

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 41 (1950)
Heft: 25

Artikel: Tonfrequenz-Netzkommandoanlagen in den USA
Autor: Minder, P.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1058950>

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>

Durch die Ausschaltung des Einflusses von Wind- und Temperatureinwirkungen hoffen wir Resultate zu erzielen, die eine viel geringere Streuung aufweisen als bisher. Ferner werden die Abmessungen des neuen Kanals erlauben, Eichungen mit Instrumenten auszuführen, welche an starken Stangen oder sonstwie in abnormaler Weise befestigt sind.

Es können alsdann der Einfluss der Wand- und Sohlennähe untersucht werden. Die gleichzeitige Schleppung von bis zu 6 Flügeln an normalen Stangen wird eine beschleunigte und billigere Tarierung erlauben.

Adresse des Autors:

H. Bircher, Dipl. Ing., Chef der Sektion für Hydrographie des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft, Bern.

Tonfrequenz-Netzkommandoanlagen in den USA

Von P. Minder, South Milwaukee, USA

621.398.2 (73)

Der Stand der technischen Entwicklung von Netzkommandoanlagen in Amerika wird beschrieben. Nach einer kurzen Streifung der Marktlage erörtert der Autor die prinzipiellen Grundlagen der in Amerika verwendeten Systeme. Anschliessend folgt die technische Beschreibung der 3 wichtigsten dieser Systeme, wobei auch die für einen befriedigenden Betrieb nötigen Hilfsapparate behandelt werden. Zum Schluss bespricht der Verfasser die Betriebserfahrungen mit solchen Anlagen in Amerika.

L'auteur décrit le développement actuel des installations de télécommande de réseaux de distribution américains. Après un bref exposé de la situation du marché, il indique les principes des systèmes appliqués aux Etats-Unis. Il donne une description des trois systèmes les plus importants, ainsi que des appareils auxiliaires indispensables pour obtenir un service satisfaisant. Pour terminer, il mentionne les expériences d'exploitation faites avec des installations de ce genre en Amérique.

1. Einleitung

Wie in Europa, so sind auch in Amerika die Netzkommandoanlagen für die zentrale Steuerung gewisser Energieverbraucher mittels überlagerter Tonfrequenzimpulse noch recht jung. Im ganzen mögen im riesigen Gebiet der USA kaum etwa hundert Anlagen in Betrieb sein. Diese bestehenden Anlagen sind zur Hauptsache von zwei Firmen gebaut worden. Die Tatsache, dass nur zwei bekannte Firmen in Amerika sich diesem Gebiet zuwandten, zeigt, dass diese Art der Belastungslenkung in diesem Lande noch fragwürdig beurteilt wird, wo Energieknappheit kaum besteht und sofort neue Kraftwerke gebaut werden, sobald der Konsum gesichert scheint. Auch die relativ häufig aufgetretenen Störungen an solchen Anlagen mögen andere Firmen davon abgehalten haben, sich in kostspielige Entwicklungs- und Produktionsprobleme zu stürzen. Die häufigen Störungen sind zum Teil auf nicht erstklassige Werkstattarbeit, zum Teil aber auch auf unbefriedigende Entwicklungsarbeit zurückzuführen. Jedenfalls haben die beiden führenden Firmen für Netzkommandoanlagen, die Line Material Company und die General Electric Company sich gezwungen gesehen, ihre Systeme in mancher Hinsicht einer Verbesserung und Neukonstruktion zu unterziehen. Die Marktlage ist daher zurzeit recht ruhig. Es wird aber damit gerechnet, dass sich gute und nicht zu teure Anlagen auch in Amerika relativ leicht verkaufen lassen werden.

Die Schaltaufgaben der Netzkommandoanlagen sind in Amerika nicht so vielgestaltig wie in Europa. Es werden daher nur Empfänger (control units) hergestellt für entweder 1 oder 6...8 Befehle. Ein Empfänger hat jedoch immer nur einen einzigen Schalter (meistens 240 V, 15...30 A). Die hauptsächlichste Anwendung betrifft Heisswasserspeicher, Strassenlampen und manchmal Pumpenmotoren. Durch vernünftige Steuerung von Heisswasserspeichern und andern ähnlichen Belastungen lässt sich durch Spitzensenkung bei Wiederverkäufern oft ein ansehnlicher Gewinn erzielen. Dies hat sich sowohl

bei hydraulisch als auch in Dampfkraftwerken erzeugter elektrischer Energie gezeigt und wird auch in Zukunft ein Hauptargument für die Wünschbarkeit von Netzkommandoanlagen bleiben. Die Steuerung von Strassenlampen ist ein weiteres vielversprechendes Anwendungsgebiet. Gegenwärtig hat zwar die Steuerung mittels Photozellen, welche im Preis etwa den Empfängern gleich sind, aber keinen teuren Sender brauchen, die Oberhand. In der unsicheren politischen Lage sieht aber der Autor ein grosses Plus für eine jederzeit aus- und einschaltbare öffentliche Beleuchtung bei eventuellen Luftangriffen.

