Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 38 (1947)

Heft: 10

Artikel: Anschlussbedingungen für Drehstrom-Asynchron-Motoren

Autor: Werdenberg, W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1061419

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: 09.12.2025

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

wirklich gut ging, und zwar nicht nur gelegentlich als Experiment».

So empfing der Mensch ein neues Geschenk der Natur. So wirkte die Schweiz bei seiner Nutzbarmachung für unser tägliches Leben mit. So entstand und entfaltete sich die schweizerische Elektrotechnik und Energiewirtschaft, und so wuchsen auch die schweizerischen Kraftanlagen und Elektrizitätswerke heran, denen das hier angezeigte Werk gewidmet ist, überall ihren Rahmen sprengend und sich damit stellenweise beinahe zu einer allgemeinen Geschichte der schweizerischen Elektroindustrie erweiternd. Doch es ist unmöglich, die unerhörte Fülle des Stoffes, der hier gesammelt, geordnet und verarbeitet ist, auch nur anzudeuten. Denn wie sollte man dem Leser einen Begriff beispielsweise von der gewaltigen Zahl der Abbildungen und von ihrer historischen Bedeutung geben, wie ihm die unerschöpflichen Reihen von Zahlenangaben deutlich machen, von denen jede wieder ihren eigenen Wert besitzt und eines Tages — wenn auch vielleicht nur für einen einzigen Leser — jemandem zum eigentlichen Erlebnis werden kann?

«Ich versuchte Gedanken zu Anfängen einer Entwicklung, die langsam zu Fortschritten führte, mit Absicht so darzustellen, wie man sie eben damals hatte, d. h. ‚einfältig' im guten alten Sinne des Wortes» — so umschreibt Wyssling den Zweck seines Buches. Wir aber können nur feststellen, dass er diesen Zweck aufs schönste erreicht hat, und zwar ebenso hinsichtlich der menschlichen Seite der Geschichte der Technik, wie hinsichtlich des sachlichen Gehaltes dieser selbst. Das Buch wird jeden Interessierten fesseln, der sich durch seine Dicke und Schwere nicht zum vornherein abschrecken lässt. Wir aber möchten zum Schlusse nur noch einen Wunsch des Verfassers unterstreichen und unterstützen: dass nämlich jeder, der in Zeichen akuter *Probleme der schweizerischen Wasser- und Energiewirtschaft das Wort ergreift, zur Feder langt, sich zuerst das Wissen über diese Dinge aneignen möge, das allein ihn berechtigt, sich zu diesen sehr verwickelten Fragen zu äussern.* Wysslings Buch kann ihm manches erhellen, worüber er sich bisher kein Bild zu machen vermochte oder sich vielleicht sogar ein falsches Bild gemacht hat.

Wysslings Alterswerk ist ein Torso geblieben; denn der Tod nahm ihm die Feder aus der Hand, ehe die Darstellung bis zu den letzten Abschnitten des halben Jahrhunderts vorgedrungen war, die sie umfassen sollte. Ingenieur A. Kleiner, Delegierter der Verwaltungskommission des SEV und VSE, der nach dem Tode des Verfassers die letzte Ueberarbeitung und die Drucklegung des Buches besorgte, hat es jedoch verstanden, dieses so zum Ganzen zu runden, dass der jähe Schnitt des Sensenmannes nicht allzu spürbar wird. Für einzelne Sachgebiete konnte die Darstellung denn auch, gestützt auf die Vorarbeiten Wysslings, noch bis an die Schwelle des zweiten Weltkrieges fortgeführt werden. Wo sie aber in des Verfassers eigenem Text mit dem Jahre 1915 endet, umfasst sie immerhin die entscheidenden ersten Jahrzehnte der Geschichte der schweizerischen Elektrizitätswerke, für die einzig Wysslings ungeheure Arbeitskraft und sein unerhörtes Wissen in der Lage waren, das Werk erstehen zu lassen.

Anschlussbedingungen für Drehstrom-Asynchron-Motoren

Von *W. Werdenberg*, Winterthur

389.6:621.313.333(494)

Es wird versucht, eine einfache Regel anzugeben, welche den Elektrizitätswerken gestattet, ihre Anschlussbedingungen den wirklich zulässigen Beanspruchungen ihrer Verteilnetze anzupassen. Dabei werden die verschiedenen Motorarten, Anlassarten und Betriebsweisen berücksichtigt.

L'auteur essaye d'établir une règle simple qui permette aux distributeurs d'électricité d'adapter leurs conditions de raccordement aux charges effectivement admissibles dans leurs réseaux, en tenant compte des différents genres de moteurs, de démarrage et d'exploitation.

1. Problemstellung

Drehstrom-Asynchron-Motoren mit Kurzschlussläufer dürfen in Netzen der Allgemeinversorgung nur bis zu gewissen Grössen angeschlossen werden. Diese Motorgrössen werden nicht nur von den zulässigen Leistungsverlusten in der Zuleitung und dem zulässigen dauernden Spannungsabfall, sondern auch von der zulässigen vorübergehenden Spannungsschwankung durch Belastungsänderungen des Motors begrenzt. Die von den zulässigen Leistungsverlusten und Spannungsabfällen gezogenen Grenzen sind allgemein abgeklärt; dagegen weichen die Meinungen über die wegen der Spannungsschwankungen zu ziehenden Grenzen stark voneinander ab. Es wird darum mit dem vorliegenden Bericht versucht, allgemein gültige Richtlinien aufzustellen, nach denen zu beurteilen ist, ob der Anschluss eines Drehstrom-Asynchron-Motors mit Kurzschlussläufer wegen der Spannungsschwankungen zulässig ist.

