



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 103 08 527 A1 2004.09.16

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 103 08 527.0  
(22) Anmeldetag: 27.02.2003  
(43) Offenlegungstag: 16.09.2004

(51) Int Cl.7: H03H 11/04  
H03H 19/00

(71) Anmelder:  
Infineon Technologies AG, 81669 München, DE

(74) Vertreter:  
PAe Reinhard, Skuhra, Weise & Partner GbR,  
80801 München

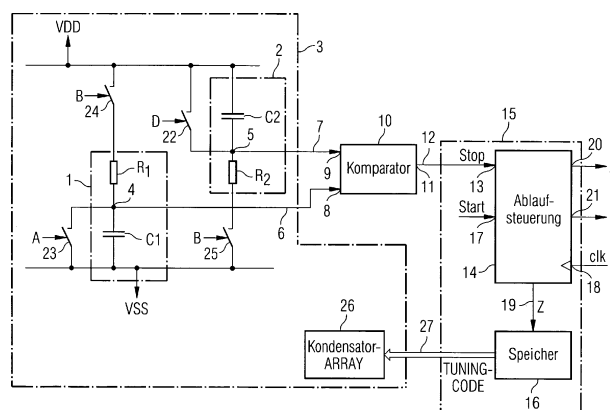
(72) Erfinder:  
Nopp, Manfred, Villach, AT; Schranz, Christian,  
Villach, AT; Pessl, Peter, Villach, AT; Gaggl,  
Richard, Villach, AT; Sträußnigg, Dietmar, Villach,  
AT

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Abstimmerschaltung für ein Filter**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Abstimmerschaltung zur Abstimmung einer Filterstufe, die ein RC-Glied (1) mit einer RC-Zeitkonstanten ( $\tau$ ) enthält, wobei die RC-Zeitkonstante ( $\tau$ ) das Produkt aus dem Widerstandswert eines Widerstandes ( $R_1$ ) des RC-Gliedes (1) und der Kapazität eines zu dem Widerstand ( $R_1$ ) seriell verschalteten Kondensators ( $C_1$ ) des RC-Gliedes (1) ist, mit einem Komparator (10) zum Vergleichen der an dem Potentialknoten (4) zwischen dem Widerstand ( $R_1$ ) und dem Kondensator ( $C_1$ ) anliegenden Spannung mit einer Bezugsspannung; und mit einer Steuerung (15), die den Kondensator ( $C_1$ ) des RC-Gliedes (1) umlädt, bis der Komparator (10) anzeigt, dass die an dem Potentialknoten (4) anliegende Spannung gleich der Bezugsspannung ist, wobei die Steuerung (15) in Abhängigkeit von der Umladezeit ein zu dem Kondensator ( $C_1$ ) des RC-Gliedes (1) parallel geschaltetes Kondensator-Array (26) zum Ausgleich einer Abweichung der RC-Zeitkonstanten ( $\tau$ ) des RC-Gliedes (1) von einem Sollwert schaltet.



## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Abstimmenschaltung für ein Filter zur Abstimmung einer Filterstufe.

### Stand der Technik

[0002] Aufgrund der immer weiter ansteigenden Datenmenge werden die Frequenzabstände zwischen einzelnen Übertragungsfrequenzbändern immer enger. Daher werden immer genauere Analoge Anti-Aliasing-Filter benötigt. Zur Datenübertragung werden die Daten von einer Datenquelle mittels eines Digital-/Analogwandlers in ein analoges Übertragungssignal umgewandelt und über einen Datenübertragungskanal an einen Empfänger übertragen. In dem Empfänger werden die empfangenen Daten durch einen Digital-/Analogwandler in digitale Daten zur weiteren Datenverarbeitung umgewandelt. Die analogen Anti-Aliasing-Filter verhindern, dass der Analog-/Digitalwandler bzw. der Digital-/Analogwandler unerwünschte Signalstörungen in dem Übertragungssignal einkoppelt. Die Filter werden in der Regel auf einem Halbleiterchip integriert. Die analogen Anti-Aliasing-Filter enthalten RC-Glieder, die aus Widerständen und Kondensatoren bestehen. Werden die Filter auf einen Halbleiterchip integriert kommt es bei der Herstellung zu Prozessabweichungen, wodurch die Widerstands- und Kapazitätswerte der in den Filter enthaltenen RC-Glieder von einem gewünschten Sollwert abweichen. Die Zeitkonstante ( $\tau$ ) eines RC-Gliedes ergibt sich aus dem Produkt aus dem Widerstandswert  $R$  des Widerstandes und der Kapazität  $C$  des Kondensators innerhalb des RC-Gliedes. Die Grenzfrequenz  $f_g$  einer Filterstufe mit RC-Glied hängt von der RC-Zeitkonstante der Filterstufe ab. Aufgrund der Schwankungen der Widerstands- und Kapazitätswerte variiert daher auch die Grenzfrequenz  $f_g$  der zugehörigen Filterstufe.

[0003] Um eine Schwankung der Grenzfrequenz  $f_g$  der Filterstufe zu vermeiden, werden daher die Filter nach der Herstellung gestimmt bzw. getrimmt.

[0004] Die **Fig. 1a** bis **1c** zeigen verschiedene Möglichkeiten für indirektes Tuning bzw. für das Trimmen von Filtern.

[0005] Bei der **Fig. 1a** wird ein On-Chip-Widerstand  $R_0$ , der beispielsweise durch einen MOS-Transistor realisiert ist, mit einem externen hochgenauen Widerstand  $R_{ext}$  durch einen Vergleichsschaltkreis verglichen. Der Wert des On-Chip-Widerstandes  $R_0$  wird automatisch mit einer Kontrollspannung  $V_C$  nachjustiert bis der On-Chip-Widerstand  $R_0$  den gleichen Wert wie der hochgenaue externe Widerstand  $R_{ext}$  aufweist.

[0006] Bei der in **Fig. 1b** dargestellten Anordnung wird ein Referenzfilter verwendet, das schaltungstechnisch den selben Aufbau wie das einzustellende Hauptfilter aufweist. Ein Sinussignal wird in das Referenzfilter eingespeist und ein Phasenkomparator vergleicht kontinuierlich die Phase am Ausgang des

Hauptfilters mit der des Sinussignals. Die Kontrollspannung  $V_C$  wird solange nachjustiert bis der gewünschte Phasenwert erreicht ist.

[0007] Eine weitere Möglichkeit die Trimmung nach dem Stand der Technik besteht, wie in **Fig. 1c** dargestellt darin, einen Oszillator als Referenzschaltung einzusetzen. Dieser Oszillator ist aus denselben Schaltungselementen wie das Hauptfilter aufgebaut. Eine Vergleichsschaltung vergleicht die Phasenlage des von dem Oszillator abgegebenen Ausgangssignals mit dem eingespeisten Sinussignal. Eine Kontrollspannung wird solange nachjustiert, bis der gewünschte Phasenwert erreicht ist.

[0008] Die in den **Fig. 1a** bis **1c** dargestellten Abstimmverfahren beruhen auf einem engen Matching von Bauelementen auf dem Chip, die einen sehr geringen Abstand zueinander aufweisen.

[0009] **Fig. 2** zeigt ein sogenanntes Biquad-Filter nach dem Stand der Technik. Bei dem Biquad-Filter handelt es sich um ein analoges Filter zweiter Ordnung, dass vordifferenziell aufgebaut ist und zwei Filterstufen enthält. Das in **Fig. 2** dargestellte Biquad-Filter enthält in jeder Filterstufe ein RC-Glied, dass jeweils aus einem Widerstand  $R$  und einem Kondensator  $C$  besteht. Die Widerstandswerte und Kapazitätswerte weisen nach der Herstellung Fertigungstoleranzen auf. Diese Fertigungstoleranzen können bei den Kondensatoren beispielsweise bei plus/minus 20% und bei den Widerständen bei plus/minus 15% liegen. Durch diese Herstellungsabweichungen variieren die Zeitkonstanten ( $\tau = R \times C$ ) für verschiedene Filterstufen stark und die Grenzfrequenzen  $f_g$  sind verschoben. Dies wiederum führt zu einer Veränderung der jeweiligen Grenzfrequenz  $f_g$  des Filters. Bei der Integration des in **Fig. 2** dargestellten Biquad-Filters zweiter Ordnung nach dem Stand der Technik ist es daher notwendig dieses Filter zu trimmen bzw. abzustimmen.

[0010] **Fig. 3** zeigt ein Blockschaltbild einer Schaltungsanordnung zur Trimmung eines Filters nach dem Stand der Technik. Herkömmliche Abstimm- bzw. Trimmschaltungen werden als eigenständiger Schaltungsblock auf dem Chip integriert. Diese separate Trimmschaltung befindet sich auf demselben Chip wie das abzustimmende analoge Filter und die übrigen funktionellen Schaltungskomponenten. Die Trimmschaltung nach dem Stand der Technik besteht im Wesentlichen aus einer analogen Schaltung zur Messung der RC-Zeitkonstante ( $\tau$ ) einer Filterstufe innerhalb des Filters und aus einer digitalen Schaltung zur Auswertung der gemessenen Zeitkonstante  $\tau$ . Bei der analogen RC-Mess-Schaltung innerhalb der separaten Trimmschaltung handelt es sich um eine Schaltungsanordnung, die identisch aufgebaut ist wie die auszumessende und zu trimmende Filterstufe innerhalb des Filters. Der digitale Schaltungsteil der Trimmschaltung wertet die ausgemessene Zeitkonstante  $\tau$  der Filterstufe aus und schaltet ein in dem Filter vorgesehenes Kondensator-Array zum Ausgleich einer Abweichung der RC-Zeitkonstanten von

einem Sollwert.

[0011] Die in **Fig. 3** dargestellte Schaltungsanordnung nach dem Stand der Technik zur Trimmung eines analogen Filters weist einige erhebliche Nachteile auf. Die Trimmschaltung ist auf dem Chip getrennt von dem zu trimmenden Filter angeordnet. Da die Trimmschaltung eine schaltungstechnische Nachbildung der zu trimmenden Filterstufe enthält, benötigt sie bei der Integration auf dem Chip fast genau so viel Platz wie das zu trimmende Filter selbst. Der zusätzliche Platzbedarf führt zu höheren Herstellungskosten des gesamten Chips.

[0012] Da die Trimmschaltung separat von dem zu trimmenden Filter auf dem Chip integriert ist, besteht ein räumlicher Abstand zwischen den RC-Gliedern innerhalb der zu trimmenden Filterstufe und den RC-Gliedern innerhalb der Trimmschaltung, die die Filterstufe identisch nachbilden. Aufgrund der räumlichen Trennung ist es schaltungstechnisch nur schwer möglich ein gutes Matching der Widerstände der Kondensatoren innerhalb des zu trimmenden Filters und der Widerstände der Kondensatoren innerhalb der in der Trimmschaltung enthaltenen RC-Mess-Schaltung zu erreichen. Fertigungsdifferenzen und Temperaturgefälle können zu einem unterschiedlichen Verhalten der RC-Glieder innerhalb der Trimmschaltung und innerhalb der zu trimmenden Filterstufe führen. Dies wiederum bewirkt eine fehlerhafte Abstimmung bzw. Trimmung der Filterstufe.

#### Aufgabenstellung

[0013] Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine Abstimmenschaltung zur Abstimmung einer Filterstufe zu schaffen, muss, die bei Integration einen möglichst geringen Platzbedarf aufweist und die eine hohe Genauigkeit bei der Abstimmung der Filterstufe gewährleistet.

[0014] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Abstimmenschaltung mit den in Patentanspruch 1 gegebenen Merkmal und durch ein Verfahren zur Abstimmung mit den in Patentanspruch 31 angegebenen Merkmal gelöst.

[0015] Die Erfindung schafft eine Abstimmenschaltung zur Abstimmung einer Filterstufe, die ein RC-Glied mit einer RC-Zeitkonstanten ( $\tau$ ) enthält, wobei die RC-Zeitkonstante ( $\tau$ ) das Produkt aus dem Widerstandswert eines Widerstandes (R1) des RC-Gliedes und der Kapazität eines zu dem Widerstand (R1) seriell verschalteten Kondensators (C1) des RC-Gliedes ist, mit einem Komparator zum Vergleichen der an dem Potentialknoten zwischen dem Widerstand (R1) und dem Kondensator (C1) anliegenden Spannung mit einer Bezugsspannung, sowie mit einer Steuerung, die den Kondensator (C1) des RC-Gliedes umlädt, bis der Komparator anzeigt, dass die an dem Potentialknoten anliegende Spannung gleich der Bezugsspannung ist, wobei die Steuerung in Abhängigkeit von der Umladezeit ein zu dem

Kondensator (C1) des RC-Gliedes parallel geschaltetes Kondensator-Array zum Ausgleich einer Abweichung der RC-Zeitkonstanten ( $\tau$ ) des RC-Gliedes von einem Sollwert schaltet.

