

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 24 (1933)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Ein elektrisches Messinstrument mit vorgezeichnetem Steuerdiagramm  
**Autor:** Fehr, Paul  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1059501>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### 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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### 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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 20.02.2026

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

2,5 muss meistens gerechnet werden. Die anormale Verzögerungserscheinung (*grössere Impulsfaktoren der gekapselten Funkenstrecke bei flachern Wellen*) innert einem gewissen Steilheitsgebiet konnte hier nicht beobachtet werden, weil sie offenbar vom normalen, bei der Spitzenfunkenstrecke viel grösseren Verzug überdeckt wird.

### c) Vergleich mit andern Messungen.

Die Resultate der offenen Funkenstrecken stehen im Einklang mit den genannten früheren Messungen und Erfahrungen<sup>4)</sup><sup>5)</sup><sup>6)</sup>. Die Nichtbeachtung des Einflusses glimmender Leiter ist vermutlich die Ursache für die sich zum Teil widersprechenden Veröffentlichungen über Funkenverzögerungen. Insbesondere bei Messungen in Versuchslabouratorien bei sehr hoher Spannung hat die Luft stets als reichlich ionisiert zu gelten. Der grosse Einfluss der Ionisierung liess sich sehr deutlich nachweisen, wenn zwischen die Ionisierungsquelle (Ra, Glimmspitze oder Quecksilberglimmlampe usw.) ein dünnes Glimmerblatt oder ein Holzbrett gehalten wurde. Bei knapper Einstellung der Funkenstrecke wird das Ansprechen derselben dadurch immer unsicher oder verschwindet ganz.

Es gelang in keinem Fall, durch die Bestrahlung resp. Ionisierung der Kugelfunkenstrecke ihre Ansprechspannung *unter* den statischen, beziehungsweise normalfrequenten Wert herabzudrücken.

Auch bei gleichzeitiger Bestrahlung durch 0,5 mg Ra und ultraviolettem Licht einer Quarzglimmlampe und durch Glimmuspitzenionisierung gelang es nicht, den normalfrequenten Ansprechwert zu unterschreiten. Die in den Tabellen ersichtlichen Werte des Impulsfaktors von 0,98 sind Messfehler, deren Grösse bei den Versuchen 3 bis 4 % erreichen kann.

Festgestellt sei ferner in Uebereinstimmung mit M. Viehmann<sup>4)</sup>, dass die Ansprechspannung der Funkenstrecken bei kurzen Spannungsstössen sich nicht als absolut feststehender Wert angeben lässt. Eine gewisse Streuung der Werte scheint sich nicht vermeiden zu lassen, immerhin wird die Grösse des Streubereichs durch Ionisierung ganz wesentlich verkleinert.

Mit den Messungen von Torok<sup>8)</sup> können die vorliegenden nicht ohne weiteres verglichen werden, weil Torok stets Schlagweiten untersuchte, die grösser sind als der Kugeldurchmesser. Bei uns war umgekehrt stets die Schlagweite klein gegenüber dem Kugeldurchmesser. Nach Torok wären dafür unbedeutend kurze Verzögerungen zu erwarten. Während dies in offener ionisierter Luft trifft, ist es in gekapselten Funkenstrecken anders, indem dann die beschriebene anomale Verzögerung auftritt.

<sup>8)</sup> J. Torok, Surge Characteristics of Insulators and Gaps, JAIEE 1930.

## Ein elektrisches Messinstrument mit vorgezeichnetem Steuerdiagramm.

Mitteilung aus dem Laboratorium der Firma Trüb, Täuber & Co., Zürich.

Von Paul Fehr, Ingenieur, Zürich.

