Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 50 (1959)

Heft: 4

Artikel: Gleichstrom- und Schwachstromanlagen von Kraftwerken und Unterstationen

Autor: Hüssy, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057781

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: 08.08.2025

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

BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

ORGANE COMMUN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS (ASE) ET DE L'UNION DES CENTRALES SUISSES D'ELECTRICITE (UCS)

Gleichstrom- und Schwachstromanlagen von Kraftwerken und Unterstationen

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 20. November 1958 in Zürich,

von *E. Hüssy*, Zürich

621.311.18

Der Betrieb von Kraftwerken und Unterstationen wäre ohne sorgfältig projektierte Gleichstrom- und Schwachstromanlagen heute kaum mehr denkbar. Diese ermöglichen die Zusammenfassung aller Steuer- und Überwachungsorgane von Kraftwerkanlagen oder ganzen Werkgruppen und Verteilstationen an einem zentralen Ort, womit eine gute Übersicht, eine rationelle und den Anforderungen des Betriebes angepasste Ausnützung der Wasserkräfte erreicht wird. Hiezu leisten auch die Fernsprechanlagen im internen und externen Verkehr einen wertvollen Beitrag. Gleichstrom wird ferner mit Vorteil auch zur Speisung der Schutz- und Alarmanlagen verwendet, da hierfür ein Maximum an Sicherheit verlangt werden muss. Zur Erfüllung der Betriebsbedingungen ist ausserdem eine genaue Zeitangabe unerlässlich. Alle diese Hilfseinrichtungen dienen aber nur dann ihrem Zweck, wenn sie über sichere und störungsfreie Hilfsstromquellen verfügen.

De nos jours, le service d'usines génératrices et de sous-stations ne serait guère possible sans des installations à courant continu et à courant faible, soigneusement conçues, qui permettent de centraliser tous les organes de commande et de contrôle d'une usine génératrice ou d'un groupe d'usines et de postes de distribution, afin d'obtenir une bonne vue d'ensemble et de pouvoir utiliser rationnellement les forces hydrauliques, selon les exigences de l'exploitation. Les installations téléphoniques pour communications internes et avec l'extérieur sont également d'une grande utilité à cet égard. Le courant continu sert en outre avantageusement à l'alimentation des installations de protection et d'alarme, qui exigent le maximum de sécurité. De plus, il est indispensable que l'heure soit indiquée avec précision. Tous ces dispositifs auxiliaires ne peuvent toutefois remplir pleinement leur but que s'ils sont alimentés par des sources de courant sûres et exemptes de perturbations.

Einleitung

Wer seine Aufmerksamkeit dem Betrieb von Kraftwerkanlagen und Unterstationen zuwendet, wird erstaunt sein, welche Menge von Hilfsmitteln oft hiezu benötigt werden. Es lohnt sich deshalb, einmal in grösserem Rahmen über diese Hilfsanlagen zu sprechen und festzuhalten, zu welchem Zwecke sie dienen und welche Anforderungen an sie gestellt werden müssen. Allerdings soll wegen Raummangels dabei verzichtet werden, auf konstruktive Einzelheiten der Systeme und Apparate einzugehen.

Hilfsstromquellen

Die Sicherheit der Energieversorgung, insbesondere von Steuer-, Signal- und Schutzanlagen, ist ein Gebot erster Ordnung. Jeder kann sich leicht vorstellen, was passieren würde, wenn ein Schutzrelais nicht anspricht, ein Schalter nicht auslöst oder ein Notschluss nicht funktioniert. Es geht dabei nicht nur um die Sicherung der Energieversorgung allein, oder um die Verhinderung von Materialschäden, sondern unter Umständen auch um die Verhütung von Unfällen.

Diese Anlagen werden deshalb mit Vorzug mit Gleichstrom gespeist, da wohl auch heute noch die gut unterhaltene Batterie die sicherste Energiequelle darstellt. Da, wo es notwendig erscheint, werden sogar mehrere Batterien getrennt aufgestellt, sei es, dass verschiedene Spannungen benötigt werden, sei es, um die Stromkreise vor einer gegenseitigen Beeinflussung zu sichern, oder auch um im Störungsfall über eine Reserve zu verfügen.

Selbstverständlich werden von den Batterien ausser der Sicherheit noch andere Qualitäten verlangt. Es sind dies vor allem eine lange Lebensdauer, kleine Unterhaltskosten und Unterhaltsarbeiten, gute Überwachbarkeit, und wo möglich ein kleiner innerer Widerstand bzw. eine kleine Spannungsdifferenz zwischen Laden und Entladen. Auch dem Problem der Gasentwicklung ist Beachtung zu schenken. Weniger von Bedeutung für den Kraftwerkbetrieb ist das Gewicht, der Raumbedarf und der Wirkungsgrad.

Für die vorliegenden Verhältnisse kommen heute in erster Linie die bekannten Blei- und Cadmium-Nickel-Akkumulatoren in Betracht. Sicher haben beide Typen, je nach Verwendungszweck, ihre Vorzüge und auch ihre Nachteile.

