

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 99/100 (1932)  
**Heft:** 3

**Artikel:** Vom gesteuerten Gleichrichter  
**Autor:** Dick, Max  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-45527>

### **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:** 15.03.2025

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

INHALT: Vom gesteuerten Gleichrichter. — Quelques propriétés du ciment et du béton: Dilatation, retrait, élasticité. — Wettbewerb für ein Kirchgemeindehaus bei der Johanneskirche in Bern. — I. Kongress der Internationalen Vereinigung für Brückenbau und Hochbau, Paris 1932. — Bergung und Wiederherstellung einer auf der Rhätischen Bahn abgestürzten Lokomotive. — Mitteilungen: Eidgen. Technische

Hochschule. Basler Rheinhafenverkehr. Eidgen. Amt für Elektrizitätswirtschaft. Der Dom zu Lübeck. Kostenlose Bauberatung durch Architekten. Das Gordon Bennet-Wettfliegen 1932. Das Internationale Flugmeeting in Zürich. — Wettbewerbe: Holzhaus-Wettbewerb der „Lignum“. — Korrespondenz.

Band 100

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 3

## Vom gesteuerten Gleichrichter.

Die Elektrotechnik hat in den letzten zehn Jahren eine besonders starke Entwicklung auf dem Gebiete des Stromdurchgangs durch Hochvakuum und durch Gase unter schwachem Druck zu verzeichnen. Einerseits hat sich in dieser Zeit durch die Vervollkommnung der Elektronenröhre der Radioverkehr in ungeahnter Weise entwickelt. Andererseits ist es besonders der Quecksilberdampf-Gleichrichter, der auf dem Gebiete der Wechselstrom-Gleichrichtung neue Perspektiven eröffnet hat. Beide Gebiete bedienen sich der besonderen Eigenschaften des Stromflusses durch Vakuum. Die Radiotechnik verwendet die Elektronenröhre, die hochgradig evakuiert sein muss; der Stromdurchgang wird bei ihr gesteuert mit dem Steuergitter. Der normale Quecksilberdampf-Gleichrichter unterscheidet sich davon durch das Fehlen dieses Gitters und durch den Einschluss des Quecksilbers, das einerseits als Kathode dient und andererseits im Gefäss eine Quecksilberdampf-Atmosphäre von ganz geringem Druck erzeugt; der Stromdurchgang wird dadurch wesentlich erleichtert, und der Spannungsabfall über die Entladungstrecke bleibt klein. Es liegt nun der Gedanke nahe, auch beim Quecksilberdampf-Gleichrichter ein Steuergitter einzuführen und damit den Stromdurchgang zu steuern. Da macht sich aber sofort ein gewisser Widerspruch geltend. Die Steuerung mit dem Steuergitter erfolgt gewissermassen durch Verändern des Gleichstromwiderstandes. Zweck des Quecksilbereinschlusses ist es aber, diesen Widerstand klein zu halten. Daraus ist zu erkennen, dass die Steuerung hier anderer Art sein muss und dementsprechend auch die Anwendung eine andere sein wird.

Dieser gesteuerte Quecksilberdampf-Gleichrichter bildet nun seit einiger Zeit den Gegenstand besonderer Untersuchungen. Im Verlaufe der Entwicklung haben sich dabei ganz neue Anwendungsgebiete herausgestellt, die technisch von grosser Tragweite zu werden versprechen. Von Amerika her ist uns das Ergebnis dieser Forschungen besonders durch die sog. Thyatron-Röhre bekannt. Es ist dies eine Röhre mit Glühkathode und einigen Tropfen Quecksilbereinschluss. Sie sieht äusserlich einer grösseren Radoröhre ähnlich. Wegen ihres kleinen Spannungsabfalls und ihrer ausserordentlich hohen Steuerfähigkeit, die ihre Anodenenergie mit einer rund 10000 mal kleineren Steuerenergie zu steuern gestattet, kann sie zu allen möglichen Relais und Regulierzwecken verwendet werden. So wird es mit ihrer Hilfe z. B. möglich, die Bühnenbeleuchtung mit ganz kleinen Reguliereinrichtungen stetig und dazu noch sozusagen verlustlos zu regulieren, oder es kann unter Zuhilfenahme einer Photozelle die Strassenbeleuchtung in Abhängigkeit von der Tageshelle ein- und ausgeschaltet werden.

Viel aussichtsreicher sind jedoch die Verwendungsmöglichkeiten, die der gesteuerte Gross-Gleichrichter eröffnet. In der Schweiz sind es besonders die Firma Brown Boveri & Co. in Baden und die Maschinenfabrik Oerlikon, die die bezüglichen Entwicklungen gefördert und bereits zu einem gewissen Abschluss gebracht haben. Namentlich die erstgenannte Firma erzielt mit dem neuen Gleichrichter

technisch schon ganz ansehnliche Leistungen und tritt seit einiger Zeit mit den Ergebnissen in Veröffentlichungen und Demonstrationen an die Öffentlichkeit. Die interessanten Neuerungen sollen deshalb auch hier kurz betrachtet werden.

