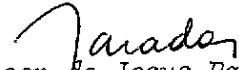


1. Publicação nº <i>INPE-3433-PRE/691</i>	2. Versão	3. Data <i>Fev., 1985</i>	5. Distribuição ☐ Interna ☒ Externa ☐ Restrita
4. Origem <i>DTL/DAF</i>	Programa <i>ETCOMS</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>MISTURADOR MICROONDAS</i>			
7. C.D.U.: <i>621.3.029.6</i>			
8. Título <i>MISTURADOR DUPLAMENTE BALANCEADO EM MICROONDAS</i>		10. Páginas: <i>07</i>	
		11. Última página: <i>06</i>	
9. Autoria <i>Lucio B.T. Cividanes</i>		12. Revisada por  <i>Carlos E. Santana</i>	
Assinatura responsável 		13. Autorizada por  <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor Geral	
14. Resumo/Notas <i>Apresenta-se um tipo de misturador duplamente balanceado que opera nas frequências de microondas e possui características de faixa larga. Os sinais de RF e do OL são acoplados aos diodos através de "baluns" formados por um fio sobre um plano de terra. Nas frequências de microondas, este "balun" substitui o transformador com ponto médio comumente usado nos misturadores balanceados em frequências mais baixas. Descreve-se um protótipo desenvolvido para a faixa de 3,7 a 4,2 GHz, com resposta de FI de "DC" a 2 GHz.</i>			
15. Observações <i>Submetido para apresentação no Simpósio Internacional de Microondas no Desenvolvimento Industrial, Brasil, de 22 a 25 de julho de 1985, Campinas, SP, Brasil.</i>			

MISTURADOR DUPLAMENTE BALANCEADO EM MICROONDAS

Lucio B. T. Cividanes

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq

Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE

12200 - São José dos Campos, SP, Brasil

ABSTRACT

This report presents a broadband double-balanced mixer operating at microwave frequencies. The RF and LO signals are coupled to the diodes using a wire close to a ground-plane transmission line balun. In the microwave region this balun substitutes the center-tapped transformer often used in the UHF band to drive the four mixer diodes. A prototype mixer is described for the RF band from 3.7 to 4.2 GHz with IF response from DC to 2 GHz.

1. INTRODUÇÃO

O misturador duplamente balanceado quando comparado com o simplesmente balanceado, ou com o misturador convencional que só usa um diodo, apresenta uma série de vantagens, entre as quais pode-se citar uma maior isolamento entre acessos e uma maior supressão de produtos de intermodulação.

Em misturadores duplamente balanceados nas frequências de UHF, é comum o uso de transformadores com ponto médio para acoplar os sinais do oscilador local (OL) e de rádio frequência (RF) aos diodos e retirar a frequência intermediária (FI) (Figura 1). Entretanto, como nas frequências de microondas não existe um equivalente exato para este tipo de transformador (pelo menos com faixa larga), o projeto de um misturador duplamente balanceado torna-se mais complexo nestas frequências.

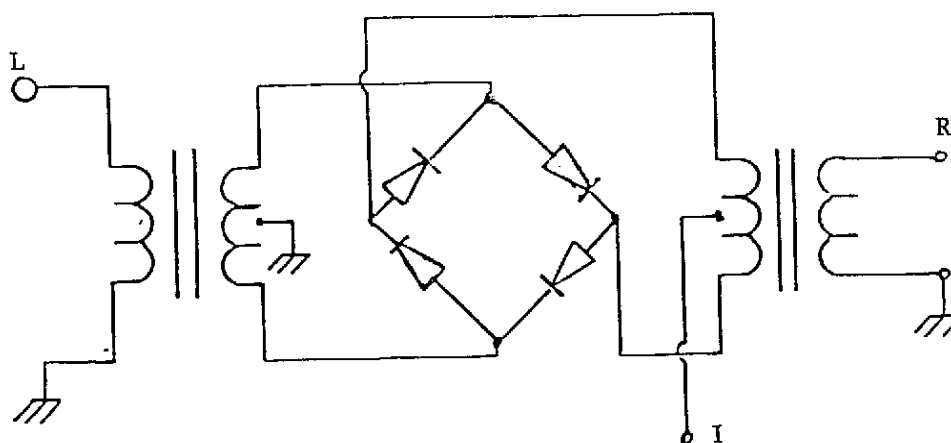


Fig. 1 - Misturador duplamente balanceado que utiliza transformadores com ponto médio.

