

PHÉP ĐO THỰC NGHIỆM CÁC THÔNG SỐ CỦA MẠCH ĐIỆN SIÊU CAO TẦN

Vũ Đình Thành – Đinh Quang Vinh – Phạm Văn Vũ

Trường Đại học Kỹ thuật
(Bài nhận ngày 07/03/2000)

TÓM TẮT : Bài viết giới thiệu một số phép đo thực tế các hệ số phản xạ và hệ số truyền đạt của một mạch điện tại vùng tần siêu cao. Phép đo này là việc làm cần thiết của nhà thiết kế nhằm mục đích kiểm nghiệm thực tế sản phẩm của mình. Phương pháp đo sử dụng các thiết bị đo căn bản ở tần số siêu cao (máy phát sóng quét, máy phân tích phổ, bộ ghép định hướng...) và các mạch điện cụ thể (mạch lọc, ghép, ...) được thực hiện bằng công nghệ mạch in vi dải. Phép đo cho các kết quả đo tương đối chính xác và phù hợp hoàn toàn với chủ định thiết kế về dải tần hoạt động về sự phối hợp trở kháng...

I/ GIỚI THIỆU

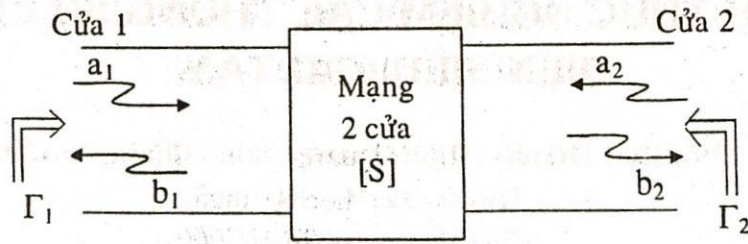
Ở vùng tần số siêu cao các mạch điện có thông số thay đổi rất nhiều tùy theo dải tần số hoạt động. Các thiết kế lý thuyết, bằng công thức, bằng phần mềm mô phỏng thường chỉ đạt độ chính xác tương đối. Sau khi thi công mạch điện, các đặc tính của mạch phải được kiểm nghiệm thông qua các phép đo thực tế. Việc đo đạc này cũng không hoàn toàn đơn giản như các mô hình mạch điện thông thường vì tại vùng tần số siêu cao, nhiều thông số truyền sóng, thông số cấu trúc phân bố, thông số ký sinh đều ảnh hưởng tới kết quả đo. Điều này đòi hỏi các thiết bị đo (và phụ tùng) phải là loại chuyên dùng, các nguồn nhiễu ký sinh từ bên ngoài phải được triệt để loại bỏ (đo trong vùng không có bức xạ điện từ, chẳng hạn lồng Faraday), cấu trúc mạch ổn định, thực hiện phép đo lặp lại nhiều lần và lấy kết quả trung bình...

Bài viết giới thiệu hai thông số điện căn bản của một mạch điện siêu cao tần (hệ số phản xạ và hệ số truyền đạt) cần được khảo sát, các mô hình mạch đo và các kết quả thực tế đo được.

II/ HỆ SỐ TRUYỀN ĐẠT VÀ HỆ SỐ PHẢN XẠ

Một mạch điện đơn giản ở siêu cao tần có thể được xem như là một mạng hai cửa (hộp kín, không diễn tả cấu trúc bên trong) có cửa 1 và cửa 2. Các tín hiệu vào ra tại các cửa được định nghĩa dưới dạng sóng công suất tới a_1 và sóng công suất về b_1 (xem hình 1)

Tùy theo cấu trúc của mạng hai cửa mà quan hệ giữa các sóng tới và về tại hai cửa được diễn tả bằng các số phản xạ của hệ số truyền đạt. Nếu đo được hai thông số này trong một dải tần số hoạt động của mạch thì ta có thể hoàn toàn hiểu được đặc tính của nó dù không biết cấu trúc bên trong.



