

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 64 (1973)

Heft: 26

Artikel: Elektronische Geräte für die Synchronisierung und Parallelschaltung von Drehstromgeneratoren

Autor: Eggeling, H. / Graf, H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915644>

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: 12.01.2026

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

Elektronische Geräte für die Synchronisierung und Parallelschaltung von Drehstromgeneratoren

Von H. Eggeling und H. Graf

Die Synchronisierung und Parallelschaltung von Generatoren mit dem Netz wird heute fast ausschliesslich vollautomatisch vorgenommen. Nach einem Überblick über die physikalischen Grenzen des Vorgangs werden verschiedene Überlegungen für die praktische Geräteentwicklung diskutiert. Vor allem die Gewährleistung der sicheren Funktion bei hoher bleibender Genauigkeit ist das Ziel von Neuentwicklungen.

621.316.729 : 621.313.322.025.3

Maintenant, la synchronisation et le couplage en parallèle des alternateurs avec le réseau s'opèrent presque toujours automatiquement. Après un aperçu des limites physiques du processus, diverses considérations pour le développement pratique des appareils sont exposées. Un fonctionnement sûr et une précision durable sont les buts essentiels des nouveaux perfectionnements.

1. Geräte gestern und heute

Die Aufgabe des Synchronisierens und Parallelschaltens stellte sich bereits unmittelbar bei der Einführung des Drehstromgenerators für die allgemeine Energieversorgung. Von den verschiedenen Lampenschaltungen bis zur modernen Hand-synchronisiereinheit und vom einfachen Parallelschaltrelais bis zum vollelektronischen Synchronisergerät wurde ein langer Weg durchlaufen. Ständige Zunahme der Automatisierung und der Anforderungen an die Genauigkeit und Betriebssicherheit kennzeichnen den Entwicklungsgang dieser Geräte.

Zunächst begnügte man sich mit der Verhinderung von groben Fehlschaltungen durch Blockierung des Handsteuerbefehls mittels entsprechenden Relais. Dann kam der elektromechanische Parallelschaltapparat; der bereits selbsttätig den Einschaltbefehl abgab, wobei der Frequenzangleich aber noch von Hand vorgenommen wurde. Die nächste Stufe stellte die elektromechanische Schnellsynchronisiereinrichtung dar, die bereits mit hoher Genauigkeit und Zuverlässigkeit den Drehzahlabgleich durchführt und dann die Synchronierkriterien erfasst. Auch das Problem der Voreilung zur Kompensation der Schaltzeit ist hier bereits gelöst.

Die weitere Entwicklung brachte, abgesehen von selbsttätigem Spannungsabgleich, keine grundsätzlich neuen Aufgaben, wohl aber eine beachtliche Verringerung des Volumens bei gleichzeitiger Steigerung der Genauigkeit, der Funktionsgeschwindigkeit und der wartungsfreien Lebensdauer (Fig. 1).

Nach einer Zwischenstufe der Kombination von elektronischen und elektromechanischen Mitteln ist heute ein sehr hoher technischer Stand von Geräten erreicht, die, abgesehen von den Befehlsschützen, ausschliesslich mit ruhenden elektronischen Bauteilen arbeiten.

2. Anforderungen an die Genauigkeit von Parallelschaltungen

Die Technik der Synchronisergeräte ist eng mit den physikalischen Vorgängen vor und nach dem Parallelschaltbefehl verbunden. Ihre guten oder schlechten Eigenschaften können nur vor diesem Hintergrund verstanden werden. Es scheint daher angebracht, einige grundsätzliche Zusammenhänge in Erinnerung zu rufen [1]¹⁾:

Eine stossfreie Parallelschaltung erfolgt nur dann, wenn im Augenblick des Schalterkontakte

- a) der Phasenwinkel gleich Null ist;
- b) die Frequenzdifferenz klein genug ist;
- c) die Differenz der Phasenspannungen gleich Null ist.

Vereinfachend sei angenommen, dass die Bedingung c) erfüllt ist. Es besteht dann die einfache Beziehung zwischen Phasenwinkel und Differenzspannung am Schalter

$$\Delta U(\varphi) = 2 \hat{U} \sin \varphi / 2 \quad (1)$$

Bei $\varphi = 60^\circ$ wird $\Delta U = \hat{U}$ (gleichseitiges Dreieck). Für kleinere Winkel kann man linear umrechnen. Die Spannungsdifferenz ergibt beim Schliessen des Schalters einen Stromstoss entsprechend der wirksamen Impedanz.