2. Die wichtigsten Systeme in Amerika

Wie bereits erwähnt, sind die Systeme der Line Material Company (LM) und der General Electric Company (GE) die erfolgreichsten. Interesseshalber soll auch das Seymour-System kurz angeführt werden. Alle diese Systeme haben verschiedene Eigenschaften gemeinsam. So benützt jedes System nur eine einzige Frequenz. Dies hat hauptsächlich fabrikatorische Vorteile. Falls zwei Anlagen der gleichen Firma benachbart aufgestellt und gegenseitige Störungen zu befürchten sind, werden die beiden Netze mittels Sperrkreisen (blocker traps) signalfrequenzmässig getrennt.

LM und GE haben beide je einen Empfängertyp für einen und mehrere Befehle. Der Typ für einen Befehl (single group unit) besitzt einen Schalter, der mit der gleichen Frequenz ein- und ausgeschaltet wird. Beim LM-Empfänger z. B. bewirkt ein Impuls von 10 s Dauer eine Einschaltung und ein Impuls von 40 s Dauer eine Ausschaltung. Diese Einzelgruppen-Empfänger sind relativ billig und werden bei Strassenbeleuchtung ausschliesslich und zur Steuerung von Heisswasserspeichern gelegentlich benützt. Der Empfängertyp für mehrere, voneinander verschiedene Befehle (multi group receiver), hat ebenfalls nur einen Schalter. Dieser kann aber, im Gegensatz zum erstgenannten Empfängertyp, je

nach System 6 oder 8 verschiedene, einmalig beliebig festgesetzte Befehle ausführen.

Sowohl LM wie GE benützen das Impuls-Intervall-Verfahren. Bei einer Befehlsdurchgabe sendet die Sendeanlage zuerst einen Startimpuls aus, welcher sämtliche im Netz angeschlossenen Empfänger zum Ansprechen bringt. Das Zeitintervall zwischen diesem Startimpuls und einem der 6...8 wählbaren Befehlsimpulse bestimmt die Nummer des ausgeführten Befehles. Wie eingangs erwähnt wurde, werden Netzkommandoanlagen hauptsächlich bei Heisswasserspeichern angewendet. Der mehrgruppige Empfänger findet daher hauptsächlich Anwendung, wenn die zu steuernde Totleistung der Heisswasserspeicher so gross ist, dass sie vorteilhaft unterteilt wird; die einzelnen Gruppen werden dann individuell gesteuert.

Im folgenden wird auf einige Besonderheiten der drei genannten Systeme eingegangen:

3. Das System der General Electric Company

GE benützt eine Frequenz von 720 Hz; das ist die 12. Harmonische von 60 Hz. Bei dieser relativ tiefen Frequenz ergeben sich gute Ausbreitungseigenschaften, d. h. relativ kleine Spannungsabfälle in den Leitungen und Transformatoren. Der Störpegel bei dieser Frequenz, hauptsächlich von den Seitenbändern der benachbarten 11. und 13. Harmonischen herrührend, ist höher als bei höhern Frequenzen. Dieser Nachteil spielt aber kaum eine Rolle, da beim GE-System das den Hauptschalter steuernde Relais direkt wirkt, d. h. es ist direkt mit einem Kondensator in Serie am Netz angeschlossen. Dieser auf 720 Hz abgestimmte Serieresonanzkreis bietet eine verhältnismässig geringe Impedanz für die 720-Hz-Impulse. Diese bringen daher das Relais zum Ansprechen. Bei diesem System ist infolge des direkt wirkenden Wechselstromrelais der Energiebedarf recht hoch. Die erforderliche Signalbetätigungsspannung an den Klemmen des Empfängers hat daher schon aus diesem Grunde zwangsläufig beträchtlich über dem Störpegel zu liegen. Natürlich bedingt eine hohe Eingangsspannung eine relativ grosse Senderleistung, was wirtschaftlich nachteilig ist. Beim Einzelgruppen-Empfänger betätigt das Relais einen Bimetallschalter, welcher bei 10 s Heizung mit 60 Hz (10-s-Impuls) einschaltet und bei 30 s Heizung (30-s-Impuls) ausschaltet. Beim Achtgruppen-Empfänger betätigt das Relais einen Synchronmotor, der, wie erwähnt, nach dem Impulsintervallverfahren die einzelnen Befehle zur Ausführung bringt.

