

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 105/106 (1935)
Heft: 17

Artikel: Die Sicherheit unserer Stromversorgung, ein Querschnitt durch den Starkstrom-Apparatebau
Autor: Puppikofer, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-47426>

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: 08.07.2025

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

INHALT: Die Sicherheit unserer Stromversorgung. — Zum Thema: Exzentrisches Kippen. — Pfeilergründung der San Francisco-Oakland-Brücke. — Zwei grosse französische Siedelungen. — Mitteilungen: Ueber allgemeine Gemeinde-Ingenieur-Aufgaben. Kerbzähigkeit und Dauerfestigkeit von Stählen bei tiefen Tempe-

raturen. Feuersichere Isolierflüssigkeiten. Die Schwebbahn auf den Gran Sasso d'Italia. Leichtmetalltagung in der E. T. H. Die Hebung des deutschen Linienschiffes „Bayern“. — Berichtigung: Architektonische Fragen des Orgelbaues. — Literatur: Neu erschienene Sonderdrucke der „SBZ“.

Band 105

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich.
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 17

Die Sicherheit unserer Stromversorgung, ein Querschnitt durch den Starkstrom-Apparatebau.

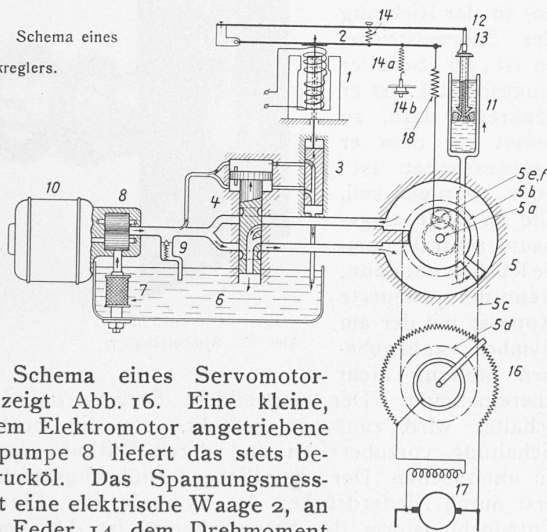
Von Obering. H. PUPPIKOFER, Zürich-Oerlikon.

(Schluss von Seite 154.)

3. *Die Regulierapparate.* Wir sind durch die vorzügliche Betriebsführung unserer Werke derart an die ruhige Konstanz der Spannung gewöhnt, dass es sehr stark auffällt, wenn in einer stürmischen Winternacht das Licht einmal zuckt. Und dass gar Lampen infolge zu hoher Spannung plötzlich durchbrennen können, ist heute bei uns sozusagen unbekannt. Dieser rühmliche Zustand wird erreicht mit Hilfe von automatischen Spannungsregulierapparaten. Solange man die Transformatoren nicht kannte, kam nur die Regelung der Spannung am Generator in Frage durch Veränderung seiner Erregerstromstärke mit einem Widerstand. Bei den stark verzweigten heutigen Verteilnetzen muss neben der Generatorspannung die Spannung an den Hauptverteilpunkten reguliert werden.

Die automatischen Spannungsregler für Generatoren bilden zwei Hauptgruppen: die direkt wirkenden Regler und die Servomotorregler. Bei den *direkt wirkenden Reglern* muss das Spannungsmessorgan gleichzeitig auch die Verstellung des Erregerwiderstandes besorgen. Es muss dabei ein Kompromiss zwischen der Empfindlichkeit, d. h. Reguliergenauigkeit und der mechanischen Leistungsfähigkeit geschlossen werden. Die *Servomotorregler* machen Gebrauch vom Gedanken der Arbeitsteilung. Das Messorgan kann die Spannung mit der höchsten Empfindlichkeit kontrollieren, da es nur dieses zu tun hat, und gibt den Befehl zur Verstellung des Regulierwiderstandes an einen Servomotor weiter.

Abb. 16. Schema eines Oeldruckreglers.



