Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 43 (1952)
Heft: 4

Artikel: Das Unterwerk Saland der EKZ
Autor: Schneider, C.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057846

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: 10.08.2025

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

43e année N° 4 Samedi, le 23 Février 1952

BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

Das Unterwerk Saland der EKZ

Von *Ch. Schneider*, Zürich

621.316.262 (494.34)

Die Voraussetzungen für den Bau des Unterwerks Saland, die Grundsätze für die bauliche Anordnung und die elektrische Ausrüstung werden dargelegt; dabei wurden neue Wege beschritten. Weil das Unterwerk unbemannt ist, stellen sich besondere Bedingungen für die Fernsteuerung und Fernmessung; bei deren Inbetriebnahme waren zusätzliche Schwierigkeiten zu überwinden, die beschrieben werden.

Exposé des raisons qui ont motivé la construction de la sous-station de Saland, ainsi que des principes appliqués à l'aménagement des bâtiments et à l'équipement électrique, selon de nouvelles méthodes. Cette sous-station n'étant pas desservie par du personnel, la télécommande et la télémesure devaient satisfaire à des exigences particulières. Lors de la mise en service, il a fallu surmonter quelques difficultés imprévues, qui sont décrites.

1. Allgemeines

Der im oberen Tösstal und in den umliegenden Gegenden immer grösser werdende Verbrauch elektrischer Energie erforderte den Bau eines neuen Unterwerkes. Als Standort wurde, in Zusammenarbeit mit den Organen des kantonalen Regionalplanbüros und des Heimatschutzes, Saland bestimmt, eine kleine Ortschaft mit vollständig ländlichem Charakter, welche ungefähr mit dem Schwerpunkt des dem neuen Unterwerk zugeordneten Absatzgebietes zusammenfällt. Gespiesen wird das Unterwerk vorläufig über eine 50-kV-Stichleitung vom Unterwerk Aathal. Später soll durch den Bau einer weiteren 50-kV-Leitung von Saland nach Winterthur das Unterwerk in einen 50-kV-Ring eingeschlauft werden. Im übrigen wurde das Unterwerk nach dem bewährten Schema Fig. 1 aufgebaut, welches bei entsprechender Disposition gestattet, ausser den Linieneinführungen sämtliche Teile zu kontrollieren und zu revidieren, ohne den Betrieb und die Energieversorgung zu stören.

Das Unterwerk soll vollständig unbemannt, über eine Distanz von 12 km von Aathal aus — einem für das Mittelspannungsnetz der EKZ sehr wichtigen Knotenpunkt — fernbedient und überwacht werden. Aathal ist als zentrale Kommandostelle weiterer unbemannter Unterwerke vorgesehen.

2. Aufbau

Wirtschaftlichkeitsrechnungen ergaben, dass die 50-kV-Anlage (isoliert für Reihe 60) am vorteilhaftesten als Freiluftanlage erstellt wird, während für die 16-kV-Anlage (gebaut mit Material der Reihe 20) ein einstöckiges Gebäude sich als am günstigsten erwies.

2.1. Freiluftanlage

Um in den heutigen Zeiten der Hochkonjunktur die Lieferfirmen und die eigene Bauabteilung nicht mehr als unbedingt nötig zu belasten, wurde von der 50-kV-Anlage vorläufig nur der im Prinzip-Schema Fig. 1 B angegebene Teil ausgebaut. Die beim späteren Ausbau bleibenden Anlageteile, wie Schaltergerüst, Ständer für Ueberspannungsableiter und Kopplungskondensator, Transformatoren-Fundamente und Kabelträger, wurden aus geschleuderten Betonmasten und vibrierten Betonbalken hergestellt. Neben gefälligem Aussehen, solider Konstruktion und minimalen Anforderungen an den Unterhalt, gestattet diese Ausführung in Beton, Steuer- und Messleitungen geschützt in ihrem hohlen Innern direkt aus dem Kabelkanal zu den Apparaten zu verlegen. Die Bestandteile, welche später abgeändert werden oder verschwinden, wie der Abspannbock und die Träger für Trenner und Hilfsschiene zwischen Schalter und Transformator, sind aus Holz konstruiert (siehe Fig. 2). Auf eine Montagehalle wurde verzichtet (unbemannte Anlage). Von allem Anfang an wurde, um die Störungsdauer durch Transformatorenschäden möglichst kurz zu halten, ein Reserve-Transformator eingebaut. Die Transformatoren werden direkt vom Tiefgangwagen auf die als Rampe dienenden Fundamente abgeladen. Da auf alle Fälle vermieden werden muss, dass der Grundwasserstrom des Tösstales durch auslaufendes Öl verunreinigt wird, sind die Fundamente gleichzeitig als Ölsammler ausgebildet. Die Energie wird von den Haupttransformatoren in Unterspannung mit je 2 parallelen einadrigen Kabeln pro Phase ins 16-kV-Schalthaus geführt. Dies gestattet, auch bei einem Kabeldefekt den Betrieb mit reduzierter Leistung aufrecht zu erhalten, bis Ersatz herangeschafft ist.

2.2. Innenraumanlage

Das Unterwerk liegt, wie schon in der Einleitung angedeutet, in einer schönen, ländlichen Gegend. Aus diesem Grunde musste das 16-kV-Schalthaus so angeordnet und gestaltet werden, dass es sich gut in die Gegend einfügt und die Freiluftanlage gegen das offene Tal und die Strasse hin so gut als möglich abdeckt. Diese Aufgabe wurde Herrn Architekt Winkler in Zürich übertragen und, wie Fig. 3 zeigt, in sehr geschickter Weise gelöst.

Das Gebäude ist in zwei Teile aufgeteilt (Fig. 4), das eigentliche 16-kV-Schalthaus und die Diensträume, umfassend Kommandoraum, Batterieraum, Kompressorraum, Aufenthaltsraum, WC, Magazin und Luftschutzkeller. Von diesen sollen hier nur das 16-kV-Schalthaus und unter dem Kapitel «Steuerung und Bedienung» der Kommandoraum beschrieben werden.

Das Schema der 16-kV-Anlage wurde, wie der Querschnitt Fig. 5 zeigt, im Raume abgewickelt. Um später durch Anbau in der Längsachse die Anlage erweitern zu können, durften nur die Längswände als Tragelemente verwendet werden. Damit die elektrischen Dispositionen nicht durch Bauelemente wie Stützen oder Säulen behindert wurden, musste die Decke über die ganze Breite von 12 m frei gespannt werden. Dies erforderte Überzüge von beträchtlichen Ausmassen. Die Wände wurden gemauert, während Decken, Überzüge und Fundamente aus armiertem Beton hergestellt sind. Der zwischen den Fundamenten und der unteren Decke freigebliebene Raum sowie der Dachraum gestatteten eine ideale Verlegung der für die Fernsteuerung von Schaltern und Trennern sehr zahlreichen Druckluftleitungen, Steuer- und Messkabel (Fig. 6). Dadurch sind nicht nur diese enorm wichtigen «Lebensnerven» vor den schädigenden Einflüssen eines eventuellen Lichtbogens geschützt, sondern auch die Hochspannungsinstallation wird derart entlastet, dass sie viel einfacher, leichter und übersichtlicher wirkt. Um die Anlage möglichst übersichtlich zu gestalten, wurde auf Zwischenwände vollständig verzichtet, mit Ausnahme einer Trennwand zwischen den beiden Sammelschienen. Die einzelnen Zellen werden gebildet aus vollständig verschweissten Rahmen aus abgekantetem Blech, welche durch den Boden hindurch in den unteren Raum führen. Diese Rahmen dienen als Ständer für Steuerschalter, Sicherungen usw. sie führen gut geschützt Druckluftleitungen, Steuer- und Messkabel, und an ihnen werden Traversen befestigt zur Aufnahme von Apparaten. Zur Revision und Reparatur einzelner Felder während des Betriebes lassen sich mit Leichtigkeit vorbereitete Isolierbretter in die Rahmen einschieben, so dass der Arbeitsort trotz der offenen Anlage gegen die spannungführenden Teile hin vollständig verschalt ist (Fig. 7). Ausserdem kann jeder Anlageteil durch fest eingebaute Schutzerdungstrenner geerdet werden. Gegen die Bedienungsgänge hin sind die Hochspannungszellen mit Sicherheitsglas abgeschlossen (Fig. 8). Auf diese Art wurde eine maximale Sicherheit und beste Übersicht für das Bedienungspersonal, das von Zeit zu Zeit die Anlage kontrollieren muss, zu erreichen versucht. Diese neuartigen Glasverschalungen wurden vor der Verwendung einer eingehenden Prüfung unterzogen. Die Kontrolle der mechanischen Eigenschaften liess das Material für die Zwecke als durchaus geeignet erscheinen. Die Einwirkung des elektrischen Lichtbogens wurde folgendermassen geprüft: Auf einer Glasscheibe wurden zwei Elektroden montiert, zwischen denen mit Hilfe dünner Drähte Hochspannungs-Lichtbogen von 10...25 A und 1...2 s Dauer erzeugt wurden. Das Material hielt diese Beanspruchung ohne Schaden zu nehmen aus. Einzig einige

