Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 28 (1937)

Heft: 12

Artikel: Die Kompoundierung der Spannungsregler in der Anlage Handeck der Kraftwerke Oberhasli A.-G.

Autor: Maurer, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1059849

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: 11.05.2025

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, Zürich8, Seefeldstr. 301

ADMINISTRATION:
Zürich, Stauffacherquai 36 ❖ Telephon 51.742
Postcheck-Konto VIII 8481

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

XXVIII. Jahrgang | N° 12 | Mittwoch, 9. Juni 1937

Die Kompoundierung der Spannungsregler in der Anlage Handeck der Kraftwerke Oberhasli A.-G.

Von *E. Maurer*, Innertkirchen.

621.316.722

Die Sammelschienen der Kraftwerke Oberhasli A.-G. befinden sich 12 km von den Generatoren entfernt. Nach Betriebsvorschrift muss die Spannung an den Sammelschienen bei allen Belastungen konstant gehalten werden. Die automatischen Spannungsregler der Generatoren mussten daher von Hand stets nachreguliert werden. Es zeigte sich aber das Bedürfnis nach einem automatisch wirkenden Mittel, um die Handregulierung auszuschalten. Eine direkte Einwirkung auf die Regler von Innertkirchen aus kam nicht in Frage. Man fand die Lösung im «Kompoundieren» der Regler, was dadurch bewerkstelligt wurde, dass in den Stromkreis des Drehsystems des Reglers ein elektrisches Abbild der Uebertragungsleitung, d. h. eine Impedanz eingebaut wurde, in welcher ein dem Leitungsstrom proportionaler Spannungsabfall erzeugt wird. Damit wird dem Regler eine zu tiefe Spannung vorgetäuscht.

Diese Einrichtung wird im folgenden beschrieben und anhand der Betriebserfahrungen beurteilt.

Les barres collectrices de l'usine de l'Oberhasli se trouvent à 12 km des alternateurs. Selon une prescription d'exploitation, c'est aux barres que la tension doit être maintenue constante à n'importe quelle charge. C'est pourquoi le réglage automatique de la tension des alternateurs devait être parfait à la main. Peu à peu, le besoin se fit sentir d'un moyen automatique susceptible de remplacer le réglage manuel. Un asservissement direct des régulateurs depuis Innertkirchen n'entrait pas en considération. On aboutit donc à une autre solution, consistant à «compounder» les régulateurs, c'est-à-dire à insérer dans le circuit du système mobile des régulateurs une impédance formant phantôme de la ligne de transmission, dans laquelle on engendre une chute de tension proportionnelle au courant dans la ligne. De la sorte, le régulateur réagit sur une tension inférieure à celle aux bornes de l'alternateur.

Dans l'article qui suit, l'auteur décrit l'installation et communique les expériences faites en cours d'exploitation.

Vorwort.

Die grosse räumliche Entfernung der Generatoren Handeck von den Sammelschienen in Innertkirchen, sowie die zweimalige Transformation der Energie haben bei starken Belastungen einen beträchtlichen Spannungsabfall von den Klemmen der Generatoren bis zu den Sammelschienen zur Folge. Da nun ein normaler Spannungsregler, wie er ursprünglich verwendet wurde, auf Konstanthaltung der Spannung an den Generatorklemmen hinwirkt, der Betrieb indessen eine konstante Sammelschienenspannung in Innertkirchen erfordert, so war schon bei relativ kleinen Belastungsänderungen ein Nachregulieren der Spannung von Hand nicht zu umgehen.

Um diesem Uebelstand abzuhelfen, wurden nach eingehenden Studien die Spannungsregler der Generatoren Handeck mit Kompoundierungseinrichtungen ausgerüstet, welche bewirken, dass die Regler die Spannung an den Sammelschienen in Innertkirchen statt an den Klemmen der Generatoren in Handeck konstant zu halten bestrebt sind.

Im Nachfolgenden werden zunächst die theoretischen Grundlagen für die Kompoundierung der Regler erläutert, dann die ausgeführte Kompoundierungsanlage beschrieben und zum Schluss auf die Erfahrungen im Betrieb hingewiesen.

