



12 **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

45 Date de publication du fascicule du brevet :  
**09.11.94 Bulletin 94/45**

51 Int. Cl.<sup>5</sup> : **H01P 7/08, H01P 1/203**

21 Numéro de dépôt : **89400242.7**

22 Date de dépôt : **27.01.89**

54 **Circuit résonnant et filtre utilisant ce circuit.**

30 Priorité : **29.01.88 FR 8801060**

43 Date de publication de la demande :  
**02.08.89 Bulletin 89/31**

45 Mention de la délivrance du brevet :  
**09.11.94 Bulletin 94/45**

84 Etats contractants désignés :  
**DE FR GB**

56 Documents cités :  
**EP-A- 0 071 508**  
**FR-A- 2 248 621**  
**US-A- 4 121 182**  
**US-A- 4 641 116**

56 Documents cités :  
**1986 IEEE-MTT-S INTERNATIONAL MICRO-  
WAVE SYMPOSIUM DIGEST, Baltimore, Mary-  
land, 2-4 juin 1986, pages 411-414, IEEE, New  
York, US; M. MAKIMOTO et al.: " Varactor  
tuned bandpass filters using microstrip-line  
ring resonators "  
**IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE AND  
TECHNIQUES, vol. MTT-35, no. 12, décembre  
1987, pages 1288-1295, IEEE, New York, US; K.  
CHANG et al.: "On the study of microstrip ring  
and varactor-tuned ring circuits "****

73 Titulaire : **FRANCE TELECOM**  
**6, Place d'Alleray**  
**F-75015 Paris (FR)**  
Titulaire : **TELEDIFFUSION DE FRANCE**  
**10, rue d'Oradour sur Glane**  
**F-75932 Paris Cédex 15 (FR)**

72 Inventeur : **Havot, Henry**  
**13 rue de la Prée**  
**F-35510 Cesson-Sévigné (FR)**

74 Mandataire : **Mongrédien, André et al**  
**c/o BREVATOME**  
**25, rue de Ponthieu**  
**F-75008 Paris (FR)**

**EP 0 326 498 B1**

Il est rappelé que : Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

## Description

La présente invention a pour objet un circuit résonnant et un filtre utilisant ce circuit. Le domaine technique de l'invention est la radioélectricité, l'électronique, le filtrage et le multiplexage de fréquences, etc...

L'invention trouve une application particulière dans la réalisation de stations de réception de signaux de télévision diffusés par satellites.

L'un des problèmes posés dans cette technique est de réaliser, dans la station de réception, un filtre fonctionnant dans la bande de fréquences 950-1750 MHz et permettant de réaménager très facilement les plans de fréquences, en fonction des disponibilités en canaux et de la demande des usagers.

Parmi les nombreux types de filtres existants (du type à cellules LC couplées, hélicoïdaux, coaxiaux, à quartz, à guide d'onde, à résonateur diélectrique,...), il n'en existe pas qui présente à la fois un faible coût, une grande facilité de réglage, une bonne stabilité et une plage de fonctionnement allant de fréquences aussi basses que quelques dizaines de mégahertz à des fréquences supérieures à 2000 MHz.

La présente invention a justement pour but de remédier à cette carence en proposant un circuit et un filtre qui présentent tous ces avantages.

On connaît des résonateurs en anneau fonctionnant selon le principe de l'établissement d'un régime d'ondes stationnaires. Un ruban conducteur (ou micro-ruban) est utilisé dont la longueur est égale à la longueur d'onde associée à la fréquence de résonance (ou éventuellement à la demi-longueur d'onde).

De tels résonateurs en anneau sont décrits par exemple dans l'article intitulé "On the Study of Microstrip Ring and Varactor-Tuned Ring Circuits" publié dans la revue IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. MIT-35, n°12, Décembre 1987, pp. 1288-1294 ou encore dans le brevet des Etats-Unis d'Amérique US-A-4,121,182 pour "Electrical Tuning Circuit", ou encore dans le brevet des Etats-Unis d'Amérique US-A-4,641,116 pour "Microwave Filter", ou encore dans la demande de brevet français FR-A-2 248 621 pour "Dispositif micro-ondes muni d'un résonateur demi-onde" et enfin dans la demande de brevet européen EP-A-0 071 508 pour "Filtre hyperfréquence de petites dimensions à résonateurs linéaires".