621.317.7—52+621.398.2+654.4

Es wird ein Registriervoltmeter beschrieben, das zusammen mit einem Leitungsabbild in der Transformatorenstation Innertkirchen der Kraftwerke Oberhasli A.-G. Signallampen betätigt, sobald die Spannung am Ende der 100 km langen Kraftübertragung ein im voraus festgelegtes Programm nicht befolgt. Die obere und untere Spannungsgrenze des Programmes werden mit Bleistift- oder Tuschlinien auf dem Registerstreifen aufgezeichnet. Diese Linien haben eine gewisse Leitfähigkeit. Zwischen den beiden Begrenzungslinien schleift der Voltmeterzeiger. Sinkt oder steigt die Spannung am Ende der Leitung, so berührt der Zeiger die eine oder andere Begrenzungslinie und schliesst damit den Gitterstromkreis einer Elektronenröhre, deren Anodenstrom ein Relais betätigt, das seinerseits die Signallampe einschaltet. — Es wird die praktische Ausführung dieser Anlage beschrieben und auf die guten Betriebsergebnisse hingewiesen. Ferner wird gezeigt, wie diese Anordnung zur automatischen Regulierung nach vorausbestimmtem Programm verwendet werden kann.

### 1. Prinzip.

Die Kraftwerke Oberhasli, Innertkirchen, stellten vor ca. 2 Jahren der Firma Trüb, Täuber & Co. die Aufgabe, ein Voltmeter auszubilden, welches bei Ueber- oder Unterschreitung eines vorgezeichneten Steuerdiagramms einen Signalstromkreis zu schliessen hätte.

L'auteur décrit un voltmètre enregistreur qui, en connexion avec un schéma de ligne, actionne dans la station de transformation des centrales de l'Oberhasli des lampes témoins dès que la tension à l'extrémité de la ligne de transport longue de 100 km déroge à un programme fixé à l'avance. Les limites supérieures et inférieures de la tension fixée par le programme sont dessinée au crayon ou à l'encre de chine sur la bande de l'instrument enregistreur. Ces traits possèdent une certaine conductibilité. L'aiguille du voltmètre effleure la bande entre les deux traits. Lorsque la tension monte ou baisse à l'extrémité de la ligne, l'aiguille vient à toucher un des traits, fermant ainsi le circuit de grille d'un tube électronique dont le courant anodique actionne un relais qui, à son tour, enclenche une lampe témoign.

L'auteur expose l'exécution pratique de cette installation et signale les résultats favorables obtenus en exploitation. Il montre en outre comment cette installation peut être utilisée pour le réglage automatique suivant un programme déterminé à l'avance.

Am Ende der Kraftübertragungsleitung Innertkirchen-Bickigen (73 km) bzw. Innertkirchen-Pieterlen (100 km) sollte dabei die Spannung je nach Belastungsverhältnissen im Verlaufe eines Tages auf veränderliche, aber vorgeschriebene Höhe eingereguliert werden. Dies hatte in Innertkirchen zu geschehen. Es war somit die am Leitungsende

sich einstellende Spannung in der Transformatoren-anlage Innertkirchen zu messen. Seitens der Kraftwerke Oberhasli wurde zu diesem Zweck die Anregung gemacht, ein Abbild der Fernleitung zu verwenden, welches die Sekundärspannung am Spannungswandler  $150\,000/100$  V phasen- und grössttreu in Abhängigkeit von der jeweiligen Belastung beeinflusst.

Diese im Prinzip schon vor 20 Jahren bekannt gewordene Methode einer Spannungsfernmesung konnte hier ohne Bedenken ausgeführt werden, da die Konstanten der Leitung experimentell aufgenommen worden waren und die Leitung keine Abzweigungen aufweist.

Im Prinzip beruht die Schaltung auf der Verwendung einer Impedanz  $Z$ , die in den Sekundärkreis eines der vorhandenen Stromwandler der Fernleitung eingeschaltet ist und gleichzeitig im Voltmeterkreis liegt (Fig. 1). Die Impedanz ist unter Berücksichtigung des Stromwandlerübersetzungsverhältnisses so abgestimmt, dass der durch den Sekundärstrom des Stromwandlers bewirkte Spannungsabfall in Grösse und Phase demjenigen

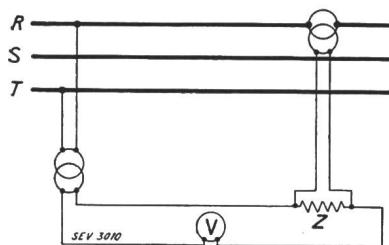


Fig. 1.  
Prinzipschaltung der  
Spannungsfernmes-  
lung mittels Leit-  
tungsabbild  $Z$ .

der Leitung entspricht und sich im Voltmeterkreis von der Sekundärspannung des Spannungswandlers geometrisch subtrahiert. Um die Schaltung nicht zu komplizieren, wurde der Einfluss der Leitungskapazität, welcher sich ohnehin nur im Leerlauf oder bei sehr geringer Belastung bemerkbar macht, nicht berücksichtigt. Die Methode gestattet, die Spannung für alle Belastungen zwischen 10 und 100 % der Nennleistung auf 1 bis 2 % genau zu messen.

