

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 14 (1923)  
**Heft:** 4

**Artikel:** Die Steuerung der Wechselstromlokomotiven  
**Autor:** Döry, Ivan  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1057580>

### **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>**

metrisch aufgebauter Wicklung ( $f = 0$ ) verschwindet, wie nicht anders zu erwarten, die Schubkraft.

Die Gleichungen (13) und (19) lassen sich wiederum zusammenfassen in

$$P_f = 8,12 \left( \frac{Bq}{10000} \right)^2 \frac{f}{\lambda_0 \delta^2} \frac{\frac{1}{\pi} \left[ \ln \sqrt{\frac{h^2 + \delta^2}{f^2 + \delta^2}} + 1 - \frac{\delta}{f} \operatorname{arctg} \frac{f}{\delta} \right]}{\left[ \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{h}{\delta} + \frac{h}{\delta \pi} \ln \sqrt{\frac{h^2 + \delta^2}{h^2}} - \frac{\delta}{h \pi} \ln \sqrt{\frac{h^2 + \delta^2}{\delta^2}} \right]^2}$$

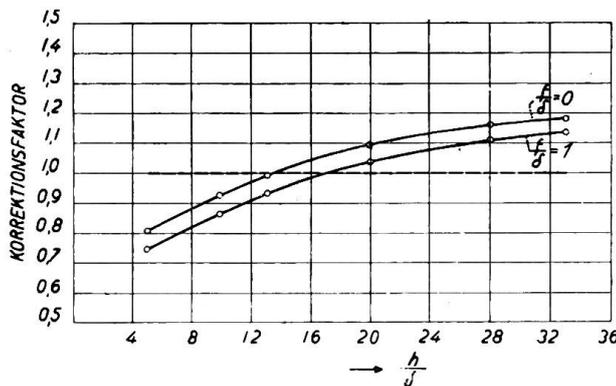


Fig. 8

Korrektionsfaktor für die nach Gleichung (20) berechnete Schubkraft.

$$\text{Korrektionsfaktor} = \frac{\frac{1}{\pi} \left( \ln \sqrt{\frac{h^2 + \delta^2}{f^2 + \delta^2}} + 1 - \frac{\delta}{f} \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{f}{\delta} \right)}{\left( \frac{2}{\pi} \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{h}{\delta} + \frac{h}{\delta \pi} \ln \sqrt{\frac{h^2 + \delta^2}{h^2}} - \frac{\delta}{h \pi} \ln \sqrt{\frac{h^2 + \delta^2}{\delta^2}} \right)^2}$$

Grenzen 0 und 1. Wir können somit folgende einfache Gleichung für die durch die Wicklungsunsymmetrie  $f$  bedingte Schubkraftanschieben.

$$P_f = 8,12 \left( \frac{Bq}{10000} \right)^2 \frac{f}{\lambda_0 \delta^2}, \tag{20}$$

deren Genauigkeit für praktische Zwecke vollkommen ausreicht, solange

$$\frac{h}{\delta} > 5 \text{ und } \frac{f}{\delta} < 1.$$

(Fortsetzung folgt.)

## Die Steuerung der Wechselstromlokomotiven.

Von Dr. Ivan Döry, Chemnitz.

Der Autor schildert die Entwicklung der zur Geschwindigkeitsreglung von Wechselstromlokomotiven gebräuchlichen Schaltvorrichtungen und bespricht die Wirkungsweise und Eigenschaften der wichtigsten Ausführungsarten verschiedener Konstruktionsfirmen. Als Neuerung auf diesem Gebiete beschreibt der Autor eine Steuerung, welche die Vorteile der Bürstenverschiebung und des Potentialreglers einschliesst und jeglicher Schalter entbehrt.

L'auteur décrit les différentes méthodes employées actuellement par les principaux constructeurs pour le réglage de la vitesse des moteurs de locomotive à courant monophasé. Il explique ensuite un nouveau genre de réglage qui réunit les avantages du réglage par déplacement des balais et du réglage par variation de la tension d'alimentation et qui ne nécessite ni interrupteurs ni appareil à touches.

