

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 50 (1959)
Heft: 8

Artikel: Wechselstrom-Hilfsanlagen von Kraftwerken und Unterstationen
Autor: Eichenberger, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1057790>

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: 08.01.2026

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

beaucoup de facteurs tels que les conditions locales, le genre de régulateur de tension, la vitesse normale et la vitesse d'emballlement des alternateurs, l'importance d'assurer la continuité de l'exploitation, les avantages d'un dispositif par rapport à son prix et son encombrement etc. La tendance générale est de rendre chaque groupe autonome au point de vue de l'excitation avec les équipements de réglage modernes, comme c'est déjà le cas pour les régulateurs

electro-mécaniques qui actionnent directement l'organe de réglage.

Bibliographie

- [1] Boret, W.: Das Kraftwerk Birsfelden. Bull. Oerlikon t. -(1956), n° 314, p. 3...24.
- [2] Harz, H., et H. Henning: Erregerumformer mit Konstantspannungs-Wellengenerator für grosse Wasserkraftgeneratoren. Siemens Z. t. 29(1955), n° 7, p. 288...293.

Adresse de l'auteur:

P. Lauper, technicien électricien, Ateliers de Construction Oerlikon, Zurich 11/50.

Wechselstrom-Hilfsanlagen von Kraftwerken und Unterstationen

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 20. November 1958 in Zürich,
von E. Eichenberger, Baden

621.311.18

1. Einleitung

Gleich wie ein Haushalt oder ein Industriebetrieb erfordern auch die Kraftwerke eine Anzahl Hilfsbetriebe. So müssen die Absperrschieber, die Turbinen, die Generatoren, die Transformatoren usw. mit Hilfseinrichtungen versehen werden, damit die Kraftwerke soweit als möglich störungsfrei geführt werden können. Dann müssen auch für das diensttuende Personal Einrichtungen geschaffen werden, welche ihm die Überwachung der Kraftwerke ermöglichen und mit welchen die notwendigen Voraussetzungen für den Aufenthalt in den verschiedenen Räumen geschaffen werden.

Alle diese Hilfseinrichtungen benötigen mit wenigen Ausnahmen die Zuführung von elektrischer Energie, und zwar in Form von Gleichstrom oder niedergespanntem Wechselstrom. Es hat sich nun im allgemeinen eine ziemlich scharfe Trennung in der Anwendung von Wechselstrom und Gleichstrom beim Kraftwerkbetrieb herauskristallisiert. Die Anwendung von Gleichstrom hat gegenüber derjenigen von Wechselstrom den Vorteil, dass dessen unterbruchslose Bereitstellung jederzeit weitgehend gewährleistet ist, indem die Gleichrichtergeräte oder Umformergruppen mit einer Batterie parallelgeschaltet werden können. Da aber die Erzeugung von Gleichstrom wegen der Umformung und der Batterie teurer ist als jene von Wechselstrom und die Batterie zudem viel Platz beansprucht, wird Gleichstrom nur dort verwendet, wo ein Unterbruch zu Betriebsausfall und Störungen Anlass geben könnte bzw. dort, wo die Energiespeisung zu jedem beliebigen Zeitpunkt gewährleistet sein muss.

Zu dieser Art Verbraucher, bei denen diese Bedingungen ein absolutes Erfordernis sind, gehören vor allem alle Schutzapparate mit ihren Auslösekreisen, die Überwachungseinrichtungen, sowie teilweise auch die Regel- und Steuereinrichtungen. Meistens dient der Gleichstrom jedoch nur zur Einleitung des Vorganges, z. B. zur Betätigung der Schalt- oder Steuerspulen. Die für den Vollzug der Schalt- und Steuerbefehle erforderliche Energie wird dabei aus Speichern, wie Kraftspeicher, Druckluft, Drucköl usw. bezogen, die ihrerseits mit Wechselstromantrieb geladen werden. Alle diese Steuerapparate benötigen nur wenig Gleichstrom-Energie, und auch die übrigen Gleichstromverbraucher, wie Stellungsanzeige-Lampen, Alarmrelais usw. vergrössern den Energiebedarf nur ganz unwesentlich. Es

gibt nun aber Einrichtungen mit grossem Leistungsbedarf, bei denen ein Unterbruch von der Dauer, wie er bei Wechselstrom möglich ist, ebenfalls zu Störungen Anlass geben würde. Dazu gehören z. B. die Notbeleuchtung, dann aber auch gewisse Hilfsbetriebe der Maschinengruppen, so z. B. die Kühlung der Lager, die Druckölversorgung von Turbinen usw. Während die Notbeleuchtung, falls sie auf ein Mindestmass beschränkt bleibt, noch mit Gleichstrom gespiesen werden kann, würde der Anschluss von Pumpenmotoren für die Druckölversorgung an das Gleichstromnetz, wie das oft gefordert wird, bei mittleren und grösseren Einheiten eine wesentliche Vergrösserung der Batterie nach sich ziehen. Auch könnte die mit dieser Ausdehnung des Gleichstromnetzes anwachsende Störungshäufigkeit, verursacht durch Erd- und Kurzschlüsse, für die Schutzeinrichtungen der Maschinen und Transformatoren usw. gefährliche Masse annehmen. Hinsichtlich der Vergrösserung der Batterie durch solche Pumpenmotoren sei folgendes Beispiel angeführt:

In einem Kraftwerk mittlerer Grösse ist der Dauer-Entladestrom etwa 5...10 A, der bei Störungen einschl. Notbeleuchtung auf etwa 50 A ansteigen dürfte. Wenn aber in einem Kraftwerk mit beispielsweise 4 Gruppen die etwa 15 kW starken Pumpenmotoren für die Druckölversorgung mit Gleichstrom betrieben werden, würde der Entladestrom bei Störungen auf etwa 350 A ansteigen.

Da Gleichstrom somit nur bei ganz besonders lebenswichtigen Hilfsbetrieben angewendet werden kann, fällt der grösste Teil der Speisung der Hilfsbetriebe dem Wechselstrom zu.