Unter Verwendung von zwei Steuergitterröhren konnte ein Registriervoltmeter mit geringfügigen konstruktiven Änderungen dem Zwecke der Steuerung angepasst werden. Auf dem Diagrammpapier ist mit Bleistift die einzuhaltende Diagrammzone durch zwei parallel zueinander verlaufende Linien eingegrenzt. An den Rändern und parallel zur Zeitaxe sind ebenfalls Bleistiftlinien gezogen, die etwa alle 50 cm durch Querlinien mit den Diagrammbegrenzungslinien verbunden sind (Fig. 2). Auf den Randlinien schleifen mit ganz leichtem Druck zwei feste Kontaktstifte aus Platin-Iridium (1 und 2), während am beweglichen Zeigerarm eine Kontaktspitze (3) befestigt ist, die sich innerhalb der Programm begrenzungslinien zu bewegen hat.

Zwei Elektronenröhren (4 und 5) werden von einem gemeinsamen Transformator (6) geheizt.

Ihre Steuergitter sind einerseits über Ableitwiderstände von 30 Megohm (7) mit dem Spannungsmittelpunkt der Sekundärseite des Heiztransformators sowie über einen Widerstand von 2 Megohm (8) mit Erde, und anderseits mit den Kontaktstiften (1 und 2) verbunden. Die Anoden sind in Reihe mit ihren mit Ruhestrom arbeitenden elektromagnetischen Relais (9 und 10), sowie gemeinsam über das sogenannte Störungsrelais (11), zu welchem noch ein Nebenwiderstand (12) geschaltet ist, an die + Klemme eines Ohmschen Spannungsteilers (13) gelegt. Der Spannungsteiler wird von der vorhandenen Betriebsbatterie von 220 V gespeist. (Wo keine solche Batterie vorhanden ist, kann ein Gleichrichter, der an das Wechselstromnetz anzuschliessen ist, verwendet werden.) Jedes der drei

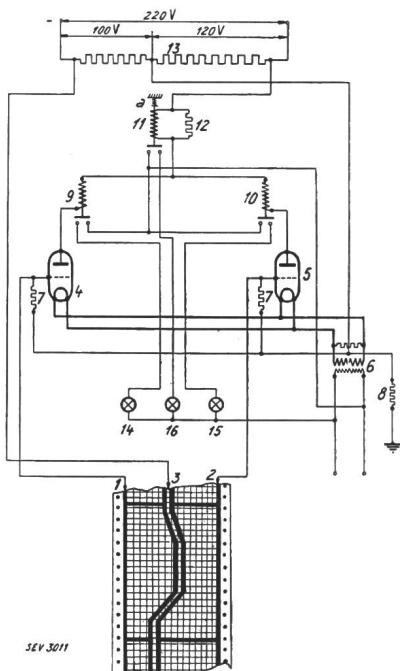


Fig. 2.

Schema der Span-  
nungssteuerung nach  
vorgeschriebenem  
Diagramm.  
(Erklärung der Zah-  
len im Text.)

Relais schliesst, sobald der Anker nicht mehr angezogen wird, den Stromkreis seiner zugehörigen Signallampe (14, 15, 16).

Die Wirkungsweise der Schaltung ist nun die folgende: Liegt der bewegliche Kontaktstift ordnungsgemäss innerhalb der Programm begrenzungslinien, so besitzen die Gitter ein durch ihre Ableitwiderstände bestimmtes Potential. Der Anodenstrom hält die Anker der Relais angezogen. Die Lampenstromkreise sind daher unterbrochen, ebenso der Lampenstromkreis des Störungsrelais. Geht der bewegliche Kontaktstift z. B. auf die Minimal-Begrenzungslinie, so erhält das Gitter der zugehörigen Elektronenröhre eine hohe negative Vorspannung, welche den Anodenstrom sperrt und damit den Anker seines Relais zum Abfallen bringt, so dass die betreffende Signallampe aufleuchtet. Der analoge Vorgang tritt ein, wenn der bewegliche Kontaktstift die Maximal-Begrenzungslinie berührt. Brennt der Heizdraht einer Lampe durch, so wird