O misturador aqui descrito utiliza um "balun" formado por um fio de cobre esmaltado, apoiado sobre uma linha em "microstrip". Este "balun" é similar ao descrito por Pflieger (1973) e mostra-se bastante adequado para acoplar os sinais do OL e de RF aos quatro diodos montados em anel.

2. DESCRIÇÃO DO "BALUN"

A Figura 2 apresenta o "balun" utilizado no misturador. Este "balun" é uma versão do tipo proposto por Marchand (1944), e descrito em sua forma coaxial por McLaughlin e Grow (1958) e em "microstrip" por Bawer e Wolfe (1960).

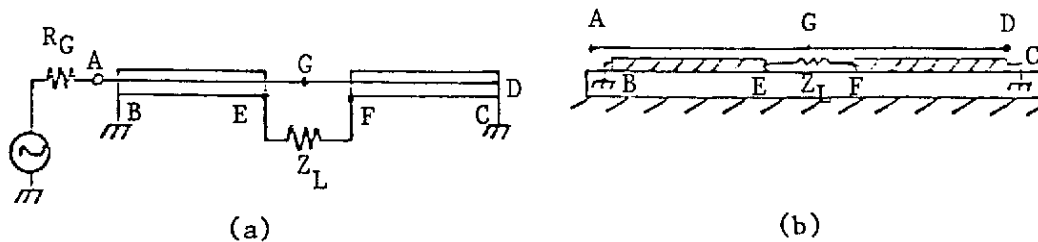


Fig. 2 - "Balun" utilizado no misturador: a) vista de cima; b) vista em corte.

Nesta versão, o "balun" consiste basicamente em um fio de cobre esmaltado, apoiado sobre uma linha em "microstrip", a qual tem as extremidades (pontos B e C, Figura 2) ligadas ao plano de terra. A entrada do "balun" (acesso desbalanceado) é no ponto A, sendo que a outra extremidade do fio (ponto D) fica apoiada sobre a linha "microstrip", sem ligação elétrica com esta, formando um trecho de linha de transmissão em aberto. O acesso balanceado é obtido entre as extremidades das linhas em "microstrip" (pontos E e F) que não estão ligadas ao plano de terra.

Na Figura 3 apresenta-se o circuito equivalente do "balun" usando linhas coaxiais. Adotou-se a seguinte nomenclatura: Z_F é a impedância da linha de transmissão formada pelo fio apoiado sobre a "microstrip", Z_M é a impedância da linha "microstrip", R_G é a impedância do gerador (acesso desbalanceado), Z_L é a impedância de carga do acesso balanceado, Z_C é a impedância de carga no acesso desbalanceado, e θ_M e θ_F são, respectivamente, os comprimentos elétricos das linhas em "microstrip" e da linha formada pelo fio sobre a "microstrip".

De acordo com a Figura 3, as impedâncias no acesso desbalanceado (Z_U) e no acesso balanceado (Z_B) são dadas por:

$$Z_U = -jZ_F \cot \theta_F + j2Z_L Z_M \tan \theta_M / (Z_L + j2Z_M \tan \theta_M)$$

$$Z_B = j2Z_M \tan \theta_M (Z_C - jZ_F \cot \theta_F) / (j2Z_M \tan \theta_M + Z_C - jZ_F \cot \theta_F),$$

sendo que:

$$Z_C = Z_F (R_G + jZ_F \tan \theta_F) / (Z_F + jR_G \tan \theta_F).$$

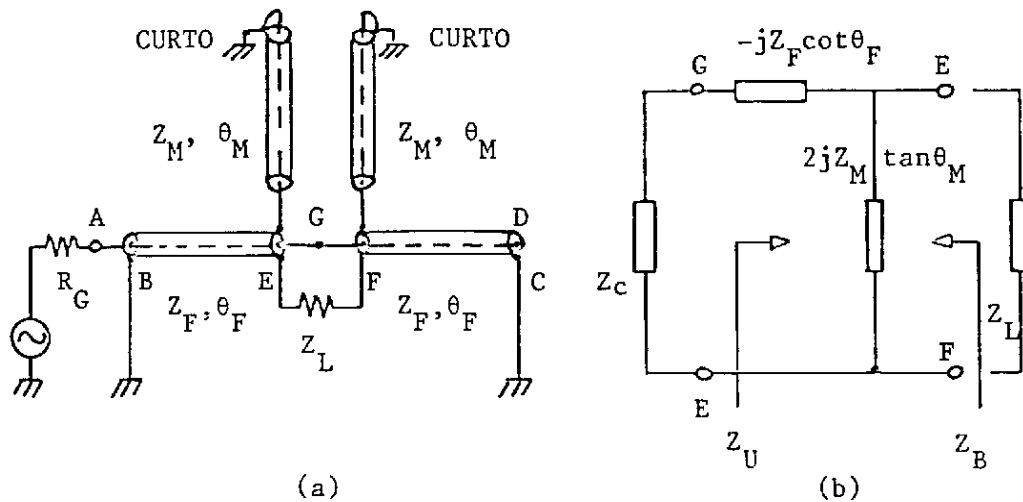


Fig. 3 - Circuito equivalente do "balun": a) com linhas coaxiais; b) convertendo os trechos de linhas em reatâncias.

Com estas expressões podem-se então calcular as VSWRs dos acessos balanceado e desbalanceado e, desta forma, determinar a resposta em frequência do "balun". Bartholomew (1977) apresenta considerações sobre a escolha de Z_F e Z_M , de modo a otimizar a faixa de operação deste tipo de "balun" quando $\theta_M = \theta_F$, e mostra resultados teóricos que indicam a possibilidade de faixas maiores do que 40:1. No misturador aqui descrito, utilizaram-se linhas com aproximadamente um quarto de comprimento de onda, e a resposta em frequência (calculada com as expressões acima) obtida foi maior que 2:1 para uma ampla variação de Z_F e Z_M .

Para o "balun" aqui descrito, observa-se que θ_F depende do comprimento da linha em "microstrip", pois esta serve de plano de terra para a linha de transmissão formada pelo fio. A análise das condições para a otimização da resposta em frequência para este caso, em que θ_M é diferente de θ_F , está em fase de conclusão, e os resultados desta análise serão divulgados posteriormente.

Como se pode observar na Figura 2, os pontos E e F (entre os quais está ligada a carga balanceada) encontram-se aterrados em termos de "DC". Deste modo, ao utilizar dois "baluns" para acoplar os sinais de RF e de OL, os quatro pontos de ligação dos diodos ficarão aterrados sob o ponto de vista de "DC", o que não é adequado para o misturador. Para evitar isto, foi utilizada uma modificação no "balun" que consiste na introdução de um outro fio, o que em termos de circuito equivalente corresponde à colocação de dois trechos de linha em série com a carga balanceada, tal como mostra a Figura 4. Este "balun" modificado foi utilizado para acoplar o sinal do OL aos diodos, enquanto o outro "balun" usado no protótipo foi o do tipo apresentado na Figura 2.

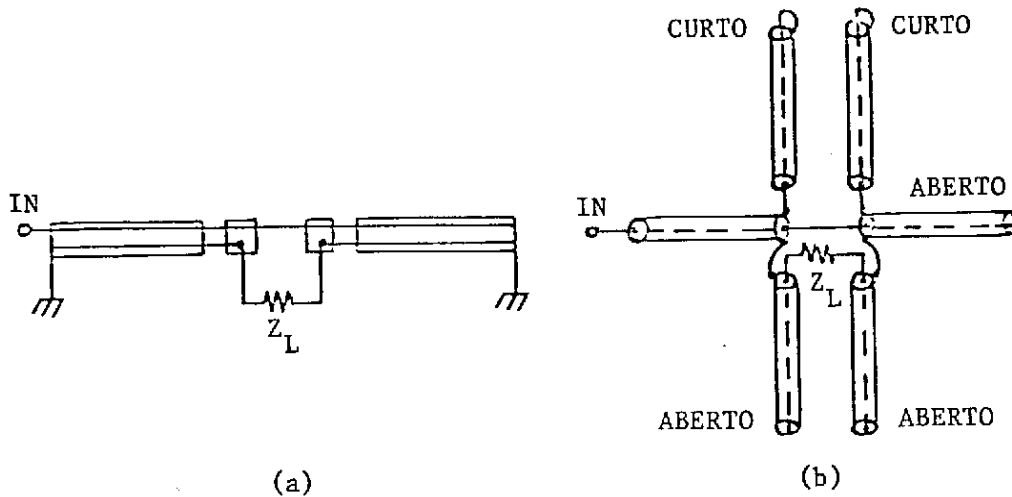


Fig. 4 - "Balun" modificado para evitar o curto "DC" entre os terminais de carga balanceada: a) circuito real; b) circuito equivalente com linhas coaxiais.

