Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 21 (1930)
Heft: 22

Artikel: Blindleistungs- oder cos-Messung im Kraftwerksbetrieb?
Autor: Kleiner, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1058283

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: 22.08.2025

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

und seine Phasenverschiebung werden und desto stärker macht sich die sekundäre Phasenverschiebung bemerkbar. Die Sättigung des Eisenkörpers spielt daher beim Spartransformator eine viel wichtigere Rolle wie beim normalen Transformator, da dieselbe in erster Linie die Phasenlage des Differenzstromes und damit die Streuung beeinflusst. Im allgemeinen braucht man jedoch beim einphasigen Spartransformator in Bezug auf den Differenzstrom nicht ängstlich zu sein, so lange die Eisenbeanspruchung nicht allzuweit getrieben wird, da hierbei nur die Streuung vergrössert wird und diese nur dann schädliche Einflüsse mit sich bringt, wenn massive Metallteile in diese Streufelder zu liegen kommen. Bei Drehstrom-Spartransformatoren liegen die Verhältnisse wesentlich komplizierter, da einmal die Streufelder eine ungleichmässige magnetische Beanspruchung der drei Säulen hervorbringen können und zweitens bei ungleicher Belastung der drei Phasen stets Zusatzfelder auftreten, die eine starke Vergrösserung des Differenzstromes mit sich bringen. Es würde jedoch den Rahmen dieser Arbeit weit übersteigen, wenn wir auch diese Erscheinungen beim Drehstrom-Spartransformator eingehend untersuchen wollten.

Zum Schlusse können wir für das Berechnungsbeispiel aus Gleichungen (76) bis (77) die Grösse des Streustromes berechnen. Für $\cos\varphi_{2A} = 1$ oder $\varphi_{2A} = 0^0$ sind die Streuamperewindungen in Richtung des Sekundärstromes aus Gleichung (76) $AW_{za} = -12{,}57$ und aus Gleichung (76a) ist die senkrechte Komponente $AW_{z\beta} = -14{,}03$, so dass die resultierenden Streuamperewindungen $AW_{zt} = 18{,}82$ sind. Daraus ist dann der Streustrom, welcher aus dem Primärnetz entnommen wird, aus Gleichung (77) $I_z = 0{,}65$ A und seine Phasenverschiebung gegen den Sekundärstrom ist $\operatorname{tg}\varphi_s = 1{,}1165$ oder $\varphi_s = +48^0\ 19{,}2'$. In diesem Falle muss daher die Streuung sehr gering sein.

Würden wir noch die Verhältnisse untersuchen, wenn wir die Windungszahlen w_1 und w_2 gegeneinander vertauschen würden, also wenn $w_1 > w_2$ ist, so würden sich ähnliche Verhältnisse ergeben, nur dass in diesem Falle der Phasenwinkel ψ_{1d1} des Differenzstromes seine Richtung umkehrt.

Damit haben wir beim einphasigen Spartransformator die grundlegenden Beziehungen aufgestellt, die für dessen Berechnung notwendig sind.

Blindleistungs- oder cos φ-Messung im Kraftwerksbetrieb?

Von *A. Kleiner*, Oberingenieur
der Kraftwerke Oberhasli A.-G., Innertkirchen.

621.311.1.00.4:621.3.01°.1

Es wird ausgeführt, dass Begriff und Messung der Blindleistung gegenüber derjenigen des cos φ viele Vorteile hat und der Vorschlag gemacht, allgemein den Begriff der Blindleistung zu gebrauchen und denjenigen der Phasenverschiebung auf das rein theoretische Gebiet zu beschränken.

L'auteur explique que la notion et la mesure de la puissance réactive présentent bien des avantages en regard de celles du cos φ; il propose d'utiliser généralement la notion de «puissance réactive» et de restreindre celle du cos φ au domaine purement théorique.

