



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI0804306-0 A2**

(22) Data de Depósito: 07/10/2008
(43) Data da Publicação: 13/07/2010
(RPI 2062)



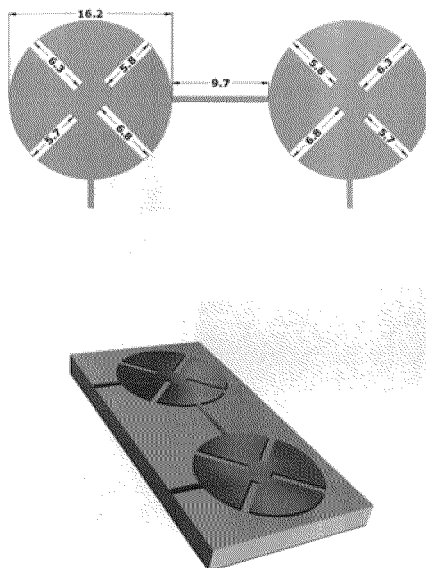
(51) *Int.Cl.:*
H01P 1/201
H01P 1/16

(54) Título: **FILTRO DE MICROONDAS PASSA-FAIXA PLANAR TRIPLO-MODO**

(73) Titular(es): Universidade de São Paulo - USP

(72) Inventor(es): Ariana Maria da Conceição Lacorte Caniato
Serrano, Fátima Salete Correra

(57) Resumo: FILTRO DE MICROONDAS PASSA-FAIXA PLANAR TRIPLO-MODO. A presente invenção refere-se a um filtro de microondas passa-faixa planar, compreendendo um filtro passa-faixa triplo-modo com um único ressoador de geometria circular bidimensional (patch) com quatro fendas radiais e linhas de transmissão de entrada e saída do sinal de microondas diretamente acopladas ao ressoador bidimensional (patch).





**FILTRO DE MICROONDAS PASSA-FAIXA PLANAR TRIPLO-MODO
CAMPO DA INVENÇÃO**

A presente invenção se refere de um modo geral a um filtro de microondas passa faixa planar "triplo-modo", mais especificamente, se refere a um filtro de microondas passa faixa planar "triplo-modo" usando um ressoador do tipo bidimensional ("patch") circular com quatro fendas radiais.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

Os filtros são basicamente classificados em quatro tipos, de acordo com sua característica de resposta em frequência: filtro passa-baixa, que transmite com mínima perda as frequências abaixo de sua frequência de corte, enquanto as frequências acima dela são atenuadas; filtro passa-faixa, que transmite uma faixa de frequências com baixas perdas e atenua as demais frequências; filtro passa-alta, ao contrário do filtro passa-baixa, atenua as frequências abaixo de sua frequência de corte, enquanto transmite as frequências acima dela com mínima perda; e filtro rejeita-faixa, que rejeita ou atenua uma faixa determinada de frequências, transmitindo as demais com baixas perdas.

Um filtro é formado pelo acoplamento de linhas de entrada e de saída de sinal a um ou mais ressoadores acoplados entre si.

Filtros em RF/Microondas são essenciais para sistemas de comunicação receptores ou transmissores de sinais. Os filtros são utilizados para atenuar os sinais em bandas de frequências indesejadas, ao mesmo tempo em que permitem sua passagem na banda desejada com perdas mínimas.

Nas últimas décadas, verificou-se uma grande expansão dos sistemas de comunicação sem fio, que transmitem sinais de microondas portadores de informação, seja ela voz, imagem ou dados. Nesses sistemas de comunicação modernos, são cada vez mais necessários filtros com baixas perdas, baixo custo, facilidade de fabricação, miniaturização, leveza, além de rejeição de respostas espúrias. Particularmente nas áreas de

comunicação móvel e por satélite, onde a facilidade de integração e a redução do tamanho dos circuitos são expectativas do mercado, os filtros planares *patch dual-mode*, se destacam por apresentarem tais características.

5 Filtros planares são vantajosos por serem de fácil fabricação, teste e integração em circuitos e sistemas. Os recentes avanços das ferramentas computacionais de *Computer Aided Design* (CAD) e simuladores eletromagnéticos (EM) *full-wave* foram tais que revolucionaram o projeto de filtros de
10 microondas, permitindo o estudo de novas topologias. Além disso, a ampla variedade de substratos para circuitos planares de microondas, disponíveis no mercado internacional, dão flexibilidade ao projetista para escolher o melhor compromisso entre dimensões, desempenho elétrico e custo.

15 Com isso, diversos tipos de filtros planares com as mais variadas características vêm sendo demonstrados, especialmente do tipo passa-faixa. Esse tipo de filtro pode ser formado por ressoadores unidimensionais, como de linhas acopladas, *meander loop*, *loop* aberto ou anéis ou por ressoadores
20 bidimensionais, como os *patches*. Os filtros *patch* apresentam baixas perdas no condutor e boa capacidade de potência, embora sofram perdas por irradiação, quando comparados aos filtros unidimensionais. Os filtros, em geral, podem ser projetados para operar como *single-mode* ou *dual-mode*.