3. MISTURADOR

A Figura 5 mostra o protótipo desenvolvido para a faixa de 3,7 a 4,2 GHz, com FI de 1,2 GHz. Utilizaram-se quatro diodos em anel encapsulados em um único invólucro, da firma Microwave Associates Inc., modelo MA-40445. O circuito foi confeccionado sobre uma placa (35 x 27 mm) de substrato RT/DUROID 5880, com constante dielétrica de 2,2 e espessura de 0,787 mm (0,031"). Na montagem dos "baluns" foi usado fio de cobre esmaltado número 38 AWG. Os fios foram fixados ao dielétrico usando cola, e o ajuste do misturador é feito através de pequenos deslocamentos dos fios sobre a linha "microstrip", de modo a obter a mínima perda de conversão e a máxima isolamento possível.

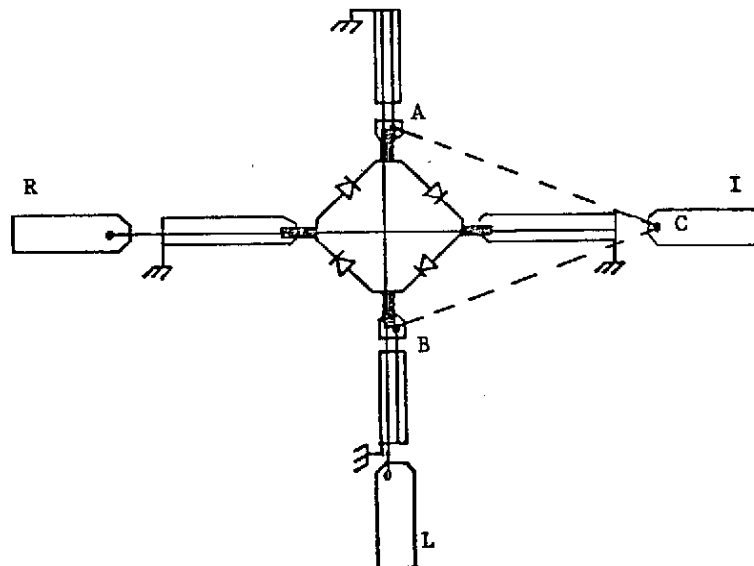


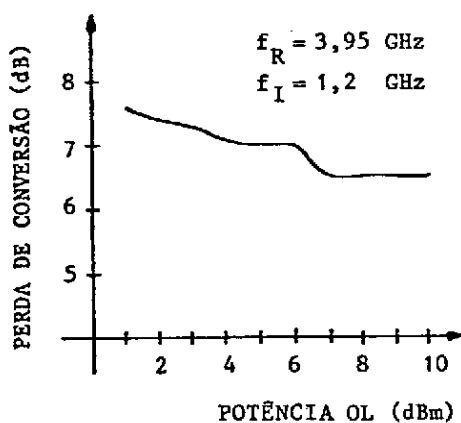
Fig. 5 - Misturador duplamente balanceado.

A FI é retirada nos pontos A e B (Figura 5) através de dois fios que passam por baixo da placa do substrato e retornam novamente à face superior no ponto C, formando dois trechos de linha de transmissão em curto que limitam a resposta em frequência da FI quando se aproximam de um quarto de comprimento de onda nesta frequência. A caixa de alumínio onde foi montado o misturador possui um rebaixo de 2 mm de profundidade para acomodar estes fios.

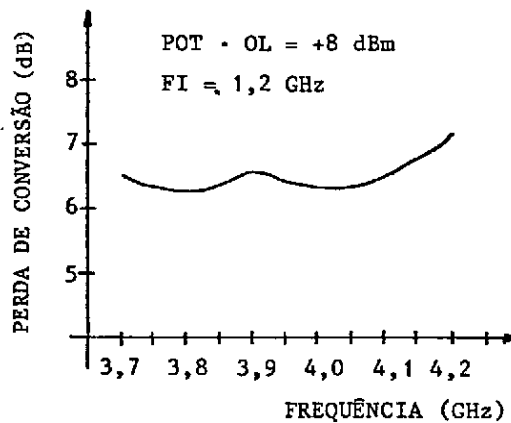
4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

A Figura 6 apresenta a variação da perda de conversão do misturador com a potência do oscilador local. Pode-se observar que a partir de +7 a +8 dBm a perda torna-se constante; esta potência de +8 dBm é um valor típico para misturadores deste tipo, e foi a potência de oscilador local usada nos outros testes com o misturador.

