

# Elektrotechnik und Maschinenbau

Zeitschrift des Elektrotechnischen Vereines in Wien

Schriftleitung: Ing. A. Grünhut

Nachdruck nur mit Bewilligung der Schriftleitung, auszugsweise Wiedergabe nur mit Angabe der Quelle „E. u. M. Wien“ gestattet.

Heft 9

Wien, 26. Februar 1933

51. Jahrgang

## Motorschutzfragen.

Von Ob.-Ing. H. Franken, Köln-Bayenthal.

Auf dem Gebiete des Motorschutzes<sup>1)</sup> sind grundsätzliche konstruktive Neuerungen in letzter Zeit nicht mehr zu verzeichnen gewesen. Bei allen Herstellungsfirmen hat man die Einzelheiten weiter durchgebildet. Die Geräte sind preiswerter geworden. Die Herstellung des klinkenlosen Motorschutzschalters, begonnen von der Firma F. Klöckner vom Jahre 1922 in Form des Ölschützes mit thermischem Auslöser, ist jetzt von fast allen namhaften Firmen aufgenommen worden. Während über die Weiterentwicklung der Konstruktion, abgesehen von einer ständigen Verkleinerung der Abmessungen, ferner der weitgehenden Verwendung von Isolierstoff und der damit einhergehenden Verbilligung nicht viel zu berichten ist, ist es notwendig, eine Reihe von in letzter Zeit aufgetauchten Fragen zu behandeln.

### Phasenzahl der Schutzauslöser.

Verwendet man in einer Anlage nur zweiphasige Überstromauslöser, dann sind zahlreiche Möglichkeiten vorhanden, die den Schutzschalter wirkungslos machen, zum Beispiel beim Vorhandensein eines Vierleiternetzes der mögliche Übergang von Strömen durch die ungeschützte Phase in den Nulleiter, ferner die Überlastung einer Phase hinter einem in Zickzack geschalteten Transformator bei Unterbrechung einer Hochspannungsleitung<sup>2)</sup>, außerdem bei Parallellauf verschieden großer bzw. verschieden belasteter Motoren am einphasigen Netz. Hierbei kann die nicht mehr vom Netz gespeiste Phase der kleineren Motoren durch die entsprechende eines größeren Motors unter Überlastung von dessen Wicklung gespeist werden. Die Leitsätze des VDE über Motorschutzschalter empfehlen deshalb die Verwendung dreiphasiger Auslöser in Vierleiternetzen. Man sollte aber im Interesse einer möglichst lückenlosen Schutzwirkung grundsätzlich dreiphasige Auslöser verwenden.

### Spezialkurzschlußläufer.

Die handelsüblichen Motorschutzgeräte arbeiten alle in Abhängigkeit von der Stromstärke, das heißt also sie schalten ab, wenn die Normalstromstärke längere Zeit überschritten wird. Eine

Beschädigung der Motoren kann aber außer der Stromstärke noch durch die Spannung zustande kommen, indem bei erhöhter Netzspannung zusätzliche Eisenverluste auftreten. Dieser Umstand wird vom Motorschutzschalter nicht bemerkt. Das gleiche gilt für Frequenzabweichungen. Aber auch die reinen Ohmschen Verluste können noch unangenehme, nicht vom Schutzschalter erfaßte Wirkungen hervorrufen, und zwar dann, wenn die zweite Komponente dieser Verluste, nämlich der Widerstand, geändert wird. Die normalen Widerstandserhöhungen der Wicklungen, hervorgerufen durch den Nennstrom und etwaige Überströme, sind bei der Projektierung des Motors berücksichtigt, nicht aber die bei zahlreichen modernen Maschinen im Anlauf automatisch bewirkten Widerstandserhöhungen. Hierher gehören die Schleifringläufermotoren mit eingebauten Widerständen und durch die Fliehkraft gesteuerten Kurzschließen. Bei vorgeschaltetem Widerstand erhalten diese Läufer, insbesondere ihre Widerstände, verhältnismäßig zum Dauerbetrieb große Wärmemengen bei schlechter Kühlung. Wenn ein solcher Motor nicht anlaufen kann, sinkt diese hohe Belastung auch nicht ab. Der Strom braucht dabei aber den Nennstrom des Motors gar nicht zu überschreiten. Der Motorschutzschalter kann also nicht abschalten. Auch selbst wenn er abschaltet, ist meist die zulässige Belastungszeit des Widerstandes überschritten. Die Gefahr für diese Maschinen ist also am größten, wenn sie auf ein einphasiges Netz eingeschaltet werden, weil dann ein Anlauf überhaupt unmöglich ist. Hier kann man mit Schutzschaltern in Sonderausführung gewisse Verbesserungen schaffen<sup>3)</sup>.

Diese Motoren verschwinden immer mehr vom Markt in demselben Maße, in dem der Kurzschlußläufermotor Boden gewinnt. Es wird aber vielfach übersehen, daß bei Kurzschlußläufermotoren in den heute üblichen Sonderausführungen ähnliche Verhältnisse vorliegen. Diese Motoren besitzen zwar keine Widerstände, die von der Fliehkraft abgeschaltet werden, sondern ihre Läuferwiderstände ändern sich ganz selbsttätig mit der Drehzahl<sup>4)</sup>. Während der ganzen Anlaufperiode besitzen diese Motoren einen erheblich

<sup>1)</sup> H. Franken, E. u. M., 48 (1930) S. 181.

<sup>2)</sup> H. Franken, Schutz von Motoren hinter Transformatoren in Zickzackschaltung, ETZ 51 (1930) S. 176; H. Franken, Das Verhalten der Drehstrommotoren bei einphasigem Lauf, E. u. M. 47 (1929) S. 1127.

<sup>3)</sup> Siehe ETZ 50 (1929) S. 20, Klöckner Motorschutzschalter für besondere Zwecke.

<sup>4)</sup> R. Baffrey, E. u. M. 46 (1928) S. 749; M. Krondl, E. u. M. 49 (1931) S. 161.

höheren Läuferwiderstand als während des Betriebes. Kommt ein solcher Motor nicht in Bewegung, dann kann der Läufer unter Umständen erhebliche Übertemperaturen annehmen, ehe der Motorschutzschalter abschaltet. Ein Glück dabei ist, daß die meisten Motorschutzschalter einen stillstehenden Motor verhältnismäßig früh abschalten (kleine Zeitkonstante).

Das Kurvenblatt (Abb. 1) zeigt die Verhältnisse beim Schutz von Spezial-Kurzschlußläufern. Kurve 1 gibt die Abschaltzeiten eines Klöckner-Motorschutzauslösers der Gattung T I an unter der Voraussetzung, daß der Relais-Nennstrom gleich dem Motornennstrom ist (Zeitkonstante etwa 60 sec). Die Kurve gilt für die Belastung aus dem kalten Zustand.

Kurve 2 zeigt die Belastungsfähigkeit der Ständerwicklung. Ungefähr dieselben Werte weist die Läuferwicklung auf, wenn der Motor im Be-

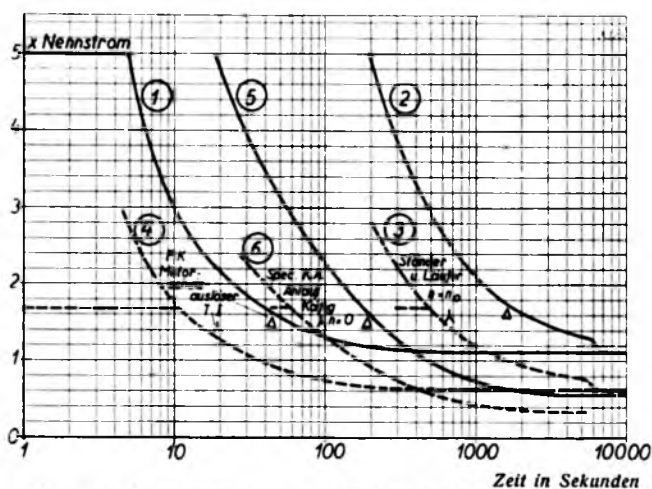


Abb. 1. Belastungskurven für Spezial-Kurzschlußläufer bei  $\Delta$ -Schaltung und Charakteristik des Motorschutzschalters.

- 1 Auslösecharakteristik des Motorschutzschalters, Relais-Nennstrom = Motornennstrom;
- 2 zulässige Erwärmungszeiten des Ständers und des Läufers bei Betriebsdrehzahl und Dreieckschaltung;
- 3 desgleichen bei Sternschaltung (Stern-Dreieckanlauf);
- 4 Auslöser des Motorschutzschalters Relais-Nennstrom =  $\frac{\text{Motornennstrom}}{\sqrt{3}}$ ;
- 5 zulässige Erwärmungszeit des Anlaufkäfigs bei Stillstand und Dreieckschaltung;
- 6 desgleichen bei Sternschaltung.

trieb ist. Schaltet man aber einen derartigen Motor mit Sterndreieckschalter ein, dann ist, genau so wie bei jedem normalen Kurzschluß- oder Schleifringläufermotor, auf der Sternstellung die Belastungsfähigkeit des Motors eine andere. Der zulässige Dauerstrom geht auf den Wert  $1/\sqrt{3} = 0,58$  zurück. Bei gleichem Überstrom im Verhältnis zum Motornennstrom werden die zulässigen Belastungszeiten entsprechend niedriger. Hiefür gilt Kurve 3, und zwar ebenfalls für Ständer und Läufer. Das ist auf den ersten Blick verwunderlich, weil sich doch bei der Sterndreieckschaltung im Läufer gar nichts ändert. Es ist aber zu

beachten, daß bei der Sternschaltung und 0,58 mal Nennstrom im Ständer die gleichen Amperewindungen herrschen, wie bei Dreieckschaltung und Normalstrom, das heißt in beiden Fällen wird der Läuferstrom dem Normalstrom entsprechen. Infolgedessen erreicht der Läufer bei Sternschaltung des Ständers mit 58 vH des Nennstromes im Ständer ebenfalls seine Grenztemperatur. Die Belastungsfähigkeit des Läufers bei umlaufendem Motor ist mithin ebenfalls annähernd durch Kurve 3 gegeben. Ein normaler Auslöser nach Kurve 1 schützt einen derartigen Motor nicht mehr hinreichend, weil die Grenzströme des Motorschutzschalters erheblich höher liegen als die der Motorwicklung. Beim Einschalten ist keine Gefahr vorhanden, weil bei einem Auslöser geringer Zeitkonstante die Abschaltzeit kleiner ist, als die zulässige Belastungszeit des Motors. Wohl aber würde ein solcher Motor verbrennen, wenn der Motor anläuft und der Schalter versehentlich in der Sternstellung stehen bleibt oder mehrere Einschaltungen hintereinander ohne Anlaufmöglichkeiten erfolgen.

Abhilfe schafft hier ebenfalls die bereits früher vorgeschlagene Verwendung von Auslösern mit einem Gleichstrom = Phasenstrom, die mit der Wicklung in Stern-Dreieck umgeschaltet werden. Charakteristik nach Kurve 4. Es ist ersichtlich, daß die Grenzströme von 3 und 4 wieder zusammenfallen und die Auslösezeiten unter den zulässigen Belastungszeiten der Wicklung liegen. Bei dieser Anordnung ist also ein vollwertiger Schutz in beiden Schaltstellungen gewährleistet<sup>5)</sup>.

