

CHƯƠNG 2

CÁC MẠCH TẠO DAO ĐỘNG

Chương này nhằm trình bày các vấn đề về tạo dao động, điều kiện và đặc điểm mạch tạo dao động, ổn định biên độ và tần số dao động, phương pháp tính toán các mạch dao động 3 điểm điện cảm, 3 điểm điện dung, mạch clapp, mạch dao động ghép biến áp, mạch dao động thạch anh, mạch dao động RC...

2.1. Các vấn đề chung về tạo dao động

Mạch dao động có thể tạo ra các dạng dao động :

- hình Sine (điều hòa) - xung chữ nhật.
- xung tam giác. - xung răng cưa...

Ở đây ta xét tạo dao động hình Sine (điều hoà) vì đây là dạng dao động cơ bản.

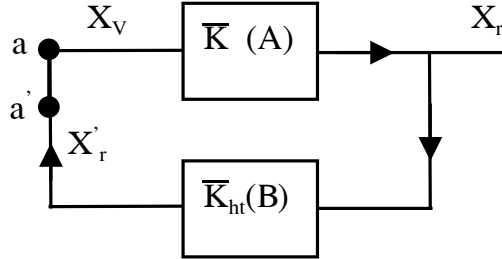
Các mạch dao động hình Sine thường được dùng trong các hệ thống thông tin, trong các máy đo, máy kiểm tra, trong các thiết bị y tế ... Các phần tử tích cực dùng để tạo dao động như đèn điện tử, transistor lưỡng cực, FET, KĐTT, hoặc như diode tunel, diode gun.

- Đèn dùng khi cần công suất ra lớn, tần số từ thấp đến rất cao.
- KĐTT khi tần số yêu cầu thấp và trung bình.
- Transistor khi tần số yêu cầu cao.
- Tham số cơ bản của mạch dao động
 - Tần số dao động.
 - Biên độ điện áp ra.
 - Độ ổn định tần số dao động (nằm trong khoảng $10^{-2} \div 10^{-6}$)
 - Công suất ra.
 - Hiệu suất của mạch.
- Nguyên tắc cơ bản để tạo mạch điều hòa
 - Tạo dao động bằng hồi tiếp dương.
 - Tạo dao động bằng phương pháp tổng hợp mạch.

Chương này khảo sát mạch dao động theo nguyên tắc mạch dao động bằng hồi tiếp dương.

2.2. Điều kiện dao động và đặc điểm của mạch dao động

2.2.1. Điều kiện để mạch dao động



Hình 2.1. Sơ đồ khối tổng quát của mạch dao động

(A): Khối khuếch đại có hệ số khuếch đại : $\bar{K} = K \cdot e^{j\varphi_k}$

(B): Khối hồi tiếp có hệ số truyền đạt : $\bar{K}_{ht} = K_{ht} \cdot e^{j\varphi_{ht}}$

$$X'_r = \bar{K}_{ht} \cdot X_r$$

$$\text{Mà } X_r = \bar{K} \cdot X_v$$

$$\Rightarrow X'_r = \bar{K} \cdot \bar{K}_{ht} \cdot X_v$$

Mạch chỉ dao động khi $X_v = X'_r$, 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 (Mạch điện không có tín hiệu vào mà có tín hiệu ra).

Vậy điều kiện để mạch dao động là :

$$X'_r = X_v \Rightarrow \bar{K} \cdot \bar{K}_{ht} = 1$$

$$\text{Hay là : } K K_{ht} \cdot e^{j(\varphi_k + \varphi_{ht})} = 1 \quad (*)$$

Trong đó :

K : module hệ số khuếch đại φ_k : góc pha của bộ khuếch đại

K_{ht} : module hệ số hồi tiếp φ_{ht} : góc pha của mạch hồi tiếp

$$\text{Từ } (*) \Rightarrow \begin{cases} K \cdot K_{ht} = 1 & (1) \\ \varphi = \varphi_k + \varphi_{ht} = 2\pi n & (2) \end{cases}$$

Với $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

φ : tổng dịch pha của bộ khuếch đại và của mạch hồi tiếp, biểu thị sự dịch pha giữa X'_r và X_v .

Biểu thức (1) : điều kiện cân bằng biên độ, cho biết mạch chỉ có thể dao động khi hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại bù được tổn hao do mạch hồi tiếp gây ra.

Biểu thức (2) : điều kiện cân bằng pha cho thấy dao động chỉ có thể phát sinh khi tín hiệu hồi tiếp về đồng pha với tín hiệu vào.

2.2.2. Đặc điểm của mạch dao động

1. Mạch 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.

2. Mạch phải thỏa mãn điều kiện cân bằng biên độ và pha.

3. Mạch phải chứa ít nhất một phần tử tích cực làm nhiệm vụ biến đổi năng lượng một chiều thành xoay chiều.

4. 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.

2.3. Ổn định biên độ dao động và tần số dao động

2.3.1. Ổn định biên độ dao động

Khi mới đóng mạch, nếu điều kiện cân bằng pha được thỏa mãn tại một tần số nào đó, đồng thời $KK_{ht} > 1$ thì mạch phát sinh dao động ở tần số đó. Ta nói mạch ở trạng thái quá độ. Ở trạng thái xác lập biên độ dao động không đổi ứng với $K.K_{ht} = 1$.

Để đảm bảo biên độ ở trạng thái xác lập, có thể thực hiện các biện pháp sau đây :

- Hạn chế biên độ điện áp ra bằng cách chọn trị số điện áp nguồn cung cấp một chiều thích hợp.
- Dịch chuyển điểm làm việc trên đặc tuyến phi tuyến của phần tử tích cực nhờ thay đổi điện áp phân cực đặt lên cực điều khiển của phần tử khuếch đại.
- Dùng mạch hồi tiếp phi tuyến hoặc dùng phần tử hiệu chỉnh. Ví dụ điện trở nhiệt, điện trở thông của diode.

Tùy thuộc vào mạch điện cụ thể có thể áp dụng một trong các biện pháp trên.

2.3.2. Ổn định tần số dao động

Vấn đề ổn định tần số dao động liên quan chặt chẽ đến điều kiện cân bằng pha. Khi dịch pha giữa điện áp hồi tiếp đưa về và điện áp ban đầu thay đổi sẽ dẫn đến thay đổi của tần số dao động.

Điều kiện cân bằng pha : $\varphi = \varphi_K + \varphi_{ht} = 2\pi n$

Cho $n = 0 \Rightarrow \varphi_K + \varphi_{ht} = 0$

φ_K, φ_{ht} : phụ thuộc vào tham số m, n của các phân tử của mạch khuếch đại và mạch hồi tiếp và phụ thuộc ω .

$$\varphi_K(m, \omega) + \varphi_{ht}(n, \omega) = 0 \quad (**)$$

Vi phân toàn phần và biến đổi (**) ta nhận được biểu thức :

$$d\omega = - \frac{\frac{\partial \varphi_K}{\partial m} dm + \frac{\partial \varphi_{ht}}{\partial n} dn}{\frac{\partial \varphi_K}{\partial \omega} + \frac{\partial \varphi_{ht}}{\partial \omega}} \quad (3)$$

Từ biểu thức (3) ta suy ra các biện pháp nâng cao độ ổn định tần số :

1. Thực hiện các biện pháp nhằm giảm sự thay đổi tham số của mạch hồi tiếp (dn) và mạch khuếch đại (dm).

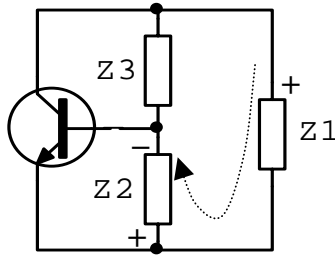
- Dùng nguồn ổn áp.
- Dùng các phân tử có hệ số nhiệt nhỏ.
- Giảm ảnh hưởng của tải đến mạch dao động bằng cách mắc thêm tầng đệm ở đầu ra của tầng dao động.
- Dùng các linh kiện có sai số nhỏ.
- Dùng các phân tử ổn định nhiệt.