[0016] Die Grundidee der erfindungsgemäßen Abstimmenschaltung besteht darin, die Abstimmenschaltung in das zu trimmende Filter selbst zu integrieren, insbesondere die in dem abzustimmenden Filter bereits vorhandenen Kondensatoren zur Abstimmung der Filterstufe einzusetzen.

[0017] Da die für die Abstimmenschaltung eingesetzten Kondensatoren mit denen der abzustimmenden Filterstufe identisch sind besteht ein perfektes Matching zwischen den Kondensatoren, so dass die Abstimmung hochgenau erfolgen kann. Darüber hinaus muss kein zusätzlicher Platz für Kondensatoren der Trimmschaltung vorgesehen werden, so dass der benötigte Platzbedarf der Trimmschaltung insgesamt gering ist.

[0018] In einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Abstimmenschaltung wird die Filterstufe in einem integrierten analogen Filter abgestimmt.

[0019] In einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Abstimmenschaltung weist die Steuerung eine Ablaufsteuerung zum Ansteuern von Schaltern auf, die zum Umladen des Kondensators des RC-Gliedes vorgesehen sind.

[0020] Die Schalter sind vorzugsweise in dem analogen Filter integriert.

[0021] Bei den Schaltern handelt es sich vorzugsweise um CMOS-Schalter.

[0022] Die Ablaufsteuerung weist bei einer bevorzugten Ausführungsform einen digitalen Zähler zum Messen der Umladezeit auf.

[0023] Dabei wird der digitale Zähler der Ablaufsteuerung vorzugsweise durch ein externes Taktsignal getaktet.

[0024] Der digitale Zähler der Ablaufsteuerung zählt vorzugsweise die Anzahl der Taktzyklen des externen Taktsignals zwischen dem Empfang eines Startsignals und dem Empfang eines von dem Komparator empfangenen Stoppsignals.

[0025] Die Steuerung weist bei einer bevorzugten Ausführungsform einen mit der Ablaufsteuerung verbundenen Speicher auf.

[0026] In dem Speicher ist vorzugsweise für jeden Zählwert des digitalen Zählers ein kodiertes Abstimmsteuersignal zum Schalten des Kondensator-Arrays abgespeichert.

[0027] Das Kondensator-Array weist bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Abstimmenschaltung mehrere Abstimmkondensatoren auf, die in Abhängigkeit von dem kodierten Abstimmsteuersignal parallel zu dem Kondensator des RC-Gliedes zugeschaltet werden.

[0028] Bei den Kapazitäten der Abstimmkondensatoren handelt es sich vorzugsweise um gewichtete Vielfache einer Basiskapazität.

[0029] Das Kondensator-Array ist bei einer bevor-

zugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Abstimmenschaltung in die Filterstufe integriert.

[0030] Das integrierte analoge Filter ist vorzugsweise mittels Schalter, die durch die Ablaufsteuerung angesteuert werden, zwischen einem normalen Filterbetrieb und einem Abstimmbetrieb umschaltbar.

[0031] Die Filterstufe weist vorzugsweise einen voll-differenziell aufgebauten Operationsverstärker auf.

[0032] Der voll-differenziell aufgebaute Operationsverstärker weist vorzugsweise einen ersten Signaleingang auf, der mit einem Potentialknoten eines ersten RC-Gliedes verbunden ist, einen zweiten Signaleingang, der mit dem Potentialknoten eines zweiten RC-Gliedes verbunden ist, einen ersten Signalausgang, der über den Kondensator des ersten RC-Gliedes an den ersten Signaleingang rückgekoppelt ist, und einen zweiten Signalausgang, der über den Kondensator des zweiten RC-Gliedes an den zweiten Signaleingang rückgekoppelt ist.

[0033] Dabei wird der Kondensator des ersten RC-Gliedes vorzugsweise mittels Schalter, die durch die Ablaufsteuerung gesteuert sind, solange geladen und der Kondensator des zweiten RC-Gliedes mittels Schalter, die durch die Ablaufsteuerung gesteuert sind, solange entladen bis die an den Potentialknoten der beiden RC-Glieder anliegenden Spannungen gleich groß sind.

[0034] Der Komparator weist vorzugsweise einen ersten Signaleingang auf, der mit dem Potentialknoten des ersten RC-Gliedes verbunden ist, einen zweiten Signaleingang, der mit dem Potentialknoten des zweiten RC-Gliedes verbunden ist, einen Ausgang zur Abgabe eines Stoppsignals an die Ablaufsteuerung, wenn die an dem ersten Signaleingang anliegende Spannung gleich der an dem zweiten Signaleingang anliegenden Spannung ist.

[0035] Der in der Ablaufsteuerung enthaltene Zähler erfasst vorzugsweise die Zeit bis die an den beiden Signaleingängen des Komparators anliegenden Spannungen gleich groß sind.

[0036] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Abstimmenschaltung weist die Filterstufe einen Operationsverstärker auf, dessen erster Signaleingang mit dem Potentialknoten des RC-Gliedes verbunden ist und dessen Signalausgang über den Kondensator des RC-Gliedes an den Signaleingang rückgekoppelt ist.

[0037] Dabei weist der Komparator vorzugsweise einen ersten Signaleingang auf, der mit dem Signalausgang des Operationsverstärkers verbunden ist, einen zweiten Signaleingang, an dem die Bezugsspannung anliegt und einen Ausgang zur Abgabe eines Stoppsignals, an die Ablaufsteuerung, wenn die an dem ersten Eingang anliegende Spannung gleich der Bezugsspannung ist.

[0038] Der zweite Eingang des Komparators wird vorzugsweise mittels Schalter, die durch die Ablaufsteuerung gesteuert werden, alternativ an eine erste Referenzspannungsquelle, die eine erste Referenz-

spannung generiert, oder an eine zweite Referenzspannungsquelle, die eine zweite Referenzspannung generiert, geschaltet.

[0039] Der Kondensator des RC-Gliedes ist vorzugsweise mittels Schalter, die durch die Ablaufsteuerung gesteuert sind, alternativ an die erste Referenzspannungsquelle zum Entladen des Kondensators oder an die zweite Referenzspannungsquelle zum Aufladen des Kondensators geschaltet.

[0040] Der Kondensator wird vorzugsweise mittels der durch die Ablaufsteuerung gesteuerten Schalter solange umgeladen, bis an dem ersten Eingang des Komparators die erste Referenzspannung anliegt und der Kondensator wird anschließend mittels der durch die Ablaufsteuerung gesteuerten Schalter solange entgegengesetzt umgeladen, bis an dem ersten Eingang des Komparators wieder die zweite Referenzspannung anliegt.

[0041] Der in der Ablaufspannung enthaltene Zähler erfasst vorzugsweise die gesamte Zeit zum Umladen und zum entgegengesetzten Umladen des Kondensators.

[0042] Bei den analogen Filtern handelt es sich vorzugsweise um ein Anti-Aliasing-Filter.

[0043] Das analoge Filter ist vorzugsweise ein XDSL-Anti-Aliasing-Filter.

[0044] Bei einer bevorzugten Ausführungsform handelt es sich bei dem analogen Filter um einen Bi-quad-Filter.

[0045] Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist das analoge Filter voll-differenziell aufgebaut.

[0046] Das analoge Filter weist vorzugsweise mehrere Filterstufen auf.

[0047] Die Erfindung schafft ferner ein Verfahren zur Abstimmung einer Filterstufe, die ein RC-Glied mit einer RC-Zeitkonstanten enthält, wobei die RC-Zeitkonstante ( $\tau$ ) das Produkt aus dem Widerstandswert eines Widerstandes ( $R_1$ ) des RC-Gliedes und der Kapazität eines zu dem Widerstand ( $R_1$ ) seriell verschalteten Kondensators ( $C_1$ ) des RC-Gliedes ist, wobei das Verfahren folgenden Schritte aufweist, nämlich das Umladen des Kondensators ( $C_1$ ) von mindestens einem RC-Glied der Filterstufe, sowie das Messen der Umladezeit bis die an dem Potentialknoten zwischen dem Widerstand ( $R_1$ ) und dem Kondensator ( $C_1$ ) des RC-Gliedes anliegende Spannung eine Bezugsspannung erreicht, sowie das Schalten eines parallel zu dem Kondensator ( $C_1$ ) des RC-Gliedes verschalteten Kondensator-Arrays in Abhängigkeit von der gemessenen Umladezeit zum Ausgleich einer Abweichung der RC-Zeitkonstante ( $\tau$ ) des RC-Gliedes von einem vorbestimmten Sollwert ( $\tau_{\text{SOLL}}$ ). Der Kondensator des RC-Gliedes wird vorzugsweise vor dem Abstimmen der Filterstufe auf eine bestimmte erste Bezugsspannung geladen.

[0048] Bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Kondensator zur Abstimmung der Filterstufe solange umgeladen bis die an dem Kondensator anliegende Span-

nung gleich einer zweiten Bezugsspannung ist und anschließend solange entgegengesetzt umgeladen bis die an dem Kondensator anliegende Spannung wieder gleich der ersten Bezugsspannung ist.

[0049] Dabei werden die beiden Umladezeiten zum Umladen des Kondensators vorzugsweise als Gesamtzeit gemessen.

[0050] Bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird ein Kondensator eines ersten RC-Gliedes vor dem Abstimmen der Filterstufe auf eine erste Bezugsspannung und einen Kondensator eines zweiten RC-Gliedes vor dem Abstimmen der Filterstufe auf eine zweite Bezugsspannung geladen, wobei der Kondensator des ersten RC-Gliedes solange entladen wird und der Kondensator des zweiten RC-Gliedes solange aufgeladen wird, bis die Spannung an beiden Kondensatoren gleich groß ist.

[0051] Dabei wird die Umladezeit, bis die beiden Spannungen an beiden Kondensatoren gleich groß sind, vorzugsweise gemessen.

[0052] Im weiteren werden bevorzugte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Abstimm-schaltung und des erfindungsgemäßen Abstimmverfahrens zur Erläuterung erfindungswesentlicher Merkmale unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren beschrieben.

[0053] Es zeigen:

[0054] **Fig. 1** verschiedene Schaltungsanordnungen zum Abstimmen von Filtern nach dem Stand der Technik;

[0055] **Fig. 2** ein Biquad-Filter zweiter Ordnung nach dem Stand der Technik;

[0056] **Fig. 3** ein Blockschaltbild einer Schaltungsanordnung zur Trimmung eines Filters nach dem Stand der Technik;

[0057] **Fig. 4** ein Blockschaltbild zur Erläuterung der Trimmung bei einer ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Abstimm-schaltung;

[0058] **Fig. 5** Signalablaufdiagramme zur Erläuterung der Funktionsweise der in **Fig. 4** dargestellten Schaltungsanordnung gemäß der Erfindung;

[0059] **Fig. 6** ein Diagramm zur Erläuterung der Funktionsweise der in **Fig. 4** dargestellten Abstimm-schaltung gemäß der Erfindung;

[0060] **Fig. 7** ein Diagramm zur Erläuterung der Funktionsweise der in **Fig. 4** dargestellten Abstimm-schaltung gemäß der Erfindung;

[0061] **Fig. 8** eine Schaltungsanordnung eines in der erfindungsgemäßen Abstimm-schaltung eingesetzten Kondensator-Arrays;

[0062] **Fig. 9** eine bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Abstimm-schaltung zur Abstimmung eines Biquad-Filters;

[0063] **Fig. 10** ein Blockschaltbild einer zweiten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Abstimm-schaltung;

[0064] **Fig. 11** Signalablaufdiagramm zur Erläuterung der Funktionsweise der in **Fig. 10** dargestellten Abstimm-schaltung gemäß der Erfindung;

[0065] **Fig. 12** eine bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Abstimm-schaltung zur Abstimmung eines Biquad-Filters.

