

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 36 (1945)  
**Heft:** 15  
  
**Artikel:** Erfahrungen auf dem Gebiete des Gleichstrommaschinenbaues  
**Autor:** Dick, Emil  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1060238>

### **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:** 16.01.2026

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

Resultate nicht merklich in Betracht, da die Unterschiede zwischen den verschiedenen Oelen beträchtlich grösser sind als die Fehlergrenze der Resultate.

### Alterungen in Abwesenheit von Kupfer

Nachdem durch die Vorversuche festgestellt wurde, dass in der beschriebenen Anordnung im Glasgefäss mit untergetauchten Kupferblechen Alterungsergebnisse erhalten wurden, die sich mit denjenigen nach den Vorschriften des SEV vergleichen lassen, wurde eine grössere Anzahl Oele in Abwesenheit von Kupfer in Gegenwart von Eisen und Aluminium gealtert, was den praktischen Betriebsverhältnissen im *Transformator mit Aluminiumwicklungen* entspricht. Die Eisenblechstreifen wurden unmittelbar vor dem Einsetzen mit Salzsäure abgebeizt, mit Wasser gründlich gespült und mit Alkohol getrocknet. Bei den Aluminiumstreifen erfolgte eine entsprechende Aetzung mit Natronlauge. Zur Ermittlung der Werte in Tabelle III wurde folgender Ansatz gewählt: 150 cm<sup>3</sup> Oel + Eisenblechstreifen von 80 cm<sup>2</sup> Oberfläche + Aluminiumblechstreifen von 80 cm<sup>2</sup> Oberfläche. Das Verhältnis Metalloberfläche zu Oelvolumen entspricht dabei ungefähr demjenigen, das bei der Alterung nach SEV im Kupferbecher angewendet wird. Die Alterung wurde während rund 7 Tagen bei 110° C durchgeführt.

In der Kolonne «SEV» sind die Resultate der künstlichen Alterung nach SEV im Kupferbecher angeführt. In der Kolonne Al + Fe sind die nach dem erwähnten Ansatz erhaltenen Alterungsergebnisse aufgeführt.

Aus Tabelle III geht hervor, dass sämtliche Oele bei Abwesenheit von Kupfer eine viel geringere Schlamm- und Säurebildung aufweisen. Die meisten Oele mittlerer Qualität, welche den technischen Bedingungen des SEV nicht entsprechen, würden dagegen diesen Anforderungen genügen, wenn sie in Abwesenheit von Kupfer gealtert werden. Nur einige ganz schlechte Oele (Nr. 13...17) zeigen auch bei Abwesenheit von Kupfer eine starke Schlamm- und Säurebildung, doch sind diese auch hier bedeutend geringer als bei Alterung in Gegenwart von Kupfer. Bei einigen Mustern von schlechter Qualität zeigt sich gegenüber der Alterung nach SEV im Kupferbecher eine Verminderung der Reissfestigkeit des Baumwollfadens, wenn sie in Abwesenheit von Kupfer gealtert werden. Dies ist, wie eingangs erwähnt, darauf zurückzuführen, dass bei der Alterung im Kupferbecher eine sehr starke Schlamm- und Säurebildung eintritt, welche den Baumwollfaden vor Angriff schützt.

Zufolge der herrschenden Knappheit an guten Oelen müssen heute auch Oele von schlechter Qualität verwendet werden. Es ist daher eine Verbrauchslenkung anzustreben, indem diese Oele möglichst in kupferfreien Apparaten verwendet werden sollen, so dass die guten Oele für die Verwendung in Berührung mit Kupfer reserviert bleiben können. Durch die beschriebene Alterung in Abwesenheit von Kupfer lässt sich weitgehend beurteilen, ob sich ein Oel für die Verwendung in kupferfreien Apparaten eignet.

Adresse des Autors:

Dr. sc. techn. M. Zürcher, Chemiker der Materialprüfanstalt des SEV, Seefeldstrasse 301, Zürich 8.

## Erfahrungen auf dem Gebiete des Gleichstrommaschinenbaues

Von Emil Dick, Gümligen \*)

621.313.2

*Im Anschluss an eine frühere Veröffentlichung im Bulletin SEV gibt der Verfasser weitere Erfahrungen aus seiner Tätigkeit bekannt. Es ergeben sich daraus neue Erkenntnisse, die zu einigen Änderungen gegenüber der früheren Arbeit führen. Neben der Bürstenspannung und der Lamellen-spannung werden die Vorteile der Kompensationswicklung für Gleichstrommaschinen betrachtet.*

*Faisant suite à un article paru précédemment dans le Bulletin ASE, l'auteur expose d'autres expériences qu'il a faites au cours de sa carrière, gagnant ainsi de nouvelles connaissances, qui l'amènent à modifier sur quelques points son ancien travail. Outre la tension aux balais et la tension entre lames du collecteur, il envisage également les avantages de l'enroulement de compensation pour des machines à courant continu.*

