Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 7 (1916)

Heft: 10

Artikel: Ueber Garantien und Messungen des Wirkungsgrades elektrischer Generatoren

Autor: Kummer, W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057173

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Erscheint monatlich mit den Jahres-Beilagen **„Statistik der Starkstromanlagen der Schweiz"** sowie **„Jahresheft"** und wird unter Mitwirkung einer vom Vorstand des S. E. V. ernannten Redaktionskommission herausgegeben.

Alle den Inhalt des „Bulletin" betreffenden Zuschriften sind zu richten an das

Generalsekretariat
des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins,
Neumühlequai 12, Zürich 1 - Telephon 9571

Alle Zuschriften betreffend Abonnement, Expedition und Inserate sind zu richten an den Verlag:

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G.,
Hirschengraben 80/82 Zürich 1 - Telephon 6741

Publié sous la direction d'une Commission de Rédaction nommée par le Comité de l'A. S. E.

Ce bulletin paraît mensuellement et comporte comme annexes annuelles la **„Statistique des installations électriques à fort courant de la Suisse"**, ainsi que l'**„Annuaire"**.

Prière d'adresser toutes les communications concernant la matière du „Bulletin" au

Secrétariat général
de l'Association Suisse des Electriciens
Neumühlequai 12, Zurich 1 - Téléphone 9571

Toutes les correspondances concernant les abonnements, l'expédition et les annonces, doivent être adressées à l'éditeur:

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei S. A.
Hirschengraben 80/82 Zurich 1 - Téléphone 6741

Abonnementspreis
für Nichtmitglieder inklusive Jahresheft und Statistik:
Schweiz Fr. 15.—, Ausland Fr. 25.—.
Einzelne Nummern vom Verlage Fr. 1.50 plus Porto.

Prix de l'abonnement annuel (gratuit pour les membres de l'A. S. E.), y compris l'Annuaire et la Statistique, Fr. 15.— pour la Suisse, Fr. 25.— pour l'étranger.
L'éditeur fournit des numéros isolés à Fr. 1.50, port en plus.

VII. Jahrgang
VIIe Année

Bulletin No. 10

Oktober
Octobre 1916

Ueber Garantien und Messungen des Wirkungsgrades elektrischer Generatoren.

Von Prof. Dr. *W. Kummer*, Ingenieur, Zürich.

Bei der Erteilung von Garantien über den Wirkungsgrad elektrischer Generatoren pflegen unsere grossen schweizerischen Elektrizitätsfirmen in der Regel auf die in den „Normalien des Verbandes deutscher Elektrotechniker (V. D. E.) für Bewertung und Prüfung von elektrischen Maschinen und Transformatoren" festgesetzte sog. „Leerlaufsmethode" zur Wirkungsgradbestimmung hinzuweisen. Die eine dieser Firmen, die *Maschinenfabrik Oerlikon*, hat übrigens in verdienstvoller Weise durch die Schrift „Definition und Bestimmung der Garantien von Wirkungsgrad und Spannungsabfall" [1]) für diese „Leerlaufsmethode" zur Bestimmung des Wirkungsgrades nach Normalien des V. D. E. bequem und eindeutig anwendbare Messungs- und Rechnungsverfahren beschrieben, die bei Experten und Abnehmern elektrischer Maschinen die gebührende Beachtung gefunden haben.

So einfach und anscheinend zweckmässig sich indessen der Gebrauch der Leerlaufsmethode nach den Normalien des V. D. E. zur Wirkungsgradbestimmung gestaltet, so darf doch nicht verschwiegen werden, dass diese, vorwiegend die Interessen der elektrotechnischen Konstruktionsfirmen wahrnehmenden Messungs- und Rechnungsverfahren in zwei wichtigen Fällen völlig versagen: Erstens, wenn elektrische Generatoren als Belastungsmaschinen bezw. Dauerbremsen zur Wirkungsgradbestimmung antreibender Primärkraftmaschinen (Wärmekraftmaschinen, bezw. Wasserkraftmaschinen) benutzt werden sollen, und zweitens, wenn ein Lieferant von Primärkraftmaschinen bei der Lieferung einer vollständigen thermoelektrischen, bezw. hydroelektrischen Maschinengruppe deren Wirkungsgrad unmittelbar in *kg* Brennstoff, bezw. in *mt* Betriebswasser pro *kWh* erzeugter elektrischer Energie garantieren

[1]) Als „Periodische Mitteilung No 18", in erster Auflage im Juli 1905, in zweiter Auflage im Dezember 1906 erschienen.

