

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑪ **DE 3806461 A1**

⑤1 Int. Cl. 4:
H03H 11/12
H 03 L 7/08
H 04 B 1/38

⑳ Aktenzeichen: P 38 06 461.8
㉑ Anmeldetag: 1. 3. 88
㉒ Offenlegungstag: 14. 9. 89

DE 3806461 A1

㉗ Anmelder:
Licentia Patent-Verwaltungs-GmbH, 6000 Frankfurt,
DE

㉘ Erfinder:
Kubetzko, Dietrich, Dipl.-Ing., 7915 Elchingen, DE

㉙ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 31 35 000 A1
DE 29 40 368 A1
DE 25 46 985 A1
US 45 98 258

JP 61 65513 A. In: Patents Abstracts of Japan, Sect.E,
Vol.10, 1986, Nr.23, (E-427);

㉚ Split-Loop-Filter

Ein Split-Loop-Filter mit einem Eingang und zwei getrennten Ausgängen enthält einen einzigen Operationsverstärker, der eingangsseitig über einen Widerstand mit dem Filtereingang und über einen Kondensator mit dem Integralzweig-Ausgang, ausgangsseitig über einen Widerstand mit dem Integralzweig-Ausgang und über einen Kondensator und einen an Masse angeschlossenen Widerstand mit dem Proportionalzweig-Ausgang verbunden ist.

DE 3806461 A1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Split-Loop-Filter gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Filter dieser Art werden beispielsweise als Schleifenfilter in Phasenregelschleifen mit spannungsgesteuerten Oszillatoren (VCOs) eingesetzt, die in der digitalen Frequenzaufbereitung als Synthesizer eingesetzt werden.

Synthesizer dieser Art sind seit langem bekannt. Sie enthalten, wie den Figuren zu entnehmen ist, einen spannungsgesteuerten Oszillator 2, der in an sich bekannter Weise über eine Phasenregelschleife 1, 3 und 4 in seiner Phase und damit in seiner Frequenz f_{VCO} geregelt bzw. stabilisiert wird.

Die Phasenregelschleife besteht aus einem Phasendetektor 4, aus einem Schleifenfilter 1 und gegebenenfalls aus einem Frequenzteiler 3. Der Phasendetektor 4 vergleicht die Phase eines Referenzsignals der Frequenz f_R mit der Phase des Oszillatorsignals, dessen Frequenz f_{VCO} gegebenenfalls durch den Frequenzteiler 3 zuvor durch N dividiert wird (wie dies beispielhaft in den Figuren angenommen worden ist). Weichen die Phasen der beiden Signale voneinander ab, erzeugt der Phasendetektor ein entsprechendes Korrektursignal, das über das Schleifenfilter 1 als Steuersignal in den spannungsgesteuerten Oszillator 2 eingespeist wird und dort die Phase des Oszillatorsignals entsprechend nachstimmt, bis die Phasen der beiden Signale im Phasendetektor innerhalb eines zulässigen Fehlers gleich sind.

Der spannungsgesteuerte Oszillator 2 des bekannten Synthesizers in Fig. 1 wird dabei mit einer als PI-Regler ausgelegten Phasenregelschleife zweiter Ordnung mit einem einfachen Schleifenfilter in seiner Phase geregelt.

Das Schleifenfilter 1 besteht dabei aus einem Operationsverstärker $OP3$, dessen invertierender Eingang zum einen über einen ersten Widerstand $R4$ mit dem Ausgang des Phasendetektors und zum anderen über eine Reihenschaltung aus zweiten Widerstand $R5$ und Kondensator $C5$ mit dem Ausgang rückgekoppelt und mit dem Steuersignal des spannungsgesteuerten Oszillators 2 verbunden ist.

Mit dieser bekannten Anordnung treten in der Praxis immer dann Schwierigkeiten auf, wenn es darum geht, eine digitale Frequenzaufbereitung zu realisieren, die zum einen eine möglichst große relative Frequenzvariation, d. h. eine möglichst große Kanalzahl, und zum anderen möglichst kurze Frequenzwechselzeiten für den gesamten Frequenzvariationsbereich ermöglicht, da die Schleifenparameter, die bekanntermaßen für das dynamische Verhalten der Regelschleife verantwortlich sind, über den Frequenzvariationsbereich so stark variieren, daß i. a. kein brauchbarer Kompromiß bezüglich der Dimensionierung der Regelschleife zu finden ist.