Bei Stillstand des Motors ändern sich jedoch die Verhältnisse grundlegend. Man hat den Einschaltstrom herabgesetzt, ohne dabei an Drehmoment einzubüßen, ja im Gegenteil man hat versucht, trotzdem noch das Anzugsdrehmoment zu erhöhen. Diese Wirkungen sind nur durch eine wesentliche Erhöhung des Läufer-Wirkwiderstandes zu erzielen. Rechnet man, daß die Erhöhung bei Stillstand auf das Vierfache erfolgt, dann ist nur noch die Hälfte des Normalstromes im Läufer dauernd zulässig. Außerdem wird die Wärmeentwicklung in der Anlaufkäfigwicklung konzentriert, so daß bei hohen Strömen leicht Wärmestauungen auftreten und sich zunächst nicht die ganze Masse des Läufers an der Wärmeaufnahme und -Abgabe beteiligt. Die Kurve 2 (Abb. 1) ändert sich in Kurve 5. Hierbei ist also ein Auslöser nach Kurve 1 nicht mehr in der Lage, den Schutz restlos zu übernehmen. Für die Praxis genügt der Schutz jedoch wohl vollständig, weil der Schnittpunkt von Kurve 1 und 5 ungefähr beim Nennstrom liegt und beim Einschalten dieser Motoren auch bei gestörtem (einphasigem) Netz immer Ströme weit über dem Nennstrom auftreten. Bei den meist üblichen Einschaltströmen von etwa 4 bis 5fachem Nennstrom verhalten sich die Auslösezeiten etwa wie 1 : 4, so daß noch eine nennenswerte Reserve vorhanden ist. Das Motorschutzrelais mit dem höheren Nennstrom kühlt

<sup>5)</sup> Siehe E. u. M. 48 (1930) S. 182, Abb. 6.

sich natürlich nicht im gleichen Maße ab, wie der Motor mit niedrigerem Grenzstrom, aber selbst wenn man von der Kühlung des Motors vollständig absieht, sind zahlreiche Einschaltungen möglich, ehe die Läufer-temperatur an die Grenztemperatur herankommt. Oft wird sie mit Rücksicht auf die niedrigeren Spitzentemperaturen bei kleiner Relais-Zeitkonstante (s. später Abb. 4, 5 und 6) gar nicht erreicht.

Schwieriger werden die Verhältnisse, wenn dieser Motor in Sternschaltung eingeschaltet wird. Dann richtet sich die Belastungsfähigkeit des Motors nach Kurve 6 (Abb. 1) und die Auslösezeiten des Auslösers nach Kurve 1 kommen den zulässigen Belastungszeiten bedenklich nahe. Die Folge davon ist, daß, sobald mehrere Einschaltungen hintereinander stattfinden, die Grenztemperatur des Läufers leicht überschritten wird. Auch in diesem Falle schafft ein auf den Phasenstrom abgestimmtes Motorschutzrelais nach Kurve 4, das mit der Wicklung in Stern umgeschaltet wird (Abb. 2), praktisch hinreichende Abhilfe.

Der Vergleich der Kurven 4 und 6 zeigt deutlich, daß nach der ersten Einschaltung und Abschaltung durch das Relais noch eine erhebliche

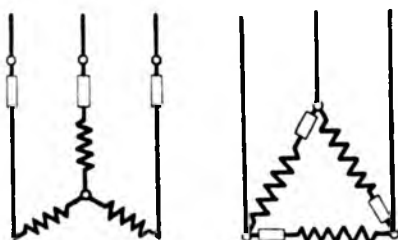


Abb. 2. Lage der Schutzauslöser zu der Motorwicklung bei Sterndreieckschaltern.

Reserve bis zum Erreichen der Grenzzeiten entsprechend Kurve 6 vorhanden ist. In dem Bereich, in dem sich die Kurven schneiden, arbeitet der Motor praktisch nicht mehr. Die Erfahrung hat gezeigt, daß diese Methode für die Praxis auch bei Doppelkäfigläufern mit verhältnismäßig hoher spezifischer Belastung der Anlaufwicklung bei Stillstand vollständig ausreicht. Die Methode hat den Vorzug, daß sie keinerlei umständlicher zusätzlicher Mittel bedarf. Es ist also nicht notwendig, wie gelegentlich vorgeschlagen, beim Einschalten auf einphasiges Netz durch besondere Ausbildung des thermischen Auslösers dessen Charakteristik zu verändern. Bei Sterndreieckschaltung bietet sie weiterhin den Vorzug, daß ein Schutz gegen Dauerüberlastung auch bei dem versehentlich in Sternschaltung weiter laufenden Motor gewährleistet ist. Die Schutzwirkung nach dem beschriebenen Verfahren gründet sich in der Hauptsache darauf, daß die Grenzströme von Schutzauslöser und Wicklung möglichst nahe gebracht werden, wobei der Schutzauslöser eine Zeitkonstante aufweist, die unter der der Wicklung und ihrer Teile liegt, so daß nach dem in den nachfolgenden Abschnitten über die Beziehung zwischen Zeitkonstante des Schutzauslösers und des Motor gesagten die Schutzwirkung gewährleistet ist. Die beim Schutz eines Stromverbrauchers höherer Zeitkonstante auftretenden Ver-

minderungen der Temperaturspitzen gegenüber den Dauertemperaturen in Abhängigkeit von der Belastungszeit sind geeignet, kleine Differenzen in den Grenzstromstärken auszugleichen.

Abb. 3 zeigt das Ergebnis eines praktischen Versuches. Bei Kurve 1 wurde der Motor dreiphasig unmittelbar eingeschaltet, jedoch am Anlauf durch Abbremsen verhindert. Das Relais war für den zulässigen Motornennstrom eingerichtet. Die Temperatur erreicht die zulässige Grenztemperatur des Motorläufers nicht. Wurde dagegen der Motor mit Stern dreieckschalter angelassen und ließ man den Schalter auf der Sternstellung stehen, wobei dem Motor das gleiche Relais wie bei (1) vorgeschaltet war, dann stieg die Temperatur nach Kurve 2 (Abb. 3) über die Grenztemperatur hinaus. Bei der gleichen Anordnung aber Verwendung eines Relais für Phasenstrom, also nur  $1/\sqrt{3}$  mal so stark, blieb nach Kurve 3 die Temperatur wieder unter der Grenztemperatur des Läufers. Bei höheren Zeitkonstan-

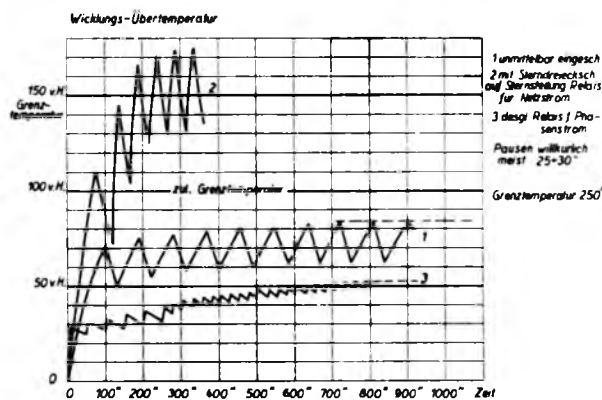


Abb. 3. Temperaturzunahme des Anlaufkäfigs von Spezial-Kurzschlußläufermotoren bei Stillstand und dreiphasigem Netz unter Vorschaltung eines Klöckner-Motorschutzschalters mit Relais TI.

ten des Motorschutzschalters würden die Spitzentemperaturen in jedem Falle höher sein.

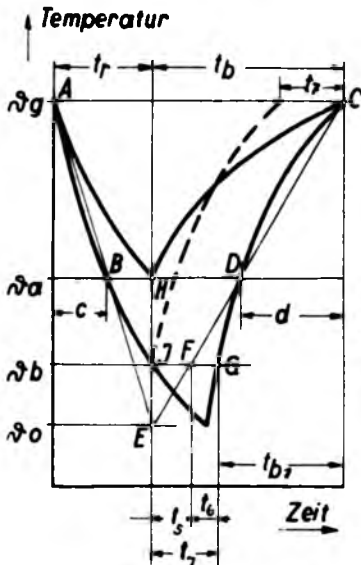
### Einschränkung der Schutzwirkung bei wechselnder Belastung.

Ein Motorschutzschalter für Dauerbetrieb ist auch imstande, bei wechselnder Belastung den Schutz der Motoren zu übernehmen unter der Voraussetzung, daß die Stromstärke im Auslöser im gleichen Verhältnis ansteigt, wie die Motorstromstärke. Ausgeschlossen sind also die Geräte, deren Auslöser über Transformatoren arbeiten; denn hierbei steigert sich die Wärmeentwicklung des Auslöseorgans nicht im gleichen Maße wie beim Motor. So zum Beispiel wird ein Motorschutzschalter mit Stromwandler, sobald er in die Nähe des Sättigungsgebietes kommt, keine wesentliche Steigerung seiner Stromaufnahme mehr erfahren. Es ist dann ohne weiteres klar, daß die Schutzwirkung erheblich eingeschränkt ist. Das gleiche gilt aber auch für die mittelbar beheizten Auslöser, bei denen Wärmestauungen auftreten, die eine verzögerte Abschaltung zur Folge haben. Alle Auslöser dagegen, bei denen das Auslöse-

element (Dehnungsstreifen o. dgl.) unmittelbar vom Netzstrom durchflossen wird, sind in der Lage, auch bei wechselnder Belastung zu schützen<sup>6)</sup>. Es wird vielfach behauptet, daß die wesentlich kleineren Zeitkonstanten der markt-gängigen Schutzauslöser im Verhältnis zu denen der Motoren die Schutzwirkung beeinträchtigen. Das ist nicht der Fall, es erfolgt höchstens eine zu frühe, dagegen niemals eine zu späte Abschaltung.

### Die Zeitkonstante des Motorschutzauslösers und die Schutzwirkung.

Die kleine Zeitkonstante des Motorschutzschalters ist aus mancherlei Gründen vorzuziehen; denn der Motorschutzschalter hat nicht nur, wie sein Name sagt, den Motor zu schützen, sondern muß auch in den meisten Fällen den Schutz der Leitungen mit übernehmen und die Leitung hat eine erheblich niedrigere Zeitkonstante als der Motor<sup>7)</sup>. Auch sind die Motoren nicht gleichmäßig in ihrem Aufbau. Es gibt Wicklungsteile, die sich bei hohen Belastungen verhältnismäßig stärker erwärmen, weil Wärmestauungen auftreten, zum



$$\frac{c}{t_r} = \frac{d}{t_b} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$t_{b1} = t_b - t_r$$

$$t_{b1} < t_b$$

Abb. 4. Verhalten eines Motorschutzschalters kleiner Zeitkonstante  $T_1$  bei einem Stromverbraucher größerer Zeitkonstante  $T_2$ .

Beispiel bei den vorher behandelten Spezialkurzschlußläufern. Alle diese Schwierigkeiten überwindet der Motorschutzschalter mit kleiner Zeitkonstante. Auch wird von den Motoren, abgesehen von ganz wenigen Fällen, eine größere Überlastungsfähigkeit nicht gefordert, als diese Geräte zulassen. Aus diesen Gründen hat sich der Motorschutzschalter kleiner Zeitkonstante fast allgemein durchgesetzt.

Nachstehend soll der ihm gelegentlich gemachte Vorwurf widerlegt werden, infolge der

<sup>6)</sup> A. Cohn, ETZ 51 (1930) S. 233; E. u. M. 48 (1930) S. 1113.

