

## CHƯƠNG IV:

### MẠCH DAO ĐỘNG

#### I. ĐIỀU KIỆN TẠO DAO ĐỘNG VÀ ĐẶC ĐIỂM.

##### 1. Các tham số cơ bản của mạch tạo dao động.

Mạch dao động có thể tạo ra các dao động điện từ có dạng khác nhau như: dao động hình sin (dao động điều hòa), tạo xung chữ nhật, tạo xung tam giác, xung răng cưa hoặc tạo từng xung riêng biệt.

Các mạch tạo dao động điều hòa thường được dùng trong các hệ thống thông tin, trong các máy đo, máy kiểm tra, trong các thiết bị y tế... Các mạch tạo dao động điều hòa có thể làm việc trong dải tần từ vài Hz cho đến hàng nghìn MHz. Để tạo dao động có thể dùng các phần tử tích cực như đèn điện tử, transistor lưỡng cực, FET, mạch khuếch đại thuật toán hoặc các phần tử đặc biệt như diode Tunnel, diode Gunn.

Các đèn điện tử được dùng khi yêu cầu công suất ra lớn. Mạch tạo dao động dùng đèn điện tử có thể làm việc từ phạm vi tần số thấp sang phạm vi tần số cao.

Ở tần số thấp và trung bình thường dùng mạch khuếch đại thuật toán để tạo dao động, còn ở tần số cao thì dùng transistor lưỡng cực hoặc FET, trong phạm vi tần số MHz hoặc cao hơn thì dùng transistor, FET hoặc các loại diode đặc biệt.

Các tham số cơ bản của mạch tạo dao động gồm:

- Tần số dao động  $f$ : Biểu thị khả năng dao động của mạch, từ tần số thấp nhất đến tần số cao nhất:  $f_{\min} \div f_{\max}$ .
- Biên độ điện áp ra  $U_r$ : Là độ lớn của biên độ điện áp ra khi có tải.
- Độ ổn định tần số  $\Delta f/f_0$ : Thiết bị hiện đại yêu cầu có độ ổn định tần số cao tới  $10^{-6}$ . Với các thiết bị thông thường, yêu cầu độ ổn định từ  $10^{-2} \div 10^{-5}$ .
- Công suất ra  $P_r$  và hiệu suất  $\eta$ : Do mục đích chính của mạch tạo dao động là tạo ra các sóng có dải tần rộng và độ ổn định cao nên công suất ra và hiệu suất chỉ yêu cầu ở mức độ vừa phải là được.

Tùy thuộc vào mục đích sử dụng, khi thiết kế có thể đặc biệt quan tâm đến một vài tham số nào đó hoặc hạ thấp yêu cầu đối với tham số khác, nghĩa là tùy thuộc yêu cầu sử dụng mà cân nhắc và xác định các tham số một cách hợp lý.

Có thể tạo dao động điều hòa theo hai nguyên tắc cơ bản sau:

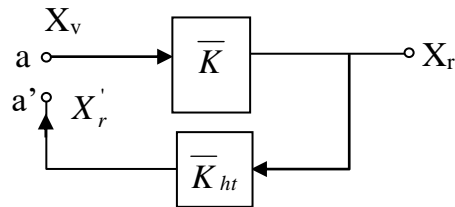
- Tạo dao động bằng hồi tiếp dương.

- Tạo dao động bằng phương pháp tổng hợp mạch.

Ở đây ta chỉ nghiên cứu các mạch tạo dao động theo nguyên tắc hồi tiếp dương.

## 2. Điều kiện tạo dao động.

Sơ đồ khối mạch tạo dao động theo nguyên tắc hồi tiếp:



$\bar{K} = K \cdot e^{j\varphi_K}$  - Hệ số khuếch đại của mạch khi chưa có hồi tiếp.

$\bar{K}_{ht} = K_{ht} \cdot e^{j\varphi_{ht}}$  - Hệ số hồi tiếp dương.

Ta có:

$$X_r' = \bar{K}_{ht} X_r = \bar{K} \bar{K}_{ht} X_v$$

Mạch chỉ dao động khi  $X_r' = X_v$ , nghĩa là lúc đó ta có thể nối điểm a và a', và tín hiệu lấy ra từ mạch hồi tiếp được đưa trở lại đầu vào (có nghĩa là mạch không có tín hiệu vào mà có tín hiệu ra).

Vậy điều kiện để mạch tạo dao động là:

$$\bar{K} \cdot \bar{K}_{ht} = 1$$

Có nghĩa là tín hiệu vào của mạch khuếch đại và tín hiệu ra của mạch hồi tiếp bằng nhau cả về biên độ và pha.

Đây chính là sơ đồ khối của mạch dao động dùng hồi tiếp dương. Nó sẽ tự dao động khi thỏa mãn điều kiện:

$$K \cdot K_{ht} = 1 \quad \text{và} \quad \varphi_K + \varphi_{ht} = 2k\pi \quad \text{với } k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

Trong đó:

$\varphi_K$ : Góc pha của tín hiệu đưa vào mạch khuếch đại.

$\varphi_{ht}$ : Góc pha của tín hiệu hồi tiếp dương đưa về mạch khuếch đại.

+  $K \cdot K_{ht} = 1$ : Điều kiện cân bằng về biên độ.

Nó thể hiện nội dung mạch chỉ tự dao động khi có hệ số khuếch đại  $K$  đủ lớn, bù lại được tổn hao do mạch hồi tiếp gây ra.

+  $\varphi_K + \varphi_{ht} = 2k\pi$ : Điều kiện cân bằng về pha.

Nó thể hiện nội dung mạch chỉ tự dao động khi tín hiệu hồi tiếp cùng pha với tín hiệu vào, nghĩa là hồi tiếp dương.

### 3. Đặc điểm của mạch dao động.

Để có dao động thì khi mới đóng mạch  $KK_{ht}$  phải lớn hơn 1 làm cho biên độ dao động tăng dần cho đến khi bộ khuếch đại chuyển sang làm việc ở trạng thái bão hòa, hệ số khuếch đại giảm dần sao cho  $K \cdot K_{ht} = 1$ . Lúc này có dao động ra, nhưng không phải hình sin. Để có dao động điều hòa hình sin cần phải điều chỉnh hệ số khuếch đại sao cho  $K \cdot K_{ht} = 1$  và xác lập tại đó trước khi bộ khuếch đại chuyển sang làm việc ở trạng thái bão hòa.

