

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 24 (1933)  
**Heft:** 15

**Artikel:** Axiale Stromkräfte zwischen koaxialen Röhrenwicklungen mit Abschaltspulen  
**Autor:** Korb, Alfred  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1059529>

### **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:** 03.04.2026

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

# Axiale Stromkräfte zwischen koaxialen Röhrenwicklungen mit Abschaltspulen.

Von Dr. Alfred Korb, Prag.

(Aus dem Elektrotechnischen Institut der deutschen Technischen Hochschule in Prag, Vorstand Prof. Dr. F. Niethammer.)

621.314.21.00.12

Im folgenden werden die inneren und äusseren axialen Stromkräfte, wie sie bei Windungsschluss oder beim Abschalten zwischen koaxialen und gleich hohen Röhrenwicklungen mit endlichen — im Gegensatz zur bisherigen Behandlung — Krümmungshalbmessern auftreten, untersucht und deren Verlauf diskutiert. Für ein praktisches Beispiel wird die Grösse dieser Kräfte angegeben.

L'auteur étudie les efforts électrodynamiques axiaux intérieurs et extérieurs qui naissent, lors de courts-circuits entre spires ou lors du shuntage de spires, entre des enroulements cylindriques concentriques de même hauteur et dont le rayon de courbure est fini — contrairement au mode de calcul appliqué jusqu'à présent — puis indique la grandeur numérique de ces efforts dans un cas pratique.

Obwohl man beim Bau von Transformatoren mit Röhrenwicklungen eine vollkommene Symmetrie der Wicklungsanordnung in axialer Richtung anstrebt, so können doch beim Abschalten von Windungen oder bei Windungsschluss in einer der Wicklungen Unsymmetrien in die Anordnung kommen, welche bei Kurzschluss axiale Abstossungskräfte gegen die Joche hin auslösen, die die volle Berücksichtigung des Konstrukteurs verlangen. Setzt man bei symmetrischem Abschalten die Abschaltwicklung als starr voraus, so bleibt die ganze Wicklungsanordnung nach aussen hin kräftefrei. Die Kontraktionskraft in der Abschaltwicklung geht mit zunehmendem Abschaltbereich in eine Zer-reisskraft über, während die Kontraktionskraft in der anderen Wicklung grösser wird.

Allgemein ist die Axialkraft zwischen zwei koaxialen, kreiszylindrischen Röhrenwicklungen ( $a, A =$  Halbmesser,  $h_1, h_2 =$  gesamte Wicklungshöhen,  $\delta_1, \delta_2$  gesamte Windungszahlen,  $\Delta_1 \ll a, \Delta_2 \ll A =$  radiale Wickeltiefen, Füllfaktor jeder Wicklung  $= 1, \mu$  im ganzen Raum  $= 1$ ), die um die Exzentrizität  $e$  gegeneinander verschoben sind, gegeben durch <sup>2)</sup>:

$$F_x = I_1 \cdot I_2 \cdot \left(\frac{\delta_1}{h_1}\right) [\mathfrak{N}_2 - \mathfrak{N}_1] \cdot 1,02 \cdot 10^{-8} \text{ in kg} \quad (1)$$

wobei

$$\mathfrak{N}_1 = 4 \cdot \pi \cdot \left(\frac{\delta_2}{h_2}\right) \cdot (A + a) \cdot \sqrt{A \cdot a} \cdot \left\{ \left[ \frac{K - E}{k^2} + \frac{1 - c^2}{c^2} \cdot (K - \Pi) \right] \cdot \sqrt{c^2 - k^2} \right\}_{k_1}$$

mit

$$k_1 = \frac{2 \sqrt{Aa}}{\sqrt{(A + a)^2 + (z_1 - h_1)^2}} = k_1 (z_1 - h_1);$$

