

Der Sternmodulator als Doppelgegentakmodulator

(Mitteilung aus dem Zentrallaboratorium für Fernmeldewesen der AEG)

Von V. Aschoff

DK 621.396.619

Übersicht

Die Doppelgegentakmodulation, die in vielen Fällen gegenüber der einfachen Gegentakmodulation Vorteile bringt, kann in mannigfaltigen Schaltungen ausgeführt werden. Es wird eine Doppelgegentak-schaltung beschrieben, die durch Bildung eines gemeinsamen Sternpunktes eine besonders günstige Gleichrichteranordnung bietet. Die speziellen Eigenschaften dieser Schaltung werden besprochen und Ausführungsbeispiele aus der praktischen Anwendung dieses Sternmodulators gezeigt.

I.

Die Entwicklung der Nachrichtentechnik auf dem Gebiete der Mehrfachausnutzung von Leitungen und eine Reihe von Meßverfahren elektrischer und elektroakustischer Natur bedingte die Schaffung besonderer Modulationsschaltungen, die je nach Aufgabenstellung eine oder beide der zugeführten Spannungen am Modulatorausgang unterdrücken. Die Unterdrückung beider Primärspannungen, also sowohl der Träger- wie der Signalspannung, geschieht bekanntlich durch die Kombination zweier einfacher Gegentakmodulatoren, die so vereinigt werden, daß die eine Primärspannung durch die beiden Einzelgegentak-anordnungen selbst eliminiert wird, während die Unterdrückung der anderen Primärspannung durch die Gegentak-schaltung der beiden Ausgangswicklungen erreicht wird. In Abb. 1 ist die Entstehung einer solchen Doppelgegentak-Modulationsschaltung aus zwei einzelnen Gegentaktschaltungen gezeigt.

Über die Wirkungsweise dieser Doppelgegentaktschaltungen besteht bereits ein ausführliches Schrifttum¹⁾, so daß an dieser Stelle nur eine kurze Zusammenfassung der Eigenschaften dieser Schaltungen, die in ihrer speziellen Ausführung sehr mannigfaltig sein können, gebracht werden soll.

1. Die Unterdrückung beider Primärspannungen im Ausgang der Anordnung bedeutet bei der in der Symmetrie des Schaltungsaufbaues bedingten Vertauschbarkeit der drei Klemmenpaare eine Entkopplung aller drei an den Modulator angeschlossenen Stromkreise. Es kann bei völlig symmetrischem Aufbau von keinem der drei Klemmenpaare eine Rückwirkung auf die beiden anderen Klemmenpaare ausgeübt werden.

2. Da im Ausgang des Modulators nur die beiden Seitenbänder des Trägers (von Klirrspektren abgesehen) auftreten, geht bei einem verlustlos gedachten Doppelgegentakmodulator die gesamte Signalleistung in die beiden Seitenbänder über. Bei sinusförmiger Signalspannung ist beispielsweise die Amplitude des Differenztones bzw. des Summentones beim Doppelgegentakmodulator zweimal so groß wie beim Gegentakmodulator und viermal so groß wie beim einfachen Modulator.

3. Werden als nichtlineare Elemente Trockengleichrichter oder Dioden verwendet, deren Kennlinien nur in einem sehr kleinen Teil durch eine quadratische Funktion angenähert werden können, so entstehen neben den ge-

wünschten Seitenbandfrequenzen eine Reihe von Klirrfrequenzen, die beim einfachen Modulator sämtlich im Ausgang auftreten. Wenn auch der Gegentakmodulator bereits einen kleinen Teil dieser ungewollten Frequenzen eliminiert, wird im Doppelgegentakmodulator das Modulationsspektrum noch günstiger, so daß hier einmal die im Nutzspektrum austretende Leistung relativ am größten,

