

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 30 (1939)  
**Heft:** 9  
  
**Artikel:** Die Drehstrom-Drehstrom-Mutatoranlage Lütschental der Jungfraubahn  
**Autor:** Kern, E.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1060820>

### **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:** 13.01.2026

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

# SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

# BULLETIN

## REDAKTION:

Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechn. Vereins und des  
Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke, Zürich 8, Seefeldstr. 301

## ADMINISTRATION:

Zürich, Stauffacherquai 36 ♦ Telefon 5 17 42  
Postcheck-Konto VIII 8481

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXX. Jahrgang

N<sup>o</sup> 9

Mittwoch, 26. April 1939

## Die Drehstrom-Drehstrom-Mutatoranlage Lüttschental der Jungfraubahn.

Von E. Kern, Ennetbaden.

621.314.27

Die von der A.-G. Brown, Boveri & Cie. in Baden gebaute Netzkupplungs-Anlage Lüttschental ist eine Erstaufführung. Sie dient dem Energieaustausch zwischen dem 40-Hz-Netz der Jungfraubahn-Gesellschaft und dem 50-Hz-Netz der Bernischen Kraftwerke. Ihre Nennleistung beträgt 1600 kW. Einleitend wird über die Entstehungsgeschichte dieser Anlage berichtet. Sodann orientiert ein summarischer Ueberblick über den Aufbau und die Wirkungsweise der Gruppe, die einen einzigen Mutator enthält. Die Betriebsresultate und das Verhalten der Anlage bei inneren und äusseren Störungen werden kurz erläutert.

L'installation de couplage de réseaux de Lüttschental, construite par la S. A. Brown, Boveri et Cie à Baden, est la première de ce genre. Elle sert aux échanges d'énergie entre le réseau à 40 Hz de la Société du Chemin de Fer de la Jungfrau et le réseau à 50 Hz des Forces Motrices Bernoises. La puissance nominale est de 1600 kW. L'article commence par une étude historique de l'installation. Ensuite, un aperçu sommaire explique la construction et le fonctionnement du groupe qui ne comprend qu'un seul mutateur. Finalement l'auteur esquisse brièvement les résultats obtenus en exploitation et décrit ce qui se passe lors de perturbations internes et externes.

### I. Einleitung.

Das Berner Oberland ist dank seiner vielgestaltigen Landschaft, vom lieblichen Voralpensee bis zum hochalpinen Gletschergebiet, seit Jahrzehnten eine Quelle der Erholung für viele Tausende. Nicht nur findet der Feriengast im Sommer eine überreiche Auswahl von Möglichkeiten für Ruhe und Wanderung, auch im Winter werden dem Skifahrer in den glitzernden Schneefeldern herrliche Fahrten geboten. Nachdem durch die Wengernalpbahn das Gebiet der kleinen Scheidegg erschlossen worden war, setzte der Zürcher Bankier Guyer-Zeller dem Ganzen die Krone auf mit dem Bau der Jungfraubahn, die dem Feriengast auf dem Jungfraujoch einen überwältigenden Rundblick eröffnet<sup>1)</sup>. Durch diese Erschliessung des Berner Oberlandes auch für den Skisport ist die Belastung der durchgehend elektrifizierten Bahnen zu gewissen Zeiten dermassen gewachsen, dass ihre Leistungsaufnahme alle früheren Annahmen überschritten hat, während naturgemäss die winterliche Leistungsabgabe der bahneigenen hydroelektrischen Werke dieses Gebietes gleichzeitig jeweils auf ein Minimum sinkt. So ergab sich für die Besitzerin dieser Werke, die Jungfraubahn-Gesellschaft, die Notwendigkeit, eine weitere Energiereserve zur Deckung der Differenz zwischen dem stossweise erhöhten Bedarf und der im Winter reduzierten Eigenleistung der Kraftwerke aufzustellen. Da sowohl die eigentliche Bahnanlage der Jungfraubahn selbst, als auch die an dieses Netz angeschlossenen Umformeranlagen der übrigen Bahnen und die umliegenden Gemeinden für 40 Hz Drehstrom gebaut sind und ein Umbau all dieser

