

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 45 (1954)  
**Heft:** 3

**Artikel:** Wirkungsgradmessung an Synchronmaschinen nach dem Über- und Unterregungsverfahren  
**Autor:** Tobler, H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1061157>

### **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:** 17.01.2026

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

flusst; es können dabei Widerstandänderungen eintreten, welche ein Mehrfaches des ursprünglichen Wertes ausmachen.

5. Bei der Messung muss der starken Temperaturabhängigkeit, einer allfälligen Vulkanisationshaut und den unsicheren Übergangswiderständen an der

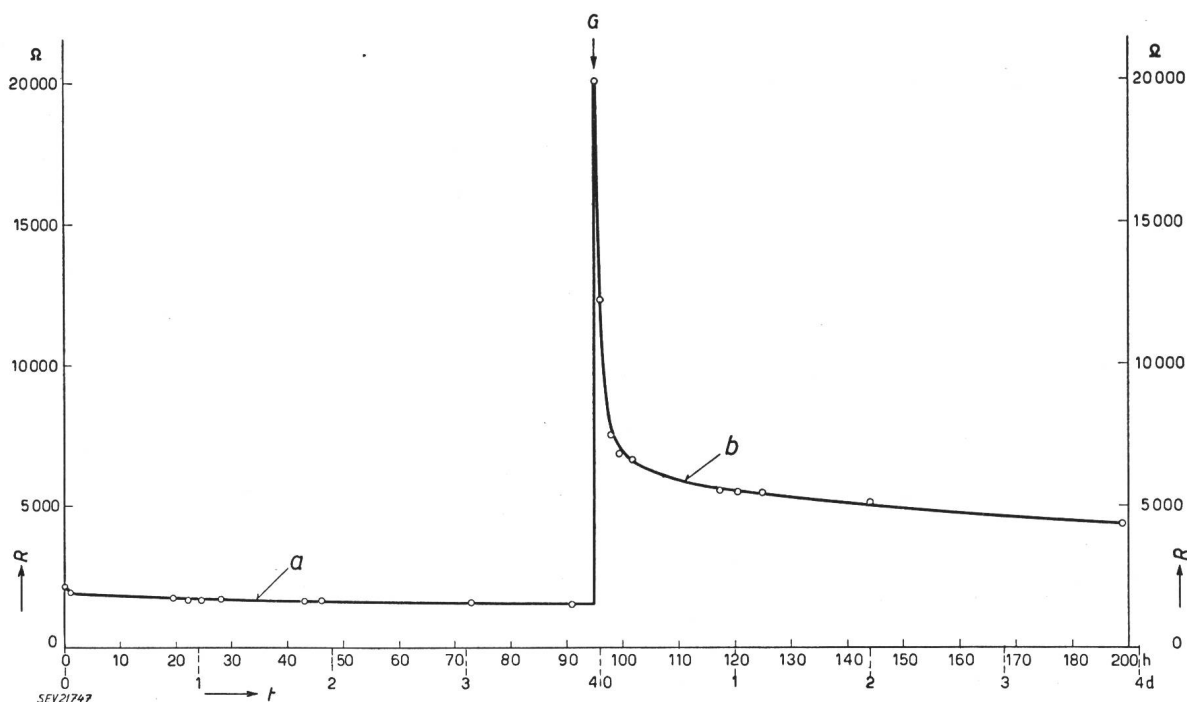


Fig. 2

Widerstandsänderung in Funktion der Zeit

a Widerstandsänderung im Anlieferungszustand  
b Widerstandsänderung nach Belastung  
R Widerstand; t Zeit; G Belastung 10 kg/cm<sup>2</sup>

2. Nach der mechanischen Beanspruchung stellt sich der ursprüngliche Wert des Widerstandes wieder langsam ein, doch kann diese Rückbildung bei Raumtemperatur Tage bis Wochen dauern.

3. Widerstandsänderungen, welche durch mechanische Kräfte hervorgerufen wurden, sind nicht homogen über die ganze Masse des Prüflings verteilt.

4. Das Erreichen einer homogenen Widerstandsverteilung nach einer mechanischen Beanspruchung kann als Kriterium für die vollständige Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes verwendet werden.

Oberfläche des Prüfkörpers Rechnung getragen werden.

6. Bei Beurteilung und Vergleich von Messresultaten, insbesondere aber bei der Aufstellung von Anforderungen über den Widerstand von Leitkautschukmischungen müssen die diesem Werkstoff eigenen ausserordentlich grossen Fehlergrenzen der Messwerte und ihre schlechte Reproduzierbarkeit sinngemäss berücksichtigt werden.