2. Dùng các biện pháp nhằm giảm tốc độ thay đổi góc pha theo tham số của mạch, nghĩa là giảm $\frac{\partial \varphi_K}{\partial m}$ và $\frac{\partial \varphi_{ht}}{\partial n}$ bằng cách chọn mạch dao động thích hợp.

3. Thực hiện các biện pháp làm tăng tốc độ thay đổi góc pha theo tần số, tức là bằng $\frac{\partial \varphi_K}{\partial \omega}, \frac{\partial \varphi_{ht}}{\partial \omega}$ xung quanh tần số dao động bằng cách sử dụng các phân tử có phẩm chất cao, ví dụ thạch anh.

2.4. Các pháp tính toán mạch dao động

2..4.1. Các mạch tương đương của mạch dao động dùng transistor



Hình 2.2. Sơ đồ mạch tạo dao động dùng Transistor

$$z_1 = r_1 + jx_1 \cong jx_1 \quad (r_1 \cong 0)$$

$$z_2 = r_2 + jx_2 \cong jx_2 \quad (r_2 \cong 0)$$

$$z_3 = r_3 + jx_3 \cong jx_3 \quad (r_3 \cong 0)$$

Điều kiện dao động :

$$x_1 + x_2 + x_3 = 0$$

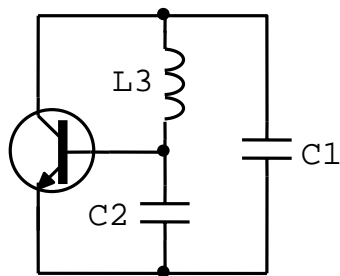
x_1, x_2 cùng dấu

x_1, x_2 khác dấu

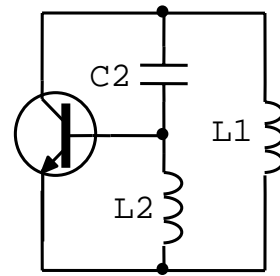
$$|x_3| > |x_2|$$

* Nếu $z_1, z_2 : C \Rightarrow z_3 : L$

Ta có mạch dao động ba điểm điện dung (Colpits)



Hình 2.3. Mạch dao động ba điểm điện dung (Colpits)



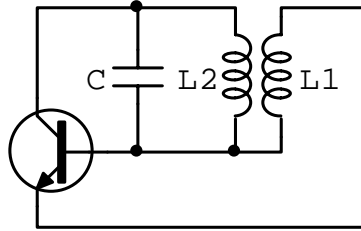
Hình 2.4. Mạch dao động ba điểm điện cảm (Hartley)

* Nếu $z_1, z_2 : L \Rightarrow z_3 : C$

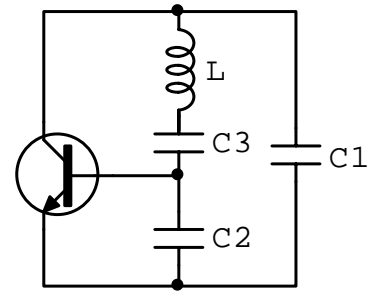
Ta có mạch dao động ba điểm điện cảm (Hartley)

Thông thường dùng ba mạch điện động ba điểm điện dung vì sự ổn định tốt hơn nhưng ba điểm điện cảm dễ thực hiện.

* Mạch biến thể :



Hình 2.5. Mạch dao động ghép biến áp



Hình 2.6. Mạch dao động Clapp

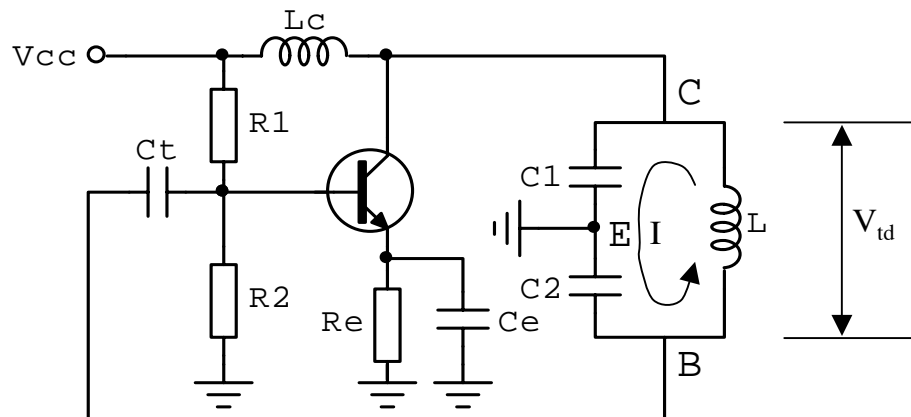
2.4.2. Phương pháp tính toán.

Có nhiều phương pháp, nhưng ở đây ta xét phương pháp thông dụng nhất, đó là tính toán mạch dao động theo phương pháp bộ khuếch đại có hồi tiếp.

Xem điều kiện pha đã bảo đảm (do kết cấu mạch đảm nhiệm).

Ta chỉ cần căn cứ vào mạch điện cụ thể để xác định hệ số khuếch đại K và hệ số hồi tiếp K_{ht} . Sau đó dựa vào điều kiện cân bằng biên độ $K \cdot K_{ht} = 1$ để suy ra các thông số cần thiết của mạch, ví dụ :

Tính điều kiện tự dao động của mạch ba điểm điện dung dùng BJT



Hình 2.7. Sơ đồ mạch dao động ba điểm điện dung dùng Transistor

R_E, C_E : thành phần ổn định nhiệt

R_1, R_2 : phân cực

L_c : cuộn cảm cao tần để giảm ảnh hưởng tần số dao động về nguồn

C_t : tụ liên lạc cao tần (thoát cao tần)

+ Bước 1 : Tính hệ số khuếch đại k :

$$K = - S.Z_c = - \frac{h_{21}}{h_{11}} Z_c \quad S : \text{hỗ dẫn BJT}$$

Z_c : trở kháng giữa Colectơ và đất : nó là một phần trở kháng của khung cộng hưởng.

$$Z_c = P^2.R_t // Z_{vpa}$$

Z_{vpa} : trở kháng vào phản ảnh sang nhánh Colectơ-emitơ.

