

Leistungsmessung nach DIN 40110 – Blindleistung bei rein ohmscher Last?

Die hier als „klassisch“ bezeichnete Wechselstromlehre orientiert sich bei der Drehstromleistungsberechnung meist an Abschnitt 2.2 der früheren DIN 40110 für mehrphasige Stromkreise, die allerdings nur für symmetrische Betriebszustände gültig war. Für beliebige Mehrleiterstromkreise ist aber DIN 40110-2 anzuwenden, die für die Schein- und Blindleistung in einem Drehstromsystem eben nur dann gleiche Ergebnisse liefert, wenn die Drehstromverbraucher symmetrisch sind, d. h. in allen Leitern betragsgleiche Ströme fließen. Ist diese Voraussetzung nicht erfüllt, stimmt nur die Wirkleistung mit der gültigen Norm DIN 40110-2 überein, Schein- und Blindleistung werden fehlerhaft ermittelt.

Im Folgenden soll die richtige Vorgehensweise bei der Leistungsmessung aufgezeigt werden, beispielhaft durchgeführt mit dem Leistungsmessgerät LMG 500 der Fa. ZES Zimmer Electronic Systems GmbH [1, 2]. Mit den Leistungsmessgeräten von ZES ist es darüber hinaus möglich, auf alleiniger Basis von Spannungs- und Strommessung die Größen Drehmoment, Drehzahl und mechanische Leistung von Asynchronmotoren zu bestimmen und damit Arbeitspunkte zu kontrollieren und optimieren.

Die Leistungen im Drehstromsystem

Die Wirkleistung ist die *einzigste* Leistung, die mit Messgeräten direkt gemessen werden kann. Die gesamte Drehstromwirkleistung, die in DIN 40110-2: 2002-11 [3] *kollektive Wirkleistung* genannt wird, ist die arithmetische Summe der Wirkleistungen aller drei Stränge. Die *kollektive Scheinleistung* ist bei unsymmetrischen Verbrauchern *nicht* identisch mit der *geometrischen Scheinleistung*, wie sie die „klassische“ Wechsel-

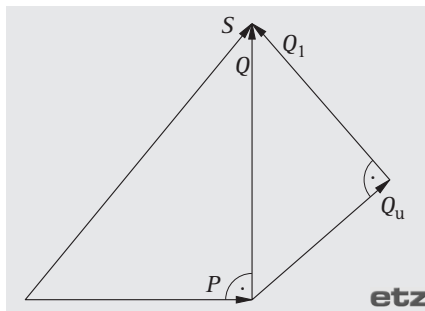


Bild 1. Mögliche Leistungskomponenten bei sinusförmigen Spannungen

stromlehre durch vektorielle Addition der Strangwerte liefern würde.

Manche Messgeräte liefern als Scheinleistung den arithmetischen Wert aller drei Stränge. Auch diese Größe weicht bei unsymmetrischen Verbrauchern von der normgerechten kollektiven Scheinleistung ab. Die korrekte Messung der kollektiven Größen verlangt nicht nur geeignete Messgeräte, sondern auch Sorgfalt beim Aufbau der Messschaltung.

Die kollektive Wirkleistung

Die Wirkleistung berechnet sich als zeitlicher Mittelwert der Momentanleistung über eine Schwingung. Bei einem symmetrischen Drehstromverbraucher mit sinusförmigen Spannungen und Strömen ist der Momentanwert der gesamten Leistung konstant und entspricht damit gleichzeitig dem zeitlichen Mittelwert, also der Wirkleistung. Liegt eine Unsymmetrie des Verbrauchers vor, so ändert sich der Momentanwert zeitlich, der Mittelwert bleibt aber wiederum konstant: $P_{\Sigma} = P_1 + P_2 + P_3$.

