

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 37 (1946)
Heft: 15

Artikel: Untersuchung über die Möglichkeit einer Steigerung der Belastbarkeit von Wendepolmaschinen
Autor: Dick, Emil
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1057344>

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: 18.01.2025

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

Untersuchung über die Möglichkeit einer Steigerung der Belastbarkeit von Wendepolmaschinen

Von Emil Dick, Gümligen *)

621.313.2.1

Obwohl die kompensierte Kollektormaschine der Wendepolmaschine in bezug auf Kommutierung überlegen ist, konnte sich die Wendepolmaschine wegen der einfacheren Bauart und der geringeren Herstellungskosten weiter behaupten, besonders in Fällen, in denen die Bedingungen für die Kommutierung günstig lagen. Eine Erweiterung des Anwendungsgebietes ergäbe sich durch die Erhöhung der Belastbarkeit. Der Autor untersucht die Mittel, die dazu dienen können, und zeigt zum Schluss am Beispiel eines ausgeführten Wendepolgenerators die Berechnung der wichtigsten Grössen.

Quoique la machine à collecteur compensée soit supérieure à la machine à pôles auxiliaires en ce qui concerne la commutation, la machine à pôles auxiliaires a pu se maintenir — en particulier lorsque les conditions de service étaient favorables à la commutation — grâce à sa construction plus simple et aux frais de fabrication moins élevés. Il serait possible d'agrandir le champ d'application de cette machine en augmentant la charge admissible. L'auteur étudie les moyens qui permettraient d'atteindre ce but et indique pour terminer le mode de calcul des valeurs caractéristiques en prenant pour exemple un générateur muni de pôles auxiliaires qui a été réalisé.

Allgemeines

Die Belastungsfähigkeit der Kollektormaschine ist durch die Güte der Kommutierung bestimmt. Je besser die Kommutierung, um so leistungsfähiger wird die Maschine und um so sicherer auch der Betrieb. Die Praxis hat ergeben, dass die kompensierte Maschine in bezug auf die Stromwendung der Wendepolmaschine weitaus überlegen ist. Diese Überlegenheit ergibt sich aus der fast gänzlichen Vernichtung des Ankerfeldes, das bekanntlich durch die entgegengesetzt wirkenden Amperewindungen der Kompensations- und Wendepolwicklung aufgehoben wird. Aus diesem Grunde hat sich die kompensierte Maschine selbst in den schwierigsten Betrieben, z. B. als Triebmotor von Walzwerk- und Förderanlagen und von Lokomotiven vorzüglich bewährt.

Trotzdem konnte sich die Wendepolmaschine weiter behaupten, besonders in Fällen, in denen die Bedingungen der Erzielung einer zufriedenstellenden Kommutation gegeben waren. Diesem Umstande einerseits, der einfacheren Bauart und den geringeren Herstellungskosten andererseits ist es zuzuschreiben, dass die aus dem Anfang unseres Jahrhunderts stammende Wendepolmaschine grosse Verbreitung fand.

Das Anwendungsgebiet könnte noch erweitert werden, wenn es gelänge, die Belastungsfähigkeit durch einfache Mittel zu heben. Wie angedeutet, verursacht das durch die Amperewindungen des Ankers (AW_A) gebildete Ankerfeld eine Verschiebung des Hauptfeldes Φ , und zwar in Richtung des Drehsinns beim Generator (beim Motor gegen den Drehsinn). Da eine solche Verschiebung beim kompensierten Generator gar nicht entstehen kann, weil bei ihm das Ankerfeld über den ganzen Ankerumfang fast ganz aufgehoben wird, ist der Weg zur Verbesserung der Kommutierung der Wendepolmaschine dadurch gekennzeichnet, dass man alle bekannten Mittel anwenden muss, um die Stärke des Ankerfeldes zu verringern. Hierzu dienen folgende Mittel:

1. Hohe Induktion B_l im Luftspalt zwischen Polschuh und Ankereisen zur Erzielung der kürzesten Ankereisenlänge l .

2. Grosser Luftspalt δ zwischen Ankereisen und Polschuh, um die Feldamperewindungen AW_l den Ankeramperewindungen AW_A gegenüber so stark als möglich zu machen; grosser Wendepol-Luftspalt δ_w .
3. Konzentrierung der Wendepolwicklung in Richtung Ankeroberfläche.
4. Relativ kleiner Polwinkel b/τ_p .

