Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 43 (1952)
Heft: 8

Artikel: Eine neue Art mit erhöhter Frequenz vormagnetisierter Stromwandler
Autor: Goldstein, I.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057861

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: 13.12.2025

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

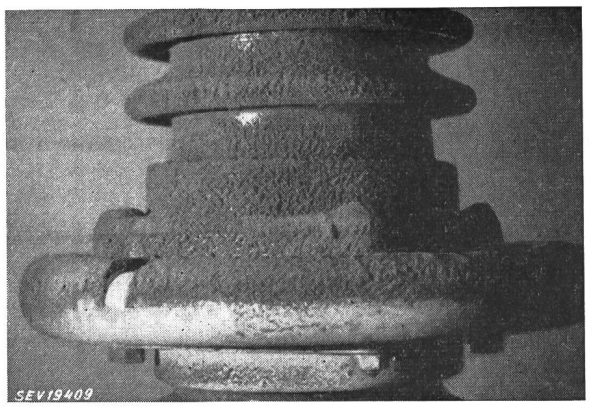

Fig. 9
150-kV-Ableiter mit 5facher normaler Schmutzschicht
vollständig durchnässt, mit Leitungswasser von 3000 Ωcm; Schichtdicke ca. 5 mm

b) Messungen unter Verschmutzung

Ein ähnliches Bild wie bei der Beregnung gaben auch die Messungen unter Verschmutzung. Die Resultate dieser Messungen sind aus Tabelle II ersichtlich.

Schlussfolgerungen

Die vorstehenden Ausführungen haben gezeigt, dass es heute durchaus möglich ist, Überspannungsableiter bis zu den höchsten Nennspannungen zu bauen, deren Ansprechspannung sowohl bei 50 Hz, als auch bei Stoßspannung von Beregnung und Verschmutzung praktisch unabhängig ist.

Adressen der Autoren:
Dr. sc. nat. *J. Amsler*, und *L. Regez*, Ingenieur, Sprecher & Schuh A.-G., Aarau.

Eine neue Art mit erhöhter Frequenz vormagnetisierter Stromwandler

Von *I. Goldstein*, Zürich

621.314.224.08

Die Arbeit beschreibt eine neue Art der Vormagnetisierung mit dreifacher Betriebsfrequenz bei Stromwandlern, die in den USA von Boyajian und Camilli entwickelt wurde. Im Anschluss an diese Beschreibung wird eine Schaltung vorgeschlagen, die gleichfalls eine Vormagnetisierung mit dreifacher Betriebsfrequenz verwendet, aber in das Gebiet der eigenvormagnetisierten Stromwandler gehört.

L'article décrit une nouvelle manière de prémagnétisation à triple fréquence des transformateurs d'intensité, qui a été développée aux Etats-Unis par Boyajian et Camilli. Ensuite, l'auteur propose un couplage avec également une prémagnétisation à triple fréquence, mais appartenant au domaine des transformateurs d'intensité avec autoprémagnétisation.

1. Einleitung

In den letzten Jahren hat in den USA eine sehr bemerkenswerte Entwicklung auf dem Gebiete vormagnetisierter Stromwandler stattgefunden. Eine den verschiedenen in den USA bekannten Arten von sog. «Kunstschaltungen» überlegene Schaltung hat sich bereits praktisch bei der General Electric Company durchgesetzt und hat dem Einleiter-Stromwandler (Bushing Type Current Transformer) zu neuen Erfolgen verholfen.

Die in der Literatur behandelten Schaltungen von vormagnetisierten Stromwandlern werden hier als bekannt vorausgesetzt, bzw. kann der Leser sich über diese Schaltungen aus den im Literaturverzeichnis angegebenen Quellen informieren [1;2] [1]). Das Hauptgewicht wird auf Einleiter-Stromwandler gelegt, weil ihre bekannte Kurzschlußsicherheit diese Wandler zu Wandlern macht, die allen Wicklungswandlern überlegen sind.