Die alkalische Batterie einerseits zeichnet sich insbesondere durch grosse mechanische und elektrische Robustheit aus. Sie ist aber fast doppelt so teuer als die Bleibatterie. Die Bleibatterie anderseits weist einen eindeutigen Vorsprung bezüglich Unterhalt, Wirkungsgrad und Spannungsschwankungen zwischen Laden und Entladen auf. Es muss jedoch für eine separate Belüftung des Batterieraumes zur Abführung der Säuredämpfe gesorgt werden.

Bei der Dimensionierung der Gleichstromanlage ist nicht zu vergessen, dass diese bei Ausfall des Wechselstromnetzes auch die Notbeleuchtung speisen muss. Normalerweise bestimmt gerade diese Belastung die Grösse der Batterie, welche in der Lage sein sollte, den Gleichstrombetrieb allein während

8...10 h aufrechterhalten zu können. Die Spannung der Werkbatterie wird deshalb mit Vorzug zu 220 V festgelegt, damit die gleichen Lampen, die im Normalbetrieb mit Wechselstrom gespeist werden, auf Gleichspannung umgeschaltet werden können. Wird zur Speisung der Lampen, die zur Notbeleuchtung bestimmt sind, im Normalbetrieb schon Gleichstrom verwendet, so ist hiefür eine separate Stromquelle zu verwenden; erst im Notfall soll die Umschaltung auf die Batterie erfolgen. Bei ständigem Anschluss von Leuchtstofflampen an Gleichstrom muss allerdings die Stromquelle von Zeit zu Zeit umgepolt werden, um zu verhindern, dass eine einseitige Schwärzung der Glaskörper eintritt.

Für Fernwirk- und Fernmessanlagen mit geringem Energiebedarf, wie z. B. für hydraulische Messungen, werden gerne auch Trockenbatterien verwendet. Da diese Batterien in Spezialausführung eine äusserst geringe Selbstentladung aufweisen, können sie oft jahrelang ihren Dienst versehen und bieten damit ein Maximum an Sicherheit.

Ladegeräte

Im Zusammenhang mit den Batterien stellt sich nun auch die Frage, wie die Ladegeräte arbeiten sollen, um den gestellten Bedingungen zu genügen.

Für normale Relaisschaltungen muss verlangt werden, dass die Verbraucherspannung nicht mehr als um $\pm$ 10 % vom Nennwert abweicht, auch dann nicht, wenn das Wechselstromnetz um $\pm$ 5 % variiert. Für stark spannungsabhängige Apparate müssen die genannten Grenzen oft sogar noch wesentlich eingeengt werden. Ferner sollte die Spannung in den gleichen Grenzen auch dann gehalten werden, wenn die Batterie zu Revisionszwecken abgetrennt wird.

Diese Bedingungen können durch rotierende Umformergruppen mit Haupt- und Zusatzgenerator sehr gut erfüllt werden. Auch mit magnetisch gesteuerten Ladegeräten lassen sich sehr gute Resultate erreichen. Schwierigkeiten treten erst dann auf, wenn das Wechselstromnetz ausfällt und die Batteriespannung gemäss der ihr eigenen Charakteristik zu sinken beginnt. Solche Spannungssenkungen lassen sich durch sukzessive Zuschaltung von Zusatzzellen ausgleichen.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, dass der Batterie einige Zellen mehr zugefügt werden, wobei die Überspannung durch den variablen Vorwiderstand eines Sektorreglers geregelt wird. Wirtschaftlich ist allerdings diese Lösung nicht und ausserdem ist der Gleichstromverbrauch durch die zulässige Belastbarkeit des Wälzsektors begrenzt. Da aber damit die Verbraucherspannung praktisch konstant gehalten werden kann, wird sie doch gerne für Spezialzwecke und kleine Leistungen angewendet.

Gute Resultate werden erreicht, wenn das Gleichstromnetz im Normalbetrieb durch einen eigenen Gleichrichter gespeist wird, während die Batterie, durch einen zweiten Gleichrichter in Schwebeladung gehalten, nur zum Einsatz gelangt, wenn das Wechselstromnetz ausfällt.

Die erwähnten Ladeeinrichtungen sind relativ teuer, so dass man dort, wo dies zulässig ist, zu einfacheren Schaltungen greift. Dabei wird die Batterie parallel zum Gleichstromnetz in Schwebeladung gehalten, so dass sie sich an der Energielieferung nur dann beteiligt, wenn der Konsum einen festgesetzten Betrag überschreitet. Zur Gleichrichtung verwendet man heute Selenzellen, neuerdings auch Siliciumzellen.

Werden dauernd grössere Energiemengen in Form von Gleichstrom benötigt, so kann auch die Verwendung von Einankerumformern in Betracht gezogen werden. Zur Ladung von Batterien sind diese jedoch weniger geeignet, da ihre Regelbarkeit beschränkt ist.