Bestimmung der wichtigsten Grössen der Maschine

Die Leistung des Kollektorankers ist: UI (= mittlere Lamellenspannung U_{Lm} pro Ankerwindung mal Zahl der stromdurchflossenen Ankerwindungen)

$$UI = U_{Lm} \frac{A}{2} D \pi$$

Leistung: $P = \frac{UI}{1000} \text{ kW}$

Durchmesser: $D = \frac{2000 P}{\pi A U_{Lm}} \text{ cm}$ (1)

Drehzahl: $n < \frac{v_k 60 \cdot 100 U_{Lm}}{U 2 p \tau_k} / \text{min}$ (2)

Lamellenzahl: $K = U \frac{2 P}{U_{Lm}}$; Leiterzahl: z

Induktionsfluss: $\Phi = \frac{U 60 \cdot 10^8}{n z} \frac{a}{p} \text{ Maxwell}$ (3)

Polwinkel: b/τ_p ; $\tau_p = \frac{D \pi}{2 p} \text{ cm}$.

Thema I

Magnetische Induktion: $B_l \cong \frac{\Phi}{b l} \text{ Gauss}$, (4)

wo l Eisenlänge ohne Ventilationskanäle in cm,
 b Polbogen in cm,

d. h. je kleiner die Eisenlänge ist, um so grösser wird die magnetische Induktion und um so kleiner die Reaktanzspannung

$$U_R = \frac{z}{K} l v_A A \xi \frac{P}{a} \cdot 10^{-6} \text{ V} \quad (5)$$

*) Der Autor vollendet am 28. Juli 1946 sein 80. Lebensjahr (vgl. S. 443).

wo z Leiterzahl,
 v_A Ankergeschwindigkeit in m/s,
 A Strombelag in A/cm,
 ξ Hobartsche Induktivitätszahl (Kraftlinien-
 zahl pro A und cm Stablänge).

Die Grösse U_R ist für die Beurteilung der Güte der Kommutation besonders wichtig, denn ihr Wert zeigt an, ob eine annehmbare Stromwendung erwartet werden kann. Ausserdem spielt die Stärke der Feldverschiebung eine Rolle, denn sie ist die Ursache der Verzerrung des Wendefeldes.

Thema II

In Fig. 1 sind die über den Bereich der Polteilung wirkenden Amperewindungen AW_F , AW_A , AW_R , AW_W und AW_{WR} für eine Wendepolmaschine eingezeichnet. Aus dem Diagramm geht hervor, dass

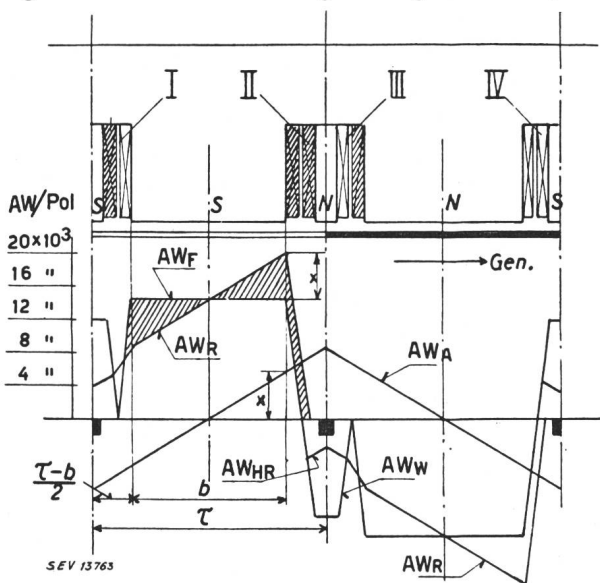


Fig. 1.

AW-Diagramm des Wendepolgenerators 1500 kW, 500 U./min
 $AW_F = 14\ 000$; $AW_A = 8500$; $AW_W = 12\ 000$;
 Polwinkel $b/\tau_p = 0,67$.