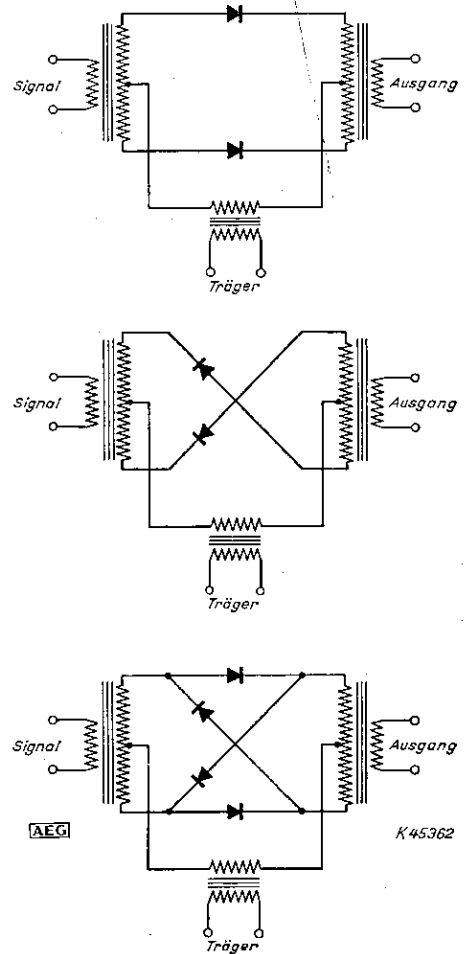


Abb. 1. Entwicklung des Ringmodulators aus zwei einfachen Gegentakmodulatoren

andererseits Zahl und Amplitude der ungewollten Frequenzen am kleinsten ist.

In Abb. 2 sind die Spektren der Ausgangsspannungen eines einfachen, eines Gegentak- und eines Doppelgegentakmodulators aufgetragen, wobei als Annäherung der Kennlinien eine e-Funktion gewählt und für alle drei Modulatoren gleiche Signal- und Trägerspannung angenommen wurde. Man erkennt deutlich die Abnahme der Klirrateile und die Zunahme der Nutzamplitude vom einfachen zum Gegentakmodulator und vom Gegentak zum Doppelgegentakmodulator²⁾.

²⁾ Bei entsprechenden Darstellungen in anderen Veröffentlichungen sind die Spektren auf gleiche Seitenbandamplituden normiert, wodurch zwar die Änderung der

¹⁾ Barkhausen, Elektronenröhren, Band 4, Leipzig 1937, S. 218. A. Schmid, Wirkungsweise des Ringmodulators, Dissertation Berlin 1936; R. Tamm u. F. Bath, Der Kupferoxydulgleichrichter in der Meßtechnik, Veröff. aus dem Gebiet der Nachrichtentechnik 6, 51–68, 1936.

Den hier angeführten Vorteilen der Doppelgegentakt-schaltungen steht als Nachteil im wesentlichen nur die größere Schwierigkeit einer sauberen Symmetrierung gegenüber, die bei Verwendung von vier nichtlinearen Gliedern gegenüber zwei beim Gegentaktmodulator erheblich anwachsen kann. Trotz dieser Schwierigkeit haben aber die Doppelgegentaktmodulatoren in den letzten Jahren

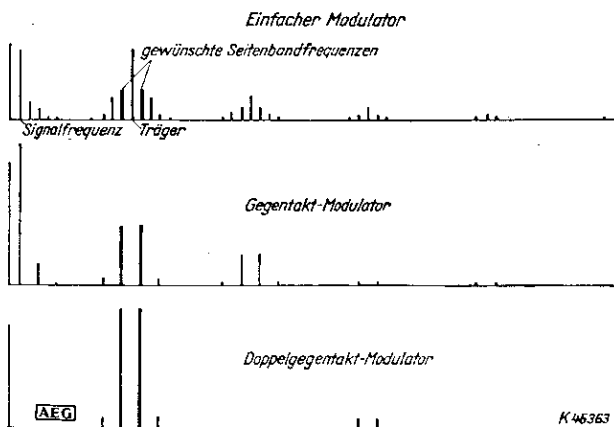


Abb. 2. Frequenzspektrum der Ausgangsspannung verschiedener Modulator Typen bei sinusförmiger Signalspannung

eine sehr weitgehende Einführung in der Praxis gefunden. Im folgenden soll deshalb auf eine Ausführungsform hingewiesen werden, die bei voller Wahrung aller Vorteile der Doppelgegentaktmodulation die Schwierigkeit der Symmetrierung bis zu einem gewissen Grade umgeht und auch in anderer Hinsicht gegenüber den bis jetzt meist gebräuchlichen Ausführungsformen Vorteile aufzuweisen hat.

II.

Als gebräuchlichste Form des Doppelgegentaktmodulators hat sich die unter dem Namen Ringmodulator bekannt gewordene Schaltung der Abb. 1 eingeführt. Sie verbindet die Vorteile des Doppelgegentaktmodulators mit einem äußerst einfachen Aufbau und hat dadurch in den mannigfachsten technischen Geräten Eingang gefunden. Gerade durch die Einfachheit der Schaltung haften diesem Modulator aber einige Mängel an, die unter bestimmten Bedingungen seine Brauchbarkeit einschränken können.

