



(10) **DE 10 2014 220 640 B4** 2022.11.10

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2014 220 640.5**
 (22) Anmeldetag: **13.10.2014**
 (43) Offenlegungstag: **18.02.2016**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **10.11.2022**

(51) Int Cl.: **H01P 1/20 (2006.01)**
H03K 17/16 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(66) Innere Priorität
10 2014 216 328.5 18.08.2014

(73) Patentinhaber:
**Rohde & Schwarz GmbH & Co.
 Kommanditgesellschaft, 81671 München, DE**

(74) Vertreter:
**Mitscherlich, Patent- und Rechtsanwälte
 PartmbB, 80331 München, DE**

(72) Erfinder:
Pippers, Simon, 81541 München, DE

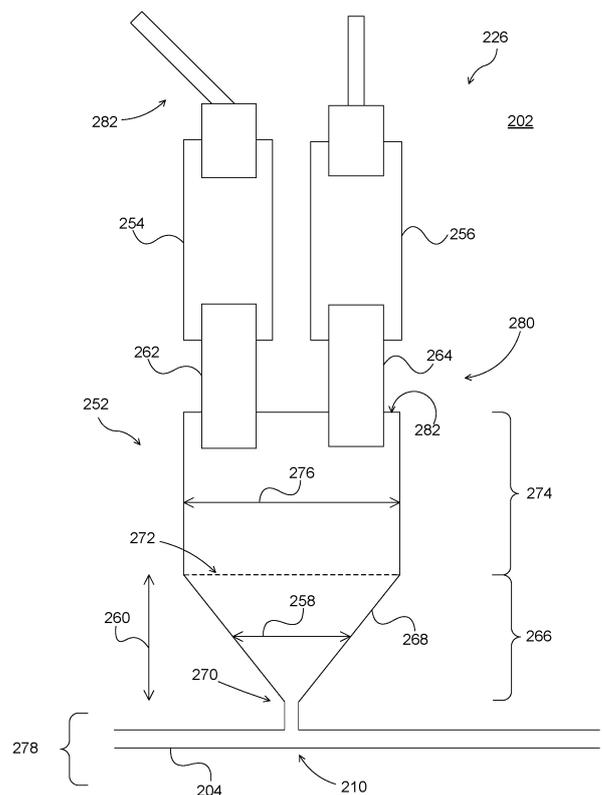
(56) Ermittelter Stand der Technik:

| | | |
|-----------|-------------------------|-----------|
| US | 6 452 465 | B1 |
| US | 2005 / 0 184 828 | A1 |
| US | 2008 / 0 129 421 | A1 |
| US | 2010 / 0 244 978 | A1 |

**The Rf And Microwave Circuit Design
 Cookbook (Maas, S, Artech House, 1998, S.35, 36)**

(54) Bezeichnung: **Schaltbarer Frequenzfilter**

(57) Hauptanspruch: Umschaltfilter zum Herausfiltern eines variablen Frequenzbandes aus einem Signal, das über eine elektrische Hauptleitung (204) von einem Eingang (126) zu einem Ausgang (128) des Filters (122) geleitet ist, mit einem ersten Leitungssegment (252), das von der Hauptleitung (204) weggeführt, und mindestens einem zweiten Leitungssegment (254, 256), das mit dem ersten Leitungssegment (252) elektrisch verbindbar ist, und mindestens zwei elektronisch ansteuerbaren Schaltelementen (262, 264), durch die das erste (252) und das mindestens eine zweite (254, 256) Leitungssegment verbindbar sind, wobei mindestens ein Leitungssegment (252) eine Aufweitung-Stichleitung (268) mit einem schmalen Ende (270) und einem breiten Ende (272) aufweist, und wobei die mindestens zwei Schaltelemente (262, 264) jeweils separat mit dem breiten Ende (272, 274) der Aufweitung-Stichleitung (268) verbunden sind.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft Filter zum Herausfiltern eines Frequenzbandes aus einem über eine Leitung übertragenen elektrischen Signal, insbesondere einem Hochfrequenzsignal. Die Erfindung betrifft insbesondere umschaltbare Filter, bei denen zwischen verschiedenen zu filternden Frequenzbändern umgeschaltet wird bzw. bei denen das zu filternde Frequenzband eingestellt werden kann. So betrifft die Erfindung etwa umschaltbare Oberwellenfilter für den Gigahertzbereich, wie sie etwa für Mikrowellensignalgeneratoren eingesetzt werden.

[0002] Es sind bei der Anmelderin verschiedene Topologien intern im Einsatz, um die wirksame Grenzfrequenz eines (Tiefpass-)Filters variabel, d.h. einstellbar oder umschaltbar zu gestalten. Es kann zum Beispiel eine Filterbank vorgesehen werden, die über mehrere Filter mit unterschiedlichen Grenzfrequenzen verfügt. Das gewünschte Frequenzband und/oder die gewünschte Grenzfrequenz werden mittels Schaltern angesprochen. Allerdings ist der Platzbedarf derartiger Lösungen hoch. Häufig wird das Nutzsignal durch die verwendeten Schalter vergleichsweise stark gedämpft, und/oder es können nur Nutzsignale vergleichsweise geringer Leistung geschaltet werden.

[0003] Bevorzugte Lösungen für umschaltbare Filter sollten filterintern und elektronisch umschaltbar sein. Derartige Topologien sind schon bei der Anmelderin im Einsatz, allerdings können bei diesen bspw. hohe Sperrspannungen an Schalterdioden auftreten. Damit ist die Leistungsaufnahme des entsprechenden Filters auf die Durchbruchspannung der Diode begrenzt. Als weiteres Problem kann es sein, dass bei diesen oder anderen Topologien die Leistungsaufnahme der Gesamtschaltung durch die maximal mögliche Stromaufnahme der Schalter begrenzt ist. Auch sind parasitäre Effekte der verwendeten Schalter oder ihrer Verschaltung oftmals im Vergleich zu Reaktanzwerten von Resonatorelementen nicht klein genug, so dass die Filtercharakteristik durch diese Effekte negativ beeinflusst wird.

[0004] Verbesserte Umschalttopologien sollten geringe Großsignalanforderungen an die Schalter stellen und unempfindlich gegen Schalterparasitäten sein.

[0005] Die US 2008/0129421 A1 beschreibt einen einstellbaren Sperrfilter mit einer Übertragungsleitung und einem Schaltelement zur selektiven Verbindung der Übertragungsleitung mit Masse. Das Schaltelement kann eine PIN-Diode (engl. „Positive Intrinsic Negative Diode“) umfassen. Ferner ist eine Ansteuerungsschaltung für das Schaltelement vorgesehen. Es wird vorgeschlagen, die Länge der Übertragungsleitung so zu wählen, dass eine erste

Frequenz unterdrückt wird, wenn die Übertragungsleitung mit Masse verbunden ist. Eine zweite Frequenz wird hingegen dann unterdrückt, wenn die Übertragungsleitung nicht mit Masse verbunden ist. Die Übertragungsleitung kann in Form mehrerer mit dem Schaltelement in Serie geschalteter Übertragungsleitungen implementiert sein.

[0006] Es wird ferner auf die Druckschriften US 2005 / 0 184 828 A1, US 2010 / 0 244 978 A1, US 6 452 465 B1 und Maas, S, „The Rf And Microwave Circuit Design Cookbook“, Artech House, 1998, S.35 und 36 verwiesen.

[0007] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein filterintern und elektronisch umschaltbares Filter anzugeben, insbesondere für den Gigahertzbereich, welches eine hohe Leistungsaufnahme ermöglicht, möglichst unempfindlich gegen Schalterparasitäten ist, und geringe Großsignalanforderungen an die verwendeten Schalter stellt.

[0008] Die Aufgabe wird durch ein Umschaltfilter mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Die abhängigen Ansprüche betreffen vorteilhafte Weiterbildungen.

[0009] Erfindungsgemäß wird ein Umschaltfilter zum Herausfiltern eines variablen Frequenzbandes aus einem Signal vorgeschlagen, bei dem das Signal über eine elektrische Hauptleitung von einem Eingang zu einem Ausgang des Filters geleitet wird. Das Filter weist ein erstes Leitungssegment auf, das von der Hauptleitung wegführt. Weiterhin weist das Filter mindestens ein zweites Leitungssegment auf, das mit dem ersten Leitungssegment elektrisch verbindbar ist. Mindestens zwei elektronisch ansteuerbare Schaltelemente sind vorgesehen, durch die das erste und das mindestens eine zweite Leitungssegment verbindbar sind.

[0010] Das Signal kann ein Hochfrequenzsignal (HF-Signal) sein und kann bspw. erwünschte Signalanteile im Frequenzbereich oberhalb von 10 Megahertz (MHz), 100 MHz, 1 Gigahertz (GHz), 10 GHz, oder mehr haben. Das zu filternde Frequenzband kann insbesondere durch seine (untere) Grenzfrequenz bestimmt sein. Diese Grenzfrequenz kann unterschiedliche Werte annehmen, je nach Einstellung des umschaltbaren Filters. Mindestens eine Grenzfrequenz kann bspw. im Bereich von 100 MHz bis 1 GHz liegen, oder im Bereich von 1 GHz bis 10 GHz, oder in einem noch höheren Frequenzbereich. Ein Satz einstellbarer Grenzfrequenzen kann bspw. Werte von 3 GHz, 6 GHz, und 12 GHz umfassen. Ein anderer Satz kann Werte von 8,5 GHz, 12 GHz, 15 GHz, und 20 GHz umfassen.

[0011] Die Hauptleitung kann eine Übertragungsleitung (engl. „Transmission Line“) mit optimierten

Eigenschaften für die Signalweiterleitung sein, wie dies dem Fachmann etwa für den Bereich der HF-Technik bekannt ist. Von Interesse sind hierbei nicht nur, aber auch Frequenzen im Radiobereich (engl. „Radio Frequency“, RF), insbesondere im Mikrowellenbereich. Beispiele für konkrete Frequenzen und Frequenzbereiche werden oben und an anderer Stelle genannt. Die Hauptleitung kann bspw. ein Koaxialkabel, eine Mikrostreifenleitung (engl. „microstrip“), Streifenleitung (engl. „strip line“), eine Twisted-Pair-Leitung, oder Kombinationen hieraus umfassen.

[0012] Jedes Leitungssegment kann einen Resonator bzw. einen Resonanzkreis oder einen Teil oder ein Element eines solchen Resonators aufweisen. Bei einem Resonator kann es sich insbesondere um einen LC-Resonanzkreis oder eine RLC-Schaltung handeln, wobei „L“ einen induktiven Aspekt bzw. eine Induktivität bezeichnet, „C“ einen kapazitiven Aspekt bzw. eine Kapazität, und „R“ einen ohmschen Aspekt bzw. einen Widerstand.

[0013] Ausführungsformen erfindungsgemäßer Umschaltfilter können eine elliptische Filtercharakteristik realisieren. Bei bestimmten dieser Ausführungsformen kann der Resonator, d.h. das erste und/oder zweite Leitungssegment, gegen Masse geschaltet bzw. auf Masse gelegt sein.

[0014] Ein Resonator kann mehrere Einzelelemente umfassen, wie bspw. eine Spule und einen Kondensator. In einem Frequenzbereich wie etwa im GHz-Bereich können parasitäre Reaktanzwerte realer Bauelemente von gleicher Größenordnung sein wie erwünschte Reaktanzwerte. Ein Resonator für einen derartigen Frequenzbereich kann daher auch nur ein Einzelelement umfassen, wie z.B. eine Spule, wenn dessen parasitäre Kapazität hinreichend ist. Ein Resonator kann auch ein Leitungsstück umfassen, d.h. ein oder mehrere erste bzw. zweite Leitungssegmente. Werden breitbandige Resonatoren gewünscht, werden die Leitungsstücke bzw. -segmente breiter als eine Übertragungsleitung sein, d.h. breiter als die Hauptleitung.

[0015] Jedes erste und/oder zweite Leitungssegment kann einen Resonator oder mehrere Resonatoren umfassen. Mehrere Resonatoren können elektromagnetisch und/oder durch Koppellemente gekoppelt sein. Die Koppellemente können aktive und/oder passive elektrische Elemente umfassen. Enthält ein Leitungssegment mehrere Resonatoren, können diese in Serie und/oder parallel geschaltet sein. Resonanzfrequenzen der einzelnen Resonatoren, die durch die ersten und/oder zweiten Leitungssegmente realisiert werden, müssen nicht identisch sein.

