

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 103/104 (1934)
Heft: 15

Artikel: Der gittergesteuerte Quecksilberdampf-Gleichrichter für
Grossrundfunktender
Autor: Danz, A.E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-83307>

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: 07.05.2025

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

normalien, gestattet die genaue Messung der reellen und imaginären Komponente von hochfrequenten Scheinwiderständen aller Art.²⁰⁾

So sind in Abb. 7 die sog. symmetrischen (d. h. zwischen den Klemmen gemessenen), bzw. unsymmetrischen (zwischen Klemmen und Gehäuse gemessenen) Innenwiderstände eines Heilgerätes wiedergegeben.²¹⁾

Zu grosser Bedeutung sind die „Störmessplätze“ gelangt. Die Analyse eines Radiostörers geschieht heute mit wissenschaftlicher Genauigkeit. Es ist überraschend, wie gesetzmässig sich viele Störer verhalten (Kleinmotoren, Strahler usw.). Dank der messtechnischen Fortschritte verzeichnet die Störbekämpfung auch immer weitergehende Erfolge. So hat z. B. die Deutsche Reichspost in der Zeit vom 1. Okt. bis zum 31. Dez. 1933 über 60 000 Fälle von Radiostörungen behandelt, von denen etwa 80 % behoben werden konnten.²²⁾

6. Weitere Anwendungsgebiete der Hochfrequenzmesstechnik. Die grosse Schwierigkeit mechanischer Druck- und Dehnungsmessungen rührt vor allem davon her, dass in der Regel nur sehr kleine Verschiebungsbeträge der Messung zur Verfügung stehen. Hier kommen neben der Verwendung des piezoelektrischen Quarzes auch Hochfrequenzmethoden in Frage.²³⁾ Im Schwingungskreis eines kleinen Hochfrequenzgenerators liegt eine Kapazität, die nach dem Vorbild des Plattenkondensators als „Messdose“ ausgebildet ist. Diese Messdose (vgl. Abb. 8) wird z. B. in die Wand eines Gefässes oder einer Rohrleitung eingebaut, in denen Flüssigkeits- oder Gasdrucke gemessen werden sollen.

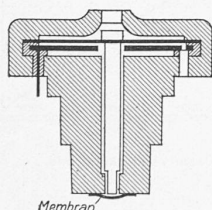


Abb. 8. Messdose.

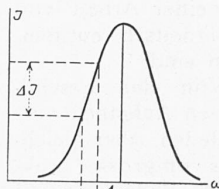


Abbildung 9.

Beträgt der Plattenabstand im Messdosen-Kondensator einige Zehntel mm, so verursacht eine Verschiebung von wenigen Tausendstel mm bei Generatorfrequenzen von 10^6 bis 10^7 Hz bereits Frequenzänderungen von 10^3 bis 10^4 Hz, die mit dem Ueberlagerungsverfahren oder mit empfindlichen Resonanzmethoden gut messbar sind. Im zweiten Falle stellt man einen Empfangskreis auf etwa halbe Resonanzhöhe des Empfangsstromes ein (vgl. Abb. 9) und erhält bei einer Frequenzverschiebung Aenderungen desselben, die der Frequenzverschiebung und auch dem Druck annähernd proportional sind. Verstärkung und Uebertragung auf Oszillographen ergänzen die Methode, die sich sowohl zur Messung statischer Drucke und Dehnungen, als zur

²⁰⁾ Vgl. z. B. A. Jaumann l. c.

²¹⁾ Nach W. Wild, E. T. Z. 54, 149, 173, 1933.

²²⁾ Unseres Wissens liegt auch bei der Versuchs-Sektion der Schweiz. Telegraphenverwaltung ein eingehendes Material über Störmessungen vor. Zwecks Studium der Radiostörungen ist der „Kommission für das Studium der Störungen von Schwachstrom durch Starkstrom“ des S. E. V. eine Gruppe „Schutz des Radioempfanges“ mit drei Subkommissionen angegliedert, die schon bemerkenswerte Arbeit geleistet haben.

²³⁾ Vgl. z. B. S. Reisch, Zeitschr. f. Hochfrequenztechnik 38, 101, 1931.

