

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 25 (1934)
Heft: 13

Artikel: Das Verhalten eines 150 kV-Kabelendverschlusses bei Stossspannung
Autor: Schneeberger, P.E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060158>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 25.05.2025

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

Beide Prinzipien — der über die Hilfsleitung fließende Arbeitsstrom sperrt das Schnellschalten (Sperrsystem) (Fig. 2) oder der über die Hilfsleitung fließende Arbeitsstrom gibt das Schnellschalten frei (Freigabesystem) (Fig. 3) — haben ihre

Vorzüge und Nachteile. Je nach den Bedürfnissen des Netzes und der Gefährdung des Hilfskanals wird man das eine oder andere, das Sperrsystem oder das Freigabesystem, wählen.

(Fortsetzung folgt.)

Das Verhalten eines 150 kV-Kabelendverschlusses bei Stoßspannung.

Von P. E. Schneeberger, Brugg.

621.315.687.0014

Die Erfolge mit ölgefüllten Kabeln, deren hauptsächlichste Entwicklung der Gesellschaft Pirelli und deren Chefingenieur L. Emanuelli zu verdanken sind, haben die Kabelwerke Brugg A.-G. bewogen, die entsprechenden Lizenzen und bewährten Fabrikationseinrichtungen zu erwerben. In Verbindung mit eigenen Erfahrungen und Studien wird es möglich sein, in nächster Zeit die schweizerischen Interessenten mit betriebs sichereren Höchstspannungskabeln zu bedienen. Besondere Schwierigkeiten beim Bau solcher Kabelanlagen bieten die Endverschlüsse, da sie im Betrieb sehr hohen elektrischen Beanspruchungen unterworfen sind. Sie wurden daher sehr eingehend untersucht. Im folgenden Aufsatz werden Versuche mit einem Stossgenerator an einem 150 kV-Endverschluss beschrieben.

Les succès que remportent les câbles à remplissage d'huile, dont le développement est dû en grande partie à la Société Pirelli et à son ingénieur en chef M. L. Emanuelli, ont incité les Câbleries de Brugg S.A. à se procurer les licences et installations de fabrication nécessaires. Grâce à ses propres expériences et études, cette maison sera sous peu à même de fournir aux intéressés suisses des câbles à très haute tension offrant toute sécurité désirable en service. Une des principales difficultés que l'on rencontre lors du montage de telles installations de câbles réside dans les contraintes électriques extrêmes auxquelles sont exposées les boîtes d'extrémité. C'est pourquoi on a voué à ces dernières une attention toute particulière. L'article ci-dessous contient une description d'essais effectués avec un générateur de chocs sur une de ces boîtes d'extrémité pour 150 kV.

Oelkabelanlagen eignen sich speziell für Spannungen über 70 kV; nur bei besonderen Verhältnissen können sie auch für niedrigere Spannungen in Betracht kommen. In der Schweiz dürfen 150 kV-Oelkabel in erster Linie bei Einführungen in Kraftwerke und Unterwerke, ferner bei Unterführungen usw. verwendet werden. Am Ende einer Leitung eingebaut, dient eine entsprechend bemessene Höchstspannungs-Kabelanlage auch als bewährter Ueberspannungsschutz, sowohl gegenüber Wanderwellen als auch anderen hochfrequenten Ueberspannungen. Der exponierteste Teil einer solchen 150 kV-Kabelanlage ist der Kabelendver-

papier versehen. Der Lieferant der Porzellankörper, der Hermsdorf-Schomburg-Isolatoren-Gesellschaft (Hescho), Werk Hermsdorf, waren folgende Vorschriften gestellt worden:

Ueberschlagsspannung bei sinusförmigem Wechselstrom von 50 Per./s und Beregnung mit Wasser von $100 \mu\text{S cm}^{-1}$ Leitfähigkeit nach VDE 385 kV.

Stossüberschlagsspannung bei positiver Polarität bei einer Halbwertsdauer des Rückens von $H = 50 \mu\text{s}$ ca. $900 \text{ kV}_{\text{max}}$.