Nếu $R_1 // R_2 \gg h_{11}$ ta có :

$$Z_{vpa} = \frac{Z_v}{n^2} = \frac{h_{11}}{n^2}$$

Trong đó : n là hệ số phản ảnh. $0 < n \ll 1$

$$n = - \frac{\dot{V}_{BE}}{\dot{V}_{CE}} = \frac{I}{j\omega C_2} : \frac{I}{j\omega C_1} = \frac{C_1}{C_2}$$

$$0 < n \ll 1 \Rightarrow C_1 \ll C_2$$

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

$$R_{td} = \frac{L}{C_r}$$

L : điện cảm của khung cộng hưởng

C : điện dung của khung cộng hưởng

r : điện trở tổn hao của khung cộng hưởng

P : hệ số ghép của Transistor với khung cộng hưởng

$$\begin{aligned} P &= \frac{\dot{V}_{CE}}{\dot{V}_{td}} = \frac{I}{j\omega C_1} : \frac{I}{j\omega \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}} = \frac{I}{j\omega C_1} \times \frac{j\omega \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}{I} \\ &= \frac{C_1 C_2}{(C_1 + C_2) C_1} = \frac{C_2}{C_1 + C_2} = \frac{1}{\frac{C_1}{C_2} + 1} = \frac{1}{1 + n} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow Z_c = \frac{P^2 \cdot R_{td} \cdot Z_{VPa}}{P^2 R_{td} + Z_{VPa}} = \frac{\frac{R_{td}}{(1+n)^2} \cdot \frac{h_{11}}{n^2}}{\frac{R_{td}}{(1+n)^2} + \frac{h_{11}}{n^2}}$$

$$\Rightarrow Z_c = \frac{R_{td} \cdot h_{11}}{n^2 R_{td} + h_{11} (1+n)^2}$$

$$\Rightarrow K = - \frac{h_{21}}{h_{11}} \cdot \frac{R_{td} \cdot h_{11}}{n^2 R_{td} + h_{11} (1+n)^2}$$

$$\Rightarrow K = \frac{R_{td} \cdot h_{21}}{n^2 R_{td} + h_{11} (1+n)^2}$$

+ Bước 2 : Xác định hệ số hồi tiếp :

$$K_{ht} = \frac{\dot{V}_{BE}}{\dot{V}_{CE}} = - \frac{I}{j\omega C_2} : \frac{I}{j\omega C_1} = - \frac{C_1}{C_2} = -n$$

+ Bước 3 : Tính tích K.K_{ht} :

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

+ Bước 4 : Xác định điều kiện dao động của mạch :

$$K \cdot K_{ht} \geq 1$$

$$\Rightarrow (1+n)^2 + n^2 \frac{R_{td}}{h_{11}} - \frac{h_{21}}{h_{11}} R_{td} \cdot n \leq 0$$

Dấu "=" ứng với trường hợp dao động xác lập.

Dấu "<" ứng với trường hợp quá độ lúc đóng mạch.

+ Bước 5 : Xác định hệ số hồi tiếp cần thiết để mạch tự dao động được.

Thường $n \ll 1$ nên biểu thức trên có thể viết :

$$n^2 \cdot \frac{R_{td}}{h_{11}} - 2n \frac{h_{21}}{2h_{11}} R_{td} + 1 \leq 0 \quad (*)$$

$$\Leftrightarrow n^2 - 2n \frac{h_{21}}{2} + \frac{h_{11}}{R_{td}} \leq 0$$

Giải phương trình bậc hai này ta nhận được :

$$n_{1,2} = \frac{h_{21}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{h_{21}}{2}\right)^2 - \frac{h_{11}}{R_{td}}}$$

$$(*) \leq 0 \text{ khi } n_2 \leq n \leq n_1$$

Lúc đó mạch có dao động hình sine (ở trạng thái xác lập) tại n_1 hoặc n_2

$$\text{Vì } R_{td} \gg \Rightarrow \left(\frac{h_{21}}{2}\right)^2 - \frac{h_{11}}{R_{td}} \cong \left(\frac{h_{21}}{2}\right)^2$$

$$\Rightarrow n_1 = h_{21} \Rightarrow \text{loại bỏ } n_1 \text{ vì điều kiện } |n| \ll 1$$

+ Bước 6 : Xác định trị số linh kiện mắc trong mạch qua hệ số hồi tiếp n và qua tần số dao động của mạch.

Từ giá trị $n = n_2$ vừa tìm được ta có :

$$\begin{cases} n = \frac{C_1}{C_2} = n_2 \\ f_{dd} = f_{CH} = \frac{1}{2\sqrt{L \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}} \Rightarrow \text{tìm được } L, C_1, C_2 \end{cases}$$

2.5. Mạch điện các bộ dao động LC

2.5.1. Vấn đề ổn định biên độ

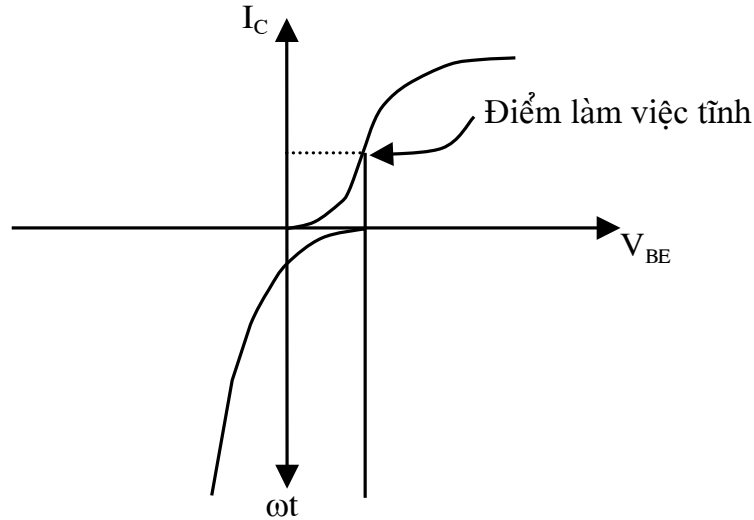
2.5.1.1. Chế độ dao động mềm và dao động cứng

Để ổn định biên độ trong các mạch dao động LC, thường dùng phương pháp di chuyển điểm làm việc của phần tử tích cực. Điện trở R_E trong mạch điện tính toán ở trên làm nhiệm vụ đó.

Khi mới đóng mạch, nhờ có phân áp R_1, R_2 nên tiếp giáp BE của Transistor được định thiên và làm việc với góc cắt $\theta = 180^\circ$ tương ứng với chế độ dao động mềm. Hồ dẫn S của Transistor tại điểm làm việc ban đầu khá lớn, do đó $KK_{ht} > 1$ và mạch ở vào chế độ quá độ. Biên độ dao động tăng dần làm cho hạ áp trên R_E tăng dần đến phân cực BE giảm, mạch chuyển sang chế độ C ứng với góc cắt $\theta < 90^\circ$. Tương ứng với chế độ dao động cứng. Đồng thời hồ dẫn trung bình giảm làm cho hệ số khuếch đại $K = -\frac{h_{21}}{h_{11}}$ giảm và tích

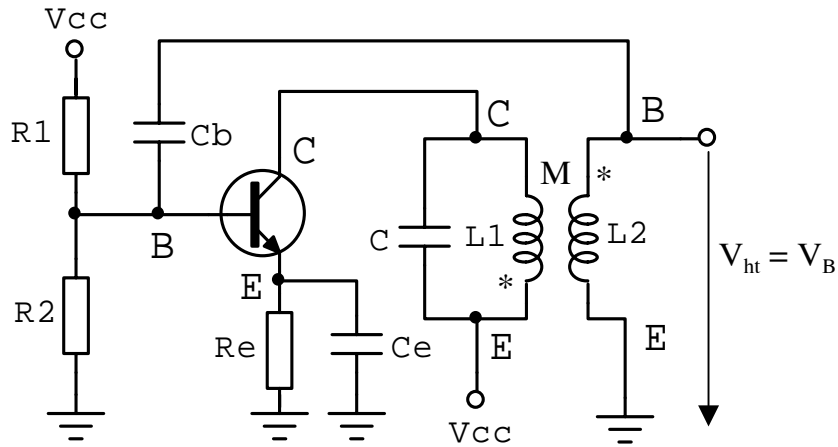
KK_{ht} tiến tới bằng 1 ở chế độ xác lập.