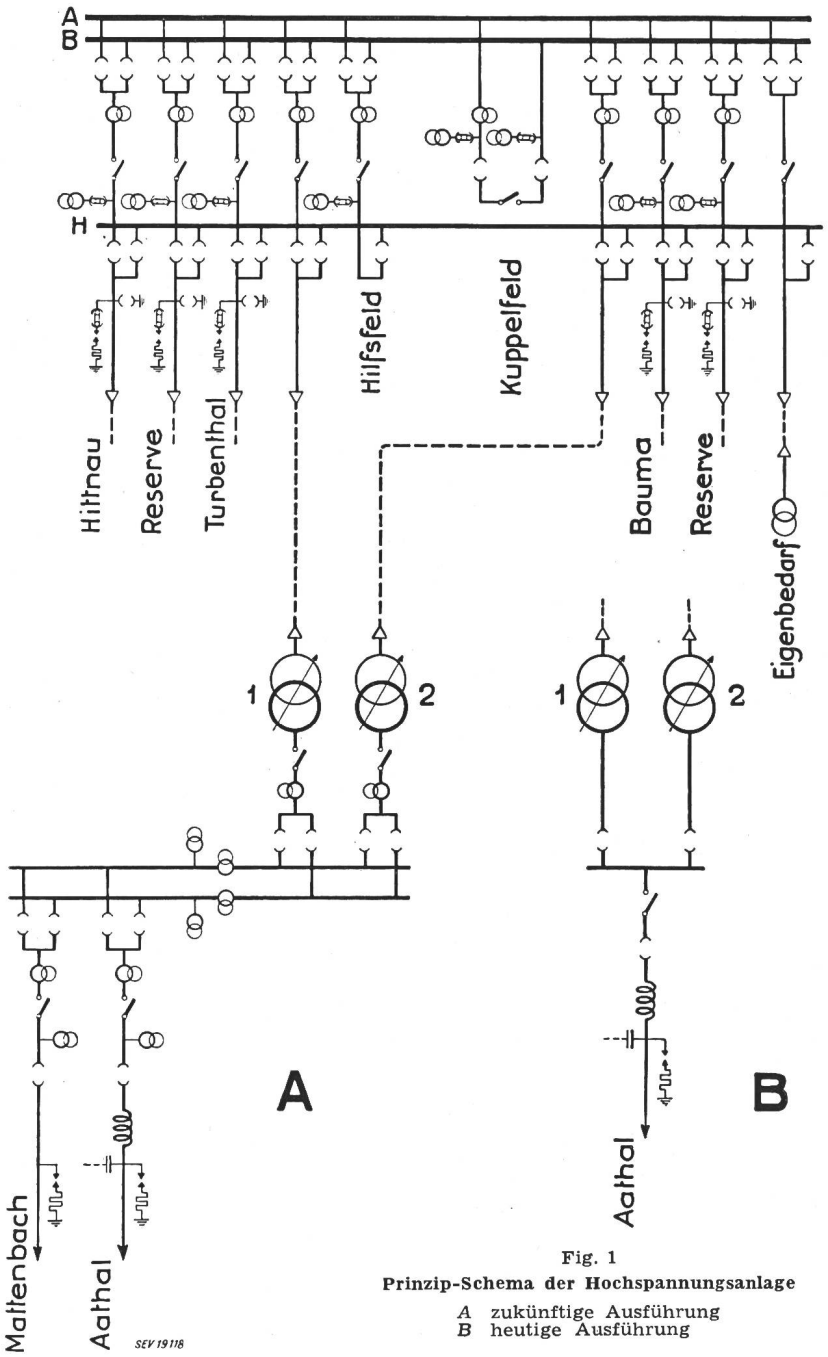

Fig. 1
Prinzip-Schema der Hochspannungsanlage
A zukünftige Ausführung
B heutige Ausführung

kleine Spritzer von flüssigem Kupfer brannten sich derart ins Glas ein, dass sie nicht mehr entfernt werden konnten.

Bei der Disposition der verschiedenen Apparate, insbesondere der Trenner, wurde darnach getrachtet, neben guter Zugänglichkeit bei Revisionen Störungen durch Lichtbogenkurzschlüsse möglichst auf den Entstehungsort zu beschränken. So wurden zum Beispiel die Sammelschienen unter den zugehörigen Trennern angeordnet. Die gesamte Innenraumanlage ist öllos. Schalter und Trenner sind mit Druckluftantrieben versehen, Strom- und Spannungswandler mit Kunstharz isoliert.

Die einstöckige Bauweise verlangt, dass alle abgehenden Linien über Kabel in die Anlage eingeführt werden. Die Mehrkosten dieser Kabelausführungen werden jedoch ungefähr kompensiert durch die Minderkosten des Hochbaus. Den Nachteilen des durch die Kabelstücke erschwerten Überspannungsschutzes stehen die Vorteile der schöneren Gestaltung gegenüber, welche das Landschaftsbild vor der Verunstaltung durch viele beim Unterwerk zusammenlaufende Freileitungen bewahrt.

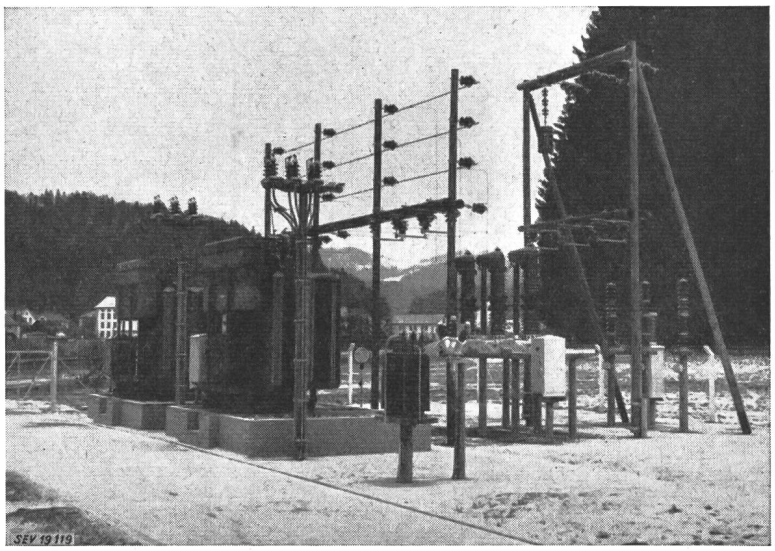

Fig. 2
Freiluftanlage

3. Steuerung und Bedienung

Zur Übermittlung der Signale, die eine Fernbedienung eines Unterwerkes benötigt, standen prinzipiell folgende Übertragungsmöglichkeiten zur Verfügung:

Fig. 3
16-kV-Schalthaus
Ansicht von der Hauptstrasse

a) Eigenes Fernsteuerkabel (Freileitung ist wegen der Störanfälligkeit bei Gewittern nicht geeignet);
b) gemietete Telephonadern der PTT;
c) jeweiliger Aufbau der Verbindung durch Telephonanwahl;
d) leitungsgerichteter Hochfrequenzkanal.

Sorgfältige Prüfungen ergaben, dass der leitungsgerichtete Hochfrequenzkanal für diesen speziellen Fall die betriebssicherste und wirtschaftlichste Lösung darstellt.