Alle Werte gelten bei betriebsmässiger Ausrüstung des Porzellankörpers, also mit eingebautem Kabel oder entsprechender Anordnung. Um die Untersuchung ohne Verwendung eines Kabelstückes zu ermöglichen, wurden zwei Porzellanüberwürfe, unter Zwischenschaltung eines Flansches und eines bewickelten Durchführungsbolzens, zusammengebaut. Die Anordnung glich dann in ihrem Aufbau vollkommen einer normalen Betriebsanordnung zweier Kabelendverschlüsse ohne dazwischenliegenden Kabelstück. Der Durchführungsbolzen entsprach dabei der Kabelseele. Der Bolzen besass einen Durchmesser von 18 mm. Er war mit einer Hartpapierumwicklung versehen, die an der Flanschstelle einen Durchmesser von 140 mm aufwies. Der Papierwickel wurde nach beiden Seiten hin konisch verjüngt. An der Flanschstelle war direkt auf dem Papier eine zylindrische Kupferelektrode aufgebracht, deren Ränder durch Ringwulste abgerundet waren. Der Hohlraum zwischen dem Winkel und den Porzellanüberwürfen wurde mit Transformatoröl gefüllt. Im übrigen waren, um zu starkem Sprühen an den Armaturen zu vermeiden, am Flansch sowie an den beiden Kopfenden Strahlungshauben angebracht.

Die Stossversuche wurden mit einem Stossgenerator ausgeführt, dessen Schaltung in Fig. 2 skizziert ist. Die Einzelkapazitäten des Generators betragen $C = 9000 \text{ cm}$ und die wirksame Kapazität 750 cm .

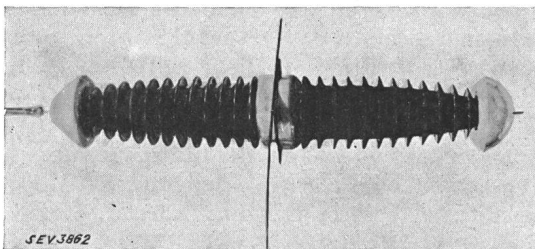


Fig. 1.

schluss, da die auflaufenden Ueberspannungen ihn zuerst und in der vollen Höhe treffen. Seiner Durchbildung und Untersuchung wurde daher besondere Sorgfalt gewidmet.

Hauptteil eines Höchstspannungsendverschlusses ist der Porzellankörper, der mit dem Kabel durch die Metallarmaturen verbunden ist (Fig. 1). Starke Glimmschutzhauben verhindern aussen Sprüherscheinungen und verbessern das elektrische Feld. Um Gleitfunkenbildung, welche durch starke Rand- und Oberflächenfelder auftreten könnte, im Innern nach Möglichkeit zu verhindern, wird das Kabelende mit einer speziellen Bewicklung aus Isolier-

Die Aufladung geschah über Flüssigkeitswiderstände, ebenso die Entladung. Der Entladewiderstand betrug $R_E = 90\,000\ \Omega$, so dass sich ein Stossrücken ergab, dessen Zeitkonstante etwa $70\ \mu s$

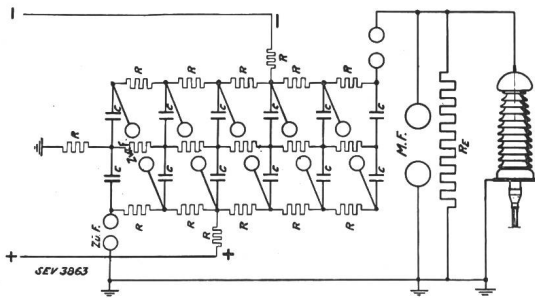


Fig. 2.