Das Schema eines Servomotorreglers zeigt Abb. 16. Eine kleine, von einem Elektromotor angetriebene Zahnradpumpe 8 liefert das stets bereite Drucköl. Das Spannungsmessorgan ist eine elektrische Waage 2, an der eine Feder 14 dem Drehmoment eines besonders gebauten Magneten 1 das Gleichgewicht hält. Am Wagebalken hängt der Kolben 3 eines Vorsteuerventils. Je nachdem der Wagebalken das Kölbchen hebt oder senkt, schickt das Vorsteuerventil Drucköl auf die eine oder andere Seite des Hauptsteuerventils 4, und dieses letzte Kraftrelais steuert den Servomotor 5, der über eine Kettenübertragung den Rheostat 16 für die Erregung des Generators im gewollten Sinne verstellt. Gegenüber den direkten Reglern hat dieser Spannungsregler den Vorteil der grossen überschüssigen Kraft bei grosser Geschwindigkeit und grossem Regulierbereich. Ausserdem besitzt er eine einstellbare gedämpfte und gefederte Rückführung 12, die der Zeitkonstanten des Stromerzeugers angepasst werden kann. Da

dieser Regler in ein Messorgan und in ein Verstellorgan aufgeteilt ist, erlaubt er durch Auswechseln des ersteren die Lösung zahlreicher Regulierprobleme, wie Spannungsdifferentialregelung, Strom- oder Leistungsregelung und die Kombination verschiedener Regulierarten.

Die Regelung der Spannung am Verbrauchsorte oder in gewissen Verbrauchszentren erfolgt durch Transformatoren mit veränderlicher Uebersetzung, sei es durch Drehtransformatoren (Induktionsregler) oder durch Stufenschalter. Bei hohen Spannungen verwendet man heute mehr und mehr sogenannte Reguliertransformatoren mit angebauten Stufenschaltern. Bei kleineren Spannungen und grossen Anforderungen an die Regulierung bezüglich Geschwindigkeit und Empfindlichkeit empfiehlt es sich, Induktionsregler zu nehmen. Beide Arten von Transformatoren werden durch Spannungsregler ähnlich den Reglern für Generatoren gesteuert.

Der *Stufenschalter* (Abb. 17) muss, ohne den Betrieb zu stören, die Uebersetzung seines Transformators verändern, d. h. unter Last die abgehende Leitung z. B. von einer Anzapfung A_I wegnehmen und an die nächste Anzapfung A_{II} anschliessen. Dabei werden eine kurze Zeit lang die dazwischenliegenden Transformatorenwindungen über einen Strombegrenzungs-Widerstand R kurzgeschlossen. Da bei dieser Umschaltung auch ein Lichtbogen entsteht, der an den betreffenden Kontakten einen gewissen Abbrand, einen ganz normalen Verschleiss, hervorruft, hat man die Arbeit des Stufenschalters auf zwei voneinander etwas abweichend ausgeführte Organe verteilt: auf den stromlos schaltenden Anzapfwähler und auf den dem Abbrand ausgesetzten Last- oder Funkschalter. Der Wähler besteht aus zwei gleichartigen Umschaltern, die von den selben Transformatoranapfungen über je einen Lastschalter (O_I und O_{II}) zur abgehenden Leitung führen. Im Stromkreis des einen Umschalters ist der Begrenzungs-Widerstand eingebaut. Der Wähler mit dem Widerstand bereitet bei offenem Lastschalter O_I die nächste Schaltung vor. Dann wird O_I geschlossen. Beide Anzapfungen sind dann mit der Leitung verbunden. Nun öffnet der Lastschalter O_2 den andern Umschalter; dieser wird verstellt. O_I schliesst sich wieder, O_2 wird geöffnet. Die Umschaltung auf die nächste Transformatorstufe ist fertig.

Abb. 18 (S. 192) zeigt einen solchen Stufenschalter, der den besondern Namen „Plattenschalter“ trägt, weil die Wähler als Arme ausgebildet sind, die sich über kreisförmig angeordnete und auf Platten montierte Kontaktreihen drehen. Zwischen den zwei zu einer Phase gehörenden Platten sind das Getriebe, die zwei Lastschalter und der Widerstand angeordnet. Das Ganze ist in einem mit Oel gefüllten Kessel untergebracht, der zur Revision der Lastschalterkontakte usw. heruntergelassen werden kann. Der Plattenschalter ist am Transformator aufgehängt, und bei Aufstellung der ganzen Gruppe im Freien werden die Verbindungen zwischen Transformatorwicklung und Stufenschalter durch einen mit Oel gefüllten Kasten hindurchgeführt, der gleichzeitig für den Transformator als Ausgleichsgefäss, als Oelkonservator dient. Die Umschaltung von einer Stufe auf die andere benötigt weniger als eine

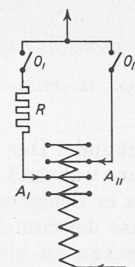


Abb. 17. Prinzipschema eines Stufenschalters.