Anschliessend an eine frühere Arbeit <sup>1)</sup> möchte ich noch über einen aussergewöhnlichen Fall berichten, der an einer mittelgrossen, mehrpoligen, im Probelauf befindlichen Dynamo festgestellt wurde. Es wurde beobachtet, dass bei leerlaufender, auf Nennspannung erregter Maschine überraschenderweise Bürstenfeuer auftrat, das aber schon bei einer verhältnismässig schwachen Belastung verschwand, um dann bei einer bestimmten Ueberlastung wieder aufzutreten. Die Bürsten befanden sich in der neutralen Zone, und zwar in der Stellung maximaler Spannung, doch blieb das Leerlauf-Bürstenfeuer beim Verschieben der Bürsten (um etwa Lamellenbreite in beiden Drehrich-

tungen) auch weiterhin in gleicher Stärke bestehen; ausserdem wurde ermittelt, dass die Funkenstärke eine Funktion der Maschinenspannung war, indem mit zunehmender Spannung das Bürstenfeuer immer heftiger wurde.

Da keine Zeit zur Verfügung stand, die Sache weiter zu verfolgen, wurde die Maschine trotz ihres eigenartigen Verhaltens abgeliefert, was ja mit Rücksicht auf die sich fast über den ganzen Arbeitsbereich erstreckende, günstige Kommutierung verantwortet werden konnte. Soweit ich mich noch entsinnen kann, konnte im ganzen Aufbau der Maschine nichts entdeckt werden, was gegen die damals herrschenden Richtlinien verstossen hätte. Leider sind mir die Daten der Maschine nicht mehr bekannt.

\*) Der Verfasser dieses Artikels tritt am 28. Juli 1945 sein 80. Lebensjahr an.

<sup>1)</sup> Bull. SEV 1943, Nr. 10, S. 294...297.

Seit einiger Zeit hat mich dieser interessante Fall von neuem beschäftigt. Zweck dieser Zeilen ist nun, nachzuweisen, worin die Ursache der erwähnten Erscheinung lag und in welcher einfacher Weise das Uebel hätte beseitigt werden können.

Aus den genannten Versuchsergebnissen geht hervor, dass Kommutierung nicht in Frage kommt, da ja keine Stromwendung im eigentlichen Sinne stattfindet. Eine wichtige Rolle spielte jedoch die Grösse der Leerlaufspannung, aber auch besonders der Spannungsverlauf um den Kollektor<sup>2)</sup>.

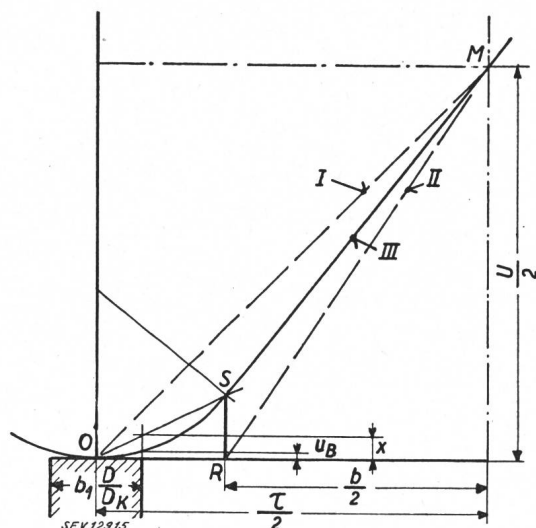


Fig. 1.

Ideelles Potentialdiagramm für den Polwinkel  $b/\tau = 0,66$

Im linken, untern Quadrant des Koordinatensystems (Fig. 1) ist der Spannungsverlauf, auf eine Teilstrecke des Ankerumfanges bezogen, für drei Fälle dargestellt, und zwar:

a) geradliniger Verlauf der Spannung nach Grenzlinie I, wenn innerhalb der Polteilung ein gleichförmiges Feld vorhanden wäre;

b) geradliniger Verlauf der Spannung nach Grenzlinie II, wenn in der Polücke kein Streufeld wäre;

c) sinusförmiger Verlauf der Spannung nach Kurve III. Die Kurve muss zwischen den hypothetischen Grenzlinien I und II liegen. Nun ist die Luftinduktion unter der ganzen Polfläche als konstant angenommen; es wird somit der mittlere Teil der Potentialkurve innerhalb des Polbogens  $b$  ebenfalls zu einer Geraden. Die anschliessende kreisförmig verlaufende Kurve verbindet den Endpunkt S des geraden Teiles der Kurve III mit dem Nullpunkt 0 des Koordinatensystemes. In Fig. 1 ist nur die untere Hälfte der ideellen Potentialkurve eingezeichnet, die sich von der neutralen

<sup>2)</sup> Die Spannungskurve (Potentialkurve) kann durch ein gut gedämpftes Voltmeter, das an die in der neutralen Zone befindliche Bürste und an ein den Kollektor schleifendes und verstellbar angeordnetes Kontaktblech angeschlossen ist, aufgenommen werden. Die Kontaktfeder muss dünner als die Lamellenisolation sein, um Spulenkurzschlüsse zu vermeiden; ausserdem sollte die Auflagebreite der Kohlebürste durch Zufeilen auf etwa die Hälfte verschmälert sein.