Từ đó rút ra các đặc điểm cơ bản của mạch tạo dao động như sau:

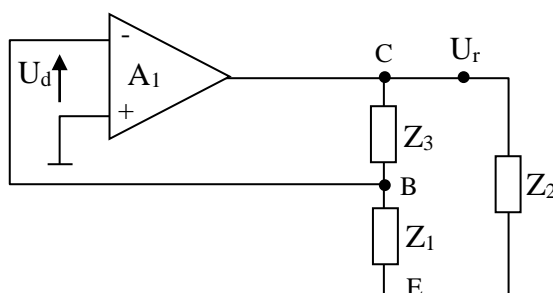
- Mạch tạo dao động cũng là một mạch khuếch đại, nhưng là mạch khuếch đại tự điều khiển bằng hồi tiếp dương từ đầu ra về đầu vào. Năng lượng tự dao động lấy từ nguồn cung cấp một chiều.
- Muốn có dao động, mạch phải có kết cấu thỏa mãn điều kiện cân bằng biên độ:  $K \cdot K_{ht} = 1$  và cân bằng pha:  $\varphi_K + \varphi_{ht} = 2k\pi$ .
- Mạch phải chứa ít nhất một phần tử tích cực làm nhiệm vụ biến đổi năng lượng một chiều thành xoay chiều.
- Mạch phải chứa một phần tử phi tuyến hay một khâu điều chỉnh để đảm bảo cho biên độ dao động không đổi ở trạng thái xác lập.

## II. MẠCH ĐIỆN CÁC BỘ TẠO DAO ĐỘNG LC.

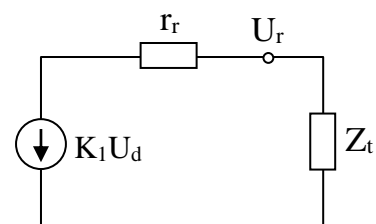
### 1. Mạch tạo dao động ba điểm.

#### 1.1. Nguyên tắc thiết lập mạch ba điểm.

Các mạch tạo dao động LC nói chung đều có thể đưa về một kết cấu chung:



Sơ đồ tương đương:



Trong đó:

$A_1$  là một bộ khuếch đại bất kỳ (transistor, FET, khuếch đại thuật toán...).

$U_d$  là điện áp vào.

$K_1$  là hệ số khuếch đại không tải.

$r_r$  là điện trở ra của bộ khuếch đại.

Hệ số hồi tiếp:

$$\overline{K}_{ht} = \frac{U_{BE}}{U_{CE}} = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_3}$$

Hệ số khuếch đại khi có tải của mạch:

$$\overline{K} = \frac{\overline{U}_r}{\overline{U}_d} = \frac{-\frac{K_1 U_d}{r_r + Z_t} \cdot Z_t}{U_d} = -K_1 \frac{Z_t}{r_r + Z_t}$$

$$\text{với } Z_t = Z_2 // (Z_1 + Z_3)$$

Lập tích  $\overline{K}\overline{K}_{ht}$ :

$$\overline{K}\overline{K}_{ht} = -K_1 \frac{Z_2 Z_1}{r_r (Z_1 + Z_2 + Z_3) + Z_2 (Z_1 + Z_3)} \quad (4.1)$$

Giả thiết các trở kháng  $Z_1, Z_2$  và  $Z_3$  thuần kháng:

$$Z_1 = jX_1; \quad Z_2 = jX_2; \quad Z_3 = jX_3$$

Thay vào (4.1) ta có:

$$\overline{K}\overline{K}_{ht} = K_1 \frac{X_1 X_2}{r_r j(X_1 + X_2 + X_3) - X_2 (X_1 + X_3)} \quad (4.2)$$

Khung dao động gồm các phần tử  $X_1, X_2$  và  $X_3$ .

Thường tần số dao động gần bằng tần số cộng hưởng riêng của khung, nên tại tần số dao động:

$$X_1 + X_2 + X_3 = 0$$

Do đó:

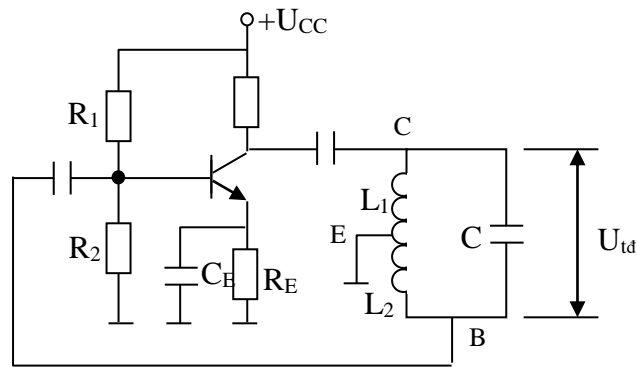
$$KK_{ht} = -K_1 \frac{X_1}{X_1 + X_3} = K_1 \frac{X_1}{X_2} \quad (4.3)$$

Theo điều kiện cân bằng pha, để có hồi tiếp dương, tổng di pha do mạch khuếch đại và mạch hồi tiếp gây nên phải bằng không, tức là  $KK_{ht} > 0$ . Do đó, theo (4.3) ta có:  $X_1 X_2 > 0$  và  $X_3$  trái dấu với  $X_1$  và  $X_2$ . Từ đó ta suy ra hai loại mạch ba điểm:

- Mạch ba điểm điện cảm:  $X_1, X_2 > 0$  và  $X_3 < 0$ .
- Mạch ba điểm điện dung:  $X_1, X_2 < 0$  và  $X_3 > 0$ .

### 1.2. Mạch ba điểm điện cảm (Mạch Hartley).

Sơ đồ mạch:



Ta có:

$$\left. \begin{aligned} X_1 = X_{BE} = \omega L_2 > 0 \\ X_2 = X_{CE} = \omega L_1 > 0 \\ X_3 = X_{CB} = -\frac{1}{\omega C} < 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{Thỏa mãn điều kiện cân bằng pha.}$$

Do đó ta chỉ cần quan tâm đến điều kiện biên độ.