Mit einem Synthesizer nach Fig. 2 auf den sich im übrigen auch der Patentanspruch 1 in seinem Oberbegriff bezieht, können die vorgenannten Probleme weitgehend behoben werden. Das dort gezeigte Schleifenfilter 1 ist ebenfalls bekannt und wird allgemein als Split-Loop-Filter bezeichnet, da die Phasenregelschleife zwischen Phasendetektor 4 und Oszillator 1 in zwei Zweige aufgeteilt ist, wobei das Schleifenfilter 1 in einen Proportionalteil $R7$, $R8$, $OP2$ und einen Integralteil $R6$, $C6$, $OP1$ aufgespalten wird. Der spannungsgesteuerte Oszillator 1 benötigt bei dieser bekannten Lösung zwei Steuergänge, deren Eigenschaften sich über den Frequenzvariationsbereich gerade nur so ändern, daß das dynamische Verhalten der Regelschleifen 1, 3, 4 weitgehend unabhängig von der momentan eingestellten Frequenz f_{VCO} des Oszillators 1 ist. Der Nachteil dieser bekannten Lösung besteht vor allem darin, daß zwei Operationsverstärker im Schleifenfilter 1 benötigt werden, welche zum Erreichen der zuvor genannten Eigenschaften auch noch mit ca. 30 V zu betreiben sind.

Dieses wirkt sich nachteilig auf die Energiebilanz aus, insbesondere in der Anwendung eines solchen Synthesizers in tragbaren Funksprechgeräten, die i. a. ihre Energie aus Batterien beziehen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Split-Loop-Filter der eingangs genannten Art zu schaffen, der für seinen Betrieb möglichst wenig Energie benötigt und mit wenigen Bauteilen aufzubauen ist.

Die erfindungsgemäße Lösung ist im Patentanspruch 1 beschrieben. Die Unteransprüche enthalten vorteilhafte Aus- und Weiterbildungen sowie bevorzugte Anwendungen der Erfindung.

Die erfindungsgemäße Lösung besteht darin, daß der Proportionalteil und der Integralteil des Split-Loop-Filters anstelle mit zwei beschalteten Operationsverstärkern nur mit einem beschalteten Operationsverstärker aufgebaut werden kann.

Die Vorteile der erfindungsgemäßen Lösung bestehen vor allem darin, daß das Filter weitaus weniger Energie für seinen Betrieb benötigt als der bekannte Split-Loop-Filter gemäß Fig. 2 und weitaus weniger material- und damit kostenaufwendig ist als die bekannte Lösung.

Dies führt insbesondere dazu, daß mit dem erfindungsgemäßen Split-Loop-Filter Synthesizer mit einer großen relativen Frequenzvariation, d. h. großer Kanalzahl und mit sehr kurzen Frequenzwechselzeiten innerhalb des gesamten Frequenzvariationsbereichs, aufgebaut werden können, die sich wegen ihres sehr geringen Energie- und Platzbedarfs insbesondere für den Einsatz in tragbaren Funksprechgeräten eignen.

Im folgenden wird die Erfindung anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 den bereits diskutierten Synthesizer mit einem einfachen Schleifenfilter in der Phasenregelschleife,

Fig. 2 den bereits diskutierten Synthesizer mit einem Split-Loop-Filter als Schleifenfilter in der Phasenregelschleife,

Fig. 3 den an sich bekannten Synthesizer gemäß Fig. 2 mit einer vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Split-Loop-Filters als Schleifenfilter in der Phasenregelschleife,

Fig. 4 eine detaillierte Darstellung der Ausführungsform des erfindungsgemäßen Split-Loop-Filters gemäß Fig. 3.

Der erfindungsgemäße Split-Loop-Filter 1 in den Fig. 3 und 4 besteht aus einem Operationsverstärker OP , der mit seinem invertierenden Eingang zum einen über einen ersten Widerstand $R1$ an den Ausgang des an sich bekannten Phasendetektors 4 angeschlossen ist und zum anderen über einen ersten Kondensator $C1$ an den ersten Ausgang I des Split-Loop-Filters 1 angeschlossen ist, der den Ausgang des Integralzweiges des Filters 1 bildet.