betrug. Ausserdem war zur Vermeidung von Schwingungen ein Dämpfungswiderstand $R_d = 2000\ \Omega$ (Fig. 3) eingeschaltet. Die Messung der Spannung geschah mit Hilfe einer Kugelfunkenstrecke mit $75\ \text{cm}$ Kugeldurchmesser. Die Kurvenform wurde mit einem Kathodenstrahloszillographen aufgezeichnet. Die Ankopplung des Oszillographen geschah nach Fig. 3. Der Entladewiderstand des Stossgenerators wurde zugleich als Spannungsteiler für den Oszillographen verwendet. Die am Spannungsteiler abgegriffene niedrige Span-

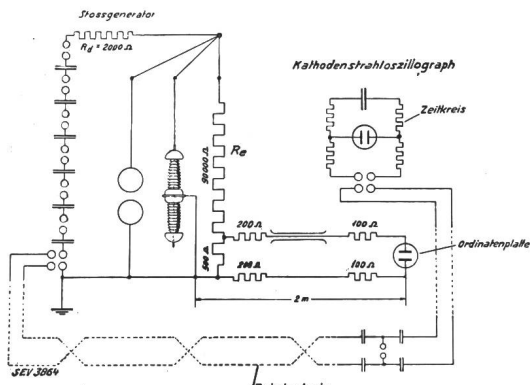


Fig. 3.

nung wurde in einer kurzen Leitung, in die Dämpfungswiderstände eingeschaltet waren, an die Ordinatenplatten des Oszillographen geführt.

Versuchsergebnisse.

Zur Orientierung wurden vor den Stossversuchen am Doppel-Kabelendverschluss Ueberschlagsversuche am Porzellankörper allein, also in Stützeranordnung, vorgenommen. Die Strahlungshauben waren wie beim Kabelendverschluss angebracht. In dieser Anordnung wurden nun sowohl die Trockenals auch die Regen-Ueberschlagsspannung bestimmt. Die Regenmenge betrug $3\ \text{mm/min}$, die Leitfähigkeit des Wassers $500\ \mu S\ \text{cm}^{-1}$. Es handelt sich also um ein stark leitendes Wasser, das praktisch nicht vorkommt. Die vorgenommene Berechnung entsprach einer bereits stark verschmutzten Porzellanoberfläche. Die erhaltenen Werte waren folgende:

- a) *Trockenüberschlag.*
 - positiver Stoss 700 kV_{max}
 - negativer Stoss 1125 kV_{max}
- b) *Regenüberschlag.*
 - positiver Stoss 725 kV_{max}
 - negativer Stoss 890 kV_{max}

Nach diesen Vorversuchen wurden die Stossmessungen am Doppel-Kabelendverschluss ausgeführt.

Zunächst wurde geprüft, wie sich die vom Stoss-generator erzeugte Spannung durch das Anschalten des betriebsfertig montierten Endverschlusses, dessen Kapazität $100\ \text{cm}$ betrug, verändere. Die Zündfunkenstrecke und die Zwischenfunkenstrecken der Stossanlage wurden auf einen bestimmten Wert eingestellt und dann die Spannung einmal bei geschlossenem Stützer und darauffolgend bei geschlossenem Endverschluss gemessen. Man konstatierte beim Stützer z. B. $450\ \text{kV}_{\text{max}}$, beim Endverschluss nur $405\ \text{kV}_{\text{max}}$. Der Anschluss der relativ grossen Kapazität von $100\ \text{cm}$ bewirkte also einen Spannungsrückgang von ca. $10\ \%$.

Nach den Vorversuchen wurde die Spannung erhöht, und zwar bei einer Anfangsspannung von $200\ \text{kV}_{\text{max}}$ positiv

- das erste Mal bis + 670 kV_{max}
- das zweite Mal bis + 980 kV_{max}
- das dritte Mal bis + 900 kV_{max}

Diese Spannungsbeanspruchungen führten noch zu keinem Ueberschlag am Kabelendverschluss.