I. Problemstellung.

Von den vier 28 000-kVA-Generatoren der Maschinenanlage Handeck arbeitet jeder zunächst auf einen Transformator, welcher die Spannung von 11 auf 50 kV erhöht. Unmittelbar an diesen Transformator sind die Uebertragungsleitungen, bestehend aus 5 km Kabel [1]) und 7 km Freileitung, nach Innertkirchen angeschlossen, worauf daselbst in einem zweiten Transformator die Spannung auf 150 kV auftransformiert wird. Jeder Generator bildet also mit zugehörigem Transformator, Uebertragungsleitung und zweitem Auftransformator ein

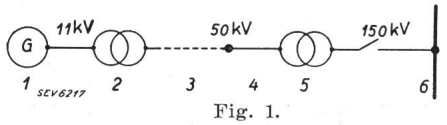

Fig. 1.
Schema der Anlage Handeck-Innertkirchen.

1	Generator 28 000 kVA, 11 kV	Handeck.
2	Transformator 11/50 kV	
3	Kabel 50 kV.	
4	Freileitung.	
5	Transformator 50/150 kV	Innertkirchen.
6	150-kV-Sammelschiene	

selbständiges Aggregat, welches erst in Innertkirchen über einen Oelschalter mit den 150-kV-Sammelschienen verbunden wird (Fig. 1).

Die Generatoren sind mit den bekannten Brown-Boveri-Schnellreglern ausgerüstet, deren Dreh-

[1]) Bull. SEV 1929, Nr. 22, S. 753.

system von den Generatorklemmen aus über Spannungswandler gespeist wird. Die Regler haben somit die Tendenz, die Spannung an den Klemmen der Maschinen konstant zu halten. Da der Spannungsabfall von den Generatoren Handeck bis zu den Sammelschienen in Innertkirchen beträchtlich ist (er beträgt bei Vollast und cos $\varphi = 0{,}8$ ca. 16 %), wurde es schon bei relativ kleinen Belastungsänderungen nötig, die Spannung mittels der Einstellwiderstände von Hand nachzuregulieren, um eine konstante Spannung in Innertkirchen oder einem entfernteren Punkt des 150-km-Netzes zu halten.

Die vielen Eingriffe von Hand machten sich im Betrieb unangenehm bemerkbar, so dass sich die Frage aufdrängte, ob man nicht die Spannungsregler von der Sammelschienenspannung in Innertkirchen beeinflussen könne. Eine direkte Speisung der Regler von den Sammelschienenspannungswandlern Innertkirchen war wegen der grossen Entfernung und des beträchtlichen Energieverbrauches der Regler unwirtschaftlich. Eine andere Lösung bestand darin, die Regler so durch den von den Generatoren abgegebenen Strom zu beinflussen, dass mit steigender Leistung die Generatorspannung selbsttätig erhöht, damit der Spannungsabfall der Uebertragung nach Innertkirchen also ausgeglichen wird.

Dieser Gedanke wurde der Maschinenfabrik Oerlikon als Lieferantin der Generatoren, sowie der AG. Brown, Boveri & Cie. in Baden als Herstellerin der Regler zur Prüfung und nähern Untersuchung unterbreitet. Beide Firmen unterstützten nach Kräften die Kraftwerke Oberhasli A.-G. bei der Ausarbeitung des zur Ausführung gekommenen Projektes, wofür auch hier bestens gedankt sei. Nach einigen Vorversuchen konnten die Kompoundierungs-Einrichtungen im Jahre 1933 eingebaut und in Betrieb genommen werden.

Es sei bemerkt, dass gemäss Betriebsbedingungen die Spannung nicht in Innertkirchen, sondern im Verzweigungspunkt Bickigen des 150-kV-Netzes der Bernischen Kraftwerke A.-G. konstant gehalten werden soll. Für die Ueberkompoundierung über Innertkirchen hinaus ergaben sich jedoch so komplizierte Schaltungen mit vielen Hilfskontakten, dass man schliesslich darauf verzichtet und die Kompoundierung lediglich auf die 150-kV-Sammelschienen Innertkirchen beschränkt hat. Man konnte dies um so eher, als der Spannungsabfall zwischen Handeck und Innertkirchen viel beträchtlicher ist als derjenige zwischen Innertkirchen und Bickigen.