Hình 1

1/ Hệ số truyền đạt công suất :

$$\text{Hệ số truyền đạt công suất từ cửa 1 đến cửa 2 : } T_{12} = \frac{\frac{1}{2}|b_2|^2}{\frac{1}{2}|a_1|^2} = \frac{|b_2|^2}{|a_1|^2}$$

$$\text{Hệ số truyền đạt công suất từ cửa 2 đến cửa 1 : } T_{21} = \frac{\frac{1}{2}|b_1|^2}{\frac{1}{2}|a_2|^2} = \frac{|b_1|^2}{|a_2|^2}$$

2/ Hệ số phản xạ công suất :

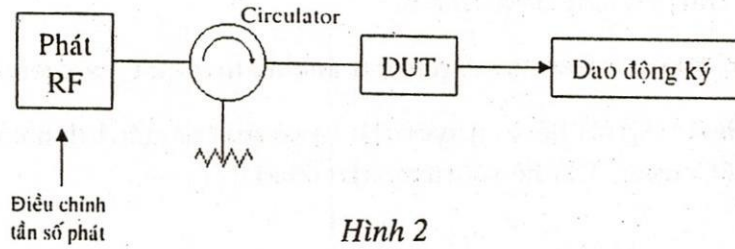
$$\text{Hệ số phản xạ công suất tại cửa 1 : } T_1 = \frac{\frac{1}{2}|b_1|^2}{\frac{1}{2}|a_1|^2} = \frac{|b_1|^2}{|a_1|^2}$$

$$\text{Hệ số phản xạ công suất tại cửa 2 : } T_2 = \frac{\frac{1}{2}|b_2|^2}{\frac{1}{2}|a_2|^2} = \frac{|b_2|^2}{|a_2|^2}$$

III/ CÁC MÔ HÌNH ĐO THỰC TẾ

1/ Dùng dao động ký :

Dùng dao động ký chúng ta có thể nhìn thấy được trực tiếp dạng sóng RF của tín hiệu khi ra khỏi mạng hai cửa cần đo thông số (Device Under Test, DUT) (xem hình 2). Bộ Circulator nhằm ngăn ảnh hưởng của sóng phản xạ từ DUT lên công suất phát của nguồn tín hiệu RF. Phép đo này tuy đơn giản nhưng bị giới hạn nhiều ở vùng tần số hoạt động của dao động ký, do đó không thể đo trực tiếp tại vùng tần số siêu cao được.

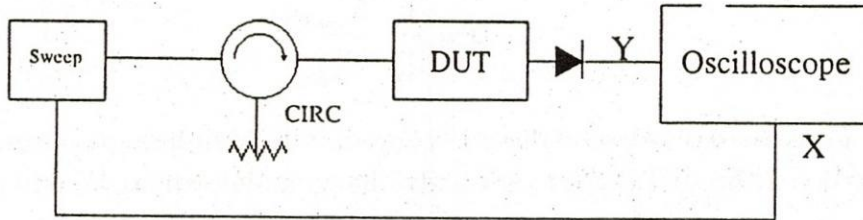


Hình 2

2/ dùng điện áp điều khiển dao động nội của máy phát (sweep generator)

Phần tử cơ bản của máy phát sóng quét là bộ dao động điều khiển bằng điện áp (VCO, Voltage Controlled Oscillator)

Tần số của máy phát được điều khiển bằng một điện áp quét tuyến tính hình răng cưa. Tín hiệu RF phát sẽ có tần số thay đổi liên tục tuyến tính theo thời gian. Do đó nếu chúng ta đưa điện áp quét vào kênh X, tín hiệu ra của mạng hai cửa DUT đến diode tách sóng và đến kênh Y của dao động ký thì trên màn hình chúng ta thu được đáp tuyến tần số của mạng hai cửa cần đo (xem hình 3)



Hình 3

Đáp tuyến tần số cho chúng ta biết được đặc tính của DUT trong một dải tần số định trước. Phương pháp này khá chính xác nếu đặc tuyến biến đổi “điện áp – tần số” tuyến tính. Tuy nhiên chúng ta chỉ thấy được hình dạng và giá trị tương đối của hàm truyền đạt mà không đo chính xác được mức công suất vào ra. Ngoài ra phương pháp này chỉ được áp dụng nếu máy phát sóng quét có ngõ ra điện áp quét (để đưa vào Oscilloscope) và tốc độ quét tương đối lớn.

3/ Mô hình đo hệ số truyền đạt dùng Directional couper

Bộ Directional Couper nhằm mục đích tách rời sóng tới và sóng phản xạ (truyền theo hai hướng ngược nhau trên cùng một đường truyền) nhờ đó có thể đo đặc từng đại lượng riêng rẽ (được tách sóng biên độ bởi các Director tại các ngõ ra). Từ đó, ta có thể suy ra hệ số phản xạ hay hệ số truyền đạt (module) như ở hình 4.