Da die Spannungsschwankungen von der Motorart, der Betriebsweise, der Gestalt des Verteilnetzes und dem Standort des Motors abhängen, werden vereinfachende Annahmen gemacht werden müssen, um trotz dieser Vielfalt von Einflüssen wenn möglich mit einer einzigen einfachen Regel auszukommen. Eine solche einfache Regel ist nötig, damit der Installateur ohne Rückfragen beim Werk und ohne grosse Berechnungen in den meisten Fällen sofort entscheiden kann, ob der Anschluss eines Motors möglich ist. Nur in Ausnahmefällen sollen die besondern Verhältnisse berücksichtigt werden müssen.

2. Die Ursachen der Spannungsschwankungen

a) Die Spannungsschwankungen werden durch Aenderung des vom Motor aufgenommenen Stromes

beim Anlauf, bei der Bremsung und beim Wechsel der abgegebenen Leistung hervorgerufen. In allen diesen Fällen ändert sich nicht nur die Grösse des Stromes, sondern auch die Phasenlage des Stromes gegenüber der Spannung. Fig. 1 gibt ein ungefähres Bild über die in diesen Fällen an einem gewöhnlichen Motor mit Kurzschluss-Anker auftretenden Ströme. Darin sind die bei Gleichstrombremsung und Selbsterreger-Bremsung auftretenden Ströme nicht

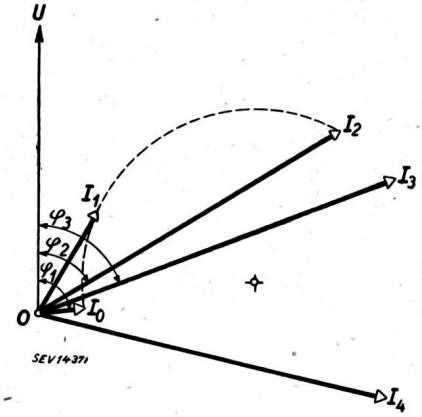

Fig. 1
Ströme von Asynchron-Motoren
U Spannung; I_0 Leerlaufstrom; I_1 Nennstrom (Vollaststrom); I_2 Anlaufstrom; I_3 Bremsstrom bei Gegenstrombremsung; I_4 Bremsstrom bei Polumschaltung.

eingezeichnet, weil in diesen beiden Fällen die Motoren vom Netz abgetrennt sind und darum das Energie liefernde Werk nicht interessieren. Wird der Motor eingeschaltet, so springt der Strom vom Wert Null zum Wert I_2, um dann auf den Wert I_1 abzuklingen, sofern der Motor bei Nennlast arbeitet. Schwankt die abgegebene mechanische Leistung, so pendelt der Strom zwischen den Werten I_1 und I_0. Wird der Motor durch Vertauschen zweier Polleiter gebremst (Gegenstrombremsung), so geht der Strom vom Belastungsstrom I_1 auf den Wert Null zurück und springt dann auf den Wert I_3. Bei der Bremsung des Motors durch Polumschaltung (Vermehrung der Polzahl) geht der Strom zuerst ebenfalls vom Belastungsstrom I_1 auf den Wert Null zurück, um aber alsdann auf den Wert I_4 zu springen. Bei Schleifring-Motoren, Spezialmotoren und besondern Anlass-Schaltungen treten grundsätzlich ähnliche Stromstösse auf. Diese besondern Verhältnisse sind von *Dünner* im Bulletin bereits anschaulich dargestellt worden [1] [1]).

Für irgend einen Stromstoss soll nun die von ihm hervorgerufene Spannungsschwankung berechnet werden.

Dazu werden folgende Bezeichnungen eingeführt:

I absoluter Wert des Stromstosses in A (Strom, der bei stillstehendem Rotor auftritt)
φ Phasenverschiebung des Stromstosses gegenüber der Spannung am Motor
U Phasenspannung am Motor in V
ΔU vom Stromstoss hervorgerufene Spannungsschwankung in V
$\varepsilon_M = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100$ vom Stromstoss hervorgerufene Spannungsschwankung in % der Spannung U
R Ohmscher Widerstand pro Polleiter der Zuleitung in Ω
ωL induktiver Widerstand pro Polleiter der Zuleitung in Ω
$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ Impedanz pro Polleiter der Zuleitung in Ω
$I_c \approx \frac{U}{Z}$ Kurzschluss-Strom der Zuleitung in A
ξ Phasenverschiebung des Leitungs-Kurzschlußstromes

Die vom Stromstoss verursachte Spannungsschwankung ist dann genügend angenähert:

$$\Delta U = I\,(R \cos\varphi + \omega L \sin\varphi), \quad \text{oder}$$

$$\varepsilon_M = \frac{I}{U}\,(R \cos\varphi + \omega L \sin\varphi)\,100$$

Nach Fig. 2 ist nun

$$R \cos\varphi + \omega L \sin\varphi = Z \cos(\xi - \varphi)$$

Ferner ist nach Definition: $Z = \frac{U}{I_c}$.

Werden diese beiden Ausdrücke in die Gleichung für ε_M eingesetzt, so wird

$$\varepsilon_M = \frac{I}{I_c} \cos(\xi - \varphi)\,100 \qquad (1)$$

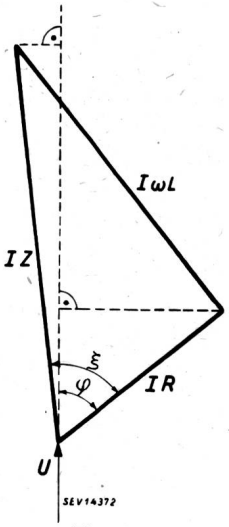

Fig. 2

Nach dieser Gleichung könnte nun die von jedem einzelnen Motor hervorgerufene Spannungsschwankung einfach berechnet werden. Der Wert des Stromstosses I und die dazu gehörende Phasenverschiebung φ sind vom Fabrikanten des Motors anzugeben und der Kurzschlußstrom I_c mit seiner Phasenverschiebung ξ sind vom Werk zu berechnen oder zu messen [2]).

b) Die Gleichung 1 kann noch vereinfacht werden, wenn es gelingt, für $\cos(\xi - \varphi)$ einen allgemein gültigen Zahlenwert einzusetzen.