Näherungsweise ist:

$$\Delta I = \Delta U / X_a' + X_E \quad (2)$$

Gleichzeitig tritt ein Differenzdrehmoment und damit ein Laststoss am Generator auf, der ebenfalls für kleine Winkel linear mit dem Fehlwinkel anwächst.

Man sieht hieraus, dass der Betrag des möglichen Fehlwinkels $|\Delta\varphi|$ das entscheidende Kriterium für die Güte einer Parallelschaltung ist. Ein Fehlwinkel von z. B. 5° bedeutet immer eine Restspannung von etwa 8 % der Nennspannung.

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

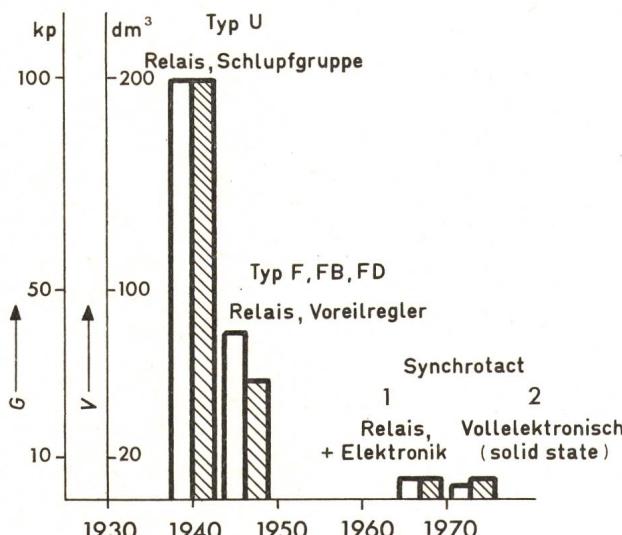
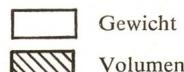


Fig. 1

Die Entwicklung der Schnellsynchronisiergeräte bei Brown Boveri
1930: Schluchseewerk. Erste Schnellsynchronisierung BBC - SSW



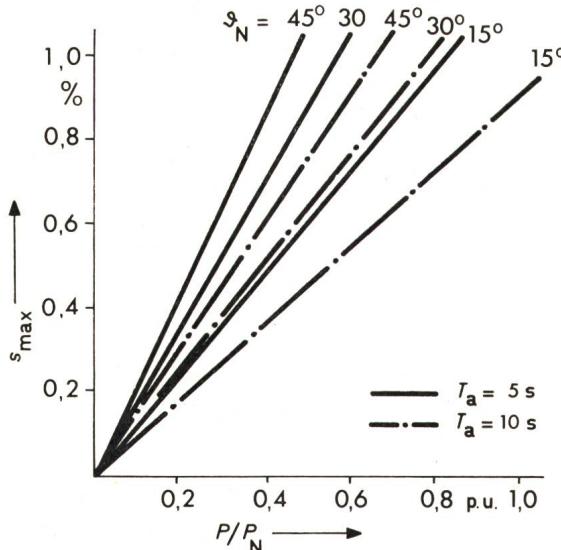


Fig. 2
Grenzschlupf s_{\max} in Abhängigkeit vom zuverlässigen Wirklaststoss P/P_N
Parameter: Polradwinkel bei Nennlast ϑ_N
Anlaufzeitkonstante T_a

Einem bestimmten Winkel entsprechen andererseits ganz verschiedene Zeitdauern in Abhängigkeit vom jeweiligen Schlupf:

$$t \varphi = 0,278 \frac{\varphi [^0]}{f_N [\text{Hz}] \cdot s [\%]} \quad (3)$$

Um den tatsächlichen Fehlwinkel der Parallelschaltung klein zu halten, muss die Schaltzeit genauso berücksichtigt werden, d. h., der Einschaltbefehl muss um die Dauer der Schaltverzögerung vor der Phasenübereinstimmung abgegeben werden. Bei einem Schlupf von 1 % entspricht eine Schaltzeit t_s von 0,2 s bei 50 Hz bereits einem Vorgabewinkel von 36° . Ein Fehler in der Zeitvorgabe von nur 20 ms führt bereits auf einen Fehlwinkel von $3,6^\circ$.