$$k_2 = \frac{2 \sqrt{Aa}}{\sqrt{(A + a)^2 + (z_2 - h_1)^2}} = k_2 (z_2 - h_1)$$

und ebenso

$$\mathfrak{N}_2 \text{ mit } k_3 (z_1); k_4 (z_2); c = \frac{2 \sqrt{Aa}}{A + a};$$

$$z_1 = e - \frac{h_2 - h_1}{2}; z_2 = e + \frac{h_2 + h_1}{2}$$

die gegenseitigen Induktionskoeffizienten je zwischen den Randleitern der Spule (I) und der gesamten Spule (II) bedeuten.  $K, E$  und  $\Pi$  sind hierin die vollständigen elliptischen Integrale 1., 2. und 3. Gattung mit dem Modul  $k$  und dem Parameter  $-c^2$ ;  $I_1$  und  $I_2$  sind die Dauerkurzschlußströme in Ampère.

1. Schaltet man an irgendeiner Stelle einer Röhrenwicklung  $\frac{\delta}{h} \cdot (h - h_1 - h_2)$  hintereinander geschaltete Windungen ab, so wirkt zwischen den beiden gleichsinnig stromdurchflossenen Teilspulen mit den Höhen  $h_1$  und  $h_2$  eine axiale Anziehungskraft, die aus Gl. (1) mit  $A = a; c = 1$  und  $I_1 = I_2 = I$  berechnet werden kann. Speziell folgt für die innere axiale Stromkraft zwischen den Teilspulen bei symmetrischem Abschalten von  $2\delta_z$  Windungen entsprechend einer Höhe  $2n$  von der Mitte aus (Fig. 1), nach derselben Gl. (1):

$$F_d = 8 \cdot \pi \left(\frac{\delta}{h}\right)^2 \cdot a^2 \cdot I^2 \cdot \left\{ \frac{E - K}{k^2 (2n)} \cdot \sqrt{1 - k^2} - 2 \cdot \frac{E - K}{k^2 \left(\frac{h}{2} + n\right)} \cdot \sqrt{1 - k^2} + \frac{E - K}{k^2 (h)} \cdot \sqrt{1 - k^2} \right\} \cdot 1,02 \cdot 10^{-8} = 8 \cdot \pi \left(\frac{\delta}{h}\right)^2 \cdot a^2 \cdot I^2 \cdot \psi(n) \cdot 1,02 \cdot 10^{-8} \text{ kg} \quad (2)$$

wobei der Kürze halber der den Modul  $k$  bei einem gegebenen Halbmesser  $a$  charakterisierende Abstand jenem im Nenner stehenden geklammert beigefügt wurde und alle Grössen in den einzelnen Summanden durch diesen Modul bestimmt sind.

In Fig. 1 ist der Verlauf der inneren Axialkraft in Abhängigkeit der Zahl der einseitig abgeschalteten Windungen bzw. der entsprechenden Höhe  $n$ ,

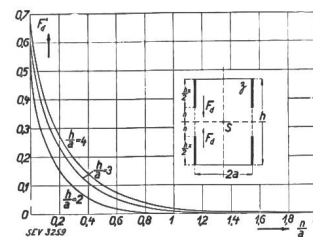


Fig. 1. Kontraktionskraft in einer Röhrenspule bei symmetrischem Abschalten von der Mitte:

$$F_d = 8 \cdot \pi \left(\frac{\delta}{h}\right)^2 \cdot a^2 \cdot I^2 - 1,02 \cdot 10^{-8} \cdot F'_d$$

für verschiedene Spulenformen dargestellt.  $n = 0$  ergibt die grösste innere Kontraktionskraft in den Wicklungen.

1) Erstmals eingegangen am 11. Juli 1932.

2) A. Korb, E. u. M., 1932, S. 489, 505.