Anlagen auf 50 Hz sehr grosse Aufwendungen erfordert hätte, war ein unmittelbarer Leistungsbezug von den benachbarten Bernischen Kraftwerken mit der Frequenz 50/s nicht möglich. Nach eingehendem Studium der Angelegenheit entschloss sich die Betriebsleitung der Jungfraubahn im Juni 1938, angeregt durch Veröffentlichungen in der Fachpresse<sup>2)</sup>, den erstmaligen Versuch zu wagen, die Kupplung ihres 40-Hz-Drehstromnetzes mit dem 50-Hz-

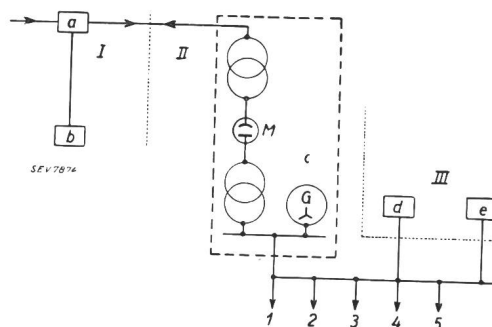


Fig. 1.

Uebersicht über die mit der Anlage Lüttschental gekuppelten Netze.

- I Bernische Kraftwerke.  
a Kraftwerk Spiez. b Kraftwerk Kandergrund.  
II Jungfraubahn-Gesellschaft  
c Kraftwerk Lüttschental, M Mutatoranlage, G Generatoranlage.  
Abgehende Leitungen:  
1 Lauterbrunnen-Mürren-Bahn, 2 Schynige-Platte-Bahn,  
3 Berneroberrand-Bahn, 4 Wengernalp-Bahn, 5 Jungfrau-Bahn.  
III EW Lauterbrunnen.  
d Kraftwerk Lochbrücke, e Kraftwerk Stechelberg.

Drehstromnetz der Bernischen Kraftwerke durch eine Mutatoranlage durchzuführen. Dieser Entschluss bewies, in Anbetracht des Mangels jeglicher Referenz, das Zutrauen in unser Projekt und

<sup>1)</sup> Vgl. Liechti: Die Bergbahnen im Jungfraugebiet. Bull. SEV 1937, Nr. 26, S. 665.

<sup>2)</sup> Brown-Boveri-Mitt. 1934, Nr. 12, S. 214, und Bull. SEV 1936, Nr. 24, S. 690.

zeugt vom grosszügigen Unternehmmergeist der Betriebsleitung dieser Bahn. Die Anlage sollte bei einer Nennleistung von 1600 kW im Stande sein, diese

Eingangstransformator, der an das die primäre Leistung abgebende Netz angeschlossen ist, dem Mutator mit der zugehörigen Steuerung und der Regulierung, dem Ausgangstransformator, der an das die sekundäre Leistung aufnehmende Netz angeschlossen ist, der Ausgleichsdrosselspule und der Glättungsdrosselspule. Je eine Phase des einen Netzes ist dauernd mit einer Phase des andern Netzes verbunden. Die Spannungsdifferenz zwischen den beiden idealen, aus den Netzspannungen erzeugten Gleichspannungen, die der Messung nicht zugänglich sind, wird durch die Ausgleichsdrosselspule 6 und die Glättungsdrosselspule 5 aufgenommen. Die Grösse der übertragenen Leistung ist im wesentlichen von den beiden den Anoden des Mutators zugeführten Wechselspannungen der beiden Transformatoren und der Phase der den beiden Netzen entnommenen und den Steuergittern zugeführten Steuerspannungen abhängig. Mit Rücksicht auf den Leistungsfaktor der von der Gruppe aufgenommenen bzw. abgegebenen

