

BROWN BOVERI MITTEILUNGEN

HERAUSGEGEBEN VON DER A.-G. BROWN, BOVERI & C^{IE} IN BADEN

XXIII. JAHRG.

JUNI 1936

Nr. 6

Die Brown Boveri Mitteilungen erscheinen in monatlichen Heften. Der Nachdruck von Aufsätzen und die Wiedergabe von Abbildungen sind unter Quellenangabe gestattet. Jahresabonnement für die Schweiz Fr. 10.—; Einzelheft für die Schweiz Fr. 1.—, ausschliesslich Verpackung und Portospesen.

DER ANTEIL BROWN BOVERI AM AUSBAU DER BELGISCHEN DAMPFZENTRALEN.

Dezimalindex 621.311.22 (493).

Belgien ist infolge seines Reichtums an Bodenschätzen und seiner günstigen Verkehrslage von jeher eines der wichtigsten Exportländer industrieller Erzeugnisse gewesen.

Neben den eigentlichen Schlüsselindustrien des Landes, der Kohlenförderung und der Metallverarbeitung sowie der Glas-, Textil- und chemischen Industrie, wurde der Elektrizitätserzeugung und -verteilung stets besondere Aufmerksamkeit geschenkt, dies um so mehr, als der Preis der Kilowattstunde einen wesentlichen Teil der Gestehungskosten der Industrierzeugnisse darstellt. Durch Errichtung wirtschaftlicher elektrischer Zentralen und zweckmässige Verteilung der elektrischen Energie wurden die Gestehungskosten herabgesetzt und die Konkurrenzfähigkeit der belgischen Erzeugnisse auf dem Weltmarkt gesichert.

Nach dem Weltkriege handelte es sich allerdings vorerst darum, in kürzester Zeit die zerstörten elektrischen Kraftanlagen wieder instand zu setzen und bestehende ältere zweckentsprechend zu vergrössern. Wohl wurden dabei Versuche gemacht, die Wirtschaftlichkeit von Zentralen zu steigern; diese Bemühungen blieben aber vereinzelt.

Der von der belgischen Regierung im Jahre 1927 eingesetzten „Commission des Grands Travaux“ blieb es vorbehalten, der Entwicklung neue Wege zu zeigen.¹⁾

Die wesentlichsten Empfehlungen mit dem Ziele, das elektrische Rüstzeug des Landes zu verbessern, bestanden in:

Dauernder und logischer Zusammenarbeit sämtlicher Produktionsmittel; Bau von Grosszentralen nach Massgabe der Entwicklung des Stromabsatzes und Überalterung der bestehenden Zentralen, an Orten mit Kohlenvorkommen und wasserreichen Flussläufen, zwecks Senkung der Stromerzeugungskosten; Bau von Überlandnetzen und Parallelbetrieb der wichtigsten elektrischen Kraftwerke zur restlosen Ausnützung sämtlicher Überschussenergien.

Angeregt durch die günstige Wirtschaftslage und infolge Bereitstellung grosser Mittel durch die bedeutendsten Elektrizitätserzeugungs- und Holding-

Gesellschaften sowie durch die Industrie, setzte bald eine lebhafte Bautätigkeit ein. Neue Werke wurden erstellt, wie Schelle, Moll; andere bedeutend erweitert und modernisiert, wie Langerbrugge, Schaerbeek, Bressoux, Antoing, Ville-sur-Haine u. a. m.

Um dieses Programm erfüllen zu können, d. h. Grosszentralen und Verteilungsanlagen wirtschaftlich zu bauen, war es aber nötig, über ganz andere technische Mittel zu verfügen als bisher. Der Maschinenbau war in der Lage, diesen neuen Anforderungen gerecht zu werden.

Es galt hierbei, die neuesten Erkenntnisse über die Eigenschaften des Wasserdampfes sowie die letzten Errungenschaften im Bau von Dampfkesseln und Dampfturbinen überhaupt, in weitgehendstem Masse praktisch zu verwerten. Die Vorteile, die die moderne Technik bieten konnte, waren folgende:

Verwendung von Hochdruckdampf, Hochüberhitzung, Zwischenüberhitzung, Vorwärmung des Speisewassers mit Turbinenanzapfdampf oder Abdampf von Hilfsmaschinen und dadurch bedingte Vorwärmung der Verbrennungsluft, wodurch der thermische Wirkungsgrad des Dampfturbinenprozesses verbessert wurde;

Verwendung von Dampfturbinen und Kesseln mit grösster Einheitsleistung und höchstem Wirkungsgrade;

Äusserste Materialausnützung unter gleichzeitiger Wahrung grösster Betriebsicherheit, Fortschritte in der Materialkunde;

Einführung der Kohlenstaubfeuerung und neuer Möglichkeiten im Feuerungsbetrieb überhaupt;

Destillation des Zusatzspeisewassers durch Turbinenanzapfdampf, Entlüftung des Kondensates;

Zweckmässige Ausgestaltung der Zentralen und verbesserte Konstruktion und Anordnung der Hilfsmaschinen, Bau von Hochspannungsleitungen, Hochleistungsschaltern usw.

Brown Boveri besass in der sorgfältig durchkonstruierten und bis zur grössten Vollkommenheit entwickelten Zwei- und besonders in der Dreizylinderturbine eine Maschine, die zur Krafterzeugung im Grossen geradezu berufen war und allen Anforderungen entsprach.

¹⁾ „Rapport de la Commission des Grands Travaux“ vom 17. Juni 1927.

Es sei hier nur an die Aufteilung des Gefälles auf viele Stufen und die zweckmässige Unterteilung auf die verschiedenen Zylinder, wie Hochdruck-, Mitteldruck- und Niederdruckteil gedacht, ferner an den Wegfall des Ausgleichkolbens durch Gegenschaltung des Hoch- und Mitteldruckzylinders und Zweiteilung des Niederdruckzylinders, mit ausserdem noch geringeren Austrittsverlusten; Massnahmen zur Beherrschung der Temperaturschwankungen, Spezialkonstruktionen von Stopfbüchsen, Lagern, Hochdruckdampfventilen, die gestängelte Druckölsteuerung usw.; Vorrichtungen zum Entwässern der Niederdruckzylinder durch Ringkanäle und Entwässerungsvorwärmer zur Verminderung der Wasserbremsung, gehärtete Schaufeleintrittskanten in den letzten Stufen zur Verhinderung von Erosionen usw.

Die Grundgedanken für den Bau von Mehrzylindermaschinen, besonders der Dreizylinder-Reaktionsturbinen, oft bekämpft und viel nachgeahmt, sind heute noch massgebend und von der Praxis allgemein angenommen worden.

Es war deshalb nicht zu verwundern, dass bei der Ausführung des Rationalisierungsprogrammes die Firma Brown Boveri mit dem überwiegenden Teil an den Turbinenlieferungen für Belgien betraut wurde. Waren es im Zeitraume 1903—23 etwa 120 Turbinen mit rund 234000 kW, die von Brown Boveri geliefert wurden, so steigerte sich der Lieferungsumfang bis heute auf 260 Turbinen mit etwa 963000 kW installierte Leistung.

Bevor aber an die Aufzählung der bedeutendsten von Brown Boveri gelieferten Anlagen gegangen wird, sei in kurzen Worten gezeigt, welches die Voraussetzungen waren, um dem Hochdruckdampf und der Hochüberhitzung in Belgien den Weg zu ebnen.

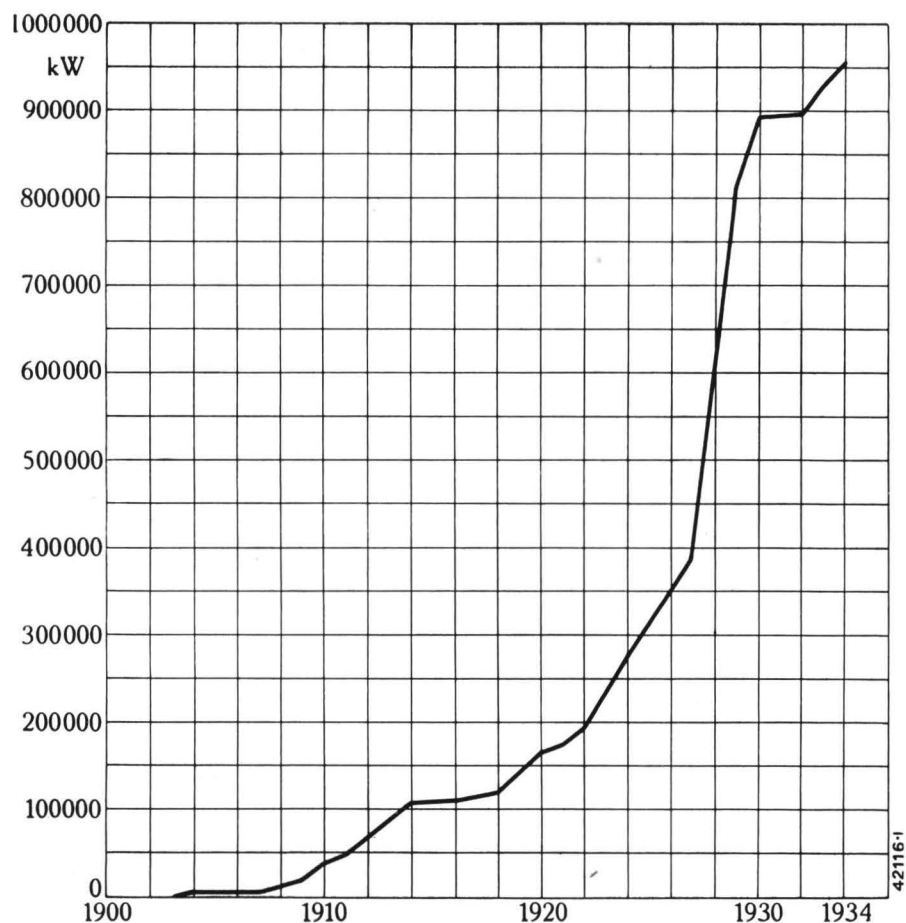


Abb. 1. — Gesamtleistung der von Brown Boveri nach Belgien gelieferten Dampfturbinen bis Ende des Jahres 1934.

Schon Perkins, Serpollet, Schmidt, De Laval und andere zeigten theoretisch den Weg besserer Ausnützung des Dampfes oder bauten Versuchskessel für

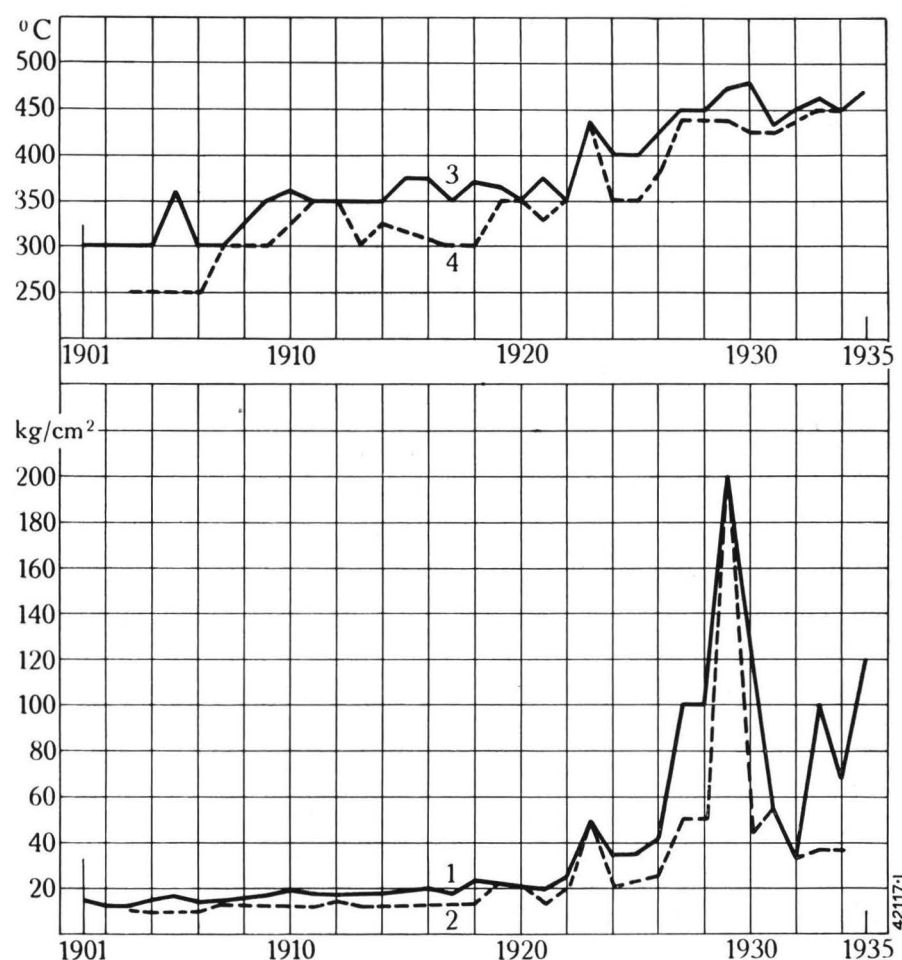


Abb. 2. — Entwicklung der Höchstdrücke und Höchsttemperaturen von Brown Boveri-Turbinen in den Jahren 1901—1935.

1, 3 = In der ganzen Welt.
2, 4 = In Belgien.

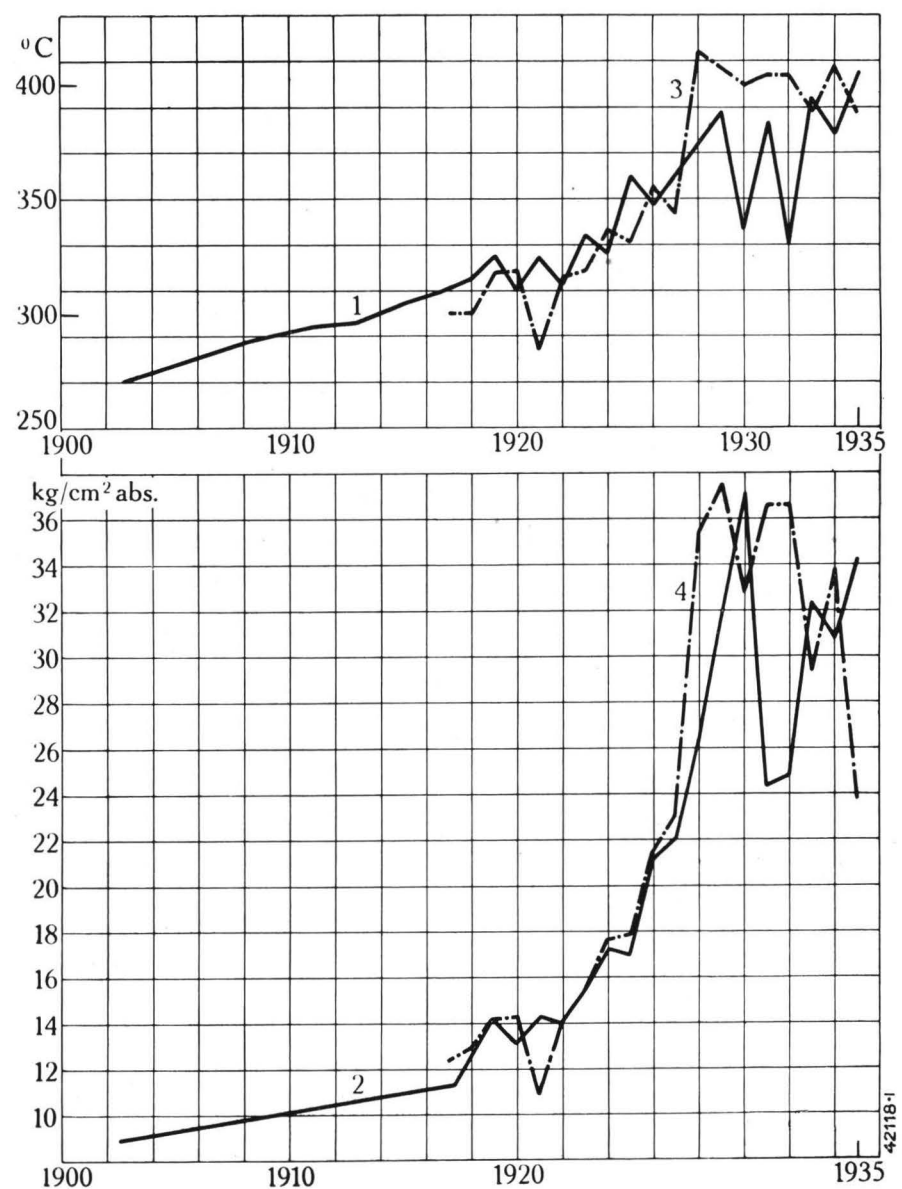


Abb. 3. — Entwicklung der mittleren Dampfdrücke und Dampftemperaturen.

1, 2 = In der ganzen Welt.
3, 4 = In Belgien.

am Dampfkollektor von 20 kg/cm^2 eff. Die erzielte Vorwärmtemperatur war 196°C .

Mit den gewählten Dampfdaten sowie der Vorwärmung des Speisewassers und den andern, weiter oben angeführten Verbesserungen, war das erstrebte Ziel, mit Dampfzentralen den gleichen thermischen Wirkungsgrad wie bei Diesel-Maschinen zu erreichen, in nächste Nähe gerückt (Abb. 5).

Auf Grund der mit der ersten Hochdruckturbine gemachten vorzüglichen Erfahrungen wurde im Jahre 1927 beschlossen, das ganze Dampfsystem auf 50 kg/cm^2 eff. auszubauen, durch Aufstellung einer weiteren Hochdruck-Vorschaltturbinengruppe von 6600 kW, welche die drei bestehenden 6600-kW-Niederdruck-Turbogruppen speisen konnte. Diese Turbine wurde ebenfalls für 51 kg/cm^2 abs, 442°C und einen Gegendruck von $21,5 \text{ kg/cm}^2$ abs vorgesehen.