Durch die ringförmige Anordnung der nichtlinearen Elemente sind die jeweils benutzten Gleichrichter in Reihe geschaltet, so daß die Anordnung des Ringmodulators sich praktisch auf Trockengleichrichter beschränkt, da Glühkathodengleichrichter (Dioden) nur benutzt werden können, wenn indirekt geheizte Kathoden verwendet werden und jeder Gleichrichter als Einzelsystem ausgebildet wird; dadurch würde aber ein ganz erheblicher Aufwand entstehen, der nur in den seltensten Fällen gerechtfertigt sein dürfte. Andererseits kann aber durchaus der Wunsch entstehen, Doppelgegentaktmodulatoren mit Dioden zu betreiben, da die Eigenkapazität der Trockengleichrichter deren Wirksamkeit bei hohen Frequenzen herabsetzt.

Die ringförmige Anordnung der Modulationselemente erschwert andererseits auch die Einführung einer Gleichspannung zur Einstellung eines beliebigen allen 4 Gleichrichtern gemeinsamen Arbeitspunktes. Damit bleibt die Ringmodulatorschaltung auf die Fälle beschränkt, in denen die Einstellung eines bestimmten, vom Nullpunkt verschiedenen Arbeitspunktes nicht notwendig ist.

Die ringförmige Anordnung der Gleichrichter zieht also gewisse Grenzen für die Brauchbarkeit dieser Modulationsschaltung, die im Prinzip der Anordnung selbst liegen und ohne grundsätzliche Änderung der Schaltung nicht aufgehoben werden können. Ein anderer Nachteil, der anschließend besprochen werden soll, läßt sich dagegen durch sorgfältige Auswahl der Gleichrichter beheben und bedingt lediglich eine hohe Anforderung an die Identität des Kennlinienverlaufes der vier Gleichrichter. Es handelt sich hier um die Frage der Trägerstromunterdrückung, d. h. der Symmetrie der Schaltung in bezug auf die Träger-spannung.

Wie an anderer Stelle gezeigt wurde³⁾, bedingen verschiedene Symmetriefehler verschiedene Kurvenform des Trägerrestes. Trotzdem lassen sich beispielsweise für die Grundwelle des Trägerrestes bestimmte Symmetriefehler durch absichtlich eingeführte Unsymmetrien an anderer Stelle eliminieren. Benutzt man als Modulationselemente Trockengleichrichter oder Dioden, so lassen sich Kennlinienabweichungen der einzelnen Gleichrichter oft durch Einfügung reeller Belastungen, also durch „Scherung“ der Kennlinie oder durch Variation der Eingangsspannungsamplituden ausgleichen. Um solche zusätzlichen Symmetrierungen durchführen zu können, ist es aber notwendig, jeden Gleichrichter in einem eigenen Stromkreis zu betreiben. In der Ringmodulationsschaltung kann diese Bedingung nicht erfüllt werden, da die Eingangs- und Ausgangsübertragerwicklungen jeweils für beide Gleichrichterpaaire gemeinsam benutzt werden und eine mit Hilfe einer absichtlichen Übertragersymmetrie bewirkte Kompensation einer Kennliniendifferenz des einen Gleichrichterpaares nur in den seltensten Fällen auch für das andere Gleichrichterpaaire eine günstige Kompensation bringen dürfte. Die Ringmodulatorschaltung fordert damit von vornherein eine genaue Übereinstimmung der vier Gleichrichter, die aus diesem Grunde für jeden Modulator sorgfältig ausgewählt werden müssen.

Der bestechenden Einfachheit der Ringmodulatorschaltung stehen also andererseits einige Nachteile entgegen, die die Anwendung des Ringmodulators in bestimmten Fällen beschränken können und andererseits seine Herstellung erschweren.

III.

Es sind nun zum Teil schon seit langer Zeit⁴⁾ andere Doppelgegentaktmodulationsschaltungen bekannt, die zwar in ihrem Aufbau etwas komplizierter sind, aber die oben angeführten Schwierigkeiten mehr oder weniger umgehen. Eine dieser Schaltungen wurde im Zentrallaboratorium für

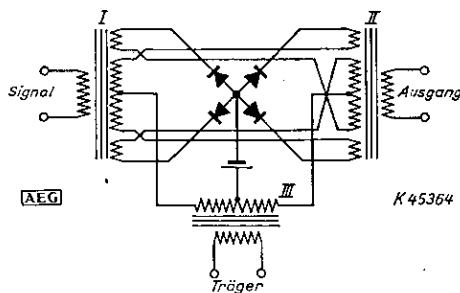


Abb. 3. Sternmodulator

Fernmeldewesen der AEG soweit vereinfacht, daß ihr Aufwand an Schaltelementen dem des Ringmodulators entspricht, also auf 3 Übertrager und 4 Gleichrichter be-

Klirrspektren sehr deutlich wird, die Änderung der Durchlaßdämpfung der einzelnen Modulationsarten aber nicht erkennbar bleibt.