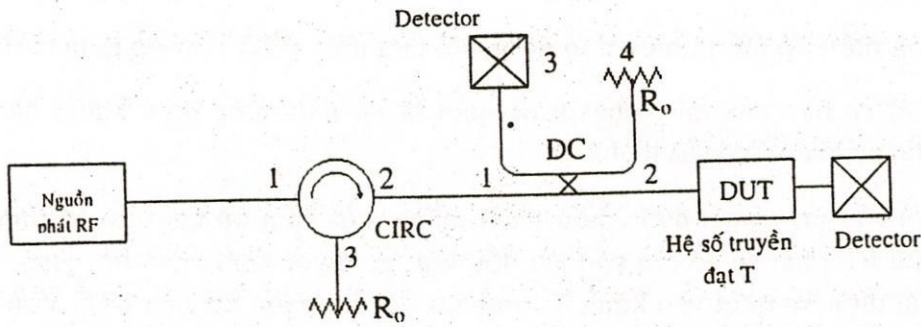
Detector gắn tại cửa 3 của Directional Couper để đo mức tín hiệu đặt vào DUT :

$$V_{out3} = \langle \text{source power} \rangle \cdot \langle \text{circulator attenuation} \rangle \cdot \langle T_{13} \rangle \cdot \langle \text{detector sensivity} \rangle$$

Detector gắn sau thiết bị cần đo DUT (Device Under Test) để đo mức tín hiệu ra sau khi tín hiệu đã cho qua toàn bộ hệ thống.

$$V_{out3DUT} = \langle \text{source power} \rangle \cdot \langle \text{circulator attenuation} \rangle \cdot \langle T_{12} \rangle \cdot \langle \text{detector sensitivity} \rangle$$

Với T_{12} (hoặc T_{13}) là hệ số truyền đạt công suất từ cửa 1 đến cửa 2 (hoặc đến cửa 3) của Directional Coupler, T là hệ số truyền đạt của DUT.



Hình 4

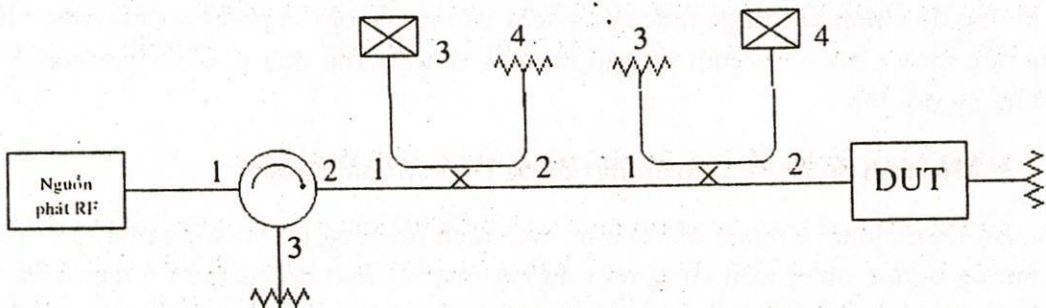
Lập tỷ số hai biểu thức trên đồng thời thực hiện việc rút gọn ta thu được :

$$T = \frac{T_{13}}{T_{12}} \frac{V_{outDUT}}{V_{out3}}$$

Chú ý rằng các đại lượng đo được là công suất tín hiệu liên quan trực tiếp đến biên độ chúng, do đó các hệ số T đo được là các đại lượng module không kể đến độ lệch pha.

Phương pháp này có khuyết điểm là mức độ tín hiệu nhận được tại cửa 3 rất nhỏ và độ ghép giữa cửa 1 và 3 thay đổi theo tần số tùy theo dải tần hoạt động của Directional Coupler.

4/ Mô hình đo hệ số phản xạ dùng Directional Coupler



Hình 5

Tương tự như phép đo hệ số truyền đạt, ở mô hình hình 5 :

Chúng ta có hai Directional Coupler và hai Detector giống nhau như hình vẽ. Sóng tới khi ra khỏi CIRC được đưa tới đầu vào của Directional Coupler thứ nhất. Nhờ hệ số ghép T_{13} và bộ Detector, chúng ta có thể xác định mức công suất sóng tới từ ngõ ra nguồn phát

RF. Sóng tới này sau đó tiếp tục được đưa vào Directional Couper thứ hai. Khi tới đầu vào của DUT nó bị phản xạ và bị ghép trở lại giữa cổng 2 và 4 của Directional Couper thứ hai công suất tín hiệu tại cổng 4 được tách sóng và biểu diễn công suất của sóng phản xạ từ DUT. Phần sóng đi qua DUT sẽ không bị phản xạ do có tải phối hợp trở kháng. Dùng hai Directional Couper cho phép nguồn phát được an toàn tuyệt đối do sóng phản xạ trải qua rất nhiều lần bị hấp thụ bởi tải phối hợp.