Fernsteuerung

Der stetig anwachsende Energiebedarf erheischt einen fortschreitenden Ausbau der bestehenden Kraftwerke und Verteilstationen, und zudem den Bau von neuen, noch leistungsfähigeren Anlagen, die ihres Umfanges wegen oft nicht mehr so leicht überblickt werden können. Es müssen deshalb geeignete Hilfsmittel herangezogen werden, um die notwendigen Informationen an einem zentralen Ort zu sammeln und die erforderlichen Befehle wiederum von dort auszustrahlen.

Bei grossen und schaltungsmässig komplizierten Anlagen stellen sich selbst beim internen Kraftwerkbetrieb schon Probleme ein, die den Konstrukteur zwingen, neue Wege zu beschreiten. Dies betrifft in erster Linie die Kommandoräume, deren Übersichtlichkeit bei Vergrösserung der Zahl der Schalttafelfelder stark beeinträchtigt wird. Man versucht deshalb, die Instrumente und Steuerorgane immer kleiner zu bauen und auf engerem Raume zusammenzudrängen, um wieder an Überblick zu gewinnen. Dieses Vorgehen hat allerdings seine Grenzen, da in den sich daraus ergebenden schmalen Schalttafelfeldern, bei gleicher Belegung, die Klemmen nicht mehr untergebracht werden können. Dies führt automatisch zur Verwendung von Strips, wie sie von den Telephonanlagen her bekannt sind, und damit zur Einführung der Schwachstromsteuerung auch für interne Zwecke.

Die interne Schwachstromsteuerung besteht grundsätzlich darin, dass die Steuerbefehle und Rückmeldungen mit einer Spannung von 24...60 V übertragen und erst am Empfangsort über Umsetzrelais oder Relaiskombinationen in Starkstromimpulse überführt werden. Die Schwachstromsteuerung weist gleichzeitig den Vorteil auf, dass die Kabelverbindungen verbilligt werden, indem vieladrige Telephonkabel zur Anwendung gebracht werden können. Die logische Folge der Verwendung eines solchen Steuersystems ist, dass die Messwerte ebenfalls mit Schwachstrom übertragen, d. h. dass hiezu Messwertumformer benützt werden. Eine Ausnahme hievon bilden die Synchronisierspannungen, die weiterhin ihrer richtigen Grösse und Phasenlage nach übertragen werden müssen.

Neben der rein internen Befehlsgabe gilt es bei hydraulischen Kraftwerken aber oft noch, etliche Nebenanlagen zu erreichen, wie z. B. Wasserfassungen, Staubecken, Ausgleichsbecken, wo Drosselklappen, Schützen usw. vom zentralen Kommandoposten aus gesteuert oder ausgelöst werden müssen.

Zur Übertragung werden mit Vorteil besondere Kabel verlegt, sofern nicht Adern eines bestehenden Telephonkabels der PTT-Verwaltung benützt werden können. Die Miete von Telephonkabeladern von der PTT, die an sich eine nicht zu unterschätzende finanzielle Belastung darstellt sobald es sich um grössere Distanzen handelt, hat aber den Nachteil, dass zur Übertragung der Steuerbefehle nur Spannungen von höchstens 50 V bei relativ kleiner Leistung verwendet werden dürfen. Damit ist die Anwendung dieser Übertragungskanäle automatisch begrenzt, sofern nicht zusätzliche Endausrüstungen vorgesehen werden. Die PTT verlangt ferner, dass die Starkstromanlage vom Telephonkabel durch Schutzübertrager abgeriegelt wird, damit sich eventuelle Hochspannungseinflüsse nicht auf das Kabel und somit auf die Telephonanlage übertragen können.

Für den Fernschluss von Drosselklappen, falls die automatische Auslösung durch das Staupendel bei einem Rohrbruch versagt, wird auch die Batterie nicht mehr als sicher genug betrachtet, da im Katastrophenfall sich auch im Gleichstromnetz ein Kurzschluss ereignen könnte. Für diesen Fall wird die Auslösespannung mit Vorteil durch einen Kurbelinduktor von Hand erzeugt. Für den Fall einer Überschwemmung des Kraftwerkes bei einem Rohrbruch wird oft zusätzlich hiezu noch in der Schieberkammer des Maschinenhauses und im Turbinenraum eine Schwimmereinrichtung eingebaut, welche die Auslösung der Drosselklappen und Turbinenschieber bewirkt.

Vielfach verlangt die Betriebsführung, dass selbst ganze Kraftwerkanlagen oder Verteilstationen von einem zentralen Punkt aus bedient werden können. Dies kann verschiedene Gründe haben, sei es, dass die Anlagen schwer zugänglich sind, sei es, dass sich das Halten von ständigem Personal nicht lohnt, oder, dass aus betrieblichen Überlegungen die Bedienung in eine Hand gelegt werden muss.