Es soll hier zunächst die in den USA von *A. Boyajian* und *G. Camilli* entwickelte Schaltung (orthomagnetic Bushing Current Transformer) besprochen werden. Anschliessend wird eine vom Verfasser in Vorschlag gebrachte Schaltung behandelt, und zum Schluss der Wert der Schaltung nach den in Europa massgebenden Gesichtspunkten abgeschätzt.

2. Orthomagnetic Bushing Current Transformers

A. Boyajian und G. Camilli haben die Voltampèrekurven bei 60 Hz bei einer Überlagerung mit 180-Hz-Wechselstrom eingehend untersucht und dabei ein sehr interessantes Verhalten festgestellt.

[1]) siehe Literatur am Schluss.

Die Stromanteile der 60-Hz-Welle, die von den Hystresisverlusten und der Magnetisierung des Eisens herrühren, können fast gänzlich zum Verschwinden gebracht werden. Im 60-Hz-Strom bleibt der Anteil enthalten, der den Wirbelstromverlusten bei 60 Hz entspricht und der bekanntlich gering ist. Der Strom dreifacher Frequenz übernimmt die ausscheidenden Anteile des 60-Hz-Stromes; die to-

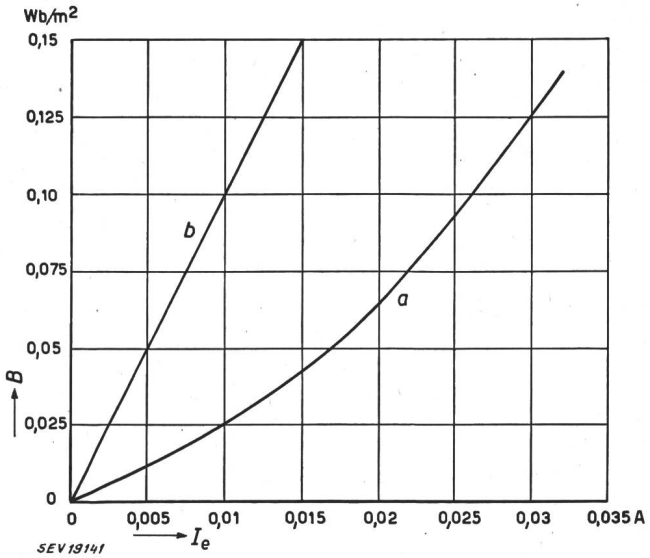

Fig. 1
Magnetisierungskurven
I_e Erregerstrom; B Induktion

talen Eisenverluste werden sogar grösser, sie werden aber von der Stromquelle dreifacher Frequenz gedeckt. Aus diesem Vorgang resultiert eine hohe

Permeabilität für die 60-Hz-Magnetisierung. Aus der interessanten Umwandlung resultiert ferner eine geradlinige Magnetisierungskurve für den 60-Hz-Vorgang. Fig. 1 zeigt das Verhalten, wobei der Verlauf *a* den normalen effektiven Wechselstrommagnetisierungsvorgang $B = f(I_e)$, der Verlauf *b* den Vorgang mit überlagerter 3facher Harmonischer darstellt. Ein Vergleich der Stromwerte bei *b* und *a* in Fig. 1 zeigt, dass man im Falle *b* (Überlagerung) mit einem wesentlich geringeren Bedarf an Strom das Eisen magnetisieren kann.

Von diesem Verhalten haben Boyajian und Camilli Gebrauch gemacht, um eine neue Stromwandlerschaltung zu entwickeln. Diese ist in Fig. 2 dar-

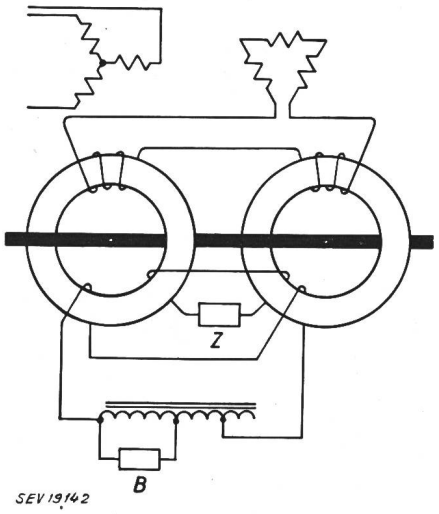

Fig. 2
Mit dreifacher Frequenz vormagnetisierter Stromwandler nach Boyajian und Camilli
Z Impedanz; *B* Bürde