mit zunehmender Stärke der AW_F die Ankerrückwirkung relativ kleiner wird. Es muss daher das durch die Amperewindungen des Feldes AW_F erzeugte Hauptfeld wesentlich kräftiger sein, als das von den Amperewindungen des Ankers erzeugte Ankerfeld. Die Grösse $\alpha = \frac{AW_F}{AW_A}$ gibt uns bereits einigen Aufschluss, doch ist hier der Einfluss des Polwinkels nicht enthalten. Pro Pol betragen

$$AW_F = N_m I_m \tag{6}$$

$$AW_A = \frac{I}{2a} \cdot \frac{z}{2} \cdot \frac{1}{2p} \tag{7}$$

Beim Generator wirken die AW_A den AW_F bis Polmitte entgegen, von da an bis zur Ablaufkante des Polschuhs gleichsinnig mit den AW_F , wo an der Ablaufkante die grösste Rückwirkung auftritt. Rückwirkung $x = AW_A \cdot b/\tau_p$. An dieser Stelle ist $AW_R = AW_F + x$ und das Verhältnis

$$\frac{AW_F + x}{AW_F} = \psi = 1 + \frac{AW_A}{AW_F} \cdot b/\tau_p \tag{8}$$

stellt einen Vergleichswert dar. Je kleiner ψ ausfällt, um so kleiner fällt die Rückwirkung aus. Man kann jedoch mit Rücksicht auf die Erwärmung der Feldspulen AW_F nur bis zu einer gewissen Grenze steigern. Die Formel ist insofern aufschlussreich, als daraus die örtliche Zunahme σ der Lamellen-spannung U_L geschätzt werden kann. Die magnetische Induktion B_l unter dem Pol verläuft bei ungesättigten Feldkernen fast proportional den resultierenden AW_R , dagegen sinkt bei stark gesättigten Magnetkernen und stark gesättigten Ankerzähnen die Kraftliniendichte in der Lage x ganz bedeutend, mithin auch der Faktor σ .

Bezüglich des Luftabstandes δ ist es angezeigt, diesen so gross als möglich zu machen. Es wird dadurch nicht allein die Ankerrückwirkung verkleinert, sondern es werden bei nicht zentrischer Lagerung des Ankers die in den Ausgleichsleitungen fliessenden Ausgleichsströme nicht die Stärke erreichen können, die sie sonst bei verhältnismässig kleinem Luftspalt aufweisen würden.

Das gleiche kann für die Weite des Luftspaltes des Wendepoles δ_W gesagt werden. Je grösser δ_W , um so gleichmässiger wird auch das Wendefeld ausfallen, und um so kleiner wird die Induktivität der kommutierenden Spule. Die das Wendefeld erzeugenden Amperewindungen sind

$$AW_{WR} = AW_W - AW_A$$

$$\frac{AW_W}{AW_A} = \varphi \tag{9}$$

$$AW_{WR} = 0,8 A \xi \delta_W \frac{l_A}{l_W}$$

$$\delta_W = \frac{AW_A (\varphi - 1)}{0,8 A \xi} \cdot \frac{l_W}{l_A} \text{ cm} \tag{10}$$

In der Kommutierungszone verlaufen die AW_A nicht gemäss Darstellung der Amperewindungsdiagramme, sondern es wird die Dreiecksspitze einen stumpfen Winkel erhalten, vorausgesetzt, dass die Stromwendung geradlinig erfolgt. Die in den Diagrammen dargestellte Tiefe der Einbuchtung ist in der Kommutierungszone um die Hälfte kürzer, und es verschwindet der Einfluss der Einbuchtung um so mehr, je grösser δ_W gewählt wird.

Oberhalb des Amperewindungsdiagramms (Fig. 1) ist schematisch das zugehörige Feldmagnetsystem mit dem Wendepol dargestellt, wobei in den Pollücken I, II, III, IV Anordnung und Stromrichtungssinn der Feld- und Wendepolwicklungen dargestellt sind. Es wirken in der Pollücke I die Amperevolumen beider Wicklungen gegeneinander, in der Pollücke II unterstützen sie sich gegenseitig. Identische Zustände herrschen in den Pollücken III und IV. Das bedeutet, dass die magnetische Spannung in den Pollücken II und IV einen ungewöhnlich hohen Wert erreicht. Die von ihr erzeugte Flankenstreuung sowie die Stirnstreuung Φ_{St} sind relativ am stärksten an den Polspitzen und nehmen dann gegen die äussere Stirnfläche der Spulen ab. Die schematische

Darstellung oberhalb des Amperewindungsdiagramms entspricht jedoch nicht der Wirklichkeit, denn die Flankenflächen stehen nicht parallel, sondern geneigt zueinander, wie dies aus Fig. 2, der Skizze einer Maschine, hervorgeht.

