Unsymmetrie im Spannungsdreieck abhängig.

Après un bref aperçu des montages des compteurs de courant triphasé en Europe continentale, l'auteur examine l'influence des tensions asymétriques sur les propriétés des mesures de charges actives ou réactives. Les conditions marginales qui exercent une influence sur les propriétés de mesure des compteurs sont ensuite indiquées dans le cas des compteurs contrôlés dans le réseau au moyen de compteurs-étalons transportables, dont le montage est différent.

Ces essais ont montré que tous les montages usuels des compteurs-étalons, servant au contrôle des compteurs d'énergie active dans le réseau, mesurent correctement, indépendamment de l'asymétrie des tensions du réseau, à condition que la charge soit symétrique et unilatérale.

Les montages usuels des compteurs-étalons servant au contrôle des compteurs d'énergie réactive, avec compensation à 60, 90 ou 180°, mesurent à peu près correctement dans le cas de charge des deux côtés, également quand le triangle des tensions n'est pas symétrique. Dans le cas de mesures unilatérales, il faut s'attendre à des erreurs additionnelles mesurables lorsque les montages du compteur à contrôler et du compteur-étalon sont différents. Ces erreurs dépendent notamment de l'importance de l'asymétrie dans le triangle des tensions.

1. Beschreibung der auf dem europäischen Kontinent gebräuchlichen Schaltungen der im Netz eingesetzten Drehstrom-Elektrizitätszähler

1.1 Zur Messung der Wirklast

Die Belastung sei ohmisch-induktiv angenommen mit dem Phasenwinkel $-\varphi$ [1]).

1.1.1 Aronschaltung mit 2 Messwerken für 3 P-Netze

Schaltung der Messwerke s. Fig. 1

Randbedingungen:

Die richtige Messung der Wirklast im 3P-Netz mit Zählern in Aronschaltung setzt voraus, dass die Summe aller 3 Phasenströme stets gleich Null sein muss. Bei der Messung von 1-phasigen verketteten Belastungen ist diese Bedingung automatisch erfüllt.

Zu beachten ist, dass an der Messung 1-phasiger Belastung zwischen R und T beide Messwerke des Zählers mit unterschiedlichen Phasenwinkeln $\varphi - 60$ und $\varphi + 60$ beteiligt sind.

1.1.2 Schaltung mit 3 Messwerken für 3 P-Netze

Im Falle eines Erdschlusses in der Phase S fliessen Erdströme, wenn der Sternpunkt des Generators geerdet ist. Diese Erdschlussleistung wird vom Aronzähler nicht gemessen. Deshalb werden in 3P-Netzen vielfach Zähler mit 3 Messwerken eingesetzt. Sind sie ohne Spannungswandler oder über 2 Spannungswandler in V-Schaltung ans Netz angeschlossen, so werden die 3 Spannungsspulen zu einem freien Sternpunkt geführt. Das Potential des Sternpunktes wird durch die 3 Impedanzen der Spannungspfade der Messwerke gebildet. Sind die 3 Messwerke über 3 Spannungswandler in Sternschaltung an das Netz angeschlossen, so kann der sekundärseitige Sternpunkt der Wandler mit dem Sternpunkt des Zählers verbunden werden [2] [2]).

Die Schaltung der Messwerke zeigt Fig. 2.

Zu beachten ist, dass an der Messung 1-phasiger verketteter Belastung stets 2 Messwerke mit unterschiedlichen Phasenwinkeln $\varphi + 30$ und $\varphi - 30$ beteiligt sind.

Randbedingungen:

Eine n-phasige Belastung kann entweder mit n Messwerken oder nach dem Theorem von *Blondel* mit n–1 Messwerken gemessen werden. Deshalb müssen keine speziellen Symmetriebedingungen an den freien Sternpunkt im Spannungsdreieck gestellt werden.

1.1.3 Schaltung mit 3 Messwerken für 3 P+0-Netze

Zur richtigen Messung der Wirklast im 3P + 0-Netz sind Zähler mit 3 Messwerken notwendig. Die in den USA übliche $2^1/_2$-Element-Schaltung misst im 3P + 0-Netz nur unter bestimmten Symmetriebedingungen richtig und wird auf dem europäischen Kontinent nicht verwendet.

Die Schaltung der Messwerke ist in Fig. 3 wiedergegeben.

Diese Schaltung misst unabhängig von Unsymmetrien in Spannung und Strom stets richtig.

1.2 Zur Messung der Blindlast; phasenfolge-abhängig

Für diese Art der Blindlastmessung werden normale Wirklast-Messwerke verwendet, deren Spannungsspulen an phasenfremde Spannungen geschaltet sind. Die Spannung am Messwerk muss gegenüber der Spannung im Netz um 90° in der Phase verschoben sein, damit die Blindlast im Netz gemessen wird. Deshalb ist diese Art von Blindlastmessung abhängig von der Anschlussfolge der Messwerke an das Netz.

Die Belastung sei ohmisch-induktiv mit dem Phasenwinkel $-\varphi$.

1.2.1 Aronschaltung mit 2 Messwerken (60° Abgleich) für 3 P-Netze (Tabelle I und Fig. 4)

Im 3P-Netz sind nur die verketteten Spannungen vorhanden. Die Spannungspfade der Messwerke müssen in diesem Falle an je eine um 120° gegenüber der Netzspannung verdrehte Spannung geschaltet werden. Durch Vorschalten eines Ohmschen Widerstandes R_V vor die Spannungsspulen wird die Spannung am Messwerk U_Z um 30° zurückverschoben. Bei dieser Schaltung werden deshalb Messwerke mit 60° Abgleich benötigt.