zunächst das betreffende Relais ansprechen, und der dadurch veranlasste Reguliervorgang bewirkt, dass der bewegliche Kontaktstift auf die entgegengesetzte Begrenzungslinie gelangt, wodurch das andere Relais ebenfalls anspricht. Da nun beide Anodenströme Null geworden sind, der eine wegen des Durchbrennens des Heizfadens, der andere infolge Sperrung, fällt auch der Anker des Störungsrelais ab. Das Störungsrelais ist so eingestellt, dass es bei halbem Strom noch nicht abfällt (der Nebenwiderstand (12) dient für diesen Zweck zur bequemen Einstellung). Das Störungsrelais besitzt eine Druckfeder  $a$ , welche den Anker bei ca.  $\frac{1}{3}$  Normalstrom zum Abfallen bringt. (Die Anker der beiden andern Relais bleiben dagegen bis zu 10 % des Normalstromes gehalten.) Sie arbeiten daher selbst bei sehr starken Spannungsschwankungen noch zuverlässig. Es werden somit alle drei Signallampen gleichzeitig brennen, wodurch unzweideutig eine Störung gemeldet ist. Auch andere Störungen, wie Aussetzen der Heizspannung, der Anodenspannung, Isolationsdefekte, werden durch das gleichzeitige Aufleuchten aller drei Lampen angezeigt. Der vor dem Erdungspunkt geschaltete Widerstand 8 verhindert bei allfälligem Erdschluss der Batterie eine wesentliche Änderung der Potentialverteilung.

## 2. Praktische Ausführung.

Fig. 3 und 4 zeigen die praktische Ausführung des im Betrieb befindlichen Voltmeters mit vorge-

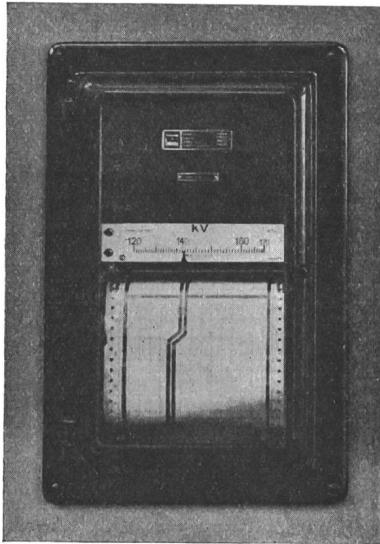


Fig. 3.  
Ansicht des Voltmeters mit vorgeschriebenem Steuerdiagramm.

zeichnetem Steuerdiagramm. Das Instrument selbst ist in seiner Bauart identisch mit einem normalen ferrodynamischen Registriervoltmeter zum Anschluss an einen Spannungswandler und für versenkten Einbau in eine Schalttafel bestimmt. In Fig. 3 ist das Steuerdiagramm ersichtlich, welches auf dem normalen Registrierstreifen vor dessen Ein-

setzen mit gewöhnlichem weichem Bleistift oder Tusche aufgezeichnet wurde. Bei einem stündlichen Vorschub des Papiers von 20 mm wird ein ganzes Wochenprogramm eine Länge von 336 cm haben. Ist das Programm für alle Tage, mit Ausnahme des Samstags und des Sonntags, das gleiche, so kommt man mit einem Programmstreifen von 3·24 Stunden aus, indem man von Montag bis Freitag je nach 24 Stunden den Programmstreifen auf den Anfang zurückrollt, ihn aber für Freitag, Samstag und Sonntag ganz durchlaufen lässt.

Die 130 mm breite Skala reicht von 70 % bis 100 % des Endwertes und ist praktisch gleichmäßig unterteilt. 1 % des Endwertes hat in der Gebrauchszone eine Breite von ca. 3 mm. Im Betrieb wurde der Abstand zwischen den Begrenzungslinien des Spannungsprogrammes auf diese 3 mm festgelegt, so dass bei Ueber- oder Unterschreitung der normalen Spannung um ca.  $\frac{1}{2}$  % die Signalrelais in Tätigkeit gesetzt werden.