25 O termo *single-mode* significa que cada ressoador que forma o filtro determina um pólo em sua banda de passagem e *dual-mode* significa que cada ressoador que forma o filtro determina dois pólos em sua banda de passagem. Filtros *dual-mode* têm características mais atrativas quando comparados aos
30 *single-mode*, apresentando configuração mais compacta e maior controle de banda de passagem de sinal.

 Ressoadores são estruturas que ressoam em frequências bem determinadas, dependentes da tecnologia, geometria e materiais que os compõem. Uma das aplicações de ressoadores é
35 a formação de filtros. Os ressoadores de microondas podem ser construídos em variadas tecnologias, como cavidades em guia

de onda, ressoador dielétrico e ressoador planar. A geometria dos ressoadores pode ser circular, elíptica, quadrada, retangular, em anel, etc. e utilizar os diversos materiais dielétricos disponíveis.

5 Filtros planares podem ser classificados em filtros unidimensionais ou bidimensionais, dependendo do tipo de ressoador utilizado.

Os filtros planares unidimensionais são aqueles cujos ressoadores são formados por microlinhas de transmissão. Os
10 mais convencionais filtros unidimensionais são os filtros com degrau de impedância, filtros de linhas acopladas pela extremidade ou paralelamente, filtros *hairpin*, filtros interdigitais e filtros *compline*. Os filtros com degrau de impedância são largamente utilizados em filtros passa-baixa,
15 enquanto os outros são utilizados em filtros passa-faixa.

Filtros passa-faixa planares bidimensionais (*Filtros patch*) se diferenciam dos filtros apresentados acima. Neles, o estudo foi baseado nas características das linhas de transmissão utilizadas como ressoadores e do acoplamento
20 entre elas. O filtro *patch* deixa a convencional utilização de microlinhas como ressoador e parte para a utilização de outras figuras geométricas, deixando as microlinhas apenas para as interfaces de entrada e de saída sendo, então, um filtro bidimensional. A análise de campos EM desses
25 ressoadores em forma de figuras geométricas é fundamental para o entendimento do funcionamento dos filtros *patch*. Os ressoadores planares podem ser tratados como cavidade em guia de onda, cujas camadas superior e inferior são paredes elétricas perfeitas, cercadas lateralmente por paredes
30 magnéticas perfeitas. Assim, considera-se que os campos EM no ressoador planar bidimensional são do tipo Transversal Magnético na direção do eixo z perpendicular ao plano terra (TM^z), cuja formulação é bem conhecida e foi utilizada para a análise dos campos. Cada modo ressoa em uma determinada
35 frequência, na qual há mínima atenuação. O primeiro modo, denominado fundamental ou dominante, ressoa na menor

freqüência permitida pelas características do ressoador. Acima dessa, há outros modos ressonantes, que geram bandas de passagem espúrias na resposta em freqüência do filtro.

ESTADO DA TÉCNICA

5 A patente US 7.042.314, publicada em 09/05/2006, "*Dielectric Mono-Block Triple-Mode Microwave Delay Filter*" descreve um filtro de retardo que usa um ressoador triple-mode mono-bloco e uma única estrutura de acoplamento inter-ressoadores tendo menor volume e capacidade mais elevada de
10 manipulação de potência. O ressoador mono-bloco triple-mode tem três ressoadores em um bloco. Uma sonda de entrada/saída é conectada a cada bloco dielétrico metalizado para transmitir sinais de microondas. Cortes de canto acoplam um modo orientado em uma direção a um modo orientado em uma
15 segunda direção mutuamente ortogonais. Uma abertura entre os dois blocos acopla todos os seis modos ressonantes e gera dois acoplamentos indutivos por campos magnéticos entre dois modos e um acoplamento capacitivo por campos elétricos. As sondas de entrada/saída acoplando os cortes de canto e
20 aberturas são alinhadas, tal que, todos os seis ressoadores sejam acoplados no valor e sinal desejado, assim retardo constante sobre o sinal transmitido dentro de certa largura de banda pode ser alcançado. Ao ligar as sondas de entrada e saída ao circuito impresso da base, o filtro de retardo é
25 capaz de ser montado em superfície.

 O documento WO 93/01626, publicado em 21/01/93, "*Triple Mode Microwaver Filter*" descreve um filtro de microondas triple mode compreendendo uma primeira e segunda cavidade ressonantes (10, 20) acopladas pelo alinhamento da íris (6,
30 7) em que acopla apenas um único modo ressonante da primeira cavidade a apenas um único modo ressonante da segunda cavidade. Os pólos de atenuação do filtro podem ser selecionados independentemente um do outro: a passa-faixa tem seis pólos e o filtro é capaz de uma resposta de função-
35 elíptica.