Der Betriebszustand eines Wechselstromkreises ist bekanntlich ausser durch Strom, Spannung und Leistung noch durch die Phasenverschiebung zwischen den beiden erstern bestimmt. Zu der normalen Schalttafelausrüstung eines Generators, Motors oder einer abgehenden Leitung gehört daher neben den Instrumenten für Strom, Spannung, Frequenz und Wirkleistung ein Instrument, nach welchem die Phasenverschiebung, oder bei einer Maschine der Erregungszustand beurteilt werden kann.

Da die Leistung $= I \cdot U \cdot \cos\varphi$ ist, so lag es nahe, Instrumente zu schaffen, die diesen $\cos\varphi$ direkt anzeigen und die Stromkreise mit einem solchen $\cos\varphi$-Zeiger auszurüsten. Durch einfache Division mit diesem „Leistungsfaktor" kann man dann auf die „Scheinleistung" (in kVA) schliessen, d. h. das in der Gleichstromtechnik als Leistung bekannte Produkt $I \cdot U$, durch das ja auch scheinbar die Belastbarkeit von Maschinen und Apparaten ausgedrückt wird.

Dieser uns altgewohnte Begriff des $\cos\varphi$ ist nun aber, wenn man ihn genauer betrachtet, gar nicht so leicht zu fassen und zu erklären. Bekanntlich erhält man auf die relativ einfachste Weise den Ausdruck $P = I \cdot U \cdot \cos\varphi$ dadurch, dass man die Differenzialgleichungen $i \cdot r = e - L \cdot \frac{di}{dt}$ und $P = \frac{1}{T}\int_0^T e \cdot i \cdot dt$ integriert, wozu immerhin nicht unerhebliche Kenntnisse der Infinitesimalrechnung gehören. Natürlich hat sich seit Jahren die Praxis, besonders durch die graphische Darstellungsweise, mit dem Begriff so vertraut gemacht, dass man nicht mehr an seine komplizierte Entstehungsgeschichte denkt und auch mit negativen Phasenverschiebungswinkeln unbedenklich operiert und dann von kapazitiven Belastungen redet.

Immerhin stösst man immer auf Schwierigkeiten, wenn man Leuten ohne spezielle elektrotechnische Ausbildung oder Praxis diese Begriffe klar machen sollte. Dabei ist die Herleitung des Leistungsfaktors aus einer Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung nur für sinusförmige Strom- und Spannungskurven richtig; bei Kurvenverzerrungen wird die Sache noch unübersichtlicher und es kommt bekanntlich vor, dass bei einem Lichtbogen, wo das Oszillogramm absolute Phasenkoinzidenz zwischen Strom und Spannung zeigt, ein „$\cos\varphi$" gemessen wird, der erheblich kleiner ist als 1, obschon der sichtbare Phasenverschiebungswinkel = 0 ist. Der Winkel φ und sein cosinus sind also da trigonometrisch und physikalisch etwas anrüchig. Endlich verliert der „$\cos\varphi$" überhaupt seine einfache physikalische Bedeutung bei Drehstrom- oder sonstigen Mehrphasen-Stromkreisen mit beliebig unsymmetrischen induktiven oder kapazitiven Belastungen, was sich in unangenehmer Weise dadurch zeigt, dass die Angaben des $\cos\varphi$-Zeigers mit denjenigen des Leistungsfaktors $= \frac{\text{Leistung}}{\text{Strom} \cdot \text{Spannung}}$ nicht übereinstimmen und so Messfehler vortäuschen.

Es kommt im weitern dazu, dass die Messung des Leistungsfaktors messtechnisch keine ganz leichte Sache ist, so einfach sie auf den ersten Blick aussieht. Die Schwierigkeit wird namentlich dann gross, wenn, wie dies auf einer Durchgangsleitung immer vorkommt, Leistung bezogen und abgegeben wird, wobei die Phasenverschiebung in beiden Fällen vor- und nacheilend sein kann. Man kommt dann auf Instrumente mit vier Quadranten, die nicht nur schwierig abzulesen, sondern auch instrumententechnisch nicht einfach zu fabrizieren sind.