³⁾ V. Aschoff: Die Trägerstromunterdrückung in Modulationsschaltungen, TFT, 27, 102, 1938.
⁴⁾ Z. B. U S A Patentschrift 1 673 002 (1923).

schränkt bleibt⁵⁾. Die Anordnung, die man der Schaltung der Gleichrichterelemente entsprechend als Sternmodulator kennzeichnen kann, ist in Abb. 3 wiedergegeben. Die Entwicklung der Schaltung aus zwei einfachen Gegentaktmodulatoren zeigt Abb. 4.

Das wesentliche Kennzeichen dieser Modulationsschaltung ist die Zusammenschaltung der Gleichrichter zu einem Stern mit gemeinsamem Mittelpunkt. Dadurch wird die wahlweise Benutzung von Trockengleichrichtern oder Glühkathodengleichrichtern ermöglicht, wobei im letzteren Fall die Anordnung von 4 Anoden über einer gemeinsamen Kathode (Tetradiode) einen besonders einfachen Aufbau des Modulators ergibt. Während man bei Nieder- und Mittelfrequenzen als Gleichrichter vorteilhaft Kupferoxydul- oder Selengleichrichter verwendet, wird man bei höheren Frequenzen zur Tetradiode übergehen, deren äußerst geringe Eigenkapazität in solchen Fällen den Nachteil des Heizstromverbrauches aufhebt.

Als weiteren Vorteil der Zusammenschaltung der vier Kathoden zu einem gemeinsamen Punkt gibt die Sternmodulatorschaltung die Möglichkeit der Einführung einer

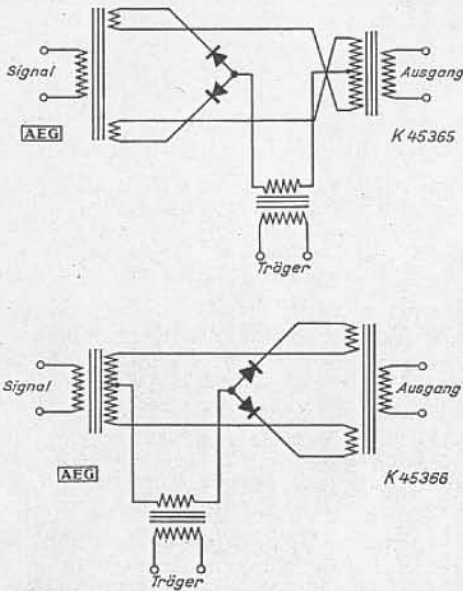


Abb. 4. Einfache Gegentaktmodulatoren, aus deren Zusammensetzung der Sternmodulator entsteht

gemeinsamen Vorspannung zur Festlegung des Arbeitspunktes auf den Gleichrichterkennlinien. Dies kann von Vorteil sein, wenn in Meßschaltungen das Arbeitsgebiet auf einen möglichst quadratisch verlaufenden Teil der Kennlinien beschränkt werden soll oder aber auch, wenn dem Modulator gleichzeitig eine gewisse amplitudenbegrenzende Wirkung mit veränderlichem Grenzwert gegeben werden soll. Da der Sternpunkt des Modulators auf Erdpotential gelegt werden kann, stößt die Einführung der Vorspannung selbst bei höchsten Frequenzen auf keinerlei Schwierigkeiten, die in anderen Modulationsschaltungen durch die Erdkapazitäten der Stromquellen bedingt sein können.