Registrierung dynamischer Vorgänge wie Schwingungen, Geräusch, Schall und Explosionen eignet.²⁴⁾

Mit Vorstehendem haben wir die Anwendungsmöglichkeiten hochfrequenter Messmethoden noch keineswegs erschöpft. Es ist z. B. gelungen, mit Hilfe von Hochfrequenz die Dicke gewalzter Folien während des Fabrikationsvorganges sehr zuverlässig zu kontrollieren. Messungen der Dielektrizitätskonstanten, der magnetischen Permeabilität, der Magnetorotation usw. im Gebiete kurzer und kürzester elektrischer Wellen gehören zwar heute noch hauptsächlich in den Forschungsbereich des Physikers, der uns dadurch interessante und wichtige Einblicke in den Aufbau der Stoffe verschafft, aber mehr und mehr gewinnen solche Forschungsergebnisse auch für die Technik Bedeutung. So ist die Hochfrequenz-Messtechnik mit ihrer Eigenart und Reichhaltigkeit schon in weite Gebiete unseres wissenschaftlichen und technischen Könnens eingedrungen. Auch sie ist ein Rad geworden in dem gewaltigen Uhrwerk, das, vom menschlichen Geiste ersonnen, die Naturkräfte uns dienstbar macht; auch sie kann in diesem Uhrwerk heute weder vermisst noch fortgedacht werden.

Der gittergesteuerte Quecksilberdampf-Gleichrichter für Grossrundfunksender.

Von Dipl. Ing. A. E. DANZ, Baden.

Nachdem der Gleichstrom während einer längeren Zeitspanne für die Volkswirtschaft beinahe zur völligen Bedeutungslosigkeit herabzusinken schien und selbst auf seinem ureigensten Gebiet, der elektrischen Traktion, dauernd Einbussen erlitt, erhielt die Gleichstromtechnik im letzten Jahrzehnt eine Reihe neuer Impulse, einerseits angeregt durch die rapide Entwicklung der Elektrochemie (die in erster Linie zum Bau von Hochstrommaschinen führte), andererseits durch die interessanten Aussichten, welche die Verwendung von hochgespanntem Gleichstrom für eine Reihe neuer Anwendungsgebiete versprach. Im Rahmen dieses Artikels sei von den zweiten Anwendungsmöglichkeiten nur die Erzeugung und Verwendung der Gleichstromenergie in Rundfunksendeanlagen etwas eingehender betrachtet.

Der mächtige Aufschwung des Rundfunks und die beständig wachsenden Anforderungen der Hörer bedingten nicht nur eine fortwährende Verbesserung des Empfangs, sondern auch den Bau von neuen leistungsfähigen Grossrundfunksendern, die trotz ihrer Kompliziertheit heute einen hohen Grad der Vollkommenheit erreicht haben. Die modernen Grossender brauchen zu ihrem Betrieb in der Hauptsache Gleichstrom.¹⁾ Da in einem Sender Röhren von der kleinsten bis zur grössten Leistung eingebaut sind, werden zwangsweise auch verschiedene hohe Heiz-, Gitter- und Anodenspannungen benötigt. Die Zahl der Spannungsquellen schwankt bei den Sendern zwischen sechs und zwölf. Der weitaus grösste Teil der Senderleistung wird von den Anodenkreisen der wassergekühlten Röhren der beiden letzten Verstärkerstufen aufgenommen. Da es sich dabei um Hochvakuumröhren von beträchtlichem Ausmass handelt, so kommt für deren Betrieb infolge der bekannten Raumladungserscheinungen nur hochgespannter Gleichstrom in Frage, der in den Verstärkerröhren in modulierte, hochfrequente Wechselströme umgeformt und daraufhin der Antenne zugeführt wird (siehe Abb. 1).

Auf welche Weise wird nun die benötigte Gleichstromenergie am zweckmässigsten erzeugt? Während der Gleichstrom zum Aufheizen der Kathoden, zum Speisen der Gitter und der Anoden der ersten Senderstufen im allgemeinen von rotierenden Umformern (Nieder- und Mittelspannungen) geliefert wird, eignet sich diese Umformerart zum Speisen der Anoden der wassergekühlten Hochleistungsröhren der letzten Verstärkerstufen weniger

²⁴⁾ Ueber das für Messzwecke wichtige Kondensatormikrophon vgl. Handb. d. Physik, Bd. VIII (Akustik) S. 562; Springer, Berlin.

¹⁾ Dr. Semm, VDI 1933 Nr. 10.