soll, vom Ersteller des elektrischen Generators den Generator-Wirkungsgrad aber nicht richtig, sondern nur nach „Normalien des V. D. E." mitgeteilt erhält. Man sollte glauben, dass der letztere Fall keinerlei Schwierigkeiten bieten dürfte; wiederholt war aber der Verfasser in der Lage festzustellen, dass selbst erste Weltfirmen auf dem Gebiete der Wärmekraft-, bezw. Wasserkraftmaschinen mit dem „Wirkungsgrad nach V. D. E." bei Garantieproben vollständiger mechanisch-elektrischer Maschinengruppen „hineingefallen" sind und für ihre Unwissenheit in Bezug auf die Genauigkeit der „Wirkungsgrade nach V. D. E." mit Konventionalstrafen gebüsst werden mussten. Bekanntlich wird unter der kurzweg als „Wirkungsgrad nach V. D. E." verstandenen Garantieziffer stets der nach § 41 der obgenannten Normalien des V. D. E. auf Grund der sog. Leerlaufsmethode ermittelte Wert verstanden, worüber der genannte § festsetzt [1]):

„An der in eingelaufenem Zustand als Motor leerlaufenden Maschine misst man bei normaler Spannung und Drehzahl die Verluste, die infolge von Luft-, Lager- und Bürstenreibung, sowie im Eisen auftreten. *Die Aenderung dieser Verluste mit der Belastung wird nicht berücksichtigt.* (*Wir* unterstreichen).

„Durch elektrische Messungen und Umrechnungen wird der Verlust durch Stromwärme in Feld-, Anker-, Bürsten- und Uebergangswiderstand bei entsprechender Belastung ermittelt.

„Die Summe dieser Verluste wird als „messbarer Verlust" bezeichnet. Als Wirkungsgrad gilt das Verhältnis:

$$\frac{\text{Abgabe}}{\text{Abgabe} + \text{messbare Verluste}}$$

oder:

$$\frac{\text{Aufnahme} - \text{messbare Verluste}}{\text{Aufnahme}}$$

„Bei Bestimmung der messbaren Verluste ist auf den warmen Zustand der Maschine, und bezüglich des Uebergangswiderstandes auf die Bewegung und richtige Stromstärke Rücksicht zu nehmen. Bei Asynchronmotoren können die Verluste im Sekundäranker statt durch Widerstandsmessungen durch Messung der Schlüpfung bestimmt werden."

Der derart festgelegte Wirkungsgrad ist auch in den neuen amerikanischen Maschinen-Normalien aufgeführt, wo er aber — was ausserordentlich zu begrüssen ist — ausdrücklich als „*konventioneller* Wirkungsgrad" bezeichnet wird.[2])

Die Nichtübereinstimmung dieses konventionellen mit dem tatsächlichen Wirkungsgrade beruht offenbar auf der Nichtübereinstimmung der sog. „messbaren" mit den tatsächlichen Verlusten. Die sog. messbaren Verluste sind besonders deshalb kleiner als die tatsächlichen Verluste, weil in den erstern die Aenderung der Verluste im Eisen mit der Belastung nicht berücksichtigt wird. Selbstverständlich kann in besondern Fällen auch die Aenderung der Luft-, Lager- und Bürstenreibung mit der Belastung, oder können andere sog. zusätzliche Verluste erheblich dazu beitragen, dass die tatsächlichen Verluste die sog. messbaren Verluste beträchtlich übersteigen, und Wirkungsgradfehler von 1—3 % entstehen können. Nach unserer Erfahrung ist es aber ganz besonders die ungenügende Berücksichtigung der *Verluste im Eisen,* die den konventionellen Wirkungsgrad unrichtig macht und die nach unserer Ansicht baldmöglichst in den bezüglichen Normalien berichtigt werden sollte. Wir glauben, dass das Schweizerische Komitee der „Internationalen Elektrotechnischen Kommission" sich dieser Frage annehmen sollte, um sie, im richtigen Zeitpunkt, spruchreif vor das Plenum dieser Kommission bringen zu können.

Nachstehend wollen wir versuchen, die Frage einer richtigen Berücksichtigung der Eisenverluste soweit zu beleuchten, als wir dies auf Grund unserer Erfahrungen bei Abnahmeproben mit Generatoren jeder Leistung und Drehzahl, besonders für Drehstrom zu

[1]) Nach der am 1. VII. 1914 in Kraft getretenen Fassung, nach E. T. Z. 1913, S. 1038—1041.

[2]) Wir verweisen auf den beachtenswerten Aufsatz von *L. Schüler* in E. T. Z. 1915, S. 109 und 123, besonders 126.

50 Perioden, in der Lage sind. Was wir hier für den besondern Fall der Drehstromgeneratoren vorbringen, gilt mit angemessenen, aber unwesentlichen Berichtigungen auch für die andern Stromarten der Starkstromtechnik.