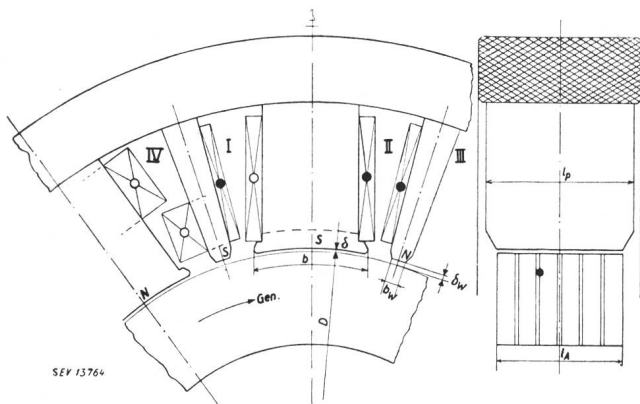


Fig. 2.

Wendepolgenerator 15 000 kW, 500 U./min

Der gesamte Streufluss Φ_{St} ist am Fusse des Wendepols am grössten; dazu kommt noch der Wendepolfluss Φ_{Wl} . Der Wendepolquerschnitt ist reichlich stark zu dimensionieren, damit eine Sättigung des Eisens erst bei einer grössern Ueberlastung auftreten kann. Man erhält auf diese Weise die erforderliche Proportionalität zwischen Wendepolstrom und der Induktion B_{Wl} des Wechselfeldes. Aus demselben Grunde darf im Joch die Induktion B_j bei der Nennleistung der Maschine nicht über einer gewissen Grenze liegen.

Wie aus der dargestellten Ueberlegung hervorgeht, ist eine klare Trennung von Haupt- und Wendefeld bei gleichzeitiger Vergrösserung der Luftspalten in jedem Falle zweckmässig. Diese Forderungen widersprechen aber dem Wunsche nach kleinen Abmessungen der Maschine. Die grösseren Luftspalten bedingen zudem eine Erhöhung der Erregerleistung und können daher mit Rücksicht auf den Wirkungsgrad auch nicht ganz beliebig angenommen werden.

Thema II soll daher nur einen Hinweis bilden, in welcher Richtung bei schwierigen Kommutationsverhältnissen eine Verbesserung gesucht werden kann.

Thema III

Die Erfahrung lehrt, dass die Konzentrierung der Wendepolwicklung in Richtung des Ankers einen günstigen Einfluss auf die Kommutierung ausübt. Dass dem so ist, geht auch aus folgender Ueberlegung hervor: Je mehr die Wendepolwicklung gegen den Anker verlegt wird, um so mehr erhält ein Teil der Wendepolwicklung den Charakter der Kompensationswicklung. Die Ausführungsart entspricht der linksseitig in Fig. 2 gezeichneten Anordnung unter Beibehaltung gleich grosser Flächen der Strombelage wie die der beiden rechtsseitigen Wicklungen. Die Wendefeldverzerrung wird somit um so kleiner, je mehr die Wicklung in Richtung zum Anker versetzt wird. In der genannten Ausführungsart wird demnach die Maschine eine entsprechend höhere Belastung hinsichtlich Kommutierung vertragen, die theoretisch wohl kaum vorausgesagt wer-

den kann; doch könnte die Frage auf Grund praktischer Erfahrungen gelöst werden.

Das AW -Diagramm Fig. 1 und die Skizze Fig. 2 beziehen sich auf meinen Aufsatz über «Erfahrungen auf dem Gebiete des Gleichstrommaschinen-

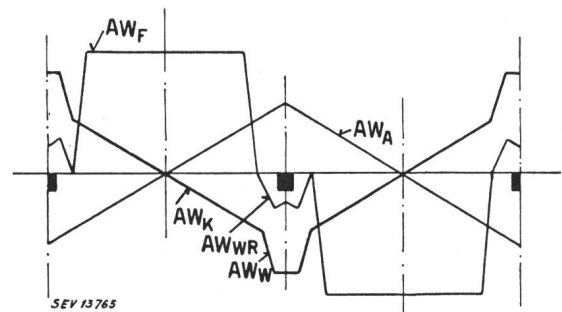


Fig. 3.

AW -Diagramm des kompensierten Generators
 $AW_F = 14\ 000$; $AW_A = 8500$; $AW_{K+W} = 12\ 000$;
 Polwinkel $b/\tau_P = 0,67$.

baues¹⁾, und zwar auf den 1500-kW-Generator, dessen Daten in der Tabelle I, Fall V, enthalten sind. Der Grundgedanke der Konzentrierung der Wendepolwicklung ist bereits in der Besprechung des Falles V angedeutet. Die vorliegende Arbeit ist demnach nichts anderes als eine Folgerung und Weiterentwicklung dieses Gedankens.