A patente EP 0 789 417, publicado em 03/04/2002 "Dielectric Resonator" descreve um ressoador dielétrico que inclui um orifício cilíndrico (4b) formado na intersecção de dois elementos ressoador (2a, 2b) formando um elemento
5 ressoador dielétrico duplo-modo TM (2). O orifício (4b) estende-se em uma direção em toda a espessura do elemento ressoador dielétrico duplo-modo TM (2). Além disso, um orifício em forma de pirâmide quadrangular (4a) tendo uma extremidade fechada é formado em cada parte de conexão entre
10 cada elemento ressoador (2a, 2b) e uma parede da cavidade, de modo que cada orifício (4a) estende-se da superfície externa da parede da cavidade em direção a porção interna de cada elemento ressoador (2), onde a parede interna de cada orifício (4a) é coberta com um condutor (3a) eletricamente
15 conectado a um condutor de cavidade (3). As formas dos orifícios acima (4a, 4b) são determinadas, de modo a que o elemento ressoador dielétrico duplo-modo TM (2) tenha a mesma frequência de ressonância para os dois modos TM_{110} e TM_{210} . O referido arranjo faz com que seja possível fornecer um
20 ressoador dielétrico de baixo custo e alto desempenho tendo características semelhantes aqueles de um ressoador dielétrico triple-mode, e que pode ser produzido em um pequeno tamanho. Porém, esta patente não trata de um ressoador triple-mode.

25 A patente US 4.675.630, publicado em 23/06/1987 "Triple Mode dielectric Loaded Bandpass Filter" descreve um filtro passa faixa triple mode dieletricamente carregado tendo pelo menos uma cavidade ressonante com três modos ortogonais independentes. Uma cavidade triple mode pode ser montada
30 adjacente a cavidades single, dual ou triple mode. Acoplamento de inter-cavidade é alcançado através da íris com duas aberturas separadas que juntas formam uma forma-T. As cavidades podem ser montadas planares. O filtro é designado para utilização na indústria da comunicação via satélite e
35 resulta em economias substanciais em termos de peso e tamanho, quando comparado aos filtros anteriores.

Os documentos de filtros triple-mode supracitados, utilizam-se de cavidades ressonantes, projetados com o objetivo principal de se obter maior redução em tamanho do que os filtros dual-mode. Portanto, não existem referências
5 de filtro passa-faixa triple-mode em tecnologia planar utilizando um único ressoador.

As maiores dificuldades e desvantagens de desempenho dos filtros passa-faixa planares patch single-mode e dual-mode relatados na literatura são: altas perdas por irradiação e/ou
10 banda de passagem espúria na faixa de frequência da segunda harmônica, transmitindo espúrios indesejados para o sistema e/ou bandas de passagem relativamente estreitas; área ocupada pelo filtro relativamente grande e pouca flexibilidade de projeto de filtros quanto a largura de banda de passagem e
15 frequência central.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Para solucionar os problemas acima mencionados, a presente invenção propiciará vantagens significativas em relação aos filtros planares de microondas existentes
20 possibilitando um aumento do seu desempenho e apresentando uma relação custo/benefício mais favorável.

A presente invenção se refere a filtro de microondas do tipo passa-faixa, construído em tecnologia planar de linhas de transmissão, que utiliza um ressoador do tipo
25 bidimensional (patch) com geometria circular contendo quatro fendas dispostas radialmente e posicionadas a 90° das fendas adjacentes. As fendas alteram a distribuição de campos eletromagnéticos dos três primeiros modos ressoantes do ressoador bidimensional (patch) circular, cujas frequências
30 de ressonância se aproximam, compondo a banda de passagem do filtro. Dessa forma, obtém-se um filtro triple-mode, que apresenta uma resposta em frequência de terceira ordem com o uso de um único ressoador, o que resulta em significativa miniaturização do mesmo. As dimensões das fendas controlam as
35 características da resposta em frequência do filtro, dando flexibilidade ao projeto.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A estrutura e operação da invenção, juntamente com vantagens adicionais da mesma podem ser mais bem entendidas mediante referência aos desenhos em anexo e a seguinte
5 descrição:

Fig. 1 representa uma vista em perspectiva do filtro passa-faixa bidimensional circular triplo-modo da presente invenção.

Fig. 2 representa uma vista frontal do filtro passa-faixa bidimensional circular triplo-modo da presente
10 invenção.

Fig. 3 representa uma vista lateral do filtro passa-faixa bidimensional circular triplo-modo da presente invenção.

Fig. 4 representa uma vista frontal do ressoador bidimensional (patch) circular triplo-modo da presente
15 invenção.

Fig. 5 representa um leiaute do filtro passa-faixa bidimensional (patch) circular triplo-modo (dimensões em mm).

Fig. 6 representa um gráfico de resposta em frequência na banda de passagem do filtro passa-faixa bidimensional circular triplo-modo.
20

Fig. 7 representa um gráfico de resposta em frequência em banda larga do filtro passa-faixa bidimensional circular triplo-modo.
25

Fig. 8 representa um leiaute do filtro bidimensional (patch) circular triplo-modo de sexta ordem (dimensões em mm).

Fig. 9 representa uma vista em perspectiva do filtro bidimensional (patch) circular triplo-modo de sexta ordem.
30

Fig. 10 representa um gráfico de resposta em frequência na banda de passagem do filtro bidimensional circular triplo-modo de sexta ordem.

Fig. 11 representa um gráfico de resposta em frequência em banda larga do filtro bidimensional circular triplo-modo de sexta ordem.
35

DESCRIÇÃO DETALHADA DA MODALIDADE PREFERIDA

Embora uma modalidade preferida da presente invenção seja mostrada e descrita, é previsto que aqueles versados na técnica podem elaborar várias modificações da presente invenção sem se afastar de seu espírito e escopo.