Die sternförmige Anordnung der Gleichrichter erweitert also das Anwendungsgebiet der Doppelgemitaktmodulation. Der etwas kompliziertere Aufbau der Übertrager, der dabei in Kauf genommen werden muß, bringt andererseits zusätzliche Vorteile bezüglich der Trägerunterdrückung, da jetzt die Forderung nach getrennten Stromkreisen der einzelnen Gleichrichter erfüllt ist und somit jedes Gleichrichterpaar für sich optimal kompensiert wer-

den kann. Eine einfache Möglichkeit einer solchen zusätzlichen Kompensation zeigt Abb. 5. Die beiden einzelnen Gegentaktmodulatoren sind durch ausgezogene und gestrichelte Linien unterschieden; man erkennt, daß jede dieser beiden Anordnungen für sich durch die Potentio-

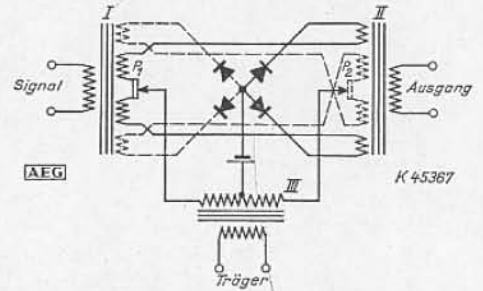


Abb. 5. Sternmodulator mit Kompensationspotentiometer (Stromkreis der einen Trägerhalbwellen ausgezogen, der der anderen gestrichelt gezeichnet)

meter P_1 und P_2 zusätzlich symmetriert werden kann; auch der Einführung anderer Symmetriemaßnahmen, wie etwa geringer kapazitiver Zusatzbelastung der einzelnen Übertragerwicklungen zur Erreichung einer Phasensymmetrie stehen keinerlei Hindernisse im Weg, da jede Maßnahme jeweils nur im System desjenigen Gleichrichterpaars wirksam wird, für das sie bestimmt ist.

IV.

Die Sternmodulationsschaltung weist also trotz des Aufbaus der Übertrager mit mehreren Wicklungen in vielen Fällen Vorteile auf, die eine eingehende praktische Befassung mit dieser Anordnung rechtfertigen. Im folgenden sollen daher noch einige kurze Hinweise auf technische Ausführungsformen des Sternmodulators gemacht werden.

Für Nieder- und Mittelfrequenzmodulation benutzt man heute allgemein Trockengleichrichter als Modulationselement. In Abb. 6 sind zwei Aufbauarten der Gleich-

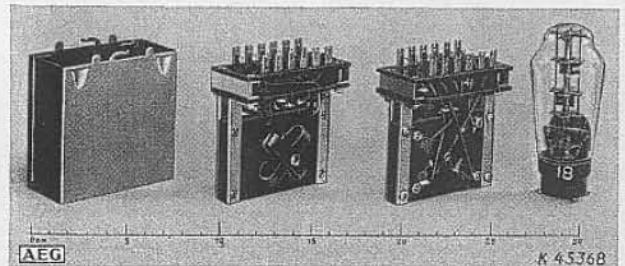


Abb. 6. Bauelemente ausgeführter Sternmodulatore. Einbaubecher für Trockengleichrichtermodulatore, Tetradiode

richterhalterung für den Einbau in Normaleinbaubecher wiedergegeben, die für verschiedene Plattentypen bestimmt sind. In einem Fall werden vier getrennte Gleichrichterelemente benutzt, die mit Hilfe der kronenförmigen Feder unter gleichmäßigem Druck auf ihre Gegenelektroden gepreßt werden. Die Feder bildet gleichzeitig den Sternpunkt der Schaltung. Die zweite Anordnung benutzt im Gegensatz hierzu vier getrennte Federn, die als Abnahmelektroden für vier auf einer gemeinsamen Grundplatte aufgebraute Gleichrichterelemente dienen. Oberhalb der Gleichrichterhalterung sind die beiden Symmetrierungsspannungsteiler zu sehen, die durch Bohrungen der Deckplatte hindurch eingestellt werden können. Man erkennt aus dem beigegebenen Maßstab, daß der Raumbedarf des Sternmodulators mit Trockengleichrichtern, von den Übertragern abgesehen, äußerst gering ist, da sämtliche Einzel-

⁵⁾ Nach Abschluß der Entwicklung wurde eine britische Patentschrift 473 944 bekannt, die eine ähnliche Schaltung enthält.

elemente in einem gemeinsamen Becher untergebracht werden können.

Versuche, die an Sternmodulatoren dieser Ausführungsform durchgeführt wurden, zeigten bezüglich des Frequenzspektrums im Ausgang und der Durchlaßdämpfung des Modulators die schon erwähnten bekannten Eigenschaften der Doppelgegentaktmodulationsschaltungen. Der Sternmodulator ist in dieser Beziehung dem Ringmodulator und verwandten Schaltungen gleichwertig. Darüber hinaus können aber durch die Einführung einer Gleichvorspannung bestimmte Eigenschaften des Modulators beeinflusst werden, die bei vorspannungslosen Modulatoren nur durch Änderung der Träger- oder Signalspannungsamplituden selbst geändert werden können.