Ändert sich der Schlupf s nach dem Ende der Schlupfmessperiode, so entsteht ein grundsätzlich unvermeidbarer Fehlwinkel:

$$\Delta \varphi = \frac{1}{2} \cdot \frac{f}{100} \cdot \frac{ds}{dt} \cdot t_{ex}^2 \cdot 360 \quad (4)$$

Erfahrungsgemäß treten maximal Schlupfänderungen ds/dt von 0,6 %/s auf. Ist die Schlupfmessperiode kurz und endet sie erst mit dem Parallelschaltbefehl selbst, dann ist die Extrapolationsdauer t_{ex} gleich der Schaltzeit t_s . Dieses Minimum muss angestrebt werden, weil t_{ex} quadratisch in den möglichen Fehlwinkel $\Delta \varphi$ eingeht.

Die zweite Parallelschaltbedingung [b)] besagt, dass die Frequenzdifferenz, d. h. der Schlupf, kleiner als ein bestimmter Grenzwert sein muss, wenn man unzulässige Leistungspendelungen nach dem Parallelschalten vermeiden will. Diese Frage wurde bereits früher in dieser Zeitschrift ausführlich behandelt [1], so dass hier nur kurz darauf eingegangen wird.

Nach der Parallelschaltung wird das Polrad verzögert bzw. beschleunigt, wobei die zu übertragende Energie proportional zum Schwungmoment GD^2 und quadratisch zum Schlupf s ist. Die Energieübertragung an das Netz erfolgt gemäß dem vom momentanen Polradwinkel abhängigen Luftspaltmoment, dessen Maximalwert proportional zur Generatorenennleistung P_N ist. Der zulässige Grenzschlupf s_{\max} wird damit durch das Verhältnis zwischen dem Schwungmoment der ganzen Gruppe

und der Generatorenennleistung bestimmt. Dieses Verhältnis wird meist als Anlaufzeitkonstante

$$T_a = \frac{G D^2 u^2}{0,37 P} 10^{-6} \quad [\text{s}] \quad (5)$$

ausgedrückt. In Fig. 2 ist der Zusammenhang zwischen dem Grenzschlupf s_{\max} und dem auftretenden Wirklaststoss P_{\max} in Prozent dargestellt. Parameter sind die Anlaufzeitkonstante T_a und der Polradwinkel bei Nennlast ϑ_N .

Bei gleichem Grenzschlupf ergeben grosse Anlaufzeitkonstanten den grösseren Laststoss. Umgekehrt, wenn auch in verringertem Mass, wirkt der Lastwinkel bzw. die Synchronreaktanze X_d . Bei Dampfturbogruppen und langsamem Wasserkraftmaschinen muss also in der Regel der Grenzschlupf kleiner gewählt werden als bei einer Hochdruck-Francis- oder -Peltongruppe.

Bei Sofortbereitschaftsgruppen mit einem Schwunggrad können auch bei relativ kleiner Leistung schon extreme Verhältnisse angetroffen werden, die nur einen kleinen Grenzschlupf zulassen [2].

3. Die Grenzen der Schnellsynchronisierung

Neben dem behandelten maximal zulässigen Grenzschlupf besteht eine grundsätzliche weitere Grenze für die Schnellsynchronisierung. Es ist dies die maximale Drehzahl- bzw. Frequenzänderung in der Zeit, bei welcher überhaupt noch eine Parallelschaltung stattfinden kann. Nimmt man an, dass Phasenübereinstimmung unmittelbar vor dem Eintritt in das Band mit zulässigem Schlupf bestand, so muss die nächste Koinzidenz und damit die Parallelschaltung spätestens beim Schlupf Null stattfinden. Das Integral des durchlaufenen Winkels φ muss grösser bzw. gleich 360° sein. Hieraus ergibt sich die maximale Hochlaufgeschwindigkeit:

$$\frac{df_G}{dt} = f'_G = 0,5 \cdot 10^{-4} \cdot s_G^2 f_N^2 \quad [\text{Hz/s}] \quad (6)$$

Bei einem Schlupf von $s_G = 1 \%$ erhält man $f'_G \max = 0,125 \text{ [Hz/s]}$. Praktisch ist dieser Wert bereits etwas zu hoch, um die Parallelschaltung noch sicher zu erreichen. Läuft eine Gruppe zunächst schneller hoch, so muss unbedingt vor Erreichen des Grenzschlupfes die Hochlaufgeschwindigkeit entsprechend verringert werden.