Tương tự phần trước ta có thể thiết lập công thức :

Sóng tại cửa 3 của bộ Directional Couper thứ nhất (diễn tả sóng tới) :

$$V_{out3} = \langle \text{source power} \rangle \cdot \langle \text{Circulator attenuation} \rangle \cdot T_{13}$$

Sóng tại cửa 4 của bộ Directional Couper thứ hai (diễn tả sóng phản xạ) :

$$V_{out4} = \langle \text{source power} \rangle \cdot \langle \text{Circulator attenuation} \rangle \cdot T_{12} \cdot \Gamma \cdot T_{24}$$

Với T_{12} T_{13} T_{24} là hệ số truyền đạt (module) của bộ Directional Couper

Γ là hệ số phản xạ (module) của DUT

Với điều kiện hai bộ Directional Couper giống hệt nhau ta có $T_{13} = T_{24}$

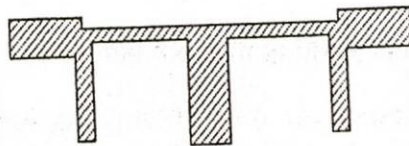
Phép đo cho chúng ta xác định từ quan hệ trên :

$$\Gamma = \frac{V_{out4}}{V_{out3} T_{12}^2}$$

IV/ KẾT QUẢ ĐO THỰC NGHIỆM CỦA MỘT VÀI DUT DÙNG CÁC MÔ HÌNH ĐO TRÊN

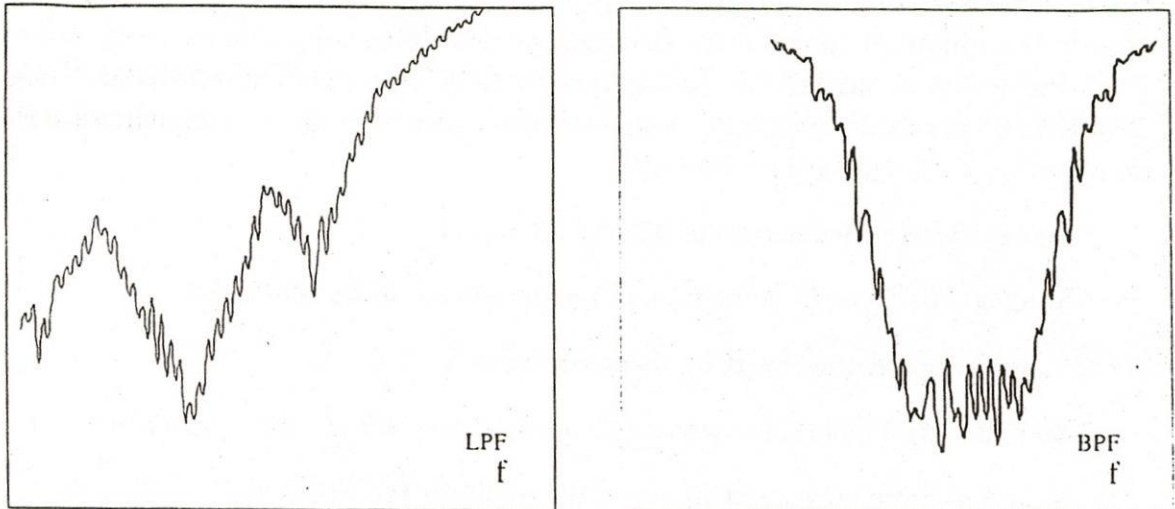
1/ Mạch lọc thông thấp LPF thiết kế bằng phép biến đổi Kuroda, Richard

Phép biến đổi Richard dùng các đường truyền 1/8 bước sóng hở mạch hoặc ngắn mạch đầu cuối có trở kháng vào tương đương các điện cảm hoặc điện dung tùy theo tần số hoạt động. Phép biến đổi Kuroda thực hiện biến đổi các trở kháng đặc tính không khả thi trên đường truyền vi dải thành khả thi. Hình 6 là bề mặt dải dẫn của mạch, hình 7 là so sánh kết quả đo thể hiện trên màn hình OSC của LPF và BPF.