Die Entwicklung der Zentrale Langerbrügge erforderte aber eine schnellere Erweiterung als ursprünglich vorgesehen, und so wurden in den Jahren 1928 und 1929 drei Dreizylinder-Turbogruppen je von 25 000 kW, 51 kg/cm^2 abs, 442°C aufgestellt. Diese Turbogruppen wurden ebenfalls für Vorwärmung auf 175°C gebaut und zwar durch vier Anzapfstufen an der Turbine, wovon die unterste im Niederdruckteil zur Vorwärmung und Entwässerung vorgesehen war. Es waren dies die ersten Grossturbinen, die das ganze Gefälle von 51 kg/cm^2 abs bis zum Vakuum in einer einzigen Gruppe ausnützten.

Im Jahre 1929 wurde eine weitere Etappe in Angriff genommen: die 200-kg/cm^2 -Druckstufe. Durch Verwendung eines Benson-Kessels, in welchem die Verdampfung unter kritischem Druck vor sich gehen sollte, wurde Dampf von über 200 kg/cm^2 eff. erzeugt, der in einer Hochdruck-Vorschaltturbine, die zwischen dem Höchstdruck und dem 50-kg/cm^2 -Netz eingefügt war, ausgenützt wurde. Diese Turbine dient zum Antrieb der Kesselspeisepumpe sowie eines Asynchrongenerators, der sowohl als Motor wie auch als Generator laufen kann. Klemmenleistung 4000 kW, Dampf am Einlassventil 200 kg/cm^2 eff., Temperatur 430°C , Gegendruck 60 kg/cm^2 abs, Dampfdurchsatz 112 t/h ¹⁾.

So gibt die Zentrale Langerbrügge ein eindrucksvolles Bild der sprunghaften Entwicklung des Zentralenbaues im letzten Jahrzehnt nicht nur in Belgien, sondern auch in Europa. Die Wahl eines Druckes von 200 kg/cm^2 war durch die eigenartige Konstruktion und Betriebsweise des Bensonkessels bedingt. Rechnerisch kann

gezeigt werden, dass vom thermischen Standpunkte bei den genannten Leistungen eine weitgehende Überschreitung der 100-Atmosphäregrenze kaum gerechtfertigt erscheint. Was die Überhitzung anbelangt, so dürften aus Festigkeitsgründen vorläufig wohl 500°C die obere Grenze bilden.

Im folgenden soll versucht werden, weiter charakteristische Anlagen kurz zu beschreiben.

Société d'Electricité de la Campine, Zentrale Moll. Dieses Kraftwerk ist insofern von Interesse, da es die erste grössere Anlage in Belgien bildete, in welcher Mehrzylinderturbinen zur Aufstellung kamen und wo die von Brown Boveri vorgeschlagenen neueren Grundsätze des Dampfzentralenbaues angewendet wurden, die auch für den Grossteil der weiter angegebenen Anlagen richtunggebend blieben. Diese sind u. a.: Vorwärmung des Kondensates durch ungesteuerten Turbinenanzapfdampf in mehreren Stufen, mit dem untersten Vorwärmer (bei rd. $0,25\text{--}0,3 \text{ kg/cm}^2$ abs) als Entwässerungsvorwärmer:

Entgasen des Kondensates im Kondensator selbst oder in den Vorwärmern unter Vermeidung eigentlicher Entlüfter.

Geschlossener Speisewasserkreislauf unter Verwendung von Mitteldruckbehältern mit Polsterdampf für das vorgewärmte Speisewasser zur Konstanthaltung des Behälterdruckes und Verhinderung der Dampfbildung in den Speisepumpen, in neueren Anlagen in Verbindung mit den Kondensatoren zur Aufrechterhaltung der Gasfreiheit des Kondensates.

Destillation des Zusatzwassers in Destillatoren durch Turbinenanzapfdampf und Kombination mit der Vorwärmanlage, neuerdings angeordnet zwischen der zweiten und dritten Anzapfung, in zwei Stufen in Serie als Überdruckverdampfer, zur Aufrechterhaltung einer genügenden Destillatmenge bei Teillasten.

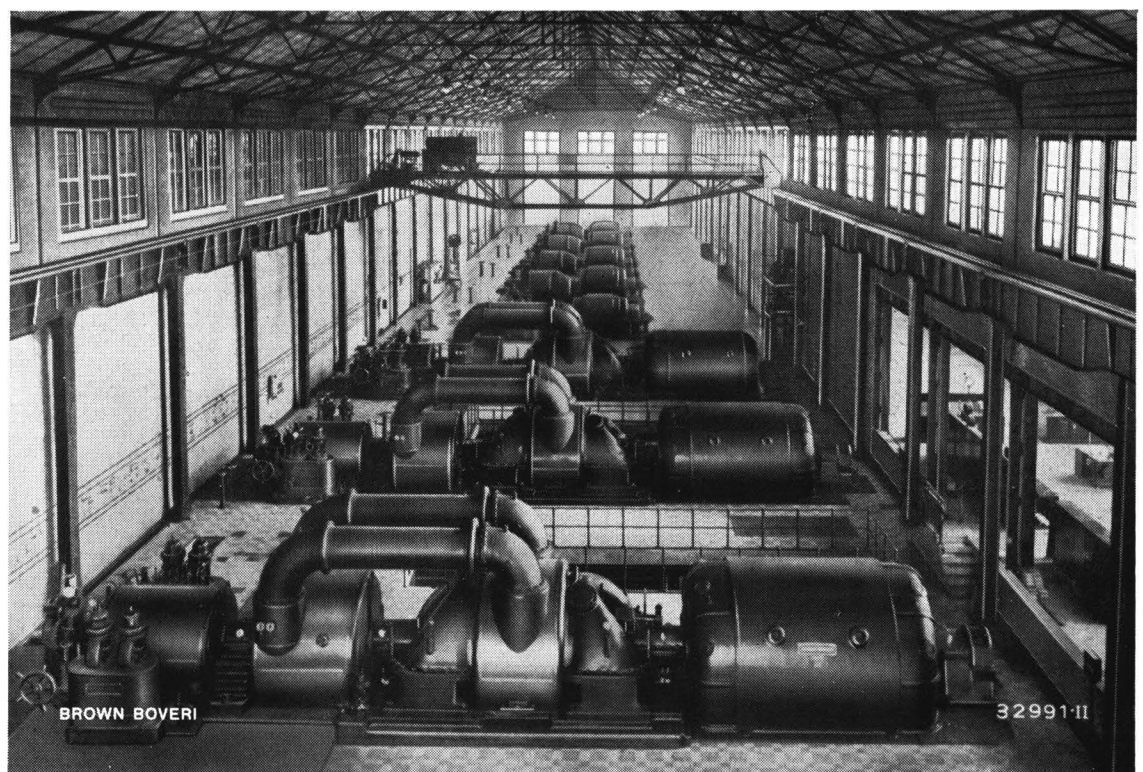


Abb. 6. — S. A. des Centrales Electriques des Flandres, Langerbrügge (Belgien). Sämtliche Gruppen wurden von Brown Boveri geliefert. Im Vordergrund drei 25 000-kW-Hochdruckturbogruppen.

¹⁾ Brown Boveri Mitteilungen, Januarheft 1930 und Januarheft 1931.

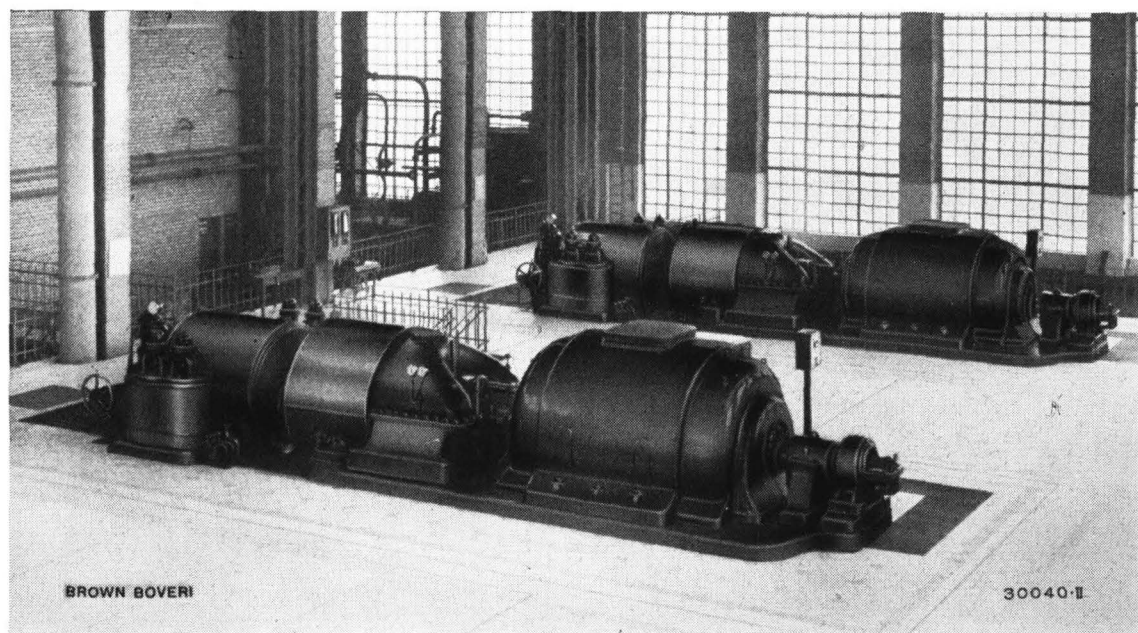


Abb. 7. — Société d'Electricité de la Campine, Brüssel (Belgien). Kraftwerk Moll. Zwei Zweizylinderturbinen je von 10 000 kW, 26 kg/cm² abs, 375° C, 3000 U/min, gekuppelt mit Generatoren fremder Ausführung.

Zwillingskondensatoren bei Dreizylinderturbinen, neuerdings Zweiflutkondensatoren, d. h. ein Kondensator mit zwei Abdampfstutzen, zweiteilige Kondensatoren, die die Reinigung während des Betriebes ermöglichen.

Kombinierter Pumpensatz, bestehend aus Kühlwasser-, Strahl- und Kondensatpumpe, angetrieben im Normalbetrieb durch Motor und Dampfturbine als Reserve, die selbsttätig einspringt, wenn der Strom ausfällt.

Zusatzpumpengruppe für einen Teil der gesamten Kühlwassermenge, mit Motorantrieb, die bei schwacher Belastung oder tiefen Kühlwassertemperaturen zur Ersparung von Kondensations-Pumpenleistung ausser Betrieb gesetzt werden kann.

Es wurden in der Zentrale Moll aufgestellt:

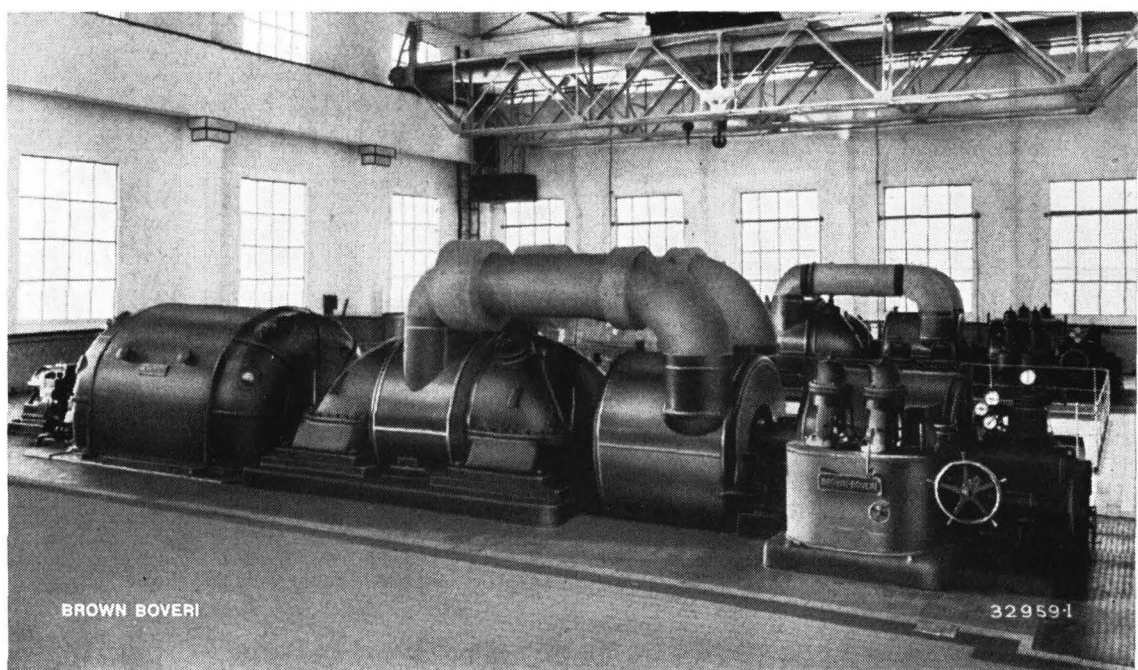


Abb. 9. — S. A. Ammoniaque Synthétique et Dérivés, Brüssel (Belgien), für Kraftwerk Sluiskil (Holland).

Zwei Dreizylinderturbogruppen je von 20 000 kW, 36 kg/cm² abs, 425° C; mit einem Drehstrom-Generator 30 300 kVA, 6000/6600 V, 50 Per/s, 3000 U/min.

2 Zweizylinderkondensationsturbinen je von 8/10 000 kW Klemmenleistung;

1 Dreizylinderkondensationsturbine, bis 16/20 000 kW Klemmenleistung, 3000 U/min, 31 kg/cm² abs, 425° C am Turbineneinlass.

Vorwärmung auf 125° C in den Zweizylinderturbinen durch zwei, in der Dreizylinderturbine durch drei Vorwärmer, verbunden mit Destillation des Zusatzwassers. Die letztere Turbogruppe hat des weitern einen Luftkühler zur Kühlung der Generatorluft im geschlossenen Kreislauf mit Signallvorrichtung bei Überschreitung der zulässigen Luft- und Wassertemperaturen.

Société Interescaut, Zentrale Schelle. 1 Turbogruppe, 31 700 kW, gespeist mit Dampf von 36 kg/cm² abs, 425° C, 3000 U/min, bestehend aus:

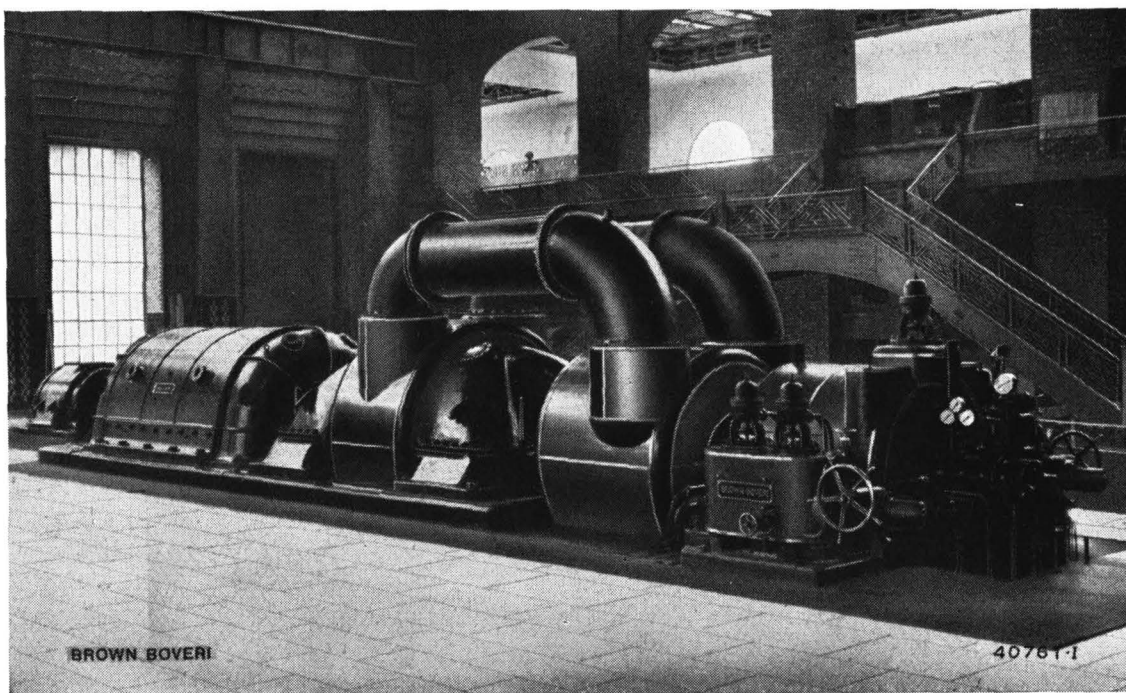


Abb. 8. — Société Interescaut. Kraftwerk Schelle. Dreizylinderturbogruppe, 31 700 kW, 36 kg/cm² abs, 425° C, 3000 U/min, mit Hauptgenerator 40 000 kVA, 10 500 V und Hausgenerator 2125 kVA, 3150 V, Frequenz 50.