Für kleinere Hochlaufgeschwindigkeiten wird der erforderliche minimale Grenzschlupf $s_{G \min}$ kleiner:

$$s_{G \min} \geq \frac{141}{f_N} \sqrt{\frac{df_G}{dt}} \quad (7)$$

Mit $df_G/dt = 0,05 \text{ [Hz/s]}$ erhält man z. B. $s_{G \min} \geq 0,63 \%$.

Der schnelle Hochlauf bedeutet eine Schlupfänderung nach der Messperiode gemäß Gl. (4). Mit den ungünstigsten Werten $s_G = 1 \%$ und $df_G/dt = 0,125 \text{ [Hz/s]}$ ergibt sich jedoch nur ein Fehlwinkel $\Delta \varphi = 0,9^\circ$, so dass von dieser Seite keine Bedenken bestehen.

4. Gesichtspunkte für den technischen Entwurf eines Synchronisiergeräts

Die erfolgreiche Entwicklung eines hoch spezialisierten Apparats, wie es ein Schnellsynchronisiergerät ist, bedingt einen komplexen Optimierungsprozess. Das Ziel ist dabei die Erfüllung der technisch sinnvollen und praktisch begründeten Anforderungen mit wirtschaftlichen Mitteln. Was das im ein-

zernen bedeutet, soll an einigen charakteristischen Begriffen gezeigt werden:

4.1 Prüf- und Eichfreundlichkeit

Der Gestehungspreis kann aus niedrigen Fertigungs- und hohen Prüfkosten bestehen, z. B. dann, wenn die Toleranzen der Bauelemente bei der Prüfung durch Abgleichelemente kompensiert werden. Man kann statt dessen teure, eng tolerierte Bauelemente verwenden. Ein dritter Weg besteht schliesslich darin, ein Schaltungsprinzip zu suchen, bei dem nur wenige Bauteile die reproduzierbare Genauigkeit der Funktionen beeinflussen. Diese Schaltung wird dann zwar etwas umfangreicher, aber sie bleibt unempfindlich auf Toleranzen. Der Echaufwand ist gering, weil die wenigen kritischen Elemente eine hohe Qualität haben.

Aber auch die Funktionsprüfung kann erleichtert werden, indem genügend Messpunkte, z. B. für den Anschluss an einen Prüfautomaten, zugänglich gemacht werden. Der Fertigungsaufwand steigt dabei etwas, aber die Prüfung wird objektiv, vollständig und auch schneller durchgeführt.

4.2 Betriebssicherheit

Betriebssicherheit ist ein sehr dehnbarer Begriff. Nur durch quantitativ erfassbare Massnahmen kann man zu einer Vergleichsbasis und zu echten Aussagen gelangen.

Für Bauelemente der Elektronik wird die Ausfallrate statistisch untersucht und als mittlere wahrscheinliche Zeit bis zum Defekt ausgedrückt (mean time between failures oder MTBF). Für einen integrierten Operationsverstärker Typ μ A 741C z. B. beträgt die MTBF 10^6 h, für den einzelnen Planartransistor $2 \cdot 10^8$ h, wobei ein bestimmtes Alterungs- und Vorprüfungsverfahren vorausgesetzt wird.

Die Berechnung von Zahlenwerten für die MTBF eines Geräts hat besondere Bedeutung beim Vergleich verschiedener Schaltungen bezüglich ihrer relativen Betriebssicherheit. Erst die Bewährung in der Praxis, d. h. die Auswertung der Fehlerstatistik, zeigt dann, wie sich die individuellen Betriebsbedin-