Es braucht nicht speziell betont zu werden, dass die hiezu verwendeten Fernwirksysteme mit grösster Sicherheit arbeiten müssen. Es wird vorausgesetzt, dass sie selbst bei schweren Störungen an den Starkstromanlagen und gerade dann einwandfrei arbeiten. Ferner dürfen sie durch atmosphärische Vorgänge nicht beeinflusst werden, die Übertragung soll in einem Minimum an Zeit stattfinden, es dürfen keine Fehlschaltungen erfolgen und für die Übermittlung sollen möglichst wenig Kabeladern bzw. Übertragungskanäle beansprucht werden.

Die Methoden der Übertragung von Fernsteuersignalen sind je nach Fabrikat verschieden. Auf die Vor- und Nachteile der einzelnen Systeme soll hier jedoch nicht näher eingetreten werden.

Die Mittel zur Übertragung der Fernwirkimpulse müssen den jeweils vorliegenden Verhältnissen angepasst werden. Wo Hochspannungsleitungen die Sendeseite mit der Empfangsseite verbinden, werden gerne Trägerwellen hiezu benützt. Ist dies nicht der Fall, so können auch Kabel oder sogar Kurzwellen-Sendeanlagen verwendet werden.

Die Anzahl der Hochfrequenzkanäle, die für diese Zwecke benützt werden dürfen, ist von den Behörden begrenzt, so dass, wo immer möglich, schmale, d. h. Einseitenbandkanäle verwendet werden sollten. Es besteht auch die Vorschrift, dass bei galvanisch durchgeschalteten Leitungen die gleichen Trägerfrequenzen erst nach Überspringen von zwei Hochfrequenzteilstrecken wieder verwendet werden dürfen. Bei der allgemeinen Einführung von Trägerfrequenzverbindungen für Telephonie und Fernwirkanlagen muss deshalb sparsam mit Frequenzkanälen umgegangen werden.

Ein Spezialfall der Fernsteuerung besteht in der hochfrequenzmässigen Kopplung der Distanzrelais bei Wiedereinschaltung. Im Falle einer Störung auf einer Leitung müssen gleichzeitig die Schalter beidseitig des kranken Leitungsstückes ausgelöst werden, damit nach Löschen des Lichtbogens die Wiedereinschaltung innert kürzester Frist erfolgen kann. Der Auslöseimpuls ist somit durch Fernbefehl von einem Ende der Leitung auf die Gegenseite zu übertragen. Mit den gewöhnlichen Fernsteuersystemen kann aus Gründen der Übermittlungszeit diese Anforderung nicht erfüllt werden, weshalb eine separate HF-Kopplung der beiden Schutzeinrichtungen geboten ist.

Auch die Energieverteilnetze, die sich bis zu den Abonnenten erstrecken, haben ihre Steuerprobleme. Diese bestehen insbesondere in der Fernsteuerung von Strassenbeleuchtungen, von Heisswasserspeichern und in der Umschaltung der Tarifzähler. Die Steuerimpulse werden dort mit Tonfrequenz den Hochspannungsleitungen überlagert. Da die Netzkommandoanlagen, wie diese Steuergeräte genannt werden, nicht auf eine kurze Übermittlungszeit angewiesen sind und keine Rückmeldung erfordern, können sie relativ einfach und billig gehalten werden. Dank diesem Umstand haben sie sich mit Erfolg in vielen Netzen eingeführt und erübrigen die Installation von Schaltuhren, die sonst bei den Abonnenten eingebaut werden müssten.

Vorsicht mit den Netzkommandoanlagen ist dann geboten, wenn im Netz Kondensatoren zur Blindleistungskompensation eingebaut werden, da diese unter ungünstigen Umständen einen Teil der Sendeenergie absorbieren und zudem zu Resonanzerscheinungen Anlass geben können, was ein ungewolltes Schalten der genannten Objekte zur Folge haben kann.

Fernregelung

Eng mit der Fernsteuerung hängt auch die Fernregelung zusammen. Es ist selbstverständlich, dass, wenn ein Kraftwerk von einem zentralen Ort aus bedient wird, auch die Abgabe der Wirk- und Blindleistung und die Spannung von dort muss beeinflusst werden können. Handelt es sich um ein einzelnes Werk mit einem Staubecken genügenden Inhaltes im Hintergrund, so kann die benötigte Leistung ohne Schwierigkeiten zur gewünschten Zeit bezogen werden.

Bedeutend komplizierter wird die Regelung, wenn zwei Hochdruckwerke unter Zwischenschaltung eines Ausgleichsbeckens im Tandembetrieb arbeiten. Im Mittel muss dann durch die beiden Kraftwerke die gleiche Wassermenge fliessen, wenn das Ausgleichsbecken eventuell auch zeitweise zur vorübergehenden Speicherung oder zur Spitzen-

lastabgabe vollständig gefüllt oder entleert werden kann. Die Fernregelung kann somit nur unter gleichzeitiger Beeinflussung beider Kraftwerke erfolgen, wobei ständig der Wasserstand im Ausgleichsbecken, der ebenfalls ferngemeldet werden muss, zu kontrollieren ist. Bei kleinem Ausgleichsbecken drängt es sich deshalb auf, die Lastverteilung zwischen den beiden Werken automatisch zu regeln, damit der Schaltwärter von der ständigen Überwachung des Ausgleichsbeckens befreit werden kann.