Trong mạch ta đã dùng hồi tiếp âm trên R_E để chuyển dịch làm việc từ khu vực có hồ dẫn lớn sang khu vực có hồ dẫn bé.



Hình 2.8. Đặc tuyến $V_{BE} - I_C$ của Transistor

2.5.2. Mạch điện dao động ghép biến áp



Hình 2.9. Sơ đồ mạch tạo dao động ghép biến áp mắc E chung

Điện áp này tạo nên trong cuộn cảm Colectơ dòng \bar{I}_L

$$\bar{I}_L = \frac{\bar{V}_C}{j\omega_L} = -\frac{SZ_C \bar{V}_B}{j\omega_L}$$

$$n = -\frac{V_{BE}}{V_{CE}} = -\frac{j\omega MI}{j\omega LI} = -\frac{M}{L} \Rightarrow M < 0$$

Dòng \bar{I}_L cảm ứng sang cuộn thứ cấp :

$$\begin{aligned}\bar{V}_{ht} &= \bar{V}_B \cong \bar{I}_L \cdot j\omega M \\ &\cong -\frac{j\omega M}{j\omega L} \cdot S \cdot Z_C \cdot \bar{V}_B = -\frac{M}{L} \cdot S \cdot Z_C \cdot \bar{V}_B\end{aligned}\quad (1)$$

$$n < 1 \text{ vì } n = -\frac{V_{BC}}{V_{CE}} = -\frac{V_{CB}}{V_{CE}} \quad L' < L$$

Từ (1) ta thấy để \bar{V}_B và \bar{V}_{ht} đồng pha thì $M < 0$

Nghĩa là cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp phải cuốn ngược cực tính. Điều kiện biên độ :

$$K \cdot K_{ht} = 1; \quad K_{ht} = -n = \frac{M}{L}$$

$$K = -SZ_C; \quad Z_C = P^2 \cdot R_{td} // Z_{vpa}; \quad Z_{vpa} = \frac{h_{11e}}{n^2}$$

$$\text{Trong đó : } \frac{1}{Z_C} = \frac{1}{R_{td}} + \frac{n^2}{h_{11e}} + \frac{1}{Z_L}$$

$$S = \frac{h_{21e}}{h_{11e}}$$

$$K_{ht} = +\frac{\bar{U}_B}{\bar{U}_C} = \frac{M}{L} = -n$$

$$\text{Lập tích : } K \cdot K_{ht} \geq 1 = (-n) \cdot \left(-\frac{h_{21e}}{h_{11e}} \right) \cdot \frac{R_{td} \cdot h_{11e}}{n^2 \cdot R_{td} + h_{11e}} \geq 1 \Rightarrow \frac{n \cdot h_{21e} \cdot R_{td}}{n^2 \cdot R_{td} + h_{11e}} \geq 0$$

$$P \cong \frac{V_{BE}}{V_{td}} = \frac{V_{CE}}{V_{CE}} = 1$$

$$\rightarrow n^2 - n \cdot h_{21e} - \frac{h_{11e}}{R_{td}} \leq 0$$

$$\text{thay vào ta được :} \quad n^2 - n \cdot h_{21e} + \frac{h_{11e}}{R_{td}} \leq 0$$

Giải ra ta được kết quả :

$$n_{1,2} = \frac{h_{21e}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{h_{21e}}{2}\right)^2 - \frac{h_{11e}}{R_{td}}}$$

Kết quả cũng giống như mạch ở phần trên đã tính toán

Tần số dao động của mạch :

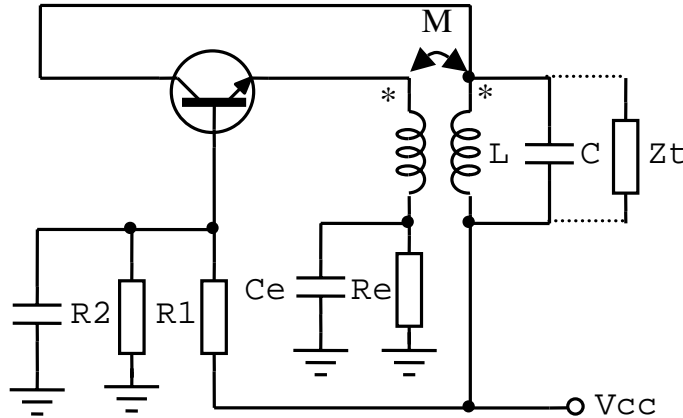
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Để tạo dao động có tần số cao, dùng sơ đồ bazơ chung vì điện áp vào và ra cùng pha nên điều kiện cân bằng pha thỏa mãn khi $M > 0$ (2 cuộn dây quấn cùng cực tính)

Điều kiện biên độ cũng giống sơ đồ emitơ chung nếu thay h_{21e} , h_{11e} bởi h_{21b} và h_{11b} .

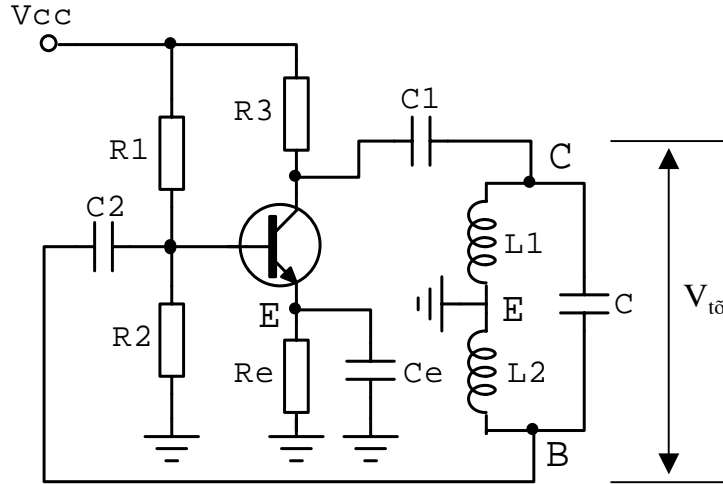
$$n = \frac{V_{EB}}{V_{CB}} = \frac{I_j \omega M}{I_j \omega L} = \frac{M}{L}; \quad 0 < n < 1$$