[0016] Das erste und das zweite Leitungssegment können durch die Schaltelemente zusammengesaltet werden. Die mindestens zwei Schaltelemente können parallel geschaltet bzw. parallel schaltbar sein. Weist das erste Leitungssegment einen ersten Resonator und das zweite Leitungssegment einen zweiten Resonator auf, wird durch das Zuschalten des zweiten Resonators zum ersten Resonator die Resonanzfrequenz des resultierenden Resonators zu niedrigeren Frequenzen hin verschoben. Wird die Induktivität und Kapazität des ersten bzw. zweiten Leitungssegments mit L_1 und C_1 bzw. L_2 und C_2 bezeichnet, so ergibt sich durch ein Zu- bzw. Zusammenschalten eine Induktivität des resultierenden LC-Resonanzkreises $L_{res} = L_1 + L_2 \cdot (C_2 / (C_1 + C_2))$ sowie eine Kapazität $C_{res} = C_1 + C_2$ (Einflüsse des Schalters werden hierbei vernachlässigt).

[0017] Ein Schaltelement kann bspw. folgendes umfassen: Ein Relais, einen FET (Feldeffekttransistor), eine Diode wie bspw. eine PIN-Diode, einen MEM (mikro-elektrischmechanisches Element), einen Transistor wie etwa einen bipolaren Transistor, eine Mehrzahl und/oder Kombination dieser Elemente, etc.

[0018] Bei Ausführungsformen erfindungsgemäßer Umschaltfilter kann jedes Schaltelement jeweils für sich unmittelbar mit dem ersten Leitungssegment verbunden sein, d.h. jedes Schaltelement kann eine separate bzw. eigenständige elektrische Verbindung zwischen dem ersten Leitungssegment und dem oder jeden zweiten Leitungssegment herstellen. Sind bspw. ein erstes und ein zweites Leitungssegment durch zwei Schaltelemente verbindbar, und werden beide Schaltelemente parallel geschaltet, dann erhöht sich etwa die Stromtragfähigkeit des Filters entsprechend. Je nach den Einzelheiten der Schaltungstopologie kann dies auch dann gelten, wenn ein erstes der beiden Schaltelemente das erste Leitungssegment mit einem von zwei zweiten Leitungssegmenten verbindet, und ein zweites der beiden Schaltelemente das erste Leitungssegment mit dem anderen der zwei zweiten Leitungssegmente verbindet.

[0019] Die elektronische Ansteuerung eines Schaltelementes kann über eine Ansteuerungsschaltung erfolgen. So kann z.B. eine PIN-Diode gleichspannungsgesteuert sein. Die Ansteuerungsschaltungen für die Schaltelemente können vollständig unabhängig voneinander vorgesehen sein, oder können gemeinsame Elemente aufweisen, bspw. eine gemeinsame Gleichspannungsspeisung.

[0020] Bei bestimmten Ausführungsformen erfindungsgemäßer Umschaltfilter ist ein Schaltelement über das zweite Leitungssegment ansteuerbar. Beispielsweise kann eine Gleichspannung über das zweite Leitungssegment hinweg das Schaltelement

ansteuern. Eine zusätzliche Steuerleitung kann so entfallen.

[0021] Mindestens ein Leitungssegment kann eine Stichleitung (engl. „Stub“) aufweisen. Eine solche Stichleitung kann bspw. mit konstanter Breite ausgeführt sein, wobei die Breite sich von der Breite der Hauptleitung unterscheiden kann. Die Stichleitung kann bspw. breiter als die Hauptleitung sein. Die Stichleitung kann linienhaft mit der Hauptleitung verbunden sein, d.h. eine ganze Seite einer bspw. rechteckförmigen Stichleitung kann mit der Hauptleitung verbunden sein.

[0022] Bei anderen Ausführungsformen kann die Stichleitung insbesondere als eine Aufweitungs-Stichleitung (engl. „Radial Stub“) realisiert sein. Hierbei weist die Stichleitung ein schmales und ein breites Ende auf und die Leitungsbreite weitet sich im Verlauf vom schmalen Ende der Stichleitung zum breiten Ende auf, d.h. die Leitungsbreite nimmt im Verlauf zu. Der Verlauf der Aufweitung kann kontinuierlich oder diskontinuierlich sein.

[0023] Bei beispielhaften Aufweitungs-Stichleitungen mit kontinuierlicher Aufweitung hat die Leitung bspw. einen konkaven oder konvexen verlaufende Aufweitung, kann also etwa die Form eines Kreissektors mit einem bogenförmigen breiten Ende haben, also die geometrische Form eines Tortenstücks. Andere Ausführungen haben die Form eines Dreiecks mit einem geraden breiten Ende. Geometrische Parameter der Stichleitung wie der Verbreitungswinkel bzw. Aufweitungswinkel, der den Grad der Aufweitung angibt, und eine Länge der Stichleitung bestimmen elektrische Parameter wie eine Resonanzfrequenz des durch die Aufweitungs-Stichleitung realisierten Resonanzkreises.

[0024] Bei beispielhaften Aufweitungs-Stichleitungen mit diskontinuierlicher Aufweitung weist die Leitung bspw. eine sprunghafte oder irreguläre Aufweitung auf, kann also etwa einen schmalen Verlauf mit einer unmittelbar angesetzten rechteckigen oder quadratischen Belegung haben.

[0025] Bei einigen Ausführungsformen ist das breite Ende der Aufweitungs-Stichleitung als Leitungsstück konstanter Breite ausgeführt, bzw. es ist ein Leitungsstück konstanter Breite an eine Aufweitung angesetzt. Diese Form kann für eine Aufweitungs-Stichleitung vorteilhaft sein, die das erste Leitungssegment ausbildet oder zu diesem gehört. Auf das Leitungsstück konstanter Breite können dann ein, zwei oder mehr Schaltelemente aufgebracht sein.

[0026] Bei einigen Ausführungsformen, bei denen jedenfalls das erste Leitungssegment eine Aufweitungs-Stichleitung aufweist, ist diese mit einem schmalen Ende fest mit einem Verbindungspunkt

der Hauptleitung verbunden. Das breite Ende kann offen sein (engl. „open circuit“). Bei anderen Ausführungsformen, bspw. solchen, durch die eine elliptische Filtercharakteristik umgesetzt wird, ist das breite Ende bzw. das Leitungssegment als solches an Masse gelegt, bspw. über eine Kapazität.

[0027] Bei bestimmten Ausführungsformen kann ein Schaltelement mit dem breiten Ende der Aufweitungs-Stichleitung verbunden sein. Dieses kann bspw. das erste Leitungssegment selektiv mit dem zweiten Leitungssegment zusammenschalten, mit entsprechenden Änderungen der Resonanzeigenschaften.

[0028] Bei manchen Ausführungsformen sind mindestens zwei Schaltelemente jeweils separat mit dem breiten Ende der Aufweitungs-Stichleitung verbunden. Die beiden Schaltelemente können eine Verbindung zu ein- und demselben zweiten Leitungssegment, oder zu zwei separaten zweiten Leitungssegmenten herstellen. In jedem Falle erhöhen sie eine maximale Stromaufnahme des Filters. Dies gilt entsprechend wenn drei, vier, oder noch mehr Schaltelemente vorgesehen sind.

[0029] Das oder jedes zweite Leitungssegment kann bspw. als Leitungsstück, Ringsegment, Trapez, und/oder als Keilstück ausgebildet sein. Zum Beispiel kann hinter einem geraden breiten Ende einer Aufweitungs-Stichleitung des ersten Leitungssegmentes das zweite Leitungssegment als trapezförmiges Leitungssegment ausgebildet sein. Bei einer zusätzlichen oder alternativen Ausführungsform kann hinter einem bogenförmigen breiten Ende einer Aufweitungs-Stichleitung des ersten Leitungssegmentes das zweite Leitungssegment in Form eines Kreissegments angeordnet sein.

[0030] Bspw. kann ein zweites Leitungssegment eine Aufweitungs-Stichleitung des ersten Leitungssegmentes derart fortsetzen, dass sich geometrisch ein Tortenstück oder Dreieck ergibt, welches durch einen unbelegten Spalt unterteilt wird. Der Spalt kann durch ein, zwei, oder mehr Schaltelemente überbrückt werden.

[0031] Es können auch mehrere zweite Leitungssegmente eine Aufweitungs-Stichleitung des ersten Leitungssegmentes fortsetzen. Bspw. können hinter einem bogenförmigen breiten Ende einer Aufweitungs-Stichleitung mehrere zweite Leitungssegmente in Form aneinander angrenzender Kreissegmente angeordnet sein. So kann sich ein durch mehrere Spalte unterteiltes Kreissegment oder Dreieck ergeben. Jedes zweite Leitungssegment kann mit mindestens einem Schaltelement mit dem ersten Leitungssegment verbindbar sein. Auf diese Weise kann bspw. eine Aufweitungs-Stichleitung durch die Schaltelemente erweiterbar gestaltet werden, d.h.

ein Parameter wie eine Länge oder ein Aufweitungswinkel der Stichleitung kann durch Zuschalten mindestens eines zweiten Leitungssegmentes variiert werden.

[0032] Ausführungsformen erfindungsgemäßer Umschaltfilter können unabhängig von den ersten und zweiten Leitungssegmenten mindestens eine weitere Stichleitung aufweisen. Bei manchen Ausführungsformen kann es sich um eine weitere Aufweigungs-Stichleitung handeln. Auch diese kann mit einem schmalen Ende unmittelbar mit der Hauptleitung verbunden sein und kann an einem breiten Ende offen sein. Unabhängig davon kann die Aufweigungs-Stichleitung an Masse gelegt sein. Bei einigen dieser Ausführungsformen sind keine Schaltelemente mit dieser weiteren Stichleitung verbunden, d.h. es müssen nicht alle Aufweigungs-Stichleitungen des Filters schaltbar sein.

[0033] Bestimmte Ausführungsformen erfindungsgemäßer Umschaltfilter verfügen über eine Mehrzahl von Verbindungspunkten an der Hauptleitung, wobei von jedem dieser Verbindungspunkte genau eine Stichleitung wegführt. Bei mindestens einer der wegführenden Stichleitungen kann es sich um eine Aufweigungs-Stichleitung handeln.

[0034] Einige dieser Ausführungsformen, oder alternative Ausführungsformen, können mehrere Aufweigungs-Stichleitungen aufweisen, von denen sich zumindest zwei untereinander durch ihre Länge und/oder ihren Verbreiterungswinkel bzw. Aufweitungswinkel unterscheiden. Das Filter kann also eine Mehrzahl unterschiedlich ausgestalteter Aufweigungs-Stichleitungen aufweisen, die bspw. mehrere erste Leitungssegmente, mehrere zweite Leitungssegmente, und/oder mehrere sonstige Leitungssegmente ohne angesetzte Schaltelemente verkörpern.

[0035] Bei diesen oder anderen Ausführungsformen können entlang der Hauptleitung, d.h. in Serie mit der Hauptleitung bzw. in die Hauptleitung eingefügt, Elemente vorgesehen sein wie bspw. eine Längsinduktivität, eine Längskapazität, ein Widerstandselement, oder mehrere oder Kombinationen dieser Elemente.

[0036] Ausführungsformen erfindungsgemäßer Umschaltfilter können eine punktsymmetrische Topologie haben, bei der die Schaltungsanordnung an einem Punkt gespiegelt ist. Der Spiegelungspunkt kann z.B. auf der Hauptleitung liegen, bspw. einem Punkt in der Mitte der Hauptleitung bezogen auf die Topographie. Zusätzlich oder alternativ kann eine achsensymmetrische Topologie vorliegen. Die Achsensymmetrie kann bezüglich der Hauptleitung als Symmetrieachse bestehen, oder bezüglich einer Achse senkrecht zur Hauptleitung, die bspw. durch den geometrischen Mittelpunkt zwischen Eingang und Ausgang verläuft.

[0037] Erfindungsgemäß wird weiterhin ein Umschaltfilter zum Herausfiltern eines Frequenzbandes aus einem Signal vorgeschlagen, bei dem das Signal über eine elektrische Hauptleitung von einem Eingang zu einem Ausgang des Filters geleitet wird. Das Umschaltfilter verfügt über eine Aufweigungs-Stichleitung, die von der Hauptleitung wegführt. Weiter verfügt das Filter über ein Leitungssegment, das mit der Aufweigungs-Stichleitung elektrisch verbindbar ist. Mindestens ein elektronisch ansteuerbares Schaltelement ist vorgesehen, durch das die Aufweigungs-Stichleitung und das Leitungssegment verbindbar sind.

[0038] Erfindungsgemäß wird im Übrigen auch ein Signalgenerator vorgeschlagen, der ein Umschaltfilter umfasst, wie dieser vorstehend oder an anderer Stelle beschrieben wird.

[0039] Mit Ausführungsformen der Erfindung wird ein filterintern und elektronisch umstellbarer bzw. umschaltbares Filter bereitgestellt. Ein solches Filter hat nur einen geringen Platzbedarf etwa im Vergleich zu einer herkömmlichen Filterbank, und kann daher vorteilhaft bspw. integriert oder integrierbar ausgeführt sein, oder integriert in ein Gerät wie etwa einen Signalgenerator bspw. für den HF-Bereich vorgesehen werden. Ein derartiger Signalgenerator kann etwa für den RF-Bereich, also etwa Mikrowellenbereich vorgesehen sein, etwa für eine entsprechende Testumgebung wie sie z.B. in einem HF-Labor vorliegt.

