



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0048674

(51)^{2020.01} H01Q 13/00; H01P 1/00; H01P 5/00

(13) B

(21) 1-2020-04420

(22) 30/07/2020

(45) 25/07/2025 448

(43) 25/01/2021 394A

(73) TẬP ĐOÀN CÔNG NGHIỆP - VIỆN THÔNG QUÂN ĐỘI (VN)

Lô D26 Khu đô thị mới Cầu Giấy, phường Yên Hoà, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội.

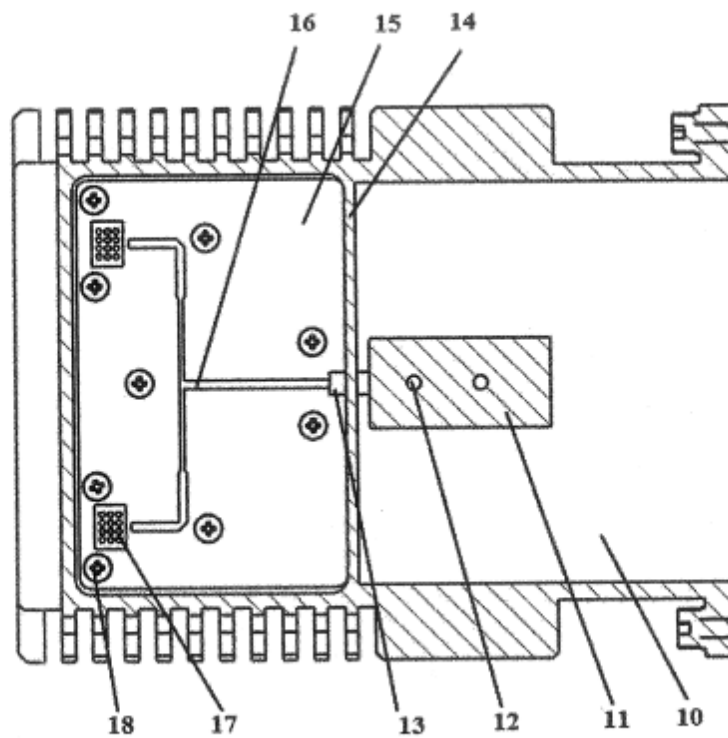
(72) NGÔ THỊ HƯỜNG (VN); NGUYỄN QUỐC DUY (VN); PHẠM ĐÌNH HÙNG (VN); TRẦN HOÀNG VIỆT (VN); NGUYỄN VĂN NGHĨA (VN).

(74) Công ty TNHH Tư vấn Quốc Dân (NACILAW)

(54) TẢI CÔNG SUẤT ỚNG SÓNG

(21) 1-2020-04420

(57) Sáng chế trình bày về thiết kế tải công suất ống sóng ứng dụng trong các hệ thống ăng-ten mảng khe sóng chạy và các hệ thống ăng-ten đường truyền khác có sử dụng cấu trúc ống dẫn sóng. Các thành phần chính bên ngoài của tải bao gồm: thân vỏ ống sóng, rãnh tản nhiệt, mặt bích chuẩn, nắp và gioăng cao su chống nước, thiết kế bên trong là sự kết hợp giữa bộ chuyển đổi dạng bậc thang và bộ chia công suất dạng mạch in.



Hình 3

Lĩnh vực kỹ thuật của sáng chế

Sáng chế đề xuất tải công suất ống sóng. Tải công suất ống sóng được đề cập dựa trên cấu trúc kết hợp giữa bộ chuyển đổi dạng bậc thang và bộ chia công suất mạch in dạng chữ T (T-junction) nhằm đạt được mức công suất mong muốn, được ứng dụng cho các hệ thống ăng-ten mảng khe và các hệ thống đường truyền ống sóng khác.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Tải công suất ống sóng (waveguide load) được ứng dụng rộng rãi trong đo kiểm, hiệu chuẩn các thành phần cao tần ống sóng, trong các hệ thống ăng-ten mảng khe sóng chạy, trong các đường truyền và trích dẫn công suất ống sóng khác như: bộ chia công suất (waveguide power divider), trích công suất (waveguide coupler), tuần hoàn (waveguide circulator)...

Có nhiều loại tải ống sóng khác nhau, cách phân loại phổ biến nhất là theo mức công suất hấp thụ: tải công suất thấp (khoảng vài chục Wats sóng liên tục (continuous wave - CW)), tải công suất trung bình (từ vài trăm đến 1000 Wats CW) và tải công suất cao (từ 2000 - 3000 Wats CW trở lên). Trên thị trường, những loại tải này thường sử dụng vật liệu hấp thụ (microwave absorber) dán vào thành ống sóng, những hạn chế của các loại tải này như sau:

- Mức công suất hấp thụ phụ thuộc lớn vào chiều dài của tải. Để đạt được mức công suất hấp thụ ở mức trung bình hoặc cao thì tải ống sóng phải dài (ít nhất 2 - 3 lần bước sóng trong dải tần làm việc);
- Giá thành của tải hoàn thiện và vật liệu hấp thụ rất cao. Đối với các tải công suất vừa hoặc cao thì giá có khi lên tới hơn ngàn USD.