<sup>7)</sup> H. Franken, E. u. M. 48 (1930) S. 813; A. Vincze, E. u. M. 49 (1931) S. 201. In diesen Arbeiten finden sich Grenzwerte für die Zeitkonstante der Motorschutzschalter. Die hohen Werte stützen sich auf die REM. Die Praxis hat sich jedoch nach diesen hohen, noch zulässigen Werten nicht gerichtet, sondern arbeitet vorzugsweise mit kleineren Zeitkonstanten.

kleinen Zeitkonstante zu hohe Wicklungstemperaturen zuzulassen. Erwärmung und Abkühlung eines Körpers folgen bekanntlich einer Exponentialkurve, und zwar derart, daß bei relativ gleichen Temperaturen die Zeiten den Zeitkonstanten, also dem Verhältnis wärmeaufnahmefähiger Masse zu wärmeabgebender Oberfläche, proportional sind. Alle gleichwertigen Zeitabschnitte stehen in diesem Verhältnis. Außerdem ist zu beachten, daß die Erwärmung zunächst schnell und dann immer langsamer vonstatten geht. Das gleiche gilt von der Abkühlung, die ebenfalls zunächst schnell und dann immer langsamer vonstatten geht. Wenn ein Körper, zum Beispiel ein Motor nach Abb. 4, in der Zeit  $t_r$  sich von der Grenztemperatur  $\vartheta_g$  auf die Temperatur  $\vartheta_a$  abkühlt, dann ist bei einer bestimmten Überlastung wiederum eine Belastungszeit  $t_b$  zulässig, damit die Grenztemperatur  $\vartheta_g$  wieder erreicht wird. Hat das zugehörige Motorschutzrelais eine kleinere Zeitkonstante, dann wird es die Temperatur  $\vartheta_a$  bereits in der Zeit  $c$  erreichen, wobei nach dem einleitend Gesagten

$$c/t_r = T_1/T_2$$

( $T_1$  Zeitkonstante des Schutzauslösers,  $T_2$  jene des Motors) ist. Das gleiche gilt für die Erwärmungskurve des Relais, die gleichzeitig mit der des Motors wieder die Grenztemperatur  $\vartheta_g$  erreicht. Das Relais wird von der Temperatur  $\vartheta_a$  auf  $\vartheta_g$  schon in der Zeit  $d$  erwärmt werden, wobei  $d/t_b$  sich wiederum verhält wie  $T_1/T_2$ . Verbindet man die Punkte A und B sowie die Punkte C und D mit einander, dann wird der Schnittpunkt E auf der Senkrechten im Abstand  $t_r$  liegen. Daß der Schnittpunkt auf diese Linie fallen muß, geht aus der Ähnlichkeit der verschiedenen Dreiecke ohne weiteres hervor. Diesem Schnittpunkt E entspricht eine Temperatur  $\vartheta_o$ . Würde sich das Relais vom Punkte B aus weiter nach dieser geraden Linie ABE abkühlen, dann würde es in der Zeit  $t_r$  auf die Temperatur  $\vartheta_o$  kommen. Würde es sich ferner entsprechend der geraden Linie EDC erwärmen, dann würde es die Grenztemperatur in genau der gleichen Zeit  $t_b$  wieder erreichen wie der zu schützende Motor. Da die Abkühlungskurve vom Punkte B abwärts aber immer flacher verläuft, so wird nach der Abkühlungszeit  $t_r$  tatsächlich nur die Temperatur  $\vartheta_b$  erreicht. Dieser Temperatur entspricht auf der angenehmen geradlinigen Erwärmungskurve der Punkt F, das heißt die zulässige Erwärmungszeit  $t_b$  wird um den Betrag  $t_s$  gekürzt. Nun verläuft aber auch die Erwärmungskurve von dem Punkte D abwärts erheblich steiler als die gerade Linie CDE. Infolgedessen verkürzt sich die zulässige Erwärmungszeit weiterhin noch um den Betrag  $t_6$  oder die zulässige Erwärmungszeit des Relais nach der Abkühlungszeit  $t_r$  ist  $= t_{b1}$  im Gegensatz zu der zulässigen Erwärmungszeit  $t_b$  des Motors, wobei  $t_b$  um den Betrag  $t_s + t_6 = t_r$  kleiner ist als  $t_b$ . Läßt man die Erwärmungskurve nicht durch G sondern durch J gehen, dann schneidet sie bei  $\vartheta_g$  unmittelbar die Zeit  $t_{b1}$  ab. Daraus geht hervor, daß bei Verwendung eines Motorschutzrelais mit geringer Zeit-

konstante bei wechselnder Belastung der zu schützende Motor eher abgeschaltet wird, als er seine Grenztemperatur erreicht. Die Grenztemperaturen des zu schützenden Stromverbrauchers liegen unter den zulässigen Werten.

Um einen Anhaltspunkt für die Verminderung der Spitzentemperaturen im Motor zu gewinnen, soll diese unter der Voraussetzung berechnet werden, daß einer bestimmten Überlastungszeit bis zur Auslösung durch den Motorschutzschalter eine Abkühlungsperiode bis zur Temperatur  $\vartheta_u$  folgt, die eine Wiederholung der ersten Belastung ermöglicht (s. Abb. 5). Die Abkühlungspause bei einer bestimmten Überlastung und einer bestimmten Belastungszeit ist also durch die Verhältnisse des Motorschutzschalters gegeben. Die hierbei auftretende Spitzentemperatur des Motors mit größerer Zeitkonstante sei  $\vartheta_{r'} = x \cdot \vartheta_g$ ; ferner ist

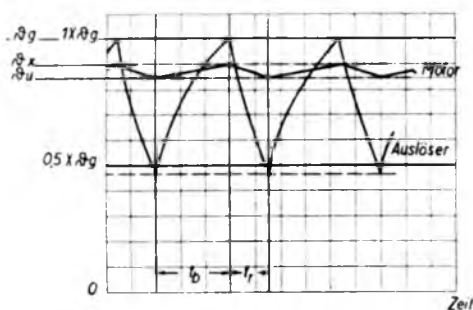


Abb. 5. Temperaturschwankungen eines Motors bei aussetzendem Betrieb im Verhältnis zu denen eines Motorschutzschalters kleiner Zeitkonstante.

$\vartheta_u = u \cdot \vartheta_g$ . Aus den allgemeinen Erwärmungsgleichungen ergeben sich für den Motor folgende Beziehungen:

**Belastungszeit**

$$\begin{aligned}
 t_b &= T_m \cdot \ln \frac{\vartheta_{g'} - \vartheta_u}{\vartheta_{g'} - \vartheta_r} \\
 &= T_m \cdot \ln \frac{\ddot{u}'^2 \cdot \vartheta_g - u \cdot \vartheta_g}{\ddot{u}'^2 \cdot \vartheta_g - x \cdot \vartheta_g} \\
 &= T_m \cdot \ln \frac{\ddot{u}'^2 - u}{\ddot{u}'^2 - x} \\
 e^{t_b/T_m} \cdot (\ddot{u}'^2 - x) &= \ddot{u}'^2 - u \dots \dots (1)
 \end{aligned}$$

**Abkühlungszeit**

$$t_r = T_m \cdot \ln \frac{\vartheta_r}{\vartheta_u} = T_m \cdot \ln \frac{x}{u}$$

oder:

$$e^{t_r/T_m} = \frac{x}{u} \dots \dots (2)$$

Aus den Werten der Gl. (1) und (2) ergibt sich:

$$e^{t_b/T_m} \cdot (\ddot{u}'^2 - x) = \ddot{u}'^2 - \frac{x}{e^{t_r/T_m}} \dots \dots (3)$$

Die Beziehung zwischen  $t_r$  und  $t_b$  ist durch das Verhalten des Motorschutzschalters gegeben, und

zwar:

$$\begin{aligned}
 t_r &= -T_r \ln [\ddot{u}'^2 - e^{t_b/T_r} (\ddot{u}'^2 - 1)], \\
 e^{-t_r/T_r} &= e^{-t_r/(T_r \cdot k)} \\
 &= [\ddot{u}'^2 - e^{t_b/T_r} (\ddot{u}'^2 - 1)]^{1/k}
 \end{aligned}$$

Dieser Wert wird in die Gl. (3) eingesetzt. Daraus folgt:

$$x = \frac{\ddot{u}'^2 (1 - e^{-t_b/(T_r \cdot k)})}{1 - [1 - \ddot{u}'^2 (1 - e^{-t_b/T_r})]^{1/k}} \dots (4)$$

Hierin bedeutet entsprechend Abb. 5:

- $t_b$  die Belastungszeit,
- $t_r$  die Abkühlungszeit,
- $T_r$  die Zeitkonstante des Motorschutzrelais,
- $T_m$  die Zeitkonstante des Motors,
- $\frac{T_m}{T_r} = k$  die Zeitkonstante des Motors als Vielfaches derjenigen des Relais,
- $\vartheta_g$  die Grenztemperatur, die bei Dauerbetrieb des Relais bzw. des Motors mit Grenzstrom erreicht wird,
- $\vartheta_{g'}$  die Grenztemperatur des Motors bei Dauerbetrieb mit  $J_b$ ,
- $\vartheta_r = x \cdot \vartheta_g$  die Grenztemperatur des Motors bei aussetzendem Betrieb mit den Zeiten  $t_r$  und  $t_b$ ,
- $J_b$  = Belastungsstrom,
- $J_n$  = Motornennstrom,
- $J_g$  = Auslöser-Grenzstrom,
- $f = \frac{J_g}{J_n}$ ,
- $\ddot{u}$  = Belastungsstrom als Vielfaches des Motornennstromes =  $J_b/J_n$
- $\ddot{u}'$  = Belastungsstrom als Vielfaches des Relais-Grenzstromes =  $J_b/J_g$ ,

$$\ddot{u}' = \frac{J_b}{J_g} = \frac{J_b}{f \cdot J_n} = \frac{\ddot{u}}{f}$$

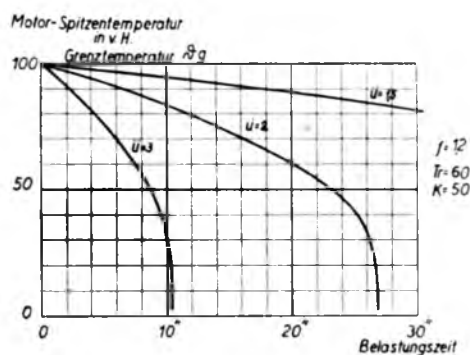


Abb. 6. Verminderung der Spitzentemperatur bei verschiedenen Überlastungen und Belastungszeiten.

Einen Anhaltspunkt für  $x$  bei verschiedenen  $\ddot{u}$  und  $J_b$  sowie  $T_r = 60''$ ,  $k = 50$ ,  $f = 1,2$  gibt Abb. 6. (Schluß folgt.)

# Bestimmung des günstigsten Kupfergewichts bei eisenlosen Drosselspulen insbesondere von Kurzschluß-Reaktanzspulen.

Von Ing. L. Slonitz, Charlottenburg.

Inhalt: Korndörfer hat zur Berechnung von Drosselspulen empirische Formeln angegeben, welche ihrer einfachen Form wegen allgemeine Verwendung gefunden haben<sup>1)</sup>. Die Genauigkeit ist eine gute und liegt innerhalb einer Gewähr von  $\pm 5$  vH, also innerhalb der Grenzen, welche die RET-Vorschriften (EVW 8) für diese Fälle vorsehen. Im Nachstehenden werden auf Grund dieser Formeln die Verhältnisse bestimmt, unter welchen die Kupfergewichte am günstigsten werden und die Veränderungen derselben unter den verschiedensten Verhältnissen untersucht.

Es bedeuten:  $L$  = Induktivität der Spule in mH,  $z$  = Zahl der in Reihe liegenden Windungen,  $D$  = mittlerer Spulendurchmesser in cm,  $a$  = achsiale Spulenabmessung in cm,  $r$  = radiale Spulenabmessung in cm,  $U = 2(a+r)$  = Umfang des Kupferquerschnitts der Spule,  $\alpha = AW$  pro  $cm^2$  Kupferquerschnitt,  $\beta = D/r$ ,  $\gamma = a/r$  und  $\sigma$  = Stromdichte A/mm<sup>2</sup>.