2. Liegt die symmetrisch abgeschaltete Spule im magnetischen Feld einer zweiten zu ihr coaxialen, so werden die inneren Anziehungskräfte zwischen den Spulenteilen I'—I' (Fig. 2) bzw. II'—II' (Fig. 3) um die äusseren vom Fremdfeld ausgelöst vermindert.

a) Führt man die Abschaltung an der inneren Spule I ( $h_1 = h_2$  bei  $n = 0$  und  $e = 0$ ) aus, so folgt unter der Voraussetzung  $I_1 \cdot \delta_{1x} = I_2 \cdot \delta_2 = \text{konstant}$ , wenn  $\delta_{1x}$  die nach der Abschaltung stromdurchflossenen Windungen bedeuten ( $\frac{\delta_{1x}}{h_{1x}} = \frac{\delta_1}{h_1}$ ) die in der Wicklung auftretende innere axiale Stromkraft:

$$F_1 = F_x - F_{d1} = I_1 \cdot \left(\frac{\delta_1}{h_1}\right)^2 \cdot a^2 \cdot \left[ (\mathfrak{N}'_1 - \mathfrak{N}'_2) \cdot \frac{h_{1x}}{h_1} - 8 \cdot \pi \cdot \psi(n) \right] \cdot 1,02 \cdot 10^{-8} \quad (3)$$

mit  $\frac{h_{1x}}{h_1} = \left(1 - 2 \cdot \frac{n}{h_1}\right)$ ;  $\mathfrak{N}'_1 = \left(\frac{h_2}{\delta_2}\right) \cdot \frac{1}{a_2} \cdot \mathfrak{N}_1$ ;  
 $\mathfrak{N}'_2 = \left(\frac{h_2}{\delta_2}\right) \cdot \frac{1}{a^2} \cdot \mathfrak{N}_2$ ,

wobei  $\mathfrak{N}_1$  und  $\mathfrak{N}_2$  die gegenseitigen Induktionskoeffizienten je zwischen einem Randleiter einer der Teilspuln und der nicht abgeschalteten Spule sind und  $\psi(n)$  den Klammerausdruck in Gl. (2) bedeutet.

Der Verlauf der resultierenden inneren Axialkraft  $F_1$  in der Abschaltwicklung ist bei veränderlichem  $n$  in Fig. 2 für

$$\frac{h_1}{a} = \frac{h_2}{a} = 4,0; e = 0; \frac{A}{a} = 1,5 \text{ und } I_1^2 \cdot \left(\frac{\delta_1}{h_1/a}\right) \cdot 1,02 \cdot 10^{-8} = \text{konstant, wiedergegeben. Danach verbleibt bei } n = 0, \text{ wenn also überhaupt keine Windungen abgeschaltet sind, eine resultierende Stromkraft, die die Spulenhälften gegeneinander presst.}$$

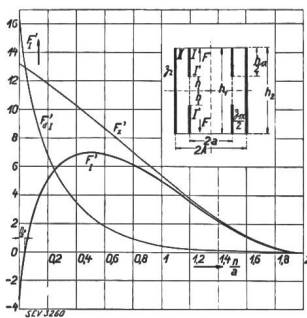


Fig. 2.

Axialkräfte zwischen Röhrenspulen bei symmetrischem Abschalten der inneren Spule I von der Mitte aus:

$$\frac{h_1}{a} = \frac{h_2}{a} = 4; \frac{A}{a} = 1,5; e = 0; I_1 \cdot \delta_{1x} = I_2 \cdot \delta_2;$$

$$F_1 = I_1^2 \cdot \left(\frac{\delta_1}{h_1}\right)^2 \cdot a^2 \cdot 1,02 \cdot 10^{-8} \cdot F'$$

$F'_{d1}$  = innere axiale Anziehungskraft zwischen I'—I'.

$F'_x$  = äussere axiale Abstossungskraft zwischen den Spulen I' und II.