II. Theorie und Beschreibung der Kompoundierungs-Einrichtung.

Die Wirkung der Kompoundierung besteht darin, dass in einer in die Zuleitung vom Spannungswandler zum Drehsystem des Reglers eingebauten Impedanz durch einen dem Generatorsystem proportionalen Hilfsstrom ein zusätzlicher Spannungsabfall erzeugt wird. So wird dem Regler eine zu tiefe Spannung vorgetäuscht, in gleicher Weise, wie es sonst von Hand durch Vergrössern des Einstellwiderstandes bewirkt wird. Durch geeignete Bemessung dieser Zusatz-Impedanz lässt sich der gewünschte Grad der Kompoundierung erreichen. Der Hilfsstrom wird einem vom Maschinenstrom gespeisten Stromwandler entnommen.

Betrachtet man einen Generator mit der Klemmenspannung U_G, welcher über eine lange Leitung einen Strom I nach den Sammelschienen, deren Spannung U_S betragen soll, schickt, so gilt für diese Energieübertragung die Gleichung:

$$U_G = U_S + (R + j\omega L)I \qquad (1)$$

wo R den Widerstand und L die Induktivität der Uebertragungsleitung bedeuten. Der Multiplikator j bedeutet im Folgenden immer eine vektorielle Drehung um 90° gegen U_S.

Ebenso erhält man für den Spannungskreis des Reglers die Gleichung

$$U_g = (R_1 + j\omega L_1)I_1 + (R_2 + j\omega L_2)I_2 \qquad (2)$$

Darin bedeuten:

U_g die Sekundärspannung des den Regler speisenden Spannungswandlers,
I_1 den vom Spannungswandler in den Regler gegeschickten Strom,
I_2 den vom Kompoundierungsstromwandler herrührenden Hilfsstrom,
$R_1 + j\omega L_1$ die gesamte Impedanz des Spannungskreises des Reglers,
$R_2 + j\omega L_2$ denjenigen Teil der vorstehend erwähnten Impedanz, welcher vom Strom I_2 durchflossen wird.

Bezeichnet man in Gl. (2) $(R_1 + j\omega L_1)I_1$ mit U_s, so erhält man:

$$U_g = U_s + (R_2 + j\omega L_2)I_2 \qquad (3)$$

Für einen gewöhnlichen, unkompoundierten Regler ist das zweite Glied rechts gleich null. Nimmt man an, der Regler sei vollkommen astatisch, so kann er nur für einen bestimmten Strom I_1 im Gleichgewicht sein; I_1 und infolgedessen auch U_S sind somit als Konstante zu betrachten; U_s entspricht der konstanten Spannung, welche der Regler einzuhalten bestrebt ist. Da nun U_g als Sekundärspannung des Spannungswandlers der Klemmenspannung des Generators proportional ist, so muss für eine vollständige Kompensation des Spannungsabfalles der Uebertragung durch den Regler die Beziehung gelten:

$$\frac{U_g}{U_G} = \frac{U_s}{U_S}, \text{ bzw. } \frac{U_G}{U_S} = \frac{U_g}{U_s} \qquad (4)$$

d. h., der im Spannungskreis des Reglers zusätzlich erzeugte Spannungsabfall in % muss dem Spannungsabfall in der Uebertragungsleitung in % gleich sein, wobei beide Spannungsabfall-Vektoren auch die gleiche Phasenlage aufweisen müssen. Die zusätzliche Kompoundierungs-Impedanz $R_2 + j\omega L_2$ muss also so beschaffen sein, dass R_2 dem Leitungswiderstand und L_2 der Leitungsinduktivität ent-

spricht, unter Berücksichtigung des Uebersetzungsverhältnisses der Strom- und Spannungswandler.