[1]) Der positive Drehsinn der Vektoren in der Gaußschen Tafelebene entspricht dem Gegenuhrzeigersinn (zeitlich voreilend). Deshalb muss der Phasenwinkel für ohmisch-induktive Belastung mit einem *negativen Vorzeichen* bezeichnet werden. Dieses Vorzeichen ist speziell in der Vektordarstellung der verschiedenen Zählerschaltungen nach den Fig. 1...6 zu beachten.

[2]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

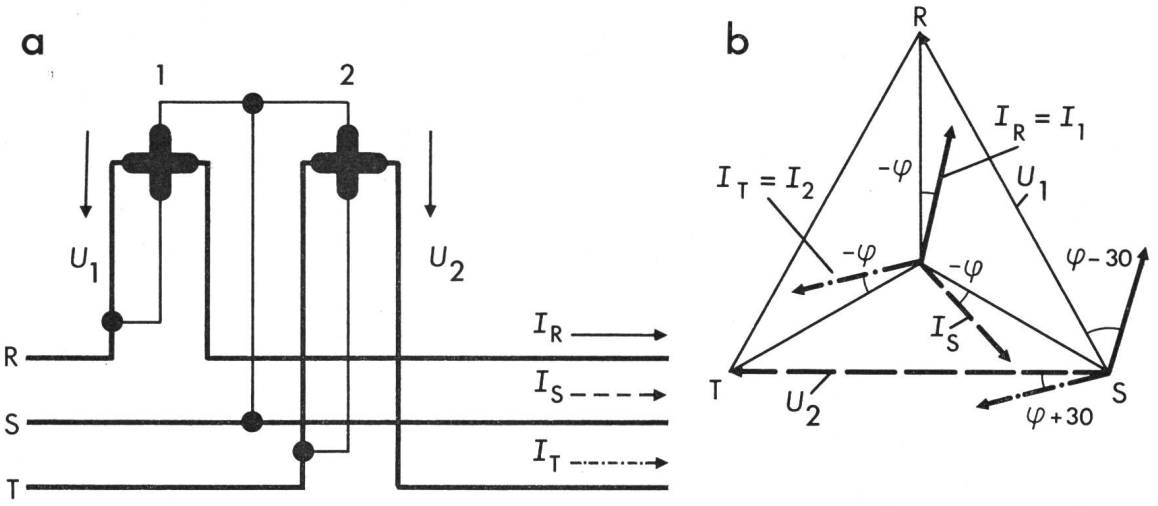

Fig. 1 **3P-Aronschaltung für Wirklast**
2 Messwerke
a Schaltschema
b Vektordiagramm für allseitige Belastung

1, 2 Messwerke
U_1, U_2 Spannungen an den Messwerken
I_R, I_S, I_T Phasenströme
φ Netzphasenwinkel

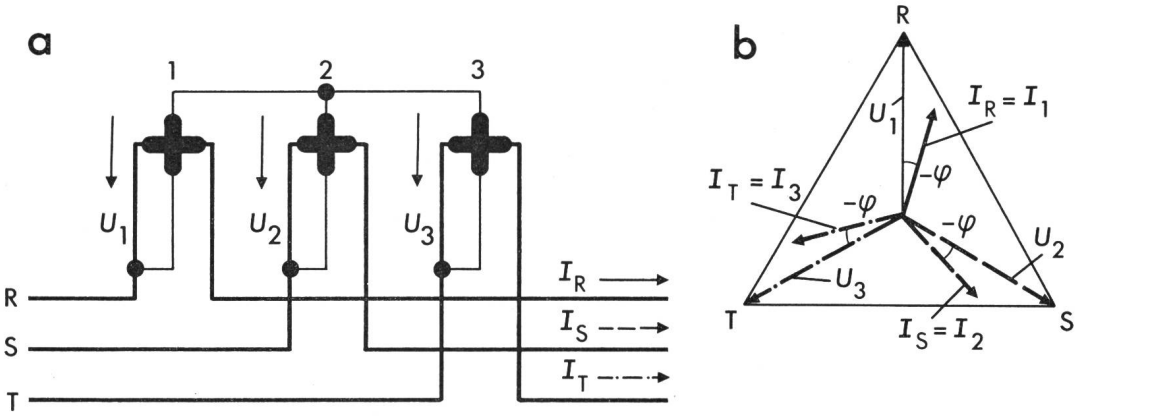

Fig. 2 **3P-Schaltung für Wirklast**
3 Messwerke
a Schaltschema
b Vektordiagramm für allseitige Belastung

1, 2, 3 Messwerke
U_1, U_2, U_3 Spannungen an den Messwerken
I_1, I_2, I_3 Phasenströme
φ Netzphasenwinkel

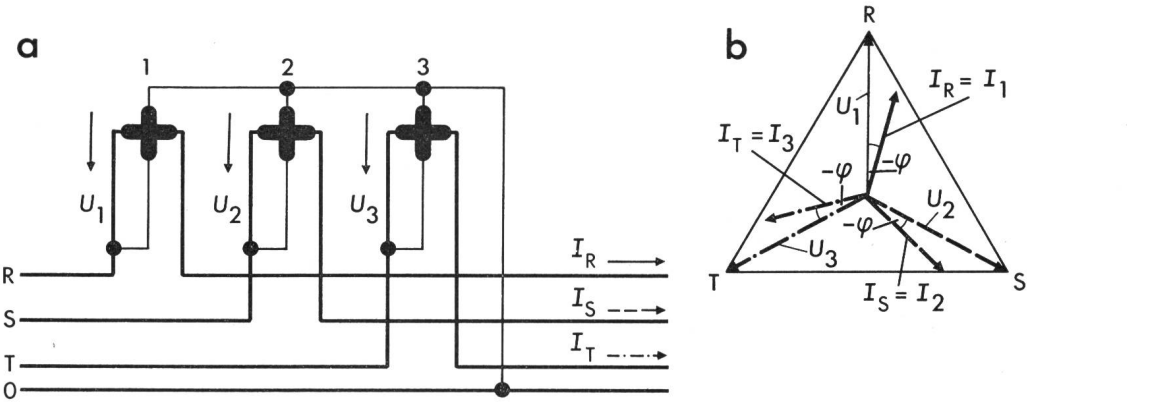

Fig. 3 **3P + 0-Schaltung für Wirklast**
3 Messwerke
Bezeichnungen siehe Fig. 2

Randbedingungen:

Da die Messwerke der Zähler mit phasenfremden Spannungen gespiesen werden, müssen sie in der vorgeschriebenen Phasenfolge an das Netz angeschlossen werden.

Die richtige Messung der Blindlast im 3P-Netz mit Zählern in Aronschaltung setzt voraus, dass die Summe aller 3 Phasenströme stets gleich Null ist. Bei der Messung 1-phasiger verketteter Belastungen ist diese Bedingung automatisch erfüllt.

An die Symmetrie des Spannungsdreiecks müssen ebenfalls bestimmte Anforderungen gestellt werden. Dieser Einfluss hängt stark von der Art der Belastung ab. Bei *allseitiger Belastung* ist der Zusatzfehler bei gegebener Spannungsunsymmetrie unabhängig vom Netzphasenwinkel φ. Die Auswirkungen der Spannungsunsymmetrie auf das Messverhalten der Blindverbrauchzähler wurde in [1] auf Grund von Messungen im Netz eingehend untersucht. Die Resultate haben ergeben, dass die allseitige Belastung bei unsymmetrischem Spannungsdreieck mit praktisch vernachlässigbaren Zusatzfehlern gemessen wird.

Der Einfluss der unsymmetrischen Netzspannung auf die Messgenauigkeit macht sich bei *1-phasiger Belastung* in viel stärkerem Masse bemerkbar, da sich die Fehlereinflüsse der einzelnen Phasen nicht wie bei der allseitigen Belastung weitgehend kompensieren. Deshalb sind im allgemeinen wesentlich grössere Zusatzfehler zu erwarten.

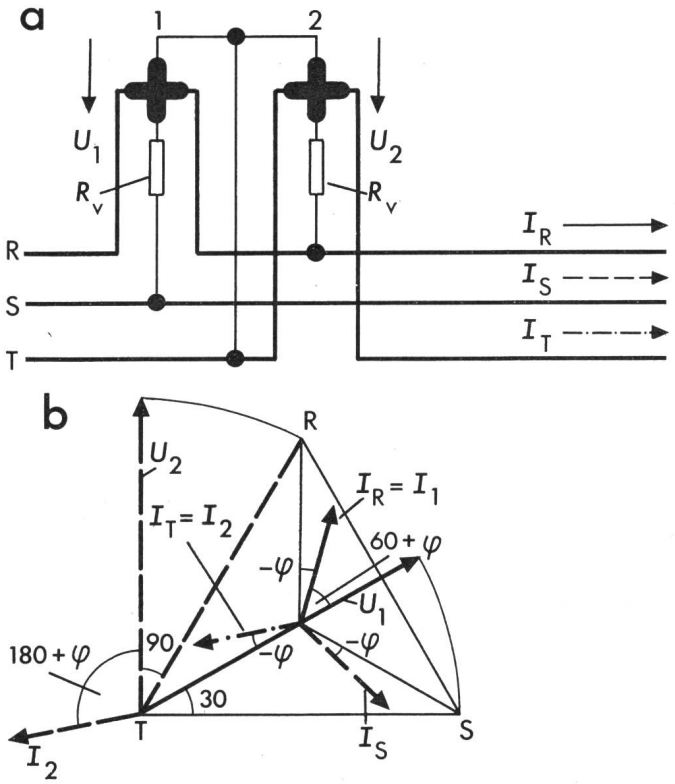

Fig. 4 3P-Aronschaltung für phasen-abhängige Messung der Blindlast
2 Messwerke
a Schaltschema
b Vektordiagramm für allseitige Belastung
1, 2 Messwerke
U_1, U_2 Spannungen an den Messwerken (hinter R_v)
R_v Vorwiderstand zu den Spannungsspulen der Messwerte
I_R, I_S, I_T Phasenströme
φ Netzphasenwinkel

Tabelle I

Messung der Blindlast phasenfolge-abhängig (Aronschaltung mit 2 Messwerten mit 60° Abgleich für 3P-Netze)