Selbst bei der relativ tiefen Frequenz von 720 Hz erachtet es GE als notwendig, die in Amerika sehr häufig aufgestellten Kondensatorenbatterien zur Verbesserung des Leistungsfaktors zu blockieren. GE benützt hierzu eine interessante Methode: Die Kondensatorenbatterie wird in zwei etwa gleich grosse Teile gegliedert; in Serie zum einen Teil wird eine Drosselspule von etwa der doppelten Reaktanz gelegt und dieser Seriengang parallel zum andern Teil der Kondensatorenbatterie verbunden.

Dadurch entsteht ein Parallelresonanzkreis, welcher die Kondensatorenbatterie selbst benützt.

4. Das Seymour-System

Dieses System ist nur ganz wenig verbreitet. Es enthält aber einige interessante Gedanken und soll deshalb kurz gestreift werden. Impulse von der Frequenz 240 Hz werden dem 60-Hz-Netz aufgedrückt. Dadurch werden bei richtiger Phasenlage der 240-Hz-Welle in Bezug auf die 60-Hz-Welle die Scheitel der resultierenden Welle ungleich beeinflusst: der Scheitel der positiven Welle z. B. wird erhöht, während der Scheitel der negativen Welle abgeflacht wird. Die beiden ungleich deformierten Wellenhälften werden in zwei Gleichrichtern gleichgerichtet und laden zwei Kondensatoren auf verschiedene Spannung auf. Die entstehende Spannungsdifferenz wird verstärkt und betätigt ein polarisiertes Relais. Durch Phasenverdrehung im Sender kann diese Spannung im Vorzeichen gekehrt werden und es kann ein dem ersten Befehl entgegengesetzter Schaltbefehl ausgeführt werden.

5. Das Zentralsteuerungssystem der Line Material Company

Da der Autor mit dieser Firma verbunden ist, kann diese Beschreibung mehr in die Details gehen. Line Material Co. benützt eine Frequenz von 3000 Hz. Diese Frequenz ist wohl an der oberen Grenze des technisch erfolgreich Anwendbaren; der Autor erachtet sie sogar als zu hoch. Die Dämpfungen in den Leitungen und Transformatoren sind beträchtlich. Andererseits hat diese Frequenz den Vorteil, dass die Kopplungsglieder, Sperrkreise usw. relativ klein und billig ausfallen. Ein weiterer Vorteil bei dieser Frequenz ist der verhältnismässig niedrige Störpegel in allen Netzen.

Der Sender besteht aus drei einphasigen, oder neuerdings einer dreiphasigen Motor-Generator-Gruppe mit Synchronantrieb. Diese Maschinengruppen werden in den Grössen 2, 6 und 9 kW benützt, wobei diese Zahlen die Dauerleistung angeben. Für den hier in Betracht fallenden kurzzeitigen Betrieb werden etwa die doppelten Leistungen herausgeholt. Diese Maschinengruppen unterscheiden sich kaum von den in der Schweiz verwendeten.

Die Schaltapparate des Senders sind in einem Stahlgehäuse untergebracht, welches normalerweise im Kommandoraum einer bedienten oder unbedienten Unterstation (substation) aufgestellt ist. Diese Senderschranke, auch Kommandogerät genannt, sind den in der Schweiz verwendeten ähnlich. Die Ankopplung ans Netz erfolgt immer parallel und dreipolig entweder bei 2400/4160 V oder 7200/12 500 V. Dies sind die wichtigsten amerikanischen Verteilspannungen (distribution voltages). Als Kopplungsglieder werden Hochspannungskondensatoren und Drosselspulen verwendet. Da in Amerika der in der Schweiz vorgeschriebene Isoliertransformator vom Gesetz nicht verlangt wird, findet er keine Verwendung. Die Anpassung der Signalspannung an das Verteilnetz geschieht durch eine

Kombination von variablen Drosselspulen und konstanten Kondensatoren, welche stufenlos zwischen Serie- und Parallelresonanz-Ankopplung eingestellt werden können. Mit dieser Methode kann für jedes Netz gleicher Leistung aber beliebiger Spannung und daher beliebiger Impedanz die gleiche Maschine verwendet werden.

