Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 35 (1944)

Heft: 7

Artikel: Eine neue automatische Parallelschalteinrichtung : der Ultrarapid-Synchronisator

Autor: Gantenbein, A. / Jäckle, J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1061560

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: 04.02.2026

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

und feuchtigkeitsdicht sind, und einer Gleichstrom-Prüfspannung von 7 kV während 1 min genügen [3]). Anderseits ist anzunehmen, dass das Filter die Fahrzeuginstallation gegenüber Wanderwellen schützen kann.

Die mit dem beschriebenen Filter erzielten Ergebnisse sind aus Fig. 14 und 15 ersichtlich; sein Gesamtgewicht beträgt ca. 20 kg. Würde unter ungünstigen Umständen, z. B. in den eigentlichen Gebirgszonen, ein noch weitergehender Schutz erwünscht, so ist es dann zweckmässig, die Schutzwirkung auf einen bestimmten Sender zu konzentrieren. Hierzu wird die Doppeldrosselspule durch zwei einzelne Luftdrosselspulen ersetzt, die mitsamt dem Stromabnehmerpaar längs und quer auf den bevorzugten Sender abgestimmt werden. Zudem bestehen nach wie vor und ganz allgemein die bekannten empfangsseitigen Schutzmöglichkeiten.

Zum Schluss möchten die Verfasser noch besonders der *Trolleybusbetriebe* in *Bern, Winterthur* und *Zürich* gedenken, deren zuvorkommende Mitarbeit an den vorliegenden Ergebnissen wesentlich beteiligt ist.

[3]) Vgl. auch: British Standard Specification for radio-interference suppression for trolley-buses and tramways. Nr. 827, 1939.

Eine neue automatische Parallelschalteinrichtung: Der Ultrarapid-Synchronisator

Von *A. Gantenbein* und *J. Jäckle*, Zürich-Oerlikon

621.316.729

Die Autoren untersuchen, welchen Bedingungen ein rasches Parallelschalten von zwei Netzen unterworfen ist, und zeigen, dass es gelingt, mit einer relativ grossen Frequenzdifferenz zu schalten. Dies ist nur möglich, wenn der Einschaltbefehl früh genug und mit einer solchen Präzision gegeben wird, dass die Schaltung innert der sehr kurzen Zeit der Phasenübereinstimmung erfolgt. Es wird dann die von den Autoren neu entwickelte automatische Parallelschalteinrichtung beschrieben, die durch Einfachheit und weitgehende Anpassung an die Forderungen des Betriebes gekennzeichnet ist. Oszillogramme, die bei verschiedenen Betriebsbedingungen aufgenommen wurden, zeugen von der ausserordentlichen Genauigkeit dieser Apparatur.

Les auteurs étudient d'abord les conditions qu'impliquent la synchronisation et la mise en parallèle rapides de deux réseaux, et concluent qu'il est possible d'effectuer le couplage avec une différence de fréquence relativement grande, à condition que l'ordre d'enclenchement soit donné avec une avance et une précision telles, que la fermeture du disjoncteur s'effectue exactement dans le très court instant de la concordance des phases. Les auteurs décrivent ensuite le nouvel appareil automatique qu'ils ont créé, et dont la simplicité et les possibilités d'adaptation aur exigences de l'exploitation sont remarquables. Les oscillogrammes relevés dans des conditions les plus variables témoignent de l'extrême précision de ce dispositif.

I. Allgemeines

Das Bestreben eines jeden Betriebsleiters geht wohl dahin, Fehlbedienungen oder Fehlschaltungen in elektrischen Anlagen nach Möglichkeit auszuschalten. Er ist daher besonders darauf bedacht, Schalthandlungen, bei denen Fehler eine besondere Gefahr bedeuten, so zu verriegeln und so zu überwachen oder sie automatisch, zwangsläufig so vornehmen zu lassen, dass die Möglichkeit einer Fehlbedienung vermieden wird. Nun ist gerade das Parallelschalten ein Vorgang, der bei groben Fehlschaltungen zu recht ernsten Folgen führen kann und die Maschine wesentlich stärker gefährdet als sogar ein direkter Kurzschluss an den Generatorklemmen. Auch für den Kupplungsschalter können unzulässige Beanspruchungen entstehen.

Die Beobachtungen in den Betrieben zeigen, dass die meisten Parallelschaltungen vom Schaltwärter von Hand ausgeführt werden. Allgemein herrscht die Meinung vor, dass der geübte Schaltwärter die Parallelschaltung rascher und besser macht als eine automatische Parallelschalteinrichtung. Auch lässt eine solche bei Störung eine rasche Schaltung gar nicht in der nötig kurzen Zeit zu. Es muss also den alten selbsttätigen Einrichtungen ein prinzipieller Fehler anhaften, der bei Parallelschaltung von Hand vom Schaltwärter vermieden werden kann. Wohl ist bekannt, dass der Einschaltbefehl um die Eigenzeit des Schalters vor der Phasenübereinstimmung der Spannungsvektoren gegeben werden muss, um ein Schliessen der Kontakte des Kupplungsschalters bei Phasenübereinstimmung zu erhalten. Diese Vorgabe ist aber je nach der Frequenzdifferenz der beiden Netze oder Maschinen, als Winkel zwischen den beiden Spannungsvektoren ausgedrückt, verschieden gross. Der geübte Schaltwärter hat nun je nach der Drehgeschwindigkeit des Synchronoskopes diesen Vorgabewinkel vergrössert oder verkleinert und daher gegenüber den bisher gebräuchlichen Parallelschalteinrichtungen oft rascher mit Erfolg parallelgeschaltet.

