

CHƯƠNG 4

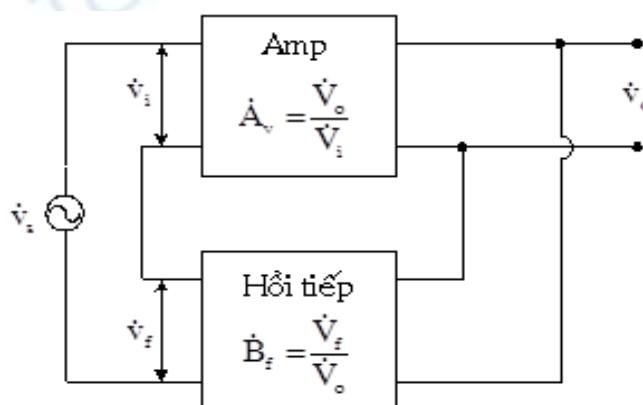
MẠCH DAO ĐỘNG

Trang bị cho sinh viên: Kiến thức về nguyên lý hoạt động và xác định các thông số của mạch dao động.

4.1. NGUYÊN LÝ HÌNH THÀNH DAO ĐỘNG

Dao động và tổng hợp tần số là phần rất quan trọng của điện tử thông tin. Trong tài liệu này chỉ xét dao động sin cao tần. Mạch dao động biến đổi năng lượng điện nguồn một chiều thành xoay chiều. Thông số quan trọng nhất của bộ dao động: độ bất ổn tần số tương đối $\varepsilon = \frac{|f - f_0|}{f_0}$. Trong đó f_0 - tần số dao động cần có; f - tần số dao động có được. Các

mạch dao động LC cho $\varepsilon = 10^{-3}, -4$. Dao động thạch anh có $\varepsilon = 10^{-6}, -7, -8, -9$ được dùng làm dao động chuẩn. $|f - f_0|$ gọi là độ bất ổn định tần số tuyệt đối. Các thông số khác của bộ dao động: công suất ra, dải tần, trở kháng ra.



Hình 4.1. Sơ đồ khối bộ dao động

Mạch dao động gồm mạch khuếch đại và mạch hồi tiếp dương đồng thời làm tải chọn lọc cao tần của khuếch đại.

Độ lợi khuếch đại điện áp không hồi tiếp

$$\dot{A}_v = \frac{\dot{V}_o \text{ (điện áp ra mạch khuếch đại)}}{\dot{V}_i \text{ (điện áp vào mạch khuếch đại)}}$$

Một phần điện áp ra $\dot{V}_f$ đưa về hồi tiếp dương cho mạch khuếch đại.

Hệ số truyền đạt mạch hồi tiếp:

$$\dot{B}_f = \frac{\dot{V}_f}{\dot{V}_o}$$

$\dot{V}_f = \dot{B}_f \cdot \dot{V}_o$ - điện áp hồi tiếp ghép nối tiếp với nguồn điện áp kích khởi ban đầu $\dot{V}_s$. Hồi tiếp âm nếu pha $\dot{V}_s$ và $\dot{V}_f$ ngược nhau, khi đó $\dot{V}_i = \dot{V}_s - \dot{V}_f$ giảm, điện áp ra $\dot{V}_o$ giảm. Hồi tiếp dương nếu $\dot{V}_s$ và $\dot{V}_f$ cùng pha dẫn đến $\dot{V}_o$ tăng tức là có dao động.

Xét hồi tiếp dương:

$$\dot{V}_o = \dot{V}_i \cdot \dot{A}_v = (\dot{V}_s + \dot{V}_f) \dot{A}_v = (\dot{V}_s + \dot{B}_f \cdot \dot{V}_o) \dot{A}_v = \dot{A}_v \dot{V}_s + \dot{A}_v \cdot \dot{B}_f \cdot \dot{V}_o$$

Để có tự dao động thì $\dot{V}_s = 0$ suy ra $\dot{A}_v \cdot \dot{B}_f = 1$

Điều kiện $\dot{A}_v \cdot \dot{B}_f = 1$ còn gọi là tiêu chuẩn Barkhausen. Thông thường $\dot{A}_v \cdot \dot{B}_f \geq 1$, tức là mạch khuếch đại bù được suy hao của mạch hồi tiếp. Nếu $\dot{A}_v \cdot \dot{B}_f < 1$ mạch không dao động.