Netzlast					Schaltung Messwerke						Zählerlast			
					Messwerk 1			Messwerk 2			Messwerk 1		Messwerk 2	
	U_N	I_N	Phasenwinkel	Q_N	U_1	I_1	Phasenwinkel	U_2	I_2	Phasenwinkel	Q_1	Q_2		$Q_Z = \sum_1^2 Q$
allseitig	RST $= U_v$	RST $= I$	$-\varphi$	$\sqrt{3}\, U_v\, I \sin\varphi$	(TS) · e^{j30} [1] $= U_v$	R $= I$	$60 + \varphi$	(TR) · e^{j30} [1] $= U_v$	T $= I$	$120 + \varphi$	$U_v\, I \cos(60 + \varphi)$	$U_v\, I \cos(120 + \varphi)$		$\sqrt{3}\, U_v\, I \sin\varphi$ [2]
einseitig R–S	SR $= U_v$	R $= I$	$-\varphi$	$U_v\, I \sin\varphi$	(TS) · e^{j30} $= U_v$	R $= I$	$90 + \varphi$	—	—	—	$U_v\, I \cos(90 + \varphi)$	—		$U_v\, I \sin\varphi$
einseitig S–T	TS $= U_v$	T $= -I$	$-\varphi$	$U_v\, I \sin\varphi$	—	—	—	(TR) · e^{j30} $= U_v$	T $= -I$	$90 + \varphi$	—	$U_v\, I \cos(90 + \varphi)$		$U_v\, I \sin\varphi$
einseitig T–R	RT $= U_v$	R, T $-I, I$	$-\varphi$	$U_v\, I \sin\varphi$	(TS) · e^{j30} $= U_v$	R $= -I$	$30 + \varphi$	(TR) · e^{j30} $= U_v$	T $= I$	$150 + \varphi$	$U_v\, I \cos(30 + \varphi)$	$U_v\, I \cos(150 + \varphi)$		$U_v\, I \sin\varphi$ [3]

Bezeichnungen siehe Fig. 4
[1] e^{j30} dreht den Vektor um 30° el in +Richtung
[2] $\cos(60 + \varphi) + \cos(120 + \varphi) = \sqrt{3} \sin\varphi$
[3] $\cos(30 + \varphi) + \cos(150 + \varphi) = \sin\varphi$

1.2.2 Schaltung mit 3 Messwerken (90° Abgleich) für 3P-Netze (Tabelle II und Fig. 5)

Für die Messung der Wirklast nach 1.1.2 werden die Spannungsspulen der Messwerke an die Nulleiterspannungen geschaltet [1]). Zur Messung der Blindlast müssen die Spannungsspulen der Messwerke an je eine gegenüber der Netzspannung um 90° verschobene Spannung geschaltet werden. Das sind die verketteten Spannungen. Deshalb können Zähler mit 3 Messwerken ohne zusätzliche Massnahmen für die Messung der Blindlast gebraucht werden.

Zur Berechnung der Zähler-Konstanten in Umdrehung pro kvarh muss aber die im Netz fliessende Blindlast $Q = 3\,U\,I$ bei $\sin\varphi = 1$ zugrunde gelegt werden. Deshalb taucht in den Gleichungen für die Zählerlast in Tabelle II für Q_1, Q_2 und Q_3 stets der Faktor $1/\sqrt{3}$ auf.

Randbedingungen:

Da die Messwerke der Zähler mit phasenfremden Spannungen gespiesen werden, müssen sie in der vorgeschriebenen Phasenfolge ans Netz angeschlossen werden.

An die Symmetrie des Spannungsdreiecks müssen ebenfalls bestimmte Anforderungen gestellt werden. Hier gelten die gleichen Überlegungen, wie sie im Abschnitt 1.2.1 formuliert wurden.

[1]) Wobei der Sternpunkt durch die 3 Impedanzen der Spannungskreise frei gebildet wird.

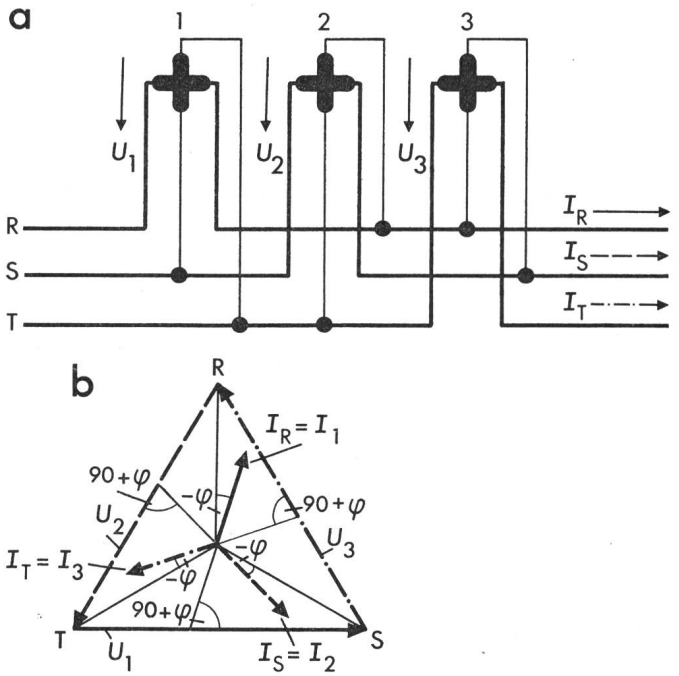

Fig. 5 3P-Schaltung für phasen-abhängige Messung der Blindlast

3 Messwerke

a Schaltschema

b Vektordiagramm für allseitige Belastung

1, 2, 3	Messwerke
U_1, U_2, U_3	Spannungen an den Messwerken
I_R, I_S, I_T	Phasenströme
φ	Netzphasenwinkel

Tabelle II

Messung der Blindlast phasenfolge-abhängig (Schaltung mit 3 Messwerken mit 90° Abgleich für 3P-Netze)