gestellt. Wie ersichtlich, handelt es sich um Fremdvormagnetisierung mit einem Strom 3facher Frequenz. Dieser wird aus der Sekundärwicklung eines primär in Stern geschalteten Drehstromtransformators gewonnen. Die Sekundärwicklung ist in offenem Dreieck geschaltet. Bekanntlich heben sich im Dreieck die Grundharmonischen auf, dagegen summieren sich alle Harmonischen 3facher Frequenz, die zugleich auch die gleiche Phasenlage besitzen. Dass durch eine solche Vormagnetisierung die Fehlergrössen des Stromwandlers wesentlich reduziert werden, ist nach der obigen Darstellung klar. Durch Erhöhung der Sättigung des Kernes des Drehstromtransformators erhöht man die Amplitude der dreifachen Harmonischen in der offenen Dreieckwicklung und dadurch auch die Leistungszufuhr für die Vormagnetisierung mit dreifacher Frequenz. Die Impedanz *Z* in Fig. 2 dient zur Kompensation des allfällig noch vorhandenen Fehlwinkels, während mit Hilfe des kleinen Reguliertransformators, über welchen die Bürde *B* angeschlossen ist, der Stromfehler kompensiert werden kann.

Die Anordnung der zwei Teilkerne und die Schaltung der Wicklung der Teilwandler ist nicht neu. Sie entspricht der Schaltung in den Veröffentlichungen von *Iliovici* [3] und den Versuchsschaltungen der AEG [2] im Jahre 1927. Neu ist die Anwendung einer Stromquelle dreifacher Frequenz. Es sei noch bemerkt, dass die Schaltung auch auf andere als Einleiter-Stromwandler anwendbar ist.

3. Eine Schaltung mit Eigenvormagnetisierung 3facher Frequenz

Jede Fremdvormagnetisierung bedeutet eine unerwünschte Komplikation der Stromwandlerschaltung. Die Entwicklung in Europa ist über die Fremdvormagnetisierung der Compagnie pour la Fabrication des Compteurs hinweggegangen. Den Literaturangaben der General Electric Company ist zu entnehmen, dass die Einrichtung für Fremdvormagnetisierung mit einem Strom dreifacher Frequenz ziemlich platzraubend ist. Alle Regulireinrichtungen beanspruchen eine spezielle Schalttafel, und man muss sich unwillkürlich fragen, ob durch eine solche Komplikation die Sicherheit des Stromwandlerbetriebes und das eindeutige Verhalten der Stromwandlercharakteristiken noch gewährleistet werden. Auch wird der Vorteil des knappen Raumbedarfes, den der Einleiter-Stromwandler mit sich bringt, durch zusätzliche komplizierte Einrichtun-