1 Dreizylinder-Dampfturbine;
1 Hauptgenerator, 30 000 kW, $\cos \varphi = 0,75$, d. h. 40 000 kVA, 10 500 V, sowie, auf gleicher Welle;
1 Hausgenerator, 1700 kW, 3150 V für die Hilfsbetriebe der Zentrale;
1 Zwillingskondensator, gebaut für Salzwasser, 7500 m³/h;
je 2 Sätze mit vertikalen Kondensat- und Strahlwasserpumpen mit Wasserstrahlsaugern, wovon einer als Reserve (das Kühlwasser wird durch eine Zentralpumpstation geliefert);
einer dreistufigen Vorwärmanlage für 165° C;
einer Luftrückkühlanlage mit Signallvorrichtung für die Generatorluft, einer im Keller angeordneten Hilfsgruppe,

bestehend aus Ventilator zur Förderung der Generatorluft, einem Drehstrom-Asynchronmotor als Antriebmotor, gespeist durch das Hilfsnetz der Zentrale (Hausgenerator), einem Gleichstrommotor als Reserve sowie dem auf gleicher Welle angeordneten Erreger und der Kühlwasserpumpe.

S. A. Interbrabant, Zentrale Schaerbeek, Brüssel. Brown Boveri lieferte für diese Zentrale vier Dreizylinder-Kondensationsturbinen je von 20 000 kW, gespeist mit Dampf von 36 kg/cm² abs und 425° C am Einlassventil der Turbine, gebaut für 44 kg/cm² abs, 470° C, vorgesehen für dreistufige Vorwärmung auf 125° C und Destillation von 3850 kg/h Zusatzwasser bei Vollast mit Hilfe zweier in Serie geschalteter Destillatoren. Zur Aufstellung kamen ebenfalls Zwillingskondensatoren für eine Wassermenge von insgesamt 4500 m³/h in Salzwasserausführung, ein kombinierter Kondensationspumpensatz und eine Zusatzpumpengruppe, ein Luftkühler für den Generator mit Signalvorrichtung. Auf die Wiedergewinnung von Verlustwärme wurde ein besonderes Augenmerk gerichtet durch Aufstellung einer Spezialanlage zur Wiedergewinnung der verschiedenen Abfallkondensate.

Société de Gaz et d'Electricité du Hainaut, Zentrale Ville-sur-Haine. Für diese Zentrale wurden zwei 23 000-kW-Dampfturbinen mit vollständiger Kondensations-, Vorwärmer- und Destillationsanlage geliefert. Mit Ausnahme des Kondensators, für den ein zweiteiliger Zweiflutkondensator für Salzwasser, 4000 m³/h, mit zwei Abdampfstutzen geliefert wurde, und der Entlüftung des Mitteldruckbehälters in die Kondensatoren, ist die Anordnung der Anlage genau gleich wie die der Anlage Schaerbeek. Auch diese Zentrale wurde von der Société Electrorail in Brüssel, deren Konzern die Société de Gaz et d'Electricité du Hainaut angehört, projektiert, im gleichen Sinne wie die Zentrale Schaerbeek.

Sowohl das Kraftwerk Schaerbeek wie dasjenige von Ville-sur-Haine, von der Société Electrorail entworfen, wurden nach modernsten einheitlichen Gesichtspunkten entwickelt. Besonders angenehm fällt die Einheitlichkeit der Anlage Schaerbeek mit vier Turbogruppen auf, wie sie selten anzutreffen ist.

Société Intercommunale Belge d'Electricité. Für diese Gesellschaft hat Brown Boveri neben der Lieferung von verschiedenen kleinen Turbogruppen weitere Zentralen ausgerüstet, nämlich:

Zentrale Bressoux mit

2 Dreizylinderkondensationsturbinen je von 30 000 kW Klemmenleistung, 3000 U/min, gespeist mit Dampf von 36 kg/cm², 425° C (Spitze 470° C), nebst

einem Drehstromgenerator, 30 000 kW, $\cos \varphi = 0,75$, 40 000 kVA, 10 500 V, 50 Perioden für die zweite Gruppe; für jede Gruppe eine vollständige Kondensations- und Vorwärmanlage mit vier Vorwärmern zur Vorwärmung auf 165° C, bestehend aus einem motorangetriebenen Kondensationspumpensatz und einer Zusatz-Kühlwasserpumpengruppe, einer Hilfsgruppe im Kondensatkeller mit Ventilator, Drehstromantriebmotor, Erreger; die Luftkühler mit Signalvorrichtung.

Zentrale Monceau s/Sambre mit

2 vollständigen Turbogruppen je von 4000 kW mit Vorschaltturbinen, gespeist mit Dampf von 50 kg/cm² abs, 450° C, mit Auspuff des Abdampfes in die Niederdruckleitung von 19 kg/cm² abs. Durch die Aufstellung dieser Vorschaltturbogruppen bekannte sich die Société Intercommunale Belge ebenfalls zum Hochdruck. Es war so möglich, ohne Vergrößerung der Kühlwassermenge, die Leistung des Kraftwerkes um 8000 kW zu erhöhen.

Société Néerlandaise d'Azote, Brüssel, Zentrale Sluiskil. Diese am Kanal Gent-Terneuzen (Holland) gelegene Zentrale ist mit zwei vollständigen Dreizylinder-Turboaggregaten je von 20 000 kW ausgerüstet. Die Turbinen werden gespeist mit Dampf von 36 kg/cm² abs, 425° C, Spitzentemperatur 450° C. Der Abdampf wird in Zwillingskondensatoren, in Salzwasserausführung, niedergeschlagen; die Kühlwassermenge beträgt 4300 m³/h; sie wird durch eine kombinierte Pumpe und eine Zusatzpumpe gefördert, Vorwärmung in drei Stufen auf 125° C und Destillation von 4000 kg/h Zusatzwasser mit Hilfe zweier in Serie geschalteter Destillatoren. Jeder Generator entwickelt eine Leistung von 30 300 kVA bei $\cos \varphi = 0,66$, Spannung 6000—6600 V, Frequenz

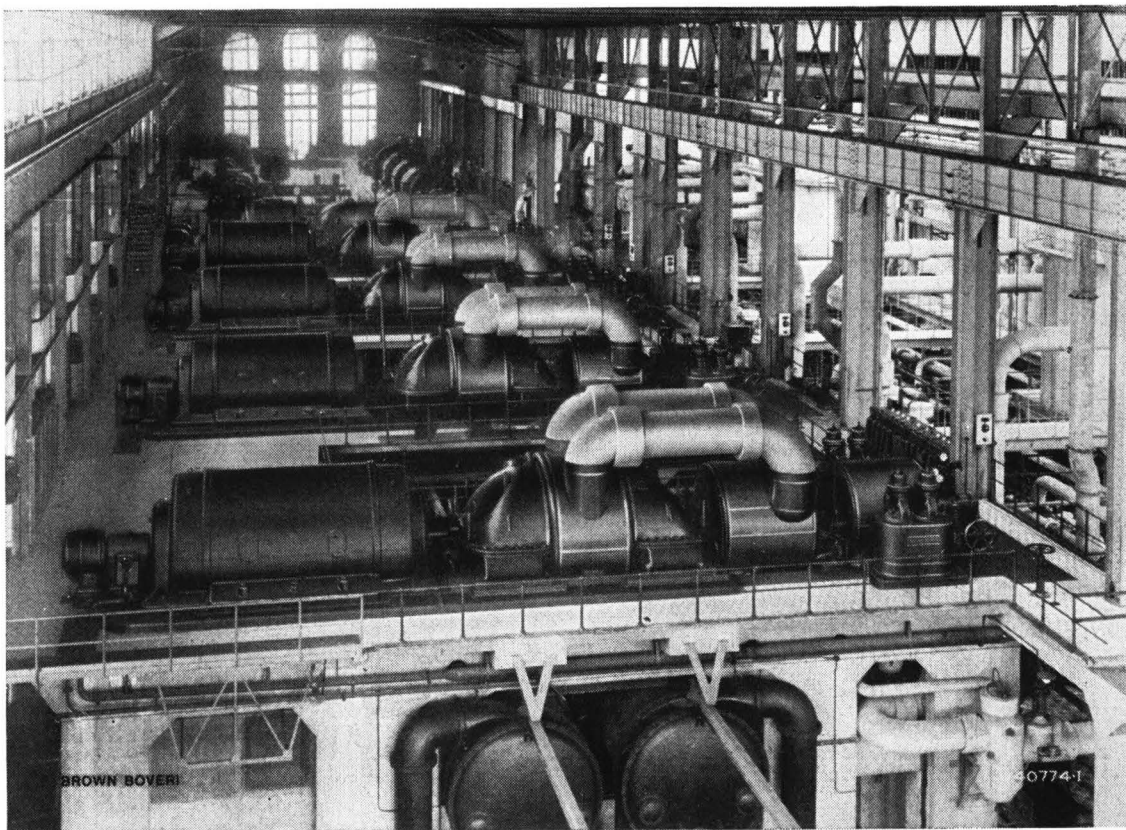


Abb. 10. — Société Interbrabant, Brüssel (Belgien). Kraftwerk Schaerbeek.

Maschinenhaus mit vier Turbogruppen je von 20 000 kW, 3000 U/min, mit Dreizylinderturbinen, 36 kg/cm² abs, 425° C, bis 44 kg/cm² abs, 470° C. Speisewasservorwärmung auf 125° C. Rechts Pumpensaal mit Speisepumpen, Vorwärmern, Destillatoren und Speisewasserbehältern.

50 Per/s. Die Generatoren haben Fremdbelüftung, und zwar ist der Ventilator zwischen dem Fundamente im Keller aufgestellt. Diese Anordnung ermöglicht die Umwälzung der Kühlluft des Generators durch einen langsamlaufenden Ventilator mit hohem Wirkungsgrad. Als betriebstechnisch bemerkenswerte und besonders zuverlässige Lösung wurde der Antriebmotor ohne irgendwelche Schalter unmittelbar an die Klemmen des Generators, also an Hochspannung angeschlossen. Zum Schutze des Motors gegen Überlastung und Kurzschluss wurden in den Verbindungsleitungen Relais eingebaut, die im Falle von Störungen die Erterregung und Abschaltung des Generators bewirken¹⁾. Diese Lösung hat den Vorteil, dass für den Motor keine Bedienung notwendig ist, da er beim Anlassen des Generators von selbst anläuft und zwangsläufig so lange wie der Generator in Betrieb bleibt.

Cie Auxiliaire d'Electricité, Antoing. Ausser der 6400-kW-Niederdruckturbine und einer Vorschaltturbine von 3000 kW, 42 kg/cm² abs, 425° C am Einlassventil, 14 kg/cm² abs Gegendruck lieferte Brown Boveri eine 20 000-kW-Dreizylinderturbine für die gleichen Dampfdaten wie oben und bis 46 kg/cm² abs, 450° C, samt vollständiger Kondensations- und dreistufiger Vorwärmanlage, zur Vorwärmung des Speisewassers auf 131° C bei Vollast.

Die Bedeutung der Lieferungen für die Grosserzeugung elektrischer Energie, die von Brown Boveri erfolgten, geht klar aus der beigegebenen Aufstellung hervor.

Verzeichnis der an belgische Firmen gelieferten Dreizylinderturbinen.

Anlage	Anzahl Einheiten	Klemmenleistung je Einheit kW	Insgesamt kW	Dampfdaten	
				Druck kg/cm ² abs	Temperatur ° C
Antoing . . .	1	20 000	20 000	42	425
Bressoux . . .	2	30 000	60 000	36	425
Langerbrügge .	3	25 000	75 000	51	442
Moll	1	20 000	20 000	31	425
Schaerbeek . .	4	20 000	80 000	36	425
Schelle	1	31 700	31 700	36	425
Sluiskil	2	20 000	40 000	36	425
Ville-sur-Haine	2	23 000	46 000	36	425
	16		372 700		

Ausser einer grossen Anzahl mittlerer und kleiner Turbogruppen, die hier aufzuzählen zu weit führen würde, sind noch einige kleinere, jedoch modernere Zentren von Interesse:

S. A. des Hauts Fourneaux de Thy-le-Château et Marcinelle à Marcinelle. Diese Industriezentrale ist ganz mit Brown Boveri-Gruppen ausgerüstet. Seit dem Jahre 1906 bis zur letzten Erweiterung

¹⁾ Brown Boveri Mitteilungen, Jahrgang 1931, Januarheft Seite 49.

lieferte Brown Boveri insgesamt sechs Turbinen mit rd. 10 000 kW Gesamtleistung, für den Antrieb von Generatoren und Gebläsen. Diese neue Gruppe von 10 000 kW Klemmenleistung besteht aus:

- 1 Zweizylinderturbine mit zweistufiger Vorwärmung auf 125° C bei Vollast und Destillationsanlage für 2100 kg/h Zusatzwasser, für Dampf von 32 kg/cm² abs, bis 38 kg/cm² abs, 425° C am Einlassventil;
- 1 Turbogenerator, 12 500 kVA, $\cos \varphi = 0,8$, 3000 V, 50 Per/s;
- 1 vollständige Kondensationsanlage für Süsswasser, 2500 m³/h und einem motorangetriebenen Pumpensatz.

S. A. des Charbonnages de Wérister, Beyne-Heusay. Diese Anlage ist insofern bemerkenswert, als das Kraftwerk auf der Grube aufgestellt ist und in den Kesseln minderwertige Kohle zu ganz billigem Preis verfeuert wird. Die Turbogruppe arbeitet auf das Netz und das Bergwerk gibt seine Überschussleistung an dieses ab. Die Daten dieser Anlage sind:

Turbogruppe von 10 000 kW Klemmenleistung mit Zweizylinderturbine, dreistufiger Vorwärmung auf 155° C und Destillationsanlage für 2500 kg/h Zusatzwasser; gespeist mit Dampf von 31 kg/cm² abs, 425° C; Generator 12 500 kVA, $\cos \varphi = 0,8$, 6—6600 V, 50 Per/s; zweiteiliger Süsswasserkondensator für 2100 m³/h mit Motor-Kondensationspumpensatz.

Solvay & Co., Bruxelles. Für diesen grossen Industriekonzern lieferte Brown Boveri seit dem Jahre 1926 eine grosse Anzahl Turbinen sowohl für Belgien wie auch für die verschiedenen Werke im Ausland, insgesamt 27 Gruppen mit einer gesamten Klemmenleistung von rd. 38 700 kW. Diese Turbinen arbeiten als Kondensations-, Anzapf- und Gegendruckturbinen. Nicht zu vergessen ist die Lieferung eines gasgefeuerten Velox-Dampferzeugers von 18 t/h, 36 kg/cm² abs, 400° C, für eine ausländische Filiale der Gesellschaft.

S. A. des Mines et Fonderies de Zinc de la Vieille Montagne, Werk Baelen. Geliefert wurden: 2 Turbogruppen von 7200 kW, jede bestehend aus einer Zweizylinderturbine mit zweistufiger Anzapfung auf 125° C und Destillation von Zusatzwasser, gespeist mit Dampf von 36 kg/cm² und 425° C, einer vollständigen Kondensationsanlage mit kombiniertem Pumpensatz.

Diese Zentrale ist wohl eine der modernsten für die in Frage kommende Leistung.

Es fällt auf, wie gleichmässig überall Druck und Temperatur festgesetzt wurden. Dies beweist, dass im Zeitpunkte der Errichtung obiger Werke die Vorteile des Hochdruckdampfes allgemein bekannt waren. Welchen Anteil Brown Boveri an dieser Entwicklung und am Ausbau der belgischen Energieerzeugungsanlagen hat, ist aus dem Umfang der erfolgten Lieferungen zu ersehen.

(MS 939)

Ad. Baumann.

ÜBER REGULIER-QUERTRANSFORMATOREN.

Dezimalindex 621.314.214.0012.

I. ZWECK UND VERWENDUNGSGEBIET.

Der Regulier-Quertransformator, in eine geschlossene Schleife eingeschaltet, dient zur Regulierung der Verteilung der übertragenen Leistung auf beide Zweige der Schleife oder zur Verhinderung von Zirkulationsströmen. In eine einfache offene Leitung geschaltet, kann er zur Spannungsregulierung, z. B. zur Wiederherstellung der Symmetrie eines Spannungssystems dienen.

Der Regulier-Quertransformator wird in den drei folgenden typischen Fällen verwendet.

1. *Eine Zentrale arbeitet auf zwei Parallelleitungen.* Abb. 1. Normalerweise verteilt sich die

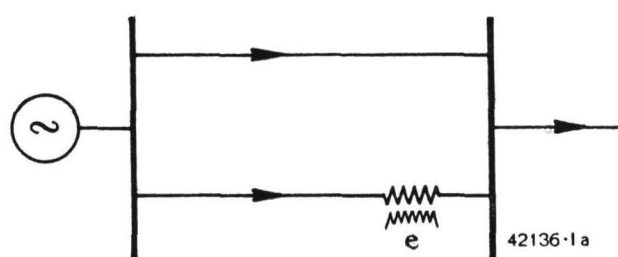


Abb. 1. — Zentrale mit zwei parallelen Übertragungsleitungen.

e = Zusatzspannung des Quertransformators.

übertragene Leistung im umgekehrten Verhältnis der Leitungsimpedanzen. Führt man in die durch beide Leitungen gebildete Schleife

e ein, so kann man die übertragene Leistung auf diese beiden Leitungen nach Belieben verteilen und dadurch z. B. eine überlastete Leitung oder einen in dieser Leitung eingeschalteten Transformator entlasten, die Verluste oder die Erwärmung vermindern usw., kurz, man kann eine rationelle Leistungsverteilung erreichen.

2. *Mehrere Zentren sind durch einen Leitungsring miteinander gekuppelt* (Abb. 2). Das Werk C erhält seine Energie von B oder von A. Normalerweise verteilt sich die z. B. vom Werk B gelieferte Leistung über n und o—m, wie unter Abs. 1, in Abhängigkeit der Charakteristiken der Schleifen- und Zweige.