Từ những hạn chế trên, sáng chế đưa ra giải pháp tải ống sóng công suất trung bình có kích thước nhỏ gọn do cấu trúc mạch chia công suất chỉ dài nửa bước sóng và có thể tùy biến dễ dàng, giá thành rẻ do sử dụng các nguyên liệu cấu thành phổ biến như đồng, nhôm, mạch in và các điện trở công suất giá từ vài USD. Trọng tâm của sáng chế này là sử dụng bộ chuyển đổi (adapter) dạng bậc thang làm cầu nối giữa ống sóng và bộ chia công suất dạng mạch in (PCB), trên mạch chia công suất này hàn thêm các trở công suất cao để truyền tải năng

lượng điện từ trường thành năng lượng nhiệt, lượng nhiệt này phát tán ra môi trường xung quanh bằng các rãnh tản nhiệt trên thân vỏ ống sóng.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế này là đề xuất tải công suất ống sóng bằng việc kết hợp giữa bộ chuyển đổi dạng bậc thang và bộ chia công suất dạng mạch in (PCB) 2 lớp.

Để đạt được mục đích trên, tải công suất ống sóng có bề mặt bên ngoài bao gồm các thành phần chính như:

Thân vỏ ống sóng được làm từ nhôm, hình hộp chữ nhật, lòng trong có kích thước ống sóng chuẩn, chức năng bảo vệ bộ chuyển đổi.

Rãnh tản nhiệt làm từ nhôm, có độ dẫn nhiệt lớn. Gồm các lá tản nhiệt dày 2 mm đặt song song cách nhau 3 mm giúp nhiệt lượng tỏa ra từ các điện trở cao tần hàn tại đầu ra của bộ chia công suất được truyền dẫn và lưu thông ra ngoài.

Mặt bích chuẩn làm từ nhôm. Trên mặt bích chuẩn này có các lỗ ốc để kết nối với các đường truyền cao tần khác qua các ốc kim loại.

Trên tải có khoang chứa bộ chia công suất dạng mạch in được đậy kín bằng nắp chụp; nắp chụp hình chữ nhật làm từ nhôm có khoét rãnh để giảm khối lượng. Chạy dọc theo viền nắp chụp có các lỗ ốc giúp nắp được gắn chặt vào thân vỏ ống sóng bởi các ốc kim loại. Gioăng cao su dùng để chống nước và bụi cho tải.

Bên cạnh đó, tải công suất ống sóng còn có cấu tạo bên trong gồm hai khoang chính: khoang ống sóng chuẩn làm bằng nhôm chứa bộ chuyển đổi dạng bậc thang, và khoang bộ chia mạch in làm bằng nhôm chứa bộ chia công suất dạng mạch in.

Trong đó, bộ chuyển đổi dạng bậc thang để chuyển đổi trở kháng ống sóng từ 400 – 500 Ohms về trở kháng tiêu chuẩn 50 Ohms đưa tới đầu vào mạch

chia. Bộ chia công suất dạng mạch in được thiết kế theo nguyên lý chữ T (T-junction).

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1 là hình vẽ cấu trúc bộ chuyển đổi dạng bậc thang;

Hình 2 là hình vẽ tổng thể tải công suất ống sóng và các thành phần mặt ngoài;

Hình 3 là hình vẽ kết nối bộ chuyển đổi và mạch chia công suất;

Hình 4a là hình vẽ hình chiếu cạnh của bộ chuyển đổi dạng bậc thang theo ví dụ thực hiện của sáng chế;

Hình 4b là hình vẽ hình chiếu đứng của bộ chuyển đổi dạng bậc thang theo ví dụ thực hiện của sáng chế;

Hình 5 là hình vẽ mạch chia đôi theo nguyên lý T-junction;

Hình 6 là hình vẽ hệ số sóng đứng (VSWR) của tải theo ví dụ thực hiện sáng chế.

Mô tả chi tiết sáng chế

Phần sau đây mô tả chi tiết tải công suất ống sóng bằng việc kết hợp giữa bộ chuyển đổi và bộ chia công suất dạng mạch in thông qua diễn giải và các hình vẽ kèm theo. Trong đó có sử dụng một số thuật ngữ chuyên biệt và được hiểu như sau:

Bộ chuyển đổi dạng bậc thang thiết kế theo nguyên lý biến đổi Chebyshev, có khả năng phối hợp trở kháng trong dải tần rộng. Cấu trúc mô tả ở hình 1 tạo ra sự chuyển tiếp trở kháng liên tục ($Z_1, Z_2, \dots, Z_{n+1}$) giữa các bậc thang nối tiếp nhau có cùng độ dài điện là Φ . Với số lượng bậc thang cụ thể, cấu trúc này có thể đạt được hệ số sóng đứng nhỏ trong dải tần rộng hoặc siêu rộng.