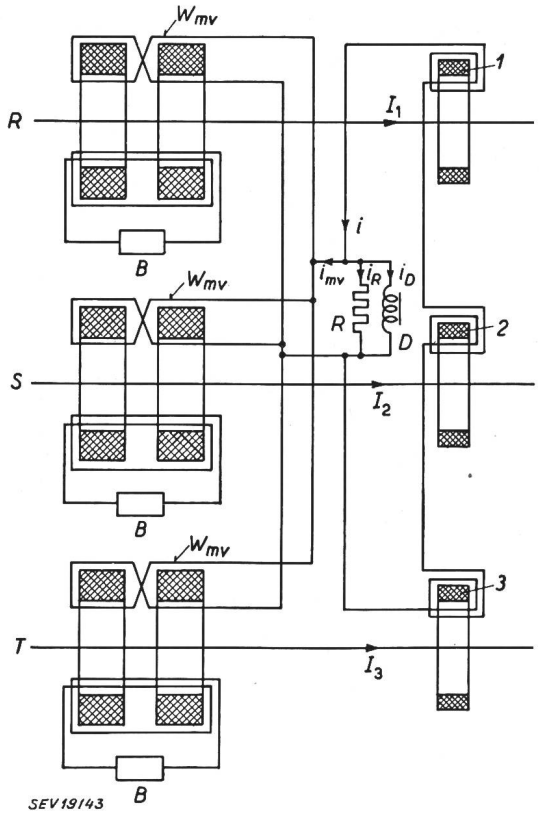

Fig. 3
Schaltung nach Vorschlag des Verfassers
W_{mv} Vormagnetisierungswicklungen; *B* Bürden; *R* Ohmscher Widerstand; *D* Drosselspule; *1, 2, 3* Hilfskerne

gen wesentlich herabgesetzt. Alle diese Momente haben den Verfasser dazu angeregt, eine neuartige Stromwandlerschaltung mit Eigenvormagnetisierung durch den Strom der dreifachen Frequenz zu entwerfen. In Fig. 3 ist eine solche Schaltung dargestellt.

Es wird ein Satz von drei Stromwandlern vorausgesetzt. Dies trifft für Drehstromnetze meistens zu. Fehlt der dritte Stromwandler in der Messgruppe,

so kann ungeachtet dessen, wie wir später sehen werden, eine zweckmässige Anordnung der drei Hilfskerne (*1, 2, 3* in Fig. 3) gefunden werden. Die Vormagnetisierung wird durch Zusammenwirkung dreier Hilfskerne bewirkt, von welchen jeder einer Phase des Drehstromes zugeteilt werden muss. Wir haben es hier mit einer Vormagnetisierung mittels Hilfskernen zu tun. Diese Art der Vormagnetisierung gehört, sofern ihr Vorhandensein an den Strom des oder der Stromwandler, die vormagnetisiert werden müssen, gebunden ist, zur Kategorie der «Eigenvormagnetisierung». Die drei oben erwähnten Hilfskerne werden so ausgelegt, dass sie schon bei geringen Strömen im Sättigungsgebiet des Eisens arbeiten müssen. Die Sekundärwicklungen der Hilfskerne werden im offenen Dreieck geschaltet. An den Klemmen dieser offenen Dreieckwicklung kommt eine Spannungskurve 3facher Frequenz zustande, also von 150 Hz bei 50-Hz-Wechselstrom. Diese Spannung dient zur Speisung der Hilfswicklungen der drei oder zwei (in Ausnahmefällen auch eines einzigen) Stromwandler, die vormagnetisiert werden sollen. Für die eigentliche Vormagnetisierung ist die bekannte Schaltung der gesteuerten Eigenvormagnetisierung [2]) vorgesehen. Parallel zu den drei bzw. zwei in Kreuzschaltung geschalteten Hilfswicklungen der vorzumagnetisierenden Stromwandler ist eine Kombination von Drosselspule und Ohmschem Widerstand geschaltet. Die Drosselspule hat den Zweck, den Strom i_{mv}, der für die Vormagnetisierung benötigt wird, möglichst konstant zu halten. Dies kann durch eine zweckmässige Auslegung der Drosselspule erreicht werden. Wie bei der gesteuerten Eigenvormagnetisierung mit 50 Hz muss es auch hier gelingen, die Drosselspule durch eintretende Sättigung ihres Eisenkerns den grössten Anteil des Gesamtstromes, der aus der offenen Dreieckwicklung fliesst, aufnehmen zu lassen.

Bezeichnet man mit

i den Gesamtstrom durch die Dreieckwicklung,
i_R den Strom durch den Ohmschen Widerstand,
i_{mv} den Summenstrom für die Vormagnetisierung,

so gilt offensichtlich die Beziehung

$$i = i_{mv} + i_R + i_D$$

oder vektoriell

$$\overline{I} = \overline{I}_{mv} + \overline{I}_R + \overline{I}_D$$

Aus den Veröffentlichungen der General Electric Company kann geschlossen werden, wie dies auch aus theoretischen Überlegungen gefolgert werden kann, dass bei der Vormagnetisierung mit der dreifachen Frequenz der Phasenlage zwischen diesem Vormagnetisierungsstrom und dem eigentlichen Magnetisierungsstrom keine merkliche Rolle zukommt. Der Ohmsche Widerstand R kann demnach so bemessen werden, dass er etwa 20 % des Gesamtstromes I aufnimmt.

