



(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)



1-0053147

(51)^{2022.01} H01G 7/00

(13) B

(21) 1-2022-04124

(22) 30/06/2022

(45) 25/11/2025 452

(43) 27/03/2023 420A

(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

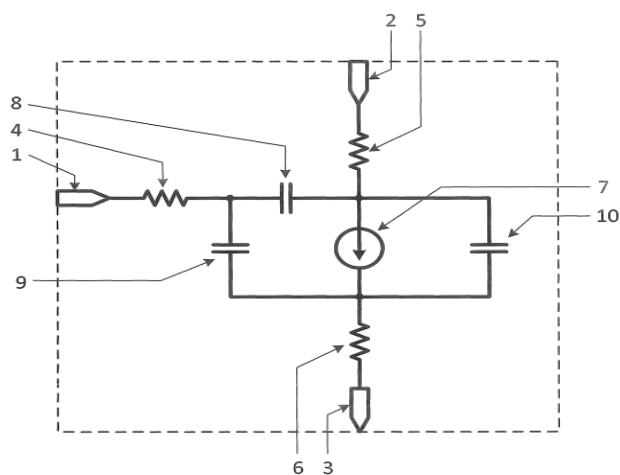
(72) DƯƠNG ĐỨC THANH (VN); ĐÀO XUÂN THUY (VN); DƯƠNG TÙNG (VN);
VŨ MINH TUẤN (VN).

(74) Công ty TNHH NACILAW (NACILAW)

(54) BIẾN TỰ SỐ SỬ DỤNG BÓNG BÁN DẪN CÔNG NGHỆ GAN (GALLIUM
NITRIDE)

(21) 1-2022-04124

(57) Sáng chế trình bày phương pháp thiết kế biến tụ số điều chỉnh điện, sử dụng eGAN FET làm phần tử đóng/mở lựa chọn tụ điện thành phần để thay đổi giá trị điện dung tổng của biến tụ. Biến tụ là phần tử được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực cao tần, siêu cao tần để tạo ra các mạch/mô-đun lọc cao tần, phối hợp trở kháng, cộng hưởng tạo dao động... Phương pháp thiết kế biến tụ được đề cập trong sáng chế có nhiều ưu điểm giúp tạo ra biến tụ có hệ số phẩm chất cao, công suất tiêu thụ thấp, thời gian điều chỉnh giá trị điện dung nhanh, kích thước nhỏ gọn và chi phí chế tạo thấp phù hợp với các ứng dụng yêu cầu chất lượng cao, kể cả cho thiết bị di động.



Hình 3

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập tới biến tụ số (Digital Variable Capacitor) sử dụng bóng bán dẫn công nghệ GaN (Gallium Nitride). Cụ thể, biến tụ số sử dụng bóng bán dẫn công nghệ GaN (Gallium Nitride) được đề cập trong sáng chế được sử dụng trong các thiết bị thông tin vô tuyến như: các loại máy phát, máy thu, đài AM/FM, ti-vi, điện thoại.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Biến tụ (Variable capacitor), hay tụ biến đổi là loại tụ điện có thể điều chỉnh được giá trị điện dung. Biến tụ thường được sử dụng trong các mạch cao tần mà ở đó giá trị điện dung cần thay đổi theo tần số hoạt động, ví dụ: các mạch lọc cần thay đổi đáp tuyến khi tần số hoạt động (tần số cần lọc) thay đổi, mạch phối hợp trở kháng với ăng ten cần điều chỉnh giá trị điện dung theo tần số và theo trở kháng ăng ten, mạch cộng hưởng tạo dao động cần điều chỉnh giá trị điện dung để tạo tần số cộng hưởng mong muốn...

Các loại biến tụ được sử dụng trước đây và đặc tính, chia ra làm hai nhóm:

- Biến tụ điều chỉnh cơ (mechanically controlled capacitance): là loại biến tụ sử dụng việc thay đổi về mặt cơ khí để điều chỉnh giá trị điện dung. Hai phương pháp phổ biến:
 - Thay đổi khoảng cách giữa hai bản cực của tụ điện;
 - Thay đổi diện tích bản cực của tụ điện (diện tích hai bản cực chồng nhau).

Đặc tính của loại tụ điện này là dễ đạt hệ số phẩm chất cao (Hi-Q), tuy nhiên kích thước lớn không phù hợp với các ứng dụng mạch tích hợp kích thước nhỏ hiện đại, tần số hoạt động thấp (dưới 50 MHz), hơn nữa thời gian điều chỉnh giá trị (tuning time) lớn không phù hợp với các ứng dụng cần điều chỉnh nhanh như nhảy tần (frequency hopping).