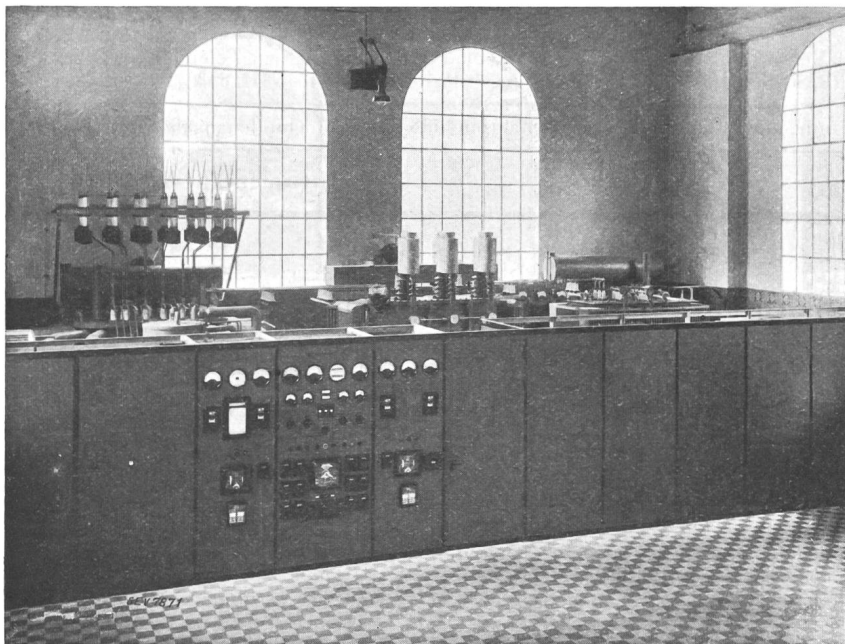


Fig. 2.  
Gesamtansicht der Anlage Lüttschental.

Leistung sowohl in der einen Richtung, als auch einen allfälligen Leistungsüberschuss dieser Grösse in der andern Richtung abzugeben. Gleichzeitig konnte dem Wunsche entsprochen werden, bei einem allfälligen späteren Umbau des 40-Hz-Netzes auf 50 Hz die dann ausser Betrieb fallende Netzkupplungsanlage als

Drehstrom-Gleichstrom-Mutator für die Speisung der Wengernalpbahn mit 1650 V Gleichstrom bei unveränderter Leistung verwenden zu können. Fig. 1 zeigt eine schematische Uebersicht über die Kupplung der beiden Netze.

## 2. Aufbau und Wirkungsweise.

Die Umformung erfolgt mit einem einzigen Mutator unmittelbar von der einen Frequenz auf die andere, ohne dass eine Gleichspannung als Zwischenenergieform auftritt. Sie ist vollkommen unabhängig vom Verhältnis der Frequenzen und somit auch unabhängig von den in den beiden gekoppelten Netzen vorkommenden Frequenzschwankungen. Der Aufbau der Anlage geht aus Fig. 2 und 3 hervor, während die grundsätzliche Schaltung aus Fig. 4 ersichtlich ist. Die gesamte Anlage mit Einschluss der gesamten Schaltanlage und aller Hilfsbetriebe beansprucht eine Grundfläche von 90 m<sup>2</sup>. Die Anlage besteht im wesentlichen aus dem

Leistung ist der eine der beiden Transformatoren mit einem Stufenschalter ausgerüstet, welcher den Einfluss der betriebsmässigen Spannungsschwankungen der beiden Netze auszugleichen gestattet. Der Stufenschalter kann sowohl von Hand,

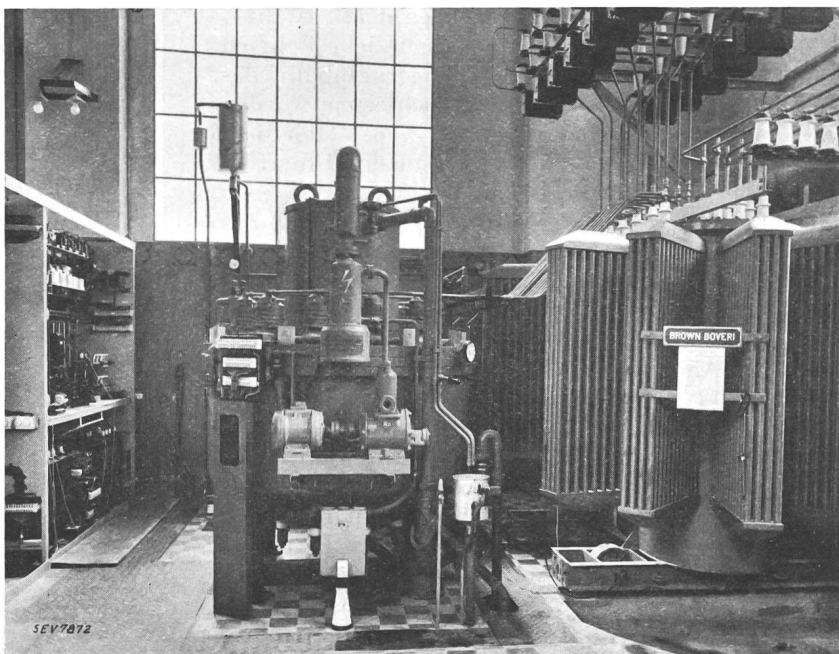


Fig. 3.  
Ansicht des Mutators der Anlage Lüttschental.

