

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Patentschrift**
⑪ **DE 3701378 C2**

⑤1 Int. Cl. 4:
H04B 1/18
H 01 Q 23/00
H 01 Q 9/02

⑳ Aktenzeichen: P 37 01 378.5-35
㉑ Anmeldetag: 20. 1. 87
㉒ Offenlegungstag: 28. 7. 88
㉓ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 28. 12. 89

DE 3701378 C2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑬ Patentinhaber:

Wietzke, Joachim, Dipl.-Ing., 6107 Reinheim, DE;
Hilberg, Wolfgang, Dr.-Ing., 6101 Groß-Bieberau, DE

⑰ Erfinder:

gleich Patentinhaber

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 35 04 660 A1
US-B.: MARKUS, John, Guidebook of Electronic
Circuits, 1974, Mc Graw-Hill Verlag New York, S.697;
R. KALHÖFER: Die Realisierung kompakter störsi-
cherer Funkuhren mit den Mitteln der Mikroelek-
tronik, Darmstädter Dissertationen D17;
H. MEINKE, H. LINDENMEIER: Aktive
Empfangsanten- nen, Veröffentlichung des Instituts
für Hoch- frequenztechnik der Universität München,
März 1977;
G. BECKER: Die Feldstärke des Zeitsignal- und
Normalfrequenzsenders DCF77, Physikalisch-Tech-
nische Bundesanstalt, Braunschweig, Auszug aus
PTB-Bericht PTB-Me-23 (März 1979);