- Biến tụ điều chỉnh điện (electronically controlled capacitance): là loại biến tụ sử dụng mạch điện tử để điều chỉnh giá trị điện dung. Hai loại biến tụ điều chỉnh điện phổ biến:
 - Biến tụ điều chỉnh bằng điện áp (voltage tuned capacitance): là loại biến tụ điều chỉnh tương tự, giá trị tụ điện thay đổi liên tục theo mức điện áp điều chỉnh. Phổ biến là các đi-ốt biến dung (Varicap hay Varactor) sử dụng phổ biến trong các bộ tạo dao động điều chỉnh tần số bằng điện áp (VCO), vòng khoá pha (PLL), bộ tổng hợp tần số (Frequency Synthesizer). Đặc tính của loại tụ này là kích thước nhỏ, giá trị điều chỉnh trơn (liên tục), tuy nhiên trị số thấp (chỉ đến vài chục pF) nên chỉ dùng được cho mạch điều hưởng tần số cao, từ cỡ 50 MHz trở lên.
 - Biến tụ số (digitally tuned capacitance): là loại biến tụ mà bản chất là nhiều tụ điện được điều chỉnh đóng hoặc mở để thay đổi giá trị tụ điện tổng. Thành phần quan trọng nhất trong loại tụ này là phần tử dùng để đóng/mở (để lựa chọn tụ điện thành phần) trong mạch. Các phần tử phổ biến được sử dụng trước đây:
 - Rơ-le: kích thước lớn, chỉ phù hợp với tần số thấp, thời gian đóng mở (switching time) chậm.
 - Bóng bán dẫn (transistor) công nghệ CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor): kích thước nhỏ (thuận tiện làm mạch tích hợp), thời gian đóng mở nhanh, nhược điểm là có nội trở lớn nên khi dùng để đóng/mở lựa chọn tụ điện sẽ cho hệ số phẩm chất thấp và chỉ phù hợp với mạch công suất thấp, điện áp thấp.
 - Đi-ốt PIN: là loại đi-ốt có đặc tính đặc biệt là thời gian hồi phục ngược (carrier lifetime) lớn, tận dụng điều đó đi-ốt PIN được sử dụng rộng rãi trong chuyển mạch cao tần. Ưu điểm của loại này là kích thước nhỏ gọn (thuận tiện làm mạch tích hợp), thời gian đóng mở nhanh, chịu

được công suất cao, tuy nhiên nhược điểm là nội trở lớn, nếu dùng để đóng/mở lựa chọn tụ điện sẽ khiến cho hệ số phẩm chất của tụ thấp.

Trong sáng chế này, tác giả đưa ra phương án thiết kế biến tụ loại điều chỉnh điện theo phương pháp số và sử dụng bóng bán dẫn hiệu ứng trường sử dụng bán dẫn GaN (Gallium Nitride) loại cải tiến (Enhanced Gallium Nitride Field Effect Transistor – eGAN FET) làm phần tử đóng/mở trong mạch.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là đưa ra biến tụ số sử dụng bóng bán dẫn công nghệ GaN (Gallium Nitride) đáp ứng các yêu cầu hiện đại, tập hợp được ưu điểm của các loại biến tụ đang sử dụng trước đây:

- Kích thước nhỏ gọn, có khả năng làm vi mạch tích hợp (IC) phù hợp với các ứng dụng di động.
- Hệ số phẩm chất cao: trong lĩnh vực cao tần thì hệ số phẩm chất của tụ điện là yếu tố rất quan trọng, quyết định mức độ suy hao cao tần khi đi qua tụ điện. Tụ điện có hệ số phẩm chất thấp gây suy hao cao tần lớn, công suất tổn hao trên tụ dẫn đến khó thiết kế với công suất lớn.
- Thời gian điều chỉnh giá trị điện dung nhanh: để đảm bảo các yêu cầu như nhảy tần, điều hướng hay phối hợp trở kháng với ăng ten.

Để đạt được mục đích trên, sáng chế đề xuất biến tụ số với nhiều tụ điện xếp song song và sử dụng bóng bán dẫn hiệu ứng trường công nghệ bán dẫn GaN (Gallium Nitride) loại cải tiến (Enhanced Gallium Nitride Field Effect Transistor – eGAN FET) làm phần tử đóng/mở lựa chọn tụ điện trong mạch.

Sáng chế cũng trình bày rõ nguyên lý của biến tụ số theo phương án thiết kế đề xuất, các công thức toán học và mô hình hoá minh họa.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1: là hình vẽ cấu trúc biến tụ số;

Hình 2: là hình vẽ mô hình thông thường của một phần tử đóng/mở;

Hình 3: là hình vẽ mô hình đầy đủ của một eGAN FET;

Hình 4: là hình vẽ mô hình rút gọn của eGAN FET khi ở trạng thái mở;

Hình 5: là hình vẽ nguyên lý biến tụ sau khi mô hình hoá phần tử đóng mở sử dụng eGAN FET.