2. Die Wechselstromenergieerzeugung

Bei der Projektierung der Hilfsenergie-Erzeugungsanlage eines Kraftwerkes muss zuerst die Grösse der zu installierenden Leistung bestimmt werden. Es müssen also sämtliche Eigenbedarfsbezüger auf die erforderliche Grösse der Leistung überprüft und tabellarisch zusammengestellt werden. Dabei ist zu beachten, dass eine Anzahl Hilfsbetriebe dauernd voll belastet sind, währenddem andere nur sporadisch in Betrieb stehen müssen. Beispielsweise sind die Kühl- und Reglerölpumpen der Maschinengruppe sowie die Heizung und Beleuchtung über längere Zeit dauernd in Betrieb, währenddem Krane, Werkstattantriebe usw. nur

hin und wieder gebraucht werden. Bei den letztgenannten ist also die Gleichzeitigkeit des Betriebes sehr klein, so dass bei der Bestimmung der Gesamtleistung dieser Verbraucher nur ein Teil, entsprechend dem Gleichzeitigkeitsfaktor eingesetzt werden muss.

Eine weitere wichtige Frage ist die, wie und mit welchen Mitteln der Wechselstrom beschafft werden kann. Dazu stehen folgende Mittel zur Verfügung:

1. Transformatoren für Anschluss an die Generatorsammelschiene;
2. Transformatoren für Anschluss an die Hochspannungssammelschiene;
3. Transformatoren für Anschluss an ein Fremdnetz;
4. Hausgenerator oder Diesel-Notstromgruppe.

In einem Kraftwerk, in welchem z. B. zwei oder mehr Generatoren auf einen Transformator mit nur einer Unterspannungswicklung arbeiten, oder in welchem Energie in Maschinenspannung abgegeben wird, ist es naheliegend, den Eigenbedarfstransformator an die Generatorschiene anzuschliessen. Es ist dabei aber zu beachten, dass die auf der Generatorschiene auftretenden Kurzschlussleistungen außerordentlich gross sein können, so dass auch der Eigenbedarfstransformator und der dazugehörige Schalter für eine genügend grosse Kurzschlussleistung dimensioniert werden müssen. Wegen der ziemlich grossen Variation der Spannung der Generatoren sind diese Transformatoren zudem mit unter Last schaltbarem Stufenschalter sowie je nach den Umständen mit automatischer Spannungsregelung auszurüsten.

Wenn aber bei einem Kraftwerk Generator und Transformator in Blockschaltung arbeiten und wenn ferner keine Energieabgabe in Maschinenspannung erfolgt, wird man kaum eine Generatorschiene nur für den Anschluss eines Eigenbedarfstransformators vorsehen. Die Entnahme der Energie auf der Oberspannungsseite der Transformatoren ist kostspielig, so dass auch diese Lösung nur in Ausnahmefällen ausgeführt wird. Infolgedessen kommt praktisch für diesen Fall nur die Aufstellung eines an ein Fremdnetz angeschlossenen Transformators oder die Installation einer Hausturbine in Frage.

Aus Sicherheitsgründen wird man sich jedoch nicht mit nur einer Wechselstromquelle begnügen, sondern eine Kombination von Transformator an der Kraftwerksammelschiene mit Transformator an einem Fremdnetz oder Hausturbine mit Transformator am Fremdnetz usw. vorsehen. Man wird also meistens eine Haupthilfsdienstgruppe und eine Reservegruppe installieren. Fig. 1 zeigt diese verschiedenen Varianten.

Welcher von den genannten Energieerzeugern die Haupthilfsgruppe darstellt und welcher die Reservegruppe, hängt hauptsächlich von den Gestehungskosten der Energie ab. Obwohl gerade die Hausgruppe als der sicherste und von äusseren Störungen am wenigsten abhängige Energielieferant betrachtet werden kann, sind die Gestehungskosten

der Energie eines solchen Hausgenerators oft sogar grösser als bei einem Fremdtransformator, weil der Wirkungsgrad der meistens mit nur kleiner Last laufenden Hausgruppe klein ist. Mit dem gleichen Wasserquantum könnte in den Hauptturbinen bedeutend mehr Energie erzeugt werden. Es kann deshalb von Vorteil sein, die Hausturbine nur in der Reserve zu halten, obwohl der Unterbruch in der Energiebelieferung bei Störungen dadurch grösser wird, weil die Turbine zuerst angefahren werden muss.

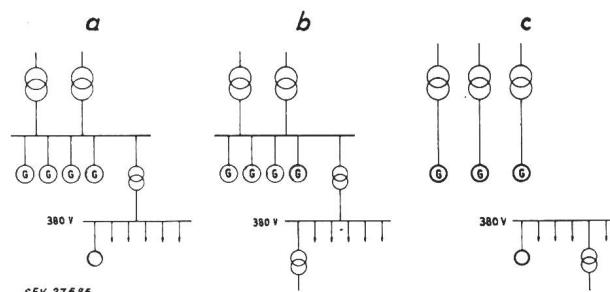


Fig. 1

Kombination von Hilfs-Wechselstromquellen

- a Sammelschienen-Transformator und Hilfsgenerator (Dieselmotor oder Hausturbine)
- b Sammelschienen-Transformator und Fremdtransformator
- c Fremdtransformator und Hilfsgenerator (Dieselmotor oder Hausturbine)

Eine weitere Möglichkeit, wenigstens die Hilfsbetriebe der Maschinengruppe mit Energie zu versorgen, besteht darin, jedem Generator einen besonderen Transformator mit kleiner Leistung zuzuordnen oder eine besondere Wechselstromwicklung in die Erregermaschine oder die Pilotmaschine einzubauen. Es kann natürlich auch ein besonderer Hilfsgenerator auf die Welle aufgebaut bzw. eine mechanische Kupplung zwischen der Welle und diesem Generator vorgesehen werden. Die Lösung mit dem Transformator scheint uns einfacher und vor allem billiger zu sein als die mit einem zusätzlichen Wechselstromgenerator. Der Transformator