Bezeichnet man mit

B_{res} die resultierende Induktion,
B die Induktion des 50-Hz-Vorganges,
B_3 die Induktion des 150-Hz-Vorganges,

so gilt nach der bekannten Zusammensetzung der Harmonischen eines nach verzerrtem Kurvenlauf verlaufenden Vorganges die Bezeichnung

$$B_{res} = \sqrt{B^2 + B_3^2}$$

Es sei noch bemerkt, dass B_3 nur ca. 30 % von B sein muss. Dies hat zur Folge, dass B_{res} nur wenig grösser als B ist.

Kehren wir zur Frage der 3 Kerne, die für eine Vormagnetisierung mit einem Strom dreifacher Frequenz notwendig sind, zurück. Bekanntlich hat jeder wichtige Netzzweig neben Stromwandlern für Messzwecke auch solche für den Anschluss von Relais. Oft sind die Relaiskerne auf den gleichen Durchführungen angeordnet, die die Messkerne aufzunehmen haben. Es dürfte bei der heute entwickelten Schutztechnik der Netze kaum ein Mangel an Durchführungen vorhanden sein, welche zur Aufnahme der Kerne für Vormagnetisierung mit dreifacher Frequenz vorgesehen werden könnten.

4. Allgemeine Schlussbemerkungen

Die neue Schaltung findet in den USA Verwendung bis zu höchsten Netzspannungen 138 kV, 161 kV, bzw. 230 kV und umfasst alle Nennstromstärken von 100/5 A und aufwärts. Die Leistung kann bis 30 VA gesteigert werden. Dabei kann eine Messgenauigkeit, die derjenigen unserer Klasse 0,5 entspricht, erreicht werden.

Nach der Auffassung von G. Camilli [1], die im Schlussteil seiner interessanten Arbeit ausgesprochen wird, werden durch die neuen Einleiterstromwandler alle Wicklungsstromwandler für die obigen Nennstromstärken ersetzt werden können. Die Wicklungsstromwandler sind im Vergleich mit den neuen Einleiterstromwandlern unwirtschaftlich. Es mag zutreffen, dass in den USA aus verschiedenen Gründen, die hier nicht näher erörtert werden sollen, diese summarischen Feststellungen berechtigt sind. In Europa ist die Tendenz zu Gunsten des Einleiterstromwandlers nicht immer so einheitlich und dominierend gewesen. Die Aufmerksamkeit auf diese Wandler wurde vom Verfasser im Laufe seiner langjährigen Tätigkeit immer mit Nachdruck gefördert, und es hat sich bestätigt, dass ein grosser Teil der Stromwandlerkonstruktionen mit Hilfe der eigenvormagnetisierten Stromwandler bestritten werden kann. Eines steht fest: Seit Jahrzehnten kreisen die Gedanken der Forscher auf dem Stromwandlergebiet um das Problem des leistungsfähigen Einleiterstromwandlers. Dies wird besonders lehrreich durch die Arbeit von Camilli bestätigt. Wir täten gut, dies auch in der Schweiz nicht unberücksichtigt zu lassen.

Literatur

[1] *Camilli, G.:* A Survey of Bushing-Type Current Transformers for Metering Purposes. Trans". Amer. Inst. Electr. Engr". Bd. 69(1950), Nr. 1, S. 429...440.

[2] *Goldstein, I.:* Messwandler, ihre Theorie und Praxis. 2. verbesserte und erweiterte Aufl. erscheint demnächst im Birkhäuser-Verlag, Basel. (Kap. A/I/13).

[3] *Iliovici, A.:* Transformateurs d'intensité compoundés. Bull. Soc. franç. Electr". 4. Serie, Bd. 3(1923), Nr. 22, S. 55...70.

[2]) s. Bull. SEV Bd. 28(1937), Nr. 16, S. 366...369 und Bd. 36 (1945), Nr. 8, S. 245...251.