Dạng khác, $\dot{V}_s = 0$ ta có: $\frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = \frac{\dot{A}_v}{1 - \dot{A}_v \dot{B}_f} = \dot{A}_{vf}$

$\dot{A}_{vf}$ - hệ số khuếch đại điện áp có hồi tiếp dương. Nếu $\dot{A}_v \cdot \dot{B}_f = 1$ thì $\dot{A}_{vf} \rightarrow \infty$ mạch tự dao động.

Từ tiêu chuẩn Barkhausen, có điều kiện dao động về biên độ và pha: φ_A, φ_B pha của mạch khuếch đại và mạch hồi tiếp.

$$A_v \cdot B_f = 1$$

$$\varphi_A + \varphi_B = 2\pi n; \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

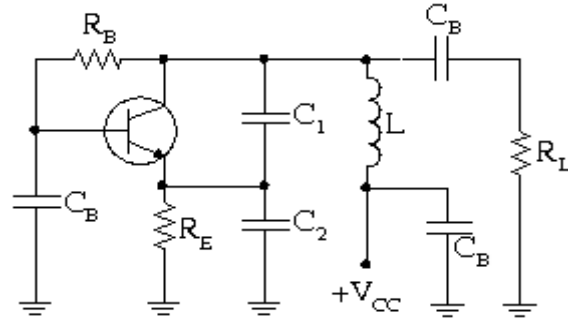
Một số bộ dao động:

- ☐ Bộ tạo dao động ở tần số thấp, trung bình: dùng bộ khuếch đại thuật toán + RC hoặc dùng Transistor + RC.
- ☐ Bộ tạo dao động ở tần số cao: $0,3f_\beta \leq f_0 \leq 3f_\beta$ dùng Transistor + LC hoặc dùng Transistor + thạch anh.
- ☐ Bộ tạo dao động ở tần số siêu cao: dùng Diode Tunel, Diode Gunn.
- ☐ Các tham số cơ bản của mạch dao động: tần số dao động, biên độ điện áp ra, độ ổn định tần số, công suất ra, hiệu suất.

Trong chương này ta chỉ xét mạch dao động LC, dao động thạch anh và chỉ xét điều kiện dao động của mạch.

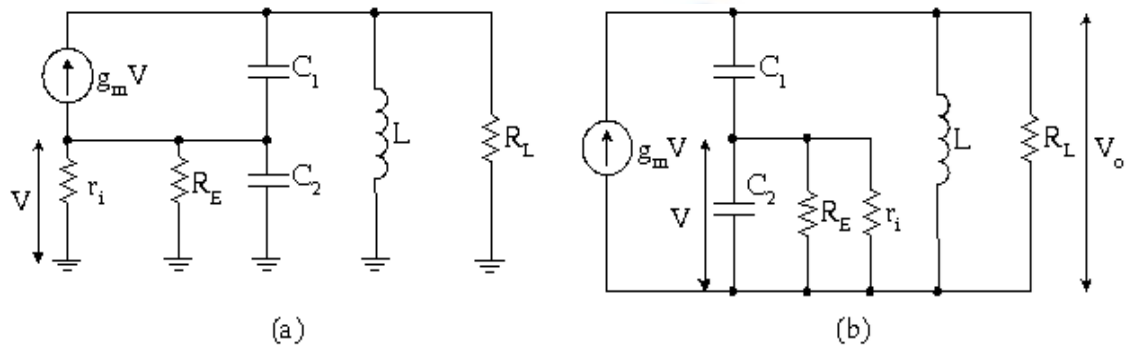
4.2. MẠCH TƯƠNG ĐƯƠNG KHI PHÂN TÍCH MẠCH DAO ĐỘNG

Xét mạch dao động Colpitt như sau:



Hình 4.2. Mạch dao động dạng Colpitt

Mạch tương đương của mạch dao động như hình sau:



Hình 4.3. Mạch tương đương

Giả sử bỏ qua điện trở ra BJT, R_B đủ lớn, tụ C_B coi như nối tắt về AC.

