Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 16 (1925)

Heft: 9

Artikel: Erwärmung und Belastungszeit der Ölschalter-Auslösespulen bei hoher Überlast (Kurzschluss)

Autor: Edler, Robert

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057296

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Siehe Rechtliche Hinweise.

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. Voir Informations légales.

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. See Legal notice.

Download PDF: 25.12.2024

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

Erwärmung und Belastungszeit der Oelschalter-Auslösespulen bei hoher Ueberlast (Kurzschluss).

Von Prof. Ing. *Robert Edler,* Wien.

Ausgehend von der allgemeinen Erwärmungsgleichung berechnet der Autor die für verschiedene Stromstärken höchstzulässige Auslösezeit von Oelschalter-Auslösespulen bei gegebener zulässiger Temperaturerhöhung und unter Vernachlässigung der Wärmeabgabe der Spule an die Umgebung.

En partant de l'équation générale de l'échauffement l'auteur calcule, en fonction de l'intensité du courant et pour une élévation de température donnée, le temps de déclenchement d'interrupteurs à huile, en négligeant la chaleur rayonnée par la bobine.

Die Elektromagnetspulen der Ueberstromauslöser der Oelschalter werden gewöhnlich derart bemessen, dass sie die für die Ankerbewegung erforderliche Amperewindungszahl aufweisen und dabei im Dauerbetriebe mit dem Nennstrom keine unzulässige Erwärmung annehmen; die erforderliche Amperewindungszahl liegt bei den üblichen Bauformen der auf dem Oelschalter unmittelbar aufgebauten Ueberstromauslöser zumeist zwischen 1000 und 1500, während als spezifische Kühlfläche für Dauerbelastung mit dem Nennstrom etwa 10 bis 12 cm^2 für 1 Watt zu rechnen sind, wobei nur die Mantelfläche der Spule als Kühlfläche angenommen werden soll. Da die Ueberstromauslöser innerhalb der Grenzen 1,4 $\times$ Nennstrom bis 2,0 $\times$ Nennstrom einstellbar sein sollen, so muss man mit länger dauernden Ueberlastungen selbst bis zum zweifachen Nennstrom rechnen, ohne dass die Spule die Auslösung veranlasst; es ist daher begreiflich, dass man mit der spezifischen Kühlfläche nicht unter 10 bis 12 cm^2 für 1 Watt (Dauerlast beim Nennstrom) herabgehen soll.

Im Betriebe kommen nun häufig ganz gewaltige Ueberlastströme zur Wirkung, die bisweilen mehrere Sekunden andauern, bis eben der zugehörige Oelschalter — je nach der Einstellung des Zeithemmwerkes — abschaltet. Es kann nun vorkommen, dass während dieser Zeit die Erwärmung einzelner Auslösespulen schon so gross geworden ist, dass die Baumwolleumspinnung gefährdet wird.

Im allgemeinen kann man eine Erwärmung um 50^0 C als unbedenklich und auch nach den Vorschriften des V.D.E. als stets zulässig bezeichnen. Kurzzeitige Ueberlastungen, die Erwärmungen um 70 bis 80^0 C mit sich bringen, wird man bei Baumwolleumspinnung eben noch als zulässig ansehen, während eine Erwärmung um 100^0 C schon als bedenklich gelten kann, da eine häufig vorkommende Erwärmung der Baumwolle bis auf 135^0 C (bei 35^0 Anfangstemperatur) schon langsam zur Zersetzung der organischen Bestandteile der Wolle führt. Bei Temperaturwerten von 200 bis 250^0 C tritt schon eine merkbare Braunfärbung und ein unverkennbarer Verfall der Fasern ein; bei etwa 300 bis 400^0 C ist die Verkohlung bereits so weit vorgeschritten, dass von einer irgendwie nennenswerten Festigkeit und Isolierfähigkeit keine Rede mehr sein kann.