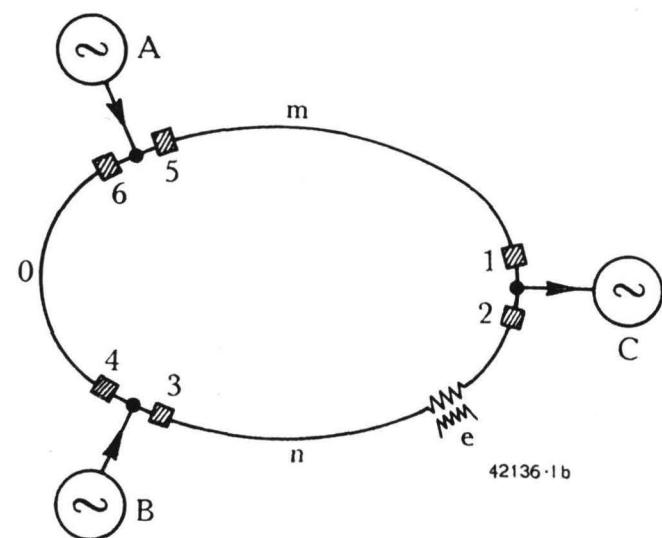


Abb. 2. — Durch eine Ringleitung zusammengeschlossene Zentren.

A, B, C = Zentren.

e = Spannung des Quertransformators.

m, n, o = Strecken der Ringleitung.

1, 2, 3, ... = Zähler.

Dieser Fall bietet gegenüber dem vorhergehenden die Möglichkeit gewisser Kombinationen durch das Vorhandensein mehrerer Energiequellen.

a) Es kann, wie unter Abs. 1, geschehen, dass die Leitung n oder ein in diese Leitung eingeschalteter Transformator überlastet wird und dass man einen Teil der von B kommenden Energie über den Weg o—m verschieben will.

b) Es kann auch vorkommen, dass das Werk C die ihm durch das Werk B gelieferte Energie über den Weg o—m statt über den Weg n erhalten will. Durch Einführung einer Hilfsspannung e kann man die Energie von B über den Weg o—m hinüberschieben. Selbstverständlich kann man dadurch an der Wattleistungsabgabe beider Zentren A und B, die einzig durch die Beaufschlagung der Turbinen bestimmt wird, nichts ändern. Wenn aber z. B. der Tarif, dem der Zähler 1 unterliegt, niedriger ist als der des Zählers 2, so genießt der Verbraucher C eine Strommessung mit niederem Tarif. Soll das Werk A nicht beeinträchtigt werden, so darf es vom Werk B die Energie nicht zu einem höheren Tarif durch den Zähler 6 kaufen, als es sie an das Werk C durch den Zähler 1 verkauft. Diese Energieschiebung wird also schliesslich nur dann zugelassen, wenn das Werk B die Energie billiger an A als an C liefert (weil z. B. A ein besserer Kunde von B ist als C).

Diese Hilfsspannung e soll eine solche Richtung haben, dass der durch sie in der Schleife hervorgerufene Zirkulationsstrom, der den natürlichen Strömen überlagert, die gewünschte Resultierende ergibt. Sie eilt diesem Ausgleichstrom um einen Winkel vor, der durch die Konstanten R und X der Schleife bestimmt wird.

c) Ist die mehrere Zentren zusammenschliessende Schleife offen und will man sie während des Betriebes schliessen, so entsteht ein durch die Phasenverschiebung oder Ungleichheit der Spannungen an beiden Enden der Schleife verursachter Stromstoss, der sehr stark werden kann. Das Schliessen der Schleife mit Hilfe eines Quertransformators, der so berechnet wird, dass er eine der Spannungsdifferenz gleich grosse und entgegengesetzte Zusatzspannung liefert, hebt diesen Stromstoss auf. Der Quertransformator ermöglicht ebenfalls das Öffnen der Schleife, ohne dass Schwingungen im Netze entstehen. Er kann auch zur Verhinderung von Ausgleichströmen dienen.

3. *Das Netz hat eine unsymmetrische Belastung* (z. B. durch Anschluss eines Einphasen-Ofens, einer Bahnleitung usw.). Dadurch wird das System der drei verketteten Spannungen des Netzes unsymmetrisch (Abb. 3). Man kann die Symmetrie mit Hilfe eines oder zweier Serietransformatoren wieder herstellen.

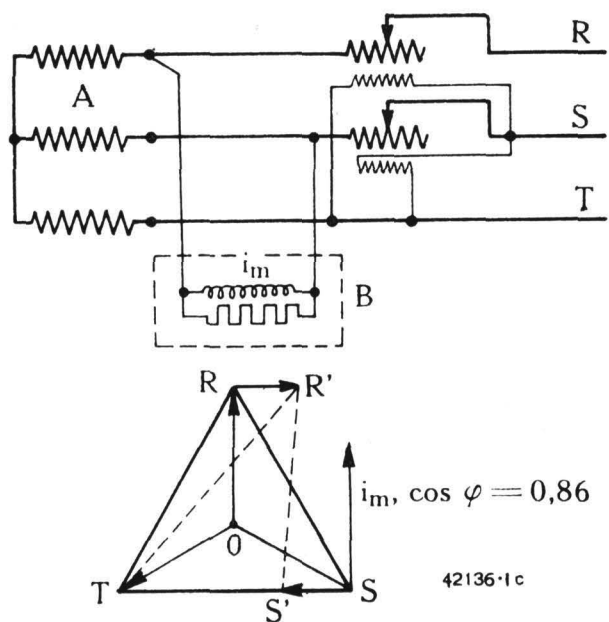


Abb. 3. — Netz mit unsymmetrischer Belastung und Reguliertransformatoren.

A = Generator.
B = Einphasenbelastung.
 i_m = Strom der Einphasenbelastung.
 R', S', T = Netzspannungsdreieck nach Verzerrung durch die Einphasenbelastung.
 R, S, T = Wiederhergestelltes Spannungsdreieck.

Wenn man, um ein Beispiel zu geben, annimmt, dass man eine Einphasenbelastung unter $\cos \varphi = 0,86$ zwischen den Phasen R und S hat, so sieht man, dass die Spannungsabfälle, die dieser Einphasenstrom i_m in den Phasen R und S des Generators erzeugt, praktisch in Phase mit der Spannung ST oder TS sind, denn der Strom in der Phase R ist in Phase mit der Spannung OR und der Spannungsabfall ist fast rein induktiv. Man wird also in jeder Phase R und S einen durch die Spannung TS und ST erregten Serietransformator einschalten. Die Stufenschalter beider Transformatoren werden durch einen Regler gesteuert, der die beiden Spannungen TR und TS misst. Die durch diese Transformatoren gelieferten Zusatzspannungen sollen gleich gross wie die beiden zu kompensierenden Spannungsabfälle und entgegengesetzt gerichtet sein.

Diese Lösung gilt jedoch nicht allgemein, da sie voraussetzt, dass die Einphasenbelastung ständig zwischen den gleichen Phasen geschaltet bleibt, dass ihr $\cos \varphi$ konstant ist und dass die Charakteristiken des Stromkreises, in dem die Spannungsabfälle stattfinden, während des Betriebes nicht geändert werden. Man kann jedoch die Transformatoren derart schalten, dass die Symmetrie automatisch wieder hergestellt wird, unabhängig von der Grösse und Verteilung der Belastung der einzelnen Phasen und deren Leistungsfaktor.

Man erzeugt in irgendeiner Phase, z. B. R, mit Hilfe eines Autotransformators 1 (Abb. 4a) oder eines Serietransformators 1 (Abb. 4b) eine Zusatzspannung mit der Richtung SR. Ausserdem erzeugt man in derselben Phase R mit Hilfe eines Serietransformators 2 eine zweite Zusatzspannung mit der Richtung $R'S''$, senkrecht zu RS. Der Regler des Transformators 1 beeinflusst die Grösse von RS, indem der Punkt R sich längs von RS nach R' verschiebt. Der Regler des Transformators 2 beeinflusst TR, indem der Punkt R' sich auf eine Senkrechte zu SR nach R'' verschiebt. Diese senkrechte Spannung wird dadurch erhalten, dass man den mit zwei Erregerwicklungen versehenen Transformator 2 mit beiden Spannungen TR und TS erregt.

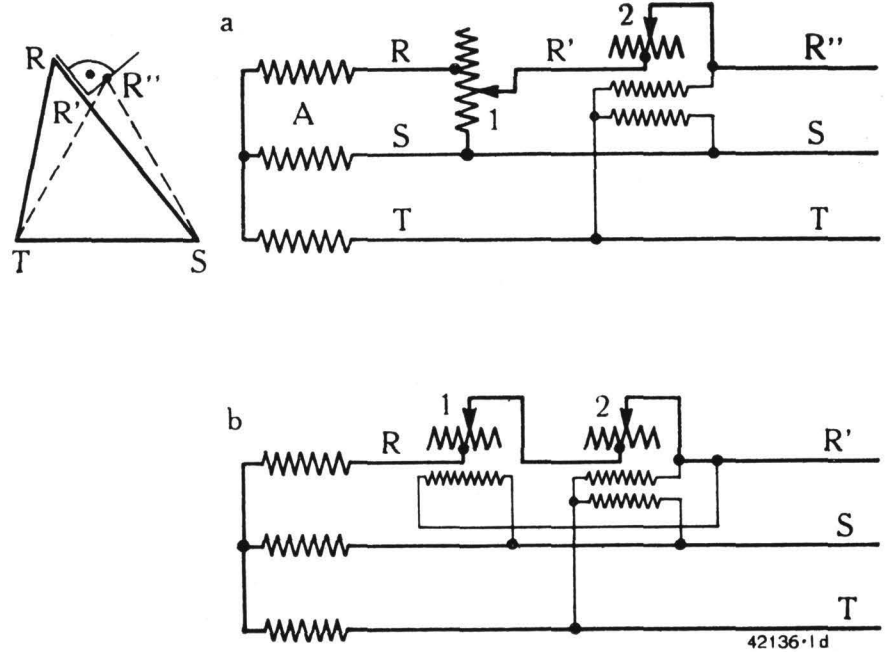


Abb. 4a. — Netz mit asymmetrischem Spannungsdreieck und zwei Reguliertransformatoren.

A = Generator.
 R, S, T = Spannungsdreieck nach Verzerrung.
 R', S, T = Wiederhergestelltes Spannungsdreieck.
 R', S = Durch den Transformator 1 regulierte Spannung.
 T, R'' = Durch den Transformator 2 regulierte Spannung.
 R', R'' = Durch 2 gelieferte Zusatzspannung.
1 = Regulierautotransformator.
2 = Regulierserietransformator.

Abb. 4b. — Asymmetrisches Netz mit zwei Reguliertransformatoren.
1 und 2 = Serietransformatoren.

Es bleibt daher eine der drei verketteten Spannungen (ST), die durch die Regulierung nicht beeinflusst wird; diese ist eine unabhängige Variable. Damit in jedem Augenblick RS und TR gleich gross wie diese unabhängige Variable ST gehalten werden (Bedingung für die Symmetrie des Spannungsdreiecks), muss diese letztere in jedem Augenblick die Einstellung beider Regler 1 und 2 beeinflussen. Das kann leicht erreicht werden dadurch z. B., dass man die Feder dieser Regler durch ein zweites, durch die Spannung ST beeinflusstes, bewegliches Drehsystem ersetzt. Diese Regler arbeiten dann als Differentialrelais und steuern durch das Schliessen oder Öffnen ihrer Kontakte die Stellung der Stufenschalter der Transformatoren.

Es ist hier am Platze zu bemerken, dass dieses System wohl die Symmetrie des Spannungsdreiecks sichert, weil zwei der verketteten Spannungen beständig gleich der dritten, die die Rolle der Leitspannung spielt, gehalten werden; es genügt aber nicht, um die Spannung in ihrer Grösse konstant zu halten, weil die Leitspannung selbst variabel ist. Wenn man gleichzeitig die Symmetrie der Spannungen und ihre Grösse auf einem konstanten Wert halten will, muss man noch einen dritten Auto- oder Serietransformator verwenden. Gemäss Abb. 5 regulieren die Regler der Transformatoren 1, 2 und 3 die Spannungen $R''S$, $T'R''$ und ST' . Die Schaltung 5b ist der Schaltung 5a gleichwertig, denn man hat die Erregerspannungen der drei Transformatoren so gewählt, dass man die gleichen Zusatzspannungen wie in 5a erhält. Dieser Transformator 3 (Abb. 5a oder 5b) hält die Grösse der Spannung ST' auf einen konstanten Wert; 1 und 2

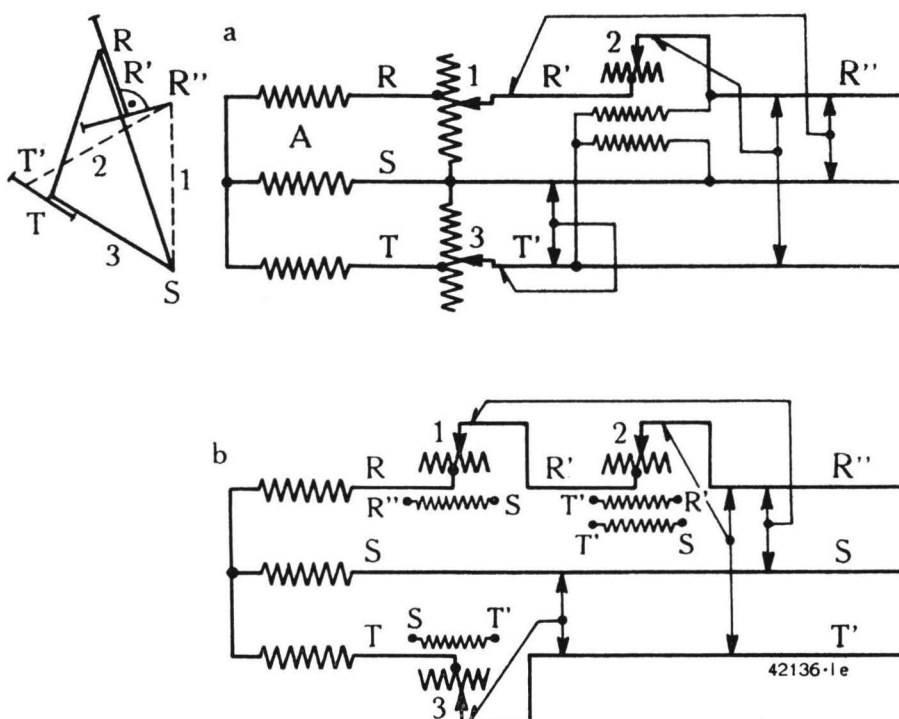


Abb. 5a. — Netz mit asymmetrischem und veränderlichem Spannungsdreieck und drei Reguliertransformatoren in zwei Phasen.

A = Generator.
 R, S, T = Spannungsdreieck nach Verzerrung.
 R'', S', T' = Wiederhergestelltes Spannungsdreieck.
 R'', S = Durch den Transformator 1 regulierte Spannung.
 T', R'' = Durch den Transformator 2 regulierte Spannung.
 R', R'' = Durch 2 gelieferte Zusatzspannung.
 1, 2, 3 = Auto- und Serietransformatoren.

Abb. 5b. — Asymmetrisches Netz mit veränderlichen Spannungen.

1, 2 und 3 = Seriereguliertoren.
 R'', S; T', R''; T', S; ST' = Erregerspannungen.

regulieren R'' S und T' R'' auf den gleichen Wert. Die Regler 1 und 2 brauchen dann nicht mehr durch ST' beeinflusst zu werden. Es genügt, sie auf den gleichen Wert wie 3 einzustellen; es sind Regler der gebräuchlichen Type. Dank der Verwendung der Serietransformatoren, d. h. durch Regulierung der drei Spannungen in nur zwei Phasen, vermeidet man das „Pumpen“. Die ausschliessliche Verwendung von Autotransformatoren, d. h. die Regulierung in den drei Phasen, vermeidet das Pumpen nicht, denn sie verschiebt alle drei Ecken des Spannungsdreiecks, wie aus dem Diagramm (Abb. 6) leicht ersichtlich ist.

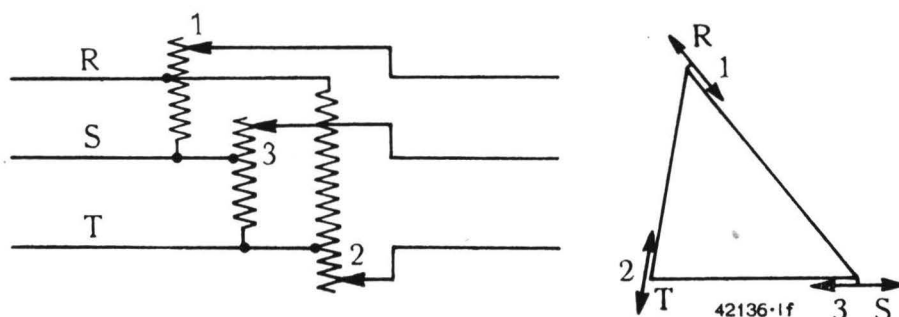


Abb. 6. — Netz mit asymmetrischem und veränderlichem Spannungsdreieck und drei Reguliertransformatoren in drei Phasen.

R, S, T = Spannungsdreieck mit Zusatzspannungen.
 1, 2, 3 = Reguliertransformatoren.