Ta có: $|A_v| \cdot |B_f| = 1$ và $\varphi_A = \varphi_B = 0$ là điều kiện dao động.

Tụ $C_2 // R_E // r_i = \frac{V_T}{I_C} = \frac{26(\text{mV})}{I_C(\text{mA})}$ (điện trở vào tầng khuếch đại mắc CB)

Hệ số phẩm chất Q của mạch dao động có tải lớn. Điện áp ngõ ra mạch hồi tiếp:

$$V = \frac{V_o C_1}{C_1 + C_2} \quad (4.1)$$

Trở kháng tương đương mạch cộng hưởng:

$$R_{eq} = \frac{r_i R_E}{r_i + R_E} \left(\frac{C_1 + C_2}{C_1} \right)^2 \quad (4.2)$$

Hệ số truyền đạt:

$$B_f = \frac{V}{V_o} = \left(\frac{C_1}{C_1 + C_2} \right) \quad (4.3)$$

Tại cộng hưởng: $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}}$; $\varphi_A = \varphi_B = 0$ và $A_v = \frac{V_o}{V} = g_m \cdot Z_L = g_m \cdot \frac{R_{eq} \cdot R_L}{R_{eq} + R_L}$.

Điều kiện dao động về biên độ:

$$|A_v| \cdot |B_f| = g_m \cdot \frac{R_{eq} \cdot R_L}{R_{eq} + R_L} \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2} = 1$$

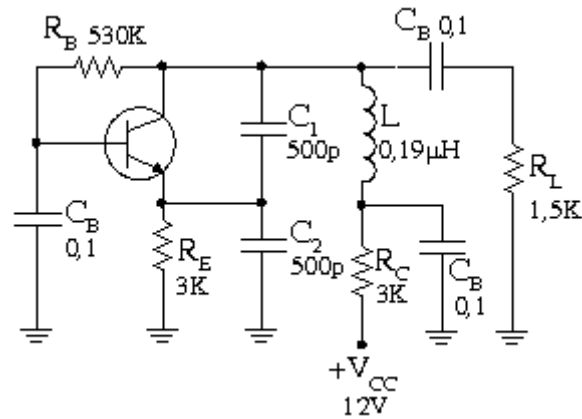
Nếu $R_E \gg r_i$ thì $R_{eq} = r_i \left(\frac{C_1 + C_2}{C_1} \right)^2$; $|A_v| \cdot |B_f| \geq 1$

Thường chọn bằng 3 (bù trừ sai số gần đúng). Ở trạng thái xác lập:

$$|A_v| \cdot |B_f| = g_m r_i \frac{C_1}{C_1 + C_2} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} = 3$$

Chọn $R_L \gg R_{eq}$ để ít ảnh hưởng tới trở kháng tương đương mạch cộng hưởng.

Ví dụ 4.1: Cho sơ đồ trên, cho $I_C = 1\text{mA}$; $V_{CC} = 12\text{V}$; $f_0 = 20\text{MHz}$, $\beta = 100$. Tính mạch dao động.