#### Adresse der Autoren:

Dr. sc. techn. Max Zürcher, Ingenieur-Chemiker, und  
Jean Lüder, dipl. Ingenieur-Chemiker, Materialprüfanstalt des  
SEV, Seefeldstrasse 301, Zürich 8.

## Wirkungsgradmessung an Synchronmaschinen nach dem Über- und Untererregungsverfahren

Von H. Tobler, Zürich

621.3.017.8 : 621.313.32

*Es werden die Fehler ermittelt, welche bei der Anwendung des Über- und Untererregungsverfahrens für die Wirkungsgradbestimmung an Synchronmaschinen infolge der Messwandler-Fehlwinkel auftreten.*

*Déterminations des pertes qui résultent des angles de pertes des transformateurs de mesure, lors de la détermination du rendement de machines synchrones par la méthode de la surexcitation et de la sousexcitation.*

### 1. Allgemeines

Über die Wirkungsgradmessung an Synchronmaschinen nach dem Über- und Untererregungsverfahren ist dem Vorschriftenbuch des Verbandes Deutscher Elektrotechniker: «Regeln für die Bewertung und Prüfung von elektrischen Maschinen» unter § 58/II folgendes zu entnehmen:

«Die Maschine wird leerlaufend als Motor mit Nennfrequenz und einer Klemmenspannung betrieben, bei der die Eisenverluste die gleichen wie bei Nennbetrieb sind, und derart übererregt, dass sie den Nennstrom führt. Falls die hierfür erforderliche Erregerspannung nicht zur Verfügung steht, so kann auch mit Untererregung gearbeitet werden. Die Leistungsaufnahme, einschliesslich der auf Nennbetrieb umzurechnenden Erregungsverluste gilt als Gesamtverlust der Maschine.»

Das Verfahren hat bis heute wenig Anwendung gefunden. In einigen Fachkreisen ist man der Ansicht, dass es der oft zweifelhaften Messergebnisse wegen überhaupt nicht benützt werden sollte. Tatsächlich zeitigt es oft widersinnige Ergebnisse. Der Verfasser hat den Fall erlebt, dass an einer mit Spannungs-, Frequenz- und Statorstrom-Nennwerten übererregt arbeitenden Maschine weniger Aufnahmeleistung gemessen wurde als bei Leerlauf mit gleicher Spannung und Frequenz. Die nachfolgenden Ausführungen zeigen, dass die Ursache den Phasenfehlern der bei der Messung verwendeten Messwandler zuzuschreiben ist. Wird dieser Einfluss einwandfrei berücksichtigt, so liefert das Verfahren durchaus zuverlässige Resultate.

## 2. Berücksichtigung der Messwandler-Phasenfehler beim Übererregungsverfahren

### Messung an der Drehstrom-Synchronmaschine

Wird die Drehstrom-Synchronmaschine übererregt, so belastet sie das Netz wie ein Kondensator, d. h. die vom Netz an die Maschine abgegebene Leistung ist in Bezug auf dieses kapazitiv. Misst man nach der Zweiwattmeter-Methode, so entspricht die Messung dem durch Fig. 1 gezeigten

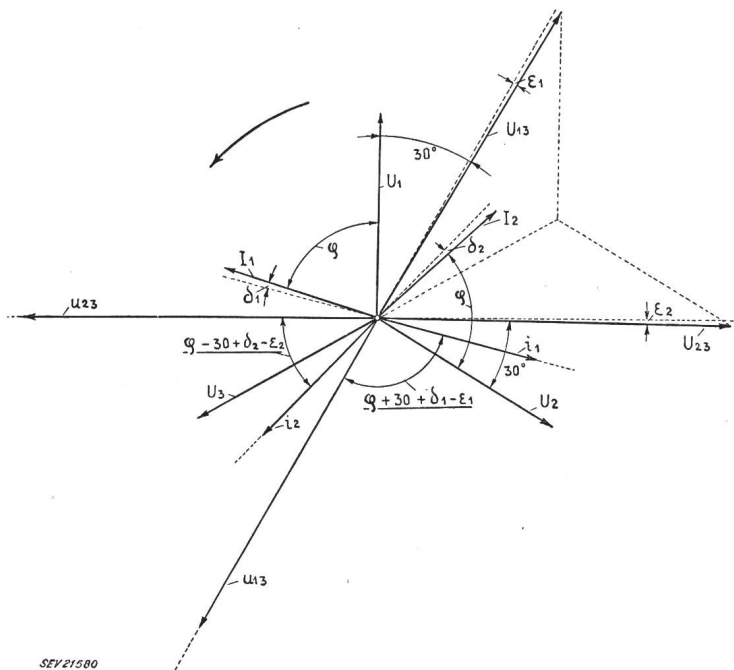


Fig. 1  
Vektordiagramm der Wirkungsgradmessung an Synchronmaschinen nach dem Über- und Untererregungsverfahren