Zunächst sei das Prinzip anhand von Abb. 1 kurz erläutert. Zum normalen Aufbau des Gleichrichters mit der Kathode 6 und der Anode 2 kommt als neues Element das Gitter 1 hinzu, das mit dem Steuerschalter 5 auf negatives oder positives Potential gegenüber der Kathode gebracht werden kann. Ohne Gitter würde der Gleichrichter in bekannter Weise funktionieren. Wird nun dem Gitter ein gewisses negatives Potential erteilt, so wird genau wie bei der Elektronenröhre der Anodenstrom ganz unterbrochen. Wird das Gitter aber positiv aufgeladen, so hat es zum Unterschied gegen die Elektronenröhre gar keinen Einfluss mehr. Der Anodenstrom fliesst, als ob das Gitter gar nicht da wäre. Dieser Unterschied erklärt sich durch die Wirkung des Lichtbogens im Quecksilberdampf, der den Einfluss des Gitters bis auf unbedeutende Reste herabmindert. Selbst wenn das Gitter während des Fließens des Anodenstroms neuerdings wieder negativ gemacht wird, ändert dies am Anodenstrom gar nichts; dieser kann erst dann wieder beeinflusst werden, wenn sich der Lichtbogen durch das Verschwinden der Anodenspannung von selbst gelöscht hat. Die Beeinflussung kann somit nur darin bestehen, dass der natürliche Anodenstrom am Fließen verhindert wird, so lange, als das Gitter unter negativer

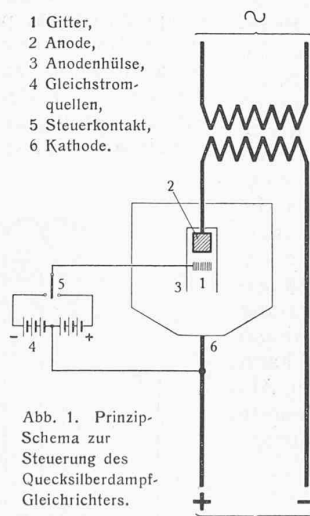


Abb. 1. Prinzip-Schema zur Steuerung des Quecksilberdampf-Gleichrichters.

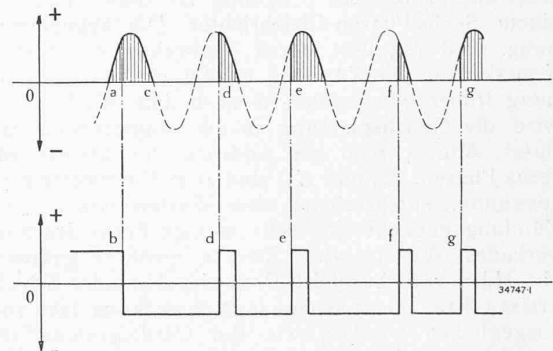


Abb. 2. Einfluss der Gitterspannung. Oberes Diagramm = Anodenspannung bzw. Anodenstrom. Unteres Diagramm = Gitterspannung.

Spannung steht. Eine Anode kann nur dann zünden, wenn sowohl die Anode als auch das Steuergitter positiv ist.

In Abb. 2 kommen diese Vorgänge in anschaulicher Weise zum Ausdruck. Das Gitter ist zunächst positiv, der Anodenstrom beginnt normal zu fließen. Bei *b* wird das Gitter negativ, was am Anodenstrom nichts ändert. Von *c* an bleibt dieser dann bis *d* unterbrochen infolge des negativen Gitters. Dort, wie in den folgenden Punkten *e*, *f* und *g* wird er durch einen positiven Stoss in das Gitter wieder zum normalen Fließen gebracht.

Mit der Eigenschaft der willkürlichen Zündung ergeben sich nun eine ganze Reihe von neuen technischen Anwendungsmöglichkeiten für den gesteuerten Gross-Gleichrichter, von denen die wichtigsten hier erörtert werden sollen.

### 1. DIE ABSCHALTUNG VON KURZSCHLÜSSEN UND DIE LÖSCHUNG VON RÜCKZÜNDUNGEN.

Wie leicht einzusehen ist, kann diese Funktion vom gesteuerten Gleichrichter ohne weiteres übernommen werden. Sämtliche Gitter stehen normalerweise unter positiver

Spannung, der Gleichrichter arbeitet in gewohnter Weise. Entsteht ein Ueberstrom, sei es infolge Kurzschluss im Netz oder infolge Rückzündung im Gleichrichter, so schaltet ein möglichst trägheitsloses Relais die Gitter auf negative Spannung. Dies hat zur Folge, dass die gerade brennenden Anoden zwar ihren Kurzschlussstrom noch höchstens eine halbe Periode weiterführen können, dann aber sicher am Wiederezündn verhindert werden, womit auch der Kurzschluss unterbrochen ist. Der ganze Kurzschluss wird in weniger als einer Periode gelöscht. Diese äusserst schnelle Reaktion, die vom besten mechanischen Schalter nicht erreicht wird, unterbricht den Kurzschluss so rasch, dass dieser in seinen Wirkungen kaum bemerkt wird. Abb. 3 zeigt das Oszillogramm einer solchen Kurzschlusslöschung.

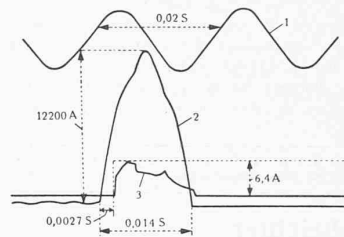


Abb. 3. Löschung eines Kurzschlusses. 1 Wechselspannung 50 Per/sec. 2 Kurzschlussstrom, 3 Gitterstrom.