Netzlast					Schaltung Messwerke									Zählerlast			
					Messwerk 1			Messwerk 2			Messwerk 3			Messwerk 1	Messwerk 2	Messwerk 3	
	U_N	I_N	Phasenwinkel	Q_N	U_1	I_1	Phasenwinkel	U_2	I_2	Phasenwinkel	U_3	I_3	Phasenwinkel	Q_1	Q_2	Q_3	$Q_z = \sum_1^3 Q$
allseitig	RST $= U_v$	RST $= I$	$-\varphi$	$\sqrt{3}\,U_v\,I\sin\varphi$	TS $= U_v$	R $= I$	$90+\varphi$	RT $= U_v$	S $= I$	$90+\varphi$	SR $= U_v$	T $= I$	$90+\varphi$	$\frac{1}{\sqrt{3}}\,U_v\,I\cos(90+\varphi)$	$\frac{1}{\sqrt{3}}\,U_v\,I\cos(90+\varphi)$	$\frac{1}{\sqrt{3}}\,U_v\,I\cos(90+\varphi)$	$\sqrt{3}\,U_v\,I\sin\varphi$ [1])
einseitig R–S	SR $= U_v$	R $= I$	$-\varphi$	$U_v\,I\sin\varphi$	TS $= U_v$	R $= I$	$120+\varphi$	RT $= U_v$	S $= -I$	$60+\varphi$	—	—	—	$\frac{1}{\sqrt{3}}\,U_v\,I\cos(120+\varphi)$	$\frac{1}{\sqrt{3}}\,U_v\,I\cos(60+\varphi)$	—	$U_v\,I\sin\varphi$ [2])
einseitig S–T	TS $= U_v$	S $= I$	$-\varphi$	$U_v\,I\sin\varphi$	—	—	—	RT $= U_v$	S $= I$	$120+\varphi$	SR $= U_v$	T $= -I$	$60+\varphi$	—	$\frac{1}{\sqrt{3}}\,U_v\,I\cos(120+\varphi)$	$\frac{1}{\sqrt{3}}\,U_v\,I\cos(60+\varphi)$	$U_v\,I\sin\varphi$ [2])
einseitig T–R	RT $= U_v$	T $= I$	$-\varphi$	$U_v\,I\sin\varphi$	TS $= U_v$	R $= -I$	$60+\varphi$	—	—	—	SR $= U_v$	T $= I$	$120+\varphi$	$\frac{1}{\sqrt{3}}\,U_v\,I\cos(60+\varphi)$	—	$\frac{1}{\sqrt{3}}\,U_v\,I\cos(120+\varphi)$	$U_v\,I\sin\varphi$ [2])

[1]) $\cos(90+\varphi) = \sin\varphi$

[2]) $\cos(120+\varphi) + \cos(60+\varphi) = \sqrt{3}\sin\varphi$

1.2.3 Schaltung mit 3 Messwerken (90° Abgleich) für 3 P+0-Netze (Tabelle III und Fig. 6)

Für diese Schaltung gelten dieselben Bemerkungen wie im Abschnitt 1.2.2. Auch die Randbedingungen sind dieselben.

Bezüglich der Anforderungen an die Symmetrie des Spannungsdreiecks gelten auch hier dieselben Überlegungen, wie sie im Abschnitt 1.2.1 formuliert wurden.

1.3 Zur Messung der Blindlast, phasenfolge-unabhängig

Im Gegensatz zu den im Abschnitt 1.2 beschriebenen Messmethoden werden bei der phasenfolge-unabhängigen Methode spezielle Messwerke benötigt, bei denen die zusätzliche Phasendrehung von 90° im Messwerk selber erzeugt wird. Der innere Abgleich beträgt 180°.

Durch Vorschalten eines Widerstandes R_V an die Spannungsspule wird die Spulenspannung U_Z gegenüber der Netzspannung U_N um den Winkel α vorverschoben und durch Parallelschalten eines Shuntes R_{NS} zur Stromspule, der Spulenstrom I_Z um den Winkel β nacheilend verschoben. Bedingung für 180° Abgleich ist: $\alpha + \beta = 90^0$

Die Messgenauigkeit dieser Zähler ist *unabhängig* von der Anschlussfolge der Messwerke an die Netzspannungen. Die Blindlast wird unabhängig von Spannungsunsymmetrien im Netz richtig gemessen.

Diese Art von Blindlastzählern werden gleich wie die entsprechenden Schaltungen der Wirkverbrauchzähler gemäss 1.1 angeschlossen. Trotzdem die Messmethode zur phasenfolgeunabhängigen Messung der Blindlast gegenüber der in Abschnitt 1.2 behandelten Methode scheinbar wesentliche Vorteile aufweist, geht heutzutage der Trend eindeutig in Richtung der phasenfolge-abhängigen Messung nach Abschnitt 1.2. Dies hat 2 Gründe:

a) Die in [1] zitierten Netzuntersuchungen haben relativ kleine Netzverzerrungen ergeben. Die Theorie beweist, dass bei diesen kleinen Netzunsymmetrien die allseitige Messung der Blindlast praktisch

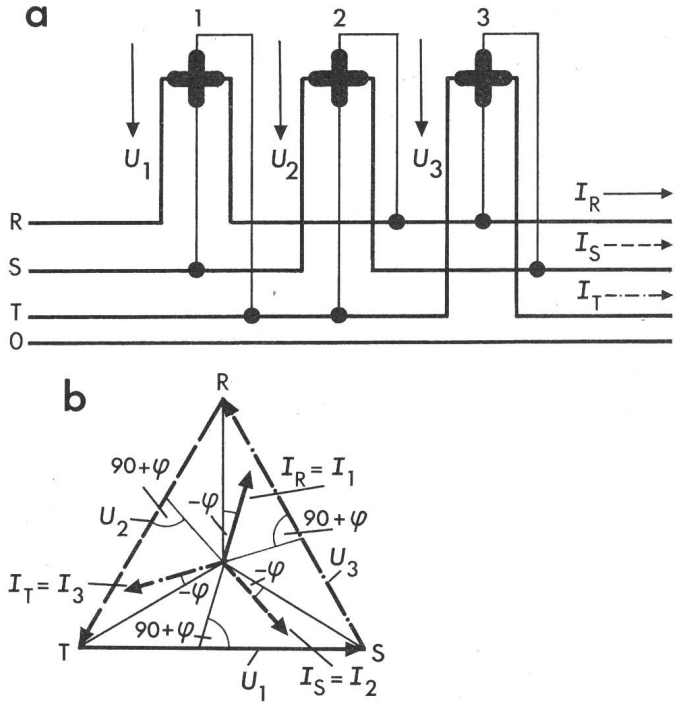

Fig. 6 **3P + Null-Schaltung für phasen-abhängige Messung der Blindlast**
3 Messwerke
Bezeichnungen siehe Fig. 5