Für den gesicherten Betrieb einer Schaltanlage ist es daher sehr wichtig, festzustellen, welchen *Ueberlastströmen* die Elektromagnetwicklungen der Oelschalter-Ueberstromauslöser gewachsen sind, und vor allem, *wie lange* diese Ueberlastströme andauern dürfen, ohne dass die Anlage gefährdet wird. Die Kenntnis der erwähnten Grenzwerte ist wichtig, weil davon die *Zeiteinstellung* der Ueberstromauslöser abhängt. Wiederholte, wenn auch nur kurzdauernde Ueberschreitungen der Gefahrgrenzen führen langsam, aber sicher zur Zerstörung der Baumwolleumspinnung, dadurch aber zum Kurzschluss einzelner Windungen oder gar ganzer Lagen und dann infolge der Transformatorwirkung der kurzgeschlossenen Windungen sehr rasch zur vollständigen Zerstörung der Spule. Die Tränkung der Spulen mit hochwertigem Bakelit rückt die Gefahrgrenzen höher hinauf; die Verwendung von Lackdrähten (sogenannten Emaildrähten) aber schützt nicht sicher gegen Windungs- und Lagenschluss, da beim Wickeln blanke Stellen entstehen können, die natürlich verhängnisvoll werden können.

Ein *zuverlässiger Schutz der Spulen* lässt sich nur durch Feststellung des Zusammenhanges zwischen der Stromstärke und der Belastungszeit bei Ueberlast (Kurzschluss) erreichen.

Da es sich bei hohen Ueberlastungen wegen der entsprechenden Zeiteinstellung der Ueberstromauslöser immer nur um Belastungszeiten bis zu etwa 10 Sekunden handelt, so kann es zu einer nennenswerten Wärmeabgabe an die Umgebung gar nicht kommen, so dass man nur die *Wärmeaufspeicherung* in der Spule zu berücksichtigen braucht.

In der allgemeinen Erwärmungsgleichung[1]):

$$\underbrace{Q_1\,dt}_{\text{zugeführt}} = \underbrace{G\,c\,d\tau}_{\text{aufgespeichert}} + \underbrace{C_s\,O\,\tau\,dt}_{\text{abgegeben}} \ldots \text{ Grammkalorien} \tag{1}$$

kann also für kleine Belastungszeiten t Sek., die im Vergleiche mit der Zeitkonstanten T Sek. vernachlässigt werden können, die abgegebene Wärmemenge (Strahlung, Leitung, Konvektion) unberücksichtigt bleiben; dann wird:

$$C_s\,O\,\tau\,dt \doteq 0 \tag{2}$$

und daher:

$$Q_1\,dt \doteq G\,c\,d\tau\ , \tag{3}$$

somit nach Integration:

$$0{,}24\,I_k^2\,R\,t_k = G\,c\,(\tau_e - \tau_a) = G\,c\,\tau\ . \tag{4}$$

Dabei bedeutet:

Q_1 Grammkalorien in 1 Sek.
I_k Kurzschlusstrom (Ueberlaststrom) in A.
t_k Kurzschlusszeit (Auslösezeit) in Sek.
R Ohm ... Spulenwiderstand (warm).
G Gramm (Kupfergewicht der Spule).
c Grammkalorien für 1 Gramm und für 1 Grad ... spez. Wärme des Spulenkupfers.
τ Celsiusgrade ... Erwärmung.
τ_e Celsiusgrade ... Endtemperatur.
τ_a Celsiusgrade ... Anfangstemperatur.
C_s Grammkalorien für 1 Sek. für 1° Celsius für 1 cm² Ausstrahlungsoberfläche ... die Wärmeabgabeziffer.
O cm² ... die Ausstrahlungsoberfläche.
dt Sek. ... das Zeitdifferenzial.
$d\tau$ Celsiusgrade ... das Temperaturdifferenzial.

Man erhält daher aus Gl. (4):

$$A = (I_k^2\,R)\,t_k = \frac{G\,c}{0{,}24}(\tau_e - \tau_a) \ldots \text{ Wattsekunden (Joule).} \tag{5}$$

Für die spezifische Wärme c des Kupfers gelten folgende Werte[2]):

$$\left.\begin{array}{ll} \text{für } +20 \text{ bis } +100^0 \ \ .\ \ . & c = 0{,}0936 \\ \text{für } +300^0\ .\ .\ .\ .\ .\ . & \ 0{,}0985 \\ \text{für } +900^0\ .\ .\ .\ .\ .\ . & \ 0{,}126 \end{array}\right\} \tag{6}$$