Bộ chia công suất dạng mạch in được thiết kế theo nguyên lý chữ T (T-junction) để chia đều công suất cho các điện trở cao tần công suất cao. Số lượng cổng ra của bộ chia được tính toán dựa trên mức công suất chịu đựng của các

điện trở và công suất hấp thụ mong muốn của tải ống sóng. Công suất của tải ống sóng chính là tổng công suất các điện trở công suất lắp trên mạch bộ chia này.

Đường truyền cao tần là đường truyền năng lượng điện từ trường có tần số cao (Very High Frequency - VHF) trở lên.

Tỷ số sóng đứng điện áp là tỷ số của điện áp tối đa trên điện áp tối thiểu tại cùng một tần số dọc theo đường truyền dẫn, đặc trưng cho khả năng phối hợp trở kháng trên đường truyền.

Các thành phần cơ khí đi kèm của tải ống sóng được mô tả chi tiết ở hình 2. Theo đó, tải công suất ống sóng có cấu tạo bên ngoài bao gồm:

Thân vỏ ống sóng 1 được làm từ nhôm, hình hộp chữ nhật, lòng trong có kích thước ống sóng chuẩn, chức năng bảo vệ bộ chuyển đổi.

Rãnh tản nhiệt 2 nằm bao ngoài ba mặt của khoang bộ chia, nối tiếp với thân vỏ ống sóng 1, làm từ nhôm, có độ dẫn nhiệt lớn. Gồm các lá tản nhiệt dày 2 mm đặt song song cách nhau 3 mm giúp nhiệt lượng tỏa ra từ các điện trở cao tần 17 hàn tại đầu ra của bộ chia công suất 15 được truyền dẫn và lưu thông ra ngoài.

Mặt bích chuẩn 3 làm từ nhôm đặt ở đầu vào thân vỏ ống sóng 1 (đầu vào khoang ống sóng chuẩn). Trên mặt bích chuẩn này có các lỗ ốc 4 để kết nối với các đường truyền cao tần khác qua các ốc kim loại 5.

Trên tải có khoang chứa bộ chia công suất dạng mạch in 15 được đậy kín bằng nắp chụp 6. Nắp chụp 6 hình chữ nhật ở vị trí khoang bộ chia, đối diện với mặt rãnh tản nhiệt 2, làm từ nhôm có khoét rãnh để giảm khối lượng, giúp nắp kín khoang chứa bộ chia. Chạy dọc theo viền nắp chụp 6 có các lỗ ốc 7 giúp nắp được gắn chặt vào thân vỏ ống sóng 1 bởi các ốc kim loại 8. Gioăng cao su 9 phía sau nắp chụp 6 ở khoang bộ chia dùng để chống nước và bụi cho tải.

Như được thể hiện trên hình 3, tải công suất ống sóng làm từ vật liệu là nhôm, có cấu tạo bên trong gồm hai khoang chính:

Khoang ống sóng chuẩn 10 làm bằng nhôm chứa bộ chuyển đổi dạng bậc thang 11

Khoang bộ chia mạch in 14 làm bằng nhôm chứa bộ chia công suất dạng mạch in 15.

Theo đó, bộ chuyển đổi dạng bậc thang 11 có công dụng chuyển đổi trở kháng ống sóng từ 400 – 500 Ohms về trở kháng tiêu chuẩn 50 Ohms được làm bằng vật liệu là kim loại (đồng mạ bạc, hoặc nhôm mạ bạc), gắn chặt bộ chuyển đổi vào khoang ống sóng chuẩn 10 qua hai ốc kim loại 12. Năng lượng điện trường từ khoang chứa bộ chuyển đổi (tức khoang ống sóng chuẩn 10) truyền sang cấp nguồn cho các điện trở công suất 17 qua cầu nối 13 và mạch chia công suất 16. Gắn chặt bộ chia công suất dạng mạch in 15 vào khoang bộ chia mạch in 14 bằng các ốc kim loại 18 giúp đảm bảo tiếp đất cho bộ chia.

Bộ chuyển đổi dạng bậc thang 11 còn được gọi là bộ chuyển đổi bước tối ưu, thiết kế dựa theo nguyên lý Chebyshev. Nguyên lý biến đổi này sử dụng các đa thức Chebyshev giúp đạt được băng thông lớn nhất với mỗi giá trị hệ số VSWR cho trước. Số lượng bậc thang và kích thước phụ thuộc vào băng thông mong muốn.

Bộ chia công suất dạng mạch in 15 được thiết kế theo nguyên lý chữ T (T-junction), giúp chia đều công suất đồng biên, đồng pha cho các điện trở cao tần 50 Ohms hàn ở cuối đường mạch 17.