als auch automatisch von einem spannungsabhängigen Relais betätigt werden, welches bei einer Abweichung des Verhältnisses der beiden den Anoden

des Mutators zugeführten Wechselspannungen von einem festgelegten Wert anspricht und auf diese Weise den Einfluss der Schwankungen der Netzspannungen auf die übertragene Leistung wieder ausgleicht. Bei dieser Betriebsweise geht dann der Betrieb beidseitig mit praktisch konstantem Leistungsfaktor vor sich. Mit Bezug auf weitere Einzelheiten sei auf eine früher erschienene Arbeit ver-

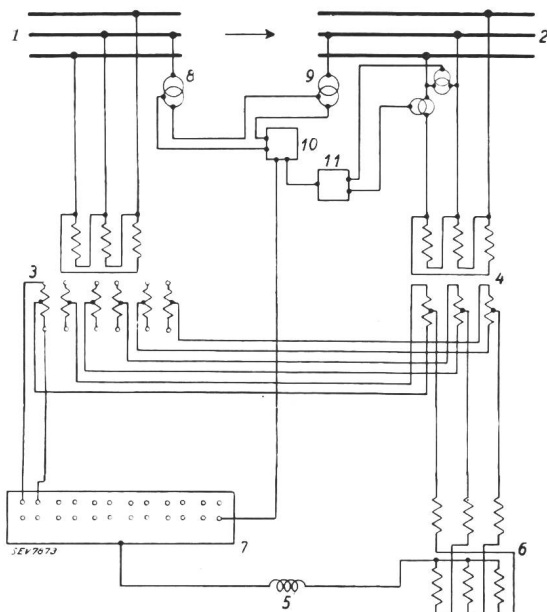


Fig. 4.

Prinzipischeschema der Drehstrom-Drehstrom-Mutator-Anlage Lütshental.

1 Primär-Drehstromnetz 50 Hz 2 Sekundär-Drehstromnetz 40 Hz. 3 Eingangstransformator 50 Hz 4 Ausgangstransformator 40 Hz. 5 Glättungsdrösselspule. 6 Ausgleichsdrösselspule. 7 Mutator. 8, 9 Hilfstransformator. 10 Steuerung. 11 Regler.

wiesen<sup>3)</sup>. Jeder Transformator ist über einen Oel-schalter mit aufgebautem, direkt wirkendem Ueberstromrelais mit seinem Netz verbunden. Ueberdies ist im Kathodenleiter des Mutators ein Gleichstrom-Schnellschalter mit direkt wirkender Maximalauslösung eingebaut. Die Ausgleichsdrösselspule und die Glättungsdrösselspule sind in einem gemeinsamen Oelkasten untergebracht. Entsprechend der doppel-sechphasigen Schaltung des mit dem Mutator unmittelbar verbundenen Transformators erhält der Mutator 12 Anoden, denen Steuergitter vorgelagert sind. Der Aufbau des Mutators entspricht in jeder Beziehung vollkommen demjenigen eines normalen Drehstrom-Gleichstrom-Mutators, die seit Jahren für die verschiedensten Gleichstrombetriebe gebaut werden. Das Kühlwasser fliesst in geschlossenem Kreislauf vom Mutator durch den Kühler, wo es durch künstlichen Luftzug gekühlt wird, und von dort über eine Umwälzpumpe zurück in den Mutator, so dass kein dauernder Wasserverbrauch auftritt.