Tabelle III

Messung der Blindlast phasenfolge-abhängig (Schaltung mit 3 Messwerken mit 90° Abgleich für 3P + 0-Netze)

Zählerlast					Schaltung Messwerke									Zählerlast			
					Messwerk 1			Messwerk 2			Messwerk 3			Messwerk 1	Messwerk 2	Messwerk 3	
	U_N	I_N	Phasenwinkel	Q_N	U_1	I_1	Phasenwinkel	U_2	I_2	Phasenwinkel	U_3	I_3	Phasenwinkel	Q_1	Q_2	Q_3	$Q_Z = \sum_1^3 Q$
allseitig	RSTO $= U$	RST $= I$	$-\varphi$	$\sqrt{3}\, U I \sin\varphi$	TS $= U_V$	R $= I$	$90+\varphi$	RT $= U_V$	S $= I$	$90+\varphi$	SR $= U_V$	T $= I$	$90+\varphi$	$\frac{1}{\sqrt{3}} U_V I \cos(90+\varphi)$	$\frac{1}{\sqrt{3}} U_V I \cos(90+\varphi)$	$\frac{1}{\sqrt{3}} U_V I \cos(90+\varphi)$	$\sqrt{3}\, U_V I \sin\varphi = 3\, U I \sin\varphi$ [1, 2]
einseitig O–R	OR $= U$	R $= I$	$-\varphi$	$U I \sin\varphi$	TS $= U_V$	R $= I$	$90+\varphi$	—	—	—	—	—	—	$\frac{1}{\sqrt{3}} U_V I \cos(90+\varphi)$	—	—	$U I \sin\varphi$
einseitig O–S	OS $= U$	S $= I$	$-\varphi$	$U I \sin\varphi$	—	—	—	RT $= U_V$	S $= I$	$90+\varphi$	—	—	—	—	$\frac{1}{\sqrt{3}} U_V I \cos(90+\varphi)$	—	$U I \sin\varphi$
einseitig O–T	OT $= U$	T $= I$	$-\varphi$	$U I \sin\varphi$	—	—	—	—	—	—	SR $= U_V$	T $= I$	$90+\varphi$	—	—	$\frac{1}{\sqrt{3}} U_V I \cos(90+\varphi)$	$U I \sin\varphi$

[1] $\cos(90+\varphi) = \sin\varphi$

[2] $U = \frac{1}{\sqrt{3}} U_V$

Mess- und Prüfschaltungen für Wirklast Tabelle IV

Prüfling	3 P-Aronschaltung, 2 Messwerke (Fig. 1)		3 P-Schaltung, 3 Messwerke (Fig. 2)		3 P + 0-Schaltung, 3 Messwerke (Fig. 3)	
Netz	Δ 3-Leiternetz		Δ 3-Leiternetz		⅄ 4-Leiternetz	
Normal	symmetrische Last	einseitige Last	symmetrische Last	einseitige Last	symmetrische Last	einseitige Last
Eichzähler 3 P-Aronschaltung 2 Messwerke	Fig. 1		Fig. 1		Aronschaltung nicht anwendbar	
Randbedingungen	keine	keine	$\sum I = 0$	keine		
Eichzähler 3 P-Schaltung 3 Messwerke	Fig. 2		Fig. 2		Fig. 3	
Randbedingungen	$\sum I = 0$	keine	keine	keine	keine	keine

Mess- und Prüfschaltung für phasenfolge-abhängige Messung der Blindlast Tabelle V

Prüfling	2 Messwerke, 60° Abgleich (Fig. 4)		3 Messwerke, 90° Abgleich (Fig. 5)		3 Messwerke, 90° Abgleich (Fig. 6)	
Netz	Δ 3-Leiternetz		Δ 3-Leiternetz		⅄ 4-Leiternetz	
Normal	symmetrische Last	einseitige Last	symmetrische Last	einseitige Last	symmetrische Last	einseitige Last
Eichzähler [1] Schaltung nach 1.2.1 3 P-Aronschaltung 2 Messwerke, 60° Abgleich	[2] Fig. 4	[2]	Fig. 4		Aronschaltung nicht anwendbar	
Randbedingungen	keine	keine	$\sum I = 0$	symmetrisches Spannungs-Δ		
Eichzähler [1] Schaltung nach 1.2.2 3 P-Schaltung 3 Messwerke, 90° Abgleich	Fig. 5		[2] Fig. 5	[2]	Fig. 6	
Randbedingungen	$\sum I = 0$	symmetrisches Spannungs-Δ	keine	keine	keine	keine
Eichzähler Schaltung nach 1.1.1 3 P-Aronschaltung 2 Messwerke, 180° Abgleich	Fig. 1		Fig. 1		Aronschaltung nicht anwendbar	
Randbedingungen	keine	symmetrisches Spannungs-Δ	$\sum I = 0$	symmetrisches Spannungs-Δ		
Eichzähler Schaltung nach 1.1.2 3 P-Schaltung 3 Messwerke, 180° Abgleich	Fig. 2		Fig. 2		Fig. 3	
Randbedingungen	$\sum I = 0$	symmetrisches Spannungs-Δ	keine	symmetrisches Spannungs-Δ	keine	symmetrisches Spannungs-Δ Nullpunkt im Zentrum des Δ