Das Wesentliche bei dem neu entwickelten Parallelschaltapparat besteht nun gerade darin, dass dieser Vorgabewinkel durch eine einfache, robuste Einrichtung entsprechend der Frequenzdifferenz und der Eigenzeit des Schalters streng richtig erfasst und der Schaltbefehl so gegeben wird, dass die Schliessung der Kontakte stets bei Phasenübereinstimmung erfolgt. Es werden dadurch Parallelschaltungen bei Frequenzdifferenzen möglich, die selbst der geübteste Schaltwärter für ausgeschlossen hält. Für das Zuschalten von Maschinen sind Schaltungen mit einer Frequenzdifferenz bis 2 %, d. h. mit Schwebungsdauern bis 1 Sekunde noch ohne weiteres zulässig. Man kann sich am besten ein Bild über die Grösse einer Frequenzdifferenz von 2 % machen, wenn man bedenkt, dass der Zeiger des Synchronoskopes dann eine Umdrehung in 1 Sekunde ausführt. Bei Störungen, d. h. dann, wenn ein Zeitverlust auf alle Fälle vermieden werden soll, kommt der grosse Wert der neuen Paral-

lelschalteinrichtung voll zur Geltung. Ausserordentlich wichtig ist deren Anwendung in *Unterwerken*, wo man die Maschinen der zusammenzuschaltenden Netze nicht beeinflussen kann.

Für das Parallelschalten von zwei Wechselstromnetzen sind bekanntlich drei Forderungen zu erfüllen:

1. Phasengleichheit,
d. h. die Spannungsvektoren der beiden Netze sollen sich im Moment der Kontaktschliessung des Kupplungsschalters decken.

2. Frequenzgleichheit
Die Frequenzdifferenz der beiden Netze darf einen bestimmten Wert nicht überschreiten, da sonst der Leistungsstoss für das Beschleunigen, bzw. Verzögern der rotierenden Schwungmassen der parallel geschalteten Maschinen zu gross wird.

3. Spannungsgleichheit
Ein Parallelschalten bei zu grossen Spannungsdifferenzen muss vermieden werden, da sonst zu grosse Blind-Ausgleichströme enstehen.

Betrachten wir nun diese drei Forderungen etwas näher. Dabei sei für die Untersuchungen jeder der einzelnen Bedingungen stets vorausgesetzt, dass ein Generator mit einem sehr starken Netz parallelgeschaltet werde, und dass die beiden andern Bedingungen ideal erfüllt werden.

1. Phasengleichheit

Stimmen Frequenz und Spannung überein, nicht aber die Phasenlage, so entsteht zwischen den beiden Netzen, wie das aus Fig. 1 zu ersehen ist, bei

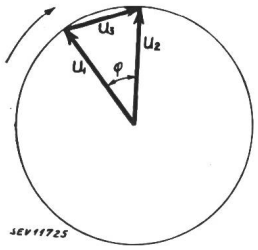

Fig. 1.
Spannungsvektoren der beiden parallelzuschaltenden Netze mit dem Phasenwinkel φ

einem Phasenwinkel φ eine Differenzspannung U_3 von der Grösse $U_3 = 2 \cdot U_1 \cdot \sin \frac{\varphi}{2}$. Dabei ist vorausgesetzt, dass $U_1 = U_2$ ist.

Diese Spannung U_3 verursacht nun einen Ausgleichstrom, der mit dem Phasenwinkel φ praktisch linear zunimmt. Das jeweilige Strommaximum

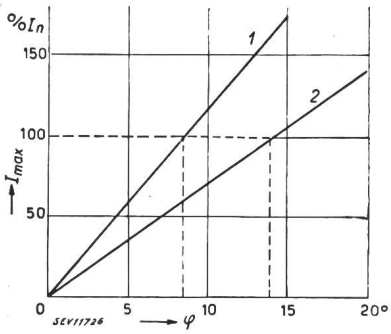

Fig. 2.
Maximaler Ausgleichstrom in % von I_n in Funktion des Fehlwinkels φ
1 Turbogeneratoren
2 normale Generatoren

tritt sofort nach dem Parallelschalten auf und nimmt dann mit dem Winkel φ wieder ab.

In Fig. 2 sind diese maximal auftretenden Ausgleichsströme in % des Nennstromes des Generators für Turbo- und Normalgeneratoren aufgetragen. Daraus ersieht man, dass der Winkel φ je nach Art der Maschine höchstens 7°...14° betragen darf, damit die Grösse des Nennstromes nicht überschritten wird. Wir müssen also verlangen, dass der Phasenwinkel φ, d. h. der Fehlwinkel einer guten Parallelschalteinrichtung die genannten Werte nicht überschreitet.

2. Frequenzgleichheit

Falls Phasenlage und Spannungen übereinstimmen, die Frequenzen aber verschieden sind, rührt der entstehende Ausgleichstrom von der Beschleunigung, bzw. von der Verzögerung der Schwungmassen her. Im ersten Moment der Parallelschaltung ist dieser Strom null. Er steigt dann entsprechend dem Phasenwinkel zwischen Maschine und

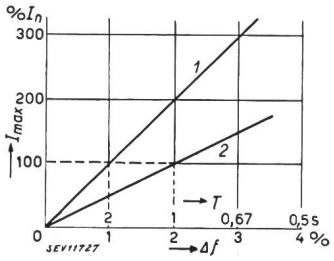

Fig. 3.
Maximaler Ausgleichstrom I_{max} in % von I_n in Funktion der Schwebungsdauer T oder der Frequenzdifferenz Δf
1 kleine Turbogeneratoren
2 normale Generatoren

Netz auf einen Maximalwert an, bis die Schwungmassen beschleunigt, bzw. verzögert sind. Die Zeit dieses Vorganges beträgt ca. 0,15...0,3 s. Fig. 3 gibt den gerechneten maximalen Ausgleichstrom in Abhängigkeit der Frequenzdifferenz in % des Nennstromes für verschiedene Arten von Maschinen wieder.