Der Winkel ξ der Zuleitung hängt von der Länge der Leitung, dem Querschnitt und der Anordnung der Leiter und von den speisenden Transformatoren ab. In Fig. 3 sind die am meisten vorkommenden Werte des Winkels ξ aufgetragen. Danach treten in der Praxis Winkel ξ von etwa 20° bis 60° auf.

Der beim Anlauf auftretende Winkel φ hängt von der Art des Motors, der Grösse des Motors und von der Art des Anlassers ab. Bei gewöhnlichen Kurzschluss-Läufern liegt der Winkel φ etwa zwischen 70° und 55°, wobei die grössern Werte den grössern Motoren entsprechen. Bei Stromverdrängungs-Läufern soll nach Angaben der Fabrikanten der Winkel φ zwischen 60° und 45° liegen. Gewickelte Läufer mit Anlasswiderständen weisen umso kleinere Winkel φ auf, je grösser der Anlasswiderstand ist. Bei Belastungsschwankungen des Motors liegt der Winkel φ bei etwa 10°. Die Bremsungen von Motoren sollen nicht weiter berücksichtigt werden, weil sie seltene Ausnahmefälle sind.

[1]) siehe Literaturverzeichnis am Schluss.

[2]) Eine Einrichtung, welche die Messung des Kurzschlußstromes im Netz selbst auf einfache Weise gestattet, wird im Bulletin demnächst beschrieben.

Die Winkeldifferenz $\xi - \varphi$ liegt also in den Grenzen von $\pm$ 10°... $\pm$ 50° und der Zahlenwert für cos $(\xi - \varphi)$ schwankt je nach Netz und Motorbetrieb zwischen 0,98 und 0,64. Wenn nun cos $(\xi - \varphi)$ allgemein gleich 1 gesetzt wird, so wird der nach Gleichung 1 berechnete Spannungsabfall zu gross herauskommen, d. h. die gestützt darauf ermittelte zulässige Motorgrösse ist in vielen Fällen zu klein.

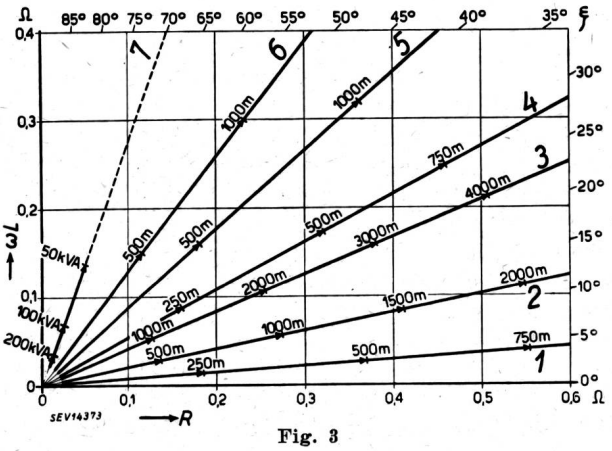

Fig. 3

Impedanzen und Winkel ξ der Zuleitungen

ωL Blindwiderstand; R Wirkwiderstand.
1 3-Leiter-Kabel, 25 mm² Cu; *2* 3-Leiter-Kabel, 70 mm² Cu; *3* 3-Leiter-Kabel, 150 mm² Cu; *4* Freileitung, Polleiter-Distanz 50 cm, 6 mm ∅ Cu; *5* Freileitung, Polleiter-Distanz 50 cm, 8 mm ∅ Cu; *6* Freileitung, Polleiter-Distanz 50 cm, 10 mm ∅ Cu; *7* Transformatoren.

Da die zulässige Spannungsschwankung, wie später gezeigt wird, nur sehr ungefähr bestimmt werden kann, dürfte es trotzdem zulässig sein, für cos $(\xi - \varphi) = 1$ zu setzen; der dadurch entstehende Fehler wirkt sich dann als Sicherheitszuschlag für eine ungestörte Spannungshaltung aus.

Die allgemeine Gleichung 1 geht damit über in die Gleichung

$$\varepsilon_M \sim \frac{I}{I_c} \cdot 100 \qquad (2)$$

Das heisst:

In einem gegebenen Netz ist die von Asynchronmotoren hervorgerufene Spannungsschwankung praktisch nur vom absoluten Wert des Einschaltstromes abhängig.

Es ist darum, wie schon *Dünner* nachdrücklich darauf hinwies [1], falsch, wenn die Werke ein bestimmtes zulässiges Verhältnis zwischen Anlaßstrom und Vollaststrom vorschreiben. Es ist aber auch nicht angebracht, ein zulässiges Verhältnis zwischen Einschalt-Scheinleistung (in kVA) und Nennleistung (in kW) vorzuschreiben [2]. (Dem Elektrizitätswerk ist es gleichgültig, ob z. B. ein kleines Motörchen einen gegenüber dem Nennstrom grossen Einschaltstrom hat; auch dem Käufer gibt das Verhältnis von Einschaltleistung zu Nennleistung keine Auskunft über die Qualität des Motors.) Dagegen wäre es sehr zu begrüssen, wenn die Fabrikanten auf dem Leistungsschild den grössten Einschaltstrom, d. h. den Strom verbindlich angeben würden, den der Motor bei Nennspannung und stillstehendem Rotor aufnimmt.