Nimmt man z. B. an, der Regler 1 greife ein und verändere den Wert der Spannung RS. In diesem Falle ändert er gleichzeitig die Spannung TR und erzeugt infolgedessen eine Rückwirkung auf den Regler 2, welcher Regler seinerseits eine doppelte Wirkung hat: indem er die Spannung TR korrigiert, ändert er auch die Spannung ST, wodurch der Regler 3 in Aktion tritt, was wiederum eine Rückwirkung auf den Regler 1

zur Folge hat. Ein neuer Zyklus fängt an. Man sagt, die Regler „pumpen“. Zwar nimmt die Amplitude der Spannungsänderungen ab und die Pendelbewegungen hören auf, sobald die Amplitude kleiner als die Empfindlichkeit der Regler geworden ist. Diese Spannungsschwankungen aber, die sich während der Abklingzeit abspielen, sollten vermieden werden; wenn nämlich die vom Netz herkommenden Schwankungen häufig sind, können sie einen neuen Vorgang beim Aufhören des ersteren wieder einleiten, sodass die drei Spannungen unaufhörlich variieren. Es wäre also nötig, die Regler einander durch eine verhältnismässig verwickelte und heikle Rückführschaltung unterzuordnen. Ein Reguliersystem, das durch seine Schaltung selbst das Pumpen beseitigt, ist selbstverständlich vorzuziehen. Einen solchen Vorzug besitzt das durch Abb. 5 dargestellte System. Diese Schaltung unterbricht die Verkettung der drei Regler miteinander. Die zu erfüllenden Bedingungen sind derart, dass das System einerseits die drei verketteten Spannungen getrennt regulieren muss, d. h. aus drei durch je eine der drei verketteten Spannungen beeinflussten Reglern bestehen muss, andererseits:

1. das eine Ende des Spannungsdreiecks, z. B. S, nicht verschieben darf, und
2. eines von den beiden anderen Enden, z. B. R, durch zwei getrennte Regulierungen verschieben muss, von denen eine die Grösse der durch die andere regulierten Spannung nicht ändern darf.

Betrachtet man die Abb. 5, so sieht man, dass der Regler 1 wohl beim Funktionieren das Mitwirken von 2 veranlasst, dass aber seinerseits 2 das Arbeiten von 3 nicht hervorruft; die skizzierte Bewegung hört bei 2 auf. Die gleiche Bemerkung gilt für 3; dieser Regler zieht wohl 2 mit, aber nicht 1. Der Regler 2 nämlich dadurch, dass er den Punkt R' in R'' verschiebt, ändert nicht die Grösse der regulierten Spannung R' S, weil praktisch der Kreisbogen R' R'' mit S als Zentrum und die Senkrechte auf RS übereinstimmen. Somit wird das Pumpen verhindert.

Diese Anordnung löst auf ziemlich einfache Weise das doppelte Problem der Wiederherstellung der Symmetrie und der Regulierung auf konstanten Wert der Spannung des unsymmetrischen Dreiphasennetzes. Die Leistung jedes Transformators ist gleich einem bestimmten Prozentsatz der Durchgangsleistung

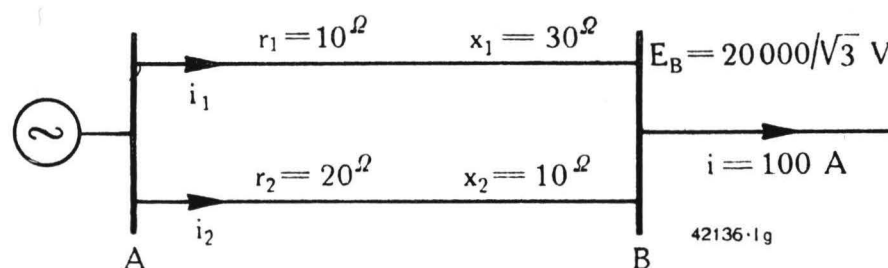


Abb. 7. — Auf zwei Parallelleitungen arbeitende Zentrale.

A = Schienen am Leitungsanfang.
 B = Schienen am Leitungsende.
 E_A = Phasenspannung am Leitungsanfang.
 E_B = Spannung am Leitungsende.

und zwar ist dieser Prozentsatz gleich der zu kompensierenden Spannungsveränderung ebenfalls in Prozenten ausgedrückt.

Betrachte man ein konkretes Beispiel des erwähnten typischen Falles a, wobei absichtlich sehr verschiedene Verhältnisse zwischen r und x beider Leitungen gewählt wurden, damit die Phasenverschiebung zwischen i_1 und i_2 gut zum Ausdruck gebracht wird. Es handelt sich darum, nach B eine Leistung von 3460 kVA zu liefern. Der ankommende Strom beträgt 100 A und die verkettete Spannung 20 000 V. Zur Vereinfachung werden die Kapazität und Konduktanz der Leitungen vernachlässigt (Abb. 7).

Man fängt mit der Bestimmung der Grösse von i_1 und i_2 an. Dazu werden die Impedanzdiagramme mit den bekannten Elementen r_1, x_1, z_1 , und r_2, x_2, z_2 konstruiert (Abb. 8a und 8b). Diese Diagramme

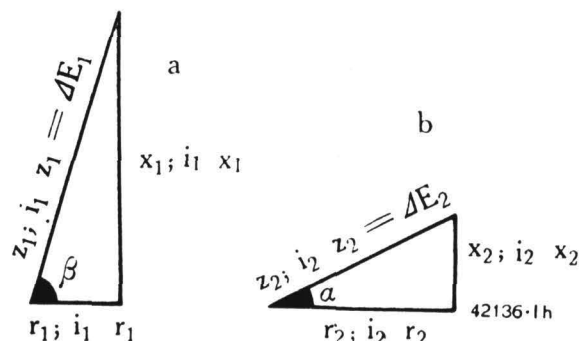


Abb. 8. — Impedanz- oder Spannungsabfall-Diagramm.

- i_1, r_1, i_2, r_2 = Ohmsche Spannungsabfälle in den Leitungen 1 und 2.
- i_1, x_1, i_2, x_2 = Induktive Spannungsabfälle in den Leitungen 1 und 2.
- i_1, z_1, i_2, z_2 = Resultierende Spannungsabfälle in den Leitungen 1 und 2.

gleich gerichtet und müssen daher übereinstimmen. Wenn man das Dreieck der Abb. 8b im Verhältnis $\Delta E_1 / \Delta E_2$ vergrößert und es auf das Dreieck der Abb. 8a legt, so erhält man das Diagramm der Abb. 9, wobei $\Delta E_1 = \Delta E_2 = \Delta E$.

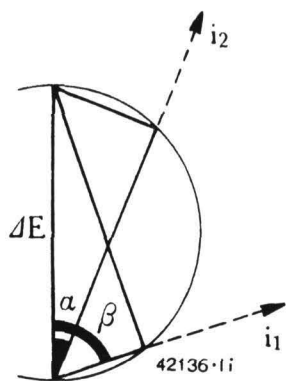


Abb. 9. — Stromdiagramm. Richtungen.

- ΔE = Resultierender Spannungsabfall von A bis B.
- i_1 = Strom in der Leitung 1.
- i_2 = Strom in der Leitung 2.
- α = Impedanzwinkel der Leitung 2.
- β = Impedanzwinkel der Leitung 1.

aus Abb. 7 ergibt sich: $z_1 = 31,6 \text{ Ohm}$; $z_2 = 22,4 \text{ Ohm}$, woraus $i_1 = 0,71 \cdot i_2$. Man konstruiert in einem beliebigen Maßstab das Stromdiagramm (Abb. 10). Die geometrische Summe von i_1 und i_2 ist $i = 100 \text{ A}$, woraus man entnehmen kann: $i_1 = 45 \text{ A}$; $i_2 = 63 \text{ A}$. Der Strom i bildet mit der ankommenden Spannung E_B einen durch das Verbrauchsobjekt festgelegten Winkel φ . Da die

stellen auch, in entsprechendem Maßstab, die Ohmschen, induktiven und resultierenden Spannungsabfälle in den Leitungen 1 und 2 dar. Die resultierenden Spannungsabfälle ΔE_1 und ΔE_2 sind in Wirklichkeit gleich gross und

$$i_1 = \frac{z_2}{z_1} \cdot i_2;$$

aus Abb. 7 ergibt sich: $z_1 = 31,6 \text{ Ohm}$; $z_2 = 22,4 \text{ Ohm}$, woraus $i_1 = 0,71 \cdot i_2$.

Man konstruiert in einem beliebigen Maßstab das Stromdiagramm (Abb. 10). Die geometrische Summe von i_1 und i_2 ist $i = 100 \text{ A}$, woraus man entnehmen kann: $i_1 = 45 \text{ A}$; $i_2 = 63 \text{ A}$. Der Strom i bildet mit der ankommenden Spannung E_B einen durch das Verbrauchsobjekt festgelegten Winkel φ . Da die

Richtung von i in Bezug auf E_B bekannt ist, kann das Diagramm der Ströme und Spannungen konstruiert werden (Abb. 11).

Wird z. B. gewünscht, dass die Ströme i_1 und i_2 einander gleich sein sollen (50 A), so muss eine solche Zusatzspannung eingeführt werden, dass in der Schleife

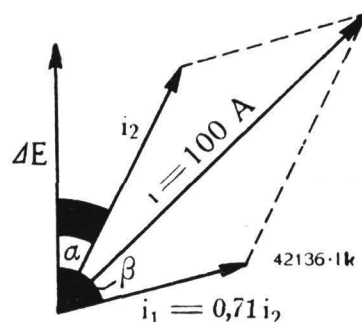


Abb. 10. Stromdiagramm. Grössen.

- i_1 = Strom in der Leitung 1.
- i_2 = Strom in der Leitung 2.
- i = Resultierender, verbrauchter Strom am Leitungsende.
- ΔE = Resultierender Spannungsabfall von A bis B.

1—2 ein Zusatzstrom von 22,5 A zirkuliert, gegeben durch MR in der Leitung 1, —NR in der Leitung 2 (Abb. 12). Aus dem Stromdiagramm der Abb. 12 ist zu ersehen, dass die Gesamtverluste beider Leitungen kleiner sind bei $i_1 = i_2 = 50 \text{ A}$ als bei einer natürlichen Stromverteilung. In der Tat sind die natürlichen Ströme allgemein gegeneinander verschoben und ihre arithmetische Summe wächst daher mit der Verschiebung; sie hat ihr Minimum bei der Verschiebung Null. Die Leistungsverluste werden in unserem Falle in folgendem Masse vermindert:

$$\begin{aligned} \text{Verluste ohne Zusatzspannung:} \\ 3 \cdot 45^2 \cdot 10 + 3 \cdot 63^2 \cdot 20 = 298,6 \text{ kW.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Verluste mit Quertransformator:} \\ 3 \cdot 50^2 (10 + 20) = 225 \text{ kW.} \end{aligned}$$

Minimalverluste:

Man kann von vornherein annehmen, dass die Ströme i_1 und i_2 in Phase sein werden, was die Berechnung übrigens beweisen wird. Um die den Minimalverlusten entsprechenden Werte zu bestimmen, verfährt man wie folgt:

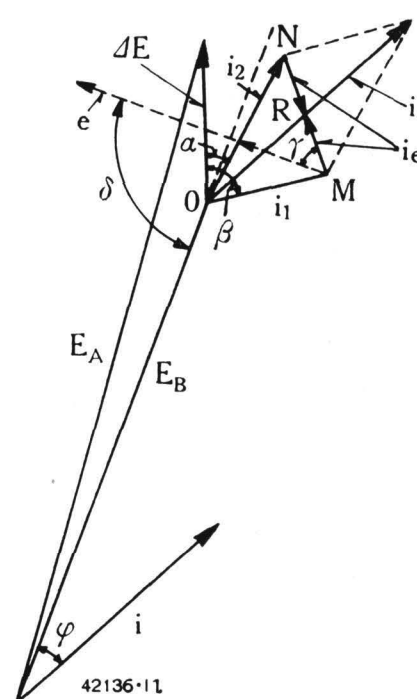


Abb. 11. — Strom- und Spannungsdiagramm.

- E_A = Phasenspannung am Leitungsanfang.
- E_B = Phasenspannung am Leitungsende.
- ΔE = Resultierender Spannungsabfall von A bis B.
- $OM = i_1$ = Strom in der Leitung 1.
- $ON = i_2$ = Strom in der Leitung 2.
- $OS = i$ = Resultierender, am Leitungsende verbrauchter Strom.
- MR = Zusatzstrom in der Leitung 1.
- NR = Zusatzstrom in der Leitung 2.
- OR = Resultierender Strom in den Leitungen 1 und 2.
- e = Zusatzspannung.
- φ = Winkel der Zusatzspannung mit der Netzspannung.

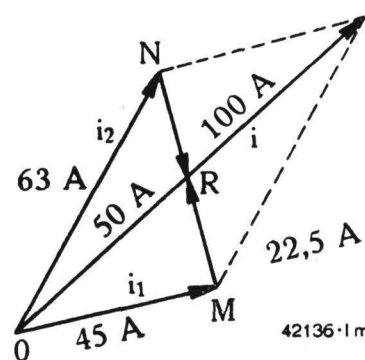


Abb. 12. — Strom- und Spannungsdiagramm.

Die Verluste werden, in Funktion von i_1 und i_2 , d. h. in Funktion ihrer Ohmschen und induktiven Komponenten ausgedrückt:

$$P = i_1^2 \cdot r_1 + i_2^2 \cdot r_2 = (i_{w1}^2 + i_{b1}^2) \cdot r_1 + (i_{w2}^2 + i_{b2}^2) \cdot r_2 \quad (1)$$

Es wird dann gesucht, P in Funktion von i_{w1} und i zu erhalten, damit es nach i_{w1} differenziert werden kann. Man schreibt dann $\frac{dP}{di_{w1}} = 0$ und erhält den Wert von i_{w1} , der die Minimalverluste ergibt. Zu diesem Zwecke schreibt man das Kirchhoffsche Gesetz für die Stromkomponenten (Abb. 13b).

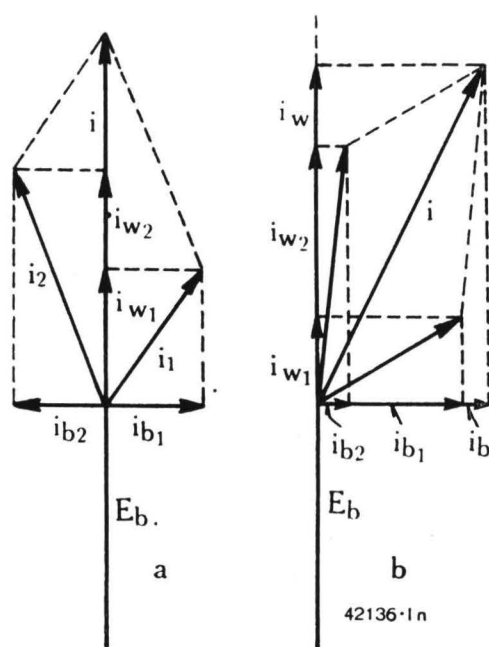


Abb. 13a. — Diagramm der Ohmschen und induktiven Stromkomponenten zur Bestimmung der Minimalverluste bei rein Ohmscher Belastung.

E_B = Netzphasenspannung am Leitungsende.
 i = Resultierender, am Leitungsende verbrauchter Strom.
 i_1 = Strom in der Leitung 1.
 i_{w1}, i_{b1} = Ohmsche und induktive Komponenten von i_1 .
 i_2 = Strom in der Leitung 2.
 i_{w2}, i_{b2} = Ohmsche und induktive Komponenten von i_2 .

Abb. 13b. — Rechts, Diagramm bei einer teilweise induktiven Belastung.

Man eliminiert i_{w2} und i_{b2} aus (4a) mit Hilfe von (2a) und (3a). Man erhält:

(2) und (3) werden:

$$i_{w2} = i - i_{w1} \quad (2a)$$

$$i_{b2} = -i_{b1} \quad (3a)$$

$$i_{b1} = \frac{i r_2 - i_{w1} c}{d}, \text{ wobei } c = r_1 + r_2 \text{ und}$$

$$d = x_1 + x_2. \quad (5)$$

Man führt (2a), (3a) und (5) in (1) ein und man erhält P in Funktion von i_{w1} und i .

Man differenziert dann und setzt $\frac{dP}{di_{w1}} = 0$, woraus sich ergibt (6):

$$i_{w2} = i_w - i_{w1} \quad (2)$$

$$i_{b2} = i_b - i_{b1} \quad (3)$$

Das Ohmsche Gesetz ergibt ausserdem (Abb. 14)

$$\begin{aligned} i_1 \cdot \cos \varphi_1 \cdot r_1 + \\ i_1 \cdot \sin \varphi_1 \cdot x_1 = \\ i_2 \cdot \cos \varphi_2 \cdot r_2 + \\ i_2 \cdot \sin \varphi_2 \cdot x_2 \end{aligned} \quad (4)$$

was auch geschrieben werden kann:

$$\begin{aligned} i_{w1} \cdot r_1 + i_{b1} \cdot x_1 = \\ i_{w2} \cdot r_2 + i_{b2} \cdot x_2. \end{aligned} \quad (4a)$$

Diese Beziehungen stimmen, welches auch der Leistungsfaktor der Belastung sein mag. Daher schreiben wir zur Vereinfachung $\cos \varphi = 1$. Wir erhalten dann die Abb. 13a.

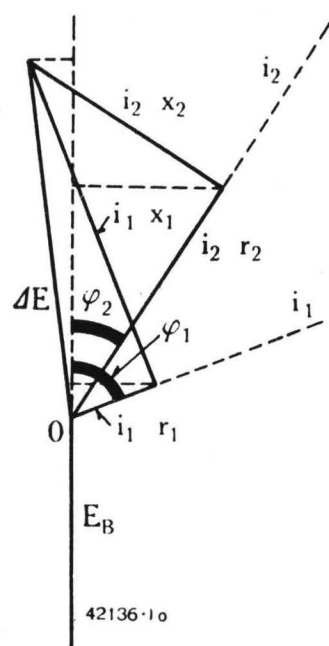


Abb. 14. — Diagramm der Spannungsabfälle und ihrer Projektionen auf die Netzspannung.