Thema IV

Man könnte noch einen Schritt weiter gehen und Platz für die Unterbringung einer noch gestreckteren Wendepolwicklung schaffen. Zu diesem Zweck müsste die Pollücke verbreitert, d. h. der Polwinkel verkleinert werden. Das Diagramm Fig. 4 ist nach diesen Annahmen entworfen. Man sieht, dass die

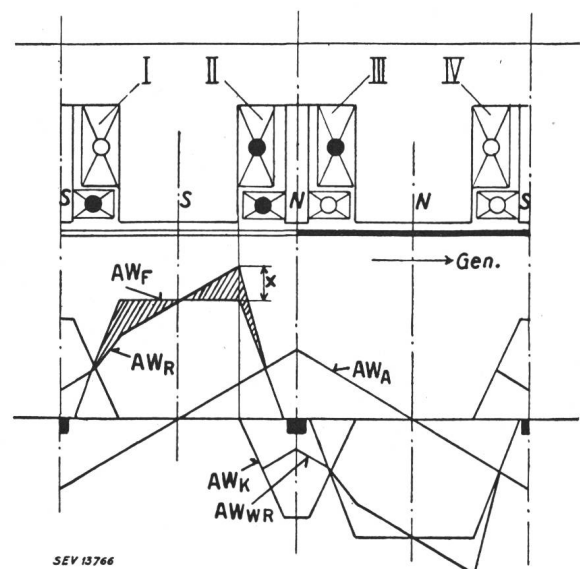


Fig. 4.

AW -Diagramm (konzentrische Wendepolwicklung)
 $AW_F = 14\ 000$; $AW_A = 8500$; $AW_W = 12\ 000$;
 Polwinkel $b/\tau_P = 0,5$.

Ankerrückwirkung im Vergleich zu derjenigen in Fig. 1 merklich verkleinert ist, und scheinbar gün-

¹⁾ Bull. SEV Bd. 34(1943), Nr. 10, S. 294...297.

stigere Verhältnisse für die Kommutierung geschaffen werden. Dem ist nun leider nicht so, denn die Reaktanzspannung erfährt eine entsprechende Zunahme, und zwar proportional der Verkleinerung der Polbedeckung. Es hätte wohl keinen Sinn, bei den kommutierungsempfindlichen Wendepolmaschinen den Polbogen auf die halbe Polteilung herunterzusetzen. Wie schon eingangs erwähnt, ist die Leistungsfähigkeit dieser Klasse von Maschinen begrenzt, und demzufolge auch das Verwendungsgebiet beschränkt.

Wohl aber muss bei kompensierten Maschinen zu diesem Mittel gegriffen werden, wenn die Verhältnisse dazu zwingen. Darunter ist höchste Ausnutzung des aktiven Materials bei höchster Ankerumfangsgeschwindigkeit gemeint, dann die Art des Betriebes, wie Stossbelastungen auf Generator und Motor in Leonardschaltung usw. Da spielt die Grösse der Reaktanzspannung keine Rolle mehr. Wichtig dagegen ist die Steilheit des Hauptfeldes in der Kommutierungszone, bzw. die Grösse der Bürstenspannung U_B . Ist diese zu steil bzw. zu gross, so ist Bürstenfeuer unvermeidlich. Um die Steilheit oder die Bürstenspannung zu senken, gibt es nur einen Ausweg, und zwar die Vergrösserung der Pollücke. In der Formel der Bürstenspannung, die lautet

$$U_B = g U b_1^2 \cdot \left(\frac{D}{D_K}\right)^2 \cdot \frac{1}{(\tau - b)^2} \text{ V}^2 \quad (17)$$

wo $g = 0,27 (0,96 - b/\tau) \gamma$; $\gamma = 0,5$ (18)

soll U_B stets kleiner als $U_{Blim} = 3 \gamma \text{ V}$ sein. Trifft dies nicht zu, so bleibt nichts anderes übrig, als Vergrösserung der Pollücke $\tau - b$.