Bei den Versuchen fiel auf, dass mit der beschriebenen Stossanlage, die speziell der Isolatorenpfprüfung dient, nicht der Spannungswert erreicht wurde, der zu erwarten war. Der Grund dürfte darin liegen, dass die mit Niederspannung und bei $50\ \text{Per./s}$ gemessene Kapazität des Endverschlusses von $100\ \text{cm}$ nicht mit der Kapazität bei Stossbeanspruchung identisch ist. Nach der Demontage des Prüflings waren am Papierwickel Spuren von Gleitfunken zu konstatieren. Diese Entladungen haben vielleicht die Kapazität des Endverschlusses so vergrössern können, dass sie gegenüber der relativ kleinen Kapazität von $750\ \text{cm}$ des Stossgenerators schon eine wesentliche Belastung bedeuteten. Mit Stossgeneratoren grösserer Leistung wäre dies nicht der Fall gewesen¹⁾.

Ein weiterer Grund, der die volle Ausnutzung der Stossanlage nicht erlaubte, war die Wahl des Dämpfungswiderstandes. Dieser wurde, um jegliche Schwingungserscheinungen zu vermeiden, etwas gross gewählt. Infolge des grossen Dämpfungswiderstandes und der hohen Gleitfunkenströme entstand ein zusätzlicher Spannungsabfall, der eine volle Ausnutzung der Stossanlage verunmöglichte.

Mit einem Kathodenstrahloszillographen wurden die Vorgänge während der Stossversuche beobachtet. Nachstehend sind einige prinzipielle Aufnahmen wiedergegeben und erörtert.

¹⁾ Vergl. Bull. SEV 1933, Nr. 15, «Ein Kabel-Stoss-generator für grosse Leistung und 1 Million Volt Stoßspannung», von K. Berger und E. Schneeberger.

1. Oszillogramm Fig. 4 und Fig. 5. Diese Aufnahme zeigt die Stosskurve bei 500 kV und positiver Polarität. Die Stosswelle ist ohne jegliche überlagerte Schwingung. Die Stossrückenkonstante ergibt sich rechnerisch aus der wirksamen Kapazität

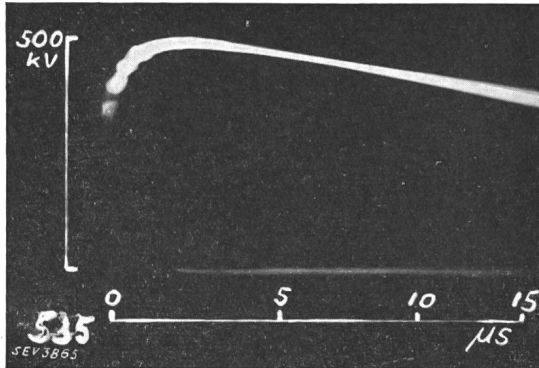


Fig. 4.

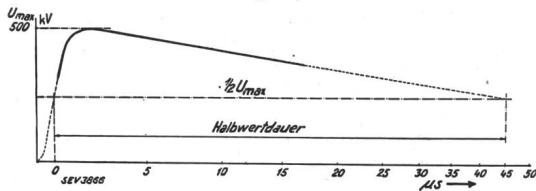


Fig. 5.

und dem Entladewiderstand, ohne Berücksichtigung der Induktivität des Stosskreises und der Kapazität des Prüfobjektes, zu $750 \cdot 1,1 \cdot 10^{-6} \cdot 90\,000 = 74,3 \mu s$. Die Halbwertsdauer beträgt, unter der Annahme, dass der Rücken einem reinen Exponentialgesetz entsprechend verläuft, $0,7 \cdot 74,3 \mu s = 52 \mu s$. Bekanntlich gilt bei der Exponentialkurve die Beziehung, dass der Ordinatenweg nach $0,7 T$