⑤④ Funkuhrempfänger

DE 3701378 C2

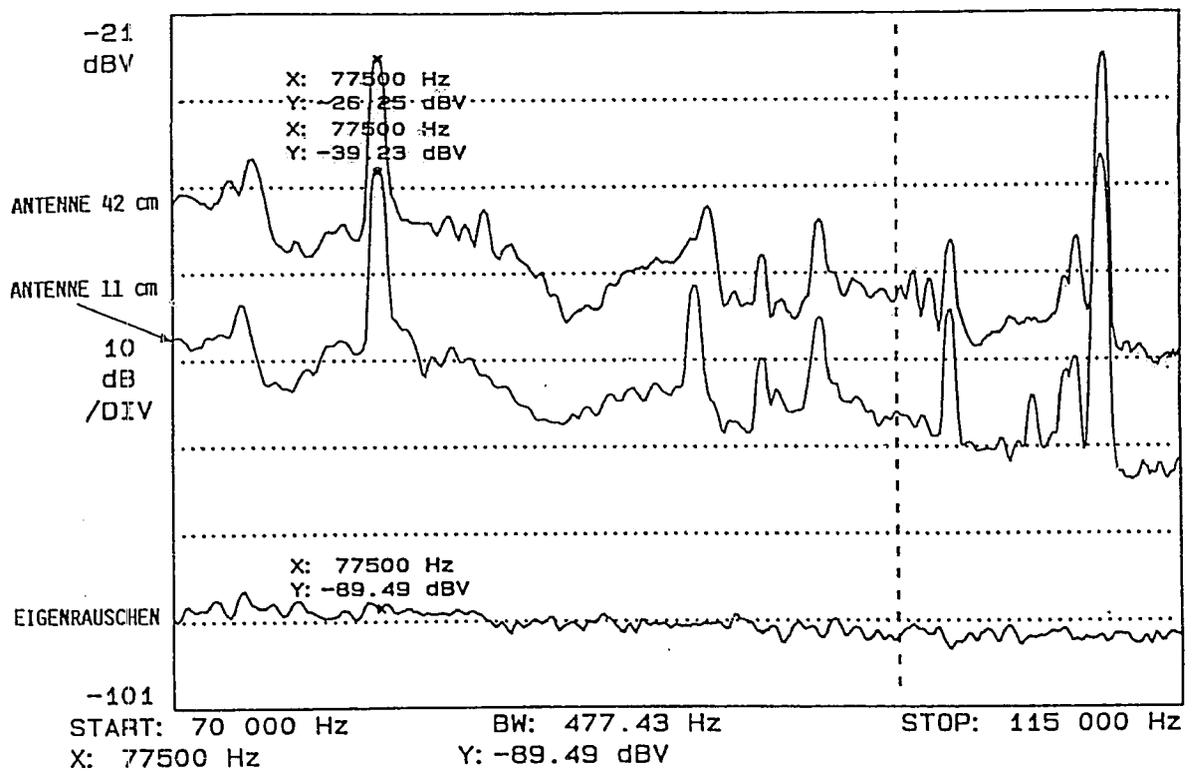


Fig.1: Empfangsspektrum

Die vorliegende Patentanmeldung betrifft eine Anordnung zum Empfang des DCF-77-Signals. Sie ist dadurch gekennzeichnet, daß eine elektrische Antenne, vorzugsweise eine Stabantenne, verwendet wird. In bisher bekannten DCF-77-Empfängern sind ausschließlich Ferritantennen zu finden, die das magnetische Feld des Senders auswerten. In der Regel sind sie auch Bestandteil eines Schwingkreises, der das gewünschte Frequenzband selektiert. Ein Nachteil dieser bekannten Technik ist die Tatsache, daß bei Ausrichtung der Antennenhauptachse in Richtung des Senders eine ausgeprägte Nullstelle in der Empfangscharakteristik zu beobachten ist. Die Existenz von richtungsabhängigen Empfangsminima ist jedoch im Gebrauch der Funkuhren generell störend. Bekannte Funkuhrempfänger verwenden deshalb manchmal auch Anordnungen, in denen die Antenne z. B. mit dem drehbaren Sockel der Uhr ausgerichtet werden kann, oder in denen zwischen verschiedenen Antennen umgeschaltet wird.

Der Stand der Technik ist z. B. aus der DE 35 04 660 A1 zu ersehen. Hier wird einleitend festgestellt, daß prinzipiell sowohl elektrische als auch magnetische Antennen benutzt werden können, um die Signale eines Zeitzeichensenders im Lang- und Längstwellenbereich zu empfangen. Dann wird jedoch dargelegt, daß der Empfang praktisch nur mit magnetischen Antennen in Form von bewickelten Ferritstäben durchführbar ist. Diese Meinung hat sich auf dem Gebiet der Funkuhrempfänger schon seit vielen Jahren gehalten, was auch durch die guten Empfangseigenschaften der stets in Resonanz betriebenen Antennenschwingkreise bestätigt wird. Der Einsatz kurzer elektrischer Antennen kam bisher überhaupt nicht in Betracht, weil hier keine Resonanzüberhöhung mit hochpermeablen Materialien möglich ist (der kurze elektrische Stab ist nicht selektiv) und deshalb die Empfangsspannungen sehr gering bleiben.

Den Stand der Technik zeigen auch Beschreibungen von allgemeinen Langwellenempfängern, die mit langen elektrischen Antennen arbeiten, siehe z. B. in John Markus, Guidebook of Electronic Circuits, McGraw-Hill Verlag New York, Seite 697. Hier werden die Antennenhöhen nach dem Stand der Technik dimensioniert, wobei die Relation von Antennenhöhe zu Wellenlänge etwa 1/500 beträgt. Diese Antennenhöhen (genannt werden z. B. 100 Fuß) sind nicht für einen Konsumartikel "Funkuhr" zu gebrauchen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine gegenüber dem Stande der Technik außerordentlich kurze elektrische Antenne zu benutzen (Relation von Antennenhöhe zu Wellenlänge von etwa 1/100 000), um so die Vorteile der idealen Rundum-Empfangscharakteristik und des breitbandigen Empfangs zu gewinnen. Damit dies möglich wird, müssen die Empfänger in einer besonderen Weise an die extrem kurze elektrische Antenne adaptiert werden. Nur durch die Lösung dieser zusätzlichen Aufgabe entsteht schließlich der gewünschte handliche Empfänger, der trotz seiner Richtungsunabhängigkeit und Breitbandigkeit noch ausreichende elektrische Empfangsspannungen aufweist.

Die Lösung der Aufgabe besteht also darin, daß man entgegen allen bekannten Dimensionierungsregeln eine im Verhältnis zur Wellenlänge des Sendersignals sehr kurze elektrische Antenne verwendet. Diese Antenne wird (mit ihrem Fußpunkt) unmittelbar mit der Eingangsstufe des Empfängers verbunden, die räumlich

konzentriert eine Schmalbandfilterschaltung und einen Verstärker enthält, die auf niedrigsten Schaltungs-Rauschpegel hin dimensioniert sind.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird zur Vorselektion ein Schwingkreis aus einer Kapazität und einer Induktivität eingesetzt, wobei die letztere nicht die Funktion einer Ferritantenne hat und demzufolge abgeschirmt ist und daß diese Induktivität eine Gleichstromverbindung nach Masse aufweist.