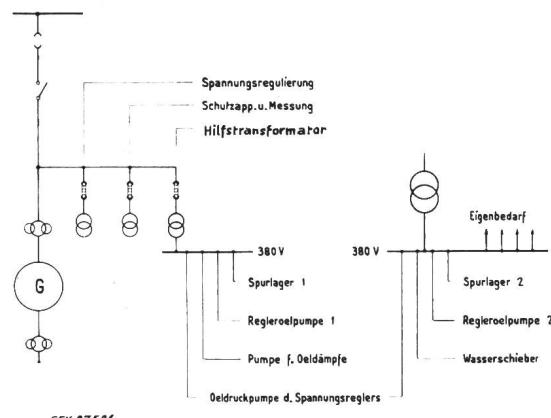


Fig. 2

Anschluss eines Hilfstransformators in Kombination mit dem Kraftwerkeigenbedarf-Transformator

kann zusammen mit den Spannungswandlern für den Spannungsregler und die Messung direkt an die Generatorklemmen angeschlossen werden. Fig. 2 zeigt den Anschluss eines solchen Hilfstransformators in Kombination mit dem Kraftwerkeigenbedarfstransformator.

Diese besonderen Hilfsstromquellen verschaffen eine grosse Unabhängigkeit von den übrigen Kraftwerkshilfsbetrieben, so dass die Maschinengruppe von Störungen, die nicht direkt mit dem Betrieb dieser Gruppe in Zusammenhang stehen, nicht beeinflusst wird.

Beim Auftreten einer Störung an der in Betrieb stehenden Haupthilfsdienstgruppe, z. B. durch Kurzschluss oder, bei Transformatoren, beim Wegfall der Primärspannung, muss die Gruppe sofort abgeschaltet und die Reservegruppe eingeschaltet werden. Damit diese Umschaltung ohne Störung und sicher vor sich geht, sind verschiedene Punkte zu beobachten. Erstens muss der Umschaltvorgang möglich rasch vor sich gehen, was am besten automatisch ausgeführt wird. Mit Hilfe eines Minimalspannungsrelais kann die Spannung auf der Hilfsdienst-Sammelschiene überprüft und der Abfall der Spannung zur Einleitung des Umschaltvorganges benutzt werden. Die neue Energiequelle darf aber nur eingeschaltet werden, wenn die Hilfsdienst-Sammelschiene tatsächlich spannungsfrei ist.

Wenn ein an die Kraftwerksammelschiene angeschlossener Transformator als Haupthilfsdienstgruppe dient und ein an ein Fremdnetz angeschlossener als Reservegruppe, ist darauf zu achten, dass nicht beide etwa parallel geschaltet werden. Es besteht nämlich die Möglichkeit, dass die beiden Transformatoren über die Hauptleitungen des Kraftwerkes und rückwärts über das Fremdnetz bereits untereinander verbunden sind, wodurch beim Zusammenschalten infolge der vorbestimmten und festen Phasendifferenz, die nicht null zu sein braucht, ein unzulässiger Ausgleichstrom entstehen würde.

Damit dann, wenn der Hausgenerator oder eine Dieselgruppe die Reserve darstellt, beim Zuschalten dieser Reserve kein zu grosses Absinken der Drehzahl und der Spannung entsteht, darf die zuzuschaltende Last nicht zu gross sein. Dieser Anforderung kann so nachgekommen werden, dass die grösseren Energiebezüger über Schalter mit Nullspannungsauslösung angeschlossen werden. Durch gestaffeltes Zuschalten dieser Energiebezüger, was von Hand oder automatisch geschehen kann, bleibt der Einschaltstromstoss und damit der Spannungs- und Drehzahlabfall in mässigen Grenzen. Beim automatischen Zuschalten ist natürlich keine Parallelschalteinrichtung erforderlich. Oft ist es aber notwendig, Haupt- und Reservegruppe parallel arbeiten zu lassen oder einen Austausch von Haupt- und Reservegruppe vorzunehmen, ohne dass dabei ein Stromunterbruch eintreten darf. Dafür ist aber eine Parallelschalteinrichtung notwendig, wozu natürlich diejenige der Generatoren und Leitungen zugezogen werden kann.

Die Dauer der spannungslosen Zeit hängt von der Art der Reservestromquelle ab. Beim automatischen Zuschalten von Transformatoren beträgt die Unterbruchzeit etwa 0,2 s, beim Zuschalten einer Hausturbine oder einer Dieselgruppe ungefähr eine Minute.

Zwecks Festlegung des Potentials des 220/380-V-Netzes wird der Sternpunkt des Transformators oder des Hausgenerators an Erde gelegt. Da vor

allem der Hausgenerator höhere Harmonische aufweisen kann, worunter besonders die dritte, dürfen die Nullpunkte von Generator und Transformator im Falle von Parallelbetrieb nicht gemeinsam an Erde gelegt werden. Die dritte Harmonische würde nämlich als Ausgleichstrom durch Transformatoren und Generatoren fliessen und somit die beiden Gruppen zusätzlich belasten. Es muss deshalb mit Hilfe eines im Nullkreise eingebauten Schützes, das automatisch betätigt wird, oder mit Hilfe einer Nullpunkt-Drosselpule dafür gesorgt werden, dass die Nullströme entweder unterdrückt oder auf ein Minimum beschränkt werden.

3. Die Energieverbraucher

Hilfsbetriebe der Turbogenerator- und Pumpengruppen sowie der Transformatoren

Neben den Schutz-, Überwachungs- und Alarmeinrichtungen, die wie bereits erwähnt, im allgemeinen mit Gleichstrom betrieben werden, müssen für die Aufrechterhaltung des Betriebes der Maschinengruppen und der Transformatoren verschiedene Wechselstromhilfsbetriebseinrichtungen geschaffen werden. Da wäre zunächst die Kühlung dieser Anlageteile zu erwähnen, worauf jedoch nicht näher eingetreten werden soll.