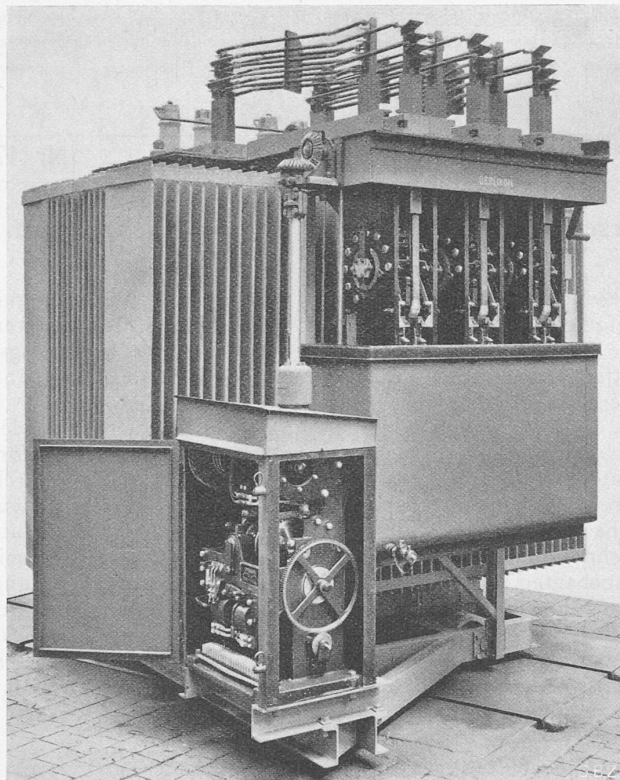


Abb. 18. Platten-Stufenschalter der M. F. O.

Sekunde. Der strombegrenzende Stufenwiderstand ist jedoch nur während eines Teils dieser Zeit stromdurchflossen. Da er demgemäss bemessen wird, muss dafür gesorgt sein, dass der Stufenschalter die Schaltzeiten genau einhält, ohne stecken zu bleiben, auch nicht, wenn die für den Antrieb verwendete Hilfsstromquelle einmal aussetzt. Dieses Problem wurde gelöst durch den sogenannten *Kraftspeicherantrieb* der Stufenschalter. Der Schaltvorgang wird in zwei Hauptphasen unterteilt. In der ersten Phase wird durch einen von der Hilfsstromquelle gespeisten Elektromotor der Kraftspeicher geladen, in der zweiten Phase entlädt er sich und nimmt dabei den Stufenschalter mit. Sollte der Hilfsstrom in der ersten Phase der Schaltung versagen, so wird hierdurch der Stufenwiderstand doch nicht gefährdet, da er noch nicht eingeschaltet ist. In der zweiten Phase hingegen steht der Stufenschalter lediglich unter dem Einfluss des Kraftspeichers, der ihn sicher und ohne Stocken in die nächste Stellung bringt. Bei dem in dem vorderen Kasten von Abb. 18 untergebrachten Antrieb dient ein Federsatz als Kraftspeicher. Die unten sichtbaren Umsteuermagnete bestimmen, indem sie den gespannten Federsatz mit dem einen oder andern Triebad eines Kegelgetriebes kuppeln, die Drehrichtung der Uebertragungswelle. Sobald die Federn geladen sind, entkuppelt sich der Antriebsmotor und wird abgeschaltet und gebremst. Die Geschwindigkeit des Entlade-Vorganges wird durch eine Flüssigkeitsbremse reguliert. Die erreichte Stellung wird fixiert und angezeigt; ein Ueberlaufen des Stufenschalters in den Endstellungen ist sowohl elektrisch wie mechanisch verunmöglicht. Eine Unmenge von Geistesarbeit wurde in der Schaltung, in Konstruktion und Versuchen aufgewendet, um eine in allen Beziehungen betriebssichere Einrichtung zu schaffen.