As Figuras 7 e 8 apresentam, respectivamente, a variação da perda de conversão na faixa de 3,7 a 4,2 GHz e a isolamento entre os acessos L-R e L-I. É interessante ressaltar que a boa isolamento obtida (mínimo de 19 dB do L para o I e 29 dB do L para o R) é devido somente à inerente simetria do circuito, não sendo usado nenhum tipo de filtro em qualquer dos acessos do misturador.



(Figura 6)

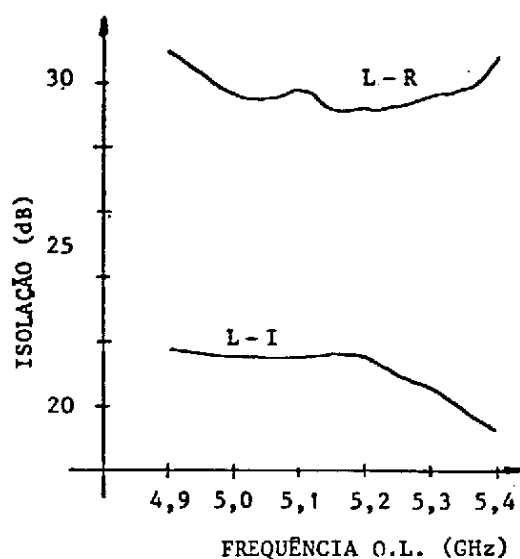


(Figura 7)

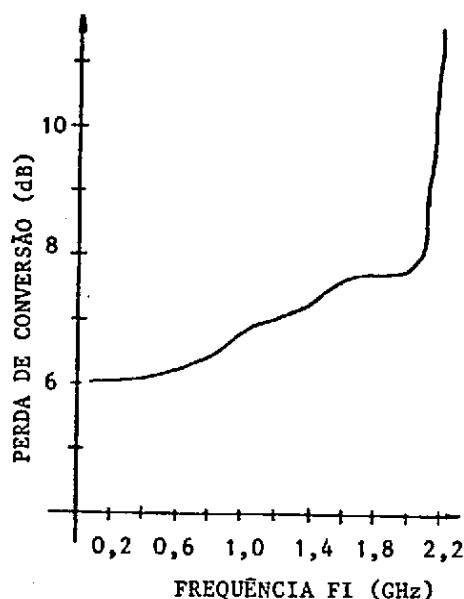
Fig. 6 - Perda de conversão em função da potência do oscilador local.

Fig. 7 - Perda de conversão na faixa de 3,7 a 4,2 GHz.

Na Figura 9 tem-se a variação da perda de conversão com a FI. Pode-se observar que este tipo de misturador permite obter FIs bastante elevadas (no protótipo desenvolvido, 2 GHz com 7,7 dB de perda). Em baixa frequência, a resposta estende-se até "DC".



(Figura 8)



(Figura 9)

Fig. 8 - Isolação entre o acesso oscilador local e os acessos de RF e de FI.

Fig. 9 - Perda de conversão em função da FI.

Finalizando, pode-se dizer que o misturador duplamente balanceado apresentado é muito adequado em aplicações de faixa larga, onde a FI é elevada e uma boa isolação entre os acessos é desejável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARTHOLOMEW, D.M.L. Optimum design for a broadband microstrip balun. *Electronics Letters*, 13(17):510-511, Aug. 1977.
- BAWER, R. and WOLFE, J.J. A printed circuit balun for use with spiral antennas. *IRE Transactions Microwave Theory and Techniques*, 8(5):319-325, 1960.
- MARCHAND, N. Transmission line conversion transformers. *Electronics*, 17:142-145, 1944.
- McLAUGHLIN, J.W. and GROW, R.W. A wide-band balun. *IRE Transactions Microwave Theory and Techniques*, 6(7):314-316, 1958.
- PFLIEGER, R. A new MIC double-balanced mixer with RF and IF band overlap. *IEEE G-MTT Symposium*: 301-303, 1973.