3. Zulässige Spannungsschwankungen

a) Die zulässige Spannungsschwankung wird vom empfindlichsten Verbraucher, also vom Lichtkonsumenten bestimmt. Dieser empfindet Schwankungen dann als störend, wenn die Häufigkeit, die Grösse und der zeitliche Verlauf der Beleuchtungsstärke-Schwankungen eine gewisse Grenze überschreitet. Ueber die Bemerkbarkeit und die Störung von Beleuchtungsschwankungen sind verschiedene Untersuchungen veröffentlicht worden [3, 4, 5, 6]. Diese Arbeiten geben sehr gute Anhaltspunkte über die Grenzen der Bemerkbarkeit und der Störung von Lichtschwankungen mit einer Häufigkeit von 1...2000 pro Minute. Dagegen konnten über Schwankungs-Frequenzen von 5...60 pro Stunde, die beim häufigen Anlassen von Motoren vorkommen, keine Angaben gefunden werden. Es wurden darum ergänzende Versuche mit diesen Frequenzen gemacht [3]). Deren Ergebnis ist in Fig. 4 dargestellt und in Fig. 5 zusammen mit den Ergebnissen der andern Versuche aufgetragen.

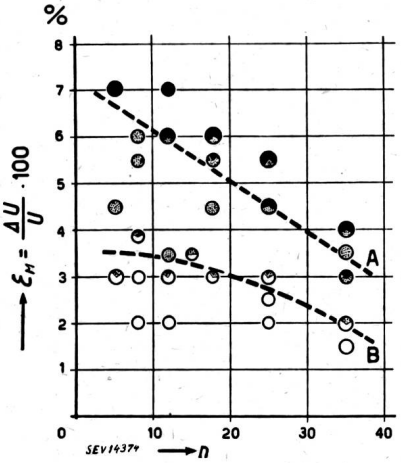

Fig. 4

$\varepsilon_M = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100$ (Spannungsschwankung)

● störend

● bemerkbar

○ unbemerkbar

A Grenze der Störung; *B* Grenze der Bemerkbarkeit

Zu den ergänzenden Versuchen ist zu sagen:

Die Spannungsabsenkung ΔU dauerte immer 0,5 Sekunden und erfolgte immer plötzlich. Damit wurden Lichtschwankungen hervorgerufen, die ungefähr in der Praxis vorkommen. Der Einfluss der Beleuchtungsart (Lampenstärke, Lampenart, Art der Lichtverteilung), der von der Versuchsperson ausgeführten Arbeit und der Helligkeit und der Farbe des Arbeitsplatzes wurden nicht näher untersucht. Die Versuche wurden an 20 Büroangestellten mit den gerade vorhandenen Arbeitsplätzen und Beleuchtungen gemacht.

Wenn diese wenigen Messungen auch kein erschöpfendes Resultat geben, so genügen sie doch für den vorliegenden Zweck. Die zulässige Spannungsschwankung wird also irgendwo im Gebiete der Bemerkbarkeit, das in Fig. 5 angegeben ist, liegen. Nimmt man an, die zulässigen Spannungsschwankungen liegen auf der gezeichneten Kurve, so gilt für 5...10 000 Schwankungen pro Stunde die Beziehung:

$$\varepsilon_{zul} = 8\, n_0^{-\frac{1}{4}} \qquad (3)$$

wenn mit n_0 die Zahl der Schwankungen pro Stunde

[3]) durchgeführt von *H. Blass*, EW Winterthur.

und mit ε_{zul} die zulässigen prozentualen Spannungsschwankungen bezeichnet sind.

b) Hätte man es nur mit einem einzigen Motor zu tun, der allein an ein Versorgungsnetz anzuschliessen wäre, so hätte man nur darauf zu achten, dass der nach Gleichung 2 berechnete Spannungsabfall nicht grösser als der nach Gleichung 3 berechnete zulässige Spannungsabfall wird. In der Praxis hat man es aber mit einer Mehrzahl verschiedenster Motoren und noch mit vielen andern Verbrauchern zu tun, die alle mit verschiedenen Häufigkeiten verschieden grosse Spannungsschwankungen hervorrufen. Es ist deshalb vorerst abzuklären, wie sich dieses Gemisch von bereits vorhandenen Schwankungen auf die zulässige Spannungsschwankung weiterer Anschlussobjekte auswirkt. Leider war es nicht möglich, diese Frage mit Versuchen erschöpfend zu beantworten, weil sie zu zeitraubend waren. Folgende orientierende Versuche [3]) und Ueberlegungen dürften aber doch einige Anhaltspunkte geben:

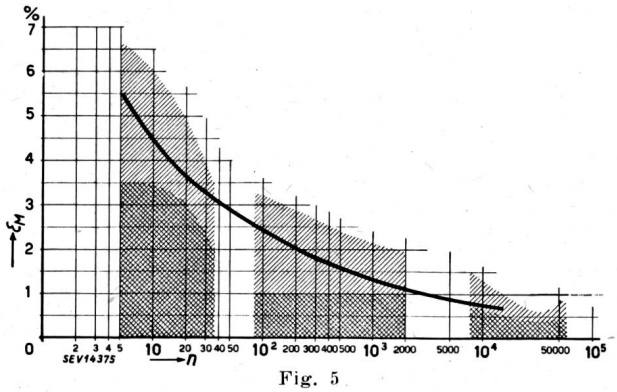

Fig. 5
Bemerkbare und störende Spannungsschwankungen

ε_M Spannungsschwankung in %
n Schwankungen pro Stunde

unbemerkbar
bemerkbar
störend
angenommene zulässige Spannungsschwankung

Vorerst wurden Messungen mit 2 Schwankungen gleicher Frequenz und gleicher Grösse, aber mit variabler «Phasenverschiebung» zwichen den 2 Schwankungen durchgeführt. Es wurde festgestellt, dass die Grenzen der Bemerkbarkeit und der Störung praktisch unabhängig von der Phasenverschiebung sind, aber wie zu erwarten war, den Werten der doppelten Einzelfrequenz entsprechen. Dann wurden Messungen mit 2 Schwankungen stark verschiedener Frequenzen (12 und 120 pro Stunde) gemacht. Es zeigte sich, das die Grenzen der Bemerkbarkeit und der Störung von derjenigen Frequenz nicht beeinflusst werden, deren dazu gehörende Spannungsschwankung unterhalb der Grenzen liegt, die für diese Frequenz allein gelten würden. Es kann ferner gezeigt werden, dass die Wahrscheinlichkeit für das zeitliche Zusammenfallen von Spannungsschwankungen verschiedener Verbraucher sehr klein ist. Aus diesen Tatsachen folgt, dass bei der Prüfung der Anschlussmöglichkeiten alle Verbraucher vernachlässigt werden dürfen, deren Spannungsschwankungen unterhalb der zulässigen Werte liegen, dass aber bei einer Mehrzahl gleichartiger und gleichartig betriebener Motoren mit einer Schwankungsfrequenz zu rechnen ist, die gleich der Summe der Einzelfrequenzen dieser Mehrzahl von Motoren ist. Weil das nötige Zahlenmaterial fehlt, wird man sich mit einer Schätzung der gleichartigen maximal an einem Verteilnetz hängenden Motorbetriebe mit Spannungsschwankungen, die an der Grenze der Zulässigkeit liegen, begnügen müssen. Dabei ist aber zu beachten, dass Motoren in der Nähe der das Netz speisenden Transformatoren eine kleinere Spannungsschwankung hervorrufen werden, als entfernter liegende Motoren. Ausserdem ist bei dieser Schätzung zu berücksichtigen, dass die Spannungsschwankungen von Motoren, die an der Leitung *nach* dem zu untersuchenden Objekt liegen, nur teilweise am Untersuchungsort in Erscheinung treten. Ferner sind nur solche gleichartigen Motoranschlüsse zu berücksichtigen, die an der gleichen Zuleitung liegen. Die Zahl solcher gleichartiger Motorbetriebe sei vorläufig mit k bezeichnet.

4. Die Anschlussbedingungen

a) Als Bedingung für die Zulässigkeit eines Motoranschlusses gilt dann angenähert (aus Gleichungen 2 und 3):

$$0{,}08\, I_c \geqq I\,(k\,n)^{\frac{1}{4}} \qquad (4)$$

wo also I_c den Kurzschlußstrom der Zuleitung am Aufstellungsort des Motors, I den Stromstoss des Motors, n die Zahl der Schwankungen pro Stunde, vom einzelnen Motor hervorgerufen, k die Anzahl gleichartiger an der gleichen Zuleitung liegender Motorbetriebe mit gleich grossen Spannungsschwankungen bedeuten. Anhand dieser Gleichung könnte nun verhältnismässig einfach beurteilt werden, ob ein Motoranschluss zulässig ist. Die Praxis verlangt aber eine weitere Vereinfachung, und zwar eine solche, dass allein aus der Nennleistung des Motors, der Motorart und der Anlassart die Zulässigkeit des Anschlusses beurteilt werden kann. Eine solche Vereinfachung ist aber nur möglich, wenn sich die vereinfachten Anschlussbedingungen auf die am häufigsten vorkommenden Motorbetriebe und auf ein bestimmtes Verteilnetz beschränken.

b) Am häufigsten sind Motorbetriebe, bei welchen die Motoren eingeschaltet und dann längere Zeit ohne stark wechselnde Belastung laufen, d. h. also Motorbetriebe, bei welchen nur der Einschaltstromstoss eine Rolle spielt. Zwischen Einschaltstromstoss und Nennleistung des Motors bestehen nun ziemlich allgemein gültige Zuammenhänge; nach *Michaelis* [2] ist nämlich das Verhältnis q zwischen Einschaltleistung in kVA und Nennleistung in kW für 4polige Motoren:

Motorart	Verhältnis q kVA/kW
Einfachkäfig-Rotor	ca. 8
Vielnut- und Tiefnut-Rotor	ca. 7
Doppelkäfig-Rotor	ca. 6
gewickelter Rotor mit Zentrifugalanlasser	ca. 3,7
Schleifring-Rotor	ca. 1,3

Ob der Motor leer oder belastet anläuft, hat keinen Einfluss auf die Grösse des Einschaltstromes; bei belastet anlaufendem Motor dauert lediglich das Abklingen des Einschaltstromstosses etwas länger als beim leer anlaufenden Motor. Dagegen verändert sich das Verhältnis q mit der Polzahl der Motoren; die genannten Zahlen für q sind mit folgenden ungefähren Korrekturfaktoren p zu multiplizieren:

Polzahl	Korrekturfaktor p
2	1,25
4	1
6	0,85
8	0,75

Wenn mit P_n die Nennleistung in kW des Motors und mit U die Sternspannung in V bezeichnet werden, so gilt also allgemein für den Stromstoss I

$$I = p\,q\,\frac{10^3}{3\,U}\,P_n \qquad (5)$$

Werden die Motoren mit Käfigrotoren über eine Stern-Dreieck-Schaltung angelassen, so kann sich das Verhältnis q auf einen Drittel der genannten Werte verkleinern. Voraussetzung ist allerdings, dass im richtigen Moment von Stern auf Dreieck umgeschaltet wird. Mit gewöhnlichen Stern-Dreieck-Schaltern wird diese Voraussetzung kaum erfüllt, weil bereits kleine zeitliche Abweichungen vom günstigsten Schaltmoment genügen, um praktisch keine Verkleinerung des Stromstosses mehr zu bewirken. Eine sichere Verminderung des Stromstosses wird nur mit einer automatischen Stern-Dreieck-Schaltung erreicht. Es sollte deshalb überall dort, wo mit einer Verminderung des Stromstosses durch Stern-Dreieck-Anlass gerechnet wird, eine automatische Stern-Dreieck-Schaltung verlangt werden.

Man wird wohl keinen grossen Fehler machen, wenn man annimmt, dass die am häufigsten vorkommenden Motorbetriebe etwa einmal pro Stunde eingeschaltet werden, wenn man also $n = 1$ setzt. Ferner wird die Zahl der gleichartigen Motorbetriebe, die in Abschnitt 3 lit. b, näher umschrieben wurden, kaum über 10 liegen, so dass also allgemein $k = 10$ gesetzt werden kann. Da n und k in der Gleichung 4 nur mit der Potenz $^1/_4$ erscheinen, sind zudem Fehler bei diesen Schätzungen von keiner grossen Bedeutung.

