

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 33 (1942)  
**Heft:** 5

**Artikel:** Praktische Bestimmung des Leistungsfaktors elektrischer Anlagen  
**Autor:** Kull, Hermann  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1056651>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 25.12.2024

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

Auf diese Art ist die stabile Uebertragung der natürlichen Leistung ohne Kompensation der Leitung auch noch über Distanzen möglich, bei denen die synchrone Uebertragung nicht ohne Kompensation auskommt. Allerdings sind noch viele Schwierigkeiten zu überwinden, bis eine asynchrone Höchstleistungsübertragung praktisch verwirklicht werden kann.

Wichtiger als alle diese Detailfragen ist jedoch

die Tatsache, dass die Drehstromübertragung vom technischen Standpunkt aus über praktisch beliebige Distanzen möglich ist. Ob die Höchstleistungsübertragungen der nächsten Zukunft mit Gleichstrom oder mit Drehstrom ausgeführt werden, wird daher hauptsächlich von der technischen Entwicklung der Gleichstromübertragung und von der Wirtschaftlichkeit beider Systeme abhängen.

(Fortsetzung des Berichtes folgt.)

## Praktische Bestimmung des Leistungsfaktors elektrischer Anlagen

Von Hermann Kull, Olten

621.3.018.14

Einleitend wird die Berechnung des Leistungsfaktors aus den Angaben des Wirk- und Blindverbrauchzählers behandelt und anschliessend ein Ueberschuss-Blindverbrauchzähler beschrieben, der in Anlagen von Grossbezügern elektrischer Energie, für welche ein Mindestwert des Leistungsfaktors festgelegt ist, gute Dienste leistet.

L'auteur considère le calcul du facteur de puissance basé sur les indications des compteurs d'énergie active et réactive, puis il décrit un compteur totalisant les dépassements d'énergie réactive, destiné aux installations de grands consommateurs d'énergie électrique, pour lesquelles un facteur de puissance minimum est prescrit.

Um die Blindleistung, welche die Erzeugungs- und Weiterleitungsorgane der elektrischen Energie wattlos belastet, in zulässigen Grenzen zu halten, sehen sich die Elektrizitätswerke veranlasst, Tarifbestimmungen aufzustellen, nach denen die Energiebezüger gehalten sind, den mittleren Leistungsfaktor ihrer Anlagen durch den Einbau geeigneter Mittel über einem vertraglich festgesetzten Wert zu halten oder den diesen Wert überschreitenden Verbrauch von Blindarbeit zu vergüten. Es sollte deshalb der Energiebezüger jederzeit über die ungefähre Grösse des Leistungsfaktors und über den Stand des Blindverbrauches seiner Anlage unterrichtet sein.

Im allgemeinen besitzt der Leistungsfaktor einen stark schwankenden Wert. Die Erfassung der Spitzenwerte bietet kein Interesse, dagegen die Kenntnis des kurzzeitigen Mittelwertes und des Mittelwertes einer Mess- oder Verrechnungsperiode. Es wird deshalb allgemein von der Verwendung direktzeitiger und registrierender  $\cos \varphi$ -Messung genommen, und man beschränkt sich auf den Einbau von Blindverbrauchzählern. Aus den Umlaufgeschwindigkeiten des Wirk- und des Blindverbrauchzählers lässt sich der kurzzeitige Mittelwert des Leistungsfaktors folgendermassen rechnerisch bestimmen:

Für den Wirkverbrauchzähler sei

$W$  der Wirkverbrauch in kWh in der Zeit  $t$ ,  
 $n$  die Umdrehungszahl in der Zeiteinheit,  
 $k$  die Anzahl kWh, die einer Umdrehung entsprechen;

dann ist für Dreiphasenenergie

$$W = UI \cos \varphi t \sqrt{3} = n k t \quad (1)$$

Für den Blindverbrauchzähler sei

$B$  der Blindverbrauch in kVarh in der Zeit  $t$ ,  
 $n_1$  die Umdrehungszahl in der Zeiteinheit,  
 $k_1$  die Anzahl kVarh, die einer Umdrehung entsprechen;

dann ist für Dreiphasenenergie

$$B = UI \sin \varphi t \sqrt{3} = n_1 k_1 t \quad (2)$$

Aus der Division der Gleichungen (1) und (2) ergibt sich

$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{n_1}{n}\right)^2 \left(\frac{k_1}{k}\right)^2}} \quad (3)$$

$\frac{k_1}{k}$  ist für ein und dieselbe Zählergruppe eine konstante Grösse; gewöhnlich wird  $k_1 = k$  gewählt. In vielen Fällen ist es vorteilhaft, an Stelle der Umdrehungszahlen in der Zeiteinheit, die Zeiten  $z$  und  $z_1$  pro Umdrehung mit Stoppuhren zu bestimmen. In diesem Falle beträgt

$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{z}{z_1}\right)^2 \left(\frac{k_1}{k}\right)^2}} \quad (4)$$

Durch Ausführung einiger Messungen erhält man den kurzzeitigen Mittelwert des Leistungsfaktors mit genügender Genauigkeit.