A presente invenção é um filtro passa-faixa formado por um ressoador patch e linhas de transmissão de entrada e de saída, construídos em tecnologia planar sobre um substrato dielétrico de microondas. O filtro é apresentado genericamente na Figura 1.

As linhas de entrada e saída do sinal do filtro são linhas de transmissão planares diretamente acopladas ao ressoador patch. Essas linhas estão dispostas perpendicularmente entre si e alinhadas diametralmente com o ressoador, conforme mostra a Figura 2.

O substrato é uma camada dielétrica com baixas perdas em frequências de microondas. As faces inferior e superior do substrato são recobertas por uma camada condutora. Na face superior do substrato são gravados o ressoador patch e as linhas de acesso do filtro, sendo que a metalização da face inferior do mesmo constitui o plano terra do filtro, conforme mostra a Figura 3.

O ressoador patch tem geometria circular, na qual existem quatro fendas retangulares distribuídas radialmente a partir das bordas do círculo, separadas de 90° , como apresentado na Figura 4. O par de fendas A-A' é constituído por fendas de mesmas dimensões, o mesmo ocorrendo com o par de fendas B-B'. No entanto, cada um desses pares utiliza fendas com comprimentos distintos de modo a separar as frequências dos modos fundamentais degenerados TM_{110} .

A presente invenção foi desenvolvida baseada em ressoadores bidimensionais patch com geometria regular circular. Esses ressoadores, além da geometria regular, apresentam eixos de simetria bem definidos e, por isso, suportam modos ressonantes degenerados, que são de interesse para projeto de filtros *multi-modo*.

O filtro passa-faixa é utilizado em sistemas de comunicação de microondas permitindo que determinada faixa de frequências seja transmitida para o restante do sistema sem perdas significantes, ao mesmo tempo em que rejeita
5 frequências fora de sua banda de passagem.

A presente invenção é um filtro passa-faixa circular triplo-modo que acopla três dos modos ressonantes presentes no ressoador bidimensional (patch), sendo que cada um desses modos determina um pólo de frequência na banda de passagem do
10 filtro. Os três modos acoplados são os dois modos fundamentais degenerados - modos transversais magnéticos TM_{110} - e o segundo modo de ressonância - modo transversal magnético TM_{210} .

Para os modos se acoplarem, é necessária a alteração ou
15 perturbação do ressoador. As fendas utilizadas na geometria circular do ressoador bidimensional provocam essa perturbação (ver Figuras 1, 2 e 3). A posição, o comprimento e a largura das fendas determinam o melhor acoplamento dos três modos. Cada par de fendas presente no ressoador reduz
20 individualmente a frequência de um dos modos fundamentais degenerados, ao mesmo tempo em que ambos os pares reduzem a frequência do segundo modo de ressonância. Portanto, a presença dos dois pares de fendas faz com que a frequência do segundo modo de ressonância seja reduzida mais fortemente,
25 aproximando-se da frequência dos modos fundamentais degenerados. A diferença de dimensões entre cada par de fendas provoca a separação das frequências de ressonância dos modos fundamentais degenerados obtendo-se, então, o acoplamento desses três modos.

30 Acoplando os três modos citados, cada ressoador patch circular com quatro fendas pode ser modelado por uma função de transferência de terceira ordem, ou seja, cada ressoador faz o papel de três ressoadores single-mode. Portanto, o filtro que utiliza este ressoador alcança ótimo nível de
35 miniaturização, redução de peso e maior largura de banda de passagem.

Como a frequência do segundo modo de ressonância do filtro é reduzida para formar sua banda de passagem, obtêm-se alta rejeição na faixa de frequência de segunda harmônica.

5 As linhas de entrada e saída do sinal são posicionadas de forma a excitar os citados modos de ressonância no ressoador circular. As linhas são diretamente conectadas ao ressoador para diminuir as perdas por irradiação do filtro.

10 O ajuste das dimensões das fendas permite a alteração da frequência central do filtro e da largura de sua banda de passagem, o que torna o projeto do filtro passa-faixa bastante flexível. A Tabela I apresenta os resultados das simulações computacionais eletromagnéticas tridimensionais desse filtro, considerando-se o uso do substrato Rogers 3010, com constante dielétrica relativa de 10,2 e espessura de
15 0,635 mm. Os resultados consideram perdas de transmissão menores que 1 dB e perdas de reflexão maiores que 10 dB na banda de passagem.

Tabela I - Simulações da presente invenção variando-se o comprimento das fendas.

Comprimento da fenda (mm)		Frequência Central (GHz)	Largura de banda de 3 dB (%)
A & A'	B & B'	f_0	BW
6,6	7,3	2,08	27,0
6,3	7,1	2,20	28,1
6,3	6,9	2,28	24,4
6,1	6,9	2,29	28,1
5,8	6,8	2,38	13,6
5,8	6,7	2,39	29,8
5,8	6,6	2,42	28,8
5,8	6,4	2,50	25,8
5,5	5,7	2,90	13,8
5,5	5,6	2,94	13,0
5,4	5,6	2,94	14,1

20 A fabricação desse filtro envolve técnicas tradicionais de fotogração de circuito impresso, com leiaute sem nenhuma trilha ou fenda com dimensões críticas para fabricação, facilitando sua construção e reduzindo seu custo.