Die Verwendung einer elektrischen (kapazitiven) Antenne, z. B. in Form einer senkrecht stehenden Stabantenne, bringt also die gewünschte ideale Rundumcharakteristik. Der Nachteil des nichtselektiven Empfanges bei relativ kleiner Antennenhöhe (im Verhältnis zu der zu empfangenden Wellenlänge), kann durch direkt am Fußpunkt der Antenne befindliche Filterverstärker ausgeglichen werden, sofern für diese besondere Maßnahmen ergriffen werden. Die vorgeschlagene Anordnung unterscheidet sich in mehrfacher Hinsicht von den bekannten aktiven Antennen. Z. B. wird in der erfindungsgemäßen Anordnung ein äußerst schmalbandiges Filter am Fußpunkt der Antenne vorgeschlagen, während die übliche aktive Antenne dort kein derartiges Filter aufweist, sondern im wesentlichen einen relativ breitbandigen Verstärker enthält. Dazu kommt, daß bei den Verstärkern der bekannten aktiven Antennen in der Rundfunkempfängertechnik infolge der größeren Antennenhöhen (relativ zu den Wellenlängen des Empfangsbereiches) keine besondere Unterdrückung des Schaltungsrauschens durchgeführt wird. Ein wesentlicher Vorteil der erfindungsgemäßen Anordnung kommt auch dadurch zustande, daß jetzt nicht mehr wie bei den üblichen aktiven Antennen ein kapazitiver Spannungsteiler aus Antennenkapazität und Verstärkereingangskapazität wirksam wird, weil die letztgenannte Kapazität in den erfindungsgemäßen Schwingkreis (Filter) einbezogen ist.

Die nachfolgenden Überlegungen sollen zunächst zeigen, daß auch die gegenüber Ferritantennen um etwa eine Größenordnung kleineren erzielbaren Eingangsspannungen bei Verwendung geeigneter Bauelemente und rauschoptimierten Schaltungen auswertbar bleiben.

Ausgangspunkt der Betrachtung ist dabei die eigentlich elementare Erkenntnis, die auf dem Gebiet der Funkuhren aber bisher noch nicht ausgesprochen und angewandt wurde, daß grundsätzlich der Signal-Rauschabstand zwischen dem von einer Antenne empfangenen DCF-Signal und dem in einem eng begrenzten Band von ihr empfangenen Rauschen unabhängig von Art und Größe der Antenne ist.

Stets sind die Empfangsspannungen der verschiedenen Antennen direkt proportional zur vorhandenen Signalfeldstärke E_S . So ist die Leerlaufspannung U_F einer Ferritantenne z. B. wie folgt gegeben (siehe R. Kalhöfer: Die Realisierung kompakter störsicherer Funkuhren mit den Mitteln der Mikroelektronik, Darmstädter Dissertation)

$$U_F = k * E_S * \sin(\beta) \quad (1)$$

wobei β der Winkel der Antenne zum Sender ist, und k eine Konstante, die von der Anzahl der Windungen auf dem Antennenkörper, dem Querschnitt der Antenne, der Wellenlänge und der Permeabilität abhängt. Bei einer in üblichen Funkuhren eingesetzten Ferritantenne erhält man für die Konstante etwa den Wert $k = 0,11 \text{ m}$ [siehe bei Kalhöfer S. 22].

Bei einer elektrischen Antenne ist die Leerlaufspan-

nung U_S gegeben durch (siehe z. B. H. Meinke, H. Lindenmeier: Aktive Empfangsantennen, Veröffentlichung des Instituts für Hochfrequenztechnik der Universität München, März 1977)

$$U_S = E_S \cdot h_{\text{eff}} \quad (2)$$

Dabei entspricht h_{eff} etwa der halben geometrischen Höhe der kleinen Stabantenne. Eine zu der oben beschriebenen Ferritantenne mit $k=0,11$ gleichwertige elektrische Antenne hätte demnach eine Stabhöhe h von 22 cm.

In beiden Fällen sind die Leerlaufspannungen proportional zur Signalfeldstärke E_S . Dazu kommt, daß die Relation zwischen der empfangenen Signalfeldstärke E_S und der empfangenen Rauschfeldstärke E_A unabhängig von der Antenne ist. Bei zunehmender Miniaturisierung nehmen daher die empfangene Signalamplitude und die empfangene Rauschamplitude in gleichem Maße ab.