Dans cet art antérieur la forme du ruban est limitée à quelques formes simples aptes à conduire à une forte surtension. On trouve donc en pratique toujours des anneaux circulaires ou éventuellement des U. Par ailleurs, dans cet art antérieur, la dimension du circuit est, par essence, de l'ordre de la longueur d'onde. Dès que la fréquence devient basse, les dimensions du résonateur deviennent prohibitives. Par exemple, à 30 MHz un résonateur de l'art antérieur constitué par un ruban circulaire aura un diamètre de

1,60 m.

La présente invention a justement pour but de remédier à ces inconvénients. A cette fin elle préconise un circuit résonnant utilisant encore un ruban conducteur mais dans des conditions de fonctionnement très différentes de celles de l'art antérieur. Dans l'invention, le ruban joue le rôle d'inductance pure dans la bande d'utilisation du circuit. Pour ce faire, sa longueur est prise inférieure à  $\lambda/8$ , si  $\lambda$  est la longueur d'onde associée à la fréquence de travail du résonateur.

Il est à noter que des boucles résonnantes comportant une boucle microruban interrompue de longueur  $\lambda/8$  et un condensateur dans l'ouverture sont déjà connues de l'art antérieur, voir par exemple le document "1986 IEEE-MTT-S INTERNATIONAL MICROWAVE SYMPOSIUM DIGEST, Baltimore, Maryland, 2-4 juin 1986, pages 411-414, IEEE, New York, US; M. MAKIMOTO et al.: "Varactor tuned band-pass filters using microstrip-line ring resonators".

Le fait que le ruban soit un simple élément inductif entraîne que sa forme n'est en rien critique. Il est donc possible de retenir toute forme désirée, en particulier des formes qui permettent un repliement du ruban pour obtenir un gain de place.

Par ailleurs, la limitation de la longueur du ruban en-dessous de  $\lambda/8$ , a pour effet de diminuer l'encombrement du circuit. Combinée à la faculté de repliement, cette disposition permet d'obtenir des circuits de très faibles dimensions. Ainsi, pour reprendre l'exemple d'un circuit résonnant à 30 MHz, l'invention permet de construire un circuit de 15x2 centimètres, à comparer à l'anneau de 1,60 m de diamètre de l'art antérieur : la réduction dans les dimensions est donc d'un facteur 10.

Si cette réduction est particulièrement appréciable lorsque la fréquence est basse, puisqu'elle permet d'éviter des filtres d'encombrement prohibitif, elle n'est pas négligeable pour autant lorsque la fréquence est élevée, car alors le filtre présente alors des dimensions tellement faibles qu'une intégration devient possible.

La présente invention a pour objet un filtre comprenant plusieurs circuits résonnants tels qu'ils ont été définis plus haut. Ces circuits (identiques ou différents) sont couplés les uns aux autres. Le couplage est serré, critique ou lâche selon le cas. Comme la forme du ruban n'est pas critique, ainsi qu'il a été souligné plus haut, on a toute latitude pour choisir la forme la mieux appropriée au couplage choisi.

L'invention trouve ainsi un vaste domaine d'application. Des filtres de 30 MHz à 2 ou 3 GHz peuvent être réalisés. La bande passante va de quelques fractions de pourcent à environ 10%.

De toute façon, les caractéristiques de l'invention apparaîtront mieux à la lumière de la description qui suit. Cette description porte sur des exemples donnés à titre explicatif et non limitatif et elle se réfère à

des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 montre un circuit résonnant,
- la figure 2 illustre le schéma électrique équivalent du circuit résonnant,
- la figure 3 montre une variante à ruban triangulaire,
- la figure 4 illustre une variante à contour replié,
- la figure 5 montre un filtre selon l'invention dans sa totalité,
- la figure 6 donne les dimensions d'un filtre selon un exemple de réalisation,
- la figure 7 montre une caractéristique d'atténuation d'un filtre passe-bande conforme à l'invention, dans une plage allant de 1 MHz à 2000 MHz,
- la figure 8 montre l'atténuation de ce même filtre autour de la fréquence centrale, dans une bande de largeur 100 MHz,
- la figure 9 montre la caractéristique d'un filtre passe-bande selon l'invention autour de la fréquence centrale dans une bande de 40 MHz,
- la figure 10 montre une autre caractéristique (temps de groupe) d'un filtre passe-bande selon l'invention autour de la fréquence centrale, dans une bande de 100 MHz.