4. *Die Ueberwachungseinrichtungen.* Man pflegt die vielen Steuer- und Meldeapparate, die Messinstrumente für Strom-, Spannungs- und Leistungsmessung, die Schutzrelais, die Regulierapparate usw., die für die Betriebsführung eines Kraftwerkes nötig sind, zur bessern Uebersicht in einem zentralen Raum unterzubringen. Dieser Raum, der Kommandoraum oder die Schaltwarte genannt, ist das

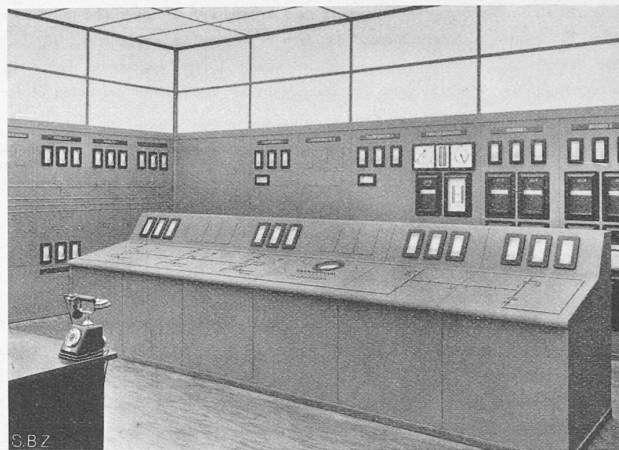


Abb. 19. Kommandoraum mit lebendem oder Steuerschema.

Gehirn eines Kraftwerkes. Von dort strahlen die unzähligen Steuer- und Messleitungen aus, führen die Befehle weg und bringen die Meldungen zurück. Die Wände des Raumes sind gebildet aus Schalttafeln, die mit Relais und Messinstrumenten besetzt sind, und auf Pulten sind die Steuerschalter für die Fernbetätigung der vielen Schalter usw. untergebracht.

Um dem Schichtenführer im Kommandoraum die Uebersicht über die Wirkung der von ihm auszuführenden Schaltungen zu erleichtern, stellt man heute die Steuerschalter, welche die Schalter und anderen Apparate steuern, zusammen in ein sogenanntes „Lebendes Schema“ (Abb. 19) des betreffenden Kraftwerkes. In diesem sind die Leitungen, Sammelschienen usw. durch kleine Metallschienen und die Maschinen und Transformatoren durch ihre entsprechenden Symbole dargestellt.

Steht der Griff eines *Steuerschalters* (Abb. 20) in der Richtung der Schemastriche, so ist der Schalter eingeschaltet; ist er senkrecht dazu, so heisst es, dass er ausgeschaltet ist oder werden soll. Die im Griff eingebaute zentrale Lampe leuchtet nur dann, wenn der gesteuerte Apparat mit der am Symbol angegebenen Stellung nicht übereinstimmt. Der abgebildete Steuer- oder Symbolschalter wird zunächst gedreht, um die beabsichtigte Schaltung vorzubereiten und deren Wirkung im Schema zu untersuchen. Der eigentliche Ausführungsbefehl erfolgt erst durch Niederdrücken des Symbolgriffes. Eine weitere Entwicklungsform des Steuerschemas ist das sogenannte *Leuchtschema*, bei dem die Linien des Schemas aus durchsichtigem Material ausgeführt sind und von hinten beleuchtet werden. Die Beleuchtung des Netzabbildes kann dann noch entsprechend dem Unterspannungsetzen des Netzes selbst fortschreiten. Dann wird das Leuchtschema „spannungsabhängig“ genannt. Solche Schemata zeigen bei einer Störung durch Erlöschen der betreffenden Bildteile sofort an, welche Netzteile spannungslos geworden sind, was zur Erkennung des Störungsumfanges und der zu treffenden Massnahmen sehr vorteilhaft ist.

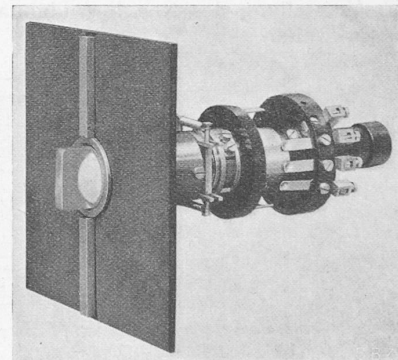


Abb. 20. Symbolschalter.