Als es sich darum handelte, den Leistungsfaktor ($\cos\varphi$) auch in der Verrechnung einzuführen, begnügte man sich von jeher damit, ein Mass für den Leistungsfaktor dadurch zu gewinnen, dass man die Produkte $U \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot t$ und $U \cdot I \cdot \sin\varphi \cdot t$ mittelst einfachen Zählern mass, aus diesen beiden Grössen tg φ bildete und aus dem letzteren den $\cos\varphi$. Diese Messung und auch diese Rechnung bieten weder instrumententechnisch noch rechnerisch irgendwelche Schwierigkeiten, und haben den Vorteil, dass man wirklich nur physikalisch eindeutige Grössen richtig feststellt, wobei allerdings der errechneten Grösse „$\cos\varphi$" die oben genannten Mängel anhaften. Man hat sich denn auch bald einmal daran gewöhnt, von Wirk- und Blind-kWh, Wirk- und Blindenergiezählern zu sprechen, nachdem einmal die Begriffe Wirkleistung (in W, kW und MW) für die wirkliche Leistung $I \cdot U \cdot \cos\varphi$, und Blindleistung (in BW, BkW und BMW) für die wattlose Leistung $I \cdot U \cdot \sin\varphi$ eingeführt worden waren.

Wenn aber dann der Energiepreis vom sogenannten Leistungsfaktor $\cos\varphi$ abhängig gemacht werden soll, dann ist es in den meisten Fällen keine so leichte Sache, den Abnehmer, der doch wohl in den wenigsten Fällen auch nur eine Ahnung von Wechselstromtechnik und Trigonometrie hat, diese Umrechnung klar zu machen und ihm beizubringen, warum er nun für seine Energie das eine Mal einen grösseren Preis zahlen muss, als das andere Mal.

Speziell die messtechnischen Schwierigkeiten für die Bestimmung des $\cos\varphi$ und dann m. E. auch der Umstand, dass sich bei unsymmetrischem Mehrphasensystem der $\cos\varphi$ überhaupt nicht mehr eindeutig definieren lässt, haben dann dazu geführt, dass man auch (merkwürdigerweise sehr spät) bei der Messung der Momentanwerte, die sog. Blindleistung eingeführt hat, indem man das Produkt von Spannung und wattlosem Strom $I \cdot U \cdot \sin\varphi$ misst und es als Blindleistung bezeichnet. Die Messung dieser Grösse, die nun einwandfrei definiert ist, bietet instrumententechnisch absolut keine Schwierigkeiten; man hat nur die Spannung um 90^0 zu verdrehen und erhält ein ganz normales Wattmeter, das wie ein gewöhnliches Wattmeter auch in der Aaron-Schaltung für Drehstrom zu verwenden ist und beide Energierichtungen, d. h. Bezug und Abgabe, anzeigt.

Heute, da sich immer mehr das Bedürfnis geltend macht, alle massgebenden Messwerte eines Stromkreises nach abgelegenen, zentralen Kommandostellen zu übertragen, ist man schon darum gezwungen, mit dem Begriff und der Messung der Blindleistung zu operieren, weil sich Blindleistung, so gut wie Wirkleistung ohne weiteres durch einfache Geber- und Empfänger-Instrumente fernmessen lässt, während das bei $\cos\varphi$-Zeigern mit ihren vier Quadranten kaum mehr möglich ist.

Es wäre also sehr zu wünschen, wenn in der Praxis, besonders im Kraftwerkbetrieb, überall ausschliesslich mit diesem Begriff der Blindleistung gearbeitet würde, und man den komplizierten und unsicheren $\cos\varphi$ mit samt der „Scheinleistung" trotz oder gerade wegen ihres wissenschaftlichen Anstriches auf die theoretischen und wissenschaftlichen Gebiete beschränken würde, wo ihnen von Fall zu Fall ihr richtiger physikalischer Sinn bewahrt werden kann.