Bei der üblichen Aussteuerung der mit Trockengleichrichtern bestückten Modulatoren, die sich weit in den geradlinigen Teil der Gleichrichtercharakteristik erstreckt, wirkt der Modulator im wesentlichen als gesteuerter Schalter⁶⁾. Bei dieser Betriebsart stehen im Gegensatz zu Röhrenmodulatoren mit im wesentlichen quadratischen Kennlinien der Klirrfaktor der Seitenbandfrequenzen einerseits und die Abhängigkeit der Ausgangsspannungsamplitude von der Amplitude der Eingangsspannung andererseits in keinem direkten Zusammenhang. Während der Klirrfaktor hauptsächlich durch die „Schaltzeiten“, d. h. durch das Verhältnis des von der Trägerspannung angesteuerten geradlinigen Teiles der Kennlinie zum gekrümmten Teil abhängt, wird die Modulationskennlinie von dem Verhältnis der Signalamplitude zur Trägeramplitude bestimmt, da nur bei Signalspannungen, die klein zur Trägerspannung sind, die Steuerung der „Schalter“ ausschließlich durch den Träger erfolgt⁷⁾.

Die nachfolgend mitgeteilten Untersuchungen sollen zeigen, wie weit durch Einführung einer Vorspannung Klirrfaktor und Modulationskennlinie bei konstanten Betriebsspannungen beeinflusst werden können. In Abb. 7

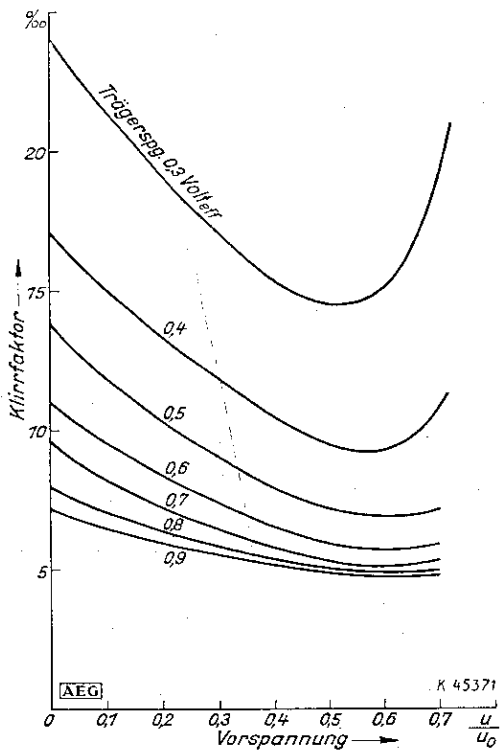


Abb. 7. Abhängigkeit des Klirrfaktors eines Sternmodulators von der Vorspannung bei verschiedenen Trägerspannungen

ist der Klirrfaktor eines Sternmodulators in Abhängigkeit von der Vorspannung bei verschiedenen Trägerspannungen aufgetragen. Die Meßanordnung war so getroffen, daß durch einen Tiefpaß das untere Seitenband ausgesiebt wurde und die Frequenzen so gewählt wurden, daß die neunte Oberwelle des unteren Seitenbandes noch in den Durchlaßbereich des Filters fiel. Die Eingangsspannung

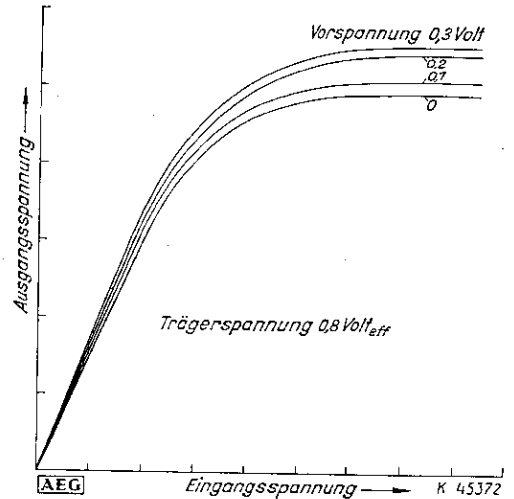


Abb. 8. Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung eines Sternmodulators bei verschiedenen Vorspannungen

wurde konstant gehalten; infolgedessen steigt mit abnehmender Trägerspannung der Klirrfaktor an, da die Betriebsart des Modulators sich dabei immer mehr von der eines idealen gesteuerten Schalters entfernt. Um so größer wird aber gleichzeitig der Einfluß der Vorspannung, durch die bei kleiner Trägerspannung der Klirrfaktor gesenkt werden kann.