Diese Ueberlegungen gelten für Einphasensysteme. Bei Dreiphasensystemen muss, sofern der Regler an die verkettete Spannung angeschlossen ist, der Strom in die richtige Phasenlage gedreht werden. Zur Vermeidung künstlicher Mittel benützt man am besten den Strom derjenigen Phase, an welche der Spannungsregler *nicht* angeschlossen ist. Dieser eilt der verketteten Spannung der beiden

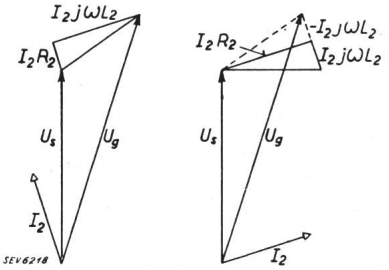

Fig. 2.
Spannungs-Diagramme.
Einphasen-System (links) und Dreiphasen-System (rechts).

Spannung Phase *RS*. Strom Phase *RS*.
Spannung Phase *RS*. Strom Phase *T*.

andern Phasen um 90° voraus. Das hat zur Folge, dass in der Kompoundierungs-Impedanz Widerstand und induktive Reaktanz vertauscht werden müssen, d. h., entsprechend der Leitungs-Induktivität ist ein Widerstand und entsprechend dem Leitungswiderstand eine Drosselspule zu verwenden. Wie aus Diagramm Fig. 2 hervorgeht, muss überdies noch die Richtung von I_2 in der Drosselspule um 180° gedreht werden, was nur durch Zwischenschaltung eines Hilfswandlers möglich ist. Bei den Kompoundierungs-Einrichtungen Handeck sind Drosselspule und Hilfswandler zu einem einzigen Gerät vereinigt. Unter Berücksichtigung der vorstehenden Tatsachen tritt an Stelle der Gl. (3) die folgende Gleichung:

$$U_g = U_s + (R_2 - j\omega L_2) I_2 \qquad (5)$$

An Hand dieser Gleichung kann nun die Kompoundierungs-Impedanz berechnet werden, wie für den Fall Handeck an folgendem Beispiel gezeigt wird. Angenommen, der Generator werde zum Phasenschieben benützt und sei mit 10 000 kVar induktiver Blindleistung belastet. Die Sammelschienenspannung in Innertkirchen betrage 150 kV. Der Spannungswandler, an welchen der Regler angeschlossen ist, hat eine Uebersetzung von 11 000/220 V, der Kompoundierungs-Stromwandler eine solche von 1600/5 A. Es liegen alsdann folgende Verhältnisse vor:

Sammelschienenspannung Innertkirchen	U_S	150 000 V
Entspr. Leerlaufspannung der Generatoren		10 400 V
Generatorspannung bei Abgabe von 10 000 kVar	U_G	11 370 V
Generatorstrom bei Abgabe von 10 000 kVar		$-j508$ A
Spannungsabfall $= I\,(R + j\omega L)\sqrt{3} =$		$-j\cdot 104 + 970$ V
in % der Leerlaufspannung		$-j\cdot\ 1 + 9{,}33$ %

Spannungsregler:

Speisespannung bei Belastung, $U_g = \dfrac{220}{11\,000} \cdot 11\,370 = 227$ V

Speisespannung bei Leerlauf $= \dfrac{220}{11\,000} \cdot 10400 = 208$ V

Kompoundierungsstrom I_2 $\dfrac{5}{1600} \cdot 508 = 1{,}59$ A

Spannungsabfall der Kompoundierung $= \dfrac{208}{100}(-j\cdot 1 + 9{,}33)$ V
$= -j\cdot 1 + 9{,}33$ %
$= -j\,2{,}08 + 19{,}4$ V

Aus Spannung und Strom erhält man für die Kompoundierungs-Impedanz:

Widerstand $= \dfrac{19{,}4}{1{,}59} = 12{,}2$ Ohm,

Drosselspulen-Reaktanz $= \dfrac{2{,}08}{1{,}59} = 1{,}3$ Ohm

Die in der Maschinenanlage Handeck angewandten Kompoundierungsgeräte sind für eine grössere Impedanz als die vorstehend berechnete bemessen, einerseits, um vorhandene Ungleichheiten der einzelnen Gruppen auszugleichen und anderseits, um später eventuell eine Ueberkompoundierung zu ermöglichen. Es wurde ein Schiebe-Widerstand von ca. 18 Ohm und eine Drosselspule mit einer induktiven Reaktanz von 2,4 Ohm eingebaut; diese besitzt mehrere Anzapfungen zur Einstellung des gewünschten Wertes. Bei der Inbetriebsetzung wurden Widerstand und Reaktanz auf die berechneten Werte eingestellt und die Wirkung der Kompoundierung durch Versuche kontrolliert. Dabei auftretende kleine Differenzen wurden mit dem Schiebe-Widerstand ausgeglichen.