2. DIE REGULIERUNG DER VOM GLEICHRICHTER ABGEBEBENEN SPANNUNG.

Wie schon Abb. 2 zeigt, kann der Anodenstrom teilweise oder auch ganz unterdrückt werden, indem kurze, positive Stösse im richtigen Moment auf das Gitter gegeben werden. Werden diese Stösse, relativ zum Anodenspannungsverlauf, immer im gleichen Zeitpunkt gegeben, so kann der Anodenstrom jeweils nur während eines bestimmten Bruchteils der Halbperiode fließen. Je nach der relativen Lage von Stoss und Halbperiode kann dieser Bruchteil grösser oder kleiner gemacht werden. Als Folge davon wird der resultierende Gleichstrom und dementsprechend auch die resultierende Spannung grösser oder kleiner. Es entsteht damit eine neue einfache Methode zur stetigen Regulierung der vom Gleichrichter abgegebenen Spannung.

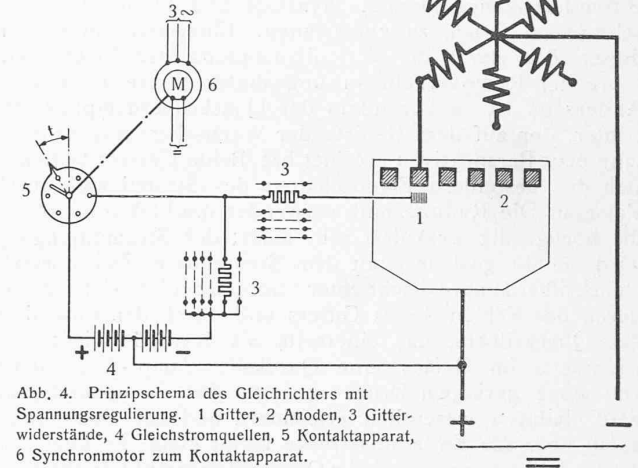


Abb. 4. Prinzipschema des Gleichrichters mit Spannungsregulierung. 1 Gitter, 2 Anoden, 3 Gitterwiderstände, 4 Gleichstromquellen, 5 Kontaktapparat, 6 Synchronmotor zum Kontaktapparat.

Die Gitterspannungstösse müssen synchron zur Anodenspannung gegeben werden. Dies lässt sich am einfachsten erreichen, indem man einen entsprechenden Kontaktapparat mit einem Synchronmotor antreibt. Abb. 4 zeigt die prinzipielle Schaltung für diese Regulierung an einem Sechs-Phasen-Gleichrichter. Die abgegebene Spannung wird reguliert durch Verdrehen der feststehenden Kontakteile. Die Zündung erfolgt relativ zur Anodenspannung früher oder später, je nach dem Winkel  $t$ . Dadurch wird die Gleichspannung in der angegebenen Art beeinflusst. Abb. 5 zeigt die Addition der Ströme sämtlicher sechs Phasen.  $E_m$  und  $E'_m$  sind zwei Mittelwerte der Gleichspannung, entsprechend zwei Werten von  $t$ . Durch die Zündung entsteht eine sehr zackige Form des Spannungsverlaufes, die für viele Zwecke nicht zu gebrauchen ist. Mit Hilfe von Ausgleich-Drosselspulen oder Schwingungskreisen kann diese Spannungsschwankung fast vollständig ausgeglichen werden, wie die Oszillogramme in Abb. 6 deutlich zum Ausdruck bringen. Selbstverständlich kann die Spannung auch automatisch reguliert werden, in Abhängigkeit von irgend einer Betriebsgrösse. Der gesteuerte Gleichrichter gestattet also mit einfachen Mitteln eine stetige und verlustlose Spannungsregulierung.

einem dieser Gleichrichter in dem Sinne angewendet, dass die Spannung im Rhythmus der neuen Frequenz auf und ab reguliert wird, so entsteht in der entsprechenden Wicklungshälfte ein pulsierender Wechselstrom entsprechender Frequenz. Er ist pulsierend, weil der Gleichrichter nur die eine Stromrichtung liefern kann. Die andere Stromrichtung ist aber sofort aus dem zweiten Gleichrichter erhältlich, der auf die andere Wicklungshälfte arbeitet und dessen Stromimpulse gerade in die Pausen des ersten fallen. Die Arbeitsweise dieser beiden Gleichrichter, die sich gegen-

3. DIE FREQUENZTRANSFORMATION.

Zwei Arten sind hier zu unterscheiden: Frequenztransformation mit starrer Kupplung und Frequenztransformation mit elastischer Kupplung.

a) Starre Kupplung.

Bei dieser sind die beiden Frequenzen starr miteinander verkuppelt, also z. B. so, dass die eine Frequenz unveränderlich dreimal grösser ist, als die andere. Dieser Fall wird zwar in der Praxis selten vorliegen, soll aber hier zum besseren Verständnis zunächst beschrieben werden. Die grösste Bedeutung hat wohl die Umwandlung von 50 periodigem Allgemeinwechselstrom in den  $16\frac{2}{3}$  periodigen Bahnwechselstrom.

Der prinzipielle Aufbau der Schaltung ist durch Abb. 7 wiedergegeben. Zwei Sechs-Phasen-Gleichrichter, die in einem Gefäss vereinigt sein können, arbeiten auf die beiden primären Wicklungshälften des Einphasentransformators. Wird nun die oben beschriebene Spannungsregulierung zunächst an

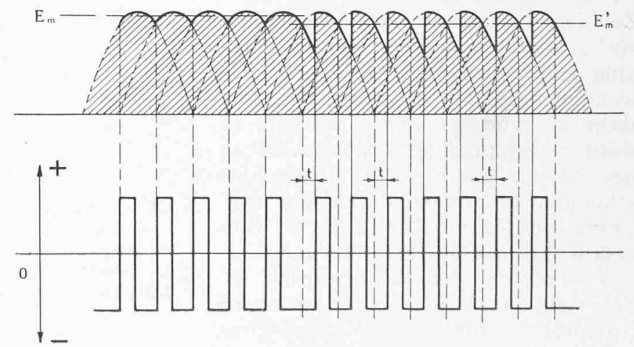


Abb. 5. Spannungsregulierung am Sechs-Phasen-Gleichrichter.  $E_m$   $E'_m$  = Mittelwerte der Gleichspannung,  $t$  = Zündpunktverstellung.