$$P = \frac{V_{CB}}{V_{td}} = 1$$

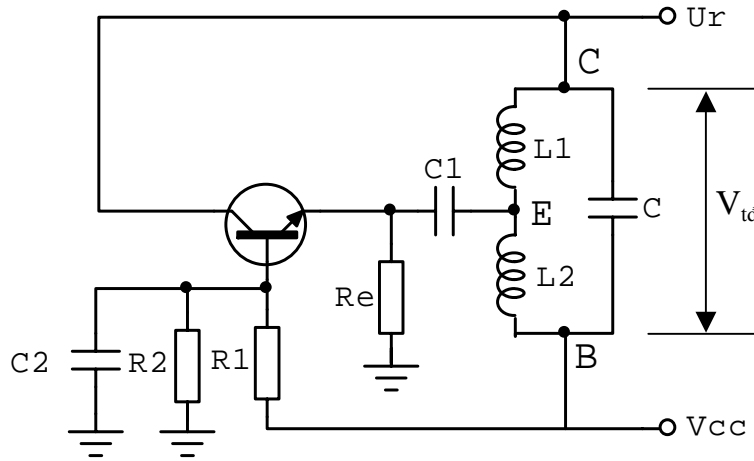


Hình 2.10. Sơ đồ mạch tạo dao động ghép biến áp mắc B chung

2.5.3. Mạch dao động điện cảm (Hartley)



Hình 2.11. Sơ đồ mạch tạo dao động Hartley mắc E chung



Hình 2.12. Sơ đồ mạch tạo dao động Hartley mắc B chung

Ta thấy : $X_1 = X_{BE} = \omega L_2 > 0$, $X_2 = X_{CE} = \omega L_1 > 0$, $X_3 = X_{CB} = -\frac{1}{\omega C} < 0$

Thỏa mãn điều kiện cân bằng về pha

Điều kiện cân bằng biên độ : (tính cho mạch hình 2.11)

$$K_{ht} = + \frac{V_{BE}}{V_{CE}} = \frac{-I_j \omega L_2}{I_j \omega L_1} = -\frac{L_2}{L_1} = -n$$

Và $K = -SZ_C = -\frac{h_{21e}}{h_{11e}} [P^2 \cdot R_{td} // \frac{h_{11e}}{n^2}]$

Hệ số phản ánh : $n = -\frac{V_{BE}}{V_{CE}} = \frac{L_2}{L_1}$

P : hệ số ghép giữa transistor và mạch :

$$P = \frac{V_{CE}}{V_{td}} = \frac{V_{CE}}{V_{CB}} = \frac{L_1}{L_1 + L_2} \Rightarrow \frac{V_{CE}}{V_{CB}} = \frac{V_{CE}}{V_{CE} + U_{EB}} = \frac{1}{1 + \frac{V_{CE}}{V_{EB}}} = \frac{1}{1 - \frac{V_{CE}}{V_{EB}}} = \frac{1}{1 + n}$$

(điều kiện L_1 và L_2 ghép lỏng)

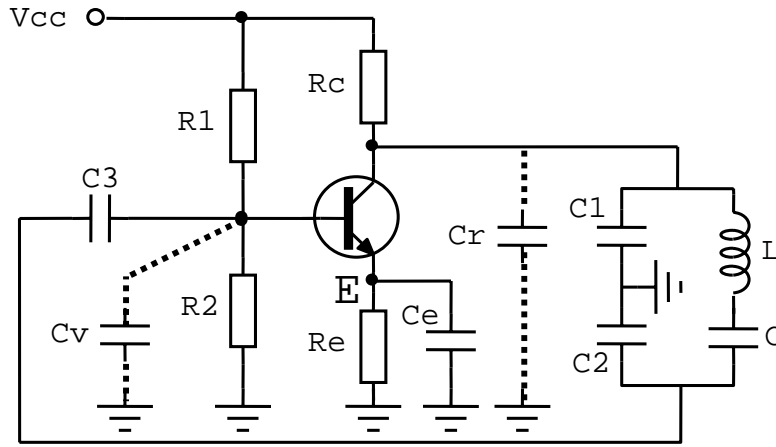
Thực hiện tương tự như các mạch trước ta tìm được bất phương trình :

$$(1 + n)^2 h_{11e} + n^2 R_{td} - n R_{td} h_{21e} \leq 0$$

$$\text{Tần số dao động : } f_{dd} \cong f_{CH} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_1 + L_2)C}}$$

Nếu ghép chặt : $L_\Sigma = L_1 + L_2 + 2M$

- Mạch Clapp :



Hình 2.13. Sơ đồ mạch tạo dao động Clapp

Đây là biến dạng của mạch ba điểm điện dung. Nhánh điện cần được thay bởi một mạch cộng hưởng gồm L , C nối tiếp mà trị số của chúng được chọn sao cho mạch có trở kháng tương đương với một điện cảm tại $f = f_{dd}$, nghĩa là $\omega_{dd} L > \frac{1}{\omega_{dd} C}$

Hệ số ghép giữa transistor và khung cộng hưởng:

$$n = -\frac{V_{BE}}{V_{CE}} = \frac{I}{j\omega C_2} : \frac{I}{j\omega C_1} = \frac{C_1}{C_2}$$

$$K_{ht} = \frac{V_{BE}}{V_{CE}} = -n$$

$$P = \frac{V_{CE}}{V_{td}} = \frac{I}{j\omega C_1} : \frac{I}{j\omega C_{td}} = \frac{C_{td}}{C_1}$$

Trong đó :

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

Thường chọn $C \ll C_1, C_2 \Rightarrow C \approx C_{td}$

$$\Rightarrow P = \frac{C_{td}}{C_1} = \frac{C}{C_1} \ll 1$$

Nghĩa là khung cộng hưởng ghép rất lỏng với BJT nhằm giảm ảnh hưởng của các điện dung phân bố của phân tử tích cực (BJT) (điện dung ra, điện dung vào) đến tần số dao động của mạch.

Tần số dao động của mạch :

$$f_{dd} = f_{ch} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{td}}} \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Vì vậy C_1, C_2 và các điện dung vào ra của transistor hầu như không tham gia quyết định tần số dao động của mạch. Do đó sơ đồ Clapp cho phép tạo dao động có tần số ổn định hơn các loại sơ đồ ba điểm khác.

Theo điều kiện cân bằng biên độ ta xác định được B phương trình:

$$n^2 R_{td} - n h_{21e} R_{td} + h_{11e} \left(\frac{C_1}{C} \right)^2 \leq 0$$

$$(-n) \cdot \left(-\frac{h_{21e}}{h_{11e}} \right) \cdot \frac{\frac{C^2 R_{td}}{C^2} \cdot \frac{h_{11e}}{n^2}}{\frac{C^2 R_{td} h_{11e}}{C^2 n^2}} = \frac{n^2 h_{21e} R_{td} \cdot C^2}{C^2 R_{td} n^2 + h_{11e} \cdot C_1^2} \geq 1.$$

Từ đó tính được :

$$n_{1,2} = \frac{h_{21e}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{h_{21e}}{2} \right)^2 - \frac{h_{11e}}{R_{td}} \left(\frac{C_1}{C} \right)^2}$$