Hệ số hồi tiếp:

$$K_{ht} = -\frac{U_B}{U_C} = -\frac{L_2}{L_1} = -n$$

Hệ số khuếch đại:

$$K = -SZ_C = -\frac{h_{21}}{h_{11}} \left( p^2 R_{td} // \frac{h_{11}}{n^2} \right)$$

Trong đó:  $p$  là hệ số ghép giữa transistor và mạch:

$$p = \frac{U_{CE}}{U_{td}} = \frac{L_1}{L_1 + L_2}$$

$R_{td}$  là trở kháng của khung cộng hưởng tại tần số cộng hưởng:

$$R_{td} = \frac{L_{td}}{Cr} = Q\sqrt{\frac{L_{td}}{C}}$$

L - Điện cảm của khung cộng hưởng.

C- Điện dung của khung cộng hưởng.

r - Điện trở tổn hao của khung cộng hưởng.

n – Hệ số phản ánh:

$$n = \left| \frac{U_{BE}}{U_{CE}} \right| = \frac{L_2}{L_1}$$

$$\Rightarrow p = \frac{1}{1+n}$$

Lập tích:  $KK_{ht} \geq 1$

$$\Rightarrow KK_{ht} = \frac{R_{td}h_{21}n}{n^2R_{td} + h_{11}(1+n)^2} \geq 1 \quad (4.4)$$

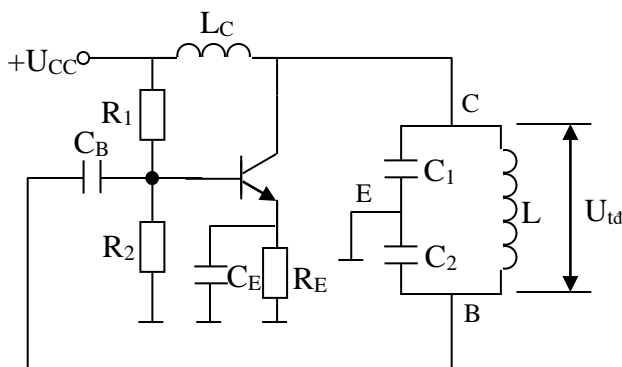
Tần số dao động của mạch được xác định:

$$f_{dd} \approx f_{ch} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_1 + L_2)C}}$$

### 1.3. Mạch ba điểm điện dung.

- Mạch Colpits:

Sơ đồ mạch:



Điều kiện cân bằng pha:

$$X_1 = X_{BE} = -\frac{1}{\omega C_2} < 0$$

$$X_2 = X_{CE} = -\frac{1}{\omega C_1} < 0$$

$$X_3 = X_{CB} = \omega L > 0$$

Thỏa mãn điều kiện cân bằng pha.

Do đó ta chỉ cần quan tâm đến điều kiện biên độ.

Tương tự ta cũng có:

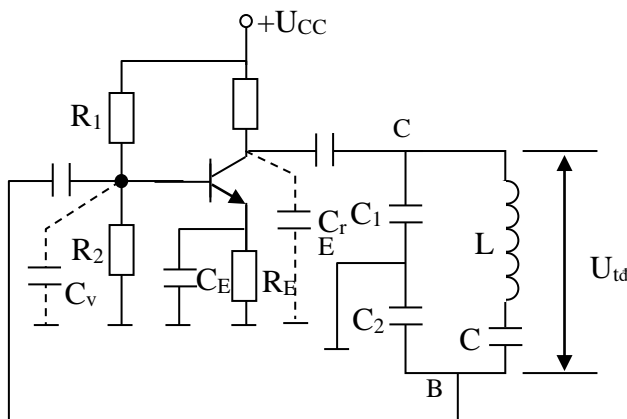
$$KK_{ht} = \frac{R_{td} h_{21} n}{n^2 R_{td} + h_{11} (1+n)^2} \geq 1$$

Trong đó:

$$R_{td} = \frac{L}{C_{td} r} = Q \sqrt{\frac{L}{C_{td}}}$$

$$n = \left| \frac{U_{BE}}{U_{CE}} \right| = \frac{C_2}{C_1}$$

- Mạch Clapp:



Là một biến dạng của mạch ba điểm điện dung. Ở đây, nhánh điện cảm trong sơ đồ trên được thay bằng một mạch cộng hưởng gồm L và C nối tiếp mà trị số của chúng được chọn sao cho mạch có trở kháng tương đương với một điện cảm tại  $f = f_{đđ}$  nghĩa là:  $\omega_{đđ} L > \frac{1}{\omega_{đđ} C}$ .

Hệ số ghép giữa transistor và khung cộng hưởng được xác định:

$$p = \frac{U_{CE}}{U_{td}} = \frac{C_{td}}{C_1}$$

Trong đó:  $\frac{1}{C_{td}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C}$

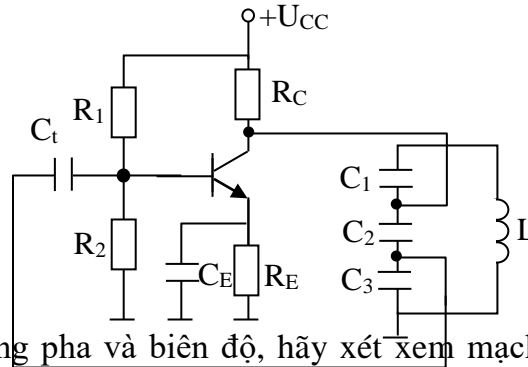
Thường chọn:  $C \ll C_1, C_2$ . Do đó:  $C \approx C_{td}$ .

Tần số dao động của mạch:

$$f_{dd} \approx f_{ch} = \frac{1}{\sqrt{LC_{td}}} \approx \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Ví dụ 1:

Cho mạch điện như hình vẽ:



Căn cứ vào điều kiện cân bằng pha và biên độ, hãy xét xem mạch điện trên có dao động được không?

Giải:

Theo điều kiện cân bằng pha, ta có:

$$\left. \begin{aligned} X_1 = X_{BE} &= -\frac{1}{\omega C_3} < 0 \\ X_2 = X_{CE} &= \omega L - \frac{1}{\omega C_1} \\ X_3 = X_{CB} &= -\frac{1}{\omega C_2} < 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{Không thỏa mãn điều kiện cân bằng pha.}$$

Đây không phải là mạch dao động nên không thể dao động được.