Un circuit résonnant selon l'invention est représenté sur la figure 1, en vue de dessus (a), en coupe (b) et dans une variante à boîtier métallique (c). Cet élément comprend un substrat plan 10, en matériau diélectrique (par exemple en verre époxy, en téflon,...). Sur la face inférieure de ce substrat, on trouve dans la variante des figures (a) et (b), une couche conductrice 12 (en cuivre par exemple) formant plan de masse et sur la face supérieure, un microruban 14 en matériau conducteur (en cuivre par exemple). Dans la variante de la figure c, le circuit est disposé dans un boîtier métallique 20 et le plan de masse est constitué par les parois métalliques 22 inférieure et supérieure. Le microruban dessine un contour "ouvert" en ce sens qu'il entoure incomplètement une partie du plan. En d'autres termes, il présente au moins une ouverture. Sur la figure 1, ce contour est rectangulaire et l'ouverture (unique) est référencée 16. Connecté à travers cette ouverture se trouve un condensateur 18 réglable ou ajusté une fois pour toutes.

Le schéma électrique équivalent est représenté sur la figure 2 en considérant encore l'élément en vue de dessus (a) et en coupe (b) dans la variante où le plan de masse est disposé sous le substrat. Sur cette figure, on voit une inductance L, due au microruban non rectiligne, un condensateur d'accord Ca connecté entre les extrémités du ruban, et des condensateurs parasites Cp, qui correspondent au volume séparant le microruban et le plan de masse.

Le fonctionnement de ce résonateur est alors le suivant.

On désigne par  $l$  la longueur du microruban et par

$\lambda$  la longueur d'onde dans le substrat à la fréquence de fonctionnement. La longueur  $l$  est toujours inférieure ou égale à  $\lambda/8$  pour pouvoir être assimilé à un élément de self indépendant de la fréquence.

Soit  $f_0$  la fréquence centrale du filtre à réaliser ; cette fréquence est déterminée par la relation classique :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

où L est l'inductance et C la capacité équivalente du résonateur.

On commence par déterminer une valeur de L réalisable pratiquement. On détermine pour cela la longueur d'onde  $\lambda_0$  dans le substrat correspondant à  $f_0$ , puis la valeur de  $\lambda_0/8$  et on choisit une longueur de microruban inférieure à cette valeur. La valeur de l'inductance L peut être obtenue de manière approchée par la formule :

$$L = l \times \frac{Z}{v} \quad (2)$$

Dans cette expression :

- L est la valeur de l'inductance exprimée en Henry,
- l est la longueur du microruban, en mètre,
- Z est l'impédance de la ligne, en Ohm, et
- v est la vitesse de phase.

On a par ailleurs :

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \quad (3)$$

expression dans laquelle :

- c est la vitesse de phase dans le vide (soit  $3 \cdot 10^8$  m/s),
- $\epsilon_{\text{reff}}$  est la constante diélectrique efficace du substrat, soit

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 10 \frac{h}{W}}} \quad (4)$$

où :

- $\epsilon_r$  est la constante diélectrique du substrat,
- h est l'épaisseur du substrat,
- W est la largeur du microruban.

La valeur Cp de la capacité parasite peut être obtenue par une formule du type :

$$C_p \approx 17,7 \epsilon_r H \left(\frac{2h}{W}\right) \quad (5)$$

où H désigne un coefficient, fonction de la géométrie du circuit.

La valeur de la capacité d'accord Ca à placer entre les deux extrémités du ruban se déduit de la formule (1), sachant que :

$$C = C_a + \frac{C_p}{2} \quad (6)$$

Ainsi, se trouvent définis les paramètres du circuit résonnant. La longueur du microruban couplé et le degré de couplage sont déterminés expérimentalement.

Quand la fréquence  $f_0$  croît, la valeur et les di-

mensions des éléments L et C décroissent et l'on se heurte à une limite dans la réalisation pratique du filtre. Mais cette limite peut être dépassée si l'on répartit la capacité le long du microruban.

Sur la figure 3, par exemple, on voit que le contour (qui est triangulaire) dessiné par le microruban présente deux ouvertures 16, 16' (au lieu d'une seule). Chacune peut être pourvue d'un condensateur réglable 18, 18'. Chaque condensateur peut alors avoir une capacité de 2 Ca.