Linie bis zur Polmitte erstreckt. Die folgenden Bezeichnungen stimmen mit denen meines bereits erwähnten Aufsatzes überein.

### 1. Die Bürstenspannung $u_B$

Für die Berechnung der Bürstenspannung haben wir die Betrachtungen zunächst nur auf den gekrümmten Teil der Potentialkurve zu beschränken. Die folgenden Beziehungen ergeben sich aus Fig. 1.

$$\begin{aligned}\overline{SR} : \frac{\tau - b}{2} &= x : \frac{b_1}{2} \cdot \frac{D}{D_K} \\ x &= \overline{SR} \cdot \frac{b_1}{2} \cdot \frac{D}{D_K} \cdot \frac{2}{\tau - b} \\ u_B &= x \cdot \frac{b_1}{2} \cdot \frac{D}{D_K} \cdot \frac{2}{\tau - b} \\ &= \overline{SR} \cdot b_1^2 \left( \frac{D}{D_K} \right)^2 \cdot \frac{1}{(\tau - b)^2} \\ &= g \cdot U \cdot b_1^2 \cdot \left( \frac{D}{D_K} \right)^2 \cdot \frac{1}{(\tau - b)^2} \text{ V (1)}^3\end{aligned}$$

$\overline{SR}$  ist die Summe aller Teilspannungen, die vom Streufeld des Hauptpols in den Spulen der neutralen Zone induziert werden. Die unter der Kohlebürste wirkende Bürstenspannung nimmt gegen die Bürstenkante bis zum Höchstbetrage von  $u_B$  zu. Nach Formel (1) ist die Bürstenspannung proportional dem Quadrate der Bürstenbreite  $b_1$ . Es braucht daher nur eine verhältnismässig geringe Verschmälnerung der Bürstenbreite, um schon eine wesentliche Herabsetzung der Bürstenspannung zu bewirken.

Wird an einer im Probelauf befindlichen Maschine Leerlauf-Bürstenfeuer festgestellt, so bleibt nichts anderes übrig, als den Kollektor mit schmälern Bürsten zu versehen. Es empfiehlt sich daher, die Grösse der Bürstenspannung nach Formel (1) zu berechnen, worauf die Breite der neuen Bürsten sinngemäss bestimmt werden kann. Ideeller Grenzwert für Elektrographitkohlen = 3 V.

### Graphische Näherungsmethode zur Bestimmung des ideellen Streufeldfaktors $g_i$

Um die Strecke  $\overline{SR}$  als Funktion der Maschinen-spannung ausdrücken zu können, führt man mit Vorteil den Streufeldfaktor  $g$  ein. Seine Definition ist:

$$g = \frac{\overline{SR}}{U}$$

Die Werte von  $g$  sind abhängig vom Polwinkel  $\frac{b}{\tau}$

Aus Fig. 2 kann man für verschiedene Werte von  $\frac{b}{\tau}$  die Werte von  $g$  ablesen, indem man folgende geometrische Beziehungen berücksichtigt:

Auf der linken Ordinatenachse des Einheitsdiagrammes liegen die 4 Mittelpunkte von Kreis-

<sup>3)</sup> Durch diese Formel wird die im frühern Aufsatz gegebene überholt.

bögen mit den Radien  $r_1 \dots r_4$ , deren Tangenten sich im zentralen Punkte  $M$  vereinigen. Die Abstände, die von den Berührungspunkten  $S_1 \dots S_4$  zur Abszisse  $\overline{ON}$  gebildet werden, ergeben die Streufeldspannungen  $S_1 R_1 \dots S_4 R_4$  mit den entsprechenden Polwinkeln

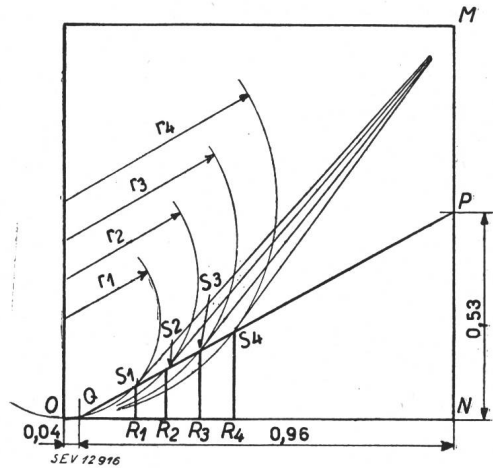


Fig. 2.

Diagramm zur Bestimmung des Streufeldfaktors  $g_i$

$b/\tau$ . Zieht man nun durch die Punkte  $S_1 \dots S_4$  eine Gerade<sup>4)</sup>, so erhält man die Schnittpunkte  $P$  und  $Q$ . Die Strecke  $\overline{OQ}$  beträgt im Einheitsdiagramm 0,04, die Strecke  $\overline{QN} = 0,96$  und die von  $\overline{NP} = 0,53$ .