Friedhelm Milde

Die kollektive Scheinleistung

Zur Berechnung der kollektiven Scheinleistung wird zunächst aus den direkt messbaren Effektivwerten die kollektive Spannung und der kollektive Strom ermittelt. Die Rechenvorschrift für die kollektive Spannung lautet:

$$U_{\Sigma} = \sqrt{\sum U_{\mu 0}^2} = \sqrt{\frac{1}{6} \sum \sum U_{\mu \nu}^2}, \text{ mit}$$

$$\mu, \nu = 1, 2, 3.$$

Entsprechend gilt für den kollektiven

$$\text{Strom: } I_{\Sigma} = \sqrt{\sum I_{\mu}^2}, \text{ mit } \mu = 1, 2, 3.$$

Dabei ist $U_{\mu 0}$ eine virtuelle Strangspannung, die sich aus den messbaren Leiter-Leiterspannungen $U_{\mu \nu}$ berechnen lässt, I_{μ} ist der Leiterstrom. Mit der kollektiven Spannung und dem kollektiven Strom ergibt sich durch Multiplikation die kollektive Scheinleistung als Gesamtscheinleistung. Sie ist grundsätzlich größer oder gleich dem Betrag der Wirkleistung: $S_{\Sigma} = U_{\Sigma} \cdot I_{\Sigma} \geq |P_{\Sigma}|$. Nur im Fall gleich großer Spannungen und Ströme des Drehstromsystems sind die geometrische und kollektive Scheinleistung identisch:

$$S_{\Sigma} \geq S_{\text{arith}} \geq S_{\text{geom}} \geq P_{\Sigma}.$$

Die kollektive Scheinleistung berücksichtigt die höhere Belastung eines Drehstromnetzes durch unsymmetrische Ströme.

Die kollektive Blindleistung

Auch die gesamte Blindleistung, als kollektive Gesamtblindleistung bezeichnet, kann in einem Drehstromnetzwerk nicht direkt gemessen werden, sondern ist eine Rechengröße aus den zuvor ermittelten

$$\text{Leistungswerten: } Q_{\text{tot}, \Sigma} = \sqrt{S_{\Sigma}^2 - P_{\Sigma}^2}.$$

Die *kollektive Gesamtblindleistung* lässt sich in folgende orthogonale Komponenten aufspalten: Grundschiebungsverschiebungsblindleistung Q_1 , Unsymmetrieblindleistung Q_u , Oberschwingungsverschiebungsblindleistung Q_h , Verzerrungsblindleistung Q_d , Modulationsblindleistung Q_m . Die kollektive Gesamtblindleistung ergibt sich aus:

$$Q_{\text{tot}, \Sigma} = \sqrt{Q_1^2 + Q_u^2 + Q_h^2 + Q_d^2 + Q_m^2}.$$

Die „klassische“ Wechselstromrechnung liefert die Grund- und Oberschwingungs-

Prof. Dr.-Ing. Friedhelm Milde (55), VDE, ist Leiter des Instituts für Leistungselektronik und Antriebstechnik der Fakultät für Elektrotechnik an der Hochschule Mannheim. E-Mail: f.milde@hs-mannheim.de





Verschiebungsblindleistung Q_1 und Q_h . Bei unsymmetrischen Verbrauchern entsteht zusätzliche Unsymmetrieblindleistung Q_u . Die Anteile Q_h und Q_d treten nur bei nicht-sinusförmigen Spannungen oder Strömen im Netz auf.

Die Modulationsblindleistung Q_m tritt auf, wenn eine längere Mittelungszeitspanne als die Schwingungsdauer betrachtet wird und die Energie in dieser Zeit nicht gleichmäßig bezogen wird. Diese Blindleistungskomponente wird da-

her nicht in der DIN 40110-2:2002-11 [3] behandelt. Betriebsmittel, bei denen die Modulationsblindleistung von Bedeutung ist, sind Schwingungspaketsteuerungen, Direktumrichter, Sägegatter und Punktschweißmaschinen. Die Tabelle 1 zeigt Abhilfemaßnahmen für die einzelnen Blindleistungskomponenten.

In einem unsymmetrischen Drehstromnetz mit sinusförmigen Größen entstehen beispielsweise die Blindleistungsanteile Q_1 und Q_u (Bild 1).