Ein besonderes Problem stellt die Kühlung der Lager der Maschinengruppen. Während bei horizontal laufenden Maschinen die altbewährten Ringschmierlager mit Lagerschalenkühlung angewendet werden, stellen vor allem die Spurlager bei vertikalen Maschinen besondere Anforderungen an Konstruktion und Wartung. Hier genügen oft die natürliche Ölzirkulation und die eingebauten Kühlschlägen nicht mehr, so dass besondere Ölumwälzpumpen mit äusseren Ölkühllanlagen installiert werden müssen. Spurlager benötigen einen ununterbrochenen Durchfluss des Kühlöles, so dass die Ölförderung höchstens für kürzere Zeit unterbrochen werden darf. Wir empfehlen hier im allgemeinen 2 Pumpengruppen, wovon die eine an den Kraftwerkeigenbedarf- und die andere an den Generator-Hilfsbetriebstransformator angeschlossen wird. Wegen dieser heiklen Situation im Antrieb der Lagerölumpumpen verlangen die Turbinenlieferanten oft einen Antrieb mit Gleichstrommotor, was, wie bereits erwähnt, wegen der Grösse der Batterie nicht möglich ist. Statt dessen kann aber eine von der Turbinenwelle mechanisch angetriebene Ölpumpe ins Auge gefasst werden.

Auch die Turbinenreglereinrichtung ist mit Hilfsbetrieben zu versehen. Hier ist die Erzeugung eines Öldruckes erforderlich, wozu wiederum Pumpen notwendig sind. Währenddem beim Versagen der Lagerkühlung die Maschinengruppe gefährdet ist, entsteht beim Versagen der Reglerölumpumpen im allgemeinen nur ein Abstellen der Turbine. Trotzdem werden auch hier meistens 2 Pumpen verwendet, wovon wiederum die eine an das Eigenbedarfsnetz des Kraftwerkes und die andere an den Eigenbedarfstransformator des Generators angeschlossen wird. Meistens läuft jedoch nur eine Pumpe, nämlich die sog. Hauptreglerpumpe. Beim Ausfall einer Pumpe wird mit Hilfe eines Manostaten die zweite Pumpe oder eine Reservepumpe eingeschaltet.

Es sei hier noch beigelegt, dass sowohl bei den Lagerölpumpen als auch bei den Reglerölpumpen von Zeit zu Zeit ein Austausch der Hauptpumpe gegen die Reservepumpe vorgenommen wird, damit die Betriebsstunden ausgeglichen werden können. Diese Auswechselung geschieht auf Grund von Betriebsstundenzählern.

Während dem die einfachen mechanischen Spannungsregler für kleinere Generatoren keinen besonderen Antrieb benötigen, ist das im allgemeinen nicht mehr der Fall bei Spannungsreglern grösserer Leistung, wie sie bei Maschinen von mehr als etwa 20 000 kVA benötigt werden. So gibt es Spannungsregler, die zur Verstärkung des Drehmomentes ein Öldrucksystem aufweisen, welches von einer Pumpe mit Motorantrieb gespeist wird. Obwohl beim Ausfall dieser Ölpumpe keine Störung im Generatorbetrieb entsteht, indem der Regler einfach in der vor der Störung eingenommenen Stellung verharrt und somit den Erregerstrom konstant hält, ist es doch ratsam, den Motor für die Öldruckpumpe an den Generatorhilfstransformator anzuschliessen, indem dann der Generatorbetrieb unabhängig vom eigentlichen Kraftwerkshilfsdienst wird.

Die in letzter Zeit aufgekommenen elektronischen oder mit Transduktoren arbeitenden Regler benötigen ebenfalls eine Hilfsstromquelle. Hier sind aber die Folgen eines Unterbruches der Hilfspeisung meistens schwerwiegender, weil die Generatoren dadurch ausser Tritt fallen können. Es ist somit hier sehr wichtig, dass die Hilfspeisung unter allen Umständen keinen Unterbruch erfährt.

Ganz ähnliche Verhältnisse liegen bei elektrischen Turbinenreglern vor. Auch hier ist die Kontinuität in der Speisung des Hilfsbetriebes eine Voraussetzung für den einwandfreien Betrieb und auch hier stellt sich die Frage, welchen Quellen dieser Hilfsstrom entnommen werden soll. Wegen der Möglichkeit des kurzzeitigen Unterbruchs bei einer Störung in der Eigenbedarfsversorgung des allgemeinen Kraftwerkbetriebes kommt diese Stromquelle nicht in Frage. Wie bereits erwähnt, ist diesbezüglich der an den Generator angeschlossene Hilfstransformator sicherer. Sehr oft wird als Stromquelle auch die Pilotmaschine verwendet. Es ist aber zu bedenken, dass eine Drehzahl- oder Spannungsschwankung der Pilotmaschine auf den Regler einwirkt. Dadurch kann der Regler ebenfalls zum Pendeln angeregt werden, was wiederum eine Anfachung der Drehzahl- bzw. Spannungsschwankung zur Folge hat usw. Mit Hilfe von entsprechenden Dämpfungsgliedern kann diese unerwünschte Verstärkung und Anfachung in zulässigen Grenzen gehalten werden.