Mô tả chi tiết sáng chế

Tụ điều chỉnh điện theo phương pháp số (biến tụ số) có cấu trúc như Hình 1, gồm có: cực thứ nhất 1 của biến tụ, cực thứ hai 2 của biến tụ, các tụ điện thành phần 3, các phần tử đóng/mở 4 của tụ điện thành phần 3, các tín hiệu điều khiển 5 các thành phần đóng/mở tụ điện 4, khối điều khiển 6, các tín hiệu của giao diện điều khiển giá trị 7 của tụ điện. Nguyên lý hoạt động lý tưởng là khi phần tử đóng/mở 4 được điều khiển ở trạng thái đóng thì tụ điện thành phần 3 tương ứng sẽ được thêm vào giá trị điện dung tổng, còn những tụ điện thành phần 3 ứng với phần tử đóng/mở 4 ở trạng thái mở sẽ không tham gia vào giá trị điện dung tổng, theo công thức:

$$C_{\text{biến tụ}} = \sum C_{\text{tụ được lựa chọn}}$$

Trong đó:

$C_{\text{biến tụ}}$: là giá trị điện dung của biến tụ;

$C_{\text{tụ được lựa chọn}}$: là giá trị điện dung của các tụ điện thành phần ứng với phần tử đóng/mở được điều khiển ở trạng thái đóng.

Tuy nhiên, trong thực tế thì không có phần tử đóng/mở 4 nào lý tưởng để đạt được công thức trên. Các phần tử đóng/mở 4 luôn đi kèm các ký sinh, cụ thể, các thành phần ký sinh chủ yếu:

- Ở trạng thái đóng, các thành phần ký sinh gồm: nội trở (điện trở nối tiếp) và điện cảm, những thành phần ký sinh này trực tiếp ảnh hưởng tới hệ số phẩm chất của tụ điện.

- Ở trạng thái mở: ký sinh điện dung, điện dung ký sinh lớn sẽ rất khó để thiết kế biên tụ cho tần số cao.

Mô hình thông thường với các thành phần ký sinh chính của một phần tử đóng/mở như Hình 2, gồm có: hai cổng vào ra 41 và 42, cổng điều khiển 43, phần tử đóng/mở chính 44, điện cảm ký sinh 45, nội trở ký sinh 46 và điện dung ký sinh 47.

GaN (Gallium Nitride) là một chất bán dẫn được sử dụng để thiết kế các loại LED, bóng bán dẫn, IC công suất. Đặc biệt trong ứng dụng bóng bán dẫn, công nghệ GaN ngày càng được phát triển và dần thay thế cho công nghệ silicon để trở thành vật liệu bán dẫn của tương lai do có nhiều ưu điểm so với công nghệ bán dẫn silicon, bao gồm: nội trở dẫn thấp hơn (tổn hao công suất ít hơn), thời gian đóng-mở (switching time) nhanh hơn, điện dung ký sinh thấp hơn (hoạt động được ở tần số cao hơn, tổn hao ít hơn), tiêu thụ công suất thấp hơn, kích thước nhỏ hơn và đặc biệt là giá thành thấp hơn. Năm bắt xu hướng công nghệ, tác giả nghiên cứu và đề xuất phương án ứng dụng bóng bán dẫn công nghệ GaN làm phần tử đóng/mở 4 (Hình 1) để thiết kế biên tụ số.

Tuy nhiên bóng bán dẫn GaN có một nhược điểm là điện áp kích hoạt (bias voltage) sử dụng điện áp âm khiến cho thiết kế phức tạp, cồng kềnh, khó thiết kế thành IC tích hợp. eGAN FET (Enhanced Gallium Nitride Field Effect Transistor) là bóng bán dẫn GaN loại cải tiến khắc phục được nhược điểm trên. eGAN FET sử dụng điện áp kích hoạt dương, hoạt động giống như một bóng bán dẫn công nghệ silicon. Mô hình đầy đủ của một eGAN FET như Hình 3, gồm có: cực cổng (Gate) 1, cực máng (Drain) 2, cực nguồn (Source) 3, điện trở ký sinh cực cổng R_G 4, điện trở ký sinh cực máng R_D 5, điện trở ký sinh cực nguồn R_S 6, nguồn dòng chính I_D 7, tụ điện ký sinh giữa cực cổng và cực máng C_{GD} 8, tụ điện ký sinh giữa cực cổng và cực nguồn C_{GS} 9 và tụ điện ký sinh giữa cực máng và cực nguồn C_{DS} 10. Trong đó:

- Các điện trở ký sinh R_G , R_D , R_S là các hằng số phụ thuộc vào thiết kế của eGAN FET và quy cách đóng gói linh kiện (do nhà sản xuất linh kiện cung cấp).

