

ENCAPSULAMENTO DE CIRCUITOS MONOLÍTICOS DE MICROONDAS

Edmar Camargo
Laboratório de Microeletrônica
Escola Politécnica da USP
Caixa Postal 8174 - CEP 01051
São Paulo - SP

RESUMO

Apresentam-se os resultados relativos à caracterização, montagem e circuito equivalente de dois tipos de cápsulas convencionais, TO-5 e "Dual in line" cerâmica. A primeira apresentou até a frequência de 10 GHz, uma perda de retorno de 20 dB e de inserção inferior a 0,6 dB e a segunda apresentou características semelhantes até a frequência de 6,2 GHz.

1 - INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é procurar avaliar que tipos de cápsulas poderão ser utilizadas para acomodar circuitos monolíticos de microondas, sejam eles desenvolvidos no Brasil ou adquiridos no mercado internacional. O caminho natural a seguir é analisar que tipos de cápsulas são disponíveis no mercado para as aplicações convencionais. Verifica-se que em geral elas podem ser classificadas em três categorias, a saber: capsulas de dois acessos, quatro acessos e multiplos acessos. A primeira possui apenas dois terminais e é normalmente empregada para diodos. A segunda possui 4 terminais e pode acomodar transistores MESFET simples, de duas portas, ou mesmo alguns tipos de circuitos monolíticos. A terceira é aplicável a circuitos monolíticos que compõe um sub-sistema, como por exemplo um conversor de frequências monolítico de microondas.

No caso deste trabalho dois tipos de cápsulas de baixo custo utilizadas para circuitos integrados de baixa frequência serão estudadas: a cápsula metálica TO-5 e a capsula cerâmica "dual in line". O objetivo é determinar seu circuito equivalente, até que frequências elas podem ser utilizadas e de que forma elas devem ser montadas para apresentar um bom desempenho em microondas.

2 - CAPSULA TO-5

Este tipo de cápsula pode ser adquirido com até 8 terminais e é capaz de acomodar um chip de 3X3mm. Sua representação se encontra na figura 1, onde se constata que seu interior se constitui em uma cavidade cilíndrica que ressoa em frequência, f, definida pela equação:

$$f = \frac{300}{3.7 \exp(-11) / (2.61 \cdot r)} \text{ (GHz)} \quad (r = \text{mm})$$

Efetuando o cálculo obtém-se uma frequência de ressonância da ordem de 30 GHz. Portanto, este tipo de encapsulamento é adequado à circuitos que operam na faixa de microondas.

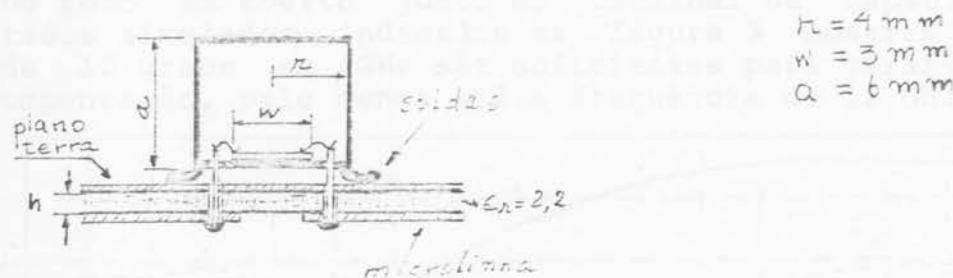


Fig 1 - Capsula TO-5 montada em microlinha de transmissão

Embora ela possa ser montada em estruturas em microlinhas para qualquer tipo de substrato, é mais adequada ao emprego em substrato flexível pela facilidade de montagem. A montagem da cápsula representada na figura 1 mostra que a base da cápsula é diretamente soldada no plano terra da microlinha para garantir um bom contato de terra da cápsula.

A observação da figura 1 permite concluir que o circuito equivalente deste tipo de montagem para a faixa de microondas pode ser representado por uma indutância série, L_1 , correspondente aos terminais da cápsula, uma capacitância em paralelo, C , devido ao pequeno trecho coaxial constituído pela base da cápsula e o condutor central, e uma indutância série, L_2 , devido aos fios de conexão. A indutância série L_1 , medida no analisador de circuitos, é da ordem de 0,6 nH. A capacitância é baixa e só pode ser determinada por processo de simulação numérica. A indutância do fio de solda é da ordem de 1 nH/mm.