Mit zunehmendem  $n$  überwiegt dann die axiale Abstossung zwischen den Spulenteilen I' und der gesamten Wicklung II, die Kontraktionskraft geht in

eine Zerrenskraft über. Diese Kraft müsste bei einer Lockerung der Spulenwindungen von der Abstützung abgefangen werden.  $n = \frac{h_1}{2}$  ergibt selbstverständlich  $F_1 = 0$ . Die Kontraktionskraft in der Wicklung II steigt von  $n = 0$  bis auf ihren Höchstwert bei  $n = \frac{h_1}{2}$  an. Dieser ergibt sich aus Gl. (2), wenn man  $n = 0$  setzt.

b) Schaltet man von der äusseren Spule II von der Mitte aus Windungen ab (Fig. 3), so ergibt sich ebenso mit

$$I_1 \cdot \delta_1 = I_2 \cdot \delta_{2x}; \left(\frac{\delta_{2x}}{h_{2x}} = \frac{\delta_2}{h_2}\right) \text{ und } \frac{h_{2x}}{h_2} = \left(1 - 2 \cdot \frac{n}{h_2}\right)$$

$$F_{II} = F_x - F_{dII} = I_2^2 \cdot \left(\frac{\delta_2}{h_2}\right)^2 \cdot a^2 \cdot \left[ (\mathfrak{N}'_1 - \mathfrak{N}'_2) \cdot \frac{h_{2x}}{h_2} - 8 \cdot \pi \cdot \left(\frac{A}{a}\right)^2 \cdot \psi(n) \right] \cdot 1,02 \cdot 10^{-8} \quad (4)$$

mit  $\mathfrak{N}'_1 = \left(\frac{h_1}{\delta_1}\right) \cdot \frac{1}{a^2} \cdot \mathfrak{N}_1$ ;  $\mathfrak{N}'_2 = \left(\frac{h_1}{\delta_1}\right) \cdot \frac{1}{a^2} \cdot \mathfrak{N}_2$ , wobei  $\mathfrak{N}_1$ ,  $\mathfrak{N}_2$  und  $\psi(n)$  die gleiche Bedeutung haben wie oben.

Der Verlauf der Kräfte in der Abschaltspule II ist für veränderliches  $n$  bei der gleichen Spulenform und Anordnung wie unter a)  $\frac{h_1}{a} = \frac{h_2}{a} = 4,0$

bzw.  $\frac{h_2}{a} = 2,66$  bei  $e = 0$ ;  $\frac{A}{a} = 1,5$  und  $I_2^2 \cdot \left(\frac{\delta_2}{h_2/a}\right)^2 \cdot 1,02 \cdot 10^{-8} = \text{konstant}$  in Fig. 3 wiedergegeben. Der Vergleich der beiden Fig. 2 und 3 zeigt allgemein, dass die in der äusseren Spule bei  $n = 0$  ( $h_1 = h_2$ ) verbleibenden Druckkräfte grösser sind als die in der inneren Spule unter den gleichen Verhältnissen auftretenden, da die grösste

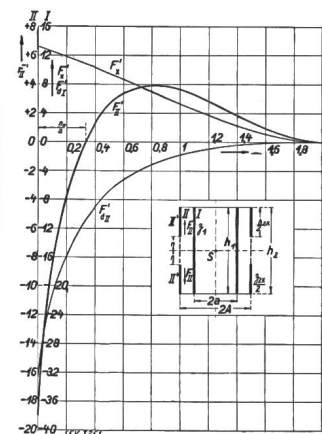


Fig. 3.

Axialkräfte zwischen Röhrenspulen bei symmetrischem Abschalten der äusseren Spule II von der Mitte aus:

$$\frac{h_1}{a} = \frac{h_2}{a} = 4; \frac{A}{a} = 1,5; e = 0.$$

$$I_1 \cdot \delta_1 = I_2 \cdot \delta_{2x}; F_{II} = I_2^2 \cdot \left(\frac{h_2}{h_2}\right)^2 \cdot a^2 \cdot 1,02 \cdot 10^{-8} \cdot F'' \text{ (Maßstab II).}$$

$F'_{dII}$  = innere axiale Anziehungskraft zwischen den Spulen II'—II' (Maßstab I).