Giải:

Ta có: $r_i = \frac{1}{g_m} = \frac{V_T}{I_C} = \frac{26\text{mV}}{1\text{mA}} = 26\Omega$

Chọn $C_1 = \frac{C_2}{2} = 500\text{p}$ có $L = 0.19\mu\text{H}$

$$R_{eq} = r_i \left(\frac{C_1 + C_2}{C_1} \right)^2 = 234\Omega$$

Chọn $R_L = 1.5\text{K}\Omega \gg R_{eq}$

$$C_B = 1\mu\text{F}$$

$$R_E = \frac{V_E}{I_C} = \frac{3V}{1mA} = 3k\Omega$$

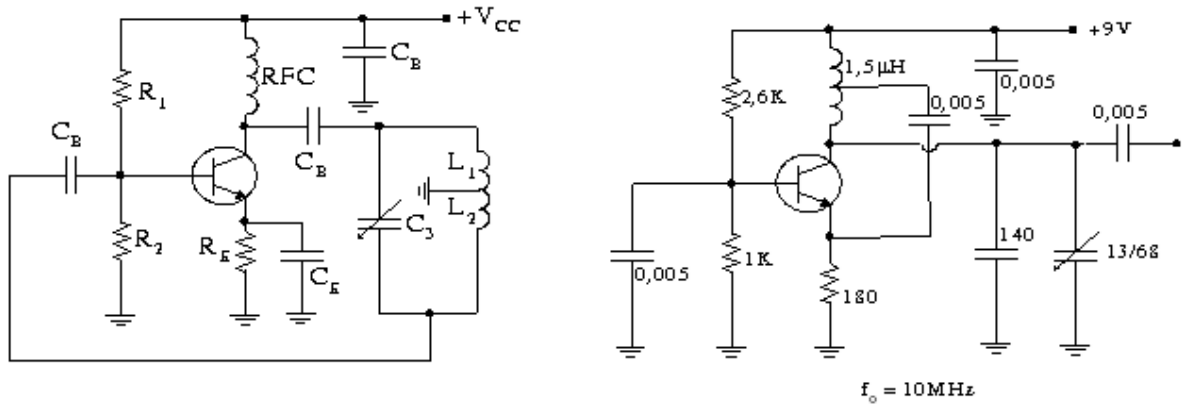
$$R_C = \frac{V_{cc} - V_E - V_{CE}}{I_C} = \frac{12 - 3 - 6}{1mA} = 3k\Omega$$

$$R_B = \frac{V_{cc} - V_E - V_{R_c} - 7}{(I_C / \beta)} = \frac{12 - 3 - 6 - 7}{1/100} = 530k\Omega$$

4.3. CÁC MẠCH DAO ĐỘNG CƠ BẢN

4.3.1. Mạch dao động Hartley

Mạch dao động Hartley thường dùng trong công nghiệp hoặc những nơi không cần ổn định tần số cao như lò tôi cao tần, dán cao tần.



Hình 4.4. Mạch dao động Hartley

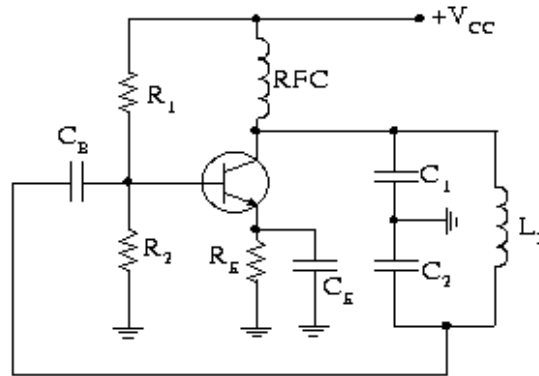
Các thông số của mạch được xác định:

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{(L_1 + L_2)C_3}} \quad (4.4)$$

$$B_f = \frac{X_{L_2}}{X_{L_1}} = \frac{L_2}{L_1} \quad (4.5)$$

4.3.2. Mạch dao động Colpitt

Xét mạch dao động Colpitt mắc CB như hình vẽ.