Die Erzeugung der Steuerimpulse für die Gittersteuerung der Anoden erfolgt nach einem Verfahren, welches ohne Benützung irgendwelcher rotierenden Teile oder von Kontaktapparaten die für die Wechselstrom-Wechselstrom-Umformung erforder-

liche Form der Zündimpulse zu erzeugen gestattet. Gleichzeitig gibt dieses Verfahren das Mittel in die Hand, durch direkten Vergleich zweier elektrischer Grössen mit einer äusserst geringen Regulierleistung die Regulierung des Mutators nach einem beliebigen Regulierprogramm durchzuführen. Sowohl die Erzeugung der gewünschten Form der Zündimpulse als auch die Einwirkung des Leistungs- und des Frequenzreglers erfolgt in besonderen Quecksilberdampf-Steuermutatoren kleinsten Formats. Die grundsätzliche Schaltung dieser Steuerung wurde in einer früheren Arbeit erläutert<sup>4)</sup>. In derartigen Anlagen handelt es sich in der Regel darum, entweder mit dem Umformer eine konstante Leistung unabhängig von Spannungs- und Frequenz-Schwankungen zu übertragen oder aber die Leistung des Umformers in Abhängigkeit von der Frequenz so zu regulieren, dass die Frequenzschwankung einen gewissen Wert nicht übersteigt oder endlich — im Grenzfall — dass die Frequenz des einen Netzes durch den Umformer festgehalten wird. Dieses letztere kann beispielsweise dann erwünscht sein, wenn, wie im vorliegenden Fall der Anlage Lütshental, zeitweise eine konstante, beschränkte Wassermenge in den Generatoren des gespeisten Netzes voll ausgenützt und der variable Mehrbedarf vom Umformer aus dem andern Netz gedeckt werden soll. Dank der sehr hohen Empfindlichkeit des aufgestellten Steuermutators ist es möglich, durch Zuleitung von Leistungs- bzw. Frequenz-abhängigen Zusatzspannungen zu den Gittern des Steuermutators jedes gewünschte Regulierprogramm mit einfachen Mitteln und unter Ausnützung der sehr geringen Trägheit dieser Regulierung zu erfüllen.

### 3. Betriebsergebnisse.

Die Inbetriebnahme der Anlage, bestehend im Einschalten der Hilfsbetriebe für den Mutator, im Einlegen der drei Hauptschalter und endlich im Einstellen der gewünschten Regulierungsart und der Leistung, erfolgt innerhalb weniger Sekunden. Hierfür sind keinerlei Spannungs- oder Frequenzvergleiche oder dergleichen erforderlich; es ist lediglich eine bestimmte Reihenfolge der einzelnen Schaltvorgänge einzuhalten. Die Umkehrung der Energierichtung erfolgt nach Ausschalten des Gleichstromschalters der Anlage durch blosses Umliegen eines Hilfsschalters, worauf die Wiedereinschaltung in normaler Weise vor sich gehen kann. Der Leistungsfaktor im speisenden Netz weist einen durchschnittlichen Wert von 91 %, derjenige im gespeisten Netz einen solchen von 80 % auf. Der Umformer entnimmt entsprechend seinem Leistungsfaktor den beiden Netzen induktive Blindleistung, eine Abgabe induktiver Blindleistung ist mit dieser Anlage noch nicht möglich. Die gemessene Wirkungsgradkurve ist in Fig. 5 dargestellt. Errechnet man hieraus bei einer jährlichen Betriebsdauer von 1000 Stunden mit Vollast und 3000 Stunden mit Halblast die jährlichen Verluste, so ergibt sich für einen Preis von beispielsweise 5 Rp./kWh eine jähr-

<sup>3)</sup> Brown-Boveri-Mitt. 1934, Nr. 12, S. 214.

<sup>4)</sup> Brown-Boveri-Mitt. 1938, Nr. 5/6, S. 103 und 124.



liche Energieeinsparung von rund Fr. 20 000.— gegenüber einer gleichwertigen Anlage mit rotierenden Umformern. Die vom Mutator den beiden Netzen entnommenen bzw. zugeführten Ströme haben praktisch die gleiche Form und denselben Oberwellengehalt wie diejenigen eines normalen Sechssphasen-Mutators. Dementsprechend kann auch durch Verwendung höherer Phasenzahlen bei grösseren Leistungen des Umformers die Verzerrung