Wenn man nämlich näher an die Verhältnisse herantritt, so ergibt sich, dass die Blindwattmeter nicht nur alle Funktionen der $\cos\varphi$-Zeiger übernehmen können, sondern dass sie diesen sogar überlegen sind. Man kommt dann dazu, mit Blindleistung ebenso umzugehen, wie mit Wirkleistung, man wird unabhängig von der Wirkleistung, von Bezug und Abgabe sprechen können und die komplizierten Ueberlegungen, in welchem der vier Quadranten eine Energieabgabe stattfindet, fallen dahin. Ebenso werden endlich diese merkwürdigerweise so unklaren Begriffe von „kapazitiver" und „induktiver" Energie und von „Vor- und Nacheilung der Phase", die sogar innerhalb der gleichen Fabrik in zwei verschiedenen Bureaux um 180^0 voneinander verschieden sein sollen, deutlicher und anschaulicher zur Darstellung gebracht. Die Maschinisten, Verkäufer und Käufer von elektrischer Energie sehen dann wohl bald einmal ein, dass es eben gewissermassen zwei Arten von Energie gibt, die jede für sich durch die Drähte läuft und für sich bezahlt werden muss. Es ist sogar zu hoffen, dass dann auch die sog. „$\cos\varphi$-Tarife" auf eine einigermassen einheitliche und etwas durchsichtigere Form gebracht werden können. Dass die einfache Anschauung mit den zwei Strömen oder Energien streng wissenschaftlich nicht vollständig einwandfrei ist, tut wohl nichts zur Sache, sind doch unsere ganzen Vorstellungen von „Strom, Stromrichtung, Spannung, Energiefluss" etc. auch nur Bilder und Vergleiche, die immer irgendwo hinken.

Man wird einwenden können, dass sich der Belastungszustand einer Maschine oder Leitung aus Wirk- und Blindleistung weniger leicht feststellen lässt als durch Wirkleistung und Leistungsfaktor, da ja Maschinen und Transformatoren usw. auf kVA, also den Quotienten von Wirkleistung und $\cos\varphi$ berechnet sind. Wir glauben aber, dass gerade dieser Einwand auf einer Täuschung beruht; denn es genügt nicht, von einer elektrischen Maschine nur ihre Scheinleistungen in kVA zu kennen, um z. B. über ihren Ueberlastungszustand orientiert zu sein. Strom und Spannung, und damit die davon abhängigen Kupfer- und Eisenverluste müssen separat betrachtet werden, denn es geht doch nicht an, dass eine Maschine mit voller Leistung in kVA aber nur halber Spannung betrieben wird, da sonst die Stromstärke und damit die Kupferverluste und die Kupfererwärmungen unzulässige Werte angeben würden. Zur Beurteilung des Belastungszustandes einer Maschine ist daher immer die Kenntnis der Werte von Spannung und Strom notwendig und zur Beurteilung des Erregungs-

zustandes ist die Blindleistung ebenso oder noch besser geeignet, als der cos φ. Positive Blindleistung bedeutet Uebererregung des Generators (induktive Belastung), negative Blindleistung = Untererregung des Generators (kapazitive Belastung. Das Gleiche gilt natürlich für einen Synchronmotor, wobei die Tatsache, dass er gleichzeitig Wirkleistung aufnimmt, eben ausser Acht gelassen werden kann.

Auch der Belastungszustand einer Verbindungsleitung, bzw. der rationelle Betrieb einer solchen, ist ebenso leicht nach der darauf in der einen oder andern Richtung fliessenden Blindleistung zu beurteilen, wie nach dem Wert des cos φ.