[0066] In **Fig. 4** ist eine Schaltungsanordnung zur Erläuterung einer ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Abstimm-schaltung dargestellt. In einem abzustimmenden Filter **3** sind ein erstes RC-Glied **1** und ein zweites RC-Glied **2** enthalten. Das Filter **3** umfasst neben dem ersten und zweiten RC-Glied weitere Schaltungskomponenten, die in **Fig. 4** nicht dargestellt sind. Das Filter **3** wird durch eine positive Versorgungsspannung  $V_{dd}$  und durch eine negative Versorgungsspannung  $V_{ss}$  mit Spannung versorgt. Das erste RC-Glied **1** umfasst einen Widerstand R1 und einen seriell dazu verschalteten Kondensator C1. In gleicher Weise umfasst das zweite RC-Glied **2** einen Kondensator C2 und einen seriell dazu verschalteten Widerstand R2. Einen Verbindungsknoten **4** innerhalb des ersten RC-Gliedes **1**, an dem der Widerstand R1 und der Kondensator C1 des RC-Gliedes **1** miteinander verbunden sind und ein Verbindungsknoten **5** innerhalb des zweiten RC-Gliedes **2** an dem der Kondensator C2 des zweiten RC-Gliedes **2** und der Widerstand R2 des zweiten RC-Gliedes **2** miteinander verbunden sind, sind über Leitungen **6,7** über einen ersten und zweiten Signaleingang **8,9** eines Komparators **10** verbunden. Der Komparator **10** vergleicht die im ersten Potentialknoten **4** anliegende Spannung mit der an dem zweiten Potentialknoten **5** anliegenden Spannung. Der Komparator **10** weist einen Ausgang **11** auf, der über eine Steuerleitung **12** mit einem Eingang **13** einer Ablaufsteuerung **14** verbunden ist. Die Ablaufsteuerung **14** ist Teil einer Steuerung **15**, die neben der Ablaufsteuerung **14** noch einen Speicher **16** enthält. Die Ablaufsteuerung **14** besitzt einen digitalen Zähler. Die Ablaufsteuerung **14** erhält über einen Steuereingang **17** ein externes Startsignal zum Start eines Abstimmvorgangs für das Filter **3**. Der in der Ablaufsteuerung **14** enthaltene Zähler misst die Zeit zwischen dem empfangenen Startsignal und einem von Komparator **10** abgegebenen Stoppsignal. Hierzu wird die Ablaufsteuerung **14** durch ein an einen Takteingang **18** angelegtes Taktsignal CLK getaktet. Der digitale Zähler zählt die Anzahl der Taktzyklen zwischen dem Start- und dem Stoppsignal. Der Zählwert Z wird über Leitungen **19** an eine in dem Speicher **16** enthaltene Look-up-Tabelle abgegeben.

[0067] Die Ablaufsteuerung **14** steuert über Steuerleitungen Schalter an, die in dem Filter **3** zur Abstimmung des Filter vorgesehen sind. Bei der in **Fig. 4** dargestellten Ausführungsform gibt die Ablaufsteuerung über einen Steuerausgang **20** ein erstes Steuersignal A und über einen zweiten Steuerausgang **21** ein zweites Steuersignal B ab. Das Steuersignal A steuert die Schalter **22,23** innerhalb des Filters **3** an. Das Steuersignal B steuert die Schalter **24,25** innerhalb des Filters **3** an.

[0068] Bevor die Ablaufsteuerung **14** über den Steuereingang **17** das Startsignal zum Starten des Ab-

stimmvorgangs enthält, sind die Schalter **22,23** entsprechend dem Steuersignal A geschlossen und die Schalter **24,25** sind entsprechend dem Steuersignal B geöffnet. Folglich ist der Kondensator C1 des ersten RC-Gliedes **1** vor Beginn des Abstimmvorgangs vollständig entladen und der Kondensator C2 innerhalb des zweiten RC-Gliedes **2** ist vollständig geladen. Nachdem die Ablaufsteuerung **14** das Startsignal zum Starten des Abstimmvorgangs erhalten hat, werden die Schalter **22,23** geöffnet und die Schalter **24,25** geschlossen. In der Folge wird der Kondensator C1 innerhalb des ersten RC-Gliedes **1** aufgeladen und der Kondensator C2 innerhalb des zweiten RC-Gliedes **2** entladen. Der Komparator **10** vergleicht die an den Spannungspotentialknoten **4,5** anliegenden Spannungen und gibt ein Stoppsignal über die Steuerleitung **12** an die Ablaufsteuerung **14** ab, sobald die beiden Spannungen gleich groß sind. Die Ablaufsteuerung **14** misst die Umladezeit des getakteten digitalen Zählers und gibt den Zählwert Z an den Speicher **16** ab. Im Speicher **16** befindet sich eine abgespeicherte Tabelle bei der für jeden Zählwert ein kodiertes Abstimmsteuersignal gespeichert ist. Das Abstimmsteuersignal besteht aus mehreren kodierten Steuersignalbits Zi zum Schalten von mehreren Schaltern innerhalb eines Kondensator-Arrays **26**. Das Kondensator-Array **26** besteht aus mehreren Kondensatoren, die parallel zu den abzustimmenden Kondensatoren C1, C2 innerhalb des Filter **3** verschaltet sind. Das Kondensator-Array **26** ist in dem Filter **3** integriert. Das Kondensator-Array **26** wird über Steuerleitungen **27** entsprechend dem ausgelesenen kodierten Abstimmsteuersignal angesteuert. Die RC-Glieder **1,2** sind RC-Glieder einer Filterstufe innerhalb des Filters **3**. Das Filter **3** kann neben der abzustimmenden Filterstufe auch weitere Filterstufen enthalten. Die Ablaufsteuerung **15** lädt den Kondensator C1 des RC-Gliedes **1** solange um, bis der Komparator **10** anzeigt, dass die an dem Potentialknoten **4** anliegende Spannung gleich einer Bezugsspannung, nämlich der an dem Potentialknoten **5** anliegenden Vergleichsspannung, ist. Die Steuerung **15** schaltet in Abhängigkeit von der durch den digitalen Zähler gemessenen Umladezeit ein zu dem Kondensator C1 des RC-Gliedes **1** parallel geschaltetes Kondensator-Array **26**, um Fertigungsabweichungen der RC-Zeitkonstanten  $\tau$  des RC-Gliedes **1** von einem Sollwert auszugleichen.

[0069] **Fig. 5** zeigt die Signalverläufe der in **Fig. 4** dargestellten Schaltungsanordnung. Zum Zeitpunkt  $t_{\text{start}}$  beginnt der Abstimmvorgang, wobei das Steuersignal A die Schalter **22,23** öffnet und das Steuersignal B die Schalter **24,25** schließt. In Abhängigkeit von der RC-Zeitkonstanten  $\tau_1 = R1 \times C1$  wird das RC-Glied **1**, wie in **Fig. 5** dargestellt, aufgeladen. In gleicher Weise wird das zweite RC-Glied **2** mit der Zeitkonstanten  $\tau_2 = R2 \times C2$  entladen. In **Fig. 5** sind für jedes RC-Glied beispielhaft drei Verläufe für unterschiedliche Zeitkonstanten  $\tau_1$  bzw.  $\tau_2$  mit 3 verschiedenen Schnittpunkten  $S_1, S_2, S_3$  dargestellt.

[0070] Bei einer Veränderung der Versorgungsspannung verschieben sich die Lade- bzw. Entladekurven der beiden RC-Glieder in gleiche Richtung, so dass sich der Schnitt ohne Veränderung der Messzeit  $\Delta t$  vertikal in dem Diagramm verschiebt. Die Messschaltung ist somit äußerst stabil gegenüber Spannungsschwankungen der Versorgungsspannung. Nach Empfang des Startsignals zählt der digitale Zähler innerhalb der Ablaufsteuerung **14** getaktet durch das Taktsignal CLK die Anzahl der Taktimpulse zwischen dem empfangenen Startsignal und dem von dem Komparator abgegebenen Stoppsignal.

$$\Delta t = t_{\text{CLK}} \times N = LN(2) \times R \times C$$

[0071] **Fig. 6** zeigt beispielhaft den Zählwert Z des Zählers innerhalb der Ablaufsteuerung **14** in Abhängigkeit von der Prozessabweichung. Bei einer normierten Prozessabweichung von 1 beträgt der Zählwert beispielweise 100. Die normierte Prozessabweichung **1** entspricht dem Sollwert, d.h. die RC-Zeitkonstante  $\tau$  entspricht genau der gewünschten RC-Zeitkonstante  $\tau_{\text{Soll}}$ . Je größer die Prozessabweichung von dem gewünschten Sollwert ist, desto stärker ist die Abweichung des Zählwertes von dem gewünschten Sollzählwert  $Z = 100$ .

[0072] **Fig. 7** zeigt ein Beispiel für einen Abstimmcode in Abhängigkeit von dem Zählwert. Der Abstimmcode besteht bei dem in **Fig. 7** dargestellten Beispiel aus vier Abstimmsteuerungsbits, mit dem sich Werte zwischen 0 und 15 darstellen lassen. Bei dem Zählwert **100** beträgt der Abstimmsteuerungscode beispielsweise **5**, der binär kodiert der Bitfolge 0101 entspricht. Das Abstimmsteuersignal wird über die Steuerleitungen **27**, die bei dem gewählten Beispiel vier Steuerleitungen umfassen, an ein Kondensator-Array **26** im Filter **3** aus dem Speicher **16** ausgelesen.

[0073] Die vier Steuerbits  $Z_0, Z_1, Z_2, Z_3$ , steuern die in **Fig. 8** dargestellten Schalter **26a, 26b, 26c, 26d** innerhalb des Kondensator-Arrays **26**. Das Kondensator-Array **26** enthält mehrere parallel verschaltete Kondensatoren **28a, 28b, 28c, 28d** die über die Schalter **26a, 26d** parallel zuschaltbar sind. Jeder der abstimmbaren Kondensatoren C1, C2 innerhalb des Filters **3** verfügt über ein zugehöriges Kondensator-Array mit dem die RC-Zeitkonstante des RC-Gliedes **1** bzw. des RC-Gliedes **2** und die Steuerung **15** veränderbar ist. Die Steuerung **15** schaltet die Kondensatoren **28a** bis **28d** des Kondensator-Arrays **26** in Abhängigkeit von der gemessenen Umladezeit an den zugehörigen Kondensator innerhalb des Filters **3** zu, um die Abweichungen der RC-Zeitkonstante des RC-Gliedes von einem Sollwert  $\tau_{\text{Soll}}$ , die aufgrund des Herstellungsprozesses entstehen, auszugleichen. Bei der in **Fig. 4** dargestellten Vorgehensweise besteht ein Vorteil darin, dass die Trimmung unabhängig von Spannungseinflüssen verfolgt. Einzig und allein die Prozessabweichung beeinflusst das Messergebnis der Zeitkonstanten  $\tau$ . Das in **Fig. 8** dargestell-

te Kapazitäts-Array **26** umfasst mehrere Abstimmkondensatoren **28a** bis **28d**, die vorzugsweise mehr gewichtete Vielfache einer Basiskapazität  $C_{\text{basis}}$  sind. Mit  $N$ -Abstimmkondensatoren lassen sich  $2^N$  verschiedene Zustände und Kapazitätswerte zum Ausgleich von Prozessschwankungen einstellen. Bei einer Bitanzahl von  $N = 4$  erhält man 16 verschiedene Kapazitätswerte.