Ausgangsseitig ist der Operationsverstärker OP zum einen über einen zweiten Widerstand $R2$ ebenfalls an

den ersten Ausgang I des Filters 1 angeschlossen und zum anderen über einen zweiten Kondensator C_3 an den zweiten Ausgang P des Filters 1, der den Ausgang des Proportionalzweiges des Filters 1 bildet. Die Verbindung des zweiten Kondensators C_3 mit dem zweiten Ausgang P des Filters 1 ist dabei über einen dritten Widerstand R_3 an Masse angeschlossen.

Die beiden Ausgänge P und I des Filters 1 sind in an sich bekannter Weise mit den entsprechenden Steuereingängen eines spannungsgesteuerten Oszillators 1 verbunden, der seinerseits (gegebenenfalls über einen 1 : N -Frequenzteiler 3) mit dem Phasendetektor 4 verbunden ist. Der Phasendetektor 4 vergleicht in an sich bekannter Weise die Phase des Oszillatorsignals (gegebenenfalls die des in seiner Frequenz f_{VCO} durch N dividierten Oszillatorsignals) mit der eines Referenzsignals der Frequenz f_R und bildet bei Nichtübereinstimmung der beiden Phasen ein entsprechendes Kontrollsignal ab, das über das als Schleifenfilter wirkende erfindungsgemäße Split-Loop-Filter 1 in Form zweier Steuersignale den beiden Steuereingängen des Oszillators 1 zugeführt wird, wodurch die Phase des Oszillatorsignals entsprechend solange nachgestimmt wird, bis der Phasendetektor 4 innerhalb eines zulässigen Fehlers keine Abweichung der beiden Phasen von einander mehr feststellt.

Daß das erfindungsgemäße Split-Loop-Filter tatsächlich die gleiche Übertragungsfunktion $F(s)$ wie das bekannte Split-Loop-Filter gemäß Fig. 2 hat, folgt aus folgender Ableitung:

Für die Übertragungsfunktion $F(s)$ des erfindungsgemäßen Split-Loop-Filters gilt

$$F(s) = F_1(s) + F_4(s), \quad (1)$$

mit

$$F_4(s) = F_2(s) \cdot F_3(s), \quad (2)$$

wobei

$$F_2(s) = - \frac{sR_2C_1 + 1}{sR_1C_1} \quad (3)$$

und

$$F_3(s) = - \frac{sR_3C_3}{sR_3C_3 + 1} \quad (4)$$

ist. $F_1(s)$ ist die Übertragungsfunktion des Integralzweiges und $F_4(s)$ die des Proportionalzweiges, wobei sich $F_4(s)$ multiplikativ aus den Übertragungsfunktionen $F_2(s)$ und $F_3(s)$ ergibt, die sich auf verschiedene Baugruppen des erfindungsgemäßen Filters 1 beziehen (vgl. Fig. 4).

Für den Proportionalzweig ergibt sich als Bedingung unter Berücksichtigung der Gleichungen (2) bis (4)

$$F_4(s) = - \frac{(sR_2C_1 + 1)}{sR_1C_1} \cdot \frac{sR_3C_3}{(sR_3C_3 + 1)} = \text{konst.} \quad (5)$$

Es muß also gelten

$$F_4(s) = \text{konstant.} \quad (6)$$

Darum ergeben sich mit den Grenzwerten für $F_4(0)$ bzw. $F_4(\infty) = -R_2/R_1$ die Randbedingungen zur Dimensionierung des Proportionalteils des Split-Loop-Filters zu

$$R_2 \cdot C_1 = R_3C_3, \quad (7)$$

$$V_{prop} = - \frac{R_2}{R_1}, \quad (8)$$

wobei V_{prop} die Verstärkung zum Ausgang P , d. h. des Proportionalzweiges, ist.

Unter diesen Bedingungen gilt für die Übertragungsfunktion $F(s)$ des Filters nach Fig. 4

$$F(s) = F_1(s) + F_4(s) = - \frac{1}{sC_1R_1} + \frac{R_2}{R_1}. \quad (9)$$

Das entspricht exakt der Übertragungsfunktion des Filters nach Fig. 2.

Es versteht sich, daß die erfindungsgemäße Lösung mit fachmännischem Können und Wissen aus- und weitergebildet werden kann, ohne daß dies hier an dieser Stelle näher erläutert werden müßte.

So ist es in der Praxis vorteilhaft, den beiden Ausgängen P und I des erfindungsgemäßen Filters noch Tiefpässe bzw. Kerbfilter nachzuschalten, die eine zusätzliche Dämpfung der störenden Reste des Referenzsignals bewirken, ohne das dynamische Verhalten des Regelkreises zu beeinträchtigen.