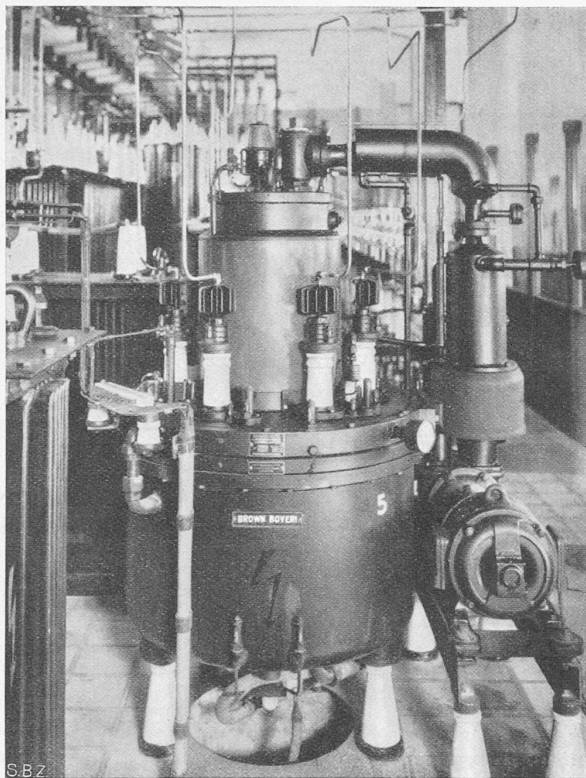


Abb. 5. Quecksilberdampf-Gleichrichter von Brown Boveri & Cie., Baden, für den Rundfunksender Lakihegy, Budapest. — 500 kW, 20 kV.

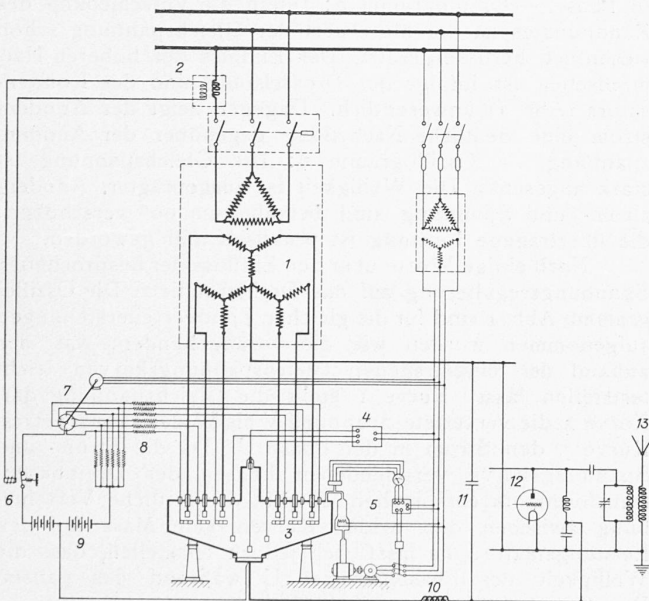


Abb. 1. Prinzipschema einer quecksilbergesteuerten Hochspannungs-Gleichrichter-Anlage für Rundfunksender. — 1 Gleichrichter-Transformator, 2 Gitter-Stromwandler, 3 Gleichrichter mit Steuergitter, 4 Zünd- und Erregeraggregat, 5 Vakuumpumpen und Vakuum-Messapparatur, 6 Gitter-Relais, 7 Synchronlaufende Taktgebergruppe, 8 Begrenzungswiderstand, 9 Gitterstromquelle, 10 Strombegrenzung-Drosselspule, 11 Querkondensator, 12 Endverstärkerröhre, 13 Antenne.

(Kommutierungsschwierigkeiten, geringer Wirkungsgrad, hoher Preis usw.). Erst der Hochspannungs-Quecksilberdampf-Gleichrichter brachte in Bezug auf den Wirkungsgrad, die Brenndauer und die für eine gute Modulation des Senders notwendige geringe Aenderung der Gleichspannung bei Belastungsschwankungen die vollwertige Lösung. Durch den Bau besonderer Gleichrichter-Typen hat die A.-G. Brown Boveri & Cie. mitgeholfen, die Betriebssicherheit der heutigen Grossender massgebend zu fördern.