Nach Korndörfer ist für den Geltungsbereich:

Fall A,  $D/U = 0-1$

Fall B,  $D/U = 1-3$

$$L = 10^5 z^2 D \sqrt[4]{(D/U)^3} \cdot 10^{-6} \dots (I)$$

$$L = 10^5 z^2 D \sqrt[4]{(D/U)} \cdot 10^{-6} \dots (IA)$$

Durch Substitution von  $z \cdot J = \alpha \cdot a \cdot r$  und  $\beta$  und  $\gamma$  in obige Formeln erhält man:

$$r = 10^9 84 \sqrt[5]{L J^2} \cdot \sqrt[20]{\frac{(1+\gamma)^3}{\beta^7 \cdot (\alpha \gamma)^8}} \dots (II)$$

$$r = 10^6 61 \sqrt[5]{L J^2} \cdot \sqrt[10]{\frac{(1+\gamma)}{\alpha^4 \beta^3 \gamma^4}} \dots (IIA)$$

Das Kupfergewicht  $G = \pi D \frac{zJ}{\sigma} \cdot 8 \cdot 9 \cdot 10^{-5}$

$$G = \pi \alpha \beta \gamma \frac{8 \cdot 9}{\sigma} 10^{-5} \cdot 10^9 84^3 (L J^2)^{3/5} \left[ \frac{(1+\gamma)^3}{\beta^7 (\alpha \gamma)^8} \right]^{3/20}, \quad G = \pi \alpha \beta \gamma \frac{8 \cdot 9}{\sigma} 10^{-5} \cdot 10^6 61^3 (L J^2)^{3/5} \left[ \frac{(1+\gamma)^{0.3}}{\beta^{0.9} (\alpha \gamma)^{1.2}} \right]$$

$$G = 0.3709 \frac{(L J^2)^{0.6}}{\sigma \alpha^{0.2} \beta^{0.05}} \cdot \frac{(1+\gamma)^{0.45}}{\gamma^{0.2}} \dots (III), \quad G = 0.3343 \frac{(L J^2)^{0.6} \beta^{0.1}}{\sigma \cdot \alpha^{0.2}} \cdot \frac{(1+\gamma)^{0.3}}{\gamma^{0.2}} \dots (IIIA)$$

Wenn das Kupfergewicht  $G$  ein Minimum werden soll, setzt man:

$$y = \frac{(1+\gamma)^{0.45}}{\gamma^{0.2}} \text{ und } \frac{dy}{d\gamma} = 0,$$

$$y = \frac{(1+\gamma)^{0.3}}{\gamma^{0.2}} \text{ und } \frac{dy}{d\gamma} = 0,$$

$$\frac{dy}{d\gamma} = \frac{\gamma^{0.2} \cdot 0.45 (1+\gamma)^{-0.55} - (1+\gamma)^{0.45} \cdot 0.2 \gamma^{-0.8}}{(\gamma^{0.2})^2} = 0; \quad \frac{dy}{d\gamma} = \frac{\gamma^{0.2} \cdot 0.3 (1+\gamma)^{-0.7} - (1+\gamma)^{0.3} \cdot 0.2 \gamma^{-0.8}}{(\gamma^{0.2})^2} = 0;$$

daraus ergeben sich:

$$\gamma = 0.8, \quad a = 0.8 r, \quad \beta = \frac{0.8 D}{a}$$

$$\gamma = 2, \quad a = 2 r, \quad \beta = \frac{2 D}{a}$$

Für  $\gamma = 0.8$  wird  $G$  ein Minimum

Für  $\gamma = 2$  wird  $G$  ein Minimum

$$G = 0.5053 \frac{(L J^2)^{0.6}}{\sigma \alpha^{0.2} \beta^{0.05}} \dots (IV),$$

$$G = 0.4046 \frac{(L J^2)^{0.6} \beta^{0.1}}{\sigma \alpha^{0.2}} \dots (IVA),$$

$$r = 13.12 \sqrt[5]{L J^2} \frac{1}{\alpha^{0.4} \beta^{0.35}} \dots (V)$$

$$r = 8.97 \sqrt[5]{L J^2} \frac{1}{\alpha^{0.4} \beta^{0.3}} \dots (VA)$$

Für den Grenzfall  $D = U$

und  $\gamma = 0.8$  wird für

und  $\gamma = 2$  wird für

$$r \beta = 2(a+r), \quad \beta = 2 \left( \frac{a}{r} + 1 \right) = 2(\gamma + 1)$$

$$\beta = 3.6, \quad D = 3.6 r \text{ und } D = 4.5 a.$$

$$\beta = 6, \quad D = 6 r \text{ und } D = 3 a.$$

$\beta$  kann somit im Fall „A“ nicht größer werden als 3.6

$\beta$  kann somit im Fall „B“ nicht kleiner werden als 6.

Für  $D < U$  wird  $\beta < 3.6$ .

Für  $D > U$  wird  $\beta > 6$ .

Setzen wir  $\beta = 3.6$  in Gl. (IV) ein, so wird

Setzen wir  $\beta = 6$  in Gl. (IVA) ein, so wird

$$G = 0.474 \frac{(L J^2)^{0.6}}{\sigma \alpha^{0.2}} \text{ Minimalgewicht} \dots (VI)$$

$$G = 0.484 \frac{(L J^2)^{0.6}}{\sigma \cdot \alpha^{0.2}} \text{ Minimalgewicht} \dots (VIA)$$

giltig für  $\gamma = 0.8$  und  $\beta = 3.6$ .

giltig für  $\gamma = 2$  und  $\beta = 6$ .

Man sieht, daß man in beiden Fällen fast auf den gleichen Wert kommt. Der geringe Unterschied in den beiden Faktoren, der ungefähr 2 vH ausmacht, hat seinen Grund darin, daß die Korndörferschen Formeln empirisch und nicht, theoretisch sind.

Der Wert von  $\beta$  variiert bei Kurzschlußreaktanzen im allgemeinen zwischen 3.2 und 2.1 und es ist

daher  $\beta^{0.05} = 1.05$  im Mittel. Bei Werten von  $\beta$  kleiner als 3.6 vergrößert sich das Gewicht  $G$  um folgende Werte:

$$= 3.0 \text{ um } +0.9 \text{ vH,}$$

$$= 2.5 \text{ um } +1.8 \text{ vH,}$$

$$= 2.0 \text{ um } +3.0 \text{ vH.}$$

<sup>1)</sup> Korndörfer, ETZ 38 (1917) S. 521.

Trägt man auf doppeltem Logarithmenpapier die

kVA entsprechend  $LJ^2$  bei 50 Perioden als Abszissen auf und die Kupfergewichte als Ordinaten, so erhält man für verschiedene Werte von  $\alpha$  eine Schaar von parallelen Geraden (Abb. 1). Sie stellen die minimalen Kupfergewichte nach Gl. (VI) für jede gewünschte kVA-Leistung bei 50 Perioden und einer Stromdichte  $\sigma = 1$  dar. Wird zum Beispiel die Stromdichte  $\sigma = 2.4$  gewählt, so ist das abgelesene Gewicht noch durch  $2.4$  zu dividieren. Bei einer andern

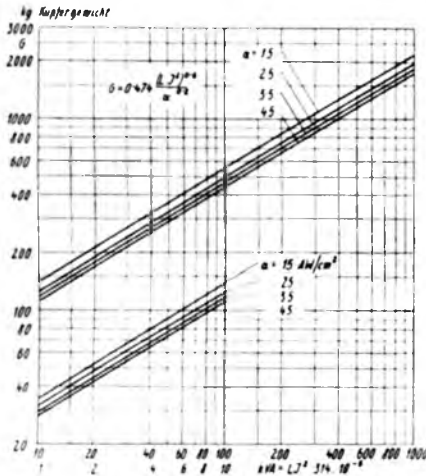


Abb. 1.

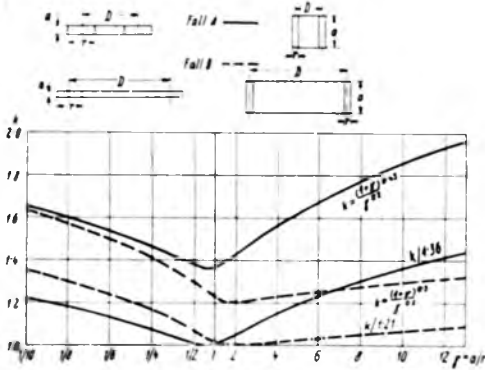


Abb. 2.

Periodenzahl als 50, ist die Leistung bei höheren Periodenzahlen proportional herabzusetzen, bei niederen proportional heraufzusetzen.

Tragen wir den Faktor  $k$  in Formel (III) bzw. (III A)

$$k = \frac{(1 + \gamma)^{0.45}}{\gamma^{0.2}} \quad \text{bzw.} \quad k = \frac{(1 + \gamma)^{0.3}}{\gamma^{0.2}}$$

für verschiedene Werte von  $\gamma$  auf (Abb. 2), so erhält man Kurven, welche den Einfluß des Verhältnisses der Spulenabmessungen zum Kupfergewicht deutlich zum Ausdruck bringen. Die Kurve hat

A

im Fall „A“ bei  $\gamma = 0.8$  den kleinsten Wert  $k = 1.36$  und steigt dann nach beiden Richtungen an. Für die Verhältnisse  $\gamma > 1$ , also wo die axiale Spulenlänge größer wird als die radiale Spulenabmessung (Zylinderspulen) steigt die Kurve steiler an als bei Spulen, wo das Verhältnis  $\gamma < 1$  ist, also bei Scheibenspulen.

Der Verlauf der Kurven zeigt, daß im Fall „A“ eine Spule mit größerer radialer Ausdehnung als ihre axiale Höhe (Scheibenspulen) im Kupfergewicht günstiger ausfällt als bei Zylinderspulen, wo die axiale Länge ein Vielfaches der Spulendicke ist. Im Fall „B“ liegen die Verhältnisse gerade umgekehrt. Hier sind die Kupferverhältnisse bei Zylinderspulen günstiger als bei Scheibenspulen. Dividieren wir die Kurvenwerte im Fall „A“ durch den Wert  $1.36$  bzw. im Fall „B“ durch  $1.2$ , so erhalten wir

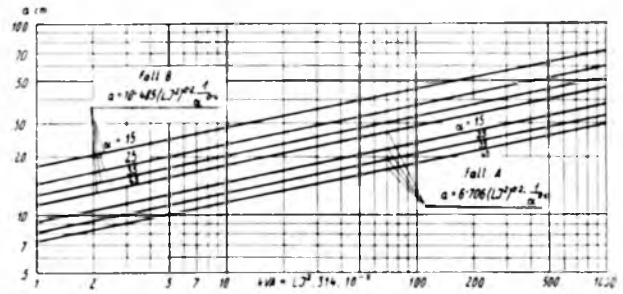


Abb. 3.

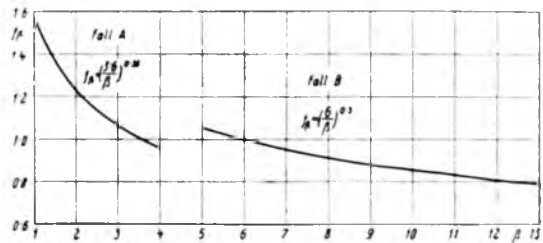


Abb. 4.