Mit der fortschreitenden Koppelung der Kraftwerke und Netze sind eine Reihe von Fragen aufgetaucht, wie die Verteilung der Wirk- und Blindlast, die In- und Ausserbetriebnahme der einzelnen Werke usw., welche die

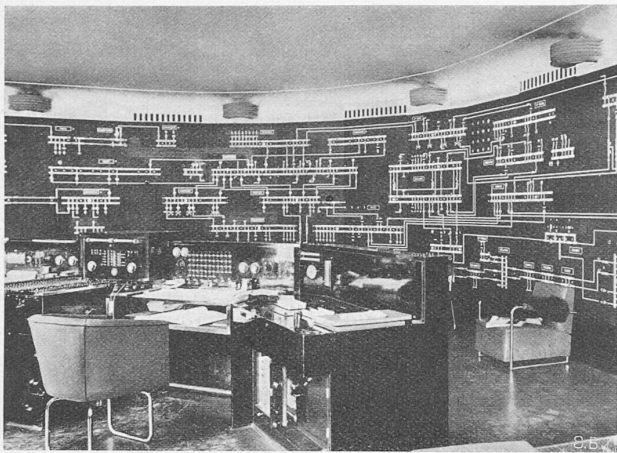


Abb. 21. Dispatchingraum der Union d'Electricité de Paris.

Erledigung durch eine zentrale Stelle bedingen. Man hat zuerst in Amerika für den betreffenden Betriebsleiter einen Kommandoraum geschaffen, den „Load dispatching“-Raum. Zur Ausstattung eines solchen Raumes gehört ausser den verschiedenen Telefonverbindungen noch zur Unterstützung des Gedächtnisses des leitenden Ingenieurs ein Rückmeldeschema, an dem er jederzeit den Schaltzustand der verschiedenen Werke ablesen kann. Meistens verzichtet man der Kosten wegen darauf, die Steuerung der Symbole des Schemas direkt von den Schaltern der verschiedenen Netze aus erfolgen zu lassen. Der Betriebsleiter hat dann bei seinem Pulte eine Steuerklaviatur, mit Hilfe derer er sein Rückmeldeschema entsprechend den eingegangenen telefonischen Meldungen fortlaufend nachstellt. Der Dispatching-Raum der Union d'Electricité de Paris, der grössten Pariser Kraftwerksgruppe, der schweizerischer Herkunft ist, ist in Abb. 21 sichtbar; die Schalter sind dargestellt durch elektromagnetische Rückmelder.

Bei Stromverteilgesellschaften mit mehreren Kraft- und Unterwerken kam natürlich sehr bald der Wunsch nach Zentralisierung der Betriebsleitung auf zur Einsparung von Personal und zur Erleichterung der Arbeit durch Wegfall der oft schwierigen Verständigung über grössere Distanzen. Man kam so zur Zusammenfassung der Kommandoräume verschiedener Werke an einem zentralen Orte. Sobald aber die Distanzen von diesem zentralen Kommandoraum zu den einzelnen Werken den Betrag von einigen Kilometern überschreiten, kann aus wirtschaftlichen Gründen die zwischen jedem Kommandoraum und seiner Zentrale verwendete Art der Verbindung durch Vieladernkabel nicht mehr benutzt werden. Es musste daher eine neue Art der Steuerung, die sogenannte

Fernsteuerung, entwickelt werden, die es ermöglicht, mit nur zwei oder drei Leitungen jede beliebige Anzahl von Schaltmanövern zu steuern. Das Grundprinzip einer jeden Fernsteuerung ist im Schema Abb. 22

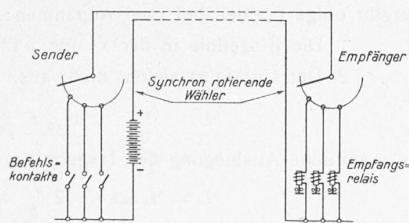


Abb. 22. Prinzip der Fernsteuerung.

dargestellt. Zwei Umschalter, Wähler genannt, der eine am Sendeort, der andere am Empfängerorte, rotieren gleich schnell so, dass sie zu gleicher Zeit auf entsprechenden Stellungen stehen. In der kurzen Zeit, wo die Wähler den Steuerkreis, dessen Befehlskontakt betätigt ist, schliessen, wird ein Stromimpuls in das entsprechende Empfangsrelais gesandt. Dieses Relais sorgt für die Weiterleitung und Ausführung des Befehls, während die Wähler sich längst weiter bewegt haben. Die Rückmeldung der erledigten Befehle geschieht in ähnlicher Weise. Die erste