Das Schema Fig. 3 zeigt die Anordnung der Kompoundierungs-Einrichtung im Werk Handeck. Der Spannungswandler *3* speist das Drehsystem des Reglers. In die Leitung zwischen Spannungswandler und Regler sind der Einstellwiderstand für Betätigung von Hand, bzw. Fernbetätigung von Innertkirchen, und das Kompoundierungsgerät, bestehend aus Schiebewiderstand *7* und Reaktanz *8* (Drosselspule, kombiniert mit Hilfsstromwandler) eingebaut. Der Hilfsstrom für die Kompoundierung wird dem Stabstromwandler *6* entnommen. Zur Kompensation der Statik des Reglers dient wie üblich der in die vorangehende Phase eingebaute Stromwandler *4* mit Hilfsstromwandler *5*.

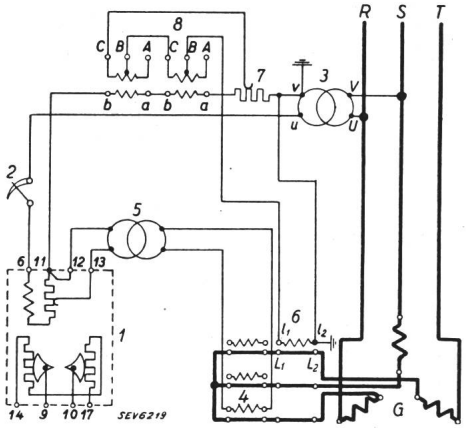

Fig. 3.
Prinzip-Schema der Generatoren-Anlage Handeck für die Kompoundierung der Spannungsregler.

1 Spannungsregler.
2 Einstellwiderstand.
3 Spannungswandler 11 000/220 V.
4 Stromwandler für Kompensation 1500/5 A.
5 Hilfsstromwandler für Kompensation.
6 Stromwandler für Kompoundierung 1600/5 A.
7 Kompoundierungs-Widerstand (ca. 18 Ω).
8 Kompoundierungs-Reaktanz.

Die Kompoundierungsgeräte sind in der Nähe der zugehörigen Regler in der Generatoren-Schalttafel angeordnet. Die betriebsmässige Stellung der Läufer der Schiebewiderstände für den 150-kV-Betrieb sind durch Anschläge markiert und fixiert. Da in Innertkirchen auch Energie von 50 kV Spannung abgegeben werden kann, so sind durch weitere Anschläge die Stellen markiert, auf welchen die Läufer stehen müssen, damit auf Konstanthaltung der Spannung auf der 50-kV-Seite der Transformatoren Innertkirchen kompoundiert wird. Soll der Regler ausnahmsweise ohne Kompoundierung arbeiten, so wird der Läufer auf Null gestellt und der Stromwandler *6* sekundär kurzgeschlossen. Um eine Aenderung der Widerstandsverhältnisse im Spannungskreis der Regler durch Einbau der Kompoundierungseinrichtung zu vermeiden, wurde die dieser entsprechende Ohmzahl am fest im Regler eingebauten Vorschaltwiderstand weggenommen, zum Teil auch vom Einstellwiderstand, worüber im folgenden Abschnitt berichtet wird.