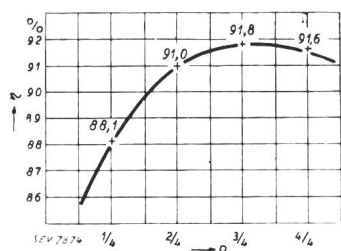
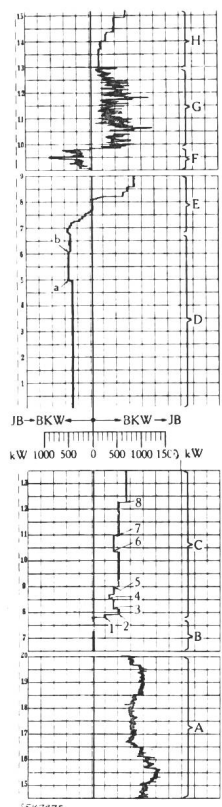


Fig. 5 (oben).

Wirkungsgrad der  
Anlage Lüttschental  
in Funktion der  
Belastung.

Fig. 6 (rechts).

Leistungsdiagramm  
bei verschiedenen  
Regulierungsmethoden.



der Wechselströme in bekannter Weise auf geringere Werte herabgesetzt werden. Die Anlage ist u. a. um 30 % während einer halben Stunde und 50 % während 2 Minuten überlastbar. Die Umkehrung der Energierichtung ist ohne Einfluss auf die Beanspruchung aller Teile der Anlage. Dementsprechend ist die Anlage imstande, die volle Leistung in beiden Energierichtungen abzugeben.

In Fig. 6 sind einige Ausschnitte aus Leistungsdiagrammen eines auf der 40-Hz-Seite eingebauten registrierenden Wattmeters dargestellt. Stellt man dem in Abschnitt A gegebenen Verlauf der vom BKW-Netz ins JB-Netz übertragenen Leistung bei Handregulierung das in Abschnitt C dargestellte Leistungsdiagramm bei Regulierung durch den Röhrenregler gegenüber, so ist leicht ersichtlich, wie die im Abschnitt A durch die Spannungsschwankung der beiden Netze hervorgerufenen Leistungsschwankungen in Abschnitt C restlos vermieden sind. Die im letztgenannten Abschnitt dargestellten Stufen sind durch Veränderung der Einstellung des Reglers von Hand erreicht worden. Im Abschnitt B ist vergleichsweise die Strichdicke des Leistungsdiagramms bei ausgeschalteter Anlage dargestellt. Sie zeigt, dass der Regler seine Aufgabe in Abschnitt

C praktisch trägeheitslos erfüllt. Im Abschnitt D ist der Betrieb in umgekehrter Richtung, also vom Netz der JB nach dem Netz der BKW dargestellt, während in Abschnitt E die Leistung stufenweise auf Null reguliert und nach Umschalten der Steuerung im umgekehrten Sinne wieder erhöht wurde. Endlich ist in den Abschnitten F und G die bei bestimmten Betriebsverhältnissen erwünschte Regulierung auf konstante Frequenz wiedergegeben, welche vom Umformer die Lieferung der variablen Ueberschussleistung über bzw. unter die feste Leistung der Generatoren des gespeisten Netzes verlangt, und zwar in den beiden Energierichtungen.