Es verhält sich  $0,53 : 0,96 = \overline{SR} : \left(0,96 - \frac{b}{\tau}\right)$

$$\overline{SR} = 0,55 \left(0,96 - \frac{b}{\tau}\right)$$

$$\overline{SR} = g_i \cdot U; U = 2; g_i = 0,27 \left(0,96 - \frac{b}{\tau}\right)$$

Es ist zu bemerken, dass die wirkliche Potentialkurve unterhalb der ideellen Spannungskurve III liegt, weil die Grösse der Streufeldspannung  $\overline{SR}$  erheblich kleiner ist, als das Diagramm anzeigt. Deshalb erfährt in Fig. 2 der Schnittpunkt  $P$  der Hilfslinie  $\overline{QP}$  eine Verlagerung im Verhältnis zum Verkleinerungsfaktor  $\gamma$  gegen die Abszissenachse  $\overline{ON}$ . Die Ableitung der Formel (1) behält auch für die neue Lage, die die Hilfslinie einnimmt, ihre Richtigkeit bei. Im gleichen Verhältnis wie die Grösse der Streufeldspannung weicht auch der wirkliche Streufeldfaktor  $g$  vom ideellen  $g_i$  ab. Die Formel für  $g$  lautet demnach:

$$g = g_i \cdot \gamma = 0,27 \left(0,96 - \frac{b}{\tau}\right) \cdot \gamma \quad (2)$$

wo  $\gamma < 1$ . Der Grenzwert der Bürstenspannung wird daher eine Funktion von  $\gamma$  und zwar  $u_{Blim} = 3 \cdot \gamma \text{ V}$ .

## 2. Die Lamellenspannung $u_L$

Von Interesse in bezug auf die sichere Arbeitsweise der Maschine ist ausser der Spannung  $u_B$  noch die maximal zwischen zwei Lamellen auftretende Spannung  $u_L$ . Für sie bestehen auch einschränkende

Grenzwerte. Um Rundfeuer infolge Spannungsüberschlages zwischen den Lamellen mit einiger Sicherheit zu vermeiden, sollte ihr Wert die Grösse von ca. 25 V nicht überschreiten.

Besonders gefährdet sind alle jene Stellen auf dem Kollektorumfang, in denen der Spannungsanstieg sehr steil erfolgt. In Fig. 1 liegen diese Punkte auf dem geradlinigen Teil der Potentialkurve.

Die Lamellenspannung der auf Nennspannung erregten leerlaufenden Maschine kann berechnet werden. Die Lamellenzahl, bezogen auf die halbe Polteilung beträgt  $\frac{k}{4 \cdot p}$  und bezogen auf den halben

Polbogen  $\frac{k \cdot b}{4 \cdot p \cdot \tau}$ . Es beträgt daher die Leerlauf-Lamellenspannung in den vom innerhalb der Polschuhfläche wirkenden Kraftfluss  $\Phi_p$  induzierten Ankerspulen

$$u_{L0III} = \frac{U/2 - g \cdot U}{\frac{k}{4 \cdot p} \cdot \frac{b}{\tau}} = \frac{U(0,5 - g) \cdot 4 \cdot p}{k \cdot \frac{b}{\tau}} \quad (3)$$

$$u_{L0I} = 2 \cdot \frac{U \cdot p}{k}; \quad u_{L0II} = 2 \cdot \frac{U \cdot p}{k \cdot \frac{b}{\tau}}$$

Die dargelegten Gedankengänge beziehen sich auf Gleichstrommaschinen im Leerlauf. Bei Belastung treten infolge der Ankerrückwirkung lokale Feldverzerrungen auf. Für die Berechnung der Spannung an den Bürstenkanten kann man nach den bekannten Regeln vorgehen, da ja in diesem Falle eine Kommutation vorliegt.

Die maximale Lamellenspannung ändert ebenfalls ihren Wert nach Massgabe der örtlichen Feldverstärkung oder Feldschwächung.

Es soll im folgenden Abschnitt gezeigt werden, auf welche Weise der Gültigkeitsbereich der Gleichung 3 erweitert werden kann.

## Der Faktor $\sigma$

Der Faktor  $\sigma$ , der die Zunahme der Lamellenspannung von Leerlauf zur Belastung gibt, ist hauptsächlich eine Funktion der Grösse der Ankerwindungen des Ankers,  $AW_A$ , zu denen des Hauptfeldes,  $AW_F$ . Da beide Komponenten senkrecht aufeinander wirken, wird die Resultierende beider

$$AW_R = \sqrt{AW_F^2 + AW_A^2}$$

Deshalb wird  $\sigma = \frac{AW_R}{AW_F} = \frac{\sqrt{AW_F^2 + AW_A^2}}{AW_F}$

$$\text{Setzt man } AW_F = 1 \text{ und } \frac{AW_F}{AW_A} = \alpha$$

$$\text{wird } \sigma = \sqrt{1 + \left(\frac{1}{\alpha}\right)^2} \quad (4)$$

$$\text{somit } u_{LB} = \frac{U(0,5 - g) \cdot 4 \cdot p}{k \cdot \frac{b}{\tau}} \cdot \sigma \text{ V} \quad (5)$$

<sup>4)</sup> Die 4 Punkte liegen so ziemlich in einer Geraden.