III. Betriebs-Erfahrungen mit den kompoundierten Reglern.

Nach der Inbetriebsetzung der Kompoundierungs-Einrichtungen zeigten sich im Laufe des Probebetriebes einige Mängel. Durch fortwährende Beobachtungen und Studien konnten deren Ursachen ergründet und die Fehler beseitigt werden, so dass die Apparate nun einwandfrei und zuverlässig funktionieren. Die anfänglich aufgetretenen Störungen waren zur Hauptsache die folgenden:

1. Es traten Stabilitätsschwankungen in der Verteilung der Blindleistung auf die einzelnen Maschinen ein. Unter Umständen konnten diese durch Spannungsschwankungen im Netz hervorgerufenen Pendelungen der Blindleistung so gross werden, dass die Maximal-Zeit-Relais der Generatoren zum Ansprechen kamen.
2. Bei Eingriffen von Hand durch Verändern der Spannungs-Einstellwiderstände traten jeweilen starke Aenderungen der Blindleistung der betreffenden Maschine ein, die bei unvorsichtigem Manipulieren sogar zum Ansprechen der Maximal-Zeit-Relais führen konnten.
3. Die einzelnen Maschinengruppen zeigten ein ungleiches Verhalten sowohl auf die Wirkung der Kompoundierung, als auch auf die Grenzen zur Abgabe von Lade- bzw. Magnetisierungsleistung. Ferner war eine Abhängigkeit der Wirkung von der Anzahl der gleichzeitig im Betrieb befindlichen Maschinen und deren Belastung zu konstatieren.

Die Ursachen dieser Mängel und die Mittel zu deren Abhilfe waren folgende:

1. Das Verhalten des kompoundierten Spannungsreglers ist ähnlich demjenigen eines astatisch eingestellten Geschwindigkeitsreglers ohne Rückführung. Sobald durch einen Pendelungsvorgang im Netz die Blindleistung einer Maschine zunimmt, so wirkt die Kompoundierung auf Erhöhung der Spannung dieser Maschine, hat also die Tendenz, die Pendelung zu verstärken. Es wurde deshalb die Kompoundierung nachträglich etwas schwächer eingestellt, so dass die Regler nun mit einem Ungleichförmigkeitsgrad arbeiten, wie dies auch bei Geschwindigkeitsreglern mit Rückführung der Fall ist. Die Erfahrung zeigte, dass bei einer Ungleichförmigkeit der Spannung von $\pm$ 2 %, bezogen auf $\pm$ 10 000 kVar Blindleistung die für den Betrieb erforderliche Stabilität erhalten blieb. Die entsprechende Schwächung der Kompoundierung wurde erreicht durch Einstellung des Schiebewiderstandes auf ca. 10,3 statt 12,2 Ohm.

2. Erhöht man bei einem auf eine gemeinsame Sammelschiene mit andern parallel arbeitenden Generator die Spannung durch Verkleinern des Einstellwiderstandes des Spannungsreglers, so nimmt die Blindleistung dieser Maschine so lange zu, bis das Gleichgewicht durch Erhöhung des Spannungsabfalles in der Zuleitung zu den Sammelschienen wieder hergestellt ist. Bei einem kompoundierten Regler wird nun durch die Einwirkung der Kompoundierung die Generator-Spannung so weit erhöht, dass einer kleinen Aenderung des Einstellwiderstandes eine sehr grosse Aenderung der Blindleistung entspricht. An Hand der Regler-Gleichung (5) und Gleichung (1) kann diese Aenderung der Blindleistung berechnet werden. Unter Annahme, dass sich die Sammelschienenspannung bei diesem Eingriff nicht ändert, wird sie für einen vollkommen astatischen Regler unendlich gross, d. h. es kann sich keine Gleichgewichtslage einstellen.

Damit die Spannung an den Sammelschienen Innertkirchen in den vorgeschriebenen Grenzen von 135 ... 165 kV gehalten werden kann, wurden die Spannungsregler seinerzeit mit reichlich dimensionierten Einstellwiderständen, eingeteilt in je 20 Stufen, versehen. Da nun deren Aenderung um nur eine Stufe schon eine beträchtliche Verschiebung der Blindleistung zur Folge hatte, anderseits die Kompoundierungs-Einrichtung das Nachstellen der Spannung bei Belastungsänderungen, das sonst von Hand geschah, nun selbsttätig bewirkt, so half man sich zunächst durch Verkleinern der Einstellwiderstände und somit auch deren Stufen auf einen Drittel des ursprünglichen Wertes. Nach dieser Massnahme betrug die Aenderung der Blindleistung pro Stufe immer noch 2,5 ... 3 MVar, war also für den Betrieb zu grob. Ausserdem wurde dadurch der Spannungsbereich der Generatoren im Leerlauf unzweckmässigerweise reduziert.