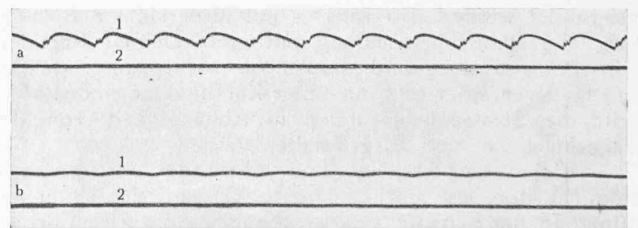


Abb. 6. Regulierte Gleichspannung ohne Kathodendrosselspule (a) und mit Kathodendrosselspule (b), Kathodenstrom rd. 800 A. 1 = um 20% regulierte Gleichspannung. 2 = Nulllinie zur regulierten Gleichspannung.

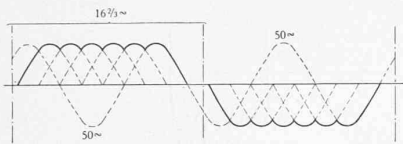


Abb. 8. Frequenztransformation von 50 auf 16 2/3 Per/sec.

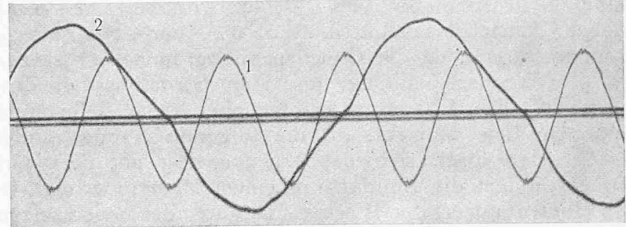


Abb. 9. Starre Frequenzumformung von Drehstrom von 50 Per/sec auf Wechselstrom von 15 Per/sec.

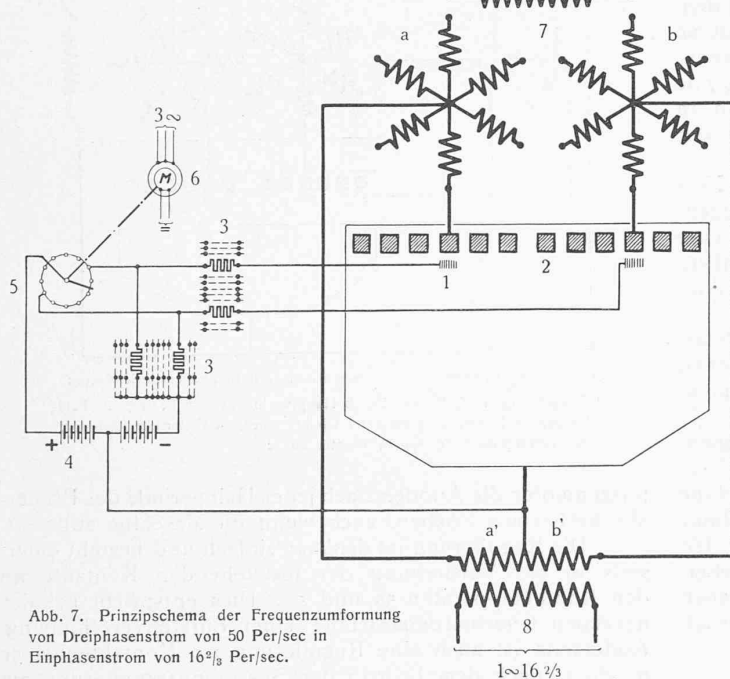


Abb. 7. Prinzipschema der Frequenzumformung von Dreiphasenstrom von 50 Per/sec in Einphasenstrom von 16 2/3 Per/sec.

- Legende zu Abb. 7 und 10:
- 1 Gitter,
  - 2 Anoden,
  - 3 Gitterwiderstände,
  - 4 Gleichstromquellen,
  - 5 Kontaktapparat,
  - 6 Synchronmotor zum Kontaktapparat,
  - 7 Dreiphasentransformator mit zwei Sekundärwicklungen,
  - 8 Einphasentransformator.

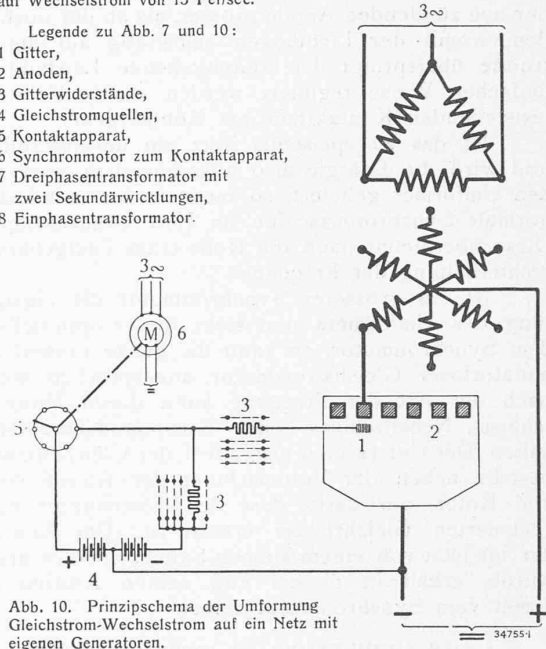


Abb. 10. Prinzipschema der Umformung Gleichstrom-Wechselstrom auf ein Netz mit eigenen Generatoren.