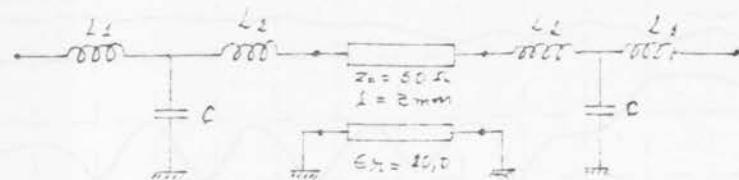


Fig 2 - Circuito equivalente da cápsula TO-5

A resposta do circuito equivalente, e de uma linha de conexão entrada/saída de 50 ohms construída em alumina de dimensões 3X3X0.25 mm³, está representada na figura 3. Verifica-se que o mesmo apresenta uma perda de retorno de 25 dB em 2GHz e de 6 dB em 9,8 GHz. Logo, deve-se prover um meio de compensar a indutância em excesso através de um pequeno toco em aberto junto ao terminal da cápsula. Os resultados simulados indicados na figura 3 mostram que um toco de 10 graus em 4GHz são suficientes para garantir uma boa compensação, pelo menos até a frequência de 12 GHz.

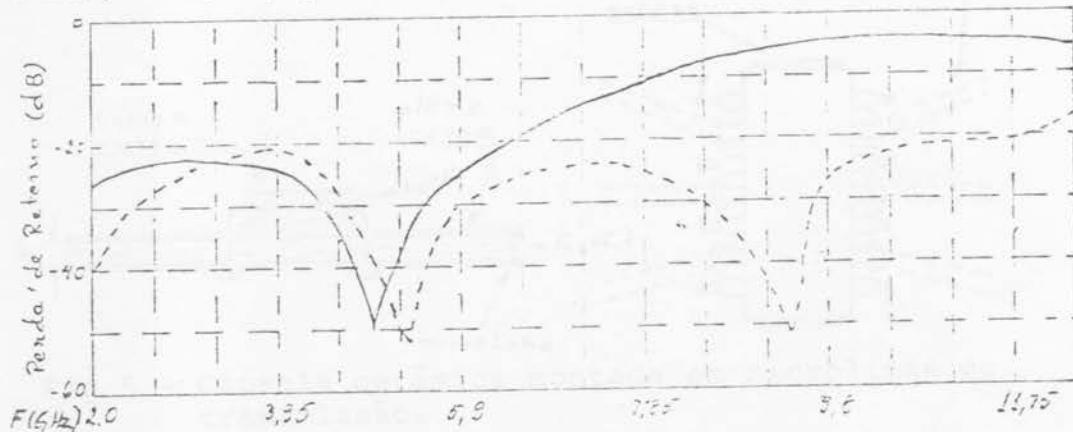


Fig 3 - Simulação do circuito elétrico equivalente.
 (—) modelo da cápsula
 (--) circuito compensado

Esta capsula foi montada em microlinha de acesso construída com substrato flexível de 0.25 mm de espessura e constante dieletrica de 2.2. Os resultados obtidos estão na figura 4 onde se observa uma boa resposta até a frequência de 10 GHz. A resposta observada, inclui o comportamento dos conectores e a dispersão com frequência da microlinha de acesso. As baixas perdas de inserção obtidas até esta frequência, menores do que 0.5 dB e o bom desempenho obtido em termos de perda de retorno, inferior a 20 dB, permitem concluir que este tipo de cápsula é adequada ao encapsulamento de circuitos monolíticos de microondas.

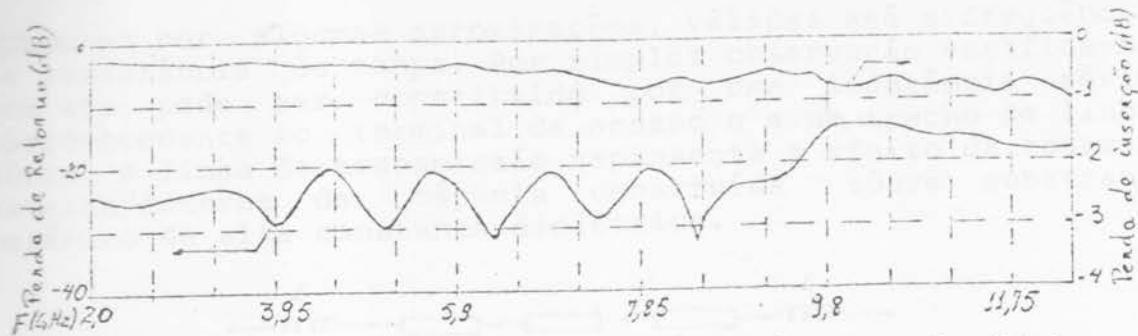


Fig 4 - Resultados experimentais da capsula TO-5.