Fig. 4 zeigt in gleichem Maßstab wie Fig. 3 den hinter der Schalttafel montierten Apparatenkasten, in welchem die Zubehör, nämlich Widerstandsteiler, Heiztransformator, die beiden Elektronenröhren und die drei Ruhestromrelais eingebaut sind.

Die Heizdrähte der Elektronenröhren werden zur Verlängerung der Lebensdauer mit nur 95 % Normalspannung betrieben. Die bisherigen Betriebserfahrungen haben gezeigt, dass dadurch die Röhren über 5000 Stunden kontinuierlich verwendet werden können. Bei den gegenwärtigen Preisen der marktgängigen Röhrentypen bedeutet zudem der Ersatz derselben in Zeiträumen von ca. 6 Monaten keine wesentliche Versteuerung der Betriebskosten.

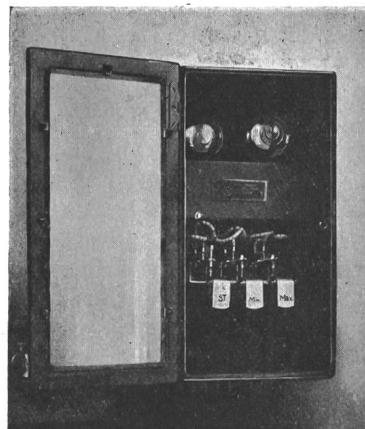


Fig. 4.  
Zusatzapparat, enthaltend Elektronenröhren, Ruhestromrelais und Widerstände.

Gegen die Verwendung von gewöhnlichem Diagrammpapier zur Aufzeichnung des Programmes ist einzuwenden, dass schon ein schwacher Feuchtigkeitsgehalt des Papiers die Leitfähigkeit seiner nicht mit leitenden Strichen bedeckten Teile soweit heraufsetzt, dass das Relais anspricht. Vorversuche haben ergeben, dass die Luftfeuchtigkeit in ge-

schlossenem Raum in dieser Beziehung noch unschädlich ist. Um aber auf alle Fälle ein Feuchtwerden des Papiers zu verhindern, ist unten im Instrumentengehäuse ein kleiner Heizwiderstand eingebaut, welcher die Luft in diesem Gehäuse um einige °C gegenüber der Umgebungstemperatur erwärmt.

Das oben beschriebene Prinzip einer Steuerung nach vorgezeichnetem Programm mit Hilfe von Elektronenröhren und unter Verwendung von Registrierinstrumenten wesentlich normaler Konstruktion ist auf jede Betriebsgrösse, die sich messen lässt, anwendbar.

Das beschriebene Instrument erwies sich seit seiner Inbetriebnahme (ca. seit 1½ Jahren) als zuverlässig. Ein Auswechseln der Elektronenröhren war in dieser Zeit nicht nötig.

### 3. Automatische Regulierung.

Die beschriebene Methode kann ohne besondere Umstände auf voll automatische Spannungsregulierung erweitert werden. Würde man an Stelle der Signallampen den Stromkreis der die Regulier-

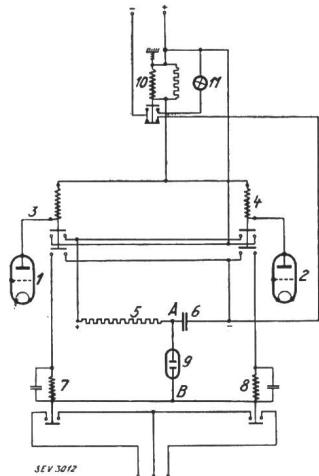


Fig. 5.  
Schema der voll-  
automatischen Span-  
nungsregulierung  
nach vorgeschriebe-  
nem Diagramm.  
(Erklärung der Zah-  
len im Text.)

widerstände der Generator-Eregerspannung steuernden Servomotoren direkt betätigen, so müsste eine ständige Ueberregulierung in dem durch die Begrenzungslinien festgelegten Bereich auftreten. Um das zu verhindern und auch die von Fall zu Fall verschiedene magnetische Trägheit des Erreger- systems zu berücksichtigen, werden mit Vorteil Glimmentladungsrohre in Verbindung mit passend bemessenen Aufladungskondensatoren verwendet. Fig. 5 zeigt das Prinzip dieser Regulierung.