Tỉ số sóng đứng điện áp trong dải tần là năng lượng phản xạ tại đầu vào tải ống sóng, đặc trưng cho khả năng phối hợp trở kháng của tải ống sóng với các thành phần khác trong hệ. Tỉ số sóng đứng điện áp được xác định bởi biểu thức sau:

$$VSWR = 1 + \ln \left[\frac{Z_{n+1}}{Z_1} \right] \frac{T_{n-1} \left[\frac{\cos \phi}{\cos \phi_1} \right]}{T_{n-1} \left[\frac{1}{\cos \phi_1} \right]} \quad (E.1)$$

Trong đó:

- ϕ : chiều dài điện giữa các bậc thang;

- $\emptyset_1$: chiều dài điện của bậc thang ở tần số thấp của băng tần;
- n : số lượng bậc thang;
- Z_{n+1} : trở kháng của bậc thang có trở kháng lớn nhất;
- Z_1 : trở kháng của bậc thang có trở kháng thấp nhất;
- $T_n(x)$ là đa thức Chebyshev được định nghĩa như sau:

$$T_0(x) = 1$$

$$T_1(x) = x$$

$$T_2(x) = 2x^2 - 1 \quad (E.2)$$

$$T_3(x) = 4x^3 - 3x$$

.....

$$T_{n+1}(x) = 2xT_n(x) - T_{n-1}(x)$$

Để đạt được tỷ số sóng đứng (VSWR) theo công thức (E.2), tỉ số hệ số phản xạ r_n của bậc thang bằng với tỉ số a_n được tính toán từ số lượng bậc thang và băng thông mong muốn:

$$r_1 : r_2 : \dots : r_n = a_1 : a_2 : \dots : a_n \quad (E.3)$$

Để đơn giản việc tính toán, ta sử dụng công thức gần đúng của Hansen như sau:

$$r_m = \frac{1}{2} \ln \frac{Z_{m+1}}{Z_m}, \quad r_m \leq \frac{1}{3} \quad (E.4)$$

Thay (E.4) vào (E.3) ta được:

$$\ln \frac{Z_2}{Z_1} : \ln \frac{Z_3}{Z_2} : \dots : \ln \frac{Z_{n+1}}{Z_n} = a_1 : a_2 : \dots : a_n \quad (E.5)$$

Tỉ lệ này có thể được tính toán như sau:

$$\ln \frac{Z_{m+1}}{Z_m} = \frac{a_m \ln \frac{Z_{n+1}}{Z_1}}{a_1 + a_2 + \dots + a_n} \quad (E.6)$$

Từ đó tính được $\frac{Z_{m+1}}{Z_m}$ và suy ra được trở kháng cho mỗi bậc thang.

Kích thước đường mạch bộ chia PCB 16 phụ thuộc vào trở kháng đường mạch, các tham số điện của lớp điện môi và được tính toán theo công thức:

$$Z = \left\{ \frac{\frac{60}{\sqrt{\epsilon_e}} \ln \left(\frac{8h}{W} + \frac{W}{4h} \right)}{120\pi} \right\} \sqrt{\epsilon_e [W/h + 1.393 + 0.667 \ln (W/h + 1.444)]} \quad (E.7)$$

Trong đó:

- Z – trở kháng đường mạch;
- h – độ dày lớp điện môi;
- W – chiều rộng đường mạch;
- ϵ_e – hằng số điện môi hiệu quả, được tính bằng công thức sau:

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2\sqrt{1 + 12\frac{h}{W}}} \quad (E.8)$$

- ϵ_r – hằng số điện môi của mạch in.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Ví dụ thiết kế tải ống sóng có công suất trung bình (300 Wats CW) cho băng S với tổng chiều dài của tải khoảng 1 lamda, mô hình bộ chuyển đổi cho tải này được mô tả ở hình 4 gồm 4 bậc thang có kích thước như sau:

Bảng 1: Tham số adapter chuyển đổi

STT	Ký hiệu	Mô tả	Đơn vị	Giá trị
1	W1	Chiều rộng lõi adapter	mm	15
2	W0	Chiều rộng cầu nối	mm	4
3	L	Chiều dài 1 của cầu nối	mm	4
4	L0	Chiều dài 2 của cầu nối	mm	3
5	T0	Độ dày 1 của cầu nối	mm	1
6	T1	Độ dày 2 của cầu nối	mm	0.7
7	H1	Chiều cao bậc 1 của lõi	mm	25
8	H2	Chiều cao bậc 2 của lõi	mm	15
9	H3	Chiều cao bậc 3 của lõi	mm	11

STT	Ký hiệu	Mô tả	Đơn vị	Giá trị
10	H1	Chiều cao bậc 4 của lõi	mm	3
11	L1	Chiều dài bậc 1 của lõi	mm	10
12	L2	Chiều dài bậc 2 của lõi	mm	12
13	L3	Chiều dài bậc 3 của lõi	mm	10
14	L4	Chiều dài bậc 4 của lõi	mm	8
15	H	Vị trí cầu nối so với đáy adapter	mm	14

Mạch chia sử dụng trên tải ống sóng băng S như mô tả ở hình 5 có cấu trúc microstrip chia đôi đồng biên, đồng pha cho 2 điện trở cao tần 50 Ohms, công suất hấp thụ CW mỗi trở là 150 Wats, được hàn cuối đường mạch nên công suất hấp thụ của tải ống sóng đạt được là 300 Wats CW. Theo nguyên lý thiết kế bộ chia đều T-junction, mạch chia gồm 3 cổng vào/ra có trở kháng $Z_0 = 50$ Ohms, 2 nhánh $\lambda/4$ có trở kháng $Z_1 = Z_2 = \sqrt{2}Z_0 = \sqrt{2} \times 50 \approx 70.7$ Ohms. Độ dài đường mạch đầu vào và các nhánh ra các điện trở công suất là $\lambda/3$.