Blindleistungskomponente	Abhilfemaßnahme
Grundschwungs-Verschiebungsblindleistung	Kompensationskondensatoren
Unsymmetrieblindleistung	Symmetrierschaltungen (Steinmetz)
Oberschwungs-Verschiebungsblindleistung	Saugkreise
Verzerrungsblindleistung	Saugkreise
Modulationsblindleistung	Umformer mit Energiespeicher

Tabelle 1. Abhilfemaßnahmen für die einzelnen Blindleistungskomponenten

Der kollektive Leistungsfaktor

Das Verhältnis aus dem Betrag der Wirkleistung zur Scheinleistung bestimmt den

$$\text{kollektiven Leistungsfaktor: } \lambda_{\Sigma} = \frac{|P_{\Sigma}|}{S_{\Sigma}} \leq 1.$$

Der Leistungsfaktor kann max. den Wert 1 erreichen. Dann ist die Gesamtblindleistung 0 var. Er ist somit ein Qualitätsfaktor für die Nutzung der Energieübertragung. Ein optimaler Netzzustand liegt vor, wenn:

- der Zeitverlauf des Stroms proportional zur Spannung verläuft und beide sinusförmig sind,
 - alle drei Leiter des Drehstromsystems gleichmäßig belastet sind,
 - Spannung und Strom innerhalb der Mittelungszeitspanne konstant bleiben.
- Strom- und Spannungssignale gleicher Frequenz können nur Wirkleistung und Verschiebungsblindleistung erzeugen, bei Unsymmetrie zusätzlich noch Unsymmetrieblindleistung. Strom- und Spannungssignale unterschiedlicher Frequenz (Oberschwungsanteile) erzeugen Verzerrungsblindleistung.

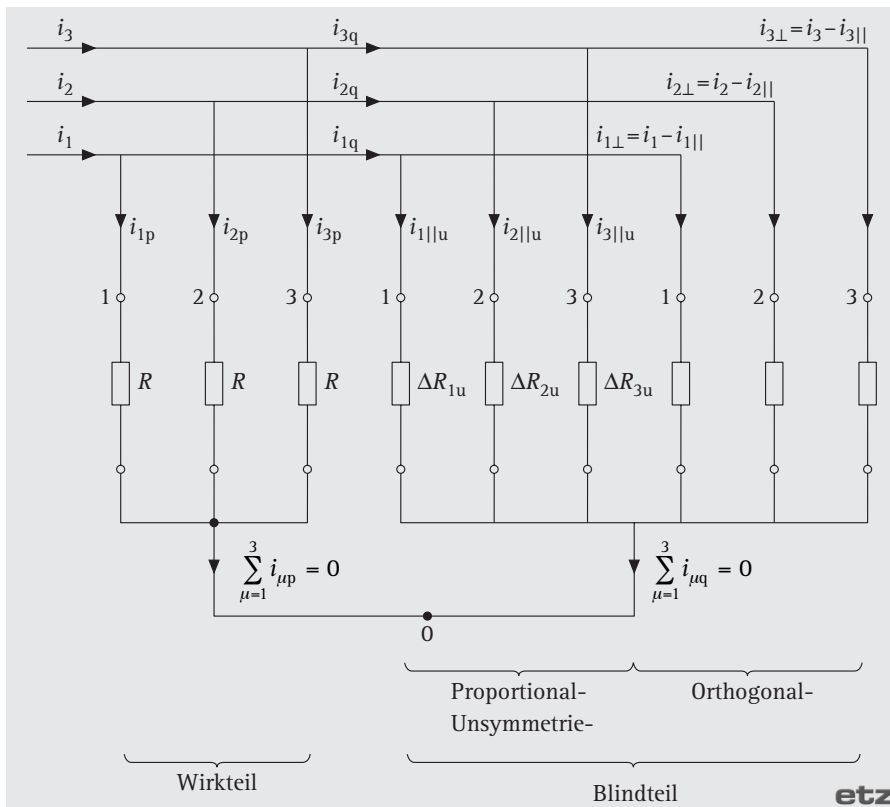


Bild 2. Ersatzschaltung eines unsymmetrischen Drehstromverbrauchers

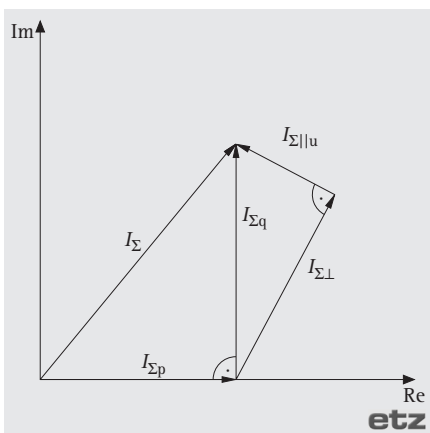


Bild 3. Das Zeigerdiagramm der Ströme

Betrachtung ohmscher unsymmetrischer Drehstromverbraucher

Die Unterschiede der Leistungen nach „klassischer“ und normgerechter Berechnung entsprechend DIN 40110-2:2002-11 [3] zeigt das Beispiel eines ohmschen unsymmetrischen Drehstromverbrauchers mit den in Tabelle 2 angeführten Daten [5].