3.1. Die leitungsgerichtete Hochfrequenzverbindung

Die von der Firma Brown, Boveri & Cie. gelieferte Hochfrequenzverbindung muss folgende, nach der Wichtigkeit geordnete, Anforderungen erfüllen:

a) Übertragung der Impulse für die Fernsteuerung und Rückmeldung;
b) gleichzeitige Fernübertragung von drei von Fall zu Fall auszuwählenden Messwerten;
c) dauernde Fernübertragung eines vierten Messwertes zur Registrierung der Übergabeleistung;
d) Anzeige eventueller Fehler, die die Fernsteuerung gesamthaft blockieren;
e) Sprechverbindung zwischen Aathal und Saland.

Derart mannigfaltige Anforderungen konnten, weil durch internationale Vorschriften die Bandbreite der Sender beschränkt ist, nur mit gewissen Einschränkungen erfüllt werden. So musste die unter b) genannte gleichzeitige Fernübertragung von 3 Messwerten ins Sprachband verlegt werden. Man kann also nicht gleichzeitig telephonieren und fernmessen. Da jedoch die Fernmessung wichtiger ist, zum Telephonieren zudem noch ein unabhängiger Amtsanschluss zur Verfügung steht, wurde der Messung die Priorität zugeordnet.

Die Trägerfrequenzen der zu übertragenden Signale (Steuer- und Rückmeldesignale) wurden für die beiden Richtungen im Frequenzband 280...320 kHz gewählt. Die in einem stabilisierten Oszillator erzeugten HF-Schwingungen werden verstärkt und mit dem zu übertragenden Niederfrequenzband moduliert. Nach erfolgter Endverstärkung auf die Ausgangsleistung von 10 Watt wird der modulierte HF-Träger über ein Sendefilter, die Schutzeinrichtung und über den Kopplungskondensator auf die

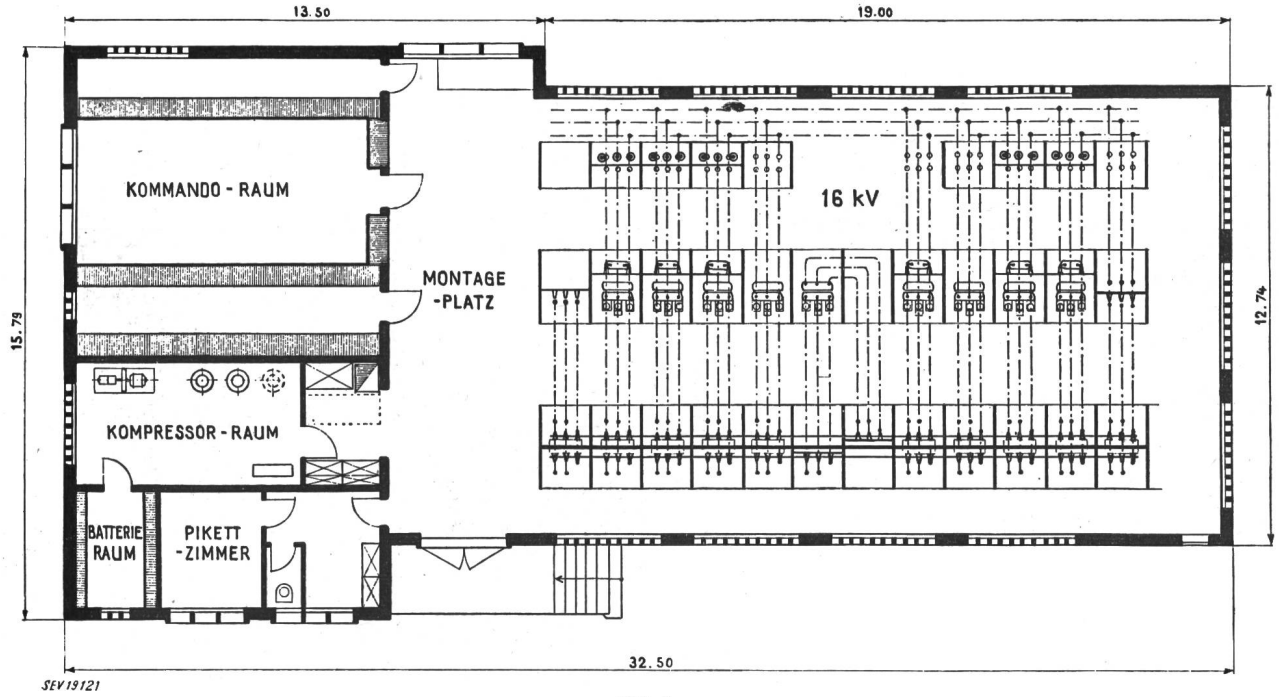

Fig. 4
Grundriss des 16-kV-Schalthauses

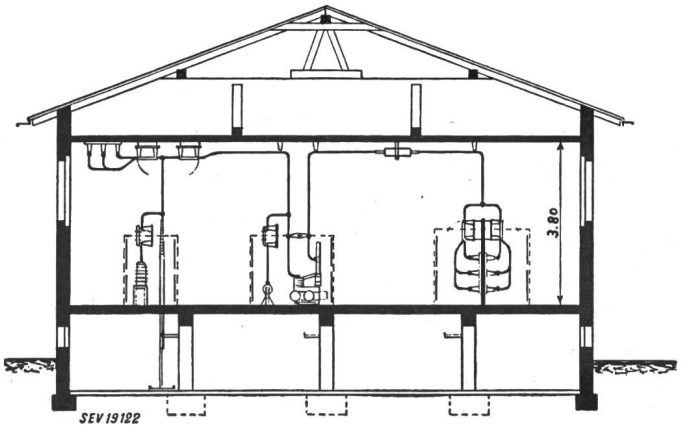

Fig. 5
Querschnitt durch das 16-kV-Schalthaus

Hochspannungsleitung gegeben. Der Träger der Gegenstation wird in gleicher Weise, aber in umgekehrter Richtung übertragen und kommt über ein selektives Empfangsfilter auf den Empfänger. Wie beim Radioempfänger, findet die Demodulation erst nach dem Umweg über eine Zwischenfrequenz statt; am Ausgang der Demodulationsstufe erscheint wieder das gesamte Niederfrequenzband. Für jeden der unter a) bis e) genannten Zwecke wurden Tonfrequenzkanäle bereitgestellt, welche den Trägerfrequenzen überlagert werden (siehe Gesamtblockschema der Anlage Fig. 9). Die Einkopplungseinrichtung setzt sich aus Doppelwellensperre, Kondensator und Schutzeinrichtung zusammen. Die Doppelwellensperre hat den Zweck, die Trägerfrequenzen am Eindringen in die Hochspannungsanlage zu verhindern, während die 50-Hz-Ströme ohne weiteres passieren können. Dem Kopplungskondensator fällt umgekehrt die Doppelaufgabe zu, die 50-Hz-Energie zu sperren, die Trägerfrequenzen dagegen mit geringen Verlusten durchzulassen und zwischen Hochspannungsanlage und Übertragungs- und Steuerapparaten die Trennung herbeizuführen. Die Schutzeinrichtung besteht aus Überspannungsableiter, Erddrosselspule, Leitungsübertrager und Sicherung. Sie schützt die Schwachstromanlage und das Bedienungspersonal vor gefährlichen Überspannungen.