Ví dụ 2:

Cho sơ đồ mạch điện như hình vẽ:

a. Mạch này có phải là mạch dao động hay không?

Nếu phải thì là mạch dao động gì?

b. Hãy xét xem mạch có dao động được hay không?

Biết rằng:

$$C_1 = 1 \text{ pF}$$

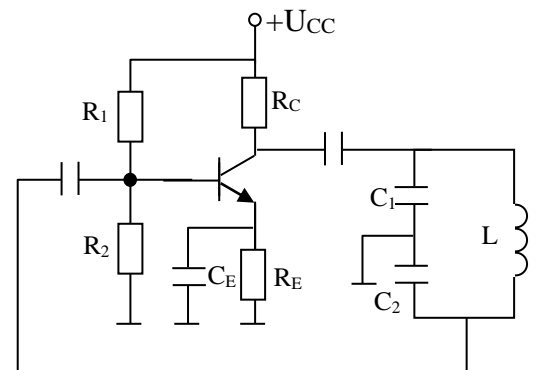
$$C_2 = 100 \text{ pF}$$

$$L = 10 \text{ mH}$$

$$Q = 60$$

$$h_{11} = 100 \text{ K}\Omega$$

$$h_{21} = 100$$





Giải:

a. Theo điều kiện cân bằng pha, ta có:

$$X_1 = X_{BE} = -\frac{1}{\omega C_2} < 0$$

$$X_2 = X_{CE} = -\frac{1}{\omega C_1} < 0$$

$$X_3 = X_{CB} = \omega L > 0$$

Thỏa mãn điều kiện cân bằng pha, do đó đây là mạch dao động, và là mạch dao động 3 điểm điện dung.

b. Theo điều kiện cân bằng biên độ, ta có:

$$KK_{ht} = \frac{R_{td} h_{21} n}{n^2 R_{td} + h_{11} (1+n)^2}$$

Trong đó:

$$n = \frac{C_1}{C_2} = \frac{1}{100} = 10^{-2}$$

$$R_{td} = \frac{L}{C_{td} r} = Q \sqrt{\frac{L}{C_{td}}} = 60 \sqrt{\frac{10 \cdot 10^{-3}}{\frac{1 \cdot 100}{1+100} \cdot 10^{-12}}} \approx 6 \cdot 10^6 \text{ (}\Omega\text{)}$$

Vậy ta có:

$$KK_{ht} = \frac{10^6 \cdot 100 \cdot 10^{-2}}{10^6 \cdot 10^{-4} + 100 \cdot 10^3 (1 + 10^{-2})^2} > 1$$

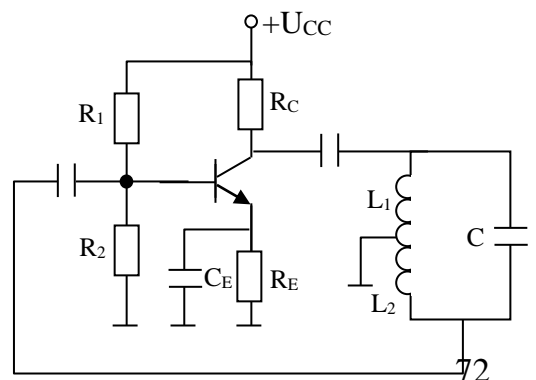
Do đó, mạch có khả năng dao động.

Ví dụ 3:

Cho sơ đồ mạch điện như hình vẽ:

a. Mạch này có phải là mạch dao động hay không? Nếu phải thì là mạch dao động gì?

b. Hãy xét xem mạch có dao động được hay không? Biết rằng:



$$L_1 = 100 \text{ mH} \quad L_2 = 1 \text{ mH}$$

$$C = 10 \text{ } \mu\text{F} \quad Q = 100$$

$$h_{11} = 10 \text{ K}\Omega \quad h_{21} = 100$$

Giải:

a. Theo điều kiện cân bằng pha, ta có:

$$X_1 = X_{BE} = \omega L_2 > 0$$

$$X_2 = X_{CE} = \omega L_1 > 0$$

$$X_3 = X_{CB} = -\frac{1}{\omega C} < 0$$

Thỏa mãn điều kiện cân bằng pha, do đó đây là mạch dao động, và là mạch dao động 3 điểm điện cảm.

b. Theo điều kiện cân bằng biên độ, ta có:

$$KK_{ht} = \frac{R_{td} h_{21} n}{n^2 R_{td} + h_{11} (1+n)^2}$$

Trong đó:

$$n = \frac{L_2}{L_1} = \frac{1}{100} = 10^{-2}$$

$$R_{td} = \frac{L_{td}}{Cr} = Q \sqrt{\frac{L_{td}}{C}} = 100 \sqrt{\frac{(1+100)10^{-3}}{10 \cdot 10^{-6}}} \approx 10^4 \text{ } (\Omega)$$

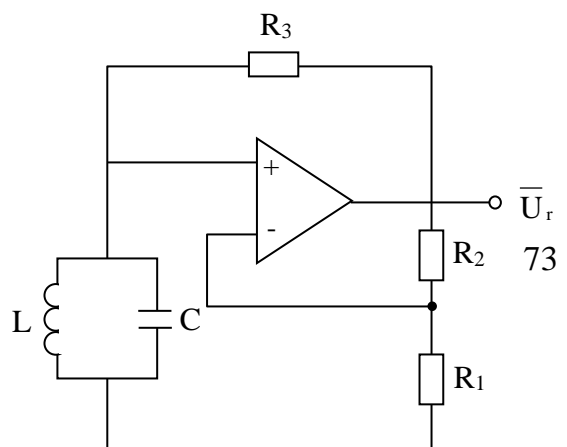
Vậy ta có:

$$KK_{ht} = \frac{10^4 \cdot 100 \cdot 0,01}{0,01^2 \cdot 10^4 + 10 \cdot 10^3 (1+0,01)^2} < 1$$

Do đó, mạch không có khả năng dao động.

Ví dụ 4:

Cho mạch điện như hình vẽ:



- a. Giải thích nguyên lý làm việc của mạch điện trên.
- b. Để mạch có điện áp ra hình sin thì mạch phải thỏa mãn điều kiện gì?
- c. Biết rằng:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R = 1 \text{ k}\Omega.$$

Phẩm chất của mạch cộng hưởng  $Q = 100$ .