Bezeichnet man mit c_0 die spezifische Wärme des Kupfers bei 0° C, so kann man für die Temperaturgrenzen von 0° bis 900° die spezifische Wärme c aus den Werten (6) nach der Gleichung:

$$c = c_0\,(1 + \gamma\,\tau + \delta\,\tau^2) \tag{7}$$

[1]) Vgl. Edler, Schalterbau, 2. Aufl., Bd. I, Seite 73 (Verlag Jänecke, Leipzig 1923).
[2]) „Hütte", 24. Aufl. 1923, Bd. I, S. 742, 451, 453 (Verlag Ernst & Sohn, Berlin).
Biedermanns Chemiker-Kalender, 41. Jahrg. (Berlin 1920, Verlag Springer). 1. Band, Seite 18 bis 71. 2. Band, Seite 142 bis 145.

mit:
$$\left.\begin{array}{l}\gamma = 93 \cdot 10^{-6} \\ \delta = 0{,}355 \cdot 10^{-6}\end{array}\right\} c_0 = 0{,}0930 \tag{8}$$

mit sehr grosser Annäherung berechnen.

Lässt man als höchste Temperatur den Wert $\tau = 120^0$ C zu, was einer Erwärmung $(\tau_e - \tau_a) = 100^0$ bei der Anfangstemperatur $\tau_a = 20^0$ entspricht, dann wird:

$$c_{120} = c_0 (1 + \gamma \tau + \delta \tau^2) = 0{,}0944 \,. \tag{9}$$

Nach den obigen Erwägungen ist es nicht ratsam, bei Wicklungen mit Baumwolleumspinnung noch höhere Temperaturwerte anzunehmen.

Nur bei Spulen mit Bandkupferwicklung, die durch hochwertige Isoliermittel (z. B. Glimmer) isoliert sind, könnten noch höhere Temperaturwerte in Frage kommen; Weichlotverbindungsstellen an Kabelschuhen und dergleichen müssten aber dann unbedingt vermieden werden. Bei Verwendung von bakelisiertem Papier als Zwischenlagen zwischen den Bandwicklungen könnte allenfalls noch die Temperatur 300^0 zugelassen werden. Spulen aus blankem Kupfer (für hohe Stromstärken) ohne Zwischenlagen aus Isolierstoffen, das sind also Spulen mit ganz wenigen Windungen, die nur mit Luftisolation frei gewickelt sind (event. auch gegossen oder gefräst), vertragen naturgemäss hohe Temperaturwerte, theoretisch sogar Werte bis zur Glühtemperatur (etwa 500^0 C).

Das in der Gl. (5) enthaltene Produkt $c(\tau_e - \tau_a)$, das für die Berechnung massgebend ist, ist in Fig. 1 graphisch dargestellt, wobei von einer Anfangstemperatur $\tau_a = 20^0$ C ausgegangen wurde.

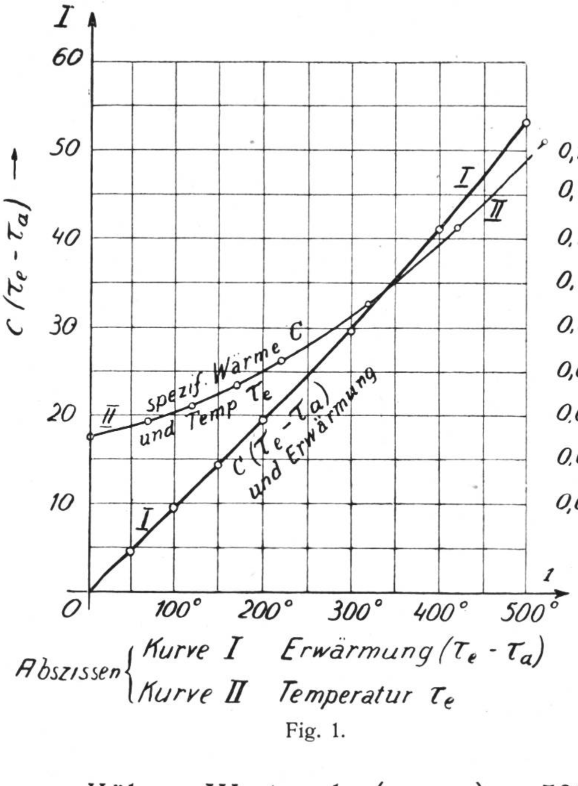

Fig. 1.