Là hệ số hồi tiếp cần thiết để mạch có dao động xác lập khi $KK_{ht} = 1$

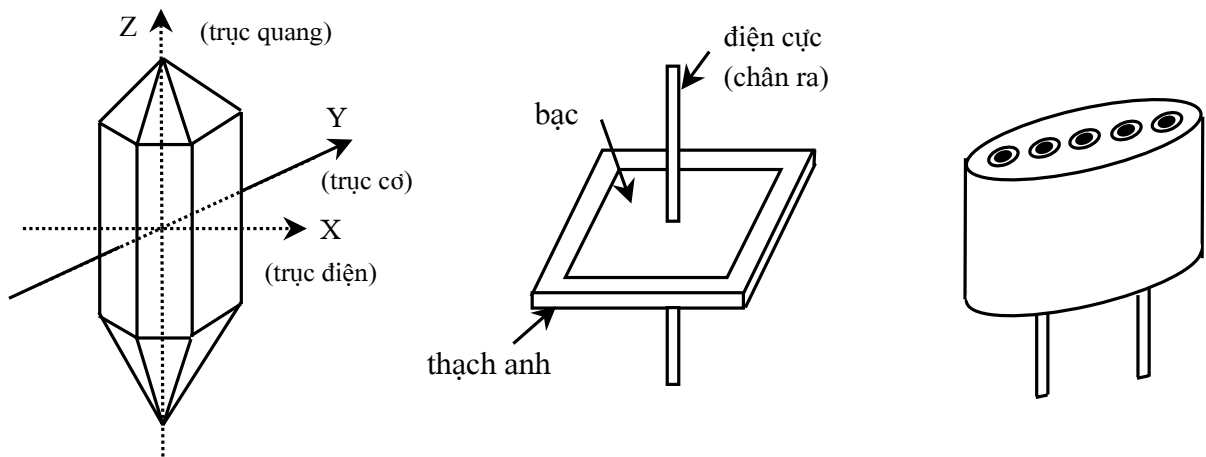
$$\rightarrow \frac{n \cdot h_{21e}}{n^2 \cdot R_{td} + h_{11e} \left(\frac{C}{C_1} \right)^2} \geq 0 \Rightarrow n^2 \cdot R_{td} - n \cdot h_{21e} \cdot R_{td} + h_{11e} \left(\frac{C_1}{C} \right)^2 \geq 0$$

2.5.4. Các mạch tạo dao động dùng thạch anh

Tinh thể thạch anh (quartz crystal) là loại đá trong mờ trong thiên nhiên có cấu tạo sáu mặt và hai tháp ở hai đầu (hình 2.14) có nhiều ở nước ta. Thạch anh chính là dioxid silicium SiO_2 cùng chất làm lớp cách điện ở transistor MOSFET. Ở tinh thể thạch anh có các trục mang tên Z, X, Y. Trục Z xuyên qua hai đỉnh tháp, trục X qua hai cạnh đối và thẳng góc với trục Z (có 3 trục X), trục Y thẳng góc với hai mặt đối (có 3 trục Y).

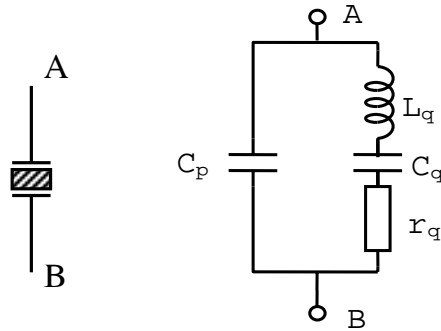
Tinh thể thạch anh dùng trong mạch dao động là một lát mỏng được cắt ra từ tinh thể. Tùy theo mặt cắt thẳng góc với trục nào mà lát thạch anh có đặc tính khác nhau. Thường trục cắt là AT (thẳng góc với trục Y, song song với trục X và tạo với trục Z một góc $35^\circ 15'$). Lát thạch anh có diện tích mặt khoảng một đến vài cm^2 được mài mỏng đến vài mm sao cho hai mặt thật phẳng và thật song song. Hai mặt này được mạ kim loại (vàng hay bạc) và hàn với hai điện cực làm chân ra. Kế đến lớp thạch anh được bọc trong một lớp bột cách điện và được đóng trong hộp thiết kín có hai chân ló ra, bên trong có thể được hút hút không khí.

Đặc tính của tinh thể thạch anh là hiệu ứng áp điện (piezoelectric) theo đó khi ta áp hai mặt của lát thạch anh thì một hiệu điện thế xuất hiện giữa hai mặt, còn khi ta kéo dãn hai mặt thì hiệu điện thế có chiều ngược lại. Ngược lại, dưới tác dụng của hiệu thế xoay chiều lát thạch anh sẽ rung ở tần số không đổi và như vậy tạo tín hiệu xoay chiều ở tần số không đổi. Tần số dao động của thạch anh tùy thuộc vào kích thước của nó (đặc biệt là chiều dày) và mặt cắt. Tần số dao động thay đổi theo thời gian và nhiệt độ môi trường nhưng nói chung rất ổn định. Ảnh hưởng quan trọng nhất lên thạch anh là nhiệt độ. Khi nhiệt độ thay đổi, kích thước của lát thạch anh thay đổi dẫn đến tần số dao động thay đổi theo, nhưng dù sao cũng tram ngàn lần ổn định hơn các mạch không dùng thạch anh. Do đó trong những ứng dụng cần ổn định tần số rất cao người ta phải ổn định nhiệt độ thạch anh. Các đồng hồ chỉ giờ (đeo tay, treo tường) đều dùng dao động thạch anh.



Hình 2.14. Tinh thể, cấu tạo và hình dạng linh kiện thạch anh

2.5.4.1. Tính chất và mạch tương đương của thạch anh



Hình 2.15. Ký hiệu và mạch tương đương của thạch anh

L_q, C_q, r_q : phụ thuộc kích thước khối thạch anh và cách cắt khối thạch anh.

C_q : Điện dung tạo bởi 2 má ghép với đầu ra.

Thông thường r_q rất nhỏ có thể bỏ qua.

+ Thạch anh được cấu tạo từ SiO_2 , được sử dụng khi yêu cầu mạch dao động có tần số ổn định cao vì hệ số phẩm chất Q của nó rất lớn.

+ Thạch anh có tính chất áp điện : Điện trường - sinh dao động cơ học và dao động cơ học - sinh ra điện tích.

Do đó có thể dùng thạch anh như một khung cộng hưởng.

Bỏ qua r_q ($r_q = 0$) thì trở kháng tương đương của thạch anh được xác định :

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

Gọi f_{dd} là tần số dao động của 1 mạch

Từ (*) thạch anh có 2 tần số cộng hưởng:

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

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

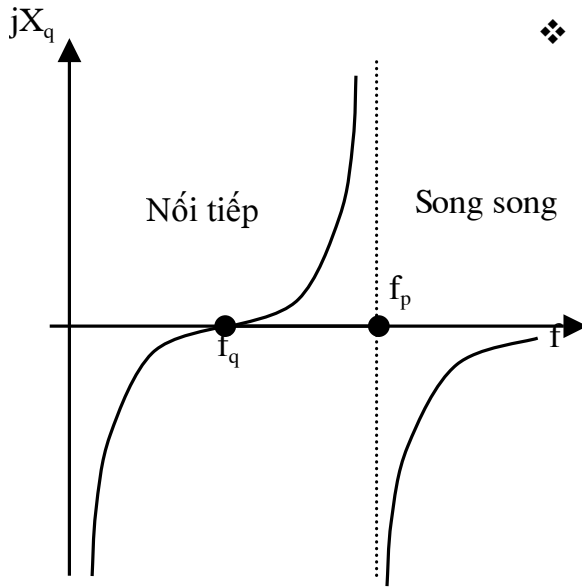
- Nếu $f_{dd} < f_q$ - TA $\Leftrightarrow C$
- Nếu $f_q < f_{dd} < f_p$ - TA $\Leftrightarrow L$
- Nếu $f_{dd} > f_p \Leftrightarrow TA \Leftrightarrow C$