Bei Störungen im Mutator, seien es Rückzündungen an den Anoden oder Fehlzündungen an den Steuergittern, entsteht in einzelnen Phasen der beiden Transformatoren ein Ueberstrom. Durch ein besonderes Steuerrelais mit kürzester Eigenzeit wird durch diesen Ueberstrom die Steuerung sämtlicher Anoden derart eingestellt, dass die Anoden nur in denjenigen Zeitspannen brennen können, in denen die Spannungen der beiden Transformatoren dem Strom entgegen gerichtet sind. Auf diese Weise setzt der Arbeitslichtbogen im Mutator kurzzeitig vollkommen aus und wird nach Ablauf von ca.  $1/10 \dots 2/10$  s neu gezündet, wonach der Betrieb weitergeht. Die Störung wird auf diese Weise in einer derart kurzen Zeit behoben, dass sie im allgemeinen in den beiden Netzen überhaupt gar nicht wahrnehmbar ist und somit den Betrieb in keiner Weise stört. Ganz abgesehen davon hat die Anlage Lüttschental bis heute gezeigt, dass derartige Störungen nur äusserst selten auftreten und infolgedessen auch nicht zu einer Schwächung oder Zerstörung irgendwelcher Teile der Anlage Anlass geben. Genau derselbe Vorgang spielt sich ab, wenn die Spannung des gespeisten Netzes infolge von Kurzschlüssen zusammenbricht. Erfolgt hierbei die Abschaltung des kranken Netztes durch den Selektivschutz innerhalb der heute gebräuchlichen Zeit von Bruchteilen einer Sekunde, so übernimmt der Umformer seine Leistung wieder, sobald sich die Spannung erholt hat. Eine Spannungssenkung im speisenden Netz hat lediglich einen Rückgang der übertragenen Leistung zur Folge, ohne dass hierbei Ueberströme auftreten. Dieses Verhalten des Umformers ist darauf zurückzuführen, dass bei festgehaltenem Regler die übertragene Leistung u. a. auch vom Spannungsgleichgewicht der beiden dem Mutator zugeführten Wechselspannungen abhängig ist. Eine Zunahme der Spannung des energieliefernden Netzes oder eine Abnahme der Spannung des gespeisten Netzes bedeutet eine Zunahme der übertragenen Leistung und umgekehrt.

Die Anlage steht seit der Inbetriebsetzung am 23. Dezember vorigen Jahres täglich anstandslos in Betrieb. Ein hübscher Zufall will es, dass diese Anlage als modernste Schöpfung der Elektrotechnik mit den aus dem vorigen Jahrhundert stammenden Drehstrom-Generatoren des Werkes Lauterbrunnen parallel arbeitet, welche Maschinen noch als Induktortyp mit feststehender Erregerwicklung ausgeführt sind.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass diese Erstaussführung einer elastischen Kupplung zweier Drehstromnetze verschiedener Frequenz durch einen einzigen Mutator allen Forderungen, die bei der Projektierung übernommen wurden, gerecht

wird. Die Anlage findet bei Verteilungsgesellschaften grosses Interesse und wird berufen sein, das Problem der elastischen Kupplung von Drehstromnetzen in neuartiger Weise zu beeinflussen und zu erleichtern.

## Ein Verfahren zur Messung der Lichtbogenspannung von Mutatoren.

Von A. Uno Lamm, Ludvika (Schweden) <sup>1)</sup>.

621.317.32 : 621.314.65

Es wird eine erweiterte Wattmetermethode zur Messung des Lichtbogenabfalles beschrieben. Es werden die Einzelteile der Meßschaltung zur Erreichung einer bestimmten Genauigkeit berechnet.

L'auteur décrit une méthode wattmétrique perfectionnée pour la mesure de la chute de tension dans l'arc, et détermine par le calcul les éléments du montage, de façon à obtenir une précision de mesure donnée.

Bei der Bestimmung des Wirkungsgrades von Mutatoren nach der direkten Messmethode erhält man bekanntlich Ergebnisse, die auch bei Anwendung der grössten Vorsichtsmassregeln recht unbefriedigend sind. Man sucht deshalb immer mehr, dieses Verfahren zu verlassen und bestimmt die Verluste der Mutatoranlage für ihre einzelnen Teile gesondert. Für die Mutatortransformatoren gibt es dabei einfache und leicht durchzuführende Verfahren, nicht aber für die Mutatoren selbst. Unter der grossen Zahl von Vorschlägen zur Messung der Lichtbogenverluste findet sich kaum einer, der für Abnahmemessungen wirklich geeignet wäre. Die üblichste Methode ist die oszillographische, trotz der erforderlichen teuren und unhandlichen Apparatur; sie gibt aber nicht einmal theoretisch die richtigen Ergebnisse, wenn man nicht ausserdem noch den Anodenstrom aufnimmt und die Produktkurve der beiden planimetriert. Einige Vorschläge mit Trockengleichrichter und Voltmeter sind zwar bequem durchzuführen, geben aber völlig falsche Ergebnisse, sobald Ueberlappung und Zündspannungsspitzen vorkommen. Am einfachsten und richtigsten erhält man den Lichtbogenabfall mit der Wattmetermethode. Dabei liegt die Stromspule in der Anodenleitung, die Spannungsspule zwischen Anode und Kathode. So misst das Wattmeter direkt die Lichtbogenverluste; dividiert man diesen Wert durch den mittleren Anodenstrom, so erhält man den richtigen Wert für den Lichtbogenabfall.

