Redundante Synchronisation von statischen Stromversorgungsanlagen

Autor(en): **Derighetti, R.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **66 (1975)**

Heft 8

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-915284

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Redundante Synchronisation von statischen Stromversorgungsanlagen

Von R. Derighetti

621.316.729 : 621.314.572.062.1

Der Artikel behandelt die Frage der Synchronisation parallelgeschalteter Wechselrichter einer redundanten Dauerstromversorgung. Die für diesen Fall entwickelte Lösung kann für die Synchronisation und die Kontrolle jedes redundanten Systems eingesetzt werden.

L'article analyse le problème de la synchronisation des onduleurs en parallèle dans une alimentation sans coupures redondante. La solution proposée pour ce cas particulier est utilisable pour la synchronisation et le contrôle de tout système redondant.

1. Einführung

Redundante Dauerstromanlagen werden oft durch Parallelschaltung von statischen Stromversorgungsanlagen realisiert (siehe Bull. SEV 63(1972)21, S. 1244...1251). Die Ausgangsspannungen der Wechselrichter dieser statischen Stromversorgungsanlagen müssen im allgemeinen in Phase sein.

Für die Synchronisation solcher redundanter Wechselrichtersysteme hat man zuerst einen sehr zuverlässigen Oszillator benutzt, der mindestens ebensoviele getrennte Ausgänge hatte wie die Anzahl der zu synchronisierenden Wechselrichter. Die grosse Zuverlässigkeit dieses Oszillators erreichte man durch eine sehr einfache Schaltung, durch Überdimensionierung der Elemente bezüglich Spannungs- und Strombelastbarkeit und durch sehr harte Tests bei der Inbetriebsetzung.

Um zu verhindern, dass ein Ausfall dieses einzigen Oszillators die Unterbrechung aller Ausgangssignale bewirkt, kann man ebensoviele Einzeloszillatoren einsetzen wie Ausgänge nötig sind. Eine Synchronisierleitung sorgt dann dafür, dass die Ausgänge im gleichen Takt arbeiten. Diese Synchronisierleitung wird in der besten Anordnung von allen Oszillatoren gespeist (Fig. 1), so dass keiner den anderen übergeordnet ist. Bei statischen Wechselrichtern kann die Ausgangsschiene des Systems diese Synchronisierleitung bilden.

Die Lösung mit einer Synchronisierleitung ist nicht redundant. Diese ersetzt eigentlich den sehr zuverlässigen Zentraloszillator (der die gleiche Funktion hat). Unterbrüche oder Störsignale auf dieser Leitung können die synchronisierten Oszillatoren beeinflussen. Im Fall von Störungen ist die Stabilität des Systems begrenzt, selbst dann, wenn der Regelkreis für die Synchronisierung optimiert wird. Insbesondere auch dann, wenn Störungen auftreten, die genügend klein sind, um noch gedämpft zu werden, hat man Phasenunterschiede zwischen den Signalen der verschiedenen Ausgänge.

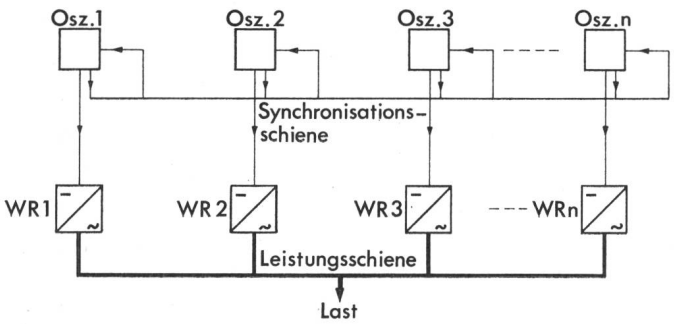


Fig. 1 Parallelgeschaltete Wechselrichter, durch eine von allen Oszillatoren gespeiste Synchronisationsleitung synchronisiert
WR Wechselrichter
Osz. Oszillator

Diese Phasenunterschiede bewirken hohe, kurzzeitige Ströme zwischen den parallelgeschalteten Wechselrichtern.