seitig unterstützen, geht am besten aus Abb. 8 hervor. Die entstehende Stromkurve gleicht zwar nur sehr schlecht einer Sinoide, doch gibt es auch hier Mittel, um die Kurvenform nach Notwendigkeit zu verbessern (Abb. 9). Die Kontaktgabe zur Steuerung geschieht, wie vorher, mit einem entsprechenden Kontaktapparat. Die Zündstösse in die Gitter müssen wie oben in bestimmter zeitlicher Abhängigkeit von der Primärspannung erfolgen. Der Kontaktapparat muss daher wieder mit einem Synchronmotor von der primären Seite her angetrieben werden. Da der Kontaktapparat bei jeder Umdrehung eine Periode der neuen Frequenz erzeugt, ist damit die starre Frequenzkopplung bedingt.

b) Elastische Kupplung.

Die starre Kupplung lässt sich nur dort anwenden, wo das sekundäre Netz keine Generatoren enthält, wo also das ganze Netz nur durch den beschriebenen Frequenzumformer gespeist wird. Im allgemeinen werden aber beide Netze eigene Generatoren enthalten. Die beiden Frequenzen werden dann höchst selten im Nominalverhältnis stehen; die Kupplung muss daher elastisch sein. Um die elastische Kupplung zu verwirklichen, bleibt der prinzipielle Aufbau gleich, bloss die Kontaktgabe an die Gitter muss modifiziert werden. Diese muss neben der primären Frequenz zugleich noch von der sekundären Frequenz abhängig werden. Das Problem wird gelöst durch eine entsprechende Kombination von zwei Kontaktgebern, wovon der eine von der primären Seite und der andere von der sekundären Seite synchron angetrieben wird. Die Uebertragung der Energie kann dabei in einfacher Weise durch Verdrehen der feststehenden Kontaktteile reguliert werden. Der eingestellte Energietransport ist unabhängig von allfälligen Schwankungen im Frequenzverhältnis.

Mit dieser Frequenzumformung besteht somit die Möglichkeit, nach Belieben Energie zwischen den Industrie- und den Bahnnetzen auszuwechseln. Die Umformung erfolgt rein elektrisch ohne Dazwischentreten von mechani-

scher Energie. Der Wirkungsgrad einer solchen Anlage stellt sich deshalb 10 bis 15% günstiger, als der einer entsprechenden mechanischen Umformeranlage.

4. UMFORMUNG GLEICHSTROM-WECHSELSTROM.

Wenn es gelingt, in der selben einfachen Weise Gleichstrom in Wechselstrom umzuformen, so ist damit ein Problem gelöst, dessen Lösung je länger je mehr zur Notwendigkeit wird. Bei den ständig steigenden Entfernungen in der Energieübertragung treten die bekannten Unannehmlichkeiten des Wechselstroms immer stärker in den Vordergrund. Als besserer Ersatz kommt nur hochgespannter Gleichstrom in Frage, sobald die Umformung Drehstrom-Gleichstrom und umgekehrt leicht und wirtschaftlich möglich wird, was mit dem gesteuerten Gleichrichter nun der Fall ist.

Die entsprechende prinzipielle Schaltung zeigt Abb. 10. Es sei zunächst angenommen, das zu speisende Netz sei ein grösseres selbständiges Netz. In ihm befinden sich also grössere Generatoren, die die Frequenz und die Spannung konstant halten. Der Anschlusstransformator muss dabei so gebaut sein, dass die Maximalspannung in den Sechs-Phasenzweigen ungefähr der Gleichspannung entspricht. Werden nun mit Hilfe des gesteuerten Gleichrichters die einzelnen Sechs-Phasenzweige der Reihe nach mit der Gleichstromquelle immer dann verbunden, wenn in ihnen der Momentanwert der Spannung etwas kleiner als entgegengesetzt gleich der Gleichspannung ist, so fliessen Stromimpulse ins Wechselstromnetz hinaus. Diese sind der Wechselfrequenz also immer entgegengerichtet. Es fliesst die Energie somit tatsächlich von der Gleichstromseite zur Wechselstromseite.

Im Ruhezustand sind alle Anoden durch negative Gitter gesperrt. Die jeweilige Anschaltung erfolgt durch momentane Freigabe der entsprechenden Anode, indem das Gitter vom Kontaktgeber her einen positiven Spannungstoss erhält. Der Kontaktgeber wird wie vorher mit

einem Synchronmotor vom Wechselstromnetz her angetrieben. Zunächst scheint es, als ob die Anode nun dauernd brennen müsste, da die Gleichspannung immer grösser ist als die Wechselspannung, und den Stromfluss dauernd unterhält. Die Löschung erfolgt aber doch selbständig immer in dem Moment, wo die folgende Anode zündet. Die Anoden lösen sich dabei gegenseitig ab; dies wird erreicht, indem die Zündung in einem Moment erfolgt, wo der Momentanwert der Wechselspannung der neu einsetzenden Anode noch kleiner ist, als jener der schon brennenden Anode. Die Brennspannung ist in diesem Moment an der neu zündenden Anode grösser, als an der noch brennenden, womit der Lichtbogen selbsttätig auf die folgende Anode überspringt. Die durchgehende Leistung kann in einfacher Weise reguliert werden durch Verstellen der feststehenden Kontaktteile am Kontaktgeber.