3.2. Steuereinrichtung

Der Steuereinrichtung fällt die Aufgabe zu, sämtliche Befehle und Rückmeldungen in ein Impulsprogramm einzuordnen. Diese Aufgabe löste die Firma Chr. Gfeller A.-G. mit dem von ihr entwickel-

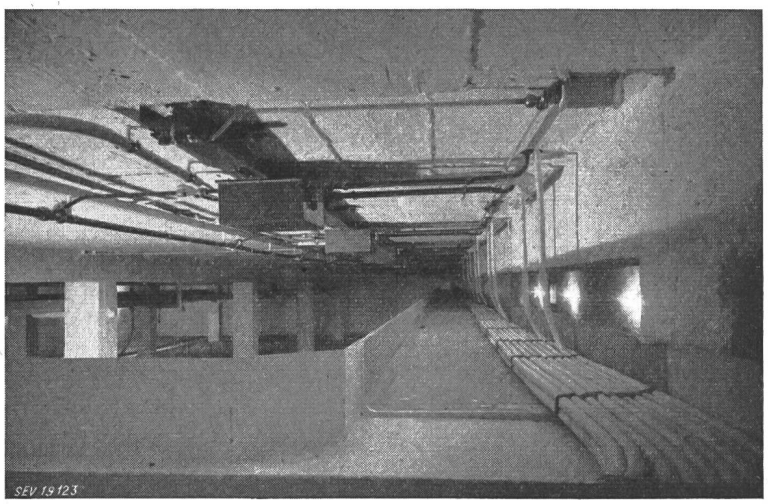

Fig. 6
Anordnungen der Druckluftleitungen und Steuerkabel unter der 16-kV-Schaltanlage

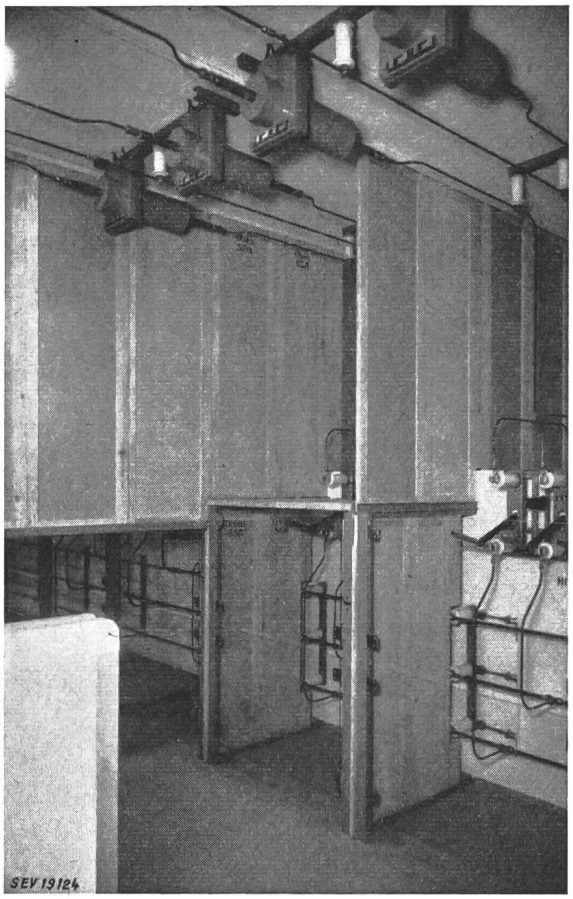

Fig. 7
Zu Revisionsarbeiten verschalte 16-kV-Zelle

ten sogenannten Impuls-Zeitintervall-Verfahren über synchronlaufende Schrittschalter auf elegante Art. Durch einen Startimpuls werden in der Kommando- und Empfangsstelle gleichzeitig je ein Pendelunterbrecher in Betrieb gesetzt. Sie arbeiten unabhängig voneinander, jedoch synchron, und treiben 50stellige Schrittschalter schrittweise vorwärts. Bei synchronem Lauf sind in der Kommando- und Empfangsstelle die selben Lamellen mit den Kontaktarmen in Verbindung. Werden an den Lamellen Sende- und Empfangsstromkreise angeschlossen, so können diese gesteuert werden, solange der Kontaktarm die entsprechenden Lamellen mit der Übertragungsleitung verbindet (Fig. 10). Der Verbindungskanal steht also 50 Steuerkreisen zur Verfügung. Genügt diese Anzahl nicht, so kann sie mittels Gruppenumschaltungen beliebig vermehrt werden.

Auch bei sehr gut einregulierten Pendelunterbrechern kann der Synchronlauf der Schrittschalter im Sender und Empfänger nur eine beschränkte Zeit garantiert werden. Die Unterbrecher werden deshalb eine bestimmte Anzahl Schritte laufen gelassen, dann mittels einer Nachsynchronisierungsschaltung gestoppt und mit einem Impuls wieder miteinander in Betrieb gesetzt. Aber auch während des normalen Laufes sind die Unterbrecher genau kontrolliert und bei der kleinsten Unregelmässigkeit des Laufes werden sämtliche Steuerungen und Rückmeldungen gesperrt.

In der praktischen Ausführung sind die Kontaktarme nicht direkt mit dem Übertragungskanal verbunden, sondern arbeiten über Sende- resp. Empfangsrelais mit geeigneten Impulsgebern und Empfängern. So wird im vorliegenden Fall im Sender durch den Schrittschalter ein Senderelais erregt, welches eine tonfrequente Spannung tastet. Die Trägerfrequenz des HF-Senders wird mit dieser Tonfrequenz moduliert und zum Empfänger übertragen. Dort werden die ankommenden Wellen demoduliert, so dass wiederum die genau gleichen Tonfrequenzimpulse erhalten werden. Diese werden in einem Impulsumsetzer in Gleichstromimpulse umgesetzt und über ein Empfangsrelais dem Schrittschalter zugeführt.

Der Schrittschalterlauf, kurz Rundlauf genannt, wird in Kontroll- und und Rückmelderundlauf einerseits und Schaltrundlauf anderseits eingeteilt. Für den Schaltrundlauf muss absolute Sicherheit gegen ungewollte Schaltungen verlangt werden. Ein Fehler in der Fernsteuerung soll sich schlimmstenfalls so auswirken können, dass eine gewollte Schaltung nicht zustande kommt. Neben der bereits genannten genauen Kontrolle des Synchronlaufes besteht eine erste Sicherung darin, dass bei gestörter Fernsteuerung ein Schaltrundlauf gar nicht eingeleitet werden kann.

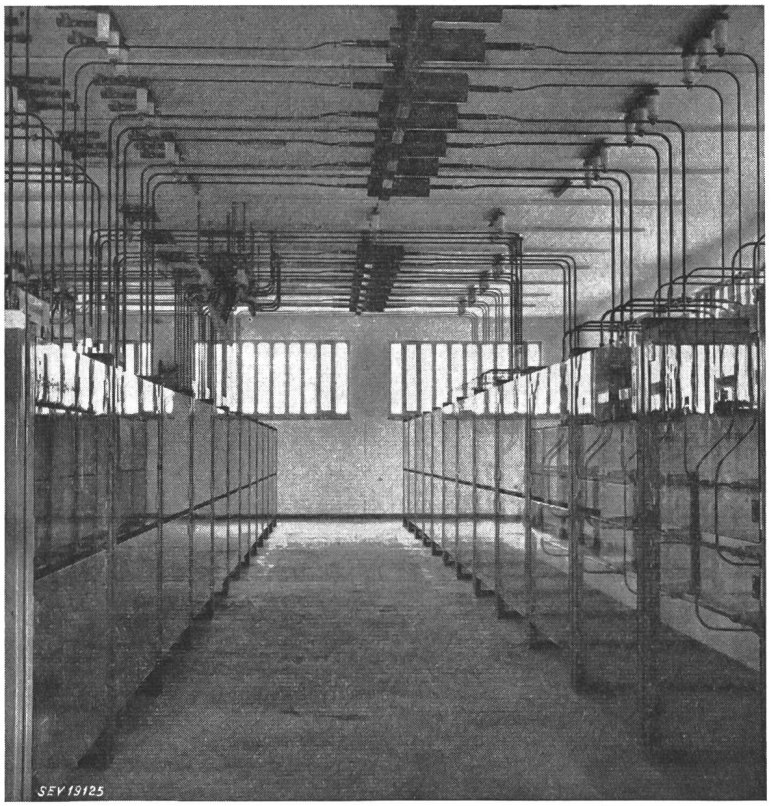

Fig. 8
16-kV-Schaltanlage
Bedienungsgang

Eine weitere Sicherung besteht in der Sperrung der Rückmeldungen während eines Schaltrundlaufes und umgekehrt. Die wesentlichste Schaltsicherung bietet aber die Schaltbefehlsübertragung

7 Hilfsbefehlseinheiten in 2 Stellungen (Umschaltung der Spannungsregulierung auf automatischen oder Hand-Betrieb)
Stufenschalterantrieb von 2 Regulier-Transformatoren