Das Problem der Synchronisation von redundanten Systemen kann durch den Einsatz des im folgenden beschriebenen redundanten Generators mit Mehrfachausgängen vollständig gelöst werden. Die erwähnten Nachteile treten nicht mehr auf, und der Redundanzgrad selbst kann jedem Projekt angepasst werden.

2. Redundanter Signalgenerator zur Synchronisierung von wenigstens zwei statischen Stromversorgungsanlagen

Anstelle der sehr zuverlässigen, einfach aufgebauten Signalgeneratoren (Oszillatoren) mit mehr als zwei Ausgängen seien Signalgeneratoren mit gleicher Anzahl Ausgänge, aber beliebig wählbarem Redundanzgrad vorgeschlagen.

Während die Zuverlässigkeit einfach aufgebauter Schaltungen durch die Zuverlässigkeit des schlechtesten Elementes gegeben ist, wird bei redundant aufgebauten Schaltungen die Zuverlässigkeit durch die Wahrscheinlichkeit, dass gleichzeitig Fehler in unabhängigen parallelgeschalteten Zweigen auftreten, bestimmt.

Das hier beschriebene Prinzip erlaubt den Aufbau redundanter Impulsgeneratoren mit beliebigem Redundanzgrad, speziell geeignet für redundante Systeme. Dauerstromanlagen aus wengistens zwei parallelgeschalteten statischen Stromversorgungen können ein solches redundantes System bilden.

2.1 Prinzip des Redundanten-Signalgenerators

Betrachtet man zunächst g unabhängige Signalgeneratoren G (Fig. 2). Es sei angenommen dass zur Zeit $t = t_n$ an den Ausgängen $A_1, A_2, A_3, \ldots A_g$ der Generatoren die Signale $S_{1n}, S_{2n}, S_{3n} \ldots S_{gn}$ erschienen sind.

Als Signale bezeichnet man physikalische Grössen, die in Funktion der Zeit eine für die gegebene Art von Generator charakteristische Änderung aufweisen. Charakteristische Änderung kann z. B. eine schnelle Änderung der Signalamplitude zwischen 10 und 90 % der maximalen Signalamplitude (bzw. Änderung von 90 bis 10 % als inverse Polarität) bedeuten. Die gesamte Dauer dieser Änderung ist ein Bruchteil des Zeitabstandes zwischen zwei aufeinanderfolgenden Signalen.

Die Signale $S_{1n}, S_{2n}, S_{3n} \ldots S_{gn}$ definiert man als richtig, wenn ihre charakteristische Änderung mit definierter Polarität in einem vorgeschriebenen Zeitintervall Δt_n auftritt. Damit hat man auch die falschen Signale definiert, und zwar als Signale, die keine charakteristische Änderung im Intervall Δt_n aufweisen (Fig. 3). Das Fehlen von charakteristischen Änderungen ist damit auch als Fehler eindeutig definiert.

Weiter sei angenommen, dass nur eine beschränkte Anzahl r der Signale $S_{1n}, S_{2n}, \ldots S_{gn}$ im Intervall Δt_n falsch sein kann und es sei als Ausgangssignal des redundanten

Oszillators die Übereinstimmung wenigstens der g–r Signale definiert. Die zusätzliche Bedingung $r < g$–r sorgt dafür, dass das Ausgangssignal auch eindeutig definiert ist, wenn r Signale in der gleichen Weise falsch sind. Anders ausgedrückt: $g > 2r$.

Mit $r = 1$ (nur ein Signal $S1$ bis Sg kann falsch sein), also $g_{min} = 3$ definiert man das Ausgangssignal eines redundanten Oszillators mit Redundanzgrad eins als Koinzidenz wenigstens zweier Signale. Mit $r = 2$ folgt $g_{min} = 5$ und Redundanzgrad 2, usw. Diese Anordnung erlaubt die praktische Realisierung eines redundanten Signalgenerators mit an das zu synchronisierende redundante System angepassten Werten von r und g.