Der elektrische Vollbahnbetrieb stellt an die zur Geschwindigkeitsreglung der Wechselstromlokomotiven nötigen Einrichtungen sehr hohe Anforderungen. Das kommt daher, dass die Lokomotiven Leistungen bis 3000 PS und Motorströme bis

10000 Amp. haben, die durch die Steuerung zwangläufig und auf handliche Weise in vielen Fahrstufen schnell und funkenfrei geregelt werden müssen.

Die Bemühungen, eine Steuerung zu schaffen, die diesen Anforderungen genügt, hat zu einer grossen Mannigfaltigkeit von Ausführungsarten geführt. Die ihnen gemeinsamen Grundgedanken sollen nachstehend hervorgehoben und ihre Entwicklung in grossen Zügen angedeutet werden.

Für geringe Fahrzeugleistungen war es naheliegend, die im Gleichstrom-Strassenbahnbetrieb bewährte Kontrollersteuerung auch im Wechselstrombahnbetrieb beizubehalten. An die Stelle der Gleichstromwiderstände trat der Wechselstromtransformator mit Anzapfungen. Solange die Ströme klein und wenig Stufen ausreichend waren, genügten wenige, schmale, auf eine Kontrollerwalze von noch handlichen Abmessungen aufgereichte Kontaktsegmente. Die Walze war leicht bedienbar. Sie war auch zwangläufig. Jeder Stellung ihrer Kurbel war auch eine Stellung der Walze eindeutig zugeordnet. Für grosse Leistungen aber wurde der Kontroller unhandlich und schwer bedienbar. Die grossen Kontaktflächen und die hohen Ströme erforderten Anpressungsdrücke, die von Hand nicht mehr ausgeübt werden konnten. Man musste dazu übergehen, den Kontroller zu entlasten. Man nahm ihm die Schaltung der Arbeitsströme ab und übertrug sie besonders Einzelschaltern, Hüpfern oder Schützen, die vom Kontroller ferngeschaltet oder gemeistert wurden. Aus dem Arbeitskontroller war ein Meister- oder Steuerkontroller geworden, aus der Kontrollersteuerung eine Schützen- oder Hüpfersteuerung.

Der Ersatz der auf die Kontrollerwalze aufgereihten Kontakte durch Fernschalter oder Schützen befähigt die Steuerung, grosse Ströme in vielen Stufen zu beherrschen (Fig. 1). Die Schützen können an beliebiger Stelle des Fahrzeuges untergebracht werden,

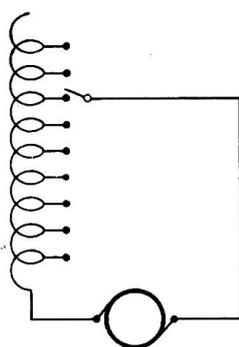


Fig. 1

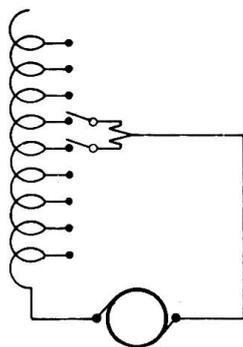


Fig. 2

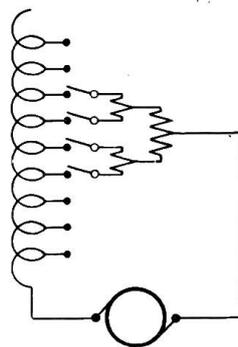


Fig. 3

wo Raum zu reichlicher Bemessung der Kontakte und zur Aufstellung einer genügend grossen Schützenszahl vorhanden ist. Die Meisterwalze hat nur den geringen Steuerstrom zu schalten, ist handlich und leicht bedienbar. Die Schützensteuerung genügt daher vielen Anforder-

ungen des Bahnbetriebes. Nur die Zwangläufigkeit fehlt ihr. Es besteht keine Gewähr dafür, dass die Schützen die Befehle des Führers ausführen. Es kann vorkommen, dass die Kontakte eines Schützes kleben bleiben, ja sogar, dass feindliche Schützen anspringen und zum Kurzschluss führen. Um sich davor zu schützen, hat man die Hüpfer mit Sperrkontakten versehen. Die ganze Schützensteuerung hat oft mehrere hundert Haupt- und Sperrkontakte. Freilich kann sie die Zwangläufigkeit auch durch noch so viele Sperrkontakte nicht gewinnen. Neben diesem Mangel bilden die vielen Kontakte selbst die schwache Stelle der Schützensteuerung. Das Versagen eines einzigen Kontaktes genügt, um die Steuerung in Unordnung zu bringen. Diese Gefahr wächst mit der Grösse der Schützen und der geschalteten Ströme.