Kurven, deren Ordinatenwerte das Verhältnis des benötigten Kupfergewichts zum Mindestkupfergewicht angeben. Wünscht man nun das Kupfergewicht einer Drosselspule zu bestimmen, so entnimmt man aus den Kurven der Abb. 1 das Mindestkupfergewicht, das zu der betreffenden Leistung bei 50 Perioden und Stromdichte  $\sigma = 1$  gehört. Die Amperwindungszahl pro  $\text{cm}^2$ , also der Wert  $\alpha$  muß vorher angenähert bestimmt werden. Wird aus Gründen der Wärmeabfuhr, Platz- bzw. Spannungsverhältnisse ein anderes Verhältnis  $\gamma$  gewählt als Fall „A“,  $\gamma = 0.8$ , Fall „B“,  $\gamma = 2$ , multipliziert man das auf obige Weise erhaltene Mindestkupfergewicht mit der Verhältniszahl der strichlierten Kurve, die zu dem bestimmten  $\gamma$  gehört und dividiert durch die zulässige Stromdichte.

B

im Fall „B“ bei  $\gamma = 2$  den kleinsten Wert  $k = 1.2$  und steigt dann nach beiden Richtungen an. Für die Verhältnisse  $\gamma > 1$ , also wo die axiale Spulenlänge größer wird als die radiale Spulenabmessung (Zylinderspulen) ist der Anstieg der Kurve sanfter als bei Spulen, wo das Verhältnis  $\gamma < 1$  ist, also bei Scheibenspulen.

Die axiale Spulenlänge  $a = \gamma \cdot r$  ist im Fall „A“

$$a = 10984 \gamma (LJ^2)^{0.2} \frac{(1 + \gamma)^{0.15}}{\alpha^{0.4} \beta^{0.35} \gamma^{0.4}};$$

für  $\gamma = 0.8$  und  $\beta = 3.6$  wird

$$a = 10496 (LJ^2)^{0.2} \frac{1}{\beta^{0.35} \alpha^{0.4}},$$

$$a = 6706 \cdot (LJ^2)^{0.2} \frac{1}{\alpha^{0.4}} \dots (VII), (Abb. 3);$$

ist das Verhältnis  $D/U < 1$ , also  $\beta < 3.6$ , dann muß  $a$  größer als obiger Wert werden. Man muß in diesem Fall den Wert von  $a$  der Gl. (VII) noch mit dem Faktor  $f_\beta = \left(\frac{3.6}{\beta}\right)^{0.35}$  multiplizieren. Dieser ist in Kurvenform in Abb. 4 aufgetragen.

Bei einem Wert  $\gamma$  abweichend von 0.8, ist der Ausdruck  $a$  der Gl. (VII) mit dem Faktor  $f_\gamma$

$$f_\gamma = \frac{(1 + \gamma)^{0.15} \gamma^{0.6}}{1.8^{0.15} 0.8^{0.6}}$$

zu multiplizieren. Der Faktor  $f_\gamma$  ist in Abb. 5 aufgetragen.

In Fällen, wo  $\beta$  als auch  $\gamma$  gleichzeitig von obengenannten Werten abweichen, ist der Ausdruck für  $a$  aus Gl. (VII) bzw. (VII A) mit beiden Faktoren  $f_\beta$  und  $f_\gamma$  zu multiplizieren.

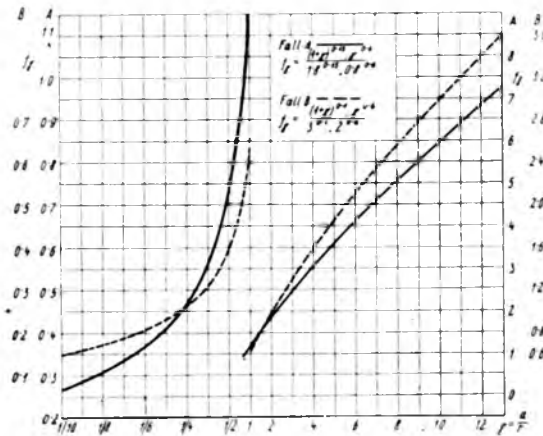


Abb. 5.

im Fall „B“

$$a = 1061 \gamma (LJ^2)^{0.2} \frac{(1 + \gamma)^{0.1}}{\alpha^{0.4} \beta^{0.3} \gamma^{0.4}};$$

für  $\gamma = 2$  und  $\beta = 6$  wird

$$a = 1795 (LJ^2)^{0.2} \frac{1}{\beta^{0.3} \alpha^{0.3}},$$

$$a = 10485 \cdot (LJ^2)^{0.2} \frac{1}{\alpha^{0.4}} \dots (VII A) (Abb. 3);$$

ist das Verhältnis  $D/U > 1$ , also  $\beta > 6$ , dann muß  $a$  kleiner als obiger Wert werden. Man muß in diesem Fall den Wert von  $a$  der Gl. (VII A) noch mit dem Faktor  $f_\beta = \left(\frac{6}{\beta}\right)^{0.3}$  multiplizieren. Dieser ist in Kurvenform in Abb. 4 aufgetragen.

Bei einem Wert  $\gamma$  abweichend von 2, ist der Ausdruck  $a$  der Gl. (VII A) mit dem Faktor  $f_\gamma$

$$f_\gamma = \frac{(1 + \gamma)^{0.1} \gamma^{0.6}}{3^{0.1} 2^{0.6}}$$

zu multiplizieren. Der Faktor  $f_\gamma$  ist in Abb. 5 aufgetragen.

**Beispiel:** Eine Kurzschlußreaktanz für eine Impedanz  $L = 6.25$  mH, 250 A, 392 V Drosselspannung, 40 Hz, 98 kVA Leistung ist als Kabelspule auszuführen. In diesem Fall ergibt sich  $\alpha = 15$ . Das Mindestkupfergewicht ist für eine Leistung  $98.50/40 = 122.5$  kVA aus Abb. 1 zu entnehmen und beträgt 630 kg. Ist das Verhältnis  $\gamma = \frac{a}{r} = 4$  aus Platzgründen gewählt worden, dann ergibt sich im Fall „A“ aus Abb. 2 die Verhältniszahl Kupfergewicht/Mindestkupfergewicht = 1.15. Das Kupfergewicht ergibt sich bei einer Stromdichte  $\sigma = 1$  somit auf  $630 \cdot 1.15 = 725$  kg. Wird Stromdichte  $\sigma = 1.2$  gewählt, ergibt sich ein Kupfergewicht = 603 kg. Die Spulenlänge  $a$  ergibt sich aus Abb. 3 für  $\gamma = 0.8$  mit 30 cm. Bei  $\gamma = 4$  ist in Abb. 5  $f_\gamma = 3.06$  zu entnehmen. Es ist somit  $a = 30.3 \cdot 06 = 91.8$  cm.  $r = 91.8/4 = 22.95$  cm. Für  $\beta = 3.6$  ist  $D = 3.6 r = 82.5$  cm.

### Graphische Rechentafel (Nomogramm) für die Ermittlung des günstigsten Verhältnisses von Fensterbreite zu Kernbreite bei Transformatoren.

In einer jüngst erschienenen Arbeit<sup>1)</sup> leitet H. Bucher 4 vollständige kubische Gleichungen von folgender allgemeinen Form her:

$$y^3 + \left(c_1 + \frac{c_2 z}{\pi}\right) y^2 - \frac{z c_3}{\pi \epsilon/\Delta} (y + c_4) = 0 \dots (a).$$

Hierin sind die  $c_i$  ( $i = 1 \dots 4$ ) Konstanten, die durch die Transformatorart festgelegt sind. Im folgenden soll für diesen Gleichungstyp ein Rechenbild nach meinem allgemeinen Verfahren entworfen werden.

I. Die mathematischen Grundlagen des Entwurfes sind folgende:

a) Die Gleichung einer Geraden, die auf den Achsen des kartesischen Koordinatensystems ( $\xi, \eta$ ) die Strecken  $a$  und  $b$  abschneidet, lautet:

$$\frac{\xi}{a} + \frac{\eta}{b} = 1 \dots (I).$$

b) Faßt man  $\xi$  und  $\eta$  als Funktionen eines Parameters  $\alpha$  auf, also

$$\xi = \xi(\alpha), \quad \eta = \eta(\alpha) \dots (II), (III),$$

so wird durch die Gl. (II), (III) eine Kurve in Parameter-

form, mit  $\alpha$  als Parameter, definiert, die gemäß (I) von der Geraden geschnitten wird.

c) Hierzu tritt der leitende Grundgedanke des Verfahrens<sup>2)</sup>: Die Funktionsbeziehung, die in Form einer Tafel darzustellen sein wird, ist zunächst rein formal in die drei Gleichungen: Gleichung der „Ablesekurve“, Gleichung der „Lösenden Kurve“ und Gleichung von deren „Bezifferung“ zu zerlegen und diese Zuordnungsbeziehung ist dann erst geometrisch zu deuten, und zwar im vorliegenden Fall im kartesischen Koordinatensystem  $\xi, \eta$ . (Implizite Definition der allgemeinen „Fluchtlinientafel“).

II. Tafelentwurf. Wie leicht einzusehen, kann (a) auch in der Form

$$y^3 + c_1 y^2 + \frac{c_2 z}{\pi} y^2 - \frac{z c_3}{\pi \epsilon/\Delta} (y + c_4) = 0 \dots (a^*)$$

geschrieben werden. Division durch  $\frac{c_2 z}{\pi} y^2$  gibt:

$$\frac{c_3}{c_2 \epsilon/\Delta} \frac{y + c_4}{y^2} - \frac{y + c_4}{c_2 z/\pi} = 1 \dots (a^{**}).$$

<sup>1)</sup> E. u. M. 50 (1932) H. 26, S. 365.

<sup>2)</sup> Zeitschr. f. angew. Math. u. Mech. 7 (1927) H. 3 und 5; 8 (1928) H. 4; 9 (1929) H. 5.

In dieser Form ist aber der Tafelentwurf ohne weiteres möglich. Die Anwendung von I, c) ergibt folgende drei Gleichungen:

Gleichung der Ablesegeraden:

$$\frac{\xi}{\mu_1 \varepsilon / \Delta} - \frac{\eta}{\mu_2 z} = 1 \dots \dots \dots (I)$$

Gleichung der Lösenden Kurve und ihrer Bezifferung

$$\xi = \mu_1 \frac{c_3}{c_2} \frac{y + c_1}{y^2} \dots \dots \dots (II)$$

$$\eta = \mu_2 \frac{\pi}{c_2} (y + c_1) \dots \dots \dots (III)$$

Hierin sind  $\mu_1$  und  $\mu_2$  Maßstabfaktoren.

Da sich infolge der Konstanten  $c_1$  bloß die „Lösende Kurve“ und ihre „Bezifferung“ ändert, die Skalen auf den Achsen aber die gleichen bleiben, ist es möglich, mit einer einzigen Rechentafel, die dann vier „Lösende Kurven“ trägt, alle vier Fälle zu erledigen. Man hat dann mit einer einzigen Einstellung der „Ablesegeraden“ die Lösung aller vier Gleichungen.

Die Abbildung zeigt ein Schema für Gl. (3) der Bucherschen Arbeit. Hierin ist:  $c_1 = 1.5 + \pi^{-1}$ ,  $c_2 = 1$ ,  $c_3 = 2$ ,  $c_4 = 3$ .