Wenn die g Signalgeneratoren unabhängig sind, werden auch bei sehr kleinen Repetitions-Frequenzunterschieden, im allgemeinen die g Signale ausserhalb der Intervalle Δt auftreten. Um die Signale in einem genügend kleinen Intervall Δt zu halten, wurde eine Frequenzregelung für jeden Signalgenerator eingeführt.

Für alle g Regelkreise nimmt man als Sollwertsignal die Koinzidenz von g–r Signalen. (Gleiche Definition wie bei den

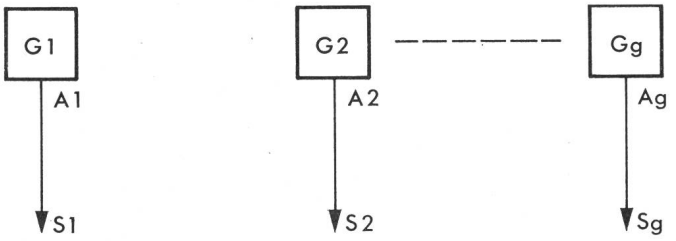


Fig. 2 Unabhängige Generatoren
G Signalgenerator
A Ausgang
S Ausgangssignal

Ausgangssignalen des redundanten Oszillators.) Diese g Sollwertsignale können auch getrennt gebildet werden. Als Istwertsignal für den Phasendetektor Ph wird das Ausgangssignal des entsprechenden Signalgenerators genommen (Fig. 4). Die Stabilität der einzelnen Generatoren sowie die Eigenschaften der Regelkreise werden so gewählt, dass die Ausgangssignale innerhalb des Toleranzintervalles Δt erscheinen.

Die Anzahl Ausgangssignale des redundanten Oszillators kann beliebig erweitert werden, aber jedes Ausgangssignal muss nach der Definition (Koinzidenz von g–r Signalen) durch unabhängige Koinzidenzschaltungen gebildet werden. Dadurch ist die Sicherheit des Auftretens eines Ausgangssignals theoretisch nur durch die zugehörigen Koinzidenz-

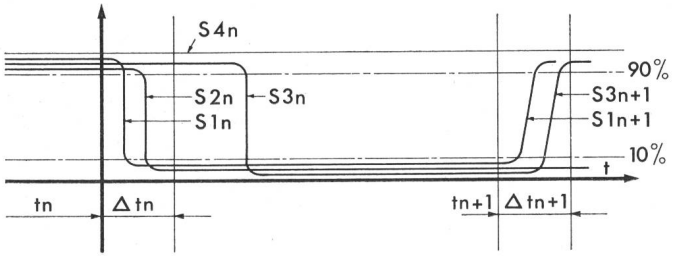


Fig. 3 Definition der richtigen und falschen Signale
t_n diskreter Zeitwert
Δt_n Zeitintervall
S_{1n} charakteristische Änderung

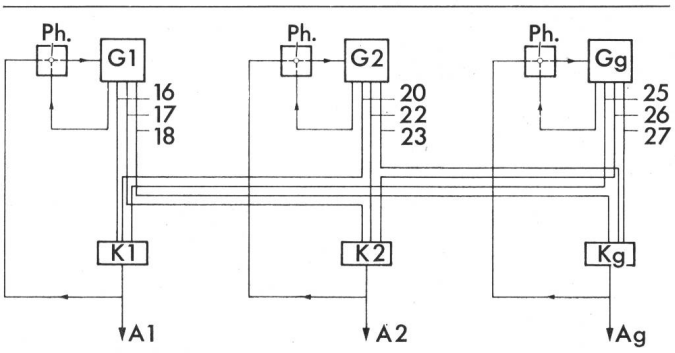


Fig. 4 Prinzipschema des redundanten Generators
Ph Phasendetektor
G Signalgenerator
K Koinzidenzschaltung
A Ausgang

schaltungen gegeben. Fig. 5 zeigt eine Erweiterung auf $g+a$ Ausgänge und gleiche Anzahl g Generatoren.