- I_D phụ thuộc điện áp đặt vào ba cực (cực cổng, cực máng và cực nguồn): $I_D = f_1(V_G, V_D, V_S)$.
- C_{GD} phụ thuộc điện áp đặt vào ba cực (cực cổng, cực máng và cực nguồn): $C_{GD} = f_2(V_G, V_D, V_S)$.
- C_{GS} phụ thuộc điện áp đặt vào ba cực (cực cổng, cực máng và cực nguồn): $C_{GS} = f_3(V_G, V_D, V_S)$.
- C_{DS} phụ thuộc điện áp đặt vào hai cực (cực máng và cực nguồn): $C_{DS} = f_4(V_D, V_S)$.
- Trong đó: f_1, f_2, f_3, f_4 là các hàm số phụ thuộc vào thiết kế của eGAN FET và quy cách đóng gói linh kiện (do nhà sản xuất linh kiện cung cấp).

Với việc sử dụng làm phần tử đóng/mở 4 (Hình 1), bỏ qua trạng thái chuyển mạch (transisient) do thời gian chuyển mạch của eGAN FET là rất nhanh như đã nói ở trên, eGAN FET chỉ hoạt động ở một trong hai trạng thái:

- Trạng thái đóng: với các điện áp V_G, V_D, V_S đã xác định, từ đó $I_D, C_{GD}, C_{GS}, C_{DS}$ được xác định. Ở trạng thái này thông thường sẽ thiết kế để I_D lớn, trong khi các C_{GD}, C_{GS}, C_{DS} nhỏ, do đó ở tần số thấp có thể bỏ qua các thành phần C_{GD}, C_{GS}, C_{DS} , lúc này eGAN FET đóng vai trò như một điện trở có giá trị: $R_{DS} = R_D + R_S$.
- Trạng thái mở: các điện áp V_G, V_D, V_S cũng đã xác định, từ đó $I_D, C_{GD}, C_{GS}, C_{DS}$ được xác định. Ở trạng thái này thông thường sẽ thiết kế để dòng rò (leakage current) qua cực máng (I_D) rất nhỏ, khi đó mô hình eGAN FET được rút gọn như Hình 4 (a) và (b), trong đó bao gồm điện trở ký sinh rút gọn R_{DS} và tụ điện ký sinh rút gọn C_{oss} với:

$$R_{DS} = R_D + R_S$$

$$C_{oss} = \frac{C_{GD}C_{GS}}{C_{GD} + C_{GS}} + C_{DS}$$

Cấu trúc biến tự số ở Hình 1 chuyển đổi thành Hình 5 sau khi thay phần tử đóng/mở sử dụng eGAN FET bằng mô hình tương ứng, trong đó bao gồm: các tụ điện được lựa chọn

(a) (ứng với phần tử đóng/mở ở trạng thái đóng), các tụ điện không được lựa chọn (b) (ứng với phần tử đóng/mở ở trạng thái mở), các phần tử đóng/mở ở trạng thái đóng đã được mô hình hoá (c), các phần tử đóng/mở ở trạng thái mở đã được mô hình hoá (d). Ngoài ra, bản thân mỗi phần tử tụ điện C_{on_i} và C_{off_j} đều có nội trở (ESR) bên trong, sáng chế tập trung vào phân tích phần tử đóng/mở nên các công thức dưới đây sẽ không tính toán thành phần này, thực tế thiết kế tùy ứng dụng và yêu cầu về độ chính xác sẽ phải đưa vào tính toán.

Từ nguyên lý ở Hình 5, trở kháng tổng của mạch được tính theo công thức dưới:

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R_{DS} + X_{Con_1}} + \frac{1}{R_{DS} + X_{Con_2}} + \dots + \frac{1}{R_{DS} + X_{Con_n}} \\ + \frac{1}{R_{DS} + X_{Coss} + X_{Coff_1}} + \frac{1}{R_{DS} + X_{Coss} + X_{Coff_2}} + \dots + \frac{1}{R_{DS} + X_{Coss} + X_{Coff_m}}$$

Trong đó, X_C là trở kháng của tụ điện, tính bằng công thức:

$$X_C = \frac{j}{\omega C} = \frac{j}{2\pi f C}$$

Thay vào công thức trên sẽ rút ra được:

$$Z = R(f) + X(f)$$

Trong đó: R là phần thực, X là phần ảo và cả hai đều phụ thuộc vào tần số f.

Từ đó tính được giá trị điện dung C và hệ số phẩm chất Q của biến tụ theo tần số f:

$$C(f) = \frac{1}{2\pi f X(f)}$$

$$Q(f) = \frac{X(f)}{R(f)}$$

Hàm tính giá trị điện dung C của biến tụ sẽ được sử dụng để điều chỉnh giá trị các tụ điện thành phần nhằm tạo ra được các giá trị tụ điện mong muốn.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Trong phần này, sáng chế trình bày ví dụ về thiết kế biến tụ sử dụng trong một bộ lọc thông dải. Việc điều chỉnh giá trị của biến tụ sẽ làm thay đổi đáp tuyến băng lọc (thay

đổi tần số chọn lọc) tạo ra một bộ lọc thông dải điều chỉnh được đáp tuyến theo tần số (còn gọi là Tunable Bandpass Filter). Cụ thể, ví dụ này thiết kế biến tụ có giá trị điều chỉnh được để tạo ra mạch lọc thông dải có đáp tuyến tần số lọc trung tâm thay đổi được từ 3,3 MHz đến 512 MHz.