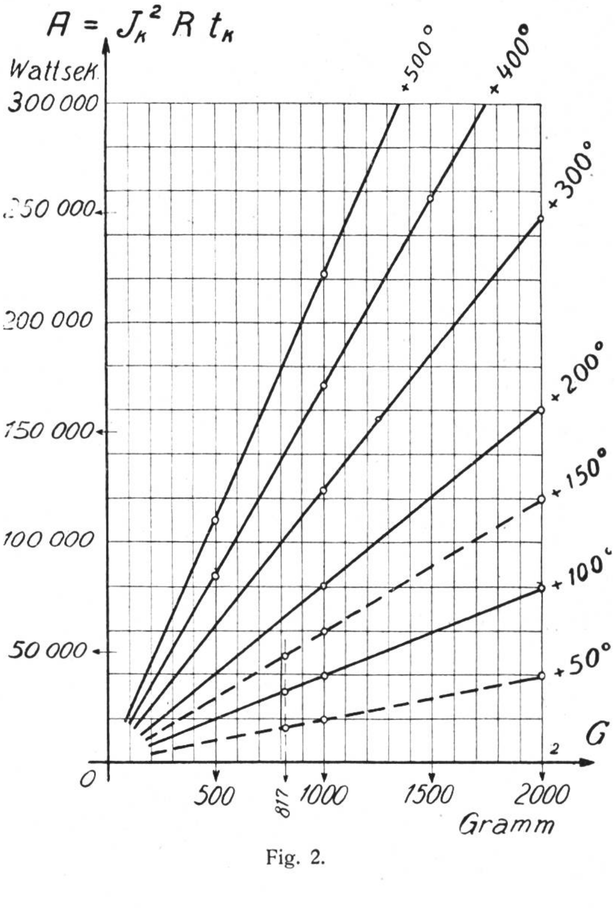

Fig. 2.

Höhere Werte als $(\tau_e - \tau_a) = 500^0$ wird man nicht berücksichtigen, da dann schon die Glühtemperatur erreicht würde.

Aus der Gl. (5) kann man mit Hilfe der Fig. 1 für jedes Kupfergewicht G_k die Arbeit A berechnen, die durch die Kurzschlusstromstärke I_k während der Kurzschlusszeit t_k in der Spule aufgespeichert wird und zur Erwärmung um $(\tau_e - \tau_a)^0$ C führt (Anfangstemperatur $\tau_a = 20^0$ C).

Die so erhaltenen Werte sind in Fig. 2 graphisch dargestellt.

Wenn nun die Abmessungen einer Auslösespule (vergl. Fig. 3) bekannt sind, so kann man unter Annahme der spezifischen Kühlfläche a cm² für 1 Watt bei der Dauerbelastung mit dem Nennstrom I folgende Beziehungen finden:

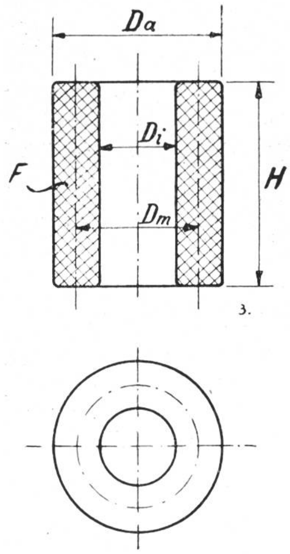

Fig. 3.

$$a\, I^2 R = D_a \pi H \; . \tag{10}$$

$$R = w \frac{D_m \pi}{\varkappa q} = \frac{D_m \pi}{\varkappa} \frac{I}{q} \frac{w}{I} = \frac{D_m \pi}{\varkappa} j \frac{w}{I} \; , \tag{11}$$

wobei w die Windungszahl der Spule, $j = I : q$ die Stromdichte und $\varkappa$ die Leitfähigkeit (warm) bedeutet.

Der Kupferfüllfaktor des Wicklungsquerschnittes F sei f_k; dann wird:

$$F f_k = w q \quad (12) \cdot \qquad \text{und} \qquad F = H \frac{D_a - D_i}{2} \; , \tag{13}$$

daher wird aus (12) die Amperewindungszahl beim Nennstrom:

$$I w = F f_k \frac{I}{q} = F f_k j \; . \tag{14}$$

Man erhält daher für den Spulenwiderstand R folgenden Wert (aus 11 und 14):

$$R = \frac{D_m \pi}{\varkappa} j \frac{I w}{I^2} = \frac{D_m \pi}{\varkappa} F f_k j^2 \frac{1}{I^2} = C \frac{1}{I^2} \; , \tag{15}$$

da ja die Werte D_m, $\varkappa$, F, f_k, j als bekannt anzusehen sind.