Nach „klassischer“ Berechnung würde sich eine Gesamtscheinleistung von $S = 1380 \text{ VA}$ ergeben, die Blindleistung wäre 0 var . Nach DIN 40110-2:2002-11 [3] sind zunächst die kollektiven Größen zu berechnen:

kollektive Spannung: $U_{\Sigma} = 398,37 \text{ V}$,
kollektiver Strom: $I_{\Sigma} = 3,742 \text{ A}$.

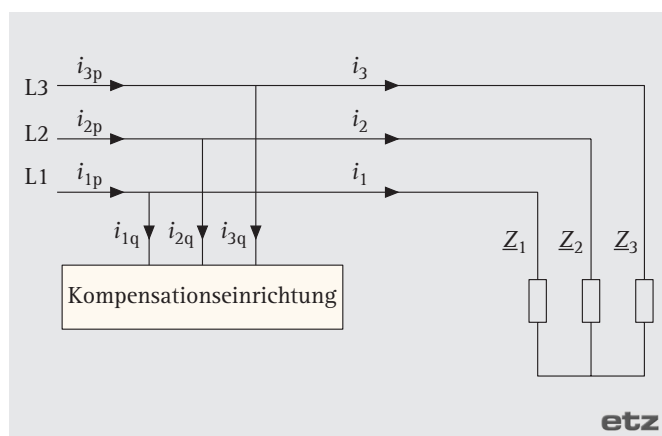


Bild 4. Schaltbild einer idealen Kompensationsschaltung

Daraus folgen die kollektiven Leistungen:
kollektive Wirkleistung: $P_{\Sigma} = 1380 \text{ W}$,
kollektive Scheinleistung: $S_{\Sigma} = 1490,7 \text{ VA}$,
kollektive Blindleistung: $Q_{\Sigma} = 563,72 \text{ var}$,
kollektiver Leistungsfaktor:
 $\lambda_{\Sigma} = 0,926$.

Es tritt, obwohl nur ohmsche Verbraucher vorliegen, eine nicht unerhebliche Blindleistung auf, die in Folge zu einem Anstieg der Scheinleistung führt. Der Unterschied zur „klassischen“ Berechnung beträgt $7,4 \%$.

Gedanklich kann man die unterschiedlichen Außenleiterströme in den drei Strängen in drei gleich große symmetrische Ströme und einen pro Strang unterschiedlichen Differenzstrom aufteilen. Die symmetrischen Ströme sollen dabei die Bedingung erfüllen, dass sie mit der Strangspannung die kollektive Wirkleistung erbringen. Es lässt sich zeigen, dass die verbleibenden Differenzstromanteile, insgesamt über eine Schwingung gemittelt, nicht zur Erhöhung der kollektiven Wirkleistung beitragen. Sie liefern demzufolge die kollektive Blindleistung.

Die kollektive Blindleistung berechnet sich resultierend für das Drehstromsystem, entsteht also nicht durch Aufsummierung einzelner Strangwerte. In jedem Strang wird ja nur Wirkleistung umgesetzt. Nach dieser Überlegung lässt sich für jeden unsymmetrischen ohmschen Verbraucher eine Ersatzschaltung nach Bild 2 angeben.

Im linken Teil von Bild 2 sind drei symmetrische Widerstände R zu erkennen, die die gesamte Wirkleistung des realen unsymmetrischen Verbrauchers aufnehmen (Wirkteil). Die restliche Schaltung nimmt in Summe ausschließlich Blindleistung auf (Blindteil). In Bild 3 sind wichtige Summenstromkomponenten in der

komplexen Ebene dargestellt. Die Orthogonalität der Teilströme gilt nur für die kollektiven Ströme.