3 - CAPSULA "DUAL-IN LINE" CERÂMICA

A cápsula de 14 pinos é uma das mais populares, pode acomodar um "chip" de até $6 \times 3 \text{ mm}^2$, e sua representação se encontra na figura 5. Como se verifica, ela é constituída de uma base metálica que pode ser soldada diretamente no plano terra, e de uma tampa metálica.

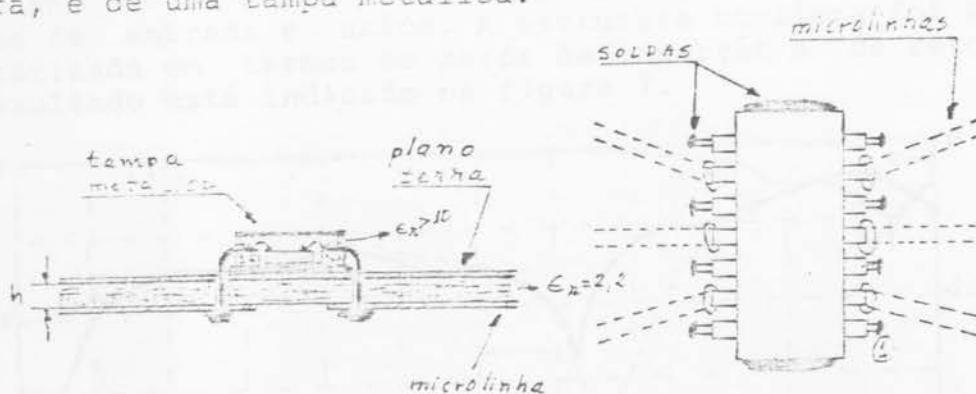


Fig 5 - Cápsula cerâmica montada em microlinha de transmissão.

Pela própria estrutura da cápsula, as condições de ressonância são extremamente complexas. Por exemplo, considerando-se os pinos 4 e 11, acessos de entrada e saída respectivamente de RF, os pinos adjacentes se comportam como trechos de linhas de transmissão ressonantes. Portanto, para minimizar seu efeito, eles devem ser aterrados externamente no plano terra e internamente na placa base. A tampa metálica superior constitui-se em outro circuito ressonante, cujo aterramento não é evidente, exigindo uma montagem mecânica muito complexa. No caso de tampa não aterrada, verifica-se que ela constitui um circuito ressonante em 8,33 GHz, considerando que o dielétrico na parte superior é ar.

O circuito elétrico equivalente, representado na figura 6, também é complexo de modo que para seu modelamento,

optou-se por algumas aproximações, válidas até a frequência de ressonância da tampa. Por simples observação verifica-se que ele pode ser constituído por uma indutância série correspondente ao terminal de acesso e a um trecho de linha série. A linha de transmissão representa o efeito da conexão externa/interna da cápsula construída sobre substrato cerâmico de alta constante dielétrica.

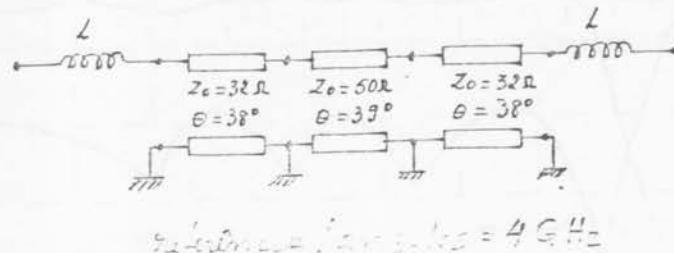


Fig 6 - Circuito equivalente da cápsula cerâmica.

A sua caracterização foi realizada inserindo-se uma microlinha de 50 Ohms construída sobre alumina, entre os acessos de entrada e saída. A estrutura completa foi então caracterizada em termos de perda de inserção e de retorno, e o resultado está indicado na figura 7.