Man war daher bestrebt, die Zahl und Grösse der Kontakte zu vermindern. Man war bemüht, Anordnungen zu finden, die die Beherrschung der grossen Ströme in vielen Stufen mit wenigen und kleinen Schützen erlauben.

Den Auftakt zu dieser Entwicklung gab die Stromspaltung mittels eines einfachen Spannungsteilers (Fig. 2). Bei dieser Schaltung sind auf jeder Geschwindigkeits-(Dauer-)Stufe zwei Schützen gleichzeitig eingeschaltet. Deshalb braucht jedes Schütz für nur den halben Strom bemessen zu werden. Diese Schaltung ist oft ver-

wendet worden, weil sie die Energieunterbrechung beim Schalten vermeidet. Man blieb bei ihr nicht stehen. Die *Siemens-Schuckert-Werke* führten auf ihrer preussischen

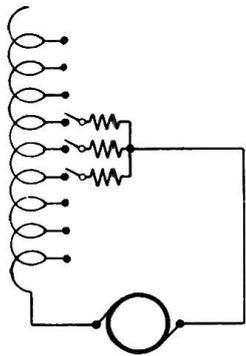


Fig. 4

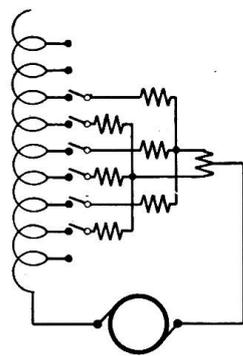


Fig. 5

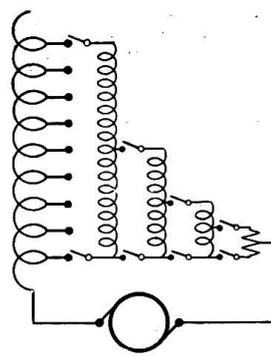


Fig. 6

1  $\pm$  C - 1 Schnellzugslokomotive einen Dreifachspannungsteiler aus, der drei gleichzeitig eingeschaltete Schützen für je  $\frac{1}{3}$  des Motorstromes erfordert. Die *Westinghouse-Gesellschaft*, die *Bergmann-Elektrizitätswerke* und die *Almänna-Svenska-Elektrizitätsgesellschaft* gingen durch die Verwendung mehrerer

zur Vierteilung, Sechsteilung und Mehrteilung des Stromes über (Fig. 3-6). Die Grösse der Schützen wurde dadurch auf  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{4}$  und  $\frac{1}{n}$  vermindert. Um auch ihre Zahl zu verringern, verwendete man Zusatztransformatoren in verschiedenen Anordnungen.

Die erste Anwendung des Zusatztransformators rührt von *Lamme* her (Fig. 7). Ersichtlich braucht man für eine Anzahl Stufen nur noch die halbe Schützenszahl,

weil jedes Schütz in der benutzten Zu- und Gegenschaltung des Zusatztransformators zweimal verwendet wird. Die *Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft* hat den Zusatztransformator als Volltransformator ausgebildet, wodurch er zugleich die Schaltströme vermindert. Der Verfasser hat auch darüber hinaus den Zusatztransformator gleichzeitig noch primär weiterschaltet und sekundär geregelt und durch diese Grob- und Feinreglung des Zusatztransformators sowohl die Zahl der Schützen als auch ihre Grösse bis auf einen Bruchteil vermindert (Fig. 8). Diese Steuerung gestattete zum erstenmal sehr grosse Motorströme in sehr vielen Stufen mit so wenigen

