

Symmetrierglieder

Übersicht

Es werden Übergangsglieder behandelt, die zwischen einem gegen »Erde« elektrisch symmetrischen Anschluß und einem einpolig an »Erde« gelegten Anschluß einen störungsfreien Übergang vermitteln sollen.

Die dafür übliche Bezeichnung »Symmetrierglieder« trifft strenggenommen nicht für alle hier erwähnten Übergangsglieder zu, soll aber trotzdem auch in diesem Beitrag allgemein verwendet werden.

Die **Bilder 1 ... 4** zeigen die vorkommenden Fälle:

- Eine erd-symmetrische Spannungsquelle soll mit einem erd-unsymmetrischen Verbraucher zusammenschaltet werden (Bilder 1 und 2), oder
- eine erd-unsymmetrische Spannungsquelle ist mit einem erd-symmetrischen Verbraucher zu verbinden (Bilder 3 und 4).

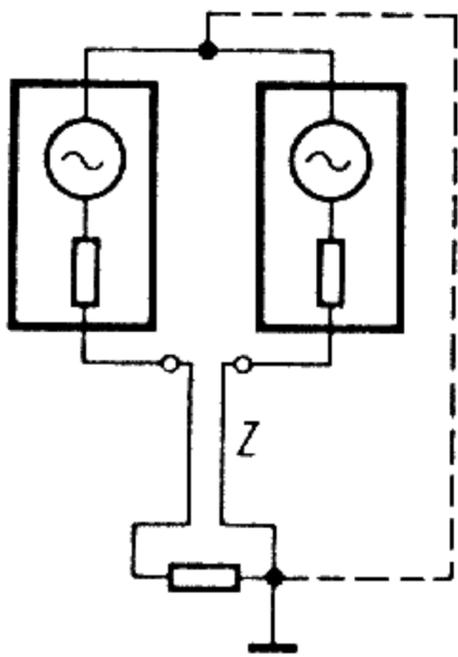


Bild 1

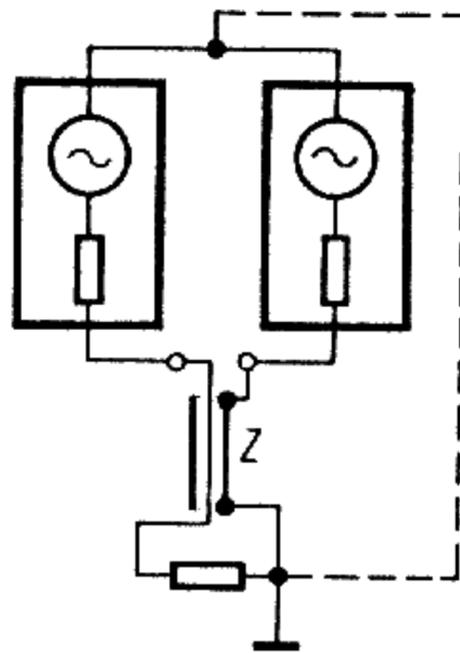


Bild 2

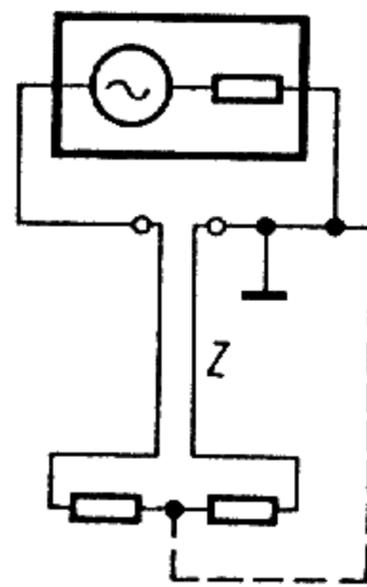


Bild 3

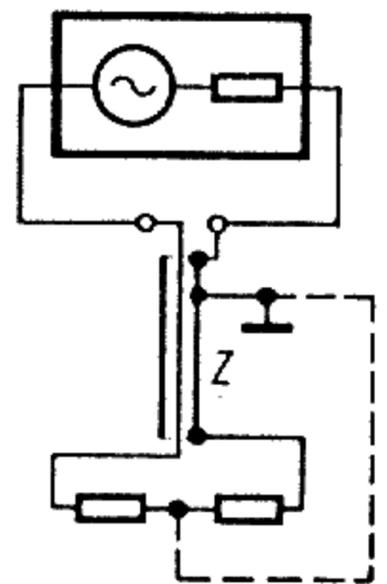


Bild 4

Für die erd-symmetrische Quelle sind hier — wie auch in den folgenden Bildern — zwei einander gleiche, miteinander in Reihe liegende Einzelquellen gezeichnet. Dementsprechend ist auch die erd-symmetrische Belastung als Reihenschaltung von zwei gleichen Widerständen dargestellt.

In den Bildern 1 und 3 ist jeweils eine Doppelleitung als Verbindung zwischen Quelle und Belastung gewählt, in den Bildern 2 und 4 dagegen ein Koaxialkabel.

Weil es sich bei der Verbindung des elektrischen Mittelpunktes der erd-symmetrischen Seite mit der »Erde« nicht um eine leitende Verbindung zu handeln braucht — oft ist sie nur kapazitiv vorhanden — wurde sie als gestrichelte Linie eingetragen. Aus den Bildern 1 ... 4 kann man ersehen, daß beim direkten Zusammenschalten von Quelle und Belastung ein unerwünschter Strom über diese Verbindung fließt.

Aufgrund dieses Stromes wird zumindest die Symmetrie der erd-symmetrischen Seite beeinträchtigt. Im Extremfall ergibt sich aber für die an den geerdeten Pol der erd-unsymmetrischen Seite angeschlossene Hälfte der erd-symmetrischen Quelle oder Belastung ein Kurzschluß.

Mit dem Zwischenschalten eines Symmetriergliedes kann man das verhindern. Hierfür bestehen im Prinzip zwei Möglichkeiten:

● Sperren der Verbindung zwischen dem elektrischen Mittelpunkt der erd-symmetrischen Seite und der Erde bzw. dem geerdeten Pol der erd-unsymmetrischen Seite. Dies kann erfolgen:

unter Ausnutzen der Resonanz mit einem Sperrkreis (Bilder 5 und 6) oder mit einer Drosselspule (Bild 7).

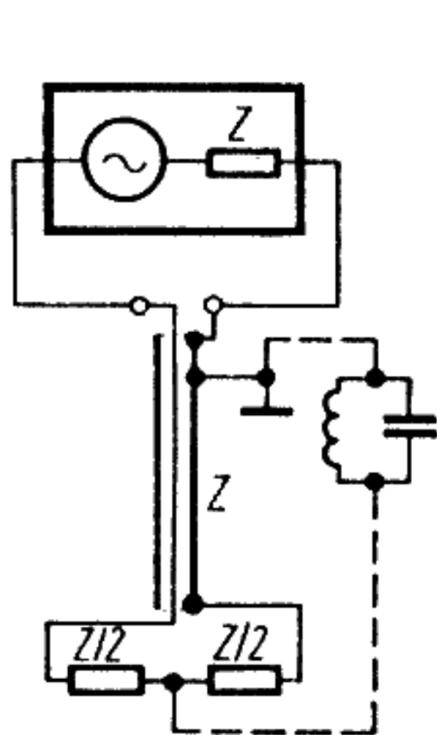


Bild 5

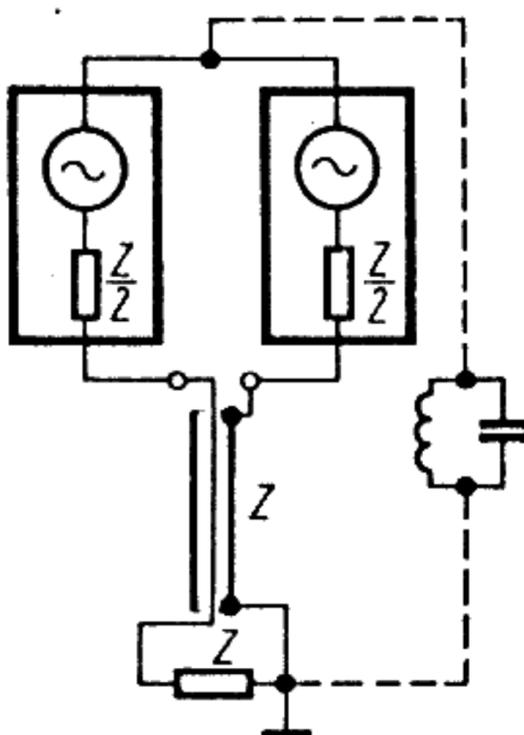


Bild 6

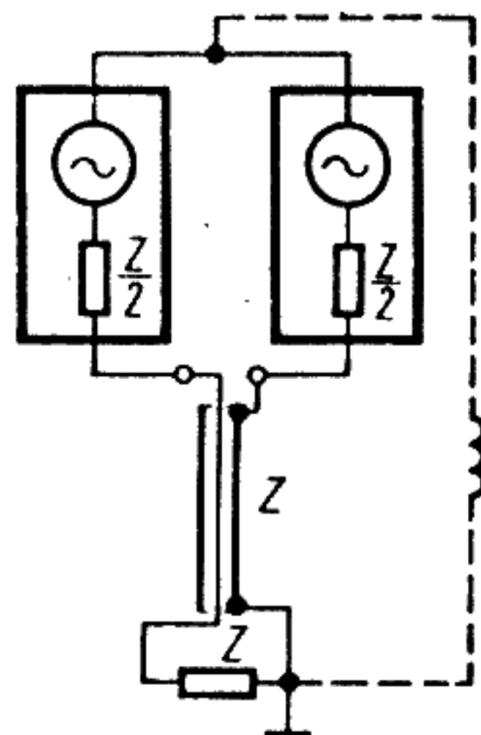


Bild 7

● Anschluß des geerdeten Pols der erd-unsymmetrischen Seite an einen künstlich hergestellten elektrischen Mittelpunkt zwischen den beiden Anschlüssen der erd-symmetrischen Seite. Da zwischen diesem Mittelpunkt und dem elektrischen Mittelpunkt der Anordnung der erd-symmetrischen Seite keine Spannung auftreten kann, bleibt eine Verbindung zwi-

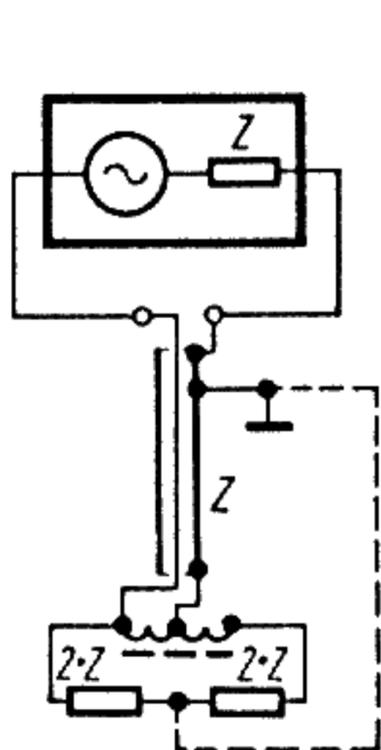


Bild 8

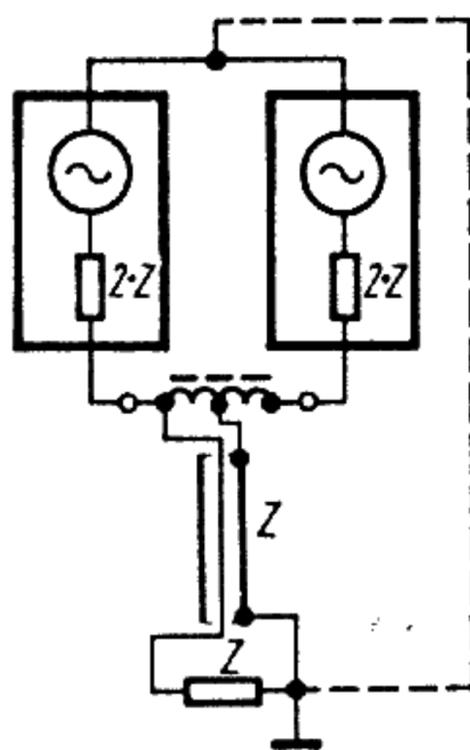


Bild 9

schen diesen Mittelpunkten stromlos. Zum Gewinnen eines künstlichen Mittelpunktes zwischen den Anschlüssen der erd-symmetrischen Seite dient z. B. eine mittellangezapfte Drosselspule, deren beide Hälften sehr fest miteinander magnetisch verkoppelt sind (Bilder 8 und 9). Dieser mit Mittelabgriff versehene Symmetrierzweig bedeutet insgesamt eine zusätzliche Belastung der Generatorseite. Falls sich das Symmetrierglied innerhalb eines

schmalen Frequenzbereichs nicht als nennenswerte Belastung auswirken darf, kann man die Drosselspule mit einem Kondensator zu einem Sperrkreis ergänzen.

Ein Vergleich zwischen den Bildern 8 und 10 sowie zwischen den Bildern 9 und 11 zeigt deren prinzipielle Übereinstimmung. Die Bilder 10 und 11 wurden eingefügt, um darauf hinzuweisen, daß es sich in den Bildern 8 ... 11 für den Anschluß der erd-unsymmetrischen Seite um die Phasenumkehr der Spannung einer Hälfte der erd-symmetrischen Seite handelt.

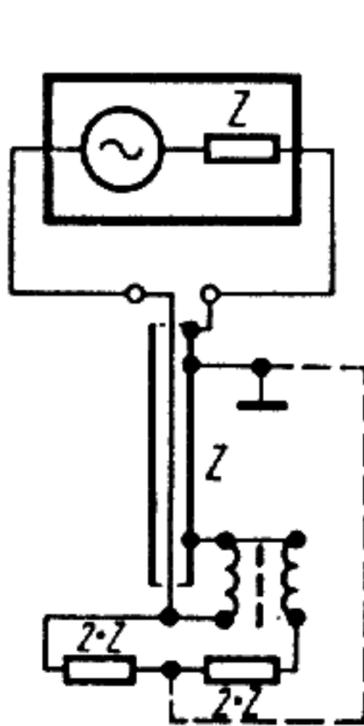


Bild 10

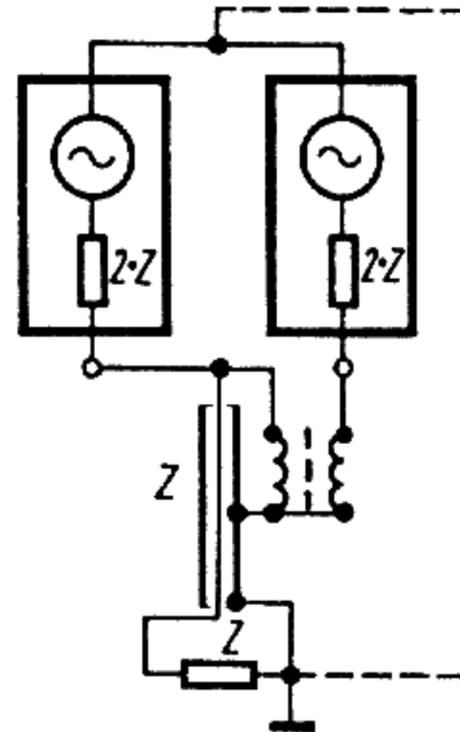


Bild 11

Wie aus dem vorstehenden Text und den dazu gehörenden Bildern folgt, wirken sich die Symmetrierglieder unabhängig davon aus, ob der Verbraucher oder die Quelle erd-symmetrisch aufgebaut ist.

Ausgeführte Symmetrierglieder

Die Bilder 5 ... 11 sind Prinzipschaltpläne. Darüber hinaus stellen die Bilder 8 ... 11 Schaltpläne für solche Symmetrierglieder dar, die aus Transformatoren bzw. Übertragern bestehen bzw. hiermit ausgestattet sind.

Für die aus Leitungstücken aufgebauten Symmetrierglieder spielen die Bilder 5 ... 11 die Rollen von Ersatzschaltplänen.

Symmetrierglieder mit Übertragern bzw. Transformatoren

Alle hierfür in Betracht kommenden Übertrager bzw. Transformatoren haben in sich geschlossene Ferritkerne und bifilar gewickelte Spulen. Die Wicklungen sind daher miteinander fest verkoppelt.

Symmetrierglieder, die aus Wicklungen auf Ferritkernen bestehen, verwendet man vorzugsweise für geringe Leistungen, d. h. beispielsweise zwischen erd-symmetrischen Empfangsantennen-Anschlüssen und den als Koaxialkabel ausgeführten Antennen-Niederführungen. Für sehr hohe Frequenzen sind solche Symmetrierglieder wegen der sich dabei auswirkenden Kapazitäten nicht geeignet.

Bild 12 stellt ein Symmetrierglied dar, mit dem der (einseitige) Strom, der sonst über den an den Mantel des Koaxialkabels angeschlossenen Pol der erd-symmetrischen Seite und »Erde« fließen könnte, durch die dafür hohe Wicklungs-Induktivität gesperrt wird.

Für die einander entgegengesetzt gleichen Ströme jedoch, wie sie den in Bild 12 eingetragenen Pfeilspitzen entsprechen, sind die Impedanzen der beiden Transformatorseiten innerhalb eines sich sehr weit nach oben erstreckenden Frequenzbereiches vernachlässigbar. Die Bilder 13 und 14 zeigen den »Guanella-Übertrager« mit zwei verschiedenen Wicklungsanordnungen. Es handelt sich um einen Doppelübertrager, dessen vier, paarweise bifilar ausgeführte Wicklungen mit einem gemeinsamen Ferritkern verkettet sind. Wie in den Bildern mit Z bzw. $4 \cdot Z$ angedeutet ist, sind die Widerstands-Transformationen für Bild 13 mit $1 : 1$ und für Bild 14 mit $4 : 1$ (symmetrisch : unsymmetrisch) gegeben.

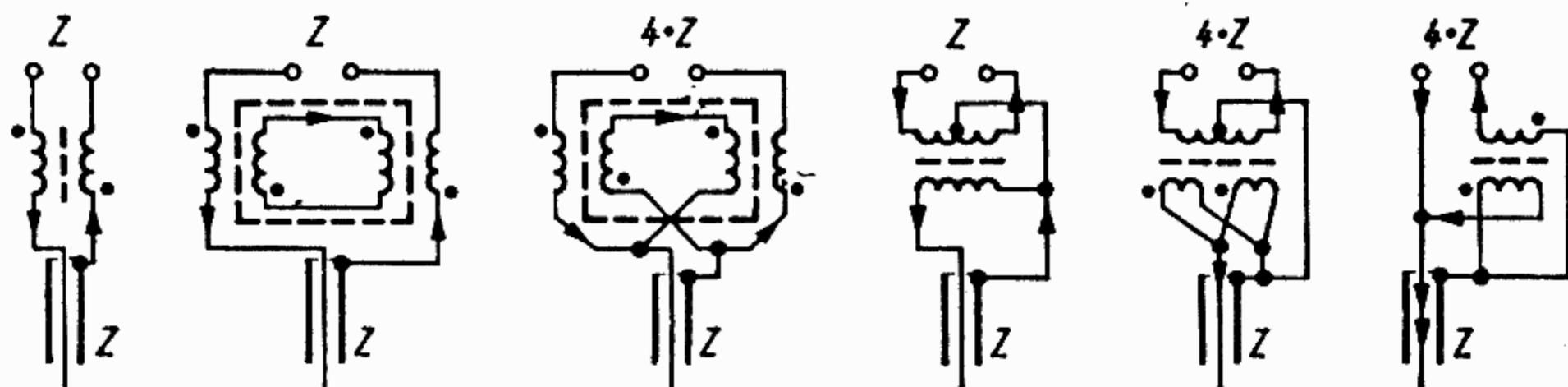


Bild 12

Bild 13

Bild 14

Bild 15

Bild 16

Bild 17

Bezüglich ihrer Wirkungsweise als Symmetrierglieder stimmen die Anordnungen nach Bild 12 ... 14 grundsätzlich überein. Als Ersatzschaltung kommt, wenn man von der Widerstands-Transformation (Bild 14) absieht, die Schaltung nach Bild 7 in Betracht. Man kann aber auch die Schaltung nach Bild 12 als Ersatzschaltung der beiden Übergangsglieder nach Bild 13 und 14 auffassen.

In den Symmetriergliedern gemäß Bild 15 und 16 handelt es sich um Übertrager, wie sie allgemein einem Übergang zwischen Gegentakt und Eintakt entsprechen. Der bifilaren Wicklung wegen sind die Windungszahlen beider Wicklungszeilen einander gleich. Bild 17 zeigt ein Symmetrierglied, wie es den Ersatzschaltungen der Bilder 8, 9, 10 und 11 genau entspricht.

Symmetrierglieder mit Leitungstücken

Die Anordnungen nach Bild 18 und 19 entsprechen der Anordnung des Guanella-Übertragers in der Schaltung nach Bild 14. Die das Symmetrierglied bildenden Leitungstücke sind wie die Wicklungsteile im Falle des Bildes 14

von der erd-symmetrischen Seite her gesehen in Reihe und

von der erd-unsymmetrischen Seite aus betrachtet einander parallel geschaltet.

Man wählt die Länge dieser Leitungstücke mit $l \approx k \cdot \lambda/4$, wobei $k \approx 0,95$.

Bild 20 zeigt eine Phasenumkehrschaltung, in der statt des Übertragers in der Anordnung nach Bild 17 eine $\lambda/2$ -Leitung das Phasenumkehrglied darstellt. Die Länge der kreisförmig gezeichneten Umwegleitung muß unter Berücksichtigung des Verkürzungsfaktors k einer halben Wellenlänge entsprechen. (Verkürzungsfaktor k bei Koaxialkabel $\approx 0,67$.)

Die Kreisform, in der die Umwegleitung gebogen ist, hat für ihre Funktion keine Bedeutung.

Die Anordnung gemäß Bild 20 läßt sich sehr einfach verwirklichen. Dieser Vorteil wird mit einer Stoßstelle erkauft: Der symmetrische Eingang wird nicht mit $4 \cdot Z$ sondern nur mit

$2 \cdot Z$ abgeschlossen. Man erreicht beim Verwenden einer Umwegleitung die Anpassung in der Weise, wie Bild 21 das erkennen läßt. Hierbei muß die Umwegleitung die Länge l des anderen Leitungstückes um möglichst genau $\lambda/2$ übertreffen. Die zusätzliche $\lambda/2$ -Leitung hat nämlich die Phasenumkehr für die daran angeschlossene eine Hälfte der erdsymmetrischen Seite zu besorgen.

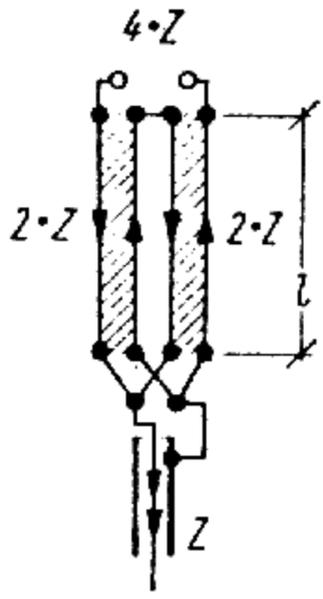


Bild 18

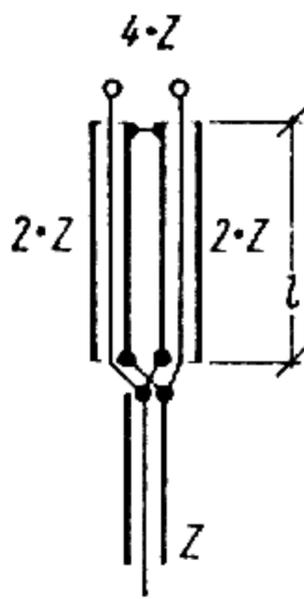


Bild 19

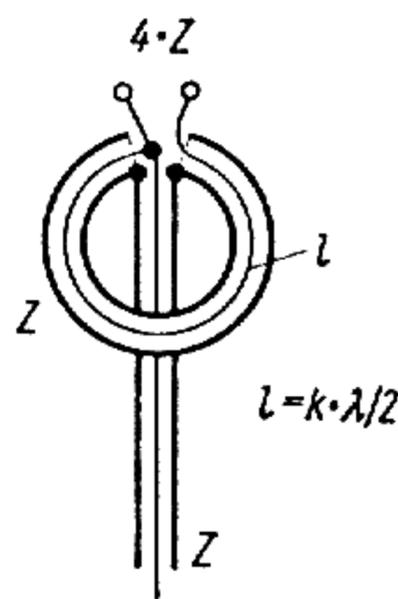


Bild 20

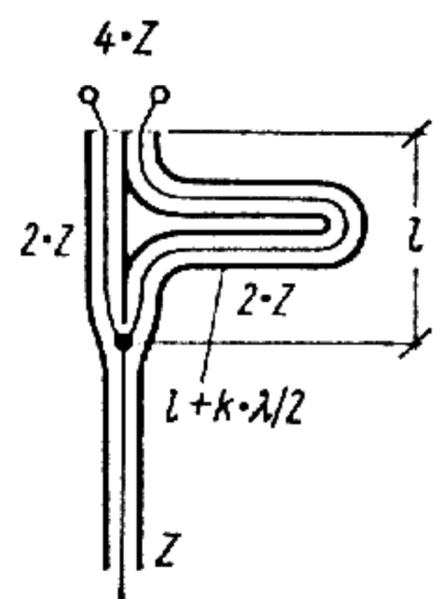


Bild 21

Als Ersatzschaltung der Anordnung nach Bild 20 und Bild 21 kann man Bild 17 auffassen. Bild 22 betrifft das Verwenden eines $\lambda/4$ -Sperrtopfes als Sperre für den unerwünschten Strom ($l \approx 0,95 \cdot \lambda/4$). Die hierzu gehörende Ersatzschaltung ist mit den Bildern 5 und 6 gegeben. Es handelt sich dabei um eine Sperrkreiswirkung. Der Sperrtopf ist — ebenso wie auch sonst das Koaxialkabel — im Schnitt dargestellt. Mit den Schraffuren soll die Schnittzeichnung etwas verdeutlicht werden.

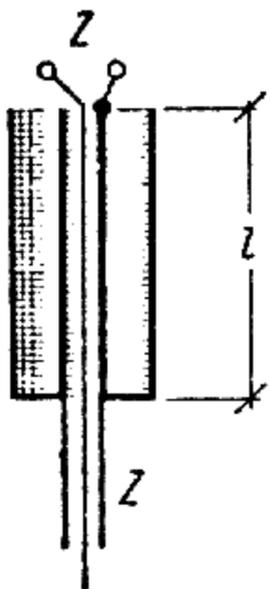


Bild 22

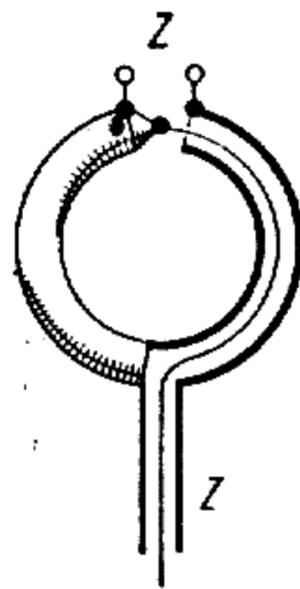


Bild 23

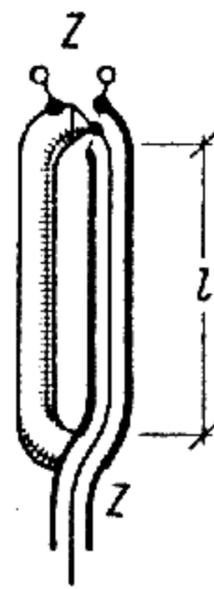


Bild 24

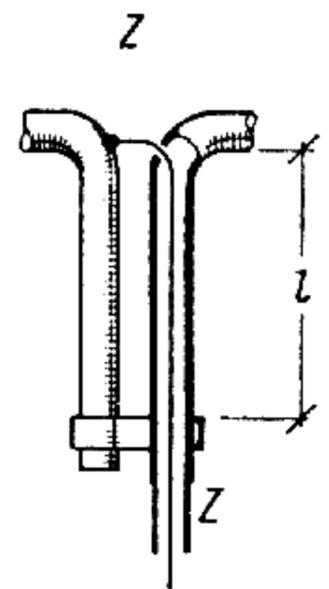


Bild 25

Bei etwas größeren Abweichungen von der Frequenz, zu der $\lambda/4$ gehört, arbeitet dieses Symmetrierglied unbefriedigend, weil dabei die Sperrwirkung des Sperrtopfes erheblich abnimmt.

Einen so verwendeten Sperrtopf bezeichnet man nach dem Erfinder dieses Symmetriergliedes auch als **Lindenblad-Topf** oder im Hinblick auf seine Form als **Bazooka**, was ursprünglich eine Panzerabwehr-Waffe mit einem dicken zylindrischen Rohr bedeutet.

Man bemißt das Verhältnis Außendurchmesser des Innenleiters zu Innendurchmesser des Topfes mit etwa 1 : 4. Ein so erreichter höherer Wellenwiderstand des Sperrtopfes ergibt die Ausdehnung seiner Wirksamkeit über ein größeres Frequenzband als dies mit einem kleineren Wellenwiderstand erreicht wird. Das gilt auch für alle folgenden mit $\lambda/4$ -Leitungen aufgebauten Symmetrierglieder.

Bild 23 veranschaulicht eine **Symmetrierschleife**. Diese schafft für den Anschluß des gerdeten Pols der erd-unsymmetrischen Seite einen gegen Erde spannungslosen Punkt der erd-symmetrischen Seite. Der erd-symmetrische Anschluß wird von der aus den beiden Halbkreisen bestehenden Schleife überbrückt. Die eine Seite der Symmetrierschleife besteht aus dem Kabelmantel bzw. aus einem diesen umhüllenden leitenden Rohr. Die andere Seite ist die spiegelbildlich angeordnete Nachbildung der leitenden Oberfläche der einen Seite. Jedes der beiden Enden der Symmetrierschleife ist mit je einem der erd-symmetrischen Anschlußpunkte verbunden. Die diesen Anschlüssen gegenüberliegende Schleifenmitte hat wegen der Erd-Symmetrie der Anordnung gegen Erde keine Spannung. Daraus folgt, daß der Koaxialkabelmantel auch bei dessen Erdung stromlos bleibt. Die in der Darstellung von Bild 23 gewählte Kreisform ist für die Funktion der Symmetrierschleife belanglos.

Bild 23 läßt erkennen, daß die erd-symmetrische Seite doppelt belastet ist, nämlich außer mit dem Eingang des Koaxialkabels auch mit der diesem Eingang parallelgeschalteten Schleife. Um die mit der Symmetrierschleife gegebene zusätzliche Belastung klein zu halten, bemißt man die Schleife so, daß sie für den erd-symmetrischen Anschluß einer an ihrem Ende kurzgeschlossenen $\lambda/4$ -Leitung gleichkommt.

In diesem Falle kann das mit der Schleife erreichte Unterdrücken des zu sperrenden Stromes auch allein aus der Sperrwirkung der $\lambda/4$ -Leitung erklärt werden. Bei größeren Frequenzabweichungen jedoch zeigt sich der Einfluß der hier gegebenen Symmetrierung: Sie ist an sich frequenz-unabhängig. Aufgrund dessen bleibt dabei der zu sperrende Strom auch bei größeren Abweichungen der Frequenz von der zu $\lambda/4$ -gehörenden Frequenz unterdrückt. Zuzufolge der mit der Frequenzabweichung sinkenden Sperrwirkung der für Resonanz geltenden $\lambda/4$ -Leitung nimmt dann nur die zusätzliche Belastung zu.

Die Anordnung nach Bild 23, für die als Ersatzschaltungen wieder Bild 17 in Frage kommt, wird **EMI-Schleife** genannt. (EMI ist die Abkürzung des Namens »Electric and Musical Industries Ltd.« einer britischen Firma, die erstmals diese Symmetriereinrichtung für eine Antenne herausbrachte.)

Die Anordnung gemäß **Bild 24** kann man sowohl als langgestreckte Symmetrierschleife wie auch als an ihrem Ende kurzgeschlossene $\lambda/4$ -Leitung auffassen. Beides ist richtig: Mit der symmetrischen Anordnung des leitenden Rohres (links) und des den Kabelmantel umschließenden leitenden Rohres (rechts) ergibt sich eine (langgestreckte) Symmetrierschleife und gleichzeitig eine $\lambda/4$ -Leitung. Eine solche Anordnung wird gelegentlich **Pawsey-Symmetrierglied** genannt.

In Verbindung mit einem Dipol bildet das in Bild 24 links eingetragene Rohr mit dem sich waagrecht nach links erstreckenden Dipolarm eine Einheit.

Der andere Dipolarm wird dementsprechend mit einem senkrechten Rohrstück kombiniert, in das das Koaxialkabel eingezogen ist (Bild 25).

Man kann ein solches Symmetrierglied auch mit einem zusätzlichen Koaxialkabelstück verwirklichen, wobei die gut leitende Verbindung zwischen den beiden Kabelmänteln statt mit unmittelbarem Verlöten (wie in Bild 26 gezeigt) auch gemäß Bild 25 mit einer Schelle möglich ist.

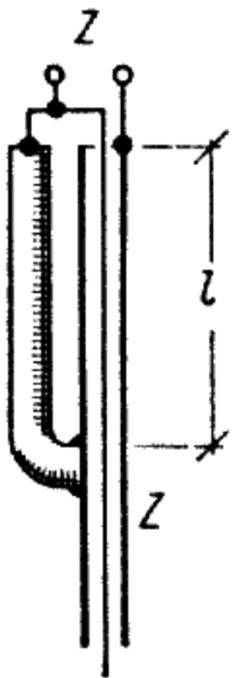


Bild 26

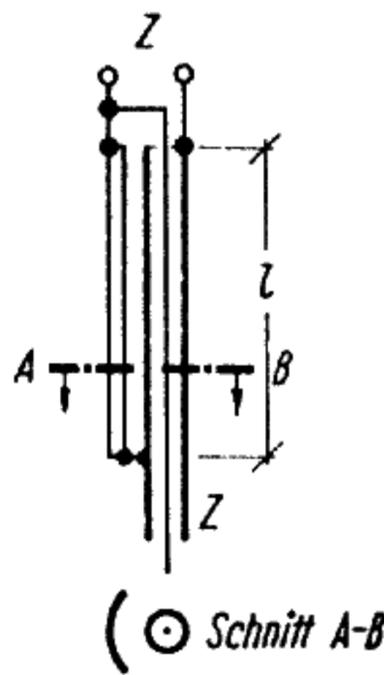


Bild 27

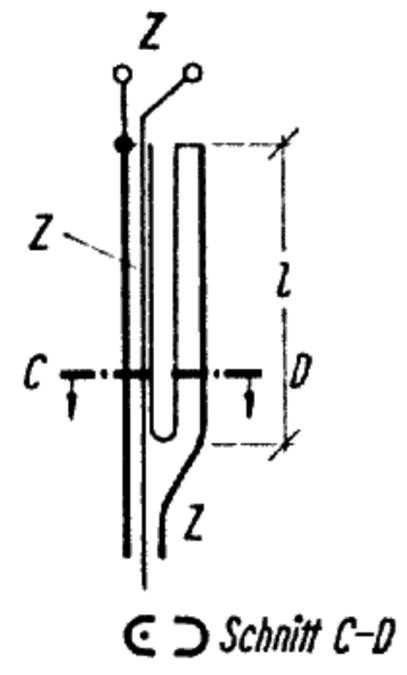


Bild 28

In den Bildern 27 und 28 wird gezeigt, wie man die an ihrem Ende kurzgeschlossene $\lambda/4$ -Leitung raumsparend ausführen kann: In der Anordnung nach Bild 27 besteht sie einerseits aus dem Mantel der Koaxialleitung und andererseits aus einem zylindrisch gebogenen Blechstreifen, der an seinem (im Bild unteren) Ende mit dem Kabelmantel in gut leitender Verbindung steht. In der anderen Anordnung (Bild 28) ist der Kabelmantel bzw. ein diesen ersetzendes leitendes Rohr aufgeschlitzt und so geformt, wie es der Schnitt C-D zeigt. Der Innenleiter wird dabei so von der einen Hälfte des geschlitzten Stückes umschlossen, daß sich damit innerhalb dieses Abschnittes derselbe Wellenwiderstand Z ergibt, wie er für das weitergehende Koaxialkabel gilt. Man bezeichnet eine Ausführung nach Bild 28 manchmal auch als **Halbschalen-Symmetrierglied**.

Bild 29 (Schnittzeichnung) macht deutlich, wie man eine $\lambda/4$ -Leitung nach Bild 24 mit einer Abschirmung ergänzen kann. Diese Abschirmung wirkt sich zusätzlich als $\lambda/4$ -Sperrtopf aus.

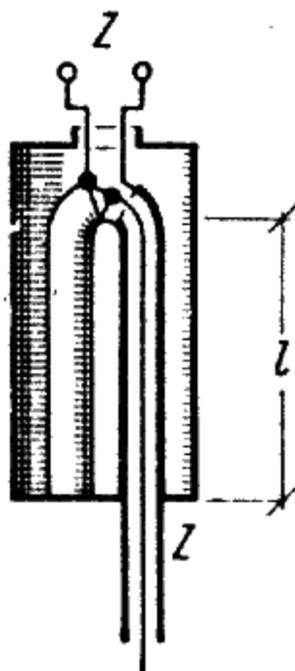


Bild 29

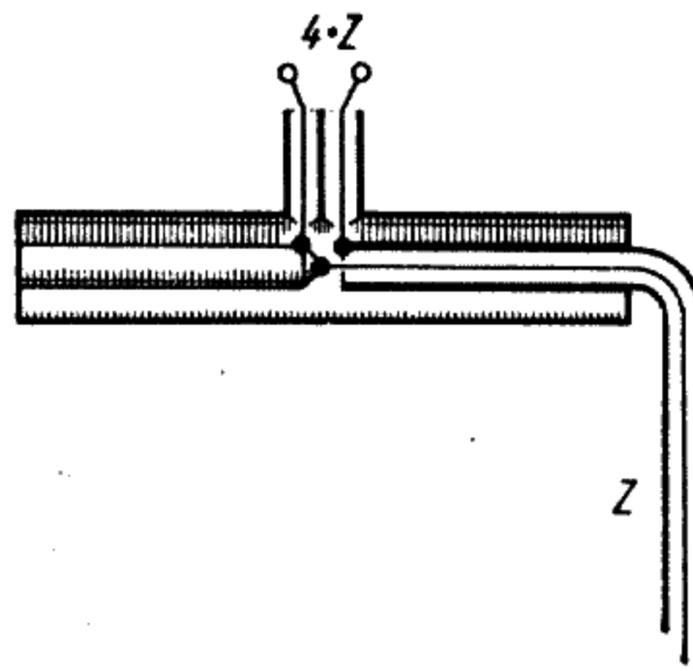


Bild 30

Bild 30 (Schnittzeichnung) veranschaulicht, wie der Sperrtopf nach Bild 22 mit einem **Symmetriertopf (Lindenblad-Symmetriertopf)** zu einem eigentlichen Symmetrierglied ergänzt wird.

Widerstandsschaltungen als Symmetrierglieder

Mit Widerstandsschaltungen kann man Übergänge zwischen Erd-Symmetrie und Erd-Unsymmetrie nur unter Inkaufnahme beträchtlicher Verluste (Dämpfungen) erreichen. Widerstandsschaltungen sind aber recht einfach aufzubauen und innerhalb breiter Frequenzbereiche verwendbar.

Bild 31 betrifft eine besonders einfache Symmetrierschaltung. Mit ihr wird die Symmetrie der erd-symmetrischen Seite bewahrt. Eine Anpassung besteht aber nur zwischen der erd-symmetrischen Seite und der Symmetrierschaltung, jedoch nicht zwischen dieser und der erd-unsymmetrischen Seite.

Mit einem Parallelwiderstand zum Eingang der erd-unsymmetrischen Seite kann man eine befriedigende Anpassung erreichen. Führt man aber die Symmetrierschaltung, so wie in **Bild 32** angedeutet, symmetrisch aus, dann bleibt die Symmetrie für die erd-symmetrische Seite nicht gewahrt.

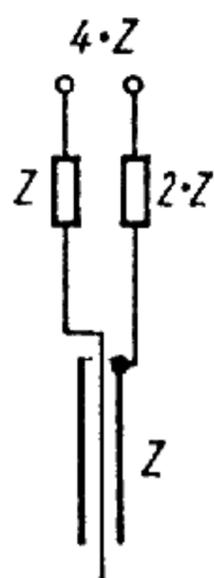


Bild 31

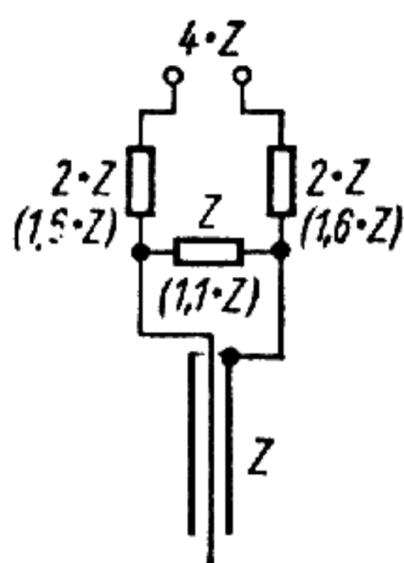


Bild 32

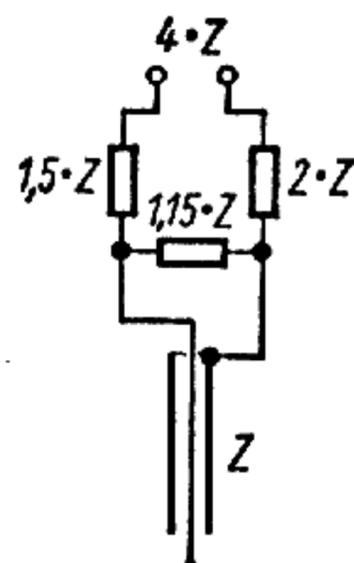


Bild 33

Anpassung und Symmetrie für die erd-symmetrische Seite erreicht man gewissermaßen mit einer Kombination der Widerstandsbemessungen nach Bild 31 und 32. Das **Bild 33** enthält die sich so ergebenden (abgerundeten) Werte.

Widerstandsschaltungen wird man als Symmetrierglieder nur für Meßschaltungen und zwar nur da verwenden, wo die hohe damit gegebene Dämpfung nicht stört. In derartigen Fällen aber sind solche Schaltungen vorteilhaft.

Weitere Bezeichnungen

Häufig werden spezielle Glieder für den Übergang zwischen Erd-Symmetrie und Erd-Unsymmetrie »Balun-Glieder« bzw. »Balun-Leitungen« oder »Balun-Transformatoren« genannt. Das erweckt den Anschein, als handle es sich beim Vorsatz »Balun« um das Kennzeichen einer besonderen Ausführung. In Wirklichkeit ist Balun nur eine Abkürzung von **balanced to unbalanced** und sollte exakterweise lediglich in diesem Sinne gebraucht werden.

Manchmal findet man die Bezeichnung **Bazooka** allgemein für jede Art von kurzgeschlossener $\lambda/4$ -Leitung. Genaugenommen ist das aber ausschließlich eine der Bezeichnungen für einen Sperrtopf.