Mit einer geeigneten idealen Kompensationsschaltung nach Bild 4 könnte man die Blindstromanteile ausfiltern, sodass

Außenleiter	Spannung, Strom	Lastart	Wirkleistung P	Scheinleistung S	Leistungsfaktor λ
L1	230 V, 1 A	ohmsche Last	230 W	230 VA	1
L2	230 V, 2 A	ohmsche Last	460 W	460 VA	1
L3	230 V, 3 A	ohmsche Last	690 W	690 VA	1

Tabelle 2. Beispiel eines ohmschen unsymmetrischen Verbrauchers – technische Daten



Bild 5. Das Leistungsmessgerät LMG 500

auf der Einspeiseseite nur noch betragsgleiche Wirkströme auftreten, die bei gegebener Wirkleistung zu einer minimalen Netzbelastung führen.

Die Kompensationsschaltung überträgt keine Wirkleistung. Sie lässt sich für unsymmetrische ohmsche Verbraucher allerdings nur ideal ausführen, da teilweise negative Widerstände ΔR_{vu} auftreten.

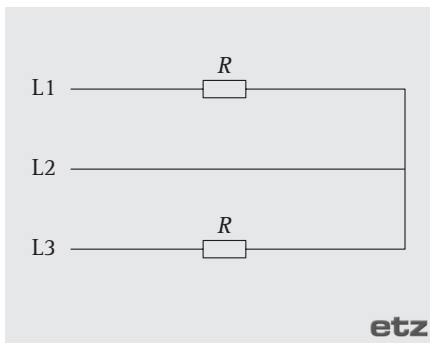


Bild 6. Unsymmetrischer ohmscher Zweiphasenverbraucher

Die Impedanzen Z_v stellen die ursprüngliche unsymmetrische Last dar. Mit der idealen Kompensation treten nun an den Klemmen L1, L2 und L3 nur noch betragsgleiche Netzströme i_{vp} auf. Die Wirkleistung wird jetzt mit der kleinstmöglichen Netzbelastung übertragen.

Berechnung signifikanter Größen nach DIN 40110-2

Ausgehend von einem Dreileitersystem lassen sich aus den bekannten bezogenen Leiter-Leiterspannungen die virtuellen Sternspannungen für eine Stern-Ersatzschaltung berechnen [6]:

$$\underline{U}_{10} = \frac{1}{3} \cdot (\underline{U}_{12} - \underline{U}_{31}),$$

$$\underline{U}_{20} = \frac{1}{3} \cdot (\underline{U}_{23} - \underline{U}_{12}),$$

$$\underline{U}_{30} = \frac{1}{3} \cdot (\underline{U}_{31} - \underline{U}_{23}).$$

Aus dem Mittelwert der Leistung eines Strangs, die mit dem Strangstrom und obiger Sternspannung ermittelt wurde, lässt sich zunächst der Leitwert G_μ

$$\text{bestimmen: } G_\mu = \frac{P_\mu}{U_{\mu 0}^2}. \quad (\text{Gl. 1})$$

Die kollektive Wirkleistung ist die Summe der Wirkleistungen der einzelnen Stränge: $P_\Sigma = P_1 + P_2 + P_3$. (Gl. 2)

Die kollektive Spannung ist die geometrische Summe der Sternspannungen:

$$U_\Sigma = \sqrt{U_{10}^2 + U_{20}^2 + U_{30}^2}. \quad (\text{Gl. 3})$$

Ebenso berechnet sich der kollektive Strom zu: $I_\Sigma = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2}$. (Gl. 4)

Wird die kollektive Leistung des Verbrauchers mit obigen Sternspannungen gemessen, so ergibt sich für den Leitwert G

$$\text{folgende Beziehung: } G = \frac{P_\Sigma}{U_\Sigma^2}. \quad (\text{Gl. 5})$$

$$\text{Der Kehrwert liefert } R = \frac{1}{G}, \quad (\text{Gl. 6})$$

die symmetrische ohmsche Komponente der Ersatzschaltung nach Bild 2. In diesen drei gleich großen Widerständen wird die gesamte Wirkleistung des Verbrauchers allein umgesetzt. Die Differenz der Leitwerte, $\Delta G_\mu = G_\mu - G$, (Gl. 7) die nicht alle das gleiche Vorzeichen haben müssen, führt durch Kehrwertbildung zu den unsymmetrischen Widerständen der

$$\text{Ersatzschaltung: } \Delta R_{\mu u} = \frac{1}{\Delta G_\mu}. \quad (\text{Gl. 8})$$

a)