Ist das zu speisende Netz ein unselbständiges Netz und wird die Energie also ausschliesslich vom vorliegenden Umformer geliefert, so muss immer mindestens eine normale Synchronmaschine im Netz angeschaltet bleiben. Diese übernimmt dann die Rolle eines Taktgebers zur Aufrechterhaltung der Frequenz.

Ist ein grösserer Synchronmotor die einzige Belastung des Umformers und steht dieser unmittelbar neben dem Synchronmotor, so kann die ganze Einheit als kommutatorloser Gleichstrommotor angesprochen werden. Je nach der Art der Erregung kann dieser Motor Reihenschluss-, Nebenschluss- oder Compoundcharakteristik erhalten. Der Unterschied gegenüber der Gleichstrommaschine besteht, neben der Vertauschung der Rollen von Stator und Rotor, nur darin, dass der Kommutator durch den gesteuerten Gleichrichter ersetzt ist. Der Kontaktgeber, der bis jetzt von einem kleinen Synchronmotor angetrieben wurde, erhält in diesem Fall seinen Antrieb natürlich direkt vom Synchronmotor selbst.

#### 5. DER KOMMUTATORLOSE EINPHASENMOTOR.

Vom kommutatorlosen Gleichstrommotor bis zum kommutatorlosen Einphasenmotor ist es nun bloss noch ein kleiner Schritt. Während der erste nur *eine* Stromrichtung aufnimmt, muss der letzte *beide* Stromrichtungen verarbeiten können. Es muss also noch ein zweiter gesteuerter Gleichrichter für die andere Stromrichtung angeschaltet werden. Durch zweckmässige Kombination können wieder beide Gleichrichter in einem Gefäss vereinigt werden. Abb. 11 zeigt die entsprechende Schaltung für einen Reihenschlussmotor. 2a und 2b sind die Wicklungen für die eine, bzw. andere Stromrichtung. Beide Wicklungen sind gleich und liegen in den selben Nuten; sie unterstützen sich in den Halbperioden gegenseitig, so dass als Resultat ein pulsierender Gleichstrom zur Wirkung kommt. Die Rückleitung von der Kathode weg zum Transformatormittelpunkt ist gemeinsam und führt in diesem Fall über die Feldwicklung der Serie-Erregung. Die Kontaktgeber 5a und 5b sind wieder mechanisch mit dem Rotor der Maschine verbunden. Im Prinzipschema kommt hier deutlich zum Ausdruck, dass der gesteuerte Gleichrichter neben der Gleichrichtung die Funktion eines Kommutatorrelais übernimmt. Die Kommutation kann mit ganz geringen Energien (etwa  $1/10000$  der Anodenenergie) und daher mit entsprechend kleinen Kontaktgebern bewältigt werden. Die schwierigen Kommutationsprobleme fallen ganz dahin. Beim Einphasenmotor wird noch ein weiterer Kontaktapparat 5c benötigt, der vom Synchronmotor 6 angetrieben wird und der abwechselungsweise die beiden Gleichrichter 3a und 3b in Gang setzt, nach Massgabe der primären Stromwechsel.

Der Einphasenmotor weist gegenüber dem besprochenen Gleichstrommotor einen wesentlichen Vorteil auf. Während dieser letztere durch äussere Hilfsmittel zuerst angelassen werden muss, kann jener aus dem Stillstand mit vollem Drehmoment ohne weiteres anlaufen. Der Unterschied rührt davon her, dass beim Gleichstrommotor die Löschung der Anoden nur erfolgen kann, wenn die Maschine bereits eine Gegenspannung erzeugt, während beim Ein-

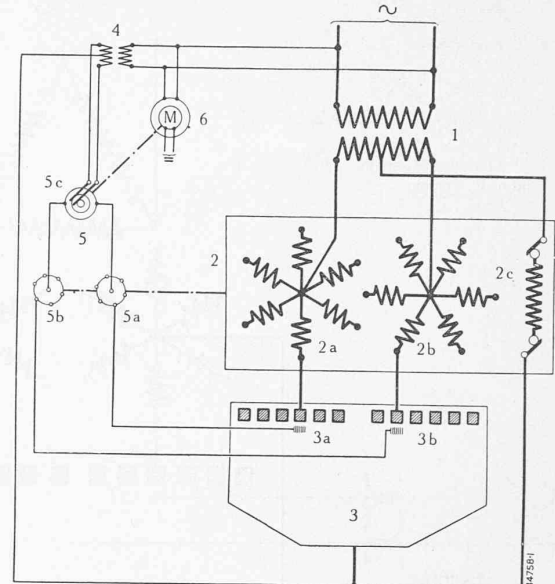


Abb. 11. Prinzipschema des kommutatorlosen Einphasen-Serie-Motors.  
1 Transformator, 2 Motor, 2a, 2b Hauptwicklungen im Stator, 2c Feldwicklung im Rotor, 3 gesteuerter Gleichrichter, 4 Gittertransformator, 5 Kontaktapparat, 6 Synchronmotor zu 5c.

phasenmotor die Anoden nach jeder Halbperiode des Primär-Wechselstroms löschen, auch wenn die Maschine stillsteht.