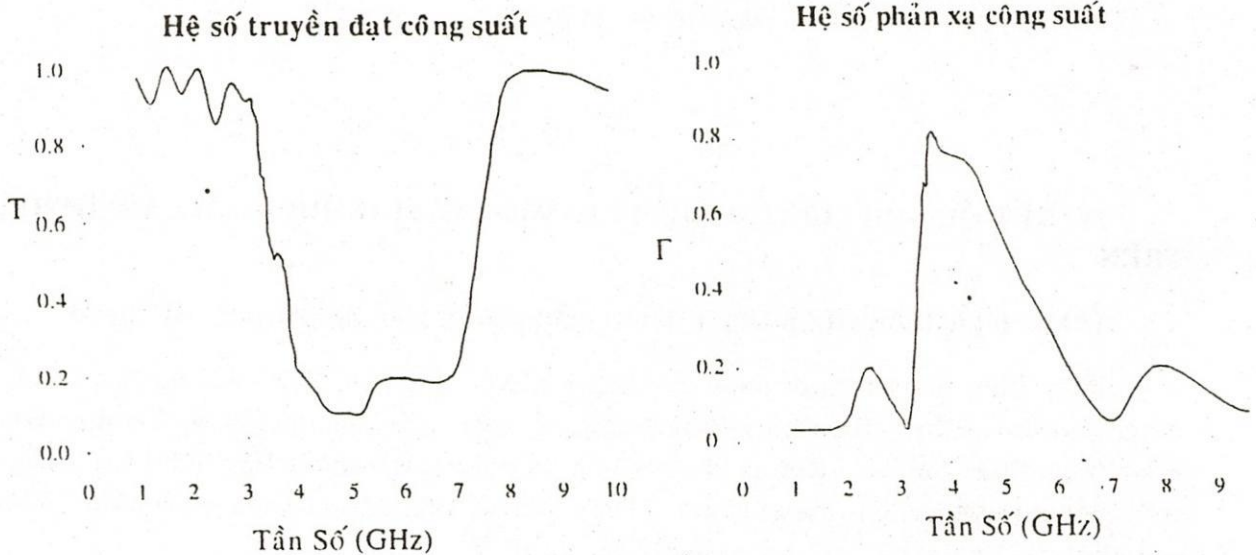
Mạch lọc bậc $N = 3$
Tần số cắt thiết kế $f = 3.5 \text{ GHz}$

Hình 6 : Bề mặt dải dẫn của LPF



Kết quả hiện trên OSC với đơn vị trục X điện áp, trục Y là biên độ (theo V/div)

Hình 7 : Kết quả đo hệ số truyền đạt công suất của LPF và BPF dùng dao động ký



Hình 8 : Kết quả đo T và Γ của LPF thiết kế theo phép biến đổi Kuroda Richard

Kết quả đo thể hiện tương đối đúng như ý tưởng thiết kế ban đầu

Việc thiết kế mạch lọc thông thấp bằng các đoạn đường dây $\lambda/8$ cho ta dạng đặc tuyến tuần hoàn. Điều này do trong khi dùng phép biến đổi Richard :

$$Z_L = jR_0 \operatorname{tg} \beta d$$

$$Z_C = \frac{-jR_0}{\operatorname{tg} \beta d}$$

Nếu ta cho $\beta d = \pi/4$ thì $Z_L = jR_0, Z_C = -jR_0$. Cũng với chiều dài đường dây như vậy khi $\beta d = 3\pi/4$ thì $Z_L = -jR_0, Z_C = jR_0$.

Ta nhận thấy rằng có sự hoán đổi giữa Z_L và Z_C , khi chiều dài pha thay đổi (tương đương với tần số tín hiệu thay đổi). Mạch lọc thông thấp sẽ chuyển thành mạch lọc thông cao. Tần số cắt cao sẽ bằng khoảng 3 lần tần số cắt thấp.

Tuy nhiên trong thực tế, nếu ta lập tỉ số :

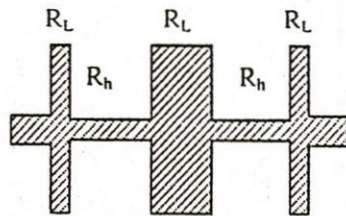
$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{1}{3} \text{ thì } \frac{f_1 \sqrt{\epsilon_1}}{f_2 \sqrt{\epsilon_2}} = \frac{1}{3} \Rightarrow f_2 = 3 \frac{\sqrt{\epsilon_1}}{\sqrt{\epsilon_2}} f_1$$

Vậy tần số cắt cao f_2 thường không tăng gấp 3 lần tần số cắt thấp f_1 do các hằng số điện môi ϵ_1 và ϵ_2 cũng đổi theo tần số. Kết quả đo thực tế cho thấy tần số cắt cao gấp khoảng 2 lần tần số cắt mạch thông thấp. Tần số tuần hoàn này thực tế rất khó xác định chính xác vì hằng số điện môi là đại lượng rất khó tính toán khi tần số thay đổi.