Ausser dem bereits erwähnten Ausgleichstrom tritt noch ein Magnetisierungsstrom schon im ersten Moment des Parallelschaltens auf. Er ist aber klein und damit bedeutungslos.

Die maximal zulässigen Frequenzdifferenzen, bei denen noch mit Erfolg Parallelschaltungen vorgenommen werden dürfen, betragen ca. 1...2 % und liegen damit wesentlich höher als bis jetzt angenommen wurde. Die Möglichkeit des Parallelschaltens mit verhältnismässig grosser Frequenzdifferenz ist besonders für die Kupplung von Netzen in Unterwerken, in welchen keine Maschinen aufgestellt sind und daher eine unmittelbare Beeinflussung der Frequenzen nicht besteht, von besonderer Bedeutung. Wenn z. B. ein Netz mit 50 Hz und das andere mit 49,5 oder 50,5 Hz betrieben wird, kann die Parallelschaltung vorgenommen werden. Bei Störungen, wo Maschinen sehr rasch auf das Netz geschaltet werden müssen, oder bei Maschinen, die zufolge Drehzahlschwankungen bisher nur schwer parallelzuschalten waren (Antrieb durch Verbrennungskraftmaschinen) ist die Zulassung grosser Frequenzdifferenzen ausserordentlich wertvoll.

3. Spannungsgleichheit

Stimmen Phasenlage und Frequenzen überein, nicht aber die Spannungen, so treten beim Parallelschalten nur Blind-Ausgleichströme auf. In Fig. 4 sind die Maximalwerte der Ströme in Abhängigkeit

der Spannungsdifferenz in % des Nennstromes wiedergegeben. Für einen Ausgleichstrom von der Grösse des Nennstromes des Generators sind also ca. 10 % Spannungsdifferenz zulässig.

Treten Phasenwinkelfehler, Frequenz- und Spannungsdifferenz gleichzeitig auf, so sind die einzelnen Ausgleichströme geometrisch zu addieren. Der

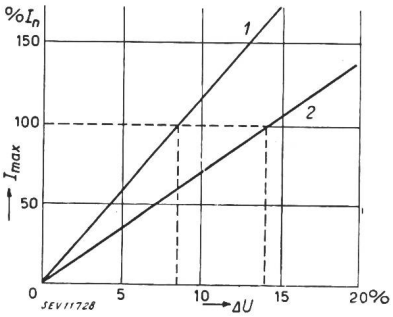

Fig. 4
Maximaler Ausgleichstrom I_{max} in % von I_n in Funktion der Spannungsdifferenz ΔU
1 Turbogeneratoren
2 normale Generatoren

resultierende Ausgleichstrom ist also immer kleiner als die Summe der 3 Teilströme. Man erkennt auch, dass von den drei Forderungen die Phasengleichheit die ausschlaggebende Rolle spielt, während die Spannungsgleichheit von untergeordneter Bedeutung ist.

Für das Parallelschalten von zwei starken Netzen werden die Verhältnisse ungünstiger; diesbezügliche Versuche werden in nächster Zeit durchgeführt.

Damit die Kontaktberührung des Kupplungsschalters gerade bei Phasenübereinstimmung erfolgt, muss der Einschaltbefehl an den Schalter um einen Winkel φ_0 vor der Phasenübereinstimmung gegeben werden. Zum Vergleich sei nun für verschiedene Schaltereigenzeiten und für verschiedene Frequenzdifferenzen dieser nötige Vorgabewinkel φ_0 ausgerechnet (Fig. 1).

Bezeichnen wir mit

t_0 die Eigenzeit des Kupplungsschalters in Sekunden,

$\Delta f = f_1 - f_2$ die Frequenzdifferenz in Hz,

φ_0^0 den Vorgabewinkel in Grad,

$T = \frac{1}{\Delta f}$ = Schwebungsdauer in Sekunden,

so wird:

$$\varphi_0^0 = 360 \cdot \Delta f \cdot t_0 = 360 \cdot \frac{t_0}{T}$$

d. h. der Vorgabewinkel φ_0 muss direkt proportional mit der Frequenzdifferenz und der Schaltereigenzeit ändern, damit die Parallelschaltung bei Phasenübereinstimmung erfolgt.

Tabelle I gibt für 50 Hz ein anschauliches Bild dieser Verhältnisse. Es ist darin die Frequenzdifferenz Δf in Hz, wie auch als Frequenzdifferenz $\frac{\Delta f}{f}$ in %, und als Schwebungsdauer $T = \frac{1}{\Delta f}$ ausgedrückt. Die Schwebungsdauer T entspricht der Zeit einer Umdrehung des Synchronoskopzeigers oder, bei den früher viel verwendeten Phasenlampen, der Zeit zwischen dem Dunkel-, Hell- und wieder Dunkelwerden der Lampen.

Vorgabewinkel φ_0^0 für verschiedene Schaltereigenzeiten t_0 in Funktion der Frequenzdifferenz

Tabelle I.