Hiệu quả sáng chế đạt được

Sáng chế đưa ra giải pháp thiết kế tải công suất ống sóng, có thể áp dụng trong thiết kế tải với nhiều mức công suất khác nhau, trong đó tải công suất trung bình có kích thước nhỏ gọn (chiều dài tải khoảng 1 λ)

Tải có cấu tạo đơn giản, các linh kiện của tải phổ biến và giá thành rẻ, giúp chủ động trong thiết kế và tối ưu được các tham số điện trong dải tần hoạt động của tải.

Tải có mặt bích chuẩn nên dễ dàng tích hợp vào các hệ thống ăng-ten và đường truyền sử dụng cấu trúc ống dẫn sóng.

Mô tả chi tiết về sáng chế này đã được trình bày cụ thể ở trên, tuy nhiên cần hiểu rằng các mô tả được trình bày chỉ đơn thuần là hình mẫu của sáng chế, nó có thể được thể hiện dưới nhiều hình thức khác nhau. Vì thế, các chi tiết về

chức năng cụ thể được trình bày dưới đây không được hiểu một cách hạn chế, chúng cũng chỉ là cơ sở cho những đề xuất khác.

Yêu cầu bảo hộ

1. Tải công suất ống sóng bao gồm

phía ngoài được cấu tạo bởi các thành phần chính như:

thân vỏ ống sóng được làm từ nhôm, hình hộp chữ nhật, lòng trong có kích thước ống sóng chuẩn, chức năng bảo vệ bộ chuyển đổi;

rãnh tản nhiệt nằm bao ngoài ba mặt của khoang bộ chia, nối tiếp với thân vỏ ống sóng, làm từ nhôm, có độ dẫn nhiệt lớn, gồm các lá tản nhiệt dày 2 mm đặt song song cách nhau 3 mm giúp nhiệt lượng tỏa ra từ các điện trở cao tần hàn tại đầu ra của bộ chia công suất được truyền dẫn và lưu thông ra ngoài;

mặt bích chuẩn làm từ nhôm đặt ở đầu vào thân vỏ ống sóng (đầu vào khoang ống sóng chuẩn), trên mặt bích chuẩn này có các lỗ ốc để kết nối với các đường truyền cao tần khác qua các ốc kim loại;

nắp chụp hình chữ nhật ở vị trí khoang bộ chia, đối diện với mặt rãnh tản nhiệt, làm từ nhôm có khoét rãnh giảm khối lượng, giúp nắp kín khoang chứa bộ chia;

gioăng cao su phía sau nắp chụp ở khoang bộ chia dùng để chống nước và bụi cho tải;

phía trong được thiết kế bằng việc kết hợp giữa bộ chuyển đổi dạng bậc thang và bộ chia công suất dạng mạch in, được làm từ vật liệu là nhôm, có cấu tạo gồm hai khoang chính:

khoang ống sóng chuẩn làm bằng nhôm chứa bộ chuyển đổi dạng bậc thang;

khoang bộ chia mạch in làm bằng nhôm chứa bộ chia công suất dạng mạch in;

bộ chuyển đổi dạng bậc thang có công dụng chuyển đổi trở kháng ống sóng từ 400 – 500 Ohms về trở kháng tiêu chuẩn 50 Ohms được làm bằng vật liệu là kim loại (đồng mạ bạc, hoặc nhôm mạ bạc), gắn chặt bộ chuyển đổi vào khoang ống sóng chuẩn qua hai ốc kim loại; năng lượng điện trường từ khoang chứa bộ chuyển đổi (tức khoang ống sóng chuẩn) truyền sang cấp nguồn cho các

điện trở công suất qua cầu nối và mạch chia công suất; gắn chặt bộ chia công suất dạng mạch in vào khoang bộ chia mạch in bằng các ốc kim loại giúp đảm bảo tiếp đất cho bộ chia;

bộ chuyển đổi dạng bậc thang được thiết kế tối ưu trên nguyên lý biến đổi Chebyshev; nguyên lý biến đổi Chebyshev giúp đạt được băng thông rộng hơn biến đổi nhị thức với số lượng bậc thang xác định; số lượng bậc thang và kích thước phụ thuộc vào băng thông mong muốn.