$F''_x$  = äussere axiale Abstossungskraft zwischen den Spulen II'—I (Maßstab I).

Kontraktionskraft in einer Spule in erster Näherung vom Quadrat des Halbmessers abhängig ist ( $I_1 \cdot \delta_1 = I_2 \cdot \delta_2$ ). Der Richtungswechsel der Beanspruchung tritt in der äusseren Spule II im Vergleich zur inneren (I) erst bei einer grösseren Zahl abgeschalteter Windungen ein (bei gleicher radialer Lagenzahl der beiden Spulen) und die Wicklungsabstützung wird bei einer etwaigen Lockerung der Windungen der Abschaltwicklung maximal mit einer geringeren Axialkraft belastet als beim Abschalten der inneren Spule I. Die Kontraktionskraft in I nimmt von  $n = 0$  bis  $n = \frac{h_2}{2}$  ständig zu, der Höchstwert folgt wieder aus Gl. (2), wenn man darin  $n = 0$  setzt.

Ist also die gesamte Abschaltwicklung in sich starr, dann treten gegen die Joche hin keine axialen Kräfte auf. Dadurch findet ihre Ausführung — abgesehen von isolationstechnischen und thermischen Rücksichten — mit zwei parallelen Zweigen und Zuführung in der Mitte ihre Begründung. Da die Hochspannungswicklung radial mehrlagig gewickelt ist und bei einfach konzentrischer Anordnung immer nach aussen verlegt wird, so wird man nach den vorhergehend erörterten Tatsachen die Abschaltung immer an dieser vornehmen.

3. Es bleibt noch der Fall der Berechnung der Axialkräfte zu erledigen, wo in einer der beiden Spulen an beliebiger Stelle eine bestimmte Anzahl hintereinander geschalteter Windungen  $\delta_K$ , entsprechend einer Höhe  $l$  abgeschaltet wird. Das kommt auch einem vollständig metallischen Kurzschluss dieser Windungen gleich, wenn man von Nebenerscheinungen absieht.

Wenn alle Windungen der defekten Wicklung ihren kompakten Zusammenhang beibehalten, dann folgt mit den Bezeichnungen der Fig. 4 ( $\delta_K =$  Anzahl der kurzgeschlossenen Windungen entspre-

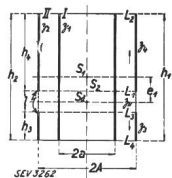


Fig. 4.

$$e_1 = h_4 - \frac{1}{2} \cdot (h_2 - l); e = 0.$$

chend einer axialen Höhe  $l$ ,  $\mathfrak{N}_1, \mathfrak{N}_2, \mathfrak{N}_3, \mathfrak{N}_4 =$  gegenseitige Induktionskoeffizienten der Randleiter  $L_1, L_2, L_3, L_4$  der Spule II und der gesamten Spule I) für gleich hohe Spulen bei  $e = 0$  mit Beachtung der Gl. (1) die äusseren axiale Stromkraft zwischen I und der defekten Spule II:

$$F_K = I_1 \cdot I_2 \cdot \left( \frac{\delta_2}{h_2} \right) [\mathfrak{N}_3 - \mathfrak{N}_1] \cdot 1,02 \cdot 10^{-8} \text{ kg} \quad (5)$$

$$\text{mit } \delta_2 = \delta_K + \delta_3 + \delta_4 \text{ und } \frac{\delta_K}{l} = \frac{\delta_2}{h_2} = \frac{\delta_3}{h_3} = \frac{\delta_4}{h_4}$$

Die axiale Kraftwirkung zwischen Spule I und der defekten Spule II ist also gleich der Axialkraft zwischen der Spule I und dem vom gleichen Strom  $I_2$  durchflossenen defekten Spulenabschnitt von II.