Um diesen Uebelständen abzuhelfen, entschloss man sich zum Einbau neuer feinstufiger Einstellwiderstände, welche nach eingehenden Studien etwas reichlicher als die Hälfte der ursprünglichen und mit einer Stufenzahl von 128 gewählt wurden. Mit diesen neuen Einstellwiderständen ist es nun möglich, die Generator-Spannung im Leerlauf zwischen 8,5 und 13 kV zu halten und die Aenderung der Blindleistung pro Stufe bei Nachregulierung von Hand unter 1 MVar zu reduzieren.

Eine Erklärung für die unter 3) festgestellten Ungleichheiten war zunächst nicht leicht zu finden. Verschiedene Beobachtungen und Messungen an den Reglern zeigten dann, dass die Ursache in Ungleichheiten des mechanischen Systems der einzelnen Regler zu suchen sei, wobei die Kompoundierungs-Einrichtungen nur eine sekundäre Rolle spielten. So wurde festgestellt, dass die Spannung der Gegenfeder zum Drehsystem bei den einzelnen Reglern nicht übereinstimmte, was zunächst un-

gleiche Reglerströme I_1 zur Folge hatte. Dann nahmen auch die Zungen auf der Skala bei der mittlern Leerlaufspannung (10,4 kV) nicht die gleiche Stellung ein.

Die Regler wurden alsdann so abgeglichen, dass die Spannung der Gegenfeder, die Ströme I_1 und die Stellung der Zungen bei Leerlauf bei allen 4 Reglern in Uebereinstimmung gebracht wurde. Durch diese Massnahme konnten die erwähnten Ungleichheiten zum grössten Teil beseitigt werden. Die Abhängigkeit von der Zahl der im Betrieb befindlichen Maschinen und deren Belastung rührt von der gegenseitigen induktiven Beeinflussung der Uebertragungsleitungen von Handeck nach Innertkirchen her. Sie ist jedoch nicht von Belang und mit einfachen Mitteln nicht zu beseitigen.

Seitdem diese Massnahmen getroffen waren, standen die Kompoundierungs-Einrichtungen dauernd im Betrieb. Sie verursachten keine Betriebsstörungen mehr und es gelang mit ihrer Hilfe, Eingriffe in die Konstanthaltung der Spannung von Hand, wenn auch nicht vollständig zu beseitigen, so doch auf ein Mindestmass zu beschränken. Besonders wertvoll für den Betrieb ist die Eigenschaft der kompoundierten Regler, bei plötzlichen Abschaltungen grosser induktiver Belastungen die Spannung der Generatoren stark herunterzuregulieren, sonst wären den Betrieb gefährdende Spannungserhöhungen im Netz infolge der Ladeströme der 150-kV-Leitungen unvermeidlich.

Eine Begrenzung der Regulierfähigkeit ist durch den Umstand gegeben, dass die ganze Apparatur nur einphasig ausgebaut ist und somit nur auf die Spannungsverhältnisse in derjenigen Phase reagiert, an welche der Spannungsregler angeschlossen ist. Sie wird also nur richtig arbeiten, solange symmetrische Zustände in allen 3 Phasen vorliegen, also nicht bei unsymmetrischen Kurzschlüssen usw. Dies trifft indessen auch für die üblichen Spannungsregler ohne Kompoundierung zu, die gewöhnlich auch nur einphasig angeschlossen sind.

Das Problem der Kompoundierung der Spannungsregler kann als gelöst betrachtet und für Anlagen mit langen Verbindungsleitungen zwischen Generatoren und Sammelschienen empfohlen werden. Es sei noch bemerkt, dass auch vollständige Kompoundierung sowie Ueberkompoundierung möglich sind. Diese erfordern aber die Speisung der Kompoundierungsgeräte über Summenstromwandler oder Ausgleichschienen, was bei mehreren Sammelschienen-Systemen zu Komplikationen führt.