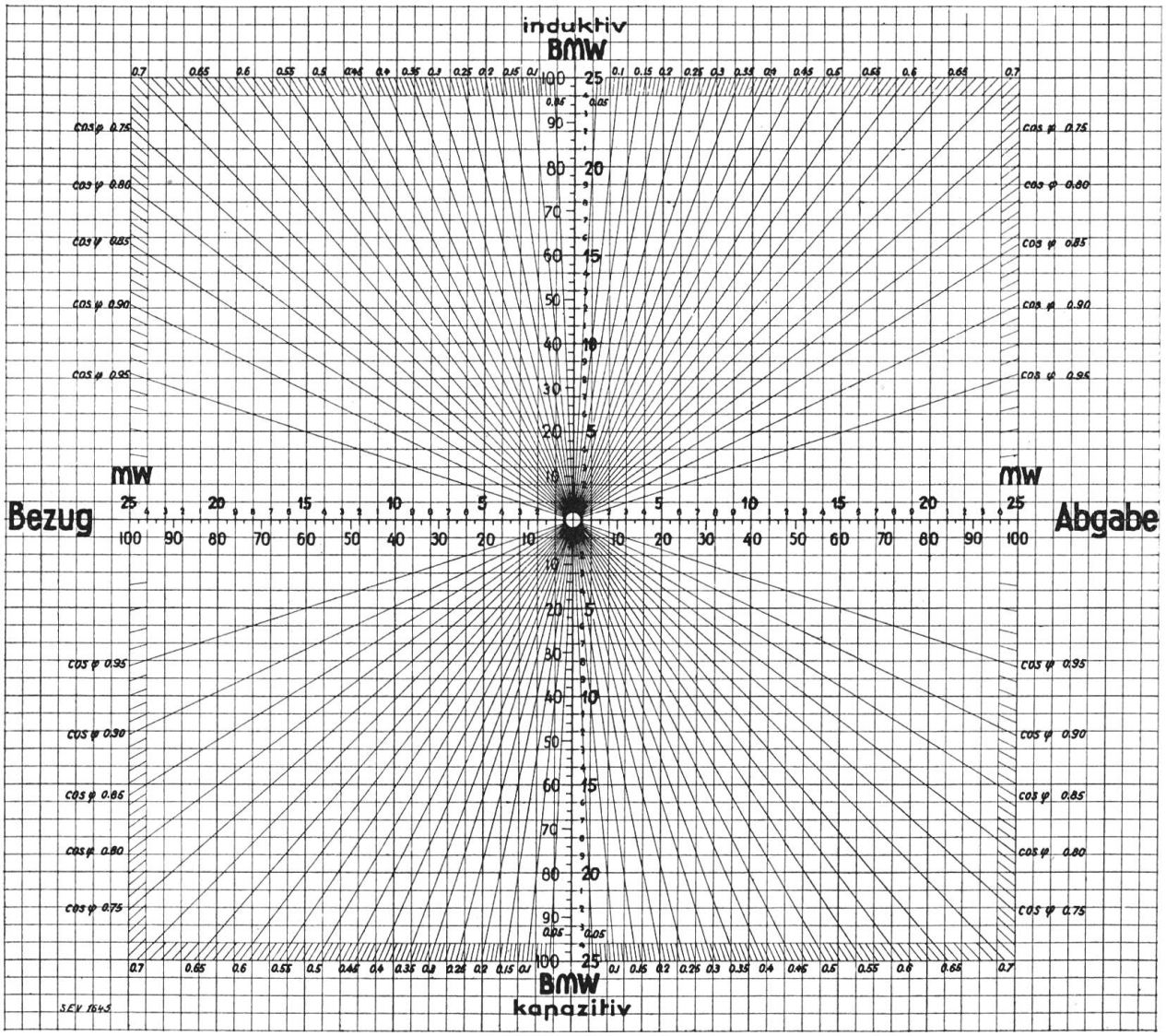

Fig. 1.
Nomogramm zur Bestimmung des cos φ aus Wirk- und Blindleistung.

Bei Aufgabe von Bezugsprogrammen und Betrieb „nach Fahrplan" ist es sehr einfach und bequem, die einzuhaltenden Wirk- und Blindleistungen anzugeben. Ebenso ist es ohne weiteres möglich, eine Spannung nach Wirk- und Blindleistung einzustellen, wenn auch zuzugeben ist, dass in diesem Fall der Leistungsfaktor etwas bequemer scheint, da er schon ein Mass des für die Spannung massgebenden Verhältnisses von Wirk- und Blindleistung gibt. In der Praxis kommt es aber für die Aufstellung einer Spannungshaltungskurve auf dasselbe hinaus, ob den Wirkleistungen verschiedene cos φ oder Blindleistungen für bestimmte Spannungen zugeordnet werden.