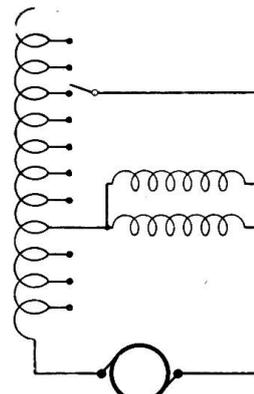


Fig. 7

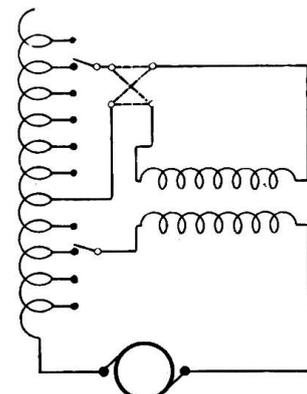


Fig. 8

und so kleinen Schützen zu steuern, dass sie in Form einer Schaltwalze nebeneinandergereiht durch Kurvenscheiben von Hand bedient werden können. Dadurch wurde unbedingte Zwangsläufigkeit erreicht, Sperrkontakte und -Leitungen aber trotzdem vollständig vermieden. Die gedrängte Form der Schaltwalze erlaubte überdies ihre Anordnung auf dem Transformator unmittelbar über den zu den Schützen gehörigen Anzapfungen. Dadurch entfielen die Verbindungsleitungen zwischen Schaltwalze und Transformator.

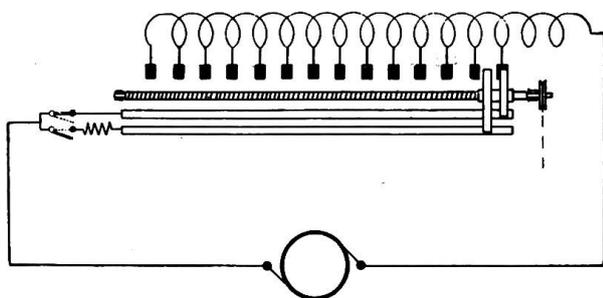


Fig. 9

Die *Maschinenfabrik Oerlikon* hatte schon vorher die Schützen der C + C Löttsberg-Lokomotive zu einer Schalt-

walze vereinigt und auf den Transformator aufgebaut, aber durch ein Klinkwerk angetrieben und durch Relais gesteuert. Die erstrebte Zwangsläufigkeit war damit noch nicht erreicht.

Die Vorzüge einer von Hand bedienten Steuerung haben *Brown, Boveri & Co.* zur Ausbildung eines Schlittenschalters geführt, der nach Art eines Zellschalters wirkt und den Kurzschluss zweier gleichzeitig überdeckten Kontakte durch einen Uberschaltwiderstand vermeidet. Die Leistungsschaltung ist auf besondere Funkenzieher verlegt, die beim Weiterschalten auf jeder Stufe den vollen Strom unterbrechen müssen (Fig. 9).

Die zu Schlitten und Walzen aufgereihten Schütze haben die Schützensteuerung von Sperrkontakten und -Leitungen und von einer grossen Zahl von Starkstromleitungen befreit. Die von der Zu- und Abschaltung der Leistung herrührenden, den Schützen eigentümlichen Nachteile (Funkenbildung usw.) aber waren ihnen geblieben. Um auch sie zu vermeiden, verwendete Professor *Rudolf Richter* einen Potentialregler, der durch die Stetigkeit der Regelung und durch den Mangel an Kontakten für grosse Motorströme besonders geeignet schien.

In der üblichen Zu- und Gegenschaltung des Reglers (Fig. 10) war seine Leistung freilich so gross und sein Gewicht so schwer, dass er im Bahnbetrieb nicht brauchbar war. Es kam hinzu, dass sein Magnetisierungsstrom des Luftspaltes wegen gross und sein Leistungsfaktor niedrig war.

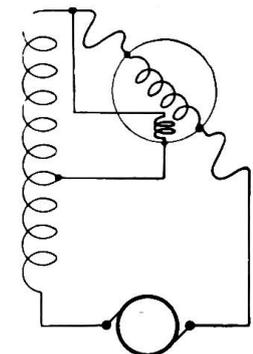


Fig. 10

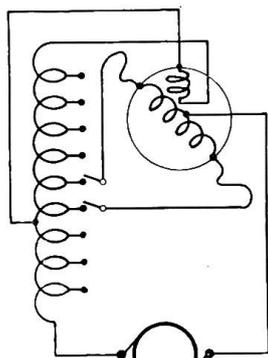


Fig. 11

*Richter* liess den Regler an den Anzapfungen eines Stufentransformators abrollen und weiterschalten (Fig. 11). Dadurch wurde seine Leistung auf die Leistung einer Stufe vermindert. Er wurde leichter und handlicher. *Richter* vereinigte schliesslich die Schalter zu einer Walze, die mit dem Regler gekuppelt war und ihn nur dann am Transformator weiterschaltete, wenn die von der Reglerverdrehung abhängige Spannung zwischen den Polen der Schalter Null war. Durch diese Massnahme haben die Schalter keine Leistung mehr zu schalten und schliessen und öffnen funkenfrei.

