

DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK



(12) Wirtschaftspatent

Teilweise bestätigt gemäß § 18 Absatz 1
Patentgesetz

PATENTCHRIFT

(19) **DD** (11) **216 364 B1**

4(51) H 03 H 7/42

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

(21)	WP H 03 H / 252 442 1	(22)	28.06.83	(45)	22.07.87
				(44)	05.12.84

(71) siehe (72)

(72) Schmid, Eugen, Dipl.-Ing., 1170 Berlin, Straße im Walde 44; Fäseke, Hans-Joachim, Dipl.-Ing., DD

(54) **Symmetrier- und Transformationsschaltung für kurze Dipolantenne**

ISSN 0433-6461

9 Seiten

Erfindungsanspruch

- 1 Symmetrier- und Transformationsschaltung für kurze Dipolantennen, die an dem einen gegenüber dem anderen Dipolanschluß eine annähernd gleichgroße, 180° phasenverschobene Spannung, gegen Erde gemessen, erzeugt, und die einen unsymmetrischen Eingang aufweist mit einer Eingangsimpedanz halb so groß wie die Impedanz eines Dipolastes, bestehend aus zwei Transformatoren, die jeweils eine Primär- und eine Sekundärwicklung tragen, wobei die Wicklungsanfänge der Primärwicklung des ersten Transformators und der Sekundärwicklung des zweiten Transformators zusammengeschaltet und deren Wicklungsenden mit einem Masseanschlußpunkt verbunden sind, während der Wicklungsanfang der Sekundärwicklung des ersten Transformators mit diesem Masseanschlußpunkt und ihr Wicklungsende über einen zweiten Anschlußpunkt mit dem ersten Dipolanschluß verbunden ist und der Wicklungsanfang der Primärwicklung des zweiten Transformators mit dem ersten Anschlußpunkt der Symmetrier- und Transformationsschaltung und ihr Wicklungsende über einen dritten Anschlußpunkt mit dem zweiten Dipolanschluß verbunden ist, **gekennzeichnet dadurch**, daß in die Verbindung Wicklungsende der Sekundärwicklung des zweiten Transformators (5) mit dem Masseanschlußpunkt (3) eine Kapazität (C2) eingefügt ist und die zusammengeschalteten Wicklungsanfänge des zweiten Transformators und der Anfang der Primärwicklung des ersten Transformators im Anschlußpunkt (1) der Schaltung miteinander verbunden sind und das Wicklungsende der Primärwicklung des zweiten Transformators den Anschlußpunkt (4) bildet
- 2 Schaltungsanordnung nach Punkt 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß zwischen dem ersten und dem vierten Anschlußpunkt (1, 4) die frequenzabhängige Streuinduktivität (L_s) des ersten Transformators (Tr 1) annähernd vorhanden ist
- 3 Schaltungsanordnung nach Punkt 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß der Koppelfaktor (k_2) der beiden Wicklungen des Transformators (Tr 2) ca 50% beträgt

Hierzu 5 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung findet Anwendung beim Einsatz der kurzen Dipolantenne für Funksender beziehungsweise deren Antennenanpaßgeräte, die mit Stabantennen arbeiten

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Bekanntlich ist das Anpassen der erdsymmetrischen Dipolimpedanz an einen Funksender mit erdsymmetrischem Ausgang mit Hochfrequenz-Breitbandtransformatoren möglich. Diese erzeugen an dem einen Dipolanschluß gegenüber dem anderen gegen Erde gemessen eine um 180° phasenverschobene, gleichgroße Spannung und formen die symmetrische Dipolimpedanz in eine erdsymmetrische am Eingang des Breitbandtransformators um. Gebräuchlich sind Lösungen mit einem oder mit mehreren zusammengeschalteten Breitbandtransformatoren, s. US-PS 3,428,886. Damit die Unsymmetrie der Dipolantenne und die Fehlanpassung am Eingang des Breitbandtransformators in zulässigen Grenzen bleiben, darf die Impedanz des Dipols nicht zu weit vom Wellenwiderstand der Wicklung des Breitbandtransformators entfernt sein.

Das erfordert das Auftrennen der Dipolaste an bestimmten Stellen und an diesen Trennstellen den Einbau von frequenzabhängigen Widerständen, die die Anpassung an den Breitbandtransformator erzwingen. Dadurch entstehen beträchtliche Verluste an Hochfrequenzleistung. Diese reduzieren den Wirkungsgrad der Antenne besonders im unteren Frequenzbereich. Außerdem bestehen die Nachteile des großen Platzbedarfs, Aufhängung des Dipols an zwei Masten und relativ hohe Montagekosten.

Der erforderliche große Platzbedarf solcher Antennen läßt sich zum Beispiel in Wohngebieten nicht realisieren. Daraus resultiert das Bedürfnis nach einer effektiven kleinen und leichten Dipolantenne, die von nur einem Mast getragen wird. Leicht zu realisieren ist eine Dipollänge mit maximal 10 m beziehungsweise $l/\lambda_{\max} \leq 0,05$.

Derartige Dipolantennen haben die Eigenschaft, im Frequenzbereich von 1,6 bis 12 MHz steilstrahlend zu sein. Eine Möglichkeit, eine kurze Dipolantenne von ca. 10 m Länge auf eine erdsymmetrische Impedanz $Z = 50 \text{ Ohm}$ mit einem Stehwellenverhältnis $s < 3$ an einen Funksender anzupassen, erfolgt derart, daß mit Hilfe eines Anpaßnetzwerkes, welches von Hand einstellbare Reaktanzen enthält, für mehrere Frequenzen die Anpassung mit Hilfe von Meßindikatoren gefunden wird. Die mechanisch gespeicherten Einstellwerte werden bei Wahl dieser Frequenzen abgerufen (Programmbetrieb). Nachteilig ist bei dieser Anordnung, daß die Zugriffszeit zu anderen Frequenzen unerwünscht hoch ist.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, die genannten Nachteile des Standes der Technik zu beseitigen und eine kurze Dipolantenne mit $0,05 < l/\lambda < 0,4$ mit Hilfe eines vorhandenen Antennenanpaßgerätes, welches zum automatischen Abstimmen unsymmetrischer Stabantennen im genannten Kurzwellen-Frequenzbereich geeignet ist, an einen Funksender anzupassen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Symmetrier- und Transformationsschaltung zu entwickeln, die ohne einstellbare Reaktanzen im Frequenzbereich breitbandig als Bindeglied zwischen Dipol und Antennenanpaßgerät funktioniert, ohne frequenzabhängige Widerstände in den Ästen des Dipols. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß in die Verbindung Wicklungsende der Sekundärwicklung und Masseanschluß eines zweiten Transformators eine Kapazität eingefügt ist und die zusammenschalteten Wicklungsanfänge dieses Transformators mit dem Eingang der Symmetrier- und Transformationsschaltung und das Wicklungsende der Primärwicklung dieses Transformators mit dem zweiten Dipolanschluß verbunden ist.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll an Hand eines Beispiels näher erläutert werden.
Die dazugehörigen Zeichnungen zeigen

- Fig 1 Dipolantenne
- Fig 2 Impedanzverlauf von $Z^<$
- Fig 3 Dipol mit idealem Transformator zur Symmetrierung
- Fig 4 Transformator-Ersatzschaltung Tr 1 mit Dipolantenne
- Fig 5 Kurvenverlauf der Streuinduktivität und der Unsymmetrie
- Fig 6 Transformatorschaltung Tr 2 mit C_2
- Fig 7 Verlauf der Streuinduktivitäten
- Fig 8 vollständige erfindungsgemäße Schaltung
- Fig 9 Einsatz der erfindungsgemäßen Schaltung in einer Anlage

Eine Dipolantenne mit den beiden Dipolästen D_1, D_2 der Länge $l/2$ im Abstand h über der Erde zeigt die Fig 1. Die Speisung der Anschlußpunkte 1 und 2 muß gegenphasig mit amplitudengleichen Spannungen U_1 und U_2 erfolgen. Zwischen den Anschlußpunkten 1 und 2 besteht die Impedanz $2Z^<$.

Man kann sich auch den Dipol aus zwei in einer Achse liegenden Horizontalantennen vorstellen. Jede Horizontalantenne hat, bezogen auf die gedachte Symmetrieebene S_E , die Impedanz $Z^<$. Der Verlauf der Impedanz $Z^<$ ist in Fig 2 in Abhängigkeit von l/λ dargestellt. Steht zur Speisung des Dipols nur die Spannung U_1 zur Verfügung, kann diese auch zur Speisung des anderen Dipolastes dienen, wenn, wie bekannt, die Spannung U_1 dem Anschlußpunkt 2 180° -phasenverschoben über den ideal gedachten Transformator Tr 1 mit einer Übersetzung $u = -1$, siehe Fig 3, zugeführt wird. Die Impedanz zwischen dem Anschlußpunkt 1 und dem Masseanschlußpunkt 3 beträgt dann bekanntlich $Z^</2$. Diesen Verlauf zeigt die Fig 2 als gestrichelte Kurve.

Denkt man sich den kurzen Dipol mit Hilfe eines symmetrischen Antennenanpaßgerätes abgestimmt und 100W HF-Leistung zugeführt, wurden unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades des Antennenanpaßgerätes in den Anschlußpunkten 1 und 2 bei $l/\lambda = 0,05$ Ströme I_1, I_2 von ca. 1,5A fließen. Die Spannung U_1 beziehungsweise U_2 beträgt, da bei $l/\lambda = 0,05$ die Antennenimpedanz $Z^< = 5\Omega - j 1000\Omega$ ist, siehe Fig 2, ca. 1500V. Dementsprechend ist für $l/\lambda = 0,5, I_1 = I_2 \approx 1,3A, U_1 = U_2 \approx 40V$.

Daraus geht hervor, daß der Transformator Tr 1 einen großen Impedanzbereich ($5 - j 1000$ bis 30) Ω transformieren und mit Hochspannungsisolation ausgeführt sein muß. Die Impedanz $Z^<$ entspricht bei $l/\lambda = 0,05$ der Reihenschaltung einer Antennenkapazität $C_A \approx 100pF$ und eines Antennenwiderstandes $R_A \approx 5\Omega$. Der Betrieb des Antennenanpaßgerätes erfordert, daß sich bei Transformation mit einem realen Transformator Tr 1 mit $u = -1$ eine Impedanz zwischen dem Anschlußpunkt 1 und dem Masseanschlußpunkt 3 einstellt, die zwischen der gestrichelten $Z^</2$ und der ausgezogenen $Z^<$ -Kurve liegt. Das hat aber zur Folge, daß die Antennenkapazität C_A auf der Primärseite wieder als Kapazität erscheinen muß. Daraus folgt die Bedingung für die Gegeninduktivität M des Transformators Tr 1

$$M = \frac{1}{\omega^2_{min} C_A} \tag{Gl 1}$$

und gemäß Transformator Ersatzschaltung in Fig 4 $L = M$ (Gl 2)

Aus Gl 1 und Gl 2 folgt $L = M > 100\mu H$

Weitere Bedingungen sind

Eigenresonanzen des Transformators Tr 1 im Bereich der Impedanztransformation für $0,05 < l/\lambda < 0,5$ zu vermeiden, indem die Wicklungslängen $l_w < \lambda_{min}/8$ lang sind.

Um mit einer minimierten Wicklungslänge l_w die erforderliche Induktivität $L > 100\mu H$ zu realisieren, ist außerdem gemäß

$$L = \frac{W^2}{R_m} \tag{Gl 3}$$

der magnetische Widerstand R_m zu minimieren. Möglichkeiten sind, den Luftweg der magnetischen Feldlinien zu verkürzen und die Austrittsfläche aus dem Kernmaterial möglichst groß zu machen.

Um eine Intermodulationsdämpfung des Transformators Tr 1 $d_3 > 40dB$ zu erhalten, muß das verwendete Magnetkernmaterial niederpermeabel oder bei Einsatz von Ferrit durch Luftspalt gesichert sein.

In Figur 4 ist der Transformator Tr1 zwischen den Anschlußpunkten 1 und 2 und dem Masseanschlußpunkt 3 als bekannte Ersatzschaltung des realen Transformators mit der Gegeninduktivität $M = L$, Streuinduktivität

$$L_s = \left(\frac{1}{k_1^2} - 1 \right) L \tag{GI 4}$$

in Reihenschaltung mit einem idealen Trafo mit einer Übersetzung

$$U = 1/k_1^2$$

dargestellt

Damit die Speisung der Dipolaste D_1 und D_2 symmetrisch erfolgt, muß zwischen den Anschlußpunkten 1 und 4 eine Spule mit der Streuinduktivität L_s nach Gl 4 vorhanden sein. Es wurde ermittelt, daß diese Symmetrier- und Transformationsschaltung nur bei tiefen Frequenzen die Unsymmetriebedingung

$$S = \frac{U_2 - U_4}{U_2 + U_4} < 0,1 \tag{GI 5}$$

erfüllt, siehe $S_1(\omega)$ in Fig 5

Ursache ist die verteilte Wicklungskapazität, die parallel zur Streuinduktivität L_s des Transformators eine physikalisch negativ wirkende Kapazität $-C_1$ hervorruft, siehe Figur 4. Diese negative Kapazität verkleinert die Streuinduktivität L_s gemäß der Gleichung

$$L_s(\omega) = \frac{L_s}{1 + \omega^2 C_1 L_s} \tag{GI 6}$$

mit steigender Frequenz. In Figur 5 ist dieser Verlauf mit Streuinduktivität L_s normiert dargestellt. Bei Umpolung des Transformators auf seiner Sekundarseite wirkt eine Kapazität in physikalisch positivem Sinne parallel zur Streuinduktivität L_s , so daß sich der gestrichelte Verlauf in Figur 5 ergibt. Diese Umpolung nutzt aber nichts, weil der Transformator dann 0° und nicht die erforderliche 180° Phasendrehung hat.

Man muß mit dieser negativen Kapazität das Unsymmetrieproblem lösen. An sich bewirkt die negative Kapazität einen günstigen Effekt, weil sie die Streuinduktivität L_s mit steigender Frequenz verkleinert. Damit die Unsymmetriebedingung (GI 5) erfüllt ist, erfordert das auch die Parallelschaltung dieser negativen Kapazität parallel zur Spule zwischen den Anschlußpunkten 1 und 4. Das ist aber technisch unmöglich, weil es eben keine negative Kapazität gibt.

Es wurde eine Schaltung gefunden, die zur Erfüllung der Unsymmetriebedingung den erforderlichen Reaktanzverlauf zwischen den Anschlußpunkten 1 und 4 approximiert. Sie besteht aus einem zusätzlichen Transformator Tr2 und der Kapazität C_2 gemäß Figur 6. Bei gleichem Wickelsinn der Spulen sind die Wicklungsanfänge mit einem Punkt markiert. Die Anschlußpunkte 1, 4 und der Masseanschlußpunkt 3 sind identisch mit den Anschlüssen in Figur 4. Die Primärinduktivität liegt an den Anschlußpunkten 1 und 4, die Sekundärinduktivität an den Anschlußpunkten 1 und 5. Primär- und Sekundärinduktivität haben die Größe der Streuinduktivität L_s des Transformators Tr1, jedoch kann die Sekundärinduktivität auch größer gewählt werden. Beide Wicklungen sind über den Koeffizienten k_2 magnetisch verkoppelt. Zwischen dem Masseanschlußpunkt 3 und dem Anschlußpunkt 4 befindet sich gestrichelt ein gedachter Kurzschluß. Die Induktivität $L_{1,4}$ zwischen den Anschlußpunkten 1 und 4 der Schaltung nach Figur 6 hat die Größe

$$L_{1;4} = L_s \frac{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 (1 - k_2^2)}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 (1 - k_2^2)} \tag{GI 7}$$

mit

$$\omega_0 = 1/\sqrt{L_s C_2} \tag{GI 8}$$

$$\omega_0 = 2\pi f_0 \tag{GI 9}$$

wobei ω_0 mittels C_2 wählbar ist. Die Gleichung 7 ist mit dem Koeffizienten k_2 als Parameter in Figur 7 normiert mit L_s dargestellt. In Fig 7 ist auch der Verlauf der Streuinduktivität $L_s(\omega)/L_s$ (GI 6) normiert mit $f_0 = 14$ MHz und $f_0 = 12$ MHz ersichtlich. Mit der Wahl des Koeffizienten k_2 und ω_0 (bzw. C_2) findet man eine Kurve, die die gestrichelt gezeichnete hinreichend gut approximiert, zum Beispiel die Kurven mit $k_2 = 0,5$ und $f_0 = 12$ MHz.

Wie auch die Praxis ergab, ist k_2 und f_0 nicht frei wählbar. Mit der Wahl von k_2 und f_0 ist außerdem der Amplitudenfrequenzgang der Leerlaufspannungen U_{21} und U_{41} (D_1 und D_2 abgetrennt) hinreichend gut zu approximieren. Die Beträge der Spannungen und die Phasenbedingung U_2 und U_4 lassen sich in der Praxis gut in Übereinstimmung bringen, so daß die Unsymmetriebedingung nach GI 5 erfüllt ist. Der noch vorhandene Rest der Unsymmetrie ist in Fig 5 als $S_2(\omega)$ dargestellt.

Grundsätzlich ist die Dimensionierung auch für einen anderen Frequenzbereich möglich. Der zu erreichende Wirkungsgrad liegt zwischen 85% - 95%.

Fig 8 zeigt die komplette erfindungsgemäße Symmetrier- und Transformationsschaltung, Fig 9 das Blockschaltbild der Anordnung von Funksender FS, Antennenanpaßgerät AAG, Symmetrier- und Transformationsschaltung STS und Dipolantenne mit den beiden Dipolasten D_1 und D_2 . Diese Dipolaste bestehen aus je zwei im Winkel von 60° angeordneten Drahten oder Stäben. Die STS beinhaltet die erfindungsgemäße Symmetrier- und Transformationsschaltung.

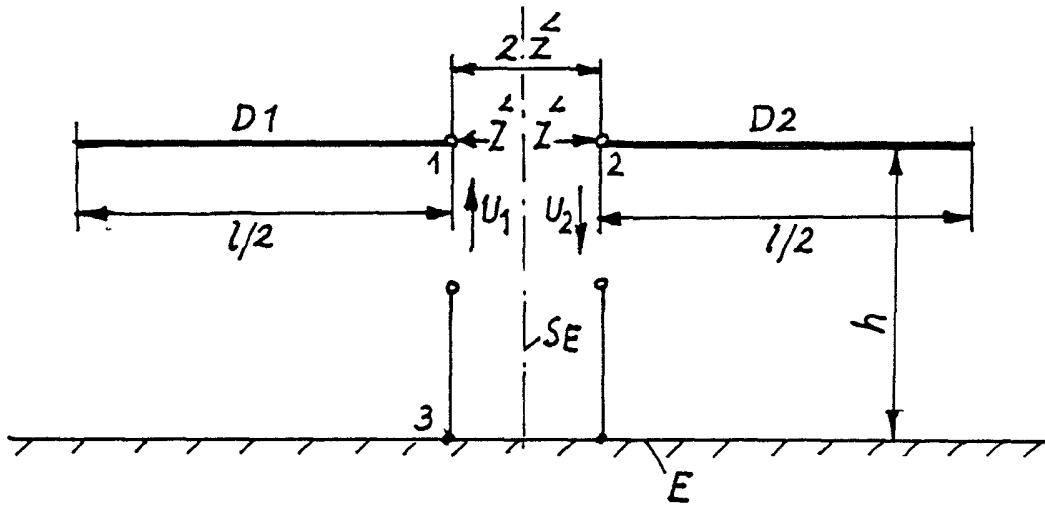


Fig. 1

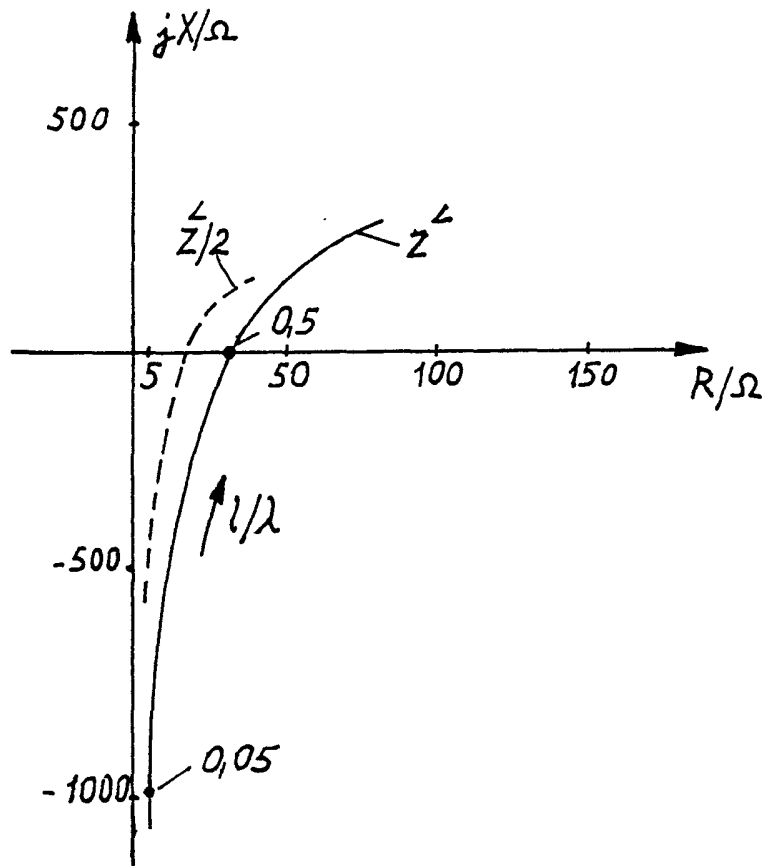


Fig. 2

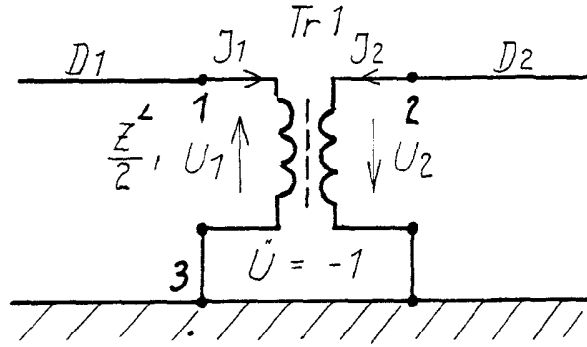


Fig. 3

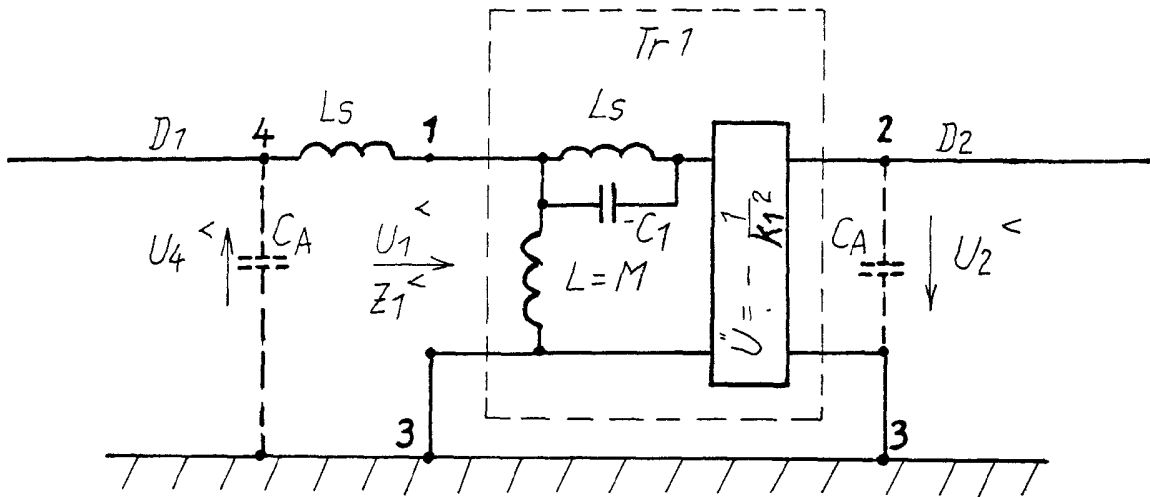


Fig. 4

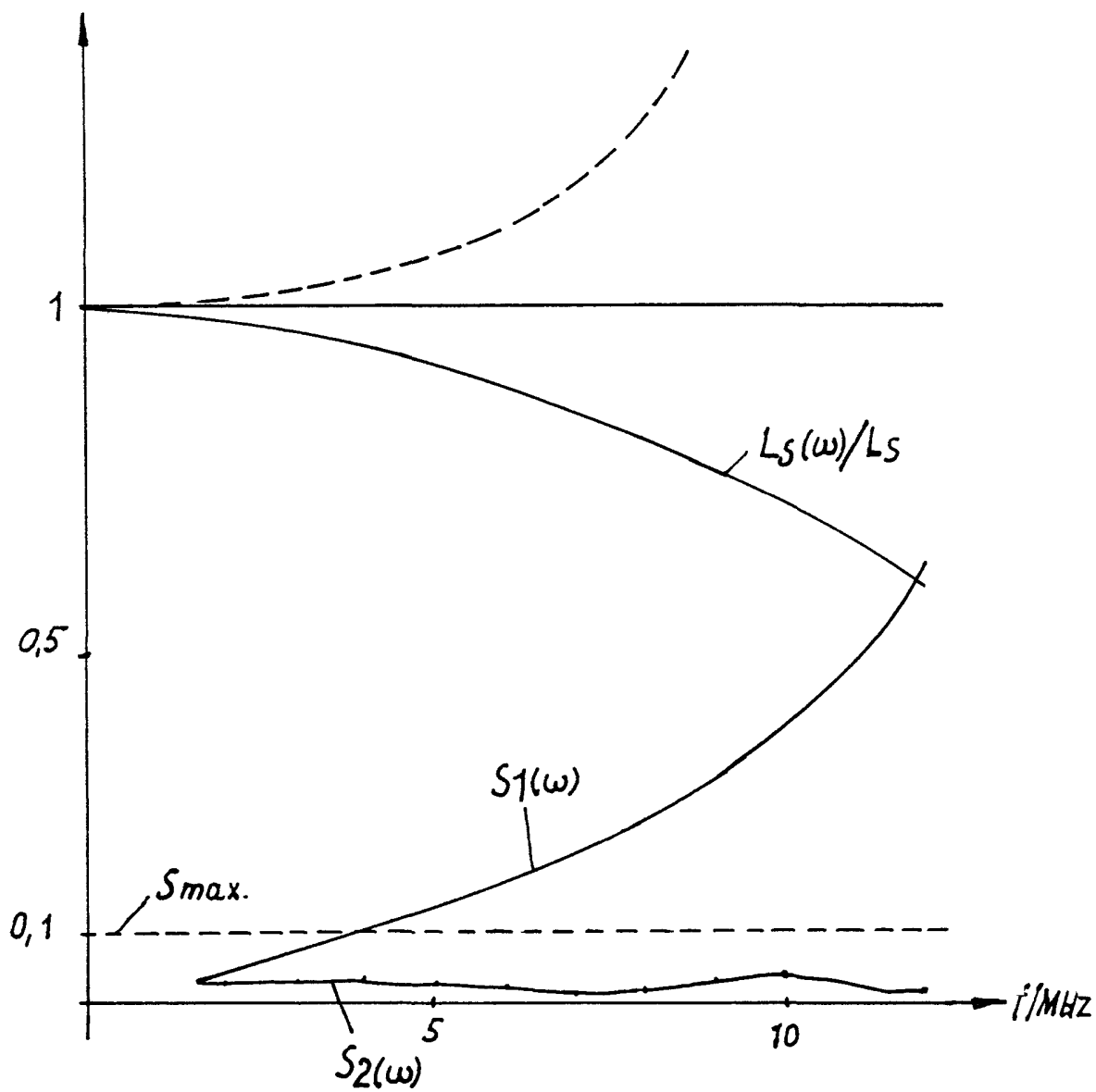


Fig.5

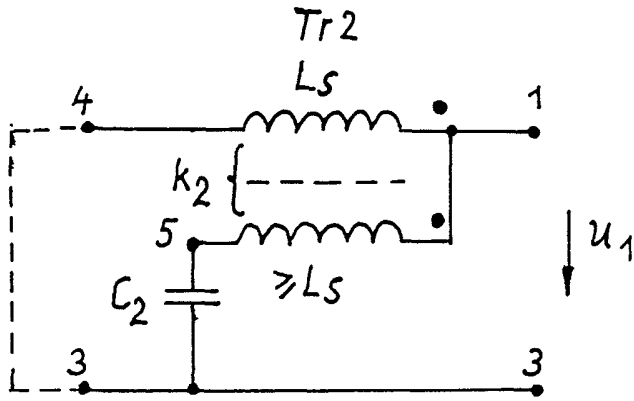


Fig.6

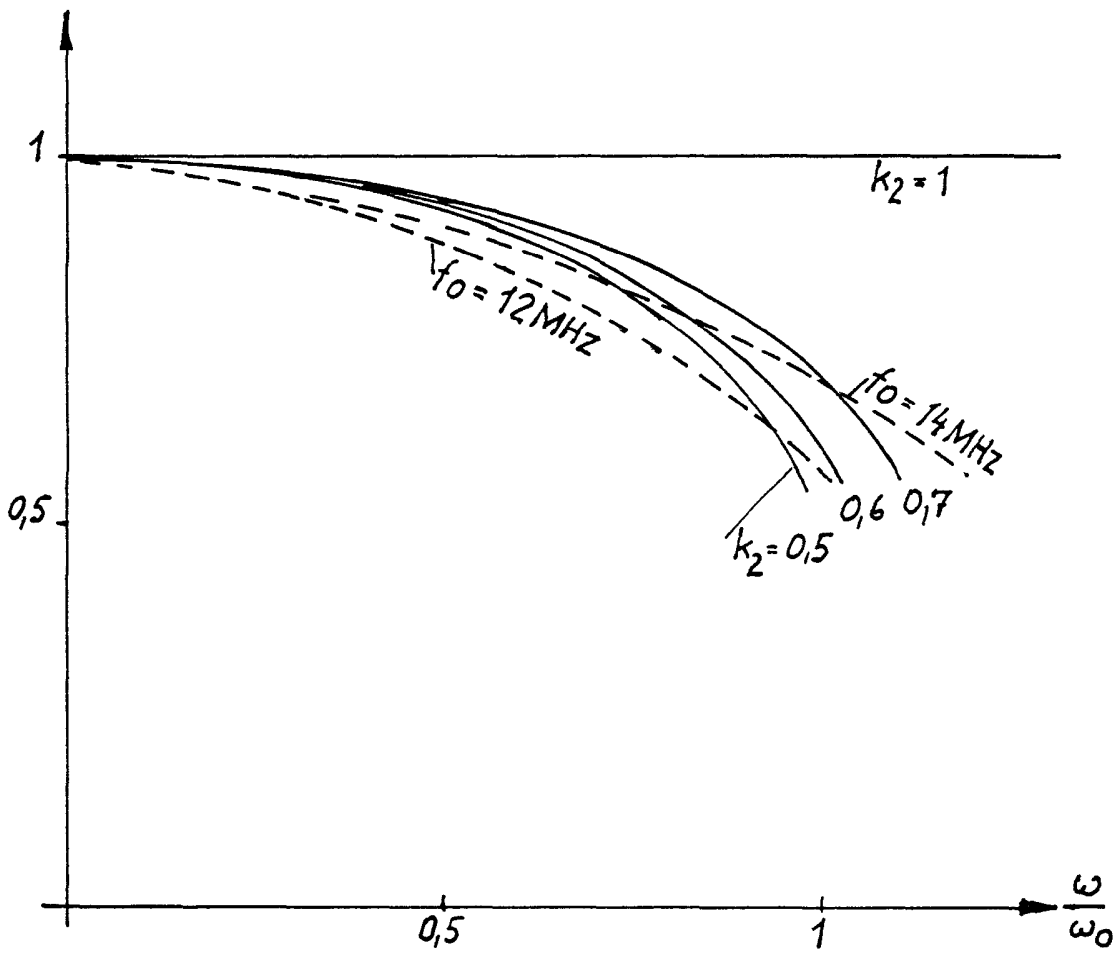


Fig.7