[0040] Ausführungsformen der vorgeschlagenen Topologien ermöglichen Grenzfrequenzen im hohen MHz-Bereich und im GHz-Bereich, also bei Frequenzen von z.B. bis zu 1GHz, oder bis zu 10 GHz, oder bis zu 20 GHz, oder mehr.

[0041] Herkömmliche Umschaltfilter im HF-Bereich sind oft durch die verfügbaren HF-Schaltelemente in ihrer maximalen Leistungsaufnahme limitiert. Ausführungsformen erfindungsgemäßer Umschaltfilter verfügen dagegen über eine hohe Leistungsaufnahme, die nicht durch die maximale Stromaufnahme und/oder maximal tolerierte Spannung einzelner Schaltelemente begrenzt ist. Dies kann auch umgekehrt bedeuten, dass je nach den Anforderungen kostengünstigere Schaltelemente verbaut werden können.

[0042] Dies kann u.a. dadurch erreicht werden, dass zur Stromaufnahme bzw. -Weiterleitung statt nur eines Schaltelementes mehrere Schaltelemente vorgesehen sind, die beim Umschalten parallel geschaltet werden und/oder beim Umschalten zwischen verschiedenen Filterstufen nach und nach zugeschaltet werden.

[0043] Ausführungsformen vorgeschlagener Topologien erlauben es, Schaltelemente wie etwa Dioden so anzuordnen, dass das Auftreten hoher Sperrspannungen vermieden werden kann, die in die Nähe der Durchbruchspannung der Dioden gelangen könnten. Somit können höhere Nutzfrequenzen realisiert werden und/oder kostengünstigere Schaltelemente verbaut werden.

[0044] Ausführungsformen vorgeschlagener Topologien erlauben es, Schaltelemente entfernt von Punkten mit hohem Stromfluß anzuordnen, also bspw. Abzweigpunkten von der bzw. Verbindungspunkten zur Hauptleitung. Werden zentrale Umschaltunkte vermieden, an denen mehrere Schalter angreifen müssen, entfallen auch entsprechende parasitäre Kapazitäten oder Induktivitäten.

[0045] Ausführungsformen erfindungsgemäßer Umschaltfilter erlauben es, den Einfluss parasitärer Elemente der Schaltelemente im Vergleich bspw. zu den Reaktanzwerten der Resonatoren zu minimieren, so dass störende Einflüsse der Schaltelemente auf die Filtercharakteristik minimiert werden können.

[0046] Gemäß verschiedenen Ausführungsformen erfindungsgemäßer Umschaltfilter wird die Verwendung von Aufweitungs-Stichleitungen vorgeschlagen. Derartige Resonatoren können einfach und flexibel bspw. nach Länge und Aufweitungswinkel entsprechend den Anforderungen in ihren kapazitiven und/oder induktiven Eigenschaften ausgelegt werden. Damit kann auf einfache Weise bspw. eine elliptische Filtercharakteristik umgesetzt werden. Hierbei können die Aufweitungs-Stichleitungen an Masse gelegt werden. Allgemein kann bei erfindungsgemäßen Filtertopologien eine Mehrzahl unterschiedlich gestalteter Aufweitungs-Stichleitungen vorgesehen sein. Weiter unten beschriebene Anwendungsfälle betreffen bspw. Oberwellenfilter.

[0047] Aufweitungs-Stichleitungen bieten den Vorteil, dass sie mit ihrem (mindestens) einem schmalen Ende an einen genau definierten Punkt der Hauptleitung angebunden sind bzw. mit diesem verbunden werden können (unter „verbinden“ wird hier stets eine elektrische Verbindung bzw. Verbindbarkeit verstanden). Zusätzlich oder alternativ können vorteilhaft an einem breiten Ende ein Schaltelement oder mehrere Schaltelemente vorgesehen sein.

[0048] Bei bestimmten Ausführungsformen sind Leitungssegmente bzw. Resonatoren vorgesehen, die durch Schaltelemente erweiterbar sind, so dass auf diese Weise unterschiedliche Resonanzeigenschaften umschaltbar bereitgestellt werden können. Beim Umschalten können entweder im wesentlichen zeitgleich mehrere Schalter schalten, und/oder es können drei oder mehr Resonanzzustände nacheinander durchgeschaltet werden (entsprechend

aufeinanderfolgenden Filterstufen), indem von zwei oder mehr Schaltern zunächst nur einer schaltet, dann der nächste, etc.. Erfindungsgemäße Ausführungsformen ermöglichen es, auf einfache Weise entsprechende Stufenkonzepte zu implementieren, wobei Störungen durch parasitäre Schalteigenschaften minimiert und/oder einberechnet und etwa durch geeignete Auslegung der ersten und/oder zweiten Leitungssegmente korrigiert werden können.

[0049] Mit bestimmten Ausführungsformen erfindungsgemäßer Topologien wird vorgeschlagen, Leitungssegmente wie insb. Aufweitungs-Stichleitungen bezogen auf den Verbindungspunkt asymmetrisch anzuordnen, also bspw. abweichend von einer hantelförmigen bzw. konkaven, symmetrisch zur Hauptleitung als Symmetrieachse gestalteten Anordnung zweier Aufweitungs-Stichleitungen identischer Gestalt. Auslegungsoptionen wie das Vorsehen nur einer Aufweitungs-Stichleitung an einem Verbindungspunkt, oder das Vorsehen einer Stichleitung auf einer Seite der Hauptleitung und zweier Stichleitungen auf der anderen Seite der Hauptleitung, wobei alle Stichleitungen in ein- und demselben Verbindungspunkt münden, und/oder das Vorsehen unterschiedlich ausgelegter Aufweitungs-Stichleitungen auf einer oder beiden Seiten der Hauptleitung an einem Verbindungspunkt ermöglichen es, die Eigenschaften von Aufweitungs-Stichleitungen flexibel zu nutzen.

[0050] Prinzipiell muss eine Schaltungstopologie keinerlei Symmetrie aufweisen. Liegt jedoch eine Symmetrie vor, bspw. eine Punkt- und/oder Achsensymmetrie bezogen auf einen geometrischen Mittelpunkt der Schaltung zwischen Eingang und Ausgang, kann sichergestellt werden, dass Eingang und Ausgang jeweils die gleiche Anpassung aufweisen. Dies kann einen Designprozess vereinfachen. Vorteile können sich zusätzlich oder alternativ aus einer insgesamt gleichmäßigeren Belegung ergeben, wodurch Störungen einer oder mehrerer Filtermoden minimiert werden können.

[0051] Mit der Erfindung wird ein allgemein verwendbares topologisches Konzept für Umschaltfilter zur Verfügung gestellt. Resonatoren können auf verschiedene Weise implementiert werden, bspw. als Leitungssegmente wie etwa Aufweitungs-Stichleitungen, aber auch Leitungsstücken konstanter Breite. Die Resonatoren sind durch Schaltelemente erweiterbar. Es können jedoch nicht nur primär kapazitive oder primär induktive Elemente zuschaltbar vorgesehen sein. Die Erfindung ist auch nicht darauf beschränkt, dass nur komplette LC-Glieder hinzugeschaltet werden können. Vielmehr kann ein Resonator gezielt auf seine Erweiterbarkeit hin ausgelegt werden, bspw. indem eine Aufweitungs-Stichleitung in Form eines Dreiecks oder eines Kreissegments mittels Spalten so unterteilt wird, dass sich durch

Zuschalten einzelner oder mehrerer der sich ergebenden Segmente die gewünschten Filterstufen ergeben. Bspw. kann durch Um- bzw. Zuschalten ein Resonator bei konstantem Aufweitungswinkel verlängert werden, und/oder der Aufweitungswinkel kann durch Zuschalten vergrößert werden.

[0052] Die Anforderungen an bspw. Oberwellenfilter gehen dahin, dass ein eher breites Frequenzband jeweils um eine von i.d.R. mehreren Resonanzfrequenzen herum zu unterdrücken ist. Hierfür sind Leitungssegmente entsprechender Breite vorzusehen, d.h. Leitungssegmente mit einer Breite vergleichbar einer Übertragungsleitung sind unter Umständen zu schmal. Die Realisierung einer Mehrzahl breitbandiger Sperrbänder kann unkompliziert bspw. basierend auf Aufweitungs-Stichleitungen erfolgen.

[0053] Weitere Aspekte und Vorteile der Erfindung werden nachfolgend anhand der beigefügten Zeichnungen beispielhaft beschrieben. Hierbei zeigen:

Fig. 1 in Form eines Blockschaltbildes ein Ausführungsbeispiel für einen Signalgenerator mit schaltbarem Oberwellenfilter;

Fig. 2A eine Draufsicht auf die Schaltungstopologie eines ersten Ausführungsbeispiels für das Oberwellenfilter aus **Fig. 1**;

Fig. 2B eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels für ein Oberwellenfilter;

Fig. 2C eine schematische Darstellung eines dritten Ausführungsbeispiels für ein Oberwellenfilter;

Fig. 3A eine schematische Darstellung eines vierten Ausführungsbeispiels für ein Oberwellenfilter;

Fig. 3B eine schematische Darstellung eines fünften Ausführungsbeispiels für ein Oberwellenfilter;

Fig. 3C eine schematische Darstellung eines sechsten Ausführungsbeispiels für ein Oberwellenfilter;

Fig. 4 eine schematische Darstellung eines siebten Ausführungsbeispiels für ein Oberwellenfilter;

Fig. 5 eine schematische Darstellung eines achten Ausführungsbeispiels für ein Oberwellenfilter;

Fig. 6 eine schematische Darstellung einer Ansteuerungsschaltung für Schaltelemente;

Fig. 7A eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels für eine Resonatorstruktur;

Fig. 7B eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels für eine Resonatorstruktur;

Fig. 7C eine schematische Darstellung eines dritten Ausführungsbeispiels für eine Resonatorstruktur; und

Fig. 7D eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels für eine Resonatorstruktur.

[0054] In **Fig. 1** sind schematisch funktionale Komponenten eines Ausführungsbeispiels eines HF- bzw. Mikrowellensignalgenerators 100 dargestellt. Der Signalgenerator 100 ist zur Erzeugung von elektromagnetischen Signalen bzw. Aussendung elektromagnetischer Strahlung 102 im GHz-Bereich vorgesehen. In einer speziellen Ausprägung kann der Signalgenerator 100 bspw. zur Erzeugung von Signalen in einem Nutzfrequenzbereich von 3 GHz bis 20 GHz vorgesehen sein. Eine Frequenz bzw. eine Frequenzbandbreite der vom Generator 100 erzeugten und ausgesendeten Strahlung 102 ist einstellbar.

[0055] Der Generator 100 kann bspw. zum Einsatz in einer Testumgebung wie einem Testlabor, und zwar etwa für den Test von Kommunikationsgeräten, die für den Empfang und/oder die Aussendung von Signalen bzw. Strahlung in mindestens einem der hier genannten Bereiche vorgesehen ist.

[0056] Im Mikrowellengenerator 100 ist ein Frequenzsynthesepfad 104 implementiert, von dem in **Fig. 1** nur einige Komponenten gezeigt sind, d.h. der Pfad 104 kann weitere, nicht in **Fig. 1** gezeigte Komponenten umfassen.

[0057] Zur Erzeugung der HF-Signale 102 verfügt der Generator 100 u.a. über eine Signalquelle 106, bspw. einen Quarz, zur Erzeugung eines Anfangssignals 108. Dieses wird einem Oszillator 110 zugeführt, etwa einem spannungsgesteuertem Oszillator (engl. „Voltage Controlled Oscillator“, VCO). Der VCO 110 erzeugt aus dem Anfangssignal 108 ein HF-Signal 112. Dieses wird einem Frequenzteiler bzw. Frequenzvervielfacher 114 zugeführt, mittels dessen ein Signal 116 mit einer gewünschten Nutzfrequenzbandbreite gemäß einer aktuellen Einstellung des Generators 100 erhalten wird.

[0058] Eine Endstufe des Generators 100 umfasst u.a. einen Verstärker 118, bspw. einen Leistungsverstärker (engl. „Power Amplifier“, PA), in dem das HF-Signal 116 auf einen geforderten Signalpegel verstärkt wird. Das verstärkte Signal 120 wird einem Oberwellenfilter 122 zugeführt, der ein oberwellenfreies HF-Signal 124 erzeugt. Dieses wird, ggf. nach weiteren Zwischenschritten, als HF-Signal 102 ausgegeben.