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

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

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

Khi $C_p \gg C_q \Rightarrow f_p \approx f_q$



❖ Các thông số đặc trưng của T.A:

- $f_q : 1 \text{ KH}_3 \div 100 \text{ MH}_3$

- $r_q \sim 0$

$\Rightarrow R_{td} = \frac{L_q}{C_q r_q}$ rất lớn

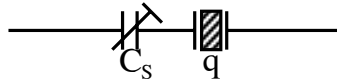
- $Q = R_{td} \sqrt{\frac{C_q}{L_q}} = \frac{\sqrt{\frac{L_q}{C_q}}}{r_q} = 10^4 \div 10^5$ rất lớn

- Độ ổn định tần số :

$$\frac{\Delta f}{f_0} \approx 10^{-6} \div 10^{-8}$$

Hình 2.16. Đặc tính điện kháng của thạch anh

Để thay đổi tần số cộng hưởng của thạch anh trong một phạm vi hẹp, người ta mắc nối tiếp thạch anh với một tụ biến đổi C_s như hình vẽ.



Hình 2.17

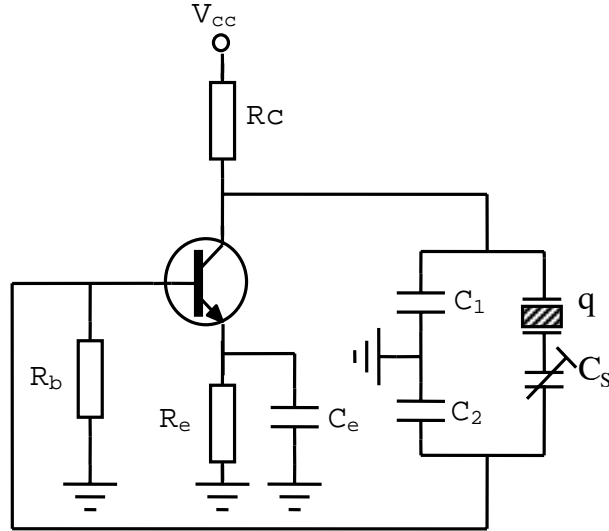
Tần số cộng hưởng nối tiếp của nó :

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

Lượng thay đổi tần số do mắc thêm C_s vào:

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

2.5.4.2. Mạch điện bộ tạo dao động vùng thạch anh với tần số cộng hưởng song song



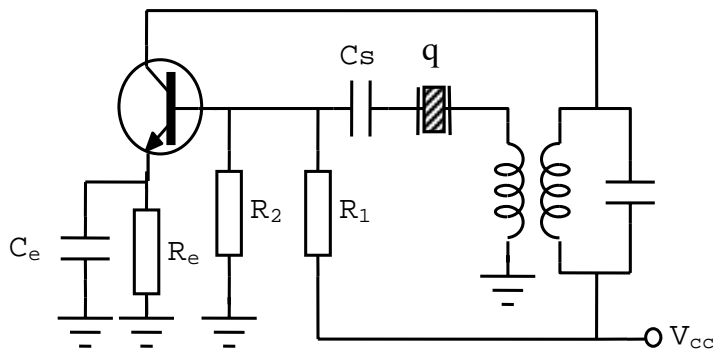
Hình 2.18. Mạch bộ dao động dùng thạch anh với tần số cộng hưởng song song

Nhánh thạch anh mắc nối tiếp với tụ C_s tương đương với 1 điện cảm để mạch có thể dao động dưới dạng 3 điểm điện dung.

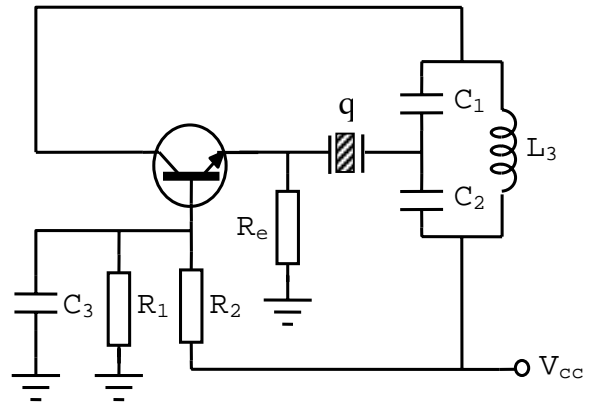
Lúc đó phải chọn thạch anh sao cho:

$$f_q < f_{dd} < f_p \quad \text{và} \quad \frac{1}{\omega_{dd} C_s} < \omega_{dd} L_{td}$$

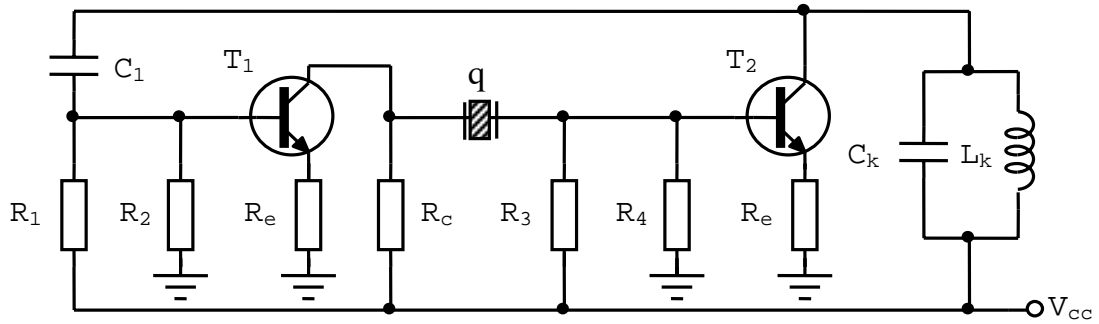
2.5.4.3. Mạch điện bộ tạo dao động dùng thạch anh với tần số cộng hưởng nối tiếp



Hình 2.19. Mạch dao động dùng thạch anh với tần số cộng hưởng nối tiếp, ghép biến áp, EC



Hình 2.20. Mạch dao động thạch anh với tần số cộng hưởng nối tiếp, ba điểm điện dung, BC



Hình 2.21. Mạch bộ dao động dùng thạch anh với tần số cộng hưởng nối tiếp hồi tiếp qua hai tầng khuếch đại

Trong 3 sơ đồ trên, thạch anh được mắc hồi tiếp và đóng vai trò như 1 phân tử ghép có tính chọn lọc đối với tần số.