Abb. 8 zeigt die Möglichkeit, beim Sternmodulator durch Änderung der Vorspannung die Modulationskennlinie in bestimmten Grenzen zu ändern, ohne daß eine Änderung der Trägerspannung notwendig wäre. Die Kurven zeigen den für passive Modulatoren mit großer Aussteuerung charakteristischen Verlauf: für Signalspannungen, die klein gegenüber der Trägerspannung sind, herrscht Proportionalität zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung, für größere Signalspannungen biegt die Modulationskennlinie ab, um für Signalspannungen, die größer als die Trägerspannung sind, einem konstanten Grenzwert zuzustreben. Die Vorspannung beeinflusst im wesentlichen diesen Grenzwert, macht sich aber auch in

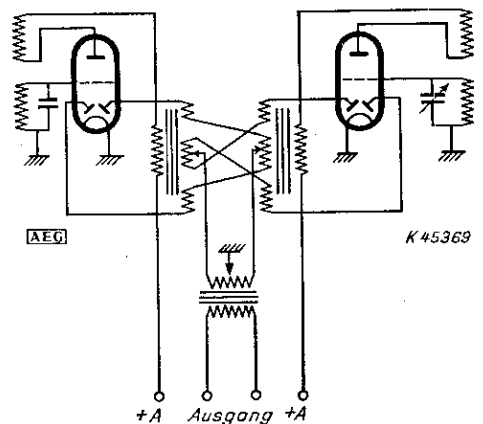


Abb. 9. Schwebungssummer mit Sternmodulator

⁶⁾ A. Schmid, s. Fußnote I.

⁷⁾ Y. Degawa, Equivalent circuit of metal modulator and its performance, Nippon Electrical Communication Eng. 10, S. 118, 1938.

der Neigung und der Länge des geradlinigen Teiles der Kennlinie bemerkbar. Die Einfügung einer Vorspannung gestattet also die Beeinflussung gewisser für passive Modulatoren charakteristischer Eigenschaften ohne Änderung der zugeführten Wechselspannungsamplituden und kann so unter Umständen einen Vorteil gegenüber vorspannungslosen Modulatoren gewähren.

Wie schon erwähnt, werden für sehr hohe Frequenzen vorteilhaft Dioden als Modulationselemente verwendet. In Abb. 6 ist eine Tetradiode abgebildet, die speziell für Modulationszwecke entwickelt wurde und über einer gemeinsamen indirekt beheizten Kathode vier Einzelanoden

trägt. In vielen Fällen benutzt man aber vorteilhafter die Diodenstrecken marktgängiger Rohre, die sich ohne Schwierigkeit zu einer Sternmodulationsschaltung vereinigen lassen. Abb. 9 zeigt als Beispiel das Prinzipschaltbild eines Schwebungssummers, der aus zwei als Hochfrequenzgeneratoren wirkenden Trioden besteht und die in den gleichen Rohren eingebauten Diodenstrecken zur Modulation benutzt. Hier wird die Benutzung von Dioden statt Trockengleichrichtern besonders günstig, da man jetzt mit den Sendefrequenzen so hoch gehen kann, daß schon eine geringe relative Frequenzänderung einen weiten Niederfrequenzbereich überstreicht.

Neuerungen an Strom- und Spannungssicherungen

Von A. Ott

DK 621. 316. 91

Die Beeinflussungen von Fernmeldefreileitungen, die eine Beschädigung der angeschlossenen Kabel bzw. Amtseinrichtungen zur Folge haben können, unterscheiden sich in zwei Gruppen: Beeinflussungen durch atmosphärische Entladungen, die nur kurze Zeit andauern, aber hohe Strom- und Spannungswerte annehmen, und Starkstrombeeinflussungen, die sich bei geringen Strom- und Spannungswerten meist über längere Zeit erstrecken. Bei den früher üblichen an sich schon sehr störungsanfälligen Freileitungen fand man sich entweder mit den durch atmosphärische Einwirkungen verursachten Schäden an den Leitungen bzw. an den verhältnismäßig wenig kostspieligen Apparaten ab oder suchte diese durch einfache Blitzschutzeinrichtungen und Stromsicherungen dagegen zu schützen. Da heute vielfach an die Stelle der Freileitungen kostspielige Kabel getreten sind und die neuzeitlichen Amtseinrichtungen und Verstärkeranlagen größere Werte darstellen, mußte eine Vervollkommnung der Schutzeinrichtungen angestrebt werden. Hinzu kommt noch, daß mit der fortschreitenden Elektrifizierung auch die Beeinflussungsgefahr durch Starkstromleitungen gestiegen ist.