25 Um filtro passa-faixa circular triplo-modo de três pólos foi construído, segundo a invenção, na frequência central de

2,45 GHz com banda de passagem de 3 dB de 30%, usando o substrato Rogers 3010. A Figura 5 apresenta o leiaute desse filtro.

5 A Figura 6 apresenta a resposta em frequência do filtro na banda de passagem e a Figura 7 apresenta a resposta em frequência do filtro em banda larga obtida experimentalmente, bem como os resultados das simulações computacionais correspondentes. Esse filtro resultou em uma significativa miniaturização, apresentando redução de 51% em área em
10 relação a um filtro usando ressoador patch circular single-mode.

O ressoador bidimensional (*patch*) operando em *triplo-modo* permite a realização de filtros de ordem mais elevada, por meio do acoplamento de dois ou mais desses ressoadores.
15 As Figuras 8 e 9 apresentam um filtro passa-faixa circular *triplo-modo* de sexta ordem, empregando dois ressoadores da presente invenção em cascata. A resposta em frequência desse filtro obtida através de simulação computacional eletromagnética tridimensional é apresentada nas Figura 10 e
20 11.

A presente invenção possui desempenho que supera todas as dificuldades supracitadas, caracterizando-se por baixas perdas, boa rejeição na faixa de frequência da segunda harmônica, banda larga de passagem, alto nível de
25 miniaturização e grande flexibilidade de projeto. Além disso, sua fabricação é simples e de baixo custo e um leiaute inovador que emprega um ressoador bidimensional (*patch*) circular modificado pela inserção de fendas em seu interior e linhas de transmissão de entrada e saída do sinal de
30 microondas diretamente acopladas ao ressoador bidimensional (*patch*).

O leiaute do ressoador bidimensional (*patch*) da presente invenção possibilita o acoplamento de três modos de ressonância do mesmo, inovando ao apresentar um ressoador
35 bidimensional (*patch*) triplo-modo e sua aplicação em filtros passa-faixa planares de microondas.

Embora uma modalidade preferida da presente invenção seja mostrada e descrita, é previsto que aqueles versados na técnica podem elaborar várias modificações da presente invenção sem se afastar de seu espírito e escopo.

REIVINDICAÇÕES

1. Filtro de microondas passa-faixa planar triplo-modo, **caracterizado** pelo fato de que compreende:

5 um ressoador do tipo bidimensional (patch) com geometria circular, contendo quatro fendas dispostas radialmente e posicionadas a 90° das fendas adjacentes, em que o filtro triplo-modo apresenta uma resposta em frequência de terceira ordem com o uso de um único ressoador.

10 2. Filtro de microondas, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o ressoador bidimensional (patch) permite a realização de filtros de ordem mais elevada pelo acoplamento de dois ou mais desses ressoadores.

15 3. Filtro de microondas, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que as dimensões das fendas controlam as características da resposta em frequência do filtro, dando flexibilidade ao mesmo.

20 4. Filtro de microondas, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a banda de passagem é formada pelo acoplamento dos modos ressonantes degenerados TM_{110} e do modo ressonante TM_{210} .