[0059] Der Generator 100 umfasst diverse nichtlineare Komponenten. Dies kann bspw. den VCO 110, den Vervielfacher 114, und/oder den Verstärker 118 betreffen. Derartige Komponenten erzeugen nicht nur ein Signal mit einer gewünschten Frequenz, sondern zusätzlich harmonische Oberwellen. Weitgehende Oberwellenfreiheit ist jedoch eine wesentliche Anforderung an Geräte wie den Signalgenerator 100 und stellt bspw. eine Voraussetzung dar, um mögliche Oberwellen eines Gerätes im Test in einer Testumgebung möglichst ungestört von Überlagerungen durch Oberwellen des Signalgenerators analysieren zu können. Aus diesem Grund kann ein Oberwellenfilter wie das Filter 122 an der gezeigten Position im Frequenzsynthesepfad 104 vorgesehen sein. Zusätzlich oder alternativ können Oberwellenfilter an anderen Stellen im Frequenzsynthesepfad 104 vorgesehen sein.

[0060] Weil der Signalgenerator 100 Signale 102 mit einstellbarer Frequenz bzw. einstellbarem Frequenzband erzeugt, muss auch das Oberwellenfilter 122 einstellbar sein, damit nur die Oberwellen und nicht eine Grundwelle gedämpft bzw. herausgefiltert wird. Herkömmlich kann ein Filter wie das Filter 122 bspw. in Form einer Filterbank mit einer Mehrzahl von Festfiltern realisiert werden, von denen mittels Umschalttern genau eines auswählbar ist. Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele erfindungsgemäßer Umschaltfilter beschrieben, die einen geringeren Platzbedarf haben als eine Filterbank. Hierbei wird eine Grenzfrequenz elektronisch und filterintern umgeschaltet. Daher sind bspw. mechanische Umschalter mit hoher Einfügedämpfung verzichtbar.

[0061] Fig. 2A zeigt in Draufsicht ein erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel für eine Umschalttopologie, wie sie im Oberwellenfilter 122 aus Fig. 1 verbaut sein könnte. Demnach kann das Filter 122 als Schaltung auf einem Substrat 202 realisiert sein, bspw. einem Keramiksubstrat. Unter dem Substrat kann eine Masse 203 vorgesehen sein, etwa eine Kupferlage. Auf dem Substrat 202 ist eine elektrische Hauptleitung 204 vorgesehen, die ein Signal von einem Eingang 126 des Filters 122 zu einem Ausgang 128 überträgt, vgl. hierzu auch Fig. 1. Die Hauptleitung 204 kann Eigenschaften einer HF-Übertragungsleitung haben, wie dies dem Fachmann der HF-Technik ersichtlich ist. Bspw. kann die Hauptleitung 204 als eine Mikrostreifenleitung realisiert sein.

[0062] An einer Mehrzahl von Verbindungspunkten, von denen aus Gründen der Übersichtlichkeit nur einige mit den Bezugsziffern 206, 208 und 210 versehen sind, sind Resonanzstrukturen wie bspw. die Strukturen 222, 224 und 226 mit der Hauptleitung 204 elektrisch verbunden. Jede der Strukturen 222-226 realisiert nach Auslegung und Positionierung entlang der Hauptleitung 204 mindestens eine

Resonanzfrequenz. Das Signal der Hauptleitung 204 wird in einem Frequenzbereich um die jeweilige Resonanzfrequenz herum gedämpft. Einige der Strukturen, z.B. diejenigen mit den Bezugsziffern 224 und 226 sind mit Schaltern versehen, so dass umschaltbar unterschiedliche Resonanzfrequenzen realisiert werden.

[0063] Anhand der Fig. 2B wird zunächst beispielhaft die Struktur 226 genauer beschrieben; diese Beschreibung gilt jedoch analog auch für die weiteren Strukturen, bspw. diejenige mit der Bezugsziffer 224, soweit nicht explizit etwas anderes gesagt wird. Die hier und in den nachfolgenden Figuren gezeigten (schaltbaren) Resonatorstrukturen können jedoch auch ganz allgemein einen Teil eines umfassenderen Oberwellenfilters darstellen, oder können einen eigenständigen Oberwellenfilter bilden.

[0064] Die Struktur 226 umfasst ein erstes Leitungssegment 252 und zwei zweite Leitungssegmente 254, 256. Die Leitungssegmente 252, 254, 256 können mit der gleichen Technologie wie die Hauptleitung 204 hergestellt werden, bspw. als leitfähige Belegung auf dem Substrat 202. Allerdings sind die ersten und zweiten Leitungssegmente 252, 254, 256 i. A. nicht als einfache HF-Übertragungsleitungen konzipiert. Wie aus Fig. 2B unmittelbar ersichtlich, haben die Leitungssegmente 252, 254, 256 eine größere Breite als die Hauptleitung 204. Eine Leitungsbreite 258 des ersten Leitungssegments 252 ist entlang eines Verlaufs 260 nicht konstant, sondern nimmt zu.

[0065] Die in Fig. 2A gezeigte Topologie realisiert eine elliptische Filtercharakteristik. Die Resonanzstrukturen 222, 224, 226, etc. implementieren dazu jeweils eine ggf. schaltbare (R)LC-Struktur. Im Beispiel der Fig. 2B sind die Leitungssegmente 252, 254, 256 an Masse gelegt. Dies ist in der schematischen Draufsicht nicht explizit ersichtlich, jedoch kann eine Masseverbindung durch die Art der Implementierung gegeben sein, bei der bspw. die Segmente 252, 254, 256 gemäß der Technik der Mikrostreifenleitungen angelegt sind und etwa die Kupferplatte 203 auf der Unterseite des Substrats 202 an Masse gelegt ist.

[0066] Das erste Leitungssegment 252 führt von der Hauptleitung 204 weg, d.h. das Segment 252 ist nur am Verbindungspunkt 210 mit der Hauptleitung 204 permanent elektrisch verbunden. Die zweiten Leitungssegmente 254, 256 sind über das erste Leitungssegment 252 mit der Hauptleitung 204 verbindbar. Hierzu sind die zweiten Leitungssegmente 254, 256 elektrisch mit dem ersten Leitungssegment 252 verbindbar. Bei dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel sind hierfür zwei Schalter 262 und 264 vorgesehen. Jedes Schaltelement realisiert

eine Stromverbindung unabhängig von dem anderen Schaltelement.

[0067] Konkret ist daher jedes Schaltelement unmittelbar mit dem ersten Leitungssegment 252 verbunden, d.h. das Schaltelement 262 kann je nach Schaltzustand das Leitungssegment 254 mit dem Leitungssegment 252 elektrisch verbinden, und das Schaltelement 264 kann je nach Schaltzustand das Leitungssegment 256 mit dem Leitungssegment 252 elektrisch verbinden.

[0068] Die Schaltelemente sind elektronisch ansteuerbar. Jedes der Schaltelemente 262 und 264 kann bspw. als PIN-Diode realisiert werden. Andere Implementierungen sind aber auch denkbar, bspw. eines oder mehrere FETs oder anderer Transistoren. Die Ansteuerungsschaltung 282 zur Ansteuerung der Schaltelemente ist in **Fig. 2B** aus Gründen der Übersichtlichkeit nur angedeutet, wird aber weiter unten anhand der **Fig. 6** im Detail diskutiert.

[0069] Die Schaltelemente 262, 264 können einzeln und/oder parallel angesteuert werden, d.h. es kann entweder nur ein Schaltelement geschaltet werden, um das jeweilige zweite Leitungssegment mit dem ersten Leitungssegment zu verbinden, oder es können beide Schaltelemente im wesentlichen zeitgleich geschaltet werden, um beide zweite Leitungssegmente mit dem ersten Leitungssegment 252 zu verbinden.

[0070] Die Leitungssegmente wirken sowohl einzeln als auch in Kombination als Resonator, wobei sich die Resonanzfrequenz je nach Schaltzustand der Schalter unterscheidet. Das erste Leitungssegment 252 stellt einen LC-Resonanzkreis dar und ist über den Verbindungspunkt 210 permanent mit der Hauptleitung 204 verbunden, so dass bei offenen Schaltern 262, 264 eine erste Dämpfungs- bzw. Resonanzfrequenz realisiert wird. Ist einer oder beide der Schalter geschlossen, können eine zweite oder eine dritte Frequenz realisiert werden, wobei sich bei der hier gezeigten identischen Auslegung der zweiten Leitungssegmente die Resonanzfrequenzen bei jeweils einem geschlossenen und einem offenen Schalter (oder umgekehrt) nicht wesentlich unterscheiden.

[0071] Das erste Leitungssegment 252 weist in einem Bereich 266 eine Aufweitungs-Stichleitung (engl. „Radial Stub“) 268 auf, wobei sich die Stichleitung 268 entlang ihrer Länge 260 in ihrer Breite 258 aufweitet. Aufweitungs-Stichleitungen sind dem Fachmann als solche bekannt. Vorliegend wird vorgeschlagen, bspw. auch elliptische Filter-Übertragungsfunktionen vorteilhaft mit Aufweitungs-Stichleitungen zu realisieren. Wie oben diskutiert sind die Stichleitungen vorliegend mit Masse verbunden,

werden aber dennoch als Stichleitungen („Stub“) bezeichnet.

[0072] Aufweitungs-Stichleitungen haben zumindest ein schmales und zumindest ein breites Ende. Die Aufweitungs-Stichleitung 268 ist mit ihrem schmalen Ende 270 fest mit dem Verbindungspunkt 210 der Hauptleitung 204 verbunden. Es sind keine Schalter oder weitere Resonatoren am Punkt 210 vorgesehen, so dass dieser Punkt im Vergleich etwa zu einem Sternknoten klein ausgelegt werden kann und störende parasitäre Effekte minimiert werden können.

[0073] Die Aufweitungs-Stichleitung 268 hat in diesem Ausführungsbeispiel die Form eines Dreiecks mit einem geraden, breiten Ende 272, das in **Fig. 2B** gestrichelt angedeutet ist. Das breite Ende 272 der Aufweitungs-Stichleitung 268 ist verlängert, d.h. mit ihrem breiten Ende 272 mündet die Aufweitungs-Stichleitung 268 in ein Leitungsstück 274 mit einer konstanten Breite 276. Die Breite 276 ist größer als eine Breite 278 der Hauptleitung 204.

[0074] Die Implementierung von LC-Resonatoren mittels Aufweitungs-Stichleitungen, wie gezeigt, ermöglicht das Vorsehen mehrerer Schaltelemente am ohnehin breiten Ende derartiger Stichleitungen. Das Leitungsstück 274 verlängert hierbei das breite Ende 272 der Aufweitungs-Stichleitung 268 derart, dass den Schaltelementen 262 und 264 genügend Auflageplatz zur Verfügung steht.

[0075] Die Aufweitungs-Stichleitung 268 endet mit einem geraden breiten Ende 282 des Leitungsstücks 274. Die Leitungssegmente 254 und 256 sind als breite Leitungsstücke ausgeführt. Zwischen dem ersten Leitungssegment 252 und den zweiten Leitungssegmenten 254, 256 befindet sich ein Spalt 280 ohne Belegung. Der Spalt 280 wird durch die Schaltelemente 262 und 264 selektiv überbrückt. Die Segmente 252, 254, 256 sind für das gewünschte Zusammenspiel in geeigneter Weise ausgelegt; somit verändert das gemeinsame oder jeweils separate Zuschalten der weiteren Leitungssegmente 254 und 256 die Resonanzfrequenz des ersten Leitungssegmentes bzw. Resonators 252 derart, dass sich die weiteren gewünschten Resonanzfrequenzen und -Bandbreiten ergeben.

[0076] In **Fig. 2B** unterteilt der Spalt 280 die Leitungssegmente 252, 254 und 256 gerade so, dass sich mit zugeschalteten Segmenten 254, 256 die Aufweitungs-Stichleitung 268 nicht nur um das Leitungsstück 274, sondern weiterhin um die Länge der Leitungsstücke 254, 256 verlängert, mit entsprechenden kapazitiven bzw. induktiven Effekten, d.h. abgesehen von der Aufweitung im vorderen Bereich 266 liegt eine im Vergleich zur Hauptleitung 204 breite Streifenleitung vor.

[0077] Für die zusammenschalteten ersten und zweiten Leitungssegmente sind jedoch auch andere resultierende geometrische Formen denkbar. In **Fig. 2A** zeigt etwa die Resonatorstruktur 224 eine breite Aufweitungs-Stichleitung mit anschließend (zuschaltbar) wieder schmalerer Streifenbreite. Die Resonatorstruktur 224 ist in **Fig. 2C** schematisch wiedergegeben. Das erste Leitungssegment 284 ist wie in **Fig. 2B** durch eine Aufweitungs-Stichleitung mit verlängertem breitem Ende realisiert, und es liegen zwei separate und jeweils einzeln durch Schaltelemente 286 verbindbare zweite Leitungssegmente 288 vor. Jedoch ist hier eine Breite 290 der zusammenschalteten zweiten Leitungsstücke kleiner als eine Breite 292 des breiten Endes der Aufweitungs-Stichleitung 284. Der Spalt 294 zwischen dem ersten 284 und den beiden zweiten 288 Leitungssegmenten verläuft jedoch auch hier gerade.