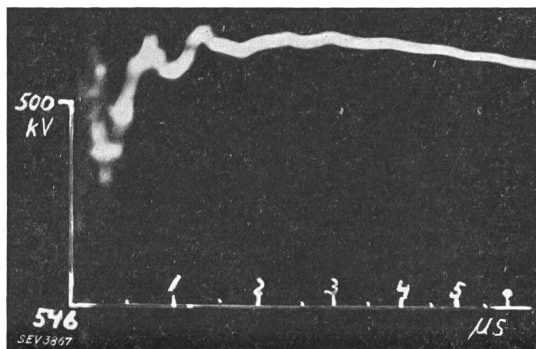


Fig. 6.

auf die Hälfte gesunken ist. Aus dem Oszillogramm Fig. 4 wird ein um ca. 15% niedrigerer Wert der Halbwertsdauer ermittelt, der auf ein teilweises Zusammenbrechen des Widerstandes bei Stossbeanspruchung hinweist.

2. Oszillogramm Fig. 6. Dieses Oszillogramm gibt die Kurvenform ohne Ueberschlag und ohne Dämpfungswiderstand. Es haben sich äusserst ausgeprägte, dem Stoss überlagerte Schwingungen ausgebildet.

3. Oszillogramme Fig. 7 und Fig. 8. Diese Oszillogramme stellen Trockenüberschläge bei der Stützeranordnung dar, und zwar Fig. 7 bei positivem Stoss, Fig. 8 bei negativem Stoss. Beim positiven Stoss fällt auf, dass der Uebergang aus dem

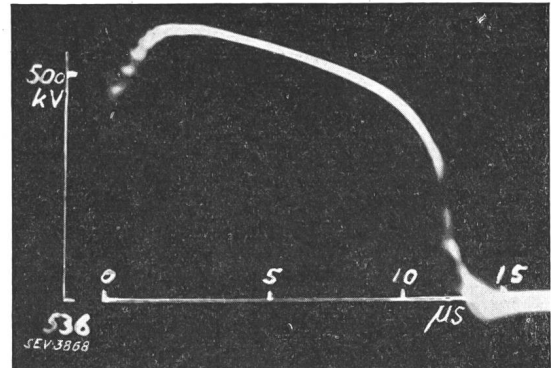


Fig. 7.

Stossrücken in den Kurventeil, der dem Zusammenbruch beim Ueberschlag entspricht, ziemlich stetig, ohne ausgesprochenen Knick in der Kurve übergeht. Dies ist mit aller Wahrscheinlichkeit darauf zurückzuführen, dass bei positiver Stoss polarität sich vor dem Ueberschlag eine kräftige Stosskorona mit grossem Energieverbrauch ausbildet, die ein Absinken des Stossrückens zur Folge hat. Bei negativer Stoss polarität ist der Uebergang vom Stossrücken in den dem Durchbruch entsprechenden Kurventeil weniger stetig, da bei negativer Polarität die Stosskorona weniger ausgeprägt ist.

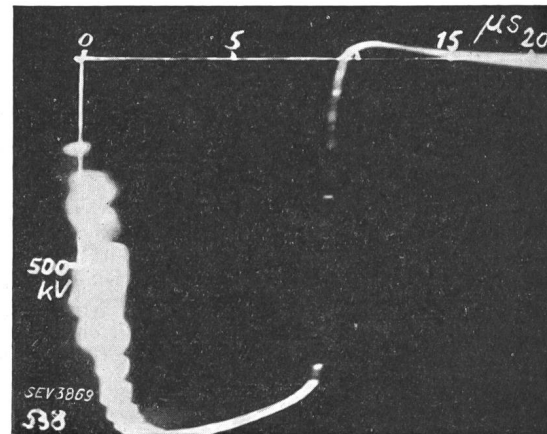


Fig. 8.