Die theoretische Sicherheit wird durch mögliche Rückwirkungen von Störungen z. B. durch die Leitungen 16, 17, 18; 20, 22, 23; 25, 26, 27 beeinträchtigt. Rückwirkungsfreie Verbindungen können wie folgt realisiert werden: Jede Leitung wird durch eine eigene, in dem Generator angeordnete Ausgangsstufe mit genug grosser Leistung gespeist. Diese Ausgangsstufen sind kurzschlusssicher und mit Signalbegrenzer gegen Rückspeisung geschützt. Weiter ist es zweckmässig, die Signale über einen Zwischenkreis zu übertragen. Eine in der Redundante-Generatoranordnung sowie im Übertragungsraum nur mit schwacher Intensität als Störung auftretende physikalische Grösse ist als Träger der Information im Zwischenkreis zu wählen. Sind z. B. die Signale, die zu übertragen sind, elektrische Ströme, dann sind Optokoppler ideale Trenner, denn eine Rückwirkung vom lichtempfindlichen Halbleiter auf die lichtemittierende Halbleiterdiode ist unmöglich. Weiter können solche Optokoppler gegen äussere Lichteinflüsse sehr leicht geschützt werden. Solche Zwischenkreise seien in der weiteren Beschreibung Trenner genannt und sind in den Figuren mit «*T*» bezeichnet.

Die Koinzidenzanordnungen, die ein Ausgangssignal bei Übereinstimmung von g–r Signalen bilden, können in Analog- oder Digitaltechnik aufgebaut werden. Insbesondere im Fall von elektrischen Signalen kann diese Analog- oder Digitaltechnik nicht nur durch die richtige Auswahl der Bestandteile sehr sicher aufgebaut, sondern auch nach bekannten Techniken redundant realisiert werden.

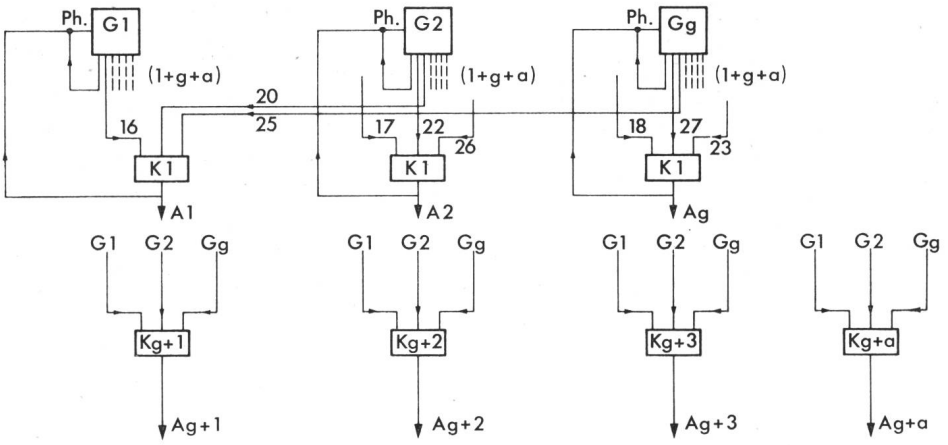
Die g steuerbaren Signalgeneratoren sowie die g Phasendetektoren können ebenfalls in Analog- oder Digitaltechnik aufgebaut werden.

2.2 Grundschaltung des redundanten Signalgenerators

Das Blockschema eines redundanten Signalgenerators (nach dem Grundschema in Fig. 4 mit g Signalgeneratoren, Redundanzgrad r und a Ausgängen ist in Fig. 5 dargestellt.

Es wurden Zwischenkreise (Trenner) auch in den Leitungen eingeführt, die zur Koinzidenzschaltung für die Bildung der a Ausgangssignale führen (Fig. 6). Diese Koinzidenzschaltungen können auch ausserhalb des Generators angeordnet sein, z. B. an der Stelle, an der das Ausgangssignal gebraucht wird. Damit erstreckt sich die Redundanz auf die Übertragungsstrecke.