[0078] **Fig. 3A** zeigt schematisch eine weitere Resonatorstruktur 300 zur Verwendung in einem Filter. Nachfolgend werden nur ausgewählte Aspekte der Struktur 300 diskutiert; nicht explizit erwähnte Aspekte entsprechen zumindest sinngemäß dem, was für andere Ausführungsbeispiele gesagt wird.

[0079] Mit einer Hauptleitung 302 ist über einen permanenten Verbindungspunkt 304 ein erstes Leitungssegment 306 verbunden. Das Segment 306 umfasst hier eine Aufweitungs-Stichleitung in Form eines Kreissektors, d.h. das Leitungssegment 306 hat ein bogenförmiges breites Ende 308. Hinter einem Spalt 310, der entsprechend mit konstanter Krümmung und konstanter Breite verläuft, ist ein zweites Leitungssegment 312 vorgesehen. Dieses hat die Form eines Ringsegmentes derart, dass sich beim Zusammenschalten der beiden Leitungssegmente 306 und 312 mittels Schaltelementen 318 eine verlängerte Aufweitungs-Stichleitung ergibt, d.h. eine Länge 314 der Stichleitung 306 kann schaltbar auf eine Länge 316 verlängert werden, mit entsprechender Änderung der Resonanzfrequenz.

[0080] An das zweite Leitungssegment 312 könnte sich, wie durch Punkte angedeutet, nochmals mindestens ein weiteres Leitungssegment zuschaltbar anschließen, etwa erneut in Form eines Ringsegmentes, welches zu einer weiteren Verlängerung der Aufweitungs-Stichleitung 306 führen würde.

[0081] Im vorliegenden Beispiel wird der Spalt 310 durch drei Schaltelemente 318 überbrückt. Statt drei Elementen könnten jedoch auch weniger oder mehr Schaltelemente vorgesehen sein. Nachdem alle Schalter das Leitungssegment 312 zuschalten, sollten beim Umschalten, d.h. Zuschalten des zweiten Segments 312 zum ersten Segment 306, alle Schaltelemente 318 möglichst gleichzeitig schalten. Entsprechende Steuerschaltungen werden weiter unten diskutiert.

[0082] **Fig. 3B** zeigt eine nochmals weitere Resonatorstruktur 330. Diese verfügt über ein als Aufweitungs-Stichleitung ausgeführtes erstes Leitungssegment 332, welches identisch zu dem Segment 306 aus **Fig. 3A** sein kann. Hinter einem bogenförmigen Spalt 334 sind jedoch anstelle eines einzelnen zweiten Leitungssegments zwei weitere Leitungssegmente 336 vorgesehen, zwischen denen ein Spalt 338 verbleibt. Jedes der Segmente 336 kann durch mindestens einen speziell zugeordneten Schalter 340 separat zu der Aufweitungs-Stichleitung 332 hinzugeschaltet werden, analog wie dies für die zweiten Leitungssegmente 254, 256 in **Fig. 2B** diskutiert wurde.

[0083] Die beiden Resonatoren 336 können über den Spalt 338 elektromagnetisch miteinander gekoppelt sein. Bei anderen Ausführungsbeispielen können aktive oder passive Schaltelemente zur Ankopplung paralleler Resonatoren wie der Resonatoren 336 vorgesehen sein.

[0084] Die Struktur 330 ermöglicht mittels der beiden Schalter 340 das Umschalten zwischen drei unterschiedlichen Resonanzfrequenzen, wie für die Konfiguration der **Fig. 2B** diskutiert. Würden die zweiten Leitungssegmente 336 nicht identisch, sondern unterschiedlich ausgelegt, wären bei insgesamt drei Leitungssegmenten sogar vier Umschaltstufen denkbar. Die unterschiedliche Auslegung kann eine Belegungsfläche und/oder eine unterschiedliche geometrische Formgebung mit entsprechend unterschiedlichen Auswirkungen auf die Resonanzfrequenz umfassen.

[0085] Wie in **Fig. 3B** durch Punkte angedeutet, könnte sich an die zweiten Leitungssegmente 336 mindestens ein weiteres Leitungssegment zuschaltbar anschließen. Bspw. könnte ein einziges Segment vorgesehen sein, welches den Spalt 338 begrenzt, oder es könnten zwei (oder drei, oder mehr) Segmente vorgesehen sein. Diese könnten wie die Segmente 336 die Aufweitungs-Stichleitung 332 verlängern, oder könnten insgesamt eine größere oder kleinere Aufweitung realisieren.

[0086] **Fig. 3C** zeigt eine Resonatorstruktur 350. Diese verfügt über ein als Aufweitungs-Stichleitung ausgeführtes erstes Leitungssegment 352. Dieses hat die Form eines Dreiecks mit geradem breiten Ende vergleichbar zur Stichleitung 268 in **Fig. 2B**, allerdings ohne angesetztes Leitungsstück konstanter Breite. An die Stichleitung 352 schließt sich nach einem geraden Spalt 354 ein zweites Leitungssegment 356 an. Dieses ist trapezförmig derart ausgestaltet, dass sich aus dem Dreieck 352 nach Zuschalten des Segmentes 356 mittels mindestens eines Schaltelements 358 bei konstantem Aufweitungswinkel ein verlängertes Dreieck mit entsprechender Änderung der Resonanzfrequenz ergibt. Auch hier

könnte sich an das Leitungssegment 356 ein weiteres, bspw. ebenfalls trapezförmiges Leitungssegment zuschaltbar anschließen.

[0087] Fig. 4 zeigt eine Resonatorstruktur 400, die mit einer Hauptleitung 402 verbunden ist und ein erstes Leitungssegment 404 umfasst. Das Segment 404 hat hier eine rechteckige Belegung. Daher ist das Segment statt nur über einen Verbindungspunkt wie bei den bisher beschriebenen Beispielen entlang einer seiner Seiten linienhaft mit der Hauptleitung 402 verbunden.

[0088] Hinter einem Spalt 406 befindet sich ein zweites Leitungssegment 408, welches über Schalter 410 zuschaltbar mit dem ersten Segment 404 verbindbar ist. Die Segmente 404 und 406 bilden eine gegenüber der Übertragungsleitung 402 verbreiterte Stichleitung konstanter Breite ohne anfängliche Aufweitung und mit einstellbarer Länge.

[0089] Die flächige Anbindung an die Hauptleitung 402 kann Störungen vermeiden, wie sie auftreten könnten, wenn das Segment 404 über eine Übertragungsleitung vergleichbar zur Hauptleitung 402 an diese angebunden wäre.

[0090] Fig. 5 zeigt eine Resonatorstruktur 500 an einer Hauptleitung 502 mit einem ersten Leitungssegment 504, welches als punktuell an die Hauptleitung 502 angebundene Aufweitungs-Stichleitung 504 in Dreiecksform ausgebildet ist. Ein Spalt 506 wird durch ein Schaltelement 508 überbrückt. Hinter dem Spalt 508 ist entsprechend zuschaltbar ein zweites Leitungssegment 510 vorgesehen. Dieses umfasst hier eine lediglich schematisch angedeutete elektronische Schaltung. Die Schaltung kann bspw. induktive und/oder kapazitive Elemente umfassen, so dass auf diese Weise bspw. ein (R)LC-Kreis, oder Elemente hiervon, realisiert werden.

[0091] Fig. 6 zeigt eine Resonatorstruktur 600, bei der mit einer Hauptleitung 602 punktuell verbunden ein erstes Leitungssegment 604 in Form einer Aufweitungs-Stichleitung vorliegt. Zweite Leitungssegmente 606 sind über Schaltelemente 608 zuschaltbar. Es wird beispielhaft angenommen, dass es sich bei den Schaltelementen 608 um PIN-Dioden handelt. Eine Ansteuerungsschaltung 610 ist zur Ansteuerung (engl. „Biasing“) der Schaltelemente 608 vorgesehen.

[0092] Die Ansteuerungsschaltungen für die beiden PIN-Dioden haben eine gemeinsame Gleichspannungsquelle 612 (engl. „Direct Current“, DC). In dem Beispiel der Fig. 6 wird die Steuer-Gleichspannung über die zweiten Leitungssegmente 606 an die Schaltelemente 608 gelegt. Die Gleichspannung 612 ist durch geeignete Maßnahmen von der Hochfrequenz HF der Hauptleitung 602 zu trennen. Im Bei-

spiel der Fig. 6 ist die Hauptleitung 602 für eine Gleichspannung, hier die Gleichspannung 612, an Masse gelegt, wie mit dem Massesymbol 613 verdeutlicht. Die Entkopplung von der Hochfrequenz erfolgt mit einer geeignet ausgelegten Spule 620. Die Spule 620 kann irgendwo entlang der Hauptleitung 602 positioniert werden.

[0093] Die Ansteuerschaltung 610 verfügt für jeden der Schalter 608 jeweils separat über kapazitive 614 und induktive 616 Elemente. In einer realen Implementierung können die Kapazitäten 614 unterhalb der in Fig. 6 dargestellten Schaltungsebene realisiert werden. Das Biasing der PIN-Dioden ist dabei als Teil der zugeschalteten Resonatoren, d.h. der zweiten Leitungssegmente 606, zu verstehen, also bspw. im Hinblick auf kapazitive und/oder induktive Effekte. Dieser Aspekt ist bei der Auslegung der Segmente 606 im Hinblick auf die gewünschten Dämpfungs- bzw. Filterwirkungen zu beachten.

[0094] Die dargestellte Konfiguration kann so ausgelegt sein, dass beide Schalter 608 gleichzeitig geschaltet werden. Es können bspw. geeignete Widerstände 618 vorgesehen werden, um sicherzustellen dass die Schalter 608 möglichst gleichzeitig durchschalten. Zusätzlich oder alternativ zu den Widerständen 618 können Widerstände zwischen den induktiven 616 und kapazitiven 614 Elementen vorgesehen sein. Auf diese Weise können bspw. unerwünschte Resonanzen der Ansteuerschaltung gedämpft werden.

[0095] Ansteuerungsschaltungen vergleichbar zur Schaltung 610 in Fig. 6 können für die Resonatoren der anderen hier beschriebenen Ausführungsbeispiele vorgesehen werden, auch wenn derartige Ansteuerungsschaltungen in den Figuren meist ganz oder teilweise weggelassen sind. Während in dem Beispiel der Fig. 6 nur eine Resonatorstruktur mit erstem Leitungssegment 604 und zweiten Leitungssegmenten 606 von der Gleichspannungsquelle 612 geschaltet wird, kann bei anderen Ausführungsbeispielen auch mehr als nur eine Resonatorstruktur von einer einzigen Gleichspannungsquelle angesteuert werden. Die zwei, drei, oder mehr Resonatorstrukturen können gemeinsam geschaltet werden. Alternativ können unterschiedliche Ansteuerungen bspw. durch geeignete Wahl von Widerständen vergleichbar zu den Widerständen 618 realisiert werden. Dem Fachmann sind weitere Möglichkeiten offensichtlich, wobei alternativ oder zusätzlich andere passive oder aktive Bauelemente zum Einsatz kommen können.

[0096] Auch wenn andere Schaltelemente als PIN-Dioden verwendet werden, sind Ansteuerungsschaltungen mit Elementen und/oder Wirkungen vergleichbar zu denen der in Fig. 6 gezeigten Schaltung 610 denkbar.

[0097] Fig. 7A zeigt eine Resonatorstruktur 700, die mit einer Hauptleitung 702 verbunden ist und ein erstes Leitungssegment in Form einer Aufweitungs-Stichleitung 704 umfasst. Optionale weitere Leitungssegmente sind in der Figur weggelassen. Die Stichleitung 704 hat ein schmales Ende 706 und ein breites Ende 708. Die Stichleitung 704 ist über ihr schmales Ende 706 an die Hauptleitung angebunden. Die der Hauptleitung 702 gegenüberliegende Begrenzung 710 der Belegung 704 ist im Beispiel der **Fig. 7A** konvex gekrümmt, alternativ wäre auch eine konkave Krümmung möglich. Das Segment 704 hat eine pilzförmige Belegung mit konkav gebogenen Kanten 712. Bei alternativen Ausführungsbeispielen sind auch konvexe Kanten möglich.

[0098] Fig. 7B zeigt eine weitere Resonatorstruktur 720, die mit einer Hauptleitung 722 verbunden ist und ein erstes Leitungssegment in Form einer Aufweitungs-Stichleitung 724 umfasst. Optionale weitere Leitungssegmente sind in der Figur weggelassen. Die Stichleitung 724 hat ein schmales Ende 726 und ein breites Ende 728. Die Stichleitung 724 ist wieder über ihr schmales Ende 726 an die Hauptleitung angebunden. Die der Hauptleitung 722 gegenüberliegende Begrenzung 728 der Belegung 724 ist im Beispiel der **Fig. 7B** konvex gekrümmt 730, alternativ wäre auch eine konkave Krümmung möglich. Weitere Kanten 732 des Segments 724 sind unregelmäßig bzw. irregulär oder diskontinuierlich, mit Sprüngen, geformt. Auch diese Form einer Aufweitungs-Stichleitung ergibt eine funktionsfähige Resonatorstruktur, d.h. der Begriff „Aufweitungs-Stichleitung“ wie vorliegend verwendet soll Strukturen wie in der **Fig. 7B** beispielhaft gezeigt mitumfassen.