Schaltereigenzeit t_0 s	$\Delta f = 1{,}0$ Hz, $\frac{\Delta f}{f} = 2\%$, $T = 1$ s	$\Delta f = 0{,}5$ Hz, $\frac{\Delta f}{f} = 1\%$, $T = 2$ s	$\Delta f = 0{,}25$ Hz, $\frac{\Delta f}{f} = 0{,}5\%$, $T = 4$ s	$\Delta f = 0{,}12$ Hz, $\frac{\Delta f}{f} = 0{,}25\%$, $T = 8$ s	$\Delta f = 0{,}05$ Hz, $\frac{\Delta f}{f} = 0{,}1\%$, $T = 20$ s	$\Delta f = 0{,}025$ Hz, $\frac{\Delta f}{f} = 0{,}05\%$, $T = 40$ s
0,10	36°	18°	9,0°	4,5°	1,8°	0,9°
0,15	54°	27°	13,5°	6,7°	2,7°	1,3°
0,20	72°	36°	18,0°	9,0°	3,6°	1,8°
0,30	108°	54°	27,0°	13,5°	5,4°	2,7°
0,40	144°	72°	36,0°	18,0°	7,2°	3,6°
0,50	180°	90°	45,0°	22,5°	9,0°	4,5°
0,60	216°	108°	54,0°	27,0°	10,8°	5,4°

Aus Tabelle I wird nun klar, dass bei den üblichen Parallelschalteinrichtungen, bei denen die Schaltereigenzeit und die herrschende Frequenzdifferenz nicht berücksichtigt wird, nur sehr kleine Frequenzdifferenzen zulässig sind, damit noch eine einigermassen genaue Parallelschaltung mit höchstens ca. 10° Fehlwinkel erzielt werden kann. Daher rührt auch die von den Betriebsleitern mit Recht erhobene Klage gegen diese Einrichtungen, dass sie viel zu spät schalten, d. h. dass sie für die Parallelschaltung zu viel Zeit beanspruchen. Wollte man aber Schaltungen bei grösserer Frequenzdifferenz zulassen, so müsste man auch je nach der gerade herrschenden Frequenzdifferenz eventuell schlechte Parallelschaltungen in Kauf nehmen. Auch unter der Annahme, dass am Parallelschaltapparat die Eigenzeit des Schalters berücksichtigt werden kann, sind besonders bei grossen Schaltereigenzeiten nur sehr kleine Frequenzdifferenzen zulässig, damit der Fehlwinkel φ nicht grösser als ca. 10° sein wird. Eine Parallelschalteinrichtung, die den Erfordernissen des Betriebes entspricht, muss also die gerade herrschende Frequenzdifferenz und die Schaltereigenzeit erfassen, und den Vorgabewinkel φ_0 automatisch entsprechend diesen Grössen einstellen.

Es sind bereits Lösungen bekannt, die Phasenlage und Frequenzdifferenz mittels Gleichrichter, Kondensatoren, empfindlichen Relais, Frequenzvergleichsgruppen usw. richtig erfassen. Der Umfang dieser Apparatur ist aber derart gross und unübersichtlich, dass es selbst für einen Fachmann schwierig ist, den ganzen Parallelschaltvorgang während dem Arbeiten des Apparates zu verfolgen.

II. Der Ultrarapid-Synchronisator

Unsere neue Lösung ist sehr leicht verständlich und übersichtlich. Sie gestattet, den Synchronisiervorgang in jedem Moment leicht zu verfolgen, da sie in ihrer Wirkungsweise im Prinzip gleich arbeitet wie der Schaltwärter bei Handschaltung. Die Funktionsweise der einzelnen Apparateteile ist nach einfachen theoretischen Grundlagen aufgebaut, und es entsprechen diese Funktionen allen theoretischen Ansprüchen, ohne dass irgendeine Annäherung eingeführt werden muss. Dies geht z. B. daraus her-

vor, dass es möglich ist, mit dieser Parallelschalteinrichtung mit einer Frequenzdifferenz bis zu 2 % oder einer Schwebungsdauer von 1 Sekunde noch bei Schaltereigenzeiten von 0,5 s richtige Parallelschaltungen zu erhalten. Was das heisst, erkennt man am besten, wenn man bedenkt, dass der Vorgabewinkel dann 180° beträgt, d. h. dass der Einschaltbefehl an den Schalter gerade bei Phasenopposition gegeben werden muss.

Der Ultrarapid-Synchronisator besteht aus 3 Hauptteilen:

a) dem *Synchronoskop* zur Messung der Phasenlage,
b) der *Frequenzdifferenzmesseinrichtung* zur Feststellung der gerade herrschenden Frequenzdifferenz,
c) der *Frequenzabgleicheinrichtung*, mit welcher die beiden Netze rasch in Uebereinstimmung gebracht werden.

Der Aufbau und die Wirkungsweise lässt sich am besten an Hand der Fig. 5 erläutern.

Das phasenmessende Organ ist ein neu entwickeltes *Synchronoskop 30*, das wie ein zweipoliger doppelt gespeister Motor gebaut ist. Der Stator dieses Motors wird von dem einen und der Rotor von

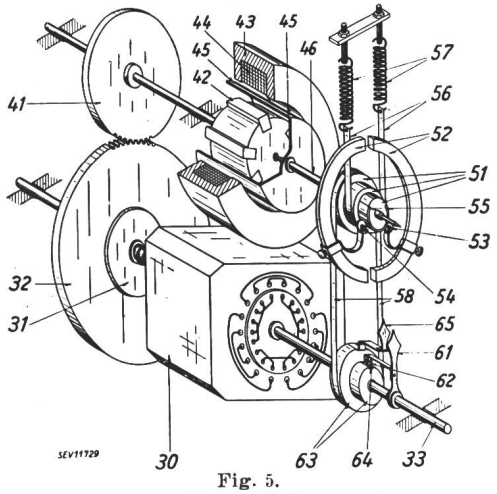

Fig. 5.
Prinzip des Ultrarapid-Synchronisators

30 Synchronoskop
31 mechanische Rutschkupplung
32, 41 Zahnräder
33 Synchronoskopwelle
40 elektromagnetische Schlupfkupplung
42 Polrad
43 U-förmiger Eisenring
44 Erregerwicklung
45 Aluminiumtrommel
46 Welle
51 Spannrollenwalze
52 Verstellring für verriegelungs-Kontakte
53, 54, 55 Kontakte
56, 58 Stahlbändchen
57 Zugfedern
61 Phasenlage-Zeiger
62 Kontaktrolle
63 Mitnehmerrolle
64 Kontakt
65 Frequenzdifferenz-Zeiger

dem andern der beiden parallelzuschaltenden Netze gespeist. Die beiden entstehenden magnetischen Felder suchen sich zu decken. Bei Phasenübereinstimmung zeigt der Zeiger *61*, der mit der Welle 33 fest verbunden ist, wie an einem gewöhnlichen Zeigersynchronoskop genau nach oben, bei Phasenopposition nach unten. Die Drehrichtung gibt an, welche der beiden Frequenzen grösser ist, d. h. ob der zuzuschaltende Generator zu langsam oder zu schnell läuft. Die Drehgeschwindigkeit der Welle *33* ist direkt ein Mass für die Frequenzdifferenz. Bei stillstehender Welle ist auch die Frequenzdifferenz gleich null.