Für die häufigsten vorkommenden Motoren gilt also:

$$0{,}08\,I_c \geqq 1{,}78\,p\,q\,\frac{10^3}{3\,U}\,P_n$$

c) Für welchen Teil des Versorgungsnetzes die vereinfachten Bedingungen gelten sollen, kann nicht mehr allgemein gültig angegeben werden; dies muss jedes Elektrizitätswerk selbst bestimmen. Dabei kann vom bestehenden Netzausbau ausgegangen werden, indem die Kurzschlußströme I_c für das ganze Gebiet bestimmt werden und dann die Sektoren festgelegt werden, in welchen nach der vereinfachten Regel Motoren angeschlossen werden dürfen. Es kann aber auch ein minimaler Kurzschlußstrom gewählt und danach das Netz ausgebaut werden. In der Praxis wird man wahrscheinlich einen Mittelweg einschlagen, indem die Kurzschlussströme des vorhandenen Netzes bestimmt werden und dann ein minimaler Wert so gewählt wird, dass mit wenigen Netzausbauten ein möglichst grosses Gebiet erhalten wird, in welchem die vereinfachten Anschlussbedingungen angewendet werden dürfen.

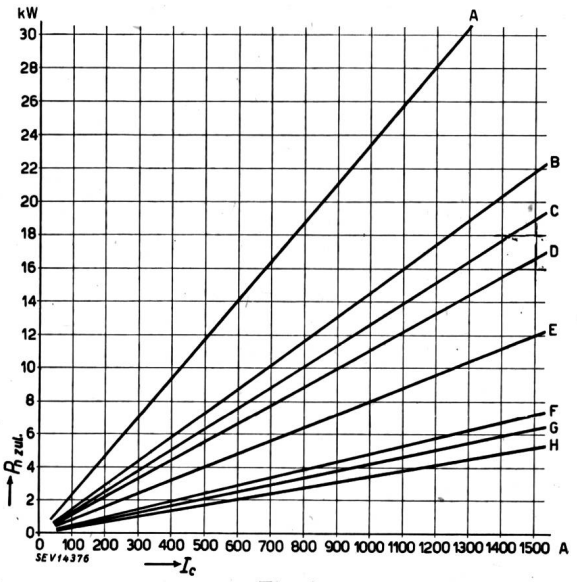

Fig. 6

Maximal zulässige Nennleistung ($P_{n\,zul.}$) von 4poligen Motoren in Abhängigkeit des Zuleitungs-Kurzschlußstromes (I_c)
(380/220-V-Netz)

A Schleifring-Rotor
B Doppelkäfig-Rotor, autom. Stern-Dreieck-Anlasser
C Vielnut- und Tiefnut-Rotor, autom. Stern-Dreieck-Anlasser
D Einkäfig-Rotor, autom. Stern-Dreieck-Anlasser
E Gewickelter Rotor mit Zentrifugalanlasser
F Doppelkäfig-Rotor, direkt eingeschaltet
G Vielnut- und Tiefnut-Rotor, direkt eingeschaltet
H Einkäfig-Rotor, direkt eingeschaltet

In Fig. 6 sind für verschiedene Netzkurzschlussströme die in einem 380/220-V-Netz maximal zulässigen Nennleistungen von 4poligen Motoren aufgetragen.

5. Vergleich der Anschlussbedingungen

Die von einigen mittleren und grossen Werken in der Regel zugelassenen Motorleistungen sind in Tabelle I zusammengestellt. Neben diese Werte wurden in Klammern die Motorleistungen eingetragen, die zugelassen werden sollten, wenn die zulässige Leistung für 4polige Einfachkäfigrotoren von den betreffenden Werken richtig gewählt worden ist.

Diese Zusammenstellung lässt allerdings einen auffallend grossen Unterschied in diesen zulässigen Leistungen für Einfachkäfigrotoren erkennen. Dieser Unterschied kann nicht durch den Zustand des Verteilnetzes begründet sein; ein Ueberlandwerk t lässt z. B. eine Leistung von 6 kW zu, wogegen ein städtisches Werk b mit einem guten Kabelnetz nur 1,5 kW zulässt. Diese Tabelle zeigt ferner, dass verschiedene Werke die Stromverdrängungs- Rotoren den Einkäfigrotoren gleich setzen, was aber technisch nicht gerechtfertigt ist. Andere Werke machen keinen Unterschied zwischen Vielnut- und Tiefnut-Rotoren und Doppelkäfig-Rotoren, was noch verständlich ist, weil die Unterschiede in den zulässigen

Zulässige Motorenleistung in kW bei verschiedenen Elektrizitätswerken
(Werte in Klammern entsprechen den hier gemachten Vorschlägen)