Dabei ist es gleichgültig, in welcher der beiden Spulen die kurzgeschlossenen Windungen auftreten, wenn nur die dadurch entstehende Exzentrizität in beiden Fällen die gleiche ist.

Für gleich hohe Spulen  $\frac{h_1}{a} = \frac{h_2}{a} = 4; \frac{A}{a} = 1,5; e = 0; I_1 \cdot \left( \frac{\delta_1}{h_1} \right) \cdot I_2 \cdot \left( \frac{\delta_2}{h_2} \right) \cdot a^2 \cdot 1,02 \cdot 10^{-8} =$  konstant ist der Verlauf der Axialkräfte mit der Anzahl kurzgeschlossener Windungen  $\delta_K$  bzw.  $\frac{l}{a}$  als Parameter bei verschiedener räumlicher Lage  $e_1$  gegenüber der Wicklung in Fig. 5 gezeigt.

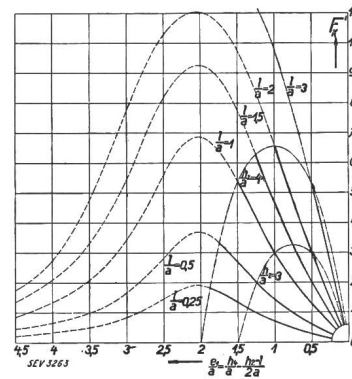


Fig. 5.

Verlauf der Axialkräfte zwischen coaxialen Röhrenspulen bei Auftreten von  $\delta_K$  (bzw.  $\frac{l}{a}$ ) kurzgeschlossenen Windungen in Abhängigkeit ihrer räumlichen Lage zur Spule:

$$\frac{h_1}{a} = \frac{h_2}{a} = 4; \frac{A}{a} = 1,5; e = 0.$$

$$F_k = I_1 \cdot I_2 \cdot \left( \frac{\delta_1}{h_1} \right) \cdot \left( \frac{\delta_2}{h_2} \right) \cdot a^2 \cdot 1,02 \cdot 10^{-8} \cdot F'_k.$$

Aus Gl. (5) folgt, dass der ungünstigste Fall dann auftritt, wenn die kurzgeschlossenen Windungen am Ende einer Spule auftreten.  $e_1 = 0$  ergibt natürlich  $F_K = 0$ . Die Grösse der Kraft ändert sich bei gleichen Strömen nicht, wenn von einer der Spulen statt  $\delta_K$ ,  $(\delta_2 - \delta_K)$  Windungen einseitig kurzgeschlossen sind und  $\delta_K$  Windungen intakt bleiben. Daraus folgt, dass der überhaupt ungünstigste Fall dann auftritt, wenn die Hälfte aller Windungen einer Spule einseitig kurzgeschlossen ist<sup>3)</sup>. Die Aenderung der Axialkraft in Abhängigkeit der relativen Zahl der einseitig kurzgeschlossenen Windungen bzw.  $\frac{l}{a}$  ist für

verschiedene Spulenformen  $\frac{h_2}{a}$  bei  $\frac{h_1}{a} = 4; e = 0;$

$\frac{A}{a} = 1,5; I_1 \cdot I_2 \cdot \left( \frac{\delta_1}{h_1} \right) \cdot \left( \frac{\delta_2}{h_2} \right) \cdot a^2 \cdot 1,02 \cdot 10^{-8} =$  konstant aus Fig. 6 ersichtlich. Danach wachsen die Kräfte von  $l = 0$  rasch an und erreichen für  $l = \frac{h_2}{2}$  ihren Höchstwert. Die innere Kontraktionskraft in der defekten Spule bleibt dabei immer

<sup>3)</sup> Siehe Fussnote 2).

kleiner als die grösste innere in der Mitte der gesamten Spule.

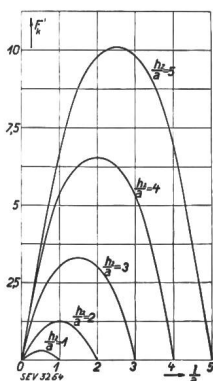


Fig. 6.