Schwierigkeit bei allen diesen Systemen liegt in der Beibehaltung des Synchronismus zwischen den beiden voneinander weit entfernten Wählern. Zu diesem Behufe werden die Wähler durch Klinkenwerke mit Magneten, sogenannte Schrittschaltwerke, angetrieben. Durch entsprechende Relaisketten wird sowohl am Geber wie am Empfänger der Takt festgehalten, in dem die Schrittschaltwerke die Wähler schrittweise bewegen. Nach fünf Schritten wird ausserdem noch eine Kontrolle eingeschaltet. Da ferner für jedes Schaltmanöver zwei in bestimmtem Zeitabstand liegende Impulse bestimmter Länge notwendig sind, werden durch die Fernsteuerung verursachte Fehlschaltungen unbedingt vermieden.

5. Die Apparate für den bedienungslosen Betrieb. Jede moderne Zentrale ist so ausgerüstet, dass es nur noch wenig Fälle gibt, wo der Mensch mit seiner Ueberlegung in den Ablauf der Vorgänge eingreifen muss. Das Abschalten bei Fehlern, das Regulieren auf konstante Spannung und anderes mehr werden automatisch durch die erwähnten Schutz- und Regulierapparate besorgt.

Nun gibt es aber kleinere Kraftwerke, die derart ungünstig gelegen sind, dass man kaum jemand dort ansiedeln kann, oder deren Anteil an der Energielieferung die Aufstellung einer Bedienung wirtschaftlich nicht gestattet. In überseeischen Ländern kann es oft unmöglich sein, die notwendigen geschulten Kräfte zu finden. Für solche Fälle wurde die *Automatik*, die Ausrüstung für *völlige Bedienungslosigkeit* geschaffen. Der automatische Betrieb beschränkt sich vorläufig auf hydraulische Zentralen oder Unterwerke. Thermische Kraftwerke eignen sich hierfür weniger. Die In- und Ausserbetriebnahme der Zentralen kann in Abhängigkeit des Wasserstandes, der Zeit oder der Belastung an einem bestimmten Punkte erfolgen. Hierfür werden ausser einigen Ergänzungen an der hydraulischen Einrichtung nur einige elektrische Apparate bekannter und bewährter Konstruktion wie Relais und Hüpferschalter benötigt. Die Hauptsache bleibt der zweckmässige Aufbau der Schaltung, die alle sonst von Hand vorgenommenen Betätigungen in richtiger Reihenfolge zwangsläufig erfolgen lässt.

Der wichtigste Moment bei der Inbetriebnahme eines Generators ist seine Parallelschaltung mit dem Netze. Bekanntlich darf der Schalter, der die Verbindung mit dem Netz bildet, erst geschlossen werden, wenn der Generator synchron läuft, d. h. wenn er gleiche Frequenz hat, sein Spannungsvektor von gleicher Grösse und in Phase mit dem Netzspannungsvektor ist. Die Spannung wird zweckmässigerweise mit dem früher erwähnten Oeldruckspannungsregler eingestellt, der vor der Parallelschaltung als Differentialregler, nachher als Konstantregler arbeitet. Ein Differentialgetriebe (Abb. 23) erzwingt die Frequenzgleichheit: Die Welle 1 wird entweder direkt mechanisch

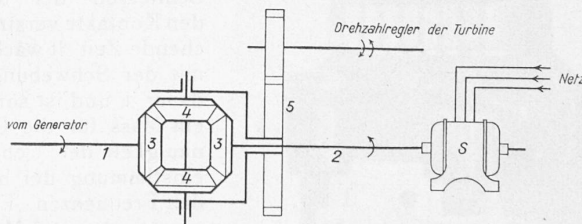


Abb. 23. Drehzahl-Reguliereinrichtung.

vom Generator oder von einem kleinen Tachometermotor angetrieben, der von der Generatorspannung gespeist wird. Die Welle 2 wird von einem vom Netz gespeisten Motor S angetrieben. Die Axe der Räder 4 rotiert daher mit einer dem Frequenzunterschied proportionalen Drehzahl, die durch das Vorgelege 5 dem Drehzahlregler der Turbine mitgeteilt wird und diesen solange verstellt, als der Frequenzunterschied besteht. Zur Erkennung der Phasengleichheit und zur Abgabe des Schaltbefehls an den Generatorschalter wurden sogenannte Parallelschaltapparate