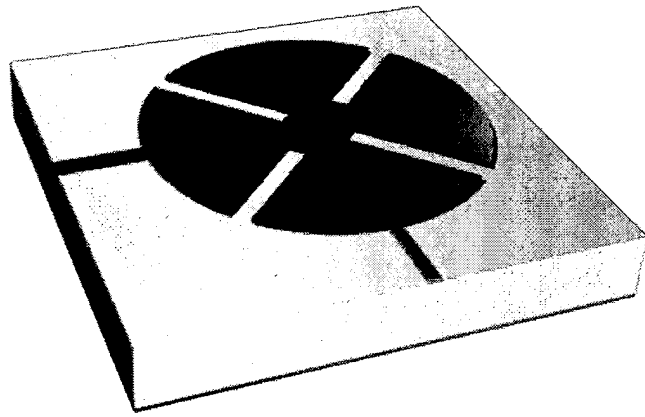


Fig. 1

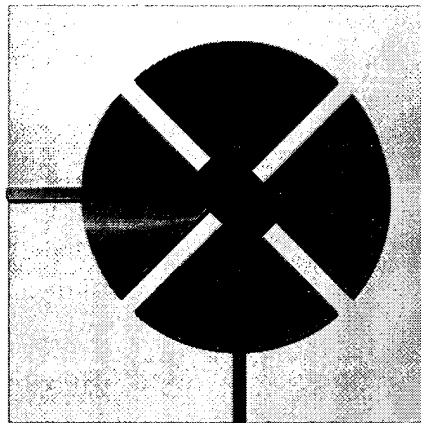


Fig 2

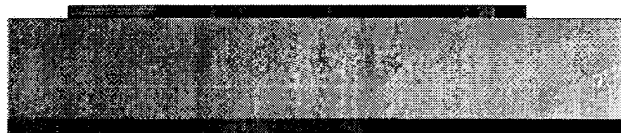


Fig. 3

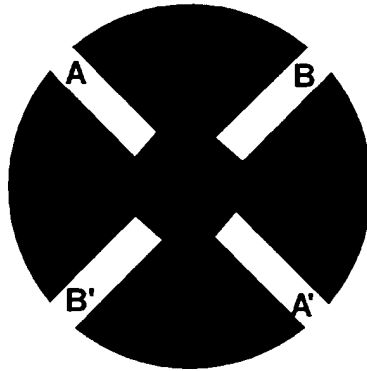


Fig 4

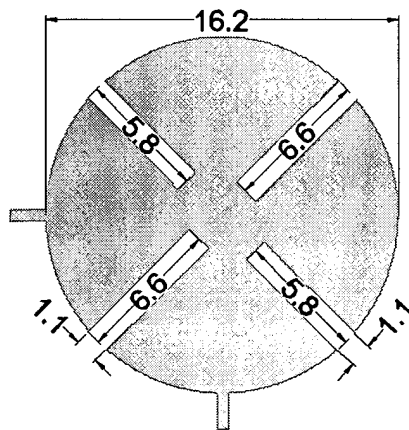


Fig 5

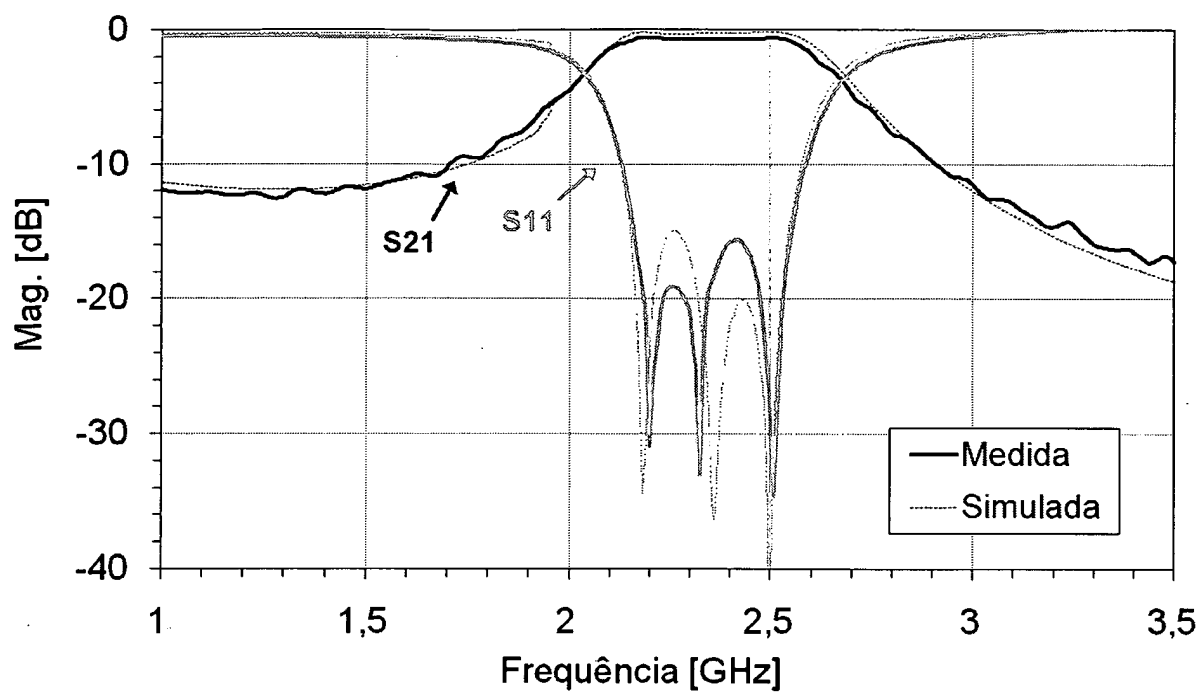


Fig. 6

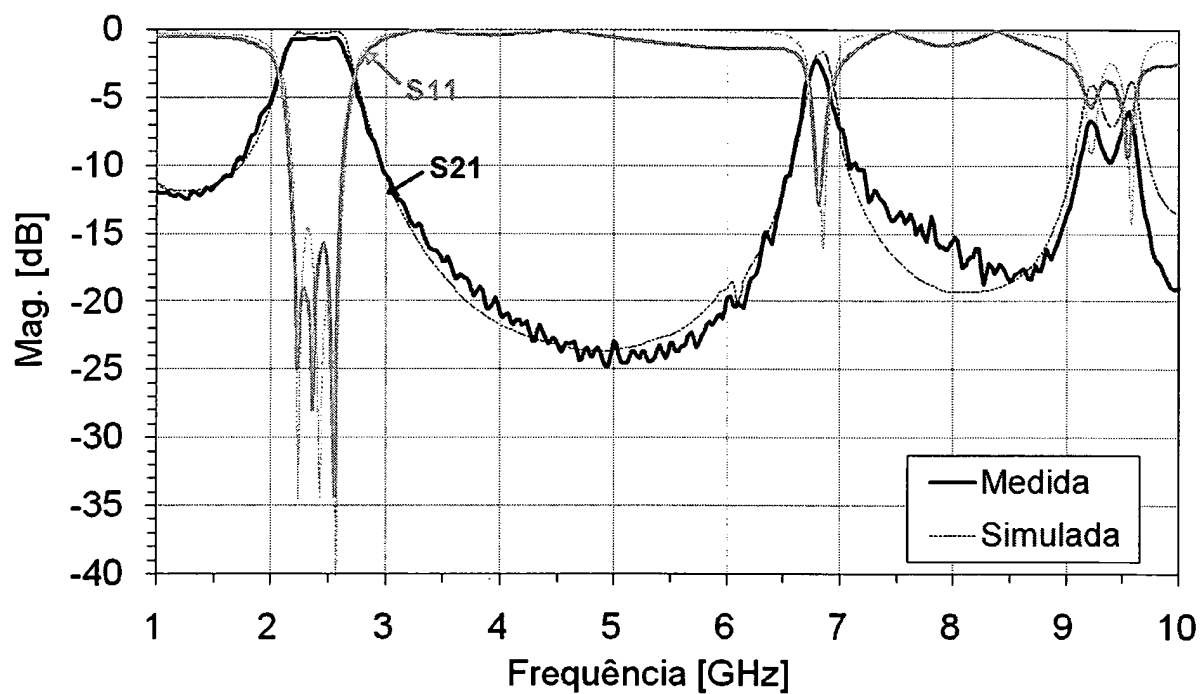