Fig. 5
Prinzipschema des erweiterten redundanten Generators
a Anzahl zusätzlicher Ausgänge
g Anzahl der Generatoren
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 4



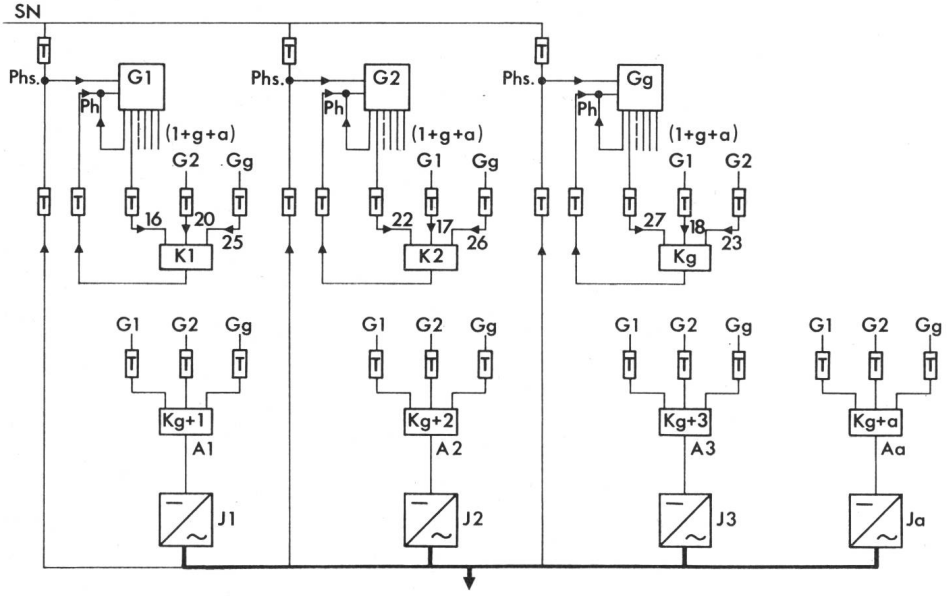


Fig. 6
Redundanter Generator für Dauerstromversorgung
SN fremdes Synchronisationssignal
Phs Phasendetektor
J Wechselrichter
T Trenner
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 4 und 5

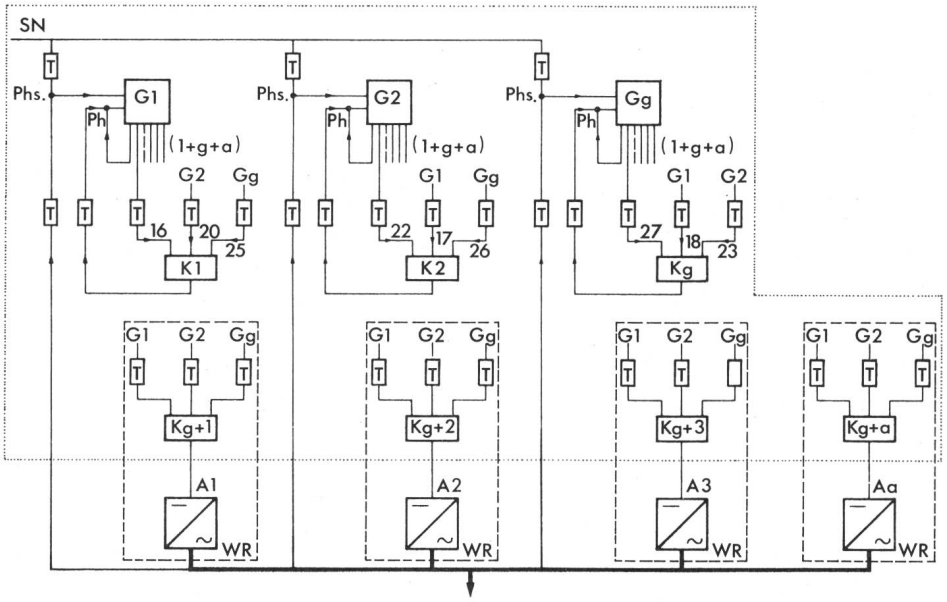


Fig. 7
Ausführungsbeispiel
WR Wechselrichter
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 6