Vektordiagramm. Die mit grossen Buchstaben bezeichneten Vektoren stellen die Primärwerte von Spannung und Strom dar; die entsprechenden sekundären Vektoren sind mit kleinen Buchstaben bezeichnet.  $\varphi$  ist der nahezu 90 elektrische Winkelgrad betragende Voreilwinkel der Ströme gegen ihre Phasenspannungen. Die Phasenfehler der Messwandler, an denen das den kleineren Zeigerausschlag aufweisende Wattmeter angeschlossen ist, sind mit  $\varepsilon_1$  bzw.  $\delta_1$  bezeichnet. Das den grösseren Zeigerausschlag ergebende Wattmeter steht mit den Messwandlern in Verbindung, deren Phasenfehler

$\varepsilon_2$  bzw.  $\delta_2$  betragen. Die Grösse der Phasenfehler wird, wie üblich, in Winkelminuten ( $\varepsilon', \delta'$ ) angegeben.

Der Einfachheit wegen sind die Übersetzungsverhältnisse der Messwandler gleich Eins, die leicht zu berücksichtigenden Übersetzungsfehler gleich Null und die Phasenfehler willkürlich als positiv angenommen worden. Es ist üblich, den Phasenfehler eines Messwandlers dann als positiv zu bewerten, wenn der um  $180^\circ$  umgeklappte Sekundärvektor dem zugehörigen Primärvektor zeitlich voreilt. Bezieht man ferner den durch die Phasenfehler verursachten Leistungsfehler auf den gemessenen, d. h. den unkorrigierten Wert, so ergeben einfache Formeln durchaus genaue Messresultate. Nachstehend werden nun die durch die Messwandler-Phasenfehler bedingten Leistungsfehler für jedes der beiden Wattmeter getrennt ermittelt.

#### a) Wattmeter mit kleinerem Zeigerausschlag

Die gemessene, noch unkorrigierte Leistung  $P_g$  ist dargestellt durch die Beziehung

$$P_g = u_{13} \cdot i_1 \cdot \cos [\varphi + 30 + \delta_1 - \varepsilon_1]$$

Die mit  $P_t$  bezeichnete tatsächliche Leistung beträgt

$$P_t = u_{13} \cdot i_1 \cdot \cos [\varphi + 30]$$

Der auf den gemessenen Leistungswert  $P_g$  bezogene prozentuale Fehler  $f$  ist also

$$f = \frac{u_{13} \cdot i_1 \cdot \cos [\varphi + 30 + \delta_1 - \varepsilon_1] - u_{13} \cdot i_1 \cdot \cos [\varphi + 30]}{u_{13} \cdot i_1 \cdot \cos [\varphi + 30 + \delta_1 - \varepsilon_1]} \cdot 100\% = \left\{ 1 - \frac{\cos [\varphi + 30]}{\cos [\varphi + 30 + \delta_1 - \varepsilon_1]} \right\} \cdot 100\%.$$

Man setzt nun  $\delta_1 - \varepsilon_1 = \beta_1$  und formt den Subtrahenden im vorstehenden Klammerausdruck wie folgt um

$$\begin{aligned} \frac{\cos [\varphi + 30]}{\cos [\varphi + 30 + \delta_1 - \varepsilon_1]} &= \frac{\cos [\varphi + 30 + \beta_1 - \beta_1]}{\cos [\varphi + 30 + \beta_1]} = \\ &= \frac{\cos [\varphi + 30 + \beta_1] \cdot \cos \beta_1 + \sin [\varphi + 30 + \beta_1] \cdot \sin \beta_1}{\cos [\varphi + 30 + \beta_1]} = \\ &= \cos \beta_1 + \operatorname{tg} [\varphi + 30 + \beta_1] \cdot \sin \beta_1 \end{aligned}$$

$$f = \{ 1 - \cos \beta_1 - \operatorname{tg} [\varphi + 30 + \beta_1] \cdot \sin \beta_1 \} \cdot 100\%$$

Da die Messwandler-Fehlwinkel sehr klein, meistens kleiner als ein Winkelgrad sind, darf  $\cos \beta_1 = 1$  gesetzt werden. Ferner kann an Stelle von  $\sin \beta_1$  das dem Winkel  $\beta_1$  zugeordnete Bogenstück des Einheitskreises in Rechnung gebracht werden. Da die Phasenfehler in Winkelminuten angegeben sind, folgt

$$\sin \beta_1 = \frac{2\pi}{360 \cdot 60} \cdot \beta_1' = 0,000291 \cdot \beta_1'$$