Zur Einflussgabe durch den Wasserstand im Ausgleichsbecken kann grundsätzlich eine Schwimmersteuerung verwendet werden. Es ist allerdings dafür zu sorgen, dass im Winter der Schwimmer nicht einfriert, was durch geeignete Beheizung oder durch Einblasen von Luft in das Wasser besorgt werden kann. Eine andere Methode besteht darin, dass Druckluft durch ein Rohr auf den Grund des Bekkens geleitet und dort ausgestossen wird. Der notwendige Druck ist direkt ein Mass für die Höhe der Wassersäule, die über der Austrittsstelle lastet.

Da das Ausgleichsbecken normalerweise in der Nähe des Kraftwerkes der oberen Stufe liegt, kann eine Übertragung des Wasserstandes über Kabel dorthin erfolgen, während die Verbindung von der oberen zur unteren Stufe mit Trägerwellen über die Hochspannungsleitung geschehen kann. Ist aber aus anderweitigen Gründen auch dort eine Kabelverbindung erwünscht, und dies kann unter Umständen aus topographischen Gründen sogar notwendig sein, so kann eventuell das Kabel im Druckstollen oder Freilaufstollen verlegt werden, bis die eigentliche Druckleitung beginnt. Grundsätzlich kann das Kabel ohne Schutz im Stollen verlegt werden, sofern es insbesondere an den Spleisstellen gut verankert wird.

Eine andere Lösung wurde z. B. bei den Kraftwerken von Mauvoisin getroffen, wo zwischen dem Kraftwerk Fionnay und dem Wasserschloss des Kraftwerkes Riddes im Druckstollen auf eine Strecke von 15 km ein 92adriges Kabel in einer Rinne in der Sohle eingebettet und mit Kabelsteinen zugedeckt wurde. Das Einmauern der Kabelsteine muss jedoch mit äusserster Sorgfalt vorgenommen werden, damit sie durch das strömende Wasser nicht mitgerissen werden.

Eine dritte Möglichkeit besteht darin, die Rinne in der Stollensohle schwalbenschwanzförmig auszubilden, das Kabel darin in Sand einzubetten und einen Hartbetonverguss darauf zu legen, an welchem das Wasser sicher keine Angriffsfläche finden wird.

Bei Niederdruckwerken kann die Energieabgabe nicht mehr nach Bedarf geregelt werden, denn dort muss sie sich ausschliesslich dem Wasserzufluss anpassen. Es ist daher sehr fragwürdig, ob ein Niederdruckwerk sich zur Fernbedienung eignet.

Eine ganz spezielle Art der Fernregelung muss jedoch noch erwähnt werden, nämlich die sog. Frequenz-Leistungsregelung [1]). Sie wird dort angewendet, wo zwei Netze durch eine Kuppelleitung verbunden sind, über welche bei Nennfrequenz eine bestimmte Austauschleistung fliessen soll. Es kann erwünscht sein, dass bei Laständerungen oder Störungen des einen oder anderen Netzes eine vorübergehende gegenseitige Hilfeleistung eintritt, bis das gestörte Netz die Lastschwankung wieder selbst ausgeregelt hat. Um diese Aufgabe zu verwirklichen, ist es notwendig, die Leistung am Übergabeort zu messen und den Messwert nach dem zu regelnden Kraftwerk zu übertragen. Normalerweise geschieht dies über die Hochspannungsleitung mittels Trägerwellen. Im Kraftwerk wird in einem sog. Netzregler die Sollfrequenz mit der Istfrequenz verglichen und anhand der Abweichung der Regelwert der Übergabeleistung ermittelt, der alsdann die Maschinen beeinflusst. Diese Regeleinrichtung erfordert freilich den Umbau der üblichen mechanischen Turbinenregler, da der Regelwert direkt auf das Regelgestänge der Turbinen einwirken muss. Eine Einwirkung auf den Drehzahlverstellmotor würde wohl in den meisten Fällen eine zu kleine Regelgeschwindigkeit ergeben.

In neuester Zeit wird sogar, vorerst in Einzelfällen, der mechanische Turbinenregler durch ein vollelektrisches oder elektronisches Regelsystem ersetzt. Diese Systeme arbeiten auf erstaunlich elegante, schnelle und präzise Weise, so dass sie sicher in naher Zukunft noch öfters zur Anwendung gelangen werden, obwohl sie kaum die alten Regler je vollständig zu verdrängen vermögen.

In diesem Zusammenhang ist es vielleicht interessant festzuhalten, dass z. B. in Frankreich im Verbundbetrieb eine etwas andere Regelung verwendet wird als diejenige, die erwähnt wurde. Die Übergabeleistung wird dort nicht proportional zur Abweichung der Frequenz vom Sollwert, sondern proportional zum Integral der Abweichung vom Sollwert geregelt. Dabei nehmen so viele Maschinen als möglich an der Regelung teil, damit der Anteil der einzelnen Maschine an der Regelarbeit reduziert und der Regler geschont werden kann.