[0074] **Fig. 9** zeigt eine erfindungsgemäße Schaltungsanordnung zur Abstimmung eines Biquad-Filters. Der schaltungstechnische Aufbau eines herkömmlichen Biquad-Filters ist in **Fig. 2** dargestellt. Das Biquad-Filter besteht aus zwei Filterstufen, wobei jede Filterstufe jeweils voll-differenziell ausgebildet ist. Bei dem in **Fig. 9** dargestellten Beispiel werden die beiden RC-Glieder, nämlich das RC-Glied **1** und das RC-Glied **2** der ersten Filterstufe des Biquad-Filters durch die erfindungsgemäße Abstimm-schaltung abgestimmt. Das Biquad-Filter weist eine erste Filterstufe mit einem voll-differenziell aufgebauten Operationsverstärker **29** und eine zweite Filterstufe mit einem voll-differenziell aufgebauten Operationsverstärker **30** auf. Das Eingangssignal des abzustimmenden Filters liegt im Normalbetrieb über Widerstände  $R_1$ ,  $R_2$  Signaleingang des Operationsverstärkers **29** an. Das Ausgangssignal des Operationsverstärkers  $U_{\text{out}}$  wird von den Signalausgängen des Operationsverstärkers **30** der zweiten Filterstufe abgegeben. Die Signalausgänge des zweiten Operationsverstärkers **30** sind über Rückkoppelwiderstände  $R_5$ ,  $R_5'$  an die Signaleingänge des ersten Operationsverstärkers **29** rückgekoppelt. Die Signaleingänge des ersten Operationsverstärkers **29** sind jeweils mit einem Verbindungsknoten **4,5** der beiden RC-Glieder **1,2** verbunden. Die Potentialknoten **4,5** der beiden RC-Glieder **1,2** sind über Leitungen **6,7** mit den Signaleingängen des Komparators **10** verbunden. Die digitale Ablaufsteuerung **14** gibt drei Steuersignale  $A$ ,  $B$ ,  $C$  ab. Die Steuersignale  $A$ ,  $B$ ,  $C$  steuern verschiedene Schalter, die in dem Biquad-Filter integriert sind. Bei den Schaltern handelt es sich vorzugsweise um CMOS-Schalter. Nach Empfang eines Startsignals schaltet die digitale Ablaufsteuerung **14** von einem normalen Filterbetrieb auf einen Abstimm-betrieb um. Hierzu öffnet die digitale Ablaufsteuerung alle Schalter die in **Fig. 9** mit  $AQ$  bezeichnet sind, und schließt gleichzeitig alle Schalter, die mit  $A$  bezeichnet sind. Durch Öffnen der Schalter  $AQ$  wird die erste Filterstufe des Biquad-Filters von der zweiten Filterstufe getrennt. Die beiden Differenzoperationsverstärker **29,30** werden Power-down geschaltet. Ferner schließt die Ablaufsteuerung **14** die mit  $B$ ,  $C$  in **Fig. 9** gekennzeichneten Schalter. Hierdurch wird ein definierter Zustand für die anschließende Messung der Zeitkonstanten  $\tau$  hergestellt. Zum Starten des Messvorgangs empfängt die Ablaufsteuerung **14** das Startsignal und öffnet die Schalter  $B$ ,  $C$ . Der in der Ablaufsteuerung **14** enthaltene digitale Zähler zählt ab diesem Zeitpunkt die Taktsignalfanken solange bis die Spannungen an

dem Potentialknoten **4** und an dem Potentialknoten **5** gleich groß sind. Sobald der Komparator **10** dies erkennt, gibt er ein Stoppsignal an die nachgeschaltete digitale Ablaufsteuerung **14** ab und der darin enthaltene digitale Zähler hört auf zu zählen. Die gemessene Umladezeit  $T$  ist ein Maß für die RC-Zeitkonstante in der ersten Filterstufe des Biquad-Filters. Die Steuerung schaltet zum Ausgleich einer möglichen Abweichung der RC-Zeitkonstanten von einem Sollwert ein zu den Kondensatoren  $C_1$ ,  $C_1'$  parallel geschaltetes Kondensator-Array **26** entsprechend dem in dem Speicher **16** abgespeicherten Abstimmcode.

[0075] Wie man aus **Fig. 9** erkennen kann, benötigt die erfindungsgemäße Abstimm-schaltung neben den bereits in dem Biquad-Filter enthaltenen Kondensatoren keine zusätzlichen eigenen Messkondensatoren um die Abstimmung des Biquad-Filters vorzunehmen. Daher ist der Platzbedarf im Vergleich zu herkömmlichen Abstimm-schaltungen sehr gering. Da darüber hinaus keine von den RC-Gliedern innerhalb des Biquad-Filters entfernt gelegene Referenzbauelemente zur Messung benötigt werden, bestehen auch keine Probleme hinsichtlich des Matchings.

[0076] Nach Abschluss des Abstimmvorgangs werden die Schalter  $AQ$  geschlossen und die Schalter  $A$  geöffnet. Das Filter arbeitet dann im normalen Filterbetrieb weiter. Das abzustimmende Filter weist zwei Betriebsmodi auf, nämlich den Abstimm-betriebsmodus und den normalen Betriebsmodus. Im Normalbetrieb ist die Trimmung bzw. Abstimmung abgeschaltet. Die zusätzlich vorgesehenen integrierten Schalter beeinflussen das Filter im normalen Filterbetrieb nicht.

[0077] Bei der in **Fig. 9** dargestellten Ausführungsform wird lediglich die erste Filterstufe abgeglichen. Bei alternativen weiteren Ausführungsformen ist es auch möglich für jede Filterstufe eine Abstimmung vorzunehmen. Dabei kann für jede Filterstufe eine eigene Abstimm-schaltung vorgesehen werden oder verschiedene Filterstufen können zur Abstimmung an eine gemeinsame Abstimm-schaltung gemultiplext werden.

[0078] **Fig. 10** zeigt eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Abstimm-schaltung. Bei der in **Fig. 10** dargestellten Ausführungsform werden feste Referenzspannungen eingesetzt. Der zweite Eingang **9** des Komparators **10** ist über die Leitung **7** und Schalter  $A$ ,  $AQ$  alternativ an eine erste Referenzspannungsquelle **31** oder eine zweite Referenzspannungsquelle **32** schaltbar ist. Die beiden Referenzspannungsquellen **31,32** liefern Bezugsspannungen für den Komparator **10**.

[0079] Bei der in **Fig. 10** dargestellten Ausführungsform enthält die abzustimmende Filterstufe einen Operationsverstärker **33** mit einem ersten Signaleingang **34** und einem zweiten Signaleingang **35**. Der invertierende Signaleingang **34** bei der in **Fig. 10** dargestellten Ausführungsform wird mit dem Potentialknoten **4** innerhalb des RC-Gliedes **1** verbunden. Der Potentialknoten **4** stellt die Verbindungsstelle zwi-

schen dem Widerstand R1 und dem Kondensator C1 des RC-Gliedes **1** dar. Der Operationsverstärker weist einen Signalausgang **36** auf, der über eine Leitung **37** und den ersten Signaleingang **8** des Komparators **10** angeschlossen ist. Der Signalausgang **36** ist über den Kondensator C1 des RC-Gliedes an den invertierenden Signaleingang **34** rückgekoppelt. Der Kondensator C1 ist über einen Schalter **38** kurzschließbar. Der Operationsverstärker **33** bildet zusammen mit dem RC-Glied **1** eine Integrationsschaltung **39** innerhalb der abzustimmenden Filterstufe. Der Signaleingang der Integrationsschaltung **39** ist über Schalter **40,41** alternativ an eine ersten Referenzspannungsquelle **42** oder an eine Referenzspannungsquelle **43** schaltbar. Die Referenzspannungsquelle **42** ist vorzugsweise mit der Referenzspannungsquelle **31** identisch und die Referenzspannungsquelle **43** mit der Referenzspannungsquelle **32**. Bei der in **Fig. 10** dargestellten Ausführungsform liefern die Referenzspannungsquellen **31,41** eine positive Referenzspannung  $+U_{ref}$  und die Referenzspannungsquellen **32,43** eine negative Referenzspannungsquelle  $-U_{ref}$ . Die Referenzspannungsquelle **31** ist über einen Schalter **44** und die Referenzspannungsquelle **32** über einen Schalter **45** an den zweiten Eingang **9** des Komparators **10** schaltbar. Die Schalter **38,40,41,44,45** werden durch die digitale Ablaufsteuerung **14** geschaltet. Bei den Schaltern handelt es sich vorzugsweise um integrierte CMOS Schalter.

[0080] **Fig. 11** zeigt Signalablaufdiagramme zur Erläuterung der Funktion der in **Fig. 10** dargestellten Abstimmuschaltung gemäß der Erfindung. Die digitale Ablaufsteuerung **14** misst die Umladezeit des Kondensators C1 zwischen zwei vorgegebenen Referenzspannungen ( $+U_{ref}$ ,  $-U_{ref}$ ). Es wird die Zeit gemessen, die die Integrationsschaltung **39** benötigt, um bis zu der oberen Referenzspannung ( $+U_{ref}$ ) zu integrieren und anschließend zurück zu der ersten Referenzspannung ( $-U_{ref}$ ) zurückzuintegrieren. Um die Kapazität C1 für die Messung zunächst zu entladen wird durch die Ablaufsteuerung **14** über ein Ablaufsteuersignal B der Schalter **38** zunächst geschlossen. Nach dem Öffnen des Schalters B integriert die Integrationsschaltung **39** so lange bis die Ausgangsspannung am Signalausgang **36** den Spannungswert der negativen Referenzspannung ( $-U_{ref}$ ) erreicht hat. Hierzu gibt der Komparator **10** ein erstes Stoppsignal bzw. Umkehrsignal an die digitale Ablaufsteuerung **14** ab, die anschließend eine Integration hin zu der positiven Referenzspannung ( $+U_{ref}$ ) bewirkt, indem sie den Schalter **40** schließt und den Schalter **41** öffnet. Gleichzeitig wird der Schalter **44** geschlossen und der Schalter **45** geöffnet, so dass der Komparator an seinem zweiten Signaleingang **9** die positive Referenzspannung  $+U_{ref}$  als Vergleichsspannung erhält. Das Umschalten bzw. die Umkehrung der Integrationsrichtung erfolgt zum Zeitpunkt  $t_1$ . Die Integration in positiver Richtung erfolgt so lange bis der Komparator **10** feststellt, dass die positive Bezugsspannung

zum Zeitpunkt  $t_2$  erreicht ist. Die Ablaufsteuerung **14** misst mittels der darin enthaltenen getakteten Zählers die gesamte Zeit, die zum Umladen des Kondensators C1 und zum entgegengesetzt Umladen des Kondensators benötigt wird. Die Gesamtzeit

$$\Delta T = (t_1 - t_0) + (t_2 - t_1) = z_1 \times t_{CLK} + z_2 \times t_{CLK} = z \times t_{CLK}$$

wird als Zählwert Z erfasst und an die Speichereinheit **16** zum Auslesen des Abstimm-Tuningcodes abgegeben. Die in dem Kondensator-Array **26** vorgesehenen Abstimmkondensatoren **28** werden entsprechend dem ausgelesenen Abstimmcode zu dem Kondensator C1 des RC-Gliedes **1** parallel zugeschaltet, um Abweichungen aufgrund von Fertigungstoleranzen auszugleichen.

[0081] **Fig. 11** zeigt die reine Offsetkompensation durch die Messung. Ein Vorteil der in **Fig. 10, 11** dargestellten Vorgehensweise besteht darin, dass beim Messen der beiden Integrationszeiten, nämlich der Integrationszeit  $\Delta t_1 = t_1 - t_0$  zum Entladen des Kondensators und der zweiten Integrationszeit  $\Delta t_2 = t_2 - t_1$  zum Aufladen des Kondensators der Einfluss von Offsetspannungen kompensiert wird. Der Grund hierfür liegt darin, dass die Offsetspannung  $U_{OFFSET}$  bei dem ersten Integrationsvorgang eine größere Steigung und nach der Umkehrung der Integration eine kleinere Steigung verursacht. Somit wird die Offsetspannung  $U_{OFFSET}$  einem Integrationsvorgang addiert und bei dem anderen Integrationsvorgang in umgekehrter Richtung subtrahiert. Die Summe der beiden Integrationszeiten  $\Delta t_1$  und  $\Delta t_2$  ist ein Maß für die RC-Zeitkonstante des RC-Gliedes innerhalb des Filters.

[0082] **Fig. 12** zeigt eine bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Abstimmuschaltung zur Abstimmung eines zweistufigen Biquad-Filters. Bei der in **Fig. 12** dargestellten Abstimmuschaltung wird das in **Fig. 10** dargestellte Messprinzip eingesetzt. Bei dem abzustimmenden Filter handelt es sich um ein herkömmliches Biquad-Filter, wie es in **Fig. 2** dargestellt ist, wobei in dem Biquad-Filter verschiedene Schalter integriert sind. Die zusätzlich vorgesehenen Schalter sind in **Fig. 12** mit A, B, C, D gekennzeichnet.