Trotzdem sich der Rundfunk-Gleichrichter, dessen heutige Formgebung in den Einzelheiten auf jahrelangen

Forschungsarbeiten beruht, äusserlich nur wenig von der bekannten Bauweise des Bahnleichrichters unterscheidet, ist seine Entwicklung doch als bedeutungsvoller Schritt in der Gleichstrom-Hochspannungstechnik zu bewerten. Der Sendebetrieb stellt folgende Hauptforderungen an ihn:

1. Im Interesse eines störungsfreien Sendebetriebs unbedingte Betriebssicherheit. Möglichste Beschränkung der Rückzündungshäufigkeit und Unterdrückung aller schädlichen Folgen für die Gesamtanlage.
2. Schutz der teuren wassergekühlten Endverstärkerröhren gegen Ueberströme und Kurzschlüsse im Falle von Ueberschlägen zwischen Anode und Gitter bzw. zwischen Gitter und Kathode bei ungenügendem Vakuum. Diese Forderung verlangt das sofortige Abschalten der Kurzschlussenergie im Störfalle.
3. Schutz der Senderöhren gegen allfällige Beschädigungen beim plötzlichen Einschalten mit voller Anodenspannung. Dies bedingt eine kontinuierliche Regulierung der Gleichspannung in weiten Grenzen (5 bis 20 kV) und ein allmähliches Anfahren der Röhren durch langsame Spannungserhöhung.
4. Die Güte der Sendung stellt hohe Ansprüche an die Konstanz des den Anoden der Verstärkerröhren zugeführten Gleichstroms. Dies erfordert den Einbau eines Wellenglätters in Form einer Begrenzungsdrosselspule und eines Querkondensators.
5. Einfache In- und Ausserbetriebsetzung der Gleichstrom-Hochspannungsanlage, minimale Wartung, geringe Unterhaltskosten, gefahrlose Bedienung.

Arbeitsweise und Zweck des gittergesteuerten Gleichrichters.

Da die Arbeitsweise des Gleichrichters als bekannt vorausgesetzt werden darf, sei nachstehend nur kurz das Prinzip der Gittersteuerung, soweit es für das Verständnis der zu besprechenden praktischen Anwendung notwendig ist, erläutert.

Während das in der Hochvakuumröhre eingebaute Steuergitter erlaubt, den Elektronenstrom beliebig zu modulieren, d. h. den Energiedurchgang in jedem beliebigen Zeitpunkt je nach Wunsch einzuleiten, zu verstärken, abzuschwächen oder zu unterbinden, lässt sich diese vollkommene Steuerbarkeit beim Quecksilberdampf-Gleichrichter leider nicht erreichen und zwar deshalb, weil die aus neutralen Quecksilber-Molekülen durch Thermo- und Stossionisation entstehenden Ionen, vom negativ geladenen Steuergitter angezogen, eine positive Ionenschicht bilden, die negative Gitterspannung neutralisieren und die Steuerwirkung der Gitter aufheben. Das unmittelbar unter der Anode isoliert in deren Hülse eingebaute, gegenüber der Kathode negativ geladene Steuergitter erlaubt wohl das Zünden des Lichtbogens beliebig lange zu verzögern; den brennenden Lichtbogen dagegen vermag es nicht momentan, sondern erst nachdem der Anodenstrom durch null gegangen ist, zu löschen, d. h. nach einer Zeit, die ungefähr einer halben Periode entspricht.

Diese Eigenschaft des gesteuerten Gitters wurde von Brown Boveri erstmals praktisch verwendet, um Rückzündungen und Röhrenkurzschlüsse in etwa $\frac{1}{10}$ der Zeit, die ein Oelschalter normalerweise braucht, zu löschen. Wie aus dem Schaltbild Abb. 1 zu erkennen ist, wird das schnellwirkende Relais im Rückzündungsfall von dem auf der Primärseite des Transformators liegenden Stromwandler erregt (Ansprechzeit etwa $\frac{3}{1000}$ sec); die kurzzeitigen Stromimpulse, die der synchron laufende Verteiler dauernd auf die Gitter überträgt, werden dadurch gesperrt, und die Vorspannung der Gitter bleibt dauernd negativ. Damit wird das Zünden neuer Anoden verhindert, während die brennende Anode im Verlauf der nächsten negativen Halbwelle der Netzspannung erlischt. Das Abschalten der Rückzündung erfolgt derart rasch (innerhalb $\frac{3}{4}$ Perioden, d. h. bei 50 Hz innerhalb 0,015 sec), dass der Oelschalter geschlossen bleibt und der normale Betrieb nach etwa 0,2 sec wieder einsetzt.