Außenleiter	U in V	I in A	P in W	Q in var	S in VA
L1	330,34*	3,50*	1 157,00*	4,80*	1 157,00*
L2	0,21*	6,13*	1,30*	0,17*	1,32*
L3	328,70*	3,58*	1 178,40*	5,00*	1 178,40*
Σ			2 336,70	9,97	2 336,72

Spannungsmessung gegen Verbrauchersternpunkt, *Messwerte vom Leistungsmessgerät

Außenleiter	Strangwiderstände		L in mH	Z in Ω
	R in Ω	X in Ω		
L1	94,45	0,39	1,25	94,45
L2	0,03	0,00	0,01	0,03
L3	91,94	0,39	1,24	91,95

b)

Außenleiter	U in V	I in A	P in W	Q in var	S in VA
L1	190,33*	3,50*	581,70*	325,50*	666,60*
L2	189,60*	6,13*	1 162,40*	12,90*	1 162,50*
L3	191,30*	3,58*	590,70*	346,50*	684,90*
U _m ; Σ	190,41		2 334,80	684,90	2 514,00

kollektive Größen					
U _Σ in V		I _Σ in A	P _Σ in W	Q _Σ in var	S _Σ in VA

Spannungsmessung gegen künstlichen Sternpunkt, *Messwerte vom Leistungsmessgerät

Wirkleitwerte	G in mS	G ₁ in mS	ΔG ₁ in mS	G ₂ in mS	ΔG ₂ in mS	G ₃ in mS	ΔG ₃ in mS
	21,4659	16,0443	-5,4216	32,0609	10,5951	16,2925	-5,1734

Widerstände	R in Ω	ΔR _{1u} in Ω	ΔR _{2u} in Ω	ΔR _{3u} in Ω
	46,5856	-184,4471	94,3836	-193,2974

Tabelle 3. Messgrößen vom Leistungsmessgerät und Berechnung der ohmschen Ersatzschaltbilddaten, a) Berechnung der realen Strangwiderstände, b) Berechnung der Ersatzschaltbilddaten

Die ohmschen Elemente der Ersatzschaltung in Bild 2 ergeben sich aus Gl. 6 und Gl. 8. Die Ströme sind wie die Spannungen nach Leiterstromkomponenten und kollektiven Größen zu unterscheiden. Der kollektive Wirkstrom ergibt sich z. B. zu

$$I_{\Sigma p} = \frac{P_{\Sigma}}{U_{\Sigma}}. \text{ Daraus folgt der kollektive}$$

Blindstrom $I_{\Sigma q} = \sqrt{I_{\Sigma}^2 - I_{\Sigma p}^2}$. Die Stromstärke I_{μ} eines Leiterzweigs lässt sich in Wirk- und Blindkomponente aufteilen, die aber nicht orthogonal sind: $I_{\mu} = I_{\mu p} + I_{\mu q}$. Orthogonalität ergibt sich erst für die kollektiven Größen: $I_{\Sigma}^2 = I_{\Sigma p}^2 + I_{\Sigma q}^2$.

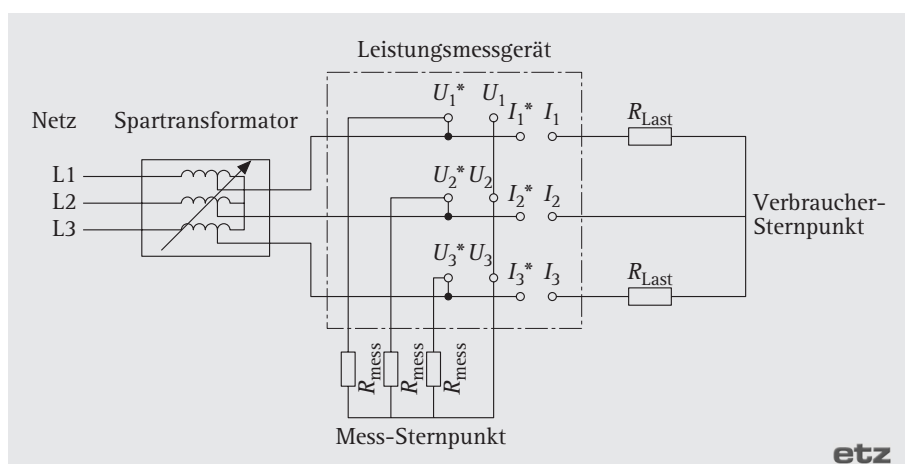
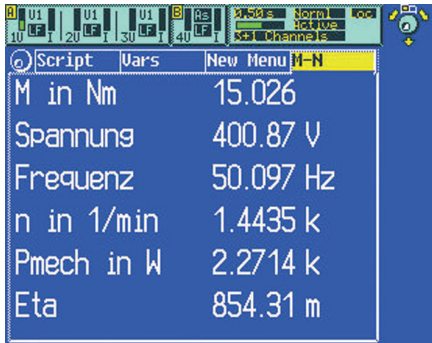