Obwohl sich die Schaltung im Betrieb sehr gut bewährt hat, standen der allgemeinen Einführung der Reglersteuerung Schwierigkeiten entgegen, die vom Reglerantrieb herrührten. Der Regler besitzt ein grosses Drehmoment, das zum motorischen Antrieb zwingt. Die Ausführung eines zuverlässigen Antriebs ist nach den bisherigen Erfahrungen zwar keine Frage mehr. Da er aber der Steuerung die Zwangsläufigkeit nimmt und überdies ein vierteiliger und unübersichtlicher Apparat ist, konnte sich der Regler nicht dauernd behaupten.

Es gab indes noch einen andern Weg, der so wie der Regler, ohne Schalter und Kontakte, zur stetigen Aenderung der Geschwindigkeit führte:

Seit *Görges* vor mehr als 30 Jahren die Geschwindigkeitsreglung des Wechselstromkollektors durch Bürstenverschiebung zum erstenmal gezeigt hat, haben die Bestrebungen nicht aufgehört, diese einfache und handliche Steuerungsart dem Bahnbetrieb nutzbar zu machen. Die Geschwindigkeitsreglung durch Bürstenverschiebung am Motor beherrschte die grossen Motorströme in sehr vielen Stufen, sie war leicht und schnell bedienbar und unbedingt zwangsläufig. Sie entsprach allen Anforderungen des Betriebs.

Die Reglung durch Bürstenverschiebung war indes, wenn sie sich über das ganze Regelbereich erstrecken sollte an den Repulsionsmotor gebunden. Aber gerade dieser Motor hat im Laufe der Entwicklung dem einfachen Reihenschlussmotor weichen müssen, dessen Geschwindigkeit sich nur in engen Grenzen durch Bürstenverschiebung ändern lässt. Es kommt hinzu, dass die Kommutierung unter der Bürstenverschiebung leidet und zur Funkenbildung am Kollektor führt. Die mit der wachsenden Leistung des Einphasenbahnmotors eingeführten Wendepole setzen not-

wendig eine feste Bürstenstellung voraus. Die Bürstenverschiebung am Motor hat mit der fortschreitenden Vervollkommnung des Einphasenbahnmotors nicht Schritt gehalten.

Auf die preussische Güterzugslokomotive EG 504 von der *A.-G. Brown, Boveri & Cie.*, die noch einen *Deri*-Motor mit reiner Bürstenverschiebungssteuerung in der ihr von *Schnetzler* verliehenen Form besass, folgte die Güterzugslokomotive EG 502 der *Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft* mit einem doppelt gespeisten *Winter-Eichberg*-Motor, der nur beim Anfahren und im untersten Geschwindigkeitsbereich durch Bürstenverschiebung geregelt wurde. Für die Vor- und Rückwärtsfahrt waren nach dem Vorschlag des Verfassers den Bürstenstellungen entsprechende, getrennte, besondere Wendepole vorgesehen (Fig. 12).