Die Frage der richtigen Berücksichtigung der Verluste im Eisen ist nicht zu trennen von der Erörterung der Spannungsverhältnisse eines belasteten elektrischen Generators, die ihrerseits wieder mit der richtigen Berücksichtigung der in den Erregerwicklungen und Regulierwiderständen auftretenden Verluste im Zusammenhange stehen. Allerdings gibt es Fälle, bei denen die letztern in einfachster Weise richtig ermittelt werden können, nämlich dann, wenn für den zu prüfenden Generator die normale Leistung bei dem richtigen Leistungsfaktor, auf den sich der garantierte Wirkungsgrad bezieht, versuchsweise leicht herstellbar ist; vielfach ist dies aber bei Abnahmeversuchen nicht möglich, so dass man genötigt ist, auch den für diese Leistung in Betracht fallenden Erregerstrom durch Rechnung zu bestimmen. Unser Thema vermag also in mehr als einer Hinsicht Beiträge zur Beurteilung der „messbaren" und der tatsächlichen Generatorverluste zu leisten.

Als Grundlage zur Beurteilung des Verhaltens eines elektrischen Generators bei Belastungsänderungen pflegt die theoretische Elektrotechnik ein sog. Spannungsdiagramm zu benutzen. Zwar findet zur Zeit noch keines der von verschiedenen Physikern vorgeschlagenen Diagramme samt zugehöriger Rechnungsweise die unbedingte Anerkennung der Fachleute. Indessen sind die Abweichungen verschiedener Darstellungsarten im Hinblick auf die richtige Berücksichtigung der Eisenverluste doch nicht so schwerwiegend, dass es als unzulässig bezeichnet werden müsste, überhaupt auf eine dieser Darstellungsarten einzutreten. Wir folgen *A. Blondel* und *E. Arnold*, und entscheiden uns für die folgende, zu Abbildung 1 gehörige Darstellungsweise. Dieser Abbildung ist zu entnehmen, dass für eine Generatorleistung, die pro Phase durch:

$$E \cdot I \cdot \cos\varphi$$

gegeben ist, die, der Klemmenspannung E entsprechende Innenspannung E_i, die für die Eisenverluste massgebend ist, aus E, aus einem induktionslosen Anteil E_r, sowie einem induktiven Anteil E_s nach Massgabe des Phasenwinkels φ zwischen E und der Stromstärke I gebildet wird, wobei weiter:

$$\begin{cases} E_r = I \cdot r \\ E_s = I \cdot x \end{cases}$$

gilt, wenn mit r der effektive Widerstand, mit x die Streureaktanz pro Phase bezeichnet wird. Allerdings sind r und x Grössen, die auch bei Betrieb mit konstanter Drehzahl und Spannung E nicht als Konstante betrachtet werden dürfen, vielmehr nach Massgabe der aus Abbildung 2 ersichtlichen Spannungscharakteristiken veränderliche Werte annehmen.

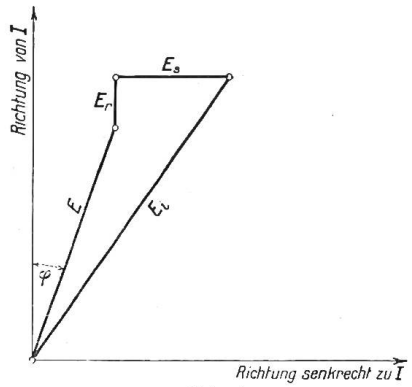

Abb. 1.

Für die Eisenverluste massgebendes Spannungsdiagramm.

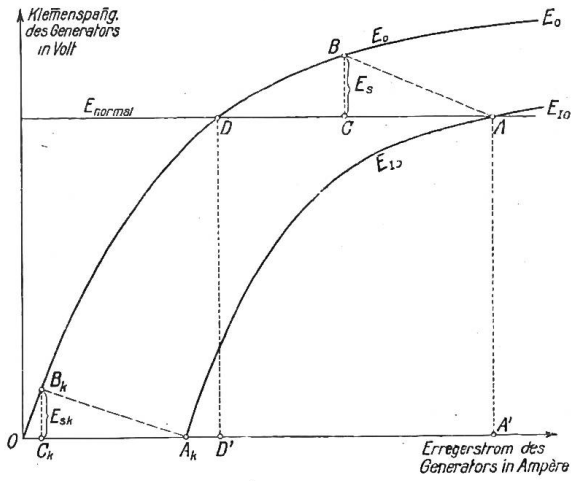

Abb. 2.

Spannungsverhältnisse bei konstanter Drehzahl.