Fig. 1 zeigt als Bestätigung dieser Überlegungen gemessene Signal- und Rauschwerte bei verschiedenen hohen elektrischen Antennen. Der Rauschabstand ist deutlich sichtbar der gleiche, auch wenn sich der absolute Pegel für die verschiedenen Antennen unterscheidet.

Selbst extrem miniaturisierte Antennen beeinträchtigen den Rauschabstand zwischen empfangenem Signal und empfangenem Rauschen nicht und sind in dieser Hinsicht größeren Exemplaren gleichwertig.

Allerdings muß für eine Auswertung der Rauschabstand zwischen empfangenem Signal und dem durch die Bauelemente des nachfolgenden Verstärkers selbst erzeugten Rauschen für die Auswertung groß genug sein.

Interessant ist die Frage, bis zu welcher Höhe eine elektrische Antenne sinnvoll miniaturisiert werden kann. Dazu bestimmt man zunächst für den der Antenne nachgeschalteten Filterverstärker eine auf den Eingang bezogene effektive Rauschspannung U_R wie folgt.

Die Höhe der elektrischen Antenne wird man dann noch als sinnvoll ansehen, wenn das vom Verstärker erzeugte Rauschen U_R das empfangene Rauschen in seiner Amplitude nicht übersteigt, wenn also gilt:

$$E_A \cdot h_{\text{eff}} \leq U_R \quad (3)$$

Die von Meinke, Lindenmeier genannten Werte für die Außenrauschfeldstärke $E_A = 10 \mu\text{V/m}$ sind auf eine Bandbreite von 1 kHz bezogen. Auf eine für den Empfänger erforderliche Bandbreite von ca. 7,75 Hz umgerechnet ergibt diese einen Wert $E_A = 0,88 \mu\text{V/m}$.

Bei einer Rauschspannung von etwa 18 nV, die mit Hilfe eines ausgewählten besonders rauscharmen Operationsverstärkers in Zusammenhang mit einer optimierten Beschaltung erreicht werden kann, folgt eine minimale effektive Höhe von $h_{\text{eff}} = 0,02$ m. Die absolute Höhe $h = 0,04$ m ist auch hinsichtlich eines möglichen Designs für eine kompakte Funkuhr ein akzeptabler Wert. Zur Veranschaulichung soll ein Bild einer Uhr mit einer Stablänge von 0,2 m dienen (Fig. 2). Mit dieser Höhe empfängt die Stabantenne Signalamplituden, die mit denen einer magnetischen Antenne vergleichbar sind.

Die Grenze für eine sichere Auswertung ist dann erreicht, wenn die Summe aller effektiven Rauschspannungen gleich der effektiven Nutzsignalamplitude U_S ist, wenn also unter Berücksichtigung von Gl. (3) und Gl. (2)

$$U_S^2 = (E_A \cdot h_{\text{eff}})^2 + U_R^2$$

$$= 2(E_A \cdot h_{\text{eff}})^2$$

$$5 \quad E_S = \sqrt{2} \cdot E_A$$

Dies ergibt dann gerade einen Signal-Rauschabstand zwischen Nutzsignal und Gesamtrauschen von 3 dB.

Bei einer mittleren Rauschfeldstärke von $E_A = 1 \mu\text{V/m}$ müßte die Nutzfildstärke $E_S = 1,4 \mu\text{V/m}$ betragen. Zum Vergleich beträgt die gemessene Feldstärke in Helsinki $E_S = 100 \mu\text{V/m}$ (siehe G. Becker: Die Feldstärke des Zeitsignal- und Normalfrequenzsenders DCF 77, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Auszug aus PTB-Bericht PTB-Me-23, März 1979).

Selbstverständlich stellt ein Signalrauschabstand von 3 dB große Anforderungen an die Auswertung. In vorliegender, erfindungsgemäßer Schaltung wird diese mit Hilfe eines Mikrokontrollers vorgenommen. Fig. 3 zeigt ein Blockschaltbild der Schaltung:

Die Antenne (1) ist direkt an einen nachfolgenden Filterverstärker (2) angekoppelt, um Anpassungsprobleme bei einer andernfalls nötigen Verbindungsleitung zu vermeiden. Außerdem befindet sich an ihrem Fußpunkt ein Resonanzschwingkreis (3), der der Vorselektion dient. Dabei werden die Eingangskapazitäten des folgenden Filterverstärkers in die Abstimmung mit einbezogen. Auf diese Weise wird die Antenne im Resonanzfall nicht kapazitiv belastet und damit auch die Eingangsspannung nicht durch einen eventuellen kapazitiven Spannungsteiler vermindert. Zugleich kann die Spule eventuelle statische Aufladungen des Eingangs abbauen und den Gleichspannungsarbeitspunkt der Schaltung festlegen.