Tần số cộng hưởng của mạch cộng hưởng  $f_{ch} = 100 \text{ kHz}$ .

Tính L và C.

Giải:

- a. Khi hệ số hồi tiếp âm  $K_{ht(-)}$  và hệ số hồi tiếp dương  $K_{ht(+)}$  thỏa mãn điều kiện thì trong mạch sẽ có dao động:

$$K_{ht(+)} \geq K_{ht(-)}$$

$$\text{Với } K_{ht(+)} = \frac{R_{td}}{R_{td} + R_3}$$

$R_{td}$  là điện trở cộng hưởng tương đương của khung cộng hưởng.

$$K_{ht(-)} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Khi cộng hưởng, trở kháng mạch cộng hưởng đạt giá trị lớn nhất là  $R_{td}$ , do đó hệ số hồi tiếp dương cũng lớn nhất và sơ đồ chỉ có dao động tại tần số cộng hưởng.

- b. Muốn có dao động hình sin thì mạch phải thỏa mãn điều kiện:

$$K_{\Sigma} \cdot K_{ht(+)} = 1$$

$$\text{Với: } K_{\Sigma} = \frac{K_0}{1 + K_0 K_{ht(-)}} \approx \frac{1}{K_{ht(-)}}$$

Vậy điều kiện để đảm bảo mạch tạo được điện áp ra hình sin là:

$$K_{ht(-)} = K_{ht(+)} \Rightarrow \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{R_{td}}{R_{td} + R_3}$$

- c. Ta có:

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{R_{td}}{R_{td} + R_3} \Rightarrow R_{td} = \frac{R_1 R_3}{R_2} = 1 \text{ k}\Omega$$

Mà:

$$\left. \begin{aligned} R_{td} &= \frac{1}{r} \sqrt{\frac{L}{C}} = Q \sqrt{\frac{L}{C}} \\ f_{ch} &= \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \end{aligned} \right\}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{R_{td}}{f_{ch}} = 2\pi QL \Rightarrow L = \frac{R_{td}}{2\pi f_{ch} Q} \approx 0,159 \cdot 10^{-4} \text{ H} \approx 16 \mu\text{H} \\ f_{ch} R_{td} = \frac{Q}{2\pi C} \Rightarrow C = \frac{Q}{2\pi f_{ch} R_{td}} \approx 0,159 \cdot 10^{-6} \text{ F} \approx 0,16 \mu\text{F} \end{cases}$$

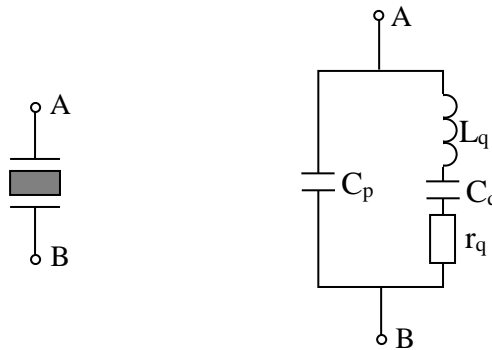
## 2. Mạch tạo dao động dùng thạch anh.

### 2.1. Tính chất và mạch tương đương của thạch anh.

Khi yêu cầu mạch tạo dao động có tần số ổn định cao mà dùng các biện pháp thông thường như ổn định nguồn cung cấp, ổn định tải, ... vẫn không đảm bảo được độ ổn định tần số yêu cầu thì phải dùng thạch anh để ổn định tần số. Vì thạch anh có những đặc tính vật lý rất đáng quý như độ bền cơ học cao, ít chịu ảnh hưởng của nhiệt độ, độ ẩm và tác dụng hóa học.

Thạch anh có tính chất áp điện, nghĩa là dưới tác dụng của điện trường thì sinh ra dao động cơ học và ngược lại khi có dao động cơ học thì sinh ra điện tích. Do đó có thể dùng thạch anh như một khung cộng hưởng.

Tính chất của thạch anh được biểu diễn bởi sơ đồ tương đương:



Trong đó:

$L_q, C_q, r_q$ : phụ thuộc vào kích thước khối thạch anh và cách cắt khối thạch anh. Thạch anh có kích thước càng nhỏ thì  $L_q, C_q, r_q$  càng nhỏ, nghĩa là tần số cộng hưởng riêng của nó càng cao.  $L_q, C_q, r_q$  có tính ổn định cao.

$C_p$ : điện dung giá đỡ, tính ổn định của  $C_p$  kém hơn.

Thường  $r_q$  rất nhỏ, nên khi tính toán người ta bỏ qua. Với giả thiết  $r_q \approx 0$ , thì trở kháng tương đương của thạch anh được xác định:

$$Z_q = X_q = \frac{\left( j\omega L_q + \frac{1}{j\omega C_q} \right) \frac{1}{j\omega C_p}}{j\omega L_q + \frac{1}{j\omega C_q} + \frac{1}{j\omega C_p}} = j \frac{\omega^2 L_q C_q - 1}{\omega (C_p + C_q - \omega^2 L_q C_q C_p)} \quad (4.5)$$

Theo (4.5) suy ra thạch anh có 2 tần số cộng hưởng:

- Tần số cộng hưởng nối tiếp  $f_q$  ứng với  $Z_q = 0$ :

$$f_q = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_q C_q}}$$

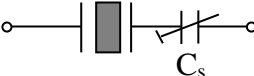
- Tần số cộng hưởng song song  $f_p$  ứng với  $Z_q = \infty$ :

$$f_p = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_q C_q C_p}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_q C_{td}}} = f_q \sqrt{1 + \frac{C_q}{C_p}}$$

Trong đó:  $C_{td} = \frac{C_p C_q}{C_q + C_p}$

$C_p$  càng lớn so với  $C_q$  thì  $f_q$  càng gần với  $f_p$ .