Zur Aufzeichnung der Abbildung 2 benötigt man die Ergebnisse mindestens dreier Versuche, bei konstanter, normaler Drehzahl, nämlich der Versuche:

$$\begin{cases} \text{Leerlaufsversuch,} \\ \text{Kurzschlussversuch, bei } I_{norm} \\ \text{Belastungsversuch, bei } I_{norm} \text{ und } \cos\varphi = 0 \text{ durch Uebererregung.} \end{cases}$$

Statt des Leerlaufsversuchs kann auch der Lauf der Maschine als unbelasteter Synchronmotor bei Einstellung der Erregung auf Eintreten des minimalen Armaturstroms (kurzweg der sog. „Minimalstromversuch") benutzt werden. Der Leerlaufsversuch, bezw. der Minimalstromversuch, liefern Punkte der Kurve E_o der Abbildung 2; der Kurzschlussversuch bei I_{normal} liefert unter allen Umständen den Punkt A_k, und den Punkt B_k bei sterngeschalteten Generatoren, deren Nullpunkt für eine Spannungsmessung zwischen diesem und einer Phasenklemme benutzt werden kann. Der Belastungsversuch, bei I_{norm} und $\cos\varphi = 0$ durch Uebererregung, liefert endlich Punkte der Kurve E_{Io} ausser A_k und die dazu unmittelbar naheliegenden Punkte. Nun wird durch die Spannung $\overline{B_k C_k}$ der besondere Wert E_{sk}, den die Grösse E_s im Kurzschluss aufweist, dargestellt, während die Erregerstromstärke $\overline{A_k B_k}$ den Erregungswert der sog. Gegenampèrewindungen der Generatorarmatur bei I_{norm} darstellt; da dieser Wert von der Klemmenspannung als unabhängig angenommen werden darf, lässt sich im Schnittpunkt der Linie E_{norm} mit E_{Io} die Strecke:

$$\overline{AC} = \overline{A_k C_k}$$

abtragen und damit zwischen der Linie E_{norm} und der Kurve E_o die Strecke:

$$\overline{BC} = E_s$$

als Wert der Grösse E_s bei Normalspannung ermitteln. Da der Zahlenwert von E_{norm}, im Bereiche der möglichen Erregungsverhältnisse, grundsätzlich beliebig ist, so kann also auch die Grösse E_s für jeden beliebigen Wert der Klemmenspannung angegeben werden. Dasselbe gilt auch hinsichtlich der Grösse x, die aus:

$$x = \frac{E_s}{I}$$

folgt.

Verwickelter ist nun die Veränderlichkeit von E_r und r, zu deren Darlegung Effektmessungen im Kurzschlussversuch und im Belastungsversuch bei I_{norm} und $\cos\varphi = 0$ gehören; im Kurzschlussversuch muss hierzu der Generator von einem geeichten Hülfsmotor angetrieben werden, wobei seine Effektaufnahme, befreit von allen Verlusten durch Luft-, Lager- und Bürstenreibung, sowie auch befreit von Verlusten im Eisen, hierzu zu benutzen ist, indem pro Phase die derart korrigierte Effektaufnahme als gleich dem Werte:

$$E_r \cdot I$$

angesehen werden darf. Entsprechend ist bei Belastungsversuchen bei I_{norm} und $\cos\varphi = 0$ vorzugehen, wobei aber der Fall der Uebererregung, bezw. der Phasen-Voreilung, und der Fall der Untererregung, bezw. der Phasen-Nacheilung, auseinander zu halten und die Effektmessungen der als Synchronmotor laufenden Maschine mittels Wattmeter ausgeführt werden können. Indem man aus den jeweils erhaltenen Werten von E_r gemäss der Beziehung:

$$r = \frac{E_r}{I}$$

die zugehörigen Werte von r bestimmt, erkennt man, dass *r* nicht nur von der Klemmenspannung, sondern auch noch davon abhängig ist, ob beim Belastungsversuch mit $\cos\varphi = 0$ der Phasenwinkel φ zu $+ 90^0$ oder zu $- 90^0$ gewählt wurde (Fall der Unter- bezw. Uebererregung). Versuche mit verschiedenen Werten der Stromstärke I ergeben überdies eine Abhängigkeit der Grösse r von I, die besonders durch den sog. Skineffekt bedingt wird. Angesichts der verwickelten Abhängigkeit von r wird man sich für diese Grösse meist mit einem näherungsweise konstanten Werte begnügen, wie er sich bei Normalstrom aus dem Kurzschlussversuch ergibt; für den Endzweck einer hinreichend genauen Berücksichtigung

der Verluste im Eisen ist dies ohne weiteres zulässig. Da aber r für die richtige Berücksichtigung der Verluste durch Stromwärme im Armaturkupfer auch noch unmittelbar auf die Generatorverluste einwirkt, so ist offenbar an der Zuverlässigkeit seiner genauesten Bestimmung viel gelegen.