Do tính chất tuần hoàn nên mạch lọc này có thể dùng làm mạch lọc chắn dải.

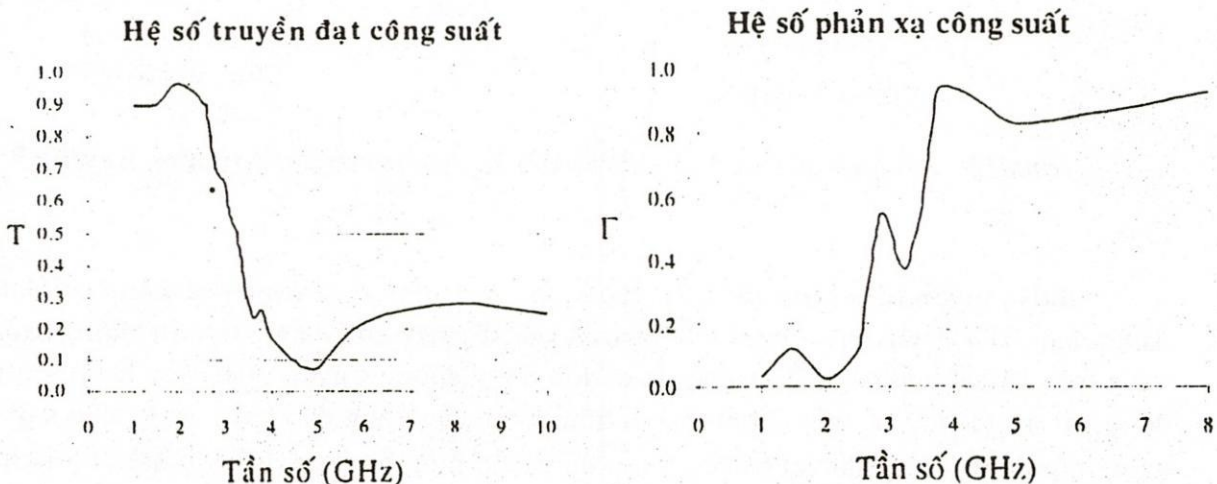
2/ Mạch lọc thông thấp LPF thiết kế dùng phương pháp trở kháng bước

Phương pháp trở kháng bước thay thế cuộn cảm bằng đường dây truyền sóng có trở kháng đặc tính R_h lớn, thay tụ điện bằng đường dây có trở kháng đặc tính nhỏ R_l . Hình 9 và 10 thể hiện bề mặt dải dẫn của mạch lọc và kết quả đo thực nghiệm.



Mạch lọc bậc $N = 5$,
Tần số cắt $f = 3$ GHz

Hình 9 : Bề mặt dải dẫn của LPF thiết kế bằng phương pháp trở kháng bước



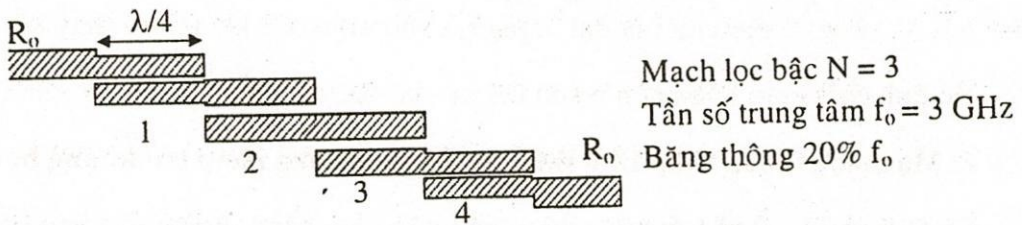
Hình 10 : Kết quả đo T và Γ của LPF thiết kế theo phương pháp trở kháng bước.

Độ suy hao trong dải thông không bằng trường hợp LPF thiết kế bằng phép biến đổi Kuroda Richard mặc dù bậc của mạch lọc được chọn cao hơn.