Die für die belastete Maschine aufgestellte, einfache Formel (5), welche zur Bestimmung der grössten Lamellenspannung  $u_{LB}$  dient, ist ein Näherungswert. Das geht schon daraus hervor, dass nicht mit Feldern, sondern mit Amperewindungen gerechnet wurde. Immerhin weist Formel (5) darauf hin, dass bei nicht kompensierten Maschinen das Verhältnis  $\frac{AW_F}{AW_A}$  so gross als möglich gemacht werden soll, um eine geringe Verzerrung des Hauptfeldes, d. h. eine möglichst geringe Erhöhung der Lamellenspannung zu erhalten.

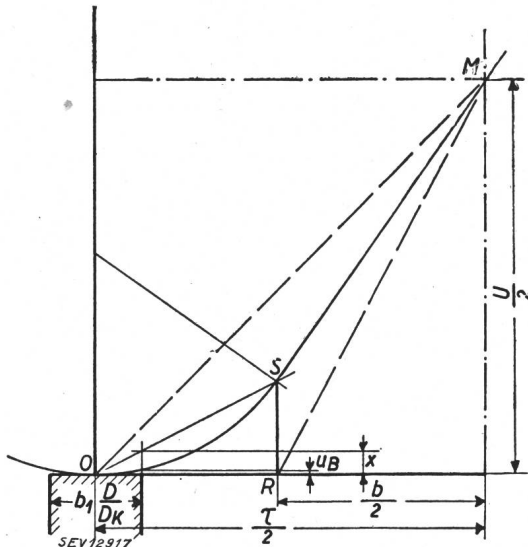


Fig. 3.

Ideelles Potentialdiagramm für den Polwinkel  $b/\tau = 0,53$

Nach diesen Ausführungen möchte ich noch die Daten eines kompensierten Generators grosser Leistung bringen<sup>5)</sup>. Die Maschine ist im Entwurf dermassen interessant, dass es gegeben erscheint, nicht nur das ideelle Potentialdiagramm (Fig. 3), sondern auch die hauptsächlichsten Grössen ohne Kommentar mitzuteilen. Die Zahlenwerte sind den Formeln entsprechend eingesetzt.

$$P = 4000 \text{ kW}; \quad I = 7600 \text{ A}; \quad U = 525 \text{ V};$$

$$n = 500/\text{min}$$

(Diagramm Fig. 3)

$$\frac{b}{\tau} = \frac{20}{37,7} = 0,53;$$

$$\gamma = 0,5; \quad g = 0,27 \quad (0,96 - 0,53) \quad 0,5 = 0,058$$

$$u_B = 0,058 \times 525 \times 2,1^2 \left( \frac{240}{131} \right)^2 \cdot \frac{1}{(37,7 - 20)^2} = 1,4 \text{ V}$$

$$u_{B \text{ lim}} = 3 \times 0,5 = 1,5 \text{ V}$$

$$u_L = \frac{525 (0,5 - 0,058) \times 4 \times 10}{480 \times 0,53} = 37 \text{ V}$$

<sup>5)</sup> Im Buch von A. Mauduit, Paris 1936, S. 267...269 und S. 431...439.

$$u_R = 2 \times 33 \times 62,8 \times 484 \times \frac{10}{10} \times 9 \times 10^{-6} = 18 \text{ V}$$

$$v_K = 1,31 \times \pi \times \frac{500}{60} = 34,3 \text{ m/s}$$

$$l_A = 33 + 5 \text{ Luftschlitze zu } 1 \text{ cm} = 38 \text{ cm}$$

$$v_A = 34,3 \times \frac{240}{131} = 62,8 \text{ m/s}$$

$$f = p \frac{n}{60} = 10 \times \frac{500}{60} = 83,3 \text{ Per./s}$$

$$A = \frac{960 \times 7600}{2 \times 10 \times \pi \times 240} = 484 \text{ A/cm (Strombelag)}$$

Ankerwicklung:

Diametrale Schleifenwicklung

240 halbggeschlossene Nuten  $3 \times 14 \times 46 \text{ mm}$

Stabquerschnitt  $2,7 \times 16$ ; zweifach ||;  $q_s = 86 \text{ mm}^2$

Kollektor:

$$l_K = 19 + 22,5 \text{ cm}; \quad \tau_K = \frac{131 \pi}{480} = 0,86 \text{ cm}$$

Micaisolation = 0,15 cm

$$\text{Ueberschlagweite} = \frac{D_K \cdot \pi}{2p} - b_1 = \frac{131 \pi}{2 \times 10} - 2,1 = 18,5 \text{ cm}$$

$$\text{Spezifische Kühlfläche} = \frac{131 \pi (19 + 22,5)}{7600} = 2,25 \text{ cm}^2/\text{A}$$