Tác giả lựa chọn phương pháp thiết kế các biến tụ số 8 bits, mỗi bit ứng với một tụ điện thành phần và một eGAN FET làm phần tử đóng/mở tương ứng. Hình 6 là kết quả mô phỏng đáp tuyến băng lọc (S_{21} và S_{11}) tại các tần số 3,3 MHz (đầu dải điều chỉnh), 30 MHz (giữa dải điều chỉnh) và 512 MHz (cuối dải điều chỉnh). Hình 7 là kết quả đo kiểm sản phẩm chế tạo thực tế tại ba tần số đã mô phỏng.

Yêu cầu bảo hộ

1. Biến tự số sử dụng bóng bán dẫn công nghệ GaN (gallium nitride) bao gồm: cực thứ nhất của biến tự, cực thứ hai của biến tự, các tụ điện thành phần, các phần tử đóng/mở của tụ điện thành phần, các tín hiệu điều khiển các thành phần đóng/mở tụ điện, khối điều khiển, các tín hiệu của giao diện điều khiển giá trị của tụ điện, trong đó khác biệt ở chỗ:

sử dụng nhiều tụ điện xếp song song và sử dụng bóng bán dẫn hiệu ứng trường công nghệ bán dẫn GaN (gallium nitride) loại cải tiến (enhanced gallium nitride field effect transistor – eGAN FET) làm phần tử đóng/mở lựa chọn tụ điện trong mạch.

2. Biến tự số sử dụng bóng bán dẫn công nghệ GaN (gallium nitride) theo điểm 1, trong đó: mô hình đầy đủ của một eGAN FET bao gồm: cực cổng (gate), cực máng (drain), cực nguồn (source), điện trở ký sinh cực cổng R_G , điện trở ký sinh cực máng R_D , điện trở ký sinh cực nguồn R_S , nguồn dòng chính I_D , tụ điện ký sinh giữa cực cổng và cực máng C_{GD} , tụ điện ký sinh giữa cực cổng và cực nguồn C_{GS} và tụ điện ký sinh giữa cực máng và cực nguồn C_{DS} .

3. Biến tự số sử dụng bóng bán dẫn công nghệ GaN (gallium nitride) theo một trong các điểm từ điểm 1 đến điểm 2, trong đó:

các điện trở ký sinh R_G , R_D , R_S là các hằng số phụ thuộc vào thiết kế của eGAN FET và quy cách đóng gói linh kiện (do nhà sản xuất linh kiện cung cấp);

I_D phụ thuộc điện áp đặt vào ba cực (cực cổng, cực máng và cực nguồn): $I_D = f_1(V_G, V_D, V_S)$;

C_{GD} phụ thuộc điện áp đặt vào ba cực (cực cổng, cực máng và cực nguồn): $C_{GD} = f_2(V_G, V_D, V_S)$;

C_{GS} phụ thuộc điện áp đặt vào ba cực (cực cổng, cực máng và cực nguồn): $C_{GS} = f_3(V_G, V_D, V_S)$;

C_{DS} phụ thuộc điện áp đặt vào hai cực (cực máng và cực nguồn): $C_{DS} = f_4(V_D, V_S)$;

trong đó: f_1, f_2, f_3, f_4 là các hàm số phụ thuộc vào thiết kế của eGAN FET và quy cách đóng gói linh kiện (do nhà sản xuất linh kiện cung cấp).

4. Biến tự số sử dụng bóng bán dẫn công nghệ GaN (gallium nitride) theo một trong các điểm từ điểm 1 đến điểm 3, trong đó: hai trạng thái hoạt động của eGAN FET:

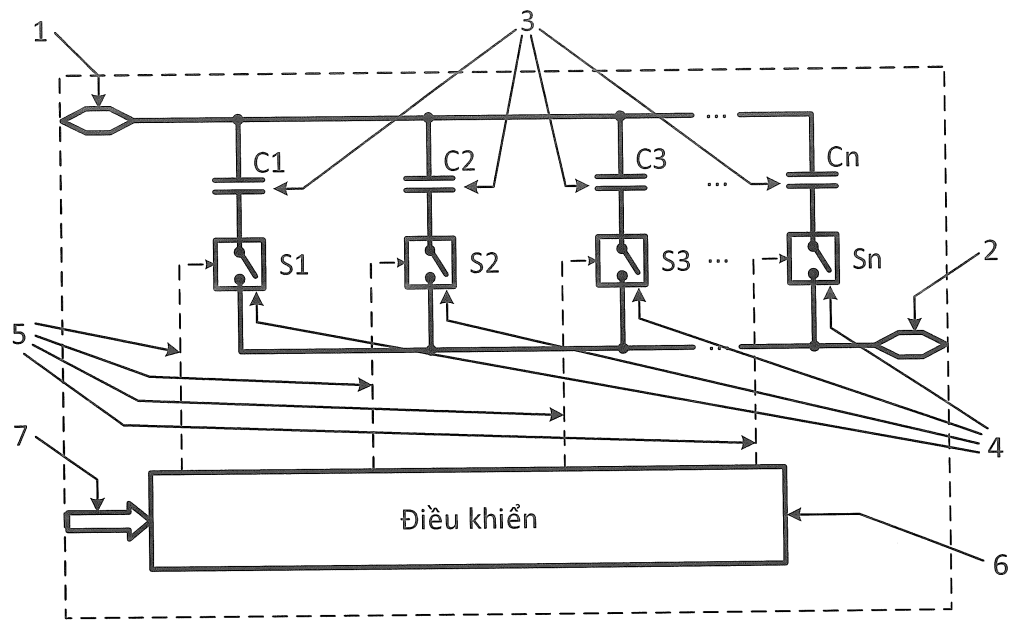
trạng thái đóng: với các điện áp V_G, V_D, V_S đã xác định, từ đó $I_D, C_{GD}, C_{GS}, C_{DS}$ được xác định; ở trạng thái này thông thường sẽ thiết kế để I_D lớn, trong khi các C_{GD}, C_{GS}, C_{DS} nhỏ, do đó ở tần số thấp có thể bỏ qua các thành phần C_{GD}, C_{GS}, C_{DS} , lúc này eGAN FET đóng vai trò như một điện trở có giá trị: $R_{DS} = R_D + R_S$;

trạng thái mở: các điện áp V_G, V_D, V_S cũng đã xác định, từ đó $I_D, C_{GD}, C_{GS}, C_{DS}$ được xác định; ở trạng thái này thông thường sẽ thiết kế để dòng rò (leakage current) qua cực máng (I_D) rất nhỏ, khi đó mô hình eGAN FET được rút gọn, trong đó bao gồm điện trở ký sinh rút gọn R_{DS} và tụ điện ký sinh rút gọn C_{oss} với:

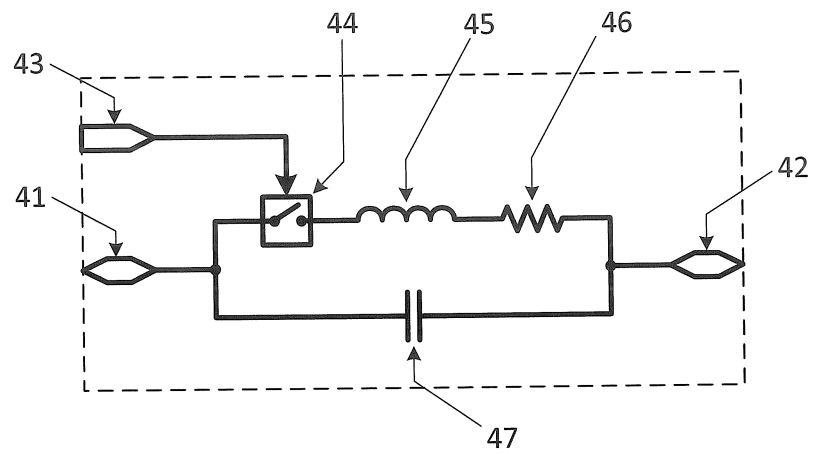
$$R_{DS} = R_D + R_S$$

$$C_{oss} = \frac{C_{GD}C_{GS}}{C_{GD}+C_{GS}} + C_{DS}.$$

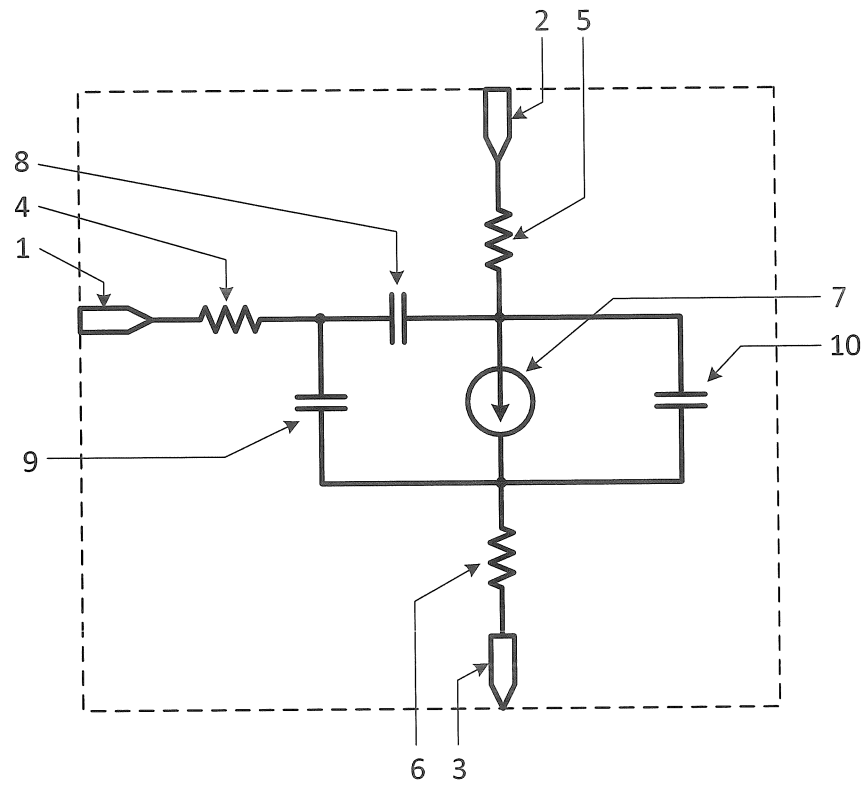
5. Biến tự số sử dụng bóng bán dẫn công nghệ GaN (gallium nitride) theo một trong các điểm từ điểm 1 đến điểm 4, trong đó: việc áp dụng eGAN FET để thiết kế biến tự số cho băng lọc thông dải điều chỉnh được đáp tuyến với các tần số hoạt động trong dải từ 3,3 MHz đến 512 MHz.