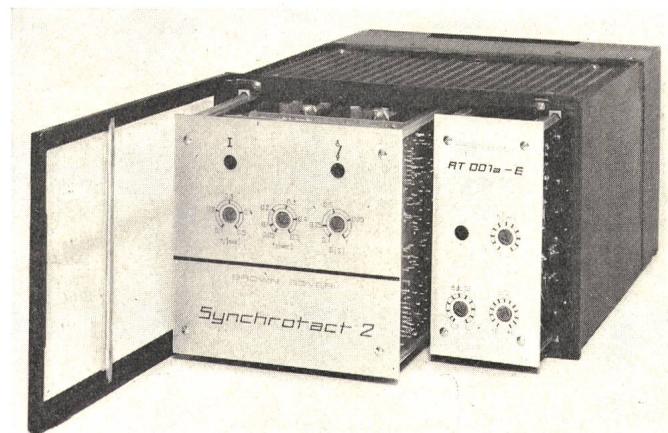


Fig. 3
Synchrotact 2 mit Spannungsangleicher in Normgehäuse
für Schalttafeleinbau

gungen auswirken. Ein Synchronisiergerät z. B. wird mit sehr unterschiedlicher Häufigkeit und jeweils nur kurzzeitig eingeschaltet.

Nur der Ausfall von bestimmten Elementen führt bei einer gewählten Schaltung zu einem schädlichen äusseren Verhalten des Geräts. Bei einem Synchronisiergerät ist das der Parallelschaltbefehl zur falschen Zeit.

Ein grosser Anteil solcher denkbaren Fehler kann aber durch eine Selbstüberwachung unschädlich gemacht werden. Offensichtlich sind falsche Parallelschaltimpulse besonders innerhalb einiger Sekunden nach dem Einschalten zu erwarten. Wenn man diese Fälle mit einer Blockierlogik erfasst, so bleiben nur wenige Bauelemente übrig, deren Ausfall einen Fehlimpuls bewirken kann.

Ein wichtiger Begriff bei ständig steigenden Personalkosten ist heute die wartungsfreie Lebensdauer. Hier sind vollelektronische Geräte weit im Vorteil, weil sie wirklich keine Abnutzung zeigen. Um so wichtiger ist die Auswahl der geeigneten

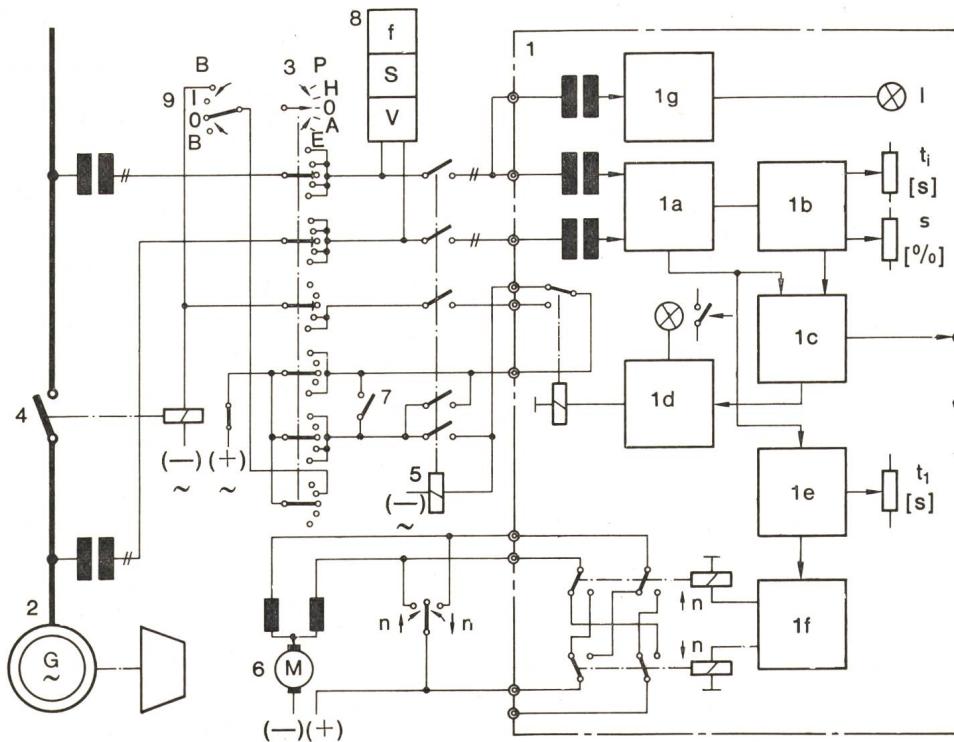


Fig. 4
Blockschema und Anschlussprinzip
1 Synchrotact 2
1a Winkelmessung
1b Schlupferfassung und Befehlsbildung
1c Blockierung zu Synchronisierbefehl
1d Ausgang Synchronisierbefehl
1e Logik für Frequenzangleichung und Kickerpuls
1f Ausgang Befehl Höher-Tiefer
1g Speisung
2 Synchrongenerator
3 Synchronisierschalter
4 Generatorhauptschalter
5 Einschaltschütz
6 Drehzahlverstellmotor
7 Fernbefehl
8 Synchronisierinstrumente
9 Steuerschalter zu 4