Es ist zuzugeben, dass heute, wo sich weite Kreise an der Verwendung des cos φ gewöhnt haben, es etwas schwer halten wird, mit diesem Begriff radikal aufzuräumen. Es ist aber anzunehmen, dass sich die Blindleistung und die sie messenden Instrumente bei uns so schnell einbürgern werden, wie andernorts, da sie eben sehr viele Vorteile bieten. Für die Uebergangszeit, wenn z. B. Werke zusammenarbeiten, von denen das eine mit Blindleistung, das andere mit Leistungsfaktor arbeitet, kann ein Nomogramm, wie dasjenige in Fig. 1, gute Dienste leisten. Es ist auch insofern instruktiv, als darin der Uebergang von einem Quadranten in den andern beim Wechsel des cos φ und der Energierichtung leicht ersichtlich ist, übrigens alles Dinge, über die man sich hinwegsetzen kann, wenn man einmal nur noch mit Blindleistung arbeitet.

Die Umrechnung von Blindleistung auf cos φ kann natürlich auch mittels eines besonders dazu hergerichteten Rechenschiebers geschehen, gemäss Fig. 2. Zwischen den Werten 0,1 und 0,99 kann hier der cos φ auf drei Stellen genau abgelesen werden. In der Figur sieht man, dass z. B. bei 10 Blind-Megawatt (obere Skala) und 5 Wirk-Megawatt oder bei 40 Blind-Megawatt und 20 Wirk-Megawatt ein cos φ von 0,45 resultiert.

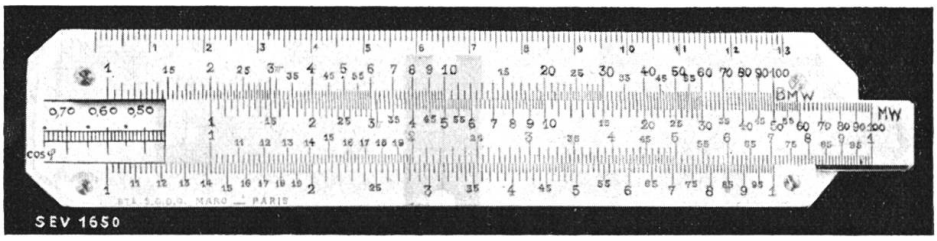

Fig. 2.
Rechenschieber zur Bestimmung des cos φ aus Wirk- und Blindleistung.

Wenn also unser Vorschlag dahin geht, dass man sich auch in der Schweiz in den Kommandoräumen und im Verkehr mit dem Kraftwerkspersonal und dem Kunden allgemein von dem Begriffe des Leistungsfaktors, bzw. des cos φ vollständig emanzipiert, und an seine Stelle den Begriff der Blindleistung setzt, wie dies anderorts schon weitgehend der Fall ist, so glauben wir, dass damit ein grosser Schritt für die Vereinfachung des Verkehrs und für die Klärung der Begriffe getan würde. Sollte es noch gelingen, für das Wort „Blindleistung" einen etwas eleganteren Ausdruck zu finden, so wäre das nur zu wünschen; die französischen Ausdrücke „courant déwatté, débit déwatté und énergie déwattée sind, wenn auch etwas lang, entschieden glücklicher gewählt.

Wenn sich mancher Elektrotechniker vielleicht nur schwer von seinem vertrauten cos φ trennt, so kann er sich damit trösten, dass der Phasenverschiebungswinkel und seine Funktionen für alle exakten und rein technischen Untersuchungen, besonders für alle Diagramme jedenfalls erhalten werden muss. Wir glauben aber, es sei der Elektrotechnik besser gedient, wenn, besonders im Verkehr mit Nichtfachleuten, mit einfachen, klaren und physikalisch richtigen Grössen gearbeitet wird, anstatt mit etwas mysteriösen Begriffen, die wohl demjenigen, der sie gebraucht, einen gewissen Nimbus verleihen, die aber nur geeignet sind, andere Leute stutzig und sogar misstrauisch zu machen.