[0083] Das Umschalten von dem normalen Filterbetrieb des Biquad-Filters in einen Abstimmbetrieb erfolgt durch die digitale Abstimmsteuerung indem die Schalter CQ geöffnet und die Schalter C geschlossen werden. Um den Messvorgang einzuleiten wird ein Startsignal an die digitale Ablaufsteuerung **14** abgegeben, die die Schalter A schließt und den zuvor geschlossenen Schalter B öffnet. Gleichzeitig wird der in der digitalen Ablaufsteuerung **14** enthaltene digitale Zähler gestartet. Durch das Schließen des Schalters A wird die erste Referenzspannung  $U_{ref1}$  über den Messwiderstand  $R_{MESS}$  an dem Potentialknoten **4** des RC-Gliedes **1** angelegt. Gleichzeitig wird die zweite Referenzspannung  $U_{ref2}$  über einen geschlossenen Schalter A an den zweiten Signaleingang **9**



des Komparators **10** als Bezugsspannung angelegt. Die Integrationsschaltung integriert die angelegte erste Referenzspannung  $U_{ref1}$  solange bis die integrierte Spannung am ersten Signaleingang des Komparators **10** genauso groß ist, wie die Bezugsspannung  $U_{ref2}$ . Ist dieser Zustand erreicht, signalisiert der Komparator **10** über die Steuerleitung **12** der digitalen Ablaufsteuerung **14**, dass der Umkehrpunkt erreicht ist und die Ablaufsteuerung **14** öffnet anschließend die Schalter A und schließt die Schalter D. Hierdurch wird am zweiten Eingang des Komparators **10** nunmehr die erste Referenzspannung  $U_{ref1}$  als Bezugsspannung angelegt. Darüber hinaus wird die zweite Referenzspannung  $U_{ref2}$  als Eingangsspannung über einen Schalter D an den Messwiderstand RM und den Potentialknoten **4** zur Integration angelegt. Die Integrationsschaltung integriert nun in umgekehrter Richtung so lange, bis an dem Komparatoreingang **8** die an dem Eingang **9** anliegende Referenzspannung  $U_{ref1}$  erreicht ist. Ihr Zustand wird durch den Komparator **10** erkannt, der ein Stoppsignal zur Beendigung des Messvorgangs an die digitale Ablaufsteuerung **14** abgibt. Die Ladezeit zwischen dem Zeitpunkt an dem die Schalter A geschlossen werden, bis zum Auslösen des Stoppsignals durch den Komparator **10** wird als Zählwert Z durch den digitalen Zähler erfasst und stellt ein Maß für die RC-Zeitkonstante  $\tau$  des RC-Gliedes **1** innerhalb der ersten Filterstufe dar. Abhängig von dem Zählwert Z werden die in dem Kondensator-Array **26** enthaltenen Abstimmkondensatoren entsprechend dem abgespeicherten Abstimm-Tuningcode geschaltet, sodass der Differenzwert der RC-Zeitkonstante von einem Zeitkonstanten-Sollwert  $\tau_{Soll}$  zur Abstimmung des Filters **3** ausgeglichen wird.

## Bezugszeichenliste

<b>1</b>	RC-Glied
<b>2</b>	RC-Glied
<b>3</b>	Filter
<b>4</b>	Potentialknoten
<b>5</b>	Potentialknoten
<b>6</b>	Leitung
<b>7</b>	Leitung
<b>8</b>	Komparatoreingang
<b>9</b>	Komparatoreingang
<b>10</b>	Komparator
<b>11</b>	Komparatorausgang
<b>12</b>	Steuerleitung
<b>13</b>	Eingang
<b>14</b>	Ablaufsteuerung
<b>15</b>	Steuerung
<b>16</b>	Speichereinheit
<b>17</b>	Steuereingang
<b>18</b>	Taktsignaleingang
<b>20</b>	Steuerausgang
<b>21</b>	Steuerausgang
<b>22</b>	Schalter
<b>23</b>	Schalter
<b>24</b>	Schalter
<b>25</b>	Schalter
<b>26</b>	Kondensator-Array
<b>27</b>	Steuerleitungen
<b>28</b>	Abstimmkondensatoren
<b>29</b>	Operationsverstärker
<b>30</b>	Operationsverstärker
<b>31</b>	Referenzspannungsquelle
<b>32</b>	Referenzspannungsquelle
<b>33</b>	Operationsverstärker
<b>34</b>	Signaleingang
<b>35</b>	Signaleingang
<b>36</b>	Signalausgang
<b>37</b>	Leitung
<b>38</b>	Schalter
<b>39</b>	Integrator
<b>40</b>	Schalter
<b>41</b>	Schalter
<b>42</b>	Referenzspannungsquelle
<b>43</b>	Referenzspannungsquelle
<b>44</b>	Schalter
<b>45</b>	Schalter

## Patentansprüche

1. Abstimm-schaltung zur Abstimmung einer Filterstufe, die ein RC-Glied (**1**) mit einer RC-Zeitkonstanten ( $\tau$ ) enthält, wobei die RC-Zeitkonstante ( $\tau$ ) das Produkt aus dem Widerstandswert eines Widerstandes (R1) des RC-Gliedes (**1**) und der Kapazität eines zu dem Widerstand (R1) seriell verschalteten Kondensators (C1) des RC-Gliedes (**1**) ist, mit:  
 (a) einem Komparator (**10**) zum Vergleichen der an dem Potentialknoten (**4**) zwischen dem Widerstand (R1) und dem Kondensator (C1) anliegenden Spannung mit einer Bezugsspannung; und mit

(b) einer Steuerung (15), die den Kondensator (C1) des RC-Gliedes (1) umlädt, bis der Komparator (10) anzeigt, dass die an dem Potentialknoten (4) anliegende Spannung gleich der Bezugsspannung ist, wobei die Steuerung (15) in Abhängigkeit von der Umladezeit ein zu dem Kondensator (C1) des RC-Gliedes (1) parallel geschaltetes Kondensator-Array (26) zum Ausgleich einer Abweichung der RC-Zeitkonstanten ( $\tau$ ) des RC-Gliedes (1) von einem Sollwert schaltet.

2. Abstimmuschaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Filterstufe in einem integrierten analogen Filter (3) enthalten ist.

3. Abstimmuschaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung (15) eine Ablaufsteuerung (14) zum Ansteuern von Schaltern aufweist, die zum Umladen des Kondensators (C1) des RC-Gliedes (1) vorgesehen sind.

4. Abstimmuschaltung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Schalter in dem analogen Filter (3) integriert sind.

5. Abstimmuschaltung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Schalter CMOS-Schalter sind.

6. Abstimmuschaltung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Ablaufsteuerung (14) einen digitalen Zähler zum Messen der Umladezeit aufweist.

7. Abstimmuschaltung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der digitale Zähler der Ablaufsteuerung (14) durch ein externes Taktsignal (CLK) getaktet ist.

8. Abstimmuschaltung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der digitale Zähler der Ablaufsteuerung (14) die Anzahl (Z) der Taktzyklen des externen Taktsignals zwischen dem Empfang eines Startsignals und dem Empfang eines von dem Komparator (10) empfangenen Stop-Signales zählt.

9. Abstimmuschaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung (15) einen mit der Ablaufsteuerung (14) verbundenen Speicher (16) aufweist.

10. Abstimmuschaltung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Speicher (16) für jeden Zählwert (Z) des digitalen Zählers ein codiertes Abstimmsteuersignal zum Schalten des Kondensator-Arrays (26) abgespeichert ist.

11. Abstimmuschaltung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Kondensator-Array (26) mehrere Abstimmkondensatoren (28-i) aufweist,

die in Abhängigkeit von dem codierten Abstimmsteuersignal parallel zu dem Kondensator (C1) des RC-Gliedes (1) zugeschaltet werden.

12. Abstimmuschaltung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Kapazitäten der Abstimm-Kondensatoren (28-i) gewichtete Vielfache einer Basiskapazität ( $C_{\text{Basis}}$ ) sind.

13. Abstimmuschaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Kondensator-Array (26) in der Filterstufe integriert ist.

14. Abstimmuschaltung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das integrierte analoge Filter mittels Schalter, die durch die Ablaufsteuerung (14) gesteuert werden, zwischen einem normalen Filterbetrieb und einer Abstimmbetrieb umschaltbar ist.

15. Abstimmuschaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Filterstufe einen voll-differenziell aufgebauten Operationsverstärker (29) aufweist.

16. Abstimmuschaltung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass der voll-differenziell aufgebaute Operationsverstärker (29) einen ersten Signaleingang, der mit einem Potentialknoten (4) eines ersten RC-Gliedes (1) verbunden ist, einen zweiten Signaleingang, der mit dem Potentialknoten (5) eines zweiten RC-Gliedes (2) verbunden ist, einen ersten Signalausgang, der über den Kondensator (C1) des ersten RC-Gliedes (1) an den ersten Signaleingang rückgekoppelt ist, und einen zweiten Signalausgang, der über den Kondensator (C2) des zweiten RC-Gliedes (2) an den zweiten Signaleingang rückgekoppelt ist, aufweist.

17. Abstimmuschaltung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Kondensator (C1) des ersten RC-Gliedes (1) mittels Schalter, die durch die Ablaufsteuerung (14) gesteuert sind, solange geladen wird und der Kondensator (C2) des zweiten RC-Gliedes (2) mittels Schalter, die durch die Ablaufsteuerung (14) gesteuert sind, solange entladen wird, bis die an dem Potentialknoten (4, 5) der beiden RC-Glieder (1, 2) anliegenden Spannungen gleich groß sind.

18. Abstimmuschaltung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Komparator (10) aufweist:

- einen ersten Signaleingang (8), der mit dem Potentialknoten (4) des ersten RC-Gliedes (1) verbunden ist,
- einen zweiten Signaleingang (9), der mit dem Potentialknoten (5) des zweiten RC-Gliedes (2) verbunden ist, und

– einen Ausgang (11) zur Abgabe eines Stoppsignals an die Ablaufsteuerung, wenn die an dem ersten Signaleingang (8) anliegende Spannung gleich der an dem zweiten Signaleingang (9) anliegenden Spannung ist.

19. Abstimmenschaltung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass der in der Ablaufsteuerung (14) enthaltenen Zähler die Zeit erfasst bis die an den beiden Signaleingängen (8, 9) des Komparators (10) anliegenden Spannungen gleich groß sind.

20. Abstimmenschaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Filterstufe einen Operationsverstärker (33) aufweist, dessen erster Signaleingang mit dem Potentialknoten (4) des RC-Gliedes (1) verbunden ist und dessen Signalausgang (36) über den Kondensator (C1) des RC-Gliedes (1) an den ersten Signaleingang (8) rückgekoppelt ist.

21. Abstimmenschaltung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass der Komparator (10) aufweist:

- einen ersten Signaleingang (8), der mit dem Signalausgang (36) des Operationsverstärkers (33) verbunden ist,
- einen zweiten Eingang (9) an dem die Bezugsspannung anliegt, und
- ein Ausgang (11) zur Abgabe eines Stoppsignals, an die Ablaufsteuerung, wenn die an dem ersten Eingang anliegende Spannung gleich der Bezugsspannung ist.

22. Abstimmenschaltung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Eingang (9) des Komparators (10) mittels Schalter (44, 45), die durch die Ablaufsteuerung (14) gesteuert werden, alternativ an eine erste Referenzspannungsquelle (31), die eine erste Referenzspannung generiert, oder an eine zweite Referenzspannungsquelle (32), die eine zweite Referenzspannung generiert, schaltbar ist.

23. Abstimmenschaltung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass der Kondensator (C1) des RC-Gliedes (1) mittels Schalter (44, 45), die durch die Ablaufsteuerung (14) gesteuert sind, alternativ an die erste Referenzspannungsquelle (42) zum Laden des Kondensators in eine erste Richtung oder an die zweite Referenzspannungsquelle zum Laden des Kondensators (C1) in eine zu der ersten Richtung umgekehrte Richtung schaltbar ist.

24. Abstimmenschaltung nach Anspruch 22 oder 23, dadurch gekennzeichnet, dass der Kondensator (C1) mittels der durch die Ablaufsteuerung (14) gesteuerten Schalter solange umgeladen wird, bis an dem ersten Eingang (8) des Komparators (10) die erste Referenzspannung anliegt und der Kondensa-

tor (C1) anschließend mittels der durch die Ablaufsteuerung (14) gesteuerten Schalter solange entgegengesetzt umgeladen wird, bis an dem ersten Eingang (8) des Komparators (10) wieder die zweite Referenzspannung anliegt.

25. Abstimmenschaltung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass der in der Ablaufsteuerung (14) enthaltene Zähler die gesamte Zeit zum Umladen und zum entgegengesetzten Umladen des Kondensators (C1) erfasst.

26. Abstimmenschaltung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das analoge Filter ein Anti-Aliasing Filter ist.

27. Abstimmenschaltung nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass das analoge Filter ein xDSL-Anti-Aliasing Filter ist.

28. Abstimmenschaltung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das analoge Filter ein Biquad-Filter ist.

29. Abstimmenschaltung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das analoge Filter voll-differenziell aufgebaut ist.

30. Abstimmenschaltung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das analoge Filter mehrere Filterstufen aufweist.