[0099] Fig. 7C zeigt eine nochmals weitere Resonatorstruktur 740, die mit einer Hauptleitung 742 verbunden ist und ein erstes Leitungssegment in Form einer Aufweitungs-Stichleitung 744 umfasst. Optionale weitere Leitungssegmente sind in der Figur weggelassen. Die Stichleitung 744 hat wieder ein schmales Ende 746 und ein breites Ende 748, und ist über ihr schmales Ende 746 an die Hauptleitung 742 angebunden. Bei der Aufweitungs-Stichleitung 744 erfolgt die Aufweitung vom schmalen 746 zum breiten 748 Ende nicht kontinuierlich, wie etwa in den Beispielen der **Fig. 3A-3C** und **Fig. 7A**, sondern diskontinuierlich mit einem Sprung an der Stelle 750. Auch hier ergibt sich eine funktionsfähige Resonatorstruktur; der Begriff „Aufweitungs-Stichleitung“ soll Strukturen wie die in der **Fig. 7C** gezeigte mitumfassen.

[0100] Fig. 7D zeigt eine weitere Resonatorstruktur 760, die mit einer Hauptleitung 762 verbunden ist und ein erstes Leitungssegment in Form einer Aufweitungs-Stichleitung 764 umfasst. Optionale weitere Leitungssegmente sind in der Figur weggelassen.

Die Stichleitung 764 hat ein schmales Ende 766 und ein breites Ende 768. Die Stichleitung 764 ist wieder über ihr schmales Ende 766 an die Hauptleitung 762 angebunden. Die der Hauptleitung 762 gegenüberliegende Begrenzung 770 der Belegung 764 ist im Beispiel der **Fig. 7D** durch eine gerade Konturlinie gegeben, alternativ wären aber Krümmungen möglich wie bspw. in den **Fig. 7A** und **Fig. 7B**.

[0101] Weitere Kanten 772, 773 des Segments 764 sind unregelmäßig bzw. diskontinuierlich geformt und sind bspw. auch nicht symmetrisch zueinander, d.h. die Konturlinien 772 und 773 verlaufen auf jeweils individuelle Weise irregulär. Auch diese Form einer Aufweitungs-Stichleitung ergibt eine funktionsfähige Resonatorstruktur, d.h. der Begriff „Aufweitungs-Stichleitung“ wie vorliegend verwendet soll Strukturen wie in der **Fig. 7D** beispielhaft gezeigt mitumfassen. Allgemein soll der Terminus „Aufweitungs-Stichleitung“ jegliche Stichleitung umfassen, die, wie im Beispiel der **Fig. 7D** angedeutet, ein Ende 766 mit einer Leitungsbreite a , und ein Ende 768 mit einer Leitungsbreite b aufweist, wobei $b > a$. Die Belegung zwischen a und b bzw. zwischen dem schmalen Ende 766 und dem breiten Ende 768 kann dabei in weiten Grenzen beliebig ausgebildet werden, bspw. können dabei benachbarte Strukturen wie etwa benachbarte Resonatorstrukturen berücksichtigt werden.

[0102] In **Fig. 2A** sind Resonatoren wie der Resonator 222 über Verbindungspunkte wie den Punkt 206 mit der Hauptleitung 204 verbunden. Der Resonator 222 umfasst jeweils eine Aufweitungs-Stichleitung, die mit ihrem schmalen Ende mit der Hauptleitung 204 verbunden ist. Die Aufweitungs-Stichleitungen sind mit ihrem breiten Ende offen, d.h. es sind keine Schalter zur selektiven Verbindung weiterer resonanter Strukturen vorgesehen. Die Stichleitung 222 kann an Masse gelegt sein. Die offene Stichleitung 222 kann nahe an einem Ende der Hauptleitung 204, d.h. nahe am Eingang 126 (oder Ausgang 128) vorgesehen sein.

[0103] Die in **Fig. 2A** gezeigte Topologie umfasst eine Vielzahl von Aufweitungs-Stichleitungen wie bspw. die mit den Ziffern 222, 224 und 226 bezeichneten Strukturen, die sich untereinander um resonanzwirksame Aspekte wie ihre Länge und/oder ihren Verbreiterungswinkel unterscheiden. So hat etwa die Resonanzstruktur 224 einen breiteren Öffnungswinkel als die Struktur 222, und diese wiederum hat einen breiteren Öffnungswinkel als die Struktur 226. Durch die jeweiligen Schaltelemente sind Resonatoren wie die Resonatoren 224, 226 in ihrer Länge verstellbar bzw. auf unterschiedliche Längen einstellbar.

[0104] Die Topologie in **Fig. 2A** ist punktsymmetrisch um einen Punkt 240 auf der Hauptleitung 204. Die symmetrische Belegung führt zu einer Minimierung von Störungen wie sie aus ungleichmäßiger Belegung resultieren können. Eine punktsymmetrische Topologie kann auch gegenüber einer achsensymmetrischen Topologie Vorteile aufweisen.

[0105] So sind an der Hauptleitung 204 eine Vielzahl von Verbindungspunkten vorgesehen, z.B. Punkte 206, 208, 210. Die Achsensymmetrie würde erfordern, dass sich für jeden Resonator auf einer Seite der Hauptleitung ein identischer Resonator auf der anderen Seite befindet. Muss oder kann jedoch von jedem Verbindungspunkt nur ein Resonator weggeführt, oder können über einen gemeinsamen Verbindungspunkt angebundene Resonatoren unabhängig voneinander ausgelegt werden, können Konfigurationsmöglichkeiten von Resonatorelementen wie etwa Aufweitungs-Stichleitungen weit flexibler genutzt werden.

[0106] Neben den über Verbindungspunkte angeordneten Resonatoren können der Hauptleitung weitere elektrisch wirksame Elemente zugeordnet sein. Wie beispielsweise in der **Fig. 3A** gezeigt, können Längsinduktivitäten und/oder Längskapazitäten 320 und 322 in Serie mit der Hauptleitung geschaltet sein bzw. in die Hauptleitung integriert sein.

[0107] Die Erfindung ist nicht auf die hier beschriebenen Ausführungsbeispiele und die darin hervorgehobenen Aspekte beschränkt; vielmehr sind innerhalb des durch die anhängenden Ansprüche angegebenen Bereichs eine Vielzahl von Abwandlungen möglich, die im Rahmen fachmännischen Handelns liegen. Insbesondere sind dem Fachmann bestimmte Kombinationen von vorstehend separat beschriebenen Merkmalen als zweckmäßig oder vorteilhaft ersichtlich.

Patentansprüche

1. Umschaltfilter zum Herausfiltern eines variablen Frequenzbandes aus einem Signal, das über eine elektrische Hauptleitung (204) von einem Eingang (126) zu einem Ausgang (128) des Filters (122) geleitet ist, mit einem ersten Leitungssegment (252), das von der Hauptleitung (204) weggeführt, und mindestens einem zweiten Leitungssegment (254, 256), das mit dem ersten Leitungssegment (252) elektrisch verbindbar ist, und mindestens zwei elektronisch ansteuerbaren Schaltelementen (262, 264), durch die das erste (252) und das mindestens eine zweite (254, 256) Leitungssegment verbindbar sind, wobei mindestens ein Leitungssegment (252) eine Aufweitungs-Stichleitung (268) mit einem schmalen Ende (270) und einem breiten Ende (272) aufweist,

und wobei die mindestens zwei Schaltelemente (262, 264) jeweils separat mit dem breiten Ende (272, 274) der Aufweitungs-Stichleitung (268) verbunden sind.

2. Umschaltfilter nach Anspruch 1, wobei das erste Leitungssegment (252) eine Aufweitungs-Stichleitung (268) aufweist, die mit dem schmalen Ende (270) fest mit einem Verbindungspunkt (210) der Hauptleitung (204) verbunden ist.

3. Umschaltfilter nach Anspruch 1 oder 2, wobei eine Leitungsbreite der Aufweitungs-Stichleitung (306, 332) sich im Verlauf vom schmalen Ende zum breiten Ende kontinuierlich (268, 306, 712) oder diskontinuierlich (732, 750, 772, 773) aufweitet.

4. Umschaltfilter nach Anspruch 3, wobei das breite Ende der Aufweitungs-Stichleitung als Leitungsstück konstanter Breite (274) ausgeführt ist.

5. Umschaltfilter nach Anspruch 3, wobei hinter dem bogenförmigen breiten Ende der Aufweitungs-Stichleitung (306, 332) das zweite Leitungssegment (312, 336) als Ringsegment und/oder Keilstück ausgebildet ist.

6. Umschaltfilter nach Anspruch 3, wobei hinter dem geraden breiten Ende der Aufweitungs-Stichleitung (352) das zweite Leitungssegment als Leitungsstück (254, 256) oder trapezförmiges Leitungssegment (356) angeordnet ist.

7. Umschaltfilter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mehrere zweite Leitungssegmente (254, 256, 336) separat über jeweils mindestens ein Schaltelement mit dem ersten Leitungssegment verbindbar sind.

8. Umschaltfilter nach Anspruch 5 und 7, wobei hinter dem bogenförmigen breiten Ende der Aufweitungs-Stichleitung (332) mehrere zweite Leitungssegmente (336) in Form aneinander angrenzender Kreissegmente angeordnet sind und jedes Kreissegment durch mindestens ein Schaltelement mit der Aufweitungs-Stichleitung verbindbar ist.

9. Umschaltfilter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit mehreren Aufweitungs-Stichleitungen (222, 224, 226), die sich untereinander durch ihre Länge und/oder ihren Verbreiterungswinkel unterscheiden.

10. Umschaltfilter nach Anspruch 2, mit einer asymmetrischen Topologie bezogen auf den Verbindungspunkt.

11. Umschaltfilter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mindestens ein Schaltelement eine PIN-Diode ist oder aufweist.

12. Umschaltfilter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit einer Ansteuerungsschaltung (610) zur Ansteuerung mindestens eines der Schaltelemente (606) über das zweite Leitungssegment (608).