[1]) Anschluss der Zähler in der richtigen Phasenfolge an die Netzspannung.
[2]) Voraussetzung: Prüflings- und Eichzählermesswerke an die gleichen Phasen geschaltet.

fehlerlos ist. Bei einseitiger Last können wohl momentan messbare Zusatzfehler auftreten, die sich aber über eine Ableseperiode mehr oder weniger ausmitteln.

b) Der Blindlastzähler für phasenfolge-unabhängige Messung hat gegenüber dem vergleichbaren Wirklastzähler schlechtere Messeigenschaften und wesentlich grösseren Leistungsbedarf im Spannungs- und Stromkreis, welcher zum grossen Teil im Shunt und Vorwiderstand in Wärme umgesetzt wird. Dadurch ist die maximale Überlastbarkeit auf 200 % I_n beschränkt. Will man mit einem kombinierten Meßsatz sowohl Wirk- als auch Blindlast messen, so ist die beschränkte Überlastbarkeit der Blindlastzähler von Nachteil.

Blindlastzähler für phasenfolge-abhängige Messung nach Abschnitt 1.2 sind im Prinzip Wirklastzähler, die nur durch eine spezielle Schaltung im Netz die Blindlast messen. Ihre sonstigen Messeigenschaften sind identisch mit den vergleichbaren Wirklastzählern.

2. Prüfschaltungen

Müssen die Messeigenschaften von Elektrizitätszählern überprüft werden, so benötigt man Vergleichsinstrumente. Üblicherweise stehen zu diesem Zwecke zur Verfügung:

a) Induktions-Eichzähler;
b) Statische Eichzähler;
c) Leistungsmesser und Zeitnormal.

Die Prüfmethoden nach a) und b) sind reine Vergleichsmethoden und benötigen keine konstante Leistung während dem Messvorgang. Im Gegensatz dazu benötigt die Leistungs-Zeit-Methode nach c) eine konstante Spannungsquelle.

Müssen Elektrizitätszähler im Netz geprüft werden, so steht keine konstante Spannungsquelle zur Verfügung, so dass für diesen Anwendungsfall nur eine Vergleichsmethode nach a) oder b) in Frage kommt.

Je nach der Art der zu prüfenden Zähler im Netz werden Eichzähler für die Messung der Wirk- oder Blindlast benötigt. Neben den bisher üblichen Ferraris-Eichzählern mit rotierender Triebscheibe werden heutzutage in vermehrtem Masse statische Eichzähler für Kontrollen im Netz eingesetzt. Infolge der rein statischen Bauweise eignet sich dieser Zähler besonders gut für mobilen Einsatz.

Für die Kontrolle der Blindlast-Aronzähler mit 60° Abgleich in 3 P-Netzen nach Abschnitt 1.2.1 muss vor den Spannungskreis der statischen Eichzähler ein Phasendrehglied geschaltet werden, welches die Ausgangsspannung gegenüber der Eingangsspannung bei gleichem Betrag um 30° zeitlich vorverschiebt.

Für die Kontrolle der Blindlastzähler für phasenfolge-unabhängige Messung der Blindlast nach Abschnitt 1.3 muss vor den Spannungskreis der statischen Eichzähler ein Phasendrehglied geschaltet werden, welches die Ausgangsspannung

Mess- und Prüfschaltungen für phasenfolge-unabhängige Messung der Blindlast — Tabelle VI

Prüfling	2 Messwerke, 180° Abgleich (Fig. 1)		3 Messwerke, 180° Abgleich (Fig. 2)		3 Messwerke, 180° Abgleich (Fig. 3)	
Netz	Δ 3-Leiternetz		Δ 3-Leiternetz		⅄ 4-Leiternetz	
Normal	symmetrische Last	einseitige Last	symmetrische Last	einseitige Last	symmetrische Last	einseitige Last
Eichzähler [1] Schaltung nach 1.2.1 3 P-Aronschaltung 2 Messwerke, 60° Abgleich	Fig. 4		Fig. 4		Aronschaltung nicht anwendbar	
Randbedingungen	keine	symmetrisches Spannungs-Δ	$\sum I = 0$	symmetrisches Spannungs-Δ		
Eichzähler [1] Schaltung nach 1.2.2 3 P-Schaltung 3 Messwerke, 90° Abgleich	Fig. 5		Fig. 5		Fig. 6	
Randbedingungen	$\sum I = 0$	symmetrisches Spannungs-Δ	keine	symmetrisches Spannungs-Δ	keine	symmetrisches Spannungs-Δ Nullpunkt im Zentrum des Δ
Eichzähler Schaltung nach 1.1.1 3 P-Aronschaltung 2 Messwerke, 180° Abgleich	[2]	[2]			Aronschaltung nicht anwendbar	
Randbedingungen	keine	keine	$\sum I = 0$	keine		
Eichzähler Schaltung nach 1.1.2 3 P-Schaltung 3 Messwerke, 180° Abgleich	Fig. 2		[2] Fig. 2	[2]	[2] Fig. 3	[2]
Randbedingungen	$\sum I = 0$	keine	keine	keine	keine	keine

[1]) Anschluss der Eichzähler in der richtigen Phasenfolge an die Netzspannung.
[2]) Voraussetzung: Prüflings- und Eichzählermesswerke an die gleichen Phasen geschaltet.

gegenüber der Eingangsspannung bei gleichem Betrag um 90° zeitlich nachverschiebt.