Die Regulierung ist denkbar einfach und besteht einerseits in der Verdrehung der feststehenden Kontakte an den Kontaktapparaten 5a und 5b. Dies entspricht bei der normalen Gleichstrommaschine einer Bürstenverschiebung. Andererseits ist auch eine Regulierung am Kontaktgeber 5c möglich, nach dem Prinzip der Spannungsregulierung am Gleichrichter. Beide Regulierungen werden kombiniert.

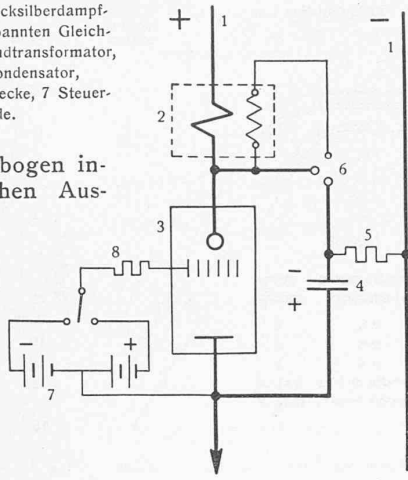
Diese Eigenschaften machen den kommutatorlosen Einphasenmotor vorzüglich geeignet als Bahnmotor. Nicht bloss deshalb, weil nun mit einem Schlage alle Kommutatoren, Stufenschalter, Anfahrwiderstände, Wendeschalter und Stufentransformatoren im Motorenstromkreis wegfallen, sondern vor allem auch deshalb, weil der neue Motor mit irgend einer Frequenz, also mit z. B. 50 Per/sec zu arbeiten gestattet. Der speisende Wechselstrom kann somit direkt dem Allgemeinversorgungsnetz entnommen werden. Die abnormale Bahnnetzfrequenz von  $16\frac{2}{3}$  Perioden musste bekanntlich mit Rücksicht auf die Kommutation der Triebmotoren eingeführt werden. Der neue Motor kennt nicht bloss diese Schwierigkeiten nicht mehr, sondern er ist ganz frequenzunabhängig, weil er dank des Gleichrichters immer mit Gleichstrom arbeitet. Die Geschwindigkeitsregulierung einer solchen Lokomotive wird äusserst einfach und besteht lediglich in der kontinuierlichen Verdrehung eines kleinen Handrades, mit dem die Fahrgeschwindigkeit von voller Rückwärts- über Stillstand bis zu voller Vorwärts- geschwindigkeit stetig reguliert wird. Dies geschieht ohne Dazwischentreten irgend eines Stufen- oder Oelschalters, nur durch entsprechende Steuerung des Gleichrichters. Es ist weiterhin ohne grosse Komplikation möglich, die Motoren zur Rekuperation heranzuziehen.

Angesichts der grossen Vorteile der neuen Lokomotive wird die weitere Entwicklung durch diese Neuerung aufs stärkste beeinflusst werden. Die Firma Brown Boveri & Cie. baut gegenwärtig eine entsprechende Versuchslokomotive für 15000 Volt Fahrdrachtspannung bei 50 Per/sec.

#### 5. DIE ABSCHALTUNG VON KURZSCHLÜSSEN IM GLEICHSTROMNETZ.

Schliesslich kann der gesteuerte Gleichrichter auch noch dazu verwendet werden, um Kurzschlüsse im Gleichstromnetz innert äusserst kurzer Zeit abzuschalten. Die Lösung dieses Problems ist bei Gleichstrom jedoch nicht so einfach, wie für Wechselstrom. Beim Wechselstrom

Abb. 12. Gittergesteuertes Quecksilberdampfventil als Schalter für hochgespannten Gleichstrom. — 1 Gleichstrom, 2 Zündtransformator, 3 Quecksilberdampfventil, 4 Kondensator, 5 Ladewiderstand, 6 Funkenstrecke, 7 Steuerstromquelle, 8 Gitterwiderstände.



löscht sich der Lichtbogen infolge des periodischen Aussetzens von selbst.

Dies ist beim Gleichstrom nicht der Fall. Es nützt hier nichts, an die Gitter eine negative Spannung anzulegen, der Lichtbogen wird dadurch nicht beeinflusst.

Dieser löscht erst dann, wenn zur negativen Gitterspannung auch noch ein kurzer Unterbruch des Anodenstromes hinzutritt. Dieser kurze Unterbruch kann mit einem parallel zum Gleichrichter geschalteten Kondensator erreicht werden; Abb. 12 zeigt die entsprechende Schaltung. Die Wirkungsweise ist die folgende: Das einpolige Schaltventil, das in den positiven Leiter der Gleichstromleitung eingeschaltet wird, erhält während des normalen Betriebes, d. h. bei fließendem Anodenstrom immer eine negative Gitterspannung, um jederzeit ausschaltbereit zu sein. Der Kondensator 4 wird über den Ladewiderstand 5 auf die angegebene Polarität aufgeladen. Tritt nun ein Kurzschluss auf, so wird auf der sekundären Seite des Zündtransformators eine hohe Spannung induziert infolge der starken Stromstärkeänderung auf der primären

Seite. Diese Spannung bringt die Funkenstrecke 6 zum Ansprechen, der Kondensator 4 entlädt sich augenblicklich über das Ventil. Die Entladestromrichtung ist der Kurzschlussstromrichtung im Ventil aber entgegengesetzt, und der Anodenstrom erfährt dadurch einen kurzen Unterbruch, der genügt, um den Lichtbogen zu löschen. Die negative Gitterspannung verhindert dann das Wiederspülen, und der Stromkreis bleibt unterbrochen.