Để thay đổi tần số cộng hưởng của thạch anh trong phạm vi hẹp, người ta mắc nối tiếp với thạch anh một tụ điện biến đổi  $C_s$ :

Lúc này trở kháng tương  đương của mạch:

$$Z'_q = \frac{1}{j\omega C_s} \frac{C_q + C_p + C_s - \omega^2 L_q C_q (C_p + C_s)}{C_p + C_q - \omega^2 L_q C_q C_p}$$

Do đó tần số cộng hưởng nối tiếp của mạch:

$$f_q' = f_q \sqrt{1 + \frac{C_q}{C_p + C_s}}$$

Lượng thay đổi tần số nhờ mắc thêm  $C_s$  vào:

$$\frac{\Delta f}{f_q} = \frac{f_q' - f_q}{f_q} = \sqrt{1 + \frac{C_q}{C_p + C_s}} - 1 \approx \frac{1}{2} \frac{C_q}{C_p + C_s}$$

Ngoài ra, vì  $C_p$  ổn định kém, do đó để giảm ảnh hưởng của  $C_p$ , người ta mắc thêm một tụ  $C_0$  song song với  $C_p$ . Lúc đó:

$$Z_q = j \frac{\omega^2 L_q C_q - 1}{\omega [C_p + C_0 + C_q - \omega^2 L_q C_q (C_p + C_0)]}$$

Do đó, tần số cộng hưởng song song:

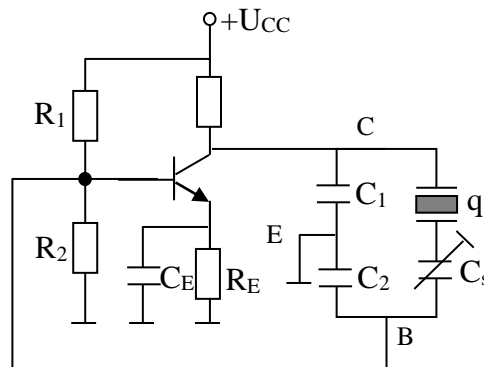
$$f_p = f_q \sqrt{1 + \frac{C_q}{C_p + C_0}}$$

Khi  $C_0 \gg C_q$  thì  $f_p \approx f_q$ .

Do mắc thêm  $C_0$  nên tần số cộng hưởng song song  $f_p$  giảm xuống gần bằng tần số cộng hưởng nối tiếp  $f_q$  và  $f_p$  hầu như không phụ thuộc vào  $C_p$  và  $C_0$ . Nhưng cũng vì vậy mà phẩm chất của mạch  $Q = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{L}{C}}$  giảm, vì C tăng.

## 2.2. Mạch tạo dao động dùng thạch anh với tần số cộng hưởng song song.

Sơ đồ mạch:



Là một dạng mạch ba điểm điện dung. Nhánh có thạch anh mắc nối tiếp với tụ điện C tương đương với một điện cảm, nghĩa là tần số dao động của mạch phải thỏa mãn:

$$f_q < f_{dd} < f_p$$

Trị số của tụ  $C_s$  được chọn:

$$\frac{1}{\omega_{dd} C_s} < \omega_{dd} L_{td}$$

Trong đó:  $L_{td}$  là điện cảm tương đương của thạch anh.

Ngoài ra, giống như trong mạch Clapp, trị số của C còn được chọn để giảm ảnh hưởng của điện dung ra và điện dung vào đến tần số dao động của mạch:

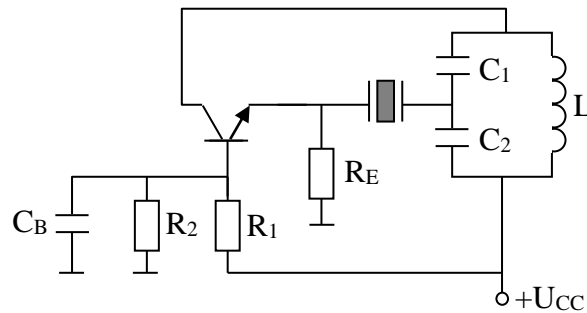
$$C_s \ll C_1, C_2$$

Tần số dao động của mạch có thể xác định gần đúng như sau:

$$f_{dd} \approx f_p$$

### 2.3. Mạch tạo dao động dùng thạch anh với tần số cộng hưởng nối tiếp.

Sơ đồ mạch 3 điểm điện dung mắc theo kiểu bazơ chung:



Thạch anh mắc trong mạch hồi tiếp và đóng vai trò như một phần tử ghép có tính chọn lọc tần số.

Khi tần số  $f_{dd} \approx f_q$  thì trở kháng thạch anh  $Z_q \approx 0$ . Do đó, hạ áp trên thạch anh nhỏ làm cho điện áp hồi tiếp về bazơ tăng và mạch có dao động với tần số dao động  $f_{dd} \approx f_q$ .





$$\varphi_{RC} = -\operatorname{arctg} \frac{1}{\omega CR}$$

Mỗi khâu RC chỉ có thể tạo ra một góc di pha  $\varphi_{RC} < 90^0$  khi R và C có trị số khác không. Vì vậy, muốn đảm bảo điều kiện pha, mạch hồi tiếp phải có tối thiểu ba khâu RC, mỗi khâu thực hiện một góc di pha  $\varphi_{RC} = 60^0$ . Nếu dùng 4 khâu thì  $\varphi_{RC} = 45^0$ .

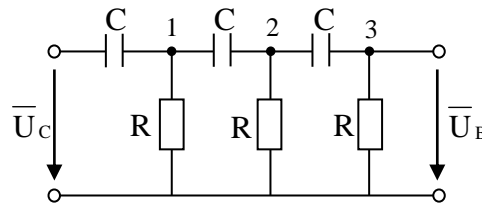
Có thể dùng các khâu RC có trị số khác nhau, nhưng để đơn giản dùng ba khâu RC như nhau.