Aus den Gl. (10) und (15) folgt auch:

$$I^2 R = \frac{D_a \pi H}{a} = C = \frac{D_m \pi}{\varkappa} F f_k j^2 \; , \tag{16}$$

somit wegen $D_m = \dfrac{D_a + D_i}{2}$:

$$\frac{D_a \pi H}{a} = \frac{(D_a + D_i) \pi}{2 \varkappa} H \frac{D_a - D_i}{2} f_k j^2$$

$$\frac{D_a}{a} = \frac{D_a^2 - D_i^2}{4 \varkappa} f_k j^2 \; \ldots \left(\frac{\text{Watt}}{\text{cm}}\right) . \tag{17}$$

Aus der Gleichung: $\qquad A = I_k^2 R t_k \ldots$ Wattsekunden $\qquad (5)$

erhält man daher mit dem Werte für R aus (15):

$$A = C \left(\frac{I_k}{I}\right)^2 t_k \; , \tag{18}$$

wobei: $$C = \frac{D_a^2 - D_i^2}{4 \varkappa} \pi H f_k j^2 \ldots (\text{Watt}). \tag{19}$$

Die Konstante C kann aber aus der für Dauerbelastung mit dem Nennstrom I berechneten Spule ermittelt werden.

Wenn also das Kupfergewicht der Spule G Gramm und die Spulenkonstante C Watt (Gl. 19) bekannt ist, dann kann man aus der Gl. (18) mit Hilfe der Fig. 2 der Wattsekunden A bei Kurzschluss (Ueberlast) für jede Kurzschlusszeit t_k das Verhältnis $\frac{I_k}{I}$ berechnen. Es ist also auch umgekehrt möglich, für jeden Ueberlaststromfaktor $\frac{I_k}{I}$ die grösste zulässige Belastungszeit t_k anzugeben; dadurch ist aber ein sehr wertvolles Hilfsmittel für die Anordnung der Zeiteinstellung bei hoher Ueberlast gewonnen.

Da die Spulenkonstante C (Watt) (Gl. 19) von den Abmessungen und von der Belastung der Spule abhängt, so muss sie in jedem einzelnen Falle besonders berechnet werden, was noch an einem Beispiele gezeigt werden soll.

Beispiel:

$D_a = 7$ cm $\quad w = 140$ Windungen

$D_i = 4$ cm $\quad d = 2{,}2$ mm Drahtdurchmesser

$D_m = 5{,}5$ cm $\quad q = 0{,}038$ cm^2 [(blank)

$H = 6{,}5$ cm $\quad I = 10$ A (Nennstrom)

$f_k = \frac{w\,q}{F} = 0{,}546$ (Kupferfüllfaktor)

$j = \frac{I}{q} = \frac{10}{0{,}038} = 263$ A/cm^2

6 Lagen zu je 24 Windungen; davon ab 4 Windungen für Anschluss der Zuleitungen; daher $w = 140$ Windungen.

$\varkappa = 500\,000$ (Siemens für 1 cm für 1 cm^2) Leitfähigkeit (warm).

Nach Gl. (19) wird daher die Spulenkonstante:

$$C = \frac{D_a^2 - D_i^2}{4\,\varkappa}\,\pi\,H\,f_k\,j^2 = 12{,}75 \text{ Watt.}$$

Aus der Gl. (18) erhält man somit:

$$A = C\left(\frac{I_k}{I}\right)^2 t_k = 12{,}75\left(\frac{I_k}{I}\right)^2 t_k\,. \tag{20}$$

Es handelt sich jetzt nur noch um die Bestimmung des Kupfergewichtes G (Gramm) der Spule, um dann mit Hilfe der Werte für A den Zusammenhang zwischen dem Ueberstromfaktor $\frac{I_k}{I}$ und der Kurzschlusszeit feststellen zu können.