Fernmessung

Die Verwendung von Fernwirkanlagen bedingt automatisch auch die Installation von Fernmessgeräten. Über kürzere Distanzen werden hiezu Messwertumformer verwendet, die über Kabeladern einen dem Messwert proportionalen Strom übertragen. Ein sehr wesentlicher Vorteil dieser Methode ist die damit mögliche Reduktion der Wandlerbürden, die bei langen Kabelleitungen schon beträchtlich ist. Der Nachteil ist jedoch, dass pro Messwert ein Aderpaar zur Übertragung benötigt wird.

Für grössere Distanzen verwendet man deshalb mit Vorteil die zyklische Umschaltung, welche die verschiedenen Fernmesswerte periodisch abtastet und nacheinander über einen und denselben Fernmesskanal überträgt. Es können damit etwa 15 Messwerte pro Sekunde übertragen werden, was zur Anzeige von Momentanwerten normalerweise vollständig genügt. Zur Übertragung der Fernmesswerte kann ein Aderpaar eines Kabels oder die Hochspannungsleitung benützt werden.

Für einfachere Fernmessungen, insbesondere für hydraulische Messungen, werden auch Gleichstromimpulse verwendet, die schrittweise ein Empfangswerk vorwärts und rückwärts schalten. Dabei ist

[1]) Siehe Bull. SEV Bd. 49(1958), Nr. 13, S. 569...583.

allerdings darauf zu achten, dass bei der Übertragung keine Impulse verloren oder hinzugefügt werden, so dass nachher, sofern keine Nachlaufeinrichtung vorhanden ist, eine falsche Anzeige erfolgt. Es muss deshalb vor allem für eine sichere und unabhängige Gleichstromquelle gesorgt werden.

Es besteht z. B. auch die Möglichkeit, eine dem Messwert pro Zeiteinheit proportionale Anzahl von Impulsen auszusenden und diese am Empfangsort durch geeignete Schaltung in einen entsprechenden Gleichstrom umzuwandeln, der dem Messinstrument zugeführt wird.

Um die rationelle Zusammenarbeit verschiedener Werke zur Versorgung eines Netzes wirksam zu gestalten, ist es von Vorteil, wenn die Energieproduktion und Energieverteilung an einem zentralen Ort überwacht werden kann. Es ist üblich, dort das Netz, oder wenigstens einen Teil desselben, in einem Blindschema darzustellen, wobei in den Leitungen und Sammelschienen die gewünschten Fernmessinstrumente an der örtlich richtigen Stelle eingesetzt werden. Damit ist es möglich, auf übersichtliche Weise den Belastungszustand des Netzes stets vor Augen zu halten und auf Grund der Messresultate den Gesamtbetrieb von zentraler Warte aus zu lenken. An jenem zentralen Ort, dem sog. Lastverteiler, werden die Befehle ausgegeben, wie die einzelnen Werke zu belasten sind. Handelt es sich bei den zu überwachenden Werken um Speicherwerke, die hydraulisch voneinander abhängig sind, so muss die Betriebsleitung des Lastverteilers auch über die jeweiligen Verhältnisse der hydraulischen Anlagen genau informiert sein, um die zur Verfügung stehenden Wasserkräfte möglichst rationell ausnützen zu können. Es wird deshalb analog zum Blindschema des elektrischen Netzes auch ein hydraulisches Schema, in welchem sämtliche Staubecken und Wasserzuflüsse aufgezeichnet sind, notwendig sein. Die Wasserstände der Staubecken, sowie die zu- und abfliessenden Wassermengen, werden darin mit Rollenzählwerken direkt angezeigt. Der Vorteil eines solchen hydraulischen Schemas besteht ausserdem auch darin, dass dort auch die Stellung von Schützen und Drosselklappen lagegetreu dargestellt und fernangezeigt werden kann.

Eine hydraulische Messung besonderer Art wird öfters dort gewünscht, wo verschiedene Partner entsprechend ihrer finanziellen Beteiligung an einem Werk Anrecht auf einen Anteil an der Energieproduktion zugesprochen erhalten. Jedem Partner steht ein entsprechendes Quantum des gestauten Wassers zur Verfügung, wobei zu berücksichtigen ist, unter welchem Gefälle er dieses verarbeiten kann. Das Produkt aus Wassergewicht mal Nettogefälle, d. h. die hydraulische Arbeit, stellt somit das Mass dar, nach welchem die Anteile festgelegt werden. Demzufolge ist es notwendig, für jede Gruppe eine dauernde Wassermengenmessung vorzunehmen und dieselbe laufend automatisch mit dem zugehörigen Nettogefälle zu multiplizieren.

Fernsprech- und Fernschreibanlagen

Bei all den Möglichkeiten der Fernsteuerung, Fernregelung und Fernmessung kommt ein Kraftwerkbetrieb trotzdem nicht ohne Fernsprechanlagen aus.