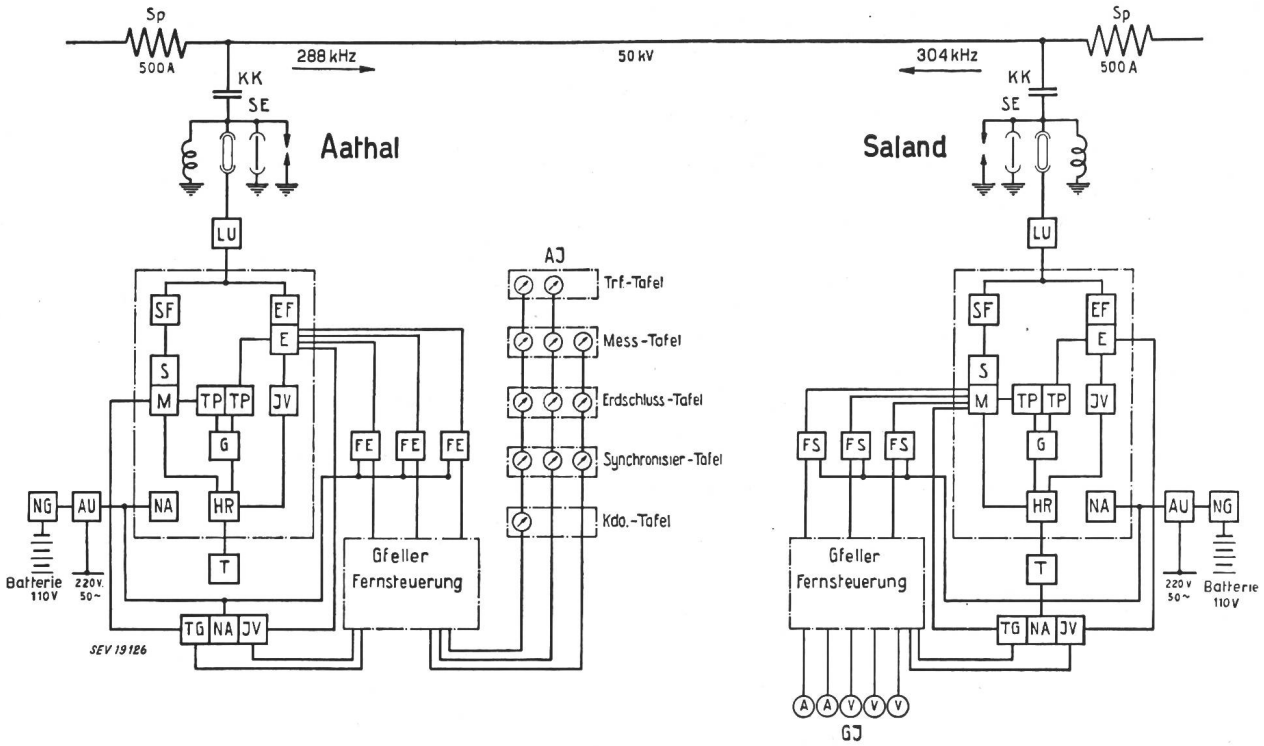

Fig. 9
Blockschema der HF-Anlage

Sp	HF-Sperre 500 A	G	Gabelschaltung	AU	Automatische Umschaltung
KK	Kopplungskondensator	IV	Impulsverstärker	NG	Notstromgruppe
SE	Schutzeinrichtung	HR	Handruf	FS	Fernmeßsender
LU	Leitungsübertrager	E	Empfänger	FE	Fernmessempfänger
SF	Sendefilter	EF	Empfangsfilter	AI	Anzeige-Instrument
S	Sender	TG	Tongenerator	GI	Geber-Instrument
M	Modulator	T	Telephonapparat		
TP	Tiefpass	NA	Netzanschluss		

mittels zweier Impulse. Diese zwei Impulse werden im Schaltrundlauf so verteilt, dass zwischen beiden mindestens eine Nachsynchronisierstelle zu liegen kommt. Die Verteilung von mehreren Schaltbefehlen auf dem Schaltrundlauf wird so vorgenommen, dass die ersten Impulse (Vorbereitung) im umgekehrten Sinne zu den zweiten Impulsen (Schaltung) angeordnet werden. Damit ist auch bei grösseren

Die Rückmeldung von

5 Linien-Erdungstrennern mit den Stellungen «ein / aus»
48 Signaleinheiten

Die wahlweise Aufschaltung von Messwandlern und der zugehörigen Fernmessgeber

für die Strommessung in 10 Feldern
für die Strom-Spannungs- und Leistungsmessung in 10 Feldern

Fig. 10
Prinzip der Fernsteuerung
X: Kontakt X steuert Relais X (Befehlsgabe)
Y: Kontakt Y steuert Relais Y (Rückmeldung)

Laufverschiebungen der Schrittschalter die Möglichkeit einer Falschschaltung sicher und einfach vermieden.

Die Steuereinrichtung Aathal–Saland, die nach dem oben beschriebenen Prinzip arbeitet, erfüllt folgendes Programm:

Steuern und Rückmelden von

10 Schaltern mit den Stellungen «ein / aus»
39 Trennern mit den Stellungen «ein / aus»

für die Feststellung des Synchronismus in 7 Feldern
für die Erdschlussmessung im A- oder B-Betrieb
für die Transformatorstufenanzeige

Die Befehlsgabe für die Schnellwiedereinschaltung, die Blockierung und Deblockierung der Schnellwiedereinschaltrelais sowie die Rückmeldung der erfolgten Schnellwiedereinschaltung

Die Überwachung der Steuerspannung in allen Feldern
Die Überwachung der Rückmelde-Stromkreise

Ein späterer Ausbau auf den doppelten Umfang ist ohne weiteres möglich. Trenner und Schalter

sind nicht gegeneinander verriegelt, da dies beim Schema nach Fig. 1 einen viel zu grossen Aufwand bedingen würde.