Die Gleichung für  $f$  erhält somit die Form

$$f = \{ 1 - 1 - 0,000291 \cdot \beta_1' \cdot \operatorname{tg} [\varphi + 30 + \beta_1] \} \cdot 100\% \\ f = - 0,0291 \cdot [\delta_1' - \varepsilon_1'] \cdot \operatorname{tg} [\varphi + 30 + \delta_1 - \varepsilon_1] \%$$

Der Winkel  $(\varphi + 30 + \delta_1 - \varepsilon_1)$  ist beim Übererregungsversuch bestimmt grösser als  $90^\circ$  und sein

Tangens somit negativ. Ist  $\delta_1' > \varepsilon_1'$ , was fast immer zutrifft, so wird  $f$  positiv, d. h. *das den kleineren Zeigerausschlag aufweisende Wattmeter misst eine zu grosse Leistung.*

#### b) Wattmeter mit grösserem Zeigerausschlag

Analog der unter a) durchgeführten Ableitung ermittelt man die Fehlerformel in folgender Weise:

$$P_g = u_{23} \cdot i_2 \cdot \cos [\varphi - 30 + \delta_2 - \varepsilon_2]$$

$$P_t = u_{23} \cdot i_2 \cdot \cos [\varphi - 30]$$

$$f = \frac{u_{23} \cdot i_2 \cdot \cos [\varphi - 30 + \delta_2 - \varepsilon_2] - u_{23} \cdot i_2 \cdot \cos [\varphi - 30]}{u_{23} \cdot i_2 \cdot \cos [\varphi - 30 + \delta_2 - \varepsilon_2]}$$

$$\cdot 100 = \left\{ 1 - \frac{\cos [\varphi - 30]}{\cos [\varphi - 30 + \delta_2 - \varepsilon_2]} \right\} \cdot 100$$

$$\delta_2 - \varepsilon_2 = \beta_2$$

$$\frac{\cos [\varphi - 30]}{\cos [\varphi - 30 + \delta_2 - \varepsilon_2]} = \frac{\cos [\varphi - 30 + \beta_2 - \beta_2]}{\cos [\varphi - 30 + \beta_2]} =$$

$$= \frac{\cos [\varphi - 30 + \beta_2] \cdot \cos \beta_2 + \sin [\varphi - 30 + \beta_2] \cdot \sin \beta_2}{\cos [\varphi - 30 + \beta_2]} =$$

$$= \cos \beta_2 + \operatorname{tg} [\varphi - 30 + \beta_2] \cdot \sin \beta_2$$

$$f = \{ 1 - \cos \beta_2 - \operatorname{tg} [\varphi - 30 + \beta_2] \cdot \sin \beta_2 \} \cdot 100 \%$$

$$\cos \beta_2 = 1; \sin \beta_2 = 0,000291 \cdot \beta_2'$$

$$f = \{ 1 - 1 - 0,000291 \cdot \beta_2' \cdot \operatorname{tg} [\varphi - 30 + \beta_2] \} \cdot 100 \%$$

$$f = -0,0291 \cdot [\delta_2' - \varepsilon_2'] \cdot \operatorname{tg} [\varphi - 30 + \delta_2 - \varepsilon_2] \%$$

Der Winkel  $(\varphi - 30 + \delta_2 - \varepsilon_2)$  ist beim Übererregungsversuch bestimmt kleiner als  $90^\circ$ , aber grösser als  $0^\circ$  und sein Tangens somit positiv. Ist  $\delta_2' > \varepsilon_2'$ , was fast immer zutrifft, so bleibt  $f$  negativ, d. h. *das den grösseren Zeigerausschlag aufweisende Wattmeter misst eine zu kleine Leistung.*

Da der beim Übererregungsversuch auftretende Leistungsfaktor ( $\cos \varphi$ ) sicher kleiner ist als 0,5, ist die Totalleistung gleich der Differenz der von den beiden Wattmetern gemessenen Leistungen. Es muss eine zu gross gemessene Leistung von einer zu klein gemessenen Leistung abgezogen werden. Vor-

ausgesetzt, dass  $\delta_1' - \varepsilon_1'$  und  $\delta_2' - \varepsilon_2'$  positiv sind, wird die beim Übererregungsversuch gemessene, noch unkorrigierte Leistung, zu klein sein.