2. Tải công suất ống sóng theo điểm 1 có tỉ số sóng đứng điện áp trong dải tần là năng lượng phản xạ tại đầu vào tải ống sóng, đặc trưng cho khả năng phối hợp trở kháng của tải ống sóng với các thành phần khác trong hệ; tỉ số sóng đứng điện áp được xác định bởi biểu thức sau:

$$VSWR = 1 + \ln \left[\frac{Z_{n+1}}{Z_1} \right] \frac{T_{n-1} \left[\frac{\cos \emptyset}{\cos \emptyset_1} \right]}{T_{n-1} \left[\frac{1}{\cos \emptyset_1} \right]}$$

trong đó:

$\emptyset$: chiều dài điện giữa các bậc thang;

$\emptyset_1$: chiều dài điện của bậc thang ở tần số thấp của băng tần;

n : số lượng bậc thang;

Z_{n+1} : trở kháng của bậc thang có trở kháng lớn nhất;

Z_1 : trở kháng của bậc thang có trở kháng thấp nhất;

$T_n(x)$ là đa thức chebyshev được định nghĩa như sau:

$$T_0(x) = 1$$

$$T_1(x) = x$$

$$T_2(x) = 2x^2 - 1$$

$$T_3(x) = 4x^3 - 3x$$

.....

$$T_{n+1}(x) = 2xT_n(x) - T_{n-1}(x)$$

để đạt được tỷ số sóng đứng theo công thức trên, tỉ số hệ số phản xạ r_n của bậc thang bằng với tỉ số a_n được tính toán từ số lượng bậc thang và băng thông mong muốn:

$$r_1 : r_2 : \dots : r_n = a_1 : a_2 : \dots : a_n$$

để đơn giản việc tính toán, ta sử dụng công thức gần đúng của hansen như sau:

$$r_m = \frac{1}{2} \ln \frac{Z_{m+1}}{Z_m}, \quad r_m \leq \frac{1}{3}$$

thay công thức thứ tư E.4 vào công thức thứ ba E.3 ta được:

$$\ln \frac{Z_2}{Z_1} : \ln \frac{Z_3}{Z_2} : \dots : \ln \frac{Z_{n+1}}{Z_n} = a_1 : a_2 : \dots : a_n$$

tỉ lệ này có thể được tính toán như sau:

$$\ln \frac{Z_{m+1}}{Z_m} = \frac{a_m \ln \frac{Z_{n+1}}{Z_1}}{a_1 + a_2 + \dots + a_n}$$

từ đó tính được $\frac{Z_{m+1}}{Z_m}$ và suy ra được trở kháng cho mỗi bậc thang.

3. Tải công suất ống sóng theo điểm 2 có kích thước đường mạch bộ chia PCB phụ thuộc vào trở kháng đường mạch, các tham số điện của lớp điện môi và được tính toán theo công thức:

$$Z = \left\{ \frac{\frac{60}{\sqrt{\epsilon_e}} \ln \left(\frac{8h}{W} + \frac{W}{4h} \right)}{120\pi \sqrt{\epsilon_e [W/h + 1.393 + 0.667 \ln (W/h + 1.444)]}} \right\}$$

trong đó:

Z – trở kháng đường mạch;

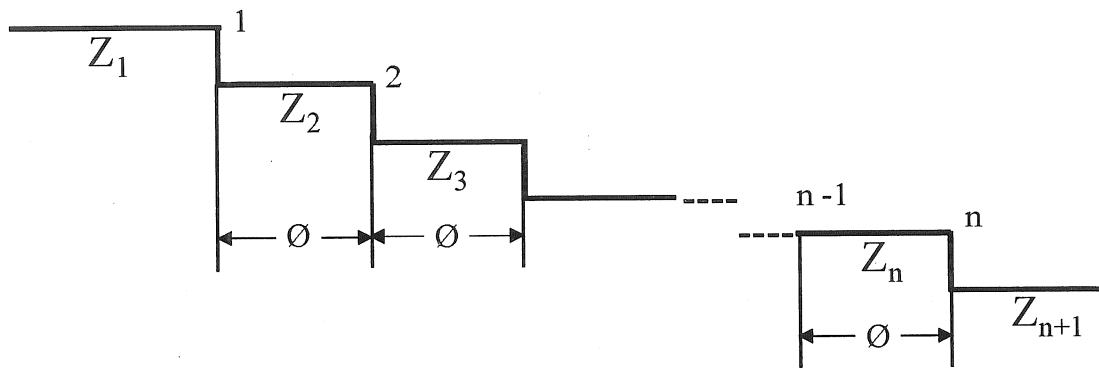
h – độ dày lớp điện môi;

W – chiều rộng đường mạch;