Verlauf der Axialkräfte zwischen koaxialen Röhrenspulen in Abhängigkeit der Zahl  $\delta_k$  bzw. der Höhe

$\frac{h}{a}$  einseitig kurzgeschlossener Windungen mit  $\frac{h_2}{a}$  als Parameter:

$$\frac{h_1}{a} = 4; \quad \frac{A}{a} = 1,5.$$

$$F_k = I_1 \cdot I_2 \cdot \left( \frac{\delta_1}{h_1} \right) \cdot \left( \frac{\delta_2}{h_2} \right) \cdot a^2 \cdot 1,02 \cdot 10^{-8} \cdot F'_k.$$

4. Sind die beiden Spulen induktiv gekoppelt, dann verhalten sich die kurzgeschlossenen Windungen wie eine dritte kurzgeschlossene Wicklung (Mehrwicklungstransformator). Die Grösse und Richtung der äusseren axialen Stromkraft wird so nach ausser durch den intakten Teil der defekten Spule auch durch die Zahl und Lage der kurzgeschlossenen Windungen mitbestimmt. Sofern die Zahl der kurzgeschlossenen Windungen im Vergleich zur gesamten Windungszahl gering ist ( $\delta_k \ll \delta_2$ ), können die obigen Ergebnisse mit praktischer genügender Genauigkeit auf Transformatorwicklungen übertragen werden. In diesem Fall nehmen die Kräfte bei Verschiebung der kurz-

geschlossenen Windungen nach dem Wicklungsende hin zu und erreichen bei deren Lage am Wicklungsende ein Maximum (Fig. 5). Bei gleicher prozentualer Anzahl einseitig kurzgeschlossener Windungen ist der ungünstigste Fall bei einfach konzentrischer Wicklungsanordnung dann gegeben, wenn diese in der Niederspannungswicklung auftreten.

5. Die praktische Berechnung dieser Kräfte kann zurückgeführt werden auf den Fall der Berechnung der Axialkraft zwischen einer Spule und einem linearen koaxialen Kreisleiter. Die formelmässige Auswertung ist dabei ebenso einfach und handlich wie die Berechnung der Stromkräfte zwischen parallelen und unendlich langen Stromschienen.

Für einen 10 000 kVA-Transformator, 6000/60 000 V,  $\Delta/\lambda$ ,  $f = 50$  Per./s, mit doppelt konzentrischer Wicklungsanordnung und 8,8 % Kurzschlußspannung tritt bei 3 % einseitig kurzgeschlossenen Windungen in der Hochspannungswicklung I zwischen dieser und den beiden Niederspannungswicklungen II (ausser liegende) und II' (am Kern liegende) bei Stosskurzschluss eine axiale Kraft von rund 11 500 kg auf; befinden sich die kurzgeschlossenen Windungen am Ende der äusseren Niederspannungswicklung II, so ergibt sich zwischen I und II eine Abstossungskraft von 7200 kg und zwischen II und II' eine Anziehungskraft von 1400 kg. Die resultierende Kontraktionskraft beträgt in der Niederspannungswicklung II 5500 kg, in Wicklung II' 100 kg und in der Hochspannungswicklung 36 000 kg.