Le contrôle des surcharges dues au givre sur les lignes aériennes.

Par *R. Grezet*, Zurich.

621.315.056.5

Dans un article paru dans le No. 8 du Bulletin de cette année, M. *P. Gervasoni* expose «Deux cas intéressants de formation de givre et de dégivrage par chauffage des conducteurs» observés sur la grande portée de la ligne du Gothard qui surplombe la vallée des Schœllenen. Nous pensons qu'une description succinte du dispositif de contrôle à distance de la formation du givre [1]) auquel il est fait allusion au début de l'article précité pourra intéresser les lecteurs du Bulletin.

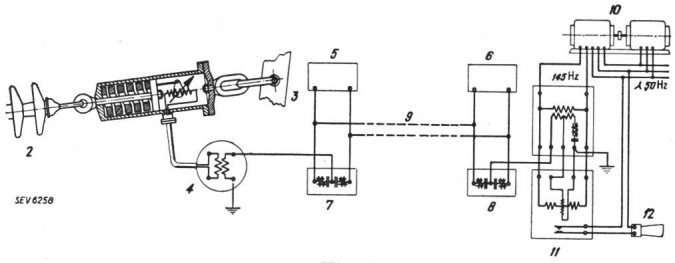

Fig. 1.
Schéma du dispositif de contrôle.

1 Transmetteur .
2 Ligne H. T.
3 Pylône.
4 Transformateur de protection.
5, 6 Postes téléphoniques.
7, 8 Circuits duplex.
9 Ligne téléphonique en acier, longueur 1400 m.
10 Convertisseur de fréquence.
11 Enregistreur avec contact d'alarme.
12 Avertisseur.

Le schéma de principe du dispositif de contrôle est reproduit en fig. 1. L'appareil transmetteur (fig. 2) comporte un puissant dynamomètre à ressort mesurant l'effort de traction du câble et actionnant, par l'intermédiaire d'une biellette, un variomètre à circuit magnétique fermé. Le tout est enfermé dans un corps étanche, en acier coulé, inséré entre le pylône et les chaînes d'isolateurs.

[1]) Fabricant de cet appareillage: S. A. Trüb, Täuber & Cie., Zurich.

Le variomètre constitue la branche variable d'un pont à courant alternatif; cette branche est reliée aux appareils récepteurs au moyen d'une ligne téléphonique établie entre un abri situé à proximité du pylône et le domicile du garde-ligne à Goeschenen. De façon à assurer la simultanéité des conversations téléphoniques et de la télémesure, la ligne téléphonique, qui est reliée au central automatique de Goeschenen, est utilisée en duplex. Le circuit de télémesure,

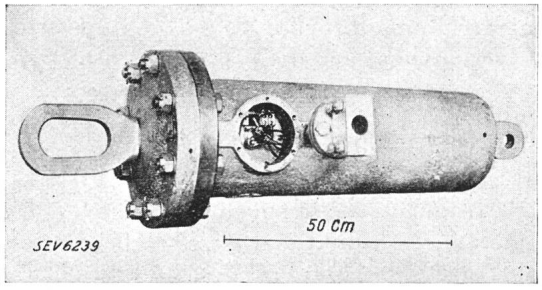

Fig. 2.
Appareil transmetteur.

séparé de l'appareil transmetteur par un transformateur d'isolement, se ferme par la terre.

Dans le but d'éliminer l'influence perturbatrice des courants vagabonds à 50 et $16^2/_3$ pér./s (ces derniers particulièrement intenses dans la région du Gothard) le pont est alimenté à la fréquence de 145/s au moyen d'un petit groupe convertisseur raccordé au réseau triphasé local; l'élimination a lieu d'une manière plus complète encore par l'utilisation, comme organes de duplication de la ligne téléphonique, de circuits résonnants accordés sur une fréquence voisine de celle d'alimentation. Les variations de la tension d'alimentation n'ont pas d'influence sur l'exactitude de la mesure