Ferner ist es möglich, den zuvor genannten, dem Proportionalausgang P nachgeschalteten Tiefpaß oder Kerbfilter durch einen Kondensator zu ersetzen, welcher dann dem Widerstand R_2 in Fig. 4 parallel zu schalten

ist. Mit dieser Maßnahme ist es dann möglich, einen Split-Loop dritter Ordnung zu realisieren.

Patentansprüche

- 5 1. Split-Loop-Filter mit einem Proportional- und einem Integralteil, welche Teile einen gemeinsamen Eingang sowie getrennte Ausgänge aufweisen und mit beschalteten Operationsverstärkern aufgebaut sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Proportionalteil und der Integralteil mit einem einzigen Operationsverstärker (*OP*) und seiner Beschaltung (*R 1*–*R 3*, *C*, *C 3*) aufgebaut ist.
- 10 2. Split-Loop-Filter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
 – daß der Operationsverstärker (*OP*) mit seinem invertierenden Eingang über einen ersten Widerstand (*R 1*) an den Eingang (*E*) des Filters (**1**) und über einen ersten Kondensator (*C 1*) an den ersten Ausgang (*I*) des Filters (**1**) angeschlossen ist;
 – daß der Operationsverstärker (*OP*) mit seinem Ausgang über einen zweiten Widerstand (*R 2*) an den ersten Ausgang (*I*) des Filters (**1**) und über einen zweiten Kondensator (*C 3*) an den zweiten Ausgang (*P*) des Filters (**1**) angeschlossen ist;
 15 – daß die Verbindung zwischen zweitem Kondensator (*C 3*) und zweitem Ausgang (*P*) des Filters (**1**) über einen dritten Widerstand (*R 3*) an Masse angeschlossen ist;
 – daß der erste Ausgang (*I*) des Filters (**1**) der Ausgang des Integralteiles ist und daß der zweite Ausgang (*P*) des Filters (**1**) der Ausgang des Proportionalteils ist.
- 20 3. Split-Loop-Filter nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Produkt aus $R_2 \cdot C_1$ gleich oder zumindest annähernd gleich ist dem Produkt aus $R_3 \cdot C_3$ und daß die Verstärkung am zweiten Ausgang (*P*) des Filters (**1**) gleich R_2/R_1 ist.
4. Split-Loop-Filter nach einem der Ansprüche 1 bis 3, gekennzeichnet durch die Verwendung als Schleifenfilter (**1**) in einem Phasenregelkreis (**1**, **3**, **4**) mit einem spannungsgesteuerten Oszillator VCO (**2**) mit einem Steuereingang zum Anschluß des Integralteils des Filters (**1**) und mit einem weiteren Steuereingang zum Anschluß des Proportionalteiles des Filters (**1**).
- 25 5. Split-Loop-Filter nach Anspruch 4, gekennzeichnet durch die Anwendung als Teil einer digitalen Frequenzaufbereitung (Synthesizer).
6. Split-Loop-Filter nach Anspruch 5, gekennzeichnet durch die Anwendung als Teil eines tragbaren Funksprechgerätes.
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65