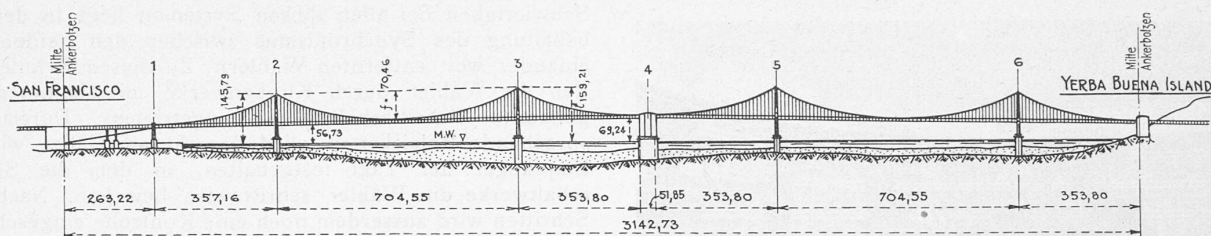


Abb. 2. San Francisco-Oakland West Bay Brücke, 1:20 000.

Tunnel durch die

entwickelt. Der Vergleich der beiden Spannungen, die zusammenschaltet werden sollen, wird stets durch Hintereinanderschalten der an den Spannungstransformatoren sekundär abgenommenen Spannungen vorgenommen. Die Summenspannungen zweier sinusförmiger Spannungen, die nicht ganz synchron sind, ergibt eine sinusähnliche Schwingung mit variabler Amplitude, eine sogenannte Schwebung. Verbindet man die variablen Maximalwerte durch eine

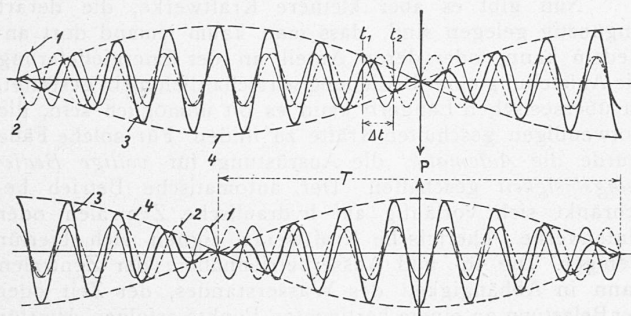


Abb. 24. Spannungsdiagramm vor der Parallelschaltung.

Linie, so erhält man die in Abb. 24 gestrichelte Schwebungskurve. Je nach der angewendeten Vergleichsschaltung (Hell- oder Dunkelschaltung) fällt der Punkt, wo der Synchronismus erreicht ist, zusammen mit dem Maximum der Schwebungskurve (untere Kurve) oder mit ihrem Schnittpunkt mit der Zeitaxe (obere Kurve). Das Parallelschaltrelais der Abb. 25 erfasst den Moment des Synchronismus in der Dunkelschaltung, d. h. da, wo die Neigung der Schwebungskurve und damit die Genauigkeit der Messung am grössten ist. Bei Annäherung an den Moment der Spannungsgleichheit (etwa vom Zeitpunkt t_1 an, Abb. 24) sinkt die Spannung der beiden die Drehscheibe A entgegen dem Moment der Schwerkraft emporhaltenden Magnetspulen 5 und 6 so stark, dass die Scheibe sich zu drehen beginnt und den Kontakt 1, sodann auch den Kontakt 2 schliesst. Die zwischen dem Schliessen der beiden Kontakte verstrichene Zeit Δt wächst mit der Schwebungsdauer T und ist somit ein Mass für die Genauigkeit der Ueber-einstimmung der beiden Frequenzen. Erst wenn dieses Mass eine einstellbare Zeit, nämlich die Ablaufzeit des mit dem Schliessen des Kontakts 1 magnetisierten Zeitrelais 3 überschreitet, ist der durch Schliessen des Kontaktes 2 und damit Erregung des Momentanrelais 4 an den Oelschalter gegebene

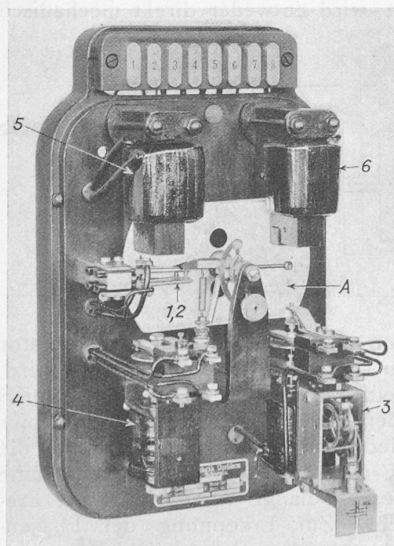


Abb. 25. Parallelschaltrelais.