31. Verfahren zur Abstimmung einer Filterstufe, die ein RC-Glied mit einer RC-Zeitkonstante enthält, wobei die RC-Zeitkonstante ( $\tau$ ) das Produkt aus dem Widerstandswert eines Widerstandes (R1) des RC-Gliedes (1) und der Kapazität eines zu dem Widerstand (R1) seriell verschalteten Kondensators (C1) des RC-Gliedes (1) ist, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

- (a) Umladen des Kondensators (C1) von mindestens einem RC-Glied (1) der Filterstufe;
- (b) Messen der Umladezeit bis die an dem Potentialknoten (4) zwischen dem Widerstand (R1) und dem Kondensator (C1) des RC-Gliedes (1) anliegende Spannung eine Bezugsspannung erreicht;
- (c) Schalten eines parallel zu dem Kondensator (C1) des RC-Gliedes (1) verschalteten Kondensator-Arrays (26) in Abhängigkeit von der gemessenen Umladezeit zum Ausgleich einer Abweichung der RC-Zeitkonstante ( $\tau$ ) des RC-Gliedes (1) von einem vorbestimmten Sollwert ( $T_{SOLL}$ ).

32. Verfahren nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, dass der Kondensator (C1) des RC-Gliedes (1) vor dem Abstimmen der Filterstufe auf eine bestimmte erste Bezugsspannung geladen wird.

33. Verfahren nach Anspruch 32, dadurch ge-

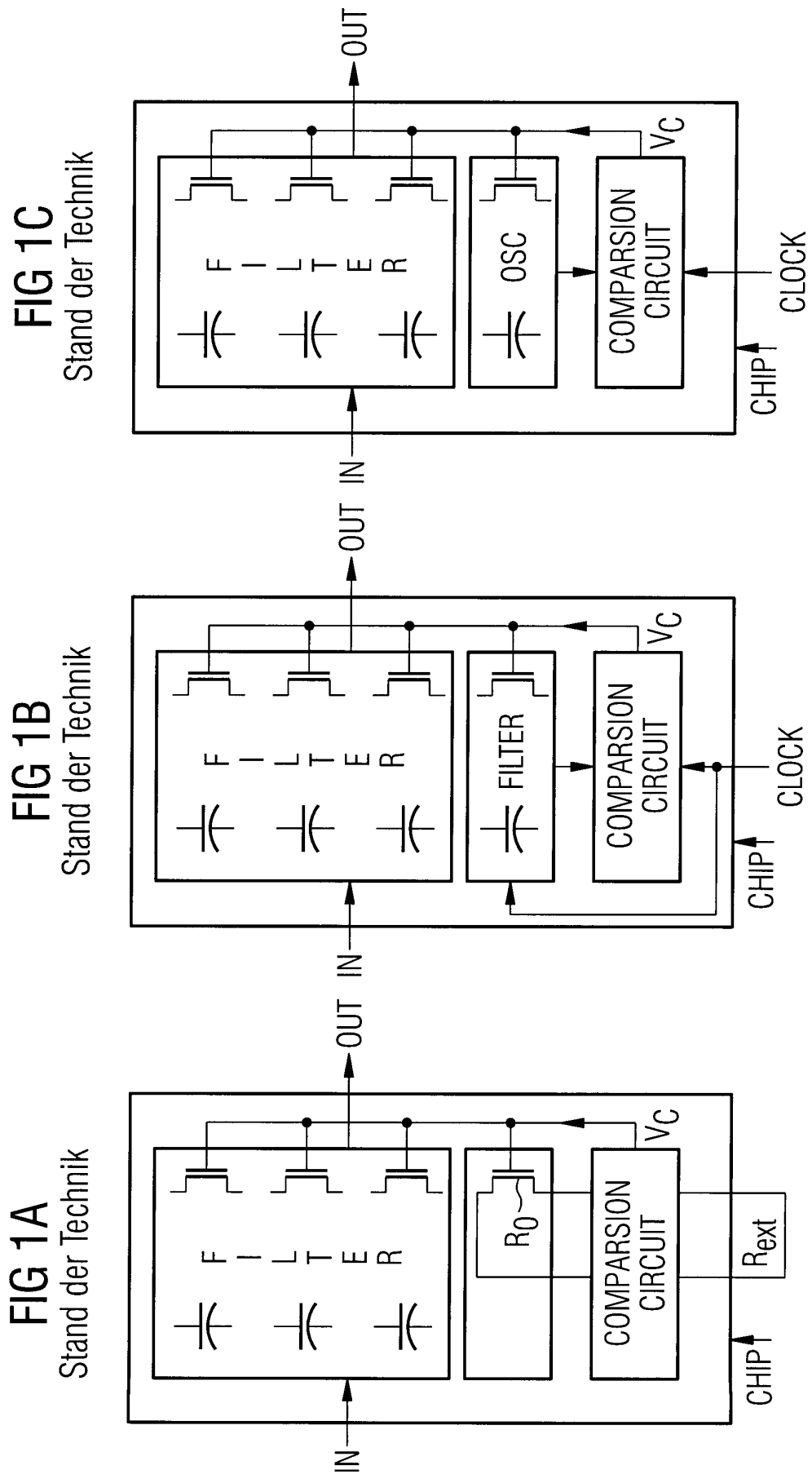
kennzeichnet,  
dass der Kondensator (C1) zur Abstimmung der Filterstufe solange umgeladen wird, bis die an dem Kondensator (C1) anliegende Spannung gleich einer zweiten Bezugsspannung ist und anschließend solange entgegengesetzt umgeladen wird bis die an dem Kondensator (C1) anliegende Spannung wieder gleich der ersten Bezugsspannung ist.

34. Verfahren nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Umladezeiten zum Umladen des Kondensators (C1) als Gesamtzeit gemessen werden.

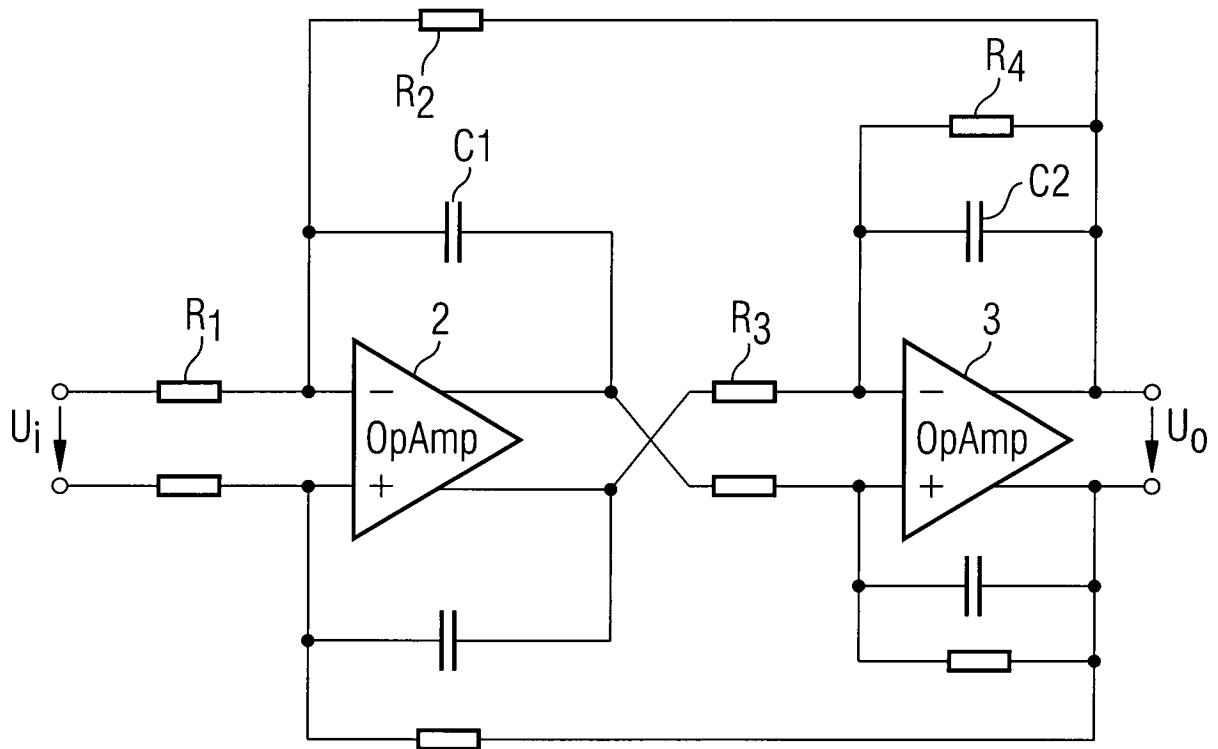
35. Verfahren nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet,  
dass ein Kondensator (C1) eines ersten RC-Gliedes (1) vor dem Abstimmen der Filterstufe auf eine erste Bezugsspannung und, ein Kondensator (C2) eines zweiten RC-Gliedes (2) vor dem Abstimmen der Filterstufe auf eine zweite Bezugsspannung geladen wird,  
wobei der Kondensator (C1) des ersten RC-Gliedes (1) solange entladen wird und der Kondensator (C2) des zweiten RC-Gliedes (2) solange aufgeladen wird bis die Spannung an beiden Kondensatoren (C1, C2) gleich groß ist.

36. Verfahren nach Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, dass die Umladezeit bis die beiden Spannungen an beiden Kondensatoren (C1, C2) gleich groß ist, gemessen wird.