3806461

1/2

13

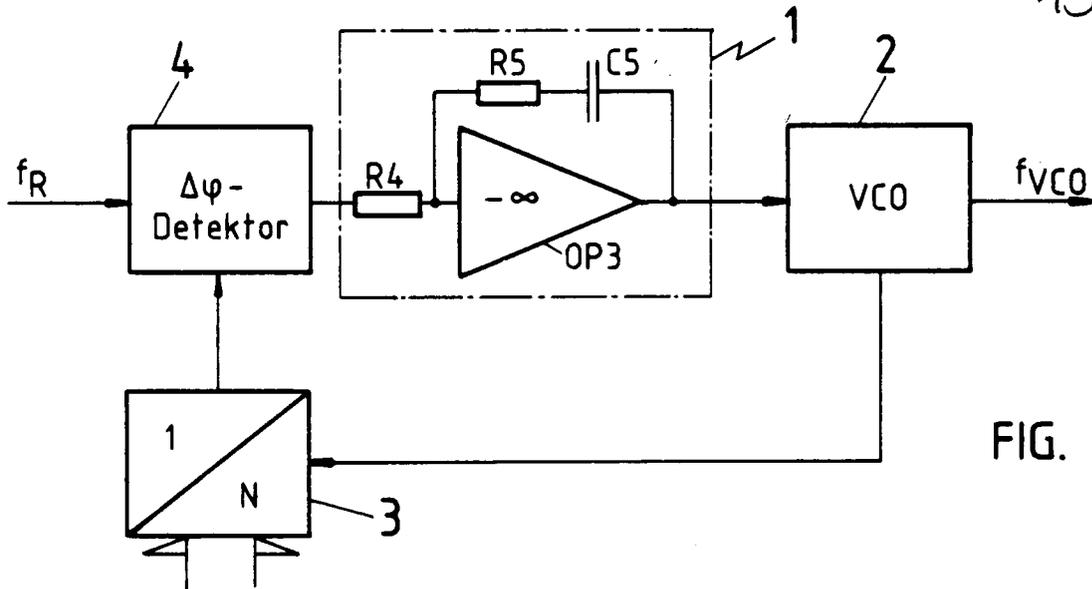


FIG. 1

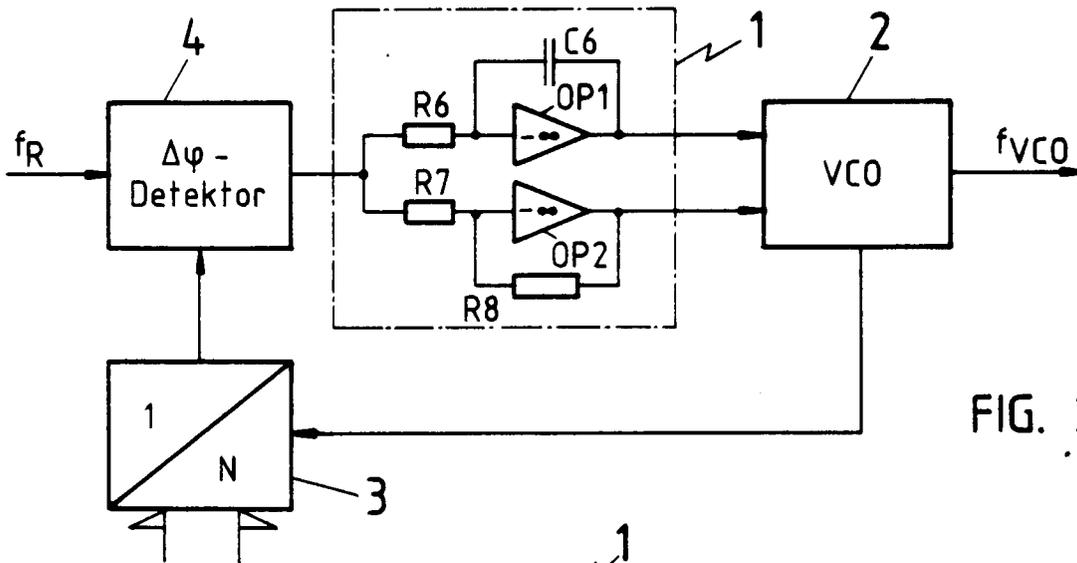


FIG. 2