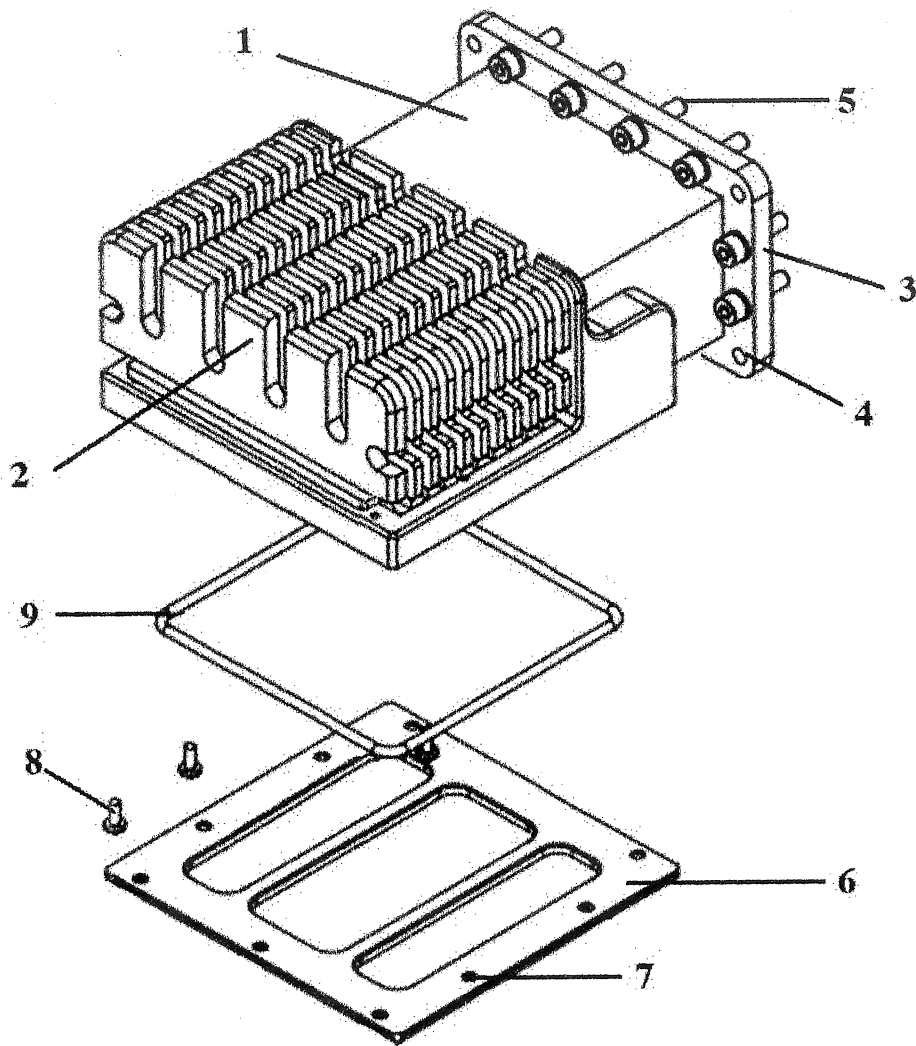
ϵ_e – hằng số điện môi hiệu quả, được tính bằng công thức sau:

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2\sqrt{1 + 12\frac{h}{W}}}$$

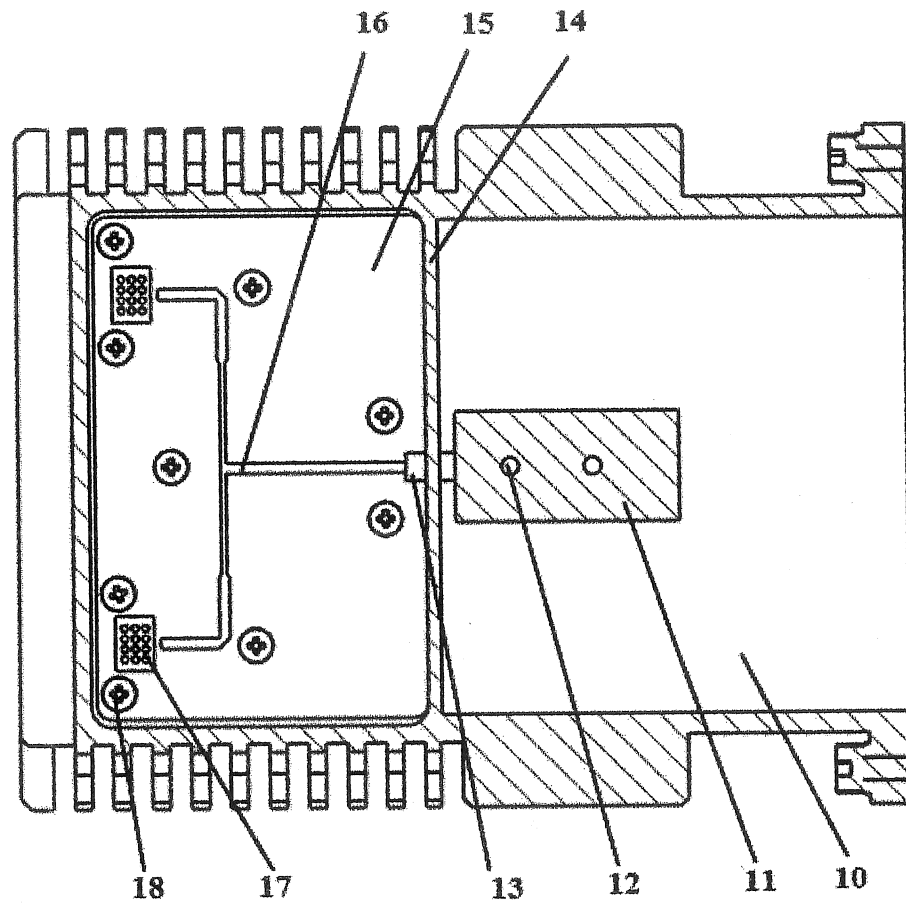
ε_r – hằng số điện môi của mạch in.