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen



**FIG 2** Stand der Technik



**FIG 3** Stand der Technik

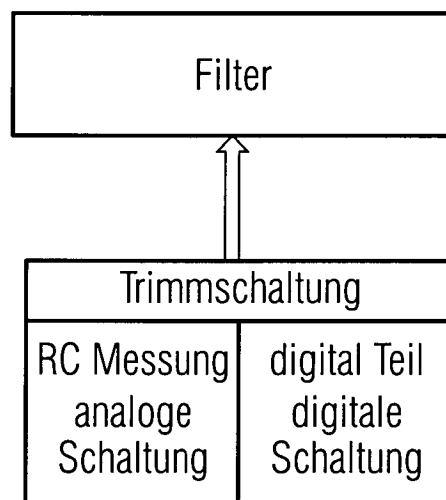


FIG 4

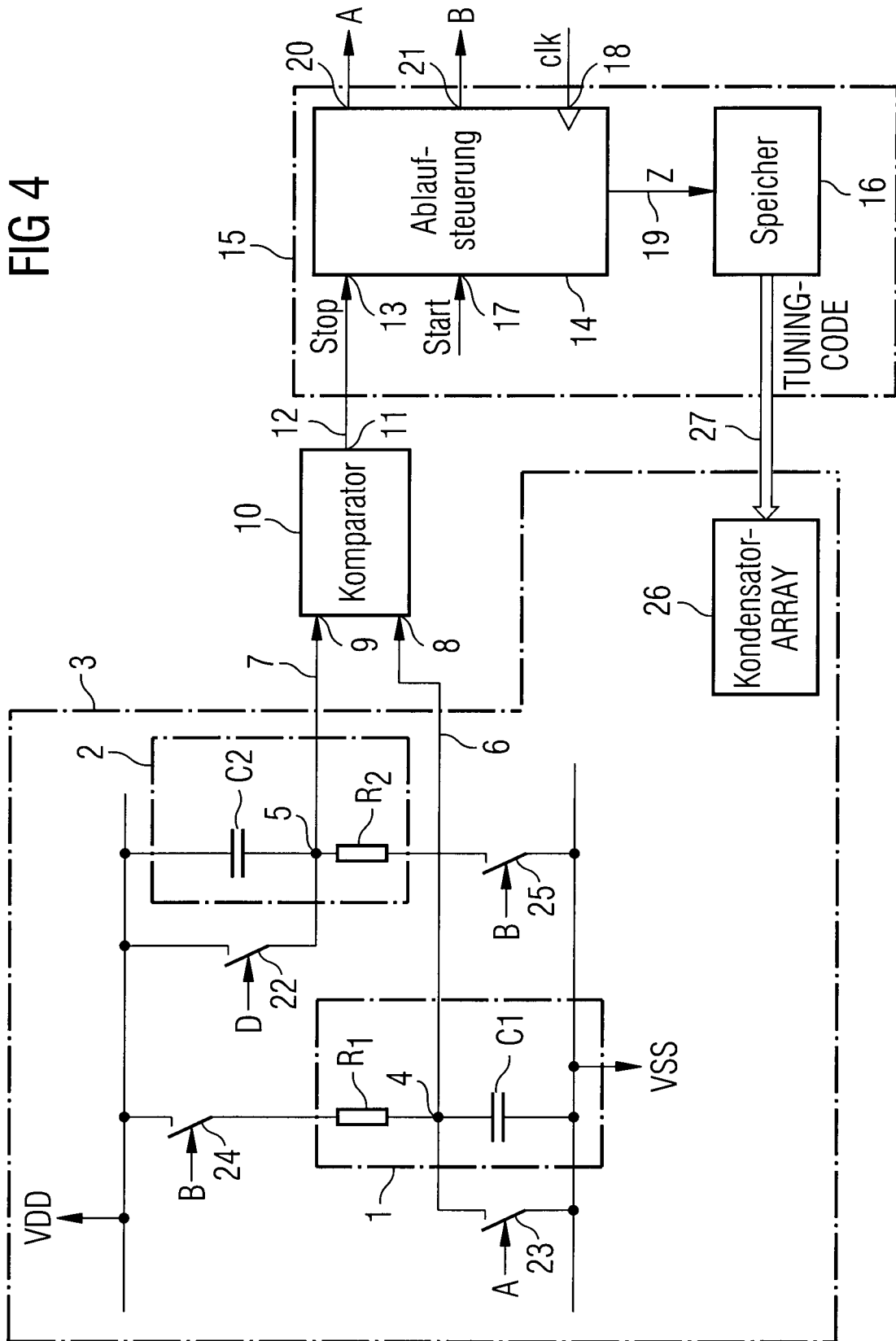


FIG 5

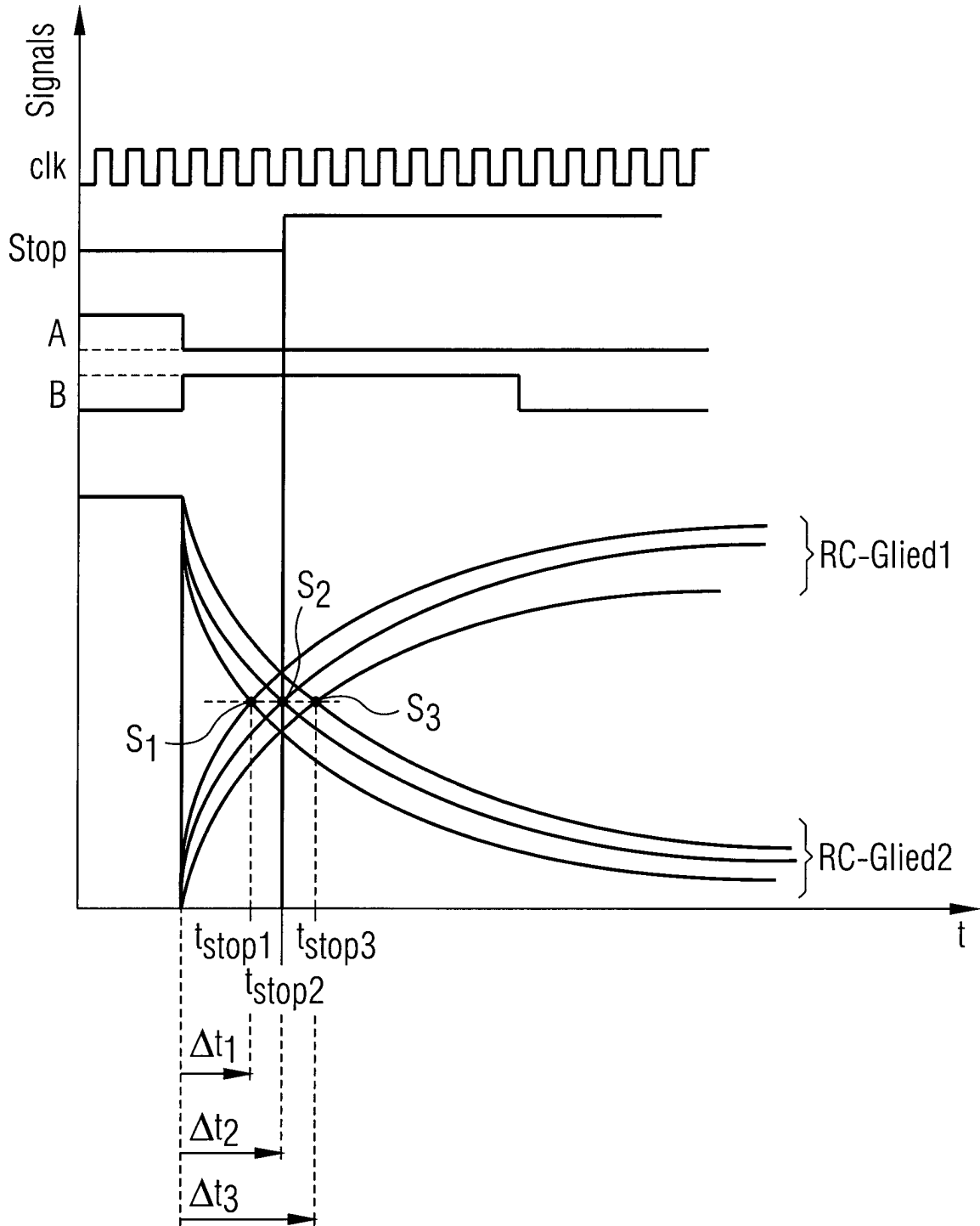




FIG 6