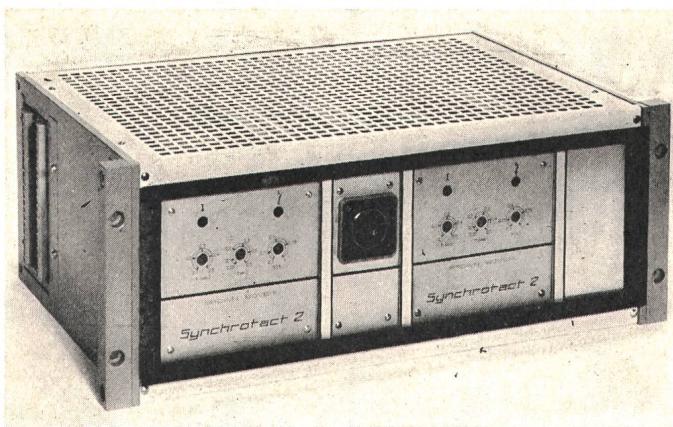


Fig. 5
Synchrotact in Doppelkanal-Ausführung

Befehlsschütze. Die vom Hersteller angegebene wartungsfreie Lebensdauer von 10^8 mechanischen Betätigungen wurde daher noch mit induktiver Nennbelastung des Kontakts mit $5 \cdot 10^6$ Betätigungen getestet. Rechnet man für den Frequenzangleich 20 Impulse pro Synchronisierung, so ergibt sich für ein Spitzenkraftwerk mit 20 Synchronisierungen pro Tag eine gesicherte Lebensdauer von rund 35 Jahren.

5. Das vollelektronische Synchronisiergerät Synchrotact 2

Unter Berücksichtigung der vorher in allgemeiner Form dargelegten Gedanken entstand bei Brown Boveri das neue analog-digitale Synchronisier- und Parallelschaltgerät Typ Synchrotact 2 (Fig. 3). Obwohl äußerlich grosse Ähnlichkeit mit seinem Vorgänger Synchrotact 1 besteht, sind doch der innere Aufbau und das schaltungstechnische Konzept vollständig neu. Während der Synchrotact 1 bewusst als einfacheres Gerät für normale Anwendungen gedacht war, ist der Synchrotact 2 trotz der geringen Abmessungen ein Präzisionsapparat, der allen auftretenden Anforderungen genügt. Dies wurde vor allem möglich durch konsequenter Einsatz integrierter Schaltkreise (IC) sowohl für die analogen Rechenfunktionen wie für die logischen Verknüpfungen.

Das Blockschema in Fig. 4 gibt eine Übersicht über die vielfältigen Funktionen: Die beiden einphasigen Meßspannungen werden über interne Trennwandler der Logikschaltung 1a zugeführt, welche fortlaufend die momentane Winkeldifferenz zwischen den beiden Spannungsvektoren ermittelt. Im Block 1b wird zunächst der Schlupf, d. h. die Winkeländerung pro Zeiteinheit, durch Differenzierung der vorgenannten Winkeldifferenz abgeleitet. Zur Befehlsbildung errechnet dieser Funk-

tionsblock weiterhin den notwendigen Vorgabewinkel, der, wie Gl. (3) zeigt, vom Schlupf und der Schaltereigenzeit abhängt.

Die anlagebedingte Schalterzeit t_1 sowie der zugelassene maximale Schlupf s (am Apparat mit «S» bezeichnet) werden an geeichten Potentiometern auf der Frontplatte eingestellt.