E_B = Netzphasenspannung am Leitungsende.

i_1 = Strom in der Leitung 1.

i_2 = Strom in der Leitung 2.

φ_1, φ_2 = Phasenverschiebung der Ströme i_1 und i_2 gegenüber der Netzspannung.

$i_1 \cdot r_1; i_2 \cdot r_2$ = Ohmsche Spannungsabfälle in den Leitungen 1 und 2.

$i_1 \cdot x_1; i_2 \cdot x_2$ = Induktive Spannungsabfälle in den Leitungen 1 und 2.

$i_1 \cdot Z_1; i_2 \cdot Z_2$ = Resultierende Spannungsabfälle in den Leitungen 1 und 2.

$$i_{w1} = i \cdot \frac{r_2}{r_1 + r_2}, \quad (6)$$

welcher Wert P_{min} entspricht. (6) wird in (5) eingesetzt. $i_{b1} = 0$; und infolgedessen $i_{b2} = 0$.

$$i_{w1} = i_1 = i \cdot \frac{r_2}{r_1 + r_2}.$$

Beide Ströme i_1 und i_2 sind miteinander in Phase, wie vorausgesehen wurde.

Im vorliegenden Falle beträgt

$$i_1 = 100 \cdot \frac{20}{30} = 66,6 \text{ A}$$

$$i_2 = 33,3 \text{ A}$$

$$P = 3 \cdot 66,6^2 \cdot 10 + 3 \cdot 33,3^2 \cdot 20 = 200 \text{ kW}.$$

Der nötige Zusatzstrom wäre dann

$$MR = -NP = 33,5 \text{ A} \quad (\text{Abb. 15}).$$

Da jetzt die Richtung des Stromes MR bekannt ist, ergibt sich daraus die der Zusatzspannung e . Sie eilt dem Strom um einen Winkel γ vor, der gegeben ist durch $(r_1 + r_2)$ und $(x_1 + x_2)$ (Abb. 16).

II. BEMESSUNG DES REGULIER-QUERTRANSFORMATORS.

Die Grösse der Zusatzspannung beträgt:

$$i_{zus.} \cdot \sqrt{(r_1 + r_2)^2 + (x_1 + x_2)^2} =$$

$$22,5 \cdot \sqrt{30^2 + 40^2} = 22,5 \times 50 = 1125 \text{ V/Ph.}$$

Der Transformator ist also ein Serientransformator, der für eine Zusatzspannung von 1125 V je Phase, eine Erregerspannung von 20000 V verkettet und für einen Strom von 50 A zu bemessen ist. Seine Eigenleistung beträgt $3 \cdot 1,125 \text{ kV} \cdot 50 \text{ A} = 170 \text{ kVA}$, seine Durchgangsleistung $50 \cdot 20 \cdot \sqrt{3} = 1730 \text{ kVA}$.

Was die Phasenverschiebung der Zusatzspannung gegenüber der Netz-Phasenspannung anbelangt, so ist dieselbe praktisch nicht sehr verschieden von 90° . Das kommt daher, dass der nötige Zusatzstrom allgemein

nicht weit davon entfernt ist, in Phase mit der Netzspannung zu sein (Abb. 15) und dass der durch eine Schleife geschlossener Leitungen gebildete Stromkreis, in welchem dieser Strom zirkulieren soll, meistens induktiv ist (sei es, dass r der Leitung selbst klein

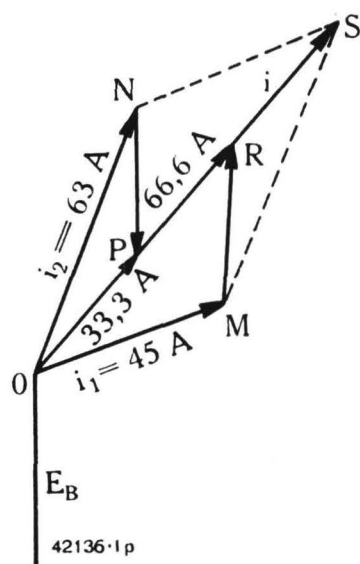


Abb. 15. — Stromdiagramm. Minimalverluste ergeben der Zusatzstrom.

E_B = Netzphasenspannung am Leitungsende.
 $OS = i$ = Resultierender, am Leitungsende verbrauchter Strom.
 $OM = i_1$ = Strom in der Leitung 1.
 MR = Zusatzstrom in der Leitung 1.
 OR = Resultierender Strom in der Leitung 1.
 ON = Strom in der Leitung 2.
 NP = Zusatzstrom in der Leitung 2.
 OP = Resultierender Strom in der Leitung 2.

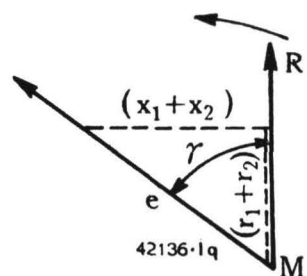


Abb. 16. — Diagramm zur Bestimmung der Richtung der Zusatzspannung gegenüber dem Zusatzstrom.

e = Zusatzspannung.
 MR = Zusatzstrom.
 $r_1 + r_2$ = Gesamtwiderstand der Schleife.
 $x_1 + x_2$ = Gesamtreaktanz.
 γ = Impedanzwinkel der Schleife (Winkel zwischen Zusatzstrom und Spannung).

bei Erregen mit Hilfe von zwei Erregerwicklungen, z. B. $RT + ST$, beiden Erregerwicklungen die gleiche Windungszahl gibt, erhält man nur eine Zusatzspannung von bestimmter Richtung; dadurch aber, dass man das Verhältnis der Windungszahl ändert, kann man eine beliebige Richtung, die um $\pm 30^\circ$ um diese Richtung variieren kann, bekommen. Man kann also durch dieses Mittel, ver-

einigt mit der Umschaltung der Erregerwicklungen, jeden Wert zwischen 0 und 360° erreichen.

2. Mit Erregertransformator bei Hoch- und Höchstspannung. $\delta = 90^\circ$ wird durch Schaltung des Erregertransformators in Dreieck-Stern erhalten, man hat auf diese Weise auf der Sekundärseite des Transformators die Richtung der drei verketteten Spannungen des Netzes (Abb. 19). Wenn man den Transformator in Stern-Stern schaltet, bekommt man in Richtung die drei Phasenspannungen.

III. SCHALTUNG DES REGULIER-TRANSFORMATORS.

1. Ohne Erregertransformator, bei mittleren Netzspannungen. Um $\delta = \pm 90^\circ$ zu erreichen, genügt es, die Phase R mit der Spannung TS oder ST, S mit RT oder TR, T mit SR oder RS zu erregen. Es wird also nach Abb. 17 geschaltet. Das Diagramm der Abb. 18 zeigt, wie ein beliebiger Winkel δ erhalten werden kann. Der Vektor OR stellt die Phasenspannung dar und die verschiedenen Vektoren RA, RB, RC usw. die Zusatzspannungen, die man durch Erregung des Transformators mit Hilfe der verschiedenen Spannungen (ST), $(RT + ST)$... erhält. Wenn man

bei Erregen mit Hilfe von zwei Erregerwicklungen, z. B. $RT + ST$, beiden Erregerwicklungen die gleiche Windungszahl gibt, erhält man nur eine Zusatzspannung von bestimmter Richtung; dadurch aber, dass man das Verhältnis der Windungszahl ändert, kann man eine beliebige Richtung, die um $\pm 30^\circ$ um diese Richtung variieren kann, bekommen. Man kann also durch dieses Mittel, ver-

eint mit der Umschaltung der Erregerwicklungen, jeden Wert zwischen 0 und 360° erreichen.

Wenn ein Zwischenwert gewünscht wird, müssen ebenfalls auf dem Serietransformator zwei Erregerwicklungen vorgesehen werden, von denen jede durch eine Phasenspannung gespeist wird (Erregertransformator in Stern-Stern), wobei das Windungszahlverhältnis entsprechend gewählt werden muss.

Wünscht man z. B. $\delta = 100^\circ$, so erregt man die Phase R z. B. des Serietransformators mit Hilfe beider Phasenspannungen TO und OS, mit einer Windungszahl für die Wicklung TO von x und für die Wicklung OS von $0,57x$ (Abb. 21). Wird diese resultierende Erregerspannung durch 100% dargestellt, so beträgt die Komponente TO ungefähr 73% und OS 41% .

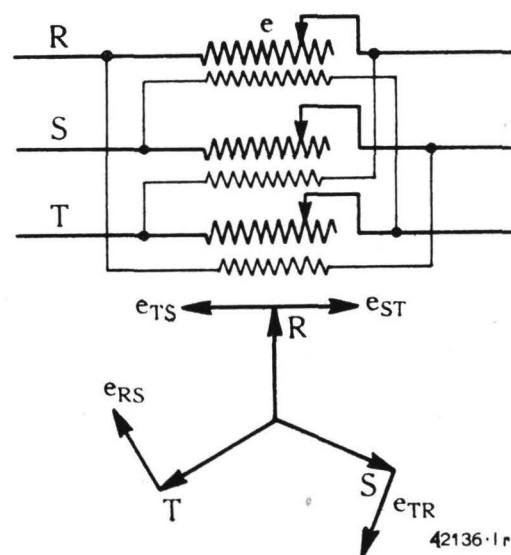


Abb. 17. — Schaltung des direkt ins Netz geschalteten Quertransformators. Netzspannungs- und Zusatzspannungs-Diagramm.

R, S, T = Netzphasenspannung.
 e = Zusatzspannung.
 $e_{ST} = -e_{TS}$ = Zusatzspannung in der Phase R.
 e_{TR}, e_{RS} = Zusatzspannungen in den Phasen S und T.

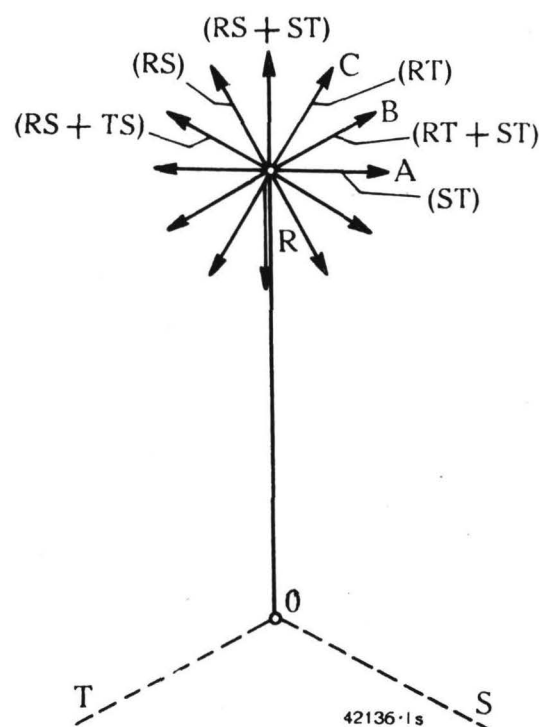


Abb. 18. — Diagramm der mit der Netzspannung einen beliebigen Winkel bildenden Zusatzspannungen.

R, S, T = Phasenspannungen.
 RA, RB, RC = Zusatzspannungen.
 $(ST), (RT + ST) \dots$ = Erregerspannungen.

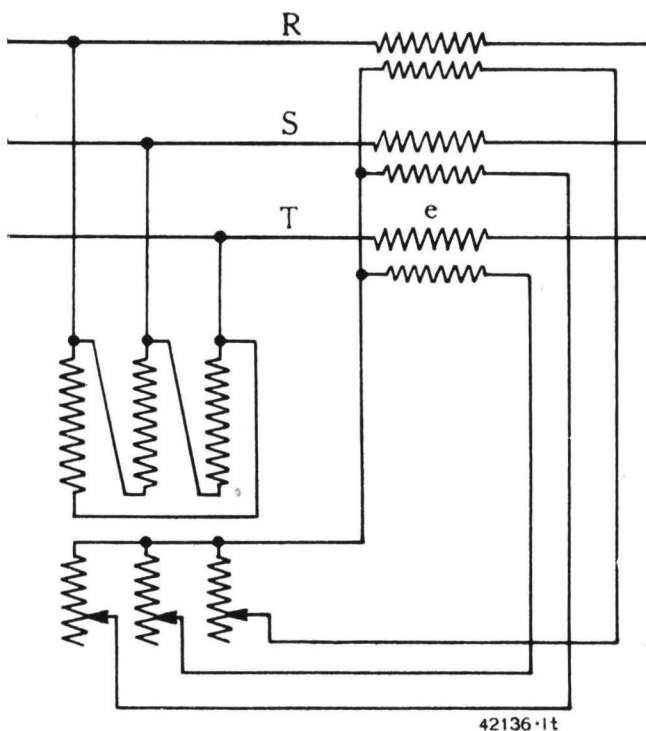


Abb. 19. — Schaltung des Quertransformators mit Erregertransformator.

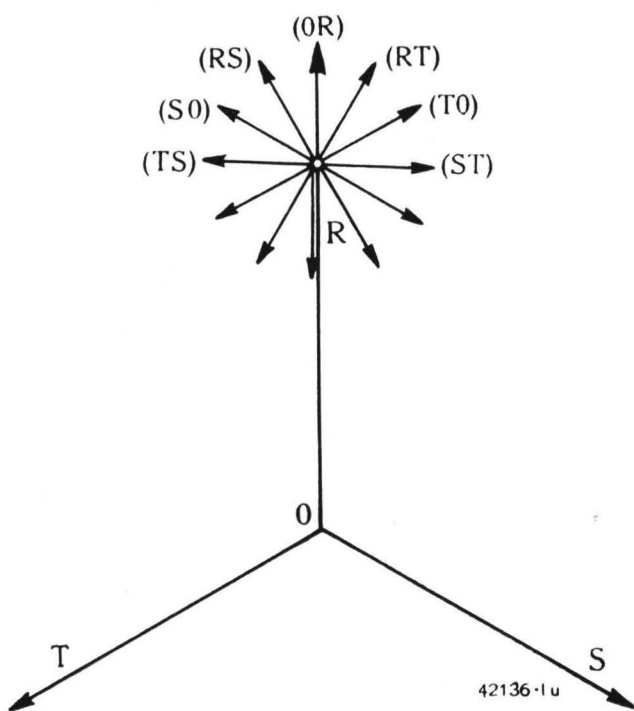


Abb. 20. — Diagramm der Zusatzspannungen, die zusammen mit der Netzspannung einen Winkel von 0 bis 360° bilden, von 30° zu 30°.

R, S, T = Netzphasenspannungen.
(ST) = Verkettete Erregerspannung.
(TO) = Phasenerregerspannung.

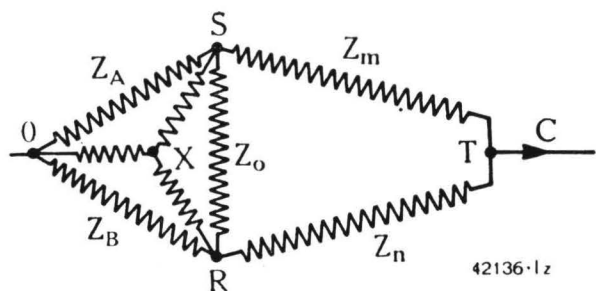


Abb. 23. — Der Abb. 22 äquivalentes Schema.

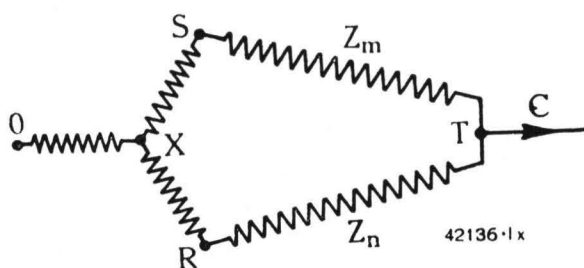


Abb. 24. — Umgestaltetes Schema der Abb. 23.

Der Aufbau des Regulier-Quertransformators und die Wicklungsanordnung weichen von dem eines normalen Reguliertransformators mit Anzapfungen und Stufenschalter nicht ab.

Im oben gesagten wurde der typische Fall (a) betrachtet. Die Anwendung auf den Fall (b) bietet keine besonderen Schwierigkeiten. Dieser kann auf den ersten auf folgende Weise zurückgeführt werden.

Die Zentralen A und B sowie die Leitungen werden durch äquivalente Impedanzen ersetzt. Im folgenden wird der Kürze halber die zur Bestimmung der Impedanzen dienende Methode angegeben. In Wirklichkeit sind r und x getrennt zu bestimmen, die Methode bleibt aber dieselbe. Der Wert der im neuen Schema einzuführenden Zentralenimpedanzen

wird durch die Ströme bestimmt, die jede Zentrale dem Verbraucher liefern muss.

Es sei I_A der Strom, den das Werk C vom Werk A beziehen will, und I_B der Strom vom Werk B.

$$Z_A = \frac{E_{ph}}{I_A}$$

$$Z_B = \frac{E_{ph}}{I_B}$$

Man erhält somit das Schema gemäss Abb. 22. Die Generator-Nullpunkte O_A und O_B dürfen zusammengeschlossen werden (Abb. 23). Das Dreieck OSR darf durch den entsprechenden eingeschriebenen Stern ersetzt werden, wobei die Strahlen des Sternes mit Hilfe folgender Beziehungen berechnet werden:

$$XO = \frac{Z_A \times Z_B}{Z_A + Z_B + Z_O} \quad XS = \frac{Z_A \times Z_O}{Z_A + Z_B + Z_O}$$

$$XR = \frac{Z_B \times Z_O}{Z_A + Z_B + Z_O}$$

Man hat jetzt das Schema gemäss Abb. 24 mit den Impedanzen jeder Strecke. Dieses Schema entspricht dem des Falles (a); das Diagramm wird wie vorher konstruiert.