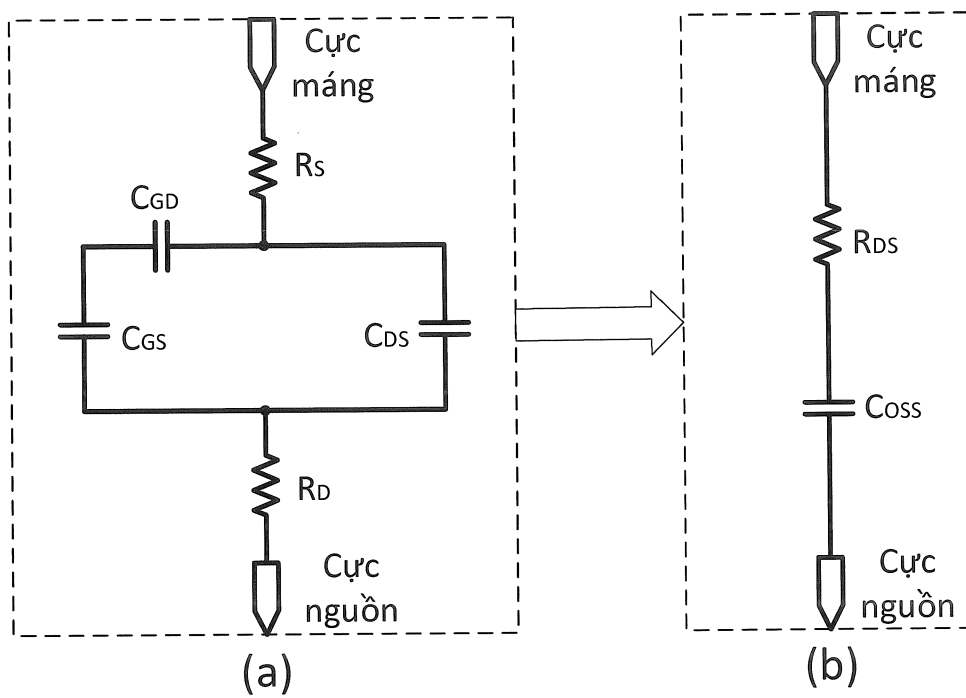
Hình 1



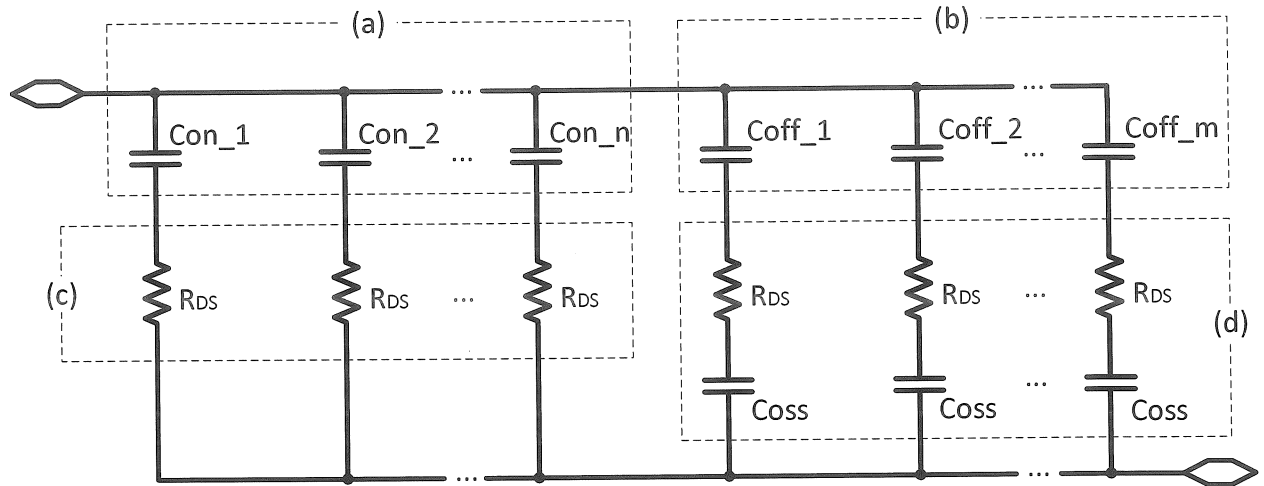
Hình 2



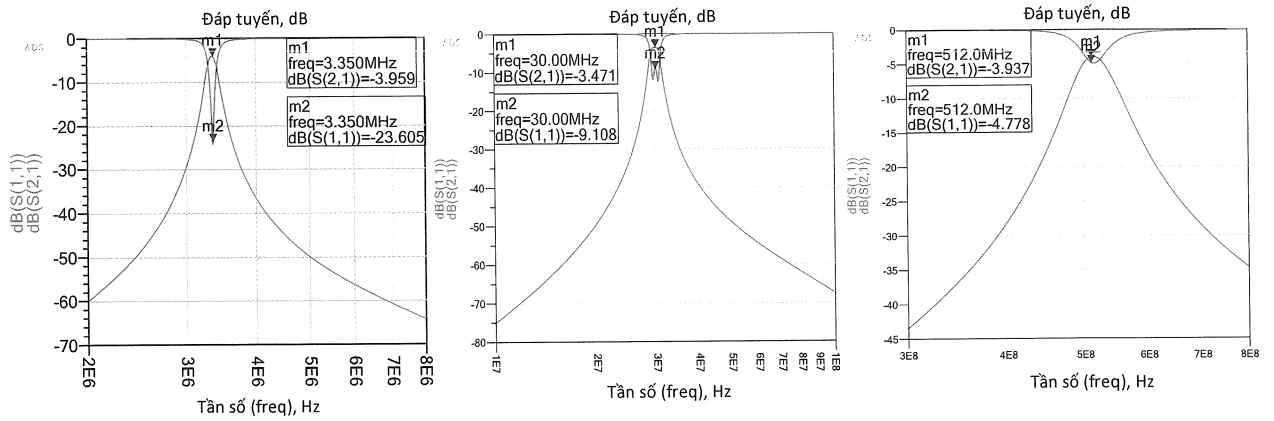
Hình 3



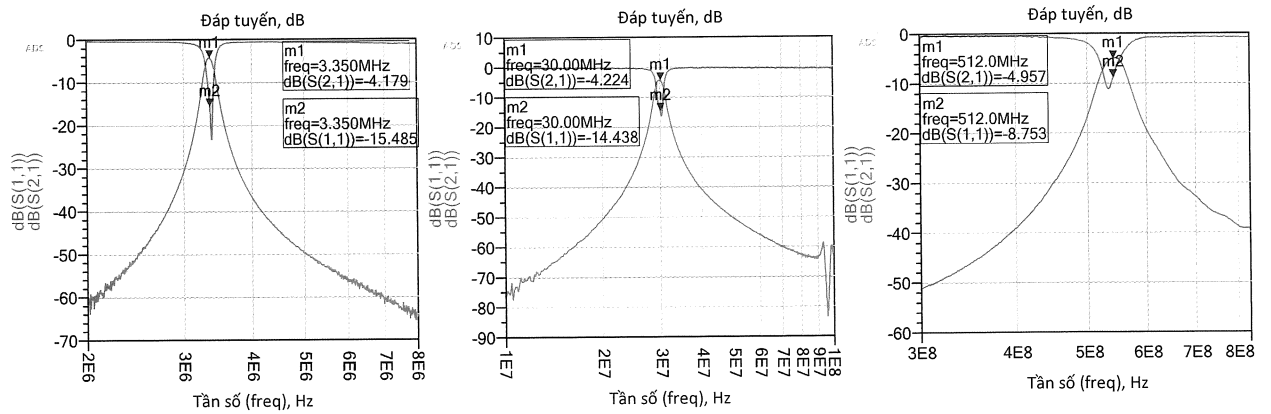
Hình 4



Hình 5



Hình 6



Hình 7