Die Zeit-Leistungs-Methode nach c) kann bei stabilisierter Spannung für Wirkverbrauchsmessungen sowie für Blindverbrauchsmessungen nach 1.2 mit Ausnahme der Aronschaltung mit 60° Abgleich nach 1.2.1 ohne zusätzliche Einschränkungen verwendet werden, d. h. überall dort, wo auch Eichzähler mit 90° Abgleich eingesetzt werden. Die einschränkenden Bedingungen sind dieselben.

3. Wahl der zweckmässigen Schaltung der Normalien bei gegebener Prüflingsschaltung

Im Abschnitt 1 wurden die verschiedenen Zählerschaltungen bezüglich ihrer Beeinflussung durch unsymmetrische Netzspannungen beurteilt. Darunter sind solche Schaltungen, die die Belastung nur unter einschränkenden Randbedingungen richtig messen. Müssen nun solche Zähler im Netz überprüft werden, so stellt sich die Frage der zweckmässigen Schaltung der verwendeten Normalien. Dabei sind folgende Kriterien zu beachten:

3.1 Ist die Schaltung von Prüfling und Normal *identisch,* dann wird der Zähler im Netz ohne einschränkende Randbedingungen richtig überprüft, auch wenn die betreffende Schaltung die Belastung im Netz nur unter einschränkenden Bedingungen fehlerfrei misst. Dies ist z. B. der Fall, bei der Überprüfung von 3P + 0-Blindlastzählern nach 1.2.3 durch identische Eichzähler.

3.2 Ist die Schaltung von Prüfling und Normal *nicht identisch,* und Prüfling und Normal haben nicht dieselbe Abhängigkeit von der Unsymmetrie der Netzspannungen, dann wird der Zähler im Netz bei 1-phasiger Last nicht richtig überprüft. Dies ist z. B. der Fall, wenn 3P-Aronzähler für Blindverbrauch nach 1.2.1 bei 1-phasiger Belastung mit 3P-Eichzählern nach 1.2.2 überprüft werden.

Um die Zweckmässigkeit der gewählten Schaltung der Normalien bei gegebener Prüflingsschaltung im Netz beurteilen zu können, sind die Randbedingungen bei der Überprüfung der Zähler im Netz in den Tabellen IV...VI zusammengestellt. Auf der ersten Zeile sind die Prüflingsschaltungen und in der ersten Kolonne die verfügbaren Schaltungen der Eichzähler aufgeführt. In den zugehörigen Matrix-Feldern sind die Randbedingungen der Prüfschaltungen angegeben. Tabelle IV beinhaltet die Prüflingsschaltungen zur Messung des Wirkverbrauchs, Tabelle V die Prüflingsschaltungen zur phasenfolge-abhängigen Messung des Blindverbrauchs. In Tabelle VI sind die Prüflingsschaltungen zur phasenfolge-unabhängigen Messung des Blindverbrauchs angegeben.

4. Zu erwartende Zusatzfehler beim Überprüfen von Zählern im Netz, wenn einschränkende Randbedingungen vorhanden sind

Die Kenntnis der Zusatzfehler ist dann von Interesse, wenn Zähler im Netz mit Eichzählern überprüft werden müssen, die unter das Kriterium 3.2 fallen. Um die Aussagekraft des gemessenen Resultats beurteilen zu können, muss die durch die unzweckmässige Schaltung des Eichzählers verursachte Messunsicherheit bekannt sein.

Da diese Zusatzfehler in komplizierter Weise von der Unsymmetrie der Netzspannung abhängen, kann kein allgemeingültiges Rezept zu ihrer Berechnung angegeben werden. Es wird nachfolgend versucht, aufgrund der in Lit. [1] zitierten Untersuchungen im Niederspannungs-Drehstrom-Vierleiternetz ein Fehlerband für die zu erwartende Messunsicherheit der Ergebnisse zu ermitteln.

Aus 10 Einzelmessungen wurde der Mittelwert der Spannungsunsymmetrien berechnet. Ist die gewählte Messmethode abhängig von der Grösse der Netzspannungs-Unsymmetrie, so sind unter Zugrundelegung der Mittelwerte folgende maximale Messunsicherheiten zu erwarten:

bei $\sin \varphi = 1$ ca. $\pm 2\,\%$
bei $\sin \varphi = 0{,}5$ ca. $\pm 4\,\%$

Es sei aber nochmals daran erinnert, dass diese Zusatzfehler nur bei 1-phasigen Messungen auftreten können. Bei der Messung der allseitigen Blindlast sind bei keiner der angegebenen Schaltungen einschränkende Randbedingungen vorhanden.

Literatur

[1a] *F. Tschappu:* Zusatzfehler beim Messen des Blindverbrauchs in Drehstrom-4-Leiternetzen bei Verwendung von Blindstromzählern in Kunstschaltung. Bull. SEV 59(1968)17, S. 800...807.

[1b] *M. Angst* und *F. Tschappu:* Ermittlung der Zusatzfehler beim Messen des Blindverbrauchs mit Blindverbrauchszählern in Kunstschaltung auf Grund von Messungen der Unsymmetrie im Niederspannungsnetz 220/380 V. Bull. SEV 60(1969)7, S. 303...309.

[2] *S. Frank:* Drehstrom-Arbeitszählung in Hochspannungsanlagen. ETZ 75 (1954)17, S. 551...556.

Adresse des Autors:

Dr. *F. Tschappu,* LGZ Landis & Gyr Zug AG, 6301 Zug.