Để đảm bảo ba khâu mạch giống nhau, mạch phải có các linh kiện thỏa mãn:

$$R_1 // R_2 // r_{BE} = R$$

Chúng ta sẽ xét các mạch hồi tiếp dùng 3 khâu di pha RC sau đây:

- Mạch hồi tiếp dùng ba khâu di pha RC thông cao:



Để tính hệ số truyền đạt của mạch di pha RC ba khâu, viết phương trình dòng điện cho nút 1, 2 và 3, rồi dùng phương pháp thế để giải ta có:

$$\bar{K}_{ht} = \frac{\bar{U}_B}{\bar{U}_C} = \frac{1}{1 - 5\alpha^2 - j\alpha(6 - \alpha^2)} \quad \text{Trong đó:} \quad \alpha = \frac{1}{\omega RC}$$

Modun của hệ số hồi tiếp:

$$K_{ht} = \frac{1}{\sqrt{(1 - 5\alpha^2)^2 + \alpha^2(6 - \alpha^2)^2}} \quad (4.6)$$

Góc pha của mạch hồi tiếp:

$$\varphi_{ht} = \operatorname{arctg} \frac{\alpha(6 - \alpha^2)}{1 - 5\alpha^2} \quad (4.7)$$

Với mạch di pha này,  $\varphi_{ht} = \pi$  khi  $\alpha^2 = 6$ .

Do đó:  $\omega_{dd} = \frac{1}{\sqrt{6RC}}$ .

Thay  $\alpha^2 = 6$  vào (4.6) xác định được giá trị của  $K_{ht}$  tại tần số dao động:

$$K_{ht} = -\frac{1}{29}$$

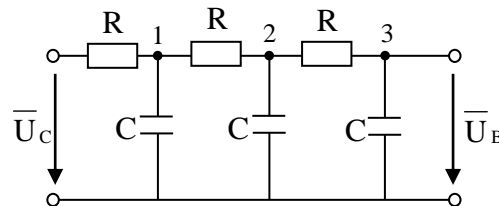
Bằng cách tương tự, tính được tần số dao động và hệ số truyền đạt đối với mạch di pha 4 khâu thông cao như sau:

$$K_{ht} = \frac{1}{1 - 15\alpha^2 + \alpha^4 - j\alpha(10 - 7\alpha^2)}$$

Đề:  $\varphi_{ht} = \pi$

$$\Rightarrow \omega_{dd} = \frac{1}{\sqrt{\frac{10}{7}RC}} \text{ và } K_{ht} \approx -\frac{1}{18,4}$$

- Mạch hồi tiếp dùng ba khâu di pha RC thông thấp:



Tương tự như trên, ta có:

$$K_{ht} = \frac{1}{1 - 5\frac{1}{\alpha^2} - j\frac{1}{\alpha}\left(\frac{1}{\alpha^2} - 6\right)}$$

Đề:  $\varphi_{ht} = \pi$

$$\Rightarrow \omega_{dd} = \frac{\sqrt{6}}{RC} \text{ và } K_{ht} = -\frac{1}{29}$$

Bằng cách tương tự, tính được tần số dao động và hệ số truyền đạt đối với mạch di pha 4 khâu thông thấp như sau:

$$K_{ht} = \frac{1}{1 - 15\frac{1}{\alpha^2} + \frac{1}{\alpha^4} - j\frac{1}{\alpha}\left(\frac{10}{\alpha^2} - 7\right)}$$

Đề:  $\varphi_{ht} = \pi$

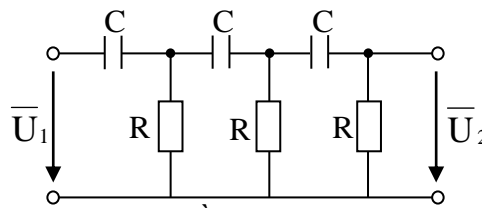
$$\Rightarrow \omega_{dd} = \frac{\sqrt{\frac{10}{7}}}{RC} \text{ và } K_{ht} \approx -\frac{1}{18,4}$$

Ta thấy rằng, số khâu của mạch hồi tiếp càng tăng thì đạo hàm  $\frac{\partial \varphi_{ht}}{\partial \omega}$  càng lớn.

Do đó, càng thuận lợi đối với yêu cầu về độ ổn định tần số.

Ví dụ 5:

Cho sơ đồ mạch hồi tiếp dùng 3 khâu di pha RC thông cao như hình vẽ:



Biết rằng mạch di pha có hàm truyền đạt:

$$K_{ht} = \frac{\bar{U}_2}{\bar{U}_1} = \frac{1}{1 - 5\alpha^2 - j\alpha(6 - \alpha^2)} \quad \text{với: } \alpha = \frac{1}{\omega RC}$$

- Viết biểu thức môđun, pha của hệ số truyền đạt và biểu thức xác định tần số dao động của bộ tạo dao động có mạch di pha mắc trong mạch hồi tiếp.
- Căn cứ vào biểu thức trên và các tính chất của bộ khuếch đại thuật toán, hãy xây dựng bộ tạo dao động dùng khuếch đại thuật toán có mạch di pha mắc trong mạch hồi tiếp (vẽ mạch cụ thể và có lý giải).
- Tính giá trị của các linh kiện trong mạch đã xây dựng ở trên. Biết tần số dao động  $f_{dd} = 1 \text{ kHz}$ , điện trở  $R = 1 \text{ k}\Omega$  (sai số cho phép khi tính điện dung là  $\pm 1 \text{ nF}$ ).

Giải:

- Modun của hệ số hồi tiếp:

$$K_{ht} = \frac{1}{\sqrt{(1 - 5\alpha^2)^2 + \alpha^2(6 - \alpha^2)^2}}$$

Góc pha của mạch hồi tiếp:

$$\varphi_{ht} = \text{arctg} \frac{\alpha(6 - \alpha^2)}{1 - 5\alpha^2}$$

$$\text{Đề } \varphi_{ht} = \pi \Rightarrow \alpha = \sqrt{6}$$

$$\text{Mà: } \alpha = \frac{1}{\omega RC} = \sqrt{6}$$

Tần số dao động của mạch:

$$f_{đđ} = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC}$$

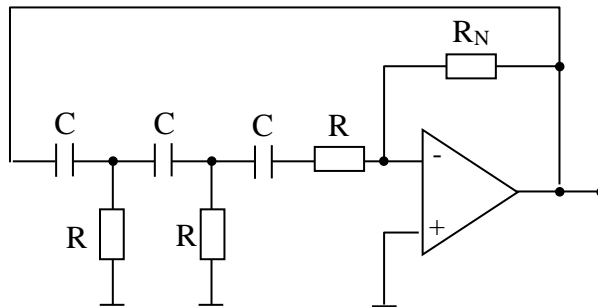
b. Xây dựng bộ khuếch đại thuật toán dùng khâu hồi tiếp trên:

- Đây là mạch di pha RC nên có góc di pha  $\varphi_{ht} = \pi$  nên nếu dùng bộ khuếch đại thuật toán thì phải dùng bộ khuếch đại đảo.