Fig. 7

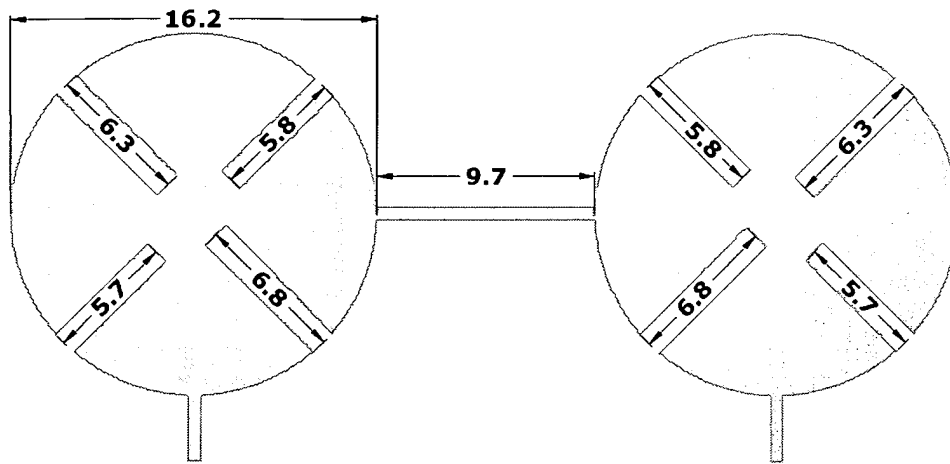


Fig. 8

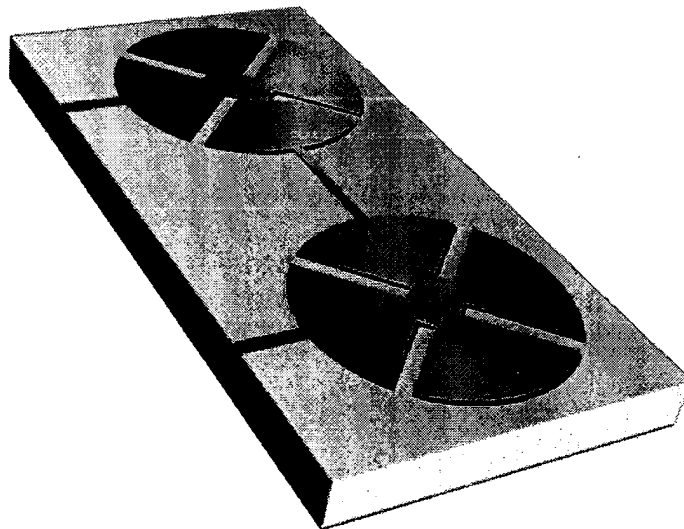


Fig. 9

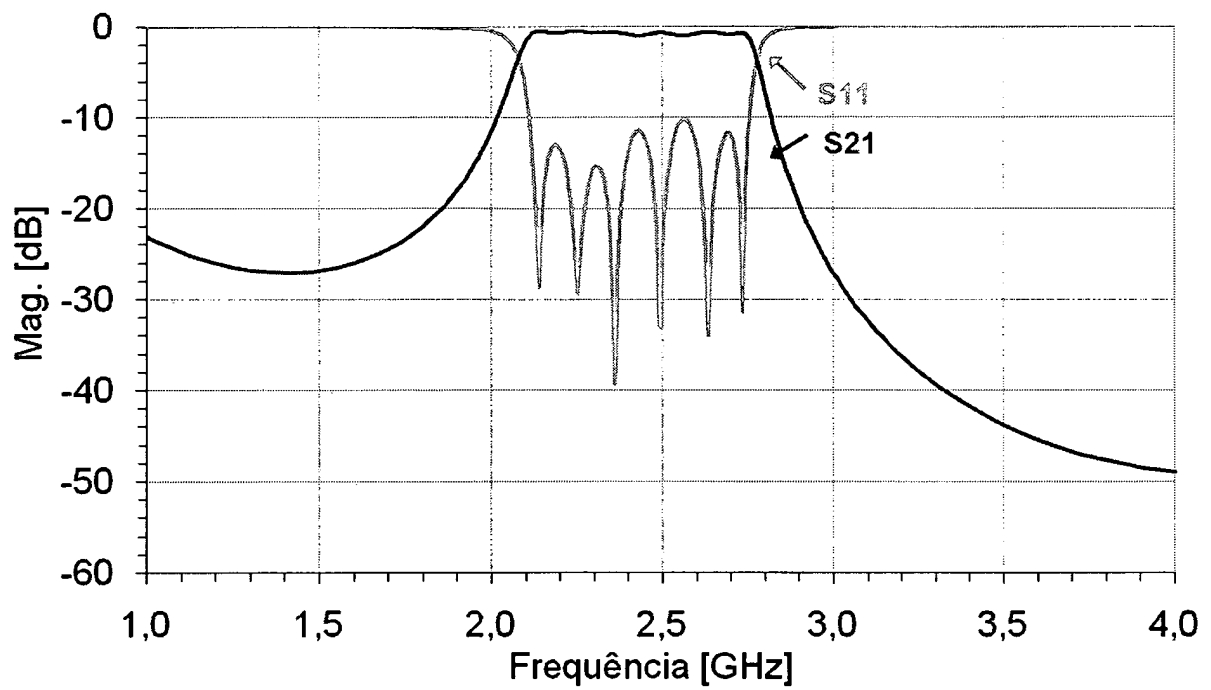


Fig. 10

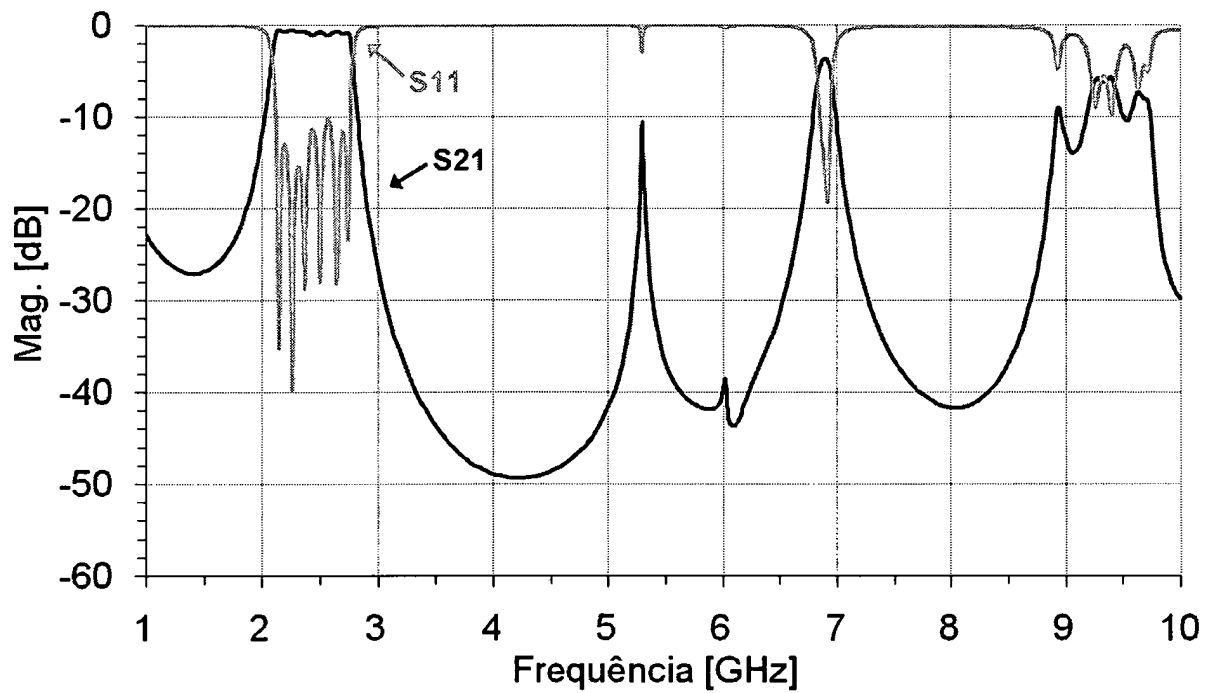


Fig. 11

P10804306-0

RESUMO**FILTRO DE MICROONDAS PASSA-FAIXA PLANAR TRIPLO-MODO**

A presente invenção refere-se a um filtro de microondas
passa-faixa planar, compreendendo um filtro passa-faixa
5 triplo-modo com um único ressoador de geometria circular
bidimensional (patch) com quatro fendas radiais e linhas de
transmissão de entrada e saída do sinal de microondas
diretamente acopladas ao ressoador bidimensional (patch).