Hình 4.5. Mạch dao động Colpitt

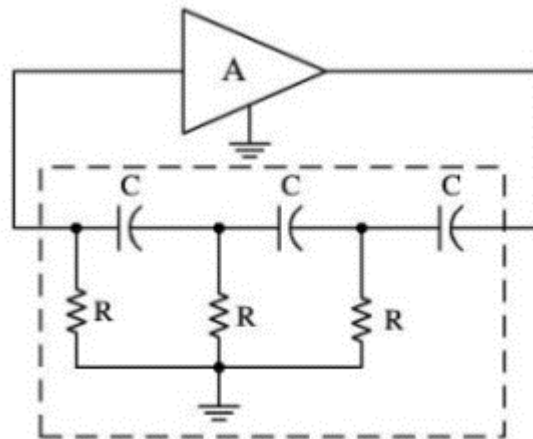
Các thông số của mạch được xác định: xem $R_{1,2} \gg h_{ie}$

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L_3 \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}} \quad (4.6)$$

$$B_f = \frac{X_{C_2}}{X_{C_1}} = \frac{C_1}{C_2} \quad (4.7)$$

4.3.3. Mạch dao động dịch pha

Mạch dao động dịch pha dùng Op-Amp

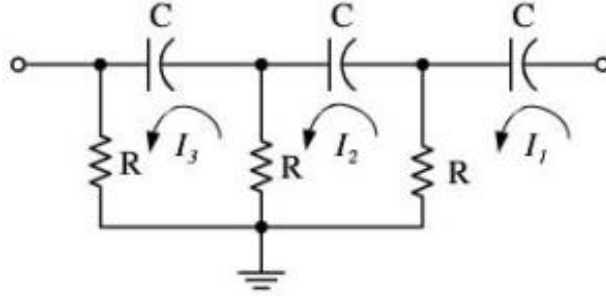


Hình 4.6. Sơ đồ khối của mạch dao động dịch pha

Trong dao động dịch pha, khối A là mạch khuếch đại đảo và được nối tới ba bộ lọc thông cao RC, nên gọi là mạch dao động dịch pha.

Các mạch lọc RC dùng để dịch pha tín hiệu đi 180° tạo tín hiệu hồi tiếp dương ở ngõ vào. Đối với mạch lọc thông cao RC, tín hiệu sau khi đi qua mạch lọc thông cao sẽ lệch pha đi so với tín hiệu vào từ 0 đến 90° tùy thuộc vào tần số của tín hiệu vào. Như vậy số mạch lọc RC phải thỏa mãn sao cho khi tín hiệu đi qua sẽ tạo được tín hiệu hồi tiếp dương ở ngõ vào hay tổng góc lệch pha của tín hiệu sau khi đi qua khâu hồi tiếp là 180° , vậy trong

trường hợp sử dụng ba mạch lọc RC như hình 4.6 thì mạch sẽ dao động tại tần số tín hiệu có góc lệch pha 60° sau khi đi qua một mạch lọc RC.



Hình 4.7. Khâu hồi tiếp của mạch dao động dịch pha

Xét hình 4.7 ta có:

$$\begin{aligned} V_0 &= \dot{I}_1 (X_c + R) - \dot{I}_2 R \\ 0 &= \dot{I}_2 (2R + X_c) - R (\dot{I}_1 + \dot{I}_3) \\ 0 &= \dot{I}_3 (2R + X_c) - R \dot{I}_2 \\ V_{fb} &= \dot{I}_3 R \end{aligned}$$

Trong đó:

$$X_c = -j \frac{1}{\omega C}$$

Thay giá trị vào ta được:

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{V_{fb}}{V_0} = \frac{R^3}{R^3 + 5RX_c^2 + 6R^2X_c + X_c^3} = \frac{1}{1 + 5\frac{X_c^2}{R^2} + 6\frac{X_c}{R} + \frac{X_c^3}{R^3}} \\ \beta &= \frac{1}{1 - 5\frac{1}{(\omega RC)^2} - j\left(6\frac{1}{\omega RC} - \frac{1}{(\omega RC)^3}\right)} \end{aligned} \quad (4.8)$$

Mạch dao động tại tần số có hồi tiếp dương hay: $\angle \beta = 180^\circ$ theo biểu thức (4.8)