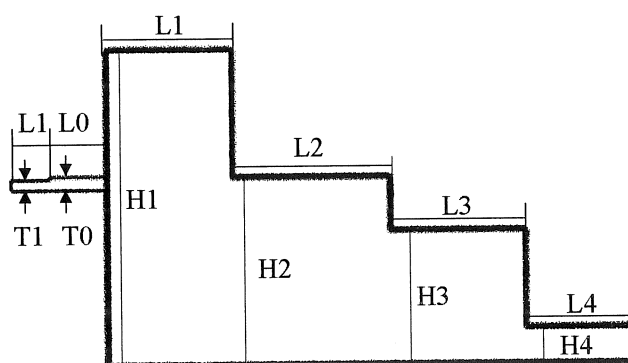
Hình 1



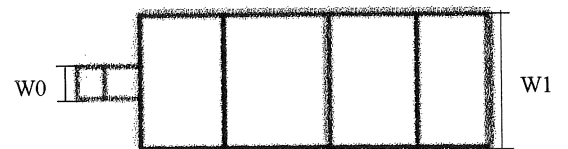
Hình 2



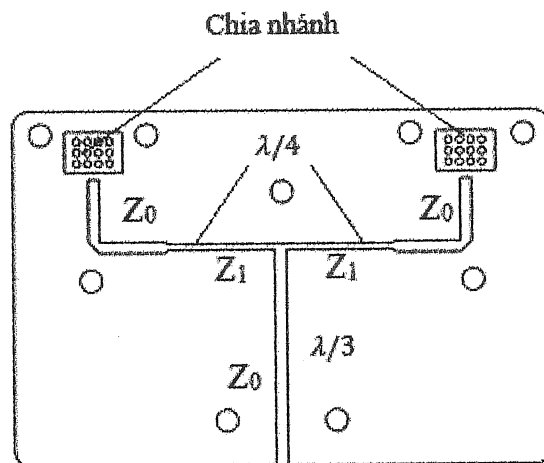
Hình 3



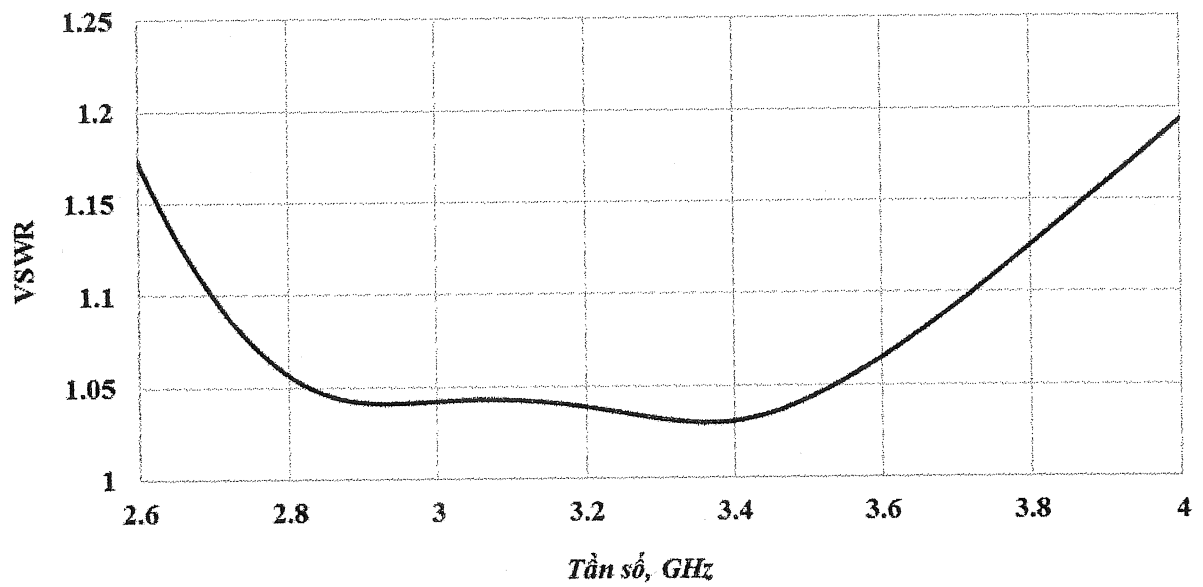
Hình 4a



Hình 4b



Hình 5



Hình 6