Für die Abschlussorgane in der Wasserzuleitung zu den Turbinen sind ebenfalls einige Zusatzeinrichtungen mit Anschluss an die Eigenbedarfsversorgung erforderlich. Die Öffnungs- und Schliess-Servomotoren der Turbinenschieber werden direkt mit dem Betriebswasser oder mit Drucköl vom Turbinenregler betätigt. Dabei kann die unter Druck stehende Luft der Windkessel als Kraftreservoir dienen. Die Ventile der Servomotoren, die von der Kommandostelle oder von der Notauslösung gesteuert werden, können mit Gleich- oder Wechselstrom-

antrieben in Form von Elektromagneten betätigt werden. Hier wirkt sich nämlich ein Unterbruch in der Speisung der Magnete nicht unbedingt katastrophal aus, indem die Schieber beim Schliessen im Notfall wegen des Antriebes durch Betriebswasser oder Drucköl auch von Hand betätigt werden können. Dem Abschlussorgan am Kopf der Druckleitung — in den meisten Fällen ist dies eine Drosselklappe — kommt besondere Bedeutung zu. Es ist auf alle Fälle dafür zu sorgen, dass der Wasserdurchfluss im Katastrophenfall sofort unterbrochen werden kann. Für die Übermittlung des Auslösebefehls kommt somit nur Gleichstrom aus der Werkbatterie oder Wechselstrom, erzeugt durch einen Kurzbelinduktor, oder beides zusammen in Frage.

Allgemeiner Kraftwerkshilfsbetrieb

Zum allgemeinen Kraftwerkshilfsbetrieb gehören folgende Anlageteile:

Kühl- und Entwässerungspumpen
Druckluftanlage
Batteriespeisung
Kraft, Licht und Heizung
Werkstatt
Hebezeuge usw.

Nachfolgend soll über einige dieser Hilfsbetriebe berichtet werden:

Kühlwasserversorgung

Die Kühlwasserversorgung ist in einem Kraftwerk von sehr grosser Bedeutung, indem bei deren Versagen grosse Schäden an Transformatoren und Maschinen entstehen können. Unter gebührender Würdigung dieser Tatsache könnte man versucht sein, als Antriebmotoren Gleichstrommotoren für die Kühlwasserpumpen vorzusehen. Da diese Pumpen jedoch meistens sehr gross sind, kommt ein solcher Antrieb nicht in Frage. Bei Hochdruckwerken kann diese Schwierigkeit umgangen werden, indem das Kühlwasser einem 10...30 m über dem Maschinensaalboden gelegenen Reservoir entnommen werden kann. Die Kühlwasserpumpen dienen dann zur Füllung des Reservoirs, sie müssen somit nicht dauernd in Betrieb stehen und da das Kühlwasserreservoir auch bei Störungen einen längeren Unterbruch in der Einspeisung des Wassers erlaubt, dürfen die Pumpen ohne Bedenken an den allgemeinen Kraftwerkseigenbedarfstransformator angeschlossen werden. Diesbezüglich ist die Kühlwasserversorgung in Niederdruckwerken, wo gewöhnlich kein hochliegendes Reservoir erstellt werden kann, nicht so günstig.

Je nach dem nötigen Wasserquantum und der Höhe des Reservoirs bei Hochdruckwerken werden zwei oder mehr Pumpen installiert. Der Einsatz und das Abstellen der Pumpen geschieht dabei meistens automatisch. Beim Unterschreiten eines bestimmten Niveaus im Reservoir wird eine und, wenn das Niveau noch weiter absinkt, eine zweite Pumpe usw. eingeschaltet. Auch das Ausschalten geschieht in Funktion des Niveaus, und zwar wegen der bei der Grösse der Pumpen auftretenden starken Last- und Stromänderung ebenfalls gestaffelt, besonders dann,

wenn Hausturbinen oder Dieselmotoren als Energieerzeuger dienen.

Für die Messung des Wasserstandes im Reservoir und für die Weitergabe der entsprechenden Steuerbefehle auf die Motorschütze gibt es verschiedene Methoden. Bei der bisher meistens angewendeten Methode werden Schwimmer verwendet, welche ihrerseits mit Hilfskontakten und Hilfsrelais die Motorschütze betätigen. Eine in letzter Zeit oft angewandte Methode beruht auf pneumatischer Basis, indem von einem Kompressor Luft in das Wasser des Kühlwasserreservoirs gepresst wird. Je nach der Höhe des Wasserspiegels im Reservoir ist der notwendige Druck in der Druckluftzuleitung verschieden gross. Die durch Manostaten gemessene Druckvariation wird für die Steuerung der Motorschütze der Kühlwasserpumpen benutzt. Sowohl das eine wie auch das andere System hat sich bisher bewährt.

Neben den Kühlwasserpumpen haben auch die Entwässerungspumpen eine wichtige Funktion im Kraftwerkbetrieb. Auch hier geschieht das Ein- und Ausschalten der Pumpen in Funktion des Wasserstandes im Entwässerungsschacht.

Druckluftanlage

Druckluft wird vor allem bei Druckluftschaltern sowie für den Antrieb von Trennern, ferner für die Werkstatt, für die Fensterbetätigung, für den Brandschutz, für Niveaumessungen sowie gegebenenfalls für Turbinenregelungen angewendet. Den Hauptverbraucher stellen jedoch die Druckluftschalter dar, und diese stellen zudem hinsichtlich der Betriebssicherheit die grössten Anforderungen. Erstes Erfordernis ist hier die jederzeitige Zurverfügungstellung eines genügend grossen und unter Druck stehenden Luftquantums sowie eine möglichst rasche Nachfüllung der Druckluftbehälter.

Für die Drucklufterzeugung werden je nach dem Verbrauch zwei oder mehr Kompressoren aufgestellt. Durch zweckmässige Einstellung der Anlaufmanostaten wird erreicht, dass zuerst immer nur eine Gruppe anläuft, wobei die zweite und eventuell eine dritte erst bei über grossem Luftbedarf oder Störung in Betrieb kommen.

Da, wie bereits erwähnt, die Hauptanforderung bei den Druckluftschaltern in der jederzeitigen Zurverfügungstellung eines genügend grossen Luftquantums besteht, sollte die Druckluft für die Werkstatt und für weitere Nebenbetriebe wenn immer möglich nicht von der für die Druckluftschalter dienenden Drucklufterzeugungsanlage bezogen werden.