Für das Kupfergewicht G findet man:

$$G = w\,D_m\,\pi\,q\,\gamma = 817 \text{ Gramm.} \tag{21}$$

Das Gewicht der Anschlussleitungen soll unberücksichtigt bleiben.

Aus der Gl. (5) erhält man daher:

$$G = 817\text{ Gramm}\left\{\begin{array}{lllll} \tau_e - \tau_a = & 50^0 & c\,(\tau_e - \tau_a) = & 4{,}685 & ,\,A = 15\,960 \text{ Wattsekunden} \\ & 100^0 & & 9{,}43 & \quad\;\; 32\,150 \\ & 150^0 & & 14{,}295 & \quad\;\; 48\,650 \end{array}\right.$$

Diese Werte für A lassen sich bei $G = 817$ Gramm auch aus der Fig. 2 ablesen.

Da nun die Spulenkonstante mit $C = 12{,}75$ Watt berechnet wurde, so erhält man aus der Gl. (20):

$$\left(\frac{I_k}{I}\right)^2 t_k = \frac{A}{12{,}75}\,,$$

somit: für $\tau_e - \tau_a = 50^0$ $\left(\frac{I_k}{I}\right)^2 t_k = 1252$

100^0 2522

150^0 3820.

Man kann daher jetzt den Zusammenhang zwischen dem Ueberstromfaktor $\frac{I_k}{I}$ und der Kurzschlusszeit t_k Sek. berechnen. Die Werte sind in Fig. 4 enthalten.

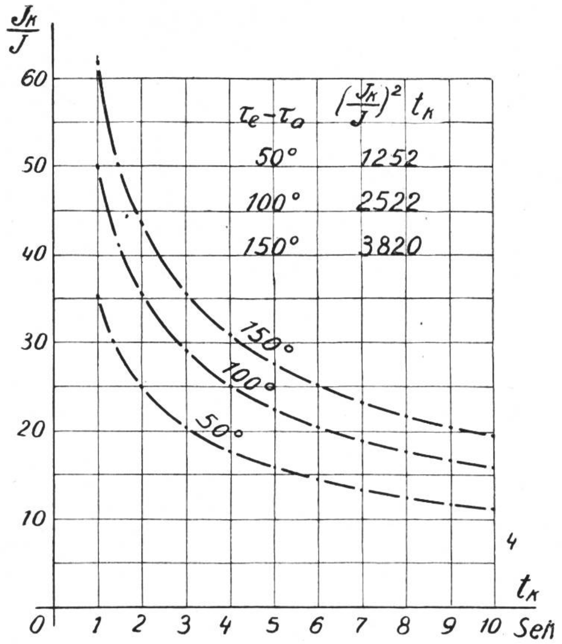

Fig. 4.

Fig. 4 lässt erkennen, dass man den Auslösespulen der Oelschalter für kurze Zeit recht erhebliche Ueberlastströme zumuten darf.

Es wurde schon darauf hingewiesen, dass die vorliegende Berechnungsweise nur dann hinreichend genau gilt, wenn die Belastungszeit t_k bei hoher Ueberlast sehr klein ist im Vergleiche zur Zeitkonstante T der Spule.

Die angenäherte Berechnung der *Zeitkonstante* T kann aus den Verhältnissen für Dauerlast abgeleitet werden.

Aus der allgemeinen Erwärmungsgleichung (1) folgt für Dauerbelastung, da die ganze zugeführte Wärmemenge wieder abgegeben wird:

$$Q_1 = 0{,}24\, I^2 R = C_s\, O\, \tau_{max}\,, \tag{22}$$

daraus folgt:

$$\tau_{max} = \frac{0{,}24}{C_s} \frac{I^2 R}{O} = C' \frac{I^2 R}{O}\,. \tag{23}$$

Man kann:

$$C' = \frac{\tau_{max}}{\left(\frac{I^2 R}{O}\right)} \left[\frac{\text{Grade}}{\left(\frac{\text{Watt}}{\text{cm}^2}\right)}\right] \tag{24}$$

als *Erwärmungsziffer* bezeichnen; sie hat bei vorzüglicher Kühlung etwa den Wert 100, bei schlechter Kühlung liegt ihr Wert bei etwa 500.