Naturellement, on pourrait utiliser plus de deux condensateurs, le cas échéant.

Pour repousser encore ces limites, on peut utiliser un substrat ayant une faible constante diélectrique (les relations 2-3 et 4 montrent en effet que si  $\epsilon_r$  diminue  $\epsilon_{\text{reff}}$  diminue,  $v$  augmente et L diminue pour une longueur l donnée).

Inversement, quand la fréquence  $f_0$  décroît, la valeur et les dimensions des éléments L et C croissent et l'on atteint une autre limite à la réalisation pratique du filtre. Pour la franchir, il est possible de réduire les dimensions de la cellule en repliant le microruban comme illustré sur la figure 4. Mais cette solution réduit la longueur de couplage avec la cellule suivante.

La figure 5 montre un filtre complet composé de cinq circuits C1 à C5 sur un substrat unique 10 avec une microbande d'entrée E et une microbande de sortie S.

On notera également que le filtre de l'invention utilise en entrée et en sortie un couplage direct qui réalise l'adaptation entre le premier et le dernier résonateurs et les circuits d'utilisation.

Dans le cas illustré sur la figure 5, les contours dessinés par le microruban sont rectangulaires, deux contours adjacents ayant deux côtés parallèles. Mais on pourrait utiliser aussi des circuits triangulaires par exemple montés tête-bêche.

Dans une autre variante on peut imbriquer les circuits les uns dans les autres.

La figure 6 donne les principales dimensions d'un exemple de filtre conçu pour présenter une fréquence centrale  $f_0$  égale à 1131,620 MHz. Les dimensions sont en millimètres. Les condensateurs sont réglables de 0,5 à 5 pF. Le substrat est en verre époxy de 16/10 de mm d'épaisseur.

Dans cet exemple de réalisation, les contours dessinés par les microrubans sont en forme de U, c'est-à-dire de rectangles auxquels il manque un côté. L'orientation de ces U alterne d'un résonateur à l'autre, de sorte que les condensateurs sont placés des deux côtés du filtre, tantôt en haut, tantôt en bas (au sens de la figure 6).

Les figures 7, 8 et 9 montrent la caractéristique d'atténuation d'un filtre obtenu selon l'invention, avec des échelles de fréquence (en abscisses) différentes. Sur la figure 7, la courbe va de 1 à 2000 MHz ; sur la figure 8, la largeur de la bande de mesure est de 100 MHz ; sur la figure 9, elle est de 40 MHz.

La courbe de la figure 10 représente la caractéristique de temps de groupe du filtre en nanoseconde par division.

Naturellement, si la description qui précède met l'accent sur des contours rectangulaires ce n'est qu'à titre explicatif. Toute autre forme est possible : triangulaire, circulaire, elliptique, en losange, etc.

## 10 Revendications

1. Filtre à résonateurs plans, constitué par au moins deux résonateurs couplés, chaque résonateur comprenant :

- un conducteur (12) formant plan de masse,
- en regard de ce plan de masse, un microruban conducteur (14) déposé sur l'une des faces d'un substrat diélectrique, ce microruban dessinant un contour ayant un premier côté coupé par une ouverture (16), un deuxième et un troisième côtés non coupés et adjacents au premier côté, et éventuellement un quatrième côté opposé au premier côté, la longueur du microruban étant inférieure à  $\lambda/8$ , où  $\lambda$  est la longueur d'onde associée à la fréquence de résonance du résonateur,
- un condensateur (18) connecté à travers l'ouverture (16) coupant le premier côté,

ce filtre étant caractérisé par le fait que :

- a) il comprend plus de deux résonateurs couplés disposés en cascade (C1, C2, C3, C4, C5),
- b) les résonateurs couplés sont disposés de telle sorte que les deuxième et troisième côtés non coupés de deux résonateurs adjacents soient placés côte à côte, le couplage électrique entre deux résonateurs adjacents (C1, C2), (C2, C3), (C3, C4), (C4, C5) s'effectuant par ces deuxième et troisième côtés ; les premiers côtés des résonateurs avec leurs condensateurs ainsi que les quatrièmes côtés éventuels, étant disposés le long des côtés longitudinaux du filtre tantôt sur un des côtés longitudinaux, tantôt sur l'autre,
- c) le premier résonateur (C1) du filtre est relié à une entrée générale par un microruban d'entrée (E) relié directement au microruban du premier résonateur, ce microruban d'entrée (E) réalisant une adaptation entre le premier résonateur (C1) et des circuits d'utilisation,
- d) le dernier résonateur (C5) du filtre est relié à une sortie générale par un microruban de sortie (S) relié directement au microruban du dernier résonateur, ce microruban de sortie (S) réalisant une adaptation entre le dernier résonateur (5) et des circuits d'utilisation.