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

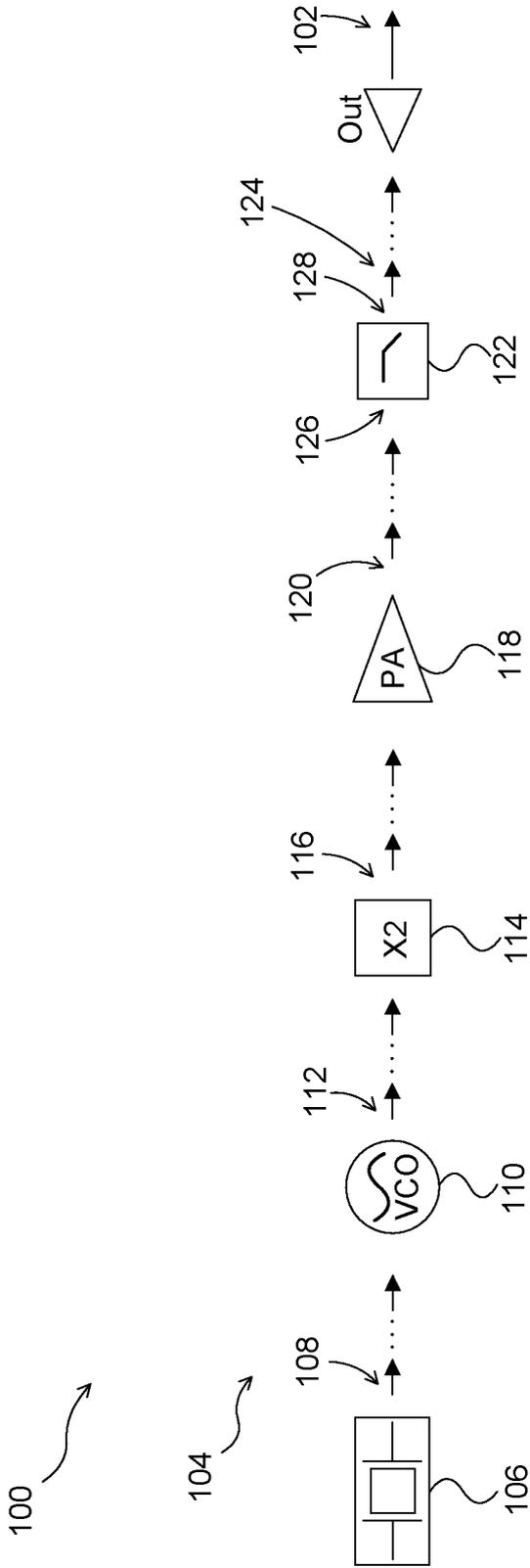


Fig. 1

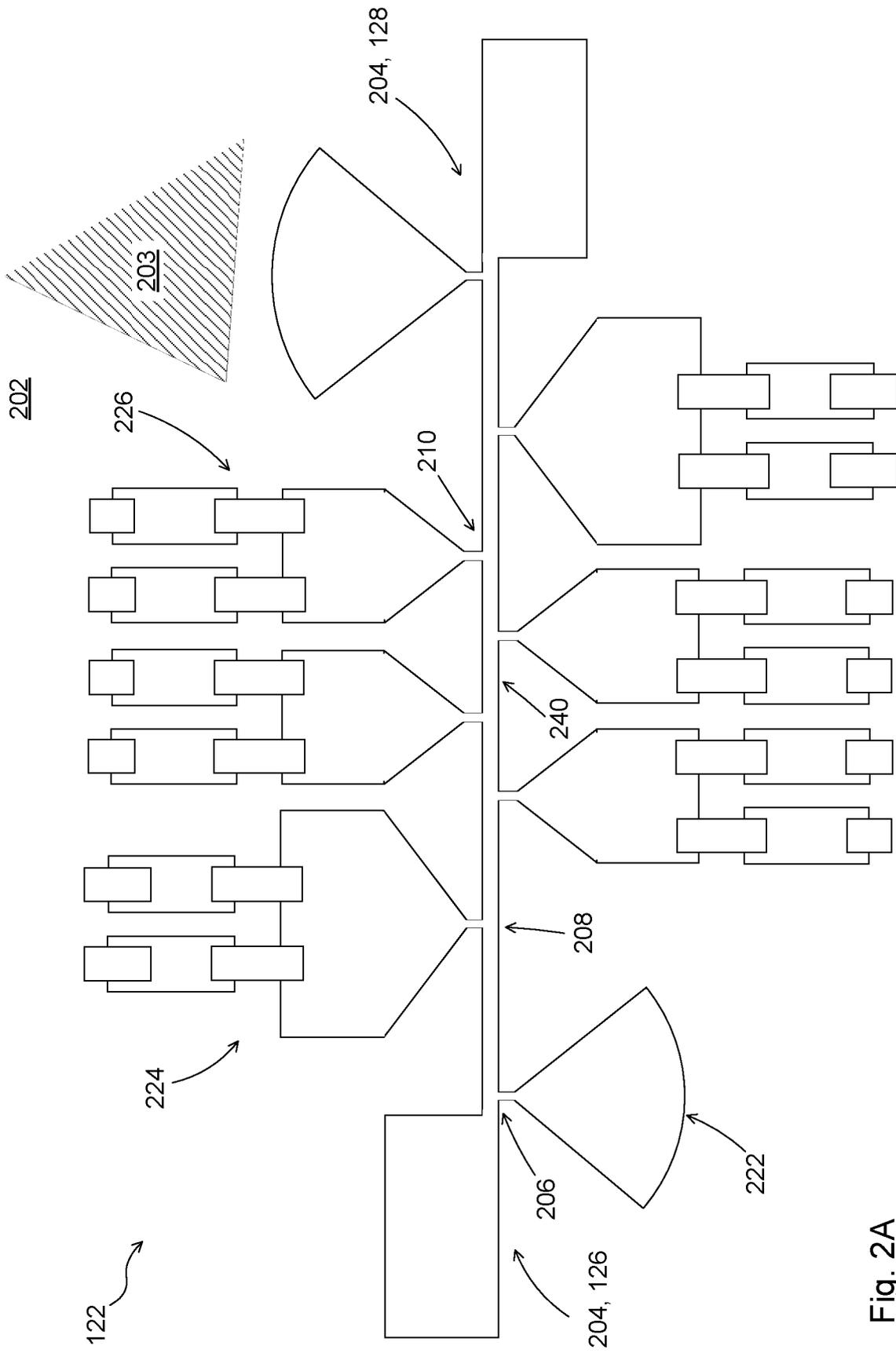


Fig. 2A

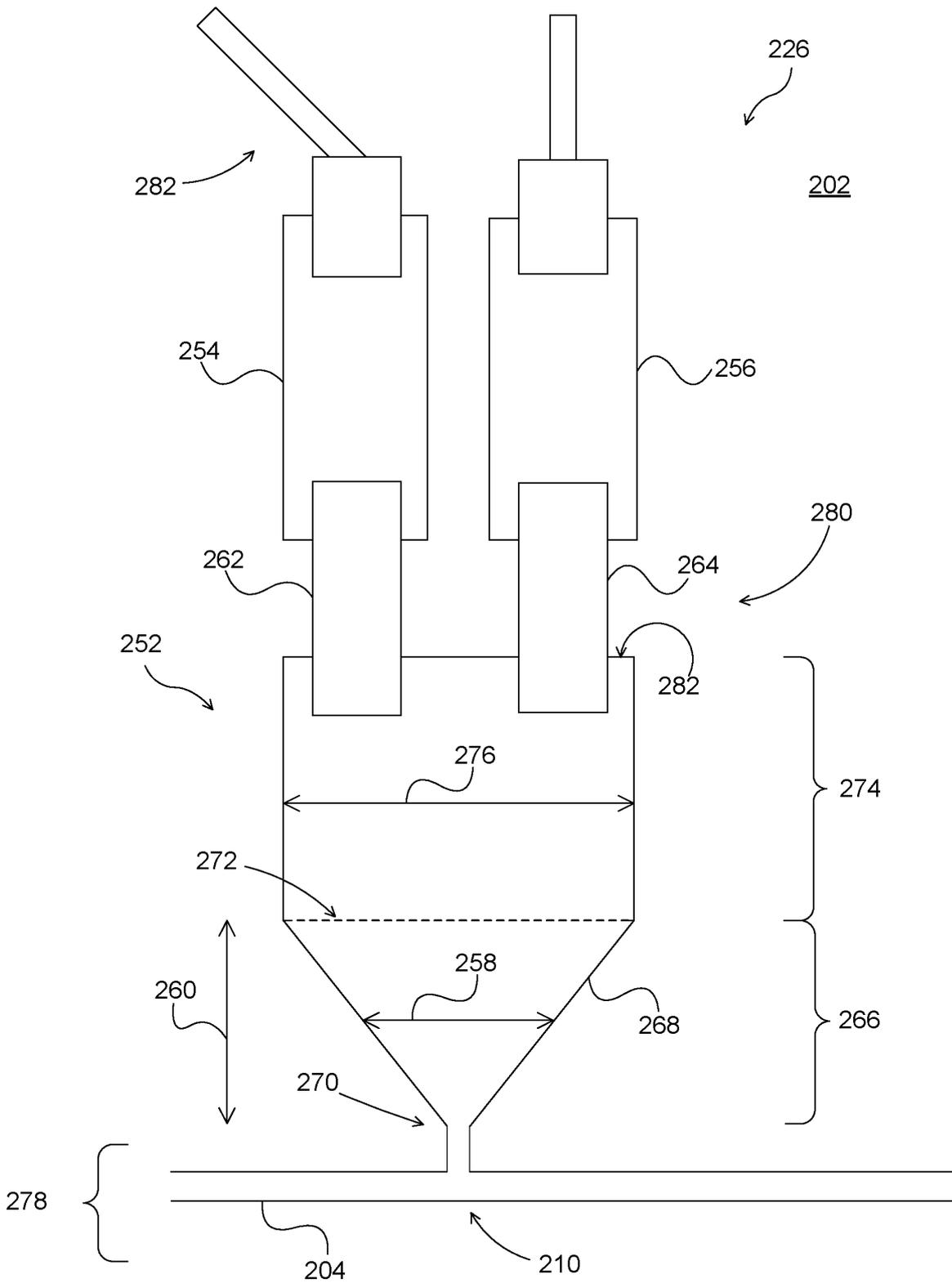


Fig. 2B

510000

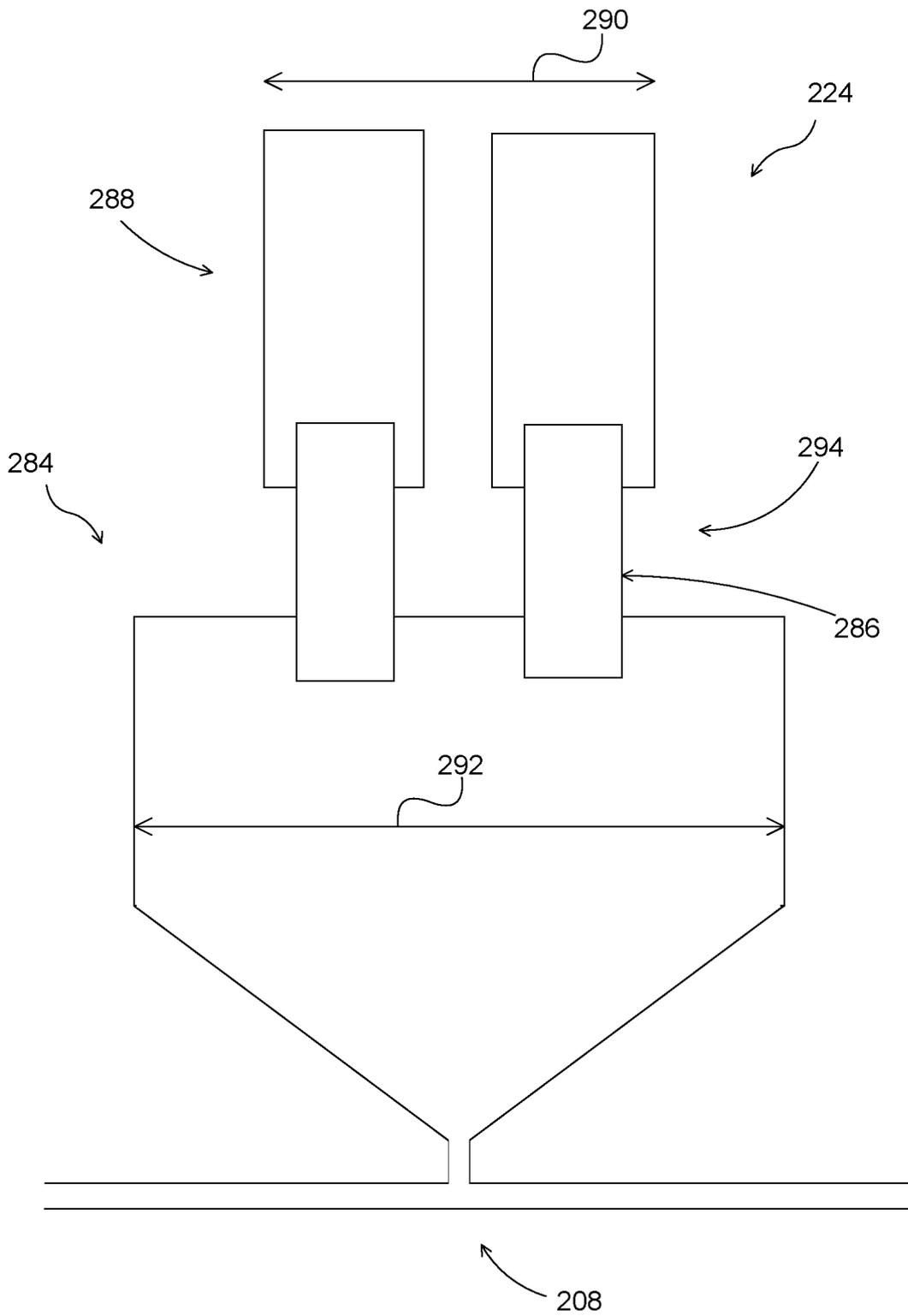


Fig. 2C

510000

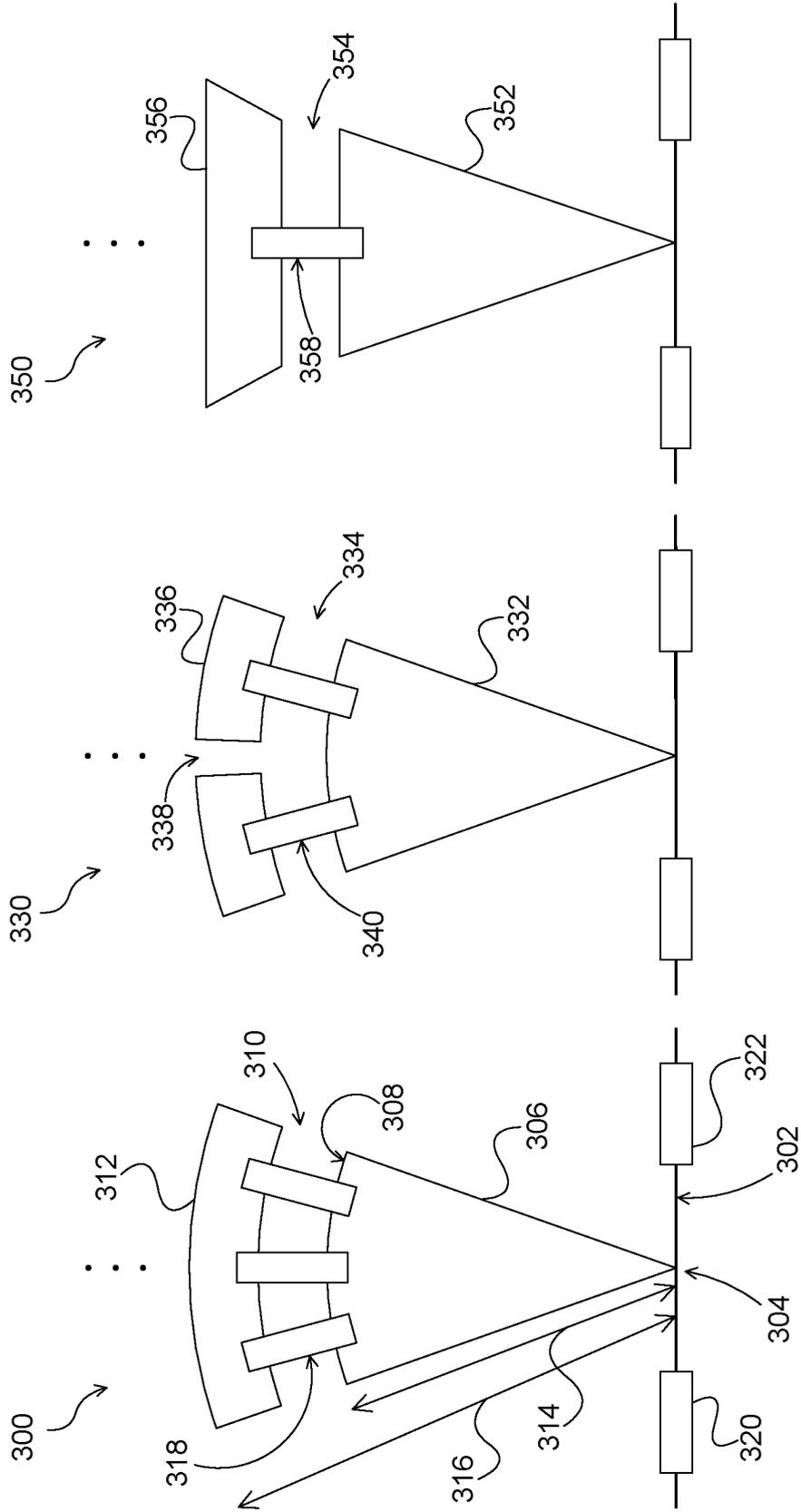


Fig. 3C

Fig. 3B

Fig. 3A