Batteriespeisung

Jedes Kraftwerk verfügt neben der allgemeinen Werkbatterie für die Schutz- und Alarmeinrichtungen über weitere, kleinere Batterien für Telephon und Schwachstromeinrichtungen. Die Umformung von Wechselstrom in Gleichstrom geschieht heute meistens mit statischen Gleichrichtern, vor allem mit Selengleichrichtern, dann aber auch mit Gleichrichtern, welche Metalldampf- oder Vakuumlampen usw. aufweisen. Gemäss der heutigen Technik des Ladevorganges der Batterien müssen die Gleichrichter für Schwach- und Starkladung vorgesehen werden, wobei die Schwachladung für Variation des

Ladestromes vorzusehen ist. Allerdings sind auch hier die Auffassungen nicht immer gleich.

Neben diesen statischen Gleichrichtern gibt es noch rotierende Umformergruppen, die allerdings mehr Wartung benötigen als die statischen Gleichrichter. Der Energiebedarf der Gleichrichter ist in Bezug auf den gesamten Wechselstrom-Hilfsdienstbedarf geringfügig. Die Gleichrichter werden an den allgemeinen Kraftwerk-Eigenbedarftransformator angeschlossen.

Heizung

Für die Heizung der Räume werden sehr grosse Energiemengen benötigt. Dazu kommt, dass sich dieser Energiebezug über lange Zeiträume mit Vollast erstrecken kann und somit bei der Bestimmung der Grösse der Eigenbedarfsanlage sehr schwer ins Gewicht fällt. Es ist nun aber nicht etwa so, dass in elektrischen Anlagen immer mit elektrischer Energie geheizt wird. Auch hier kann die elektrische Energie teurer sein als Kohle oder Öl. Bei der Anwendung der Verlustwärme von Generatoren oder Transformatoren als Heizenergie, sei es direkt oder über Wärmepumpen, ist darauf zu achten, dass diese Wärme im Winter nicht immer zur Verfügung steht, da ja während der Zeit von Revisionen oder Reparaturen der Maschinen auch keine Wärme erzeugt wird. Somit müssen solche Heizeinrichtungen mit einer elektrischen Heizung ergänzt werden, und zwar für den ganzen Wärmebedarf des Kraftwerkes. Bei der elektrischen Heizung eines Kraftwerkes beträgt der Energiebedarf bis zu 30 % des gesamten Eigenbedarfes. Die Energie wird den Heizkörpern dreiphasig oder einphasig, im letzten Fall zwischen Pol- und Nulleiter, zugeführt. Bei einphasiger Abgabe ist dafür zu sorgen, dass der Anschluss der einzelnen Heizkörper so erfolgt, dass alle 3 Phasen gleichmässig belastet werden. Grössere Heizkörper oder Gruppen desselben Raumes werden meistens über Schütze angeschlossen. Die Betätigung der Schütze kann von jedem beliebigen Punkt aus erfolgen, z. B. von der Kommandostelle.

4. Beschreibung des Aufbaues der Eigenbedarfsanlage und der dazugehörigen Schutzeinrichtungen

Im allgemeinen sind die Erzeuger für die Hilfsdienstenergie, also die Transformatoren und Generatoren, nicht im gleichen Raum aufgestellt wie die Verteilschalttafeln. So wird man beispielsweise die Hausturbine mit dem zugehörigen Generator aus hydraulischen Gründen im Maschinensaal oder im Turbinenboden aufstellen. Die Transformatoren können im Freien oder in besonderen Zellen untergebracht werden. In seltenen Fällen, wenn sie sehr klein sind, werden sie in der Verteiltafel installiert. Für die Verteilanlage mit den Schalttafeln wird sehr oft ein besonderer Raum vorgesehen. Je nach Platzverhältnissen besteht aber auch die Möglichkeit, sie im Kommandoraum oder im daruntergelegenen Kabelboden aufzustellen. Die Verbindung zwischen den Energiezeugern und den Verteiltafeln erfolgt je nach deren Grösse über Schalter, Trenner, selten über Sicherungen sowie Schienen oder Kabel. Die Verbindung zwischen den Verteil-

tafeln und den Verbrauchern, die im ganzen Kraftwerk und in der Freiluftanlage verteilt sind, kann dagegen nur über Kabel, die mit Sicherungen oder Automaten gesichert sind, erfolgen. Wenn verschiedene Verbraucher entweder im gleichen Raum untergebracht sind, oder wenn sie für die gleiche Einrichtung, z. B. eine Turbine dienen, werden sie mit Vorteil zu einer Gruppe zusammengefasst. In diesem Falle kann ein gemeinsamer Zwischenverteilkasten vorgesehen werden, welcher über ein Kabel gespeist wird und mit Sicherungen oder Automaten auszurüsten ist.

Die Eigenbedarfsverteiltafel wird wie die übrigen Schalttafeln des Kraftwerkes in einzelne Felder unterteilt. Je nach der Anzahl der speisenden Eigenbedarfserzeuger werden für die Unterbringung der Steuer- und Überwachungsorgane 2...3 Felder reserviert. Sehr oft werden auch die Sekundär-schalter und -Trenner des Transformators in die Felder der Verteiltafeln eingebaut, wofür aber besonders breite Felder vorgesehen werden müssen. Bei Hausturbinen und Dieselgeneratoren wird meistens eine besondere Schalttafel, die direkt neben den Energieerzeugern aufgestellt wird, für die Überwachungsapparate vorgesehen. Die Steuerung kann dabei trotzdem von der Kommandostelle aus geschehen. Der Hauptteil der Felder der Eigenbedarfsverteiltafel dient für die Installation der Sicherungen und Automaten, da gemäss Vorschrift jedes abgehende Kabel mit solchen gesichert werden muss. Dabei wird die Unterteilung der einzelnen Felder so vorgenommen, dass Sicherungen bzw. Automaten der gleichen Grösse und Leistung soweit als möglich in das gleiche Feld bzw. in nebeneinanderstehende Felder eingebaut werden. In der gleichen Schalttafel müssen natürlich auch alle Abgänge und Zuleitungen für die Gleichstrom-Verteilung, sowie die Apparate für die Batterie- und Gleichrichterüberwachung untergebracht werden. Sehr oft ist es vorteilhaft, die Eigenbedarfsverteilanlage aufzuteilen und in verschiedenen Räumen unterzubringen, nämlich dann, wenn die Energieerzeuger räumlich weit auseinander liegen und wenn gleichzeitig grössere Gruppen von Hilfsbetriebseinrichtungen in der Nähe der Energieerzeuger installiert sind. Dadurch kann auch an Kabelzuleitungen zu diesen Energieverbrauchern gespart werden, indem zwischen den Verteilanlagen ein gemeinsames starkes Kabel oder eine Schiene gelegt werden kann. Die Kosten für dieses starke Kabel oder für die Schienen sind immer bedeutend kleiner als diejenigen für mehrere kleine Kabel, weil jedes einzelne Kabel für den vollen Strom, das gemeinsame Kabel jedoch wegen des kleinen Gleichzeitigkeitsfaktors nur für einen Teil der Summe der Einzelströme bemessen werden muss.