Die Empfänger der Line Material Co. sind meistens in einem Standard-Zählergehäuse eingebaut und werden oft (Zähler immer) an der Aussenwand der Häuser montiert. Das Funktionsprinzip ist das folgende: Das Eingangfilter, bestehend aus Kondensator und Spule mit Eisenkern, ist direkt am 115- oder 230-V-Netz angeschlossen. Die an der Spule auftretende überhöhte Spannung wird gleichgerichtet und auf ein hochempfindliches Gleichstromrelais gegeben. Dieses Relais steuert einen Synchronmotor, welcher beim Einzelgruppen-Empfänger direkt den Lastschalter bedient und einen freien Rücklauf hat, d. h. bei unterbrochener Speisung in die Anfangslage zurückgeht. Rein mechanisch erfolgt, wie erwähnt, eine Ein- oder Ausschaltung je nach der Impulsdauer. Störimpulse, auch von einigen Sekunden Dauer, bringen nur den Synchronmotor zum Anlaufen, können aber keine Fehlschaltung bewirken, falls sie nicht mindestens 10 s dauern. Der Sechs-Gruppen-Empfänger (Fig. 1) hat den gleichen Eingangskreis, ebenfalls ein hochempfindliches Gleichstromrelais und einen Synchronmotor zur Befehlswahl (Impulsintervallprin-

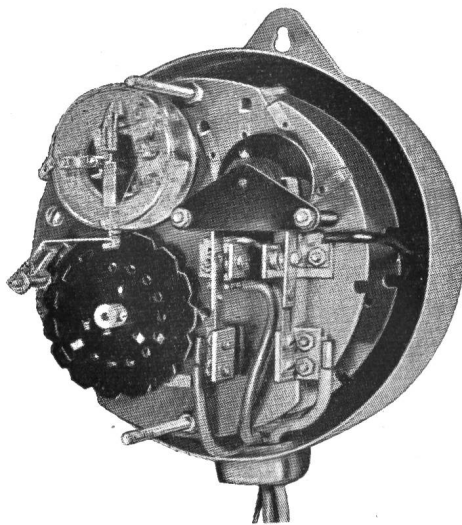


Fig. 1

Sechs-Gruppen-Empfänger der Line Material Company

zip, wie erwähnt). Ein zweiter Motor, vom ersten gesteuert, bedient den Lastschalter. Dieser Empfängertyp ist empfindlicher auf Störspannungen. Er hat sich aber trotzdem technisch bewährt, speziell weil sein hochempfindliches Relais eine erzwungene Rückstellung hat, die beim erstgenannten Empfängertyp fehlt. Die Empfindlichkeit beider Typen wird bei 115 und 230 V Netzspannung auf 0,75...1,5 V eingestellt.

Sender und Empfänger machen aber noch kein komplettes Netzkommendosystem aus. Vielmehr

gehören noch eine Reihe Hilfsapparate dazu, die sich für einen zuverlässigen Betrieb als unbedingt nötig erwiesen haben. Es sind dies: Sperrkreise (blocker traps), Shuntglieder (shunt elements), Überbrückungsglieder (bridging units) und Endglieder (termination units).

Sperrkreise werden benötigt, um die in Amerika sehr häufig verwendeten Kondensatorenbatterien zur Korrektur des Leistungsfaktors zu blockieren. Das Prinzip der LM ist hier grundverschieden von

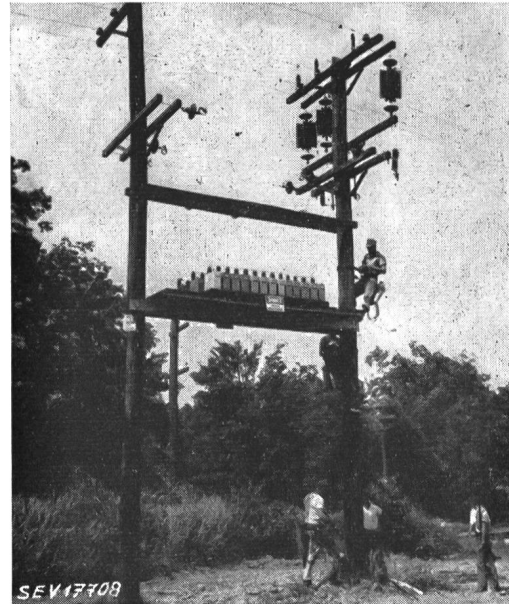


Fig. 2

Typisch amerikanische Montageart einer Kondensatorenbatterie zur Verbesserung des Leistungsfaktors mit Sperrkreisen für die Signalfrequenz