Tabelle I

Werk	Einfachkäfig-Rotor		Vielnut- und Tiefnut-Rotor		Doppelkäfig-Rotor		Gewickelt. Rotor mit Zentrifug. anlasser	Schleifring Rotor	Bemerkungen
	direkt eingeschaltet	Stern-Dreieck-Anlauf	direkt eingeschaltet	Stern-Dreieck-Anlauf	direkt eingeschaltet	Stern-Dreieck-Anlauf			
a	1,5	3 * (4,5)	1,5 (1,7)	3 * (5,1)	1,5 (2)	3 * (6)	? (3,2)	? (9,3)	*) Wenn automatischer Stern-Dreieck-Anlauf: 4,5 kW.
b	1,5	2,2 (4,5)	1,5 (1,7)	2,2 (5,1)	1,5 (2)	2,2 (6)	3,8 * (3,2)	3,8 * (9,3)	*) Einschaltstrom muss kleiner als das 2,5fache des Nennstromes sein, dann auch grössere Motoren zulässig.
c	1,5	3 (4,5)	1,5 (1,7)	3 (5,1)	1,5 (2)	3 (6)	40 (3,2)	40 (19,3)	
d	2	4 (6)	2 (2,3)	4 (6,9)	2 (2,7)	4 (8,1)	? (4,3)	? (12,2)	
e	2	4 (6)	2 (2,3)	4 (6,9)	2 (2,7)	4 (8,1)	15 (4,3)	15 (12,2)	Einschaltstrom darf nicht grösser als das 2fache des Nennstromes sein.
f	2	5 (6)	2 (2,3)	5 (6,9)	2 (2,7)	5 (8,1)	? (4,3)	? (12,2)	
g	2,2	4 (6,6)	3,3 (2,5)	5 (7,5)	3,3 (2,9)	5 (8,7)	? (4,8)	? (13,5)	Einschaltstrom muss kleiner als das 2,5fache des Nennstromes sein.
h	2,2	3 (6,6)	2,2 (2,5)	3 (7,5)	2,2 (2,9)	3 (8,7)	? (4,8)	? (13,5)	
i	2,2	4 (6,6)	2,2 (2,5)	4 (7,5)	2,2 (2,9)	4 (8,7)	? (4,8)	? (13,5)	
k	2,2	4 (6,6)	2,2 (2,5)	4 (7,5)	2,2 (2,9)	4 (8,7)	? (4,8)	? (13,5)	
l	3	7,5 * (9)	4,5 (3,4)	10 * (10,2)	4,5 (4)	10 * (12)	†) (6,5)	†) (18,5)	*) Wenn autom. Stern-Dreieck-Anlauf, dann 30 kW zulässig. †) q muss kleiner als 3,8 kVA/kW sein.
m	3 *	6 (9)	3 * (3,4)	6 (10,2)	3 * (4)	6 (12)	? (6,5)	? (18,5)	*) Bei Anlauf unter Last nur 1,5 kW zulässig.
n	3	4,5 (9)	3 (3,4)	4,5 (10,2)	3 (4)	4,5 (12)	? (6,5)	? (18,5)	
o	3	3,8 (9)	3 (3,4)	3,8 (10,2)	3 (4)	3,8 (12)	? (6,5)	? (18,5)	
p	3	8 (9)	3 (3,4)	8 (10,2)	3 (4)	8 (12)	? (6,5)	? (18,5)	Einschaltscheinleistung darf nicht grösser als 16 kVA sein.
q	3	3,8 (9)	3 (3,4)	3,8 (10,2)	3 (4)	3,8 (12)	? (6,5)	? (18,5)	
r	3,8	* (11,4)	15 (4,3)	* (12,9)	15 (5)	* (15)	(8,2)	(23,5)	*) Keine besondere Bestimmungen.
s	3,8	3,8 (11,4)	3,8 (4,3)	3,8 (12,9)	3,8 (5)	3,8 (15)	? (8,2)	? (23,5)	
t	6	6 (18)	8 (6,9)	8 (20,7)	8 (8)	8 (24)	? (13)	? (37)	Für grössere Motoren muss die Einschaltscheinleistung kleiner als das 3,8fache der Nennleistung sein.
u	*	*	*	*	*				*) Einschaltstrom muss kleiner als 30 A sein.
Vorschlag	x	$3\,x$	$\frac{8}{7}\,x$	$\frac{24}{7}\,x$	$\frac{8}{6}\,x$	$\frac{24}{6}\,x$	$\frac{8}{3{,}7}\,x$	$\frac{8}{1{,}3}\,x$	Stern-Dreieck-Anlauf muss automatisch erfolgen. Grössere Motoren oder Motoren mit häufig schwankenden Belastungen oder Motoren ausserhalb des bezeichneten Gebietes werden nur angeschlossen, wenn $0{,}08\ I_c \geqq I\,(k\,n)^{1/4}$

Nennleistungen nur klein sind. Andererseits gibt es Werke (z. B. Werk r), die gegenüber den Einkäfig-Rotoren für die Stromverdrängungs-Rotoren viel zu grosse Nennleistungen zulassen. Bei der Stern-Dreieck-Schaltung wird sozusagen von niemandem der dreifache Wert des direkten Einschaltens gestattet, offenbar weil man weiss, dass die Stern-Dreieck-Schaltung von Hand eine solche Erhöhung der Lei-

stung nicht rechtfertigt. Es sind aber nur wenige Werke die dann konsequenterweise die Stern-Dreieckschaltung von Hand der direkten Einschaltung gleichsetzen. Für gewickelte Rotoren mit Zentrifugalanlassern oder Schleifringen gibt sozusagen kein Werk in der Regel geltende Höchstleistungen an.

Es scheint, dass viele Werte mehr gefühlsmässig als gestützt auf technische Ueberlegungen festgesetzt und dass öfters die Anschlussbedingungen eines Werkes einfach von einem andern Werk übernommen wurden.

Eine gründliche Ueberprüfung der betriebstechnischen Grundlagen, welche die zulässigen Höchstleistungen bestimmen, dürfte deshalb angezeigt sein. Nach den gemachten Darlegungen, die dazu einen Weg zeigen, sollten die Anschlussbedingungen ungefähr folgende grundsätzliche Form haben:

1. Drehstrom-Asynchronmotoren werden nur dann zum Anschluss zugelassen, wenn die Bedingung

$$0{,}08\, I_c \geqq I\,(k\,n)^{1/4}$$

erfüllt ist.

2. In den Gebieten . . . . . dürfen vier- und mehrpolige Drehstrom-Asynchronmotoren, deren Belastung häufig schwankt, nur angeschlossen werden, wenn der Einschaltstrom nicht grösser als y A ist, d. h. in der Regel bis zu folgenden Nennleistungen in kW:

Einfachkäfig-Rotoren		x
Stromverdrängungs-Rotoren . .	1,2	x
Rotoren mit Zentrifugalanlasser	2	x
Schleifring-Rotoren	6	x

Werden die Motoren über eine automatische Stern-Dreieck-Schaltung angelassen, so erhöhen sich die zulässigen Nennleistungen für Einfachkäfig- und Stromverdrängungs-Rotoren auf den dreifachen Wert.