(MS 956)

A. Maret. (Mt.)

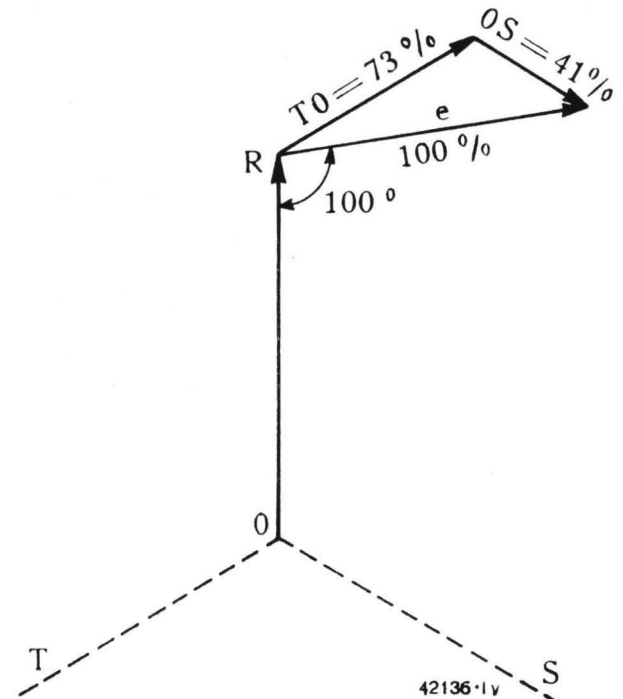


Abb. 21. — Diagramm der durch doppelte Erregerwicklung erhaltenen Zusatzspannungen, die zusammen mit der Netzspannung einen beliebigen Winkel zwischen 0 und 30° bilden.

R, S, T = Netzphasenspannungen.
TO = Erregerspannung (Bruchteil der Phasenspannung) auf einer der Wicklungen.
OS = Erregerspannung (Bruchteil der Phasenspannung) auf der zweiten Wicklung.
e = Resultierende Erregerspannung.

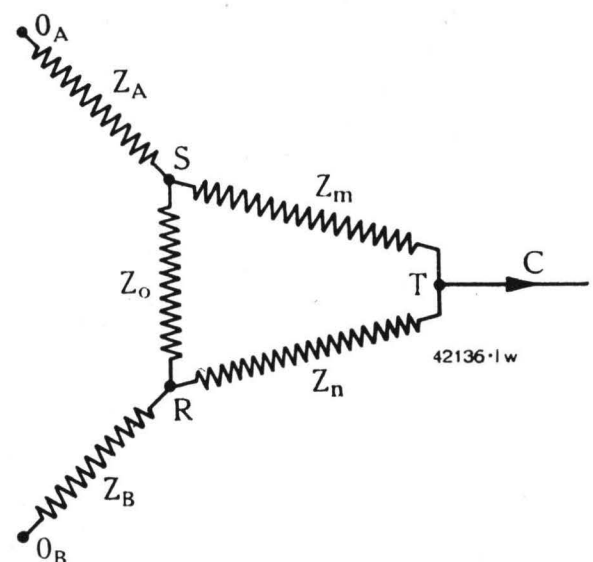


Abb. 22. — Durch eine Ringleitung zusammengeschlossene Zentralen. Äquivalentes Schema.

$O_A = O_B$ = Zentrale.
C = Verbraucher.
 Z_A, Z_B = Äquivalente Zentralen-Impedanzen.
 Z_o, Z_m, Z_n = Äquivalente Impedanzen der Strecken des Ringes.

DAS ANWERFEN VON SYNCHRONMASCHINEN DURCH MUTATOREN UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER VERWENDUNG VON TURBOGENERATOREN ALS PHASENKOMPENSATOREN.

Dezimalindex 621.316.717: 621.313.32.

Sehr häufig besteht der Wunsch, Turbogeneratoren, die während längerer Zeit stillstehen, zur Deckung von Blindleistung heranzuziehen. Dies trifft vor allem in thermischen Reserve- und Aushilfszentralen zu. Solche Zentralen sind zur Stützung des Leistungsfaktors besonders geeignet, weil sie sich im Gegensatz zu hydraulischen Kraftwerken in Städten und Industriezentren, also in der Nähe der Verbraucher befinden, sodass mit der Verbesserung des Leistungsfaktors vor allem auch eine Verminderung der Verluste in den Fernleitungen erreicht wird. Aber auch in Dampfkraftwerken, die zur dauernden Krafterzeugung dienen, können Verhältnisse bestehen, bei welchen die Verwendung von Turbogeneratoren als Phasenschieber angebracht ist. Zu Zeiten schwacher Belastung verringert oft der schlechte Leistungsfaktor die Belastungsmöglichkeit der Turbogruppen derart, dass es erforderlich wird, allein aus diesem Grunde eine grössere Anzahl Einheiten im Betrieb zu halten, als durch die Wattleistung bedingt wäre. Wenn in solchen Fällen ein oder mehrere Generatoren von der Turbine losgekuppelt und als reine Phasenschieber in Betrieb genommen werden, ist es möglich, auf diese Weise die Leerlaufverluste der betreffenden Antriebsturbinen auszuschalten und ausserdem die übrigen Einheiten möglichst voll zu belasten, bzw. mit bestem Wirkungsgrad zu betreiben. Wenn trotz der geschilderten Vorteile der Betrieb von Turbogeneratoren als reine Phasenschieber bis jetzt wenig durchgeführt wurde, so liegt der Grund hierfür, so sonderbar dies auch auf den ersten Blick erscheinen mag, darin, dass keine der bisher bekannten Vorrichtungen zum Hochfahren und Synchronisieren der Turbogeneratoren vollauf befriedigte.

Von den verschiedenen Anlassmöglichkeiten ist die naheliegendste das Hochfahren mit der Turbine selbst. Da es aber keine im Betrieb lösbaren Kuppelungen für so hohe Drehzahlen und für Leistungen, wie sie hier meistens in Betracht kommen, gibt, müsste die Turbine dauernd leer mitlaufen, was auch dann einen erheblichen Verlust bedeutet, wenn zur Verminderung der Reibung und der Ventilation der Beschauflung die Kondensationsanlage in Betrieb bleibt. Voraussetzung ist ferner, dass überhaupt Dampf zum Anwerfen mit der Turbine zur Verfügung steht, d. h. dass Kessel in Betrieb stehen, was z. B. in Reserve- und Aushilfszentralen naturgemäss gerade dann nicht zutrifft, wenn die Generatoren zur Deckung von Blindleistung verfügbar sind. Dazu kommt noch, dass zur Aufrechterhaltung des Vakuums während der ganzen

Dauer Sperrdampf für die Wellenstopfbüchsen gebraucht wird. Ferner bedingt ein solcher Betrieb dieselbe Überwachung der Turbogruppe wie der Normalbetrieb, da auch die Pumpen für die Kondensationsanlage dauernd benötigt werden.

Eine andere Anlassmethode ist der asynchrone Anlauf des von der Turbine losgekuppelten Generators mit Strom aus dem Netz, unter Verwendung eines Anlasstransformators. Nachteilig ist hier der grosse Anlaufstrom, der zum Losreissen des Rotors notwendig ist. Dies bedeutet nicht nur eine unangenehme Erscheinung für das Netz, sondern eine direkte Gefährdung der Maschine selbst. Durch den Einbau einer Dämpferwicklung könnte allerdings diesem Übelstand teilweise begegnet werden; doch ist hierzu an einem bereits vorhandenen Generator die Möglichkeit nicht gegeben, es sei denn, dass man sich mit einer erheblichen Herabsetzung der Belastbarkeit der Maschine abfindet. Für eine neu anzufertigende Maschine führt der Einbau einer solchen Dämpferwicklung entweder zu einer Leistungsverminderung der in Frage kommenden Type oder dann zur Verwendung der nächstgrösseren Type.

Der synchrone Anlauf (Hochfahren mit einer zweiten Maschine) setzt voraus, dass eine weitere, ebenfalls ausser Betrieb befindliche Gruppe ähnlicher Grösse zur Verfügung steht und ferner, dass gleichzeitig ein Dampfkessel in Betrieb ist, der den nötigen Dampf liefert, um diese zweite Gruppe in Betrieb setzen zu können. Die beiden Generatoren, d. h. der für Blindleistung bestimmte, von seiner Turbine getrennte Generator und der Generator der zweiten, zum Anwerfen bestimmten Gruppe, werden dann in bekannter Weise elektrisch gekuppelt und durch die Turbine miteinander auf die erforderliche Drehzahl gebracht. Abgesehen davon, dass die oben angeführten Bedingungen meist nicht erfüllt sind, hat dieses sonst einwandfreie Verfahren den Nachteil, dass es viel Zeit erfordert, weil eine ganze Turbogruppe mit sämtlichem Zubehör in Betrieb gesetzt werden muss.

Als das geeignetste der bisher üblichen Anlassverfahren kann dasjenige mit Anwurfmotor bezeichnet werden. Man kann einen gewöhnlichen Induktionsmotor verwenden, wenn der anzuwerfende Generator mindestens vierpolig ist. Es ist nämlich nötig, dass die Polzahl des asynchronen Anwurfmotors kleiner ist als diejenige des anzuwerfenden Synchrongenerators, denn nur so ist es möglich, die anzuwerfende Maschine auf die synchrone Drehzahl zu bringen. Beim Syn-

chronisieren verfährt man dann so, dass man die synchrone Drehzahl zuerst etwas überschreitet und beim langsamen Abnehmen der Drehzahl im gegebenen Moment den Netzschalter des Synchrongenerators einlegt. Bei zweipoligen Synchrongeneratoren, also bei den eigentlichen Turbogeneratoren, ist dieses Verfahren nicht anwendbar, sondern hier kommt als Anwurfmotor ein synchronisierbarer Induktionsmotor in Frage. Das Losreissen und Beschleunigen erfolgt, wie üblich, durch stufenweises Abschalten der Widerstände des Rotoranlassers. Nachher wird Gleichstrom durch die Läuferwicklung des Motors geschickt, bei welchem Vorgang die synchrone Drehzahl erreicht wird. Aber auch diese Anwurfmethode hat wesentliche Nachteile. Wird der Anwurfmotor zwischen Generator und Erreger gesetzt, so muss er sich dauernd mitdrehen, auch dann, wenn der Generator seinem Hauptzwecke gemäss als Leistungserzeuger in Betrieb ist. Die durch den mitlaufenden Motor verursachten Ventilationsverluste sind natürlich sehr unerwünscht. Will man aber den Anwurfmotor an das Ende der Gruppe setzen, so muss die Welle der kleinen Erregermaschine kräftig genug bemessen sein, um das Drehmoment des Motors übertragen zu können. Dies führt zu schwierigen Konstruktionen des Erregerankers und seines Kollektors. Man ist daher gezwungen, auf die direkte Kupplung des Generatorerregers zu verzichten und treibt ihn durch einen Elektromotor an. Übrigens scheitert die Lösung mit Anwurfmotor meistens daran, dass kein Platz vorhanden ist, um ihn aufstellen zu können, weil das Problem der Phasenkompensation in der Regel erst nach dem Bau der Anlage auftaucht.

Es ist nun der A.-G. Brown, Boveri & Cie. gelungen, unter Verwendung von Mutatoren eine allen Bedürfnissen Rechnung tragende Anlassvorrichtung zu schaffen.

Die neue Lösung, die im nachstehenden beschrieben werden soll, eignet sich zum Anlassen jeder Synchronmaschine, vor allem auch von Turbogeneratoren. Sie vermeidet alle Mängel, die den hier erwähnten Anlassmethoden anhaften und hat zudem den Vorteil, dass mit einer einzigen Anlassvorrichtung eine beliebige Anzahl Synchronmaschinen nacheinander angelassen werden können.

Der eigentlichen Beschreibung seien einige allgemeine Erklärungen vorausgeschickt. Bekanntlich ist es möglich, mit den Gittern die Zündung des Lichtbogens in einem Mutator auf einen beliebigen Zeitpunkt der Wechselstromkurve zu verschieben oder auch ganz zu unterbinden. Wird z.B. das Gitter negativ geladen, so kommt der bei jeder Periode aussetzende Lichtbogen nicht wieder neu zustande. Erhält dagegen das Gitter, das vorher negativ geladen war, einen positiven Impuls, so erfolgt sofortiges Zünden des Lichtbogens, vorausgesetzt allerdings, dass dieser Impuls während der Zeit erfolgt, während welcher die Anodenspannung positiv ist, d.h. während der Halbperiode, während welcher ein Stromdurchgang überhaupt möglich ist. Bei Verwendung einer geeigneten Gittersteuerung gelingt es, die Zündung regelmässig dann einzuleiten, wenn die Wechselstromspannung je-

weils einen bestimmten Wert erreicht hat. Verschiebt man den Zündmoment, so kann man die Dauer und die Grösse der einzelnen Stromimpulse in weiten Grenzen beeinflussen. Abb. 1 zeigt, wie beim Gleichrichten eines Einphasen-Wechselstromes durch Verschieben des Zündmomentes der effektive Spannungswert des Gleichstromes geändert werden kann. Wie nun diese Möglichkeiten zum Anwerfen von Synchronmaschinen verwertet werden, soll anhand des allgemeinen Schaltbildes Abb. 2 erläutert werden. Der Netzverteiler 7, ein Kontaktapparat, der durch einen kleinen Synchronmotor angetrieben wird und mit dem Netz synchron läuft, gibt fortlaufend jedem Gitter der Mutatoren, die sonst negativ geladen sind, in Zeitabständen einer Ganzperiode positive Spannungsimpulse von der Dauer einer Halbperiode. Die relative Stellung der Bürsten und Kontaktsegmente des Netzverters

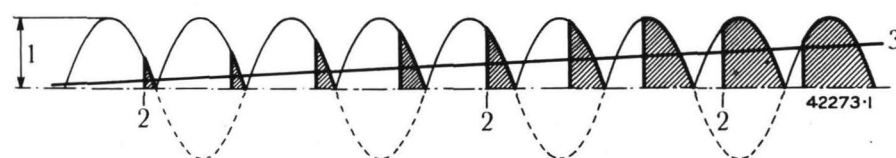


Abb. 1. — Schematische Darstellung der Spannungsregulierung eines Mutators.

- 1 = Höchstwert der Wechselspannung.
- 2 = Zündmomente.
- 3 = Effektivwert der Gleichspannung.

ist so gewählt, dass diese positiven Stromimpulse immer während derjenigen Halbperiode erfolgen, während welcher die Spannung der betreffenden Anode positiv ist. Der Beginn des Stromimpulses kann jedoch in den Grenzen dieser Halbperiode variiert werden durch eine entsprechende Verschiebung der Bürsten. Auf diese Weise erreicht man eine Spannungsregulierung auf der Gleichstromseite des Mutators, wie dies im Prinzip aus Abb. 1 hervorgeht. Der erforderliche Gleichstrom für die Gittersteuerung wird durch eine im Schema nicht enthaltene kleine Gleichstromquelle erzeugt. Wie aus dem Schema ersichtlich, wird die positive Zuleitung dieser Gleichstromquelle über einen weiteren Kontaktgeber, den Motorverteiler 9, geführt und die Gitter können nur unter der Voraussetzung die positiven Impulse des Netzverters 7 erhalten, dass der Motorverteiler die Verbindung mit der Stromquelle hergestellt hat. Der Motorverteiler ist ein Steuerapparat, dessen rotierender Teil auf der Rotorwelle der anzuwerfenden Synchronmaschine sitzt. Das Kontaktsegment stellt je nach der Winkellage des Rotors über eine der drei um 120° verschobenen Bürsten die Verbindung mit einem der drei Kontaktgeber des Netzverters her.