Bevor der errechnete Befehlsimpuls aber die Ausgangsstufe (1d) ansteuert, läuft das Signal über die Blockiereinheit (1c). Nur wenn der gemessene Schlupf kleiner als der eingestellte Grenzschlupf ist, wird der Befehl freigegeben. Weiterhin greifen hier auch die internen Überwachungen ein, wenn entweder der Arbeitsbereich überschritten oder eine wichtige Funktion ausfielen ist. Eine zusätzliche Blockierung von aussen ist ebenfalls vorgesehen.

Die Ausgangsstufe (1d) bildet einen zeitlich begrenzten Leistungsimpuls für das Befehlsrelais. Nach erfolgtem Parallelschaltbefehl leuchtet die grüne Kontrolllampe dauernd bis zum Abschalten des Geräts.

Vor der Parallelschaltung findet der Synchronisierungsvorgang mit Hilfe der Frequenzangleichs-Logik (1e) und den Leistungsstufen für die «Höher»- bzw. «Tiefer»-Befehle (1f) statt. In jeder Schlupfperiode erhält das betreffende Ausgangsrelais einen Impuls der eingestellten Dauer t_i . Wenn bei grossem Schlupf die Periodendauer kleiner als die Impulsdauer wird, so entsteht ein Dauerimpuls. Die Impulsdauer kann der Charakteristik des Drehzahlverstellmotors in den Grenzen 0,1...0,5 s angepasst werden.

Ein wichtiger Vorteil ist, dass ein Dauerimpuls «Höher» bereits dann ansteht, wenn Generatorfrequenz und -spannung noch Null sind. Das Gerät kann also bereits im Stillstand eingeschaltet werden.

Zusätzlich bildet diese Funktionseinheit (1e) einen sog. «Kickpuls», wenn während bestimmter Zeit der Grenzschlupf unterschritten ist und doch keine Parallelschaltung erfolgt. Hierdurch wird der bekannte Effekt des quasisynchronen Laufs ohne Phasenkoinzidenz überwunden, der die Geduld der Betriebsleute manchmal auf eine harte Probe stellte.

Erwähnt sei auch die Speiseeinheit (1g), die alle im Gerät benötigten stabilisierten Spannungen erzeugt und die rote Lampe zur Anzeige der Betriebsbereitschaft speist. Im Normalfall sind die Messung der Netzspannung und die Gerätespeisung miteinander verbunden. Da die Messung jedoch pro Seite nur 2 VA benötigt, ist bei Fremdspeisung aus einem Hilfsnetz auch der Anschluss an kapazitive Wandler möglich.

Das ganze Gerät ist konstruktiv als Normpart der Brown-Boveri-Elektronik ausgeführt. Alle vorher beschriebenen Funktionsgruppen sind auf gedruckten Leiterplatten (Prints)

Vergleich typischer technischer Daten

Tabelle I

Typ	Bauweise	typischer Fehlwinkel $\Delta\alpha$ Grad	Extra- polationszeit t_{ex} s	Leistungs- aufnahme P VA	Spannungs- bereich %	Frequenz- bereich %
FD 50/60	elektromechanisch (klassische Relais, Voreilregler)	$\pm 2,5$	$0,2...0,5 + t_s$	$90 + 45$	+ 20 - 25	± 6
Synchrotact 1	elektromechanisch (Reed-Relais)	$\pm 3,5$	$0,1 + t_s$	$2 \cdot 30$	± 20	± 10
Synchrotact 2	elektronisch (IC, analog-digital)	± 1	$0,01 + t_s$	$2 \cdot 2 + 30$	+ 10 - 30	+ 15 - 100