Der neue Schalter enthält gar keine mechanisch sich bewegenden Teile und ist in seiner Wirkung deshalb äusserst rasch. Bei Versuchen mit 1500 V Gleichspannung wurden Kurzschlüsse in der äusserst kurzen Zeit von nur 0,015 bis 0,002 sec sicher abgeschaltet.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass mit der Entwicklung des gesteuerten Grossgleichrichters ein Apparat entstanden ist, dessen Verwertungsgebiet noch kaum zu übersehen ist. Nachdem er anfänglich nur dazu verwendet wurde, gewisse Funktionen sicherer und besser zu erfüllen, die vorher durch empfindliche Mechanismen ausgeführt werden mussten, wie z. B. das Abschalten von Kurzschlüssen, so haben sich mit der Zeit ganz neue Anwendungsgebiete für ihn gezeigt. Seine ausserordentlich hohe Empfindlichkeit, die erlaubt, mit einer kleinen Energie eine 1000 mal grössere Energie zu steuern, und seine Trägheitslosigkeit machen ihn für gewisse Zwecke unentbehrlich. Wenn auch seine Entwicklung noch ziemlich in den Anfängen steckt, so sind doch auf dem Prüfstand schon jetzt ganz ansehnliche Leistungen zu verzeichnen. Umsomehr ist zu erwarten, dass seine weitere Entwicklung in den nächsten Jahren grosse Fortschritte machen wird und dass er in der Praxis ebensoschnell Eingang finden wird, wie vor wenigen Jahren der jetzt geläufige Quecksilberdampf-Gleichrichter.

Dipl. Ing. Max Dick, Zürich.

## Quelques propriétés du ciment et du béton: Dilatation, retrait, élasticité.

Par H. JUILLARD, ingénieur-adjoint au directeur des „Kraftwerke Oberhasli A.-G.“, Innertkirchen.

(Suite de la page 15.)

### II. RETRAIT.

Le retrait est connu depuis longtemps comme étant la cause de la fissuration des constructions de béton que l'on a si souvent l'occasion d'observer. Le phénomène du retrait a déjà été fréquemment étudié, mais les résultats des observations effectuées jusqu'à ce jour diffèrent notablement. Non seulement les lois fondamentales qui le régissent sont encore inconnues, mais on ignore s'il est possible de modifier les propriétés du ciment afin de limiter le danger que présente le retrait, ou si on ne peut en éviter les conséquences nuisibles que par des artifices de construction.

La condition essentielle pour étudier le retrait est d'effectuer les essais dans des conditions bien définies, car ce phénomène dépend principalement de l'état hygrométrique du milieu dans lequel les corps sont placés. L'humidité relative de l'atmosphère dépend dans une forte mesure de la température. En plein air les variations journalières peuvent atteindre couramment 30 à 40 %. Dans les locaux habités l'humidité varie avec la température du local et avec la différence de température entre l'extérieur et l'intérieur; pour cette raison il n'est pas rare qu'en hiver l'humidité relative des locaux chauffés descende jusqu'à 30 %. Lorsque l'humidité relative varie pour ainsi dire constamment il est non seulement difficile d'en enregistrer les variations, mais pratiquement impossible de déterminer la loi dont dépend le retrait observé. C'est probablement la raison pour laquelle les appréciations sur le retrait sont si différentes. Pour éviter de fausses conclusions, il est donc indispensable de placer les corps étudiés dans un milieu dont on peut régler la température et la tension de la vapeur d'eau ou le degré d'humidité relative, ce que nous avons fait en étudiant les variations de longueur de différentes séries de corps en ciment et en béton pour cinq degrés hygrométriques.

### a) Conservation des éprouvettes dans l'eau.

Nous avons déjà constaté plus haut que les ciments conservés sous l'eau accroissent non seulement leur volume, mais aussi leur densité et que l'intensité avec laquelle ce phénomène s'opère dépend de la température. Pour observer rigoureusement ces propriétés, il est indispensable que les éprouvettes soient immergées dès le début de la prise du ciment. Lorsque au contraire le ciment pur est exposé à l'air pendant la prise et les premières heures consécutives, il perd facilement une quantité d'eau de 1 à 2 % de son poids. Après immersion, cette perte n'est compensée que lentement. Il est alors difficile d'évaluer le retrait subi à l'air pendant le premier durcissement du ciment et de déterminer quel rôle il joue dans le gonflement qui se produit dès que le corps est immergé.

Des prismes de ciment pur conservés dans l'eau à la température moyenne de 15°, et n'ayant subi aucun retrait préalable, ont montré un gonflement linéaire de 0,3 à 0,6 % en 6 mois. Le gonflement atteint 1 % lorsque la température de conservation est de 40°. A la température ordinaire l'accroissement linéaire du béton immergé est d'environ 0,1 %. L'augmentation de poids résultant de l'absorption d'eau est de beaucoup plus importante que l'augmentation de volume. La détermination du poids a été faite en laissant rigoureusement les éprouvettes sous l'eau, même pour effectuer les pesées, ce qui est très important. De cette manière la variation du volume des pores

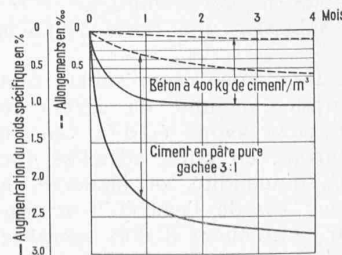


Fig. 2. Allongement linéaire et augmentation du poids spécifique de prismes de ciment et de béton conservés dans l'eau dès le début de la prise.