Literatur

[1] *Dünner, E.:* Anlauf und Betriebsverhältnisse der Induktionsmotoren bei Verwendung verschiedener Rotorarten. Bull. SEV Bd. 25(1934), Nr. 20, S. 525...531.

[2] *Michaelis, P.:* Neue Entwicklungslinien im Kleinmaschinenbau. Bull. SEV Bd. 32(1941), Nr. 4, S. 60...65.

[3] *Anschütz, H.:* Ueber die Glättung der Lichtschwankungen von Wechselstrom-Glühlampen. Elektrotechn. Z. Bd. 55 (1934), Nr. 1, S. 10...12.

[4] *Werdenberg, W.:* Zulässige Spannungsschwankungen in Licht-Netzen. Bull. SEV Bd. 26(1935), Nr. 22, S. 609...612.

[5] *Keller, Robert:* Das Flimmern des elektrischen Lichtes. Ursachen und Abhilfsmöglichkeiten. Bull. SEV Bd. 32 (1941), Nr. 25, S. 717...721.

[6] *Altherr, R.:* Der Anschluss von Widerstands-Schweissmaschinen. Bull. SEV Bd. 36(1945), Nr. 12, S. 361...371.

Adresse des Autors:
W. Werdenberg, Direktor des Elektrizitätswerkes der Stadt Winterthur.

CIGRE
Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques à haute tension
11. Session, Paris 1946

061.3:621.3

Die CIGRE blickte an der 11. Session, die vom 27. Juni bis 6. Juli 1946 nach alter Tradition in Paris stattfand, auf 25 Jahre ihres Bestehens zurück. Sie war unter den Auspizien der Commission Electrotechnique Internationale, die schon seit 1904 besteht, im März 1921 gegründet worden. Seither hält sie alle zwei Jahre ihre Kongresse ab; die Reihe wurde nur durch den Krieg unterbrochen.

Die CIGRE befasst sich mit folgenden Gegenständen:

1. Bau des Materials zur Erzeugung, Umformung und Unterbrechung elektrischer Energie.
2. Konstruktion, Isolation und Unterhalt der Freileitungen und Kabel.
3. Betrieb, Schutz und Zusammenarbeit der Netze.

Sie will

die Neuerungen bekannt geben und unter den Spezialisten der verschiedenen Länder zur Diskussion stellen,

auswählen zwischen dem, was gut, mittelmässig oder schlecht ist,

die wirklichen Fortschritte festlegen.

In den Schriften der CIGRE heisst es: «Elle tend donc finalement vers ce but unique: ‚Comment faire mieux travailler l'argent' et, bien qu'on n'y parle pas de finances, elle sert ainsi directement les intérêts financiers de ses participants.»

Die Arbeitsmethoden und das Programm der CIGRE blieben sich seit 1921 immer gleich. Es darf erwähnt werden, dass der Unterhaltungsteil stets auf ein Minimum reduziert war: Von 10 Tagen jeder Session sind nur zwei nicht der Arbeit gewidmet: ein Sonntag und ein Werktag für technische Besichtigungen und die verwaltungstechnischen Versammlungen.

Wenige Wochen nach dem Waffenstillstand (8. Mai 1945) wurden die Vorarbeiten für die Session 1946 aufgenommen. Im November 1945 versammelte sich der Conseil in Paris mit einer Reihe von Experten, um die technischen Fragen, die an der Session 1946 in den Vordergrund gerückt werden sollten, festzulegen.

Wie sehr die rasche Aufnahme der Arbeiten überall geschätzt wurde, zeigt der unerwartete Erfolg der Session 1946: 877 Delegierte aus allen Ländern hatten sich eingeschrieben, eine Zahl, die bisher noch nie erreicht worden war. Die Schweiz war an dieser Zahl mit 88 Einschreibungen beteiligt, nach Frankreich (397), Grossbritannien (117) und Belgien (108).

107 Berichte waren eingereicht worden; die Schweiz stand mit 18 an zweiter Stelle, nach Frankreich (20), gefolgt von Grossbritannien (17), Belgien (14), Schweden (13), Vereinigte Staaten (7).

81 % der Berichte wurden vor der Session (am 5. Juni) allen Teilnehmern zugestellt; die übrigen, deren Manuskripte zu spät eingereicht wurden, konnten in Paris in Empfang genommen werden. Bedenkt man, dass die meisten dieser Berichte erst im April eingereicht werden konnten, so muss die Uebersetzung ins Englische oder Französische und der zweisprachige Druck all dieser Berichte innerhalb nur gut eines Monates als besondere Leistung des Generalsekretariates der CIGRE und dessen Mitarbeiter anerkannt werden.

In der Revue Générale de l'Electricité erschien ein Auszug aus allen Berichten in französischer Sprache. Die Redaktion dieser Zeitschrift hat uns freundlich erlaubt, eine deutsche Uebersetzung ihrer Auszüge im Bulletin des SEV erscheinen zu lassen. Wir beginnen damit in dieser Nummer und möchten besonders betonen, dass wir hier nur einen allgemeinen Ueberblick geben können; *vor allem sind diese von Dritten gemachten und übersetzten Auszüge für die Autoren nicht verbindlich.* Für alle Einzelheiten und zu genauem Studium müssen wir auf die offizielle Veröffentlichung verweisen. Die ersten beiden Bände des Compte-Rendu sind Ende April und anfangs Mai erschienen; der dritte Band folgt bald. Alle drei Bände sind beim Sekretariat der CIGRE, 112 Bd. Haussmann, Paris 8°, zu beziehen, zum Preise von fanz. Fr. 3500.—.