[4] *Stein, G.*: Über die Bestimmung der magnetischen Eigenschaften des Eisens bei Wechselstromvormagnetisierung und ihre Bedeutung für die Entwicklung der Stromwandlertechnik. Z. techn. Physik Bd. 14(1933), S. 495.
[5] *Risch, R.*: Zur Theorie der Wechselstrom-Vormagnetisierung ferromagnetischer Kerne. Brown Boveri Mitt". Bd. 33 (1946), Nr. 6/7, S. 129...133.
[6] *Farr, J. W.*: A New Line of Orthomagnetic Bushing-Type Current Transformers. Trans". Amer. Inst. Electr. Engr". Bd. 69(1950), Nr. 1, S. 424...428.

Adresse des Autors:
Dr. *I. Goldstein*, Beratender Ing., Merkurstr. 24, Zürich 7/32.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

380-kV-Transformatoren im Kraftwerk Harsprånget

621.314.21.027.7(485)

[Nach: 380 kV Transformer for the Harsprånget Power Station. ASEA-Journal Bd. 25(1952), Nr. 1—2, S. 22.]

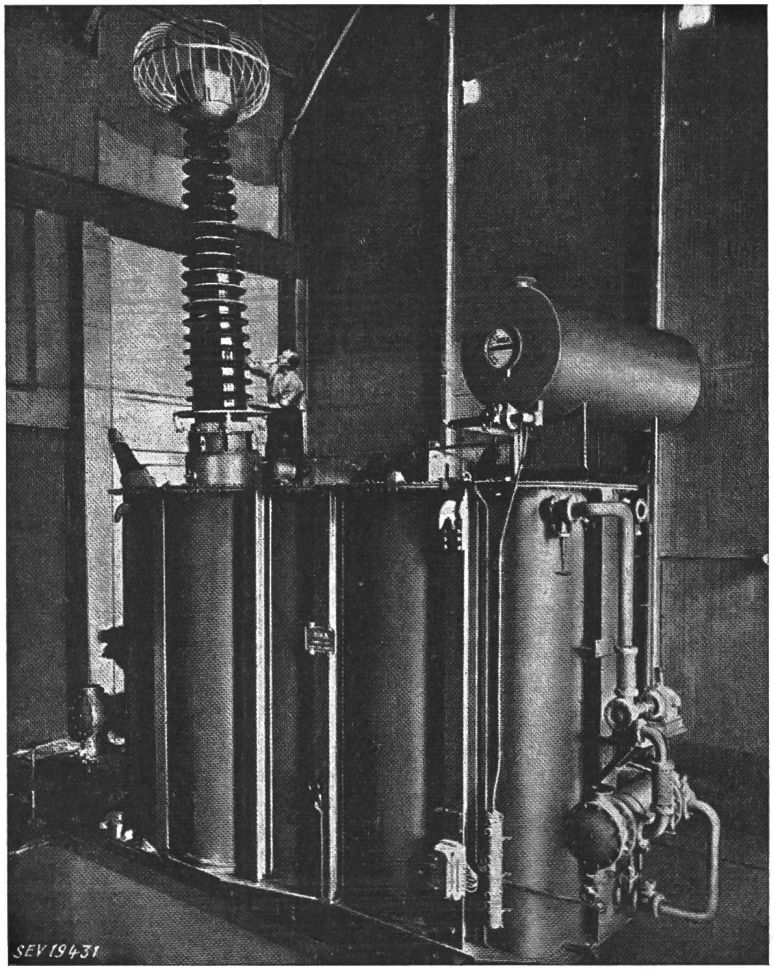

Fig. 1
380-kV-Transformator
im Kraftwerk Harsprånget

Die im Kraftwerk Harsprånget in Schweden [1]) erzeugte Energie wird durch eine 380-kV-Freileitung den Unterwerken zugeführt. Die Transformation der Generatorenspannung auf 380 kV besorgen drei Einphasen-Transformatoren. Diese wurden als Manteltransformatoren für eine Spannung von $16/\frac{370}{\sqrt{3}}$ kV, 50 Hz, und eine Leistung von 115 MVA gebaut. Zur Kühlung werden wassergekühlte Ölkühler verwendet.