Nachdem wir nun für irgend eine Generatorleistung die in Betracht fallenden Grössen E_s und E_r hinreichend genau anzugeben wissen, können wir nach Abbildung 1 für die jeweilige Klemmenspannung E die zugehörige Innenspannung E_i ermitteln, der die jeweiligen Verluste im Eisen entsprechen. Es handelt sich jetzt noch darum, die jedem möglichen Werte E_i zugeordneten Eisenverluste selbst zu kennen. Dazu dient nun eine Antriebsmessung mit geeichtem Hülfsmotor bei leerlaufendem Generator, wobei $E_i = E_o$ gesetzt werden darf, und wobei, gemäss Abbildung 3, die Eisenverluste samt allen Reibungsverlusten in ähnlicher Weise über dem Erregerstrom des Generators zur Darstellung gebracht werden können, wie es in Abbildung 2 für E_o geschehen ist. Für jeden Wert E_i ist dann zunächst aus Abbildung 2 gemäss der Kurve E_o die zugehörige Erregerstromstärke, und mit dieser, gemäss Abbildung 3, der entsprechende Wert des Eisenverlustes, samt allen Reibungsverlusten, zu entnehmen. Die Versuche zur Ermittlung dieser Verluste wird man zweckmässig nicht nur für die normale, sondern auch noch für eine erhöhte und eine erniedrigte Drehzahl vornehmen, weil sich dann leicht die Möglichkeit einer Trennung der gesamten Eisenverluste in Hysteresisverluste und in sog. Wirbelstromverluste ergibt, die in manchen Fällen als wertvoller Gesichtspunkt für die Generatorbeurteilung in Frage kommt. In Abbildung 3 ist das Aussehen der Kurven der Eisen- und Reibungsverluste bei verschiedenen Drehzahlen dargestellt. An der Ordinatenaxe dieser Abbildung sind die reinen Reibungsverluste $\overline{OK_n}$, bezw. $\overline{OK'}$, bezw. $\overline{OK''}$, ersichtlich, wie sie bei Antrieb des unerregten Generators erhalten werden. Statt durch Antrieb des leerlaufenden erregten Generators mittels Hülfsmotor kann man die Verluste im Eisen und durch Reibung mittels Wattmessungen auch beim sog. Minimalstromversuch bei verschiedenen Erregungen, aber nicht für den unerregten Zustand (also die Reibungsverluste nicht allein) feststellen. Von den Kurven der Abbildung 3 für normale Drehzahl ist also, nach unsern Ausführungen, im Sinne einer Korrektur, auch bei der Bestimmung der Grössen E_r und r Gebrauch zu machen.

Die nach unsern Darlegungen für verschiedene Belastungsverhältnisse bei einem bestimmten, konstant angenommenen Leistungsfaktor, nahe bei $\cos\varphi = 1$, ermittelten Spannungs- und Erregungswerte ergeben nun die bemerkenswerten Kurven der Eisenverluste, die

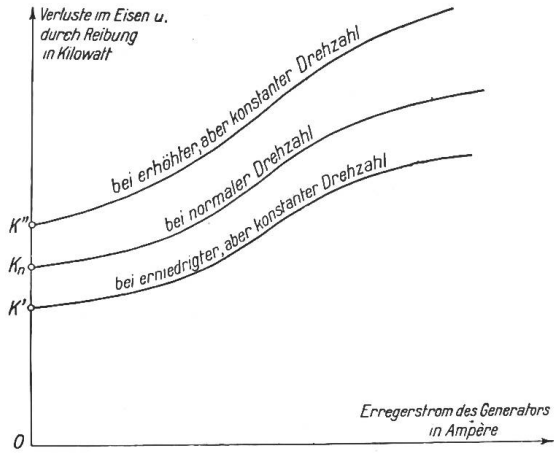

Abb. 3.

Verluste im Eisen und durch Reibung bei verschiedenen Drehzahlen.

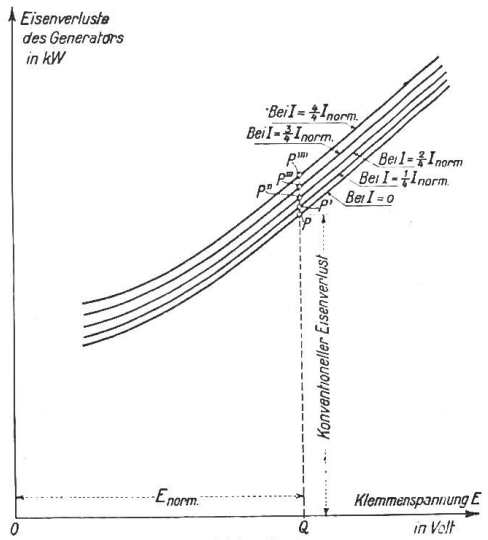

Abb. 4.

Eisenverluste bei verschiedenen Spannungen und Stromstärken für konstanten Leitungsfaktor, nahe bei $\cos\varphi = 1$.

wir in Abbildung 4 dargestellt haben. Die Fehler, die man demnach auf Grund der konventionellen Leerlaufsmethoden begeht, sind für eine bestimmte, also sog. normale Klem-

menspannung E_{norm} für verschiedene Armatur-Stromstärken des Generators, die zu $^1/_4$, $^2/_4$, $^3/_4$, $^4/_4$ des Normalwertes I_{norm} angenommen sind, gegeben durch die Streckenabschnitte $\overline{P'P}$, $\overline{P''P}$, $\overline{P'''P}$, $\overline{P''''P}$. Die grösste Abweichung $P''''P$ kann leicht zu Wirkungsgradfehlern von etwa 2 % führen, wenn es sich, besonders bei kleinen Generatoren, um Leistungsfaktoren von 0,8 bis 0,6 handelt.