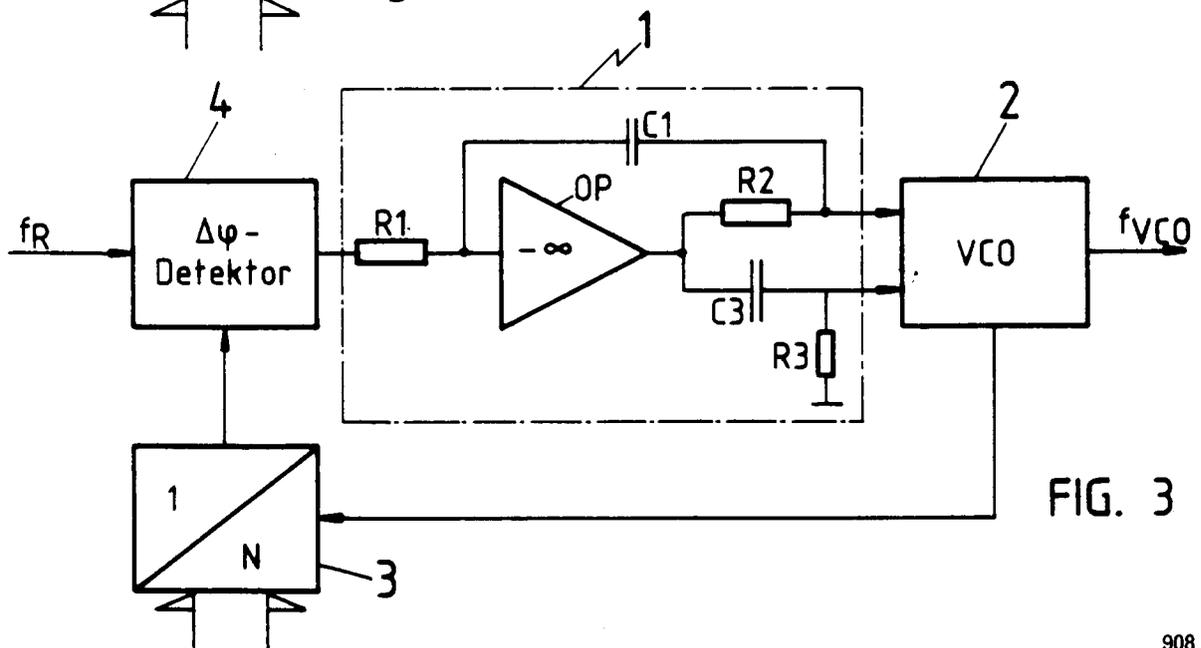


FIG. 3

23.06.88

NACHGERECHT

2/2

14x
3806461

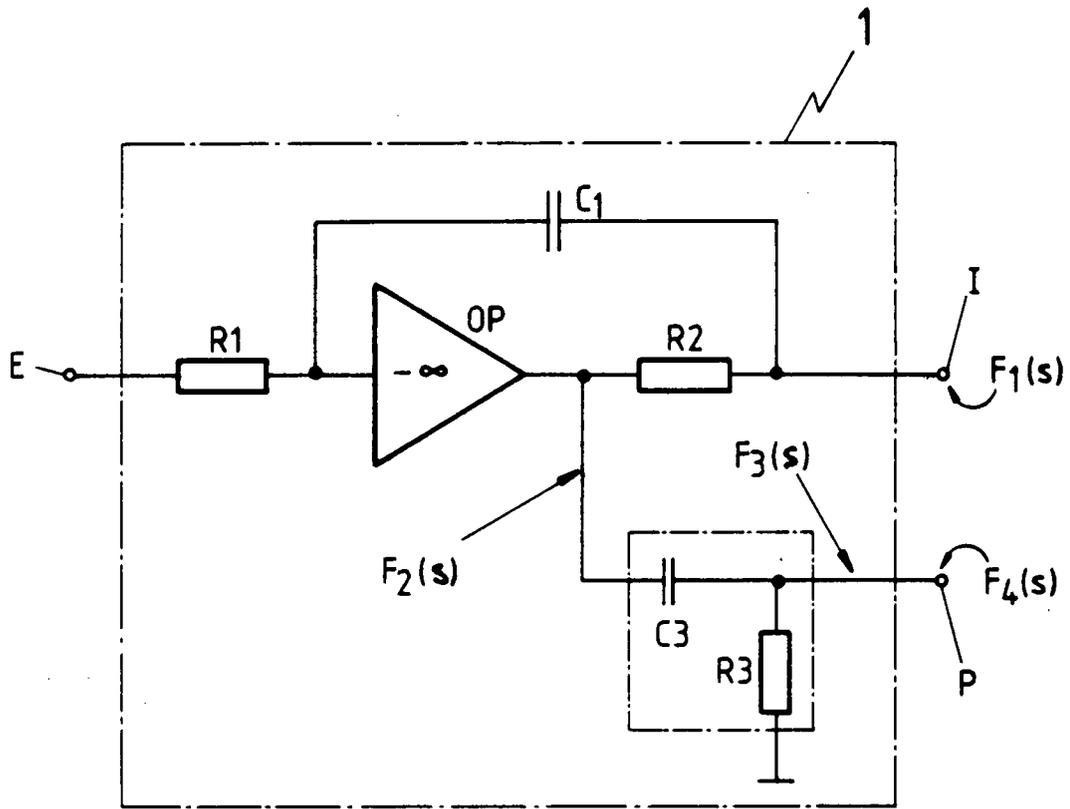


FIG. 4