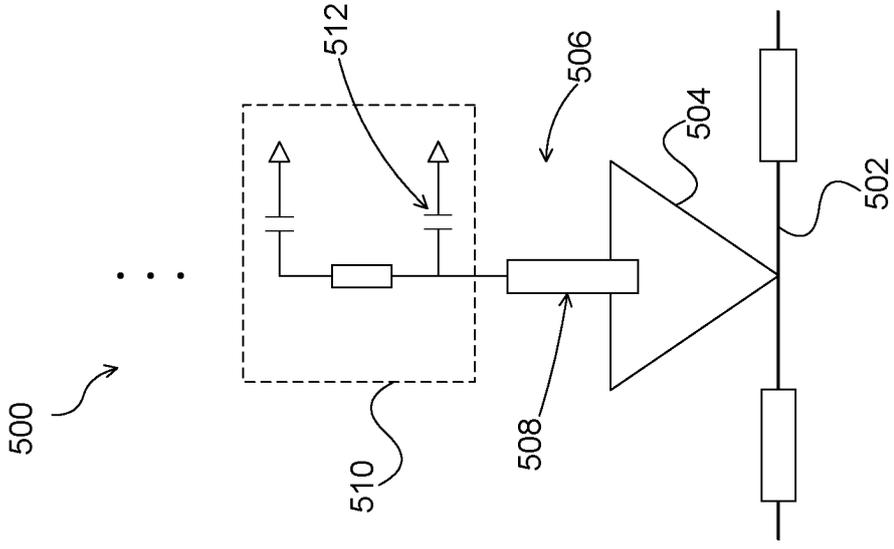


Fig. 5

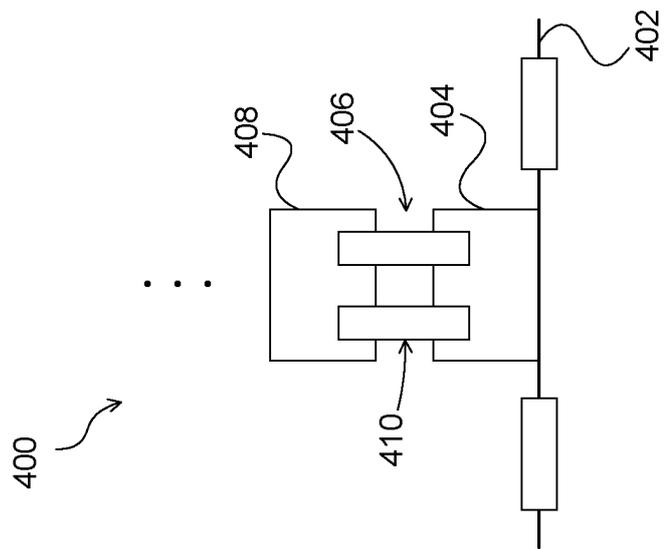


Fig. 4

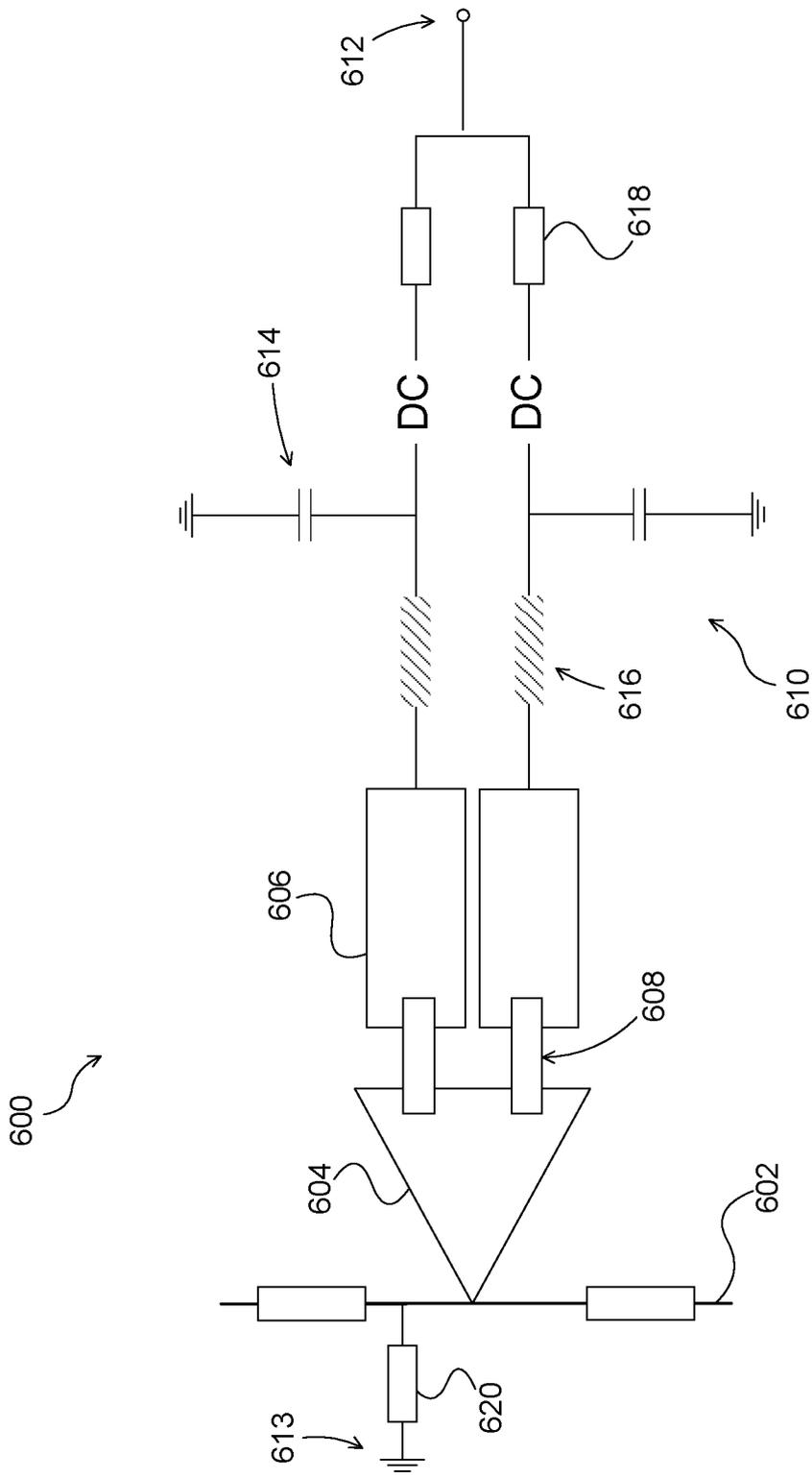


Fig. 6

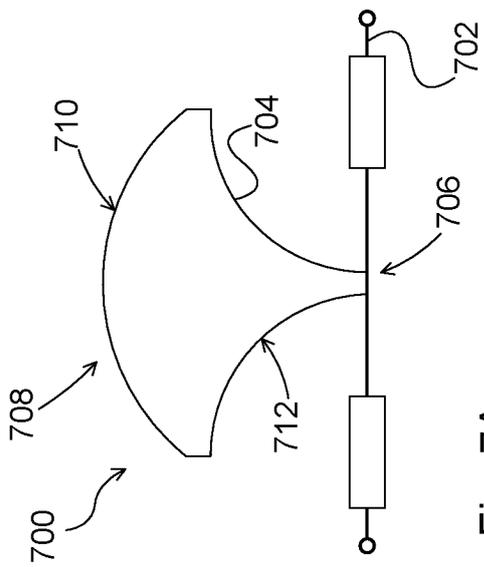


Fig. 7A

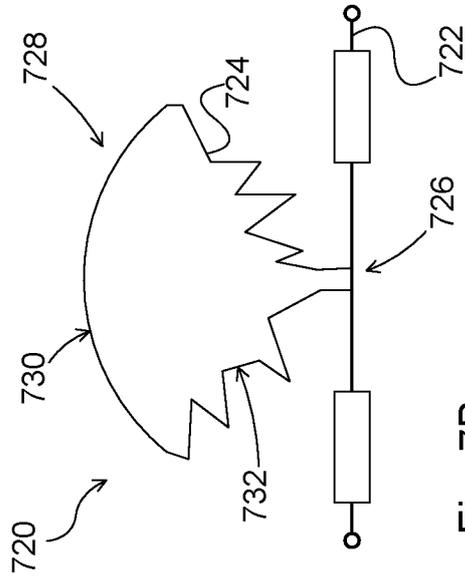


Fig. 7B

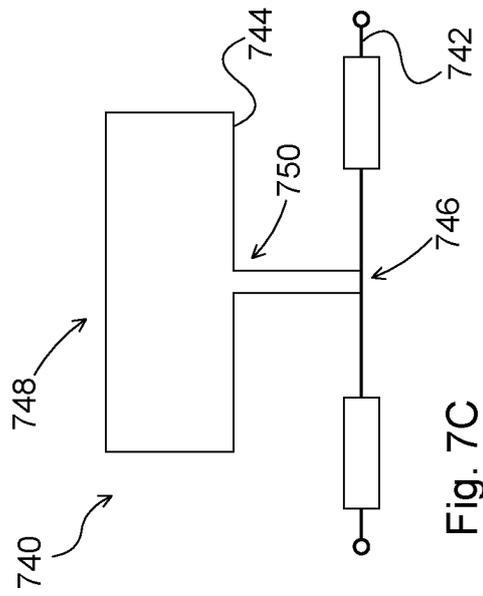


Fig. 7C

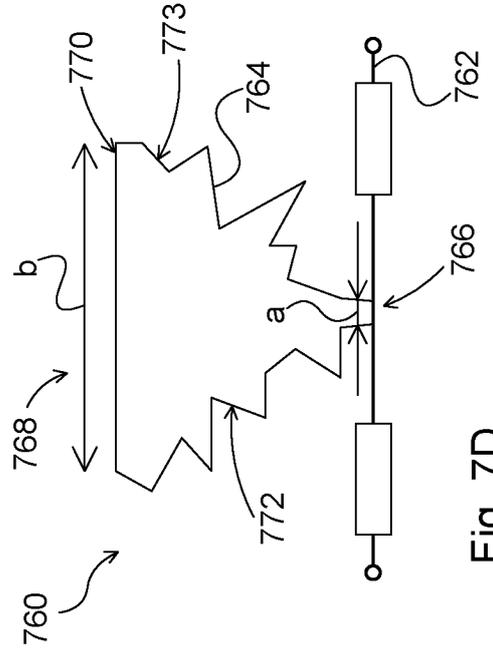


Fig. 7D