Der Mittelwert des Leistungsfaktors aus den Angaben des Wirk- und des Blindverbrauchzählers während einer Mess- oder Verrechnungsperiode beträgt:

$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{B}{W}\right)^2}} \quad (5)$$

Diese Werte von  $\cos \varphi$  lassen sich mit dem Rechenschieber leicht und mit genügender Genauigkeit ermitteln.

Es sei  $\cos \alpha$  der mit dem Energielieferanten vereinbarte Leistungsfaktor und  $D$  der Mehr- oder Minderverbrauch von kVarh, entsprechend diesem Leistungsfaktor, dann beträgt, wenn

a)  $\cos \varphi < \cos \alpha$ , der zu bezahlende Blindverbrauch

$$D = B - W \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (6)$$

b)  $\cos \varphi > \cos \alpha$ , der Minderverbrauch

$$D = W \cdot \operatorname{tg} \alpha - B. \quad (7)$$

### Der Ueberschuss-Blindverbrauchzähler

Der eingangs erwähnte Blindverbrauchzähler misst die Blindenergie bei Phasenverschiebungswinkeln über  $0^\circ$  und steht bei  $\cos \varphi = 1$  still. Wird

diesem Zähler kapazitive Energie zugeführt, so wechselt er seine Drehrichtung. Dieser Zähler kann aber auch derart gebaut werden, dass er bei dem vertraglich festgelegten Leistungsfaktor  $\cos \alpha$  stille steht. Er wechselt dann seine Drehrichtung, je nachdem die zu messende Energie einen Leistungsfaktor grösser oder kleiner  $\cos \alpha$  besitzt. Wird für jede Drehrichtung ein besonderes Zählwerk eingebaut, so misst dieser Zähler getrennt den Blindverbrauch über und unter dem vertraglich festgelegten Leistungsfaktor. Ein solcher Zähler (Fig. 1) bietet dem Energiebezüger folgende Vorteile:

1. Aus der Drehrichtung der Zählerscheibe ist ersichtlich, ob die Anlage mit einem Leistungsfaktor arbeitet, der über oder unter dem vertraglich

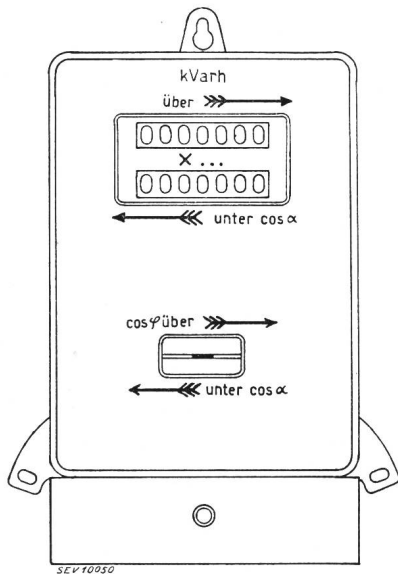


Fig. 1.  
Ueberschuss-  
Blindverbrauch-  
zähler.

festgelegten liegt. Die Ermittlung des kurzzeitigen Mittelwertes kann unterbleiben. Die Geschwindigkeit der Zählerscheibe in der einen oder andern Richtung lässt wohl auf eine grössere Ueber- oder Unterschreitung von  $\cos \alpha$  schliessen, gibt aber kein genaues Mass für den Leistungsfaktor  $\cos \varphi$ .

2. Aus der Differenz beider Zählerstände, bezogen auf die Stände beim Beginn der Mess- oder Verrechnungsperiode, kann der Betriebsleiter jederzeit leicht den Mehr- oder Minderverbrauch von Blindenergie feststellen und durch geeignete Massnahmen rechtzeitig dafür sorgen, dass der mittlere Leistungsfaktor den vertraglich festgesetzten nicht unterschreitet und dass keine Vergütung für zuviel erzeugten Blindstrom zu entrichten ist.

3. Es besteht die Möglichkeit, mit diesem Zähler in Verbindung mit einer Schaltuhr nur während bestimmten Belastungszeiten den Mehr- oder Minderverbrauch von Blindenergie festzustellen, ohne während diesen Zeiten den Wirkverbrauch messen zu müssen. Wird aber der genaue Mittelwert des Leistungsfaktors gewünscht, der zwar kein grosses Interesse mehr bietet, so ist die Messung des Wirkverbrauches unerlässlich.