Bild 7. Der Schaltungsaufbau



Script	Vars	New Menu	M-N
M in Nm	15.026		
Spannung	400.87 V		
Frequenz	50.097 Hz		
n in 1/min	1.4435 k		
P _{mech} in W	2.2714 k		
Eta	854.31 m		

Bild 8. Anzeige der im Leistungsmessgerät berechneten mechanischen Motorgrößen

Erfassung der Messgrößen mit einem Präzisionsleistungsmessgerät

Die normgerechte Leistungsmessung wird beispielhaft aufgezeigt mit dem Mehrkanal Präzisionsleistungsmessgerät LMG 500 von ZES Zimmer Electronic Systems (Bild 5, [1, 2]). Die in Bild 6 dargestellte unsymmetrische ohmsche Verbraucherschaltung soll messtechnisch untersucht werden.

Für die normgerechte Messung der kollektiven Größen ist die im LMG optional lieferbare Stern-Dreieck-Umrechnung (Schaltungsart 3+1, linked values im LMG) zu verwenden. Die virtuellen Sternspannungen werden dann aus den gemessenen Außenleiterspannungen berechnet. Bei symmetrischen Außenleiter-

spannungen kann auch ein künstlicher Mess-Sternpunkt verwendet werden. Die Spannungseingänge U , U^* aller drei Kanäle sollten dabei mit den Widerständen R_{mess} abgeschlossen werden (vgl. Bild 7). Diese Variante ist fertig konfektioniert lieferbar.

Eine Spannungsmessung gegen den Verbrauchersternpunkt führt zu fehlerhafter kollektiver Spannung, Blind- und Scheinleistung.

Mit dem LMG 500 können sowohl die Leistungswerte je Strang als auch die kollektiven Größen nach DIN 40110-2:2002-11 [3] normgerecht gemessen werden. Mit der optionalen Software „Term-L5“ lassen sich Messdaten direkt auf einen PC übertragen und z. B. mit der Tabellenkalkulation MS-Excel [6] weiterverarbeiten. Tabelle 3a zeigt die Messwerte mit Spannungsmessung gegen den Verbrauchersternpunkt. Diese Werte dienen nur zur Berechnung bzw. Überprüfung der realen Strangwiderstände. Die dabei gemessene Gesamtblindleistung von $Q_{\text{res}} = 9,97$ var wird hervorgerufen durch den induktiven Anteil des gewickelten Kupferdrahts der Widerstände. Dieser Wert entspricht aber *nicht* der kollektiven Blindleistung nach DIN 40110-2:2002-11 [3]. In Tabelle 3b werden mit normgerechter Spannungsmessung die kollektiven Leistungen im LMG 500 berechnet. Der starke Unsymmetriegrad der Schaltung erzeugt die jetzt hohe kollektive Blindleistung von $Q_3 = 1\,168,6$ var, die erheblich vom Summenwert der drei Stränge nach „klassischer“ Wechselstromrechnung abweicht. Die Gesamtbelastung der Drehstromquelle ist durch die kollektive Scheinleistung in Höhe von $2\,610,9$ VA geprägt und nicht durch die wesentlich geringere Scheinleistung von $2\,336,72$ VA aus Tabelle 3a. Aus den Messgrößen in Tabelle 3b können die ohmschen Ersatzschaltbildgrößen nach Bild 2 mit den Gl. 1 bis Gl. 8 berechnet werden. Im symmetrischen Drehstromwiderstand $R = 46,6 \, \Omega$ wird die gleiche Gesamtleistung umgesetzt wie in der unsymmetrischen Ausgangsschaltung. Die übrigen Ersatzwiderstände ΔR_v sind teilweise negativ, weshalb eine Blindleistungskompensation nicht real möglich ist.