Bürsten:

$b_1 = 2,1 \text{ cm}$ ;  $l_1 = 3 \text{ cm}$ ; 11 Bürsten pro Stift

Auflagefläche aller Bürsten/Pol =  $2,1 \times 3 \times 11 \times 10 = 692 \text{ cm}^2$

$$\text{Beanspruchung} = \frac{7600}{692} \approx 11 \text{ A/cm}^2$$

Erregerwicklung:

400 Windungen/Spule

$$AW_F = 400 \times 21 = 8400; \quad AW_A = \frac{960 \times 7600}{4 \times 10 \times 2 \times 10} = 9100$$

$$\alpha = \frac{8400}{9100} = 0,93$$

Kompensationwicklung:

4 Windungen/Pol  $\delta = 0,65 \text{ cm}$

Wendepolwicklung:

4 Windungen/Pol  $\delta_w = 0,9 \text{ cm}$ ;  $l_w = 29 \text{ cm}$

$$\text{Schaltung 5 parallele Zweige: } I = \frac{7600}{5} = 1520 \text{ A}$$

$$AW_{K+w}/\text{Pol} = 8 \times 1520 = 12160 = 484 \left[ \frac{37,7}{2} + 0,8 \xi + 0,9 \frac{38}{29} \right] = 12160$$

Dadurch wird die Kompensationskonstante  $\xi = 6,75$

Aus dem Potentialdiagramm der Fig. 1 wurde die Formel (1) entwickelt, die ermöglicht, die vom Streufeld erzeugte Bürstenspannung  $u_B$  zu berechnen; es wurde dabei vorausgesetzt, dass das Streufeld bei belasteter Maschine keine Veränderung erfährt, wie dies ja bei kompensierten Maschinen der Fall ist. Die Bürstenspannung ist jedoch wegen des Wendepoleisens etwas kleiner als die Rechnung ergibt, weil das im Bereich des Wendepoles liegende Streufeld eine Verflachung erleidet.

Nun ist aus Formel (1) ersichtlich, dass der Abstand zwischen den Polschuhen  $\tau - b$  ausschlaggebend für die Grösse der Bürstenspannung ist.



Damit ist der Weg vorgezeichnet, den man machen muss, um die Grösse der Bürstenspannung herunterdrücken zu können. Das geht am deutlichsten aus den früher gegebenen Daten des 4000-kW-Generators hervor. Unter diesen fällt einem der aussergewöhnlich kleine Polwinkel auf, der nur  $\frac{b}{\tau} = \frac{20}{37,7} = 0,53$  beträgt, während man doch gewöhnt ist, für diese Klasse von Maschinen Polwinkel von 0,66 bis 0,7 vorzufinden. Man erkennt aus der Grösse  $u_B = 1,4$  V, dass die zusätzliche Beanspruchung der Bürsten trotz grosser Pollänge noch ganz erheblich ist. Aber der errechnete Wert von  $u_B$  hat nur Gültigkeit, wenn die Bürste sich in der im Diagramm dargestellten günstigen Lage befindet, und zwar symmetrisch zur neutralen Linie. Eine Bürstenverschiebung, beispielsweise um eine halbe Bürstenbreite (im Diagramm nach rechts), würde eine Spannung erzeugen, die ein Mehrfaches der berechneten erreichen könnte, was ohne weiteres dem Potentialdiagramm zu entnehmen ist.

### Vergleich zwischen kompensierten und nicht kompensierten Maschinen

Wenn die Wahl der zu entwerfenden Maschine freisteht, drängt sich die Frage auf, ob die Maschine mit oder ohne Kompensation ausgeführt werden soll. Es ist klar, dass, je höher die Drehzahl gewählt wird, um so leichter die Maschine im Gewicht ausfallen wird, wenigstens bis zu einem gewissen Grad, was schon die bekannte Essonsche Formel besagt:

$$D^2 \cdot l = \frac{kW \cdot 10^6}{n \cdot C}$$

wo  $C$  = Ausnützungskonstante.

Nun wird die Ausführungsmöglichkeit eines-teils durch die Kollektor-Umfangsgeschwindigkeit  $v_{Kmax}$ , andernteils auch durch die Höhe der Lamellenspannung  $u_{LB}$  begrenzt. Unter Zugrundelegung eines Grenzwertes von  $v_K = 25$  m/s, eines Grenzwertes von  $u_L = 28$  V, des Polschuhwinkels  $\frac{b}{\tau} = 0,66$  ( $g = 0,04$ ), erhält man die Grundformel für beide Maschinengattungen, die lautet:

$$n_{max} = \frac{v_K \times 60 \times 100 \times u_L}{2,5 \cdot U \cdot p \cdot \tau_K \cdot \sigma} \quad (6)$$

$$n_{max} = \frac{1,5 \times 10^6}{U \cdot p \cdot \tau_K \cdot \sigma} \quad (7)$$

Der Faktor  $\sigma$  hat nur Bezug auf nicht kompensierte Maschinen. Setzt man  $\alpha = \frac{AW_F}{AW_A} = 1,5$ , wird  $\sigma = 1,2$ , somit

$$n_{max} = \frac{1,25 \times 10^6}{U \cdot p \cdot \tau_K} \quad \text{für nicht kompensierte Maschinen} \quad (8)$$

$$n_{max} = \frac{1,5 \times 10^6}{U \cdot p \cdot \tau_K} \quad \text{für kompensierte Maschinen} \quad (9)$$

$\tau_K$  bezeichnet die Kollektorteilung in cm. Werte für  $\tau_K$  aus Fig. 4.