Die Relais 3 und 4 besitzen nunmehr doppel-polige Kontakte. Je die beiden oberen sind unter sich parallel geschaltet und liegen auf der Plusseite der speisenden Stromquelle. Bei A ist der Vorwiderstand 5 angeschlossen; zwischen dem Vorwiderstand und dem Minuspol der Stromquelle liegt ein Kondensator 6. Zwischen den beiden unter sich verbundenen Wicklungsenden der beiden Hilfsrelais 7 und 8 und dem Punkte B ist das Entladungsrohr 9 eingeschaltet. Die beiden andern Wicklungsenden der Hilfsrelais 7 und 8 sind je mit einem der untern Kontakte der Relais 3 und 4 verbunden;

deren vier Kontakte sind in Verbindung mit dem Kondensator 6 und mit dem Minuspol der Stromquelle.

Fällt z. B. der Anker des Relais 3 ab, so schliesst sich ein Stromkreis über 5 und 6. Die Aufladezeit des Kondensators bis zur Zündspannung des Entladerohres ist gegeben durch die Grösse von 5 und die Kapazität von 6 (konstante Spannung der Stromquelle vorausgesetzt). Ist die Zündspannung erreicht, so entlädt sich der Kondensator 6 und das Hilfsrelais 7, dessen Anker angezogen wird, bleibt so lange in Schließstellung, als das einstellbare Verzögerungselement, womit die Relais 7 und 8 ausgerüstet sind, den Anker abfallen lässt. Während dieser Zeit wird die Erregerspannung des Generators erhöht. Nach dem Abschalten des Steuermotors steigt sie nach Massgabe der magnetischen Trägheit des Erregersystems weiter. Gleichzeitig hat sich der Kondensator wieder bis zur Zündspannung aufgeladen, und der gleiche Vorgang wiederholt sich solange, als das Relais 3 stromlos bleibt. Die impulsweise Spannungsregulierung ahmt somit den Vorgang nach, der sich beim Regulieren von Hand ergibt.

In einem gegebenen Fall wird die Aufladezeit des Kondensators etwa 3 s betragen, die Haltezeit des Hilfsrelais 7 dagegen nur 1 s. Reguliert wird zweckmässigerweise in Stufen, wobei jede Stufe einem Spannungsanstieg von etwa 10 % der durch die Begrenzungslinien bestimmten Spannungszone entspricht.

Der analoge Vorgang tritt bei Ansprechen des Relais 4 ein.

Die Begrenzungslinien werden nach Bedarf so breit angelegt, dass unter normalen Verhältnissen kein Durchgehen des beweglichen Kontaktzigers jenseits einer der Begrenzungslinien möglich ist. Grobe Störungen (Kurzschlüsse) werden natürlich hier, wo es sich um eine ausgesprochene Feinregulierung handelt, durch die übliche, stets vorhandene Schutzeinrichtung zu überwachen sein.

Es bleibt noch zu erwähnen, dass das Störungsrelais 10 nunmehr mit einem Ruhekontakt auszubilden ist, welcher bei dessen Funktionieren den Ladestromkreis des Kondensators unterbricht und gleichzeitig auch die Störungsmeldelampe 11 zum Aufleuchten bringt.

Betriebsmässige Spannungsschwankungen der Stromquelle (in der Regel dieselbe Batterie, welche auch den Spannungsteiler speist) beeinflussen den Regulievorgang nicht wesentlich.

Beim Durchbrennen einer Lampe tritt das zugehörige Relais in Tätigkeit und reguliert, bis der Kontaktstift die entgegengesetzte Begrenzungslinie erreicht hat. Das zweite Hilfsrelais (7 oder 8) kann jedoch nicht arbeiten, weil 50 % des normalen Betätigungsstromes (wegen der Stromteilung auf beide Hilfsrelais) nicht genügen, um seinen Anker anzuziehen. Da nun die Störungslampe aufleuchtet, so werden die erforderlichen Massnahmen zur Handsteuerung und Behebung der Störung unmittelbar ergriffen werden können.