Wir erwähnten bereits, dass unsere Erörterung der Spannungsverhältnisse auch für die richtige Berücksichtigung der in den Erregerwicklungen und Regulierwiderständen auftretenden Verluste von Wert sein könne. Von verschiedenen Autoren sind Formeln oder Diagramme angegeben worden, um mittels der Grössen E_s und E_r, bezw. mittels der Kurven nach Abbildung 2, die sog. Spannungserhöhung oder den sog. Spannungsabfall bei Belastung zu berechnen. In dieser Hinsicht hat unsere Erfahrung gezeigt, dass streng genommen keine der bisher bekannt gewordenen Rechnungsarten voll befriedigt. Immerhin ist für den Zweck der Verlustberechnung das einfache Diagramm nach *G. Kapp,* so wie es in der eingangs erwähnten Veröffentlichung der Maschinenfabrik Oerlikon vorgeführt wird, geeignet und, dank seiner Einfachheit, empfehlenswert. Wir pflegen es in einer einfachen, analytischen Form zu verwenden, indem wir, unter Bezugnahme auf Abbildung 2 einführen:

$$E_{norm} = E$$

$$E_o - E_{lo} = E_z$$

und schreiben:

$$E_o = \sqrt{E^2 + E^2_z + 2 \cdot E \cdot E_z \cdot \sin\varphi}$$

Nach dieser einfachen Formel kann also für eine bestimmte Phasenverschiebung φ zwischen der Klemmenspannung und derjenigen Stromstärke I, der die rein induktive Charakteristik E_{lo} entspricht, die erhöhte Spannung E_o bestimmt werden, die bei einem bestimmten, zwischen $\overline{OD'}$ und $\overline{OA'}$ der Abbildung 2 liegenden Erregerstrom, für den E_o, E_{lo} und E_z gelten, beim Abschalten der pro Phase gegebenen Leistung:

$$E \cdot I \cdot \cos\varphi$$

eintritt. Die Genauigkeit unserer Formel ist, wie gesagt, keine absolute; sie hat sich aber nach unserer Erfahrung als brauchbar erwiesen und hat wiederholt bessere „Treffer" ergeben, als die anscheinend korrekte Formel, die *E. Arnold* auf Grund des Diagramms von *A. Blondel* in Band IV seiner „Wechselstromtechnik" mitteilt.

Indem wir für einen bestimmten, konstant angenommenen Leistungsfaktor, nahe bei $\cos\varphi = 1$, für verschiedene Belastungsverhältnisse den Generator-Erregerstrom, wie er durch Abbildung 2 und gemäss den obenstehenden Beziehungen für E, E_o, E_{lo} und E_z bestimmt ist, zur Darstellung bringen, erhalten wir das bemerkenswerte Kurvenbild nach Abbildung 5. Die unterste, zu $I = 0$ gehörende Kurve dieser Abbildung ist nichts anderes, als die umgezeichnete Charakteristik E_o der Abbildung 2; die andern Kurven der Abbildung 5 liefern mit den Schnittpunkten R', R'', R''', R'''' die respektiven Streckenabschnitte $\overline{R'R}$, $\overline{R''R}$, $\overline{R'''R}$, $\overline{R''''R}$, die den Erregerzuwachs für Belastungen mit $^1/_4$, $^2/_4$, $^3/_4$, $^4/_4$ der normalen Stromstärke I_{norm} bei der normalen Spannung $E = E_{norm}$ für den vorausgesetzten Leistungsfaktor ergeben.

Die für unsere Berücksichtigung der Eisenverluste erforderlichen Messungen lassen sich indessen nicht immer in der Vollständigkeit ausführen, wie wir bisher vorausgesetzt haben. Insbesondere kann die Grösse E_s, die für die Ausführung der „Leerlaufsmethode nach V. D. E." nicht benötigt wird, nicht immer so sicher bestimmt werden, wie für unsern Zweck zu wünschen wäre. Es soll nun gezeigt werden, wie man sich in solchen Fällen helfen kann. Ist im Sinne der Abbildung 2 eine direkte Beobachtung der Grösse:

$$\overline{B_k C_k} = E_{sk}$$

ausgeschlossen, während anderseits die Kurve E_o, sowie der Punkt A_k, wie stets möglich, vorliegen, dann ist das Dreieck $A_k B_k C_k$ aufzuzeichnen, nachdem man die Grösse $\overline{A_k C_k}$ als den Erregungswert der sog. Gegenampèrewindungen der Generatorarmatur durch Rechnung