2. Filtre selon la revendication 1, caractérisé par le fait que chaque microruban ne comprend que trois côtés et présente une forme triangulaire, les différents triangles des différents résonateurs étant montés tête-bêche.

5

3. Filtre selon la revendication 1, caractérisé par le fait que chaque microruban comprend une partie repliée.

10

## Claims

1. A filter with flat resonators, comprised of at least two coupled resonators, each resonator comprising:

15

- a conductor (12) forming an earthing plane,
- opposite this earthing plane, a conductor micro tape (14) disposed on one of the faces of a dielectric substrate, this micro tape defining a contour having a first side interrupted by an opening (16), a second and a third side which are uninterrupted and are adjacent to the first side, and possibly a fourth side facing the first side, the length of the micro tape being less than  $\lambda/8$ , where  $\lambda$  is the wavelength associated with the resonance frequency of the resonator,
- a capacitor (18) connected across the opening (16) interrupting the first side,

20

25

30

this filter being characterised in that:

- a) it comprises more than two coupled resonators disposed in cascade (C1, C2, C3, C4, C5),
- b) the coupled resonators are disposed such that the second and third uninterrupted sides of two adjacent resonators are placed side by side, the electrical coupling between two adjacent resonators (C1, C2), (C2, C3), (C3, C4), (C4, C5) being effected by the second and third sides; the first sides of the resonators with their capacitors as well as the possible fourth sides being disposed along the longitudinal sides of the filter alternately on one of the longitudinal sides then the other,
- c) the first resonator (C1) of the filter is connected to a general input by an input micro tape (E) connected directly to the micro tape of the first resonator, this input micro tape (E) producing an adaptation between the first resonator (C1) and load circuits,
- d) the last resonator (C5) of the filter is connected to a general output by an output micro tape (S) connected directly to the micro tape of the last resonator, this output micro tape (S) producing an adaptation between the last resonator (5) and load circuits.

35

40

45

50

55

2. A filter according to claim 1, characterised in that each micro tape only comprises three sides and is triangular in shape, the different triangles of the different resonators being mounted head to tail.

3. A filter according to claim 1, characterised in that each micro tape comprises a folded part.

## Patentansprüche

1. Filter mit Flächenresonatoren, gebildet durch wenigstens zwei gekoppelte Resonatoren, wobei jeder Resonator umfaßt:

- einen die Masseebene bildenden Leiter (12),
- dieser Masseebene gegenüberstehend ein leitendes Mikrobändchen (14), aufgebracht auf eine der Seiten eines dielektrischen Substrats, wobei dieses Mikrobändchen eine Kontur beschreibt, die eine erste, durch eine Öffnung (16) unterbrochene Seite aufweist sowie eine zweite und eine dritte Seite, nichtunterbrochen und an an die erste Seite anschließend, und eventuell eine vierte, der ersten gegenüberliegende Seite, wobei die Länge des Mikrobändchens kleiner als  $\lambda/8$  ist, wobei  $\lambda$  die der Resonanzfrequenz des Resonators zugeordnete Wellenlänge ist,
- einen Kondensator (18), quer eingeschaltet in die Öffnung (16), die die erste Seite unterbricht,

wobei dieses Filter **dadurch gekennzeichnet** ist:

- a) daß es mehr als zwei in Kaskadenschaltung angeordnete gekoppelte Resonatoren (C1, C2, C3, C4, C5) umfaßt,
- b) daß die gekoppelten Resonatoren so angeordnet sind, daß die zweiten und dritten nichtunterbrochenen Seiten von zwei benachbarten Resonatoren sich Seite an Seite befinden, wobei die elektrische Kopplung zwischen zwei benachbarten Resonatoren (C1, C2), (C2, C3), (C3, C4), (C4, C5) über die zweiten und dritten Seiten erfolgt; daß die ersten Seiten der Resonatoren mit ihren Kondensatoren sowie die eventuellen vierten Seiten angeordnet sind längs der Längsseiten des Filters, einmal auf einer der Längsseiten, einmal auf der anderen,
- c) daß der erste Resonator (C1) des Filters mit einem Generaleingang verbunden ist durch ein Eingangsmikrobändchen (E), direkt verbunden mit dem Mikrobändchen des ersten Resonators, wobei dieses Eingangsmikrobändchen (E) eine Adaptierung herstellt zwischen dem ersten Resonator (C1) und den

Anwendungs-bzw. Ausgangsschaltungen,  
d) daß der letzte Resonator (C5) verbunden  
ist mit einem Generalausgang durch ein Aus-  
gangsmikrobändchen (S), direkt verbunden  
mit dem Mikrobändchen des letzten Resona-  
tors, wobei dieses Ausgangsmikrobändchen  
(S) eine Adaptierung herstellt zwischen dem  
letzten Resonator (5) und den Anwendungs-  
bzw. Ausgangsschaltungen.

5

10

2. Filter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
daß jedes Mikrobändchen nur drei Seiten umfaßt  
und eine dreieckige Form aufweist, wobei die  
verschiedenen Dreiecke der verschiedenen Re-  
sonatoren entgegengesetzt angeordnet sind.

15

3. Filter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
daß jedes Mikrobändchen einen einwärtsgebo-  
genen Teil aufweist.

20

25

30

35

40

45

50

55

6

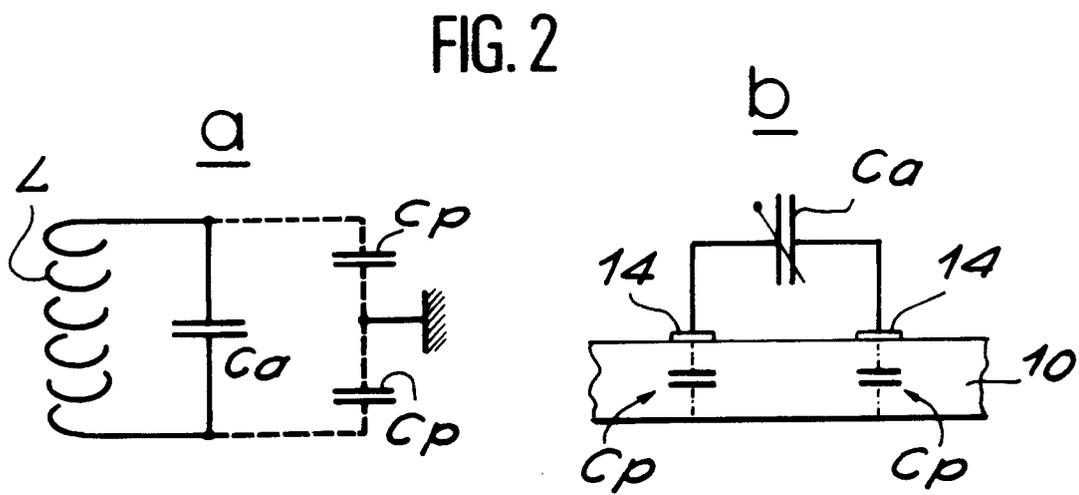
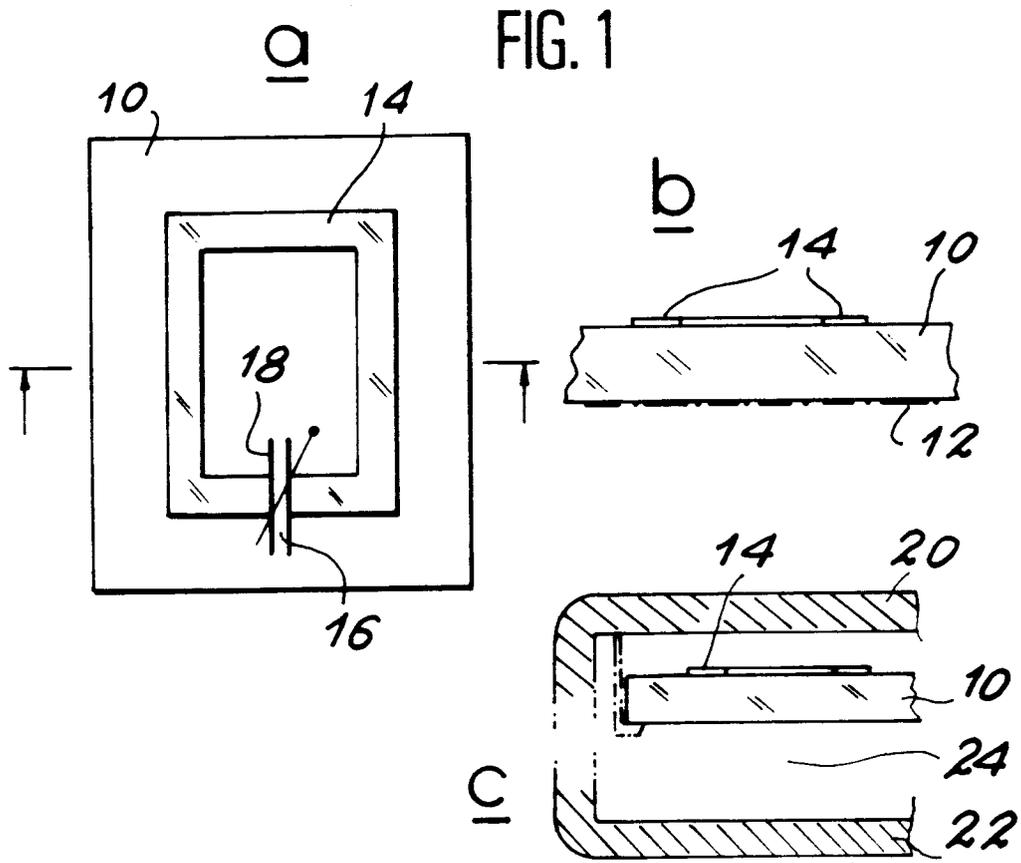