Die Wärmeabgabeziffer C_s (Grammkalorien für 1 Sek. für 1^0 C für 1 cm^2) kann also bei schlechter Kühlung (ohne Luftbewegung, beschränkter Luftzutritt), die vorsichtigerweise angenommen werden soll, auf etwa:

$$C_s = \frac{0{,}24}{C'} = \frac{0{,}24}{500} = \frac{0{,}48}{1000} \tag{25}$$

geschätzt werden.

Für das oben berechnete Beispiel (Kühlfläche 143 cm^2) wird daher:

$$C_s\, O = 0{,}0686\,. \tag{26}$$

Die Zeitkonstante ist aber:

$$T = \frac{G\, c}{C_s\, O} = \frac{G\, c\, C'}{O\, 0{,}24} \ \ldots \text{(Sek.)} \ldots ^{3)}. \tag{27}$$

Nach Gl. (21) ist $G = 817$ Gramm; die spezifische Wärme kann nach Fig. 1 mit

[3]) Vgl. Edler, Schalterbau, 2. Aufl., Bd. I, Seite 75 (Verlag Jänecke, Leipzig 1923).

etwa $c = 0{,}0934 \dfrac{\text{Grammkal.}}{\text{Gramm} \times \text{Grade}}$ angenommen werden, da sich aus Gl. (24) die Temperatur im Dauerbetrieb ergibt:

$$\tau_{\max} = C' \frac{I^2 R}{O} = 500 \frac{12{,}75}{143} = 44{,}6^0 . \tag{28}$$

(Ein Versuch an der Spule lieferte als Endtemperatur für den Nennstrom 10 A bei Dauerlast 42^0, an der Mantelfläche mit dem Thermometer gemessen.)

Man erhält daher aus (28):

$$T = \frac{817 \cdot 0{,}0934}{0{,}0686} = 1113 \text{ Sek.} = 18 \text{ Min. } 33 \text{ Sek.}$$

Die Belastungszeiten $t_k = 1$ bis 10 Sek. sind also wirklich gegen die Zeitkonstante T fast verschwindend klein.

Die Kurven der Fig. 4, welche den Zusammenhang zwischen der *Kurzschlusszeit* t_k Sek. und dem *Ueberstromfaktor* $\left(\frac{I_k}{I}\right)$ darstellen, gelten nicht nur für das angenommene Zahlenbeispiel (Nennstrom $I = 10$ A), sondern in gleicher Weise für *alle Spulen derselben Grösse,* wenn der *Kupferfüllfaktor* f_k und die *Stromdichte* j ungeändert beibehalten wird, d. h. wenn die *Amperewindungszahl* (Gl. 14) konstant bleibt, denn auch C (Gl. 19) bleibt konstant.

Für zwei Spulen für die Nennstromstärken I_1 und I_2 wird daher nach Gl. (20), da ja die aufgespeicherten Wattsekunden A ungeändert bleiben:

$$A = C \left(\frac{I_{k1}}{I_1}\right)^2 t_{k1} = C \left(\frac{I_{k2}}{I_2}\right)^2 t_{k2} .$$

Für eine bestimmte, in beiden Fällen gleich gross gewählte Kurzschlusszeit $t_{k1} = t_{k2}$ wird daher auch:

$$\frac{I_{k1}}{I_1} = \frac{I_{k2}}{I_2} ,$$

so dass die Fig. 4 unverändert gültig bleibt.

Zum Vergleiche sollen noch jene Werte herangezogen werden, die Ing. P. Bendmann für die Auslösespulen der EMAG-Frankfurt a. M. angibt[4]):

Nennstrom $I = 200$ A

$t_k = 0{,}5$ Sek. . . .	$I_k = 25\,000$ A . . .	$\frac{I_k}{I} = 125$ . . .	$\left(\frac{I_k}{I}\right)^2 t_k = 7812{,}5$
1	18 000	90	8100
3	10 000	50	7500
5	8 000	40	8000

Spezialspulen für $I = 200$ A:

$$t = 5 \text{ Sek.} \ldots \quad I_k = 13\,000 \text{ A} \ldots \quad \frac{I_k}{I} = 65 \ldots \quad \left(\frac{I_k}{I}\right)^2 t_k = 21\,125 .$$

Nach der Gl. (20) ist:

$$\left(\frac{I_k}{I}\right)^2 t_k = \frac{A}{C} = \frac{\frac{G\,c}{0{,}24} (\tau_e - \tau_a)}{I^2 R} .$$

[4]) E. T. Z. 1924, Heft 51, Seite 1421.