Der gewählte Filterverstärker ist extrem rauscharm und für die Nutzfrequenz eingangsseitig hochohmig. Auf den Filterverstärker folgt eine Mischstufe (4), mit der das DCF-Signal auf eine andere Frequenz herabgemischt wird, um Rückkopplungen zu vermeiden.

Nachfolgend wird weiter verstärkt (5) und die Amplitude den Eingangsbedingungen des im Mikrokontroller (6) befindlichen A/D-Wandlers angepaßt. Der Mikrokontroller (MC 68H811) demoduliert das AM-modulierte DCF-Signal, extrahiert durch Signalanalyse die Zeitinformationen (Amplitudenabsenkungen) aus dem stark verrauschten Signal, wertet sie aus und bringt sie zur Anzeige. Weiterhin kontrolliert er die Signalverstärkung und die Filterresonanz des Filterverstärkers.

Fig. 4 zeigt eine mögliche Ausführungsform des direkt an die Antenne angekoppelten Filterverstärkers. Er ist für eine Verstärkung bis $A = 1000$ ausgelegt, und er ist gleichzeitig durch die Einfügung eines in Serienresonanz betriebenen Quarzes in die Rückkopplung hochselektiv (3 dB Grenzen bei ca. 7,75 Hz). Durch die gewählte niederohmige Auslegung der Widerstände, die hohe Selektivität, und durch Verwendung extrem rauscharmer Operationsverstärker (z. B. LT-1028 von Linear Technologies) kann das Eigenrauschen U_R niedrig gehalten werden.

Als letzter Vorteil der elektrischen Antenne gegenüber einer magnetischen Antenne sei hier noch genannt, daß sich die elektrische Antenne leicht durch dünne, elektrisch leitende Wände gegenüber der in der Empfängerschaltung produzierten Störstrahlung abschirmen läßt. D. h. das metallische Gehäuse einer Funkuhr reicht völlig aus, damit die Eigenstörstrahlung der

Schaltungen nicht direkt von der örtlich dicht benachbarten elektrischen Antenne aufgefangen werden kann.

Patentansprüche

1. Funkuhrempfänger für den Empfang der Signale des Zeitzeichensenders DCF-77, enthaltend eine Antenne mit nachfolgenden Schaltungen für Filterung, Verstärkung und Signalauswertung, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine im Verhältnis zur Wellenlänge des Sendersignals sehr kurze elektrische Antenne verwendet wird. 5 10
2. Funkuhrempfänger nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrische Antenne in Form einer senkrecht stehenden Stabantenne ausgebildet ist. 15
3. Funkuhrempfänger nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrische Antenne unmittelbar mit einer Eingangsstufe des Empfängers verbunden ist, die räumlich konzentriert eine Schmalbandfilterschaltung und einen Verstärker enthält, die auf niedrigsten Schaltungs-Rauschpegel hin dimensioniert sind. 20
4. Funkuhrempfänger nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Vorselektion ein Schwingkreis aus einer Kapazität und einer Induktivität eingesetzt wird, wobei die letztere nicht die Funktion einer Ferritantenne hat und demzufolge abgeschirmt ist, und daß diese Induktivität eine Gleichstromverbindung nach Masse aufweist. 25 30
5. Funkuhrempfänger nach einem der Ansprüche 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Eingangskapazität des Verstärkers durch Parallelschaltung in die kapazitive Komponente der Schmalbandfilterschaltung einbezogen wird. 35

Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

40

45

50

55

60

65

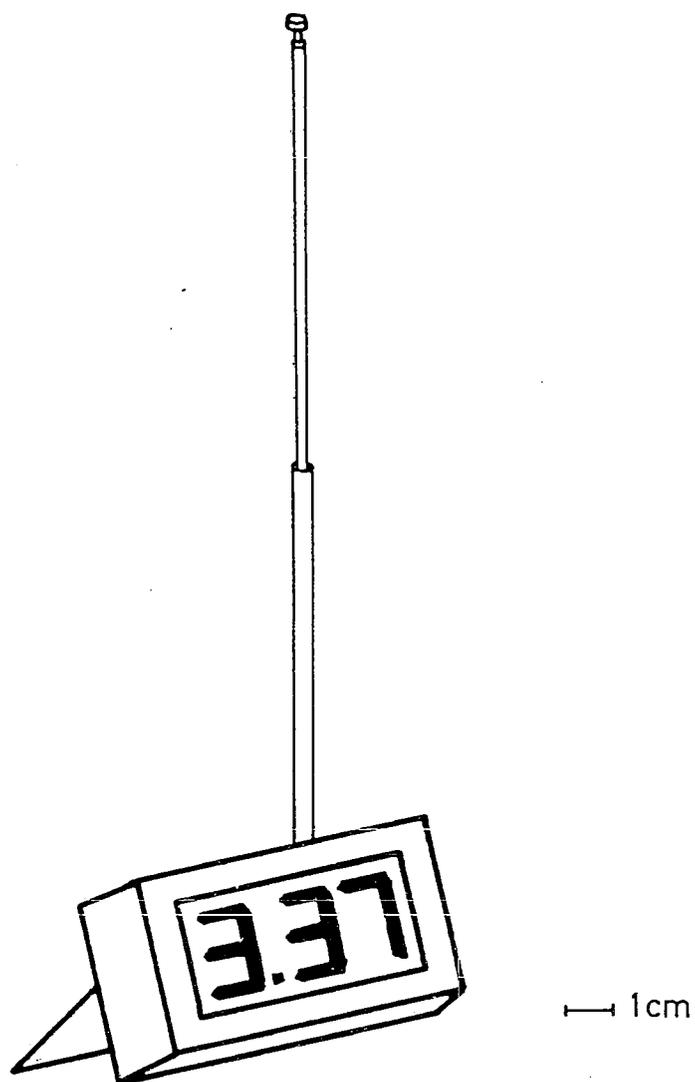


Fig. 2: Funkuhrmodell mit Stabantenne

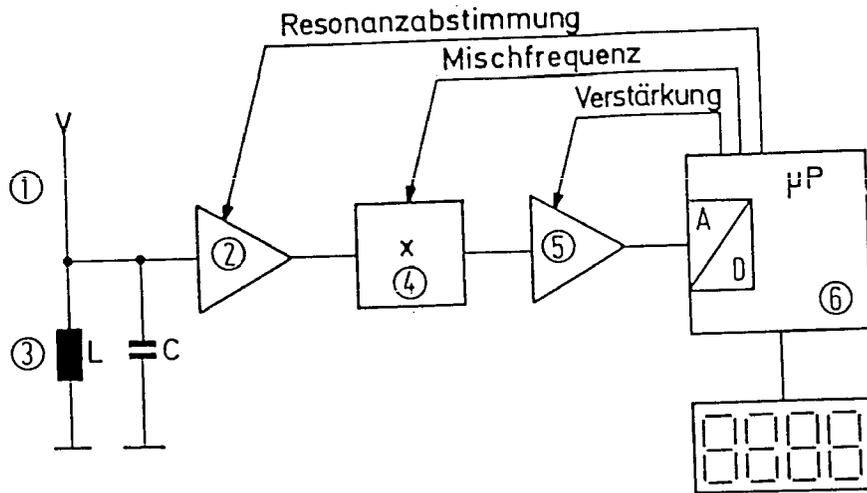


Fig. 3: Blockschaltbild des Funkuhrempfängers

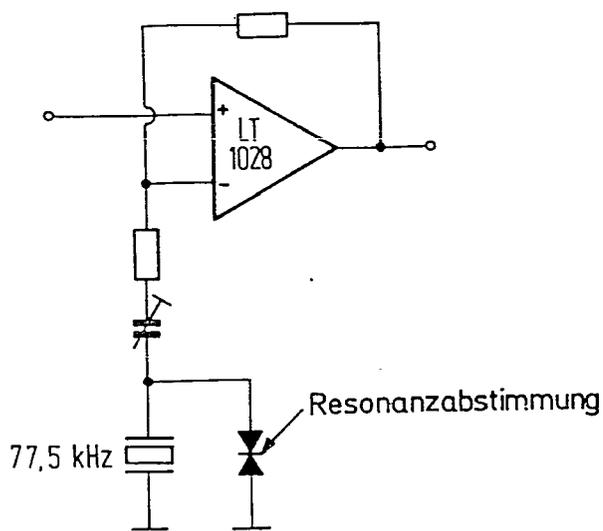


Fig. 4: Filterverstärker