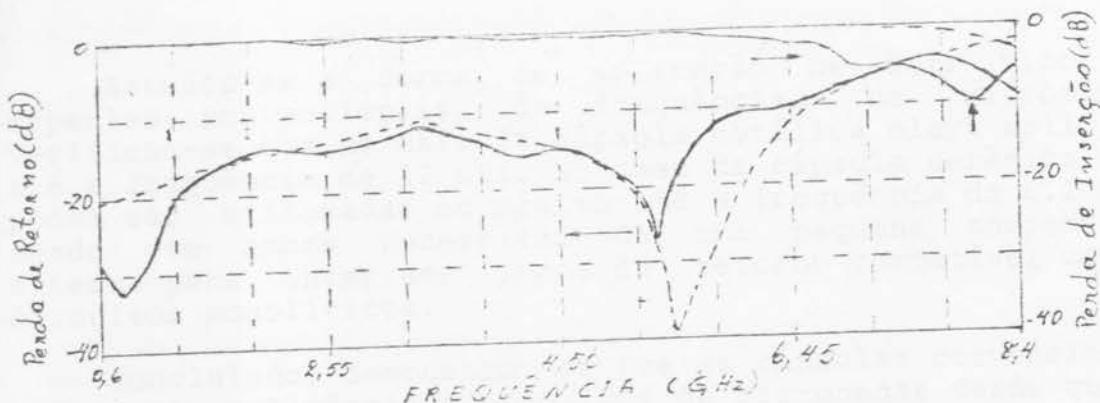


Fig 7 - Caracterização da cápsula cerâmica.

(—) Resultados experimentais
 (---) Simulação teórica

Na mesma figura encontra-se o resultado da simulação considerando uma indutância de 0.4 nH e um trecho de linha série de 32 Ohms de impedância característica e 38° de comprimento elétrico na frequência de 4 GHz. Verifica-se uma boa concordância entre ambos os resultados. O efeito da ressonância da tampa se faz sentir por uma forte perda de inserção introduzida em 8,1 GHz e não prevista pelo modelo. Estes resultados permitem concluir que este tipo de encapsulamento é utilizável até frequências da ordem de 6 GHz, desde que se efetue uma compensação para melhorar a

perda de retorno. Verificou-se que a introdução de um transformador de 90° em 4 GHz e impedância característica de 42 Ohms, é suficiente para obter uma perda de retorno de 20 dB até a frequência de 6,2GHz, conforme se observa no diagrama da figura 8.

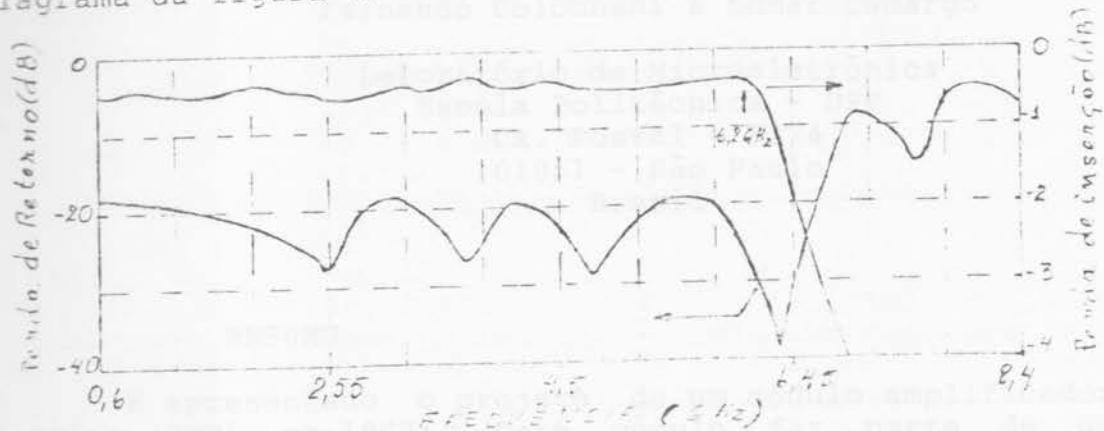


Fig 8 - Resultados experimentais/Cápsula cerâmica compensada.

4 - CONCLUSÕES

Estudou-se a forma de aplicação de dois tipos de cápsulas convencionais às frequências de microondas. Verificou-se que no caso da cápsula metálica ela é aplicável até a frequência de 12 GHz. No caso da cápsula cerâmica elas podem ser utilizadas no máximo até a frequência de 6,2 GHz, sendo que ambas necessitam de uma pequena compensação externa para obter uma perda de retorno compatível com os circuitos monolíticos.

Concluiendo, demonstrou-se que as cápsulas convencionais podem ser aplicáveis a circuitos de microondas desde que as montagens e compensações de impedância sejam adequadas. Este primeiro estudo deverá servir de base para a caracterização de outros tipos de encapsulamentos e mesmo fornecer subsídios para o projeto e realização de cápsulas no Brasil.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se a colaboração de Jair Pereira de Souza nas etapas de montagem e caracterização dos circuitos. Este trabalho foi realizado com o suporte financeiro do CPqD da TELEBRAS.