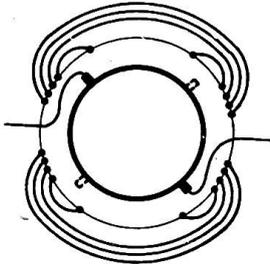


Fig. 12

Professor *Müller* vermied bei den Motoren der schlesischen Schnellzugslokomotive ausgeprägte Wendepole überhaupt und erzeugte durch eine eigenartige Ausbildung der Ständerwicklung auch bei beliebiger Bürstenstellung passende Wendefelder. *Müller* verkleinerte überdies das durch Bürstenverschiebung gedeckte Regelbereich des Motors und rollte gewissermassen die Bürstenverschiebung – ähnlich wie *Richter* den Regler – an Anzapfungen eines Stufentransformators ab. Die dafür notwendige Abwechslung zwischen Bürstenverschiebung und Spannungsänderung hat aber zu einem verwickelten Antriebsmechanismus geführt. Dadurch hat die Steuerung ihre Ueberlegenheit, die gerade auf der Einfachheit der Bürstenverschiebung beruhte, wieder eingebüsst. Die *Bergmann Elektrizitätswerke* regeln deshalb in neueren Ausführungen die Geschwindigkeit im Arbeitsgebiet des Motors ausschliesslich durch Schützen. Erst in der Endstellung der Schützensteuerung wird die Höchstgeschwindigkeit des Motors auf der höchsten Spannungsstufe auch noch durch Bürstenverschiebung eingestellt.

So kam es dass die Bürstenverschiebung und der Regler trotz vieler ihnen verliehenen blendenden Eigenschaften allmählich den Schützen wieder weichen mussten. Die Nachteile des Reglerantriebs und der veränderlichen Bürstenstellung am Motor haben ebenso zu dieser Entwicklung beigetragen, wie die durch vervollkommnete Ausführung erreichte hohe Zuverlässigkeit grosser Schützen. Die Schützensteuerungen erlauben freilich nur sprunghafte Aenderungen der Spannung und Geschwindigkeit. Die Leistungs- und Spannungssprünge sind überdies recht grob. Die Stufenzahl ist trotz der erheblichen Zahl von Schaltern und Kontakten, von Anzapfungen und Verbindungsleitungen eng begrenzt. Die stetige Aenderung, die die Regler- und Bürstenverschiebungssteuerungen zulassen, gestatten dagegen, die Zugkraft unter allen Betriebsverhältnissen so einzustellen, dass sie möglichst gleichmässig nahe an der Reibungsgrenze liegt. Das ist besonders für Güterzugslokomotiven im Gebirge ein erheblicher betriebstechnischer Vorteil. Regler und Bürstenverschiebung beherrschen die grössten Ströme, ohne sie zu schalten und sind den Schützen auch an Betriebssicherheit, Einfachheit und Uebersichtlichkeit überlegen. Aber während der Potentialregler seines Luftspaltes wegen einen schlechten Leistungsfaktor hatte und seines Drehmomentes wegen eines motorischen Antriebes bedurfte, litt die Bürstenverschiebung unter den Eigenschaften des dafür geeigneten Motors, während umgekehrt die guten Eigenschaften des Motors unter der Bürstenverschiebung litten.

Vereinigt man indes die Vorteile des Potentialreglers mit den Vorteilen der Bürstenverschiebung und verleiht man dem Regler einen Kollektor und ändert seine Spannung durch Bürstenverschiebung, so kann der Regler die Vorzüge der Bürstenverschiebung, die Bürstenverschiebung aber die Vorzüge des Reglers voll zur Geltung bringen.

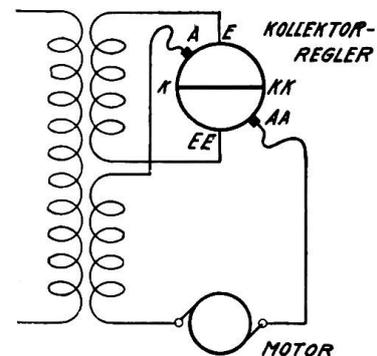


Fig. 13

Die Bürsten können von Hand verschoben werden. Die Nachteile des motorischen Reglerantriebes sind daher vermieden. Der Regler kann ohne Lager und ohne Luftspalt ausgebildet werden. Damit sind auch die vom Luftspalt herrührenden Nachteile vermieden. Die Bürsten werden am Kollektor des Reglers und nicht mehr am Kollektor des Motors verschoben. So behält der Motor auch den Vorteil fester Bürstenstellung.

Bürstenverschiebung und Regler sichern einander derart gegenseitig die Ueberlegenheit, wo sie gemeinsam verwendet werden und überragen die Schützen-, Walzen- und Schlittensteuerung an Einfachheit, Handlichkeit und Uebersichtlichkeit der Bedienung, an Stetigkeit der Regelung, Zwangläufigkeit und Betriebssicherheit.