2.3 Synchronisation des redundanten Signalgenerators mit einem fremden Signal

Es ist oft notwendig, die Ausgänge des redundanten Signalgenerators mit einem fremden Signalgenerator S_N in Frequenz und Phase zu synchronisieren. Dabei soll die Redundanz des Signalgenerators erhalten bleiben. Da alle Ausgangssignale mit einer identisch aufgebauten Koinzidenz zu bilden sind (max. Fehler Δt), ist eine redundante Synchronisationsschaltung wie folgt möglich:

Das Signal S_N (Sollwert) wird in den g Phasenkomparatoren Phs mit den g Ausgangssignalen in der Phase verglichen. Man bekommt g Regelkreise mit identischen Istwerten und gleichen Sollwerten. Es muss dafür gesorgt werden, dass die Eigenschaften dieser zweiten Regelschleife an die relative Stabilität der Signalgeneratoren S_N und der g Signalgeneratoren angepasst werden.

Man sieht sofort, dass die Redundanz erhalten ist, auch für die Synchronisation mit dem fremden Signal S_N, denn r Signale können ohne Einschränkung durch die Art des Fehlers falsch werden.

2.4 Anwendung an Dauerstromanlagen

Die Anwendung eines solchen redundanten Signalgenerators für eine Dauerstromanlage aus parallelgeschalteten Wechselrichtern ist in Fig. 6 angegeben.

Bei Einhaltung des Prinzips sind einige interessante Gruppierungen der verschiedenen Elemente möglich. In Fig. 7 sieht man (punktierte Linie) einen redundanten Generator, der auch die Koinzidenzschaltungen zur Bildung der Ausgangssignale für die Synchronisierung der einzelnen Wechselrichter enthält. In der gleichen Fig. 7 (gestrichelte Linie) ist der gleiche redundante Generator dargestellt, bei dem aber die Koinzidenzschaltung zur Bildung der Ausgangssignale in den einzelnen Wechselrichtern untergebracht ist.

Der redundante Generator kann aber auch auf die einzelnen Wechselrichter aufgeteilt werden. Hier ist selbstverständlich die Anzahl der nötigen Leitungen am grössten.

2.5 Speisung des redundanten Signalgenerators

Die Energieversorgung der verschiedenen Teile des redundanten Signalgenerators muss so ausgelegt werden, dass die Redundanz erhalten bleibt. Eine einzige, auch redundante Energiequelle ist dazu nicht geeignet (siehe Dauerstromanlagentechnik, Probleme der Erhaltung der Ausgangsspannung bei Kurzschluss in Teillasten). Verschiedene Gruppierungen von Elementen mit einer gemeinsamen Energieversorgung sind aber möglich.

Im allgemeinen soll wenigstens eine Speisung je Signalgenerator sowie a–g Speisungen für die restlichen a–g Koinzidenzschaltungen vorgesehen werden. Die a Koinzidenzschaltungen zur Bildung der Ausgangssignale können jeweils von den an den a Ausgängen angeschlossenen Systemen gespeist werden (Fig. 7). Das Ausfallen einer dieser Energiequellen würde nur ein nicht mehr benötigtes Ausgangssignal zum Ausfall bringen.

3. Verwirklichung

Durch Einsatz von integrierten Bausteinen und geschickter Unterteilung im Aufbau lassen sich nach diesem Prinzip nicht nur jeder beliebige Redundanzgrad erreichen, sondern auch während dem Betrieb kontrollierbare und reparierbare Schaltungen verwirklichen. Bei Einsatz von drei Generatoren G ist der Aufwand genügend, um befriedigende Resultate für fast alle auftretenden Fälle zu erreichen.

Adresse des Autors:
Dr. *R. Derighetti,* AGIE, AG für industrielle Elektronik, 6616 Losone.