Die Kathode des Mutators ist an den Nullpunkt der Statorwicklung angeschlossen. Die Glättungsdröselspule 10 hat den Zweck, die Pulsation des Gleichstromes auszugleichen. Jedes der drei Anodenpaare ist über die zugehörigen Transformatorenwicklungen mit je einem Ende der Statorwicklung 2 der anzulassenden Synchronmaschine verbunden. (Der Übersichtlichkeit halber sind im Schaltbild nur zwei Anoden des Mutators mit den zugehörigen Leitungen angedeutet.) Da der Motorverteiler normalerweise gleichzeitig nur den Weg für die positive Gitterladung eines

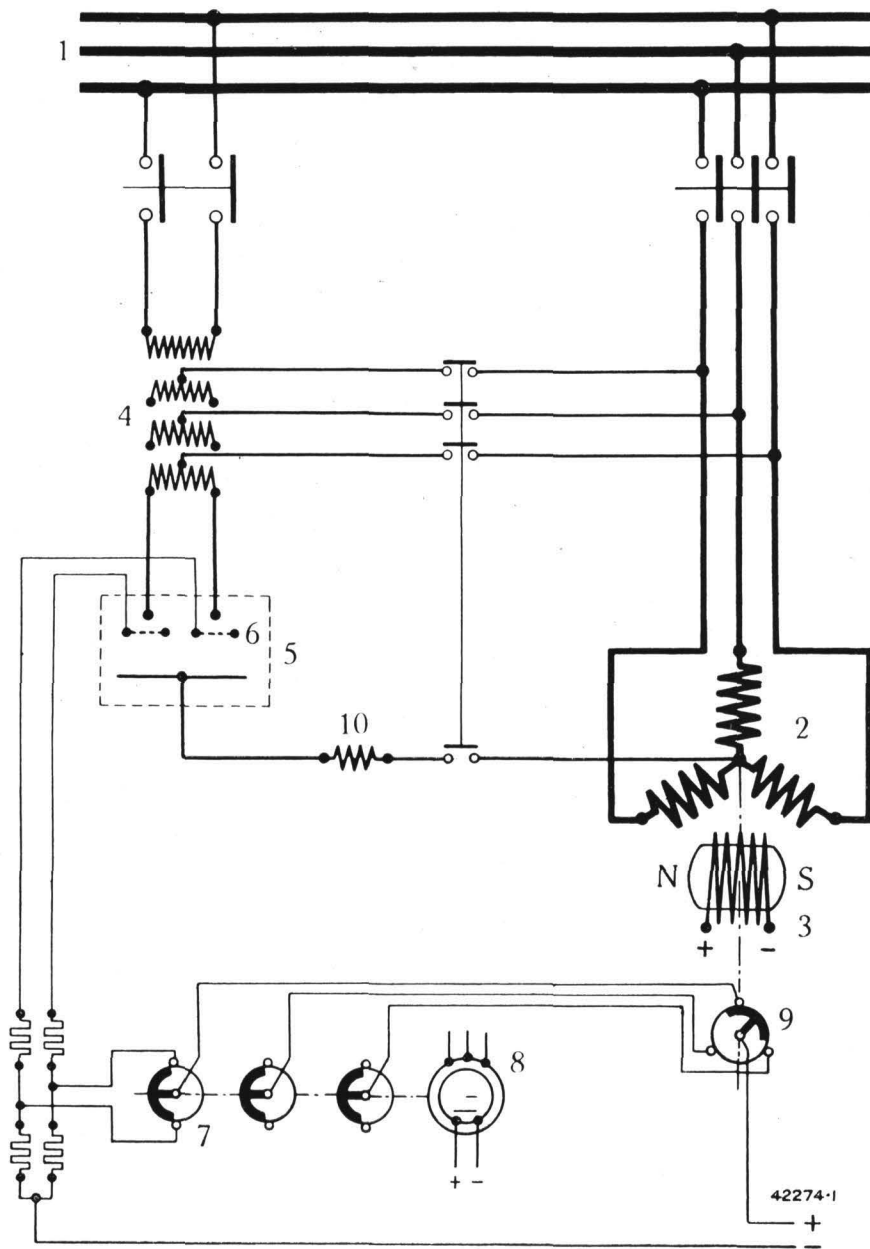


Abb. 2. — Schaltbild der Anlassvorrichtung eines Synchrongenerators mit Hilfe eines Mutators.

- 1 = Netz.
- 2 = Statorwicklung der anzulassenden Synchronmaschine.
- 3 = Rotorwicklung derselben.
- 4 = Transformator.
- 5 = Mutator.
- 6 = Gitter.
- 7 = Netzverteiler.
- 8 = Synchronmotor zum Netzverteiler.
- 9 = Motorverteiler.
- 10 = Glättungsdrresselspule.

einzigsten Anodenpaares frei gibt, fließt in jeder Stellung des Rotors nur in einer der drei Phasen ein Gleichstrom, während die zwei andern Phasen stromlos bleiben. Richtige Bürstenstellung des Motorverters vorausgesetzt, wird auf diese Weise ein Feld erzeugt, das auf den mit Gleichstrom erregten Rotor ein Drehmoment im gewünschten Sinne ausübt. Dadurch dreht sich der Rotor und mit ihm das Kontaktsegment des Motorverters. Hat die Drehung einen gewissen Winkel erreicht, so gibt die nächste Bürste des Motorverters die positive Stromzufuhr zu den Gittern der nächsten Phase frei. Während die nächste Phase Strom erhält und ein um den entsprechenden Winkel vorgeschobenes Feld erzeugt, wird die erste Phase stromlos. Dieses Spiel wiederholt sich und beschleunigt die Drehung des Rotors. Die Größe dieser Beschleunigung ist bei sonst gegebenen Verhältnissen bedingt durch die gegenseitigen Wechselbeziehungen von Mutatorspannung, Drehzahl bzw. Gegen-EMK der Statorwicklung und Rotorstrom. Bei zunehmender Drehzahl steigt die Gegen-EMK der Statorwicklung. Es ist daher nötig, die Mutatorspannung nach und nach zu erhöhen, um

den Rotor weiter zu beschleunigen. Dies wird erreicht durch das Verschieben der Bürsten des Netzverters 7 im entgegengesetzten Sinn der Drehrichtung. Das Verschieben dieser Bürsten geschieht durch einen kleinen Hilfsmotor, der, wie die übrigen Apparate, von der Schaltanlage aus betätigt wird. Das Synchronisieren und Parallelschalten der Synchronmaschine vollzieht sich in üblicher Weise von Hand oder durch eine selbsttätige Parallelschaltvorrichtung, sofern eine solche bereits vorhanden ist. Durch eine Verriegelung der Schalter wird beim Einlegen des Statorschalters der Mutator selbsttätig von der Statorwicklung getrennt. Der Rotorstrom der Synchronmaschine wird von Anfang an so eingestellt, dass die Statorwicklung bei normaler Drehzahl gerade die Netzspannung erhält, was durch einmaliges Ausprobieren leicht erreicht werden kann. Wenn die Synchronmaschine, wie dies meist der Fall sein wird, normalerweise mit einer direkt gekuppelten Erregermaschine arbeitet, so ist beim Anlassen eine unabhängige Gleichstromquelle nötig. Ist eine solche nicht vorhanden, so gehört zu den Apparaten noch eine kleine Umformergruppe, die gleichzeitig mit dem Netzverteiler 7 angelassen und abgestellt werden kann. Die Leistung dieser Umformergruppe ist etwa 10% derjenigen der normalen Erregermaschine.

Da im Gegensatz zu anderen Anlassverfahren bei der hier beschriebenen Anordnung keine Energie unnütz vernichtet wird, ist die vom Netz aufzunehmende Leistung äusserst gering. Dadurch ergeben sich kleine Abmessungen der Apparate. Die ganze Vorrichtung, die, wie bereits erwähnt, zum Anlassen einer beliebigen Anzahl von Maschinen verwendet werden kann, lässt sich bequem in einem Nebenraum oder in der Schaltanlage unterbringen. Die Bedienung kann, wenn erwünscht, von der Hauptschaltanlage aus erfolgen, ebenso das Umschalten auf die verschiedenen Maschinen. An den Maschinen selbst sind keine Änderungen vorzunehmen ausser der Befestigung des Motorverters, eines ganz kleinen Apparates, der mit Leichtigkeit an der direkt gekuppelten Erregermaschine angebracht werden kann. Nach erfolgtem Synchronisieren können die Kontaktbürsten des Verters abgehoben werden, wodurch ein unnützer Verschleiss dieser Bürsten vermieden wird.

Im Schaltbild (Abb. 2) ist die Anwurfvorrichtung an das Netz der anzuwerfenden Synchronmaschine angeschlossen. Es mag aber für einzelne Fälle der Praxis interessieren, dass die Anwurfenergie auch einem andern Netz entnommen werden kann, dessen Spannung und Frequenz nicht mit demjenigen der anzuwerfenden Maschine übereinstimmen müssen.

Das Anwerfen von Synchronmaschinen in der beschriebenen Weise stellt eine Anwendung des ventilgesteuerten Motors dar, eine Erfindung, welche der A.-G. Brown, Boveri & Cie. durch das Deutsche Patent Nr. 501402 geschützt wurde. Auch in den andern wichtigen Staaten ist diese Erfindung patentiert.

(MS 990)

H. Keller.

KLEINE MITTEILUNGEN

Selbsttätige Notstrom-Diesel-Aggregate.

Dezimalindex 621.311.18.

Es gibt öffentliche und private Betriebe, die genötigt sind, sich gegen Störungen der Stromversorgung zu schützen und zwar auch dann, wenn diese Störungen verhältnismässig selten vorkommen. Dabei handelt es sich in erster Linie um Bahnhöfe, Post- und Telegraphengebäude, Theater, Lichtspielhäuser, Banken, Warenhäuser, Versammlungsräume, Fabrikbetriebe, Kraftwerke und Spitäler. Für alle diese Betriebe kann eine auch nur kurzzeitige Stromunterbrechung schwere Nachteile zur Folge haben, weshalb verantwortungsvollen Behörden und Geschäftsleitern die Prüfung der Frage der Notstromversorgung mit Nachdruck zu empfehlen ist.

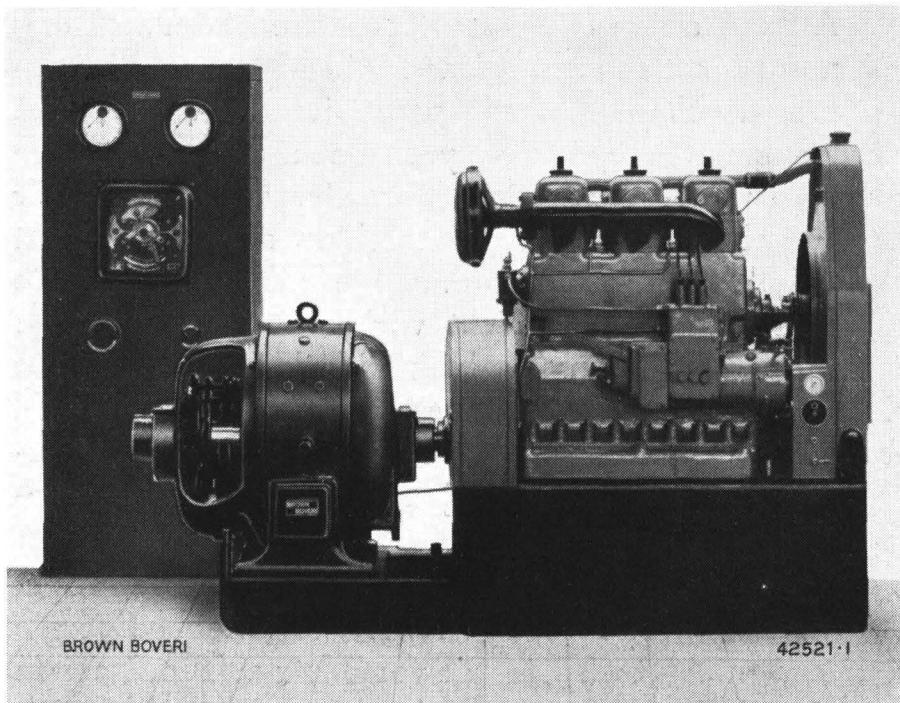


Abb. 1. — Diesel-elektrisches Notstromaggregat mit Schaltschrank.

Es zeigt sich, dass die früher häufig als Notstrom-Hilfsstromquellen verwendeten Akkumulatorenbatterien nach und nach durch diesel-elektrische Notstromgruppen verdrängt werden. Die Hauptvorteile der letzteren sind ihre geringen Anschaffungskosten, der kleine Raumbedarf, der günstige Wirkungsgrad und die sich stets gleichbleibende Leistungsfähigkeit auch bei längerer Betriebsdauer; ein besonderer Vorteil besteht darin, dass mit dem diesel-elektrischen Notstrom-Aggregat nicht nur Gleichstrom, sondern ohne weiteres auch Dreiphasenstrom erzeugt werden kann, sodass im Störfalle die gleiche Stromart zur Verfügung steht, wie dies beim Normalbetrieb der Fall ist. Diesel-elektrische Notstromgruppen können ohne weiteres in Kellerräumen untergebracht werden. Irgendwelche Feuergefahr besteht nicht, da Öl im Gegensatz zu Benzin nicht explosionsgefährlich ist.

Vorbedingung dieser Entwicklung von der Batterie zum diesel-elektrischen Notstromaggregat war die Möglichkeit, raschlaufende Dieselmotoren zu bauen sowie die Automatisierung des Anlauf- und Abstellprozesses. Unmittelbar nach Ausbleiben der Netzspannung muss das Hilfsaggregat selbsttätig anlaufen. Die zur Verwendung gelangende Anlaufapparatur weist in ihrem Aufbau grosse Mannigfaltigkeit auf und ändert sich je nach Fabrikat und Leistung des Dieselmotors. Die Ausbildung der Anlaufapparatur hängt davon ab, ob die Dieselmachine mit Hilfe eines Anlassmotors oder durch Druckluft angelassen wird, ferner von der Art der Zündhilfsmittel (Verwendung von Glühspiralen oder von selbstzündendem Glimmpapier, das unter dem Einfluss der Kompressionswärme zum Glühen kommt, oder Verzicht auf jegliches Zündhilfsmittel). Verschieden sind auch die Kühlungsverhältnisse der Dieselmotoren sowie die Brennstoffversorgung. Wegen dieser Mannigfaltigkeit in der Konstruktionsart der Dieselmotoren ist es nicht möglich, eine einheitliche Anlaufapparatur im voraus

auszubilden, sondern man ist genötigt, sich den jeweils vorliegenden Verhältnissen anzupassen.

Dagegen sind die Schaltvorgänge, abgesehen von den Anlauf-Nebenfunktionen, einheitlich. Sobald in der Stromversorgung eine Störung auftritt, wird das Verbraucher-Netz zunächst selbsttätig von der Speiseleitung abgeschaltet. Hierauf wird das Notstromaggregat in gleicher Weise angelassen. Sobald die Gruppe ihre richtige Drehzahl erreicht hat und die Generatorspannung mit Hilfe des automatischen Spannungsreglers auf den Normalwert einreguliert ist, wird das Verbrauchernetz selbsttätig auf den Notstromgenerator geschaltet. Nach erfolgter Behebung der Störung wird die Verbraucherleitung selbsttätig wieder auf das Netz umgeschaltet und hierauf das Notstromaggregat selbsttätig stillgesetzt. Die Betriebsbereitschaft des Notstromaggregates kann in regelmässigen Abständen mit Hilfe einer einfachen Umschaltvorrichtung nachgeprüft werden. Brennstoff- oder Kühlwassermangel werden rechtzeitig durch ein Alarmsignal bekanntgegeben.

Brown Boveri ist in der Lage, die für jeden vorkommenden Fall am besten geeignete Automatikapparatur zusammenzustellen, unter Verwendung von Apparaten, die sich in den zahlreichen bedienungslosen Zentralen, die Brown Boveri bereits ausgeführt hat, bestens bewährt haben.

(MS 985)

W. Kissling.

Betriebsicherheit von Brown Boveri-Material.

Dezimalindex 6(009.2):621.313.3.

Die Manifattura Festi Rasini, Spinnerei und Webereibetriebe, Mailand, hat in ihren Kraftwerken Pirapola und Gropino der Anlage Villa d'Ogna in Valle Seriana (Bergamo) drei Brown Boveri-Generatoren, die in den Jahren 1899 und 1903 geliefert wurden und seither sozusagen in ununterbrochenem Betrieb stehen. Es handelt sich um

Dreiphasen-Wechselstrom-Generatoren der bewährten

Type

WA 7/20, je von 235 kVA,

3150 V,

43,5 A,

300 U/min,

50 Per/s in

zweilagiger

Ausführung,

mit horizontaler

Welle und

angebauter

Erregermaschine. Sie

werden

durch Wasserturbinen

entsprechender

Leistung

angetrieben. Die beige-

gebene Ab-

bildung zeigt

eine der drei

Maschinen.

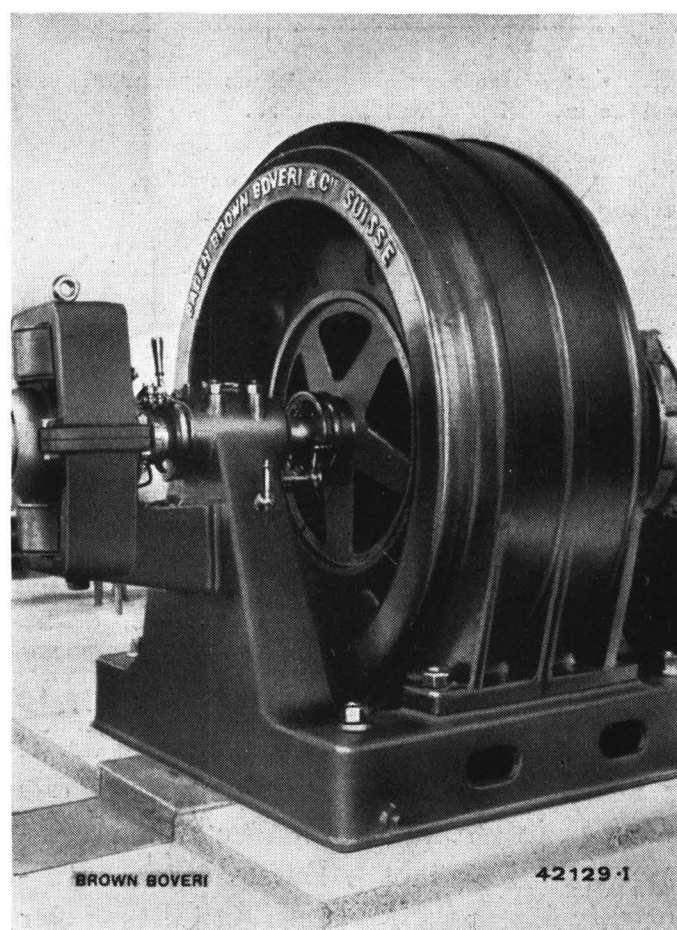


Abb. 1. — Dreiphasen-Wechselstrom-Generator, 235 kVA, 3150 V, 43,5 A, 300 U/min, 50 Per/s, aus dem Jahre 1899.

Ferner laufen in dieser Anlage noch 14 Brown Boveri-Motoren mit einer Gesamtleistung von etwa 600 kW, die alle noch vor dem Jahre 1905 geliefert wurden, also bereits über 30 Jahre Dienst tun, unter hoher Belastung und ohne bemerkenswerte Reparaturen in allen diesen Jahren benötigt zu haben.

(MS 949)

Prop.