III. Benutzung der Tafel. Wie aus der Abbildung ersichtlich, tragen die Achsen eine regelmäßige  $z$ - bzw.  $\varepsilon/\Delta$ -Skala, während die punktweise aus Gl. (II) und (III) konstruierte Lösende Kurve nach der gesuchten Größe  $y$  beziffert ist. Die gegebenen Werte von  $z$  und

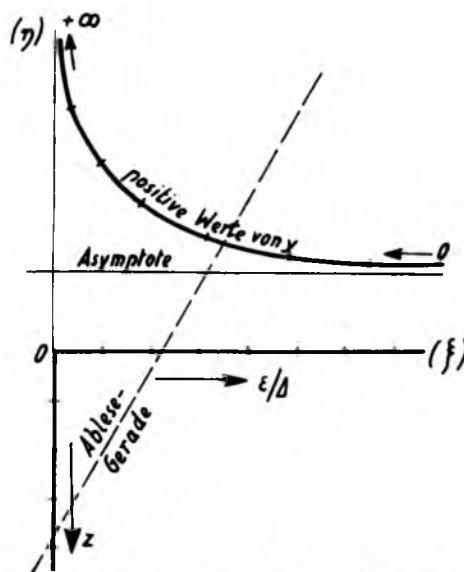


Abb. 1. Nomogramm für Gl. (3) von H. Bucher.

$\varepsilon/\Delta$  miteinander verbunden, geben die Ablesegerade [Gl. (I)], deren Schnitt mit der Lösenden Kurve den gesuchten Wert von  $y$ . Alexander Fischer, Prag.

## Rundschau.

### Elektrizitätswerke, Elektrizitätsversorgung.

Ein neues Elektrizitätswerk für Narvik und die Ofotenbahn wurde in Traeldal bei Narvik (Norwegen) errichtet. Es dient einerseits der Stromversorgung von Narvik und den umliegenden Orten, andererseits zur Speisung der Ofotenbahn genannten, 40 km laugen norwegischen Teilstrecke Vassijaure (Riksgränsen)-Narvik der Riksgränsenbahn (Luleå-Kiruna-Riksgränsen-Narvik<sup>1)</sup>, die früher sowohl im schwedischen als auch im norwegischen Teil vom schwedischen Wasserkraftwerk Porjus<sup>2)</sup> aus geschah. Die Anlage, die weit nördlich des Polarkreises liegt, sammelt die Gewässer des Nygardswassers in drei Staubecken von 17, 14<sup>2</sup> und 61 Mill. m<sup>3</sup>. Vom Einlaufbauwerk im untersten Becken wird das Wasser durch einen 3700 m langen Tunnel von 75 m<sup>2</sup> Querschnitt zu einem 37 m hohen Wasserschloß geleitet, von dem eine 500 m lange Druckrohrleitung (259 m Gesamtfälle) zum Krafthaus führt. Im Vollausbau sind dort zwei Einphasen- und drei Drehstrom-Maschinensätze vorgesehen, von denen gegenwärtig die beiden Einphasen- und ein Dreiphasensatz fertiggestellt sind. Die beiden Einphasengeneratoren werden von waagrechtachsigen Peltonturbinen von 12 000 PS mit 450 U/min angetrieben, die je zwei Schaufelkränze mit zwei Düsen je Schaufelkranz besitzen. Der Drehstromgenerator wird von einer lotrechtachsigen Francis-Turbine für 11 500 PS und 750 U/min angetrieben. Der beste Wirkungsgrad der Peltonturbinen (bei Halblast) ist 88 vH, der Francis-Turbine (bei 10 000 PS) 93 vH. Die Einphasengeneratoren besitzen 6250 kVA Dauerleistung bei  $\cos \varphi = 0.8$ , 5250 V und 15 Hz. Sie vertragen eine Überlast von 25 vH durch 30 min und 60 vH durch 1 min. Der Drehstromgenerator hat eine Nenn-Dauerleistung von 8000 kVA bei  $\cos \varphi = 0.8$ , 4200 V und 50 Hz. Er kann dauernd bis 10 000 kVA überlastet werden. Die Generatoren sind mit Kohlensäure-Brandenschutz ausgerüstet. Die Einphasenmaschinen sind ohne Ölschalter an zwei 5250/86 600 V-Transformatoren geschaltet, wobei eine 5250 V-Hilfssammelschiene etwa notwendige Kreuzschaltung ermöglicht, der Drehstrom-

generator über einen Ölschalter an einen 4200/36/750 V-Transformator in Stern dreieckschaltung. Die Einphasentransformatoren arbeiten auf 86 kV-Sammelschienen, von denen eine 7 km lange Einphasenleitung mit Reserveseil nach Straumsnes, 15 km östlich von Narvik führt, wo sie in die von Porjus kommende 80 kV-Leitung<sup>1)</sup> einbindet. Die Drehstromleitung führt entlang der Einphasenleitungen nach Narvik, ist also 22 km lang. Beide Leitungen überqueren dabei den Rombakfjord mit einer Spannweite von 800 m mit 45 m hohen Masten. Die Anlage bewährt sich im Betrieb aufs beste und konnte versuchsweise auch durch 24 Stunden die Versorgung der ganzen Strecke Luleå-Narvik übernehmen, wobei das Kraftwerk Porjus — das erstmalig nach 18 Jahren — stillgesetzt wurde. Die Turbinen des Werkes in Traeldal wurden von der Kvaerner-Brug A. S., der elektrische Teil von der Norsk Elektrisk und Brown Boveri A. S. geliefert.

H. S. (ETT 45 (1932) S. 373.)

### Wasserkräfte und Wasserbauten.

Die Berechnung der Wasserführung eines Flußlaufes nach den Regeln der statistischen Mathematik und der Wahrscheinlichkeitsrechnung wird von R. Gibrat durchgeführt. Aus der für  $T$  Tage beobachteten Wassermengendauerlinie, welche die Abhängigkeit der Wasserführung  $q$  von der Zahl der Tage  $t$  zur Darstellung bringt, kann, wenn mit  $dt$  die Anzahl der Tage bezeichnet wird, während welcher die Wassermenge zwischen  $q$  und  $q + dq$  schwankt, die Häufigkeit  $f$  der sekundlichen Wassermenge  $q$  durch

$$f = \frac{1}{T} \cdot \frac{dt}{dq}$$

ausgedrückt werden. Ist die Gleichung der Dauerlinie durch die Beziehung  $t/T = \varphi(q)$  gegeben, so berechnet sich die Häufigkeit durch  $f = \varphi'(q)$ . Für die Dauerlinie wurde von Coutagne die Parabel vorgeschlagen, während der Verfasser hierfür nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung die Gaußsche Exponentialbeziehung

$$\frac{t}{T} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-z^2} dz$$

<sup>1)</sup> E. u. M. 44 (1926) S. 794.

<sup>1)</sup> E. u. M. 33 (1915) S. 502; 36 (1918) S. 142; 39 (1921) S. 427; 41 (1923) S. 241; 43 (1925) S. 367; 49 (1931) S. 679.

<sup>2)</sup> E. u. M. 32 (1914) S. 14; 36 (1918) S. 142; 42 (1924) S. 115.

verwendet, worin mit den Konstanten  $a$ ,  $b$  und  $q_0$  der Exponent  $z$  bzw. die obere Integrationsgrenze durch

$$z = a \log(q + q_0) + b$$

gegeben ist. Diese Konstanten rechnen sich aus der Wassermengendauerlinie. Für die Truyère wurde zum Beispiel  $a = 2027$ ,  $b = -2817$  und  $q_0 = 4$  gefunden.

(Rev. Gén. de l'El. 32 (1932) S. 493 u. 525.)

**Elektrische Maschinen, Transformatoren.**

**30 000 kW Freiluft-Frequenzumformer zur Stromlieferung für die elektrifizierte Pennsylvania-Bahn.** Für die neue große Elektrisierung der Pennsylvania-Bahn<sup>1)</sup> wurde, wie W. B. Morton berichtet, bei der Dampfzentrale Richmond der stromliefernden Gesellschaft eine Umformerstation errichtet, die vorläufig 2 Umformer zu je 30 000 kW der Gen. El. Co. erhält. Sie kann aber bis auf 6 gleiche Aggregate erweitert werden. Die Umformer, die zurzeit die größten ihrer Art sind, formen Drehstrom von 132 kV, 60 Hz. im Einphasenstrom 132 kV, 25 Hz. um. Der Einphasenstrom wird dann auf die Übertragungsspannung von 132 kV transformiert. Die Umformer sind in Freiluftordnung aufgestellt, es ist nur ein leichtes Dach (Schuppen) aus Stahlblech über den Maschinen vorhanden. Jeder Umformer besteht aus 6 Maschinen: einem Drehstromsynchronmotor von 36 MVA Leistung für 60 Hz, dem Einphasengenerator von 30 MVA (der in der Größe gleich einem normalen (60 Hz) Generator von 61 MVA ist), einem Anwurfmotor für 2200 PS Dauerleistung, je einer Erregermaschine für die beiden Synchronmaschinen und einer Hilfserregermaschine für den Generator. Das Gewicht eines Maschinensatzes (ohne Zubehör und Fundamente) beträgt rund 590 t, seine Länge ist zirka 20 m. Die Drehzahl beträgt 300 U/min. Während der Drehstrommotor knapp innerhalb des Verladeprofils gehalten werden konnte, überstiegen die Dimensionen des Generators dieses und er mußte an Ort und Stelle zusammengesetzt werden. Der Stator jedes Hauptmotors und jedes Hauptgenerators kann in axialer Richtung soweit verschoben werden, daß die gesamte Länge des Rotors für Reparaturen zugänglich wird. Dabei ist es nicht notwendig, die Lager der gegenüberliegenden Maschine zu entfernen, da die Zwischenwelle genügend lang ist. Diese Maßregel ist deshalb wichtig, weil kein Kran für die volle Last vorgesehen ist, sondern nur meist handbetätigte Hilfskrane geringer Tragkraft. Der für die Montage provisorisch vorgesehene Hauptkran wurde wieder entfernt. — Das Anwerfen der Umformer erfolgt durch einen eigenen Anwurfmotor mit etwas höherer Polzahl, der an eine vorhandene niedere Drehstromspannung von 23 kV angeschlossen wird und für 6 aufeinander folgende Anläufe von 5000 kVA Aufnahme, je 4 Minuten andauernd, bemessen ist. Beim Anwerfen des Aggregates werden die Rotorwiderstände des Anwurfmotors durch Nockenschalter (unter der Einwirkung von Stromwächtern) kurzgeschlossen. Das Gehäuse des Hauptmotors kann durch einen eigenen Motor um 24° (räumlich gemessen) verdreht werden, was für Lastaufteilung und Synchronisierung benötigt wird. — Die Zusatzeinrichtungen zu den Umformern sind zum größten Teil in ihren umfangreichen Betonfundamenten untergebracht. Die Maschinen werden in geschlossenem Luftkreislauf gekühlt. Die kühle Luft von 40° C wird von den Maschinen durch Fundamentöffnungen von unten angesaugt. Die warme Luft von 65° C wird oben in ihren Stahlschuppen gedrückt und strömt dann wieder in die Kühler im Fundament zurück. Die Kühler bestehen aus sechs Einheiten je Umformersatz mit insgesamt 2440 m<sup>2</sup> Kühlfläche für 4250 m<sup>3</sup> Luft/min. Sie benötigen 57 m<sup>3</sup> Wasser/min für jedes Aggregat. Für das Kühlwasser, bei welchem eine Wassertemperatur von 29,5° C vorausgesetzt wird, sind entsprechende Pumpen vorhanden. Beim Versagen der Wasserkühlung ist Frischluftkühlung möglich. Beim Abstellen eines Maschinensatzes wird die warme Luft diesem Aggregat von anderen zugeführt, um Kondens-

wasserbildung bei den stehenden Maschinen zu verhindern. Da das Innere des Maschinenschuppens unter gewissem Überdruck steht, ist es von außen über als Luftscheunen ausgebildete Türen zugänglich. — Der Schuppen besteht aus 1/2-zölligen Stahlblech; er ist geschweißt hergestellt. Sein Dach ist für etwaige größere Reparaturen abhebbar. Für die ganze Umformerstation ist nur ein kleines Steuergebäude mit der Grundfläche von 8,5 × 10 m vorhanden, das im wesentlichen nur Schalttafeln enthält.