Der Vollständigkeit halber seien auch die Resultate der Untersuchungen am Endverschluss mit effektivem Wechselstrom von 50 Per./s nachstehend noch angeführt. Die Ueberschlagsspannung wurde bei Regen nach VDE-Vorschrift bestimmt. Die Spannungsmessung geschah mit einer 50 cm-Kugelfunkenstrecke und entsprechender Kontrolle auf der Niederspannungsseite des Hochspannungstransformators. Die Prüfung ergab eine Regenüberschlagsspannung von $425 kV_{eff}$. Die Erkenntnis,

dass Störungen an Höchstspannungsanlagen fast allgemein durch kurzzeitige Spannungsstöße, hervorgerufen durch Blitzschläge, Schaltvorgänge usw., entstehen, bedingt die Untersuchung des entsprechenden Materials mit Stoßspannung.

Bei der Durchführung dieser Untersuchungen ist auch die Form der Stoßspannung von wesentlichem Einfluss. Je kürzer die Beanspruchungszeit eines Stosses ist, desto höher ist die Ueberschlagsspannung eines Prüfobjektes. Deshalb ist die Bestimmung der Halbwertsdauer (Fig. 5) von Wichtigkeit. Von grosser Bedeutung ist auch die Polarität des

Stosses. Wie aus den Versuchsergebnissen ersichtlich ist, erfolgt der positive Ueberschlag stets früher, was, wie bereits erwähnt, im Zusammenhang mit der stark ausgebildeten Stoskorona stehen dürfte.

Abschliessend darf gesagt werden, dass die Stossspannungsprüfung des Höchstspannungsmaterials bei richtiger Dimensionierung von Stossenergie und Spannungsform und in Verbindung mit dem Kathodenstrahlzillographen eine wertvolle Ergänzung der bisherigen Untersuchungen darstellt und für die Sicherheit wichtiger Uebertragungsanlagen eine weitere Garantie bieten kann.

Zentralsteuerung von Tarifschaltern in Verteilnetzen.

System Heusser-Novitas.

621.398.2 : 621.317.8

Unter «Tarifschalter» werden Schaltgeräte verstanden, welche zur Durchführung der tariflichen Massnahmen für die Energieabgabe dienen. Dazu gehören sowohl Schaltgeräte für Zähler zur tarifgerechten Energiemessung, als auch solche zur tarifgerechten Energieentnahme aus dem Netz. Bisher wurden solche «Tarifschalter» meistens durch Schaltuhren oder Zeitschalter individuell gesteuert, die am Ort der Energieentnahme eingebaut wurden. Die Zahl solcher Schaltuhren ist in ausgedehnten Verteilnetzen beträchtlich; ihre betriebsmässige Ueberwachung, auch wenn sie sich auf den Gang der Uhr beschränkt, bedingt namhafte finanzielle Lasten. Die grosse Zahl der individuell durch Uhren gesteuerten Zeitschalter macht solche Systeme starr und für vorübergehende Aenderung der Tarifmassnahmen ungeeignet.

Für die zentrale Steuerung von Tarifschaltern sind hauptsächlich zwei sich grundsätzlich unterscheidende Systeme in den Vordergrund getreten:

1. Die Steuerung mit sogenannten Synchronuhren, d. h. durch kleinste Synchronmotoren, deren Gang zeitlich durch die Regulierung der Netzfrequenz überwacht wird.
2. Die Steuerung mit dem Netzstrom überlagerter oder in einem besondern Schaltdraht geführter Fremdstromimpulse, durch welche die Tarifschalter von zentraler Stelle aus zeitgerecht von Hand oder durch Schaltuhr gesteuert werden.

Beide Systeme haben Vor- und Nachteile, welche für jedes typisch sind. — Beim *ersten System* können die Synchronuhren ohne jegliche Sondermassnahme an zwei beliebige Netzleiter angeschlossen werden. Jede Korrektur der Ganggeschwindigkeit der Synchronuhren wirkt sich einheitlich im ganzen Netz aus.

Beim Ausbleiben der Spannung in einem Netzteil stehen die dort angeschlossenen Synchronuhren still, die verlorene Zeit lässt sich von zentraler Stelle aus nicht korrigieren, weil die Korrektur sich auf alle, auch die nicht zurückgebliebenen Synchronuhren übertragen würde.