Der Überspannungs- und Überstromschutz muß den beiden eingangs genannten Arten von Einwirkungen angepaßt sein, und zwar in der Weise, daß die Gefährdungsspannungen auch bei mehrmaligem Ansprechen des Spannungsableiters ohne nennenswerte Änderung seines Ansprechwertes sicher zur Erde abgeleitet werden. Die Stromsicherungen sollen den Schutz der angeschalteten Apparate wie des Feinspannungsableiters übernehmen, ohne bei jeder kurzzeitigen und ungefährlichen Einwirkung durch atmosphärische Entladungen eine Betriebsunterbrechung herbeizuführen. Eine entsprechende Schutzanordnung der bisherigen Ausführung zeigt Abb. 1, wobei

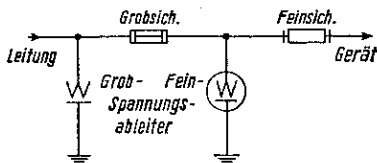


Abb. 1. Freileitungs-Schutzanordnung älterer Ausführung

der Grobspannungsableiter, der nicht allzu genau auf eine bestimmte Spannung eingestellt ist, während als Feinspannungsableiter eine unter vermindertem Gasdruck stehende Gasentladungsstrecke benutzt wird, für die eine möglichst hohe Konstanz der Ansprechspannung und große Belastbarkeit angestrebt wird. Die Grob-

stromsicherung ist in der Regel mit einem Ansprechwert von 8 Amp. etwas reichlich bemessen, da bei Sicherungen mit niedrigeren Ansprechwerten durch ungefährliche kurzzeitige Entladungen erfahrungsgemäß allzu häufig Betriebsunterbrechungen eintreten. Die Feinstromsicherung hinter dem Spannungsableiter ist schließlich zum Schutz der nachgeschalteten Apparate gegen Überlastung durch Restströme vorgesehen.

Zwei bemerkenswerte Neuerungen ermöglichen eine wesentliche Vereinfachung und Verbesserung der bisher üblichen Schutzanordnung. Beim wichtigsten Teil dieser Schutzanordnung, dem Feinspannungsableiter, wurde angestrebt, die vorzüglichen Eigenschaften des früheren Hochleistungsableiters beizubehalten und gleichzeitig der Forderung nach höherer Leistung bei Blitzschlägen Rechnung zu tragen, da entgegen früheren Annahmen zum großen Teil durch direkte Einschläge, nicht durch Influenzentladungen bei Gewittern, die Schäden an Freileitungen verursacht werden. Außerdem erhielt der neue Spannungsableiter eine kleinere handliche Form, was mit Rücksicht auf die häufige Verwendung in tragbaren Geräten sowie auf die Raumersparnis bei festem Einbau wichtig ist. Der neue Spannungsableiter (Abb. 2) besteht

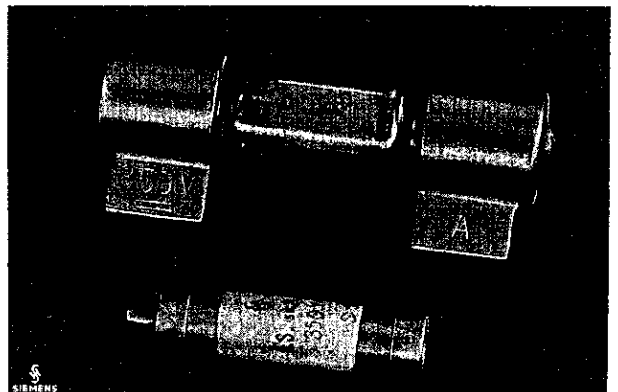


Abb. 2. Hochleistungs-Spannungsableiter in Glaspatrone (oben) und neuer Hochstromableiter ES sich 22 a in Metall-Keramik-Ausführung

nur aus Metall und einem Keramikkörper, ist also praktisch unzerbrechlich. In seinen elektrischen Eigenschaften entspricht er bezüglich Konstanz und Zuverlässigkeit in der Ansprechspannung etwa dem früheren Hochleistungsableiter. Er hält aber noch wesentlich größere Stromstärken bis zur Zerstörung aus und ist insbesondere dem bisherigen Feinspannungsableiter hinsichtlich Belastung