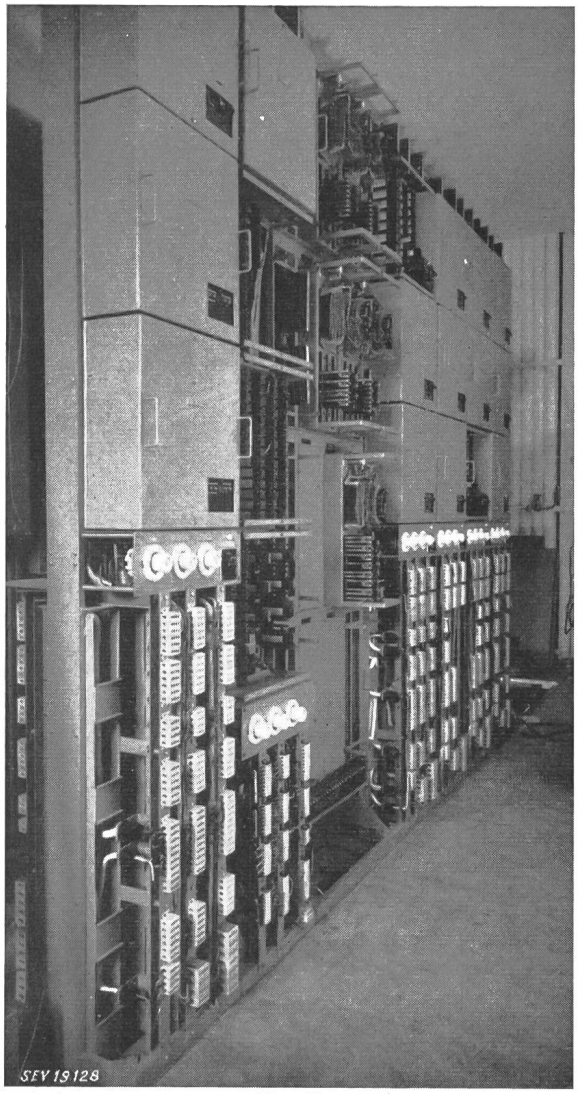

Fig. 11
Relaisbuchten der Fernsteuerung
Verschalungen teilweise weggenommen

Die Kommandostelle im Unterwerk Aathal baut sich aus Bedienungstableau und Relaisbuchten auf. In den Relaisbuchten sind die Schrittschalter, ausgebaut für je 400 Steuer- und Rückmeldestellen, und die vielen, den verschiedenen Zwecken dienenden Relais untergebracht. Das Bedienungstableau ist aus einzelnen aneinandergereihten, abgekanteten Blechtafeln aufgebaut. Darauf ist das Blindschema, bestehend aus vernickelten Profilschienen, Apparatesymbolen und Quittungsschaltern, montiert. Ein Aufleuchten der Lampe im Quittungsschalter bedeutet, dass die betreffende Symbolstellung nicht mit der Wirklichkeit übereinstimmt. Daneben sind Messinstrumente eingebaut, welche durch einfaches Drücken entsprechender Tasten jedem beliebigen Hochspannungsfeld zugeordnet werden können. Sämtliche Störungs- und Gefahrenmeldungen sind auf einer Glastafel mit aufleuchtenden Schriften zusammengefasst. Durch Blinklicht, kombiniert mit einem akustischen Signal, wird auf die betreffende Störung aufmerksam gemacht. Nach erfolgter Quittierung erscheint die betreffende Leuchtschrift mit Dauerlicht bis zur Behebung der Störung. Ein weiterer Teil der Schalttafel dient zur Spannungsregulierung mittels der Stufentransformatoren, sei es automatisch oder von Hand.

Die Empfangsstelle im Unterwerk Saland ist im Prinzip gleich aufgebaut. Wiederum sind die Schrittschalter und Relais in Buchten eingebaut, welche freistehend hinter den zugehörigen Schalttafeln aufgestellt sind. Die Schalttafel mit Blindschema, Messinstrumenten, Störungsmelder und Spannungsregulierung ist praktisch gleich ausgeführt wie diejenige der Kommandostelle. Zusätzlich ist jedoch noch eine Tafel mit den Maximalstromrelais und den Schnellwiedereinschalt-Automaten (Fig. 11, 12 und 13) vorhanden. Damit nicht von zwei Seiten her durcheinander gesteuert wird, ist in Saland ein mit Schloss verriegelter Schalter eingebaut, mit welchem die Steuerung von der einen oder andern Schalttafel aus verhindert werden kann. Die Rück- und Störungsmeldungen werden aber unabhängig von diesem Schalter immer nach Aathal übertragen, so dass von dort jederzeit eine Überwachung aller Vorgänge möglich ist.

3.3. Fernmessung

Die Fernmesseinrichtung ist für drei parallele Messkanäle in Richtung Saland–Aathal ausgebaut, die alle innerhalb des Sprachbandes 300...2400 Hz liegen. Ein späterer Ausbau für einen vierten Kanal ist noch möglich und ist, wie schon erwähnt,

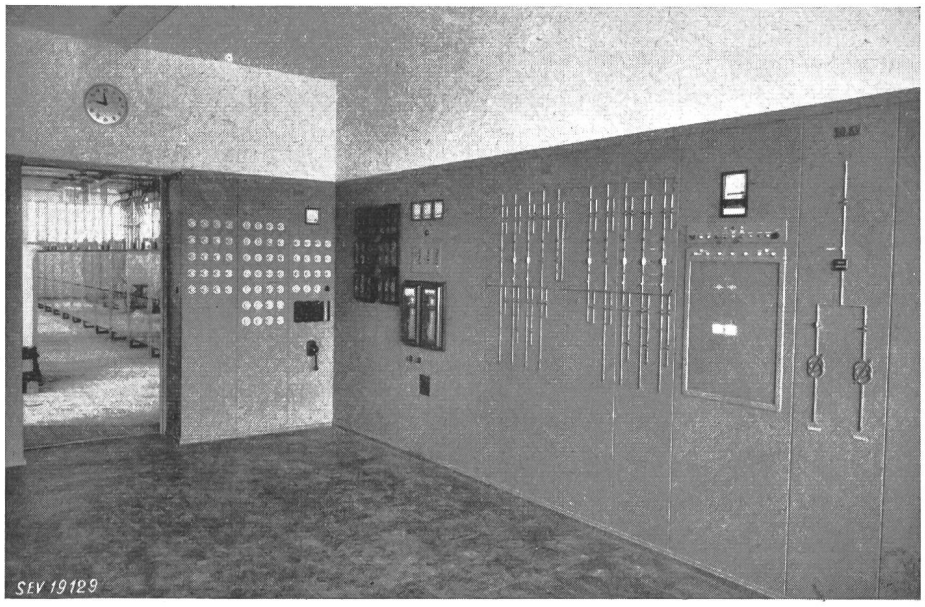

Fig. 12
Kommando-Raum
Gleich- und Wechselstromverteilung, Relaistafel, 16-kV-Messtafel, Blindschema und Störungsmelder

als dauernde Fernmessung der Übergabeleistung geplant. Die Fernmess-Sendeeinrichtung erzeugt in Funktion des Instrumentausschlages eine variable Frequenz innerhalb des zugeteilten Tonfrequenzbandes. Dies geschieht mit Hilfe einer auf der Instrumentachse montierten Induktivität, die in Funktion des Drehwinkels ihren Wert ändert und damit einen Oszillator steuert. Die so erzeugte, veränderliche Frequenz leitet man über ein Ausgangsfilter auf den Eingang des Modulators, in welchem diese Messfrequenz wieder dem Hochfrequenzträger überlagert wird.

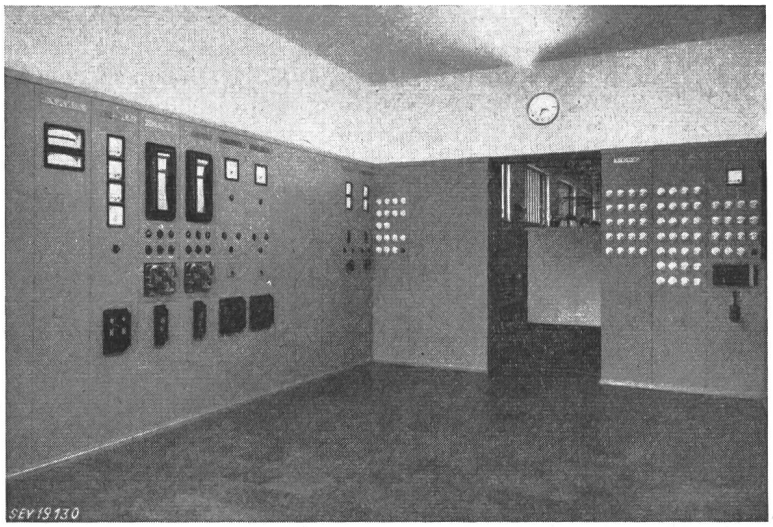

Fig. 13
Kommando Raum
Synchronisiertafel, Erdschlusstafel, Spannungsregulierung, Transformatorentafeln und Gleichrichter

Auf der Gegenstation, wo alle Fernmessempfänger parallel am Ausgang des Hochfrequenz-Empfängers angeschlossen sind, filtert jeder Fernmessempfänger aus dem gesamten, übertragenen Niederfrequenzspektrum das ihm zugehörige Band heraus. Der Fernmessempfänger muss nun die variable Frequenz in einen entsprechenden Gleichstrom umwandeln. Zu diesem Zweck wird das empfangene Signal mit einem Schwingkreis verglichen. Stimmt die Frequenz nicht mit der des Schwingkreises überein, so entsteht eine Phasenverschiebung in der einen oder andern Richtung. Die Auswertung dieser Phasendrehung in einem Phasenvergleichskreis ergibt einen steigenden oder sinkenden Gleichstrom. Dieser bewirkt mit Hilfe eines Variometers eine Änderung der Induktivität im Vergleichsschwingkreis im Sinne einer Resonanzanpassung an die ankommende Tonfrequenz. Ist die Resonanzlage erreicht, so bleibt der Gleichstrom konstant, bis eine neue Messwertänderung eintritt. Dieser Strom ist direkt proportional dem Drehwinkel des Geberinstrumentes und wird mit einem Drehspul-Milliampèremeter angezeigt. Die Verzögerung der Anzeige-Änderung ist sehr klein gegenüber der Messwertänderung und praktisch fast nur von der Dämpfung des Anzeige-Instrumentes abhängig.