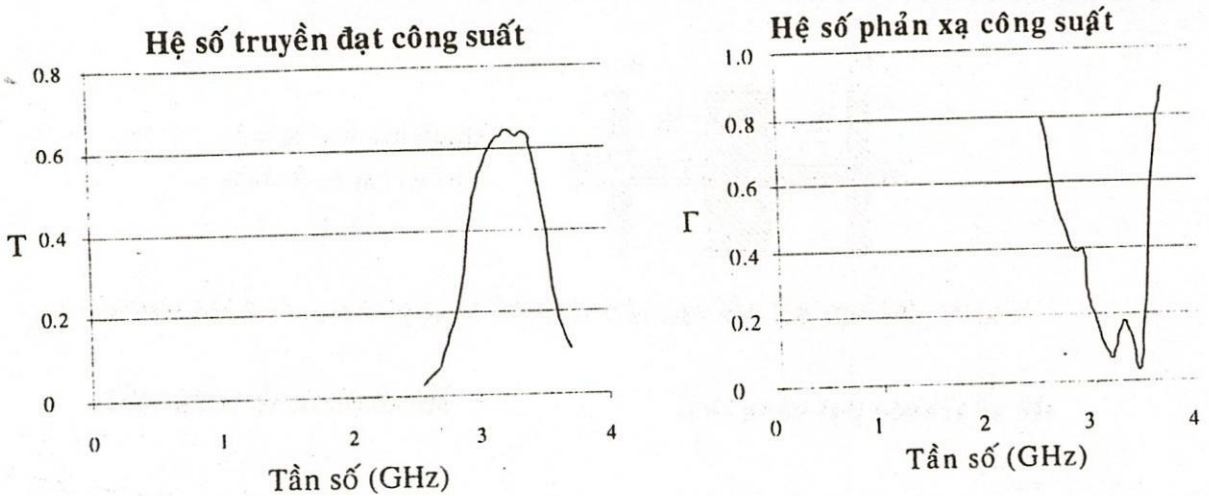
Tỉ số giữa R_h và R_L càng lớn càng tốt nhưng do bị giới hạn bởi công nghệ chế tạo chúng ta thường chọn cấu trúc có điện trở đặc tính lớn nhất và nhỏ nhất để có thể thi công được. Độ suy hao ngoài dải thông của mạch lọc dùng phần tử phân bố kém hơn dùng phần tử tập trung.

3/ Mạch lọc thông dải BPF thiết kế dùng đường truyền ghép

Xét một thiết kế có bề mặt dải dẫn như Hình 11, gồm nhiều đoạn đường truyền ghép liên tiếp nhau, chiều dài mỗi đoạn ghép là phần tư bước sóng tính tại tần số trung tâm của dải tần hoạt động. Hình 12 là kết quả đo đặc thực tế các thông số Hệ số truyền đạt và Hệ số phản xạ trên mô hình mạch này.



Hình 11 : Bề mặt dải dẫn của BPF



Hình 12 : Kết quả đo T và Γ của BPF thiết kế theo phương pháp đường truyền ghép

Từ đặc tuyến hệ số truyền đạt ta thấy công suất đầu ra ở vùng dải thông chỉ đạt tối đa khoảng 60%. Điều này xảy ra một phần do hệ số ghép của đường truyền không cao, thi công trên vật liệu không tốt. Trong mạch lọc dùng đường truyền ghép suy hao điện môi đóng vai trò rất lớn, vì nếu đường mạch liền thì do lớp đồng dẫn điện tốt sẽ cho suy hao tương đối thấp. Trong đường truyền ghép thì do tín hiệu bị ghép qua lớp điện môi không khí và lớp vật liệu nên thường xảy ra suy hao rất lớn ở tần số cao. Đồng thời còn phải kể

đến các tổn hao xảy ra do các khớp nối, do đặc trưng của môi trường truyền sóng là đường truyền vi dải.

Trong lý thuyết, các công thức tương đương giữa phần tử phân bố và phần tử tập trung được xây dựng trên cơ sở rộng băng thông của BPF rất nhỏ để áp dụng các công thức gần đúng. Ở đây ta chọn băng thông mạch lọc dùng đường truyền vi dải là 20% tần số trung tâm.