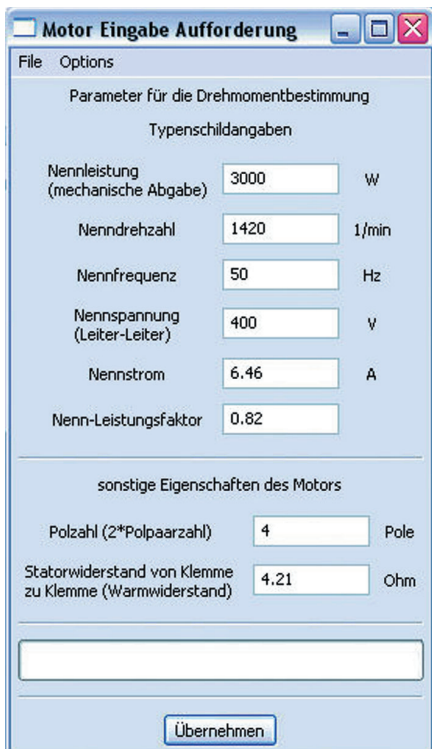
Optionale Drehmomentmessung bei elektrischen Antrieben

Mit dem Leistungsmessgerät LMG 500 ist mit einem optionalen Softwaremodul über Strom- und Spannungsmessung von Drehstrom-Asynchronmotoren ohne zusätzliche mechanische Sensoren über ein Motormodell die Berechnung von Drehmoment, Drehzahl und mechanischer Wellenleistung möglich (Bild 8 u. 9). Das im Institut für Leistungselektronik und Antriebstechnik der Hochschule Mannheim [7] entwickelte Modell verlangt keine Kalibrierung. Eventuelle Zuleitungsimpedanzen können miteinbezogen werden, sodass die Messung auch entfernt im Schaltschrank möglich ist. Der Motor kann vom Netz oder über Frequenzumrichter gespeist werden.

Mechanische Leistung und Wirkungsgrad eignen sich zur Beurteilung des Arbeitspunkts des Antriebs sowie zur Motordiagnose. Bei mechanischen Rühr- und Mischwerken kann z. B. die Viskosität des Mischguts aus dem Antriebsmoment abgeleitet werden. Bei Pumpenantrieben lässt sich der hydraulische Arbeitspunkt durch die zugeführte mechanische Leistung kontrollieren.

Literatur

- [1] ZES Zimmer Electronic Systems GmbH, Oberursel (Taunus): www.zes.com
- [2] LMG500 – 1 bis 8 Kanal Präzisions-Leistungsmessgerät. ZES Zimmer Electronic Systems GmbH: www.zes.com/products/lmg500_d.html
- [3] DIN 40110-2:2002-11 Wechselstromgrößen – Teil 2: Mehrleiter-Stromkreise. Berlin: Beuth
- [4] Späth, H.: Leistungsbegriffe für Ein- und Mehrphasensysteme. VDE-Schriftenreihe – Normen verständlich Bd. 103. Berlin · Offenbach: VDE VERLAG, 2000 (ISBN 978-3-8007-2499-4)
- [5] ZES Applikationshandbuch. Firmenschrift. Oberursel (Taunus): ZES Zimmer Electronic Systems GmbH
- [6] Excel. Microsoft Inc., Redmond, Washington/USA: <http://office.microsoft.com/de-de/FX010858001031.aspx>
- [7] Institut für Leistungselektronik und Antriebstechnik (ILA). Hochschule Mannheim: www.et.hs-mannheim.de/ILA/deutsch/index.htm



Motor Eingabe Aufforderung

File Options

Parameter für die Drehmomentbestimmung

Typenschildangaben

Nennleistung (mechanische Abgabe)	3000	W
Nennzahl	1420	1/min
Nennfrequenz	50	Hz
Nennspannung (Leiter-Leiter)	400	V
Nennstrom	6.46	A
Nenn-Leistungsfaktor	0.82	

sonstige Eigenschaften des Motors

Polzahl (2*Polpaarzahl)	4	Pole
Statorwiderstand von Klemme zu Klemme (Warmwiderstand)	4.21	Ohm

Übernehmen

Bild 9. Erforderliche Typenschildangaben für das Motorenmodell