Da nach den Angaben Bendmanns $\left(\frac{I_k}{I}\right)^2 t_k =$ ungefähr 8000 ist, so muss für $C = I^2 R = 10$ Watt der Wert $A =$ ungefähr 80000 Wattsekunden sein; nach der Fig. 2 erhält man also folgende zusammengehörige Werte:

$G = 1000$ Gramm ... Erwärmung $\tau_e - \tau_a =$ ungefähr 200^0 C

$G = 2000$ Gramm ... Erwärmung $\tau_e - \tau_a =$ ungefähr 100^0 C.

Bei mässiger Erwärmung sind also für die von Bendmann angegebenen Werte sehr schwere Spulen erforderlich; leichtere Spulen führen aber notwendigerweise zu hoher Erwärmung, die bei Baumwolleumspinnung schon bedenklich werden kann.

Jedenfalls sieht man aus allen Erwägungen und Berechnungen, dass grosse Kupfergewichte G und geringe Verluste ($C = I^2 R$) anzustreben sind, wenn man die Erwärmung niedrig halten und doch grosse Werte I_k und t_k erzielen will.

Possibilité de surtension de résonance lors de terres accidentelles dans les réseaux avec mise à la terre du neutre.

Par *Sigurd Rump,* ingénieur, Baden.

Der Autor beschreibt eine Ueberspannungserscheinung in einem Drehstromnetz anlässlich von Versuchen mit direkter Nullpunkterdung. Bei leerlaufendem Netz wurde ein Erdschluss eingeleitet, wobei ein Isolatorüberschlag auf einer gesunden Phase auftrat. In belasteten Netzen ist diese Gefahr infolge der Dämpfung nicht zu befürchten.

L'auteur décrit un phénomène de surtension dans un réseau triphasé, observé à l'occasion d'essais de mise à la terre directe du neutre. Le réseau étant sous tension et à vide, on a mis une phase à la terre, ce qui a provoqué le claquage d'un des isolateurs d'une phase saine. Dans un réseau chargé ce danger n'est toutefois pas à craindre à cause de l'amortissement.

On admet en général que dans les réseaux à haute tension toutes les surtensions par suite de terres sont évitées par une mise à la terre du neutre. Cela est aussi juste s'il s'agit de surtensions causées par une terre intermittente.

Un essai a été fait dans un réseau triphasé avec neutre mis à la terre et terre sur une des phases. Contre toute attente il se produisit un claquage sur une phase saine. On put suivre la marche du phénomène dans tous ses détails au moyen d'oscillogrammes, d'où il ressortit que la perturbation était due à des surtensions de résonance.

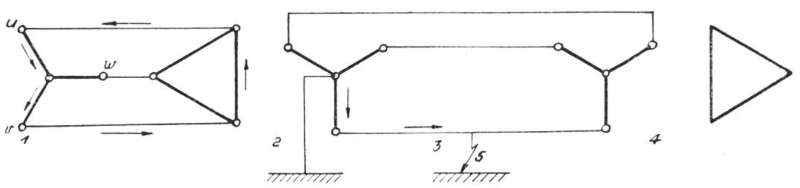

Fig. 1.
Schéma des connexions.
1) Alternateur, 13000 kVA, 8,6 kV.
2) Transformateur, 13000 kVA, 8,6/78 kV.
3) Ligne aérienne de 100 km environ.
4) Transformateur, 13000 kVA, 72,6/56 kV.
5) Terre.

Le schéma des connexions du réseau d'essai est donné par la fig. 1. Ce réseau comprenait un alternateur de 13000 kVA, un transformateur de 13000 kVA, rapport de transformation 8,6/78 kV, et une ligne aérienne longue de 100 km environ, à laquelle était connecté un groupe de transformateurs, fonctionnant à vide, de 13000 kVA et 72,6/56 kV.

La distribution des courants est indiquée par des flèches. Les deux phases saines de la ligne ne transportent aucune puissance si nous négligeons le courant de magnétisation du transformateur 4[1]). L'alternateur est alors court-circuité sur

[1]) Voir III[e] Conférence internationale des grands réseaux électriques à Paris 1925, MM. Bauer, Forrer, Rump: Rapport sur des essais de mise à la terre du neutre.