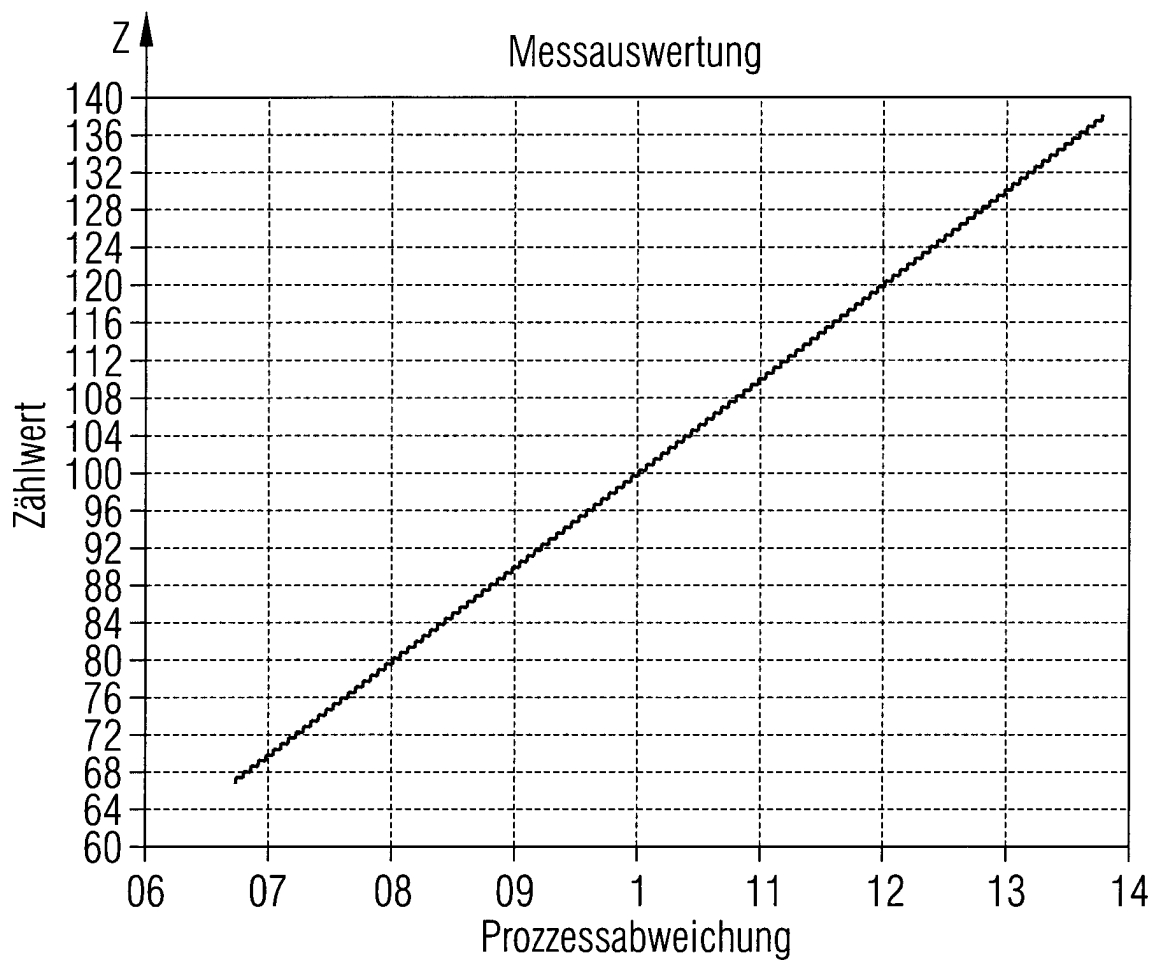


FIG 7

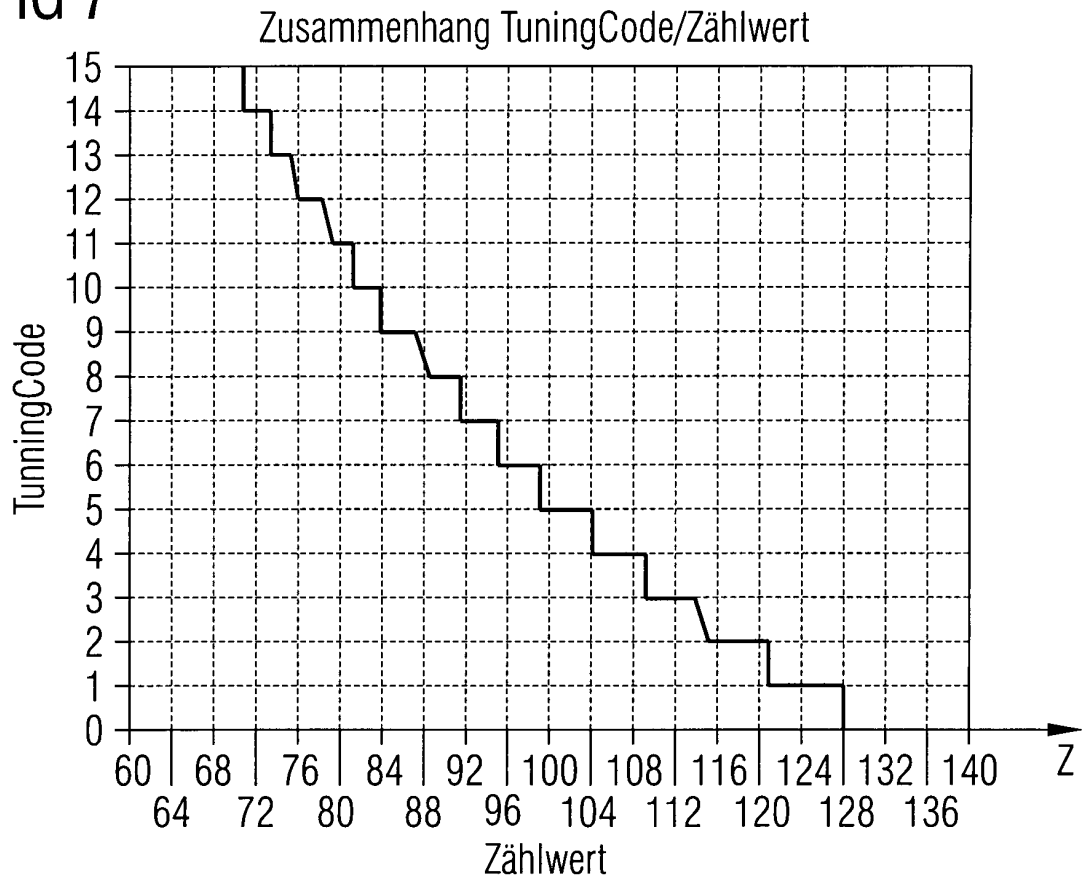


FIG 8

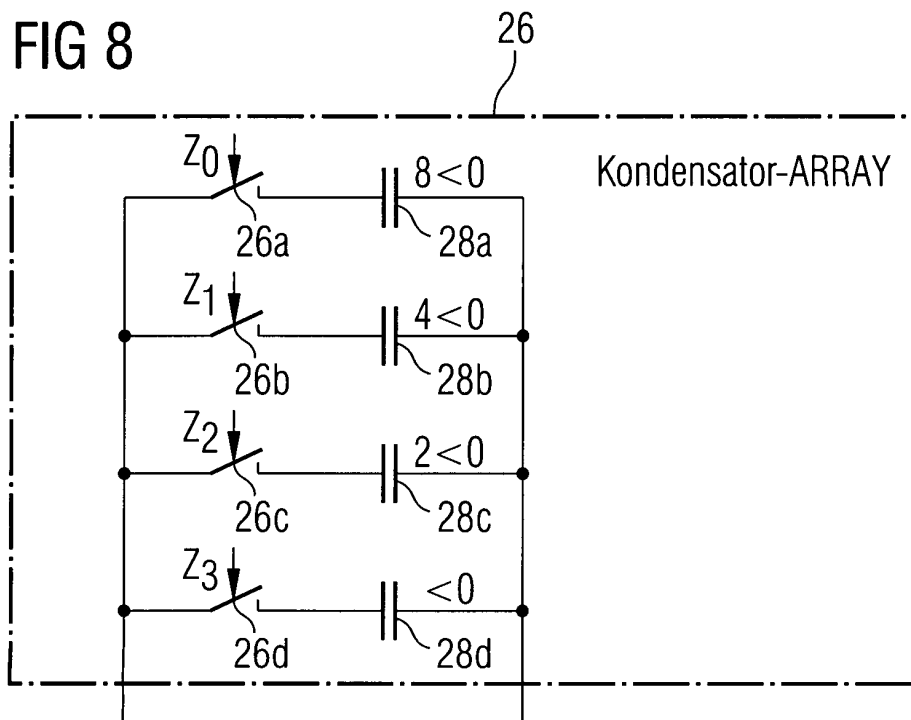
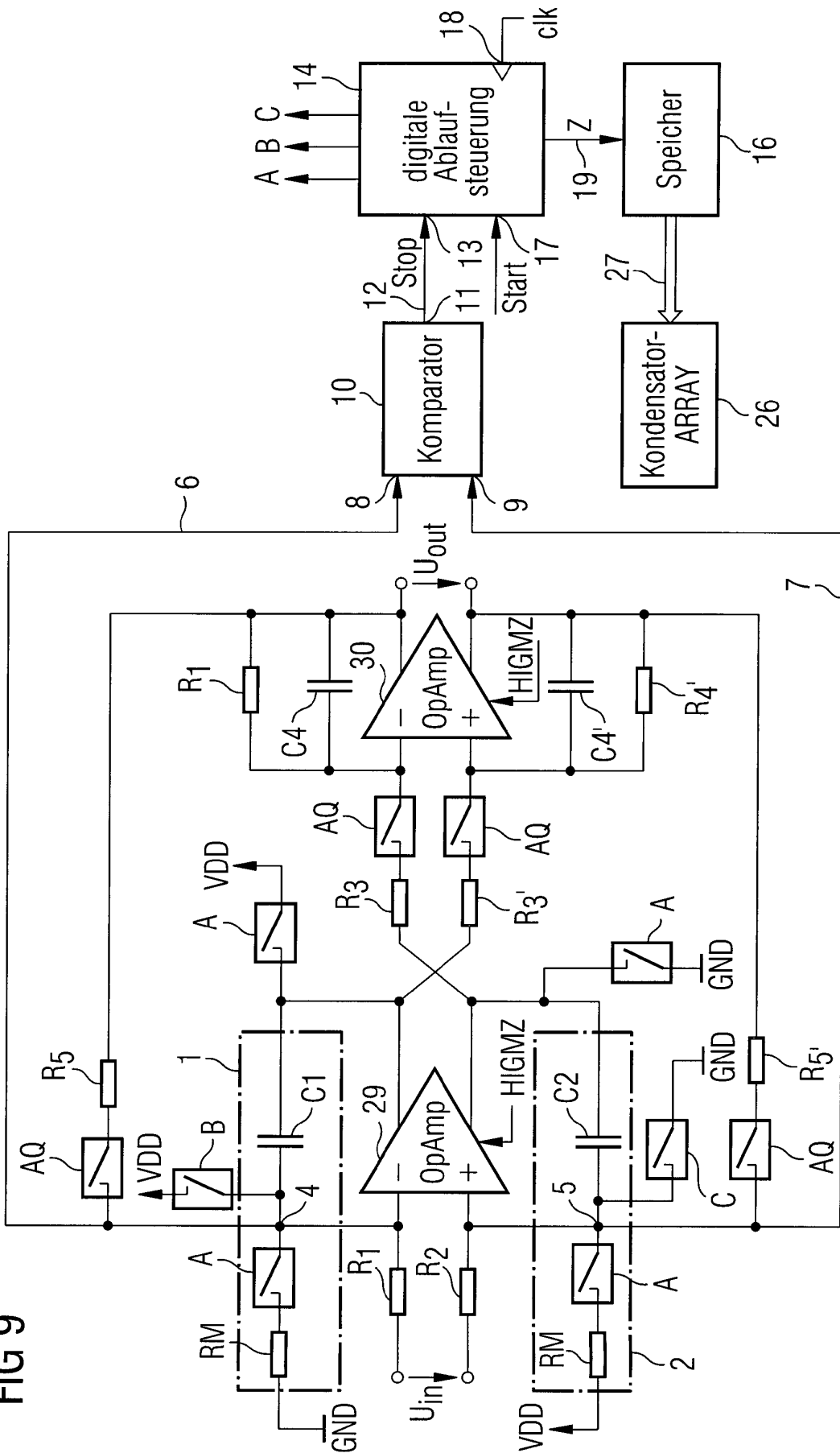


FIG 9



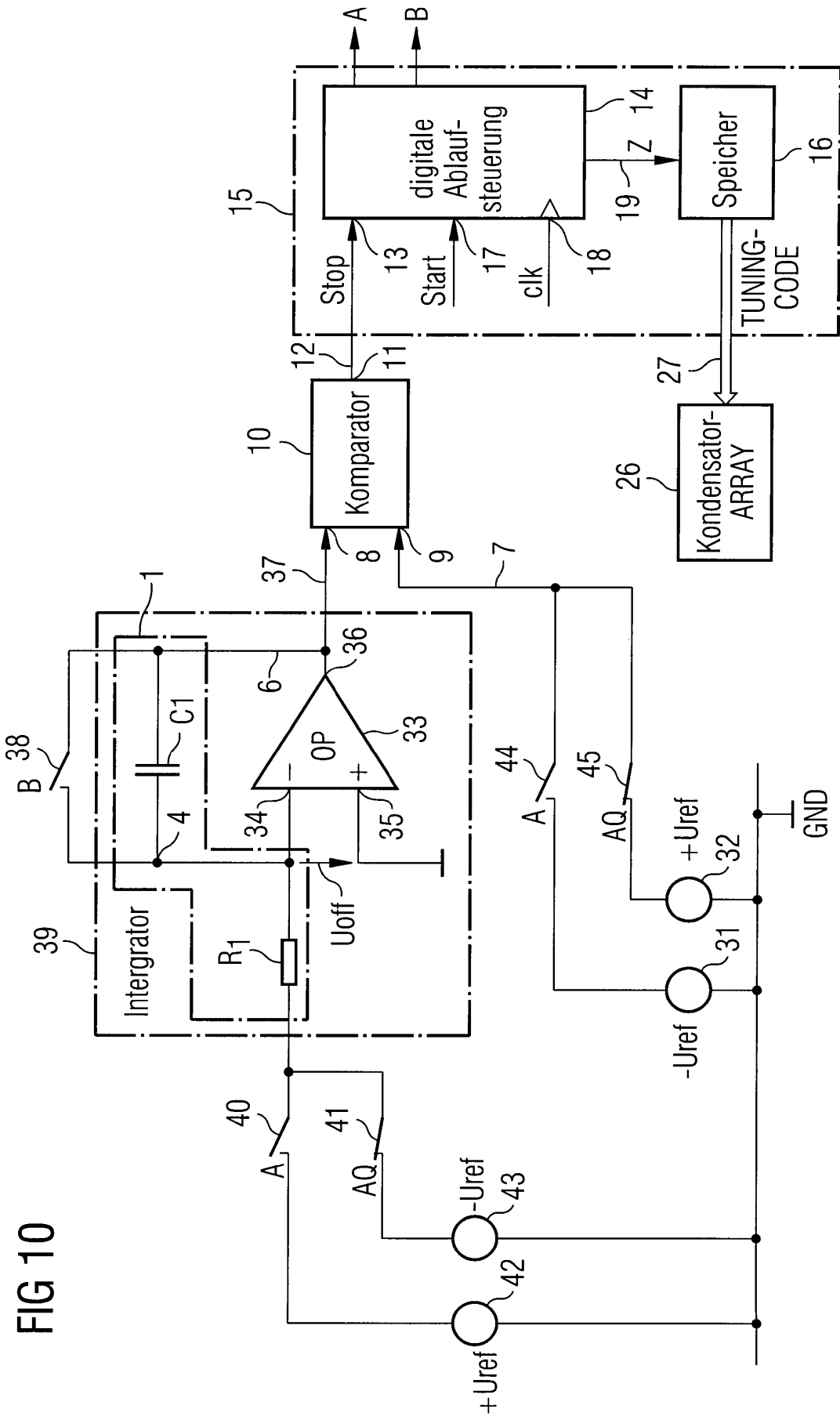


FIG 10

FIG 11

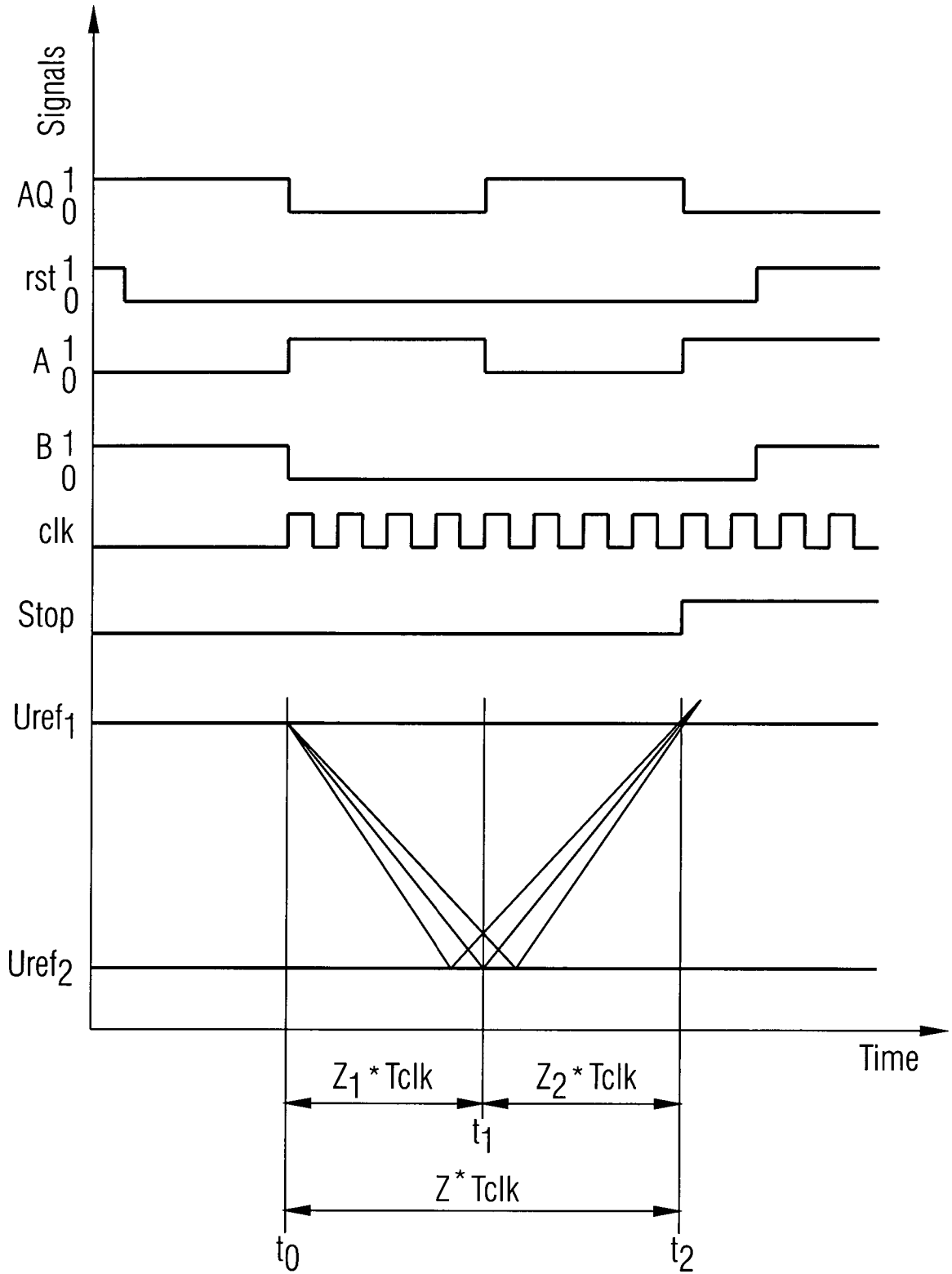


FIG 12