Die allgemeine Verwendung dieser Methode stösst aber auf das Hindernis, dass es gute Wattmeter für grosse Ströme nicht gibt. Man versuchte deshalb <sup>2)</sup>, Stromwandler zwischenzuschalten und vermied die Gleichstrommagnetisierung des Wandlers dadurch, dass man ihm zwei Primärwicklungen gab, die von zwei verschiedenen Anodenströmen in umgekehrter Richtung durchflossen wurden. Die hier behandelte Methode verwendet einen vollkommen normalen Stromwandler und vermeidet seine Gleichstrommagnetisierung durch einen Trockengleichrichter. Dadurch wird das Verhalten der Anordnung durchsichtiger und unabhängig von zufälligen Unsymmetrien in den Anodenströmen. Das Verfahren geht auf einen Vorschlag von W. B. Bat-

ten <sup>3)</sup> zum Oszillographieren von Anodenströmen zurück.

### Beschreibung der Schaltung. <sup>4)</sup>

Fig. 1 zeigt die Schaltung. Das Wattmeter  $P$  ist an einen normalen Stromwandler  $T$  angeschlossen. Das Gleichrichterelement  $M$  auf der Sekundärseite

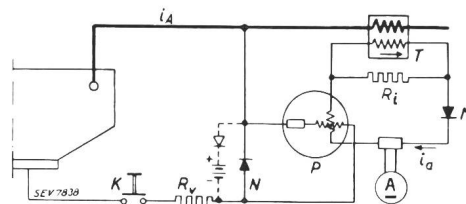


Fig. 1.

Schaltung der Messeinrichtung.

Die mit gestrichelten Linien gezeichnete Anordnung ist nur bei Messung an gittergesteuerten Mutatoren erforderlich.

lässt den Strom nur in der Richtung entgegen dem primären Wandlerstrom fließen. Dadurch ist der Wandler zu Beginn jedes neuen Arbeitsintervalles fast strom- und feldfrei und die Amperewindungen können sich wie bei einem normalen Wandler bis auf den geringen Magnetisierungsstrom aufheben. Der Strom in der Wattmeterspule ist somit ein getreues Abbild des Anodenstromes in dem gewählten Maßstab.

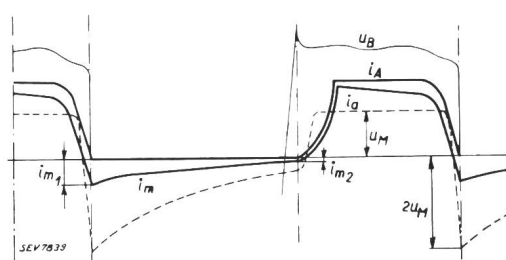


Fig. 2.

Strom- und Spannungsverlauf.

$i_A$  Anodenstrom,  $i_a$  Strom durch die Messinstrumente,  $u_B$  Lichtbogenabfall,  $i_{m1}$  Anfangswert des Rückstromes durch die Sekundärwicklung,  $i_{m2}$  Endwert dieses Rückstromes. Die gestrichelte Linie bezeichnet die Spannung an der Sekundärwicklung des Wandlers mit dem Wert  $u_M$  während des Arbeitsintervalles.

Fig. 2 zeigt den Stromverlauf für einen Wandler mit der Uebersetzung 1 : 1. Infolge des Magnetisierungsstromes  $i_m$  verläuft der Sekundärstrom  $i_a$  unterhalb des Anodenstromes  $i_A$ .  $i_m$  steigt während

<sup>1)</sup> Zu dieser Arbeit haben meine Mitarbeiter J. Plöen, H. Forssell und K. E. Ungerholm beigetragen.

<sup>2)</sup> Brown-Boveri-Mitteilungen 1931, S. 362.

<sup>3)</sup> Electrical Journal, Oct. 1934, S. 418.

<sup>4)</sup> Siehe auch A. U. Lamm, Teknisk Tidskrift, Elektrotechnik, Febr. 1935.