Als Folge einer momentanen Verschlechterung des Vakuums in den wassergekühlten Endverstärkerröhren treten gelegentlich Ueberschläge von der Anode zum Gitter,

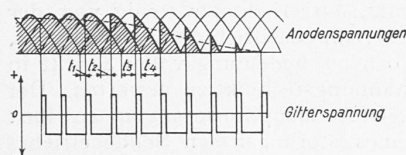


Abb. 2. Spannungsverlauf bei der Regulierung mit kurzzeitigen Stromimpulsen durch Steuergitter.

bei hohen Gitterspannungen auch vom Gitter zur Kathode auf. Um die relativ teuren Röhren vor den Folgen solcher Ueberschläge zu schützen, wurden ihnen bisher Anodenschutzwiderstände vorgeschaltet. Damit liess sich eine Ueberbeanspruchung der Röhren bis zum Ausschalten des Oelschalters vermeiden, aber der Schutz wurde sehr teuer erkauft, da die Widerstände rd. 5 bis 8 % der Anodenspannung abdrosselten, bzw. den Wirkungsgrad um rd. 5 bis 8 % heruntersetzen. Infolge des erwähnten Kurzschlusschutzes fallen diese Widerstände weg, denn auch bei einem Ueberschlag in der Verstärkerröhre spricht das schnellwirkende Gitterrelais an. Ausserdem wird das Ansteigen des Kurzschlussstromes durch die Strombegrenzungsdrossel verzögert (300 A in 0,015 sec bei einer Gleichspannung von 20 kV und einer Drossel von 1 H.), sodass die Röhren im Falle eines sogenannten „rocky point“ nicht mehr gefährdet sind. (Es ergeben sich durch Wegfall der erwähnten Schutzwiderstände für einen Grossender von 600 kW und 4000 Betriebsstunden bei 0,05 Fr./kWh Einsparungen von 9600 Fr. im Jahr). Um die Verstärkerröhren nach einem internen Ueberschlag gegen das Zuschalten auf volle Spannung zu schützen, ist die Schaltung derart entwickelt worden, dass die Gleichspannung bei einem Kurzschluss augenblicklich auf einen Bruchteil der Nennspannung herunterreguliert wird, um nach Freigabe des Gitterrelais innerhalb 1 sec wieder auf den vollen Wert erhöht zu werden. Sowohl die RZ.-Löschung wie die Beseitigung des Röhrenkurzschlusses erfolgt derart rasch, dass die Sendung nicht gestört wird.

Als weiterer wesentlicher Vorteil der gesteuerten Gleichrichter im Sendebetrieb ist die Regulierung der Gleichspannung in beliebigen Grenzen zu erwähnen. Für Sendeanlagen wird die Spannungsregulierung hauptsächlich zum Anfahren der Verstärkerröhren zu Beginn der Sendung oder nach dem Auftreten von Röhrenüberschlägen praktisch verwendet. Die Steuergitter ergeben statt der stufenweisen Regulierung eine kontinuierliche, verbessern den Wirkungsgrad und verbilligen die Anlage. Andererseits hat aber die Gitterregulierung eine Verschlechterung des Leistungsfaktors und eine Vergrösserung der Welligkeit des Gleichstromes zur Folge. Diese beiden Faktoren spielen jedoch im praktischen Betrieb keine wesentliche Rolle. Einerseits ist das Anlassen eine Angelegenheit von nur einigen Sekunden, und andererseits hat die Emission des Senders während dieser Zeit normalerweise noch gar nicht begonnen. Leider ist es im Rahmen dieses Artikels nicht möglich, das ganze Regulierproblem eingehend zu besprechen. Im Prinzip erfolgt die Spannungsregulierung bei gittergesteuerten Gleichrichtern durch die Regulierung des Zündpunktes der einzelnen Anoden relativ zum normalen Zündpunkt, was sich auf elegante Weise durch kurzzeitiges taktweises Aufladen der Steuergitter mit positiven Stromimpulsen (Abb. 2) über einen synchronlaufenden Verteiler erreichen lässt (Abb. 1), wobei die Zündpunktlage (t_1 bis t_n Abb. 2) jeweils durch die relative Lage der Rotor- und Statorfeldaxe des Synchronmotors bestimmt ist. Aus den Oszillogrammen Abb. 3 erkennt man, wie sich die Strom- und Spannungsverhältnisse durch die Verlagerung des Zündpunktes tatsächlich ändern: Kurve 1 gibt die Gleich-