Beim *zweiten System*, der Fernsteuerung der Tarifschalter mit Fremdstrom, lassen sich alle Tarifschalter, unabhängig von ihrer vorherigen Stellung, einheitlich in eine Grundstellung überführen. Selbst bei Verwendung des Netzstromes zur Betätigung der Tarifschalter können durch Netzunterbrüche hervorgerufene Fehlstellungen laufend immer wieder korrigiert werden.

Die Verwendung der Netzleiter zur Leitung der Fremdstromimpulse ist von bestimmten Betriebszuständen abhängig. Die Erdung eines Systemleiters (z. B. des Nulleiters) und die Frequenzempfindlichkeit der angeschlossenen Netzbelastung können die alleinige Verwendung der Netzleiter wirtschaftlich verunmöglichen und das Nachziehen eines Schaltdrahtes bedingen.

Die im nachfolgenden beschriebene *Zentralsteuerung, System Heusser-Novitas*, ersetzt die individuellen Zeitschal-

ter durch ferngesteuerte Tarifschalter, deren Betätigung von einer zentralen Stelle aus zeitgerecht eingeleitet und überwacht wird, gemäss dem zweiten der vorhin erwähnten Systeme.

Zur Steuerung der Tarifschalter im Netz werden Gleichstrom-Impulse verschiedener Polarität und Dauer verwendet. Für die Wahl dieser Stromart zur Impulsgebung waren u. a. folgende Ueberlegungen begleitend:

Der Grossteil aller Tarifschalter ist mit den Niederspannungsverteilsystemen verbunden. Die neuere Entwicklung dieser Netze tendiert zur Normalisierung des Drehstrom-Vierleiter-Systems mit direkt geerdetem Nulleiter. Die Netzbelastung besteht zu gewissen Tageszeiten hauptsächlich aus rein Ohmscher Beleuchtungs- und Wärmelast, zu andern Tageszeiten mag die reaktive (Motoren-) Belastung vorwiegen, die jedoch bereits in vielen Netzen kapazitiv kompensiert wurde zur Reduktion des Blindstromes. Es ergibt sich daraus, dass in geerdeten Netzen bei Verwendung zweier beliebiger Netzleiter zur Ueberlagerung des Impulsfremdstromes die Nutzlast zwischen diesen Leitern für die Impulsstromquelle eine Nebenlast darstellt, die für die Impulsgebung zu ganz unwirtschaftlichen Verhältnissen führt, gleichgültig, ob Gleichstrom oder Wechselstrom höherer Frequenz als Fremdstrom in Betracht gezogen wird. Das bedingt in den weitaus meisten Fällen wirtschaftlich die Verlegung eines besondern Schaltdrahtes.

Unter diesen Umständen hat, in geerdeten Netzen, Gleichstrom für die Impulsgebung beträchtliche technische und

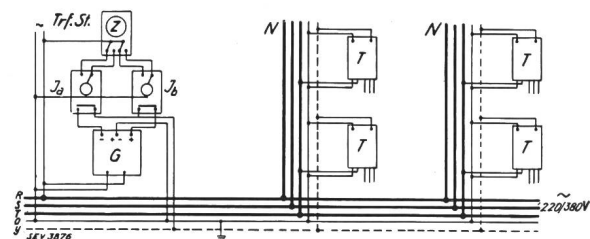


Fig. 1.

Schema einer Fernsteuerung von Tarifschaltern in Niederspannungsnetzen mit Schaltuhr in der Transformatorstation.

wirtschaftliche Vorteile vor Tonfrequenz-Wechselstrom, während in ungeerdeten Netzen zwischen beiden Stromarten ungefähr Parität vorhanden ist.

Fig. 1 stellt schematisch einen für zentralisierte Tarifsteuerung eingerichteten unabhängigen Netzbezirk (Transformatorstation) dar, bei welchem der Zeitschalter in der Transformatorstation die unabhängige Kommando- und Steuerstelle für die Steuerung aller Tarifschalter des Netzbezirkes ist. Es bedeuten: