



71 Anmelder:

Flachenecker, Gerhard, Prof. Dr.-Ing., 8012
Ottobrunn, DE; Landstorfer, Friedrich, Prof. Dr.-Ing.,
8000 München, DE; Lindenmeier, Heinz, Prof.
Dr.-Ing., 8033 Planegg, DE

72 Erfinder:

Lindenmeier, Heinz, Prof. Dr.-Ing., 8033 Planegg, DE;
Hopf, Jochen, Dr.-Ing., 8013 Haar, DE; Flachenecker,
Gerhard, Prof. Dr.-Ing., 8012 Ottobrunn, DE;
Landstorfer, Fritz, Prof. Dr.-Ing., 8000 München, DE

54 Aktive Rahmenantenne mit transformatorischer Ankupplung

An eine Einwindungs-Rahmenantenne ist ein verstärken-
der, elektronischer Dreipol mit Hilfe eines Transformators
angekoppelt. Hierbei soll bei möglichst geringen Rahmenab-
messungen innerhalb eines vorgegebenen Frequenzberei-
ches breitbandig ein gefordertes Signal-Rauschverhältnis
überschritten werden. Ferner soll die effektive Höhe der
aktiven Rahmenantenne weitgehend frequenzunabhängig
sein und der Antennenverstärker möglichst gute Linearitätsei-
genschaften besitzen. Die Erfindung beruht auf der Anwen-
dung eines kapazitätsarmen Übertragers, an dessen Sekun-
därwicklung ein aktiver, elektronischer Dreipol in Basis- bzw.
in Gate-Schaltung angeschaltet ist und die Primärseite des
Übertragers von dem Einwindungsrahmen gespeist wird.
Durch Wahl eines optimalen Übersetzungsverhältnisses des
Übertragers wird optimales Signal-Rauschverhältnis erreicht.
Solche aktiven Rahmenantennen eignen sich bevorzugt für
den Empfang im HF- und VHF-Bereich. (32 09 345)

-14-

Patentansprüche

1. Aktive Einwindungsrahmenantenne mit einem oder mit mehreren verstärkenden elektronischen Dreipolen, deren Steuerelektroden (Gate bzw. Basis) geerdet sind und dem bzw. denen ein Verstärker nachgeschaltet ist, dadurch gekennzeichnet, daß in den Einwindungsrahmen (1) die Primärwicklung (3) eines kapazitätsarmen Übertragers (2) eingeschaltet ist und der eine Anschluß der Sekundärwicklung (4) mit der Quellelektrode des aktiven Dreipols (5) unter Vermeidung von Zuleitungs- und Schaltkapazitäten direkt verbunden ist und der andere Anschluß der Sekundärwicklung im Falle eines unsymmetrischen Verstärkers mit Masse oder bei Verwendung eines symmetrischen Verstärkers mit dem Quellanschluß des weiteren elektronischen Dreipols direkt verbunden ist und das Übersetzungsverhältnis \bar{u} des Übertragers so gewählt wird, daß in einem vorgegebenen Frequenzbereich gegebenenfalls unter Berücksichtigung des äußeren Rauschens bei kleinstmöglichen Rahmenabmessungen ein gefordertes Signal-Rauschverhältnis am Antennenausgang unterschritten wird und daß der Eingangswiderstand des dem Dreipol (5) nachgeschalteten Verstärkers (9) hochohmig ist und dieser Verstärker eine hohe Linearität besitzt.
2. Antenne nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Übersetzungsverhältnis des Übertragers so groß gewählt wird, daß sich bedingt durch die nicht vermeidbare Kapazität C innerhalb des vorgesehenen Empfangsfrequenzbereichs ein Signal-Rauschverhältnis ergibt, das einen Maximalwert durchläuft.
3. Antenne nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Primärwicklung des Übertragers nur aus einer Windung besteht.

4. Antenne nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Primärwicklung durch den Rahmen selbst gebildet wird, der durch die Öffnung eines geschlossenen Ferrittrings geführt wird und daß die Sekundärwicklung möglichst kapazitätsarm auf dem Umfang des Ferrittrings verteilt wird.
5. Antenne nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der dem aktiven Dreipol (5) nachgeschaltete Verstärker (9) am Eingang einen kapazitätsarmen Feldeffekt-Transistor besitzt, dem am Eingang ein hochohmiger ohmscher Widerstand R (8) parallelgeschaltet ist.
6. Antenne nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Feldeffekttransistor in Sourcefolgerschaltung arbeitet und ihm ein Bipolartransistor nachgeschaltet ist und dem Bipolartransistor das Ausgangssignal entweder an seinem Emitter oder an seinem Kollektor entnommen wird.
7. Antenne nach Anspruch 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß sowohl der aktive Dreipol (5) als auch der nachfolgende Verstärker (9) spiegelbildlich ergänzt werden und die Sekundärwicklung des Übertragers die so entstandene symmetrische Schaltung speist.
8. Antenne nach Anspruch 1 mit 6, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Transistoren parallelgeschaltet sind und gemeinsam einen verstärkenden Dreipol mit geerdeter Steuerelektrode bilden.
9. Antenne nach Anspruch 1 mit 8, dadurch gekennzeichnet, daß der aktive Dreipol (5) auf den Eingang eines selektiv hochohmigen abstimmbaren Resonanzfilters arbeitet, an dessen Ausgang auf an sich bekannte Weise der Verstärker V angekoppelt ist.

10. Antenne nach Anspruch 1 mit 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Rahmen aus einem Rohr besteht und das Ausgangssignal des ~~symmetrischen Verstärkers~~ über entweder eine oder über zwei ~~koaxiale Leitungen~~ im Innern des Rahmenrohrs zur Antennenanschlußstelle geleitet wird und der Verstärker im oberen Symmetriepunkt des Rahmens angebracht ist und die Symmetrie der Anordnung dadurch hergestellt wird, daß zwei Überträgerferritrings verwendet werden (Fig.4).
11. Antenne nach Anspruch 1 mit 10, dadurch gekennzeichnet, daß durch Kombination zweier räumlich unter 90° zueinander angeordneter derartiger Antennen (Kreuzrahmen), deren Ausgangssignale auf an sich bekannte Weise unter einem Phasenunterschied von 90° zusammengeführt werden, eine Rundempfangscharakteristik in der H-Ebene des Rahmens entsteht.

Prof. Dr. Ing. H. Lindenmeier
 Fürstenriederstr. 7b
8033 Planegg

15.3.82

AKTIVE RAHMENANTENNE MIT TRANSFORMATORISCHER ANKOPPLUNG

Die Erfindung betrifft eine aktive Einwindungs-Rahmenantenne mit einem oder mit mehreren verstärkenden elektronischen Dreipolen, deren Steuerelektroden (Gate bzw. Basis) geerdet sind und den bzw. denen ein Verstärker nachgeschaltet ist.

Rahmenantennen, die den frequenzunabhängigen Kurzschlußstrom des Rahmens signalmäßig verarbeiten, indem unmittelbar am Fußpunkt der Rahmenantenne ein Transistorverstärker mit sehr geringem Eingangswiderstand angeschaltet wird, sind bekannt und in DE-OS 27 48 076 beschrieben.

Derartige Rahmenantennen besitzen zwar die Eigenschaft, in einem sehr großen Frequenzbereich eine strenge Proportionalität zwischen der die Antenne erregenden magnetischen Feldstärke H und der Antennenausgangsspannung zu liefern. Für eine vorgegebene Rahmenfläche ergibt sich allerdings nicht die maximal mögliche Grenzempfindlichkeit, also bei gegebener Signalfeldstärke nicht der maximal mögliche Signal-Rauschabstand, weshalb für eine Forderung nach einer zu unterschreitenden Grenzempfindlichkeit die Rahmenabmessungen unnötig groß gewählt werden müssen. Da für die meisten praktischen Anwendungen der Umfang des Rahmens deutlich kleiner als die kleinste Betriebswellenlänge im Nutzfrequenzbereich bleiben muß, reduzieren unnötig große Rahmenabmessungen die höchstmögliche Nutzfrequenz. Zusätzlich zu diesem Nachteil und den häufig ebenfalls störenden großen Abmessungen des Rahmens ergibt sich auf Grund der vergleichsweise geringen Quellimpedanz eines Einwindungsrahmens zusammen mit dem Eingangswiderstand der aktiven Schaltung noch der Nachteil, daß die gewünschten guten Intermodulations- und Kreuzmodulationseigenschaften nicht erreichbar sind.

Aufgabe der Erfindung ist es, bei einer Antenne der eingangs genannten Art bei möglichst geringen Rahmenabmessungen innerhalb eines vorgegebenen Frequenzbereiches breitbandig ein gefordertes Signal-Rauschverhältnis zu überschreiten und gleichzeitig die Forderungen nach einer weitgehend frequenzunabhängigen effektiven Höhe der aktiven Rahmenantenne, also nach einem weitgehend frequenzunabhängigen Verhältnis zwischen der Ausgangsspannung der aktiven Antenne und der erregenden Feldstärke, und die Forderung nach möglichst guten Linearitätseigenschaften zu erfüllen.

Diese Aufgabe wird, ausgehend von einer Rahmenantenne laut Oberbegriff des Hauptanspruchs, dadurch gelöst, daß ~~in den Einwindungsrahmen (1) die Primärwicklung (3)~~ eines kapazitätsarmen Übertragers (2) eingeschaltet ist und der eine Anschluß der Sekundärwicklung (4) mit der Quellelektrode des aktiven Dreipols (5) unter Vermeidung von Zuleitungs- und Schaltkapazitäten direkt verbunden ist und der andere Anschluß der Sekundärwicklung im Falle eines unsymmetrischen Verstärkers mit Masse oder bei Verwendung eines symmetrischen Verstärkers mit dem Quellanschluß des weiteren elektronischen Dreipols direkt verbunden ist und das Übersetzungsverhältnis \bar{u} des Übertragers so gewählt wird, daß in einem vorgegebenen Frequenzbereich gegebenenfalls unter Berücksichtigung des äußeren Rauschens bei kleinstmöglichen Rahmenabmessungen ein gefordertes Signal-Rauschverhältnis am Antennenausgang unterschritten wird und daß der Eingangswiderstand des dem Dreipol (5) nachgeschalteten Verstärkers (9) hochohmig ist und dieser Verstärker eine hohe Linearität besitzt.

Im folgenden wird die Erfindung anhand der Figuren 1 bis 4 näher erläutert.

Im einzelnen zeigt:

Fig.1: eine Antenne nach der Erfindung mit unsymmetrisch ausgeführter elektronischer Schaltung

Fig.2: Signal-Rauschabstand in Abhängigkeit von der Frequenz in einem weiten Frequenzbereich für verschiedene Schal-

tungsdimensionierungen, u.a. für ein typisches Beispiel einer Antenne nach der Erfindung

Fig.3: Antenne nach der Erfindung mit symmetrischer Ausführung der elektronischen Schaltung

Fig.4: Antenne nach der Erfindung mit im oberen Symmetriepunkt angebrachten Verstärker zur Vermeidung des Empfangs elektrischer Feldstärkekomponenten.

Fig.1 zeigt ein Beispiel einer Antenne nach der Erfindung, bei der die elektronische Schaltung unsymmetrisch ausgeführt ist und bei der der verstärkende Dreipol (5) nur aus einem einzigen Transistor, einem Feldeffekttransistor in Gateschaltung besteht. Der Dreipol (5) ist an den Einwindungsrahmen (1) erfindungsgemäß mit Hilfe eines Übertragers (2) angekoppelt, wobei die Primärwicklung (3) des Übertragers in den Rahmen eingeschaltet ist und die Sekundärwicklung (4) den Dreipol (5) ansteuert. Signalmäßig belastet dieser Dreipol die Sekundärwicklung des Übertragers niederohmig.

Hinsichtlich des Signal-Rauschabstandes bezüglich der Klammern 2-2' ist diese niederohmige Belastung der Sekundärwicklung jedoch bedeutungslos. Der Signal-Rauschabstand der Anordnung hängt von Wert des Übersetzungsverhältnisses \bar{u} sowie der Größe der Kapazität (6) ab. Diese Kapazität setzt sich im Beispiel der Fig.1 aus der Sperrschichtkapazität des Fets, der Wicklungskapazität des Übertragers und der transformierten Rahmenkapazität zusammen und kann daher grundsätzlich nicht vermieden werden.

Diese Kapazität bildet zusammen mit der auf die Sekundärseite des Übertragers transformierten Eigeninduktivität des Rahmens (L_1) und dem Verlustleitwert G (7) einen verlustbehafteten Parallelresonanzkreis mit der Leerlaufgüte $Q=1/(\bar{u}^2 L_1 G)$ aus. Dieser Resonanzcharakter prägt sich dem Signal-Rauschabstand derart auf, daß bei $f_r = 1/\sqrt{(\bar{u}^2 L_1 C)}$ der Signal-Rauschabstand maximal wird.

Für das Beispiel der Antenne nach Fig.1 kann man für den Signal-Rauschabstand der Anordnung die folgende Beziehung angeben:

$$\frac{S}{N} = \frac{E^2}{E_g^2} = \frac{(HZ_o)^2}{\left\{ \frac{1}{h_{effR}} \cdot \sqrt{4kT_o B} \cdot \sqrt{R_{ä} \cdot \frac{[1 - (\frac{f}{f_o})^2]^2}{ü^2} + \frac{1}{ü^2 GQ^2} \cdot (\frac{f}{f_o})^2} \right\}^2}$$

Bild 2 zeigt typische sich ergebende Verläufe des Signal-Rauschabstands für verschiedene Dimensionierungen des Übersetzungsverhältnisses \bar{u} . Ist \bar{u} zu klein (im Beispiel der gestrichelte Verlauf), so steigt S/N mit steigender Frequenz an, da die in den Rahmen induzierte Spannung bekanntlich proportional der Frequenz ist. Erhöht man \bar{u} , transformiert man also den Kurzschlußstrom des Rahmens zu kleineren Werten an die Klemmen 1-1', so verbessert sich trotz des kleiner werdenden Steuerstroms für den Dreipol (5) der Signal-Rauschabstand der Anordnung. Die unvermeidbare Kapazität (6) verschlechtert allerdings das Verhalten bei Frequenzen oberhalb der Resonanzfrequenz f_r . Da f_r mit größer werdenden \bar{u} fällt, sind der Erhöhung von \bar{u} Grenzen gesetzt.

Die 0-dB-Linie in Bild 2 steht beispielhaft für eine Forderung nach einem frequenzunabhängigen minimal zu erreichenden Signal-Rauschabstand für eine vorgegebene frequenzunabhängige Signalfeldstärke H, die die Rahmenantenne erregt.

In einer Weiterführung der Erfindung ist es in einem derartigen Fall vorteilhaft, die Resonanzfrequenz f_r innerhalb des vorgesehenen Nutzfrequenzbereichs, der von f_{min} bis f_{max} reicht, durch geeignete Wahl von \bar{u} zu legen, vorzugsweise auf $f_r = \sqrt{f_{min} \cdot f_{max}}$.

Eine davon abweichende Wahl des Übersetzungsverhältnisses kann ebenfalls manchmal von Vorteil sein, z.B. wenn eine Anpassung der Empfindlichkeit der Rahmenantenne an die frequenzabhängige äquivalente Störfeldstärke, die auf grund des Außenrauschens vorhanden ist, erwünscht ist.

Um für eine Antenne nach der Erfindung einen möglichst hohen Signal-Rauschabstand zu erzielen, ist daher besonders darauf zu achten, daß die Kapazität (6) so klein wie irgend möglich gehalten wird.

Dies erfordert z.B. die Vermeidung von unnötig langen Zuleitungen zwischen der Sekundärwicklung des Übertragers und den Eingangsklemmen des aktiven Dreitors (5) sowie eine möglichst kapazitätsarme Verteilung der Wicklung (4) (Sekundärwicklung) des Übertragers und kann auch die Verwendung z.B. eines extrem kapazitätsarmen Ga-As-Fets nahelegen.

Die Verwendung eines Mehrwindungsrahmens anstelle des Einwindungsrahmens ist aus dem gleichen Grund nicht vorteilhaft und nicht erfindungsgemäß, da eine Impedanztransformation durch eine Erhöhung der Rahmenwindungszahl auf grund der geometrisch ausgedehnten Abmessungen stets zu höheren parasitären Kapazitäten führt als ein geometrisch kleiner Übertrager.

In einer Weiterführung der Erfindung ist es ebenfalls von Vorteil, bei gegebenem Übersetzungsverhältnis die gesamte Zahl der Windungen zu minimieren und für die Primärwindung nur eine einzige Windung zu verwenden bzw. in einer weiteren Ausgestaltung die Primärwicklung dadurch zu realisieren, daß das Rohr des Rahmens direkt durch einen Ferritring geführt wird und als Primärwicklung dient. Beide Maßnahmen dienen dazu, die Kapazität (6) so niedrig wie möglich zu halten.

Das Signalverhalten einer Antenne nach der Erfindung weist in Gegensatz zum Rauschverhalten keine resonanzartige Überhöhung auf, da die Eingangsimpedanz des Dreitors (5) im Vergleich zur Quellimpedanz der Sekundärwicklung (4) niederohmig ist und daher den Resonanzkreis in einem so hohem Maße bedämpft, daß das Verhältnis des Ausgangsstroms an den Klemmen 2-2' zur erregenden Feldstärke H praktisch frequenzunabhängig ist und daher auch in sehr weiten Grenzen die Kapazität (6) ohne Einfluß auf das Signalverhalten ist.

Vorteilhaft wirkt sich die Verwendung eines Übertragers auch auf die Linearität der Anordnung aus, da mit größer werdendem Übersetzungsverhältnis der Betrag der Quellimpedanz der sich an den Klemmen 1-1' ergebenden resultierenden Signalquelle quadratisch erhöht und damit der Dreipol (5) stärker linearisiert wird.

An die Sammelelektrode des Dreipols (5) ist erfindungsgemäß der eingangsseitig hochohmige Verstärker (9) angeschaltet.

Um den Rauschbeitrag dieses Verstärkers zum Gesamt rauschen klein zu halten, ist eine hinreichend hohe Spannungsverstärkung des Dreipols (5) erforderlich, so daß die Sammelelektrode auf einen hochohmigen Widerstand R (8) in solchen Anwendungsfällen arbeiten muß, in denen eine Breitbandcharakteristik des Signalverhaltens angestrebt wird. Dann muß die kapazitive Belastung dieses Widerstands klein gehalten werden und der Verstärker (9) einen kapazitiv hochohmigen Eingangswiderstand besitzen, was die Verwendung eines Ga-As-Fets auch an dieser Stelle nahelegt. Da die Anforderungen an die Linearität des Verstärkers (9) ebenfalls sehr hoch sind, empfiehlt sich in einer vorteilhaften Weiterführung der Erfindung die Verwendung einer bekannten hochlinearen Schaltung mit dem Eingangstransistor als Sourcefolger und einem nachgeschalteten Bipolartransistor, dem das Ausgangssignal entweder an seinem Emitter oder an seinem Kollektor entnommen wird.

Bild 3 zeigt beispielhaft eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung, bei der die aktive Schaltung nach Fig.1 spiegelbildlich ergänzt ist und die Sekundärwicklung (4) des Übertragers (2) die beiden Dreipole (5) symmetrisch im Gegentakt aussteuert. Auch die beiden Verstärker (9) werden dadurch symmetrisch angesteuert. Die Auskopplung des Signals erfolgt in diesem Beispiel differentiell am Kollektor der beiden Bipolartransistoren. Diese symmetrische Ergänzung der aktiven Schaltung führt zu einer weiteren Reduktion unerwünschter quadratischer nichtlinearer Verzerrungen bei sonst unveränderten Eigenschaften.

Sowohl im Falle der unsymmetrischen Verstärkeranordnung als auch bei der symmetrisch ergänzten Ausführung kann es vorteilhaft sein, jeden Dreipol durch die Parallelschaltung mehrerer Einzeltransistoren mit gemeinsam geerdeter Steuerelektrode zu realisieren, da eine derartige Parallelschaltung zwar eine erhöhte Kapazität aber auch eine reduzierte Serienrauschspannungsquelle besitzt und bei entsprechend angepaßtem Übersetzungsverhältnis $ü$ das Verhältnis sonstiger parasitärer Kapazitäten zur Gesamtkapazität günstiger wird. Außerdem kann die Spannungsverstärkung bezüglich der Klemmen 2-2' größer gemacht werden.

Eine erhöhte Montage von Stabantennen auf Masten führt bekanntlich zu ausgeprägten Frequenzabhängigkeiten der Empfangseigenschaften. Diese Effekte lassen sich auch durch eine Entkopplung der Stabantenne vom Mast nur unzureichend beseitigen.

Rahmenantennen dagegen können ohne Änderung ihrer Empfangseigenschaften auf Masten montiert werden, falls sowohl hinsichtlich des mechanischen Aufbaus als auch hinsichtlich des elektrischen Verhaltens vollständige Symmetrie vorliegt.

Diese vollständige Symmetrie zu erreichen bereitet in der Praxis allerdings Schwierigkeiten. In einer vorteilhaften Weiterführung der Erfindung läßt sich diese Symmetrie durch eine Anordnung nach Fig. 4 erreichen, in der der Übertrager (2) durch zwei symmetrisch zur Symmetrieachse der gesamten Anordnung angebrachte Ferritringe realisiert ist und die Sekundärwicklung ebenfalls symmetrisch auf die beiden Ferritringe verteilt ist. Der in (11) enthaltene symmetrische Verstärker, der z.B. nach Fig. 3 aufgebaut sein kann und in jedem Fall die Dreipole (5) und den nachfolgenden Verstärker (9) enthält, wird durch die Sekundärwicklung des Übertragers symmetrisch durchgesteuert.

Zur Auskopplung wird im Beispiel der Fig. 4 nur eine einzige koaxiale Leitung verwendet, die im oberen Symmetriepunkt des aus einem Rohr aufgebauten Rahmens ins Innere desselben geführt wird und im Innern des Rahmens (1) und durch den ebenfalls rohrförmigen Mast (10) nach unten geführt wird, wie dies Fig. 4 zeigt.

Sollte bei dieser Art der Auskopplung die Symmetrie der gesamten Anordnung wegen der erforderlichen Umsymmetrierung am Ausgang des Verstärkers (11) noch nicht ausreichend sein, so ist auch hinsichtlich der Auskopplung eine vollständig symmetrische Anordnung möglich, bei der jede der beiden Sammelelektroden des symmetrischen Ausgangsverstärkers auf eine eigene Koaxialleitung arbeitet, die voneinander unabhängig durch den Rahmen und den Mast nach unten geführt werden und erst an der Antennenanschlußstelle zusammengeschaltet werden.

Eine derartige vollständig symmetrische Ausführung der gesamten Antenne führt dazu, daß für vertikale E-Feld Polarisierung und senkrechte Montage der Rahmenebene die Antenne keine elektrischen Feldkomponenten empfängt.

Zur Erzeugung eines Runddiagramms in der H-Ebene des Rahmens ist die Kombination von zwei räumlich unter 90° angeordneten Einzelrahmen nach der Erfindung erforderlich, deren Ausgänge mit einem Phasenunterschied von 90° zusammengeführt werden.

Vorteilhaft wirkt sich bei der Realisierung eines derartigen Kreuzrahmens aus Einzelrahmen nach der Erfindung die nach Betrag und Phase breitbandige Charakteristik des Signalverhaltens sowie die hohe elektrische Entkopplung der beiden Rahmen aus. Diese hohe elektrische Entkopplung ergibt sich wegen der nahezu rückwirkungsfreien Eingangsschaltungen aus Dreitoren, deren Steuerelektroden geerdet sind.

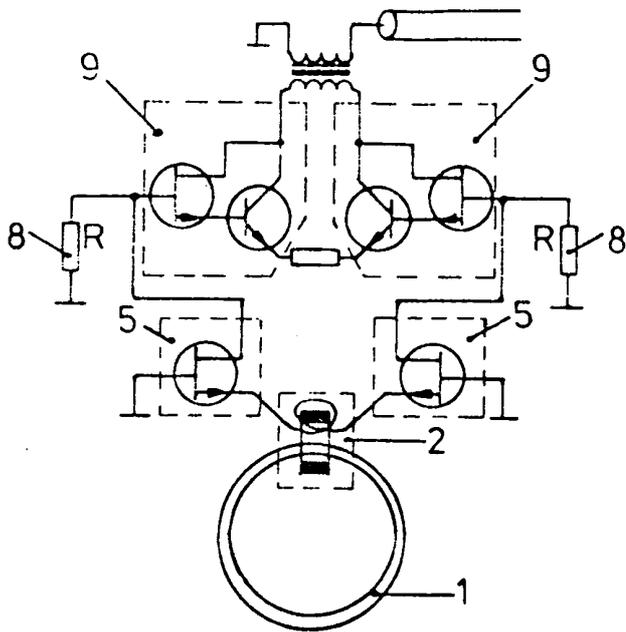


Fig. 3

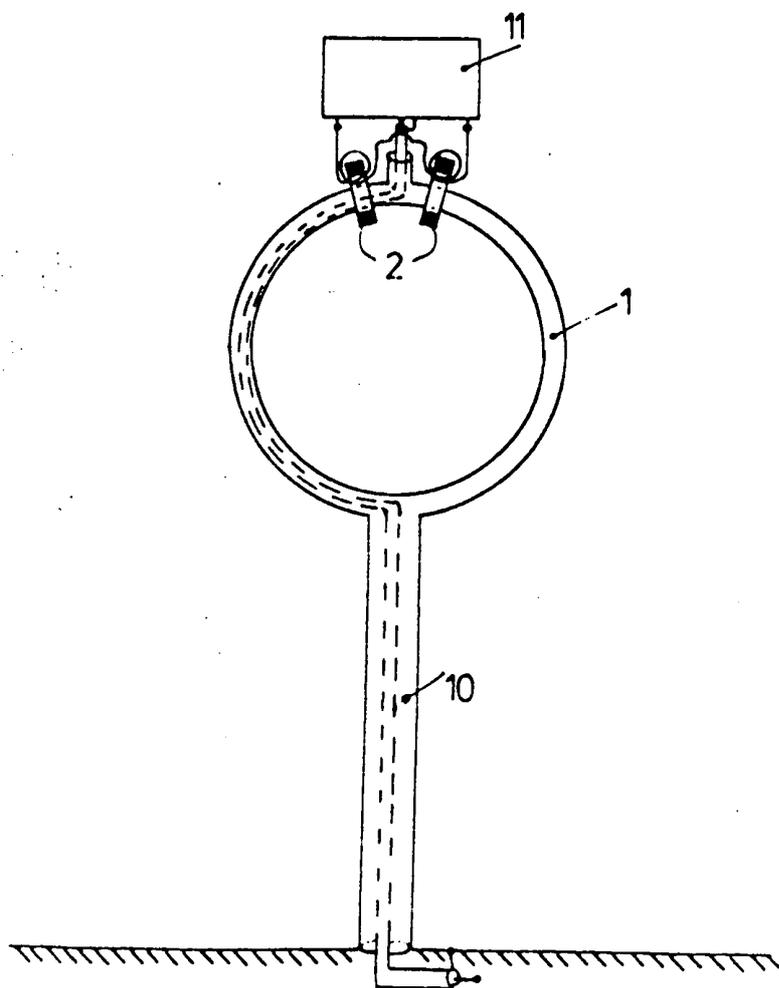


Fig. 4

Nummer: 3209345
 Int. Cl.³: H01 Q 7/00
 Anmeldetag: 15. März 1982
 Offenlegungstag: 15. September 1983

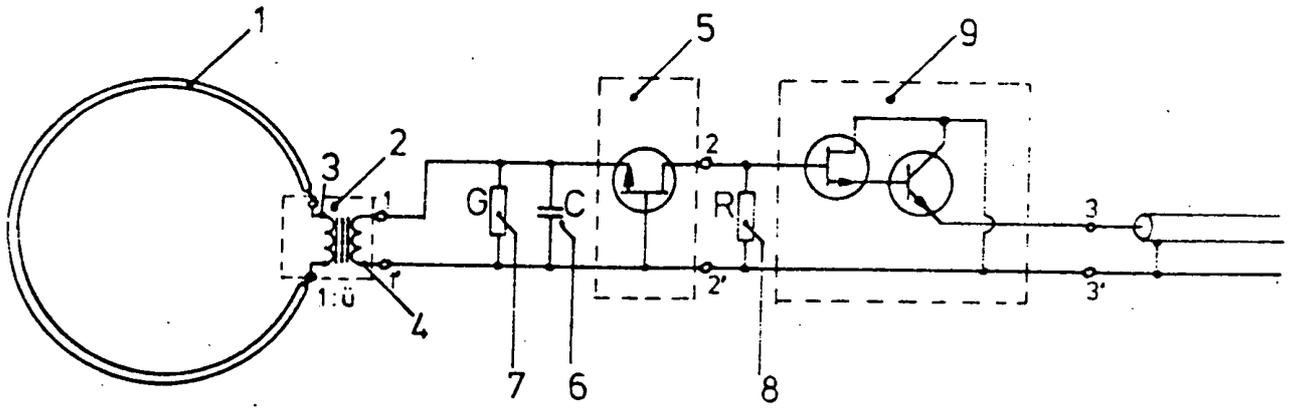


Fig.1

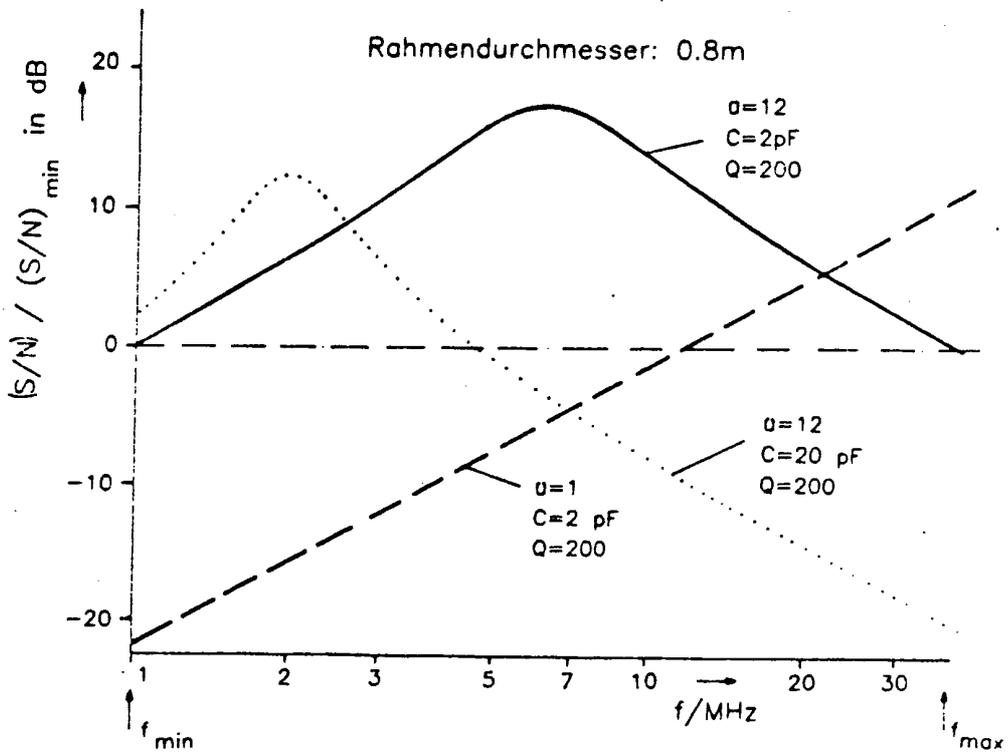


Fig.2