Jeder Maschinengruppe ist ein Einphasentransformator zugeteilt; die drei Transformatoren in Stern-Dreieckschaltung speisen die Freileitung. Der Nulleiter ist über einen Reguliertransformator, welcher eine Spannungsregulierung von $\pm \frac{30}{\sqrt{3}}$ kV ermöglicht, geerdet.

[1]) siehe Bull. SEV Bd. 42(1951), Nr. 2, S. 66...67.

Die Transformatoren wurden mit einer Stoßspannung von 1775 kV (Welle 1|50) geprüft. Das Gewicht eines Transformators beträgt rund 192 t, wovon 130 t auf die Wicklungen, auf den Deckel und die Durchführungen, 25 t auf das Gehäuse samt Kühler und 37 t auf das Öl entfallen.

E. Schiessl

Leitungsbau mit Helikopter

621.315.17:629.135.4

[Nach: Line Erection by Helicopter. Electr. Rev. Bd. 150(1952), Nr. 3869, S. 123...125.]

Um im dicht bewaldeten Eastnor Tal, der Malvern Hügelregion im englischen Mittelland, für den Bau einer 66-kV-Drehstromleitung die Fällung vieler Bäume zu vermeiden, hat der Midland Electricity Board mit Erfolg einen Helikopter für das Ausziehen der Leiter benützt. Dieser, in England zum erstenmal unternommene Versuch der Verwendung eines Helikopters im Leitungsbau, begegnete dem lebhaften Interesse weiter Kreise.

Trotz ungünstiger Witterungsverhältnisse — Windgeschwindigkeiten von 24...32 km/h und drohendem Regen — war dem Vorhaben voller Erfolg beschieden. Die Kosten dieser erstmaligen Verwendung eines Helikopters kamen allerdings höher zu stehen als die des üblichen Montageverfahrens gewesen wären; die gewonnene Erfahrung aber genügt, um zu zeigen, dass der Helikopter auch kostenanteilmässig mit dem üblichen Montageverfahren konkurrieren kann und in gewissen Fällen diesem überlegen sein dürfte.

Die Leitung wurde vom Midland Electricity Board in eigener Regie gebaut. Ausser dem Helikopter wurde an fremdem Bauinventar nur noch eine fahrbare Seilzugwinde mit Ballonkabel aus liquidiertem Armeebestand, die ein beträchtlich rascheres Ausziehen der Leiter ermöglichte, verwendet. Die drei Aluminiumstahlseile von je 65 mm² Querschnitt mussten über zwei je 15 m hohe «H»-förmige Holzmasten mit einer Spannweite von rd. 400 m ausgelegt werden. Die Masten waren so hoch, dass die Leitung in gespanntem Zustand über dem dichten Wald lag und so keine Schneise für die Leitung geschnitten werden musste.

Ein leichter Ausleger für die Aufnahme einer Seiltrommel wurde an einer Seite des Helikopters angebracht. Der Mitpilot des Helikopters steuerte mit einer Bremse die Seiltrommel und konnte, im Notfall, durch Herausziehen eines Stiftes, diese lösen und abwerfen. Zuerst wurde mit dem zirka 6 m über den Masten wegziehenden Helikopter und bei einer Geschwindigkeit von etwa 8 km/h, ein starkes, an einem Ende mit einem Erdsack beschwertes Zugseil über die Mitte der Querbalken der zwei, beidseits der Schlucht errichteten Masten ausgelegt. Mit Hilfe dieses Zugseils konnte das Ballonkabel in 18 min über die Schlucht gezogen werden. Am Ballonkabel wurden dann, mittels einer Spezialklemmvorrichtung, die eine Verdrehung ausschloss, zwei der 65-mm²-Aluminiumstahlseile eingespannt, angehängt und in 20 min ausgelegt.

Die vorhandenen Einrichtungen erlaubten nicht die gleichzeitige Auslegung aller drei Kabel. Obwohl indessen für