Der kurzzeitige Mittelwert des Leistungsfaktors  $\cos \varphi$  lässt sich, wie beim gewöhnlichen Blindverbrauchzähler, aus den Umdrehungsgeschwindigkei-

ten des Wirk- und des Ueberschuss-Blindverbrauchzählers folgendermassen bestimmen:

a) Für die Drehrichtung  $\cos \varphi < \cos \alpha$ , d. h. der Blindverbrauch ist grösser als zulässig und der Mehrverbrauch muss bezahlt werden. Aus den Winkelfunktionen des Vektordiagramms Fig. 2 ergibt

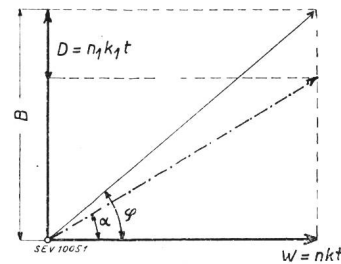


Fig. 2.  
Vektordiagramm für  
 $\cos \varphi < \cos \alpha$ .

sich für den kurzzeitigen Mittelwert des Leistungsfaktors

$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\text{tg } \alpha + \frac{n_1 \cdot k_1}{n \cdot k}\right)^2}} \quad (8)$$

Werden statt den Umdrehungszahlen  $n$  und  $n_1$  mittels Stoppuhren die Zeiten  $z$  und  $z_1$  ermittelt, so beträgt

$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\text{tg } \alpha + \frac{z \cdot k_1}{z_1 \cdot k}\right)^2}} \quad (9)$$

Als Mittelwert des Leistungsfaktors während einer Mess- oder Verrechnungsperiode ergibt sich aus dem gleichen Vektordiagramm Fig. 2

$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\text{tg } \alpha + \frac{D}{W}\right)^2}} \quad (10)$$

Für  $D = 0$ ,  $n_1 = 0$  und  $z_1 = \infty$  wird

$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{1}{1 + \text{tg}^2 \alpha}} = \cos \alpha$$

b) Für die Drehrichtung  $\cos \varphi > \cos \alpha$ , d. h. der zulässige Blindverbrauch wird nicht erreicht, und es muss keine Blindenergie vergütet werden.

Aus dem Vektordiagramm Fig. 3 ergibt sich als kurzzeitiger Mittelwert des Leistungsfaktors

$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\text{tg } \alpha - \frac{n_1 \cdot k_1}{n \cdot k}\right)^2}} \quad (11)$$

Werden statt den Umdrehungszahlen die Zeiten ermittelt, so beträgt

$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\text{tg } \alpha - \frac{z \cdot k_1}{z_1 \cdot k}\right)^2}} \quad (12)$$

Als Mittelwert des Leistungsfaktors aus den Zählerablesungen während einer Mess- oder Verrech-

nungsperiode ergibt sich aus dem gleichen Vektordiagramm Fig. 3

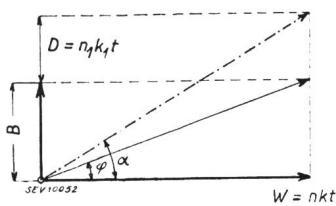


Fig. 3.  
Vektordiagramm für  
 $\cos \varphi > \cos \alpha$ .

$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{D}{W}\right)^2}} \quad (13)$$

Für  $D = 0, n_1 = 0, z_1 = \infty$  wird

$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}} = \cos \alpha$$

Für

$$\frac{D}{W} = \operatorname{tg} \alpha, \quad \frac{n_1 k_1}{n k} = \operatorname{tg} \alpha, \quad \frac{z k_1}{z_1 k} = \operatorname{tg} \alpha$$

wird  $\cos \varphi = 1$ .

Da der Leistungsfaktor  $\cos \varphi$  im allgemeinen nur wenig von dem vertraglich vereinbarten  $\cos \alpha$  verschieden sein wird, wird sich die Zählerscheibe des Ueberschuss-Blindverbrauchzählers nur langsam bewegen. Um einen möglichst genauen kurzzeitigen Mittelwert des Leistungsfaktors zu erhalten, empfiehlt es sich, an dieser Scheibe nicht nur eine, sondern mehrere Marken anzubringen.

Der Leistungsfaktor  $\cos \varphi$  ist eine Funktion der Verhältnisse  $\frac{D}{W}, \frac{n_1 k_1}{n k}$  und  $\frac{z k_1}{z_1 k}$  und kann leicht

zeichnerisch dargestellt werden. Die Kurven Fig. 4 zeigen den Verlauf von  $\cos \varphi$  in Abhängigkeit dieser Verhältnisse für einen Leistungsfaktor von  $\cos \alpha = 0,8$ .