FIG. 3

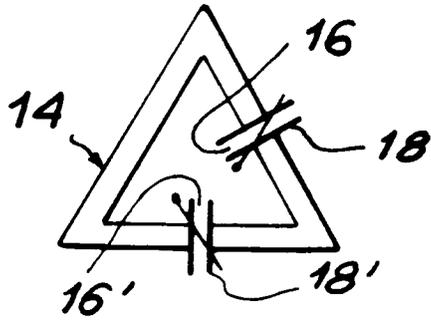


FIG. 4

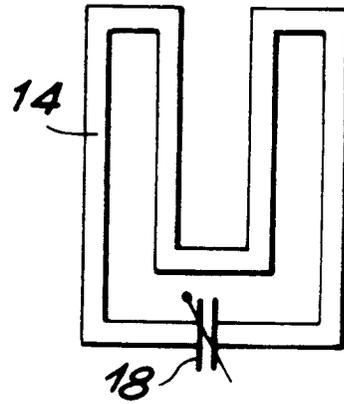


FIG. 5

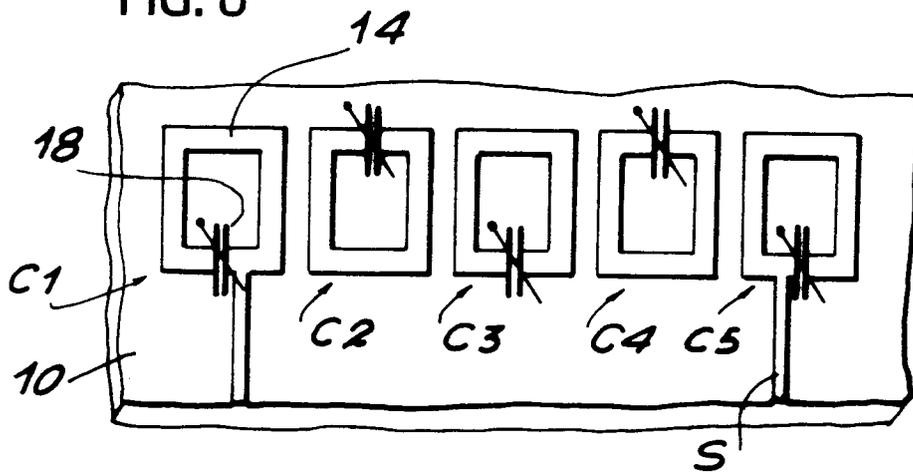


FIG. 6