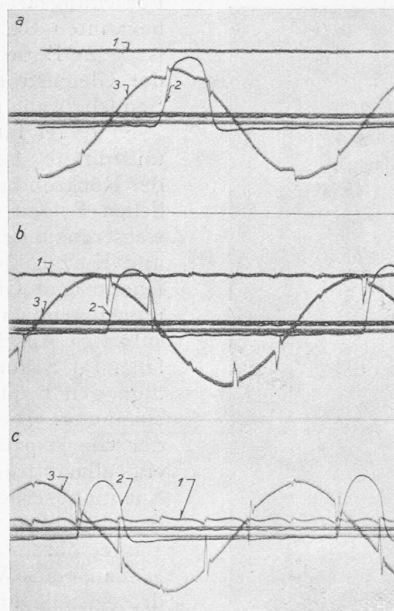


Abb. 3. Strom- und Spannungsverhältnisse bei der Verlagerung des Zündpunktes der Anoden
1 Gleichspannung, 2 Anodenstrom, 3 Anodenspannung.

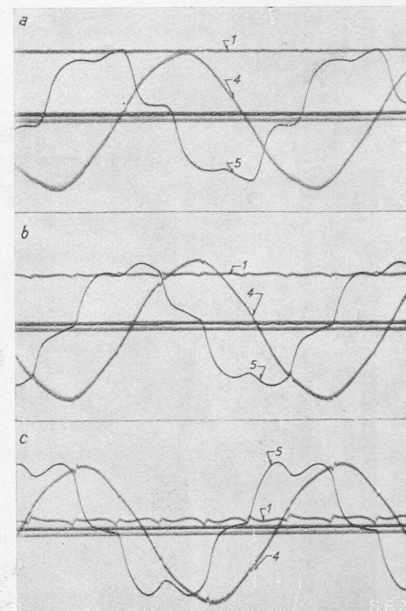


Abb. 4. Strom- und Spannungsverhältnisse im Drehstromnetz bei Spannungsregulierung durch Steuergitter. 1 Gleichspannung, 4 verkettete Spannung V-W, 5 Strom-Phase U.

spannung des Hochspannungs-Gleichrichters, Kurve 2 den Anodenstrom, Kurve 3 die Anodenspannung. Oszillogramm a: Die Verzerrung der Gleichspannung ist relativ gering. Anodenstrom und Anodenspannung sind beinahe in Phase. — Oszillogramm b: Durch die Verschiebung des Zündpunktes ist der Mittelwert der Gleichspannung schon wesentlich herabgesetzt. Der Einfluss der höheren Harmonischen ist infolge der Drosselspule und des Kondensators (Abb. 1) unwesentlich. Dagegen zeigt der Anodenstrom eine deutliche Nacheilung gegenüber der Anodenspannung. — Oszillogramm c: Die Gleichspannung ist stark abgesenkt. Die Welligkeit ist ausgeprägt. Anodenstrom- und Spannung sind beinahe um 90° verschoben; die übertragene Leistung ist praktisch null geworden.

Noch einige Worte über den Einfluss der besprochenen Spannungsregulierung auf das Drehstromnetz. Die Oszillogramme Abb. 4 sind für die gleichen Zündverteilerstellungen aufgenommen worden wie die vorangehenden, was sich anhand der eingetragenen Gleichspannungskurven leicht feststellen lässt. Kurve 1 stellt die Gleichspannung dar, Kurve 4 die verkettete Spannung V bis W des Primärnetzes, Kurve 5 den Strom in der Phase U. Da die Strom- und Spannungskurve verschiedenen Phasen des Dreiphasen-Transformators entsprechen, so gibt die zeitliche Verschiebung zwischen den beiden Kurven kein Mass für den Leistungsfaktor. Es lässt sich jedoch feststellen, dass die Welligkeit des Phasenstromes U während des ganzen Regulierungsvorganges die selbe bleibt.

Kurz zusammengefasst bringt die Gittersteuerung in der heutigen, durch Patente weitgehend geschützten Schaltung für den praktischen Sendebetrieb die folgenden wesentlichen Vorteile: Verbesserung des Wirkungsgrades der Sendeanlage um 5 bis 8 %, erreicht durch den Wegfall der Schutzwiderstände an den Senderöhren; Verbilligung der Anlage durch das Fortfallen des Leistungs-Stufenschalters und des zusätzlichen Reguliertransformators; kontinuierliche Regulierung der Gleichspannung von 0 bis auf die gewünschte Betriebsspannung, anstelle der stufenweisen Spannungsregulierung; Schutz der teuren Senderöhren gegen interne Kurzschlüsse; Vermeidung von Unterbrechungen in der Emission des Senders bei Kurzschlüssen in der Gleichrichteranlage.