Beim werkinternen Gebrauch spielen sie schon bei der Montage und Inbetriebsetzung eine grosse Rolle. Gerade für diesen Zweck bietet z. B. die Verlegung einer internen Ringleitung, ganz abgetrennt vom eigentlichen Telephonnetz, einen grossen Vorteil. An zahlreichen Stellen in Gebäuden und im Kraftwerkareal können Steckdosen angebracht werden, wo mobile Telephonapparate angeschlossen werden können und von wo aus mit jeder andern Anschlußstelle eine Sprechverbindung erstellt werden kann.

Neben dieser Ringleitung ist es aber auch notwendig, ein Telephonnetz mit festen Apparaten aufzubauen, von wo man bei Bedarf jederzeit auch durch Vermittlung einer Amtsstation oder durch direkte Wahl ins öffentliche PTT-Netz gelangen kann. Eine oder zwei Vermittlerstationen werden normalerweise im Kommandoraum und eine Chefstation im Bureau des Betriebsleiters untergebracht. An die Vermittlerstationen werden auch einige ausgewählte Apparate der Dienstwohnungen angeschlossen. Von der Betriebsleitung ist zum voraus zu bestimmen, welche Apparate amtsberechtigt und welche nur für den internen Verkehr bestimmt sind.

Das öffentliche Netz genügt aber dem Fernsprechverkehr unter den Kraftwerken nicht durchwegs, da man besonders in Störungsfällen nicht riskieren kann, dass eine Leitung oder ein Abonnement besetzt ist. Man ist deshalb dazu übergegangen, ein eigenes EW-Netz auf Grund von HF-Verbindungen über die Hochspannungsleitungen und von der PTT gemieteten Kabeladern aufzubauen. In diesem Netz kann man sich in dringenden Fällen auch in eine vorbestehende Verbindung einschalten. Dieses Netz hat sich in kurzer Zeit so erweitert, dass die 10 Hauptämter mit einer Kennziffer von 2 Zahlen nicht mehr genügen, so dass man bereits deren Anzahl vergrössern und auf 3stellige Anwahlziffern übergehen muss.

Wie schon für die Fernsteuerung über Trägerwellen, muss auch hier festgestellt werden, dass die Zuteilung von Übertragungskanälen beschränkt ist, so dass auch hier teilweise Engpässe bestehen, um die benötigten Verbindungen zu erstellen. Selbstverständlich darf das EW-Netz nur für Dienstgespräche verwendet werden, da sonst das Regal der PTT verletzt wird. Man tut deshalb gut daran, nicht alle Apparate einer Anlage wahllos daran anzuschliessen, um jedem Missbrauch vorzubeugen.

Eine spezielle Art von Sprechverbindung empfiehlt sich für den Verkehr zwischen dem Kommandoraum und dem Maschinensaal, da in der Nähe der Generatoren und Turbinen das Telephon den Lärm oft nicht zu durchdringen vermag. Schalldichte Telephonkabinen eignen sich zu diesem Zwecke nicht, weil der Maschinist während des Gespräches die Steuertafeln überblicken oder Schaltmanöver vornehmen muss. Für diesen Fall eignet sich die sog. Gegensprechanlage, die an Stelle von Telephonhörern, mit Mikrophon und Lautsprechern arbeitet. Unter Umständen müssen die Lautsprecher sogar zu einer Tonsäule gebündelt werden, um durch den Lärm durchzudringen. Die Anord-

nung der Lautsprecher wird am besten im Maschinenhaus selbst oder in ähnlichen Anlagen vorerst ausprobiert, damit man nachher keine Enttäuschungen erlebt. Selbstverständlich spielt bei der Übertragung die Qualität der Lautsprecher eine grosse Rolle.

Die Gegensprechanlage ersetzt den früher oft verwendeten Maschinentelegraph, der heute noch etwa in besonders lärmigen Maschinenhäusern, wie z. B. in thermischen Anlagen, zur Anwendung gelangt. Der Maschinentelegraph, bei welchem auf der Empfangsseite die vom Kommandoraum aus gegebenen Befehle auf einem Tableau durch Leuchtschriften optisch angezeigt werden, hat den Vorteil, dass keine Missverständnisse auftreten können. Er beschränkt sich aber auf einige wenige Mitteilungen und Rückantworten und jede übrige Verständigung muss trotzdem über das Telephon erfolgen.

Die Gegensprechanlage ersetzt aber auch teilweise eine Personensuchanlage, indem an beliebigen Stellen noch zusätzliche Lautsprecher angebracht werden können, ohne dass dabei immer noch ein Mikrophon zur Rückantwort mit installiert werden muss.

Im Fernverkehr mit dem Ausland und für die Regelung der Energie-Importe und -Exporte werden gerne auch Fernschreiber eingesetzt, insbesondere wenn es gilt, ganze Energielieferungsprogramme zu übermitteln.