- Để tạo được dao động ta phải mắc mạch di pha trên hồi tiếp từ đầu ra trở về đầu vào của bộ khuếch đại.

- Do mạch mắc hồi tiếp trở về có điện trở R (cuối cùng) mắc song song với điện trở  $R_1$  (điện trở vào) nên giá trị sẽ thay đổi nên ở đây ta cho điện trở R mắc trực tiếp đến đầu vào (vì điểm N là điểm đất ảo).

Ta có sơ đồ mạch khuếch đại cần thiết kế:



c. Ta có:

$$f_{đđ} = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC} \Rightarrow C = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}Rf_{đđ}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{6} \cdot 10^3 \cdot 10^3}$$

$$\Rightarrow C \approx 64,9745 \cdot 10^{-9} (F) \approx 65 \text{ nF}$$

Hệ số hồi tiếp với  $\alpha = \sqrt{6}$ :

$$K_{ht} = -\frac{1}{29}$$

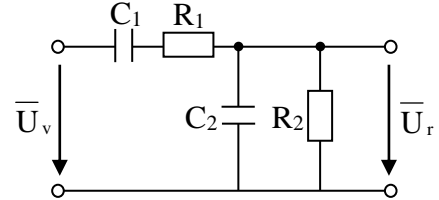
Theo điều kiện dao động ta có:  $K \cdot K_{ht} = 1$

$$\Rightarrow K = \frac{1}{K_{ht}} = -29 = -\frac{R_N}{R} \Rightarrow R_N = 29 \cdot R = 29 \text{ (k}\Omega\text{)}$$

### 3. Mạch tạo dao động cầu Viên.

Mạch cầu Viên được tạo ra bởi mạch lọc thông dải có dạng:

Hệ số truyền đạt của mạch:



$$\bar{K}_{ht} = \frac{\bar{U}_r}{\bar{U}_v} = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} + j\left(\omega R_1 C_2 - \frac{1}{\omega R_2 C_1}\right)}$$

Ta có:

$$K_{ht} = \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}\right)^2 + \left(\omega R_1 C_2 - \frac{1}{\omega R_2 C_1}\right)^2}}$$

$$\varphi_{ht} = -\arctg \frac{\omega R_1 C_2 - \frac{1}{\omega R_2 C_1}}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}}$$

Trường hợp:  $C_1 = C_2 = C$  và  $R_1 = R_2 = R$  ta có:

$$K_{ht} = \frac{1}{\sqrt{9 + \left(\omega RC - \frac{1}{\omega RC}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{9 + \left(\frac{1}{\alpha} - \alpha\right)^2}}$$

$$\varphi_{ht} = \arctg \frac{-\omega RC + \frac{1}{\omega RC}}{3} = \arctg \frac{-\frac{1}{\alpha} + \alpha}{3}$$

Trong đó:  $\alpha = \frac{1}{\omega RC}$

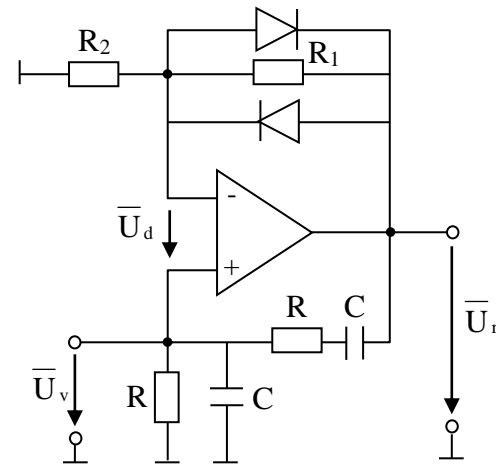
+  $\varphi_{ht} = 0$  khi  $\omega_{dd} = \frac{1}{RC}$ .

+  $K_{ht} = K_{ht \max} = \frac{1}{3}$

Tại tần số dao động, mạch có hệ số truyền đạt (hệ số hồi tiếp) lớn nhất và góc di pha bằng không. Do đó, có thể dùng mạch này kết hợp với bộ khuếch đại thuận ( $\varphi_k = 360^\circ$ ) để tạo hồi tiếp dương làm nhiệm vụ tạo dao động.

Bộ tạo dao động dùng mạch cầu Viên trong mạch hồi tiếp:

Nhánh  $R_1, R_2$  tạo thành một mạch hồi tiếp âm. Mạch hồi tiếp âm  $R_1, R_2$  cùng với mạch lọc thông dải tạo thành mạch cầu Viên mà nhánh chéo thứ nhất là  $\bar{U}_d$  và nhánh chéo thứ hai là  $\bar{U}_r$ . Mạch dao động ứng với  $\omega_{dd}$  khi  $K_{ht(+)} = K_{ht(+)\max} = \frac{1}{3}$ . Nhánh hồi tiếp âm không phụ thuộc tần số.



Vì  $K_{ht(+)} = \frac{1}{3}$  nên để đảm bảo điều kiện cân bằng biên độ, hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại có hồi tiếp âm phải bằng 3, nghĩa là:

$$K' = \frac{K_0}{1 + K_0 K_{ht(-)}} = \frac{1}{\frac{1}{K_0} + K_{ht(-)}} \approx \frac{1}{K_{ht(-)}} = 3$$

$$\Rightarrow K_{ht(-)} = \frac{1}{3} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\Rightarrow R_1 = 2R_2 \quad \text{Đây chính là điều kiện cân bằng của cầu.}$$

Trong sơ đồ, 2 diode mắc song song với  $R_1$  làm nhiệm vụ ổn định biên độ cho bộ tạo dao động. Khi biên độ dao động tăng thì điện trở tương đương của nhánh  $R_1$  giảm làm cho hồi tiếp âm tăng và do đó hệ số khuếch đại của mạch giảm và ổn định ứng với  $K' K_{ht(-)} = 1$ . Người ta chứng minh được rằng với mạch điện này, hệ số khuếch đại của phần tử khuếch đại càng lớn thì độ ổn định tần số đạt được càng cao. Vì vậy, dùng khuếch đại thuật toán rất có lợi về độ ổn định tần số.