Ermittlung der wichtigsten Grössen des Wendepolgenerators³⁾

für eine Dauerleistung $P = 1500 \text{ kW}$, $U = 550 \text{ V}$,
 $I = 2730 \text{ A}$ und $n = 500/\text{min}$

Erfahrungswerte

$A = 360$ (spez. Strombelastung in A/cm Ankerfang)

$U_{Lm} = 18$ (mittlere Lamellenspannung in V)

$v_K = 23,5$ (Kollektorumfangsgeschwindigkeit in m/s)

$I/p = 550$ (Stromstärke / Bürstentiftzahl)

$p = 5$; $a = 5$; $\tau_K = 0,9 \text{ cm}$

$$D = \frac{2000 \cdot 1500}{\pi \cdot 360 \cdot 18} = 150 \text{ cm} \quad (1)$$

$$n = \frac{23,5 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 18}{550 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 0,9} = 500 / \text{min} \quad (2)$$

$K = 550 \cdot \frac{2 \cdot 5}{18} = 310$; $z = 620$

$$\Phi = \frac{550 \cdot 60 \cdot 10^8 \cdot 5}{500 \cdot 620 \cdot 5} = 11 \cdot 10^6 \text{ Maxwell} \quad (3)$$

²⁾ Ueber die Ableitung der Formel vgl. Bull. SEV Bd. 36 (1945), Nr. 15, S. 441.

³⁾ Nähere Daten vgl. Bull. SEV Bd. 34(1943), Nr. 10, S. 295, Tab. I, Fall V.

$\tau_P = 47 \text{ cm}$; $b/\tau = 0,67$; $b = 31,5 \text{ cm}$
 $l = 30 \text{ cm}$; $l_A = 30 + 5 \cdot 1 = 35 \text{ cm}$; $l_P = 40 \text{ cm}$

$N = 155$; $N/2p = 15,5$ (Schleifen - Treppenumwicklung)

$$B_l = \frac{11 \cdot 10^6 \cdot 1,2}{26 \cdot 40} = 12700 \text{ Gauss} \quad (4)$$

$$U_R = 2 \cdot 30 \cdot 39,2 \cdot 360 \cdot 6 \cdot \frac{5}{5} \cdot 10^{-6} = 5,1 \text{ V} \quad (5)$$

$\delta = 0,7 \text{ cm}$, später auf $0,85 \text{ cm}$ im Mittel vergrössert

$$AW_l = 0,8 \cdot 11700 \cdot 0,85 = 8000 \text{ AW}$$

$$AW_F = 870 \cdot 16 = 14000 \text{ » bei Vollast} \quad (6)$$

$$AW_A = \frac{2730}{2 \cdot 5} \cdot \frac{620}{2} \cdot \frac{1}{2 \cdot 5} = 8500 \text{ » » »} \quad (7)$$

$$\psi = 1 + \frac{8500}{14000} \cdot 0,67 = 1,4 \text{ (Faktor der Rückwirkung)} \quad (8)$$

$\varphi = 1,38$ (Faktor der AW_W/AW_A) (9)

$$\delta_W = \frac{8500 (1,38 - 1)}{0,8 \cdot 360 \cdot 6} \cdot \frac{28}{35} = 1,5 \text{ cm} \quad (10)$$

$$B_{WL} = 360 \cdot 6 \cdot \frac{35}{28} = 2700 \text{ Gauss} \quad (11)$$

$$\Phi_{WL} = 2700 \cdot 4 \cdot 28 = 0,3 \cdot 10^6 \text{ Maxwell} \quad (12)$$

$$AW_{WR} = 0,8 \cdot 2700 \cdot 1,5 = 3250 \text{ AW bei Vollast} \quad (13)$$

$$AW_W = 3250 + 8500 \cong 12000 \text{ » » »} \quad (14)$$

Wendepolwicklung in 2 Gruppen parallel

$$W_W = \frac{12000}{2730/2} = 9 \text{ Windungen/Pol}$$

$$B_M = \frac{11 \cdot 10^6 \cdot 1,25}{26 \cdot 40} = 13200 \text{ Gauss}$$

Pollücke II: $AW_F + AW_W = 26000 \text{ AW}$

$$\Phi_{St} = (60000 + 10000) \cdot 28 \cong 2 \cdot 10^6 \text{ Maxwell}$$

\swarrow Flächenstreuung \searrow Stirnstreuung geschätzt

$\sigma = 1,25$

$$\Phi_J = \frac{11 \cdot 10^6}{2} \cdot 1,25 + 0,3 \cdot 10^6 + 2 \cdot 10^6 \cong 9 \cdot 10^6 \text{ Maxwell} \quad (15)$$

$Q_J \cong 750 \text{ cm}^2 \text{ Stg.}$; $B_J = 12000 \text{ Gauss}$ (16)

Ermittlung der Bürstenspannung U_{B0}

$\gamma = 0,5$; $g = 0,27 \cdot (0,96 - 0,67) \cdot 0,5 = 0,04$ (18)

$$U_{B0} = 0,04 \cdot 550 \cdot 1,8^2 \left(\frac{150}{90}\right)^2 \cdot \frac{1}{(47 - 31,5)^2}$$