(Gen. El. Rev. 35 (1932) S. 510.)

**Messung der Übersetzung von Drehstrom-Transformatoren.** Von F. Heiles, Karlsruhe. Das übliche Verfahren, die Übersetzung eines Transformators durch Messung der primären und sekundären Klemmenspannung zu ermitteln, liefert bei Drehstrom-Transformatoren nicht unter allen Umständen richtige Ergebnisse, wenn das angelegte Spannungssystem unsymmetrisch ist. Folgende Tafel gibt an, welche Spannungen der Ober- und Unterspannungsseite zueinander in Beziehung zu setzen sind, um die Übersetzung auch bei Unsymmetrie des angelegten Spannungssystems richtig zu erhalten.

Schaltungen <sup>1)</sup>							
A <sub>1</sub> und B <sub>1</sub> A <sub>3</sub> und B <sub>3</sub>		A <sub>2</sub> und B <sub>2</sub>		C <sub>1</sub> und D <sub>1</sub> C <sub>3</sub> und D <sub>3</sub>		C <sub>2</sub> und D <sub>2</sub>	
U <sub>o</sub>	U <sub>u</sub>	U <sub>o</sub>	U <sub>u</sub>	U <sub>o</sub>	U <sub>u</sub>	U <sub>o</sub>	U <sub>u</sub>
U—V	u—v	U—V	u—v	U—V	0—u	0—U	w—u
V—W	v—w	V—W	v—w	V—W	0—v	0—V	u—v
W—U	w—u	W—U	w—u	W—U	0—w	0—W	v—w
		0—U	0—u				
		0—V	0—v				
		0—W	0—w				
<b>Übersetzung</b>		$\ddot{u} = \frac{U_o}{U_u}$		$\ddot{u} = \frac{U_o}{\sqrt{3} U_u}$		$\ddot{u} = \frac{\sqrt{3} U_o}{U_u}$	

<sup>1)</sup> Vgl. EVW 2, S. 16.

Squz.  
(ETZ 53 (1932) S. 1225.)

**Sicherungseinrichtungen.**

**Selektivschutz bei schwierigeren Netzverhältnissen mittels Distanzrelais.** F. Holzach beschreibt Versuche, die zwecks Erprobung des Selektivschutzes in einem gekuppelten 50 kV- und 15 kV-Netz vorgenommen wurden. Das Netz ist vermascht und wird von mehreren Kraftwerken beträchtlicher Nennleistung gespeist. Es wurden betriebsmäßig, allerdings bei nicht sehr großem Maschineneinsatz, zwei und dreipolige Lichtbogenkurzschlüsse vorgenommen, die mittels Zünddrähten eingeleitet wurden. Zur Registrierung des Strom- und Spannungsverlaufes stand ein Dreischleifenoszillograph zur Verfügung. Die Ergebnisse der zweipoligen Kurzschlußversuche waren: Die Kraftwerke beiderseits der Kurzschlußstelle geraten ins Pendeln, bleiben aber in Tritt. Das der Kurzschlußstelle benachbarte Werk erhält einen starken Wirklaststoß, die Polräder seiner Generatoren bleiben zurück und werden, damit sie in Tritt bleiben, von den entfernten Generatoren beliefert. Die Ausgleichströme setzen sich mit den Kurzschlußströmen zusammen und verändern das Bild der Stromverteilung gegenüber demjenigen, das bei einfach gespeisten Netzen gilt. Die Phasenverschiebung der in einem Knotenpunkt von getrennten Werksgruppen zufließenden Teilkurzschlußströme ist gegenüber dem zur Kurzschlußstelle fließenden Gesamtstrom vor- oder nacheilend, je nach der augenblicklichen gegenseitigen Pollage der Werke. In den beiden kranken Phasen fließen verschiedene große Ströme und in der gesunden Phase fließen kurzschlußartige Ausgleichströme. Die Generatoren der auf derselben Seite der Kurzschlußstelle liegenden Werke pendeln untereinander nicht nennenswert. — Bei dreipoligem Kurzschluß bestehen keine synchronisierenden Momente zwischen den Kraftwerksgruppen beiderseits der Kurzschlußstelle, sie laufen sofort außer Tritt und

<sup>1)</sup> E. u. M. 48 (1930) S. 396; 49 (1931) S. 702; 50 (1932) S. 206.

stehen nach 0,4 bis 0,7 sec in Opposition. Der Strom zur Kurzschlußstelle zeigt Schwabungen, die entsprechend der wachsenden Drehzahldifferenz immer rascher werden und deren Maximum dem vollen Kurzschlußstrom, deren Minimum größenordnungsmäßig dem Betriebsstrom entspricht. Die Ausgleichströme können überzählige Abschaltungen durch Distanzrelais bewirken, wie sie bei den Versuchen auch tatsächlich vorgekommen sind. Die zuständigen Distanzrelais haben jedoch immer richtig gearbeitet. Nachdem die kranke Strecke auf einer Seite, zum Beispiel mit Grundzeit abgetrennt worden ist, wird der Relaisatz an anderen Leitungsende vom reinen Kurzschlußstrom (ohne Ausgleichstrom) durchflossen. Die übrigen Relais derselben Station werden jedoch von den Ausgleichströmen mitbeeinflusst, die sowohl die Größe, als auch die Phasenlage der gemessenen Kurzschlußimpedanz fälschen und ein unrichtiges Relais zur Auslösung bringen können. Eine vollkommene Beseitigung der geschädigten Störeffekte könnte durch einen Schnellselektivschutz erreicht werden, der die selektive Abschaltung vornimmt, bevor der Pendelvorgang eingesetzt hat. Durch passende Bemessung der Ansprech- und Rückfallimpedanzen konnten die Verhältnisse im vorliegenden Falle soweit gebessert werden, daß die Zahl der überzähligen Abschaltungen bei einer Wiederholung der Versuche stark zurückging und auf die dreipoligen Kurzschlüsse beschränkt blieb. (Es sei bemerkt, daß die Verhältnisse in diesem speziellen Falle viel ungünstiger waren, als sie, nach den Erfahrungen in anderen Netzen zu schließen, gewöhnlich sind. D. Ber.) Df.

(Bull. SEV 23 (1932) S. 645.)

**Ein 10 000 kV-Generator** steht im Hochspannungslaboratorium der Gen. El. Co. zu Pittsfield (Mass., V. St. A.)<sup>1)</sup> als Stoßgenerator in Betrieb, wo er in der üblichen Weise — Parallel-Ladung und Reihen-Entladung von Kondensatoren<sup>2)</sup> — wirkt. Er liefert bei Spannungen bis zu 10 000 kV Höchstleistungen von 50 Mill. kW und Ströme bis zu 50 000 A. Die Stirnlänge des Stoßes beträgt etwa 7  $\mu$ s, die Rückenlänge an 30  $\mu$ s. Mit diesen Spannstößen, die wirklichen Blitzentladungen bereits vergleichbar sind, konnten Holzmasten zersplittert, Blitzröhren im Sand erzeugt werden usw. Versuche an Leitungsmodellen lassen darauf schließen, daß die Spannungen bei wirklichen Blitzschlägen bis zu 100 000 kV erreichen, und bestätigen die Anschauung, daß die Blitze nicht schwingende Entladungen, sondern kurze Gleichstromstöße sind<sup>3)</sup>, die oft ganz knapp aufeinander folgen, und zwar in der gleichen Stromrichtung. Die Stirnlänge wirklicher Blitz-Überspannungen sind noch kürzer als die des Generators: sie betragen etwa 1  $\mu$ s. H. S.

(Electrician 109 (1932) S. 444.)

### Mefskunde.

**Die Leistungsmessung auf der Niederspannungsseite von großen Verbrauchertransformatoren.** Von S. H. C. Morton. Eine genaue Einbeziehung der Transformatorverluste in die dem Verbraucher vorzulegenden Stromrechnungen ist nur durch Leistungsmessung auf der Primärseite des Transformators möglich, die aber wesentlich teurer ist (Hochspannung, Stromwandler für kleine Ströme!) als eine Leistungsmessung auf der Niederspannungsseite. Nach dem Vorschlage des Verfassers wird in solchen Fällen an die N. S.-Klemmen des Transformators bzw. des Spannungswandlers ein „Eisenverlustmesser“ (Iron-loss meter) und in den Verbraucherstromkreis bzw. den Sekundärkreis des Stromwandlers ein „Kupferverlustmesser“ (Copper-loss meter) geschaltet (Abb. 1). Diese Instrumente, die nach dem Induktionsprinzip gebaut sind, zeigen nach Eichung mit dem zugehörigen Transformator Werte an, die dem Quadrat der Spannung, bzw. des Stromes proportional sind und die nun mittels eines Summenantriebes zu den Angaben des Wattmeters addiert werden können. Die Klemmen K werden bei Eisenverlustmessung an die Sekundärklemmen des Transformators gelegt, in Reihe mit der Last,

wenn die Kupferverluste ermittelt werden sollen. Primär- und Sekundärspule P und S bestehen bei Eisenverlustmessern aus vielen dünn-drahtigen Windungen, bei Kupferverlustmessern aus wenigen dick-drahtigen. Man erhält also einerseits die gesamten gelieferten kWh, andererseits die während der Verrechnungszeit maximal angeforderte Leistung und hat dadurch die für eine einwandfreie Stromverrechnung erforderlichen Daten gewonnen. Sind die Tarife nicht auf größte Wirkleistung, sondern auf das Maximum der angeforderten Scheinleistung zugeschnitten, so ist eine direkte Anzeige derselben nicht möglich; sie muß vielmehr erst durch Rechnung an Hand der Aufzeichnungen von registrierenden Instrumenten (kW- und kVA- bzw.  $\cos \varphi$ -Schreiber) bestimmt werden. Die Abweichungen der Angaben des Eisenverlustmessers von den tatsächlich auftretenden Eisenverlusten — hervorgerufen durch stärkere als quadratische Abhängigkeit derselben von der Induktion sowie durch die Phasenverschiebung zwischen induzierter und Klemmenspannung — heben sich zum Teil auf; die Abweichung der Angaben des Kupferverlustmessers von den tatsächlich auftretenden Kupferverlusten wird durch Annahme einer mittleren Wicklungstemperatur möglichst verringert. An Hand eines Beispiels — 3 Transformatoren je 3000 kVA, 33/11 kV — wird die Rentabilität dieser zusätzlichen Meßeinrichtungen bewiesen. Dr. Bg.

(J. Inst. El. Eng. London, 71 (1932) S. 507.)

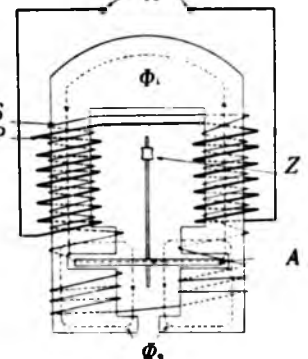


Abb. 1. Eisen- oder Kupferverlustmesser. K Anschlußklemmen, A Induktionsscheibe, Z Antrieb, P Primärwicklung, S Sekundärwicklung,  $\Phi_1$  Primärfluß,  $\Phi_2$  Sekundärfluß.