In dieser ist die Grösse des Teilstromes pro Bürstenstift  $\frac{I}{p}$  zur Kollektorteilung  $\tau_K$  von vier Generatoren grosser Leistung eingetragen. In Richtung  $\tau_K = 0,4$  cm wurden durch die Punkte 1—3—4 Linien gezogen, um zu zeigen, dass für ein und den-

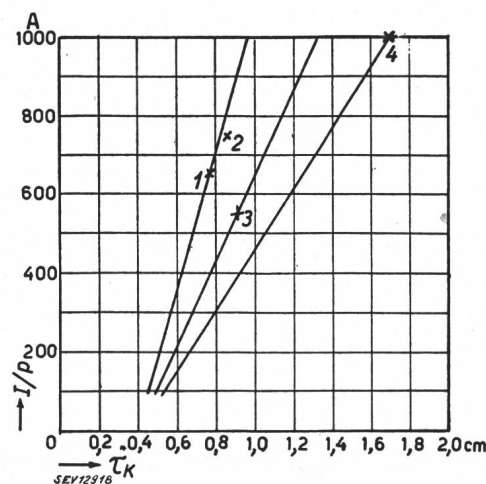


Fig. 4.

Teilstrom pro Bürstenstift, bezogen auf Lamellenteilung

- 1 2400 kW Gen. Buch Starkstromtechnik 7. Aufl., I. Bd., S. 704.
- 2 4000 kW Gen. Buch Mauduit, Paris 1936, S. 267...269.
- 3 1500 kW Gen. Bull. SEV 1943, Nr. 10, S. 295, Fall V.
- 4 2090/4300 kW Gen. Brochure Kehse 1936, S. 42.

selben Teilstrom die Lamellenteilung sich innerhalb weiter Grenzen bewegen kann.

Aus diesen beiden Formeln geht hervor, dass die kompensierte Maschine leichter ausfällt als die nicht kompensierte, und zwar werden bei vorausgesetzten gleichen Ankerdurchmessern die axialen Längen der Eisenpakete des Ankers wie der Feldmagnete und des Jochs um 20 % kürzer ausfallen. Es wird somit der Materialaufwand für Eisenblech und Stahlguss nur  $\frac{4}{5}$  der nicht kompensierten Maschine betragen. Man tut aber besser daran, anstatt die Eisenlänge den Ankerdurchmesser etwas kleiner zu wählen, selbst wenn die Ankereisenlänge dadurch etwas grösser ausfallen würde. Auf diese Weise kann eine Ersparnis von rund 20 % im Kupferaufwand der Ankerwicklung erzielt werden. Dasselbe trifft für die Ausgleichsringe zu. Bezüglich des Kupferaufwandes bei Wendepolmaschinen müssen die

$$AW_w/Pol = A \left( \frac{\tau}{2} + 0,8 \xi \delta_w \frac{l_A}{l_w} \right)$$

sein. Dieselbe Formel wird auch zur Bestimmung der  $AW_{K+W}/Pol$  bei kompensierten Maschinen verwendet. In beiden Fällen sind die  $AW/Pol$  bzw. die Windungszahl annähernd gleich gross. Zur Herstellung der Kompensationswicklung wird demnach die überschüssige Windungszahl der Wendepolwicklung bzw. deren Kupfergewicht plus das ersparte Kupfergewicht von Ankerwicklung und

Ausgleichsringen ausreichen. Eine weitere Kupferersparnis kann allenfalls noch im Erregerkupfer gemacht werden, indem man den unter der Polfläche befindlichen Luftspalt  $\delta$  um etwa 30 % verkleinert. Dasselbe trifft auch für den Luftspalt der Wendepole  $\delta_W$  zur Verkleinerung der  $AW_{K+W}/\text{Pol}$  zu.

Es wurde bisher eine wichtige Grösse ausser acht gelassen, und zwar betrifft dies die Reaktanzspannung  $u_R$ . Während die Reaktanzspannung bei kompensierten Maschinen eine ganz untergeordnete Rolle spielt, ist dagegen die Kenntnis des Wertes von  $u_R$  bestimmend für die Ausführungsmöglichkeit der im Entwurf vorliegenden, nicht kompensierten Maschine. Uebersteigt  $u_R$  (nach meinem

Erachten) den Grenzwert 5 V, so werden die Schwierigkeiten zur Erreichung einer guten Kommutierung um so grösser, je höher man geht. Es hat demnach keinen Sinn, sich in kritische Grenzonen zu begeben, um dann zur Einsicht zu kommen, dass es besser gewesen wäre, sie nicht zu streifen. Deshalb bin ich der Meinung, dass es angezeigt ist, nicht kompensierte Maschinen nur dann auszuführen, wenn die Berechnung der Reaktanzspannung einen Wert ergibt, der wesentlich unterhalb der Grenzspannung liegt und das andere weite Feld den kompensierten Maschinen zu überlassen.