$= 0,83 \text{ V}$ (kein Leerlauf-Bürstenfeuer) (17)

$U_{Blim} = 3 \cdot 0,5 = 1,5 \text{ V}$

Ermittlung der Lamellenspannung U_L

$U_{Lm} = 18 \text{ V}$ (mittlere Lamellenspannung)

$$U_{L0} = \frac{550 \cdot (0,5 - 0,04) \cdot 4 \cdot 5}{310 \cdot 0,67} = 24,5 \text{ V}$$

$\psi = 1,4; \sigma = 1,4$ (für ungesättigtes Eisen)
 $\cong 1,25$ [für gesättigtes Eisen (geschätzt)]
 $U_{LB} = 24,5 \cdot 1,25 \cong 31$ V (es ist kein Ueberschlag
 am Kollektor zu befürchten).

Man erkennt aus den erhaltenen magnetischen Grössen, dass alle Mittel angewendet wurden, um den schädlichen Einfluss der Ankerrückwirkung

auf die Kommutierung herunterzudrücken. Wenn bei dieser Maschine die in Fig. 2 links angedeutete Anordnung der Feld- und Wendepolwicklung ausgeführt worden wäre, hätten die Schwierigkeiten, die sich bei der Inbetriebsetzung des Generators ergaben, vermieden werden können.

Adresse des Autors:
 Emil Dick, Ingenieur, Gümlingen bei Bern.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Ueber den Stand der Verhütung der Leiterschwingungen

621.315.056.3

In der Sitzung des Unterkomitees für Leitungsberechnungen und Schwingungen, die im Rahmen der CIGRE am 2. Juli in Paris zusammentrat, wurde der Bericht

«*Note récapitulative sur l'état actuel des vibrations de conducteurs et des moyens pour en éliminer les méfaits*¹⁾»

vorgelegt und eingehend diskutiert. Dabei war besonders interessant festzustellen, dass die Erfahrungen, die in den letzten Jahren in den Ländern ausserhalb der Schweiz gemacht worden sind, sich weitgehend mit den in diesem Bericht geäusserten Ansichten decken. Insbesondere wurde überall beobachtet, dass Schwingungsschäden äusserst selten auftreten, wenn die Leitungen mit richtig konstruierten, möglichst leichten und beweglichen Trag- und Abspannklemmen ausgerüstet sind. Allgemein kam zum Ausdruck, dass man nach den gemachten Beobachtungen und Erfahrungen das Schwingungsproblem beherrscht, und es keine Gefahr mehr für die Leitungen darstellt.

Die Wiederaufnahme der Elektrizitätsversorgung in der Pariser Region

[Nach R. Bouvattier, Rev. gén. électr. Bd. 54(1945), Nr. 1, S. 9...16]

621.311.44)

Als Pariser Region, deren Elektrizitätsversorgung nach der Befreiung hier betrachtet werden soll, gilt ein Gebiet, dem die Departemente Seine, Seine-et-Oise, Seine-et-Marne, Oise und ein Teil des Departements Loiret angehören. Die Verteilnetze der Pariser Region umfassen etwa 430 km 60-kV-Kabel und Hochspannungsfreileitungen ungefähr gleicher Länge. Die Energielieferung geschieht einerseits durch thermische Kraftwerke in der Pariser Region, andererseits durch hydraulische Kraftwerke im Zentralmassiv, im Osten des Landes und in den Alpen, ferner durch thermische Kraftwerke im Gebiete der Kohlengruben. Im Jahre 1939 betrug die verfügbare Leistung der thermischen Werke in der Pariser Region 800 000 kW. Nach der Befreiung der Stadt Paris im August 1944 waren nur noch rund 430 000 kW, d. h. ungefähr 50 % der ursprünglichen Leistung vorhanden. Tabelle I gibt eine Zusammenstellung dieser thermischen Kraftwerke mit ihrer möglichen Leistung in den Jahren 1939 und 1944.

Kraftwerke der Pariser Region

Tabelle I

Werke	1939	26. 8. 44
	kW	kW
Arrighi	190 000	145 000
Gennevilliers	160 000	65 000
Saint-Denis I und II	160 000	75 000
Ivry	60 000	35 000
Saint-Ouen	150 000	70 000
Issy-les-Moulineaux	80 000	40 000
Total	800 000	430 000

Drei Gründe haben die starke Reduktion der verfügbaren Leistung dieser Kraftwerke bewirkt, nämlich 1. Bombardie-

¹⁾ Siehe Bull. SEV Bd. 37(1946), Nr. 14, S. 375...382.

rungen, 2. ungeeignete Brennstoffe, 3. Schwierigkeiten in Betrieb und Unterhalt.