Die Eigenbedarfsverteiltafeln werden grundsätzlich in 2 verschiedenen Formen ausgeführt, nämlich als geschlossene und als offene Form. Die offene Form, in welche die Instrumente und Überwachungsapparate, sowie gegebenenfalls auch die Sicherungen und Automaten in die Frontwand eingebaut werden, besitzt keine Rückwand oder rückwärtige Türen, so dass die Apparate auch sehr leicht von hinten her zugänglich sind. Sie hat aber den

Nachteil, dass ein einmal aufgetretener Lichtbogen ohne irgendwelchen Widerstand längs den meistens blank geführten Sammelschienen laufen kann. Diesbezüglich ist die geschlossene Form, wenn gleichzeitig Zwischenwände zwischen den einzelnen Feldern angebracht werden, günstiger. Bei grossen Kurzschlüssen mit Lichtbogenentwicklung ist das Personal zudem weniger gefährdet als bei offenen Schalttafeln.

Ob die offene oder die geschlossene Form vorzuziehen ist, richtet sich natürlich auch nach der Art der Räume, in welchen die Schalttafeln untergebracht werden. Für die Zwischenverteilung, besonders für die Turbinenhilfsbetriebe und für die Licht- und Krafteinspeisung werden meistens geschlossene Verteilkästen gewählt.

Als Kabel für die Eigenbedarfsanlage kommen die gleichen Typen in Frage wie für Mess- und Steuerkabel. Es werden also auch hier alle auf dem Markt vorhandenen Kabel, nämlich Papierblei-, Gummiblei- und Kabel mit Kunststoffmantel angewendet. Heute werden die Gummibleikabel von den Kunststoffkabeln und den Thermoplastkabeln oft verdrängt, weil Gummi mit der Zeit an Festigkeit und Isolierfähigkeit verliert.

Thermoplastkabel benötigen keine Endverschlüsse und beanspruchen somit bei der Einführung in die Schalttafeln weniger Platz als Papierbleikabel. Bei der heutigen kurzen Bauzeit von Kraftwerken und Schaltanlagen müssen die Kabel oft zu einer Zeit verlegt werden, wo noch gebaut wird und wo der Beton der Kabelkanäle oft noch nicht abgebunden ist. Da aber Blei vom noch nicht abgebundenen Beton angegriffen wird, müssen Bleikabel auf eine neutrale Zwischenlage verlegt oder von den Wänden distanziert werden. Als Zwischenlage eignet sich phenolfreie Dachpappe. Thermoplastkabel sind diesbezüglich günstiger und werden deshalb heute auch für die Speisung der Hilfsbetriebe immer mehr verwendet. Nur muss dabei darauf geachtet werden, dass die Temperatur immer tief liegt und dass die Kabel nicht überlastet werden.

Eine Erscheinung, die man immer wieder bei Kabeln beobachtet und die dementsprechend auch immer wieder diskutiert wird, und worüber eine grosse Zahl verschiedener Meinungen besteht, ist der Mäusefrass. Man hat Fraßspuren an Kabeln an allen Orten in Kraftwerken und Freiluftanlagen beobachtet, vorwiegend jedoch an engen Stellen, wo die Mäuse versuchten, durch Nagen die Durchgänge zu erweitern. Es fällt sehr schwer, irgendwelche Gesetzmässigkeit herauszufinden. Interessant ist die Beobachtung, die wir kürzlich in einem Kraftwerk gemacht haben, wo nackte Bleimantelkabel und Thermoplastkabel nebeneinander auf offenen Tablaren lagen. Es wurde festgestellt, dass die Mäuse nicht etwa die Thermoplastkabel benagten, sondern die Bleimantelkabel, und zwar bis auf die Leiter.

Für die Speisung der Heiz- und Beleuchtungskörper können in Anlehnung an die Hausinstallation in Stahlpanzerrohre eingezogene Thermoplastkabel oder isolierte Drähte verwendet werden. Dabei können die Stahlpanzerrohre über oder unter Putz verlegt werden.

Bei der Notbeleuchtung sind sehr oft Gleich- und Wechselstromkabel oder Drähte auf dieselben Lampen zu führen. Gemäss den einschlägigen Vorschriften können Wechselstrom- und Gleichstromkabel im gleichen Rohr verlegt werden, wenn das eine der beiden Kabel oder einer der Drähte eine Prüfspannung von 4000 V aufweist. Das gleiche gilt auch für die Schalter.