Als *Frequenzdifferenzmesseinrichtung* wird eine elektromagnetische Schlupfkupplung *40* verwendet. Sie hat sich schon seit einigen Jahren als Dämpfungseinrichtung bei Reglern als vollkommen betriebssicher erwiesen. Diese Schlupfkupplung beruht auf dem Prinzip der elektromagnetischen Wirbelstrombremse und besteht aus einem U-förmigen Eisenring *43*, in dem sich die Erregerwicklung *44* befindet. Im Luftspalt zwischen dem U-förmigen Eisenring *43* und dem Polrad *42*, das selbst aus nichtmagnetischem Material besteht, sondern nur magnetische Polschuhe trägt, befindet sich die Aluminiumtrommel *45*. Das Polrad *42* ist starr mit dem Zahnrad *41* gekuppelt. Dieses wird wiederum über das Zahnrad *32* von der Synchronoskopwelle *33* angetrieben. Zwischen der Welle *33* und dem Rad *32* befindet sich eine mechanische Rutschkupplung *31*. Auf der Welle *46* ist ausser der Aluminiumtrommel *45* noch eine Spannrolle *51* starr befestigt. An dieser Spannrolle greifen die beiden dünnen Stahlbändchen *56* an, die über zwei gewöhnliche Zugfedern *57* direkt fest aufgehängt sind. Die Wirkungsweise ist nun kurz folgende:

Bei Erregung der Wicklung *44* mit Gleichstrom entsteht im Luftspalt und in der Aluminiumtrommel unter jedem der 6 Polschuhe ein magnetisches Feld. Dreht nun das Synchronoskop über die beiden Zahnräder *32* und *41* das Polrad *42*, so werden diese magnetischen Felder mit den Polschuhen ebenfalls gedreht. In der Aluminiumtrommel entstehen Wirbelströme, und diese suchen die Trommel in der gleichen Richtung wie das Polrad mitzudrehen. Einer solchen Drehung wirken aber die beiden Federn *57*, die über die Stahlbändchen *56* ein mechanisches Drehmoment ausüben, entgegen. Der Verlauf dieses mechanischen Drehmomentes in Abhängigkeit der Verdrehung der Spannrolle *51* ergibt eine Gerade, die, je nach der Charakteristik der Federn *57*, verschieden stark geneigt ist. Die vom Polrad auf die Aluminiumtrommel übertragene Kraft ist nun bei konstanter Erregung der Wicklung *44* ebenfalls direkt proportional der Drehgeschwindigkeit der Welle *33*. Nach einem bestimmten zurückgelegten Drehwinkel der Trommel halten sich die beiden auf mechanischem und elektrischem Weg erzeugten Drehmomente das Gleichgewicht. Dieser Drehwinkel ist daher direkt ein Mass für die Drehgeschwindigkeit der Welle *33*, bzw. für die Frequenzdifferenz. Mit der Spannrolle *51* ist nun über die beiden Stahlbändchen *58* die Mitnehmerrolle *63* direkt verbunden. Diese Mitnehmerrolle *63* ist auf der Synchronoskopwelle *33* frei drehbar gelagert. An ihr befindet sich der Zeiger *65*. Wir erkennen nun sofort, dass dieser Zeiger *65* direkt die jeweils herrschende Frequenzdifferenz anzeigt. Bei Frequenzdifferenz 0 schaut der Zeiger direkt nach oben und wird, je nachdem, ob der Generator über- oder untersynchron läuft, im Uhr- oder Gegenuhrzeigersinn bewegt. Auf der Mitnehmerrolle *63* ist nun weiter ein Kontakt *64* angebracht, der bei Uebereinstimmung der beiden Zei-

ger *61* und *65* Kontaktschluss mit der Kontaktrolle *62* herstellt. Bewegt sich der Synchronoskopzeiger *61* z. B. im Uhrzeigersinn, so kommt der Frequenzdifferenzzeiger *65* im Gegenuhrzeigersinn in Bewegung. Die Deckung der beiden Zeiger, bzw. der Kontaktschluss erfolgt also stets der gerade herrschenden Frequenzdifferenz entsprechend vor der Phasenübereinstimmung der beiden Spannungsvektoren. Man erkennt daraus bereits den grossen Vorteil, dass der Vorgabewinkel von aussen direkt sichtbar und unmittelbar ablesbar ist.