Vom 6. April 1942 bis 26. August 1944 wurden die in Tabelle I aufgeführten Kraftwerke durch 9 Bombardierungen getroffen. Dabei haben die Werke Gennevilliers, Issy-les-Moulineaux, Saint-Denis, Saint-Ouen und Ivry Schäden erlitten.

Die während der deutschen Besetzung gegenüber der Zeit vor dem Kriege eingetretene Qualitätsverminderung der Kohle geht deutlich aus folgenden Zahlen hervor:

	vor dem Krieg	während der Besetzung
Kohlenanteil	> 20 %	< 15 %
Flüchtige Bestandteile	> 10 %	> 20 %
Aschengehalt	< 4 %	
Feuchtigkeit		

Allgemein zeigte sich, dass während der Besetzungszeit die Kohlengruben bei ihren Lieferungen keine gleichbleibende Qualität und nicht mehr die geeigneten Mischungsverhältnisse einhalten konnten. Durch Aenderung der lufttechnischen Anlagen der Dampfkessel versuchte man die Betriebsverhältnisse zu verbessern. Im Kraftwerk Arrighi wurden z. B. Massnahmen zur Zufuhr von Tertiärluft getroffen. Dadurch konnten sogar Kohlen mit nur 10...12 % Gehalt an flüchtigen Bestandteilen verbrannt werden. Der Wirkungsgrad der Dampfkessel sank dabei allerdings beträchtlich, und es zeigten sich gefährliche Ueberhitzungen.

Die schlechten Brennstoffe und ein forcierter Betrieb führten zu ausserordentlichen Beanspruchungen der Anlagen, deren Reparatur wegen der Rohstoffknappheit immer schwieriger wurde. Die Zahl der Dampfkessel, multipliziert mit den Tagen ihrer Ausserdienstsetzung, erreichte im Sommer 1943 den doppelten Wert des Jahresdurchschnittes vor dem Kriege. Dadurch wird die Verminderung der verfügbaren Kraftwerksleistung von 1939...1944 auf etwa die Hälfte verständlich.

Im Jahre 1939 bestanden in der Pariser Region zwei Unterwerke von 220/60 kV. Das Unterwerk Ampère nahm die Energie aus dem Osten des Landes auf, und das Unterwerk Chevilly war mit den hydraulischen Kraftwerken im Zentralmassiv verbunden (Fig. 1). Beide Unterwerke hatten zusammen eine installierte Transformatorleistung von 360 MVA. Ein drittes Unterwerk, Fallou, mit 90 MVA Transformatorleistung war im Bau und sollte anfangs 1941 in Betrieb genommen werden.

Im Zeitpunkt der Befreiung (August 1944) standen als Folge der Kriegereignisse jedoch nur noch 150 MVA zur Verfügung, verteilt auf eine Transformatorgruppe im Unterwerk Ampère und eine weitere Gruppe im Unterwerk Chevilly. Da sämtliche 220-kV-Leitungen wegen Beschädigungen ausser Betrieb waren, blieben die Transformatoren vorerst unbenutzt. Das 60-kV-Kabelnetz wies über 100 Unterbrüche auf, wobei die Zerstörungen in den Brücken über die Seine, die beim Rückzug der Deutschen gesprengt wurden, nicht gezählt sind. Durch Hunderte von Leiterbrüchen und Isolatordefekten war das 60-kV-Freileitungsnetz geschwächt, und über 500 Leitungsmasten des 220-kV-Netzes waren beschädigt.

Am 26. August 1944 verfügten alle thermischen Kraftwerke der Pariser Region zusammen nur noch über 240 Tonnen Kohle, was rund 350 000 kWh entspricht. Dagegen standen mehrere tausend Tonnen flüssiger Brennstoffe, die dezentralisiert eingelagert worden waren, zur Verfügung. Daraus wurde durch sofortige Umstellung des Kraftwerks Arrighi auf Oelfeuerung Nutzen gezogen. Schon am 29. August 1944 konnte das Kraftwerk Arrighi mit Oel in Betrieb gesetzt werden. Der 6. September 1944 brachte die Parallelschaltung