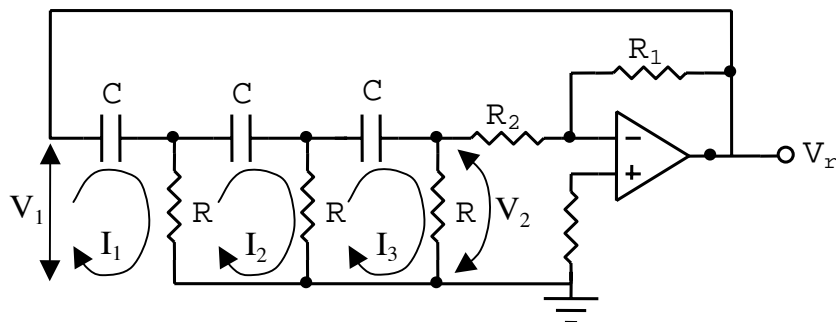
Khi $f_{dd} \sim f_q$ (nối tiếp) thì trở kháng $X_q = 0$ - hạ áp trên thạch anh nhỏ làm điện áp hồi tiếp về tăng lên và mạch tạo ra dao động với tần số $f_{dd} \sim f_q$

2.5.5. Mạch điện các bộ tạo dao động RC

❖ Đặc điểm chung của các bộ tạo dao động RC:

1. Thường dùng ở phạm vi tần số thấp thay cho các bộ LC vì kích thước của bộ tạo dao động LC ở tần số thấp quá lớn.
2. Không có cuộn cảm, do đó có thể chế tạo nó dưới dạng vi mạch
3. Trong bộ dao động RC - f_{dd} tỉ lệ với $1/C$, còn trong bộ dao động LC thì f_{dd} tỉ lệ với $\frac{1}{\sqrt{C}}$ trong bộ dao động RC dễ dàng thay đổi f_{dd} với bộ dao động LC
4. Yêu cầu bộ dao động RC làm việc ở chế độ A để giảm méo
5. Vì khâu hồi tiếp (gồm các phân tử R,C) phụ thuộc tần số, nên mạch sẽ tạo được dao động tại tần số mà điều kiện pha được thỏa mãn

❖ Bộ dao động RC dùng mạch di pha trong mạch hồi tiếp:



Hình 2.22. Mạch dao động RC

Hệ phương trình :

$$\begin{aligned} \left(\frac{1}{j\omega C} + R \right) I_1 - RI_2 &= \dot{V}_1 \\ -RI_1 + \left(\frac{1}{j\omega C} + 2R \right) I_2 - RI_3 &= 0 \\ -RI_2 + \left(\frac{1}{j\omega C} + 2R \right) I_3 &= 0 \\ RI_3 &= \dot{V}_2 \end{aligned}$$

Hệ số truyền đạt của mạch :

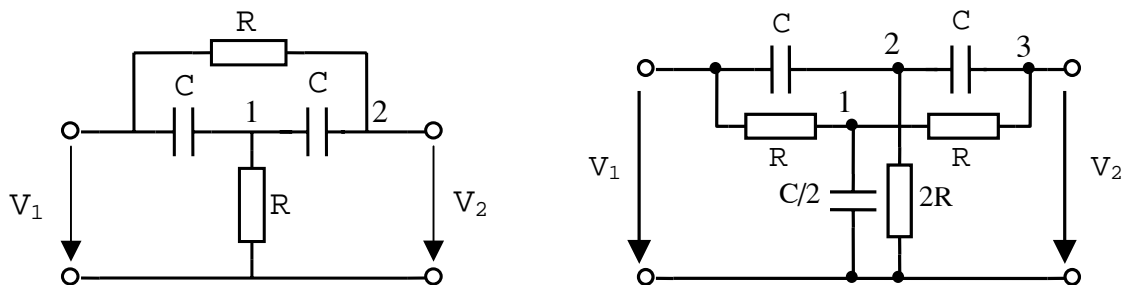
$$K = \frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = 1 - \frac{5}{(\omega RC)^2} + j \left[\frac{1}{(\omega RC)^3} - \frac{6}{\omega RC} \right]$$

* Phần ảo = 0 $\Rightarrow \omega = \frac{1}{\sqrt{6}RC}$

Thay $\Rightarrow \omega = \frac{1}{\sqrt{6}RC}$ vào phần thực ta tính được điều kiện cân bằng biên độ :

$$\begin{aligned} |K| &= \left| 1 - \frac{5}{(\omega RC)^2} \right| = |1 - 30| = 29 \\ \Rightarrow |K| &= \frac{R_1}{R_2} = 29 \Rightarrow R_1 = 29R_2 \end{aligned}$$

❖ Mạch dao động dùng mạch lọc T và T - kép trong mạch hồi tiếp :



Hình 2.23. Mạch bộ dao động dùng mạch lọc T và T kép trong hồi tiếp

- Với mạch lọc T, viết phương trình dòng điện cho nút 1 và 2, từ đó xác định được hệ số truyền đạt:

$$\bar{H}_{ht} = \frac{\bar{U}_r}{\bar{U}_v} = \frac{a^2 - 1 + j2a}{a^2 - 1 + j3a} \quad \text{trong đó } a = \frac{1}{\omega RC}$$

$$\left\{ K_{ht} = \sqrt{\frac{(a^2 - 1)^2 + 4a^2}{(a^2 - 1)^2 + 9a^2}} \right.$$

$$\varphi_{ht} = \arctg \frac{a(1 - a^2)}{(a^2 - 1)^2 + 6a^2}$$

$$\varphi_{ht} = 0 \text{ khi } a = 1 \text{ tức } \omega_{dd} = \frac{1}{RC}$$

Thay $a = 1$ vào K_{ht} ta tìm được :

$$K_{ht} = K_{htmun} = \frac{2}{3}$$

- Với mạch lọc T kép:

$$K_{ht} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{a^2 - 1}{(a^2 - 1) + j4a} \quad \text{với } a = \frac{1}{\omega RC}$$

Từ đó ta suy ra : 2 phương trình Module và pha:

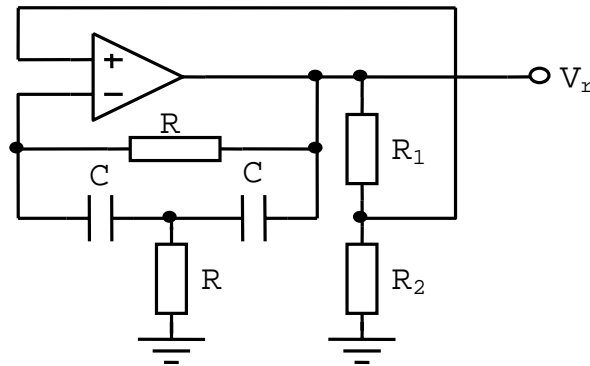
$$K_{ht} = \frac{a^2 - 1}{\sqrt{(a^2 - 1)^2 + 16a^2}}$$

$$\varphi_{ht} = \arctg \frac{-4a}{a^2 - 1} = \arctg \frac{4a}{1 - a^2}$$

$$\text{Khi } a = 1 \Rightarrow \omega_{dd} = \frac{1}{RC} \text{ và } \varphi_{ht} = \pm \frac{\pi}{2}$$

$$\text{Và } K_{ht} = K_{htmun} = 0$$

- Mạch tạo dao động vùng KĐTT có mạch T trong mạch hồi tiếp:



Hình 2.24. Mạch bộ dao động dùng KĐTT có mạch lọc T trong mạch hồi tiếp

R_1, R_2 : Mạch hồi tiếp dương; T : Hồi tiếp âm

$$\text{Tại } \omega_{dd} : K_{ht}(-) = \frac{2}{3}$$

Vì K_o của KĐTT rất lớn \Rightarrow

$$K_{ht(+)} = K_{ht}(-) \quad \text{và}$$

$$K_{ht(+)} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{2}{3} \Rightarrow R_2 = 2R_1$$

Chính là điều kiện cân bằng biên độ của mạch.