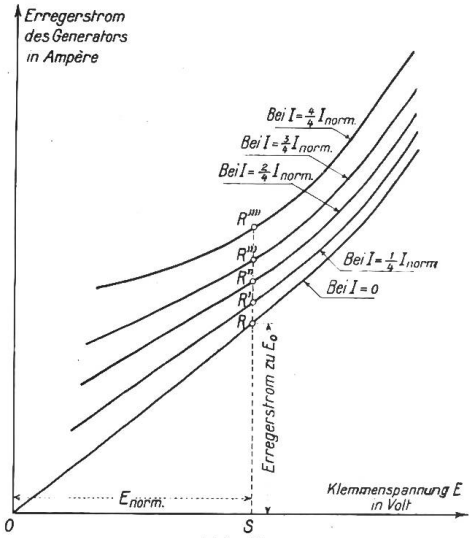

Abb. 5.
Erregerstromstärken bei verschiedenen Spannungen und Stromstärken für einen konstanten Leistungsfaktor, nahe bei $\cos \varphi = 1$.

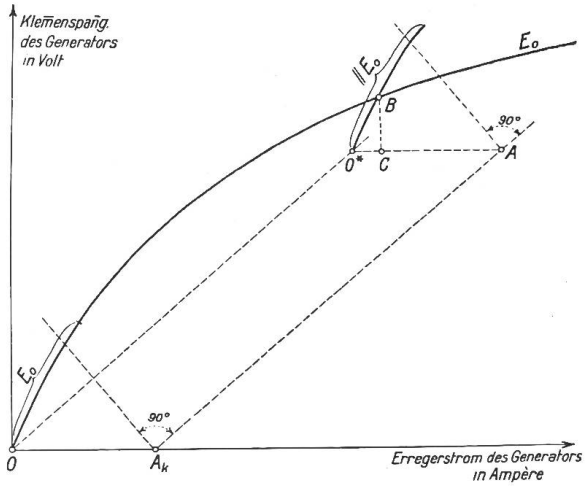

Abb. 6.
Konstruktion nach *J. Fischer-Hinnen* der Punkte B und C aus Kurve E_0 und den Punkten A_k und A.

bestimmt. Liegt die Möglichkeit einer direkten Beobachtung der Kurve E_{I_0} vor, so kann alsdann auch das Dreieck A B C, und damit jeder in Betracht kommende Wert E_s ermittelt werden. Ist jedoch die rechnerische Bestimmung von $\overline{A_k C_k}$ deswegen ausgeschlossen, weil gewisse konstruktive Daten oder gewisse, für die Rechnung benötigte Koeffizienten fehlen, während die experimentelle Aufnahme der Kurve E_{I_0} oder wenigstens eines ihrer Punkte für grössere Erregung, z. B. Punkt A vorliegt, dann kann das Dreieck A B C, bezw. die Punkte B und C nach einer, 1901 von *J. Fischer-Hinnen*[1]) angegebenen Methode ermittelt werden, wie wir in unserer Abbildung 6 nochmals zeigen wollen. Sind die Kurve E_0, sowie die Punkte A und A_k gegeben, so zeichne man den Anfang der Kurve E_0 mit dem Stücke $\overline{0 A_k}$ der Abszissenaxe auf Pauspapier durch und verschiebe das letztere parallel zur Linie $\overline{A_k A}$, bis der Punkt A_k mit A zusammenfällt; die beiden Kurven werden sich in dem gesuchten Punkte B schneiden; auf der Senkrechten durch ihn, im Schnittpunkt mit der horizontalen Linie durch A, liegt dann auch der weiterhin gesuchte Punkt C.

Es kommt auch vor, dass die zur Bestimmung von E_r bezw. r erforderlichen Effektmessungen beim Kurzschlussversuch und beim Belastungsversuch mit $\cos \varphi = 0$ unausführbar sind. In einem solchen Fall hat man, vom ohm'schen Widerstand der Armaturwicklung ausgehend, den wahrscheinlichsten Wert von r durch Schätzung zu bestimmen. Bei Drehstromgeneratoren normaler Ausführung übertrifft r den entsprechenden ohm'schen Widerstand in der Regel um 20 bis 30 %. Die Ungenauigkeit, die eine solche Schätzung in die Wirkungsgradbestimmung hinein bringt, macht sich natürlich in vollem Umfange in den Verlusten durch Stromwärme geltend, während sie für die Ermittlung der Eisenverluste ohne wesentliche Bedeutung ist.

Wir glauben damit die wichtigsten Fälle besprochen zu haben, für die infolge technischer Schwierigkeiten die Messungen nicht in *dem* Umfang ausführbar sind, wie es für eine genügend richtige Berücksichtigung der Verluste im Eisen wünschbar erscheint.

Zusammenfassung.