Damit nun aber die Parallelschaltung nur bei Unterschreitung einer bestimmten max. zulässigen Frequenzdifferenz erfolgt, sind an der Spannrollenwalze *51* drei weitere Kontakte *53*, *54* und *55* angebracht. Diese Kontakte sind mit den Kontakten *62* und *64* in Serie geschaltet. Die prinzipielle Schaltung geht aus Fig. 6 hervor. Sobald sämtliche Kontakte *53/55*, *55/54*, *62/64* geschlossen sind, erfolgt der Einschaltbefehl an den Kupplungsschalter. Der Grund der Serieschaltung von zwei Kontakten *53/55*, *55/54* liegt darin, dass es dadurch möglich wird, durch blosses Verschieben der Kontakte die Parallelschaltung bei über- oder untersynchroner Drehzahl bei verschieden grosser Frequenzdifferenz vornehmen zu lassen. Es lässt sich z. B. dadurch auch leicht erreichen, dass eine Parallelschaltung nur dann erfolgt, wenn der zuzu-

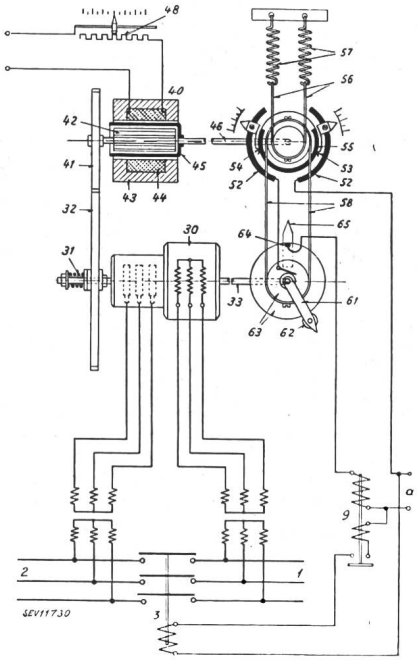

Fig. 6.
Schaltung des Ultrarapid-Synchronisators
Legende: siehe Fig. 5.

schaltende Generator schneller läuft als das Netz, d. h. dass er nach erfolgter Parallelschaltung sofort Leistung an das Netz abgibt. Trotz diesen grossen Anpassungsmöglichkeiten an die vielen Betriebsbedingungen ist die äusserst einfache und übersichtliche Schaltung beachtlich.

Die zur Speisung der Schlupfkupplung vorgesehene Gleichspannung soll möglichst konstant sein. Steht eine solche Gleichstromquelle nicht zur Verfügung, so erfolgt die Speisung über einen kleinen Trockengleichrichter von der konstanten Generatorspannung aus. Diese Parallelschaltung lässt sich auch mit Vorteil für Netze verwenden, in welchen die Spannung in weiten Grenzen variieren kann. Das Synchronoskop ist praktisch spannungsunab-

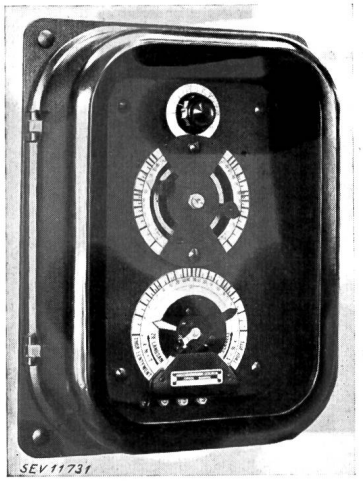

Fig. 7.
Aussenansicht der neu entwickelten Parallelschalteinrichtung

hängig, so dass der Phasenwinkel immer getreu wiedergegeben wird. Die Gleichspannung wird in diesem Fall durch eine spezielle Einrichtung, unabhängig von der sich ändernden Netzspannung, praktisch konstant gehalten.

Der Leistungsverbrauch des Synchronoskopes beträgt für den Dreiphasen-Spannungswandler ca. 180 VA, diejenige der Schlupfkupplung ca. 40 VA. Die Anschlußspannung ist 110 V.

Fig. 7 zeigt die Aussenansicht der neu entwickelten Parallelschalteinrichtung. An der oberen grossen Skala lässt sich die Frequenzdifferenz einstellen, nach deren Unterschreitung die Parallelschaltung sofort vorgenommen wird. Die beiden Zeiger der unteren Skala geben die momentane Phasenlage der beiden Spannungsvektoren, sowie die gerade herrschende Frequenzdifferenz wieder. In der Mitte ganz oben befindet sich der Einstellknopf für die Anpassung des Apparates an die Schaltereigenzeit.

Frequenzabgleicheinrichtung

Zu einer vollautomatischen Parallelschalteinrichtung gehört auch eine automatische Frequenzabgleicheinrichtung. Die Aufgabe dieser Einrichtung besteht darin, die Frequenz der beiden parallelzuschaltenden Maschinen rasch in Uebereinstimmung zu bringen. Im weitern wird damit erreicht, dass, z. B. beim Zuschalten einer Maschine auf ein Netz, diese mit dem günstigsten Beschleunigungsmoment angelassen werden kann. Der Aufbau und die Wirkungsweise dieses Apparates geht aus Fig. 8 hervor.

Die kollektorähnliche Kontaktscheibe *71*, die fest auf der Synchronoskopwelle *33* (Fig. 5) sitzt, hat am Umfang 6 Kontaktsegmente *72*. Auf derselben Kontaktscheibe ist der Kontaktmitnehmerbügel *73* drehbar gelagert, und zwar so, dass er durch Reibung stets mit den Kontaktsegmenten mitdreht, bis

er, je nach der Richtung, an einem der beiden Kontakte *74* oder *75* zum Aufsitzen kommt. Dieser ganze Apparateteil lässt sich, wie bereits erwähnt, bei der normalen Parallelschalteinrichtung vorn auf die Synchronoskopwelle aufschrauben, wie das aus Fig. 7 schon ersichtlich ist.

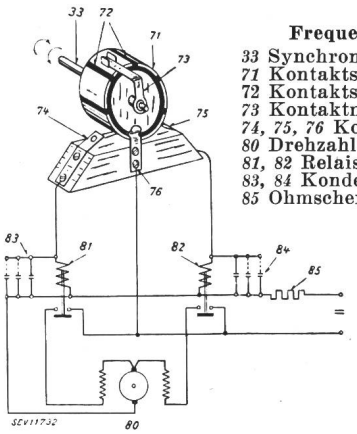

Fig. 8.
Frequenzabgleicheinrichtung
33 Synchronoskopwelle
71 Kontaktscheibe
72 Kontaktsegmente
73 Kontaktmitnehmerbügel
74, 75, 76 Kontakte
80 Drehzahlverstellmotor
81, 82 Relais
83, 84 Kondensatoren
85 Ohmscher Widerstand.