Die In- und Ausserbetriebsetzung der Hochspannungs-Gleichrichteranlage erfolgt auf einfachste Weise von der Bedienungsschalttafel aus, die derart konstruiert ist, dass

die sämtlichen mit dem Potential des Gleichrichters in Verbindung stehenden Apparate und Instrumente in einem isoliert aufgestellten Apparagerüst eingebaut sind, das von der Rückseite in die geerdete Schalttafel hineingeschoben wird. Während sich die Instrumente durch ein Glasfenster bequem ablesen lassen, erfolgt die Bedienung der Haupt- und Hilfschalter über isolierte Antriebe, deren Handgriffe auf der geerdeten Schaltwand montiert sind. Damit wird jede Gefahr für das mit der Gleichrichteranlage vertraute Personal a priori beseitigt.

Zum Schluss sei noch kurz erwähnt, dass es Brown Boveri dank der anerkannten wirtschaftlichen und technischen Vorteile des gittergesteuerten Hochspannungs-Gleichrichters für Rundfunk- und Telegraphie-Sender in den letzten Jahren gelungen ist, 38 Gleichrichter mit einer Gesamtleistung von 15000 kW in Auftrag zu erhalten (u. a. je zwei Gleichrichter für die Sender in Breslau, Langenberg, Hamburg, Leipzig und München). Als Beispiel ist in Abb. 5 der 500 kW, 20 kV-Gleichrichter des Rundfunksenders Lakihegy (Budapest) dargestellt. Der Quecksilberdampf-Grossgleichrichter, der von einer Schweizerfirma aus den bescheidensten Anfängen zum heutigen Universalumformer entwickelt worden ist, hat sich auch auf dem Gebiete der Rundfunk- und Telegraphiesender erfolgreich durchgesetzt.

Die Antennentürme der Landessender von Beromünster und Monte Ceneri.

Von Dipl. Ing. R. DICK, Luzern.

Für den Bauingenieur gibt es sicherlich nur wenige Aufgaben, bei denen er aus so klaren und einfach umschriebenen äusseren Bedingungen ein ganzes Bauwerk gestalten kann, wie bei Antennentürmen. Man denke an irgend eine andere Bauaufgabe, zum Beispiel ein Gebäude mit den tausend Zweckbestimmungen und Gegebenheiten, man stelle sich einen Kran vor, ein Wehr, mit all den Wünschen des Bestellers — selbst eine Brücke ist meist in einen recht soliden Käfig von Profilen, Fundamentverhältnissen und Belastungen eingekapselt — und vergleiche nun damit die Antennentürme: In 125 m Höhe muss ein Drahtseil mit zwei Tonnen Zugkraft über Rollen beweglich gelagert werden; gegeben sind ferner eine Anzahl Porzellanisolatoren auf dem Erdboden und eine Winde für das erwähnte Antennenseil, gesucht ist der dazwischen notwendige Turm.

So ungefähr lautete die Aufgabe, die die Ober-Telegraphen-Direktion im Frühling 1930 für die neuen Sender in Münster und Sottens¹⁾ den

¹⁾ Beide beschrieben in Band 101, S. 33* (21. Januar 1933). Red.

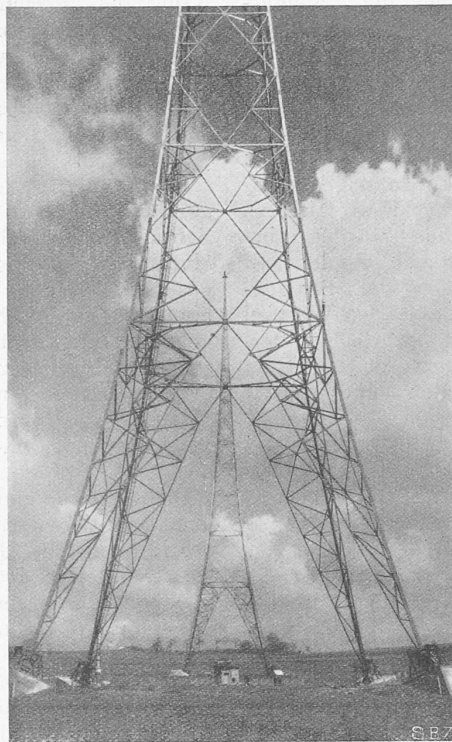


Abb. 1. Die 125 m hohen Antennentürme des Schweizerischen Landessenders Beromünster.