### 3. Die Berücksichtigung der Messwandler-Phasenfehler beim Untererregungsverfahren Messung an der Drehstrom-Synchronmaschine

In diesem Falle ist die vom Netz an die Maschine abgegebene Leistung induktiv. Eine Darstellung des bei Anwendung der Zweiwattmeter-Methode geltenden Vektordiagrammes erübrigt sich. Es sollen nachstehend nur die Fehlerformeln angeführt werden, die sich aus den vorstehenden analogen Ableitungen ergeben.

#### a) Wattmeter mit kleinerem Zeigerausschlag

$$f = +0,0291 \cdot [\delta_2' - \varepsilon_2'] \cdot \operatorname{tg} [\varphi + 30 - \delta_2 + \varepsilon_2] \%$$

Der Winkel  $(\varphi + 30 - \delta_2 + \varepsilon_2)$  ist beim Untererregungsversuch bestimmt grösser als  $90^\circ$  und sein Tangens somit negativ. Ist  $\delta_2' > \varepsilon_2'$ , was meistens zutrifft, so wird  $f$  negativ, d. h. *das den kleineren Zeigerausschlag aufweisende Wattmeter misst eine zu kleine Leistung.*

#### b) Wattmeter mit grösserem Zeigerausschlag

$$f = +0,0291 \cdot [\delta_1' - \varepsilon_1'] \cdot \operatorname{tg} [\varphi - 30 - \delta_1 + \varepsilon_1] \%$$

Der Winkel  $(\varphi - 30 - \delta_1 + \varepsilon_1)$  ist beim Untererregungsversuch bestimmt kleiner als  $90^\circ$ , aber grösser als  $0^\circ$  und sein Tangens somit positiv. Ist  $\delta_1' > \varepsilon_1'$ , was meistens zutrifft, so bleibt  $f$  positiv, d. h. *das den grösseren Zeigerausschlag aufweisende Wattmeter misst eine zu grosse Leistung.*

Da auch beim Untererregungsversuch der Leistungsfaktor ( $\cos \varphi$ ) kleiner ist als 0,5, ist die Totalleistung wiederum gleich der Differenz der von den beiden Wattmetern gemessenen Leistungen. Eine zu klein gemessene Leistung muss von einer zu gross gemessenen Leistung abgezogen werden. Vorausgesetzt, dass  $\delta_1' - \varepsilon_1'$  und  $\delta_2' - \varepsilon_2'$  positiv sind, wird die beim Untererregungsversuch gemessene, noch unkorrigierte Leistung, zu gross sein.

Adresse des Autors:

H. Tobler, Dipl. Ing., Zürichholzstrasse 11, Zürich 57.

## Impulsmessung mit Gleichrichtern in Scheitelspannungs-Meßschaltung

Von E. de Gruyter, Bern

621.317.326 + 621.317.726

Die Arbeit befasst sich mit der Frage, inwieweit direkt anzeigende Scheitelspannungsmesser für die Messung von Impulsfolgen geeignet sind. Ähnlich wie für die «Spannungsfehler bei Kompensations-Röhrenvoltmetern» (Bull. SEV Bd. 36 (1945), Nr. 6, S. 163...174) werden für Kontaktgleichrichter allgemein gültige Fehlerkurven angegeben, die lediglich Instrument-Konstanten, Impulsbreite und Ablesespannung als Faktoren und die Impulsform als Parameter haben. Dadurch wird die Eichung des einzelnen Instrumentes überflüssig. Andererseits ist es möglich, mit Hilfe von Vergleichsmessungen unbekannte Impulsbreiten zu bestimmen.

### A. Einleitung

Die in der Hoch- und Niederfrequenztechnik immer häufiger werdende Anwendung von nicht-sinusförmigen Wechselspannungen und Spannungsim-

L'auteur examine jusqu'à quel point les voltmètres de crête à indication directe conviennent à la mesure de trains d'impulsions. Comme il l'a déjà fait pour les voltmètres électroniques à compensation (Bull. ASE t. 36(1945), n° 6, p. 163...174), il indique pour les redresseurs à contact les courbes d'erreurs valables d'une manière générale, dont les facteurs sont uniquement les constantes de l'instrument, la largeur d'impulsion et la tension lue, le paramètre étant la forme de l'impulsion. De ce fait, un étalonnage des divers instruments est superflu. D'autre part, des mesures comparatives permettent de déterminer les largeurs d'impulsion lorsque celles-ci ne sont pas connues.

pulsfolgen lässt es wünschenswert erscheinen, die normalen direktanzeigenden Scheitelspannungsmesser auf ihre Eignung zur Messung solcher Spannungen zu prüfen. Während in dem oben erwähnten