V/ KẾT LUẬN

Đo lường các thông số điện ở tần số siêu cao của một mạch điện là một công việc rất phức tạp và khó đạt được kết quả chính xác (do mạch điện khó thi công chính xác, do hiệu ứng da của đường dẫn, do thiết bị, do các tác nhân bên ngoài,...). Với các phương tiện tối thiểu có sẵn các tác giả đã thực hiện phép đo trên mạch điện vi dải (bề rộng dải từ 0.1 mm đến 3mm), dải tần số tương đối cao (vài GHz) và đã nhận được các kết quả hợp lý. Mặc dù chúng chưa hoàn toàn đạt độ chính xác cao nhưng phép đo chứng tỏ được khả năng hoạt động của thiết bị, nguyên lý đo đúng đắn và có thể phát triển hơn với mạch DUT phức tạp. Ngoài ra với các thiết bị cao cấp hơn, các thông số pha của T và Γ cũng có thể suy ra được. Có thể các phương pháp trên được sử dụng trong các phòng thí nghiệm các hãng sản xuất nhằm kiểm nghiệm sản phẩm tại tần số siêu cao trước khi xuất xưởng. Các tác giả rất cảm ơn PTN Viễn thông, Khoa Điện – Điện tử, Đại học Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh đã tạo điều kiện thuận lợi cho chúng tôi thi công mạch và tiến hành phép đo trên tại quý Phòng.

CHÚ THÍCH

Các thiết bị dùng trong phép đo

1/ Programmable Sweep Generator (máy phát sóng quét có thể lập chương trình hoạt động)

Hãng **Wiltron** model 6659A

Tính năng :

- Dải tần hoạt động 10 MHz 26.5 GHz
- Phát đơn tần số
- Quét liên tục trong một dải tần số tùy theo người sử dụng
- Hoạt động theo số liệu nhập vào bằng bàn phím
- Có thể quét tự động hoặc quét bằng tay
- Điều chỉnh được công suất phát ra

2/ Máy đo đa năng VOM MX553

3/ Circulator (CIRC) :

Bộ CIRC dùng lõi ferite tạo ra điện trường làm cho hệ số truyền sóng theo chiều tới ở mức cao còn theo chiều ngược lại ở mức thấp, bộ CIRC luôn dùng với nguồn phát để ngăn ngừa sóng phản xạ quay lại nguồn từ tải tiêu thụ. Điều này ngăn chặn việc bộ nguồn bị nóng lên ngoài ý muốn và cũng ngăn ngừa nguồn bị vượt quá khả năng khi mất tải phối hợp.

4/ Directional Couper :

Bộ Directional Couper bao gồm hai đường dây truyền sóng song song nhau. Cho phép có sự ghép nối giữa chúng qua điện trường. Một phần của sóng tới sẽ xuất hiện trên một cổng đường dây ghép và một phần tiếp tục đi lên đường dây chính. Vì vậy Directional Couper có thể được dùng để phân chia sóng tới và sóng về mà không cần đo đạc các thông số sóng đứng phức tạp.

5/ Detector :

Detector dùng diode chỉnh lưu nửa sóng và LPF, nhiệm vụ biến đổi dạng sóng cao tần thành một điện áp chỉnh lưu một chiều tương ứng với công suất cấp cho nó.

6/ Matched load (tải phối hợp)

Tải phối hợp có nhiệm vụ làm cho hệ số phản xạ bằng 0 (hoặc làm cho nó nhỏ nhất), trong phần này chúng ta thường dùng trở kháng 50Ω

PRACTICAL MEASUREMENTS ON SOME PARAMETERS OF MICROWAVE CIRCUIT

Vu Dinh Thanh – Dinh Quang Vinh – Pham Van Vu

ABSTRACT : *The paper presents a few practical measurement of the transmission and reflection coefficients of a circuit at microwave frequencies. The measurements are strictly necessary for designer in order to check their design products practically and modify them. The measurement procedure uses some basic measuring instruments operating at microwave frequencies (sweep generator, spectrum analyser directional couper, ...) are used, some passive circuits (low-pass or band-pass filter, couper...) are realized by microstrip technology. The measurements provided relatively accurate results and fitted well to the intentional design parameters, such as the working frequency band, the impedance matching ...*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Robert E. Collin – *Foundations for Microwave Engineering*, Mc Graw-Hill, 1992
- [2] Joseph Helszajn – *Microwave Engineering*, Mc Graw-Hill, 1992.
- [3] SR. Pennock and PR. Shepherd – *Microwave Engineering with wireless applications*, Mc Graw-Hill, 1998.
- [4] Vũ Đình Thành – *Lý thuyết cơ sở kỹ thuật siêu cao tần*, NXB Khoa học Kỹ thuật, 1997.
- [5] Vũ Đình Thành – *Mạch siêu cao tần*, NXB Khoa học Kỹ thuật 1999