Befehl wirksam; andernfalls ist der vom Zeitrelais 3 betätigte, zum Weitergeben des Befehls benötigte Kontakt beim Schliessen des Kontaktes 2 noch nicht geschlossen; infolgedessen wird der Stromkreis des Zeitrelais unterbrochen, und die Scheibe dreht sich unverrichteter Dinge zurück. Das Parallelschaltrelais prüft also automatisch den Synchronismus, ehe es den Oelschalter schliesst.

Die Automatik muss auch alle möglichen Fehlerfälle berücksichtigen. Bei inneren Fehlern wird die Anlage definitiv abgestellt und gesperrt, bis eine Kontrolle durch die Bedienung erfolgt ist. Bei äusseren Fehlern wird die Anlage nur temporär abgestellt, bis das gestörte Netz wieder in Ordnung ist, und geht dann wieder automatisch in Betrieb.

Die Automatik muss sich in jedem Anwendungsfalle den besonderen Bedingungen anpassen. In den Problemen, die öfters dabei auftauchen, kann sich der Erfindergeist der Konstrukteure austoben. Ohne sich grosser Uebertreibung schuldig zu machen, kann man behaupten, dass heute alles automatisch betrieben werden kann. Fraglich bleibt dabei nur, ob der finanzielle Aufwand für diese Automatisierung noch tragbar ist. Es ist also auch hier dafür gesorgt worden, dass die Bäume nicht in den Himmel wachsen.

Zum Thema: Exzentrisches Kippen.

Wir erhalten folgende Zuschrift:

Der Aufsatz von Ing. Dr. F. Stüssi in Nr. 11 (S. 123 lfd. Bds.) veranlasst mich, eine Formel bekanntzugeben, die ich schon seit einigen Jahren dazu verwende, die seitliche Knicksicherheit von auf Biegung belasteten Trägern abzuschätzen. Sie lautet:

$$\eta = \frac{\pi^2}{4} \frac{h^2}{l^2} \frac{J_y}{J_x} \frac{E}{\sigma_{\max}}$$

Darin bedeuten:

η den Sicherheitsgrad gegen seitliches Ausknicken, h die Trägerhöhe, l die Spannweite, J_x, J_y die Trägheitsmomente,

$\sigma_{\max}$ die maximale Randspannung berechnet aus $\frac{M_{x \max}}{W_x}$.

Diese Formel leitet sich ab aus Abb. 1 oben genannten Artikels. Man bestimmt das „Innere Moment“, dann das „Aeusserere Moment“ des Trägers in Bezug auf die y -Axe. Das Verhältnis dieser Momente ergibt obige Formel, bei zwei Annahmen:

1. Die Biegelinie in der x - und y -Ebene ist eine Sinuslinie,
2. Der Untergurt weicht nicht aus.

$$M_i = \frac{J_y E}{\varrho} = \pi^2 J_y E \frac{y}{l^2},$$

y = seitliche Ausbiegung der Trägermitte, ϱ = Krümmungsradius.

$$M_a = M_{x \max} \varphi = 2 \frac{J_x}{h} \sigma_{\max} \varphi, \text{ woraus}$$

$$\eta = \frac{M_i}{M_a} = \frac{\pi^2}{2} \frac{J_y}{J_x} \frac{E}{\sigma_{\max}} \frac{h}{l^2} \frac{y}{\varphi}$$

$$y = \frac{h}{2} \varphi, \text{ woraus:}$$

$$\eta = \frac{\pi^2}{4} \frac{h^2}{l^2} \frac{J_y}{J_x} \frac{E}{\sigma_{\max}}.$$

Ich messe selbstverständlich dieser etwas „lapidaren“ Formel nur die Wichtigkeit zu, die ihre zweifelhafte Abstammung gestattet. Bei zweckmässiger Verwendung leistet sie jedoch dem Praktiker in Momenten der Bedrängnis verblüffende Dienste.

La Tour-de-Peilz, 21. März 1935.

J. Trüb.