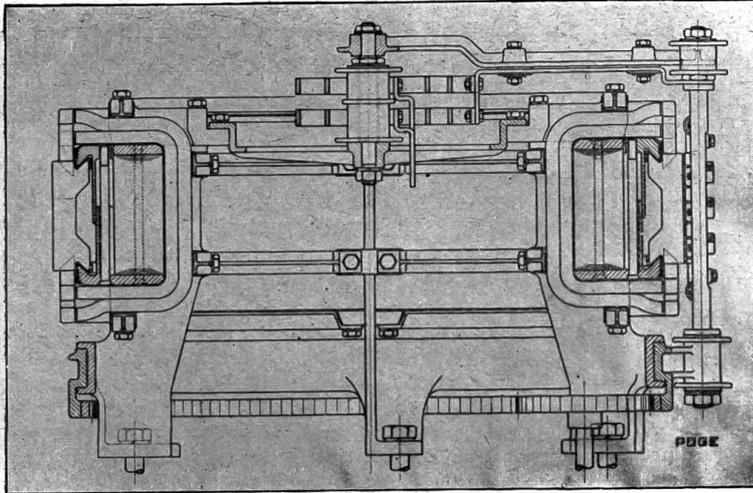


Fig. 14

Die Fig. 14 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines von der *Pöge Elektrizitäts-Aktiengesellschaft* ausgebildeten Reglers mit Bürstenverschiebung. Die Kollektorwicklung des Reglers, Fig. 13, wird an den Punkten *E-EE* gespeist. Die veränderliche Arbeitsspannung wird den verschiebbaren Bürsten *A-AA* abgenommen. Man kann die gemeinsame Kollektorwicklung auch noch als Kompensationswicklung benutzen, wenn man sie in einer stets zur Erregerachse elektrisch senkrecht Achse *K-KK* kurzschliesst. Der Regler wird von der

einen Hälfte der Unterspannungswicklung des Transformators gespeist. Mit der anderen Wicklungshälfte liegt die an den verschiebbaren Bürsten veränderliche Arbeitsspannung in Reihe. Schalter sind nicht vorhanden.

Der abgebildete Regler ist für eine Lokomotivdauerleistung von 1600 PS bemessen. Er ist ein ruhender Transformator mit ringförmigem Eisenkern. Seine Windungsoberfläche ist als Kollektor ausgebildet. Dadurch ist der konstruktive Aufbau bestimmt. Ein kräftiger, auf Füße gestellter Eisenring trägt den Blechkern. Die Kollektorbüchse ist fest mit ihm verschraubt. Die Wicklung ist durch Presstücke kurzschlussicher abgestützt. Der Bürstenapparat ist am Reglerfuss gelagert. Die Figur 14 zeigt den Regler mit stehender Kollektorachse; sie kann auch liegend ausgeführt werden. Der Regler ist gesetzlich geschützt.

### Technische Mitteilungen. – Communications de nature technique.

Ueber die **Explosion auf der elektrischen Lokomotive 14256** verdanken wir dem Herrn *Obermaschineningenieur* bei der Generaldirektion der *Schweiz. Bundesbahnen* die nachfolgende Mitteilung:

Am 2. April 1923, kurz nach der Durchfahrt des Zuges 467a in Lavorgo (ca. 16 Uhr 40), ereignete sich auf der Vorspannlokomotive Ce  $\frac{6}{8}$  No. 14256 eine Explosion, wobei leider der Führergehilfe getötet wurde und der Lokomotivführer einen komplizierten Armbruch erlitt. Die Ursache konnte vollständig aufgeklärt werden. Die Meldung der

Tagesblätter, der Transformator sei explodiert, trifft hiernach nicht zu, sondern es hat in beiden Stufenschalterräumen eine Explosion eines Gemisches von Gas und Luft stattgefunden. Durch einen zwischen Windungen der Niederspannungswicklung des Transformators eingetretenen starken Kurzschluss wurde Transformatoröl vergast. Das sich entwickelnde Gas wurde aus dem Transformator-kessel zum Teil durch die beiden Leitungskanäle, welche den Transformator mit den Stufenschaltern verbinden, in die Stufenschalterräume gedrückt. Dort mischte sich das Gas mit Luft und