### Stromverteilung, Kraftübertragung.

**Hochspannungsmaschennetze.** Die Energieverteilung in Großstädten erfolgt am häufigsten durch Hochspannungsbaumnetze, an welche Umspannstellen angeschlossen sind, deren jede ein ihr zugeordnetes mit der Gebrauchsspannung betriebenes Netz speist. Diese Niederspannungsmaschennetze können bei größerer Verbrauchsdichte miteinander so verbunden werden, daß ein Maschennetz entsteht; es ermöglicht dies, mit gleichem Leitungsaufwand mehr Energie zu verteilen, erfordert aber andererseits besondere Maßnahmen zur selektiven Erfassung und Eingrenzung von Störungen<sup>1)</sup>. Dem gleichen Gedanken folgend, können schon die Hochspannungsmaschennetze, welche die Umspannstellen speisen, und ihrerseits von großen Umspannwerken oder Kraftwerken versorgt werden, zu einem Maschennetz vereinigt werden, wobei dann zur Sicherung des ungestörten Betriebes ähnliche Maßregeln notwendig werden. In Amerika ist dieses System in der letzten Zeit in einigen Städten in größerem Maßstab versucht worden; eine Reihe von Aufsätzen in Gen. El. Rev. 35 (1932) S. 301 ff., eingeleitet von M. O. Troy, über die im folgenden kurz berichtet wird, beschäftigt sich damit. Das Hochspannungsmaschennetz (primary network) wird vorteilhaft bei einer Verbrauchsdichte von mehr als 200 kVA je km<sup>2</sup> und kann auch noch 8000 kVA je km<sup>2</sup> beherrschen, obwohl über 4000 kVA je km<sup>2</sup> das Niederspannungsmaschennetz bereits im Vorteil ist. Das Hochspannungsmaschennetz, dessen Betriebsspannung in den beschriebenen Fällen 4000 V ist, wird so vermascht, daß die Knotenpunkte möglichst in die Verbrauchschwerpunkte fallen. Die meisten oder doch viele der Knotenpunkte werden mit Umspannstellen ausgestattet, die von einem Netz höherer Spannung (in den beschriebenen Fällen 13 und 22 kV) gespeist werden. Die Leistung der Umspannstellen ist verhältnismäßig klein. Jede enthält nur

<sup>1)</sup> E. u. M. 44 (1926) S. 320.

<sup>2)</sup> E. u. M. 44 (1926) S. 503.

<sup>3)</sup> E. u. M. 46 (1928) S. 963; 50 (1932) S. 667.

<sup>1)</sup> P. Wittich, E. u. M. 49 (1931) S. 625.

einen Transformator, der bei natürlicher Luftkühlung 1500, bei künstlicher Luftkühlung 2000 kVA leistet. Ein Reservetransformator ist nicht erforderlich, da bei Ausfällen einer Umspannstelle vermöge der Vermaschung die Versorgung des Netzes von den umliegenden Umspannstellen übernommen wird, eine Unterbrechung der Stromlieferung also nicht eintritt. Die Umspannstellen werden in genormter Ausführung fabriksmäßig hergestellt, in vorbereitete, meist unterirdische Räume eingebracht und angeschlossen. Sie enthalten den Transformator und die Schalter für vier abgehende 4 kV-Kabel. Die ganze Einrichtung ist vollständig gekapselt und kann auch einer Überflutung standhalten. Der Transformator enthält einen von außen bedienbaren, elektrisch verriegelten Überspannung-Trennschalter mit drei Stellungen („ein“, „aus“, „geerdet“), acht Überspannungs-Anzapfungen für einen gesamten Regelbereich von 10 vH, einen Stufenschalter mit Kraftspeicherantrieb und eine dritte Wicklung für 220 V, welche den Stufenschalterantrieb und den Motorantrieb des Unterspannungsölschalters speist. Dank der geringen Stromaufnahme des Aufzugmotors (0,01 PS) kann er unmittelbar von einem Kontaktvoltmeter (Kontakt zwischen Quecksilbernapf und Platinmadel) gesteuert werden; der Kraftspeicher schaltet, nachdem er voll aufgezo-gen ist, um eine volle Stufe weiter, so daß der Stufenschalter in einer Zwischenstellung nicht stecken bleiben kann; die Aufzugzeit des Motors (rund 20 sec) verhindert das Ansprechen des Stufenschalters bei kurzen Spannungsschwankungen und macht ein besonderes Zeitrelais entbehrlich. Die dem Kontaktvoltmeter zugeführte Spannung wird von einem Stromwandler über eine Drossel und einen Ohmschen Widerstand zusätzlich beeinflusst, und zwar so, daß bei zunehmender Wirklast die Spannung gehoben wird (um bei den Abnehmern annähernd gleichmäßige Spannung zu erzielen) und bei steigender Blindlast die Spannung gesenkt wird (um Ausgleichströme zwischen den einzelnen Knotenpunkten herabzudrücken). Die vier Abzweigschalter sind ebenfalls mit Motorantrieben ausgestattet; diese werden von einem an die Schiene angeschlossenen 5 kVA-Hilfstransformator gespeist (deshalb nicht von der dritten Wicklung, weil die Abzweige bei einem Transformatordefekt, wenn auch der Transformator abschaltet, in Betrieb bleiben müssen). In einem ebenfalls vollkommen gekapselten Schrank sind sämtliche Relais der Umspannstelle untergebracht. Der selektiven Fehlererfassung dienen dreipolige, abhängige Überstromzeitrelais, deren Selektion desto besser ist, je dichter und regelmäßiger das Netz vermascht ist, die aber in allen praktisch vorkommenden Fällen einen ausreichenden Netzschutz darstellen. Sie sind überdies mit einer verzögerten Kurzschlußauslösung versehen. Sammelschienenfehler werden von ihnen ebenfalls erfaßt. Fehler in der anspeisenden Überspannungszuleitung oder im Transformator werden von einem Rückleistungsrelais erfaßt, welches mit einem Überstromrelais kombiniert ist und nur den Unterspannungsschalter des Transformators abschaltet. Ein weiteres Relais bewirkt das Einschalten der Station beim Wiedererscheinen der Überspannung und eines dient zum dreimaligen Wiedereinschalten eines Netzschalters, der ausgelöst hat. Sämtliche Schalter sind mit Auslöse-spulen für 24 V Gleichstrom versehen, zu deren Speisung die Umspannstelle eine samt ihrer selbsttätig wirkenden Ladeeinrichtung vollkommen gekapselte Akkumulatoren-batterie enthält. Die ganze Umspannstelle kann in einem Raum von 9X26 m Grundfläche und 32 m Höhe untergebracht werden, hat also unter dem Gehsteig Platz. Sie ist dann durch ein Einsteigloch zugänglich. Ein oberirdisch angeordneter Signalschrank enthält Stellungsanzeigelampen und Steuerschalter der Ölschalter, die Meldeeinrichtung für etwa vorkommene Störungsfälle, welche durch entsprechende Überwachungseinrichtungen (Kontaktthermometer usw.) selbsttätig erfaßt werden und einen Fernsprechanschluß.

(Gen. El. Rev. 35 (1932) S. 301... 351.)

Literaturberichte.

<sup>3571</sup> **Electrotechnische Constructie**. Von C. F. E. l d m a n n, Professor an der Technischen Hochschule in Delft. III. Teil: Transformatoren. IX und 259 S., 1 Register und 1 Zusammenstellung der gebräuchlichen Buchstaben, mit 172 Abb. und 5 Tafeln. Technische Buchhandlung und Druckerei, J. Waltman jun., Delft 1931.

Es ist zu begrüßen, daß der Autor von seiner ursprünglichen Absicht — im III. Teil Transformatoren und Asynchronmaschinen gemeinsam zu behandeln — Abstand genommen hat und daher der Behandlung des Stoffes jene Vollständigkeit einräumen konnte, die im Verein mit der auch dem I. Teil („Gleichstrom“) und dem II. Teil „Synchronmaschinen“) eigenen klaren und leichtverständlichen Fassung das Buch als ausgezeichneten Studienbehelf und als wertvolle Ergänzung der Literatur erscheinen läßt.

Der Stoff ist in fünf Abschnitte gegliedert. Im ersten Teil werden die theoretischen Grundlagen erörtert, Diagramme, Ersatzschema, Streuung, mechanische Beanspruchung der Wicklung und Zusatzverluste. Der zweite Teil umfaßt konstruktive Einzelheiten: Kern, Wicklung, Gehäuse, Deckel und Durchführungen. Der dritte Teil behandelt die Abführung der Verluste, der vierte Teil die Parallelschaltung. In den letzten Teil, der den Entwurf umfaßt, sind als ausgezeichnete Ergänzung der theoretischen Erwägungen ausführliche Berechnungsbeispiele moderner Transformatoren und Literaturangaben aufgenommen. Den bekannten Berechnungsarten ist eine neue angefügt, die von der gegebenen Kurzschlußspannung ausgeht. Für die Induktion *B* findet man an Stelle von „Gauß“ die Bezeichnung „Maxwell/cm<sup>2</sup>“, wie sie von der IEC — deren Präsident der Autor zu dieser Zeit gewesen ist — in Oslo 1930 angenommen worden ist. Die zahlreichen Abbildungen und die sehr sorgfältig ausgewählten Tafeln vermitteln dem Leser ein anschauliches Bild über die konstruktiven Einzelheiten und die Größenverhältnisse moderner Transformatoren.

E. B e c k e r.

<sup>3582</sup> **Erinnerungen an die Internationale Elektrizitäts-Ausstellung im Glaspalast zu München im Jahre 1882**. Von Oskar v. M i l l e r, (Deutsches Museum, Abhandlungen und Berichte, 4. Jg., Heft 6.) 30 S., mit 10 Abb. VDI-Verlag, G. m. b. H., Berlin 1932. Preis RM. — 90.

Als Ergänzung zu seinen leider Bruchstück gebliebenen Lebenserinnerungen<sup>2)</sup> berichtet M i l l e r in dem Heft über die durch ihn angeregte und unter seiner Mitwirkung entstandene Ausstellung, die zusammen mit der Pariser (1881) und der Wiener elektrischen Ausstellung (1883) zum ersten Male weiteren Kreisen, die schon damals sehr bedeutenden Anwendungen des elektrischen Stromes zeigte. Das Heft enthält überdies noch einen kurzen Bericht über den Ehrenraum der Fernmeldetechnik im Deutschen Museum.

J.

<sup>1)</sup> E. u. M. 45 (1927) S. 1068.

<sup>2)</sup> E. u. M. 49 (1931) S. 575.

<sup>3)</sup> Vgl. E. u. M. 50 (1932) S. 476.

Vereins-Nachrichten.

VORTRAG.

Mittwoch, den 8. März d. J., um 18 Uhr, im großen Saale des Österr. Ingenieur- und Architekten-Vereines, Wien, I., Eschenbachgasse 9, Vortrag des Herrn Dr. L. F l a m m, o. Professor der Technischen Hochschule Wien, über: „Die grundlegenden Vorstellungen der Wellenmechanik.“ (Mit Lichtbildern.) Die Vereinsleitung.

Metallmarkt.

B e r l i n (Nach N. Fr. Presse) Mk. je 100 kg.		L o n d o n (Nach „Mining Journal“ v. 17. II.) je t (1016 kg)	
Kupfer	Electrolytic	Pf.	sh d
10 II.	47 3/4	32	0 32
11. II.	47 3/4	32	0 10
13. II.	47 3/4	32	0 0
14. II.	47 3/4	32	0 0
15. II.	47 3/4	32	0 0
16. II.	47	32	0 0
Wire bars		32	10 0
Blei:			
Engl. plg. common		11	15 0