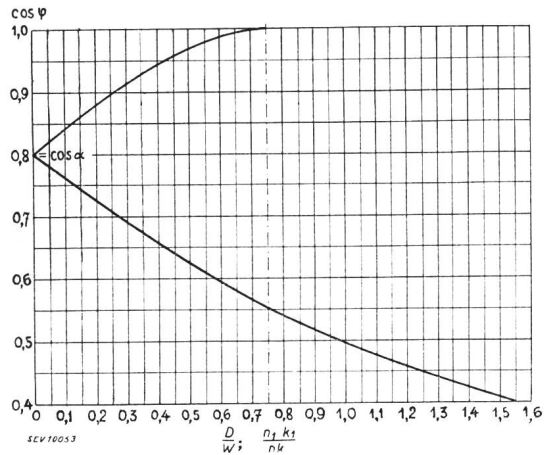


Fig. 4.  
Werte von  $\cos \varphi$  bei  $\cos \alpha = 0,8$ .

In Anlagen, deren Leistungsfaktor nur wenig von dem zu garantierenden verschieden ist — der Zähler somit zeitweise zum Stillstand kommt — wird die Messgenauigkeit etwas geringer als bei der Messung mit dem gewöhnlichen Blindverbrauchzähler, bei dem erst bei  $\cos \varphi = 1$  dieser Zustand eintritt. Wenn aber der Zähler seine Drehrichtung wiederholt wechselt, so wird die Messungenauigkeit beinahe wieder aufgehoben, indem für die Beurteilung der Anlage die Differenz aus beiden Zählwerken massgebend ist. Der Nachteil der verminderten Messgenauigkeit wird aber durch die Vorteile, welche der Ueberschuss-Blindverbrauchzähler dem Energielieferant wie dem Energiebezüger bietet, mehr als aufgehoben.

## Hochfrequenztechnik und Radiowesen — Haute fréquence et radiocommunications

### Die Aufnahme von Potentialfeldern mit dem elektrolytischen Trog

(Nach F. W. Grundlach, Funktechn. Monatshefte 1941, Heft 4, S. 49.) 621.317.729

Die Wichtigkeit der Kenntnis elektrischer und magnetischer Potentialfelder für die Formgebung der Elektroden in Radoröhren, Kathodenstrahlröhren, Elektronenmikroskopen, Röntgenröhren usw. sowie die Bedeutung der Kenntnis magnetischer Felder bei elektrischen Maschinen aller Art leuchtet ohne weiteres ein.

Die elektrischen Potentialfelder zerfallen in zwei Gruppen, nämlich in elektrostatische Felder, in denen die elektrischen Ladungen ruhen, und in Strömungsfelder, in denen sich elektrische Ladungen bewegen. Als Beispiel eines elektrostatischen Feldes diene Fig. 1, die das Feld zwischen zwei metallischen Schneiden darstellt, welche in einem Medium der Leitfähigkeit  $\approx 0$  eingebettet sind. Die Schneiden besitzen dabei eine endliche, von 0 verschiedene Leitfähigkeit. Ein ganz identisches Bild (Fig. 1b) erhält man beim elektrischen Strömungsfeld, nur müssen in diesem Falle die Schneiden praktisch vollkommen leitend sein ( $\approx \infty$ ), andernfalls die Identität der beiden Felder nicht gewährleistet ist. Beim Strömungsfeld entsprechen die Feldlinien gleichzeitig den Strömungslinien. Die Linien bzw. Flächen gleichen Potentials ( $\varphi = \text{const.}$ ) stehen immer senkrecht auf den Feldlinien.

Aehnliche Verhältnisse bestehen bei den Magnetfeldern. Strömungsfelder existieren jedoch in diesem Falle nicht.

Die mathematische Ermittlung der Potentialfelder ist nur in wenigen Einzelfällen durchführbar. Graphisch lassen sich

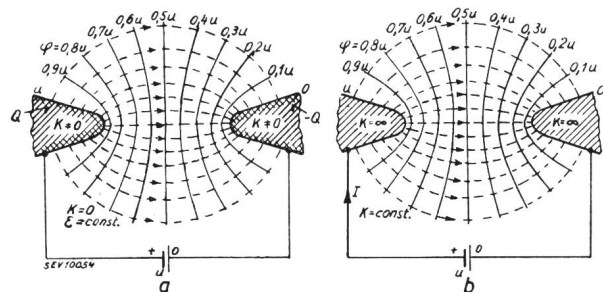


Fig. 1.

a) Elektrostatisches Feld zwischen zwei Schneiden.

b) Elektrisches Strömungsfeld zwischen 2 Schneiden.

Potentialfelder angenähert auf folgende Weise ermitteln: man zeichnet zuerst die Äquipotentialkurven gefühlsmässig ein. Dazu zeichnet man die zu ihnen orthogonalen Feldlinien. Man erhält auf diese Weise zuerst noch ein recht falsches Bild (Fig. 2a). Der Forderung, dass der grössten Feldliniendichte auch die grösste Potentielliniendichte entspricht, ge-