Ein besonderes Kapitel ist die Erdung der Wechselstromhilfsdienstanlage. Das ganze Gebiet des Kraftwerkes inkl. Freiluftanlage muss als ein und derselbe Erdbezirk betrachtet werden. Es gibt somit nur ein Erdsystem, wobei die Erdbänder über das ganze Kraftwerk inkl. Freiluftanlage verlegt werden. Alle Hoch- und Niederspannungsapparate, also auch die Apparate der Hilfsdienstbetriebe, sind an dieses Erdnetz anzuschliessen. Ferner sind auch Metallteile, die nicht elektrische Leiter in sich schliessen, z. B. Fensterrahmen und Türrahmen, wenn sie sich in der Nähe von Hochspannungsteilen befinden, mit diesem Erdsystem zu verbinden. Eisensteile in Nebengebäuden müssen dagegen nicht unbedingt geerdet werden. Aus architektonischen Gründen ist es oft nicht leicht, die Erdverbindungen sichtbar auszuführen. Das trifft besonders zu bei Zugängen zu den Maschinensälen und den Kommandostellen usw. Dort ist gegebenenfalls die Nullung gestattet, die bei Lampen und Heizkörpern angewendet wird. Indem die Nullpunkte der Transformatoren und Generatoren an das allgemeine Erdsystem angeschlossen werden, sind beide Erdsysteme identisch. Man sieht also, dass die Erdung der Eigenbedarfsanlage in Kraftwerken von derjenigen bei Hausinstallationen abweicht. Sie ist deshalb zulässig, weil in Kraftwerkbetrieben meistens mit fachlich gut ausgebildetem Personal gerechnet werden darf.

Dagegen unterliegen alle elektrischen Anlagen, die ausserhalb des Kraftwerkbezirks liegen, z. B. Wasserfassungen, Wasserschlösser usw., den Hausinstallationsvorschriften des SEV. Hier müssen die Hochspannungsapparate an eine Sondererde gelegt werden. Ausserdem sind alle Niederspannungsapparate mit dem Transformatornullpunkt, der an eine von der Sondererde getrennte Erde gelegt wird, zu verbinden.

Damit die dem Kraftwerkshilfsdienst gestellte Aufgabe betrieblich einwandfrei gelöst werden kann, muss der Schutzeinrichtung besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Die Anlage soll möglichst selektiv sein, und ein Lichtbogen bzw. ein Brand soll so weit als möglich lokalisiert bleiben.

Nun ist es oft gerade bei Verteiltafeln schwierig, einen Kurzschluss zu lokalisieren und somit grös-

sere Zerstörungen zu vermeiden. Da die Verteiltafeln, elektrisch ausgedrückt, immer nahe bei den Energieerzeugern installiert werden, sind die Kurzschlußströme verhältnismässig gross. Schmelzsicherungen haben aber die Eigenschaft, dass sie beim Durchschmelzen Überspannungen erzeugen oder sogar explodieren können und deshalb Anlass zu Überschlägen an irgend einer schwachen Stelle der Verteiltafel geben. Ein an sich kleiner Kurzschluss in einem Abgang kann somit zu einem Kurzschluss oder Erdschluss in der Verteiltafel führen. Es ist deshalb unerlässlich, dass die Haupteinspeisung zu der Verteiltafel über einen kurzschlussfesten Schalter geführt wird, welcher mit einem auf $\approx 0,5$ s eingestellten Maximalstromschutz versehen wird. Auch ist es immer vorteilhaft, wenn die Schalttafel unterteilt wird und die einzelnen Abgangsfelder über besondere Sicherungen gespiesen werden.

Selbstverständlich müssen auch die Energieerzeuger gegen Kurzschluss geschützt werden. Bei Transformatoren genügt im allgemeinen gegen äussere Kurzschlüsse ein Thermorelais mit Maximalstromauslösung. Für innere Defekte ist der Buchholzschutz meistens ausreichend. Bei Hausgeneratoren, welche mit Dieselmotoren oder Turbinen angetrieben werden, wird außer dem Maximalspannungsschutz und dem Thermoschutz mit Maximalstromauslösung oft auch ein Differentialschutz angewendet. Meistens genügt es, den Maximalstromschutz bei den Transformatoren nur auf der Primärseite einzubauen, weil damit Kurzschlüsse auch auf der Sekundärseite abgeschaltet werden. Wenn aber der betreffende Eigenbedarfstransformator mit einer dritten Wicklung z. B. für die Speisung einer Talsversorgung versehen wird, dann ist auch auf der Sekundärseite ein Maximalstromschutz mit Schaltern nötig, damit Kurzschlüsse selektiv abgeschaltet werden.

Adresse des Autors:

E. Eichenberger, Ingenieur, Motor-Columbus AG für elektrische Unternehmungen, Baden (AG).

«Beleuchtung zweier Strassentunnel auf der Strecke Thusis—Rongellen»

[Bull. SEV Bd. 50(1959), Nr. 6, S. 225...232]

B e r i c h t i g u n g

Infolge eines technischen Versehens lauteten auf S. 225, Spalte rechts, letzter Absatz, die 2. und 5. Zeile gleich. Der zweite Satz wurde verstümmelt wiedergegeben und lautet richtig: «Man konnte zum überschlägigen Vergleichen zwei bestehende Anlagen in Zürich — im Umlbergtunnel (Verbindung zwischen den Quartieren Enge und Wiedikon) und in der betriebsfertigen der beiden Unterführungen beim Hauptbahnhof — heranziehen.»

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Ein zweidimensionales Regelsystem

621.316.7.078.4

[Nach P. Sarachik und J. R. Ragazzini: A 2-Dimensional Feedbach Control System. Trans. AIEE, Part II, Bd. 76(1957), Nr. 30, S. 55..61]

Es stellt sich häufig die Aufgabe, zwischen verschiedenen Dimensionen eine genaue Beziehung aufrecht zu erhalten. Ein Beispiel dafür ist eine Drehbank, wo die Spitze des Drehstahls

einer bestimmten Raumkurve folgen muss. Diese ist einmal durch den Vorschub x des Supports, zum anderen durch den Vorschub y des Werkzeuges selbst gegeben. Für einen bestimmten Arbeitsgang besteht für diese beiden Bewegungen ein eindeutiger Zusammenhang $y = f(x)$. Die Zeit t kommt in diesem Zusammenhang nicht explizit vor. Wichtig ist nur, dass die Beziehung $y = f(x)$ möglichst fehlerfrei eingehalten wird. $f(x)$ ist in Form einer Schablone, einer Tabelle oder