Adresse des Autors:

Emil Dick, Ingenieur, Gümligen b. Bern.

## Ausgewählte Kapitel aus der Sender-Messtechnik

Vortrag, gehalten an der 8. Hochfrequenztagung des SEV am 1. September 1944 in Bern,  
von H. Wehrli, Bern

621.396.71.0014

Die Sender-Messtechnik hat sich mit Erscheinungen und Methoden zu befassen, die von der klassischen Starkstrom-Messtechnik abweichen. Es werden in kurzen Zügen folgende Punkte behandelt:

- Welche theoretischen Grundlagen bedingen diese Abweichungen?
- Welche Qualitätsbedingungen werden an einen Sender gestellt?
- Diskussion einiger spezieller Methoden der Leistungsmessung von hochfrequentem Wechselstrom.

Am Schluss der Arbeit folgen einige Angaben über die wichtigste einschlägige Literatur.

La technique des mesures des émetteurs s'écarte de la technique classique, en raison des phénomènes et des méthodes qui entrent en jeu. Le conférencier a traité brièvement les points suivants:

- Quelles sont les considérations théoriques qui interviennent dans ce cas spécial?
- A quelles exigences les émetteurs doivent-ils satisfaire, au point de vue de la qualité?
- Discussion de quelques méthodes particulières pour la mesure de la puissance du courant alternatif à haute fréquence.

Cet exposé se termine par une bibliographie des principales publications relatives à ces mesures.

### Einleitung

Wer sauber und gut misst, hat die Hälfte des Weges zur Lösung seines Problems gewonnen. Das Wechselspiel zwischen dem zu erwartenden vorausberechneten Resultat und dem objektiv verifizierten Messergebnis hat sich noch immer fruchtbar erwiesen, die Erkenntnis gefördert und für künftige rationelle Dimensionierungen geeignete Grundlagen ergeben.

Dem steht gegenüber, dass das Messen in der noch relativ jungen Hochfrequenz-Technik ein erhebliches Quantum an neuen Kenntnissen und Wissen dort voraussetzt, wo in der Starkstromtechnik seit langem erhärtete Anschauungen und bewährte Methoden ein relativ unbeschwertes Routine-Arbeiten erlauben. Die Hochfrequenztechnik verlangt unbedingt saubere Arbeit, und ein Abweichen vom Prinzip der hochfrequenten Sauberkeit führt in den meisten Fällen zu einem Misserfolg.

### 1. Theoretische Betrachtungen<sup>1...5, 19, 21\*)</sup>

Die grundlegenden Unterschiede, die die Hochfrequenz-Messtechnik gegenüber Messungen bei Gleichstrom oder Industriefrequenz mit sich bringt, seien folgendermassen kurz diskutiert.

Unter Industriefrequenz sollen in diesem Zusammenhang Frequenzen der Grössenordnung von  $16^{2/3}$  oder 50 Hz verstanden werden. Die Niederfrequenz-Technik arbeitet mit Frequenzen von 30...15000 Hz,

die Hochfrequenz-Technik mit Frequenzen über 15 kHz, während die Sendermesstechnik den gesamten Frequenz-Bereich umfasst.

Die erste sich aus der *Maxwellschen* Auffassung ergebende *Grundgleichung* lautet:

$$\boxed{\text{div } s = 0}$$

$$s = s_v + s_l = \frac{di}{dA}$$

$$i = \frac{dQ}{dt}$$

$s$  Stromdichte  
 $s_v$  Verschiebungsstromdichte  
 $s_l$  Leiterstromdichte  
 $i$  Strom  
 $Q$  Ladung  
 $A$  Leiterquerschnitt

Das heisst, in einem quellenfreien System ist immer die Kontinuität des elektrischen Stromes gewährleistet. Diese Gleichung stellt also die allgemeine Form des *ersten Kirchhoffschen Gesetzes* dar, des Inhaltes, dass in jedem Strom-Verzweigungspunkt die Summe aller Ströme gleich Null ist. Siehe Punkt B in Fig. 1a.

Während sich das erste Kirchhoffsche Gesetz jedoch nur auf Leiterströme beschränkt, werden in diese Gleichung auch die Verschiebungsströme einbezogen. Die Stromdichte  $s$ , d. h. Ladung  $Q$ , dividiert durch Zeit und Fläche, ist ein Vektor mit den Komponenten Leiterstromdichte und Verschiebungsstromdichte. Während man in der Gleichstrom-

\*) Siehe Literatur am Schluss.