statisch einleuchtend wirken soll, muss sie von der Spitze beginnend nach unten immer mehr ausschwingen, der Krümmungsradius muss sich von oben nach unten stetig verkleinern, er darf nicht sprunghaft wechseln. Erst von der Stelle an, wo sich unten der Turm in vier Stützen öffnet und den weit auseinanderliegenden Auflagern zustrebt, wird eine schwächere Gurtkrümmung notwendig und auch ästhetisch erwünscht: die vier Stützfüsse müssen wieder gestreckter aussehen, die Hauptkrümmung muss in einer Art Hüftpartie liegen, die aus einer breiten Stützung auf den vier Füßen zum steilen Aufstieg auf die Spitze leitet. Aus dieser architektonischen Absicht heraus entstand die Fussbreite von 25 m bei 125 m Höhe, also ein Verhältnis von 1 zu 5, das aber auch statisch und für die

Eisenbaufirmen stellte, und ganz ähnlich für die Türme auf Monte Ceneri. Es bietet vielleicht einiges Interesse, die Entstehung dieser Türme, die der Verfasser in seiner damaligen Eigenschaft als Statiker der A. G. Th. Bell & Cie. in Kriens projektiert und ausgearbeitet hat, zu verfolgen.

Die statisch recht einfache Arbeit begann mit der von der Spitze nach abwärts fortschreitenden Ermittlung von Biegemomenten auf Grund des Spitzenzuges und geschätzter Windflächen für den Turm selbst. Durch Division der Momente durch die Turmbreite entstehen die Gurtkräfte, und hier setzte nun eine architektonische Bindung der Statik ein: es wurde schon bei diesem ersten Rechnungsgang versucht, eine möglichst gleichmässige Kurve der Turmgurte und damit ein gefälliges Aussehen des Turms, gleichzeitig aber auch ein konstruktiv und für den Eisenverbrauch rationelles Fortschreiten der Gurtkraft zu erreichen. Dazu genügt es nicht, das gerechnete Moment durch eine beliebig gewählte Turmbreite zu teilen und mit dem Abwärtsschreiten diese Breite nach Gutdünken wachsen zu lassen; wenn die Gurtkurve glaubhaft und

Belastung der Fussisolatoren die besten Verhältnisse ergab. Auf Monte Ceneri allerdings erlaubten die Platzverhältnisse trotz gleicher Turmhöhe nur eine Fussbreite von 18 m, sodass die Form wieder ganz neu gesucht werden musste und von Münster nichts übernommen werden konnte.

Um den Ausgleich der Gurtkurve zu erreichen, war ein viermaliger Rechnungsgang notwendig, wobei jedesmal wieder die Windbelastungen genauer bestimmt wurden, sodass zum Schluss jeder Einzelstab mit seiner wirklichen Fläche zuverlässig erfasst war.

Vom dritten Rechnungsgang an wurde auch das Netz der Füllungsstäbe einbezogen, das aus steifen Profilen mit einem l/i von nicht über 150 zu bilden war. Das bedingte die Wahl möglichst

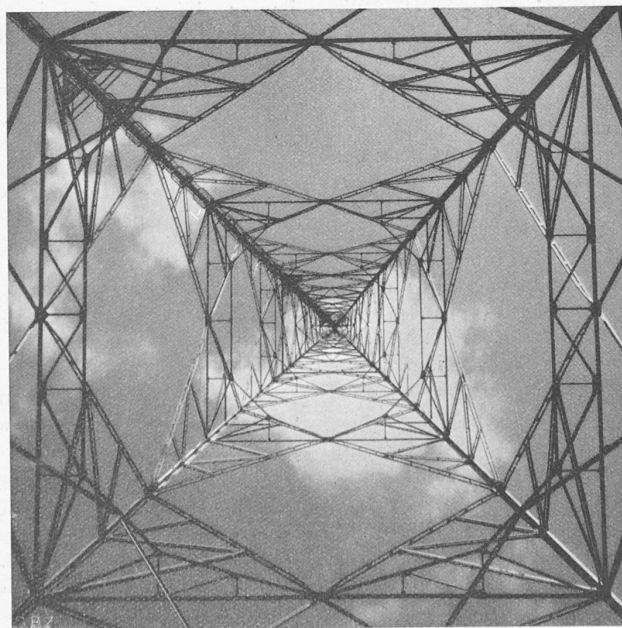


Abb. 2. Vertikalblick in der Turmaxe, Beromünster. Photos Friebe, Sursee.