t_s = Schaltbereichezeit

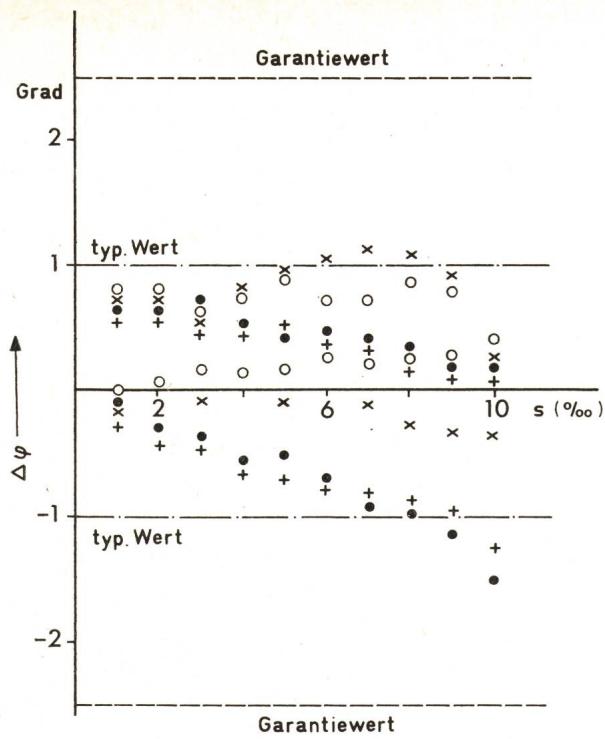


Fig. 6
Fehlwinkel $\Delta\varphi$ als Funktion von Schlupf s
und Schaltereigenzeit t_s
(Extremwerte aus den Messungen an 8 Geräten)

Umgebungstemperatur $\vartheta = 20^\circ\text{C}$

- $t_s = 500 \text{ ms}; f_1 > f_2$
- × $t_s = 500 \text{ ms}; f_1 < f_2$
- $t_s = 50 \text{ ms}; f_1 > f_2$
- + $t_s = 50 \text{ ms}; f_1 < f_2$
- f Frequenz

angeordnet, die durch Seitenprints miteinander verbunden werden. Der Aufbau ist verdrahtungsfrei und gewährleistet gleichmässige Kühlung.

Die auf niedrigem Leistungsniveau arbeitenden elektronischen Schaltkreise sind in einem gegen Störeinstreuungen geschützten «sauberen Raum» untergebracht. Wichtig für den Anwender ist auch, dass das Gerät nur mit den üblichen, in

grossen Serien verwendeten elektronischen Bauelementen bestückt ist.

Neben bereits im einzelnen dargestellten technischen Vorteilen zeichnet sich das Gerät durch einen besonders grossen Spannungs- und Frequenzbereich aus. Sämtliche Eingänge sind zudem gegen kurzzeitige Überspannungen durch atmosphärische Störungen oder Schaltspitzen unempfindlich. Weiterhin können Spannungseinbrüche und Unterbrechungen (Wackelkontakt) keine Fehlsynchronisierung verursachen, weil eine momentane Spannungsüberwachung den Ausgang blockiert.

Besonders erwähnt sei hier die Möglichkeit, zwei Geräte in einer Doppelkanalausführung kreuzweise verbunden zu betreiben. Diese Anordnung ergibt eine vollständige Selbstüberwachung, da nur dann ein Befehl an den Schalter geht, wenn beide Einzelbefehle innerhalb 5° liegen. Bei Grossmaschinen oder sonst kritischen Anwendungen ergibt diese Lösung maximale Sicherheit (Fig. 5).

Tabelle I zeigt den technischen Fortschritt anhand einiger typischer Daten. Bereits das elektromechanische Gerät Typ FD besass eine hohe Winkelgenauigkeit, jedoch war eine schnelle Anpassung an Schlupfänderungen schwierig. Bei etwas verringerter Winkelgenauigkeit brachte der Synchrotaut 1 hier eine Verbesserung. Das neue Gerät zeigt dann eine klare Verbesserung in beiden Kriterien. Die Winkelgenauigkeit wurde in ausführlichen statistischen Gruppenmessungen überprüft. Fig. 6 zeigt als Beispiel die Streubereiche einer Gruppe von 8 Geräten aus der ersten Fertigungsserie.

Nicht unerwähnt sei, dass es überhaupt erst mit modernen elektronischen Messgeräten möglich ist, eine Messgenauigkeit zu erreichen, die mindestens eine Zehnerpotenz besser als diejenige des Prüflings ist.

Literatur

- [1] R. Keller: Der Schaltvorgang bei Schnellsynchronisierung. Bull. SEV 36(1945)7, S. 222...227.
- [2] H. Wittwer: Aufbau und Einsatz von Sofortbereitschaftsanlagen mit synchronen Umkehrmaschinen. BBC Nachrichten 54(1972)7/8, S. 201...210.

Adresse der Autoren:

Dipl. Ing. H. Eggeling und dipl. Ing. H. Graf, AG Brown, Boveri & Cie., 5401 Baden.