Die zu den Sperrkreisen gehörenden Kondensatoren sind im Innern der am rechten Mast aufgehängten Drosselspulen angeordnet

jenem der GE. LM legt in Serie zu jedem Pol der Kondensatorenbatterie einen Parallelresonanzkreis, eine in sich fertige Einheit. Diese Sperrkreise werden für netzfrequente Ströme (60 Hz) von 10...400 A hergestellt. Die Reaktanz bei 60 Hz beträgt zirka 0,2...0,5 Ω , was vernünftige Spannungsabfälle bei 2400 und 7200 V Sternspannung ergibt. Die Resonanzimpedanz der Sperre beträgt je nach Typ 100...700 Ω . Fig. 2 zeigt eine für Amerika typische Montageart einer Kondensatorenbatterie von 3×375 kVar mit drei 100-A-Sperrkreisen. Dabei ist der Kondensator im Innern der Spule montiert.

Shunt-Glieder in Verbindung mit 1 oder 2 Sperrkreisen werden benötigt, wenn beispielsweise ein grosser Störherd (z. B. eine grosse Gleichrichterstation), der Tonfrequenzanlage gegenüber entstört werden soll. Eventuell auftretende Störspannungen von Signalfrequenz werden durch diese Einheiten gegen Erde abgeleitet, ohne jedoch die Nutzsignale auf der andern Seite des T- oder L-Gliedes erheblich zu schwächen. Auch diese Einheiten, welche gewöhnliche Serieresonanzkreise mit einem Hochspannungskondensator darstellen, sind von grosser

Wichtigkeit für das richtige Funktionieren einer Anlage. Bei einer gelegentlichen Beschädigung eines solchen Gliedes wurden durch Störimpulse die Strassenlampen einer ganzen Strasse periodisch zu- und abgeschaltet, bis das defekte Element ersetzt war.

Überbrückungsglieder dienen zur tonfrequenten Verbindung zweier Netze, welche netzfrequenzmässig getrennt sein müssen. Je nach Fall genügt ein einfacher Serieresonanzkreis oder ein entsprechendes L- oder T-Glied.

Endglieder werden an von der Sendestelle weit entfernten Leitungspunkten installiert. Sie stellen eine geeignete Ableitung gegen Erde dar zur Verhinderung der Ausbildung von stehenden Wellen auf den Leitungen. Der günstigste Widerstand wurde versuchsmässig zu 380Ω gefunden. Endglieder sind daher im allgemeinen Serieresonanzkreise mit 380Ω Signalfrequenzimpedanz und hoher (kapazitiver) Reaktanz für 60 Hz. Allgemein werden sie installiert, wenn sich mehrere Empfänger weiter als 15...20 km von der Sendestelle entfernt befinden. Natürlich ist diese Distanz von der Frequenz abhängig.

6. Betriebserfahrungen mit Netzkommandoanlagen

Im allgemeinen sind die Netzkommandoanlagen und die elektrischen Anlagen überhaupt in Amerika härteren Witterungseinflüssen ausgesetzt als in Mitteleuropa. Tatsächlich haben die hohe Luftfeuchtigkeit und grosse Hitze im Sommer und die sehr kalten Winter viele Störungen zur Folge. Die hohe Luftfeuchtigkeit hat hauptsächlich Verstimmung und Unstabilität der Eingangfilter der Empfänger verursacht, während die tiefen Wintertemperaturen (bis -50°C) bei Empfängern, die ja meistens im Freien installiert sind, oft zu mechanischen Verformungen und Verklemmungen geführt haben. Ferner wirkten sich tiefe Temperaturen ungünstig aus, indem die für Kopplungszwecke und andere abgestimmte Kreise benützten Hochspannungskondensatoren (welche auch meistens im Freien montiert sind) Kapazitätsänderungen bis 25 % aufwiesen. Bei dieser Gelegenheit kann vermerkt werden, dass sich mit Mineralöl imprägnierte Kondensatoren am besten bewährt haben und nie nennenswerte Resonanzabweichungen verursachten. Jene Kondensatoren aber, die mit einer höheren Dielektrizitätskonstante aufweisenden Flüssigkeit (auf Chlordiphenyl-Basis) imprägniert sind und fast durchwegs für die Verbesserung des Leistungsfaktors verwendet werden, können für abgestimmte

Kreise nicht empfohlen werden, wenn Temperaturen unter 0°C vorkommen.