Gestützt auf die Tatsache, dass die nach der üblichen Leerlaufsmethode, beispielsweise laut § 41 der bezüglichen Normalien des V. D. E., ermittelten Wirkungsgrade elektrischer Generatoren unrichtige und zwar zu hohe Werte ergeben, deren Unrichtigkeit im allgemeinen hauptsächlich auf der Nichtberücksichtigung der Aenderung der Verluste im Eisen mit der Belastung beruht, schlägt der Verfasser vor, in Zukunft auch bei der Ertei-

[1]) E. T. Z. 1901, S. 1061.

lung sog. „konventioneller" Wirkungsgrade die Aenderung der Verluste im Eisen zu berücksichtigen. Es wurde hier mitgeteilt, nach welcher Methode dies geschehen könnte. Der Verfasser regt an, es möge das Schweizerische Komitee der „Internationalen Elektrotechnischen Kommission" sich dieser Frage annehmen, um sie, im richtigen Zeitpunkt, spruchreif vor das Plenum dieser Kommission zu bringen.

Zur Frage des elektrischen Kochens.

Von *R. Krutina*, Ing., Zug.

Die Verbreitung der elektrischen Küche in Haushaltungen ist in letzter Zeit dadurch wesentlich gefördert worden, dass einzelne grosse schweizerische Elektrizitätswerke elektrische Energie für Kochzwecke zu Preisen abgeben, die die elektrische Küche der Gasküche in Bezug auf die Betriebskosten ebenbürtig machen. So geben beispielsweise die Centralschweizerischen Kraftwerke den Kochstrom zu 7,5 Cts. pro Kilowattstunde ab (vergl. Bulletin des S. E. V. Jahrgang 1916, Nr. 7, Seite 184), welcher Preis unter Zugrundelegung gleicher Betriebskosten für die Gasküche einem Gaspreis von 21 Cts. pro cbm entspricht. Hierbei ist als Aequivalent 2,8 kWh = 1 cbm Gas angenommen, das für die z. Z. sich im Handel befindenden Kochherde für kleine und mittlere Haushaltungen zutrifft. Dieses Aequivalent wird auch durch weitere Fortschritte in der Konstruktion von Kochherden nicht mehr bedeutend zu Gunsten der elektrischen Küche verändert werden können, sodass als Grenzwert das Aequivalent 2,5 kWh = 1 cbm Gas zu betrachten ist, was bei 7,5 Cts. pro Kilowattstunde einem Gaspreis von 19 Cts. entsprechen würde.

Es ist daher erklärlich, wenn auch heute noch die Konkurrenz der Gasküche bei der Frage der Einführung der elektrischen Küche in Haushaltungen wesentlich mitspricht, denn einerseits stellt ein Kilowattstundenpreis von 7,5 Cts. einen schon reichlich niederen Tarif für Kochstrom dar, andererseits muss aber auch an vielen Orten mit einem Gaspreis von unter 20 Cts. pro cbm gerechnet werden, und endlich darf nicht unberücksichtigt bleiben, dass auch die Konstrukteure von Gasherden darnach trachten, den Wirkungsgrad der Gasküche weiter zu steigern. Der relativ schon niedere Preis von 7,5 Cts. pro Kilowattstunde stellt also unter den heutigen Verhältnissen nahezu die oberste Grenze dar, bei welcher die elektrische Küche in wirtschaftlicher Hinsicht mit der Gasküche konkurrieren kann; es ist anzunehmen, dass diese Verhältnisse sich auch nicht mehr wesentlich ändern werden.

Noch billigere Strompreise für Kochstrom können die Elektrizitätswerke nur zur Zeit der niedrigsten Belastung gewähren. Hierfür kommt in erster Linie die Nachtzeit in Betracht, und es wird auch von vielen Werken hiervon zur Abgabe von sehr billigem Nachtstrom Gebrauch gemacht. Die Verwendung des Nachtstromes für Haushaltungen beschränkt sich indessen auf Warmwasserversorgungsanlagen und Heizungsakkumulation, die jedoch infolge der hohen Anschaffungskosten für solche Stromverbraucher ein verhältnismässig geringes Absatzgebiet bedeuten.

Für diejenigen Elektrizitätswerke, die mit einer relativ hohen Belastung durch Industriemotoren zu rechnen haben, kommt als Zeit für billige Stromabgabe ausser der Nachtzeit auch die Zeit von $^1/_2$12 Uhr bis $^1/_2$2 Uhr mittags in Betracht. Während dieser Zeit weist die Belastungskurve vieler schweizerischer Elektrizitätswerke einen tiefen Sattel auf, der durch die Mittagspause der Fabrikbetriebe bedingt ist. Dieser Sattel ist erheblicher, als im allgemeinen angenommen wird, da er fast so tief reicht wie der Nachtsattel. Ein Vergleich der Tagesbelastungskurven verschiedener grosser Elektrizitätswerke ergibt, dass die Differenz zwischen der kleinsten Belastung und dem Mittagsattelboden im Mittel nur etwa 10 bis 12 % der Höchstbelastung ausmacht. Es bedeutet dies, dass die elektrische Energie zur Zeit des Mittagsattels nahezu gerade so billig abgegeben werden kann wie zur Zeit des Nachtsattels.