4. Inbetriebsetzung

Die Inbetriebsetzung des Hochspannungsteiles sowie der Druckluftsteuerungen ging glatt vor sich.

Bei den Starkstromsteuerungen, die teilweise in sehr engem Zusammenhang mit den Hochspannungsapparaten sind, mussten einige Schwierigkeiten überwunden werden. An die Hilfsschalter, insbesondere die der ferngesteuerten Trenner, wurden besonders hohe Anforderungen gestellt. Für die Kontakte durfte nur Edelmetall verwendet werden, und sie sollten sich beim Betätigen selbständig blank reiben. Da diese Steuerkreise oft mit Gleichstrom gespiesen werden, müssen diese Hilfskontakte mit einer raschen Schnappbewegung eine möglichst grosse Öffnungsdistanz erreichen, damit auch stark induktive Stromkreise geschaltet werden können. Der Schaltmoment muss ganz präzis eingestellt werden und darf sich im Betrieb nicht verändern, da man sonst nicht sicher ist, ob der Trenner wirklich ganz geschlossen resp. geöffnet ist.

Auch an Steuerschützen müssen bei ferngesteuerten Anlagen höhere Anforderungen gestellt werden als für normale Installationen. Der Ein- resp. Ausschaltmoment muss hier oft auf 10 ms genau festgehalten werden; dass Schützen, deren Abfallzeit wegen magnetischer Remanenz oder mechanischer Reibung zwischen 20 und 150 ms variiert, nicht genügen, ist selbstverständlich.

Besonders interessante Erlebnisse bot das erste Ausprobieren und Abstimmen der Schwachstromanlagen. Nachdem die HF-Übertragung mit Telephonie und Fernmessung bereits einige Zeit probeweise im Betrieb und auch die Fernsteuerung fast fertig eingestellt war, wurden die Anlage und die Übertragungsleitung unter Hochspannung gesetzt. Um alle Funktionen vor der definitiven Inbetriebsetzung während einiger Zeit zu überprüfen, wurden periodisch über die Fernsteueranlage Schaltungen ausgeführt. Bei einer Nachmessung des Modulationsgrades der Fernmessung in Saland musste der Sender in Aathal ausgeschaltet werden. Infolge des Wegbleibens der Trägerwelle verstärkte nun der Empfänger mit seiner automatischen Pegelregulierung die auf jeder unter Spannung stehenden Freileitung vorhandenen Störsignale derart stark, dass sie die Fernsteuerung ungewollt zum Anlauf brachten. Nun zeigte sich, dass die Sicherung vor Falschschaltungen durch die Kontrolle des Synchronlaufes und der Schaltbefehlsübermittlung mittels zweier Impulse nicht genügt. In wildem Durcheinander wurden Schalter und Trenner ein- und ausgeschaltet. Unglücklicherweise waren zu dieser Zeit zwei Kabelabgänge geerdet, so dass ein Kurzschluss eingeleitet wurde. Der Zufall wollte es, dass der zugehörige Leitungstrenner sich öffnete, während darüber der Kurzschluss-Strom von ca. 5000 A floss. Der so entstandene Lichtbogen brannte ca. 1 s bevor es gelang, die ganze Anlage von der 50-kV-Seite her spannunglos zu machen.

Diese Störung bewies eindeutig, dass die Dispositionen richtig gewählt waren. Der Kurzschlusslichtbogen wanderte nicht, trotzdem keine Trennwände vorhanden sind, und die Zerstörungen blieben auf ein Minimum beschränkt, indem nur die Isoliergestänge des Antriebes, die oberen Schlaufenkontakte und die Messer des Trenners ausgewechselt werden mussten. Der Eisenrahmen zeigte Brandspuren und musste frisch gestrichen werden, während die Betondecke über dem Störungsherd vollständig weiss blieb und keine Malerarbeiten benötigte.

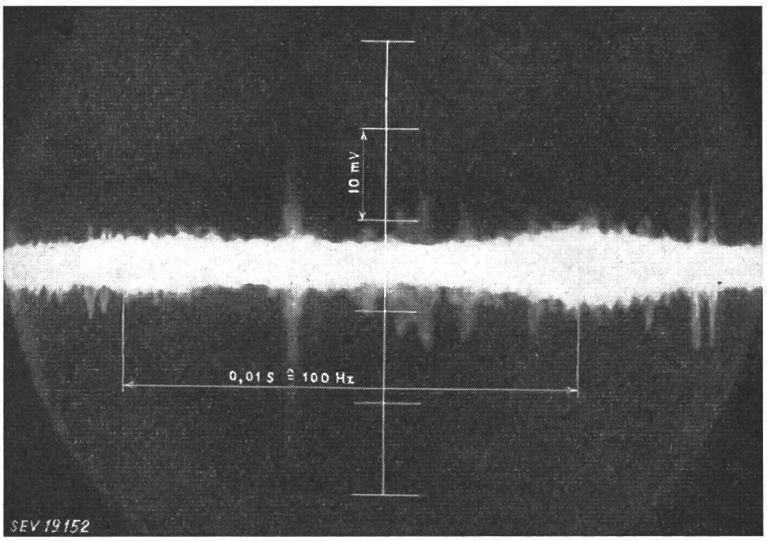

Fig. 14
Störspannungen auf der 50-kV-Freileitung Aathal—Saland
gemessen nach dem Empfangsfilter der HF-Anlage. Die einzelnen grossen Spannungsspitzen sind auf der Photographie nicht sichtbar, da die kurze Zeit ihres Bestehens zur Belichtung des Filmes nicht genügte

Anschliessend an diese Störung konnte bei spannungloser Anlage, aber unter Spannung stehender 50-kV-Übertragungsleitung der Vorgang wiederholt werden. Dies zeigte, dass es sich hier nicht etwa nur um ein unglückliches Zusammentreffen mehrerer unvorhergesehener Zufälle handelte, sondern dass sich dies bei jedem Ausfall der Trägerfrequenz wiederholen könnte. In Zusammenarbeit mit den Firmen Brown, Boveri & Cie. und Chr. Gfeller A.-G. wurden weitere Vorkommnisse dieser Art folgendermassen verhindert:

a) Um beim Ausfall der Trägerwelle jede Steuerung zu verhindern, baute BBC in den HF-Empfänger in Saland eine Träger-Überwachung ein, die mit Hilfe eines Relais die Steuerspannung des Empfangsrelais ausschaltet.

b) Gfeller baute in den Fernsteuerungs-Empfänger eine Impulskontrolle ein, welche jedes Schalten verhindert, sobald mehr Impulse empfangen als gesendet werden. Auf diese Weise können auch Störspannungen, welche in einem dem Schrittschalterlauf ähnlichen Rhythmus schwingen, keine Falchschaltungen mehr verursachen. Einzelne Störimpulse waren schon durch die vorher vorhandenen Sicherungen unschädlich.

Die hier beschriebene, von Gfeller eingebaute Sicherung hatte eine Änderung in der Befehlsübermittlung zur Folge, die zwar nicht von grosser Bedeutung ist, aber immerhin erwähnt werden muss: Früher war es möglich, die am Anfang des Schrittschalters rangierten Schaltungen in einem Rundlauf auszuführen und rückzumelden. Heute wird, um die Impulskontrolle über den ganzen Rundlauf wirken zu lassen, jede Schaltung erst mit einem der letzten Schritte ausgeführt, so dass für die Rückmeldung immer ein weiterer Rundlauf nötig wird. Ferner ist die Ausführung mehrerer Befehle im gleichen Rundlauf nicht mehr möglich, weil sonst jede Impulskontrolle überhaupt unmöglich wird. Es muss jetzt ein Befehl nach dem andern ausgeführt werden. Dies alles bewirkt, dass zur Ausführung eines Schaltmanövers mehr Zeit aufgewendet werden muss als vorher. Immerhin handelt es sich hierbei immer noch um sehr kurze Zeiten.

Der hie und da relativ hohe Störpegel hatte, obschon er keine Falschschaltungen mehr verursachen konnte, einen weiteren Nachteil zur Folge. Beim Ausschalten der Sende- und Empfangsrelais bewirkt diese Restspannung ein verzögertes Abfallen. Deshalb war es sehr schwer, die Steuerimpulse in der Mitte der Schritte zu halten, und die ganze Fernsteuerung musste durch Schaltmassnahmen so abgeändert werden, dass sie viel präziser abgestimmt werden konnte, als dies sonst nötig gewesen wäre.