Was die Signalfrequenz anbetrifft, scheint, wie gesagt, die von der LM benützte Frequenz dem Autor zu hoch. In der Tat hat die Firma Schwierigkeiten infolge zu starker Dämpfung der Impulse. Diese Erscheinung ist besonders ausgeprägt bei stark überlasteten Netzen. Als Faustregel gilt die Erfahrungstatsache, dass eine Anlage mit 3000 Hz Signalfrequenz zufriedenstellend arbeitet, solange die Spannungsabfälle bei 60 Hz vernünftig sind. In alten, stark überlasteten Netzen trifft man aber Verhältnisse, die bei einem schweizerischen Betriebsmann Kopfschütteln erregen würden. In diesen Netzen gehen auch die 3000-Hz-Impulse verloren. Die ungünstigen Verhältnisse konnten teilweise behoben werden, indem mancherorts Kondensatoren zur Leistungsfaktorverbesserung bei 3000 Hz aufgestellt wurden.

Weitere Schwierigkeiten verursachte die zu kleine Eingangsimpedanz der Empfängerfilter. 20Ω mag bei 115 V eine untere Grenze sein; bei Anwendung des gleichen Filters in 230-V-Netzen zeigte es sich aber, dass mehrere Empfänger am gleichen (zu kleinen) Transformator, denselben in Bezug auf die Signalfrequenz zu stark belasteten. Diese Schwierigkeit wurde behoben mit bedeutend höheren Eingangsimpedanzen.

Eine weitere Störungsquelle war das hochempfindliche Relais im Empfänger. Eine anfänglich erhoffte Ansprechempfindlichkeit von 0,5 V erwies sich im Laufe der Zeit als unzuverlässig. Sie musste hinaufgesetzt werden.

Bei der praktischen Dimensionierung von Shuntgliedern und dergleichen kann man Überraschungen erleben. So mass der Autor in Memphis (Tennessee) einen Signalstrom (2000 Hz) von 4,3 A (7,2-kV-Netz), der ein solches Glied durchfloss. Es handelte sich dabei um eine zufällige Resonanzerscheinung in der Nähe eines 4000-kW-Gleichrichters. Diese ca. 5fache Überlastung des Shuntgliedes führte zu dessen Zerstörung.

Die vorstehende Aufführung einiger Mängel und Schwierigkeiten soll kein Tadel an amerikanischen Systemen sein. Die Netzkommandoanlagen sind noch jung im Lande der unbegrenzten Möglichkeiten. Andererseits steht eine schöne Zahl von ausgezeichnet laufenden Anlagen in Betrieb und es werden bald noch mehr und noch bessere Installationen erstellt werden.

Adresse des Autors:

Peter Minder, Dipl. El.-Ing. ETH, 203 N. Chicago Ave. South Milwaukee, Wisconsin, USA.

Ein Universal-Messgerät für Starkstrom

Von E. Blamberg, Basel

621.317.791

Es wird ein neues Wechselstrom-Universal-Messgerät der Klasse 1,5 beschrieben, mit welchem man bei kleinsten mechanischen Abmessungen Spannungen von wenigen V bis hinauf zu 550 V und Ströme von wenigen mA bis hinauf zu 165 A unmittelbar messen, jede beliebige Phasenverschiebung ermitteln und Wirk-, Blind- und Scheinleistungen von wenigen mW, mVar bzw. mVA bis hinauf zu 90 kW, kVar bzw. kVA berechnen kann.

L'auteur décrit un nouvel appareil de mesure universel pour courants alternatifs de la classe 1,5. Malgré un encombrement extrêmement réduit, cet appareil permet de mesurer directement des tensions comprises entre quelques V et jusqu'à 550 V, ainsi que des courants de quelques mA jusqu'à 165 A, de déterminer n'importe quel déphasage et de calculer des puissances actives, réactives et apparentes de quelques mW, mVar ou mVA jusqu'à 90 kW, kVar ou kVA.