Dreht sich die Synchronoskopwelle *33* im Gegenuhrzeigersinn, so werden über den Kontakt *76*, den Kontaktmitnehmerbügel *73*, die Kontaktsegmente *72*, den Kontakt *74*, auf das Relais *81* Stromimpulse gegeben. Das Relais *81* ist ein mit den Kondensatoren *83* einstellbares, auf Abfall verzögertes Relais. Folgen sich die Impulse rasch, dann bleiben seine Kontakte dauernd geschlossen, weil die Impulsfolge rascher ist als die Zeit bis zum Abfallen des Relais *81*. Der Drehzahlverstellmotor *80* steuert die Turbine in Richtung «Schliessen». Nähern sich die Frequenzen von Maschine und Netz, dann wird die Anzahl Impulse immer kleiner. Das Zeitrelais *81* fällt für kurze Zeit ab und öffnet seine Kontakte. Der Drehzahlverstellmotor *80* wird dann kurzzeitig unterbrochen und die mittlere Drehzahl entsprechend verkleinert. Man erhält so eine aperiodische Einstellung der Drehzahl der Kraftmaschine. Durch Verändern der Kapazitäten *83* und *84* lässt sich die Zeitverzögerung der Relais *81* und *82* in weiten Grenzen regulieren und den verschiedenen Kraftantriebsmaschinen bequem anpassen. Es handelt sich hier um eine einmalige Einstellung bei der ersten Inbetriebsetzung der Anlage. Dreht sich die Synchronoskopwelle *33* im Uhrzeigersinn, dann erhält das Relais *82* die Impulse und steuert den Drehzahlverstellmotor in Richtung «Turbine öffnen».

Die Frequenzabgleicheinrichtung ist für die Parallelschalteinrichtung nicht unbedingt nötig; sie wird aber sehr zweckmässig sein, wenn auf schnelle Zuschaltung der Maschine Wert gelegt wird.

Die gesamte Schaltung der Parallelschalt- und Frequenzabgleicheinrichtung geht aus Fig. 9 hervor. Ausser dem normalen Synchronisierschalter *5*, der normalen Drehzahlverstellmotorsteuerung von

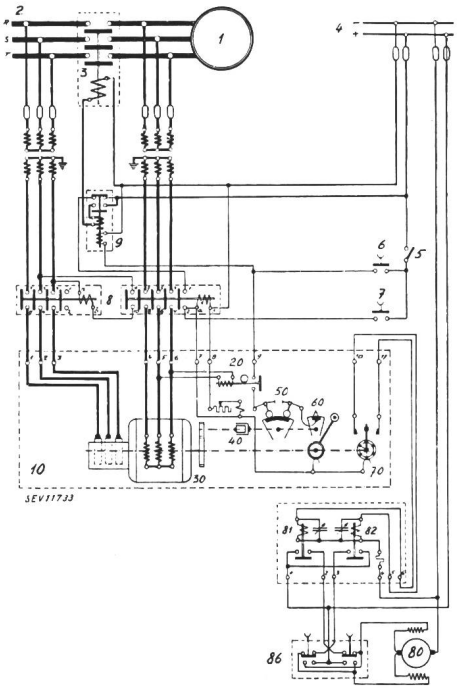

Fig. 9.
Schaltschema des Ultrarapid-Synchronisators
1 Generator
2 Netz
3 Kuppelschalter
4 Hilfsspannung
5 Synchronisierschalter
6 Druckknopf für Hand-Parallelschaltung
7 Druckknopf für automat. Parallelschaltung
8 Einschaltschütze für den Synchronisator
9 Einschaltschütz für den Kuppelschalter
10 Ultrarapid-Synchronisator
20 Verzögerungsrelais
30 Synchronoskopmotor
40 Elektrische Schlupfkupplung
50 Frequenzdifferenz-Einstellung
60 Kontaktgeber für Parallelschaltung
70 Impulsgeber für Frequenzabgleichung
80 Drehzahlverstellmotor
81, 82 Zeitrelais für Frequenzabgleichung
86 Druckknöpfe für Frequenzabgleichung.

Hand mit den Druckknöpfen *86*, dem Einschalthüpfer *9* für den Kupplungsschalter, sei hier noch speziell auf das Zeitrelais *20* hingewiesen. Es hat den Zweck, beim Einschalten der Parallelschalteinrichtung eine Schaltung so lange zu verhindern, bis die ganze Einstellung der Schlupfkupplung vollzogen ist. Es wäre sonst denkbar, dass sich zufällig die Kontakte für die Erteilung des Parallel-

Auswertung der Oszillogramme (Fig. 10...12) Tabelle 11

Nr.	Bezeichnung	Osz. *a*	Osz. *b*	Osz. *c*	Osz. *d*	Osz. *e*	Osz. *f*
1	Schwebungsspannung U_3	—	—	—	—	—	—
2	Einschaltbefehl	—	—	—	—	—	—
3	Schaltereigenzeit t_0	0,5 s	0,5 s	0,1 s	0,1 s	0,1 s	0,8 s
4	Schliessen des Kuppelschalters	—	—	—	—	—	—
5	Ausgleichstrom I	$0{,}1 \cdot I_n$	$0{,}5 \cdot I_n$	$0{,}1 \cdot I_n$	$1{,}4 \cdot I_n$	$2 \cdot I_n$	$0{,}25 \cdot I_n$
6	Schwebungsdauer T	13 s	2 s	20 s	0,75 s	0,48 s	3,3 s
	Frequenzdifferenz $\Delta f/f$	0,15 %	1,0 %	0,1 %	2,7 %	4,2 %	0,6 %

schaltbefehls berühren, so dass eine ungewohnte Schaltung entstehen könnte. Die eingestellte Sperrzeit beträgt ca. 3 Sekunden.