Uhrenanlagen

Zweifellos spielt im Kraftwerkbetrieb auch die Zeitangabe eine grosse Rolle. Auf Grund der Zeit werden ein zum voraus festgesetztes Energielieferungsprogramm erfüllt, das Papier in den Registrierinstrumenten vorgeschoben, die Zähler abgelesen und deren Tarif umgeschaltet und nicht zuletzt die Netzfrequenz kontrolliert.

Normalerweise wird im Kommandoraum oder in einem Bureau eine Mutteruhr aufgestellt, welche die Nebenuhren in den verschiedenen Anlageteilen steuert. Dort, wo Zählerstände abgelesen werden, oder im Kommandoraum, wird mit Vorteil auch eine Ziffernuhr installiert, auf welcher die Zeit direkt in Zahlen abgelesen werden kann.

In Kraftwerken, wo die Regelung bzw. Konstanthaltung der Netzfrequenz vorgenommen wird, ist die Installation einer Frequenzkontrolluhr angebracht. Sie gibt an, um wieviel die Netzfrequenz in Sekunden und Minuten ausgedrückt von der astronomischen Zeit abweicht. Es besteht die Möglichkeit, diese Differenzzeit direkt zur automatischen Regelung der Maschinen heranzuziehen.

Alarmanlagen

Ein lebenswichtiger Teil eines Werkbetriebes bildet auch die Alarmanlage. Bei Störungen irgendwelcher Art muss der Schaltwart im Kommandoraum oder im Maschinensaal avisiert werden. Neben der akustischen Alarmierung muss dort auch angezeigt werden, um welche Art von Störung es sich handelt, damit sofort die entprechend notwendigen Massnahmen getroffen werden können.

Eine besondere Art von Alarm, die bei Speicherwerken notwendig wird, besteht aus dem Wasseralarm, der von militärischer Seite aus verlangt wird. In Kriegszeiten muss damit gerechnet werden, dass ein Stauwehr bombardiert wird, wobei Gefahr besteht, dass bei Durchbruch des Wassers ein ganzes Tal überflutet wird. Es besteht somit die Vorschrift, dass sowohl im Maschinenhaus als auch in den gefährdeten Siedlungen Alarmsirenen angebracht werden, die im Notfall die Bevölkerung veranlassen, die Gefahrenzone zu verlassen. Die Auslösung der Sirenen erfolgt durch einen Kurbelinduktor von einem geschützten Ort in der Nähe des Stauwehrs aus über eine Schlaufe eines PTT-Kabels.

Schlusswort

Es ist leider nicht möglich, in diesem kurzen Überblick über die Gleichstrom- und Schwachstromanlagen näher auf konstruktive Probleme oder Einzelheiten einzugehen. Das erwähnte Gebiet umfasst eine solche Menge von Einrichtungen aller Art, die mit der direkten Energieerzeugung und Verteilung nichts zu tun haben und trotzdem für die Betriebsführung notwendig sind, dass dies zu weit geführt hätte. Es war sogar erforderlich, auf einige weniger problematische Hilfsmittel hinzuweisen, um auf eindrückliche Weise zu demonstrieren, an welche Unmenge von Fragen bei der Projektierung von Kraftwerkanlagen und Unterstationen gedacht werden muss.

Adresse des Autors:

E. Hüssy, Ingenieur, «Elektro-Watt», Elektrische und Industrielle Unternehmungen AG, Postfach Zürich 22.

Elektronenröhren, heutiger Stand und Entwicklungstendenzen

Vortrag, gehalten an der 22. Hochfrequenztagung des SEV vom 9. Oktober 1958 in Baden,

von *A. Christeler*, Neuenburg

621.385.1.001.6

Der Aufsatz bringt eine Übersicht über den heutigen Stand und die Entwicklungstendenzen der Elektronenröhren. Insbesondere werden folgende Gruppen bezüglich Art, Verwendung und Arbeitsweise kurz erläutert: Empfangsröhren, Senderöhren, Fernsehröhren, Röhren für Kurz- und Ultrakurzwellen, Glimmröhren, Spannungsstabilisatoren, Stromregelröhren, Röhrengleichrichter, Excitrons und Ignitrons.

L'auteur donne un aperçu de l'état actuel et de l'évolution probable des tubes électroniques. Il indique brièvement le genre, l'emploi et le fonctionnement des tubes de réception, tubes d'émission, tubes de télévision, tubes pour ondes courtes et ultracourtes, tubes à effluve, tubes stabilisateurs de tension, tubes régulateurs de courant, tubes redresseurs, excitrons et ignitrons.

Die Elektronenröhren sind ein wichtiges Bauelement in der Elektrotechnik geworden. Den vielseitigen Anwendungen entsprechend weisen sie eine vielfältige Verschiedenheit bezüglich Arbeitsweise und Art auf. Dies mag ein kurzes Referat über deren heutigen Stand und Entwicklungsgang rechtfertigen.

Der einfachen Hochvakuumröhre, als Diode aus-