Gleichzeitig mit dem unter a) und b) genannten Einbau von Verriegelungen wurden die Störspannungen genau untersucht, mit der Absicht, sie wenn immer möglich am Entstehungsort unschädlich zu machen. Hinter dem Empfangsfilter konnten folgende charakteristischen Werte gemessen werden:

Eigene Trägerwelle	ca. 4000 mV
Eigen-Störpegel der 50-kV-Freileitung	ca. 10 mV
Anteil der Frequenz 283,5 kHz am Störpegel	ca. 100 mV
Störpegel ohne charakt. Frequenz	ca. 100 mV

Die Störung mit 283,5 kHz kam sehr regelmässig, immer 27 und 57 Minuten nach der ganzen Stunde, und dauerte je ca. 3 Minuten. Ihr Sender liess sich deshalb auch relativ bald ermitteln. Es handelte sich um die Wettermeldungen des Flugplatzes Kloten, ausgestrahlt vom Sender Waltikon.

Die anderen Störer, die nur zeitweise auftraten, hätten sehr wahrscheinlich nur mit Hilfe spezieller Suchgeräte und mit Mühe ausfindig gemacht werden können, da ihnen jegliche besonderen Eigenschaften abgingen. Beim gleichzeitigen Auftreten aller «drei» Störer konnten wir Spitzenwerte über 250 mV messen. Vor dem Leitungsübertrager kamen sogar Werte bis zu 1000 mV vor. Unterdessen hatte sich gezeigt, dass die unter a) und b) beschriebenen Verriegelungen jede Falschschaltung ausschliessen, und dass die Fernsteuerung praktisch nie durch Störspannungen blockiert wird. Ja, die präzise Einstellung hatte sogar zur Folge, dass auch ohne die Trägerüberwachung von BBC und die Impulskontrolle von Gfeller die Störspannungen nunmehr keine Falschschaltungen mehr auslösten, sondern nur noch die Fernsteuerung zum Anlauf

brachten. Daher wurde auf eine Lokalisierung der übrigen Störer vorläufig verzichtet.

Eine statistische Zusammenfassung der vor der Inbetriebsetzung mit der verbesserten Fernsteuerung ausgeführten Probeschaltungen zeigt folgende Zusammenstellung:

	absolut	relativ %
Summe aller Schaltungen	1680	100
Anzahl Falschschaltungen	0	0
Anzahl Schaltungen, welche 2 Schaltrundläufe benötigten	7	0,42
Anzahl Schaltungen, welche mehr als 2 Schaltrundläufe benötigten	0	0
Anzahl falscher Rückmeldungen	0	0
Anzahl Rückmeldungen, welche 2 Rundläufe benötigten	11	0,65
Anzahl Rückmeldungen, welche mehr als 2 Rundläufe benötigten	0	0

Es ist aus dieser Zusammenstellung zu ersehen, dass die Schaltsicherheit einen sehr hohen Grad erreicht hat.

Die EKZ sind überzeugt, mit diesem ferngesteuerten Unterwerk ein gutes Instrument zur Sicherung der Energieversorgung mit möglichst wirtschaftlichen Mitteln geschaffen zu haben.

Adresse des Autors:
Charles Schneider, dipl. Ing., Hanfrose 27, Zürich 55.

Experimentelle Untersuchungen über den elektrischen Widerstand des menschlichen Körpers

Von *Carl E. Söderbaum*, Motala (Schweden)

612.014.424

Eine Arbeitshypothese [1][1]) *weist darauf hin, dass Gleichstrom durch die Gewebe und Flüssigkeiten des menschlichen Körpers fliessen kann. Dazu kommt bei Wechselstrom und veränderlichem Gleichstrom eine stark kapazitive Komponente, die den Nervenbahnen des Körpers folgt. Die Experimente scheinen diese Hypothese zu bestätigen.*

Selon une certaine hypothèse [1] [1]), *un courant continu peut s'écouler par les tissus et les fluides du corps humain. Quand il s'agit de courant alternatif ou de courant continu variable, une forte composante capacitive suit en outre le système nerveux. Les expériences paraissent confirmer cette hypothèse.*

Einleitung

Die grosse Arbeit, die im Laufe der Zeit aufgewandt wurde, um die Verhältnisse bei einem Stromdurchgang durch den menschlichen Körper zu erklären, hatte zur Folge, dass man gewisse Zusammenhänge zwischen den Stromstärken und den körperlichen Reaktionen feststellen konnte. Man weiss, dass für den Eintritt eines gefährlichen Krampfes eine bestimmte Stromstärke nötig ist. Wächst die Stromstärke, so besteht die Gefahr des Herzkammerflimmerns; bei noch grösseren Stromstärken hat die Verbrennung der Gewebe Veränderungen zur Folge, die Überanstrengung der Nieren und Vergiftungen mit sich bringen [2].

Es ist schon versucht worden, eine grundlegende Theorie für den Stromdurchgang durch den Körper aufzustellen. Dabei entwarf man Schaltschemata und machte Annahmen, aber keine dieser Theorien wurde allgemein angenommen. Um eine Theorie aufstellen zu können, welche sowohl vom elektrotechnischen als auch vom medizinischen Gesichtspunkt aus angenommen werden könnte, wurden in den letzten Jahren verschiedene Versuche durchgeführt. Das Resultat dieser Versuche und die in diesem Zusammenhang aufgestellte Theorie wird hier dargelegt. Es muss indessen hervorgehoben werden, dass Problemstellung und Versuche auf technische Stromsysteme beschränkt blieben, d. h. bei Wechselstrom auf Frequenzen von höchstens 50 Hz. Die Versuche wurden mit ganz niedrigen Gleich- und Wechselspannungen (meist 10 V) durchgeführt.

Eine Wechselspannung, die mit geeigneten Elektroden an zwei Stellen des Körpers angelegt wird, ruft einen Wechselstrom hervor, welcher stark kapazitiv ist. Daraus, dass eine Gleichspannung im Dauerzustand keinen kapazitiven Strom hervorrufen kann, muss geschlossen werden, dass Menschen Gleichspannungen besser aushalten als Wechselspannungen gleicher Grösse. Es fragt sich indessen, ob nicht dieser kapazitive Strom von entscheidender Bedeutung für die Reaktion des Körpers ist. Die Versuche gingen deshalb in erster Linie darauf aus, Klarheit über diese kapazitive Komponente zu bekommen.

Die Versuche können in zwei verschiedene Reihen eingeteilt werden. In der ersten Versuchsreihe wurde der Widerstand mit Volt- und Ampèremetern bestimmt, und die Messungen wurden beim Anlegen von Gleich- und Wechselstrom (im zweiten Fall durch Parallelschalten eines besonderen Zusatzkondensators) durchgeführt. In der zweiten Versuchsreihe wurden Aufnahmen mit dem Kathodenstrahloszillographen gemacht, jedoch ein dreifacher Umschalter mit 6 bzw. 11 verschiedenen Lagen verwendet, so dass man in einer halben Sekunde 7 bzw. 10 verschiedene Messkurven photographieren konnte.

Versuchsreihe I
Messungen mit Ampère- und Voltmetern

Zur Untersuchung der Zunahme der Stromstärke, welche man bei bestimmter Spannung erhält, wenn man von Gleichspannung auf Wechselspannung übergeht, wurden Messungen mit einem Zusatzkondensator durchgeführt.

Die Schaltung der Messanordnung und das dazugehörende Vektordiagramm zeigt Fig. 1. Die voll ausgezogenen Linien zeigen ein Ersatzschema des menschlichen Körpers, bzw. die dementsprechenden Ströme. Die gestrichelten Linien gelten bei Messungen mit einem Zusatzkondensator. Aus der Figur ist ersichtlich, dass bei konstanter Spannung und ohne den Zusatzkondensator C_1 das System bei Gleichstrom I_{R0}, bei Wechselstrom I_0 durch-

[1]) siehe Literaturverzeichnis am Schluss.
voir la bibliographie à la fin de l'article.