## Technische Mitteilungen. — Communications de nature technique.

### Erdungswiderstände in Hochhäusern<sup>1)</sup>.

621.316.993

Die neuzeitlichen Hochhäuser sind von umfangreichen Metallnetzen durchzogen, die untereinander und mit der Erde in leitender Verbindung stehen. Elektrizitätswerke und Installationsfirmen werden damit vor die Frage gestellt, ob es empfehlenswert ist, das Stahlskelett oder die vorhandenen Rohrsysteme solcher Hochbauten zur Erdung elektrischer Maschinen, Geräte und Leitungen heranzuziehen. Nachstehend werden die Ergebnisse der Untersuchungen an einem im Herbst 1931 in Berlin fertiggestellten Hochhaus bekanntgegeben. Es handelt sich um das Verwaltungsgebäude der Rhenania-Ossag Mineralölwerke A.-G. (Shell-Hochhaus). Das Gebäude liegt etwa 22 m (Minimum) vom Ufer des Landwehrkanals. Die Gebäudegrundfläche beträgt 2800 m<sup>2</sup>. Das Haus hat Plattengründung mit einer mittleren Stärke von 1 m, die auf einer ebenfalls 1 m starken Kies-Beton-Schutzschicht mit Isolierung ruht. Die Unterkante des Fundaments liegt etwa 4,5 bis 6,5 m unter Strassenoberkante. Das Gewicht des Stahlskeletts ist 2430 t. Es ist aus Flußstahl mit einer Zugbeanspruchung von 800 bis 1200 kg/cm<sup>2</sup> unter Verwendung von Normalprofilen hergestellt. Alle Konstruktionsteile des Stahlskeletts sind durch gedrehte Schrauben verbunden. Unter der Strassenoberfläche liegen 2½ Stockwerke, über der Strassenoberfläche 10½ Stockwerke. Das Gebäude ist durch eine Reihe metallischer Leitungen durchzogen, nämlich:

#### Leitungsanlagen im Gebäude.

a) Die Hochspannungsanlage umfasst eine kombinierte Uebergabe- und Netzstation der BEWAG, 6000/380/220 V,

sowie eine Hochspannungsstation des Hauseigentümers, 6000/380/220 V, mit total drei Transformatoren; Gesamtleistung 300 kVA. Die zur Versorgung der Fahrstühle, Büroräume, Garagen und aller Kraftanlagen der Abnehmer verlegten Haupt- und Steigleitungen haben einen Querschnitt von 4·70 mm<sup>2</sup> und sind durchweg in nahtlosem, innen und aussen lackiertem Stahlrohr verlegt, dessen Gesamtlänge 900 m beträgt. An diese Haupt- und Steigleitungen sind 63 Verteilungstafeln angeschlossen.

b) Die Niederspannungs-Verteilungsanlage 380/220 V besteht aus 43 000 m NGA-Draht von 1,5 mm<sup>2</sup> Querschnitt; die Leitungen sind durchweg in Stahlrohr, zum grossen Teil im Fussboden, verlegt. Das Stahlrohr (total 28 500 m) hat eine lichte Weite von 13,5 mm. Die einzelnen Stromkreiszuleitungen für die Deckenauslässe, Steckdosen und Schalter führen in 60 Fussboden-Verteilerkästen von 500·250·270 mm aus Messingguss. Installiert sind 1425 Decken- bzw. Wandauslässe für dreipolige Steckdosen. Die letztgenannten sind für den Anschluss von Staubsaugern und Bohrerapparaten vorgesehen. In den Abteilungen, die nicht von der Hauseigentümerin selbst, sondern von Mietern benutzt werden, sind Vielfachfelder, Bauart BBC, eingebaut, die ermöglichen, für jede beliebige Raumaufteilung besondere Zähler zu setzen.

c) Die Kraftanlage umfasst 42 Motoren mit einer Gesamtleistung von 210 kW, welche Paternoster, Personenaufzüge, einen Lastenfahrstuhl, Hebetische und Aufzugsanlagen antreiben. In den Garagen sind 10 Kraftsteckdosen für je 1 kW vorgesehen. Ein Reserveanschluss für eine elektrische Küche für 100 kW ist zunächst noch nicht ausgebaut.

d) Die Fernsprechleitungsanlage weist etwa 32 000 m lackiertes Stahlrohr von 13,5 mm lichte Weite auf.

<sup>1)</sup> W. Stark, Elektr.-Wirtsch. vom 30. Sept. 1932.