Wie genau die Parallelschalteinrichtung arbeitet, geht aus den Oszillogrammen Fig. 10, 11 und 12 hervor. Fig. 10 gibt zwei Schaltungen mit einer

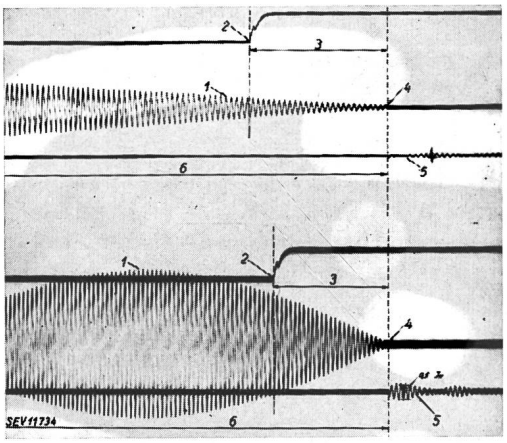

Fig. 10.
Oszillogramme von zwei Schaltungen mit 0,5 s Schaltereigenzeit
(Siehe Tabelle II)

Schaltereigenzeit von 0,5 s und einer Schwebungsdauer von 13, bzw. 2 s. Auf den Oszillogrammen ist die Schwebungsspannung, der Einschaltbefehl des Ultrarapid-Synchronisators an den Kupplungsschalter und der Ausgleichstrom zwischen Maschine und Netz aufgenommen. Fig. 11 zeigt für eine Eigenzeit des Kupplungsschalters von 0,1 s

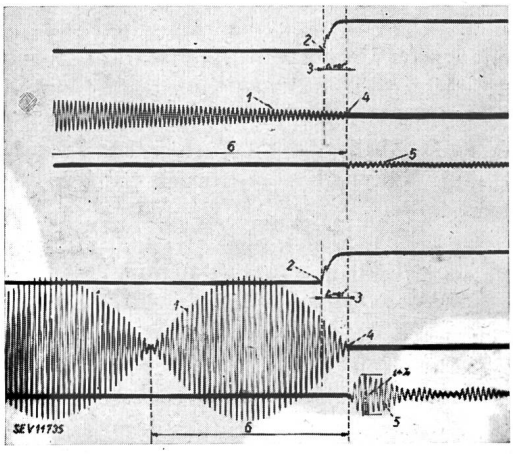

Fig. 11.
Oszillogramme von zwei Schaltungen mit 0,1 s Schaltereigenzeit
(Siehe Tabelle II)

und eine Schwebungsdauer von 20, bzw. 0,75 s dieselben Grössen. Die in Fig. 12 wiedergegebenen zwei Parallelschaltungen stellen mit den Extremwerten einerseits bei der Frequenzdifferenz 4,2 % (Schwebungsdauer 0,48 s) und anderseits bei der Schaltereigenzeit von 0,8 s das präzise Arbeiten des Apparates erst recht unter Beweis. Alle Aufnahmen erfolgten, ohne am Apparat spezielle Korrektureinstellungen vorzunehmen, und ohne besondere Auslese der Oszillogramme. Trotzdem die Frequenzdifferenz im Verhältnis 1 : 40, und die Schaltereigenzeit 1 : 8 ändert, erfolgen die Parallelschaltungen stets im richtigen Moment. Das Parallelschalten mit grossen Frequenzdifferenzen ist, bebesonders auch beim Anlassen von Synchronmotoren, von grossem Interesse.

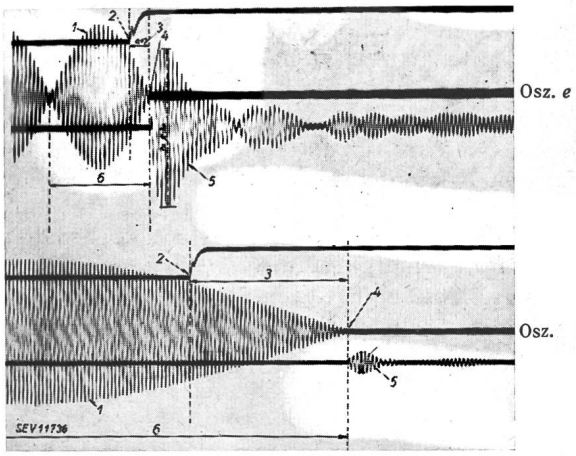

Fig. 12.
Oszillogramme von zwei Schaltungen mit grosser Frequenzdifferenz 4,2 % (Osz. e) und mit grosser Schaltereigenzeit 0,8 s (Osz. f)
(Siehe Tabelle II)

Diese von der Maschinenfabrik Oerlikon neu entwickelte Parallelschalteinrichtung wurde eingehenden Versuchen unterworfen. Das Synchronoskop arbeitet mit sehr grossen Drehmomenten, und der gleichmässige, wellenfreie Drehmomentverlauf bestätigt die gemachten theoretischen Ueberlegungen vollkommen. Da die ganze Einrichtung aus einfachen, kräftig gebauten Apparaten besteht, die keiner Abnützung unterworfene Teile aufweisen oder die sich während des Betriebes verstellen könnten, ist eine hohe Betriebssicherheit gewährleistet. Eine Wartung erübrigt sich, da sämtliche Kontakte gegen Verstaubung vollkommen geschützt sind. Der Ultrarapid-Synchronisator erfüllt die weitestgehenden Forderungen des Betriebes.