Theo (4.8) ta có: $b_1 = 6\frac{1}{\omega RC} - \frac{1}{(\omega RC)^3} = 0$

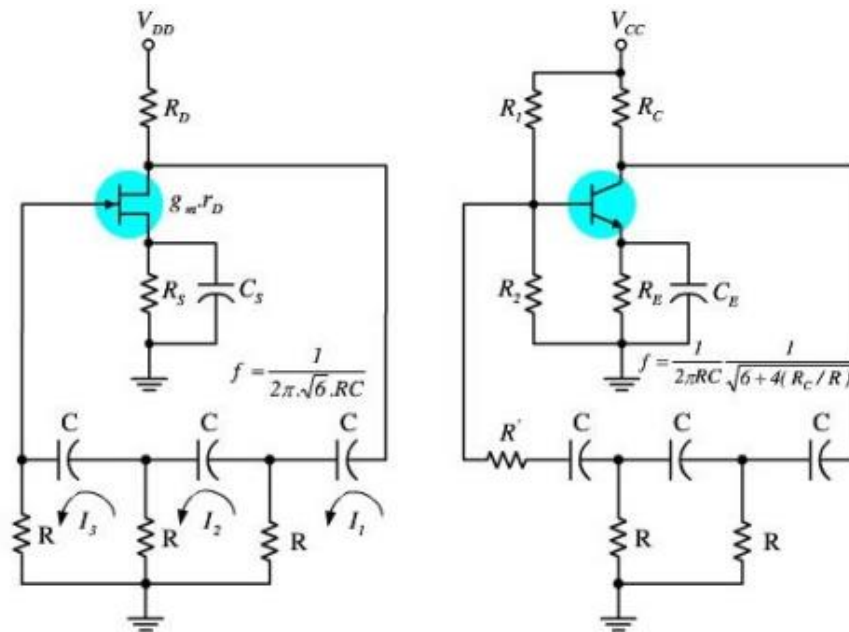
Vậy mạch sẽ dao động tại tần số:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{6RC}} \text{ hay } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{6RC}} \quad (4.9)$$

Khi phải thỏa điều kiện về biên độ $A=1$, ta thay giá trị tần số tín hiệu dao động của mạch vào công thức (4.9) ta được: $\beta = -1/29$

Vậy để mạch duy trì dao động, mạch khuếch đại A phải có hệ số khuếch đại $A = -29$

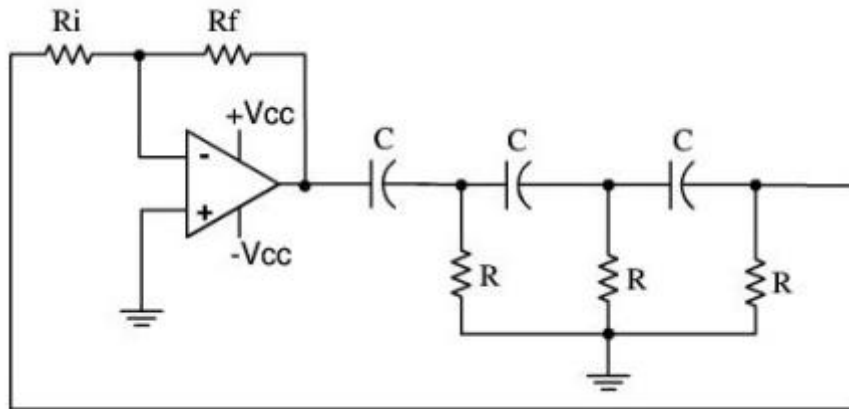
Mạch dao động dịch pha dùng transistor



Hình 4.8. a. Mạch dao động dùng JFET; b. Mạch dao động dùng BJT

- BJT và FET được phân cực ở trạng thái khuếch đại.
- Hồi tiếp là nhánh ba mắc xích RC.
- Tụ C_E và C_S có giá trị lớn cho qua tín hiệu nhiễu và các tín hiệu tần số quá trình dao động tạp âm ở tần số cao nảy sinh trong quá trình dao động và tạp âm có tần số cao.

Mạch dao động dịch pha RC dùng Op-Amp có sơ đồ như hình 4.9



Hình 4.9. Mạch dao động dịch pha RC

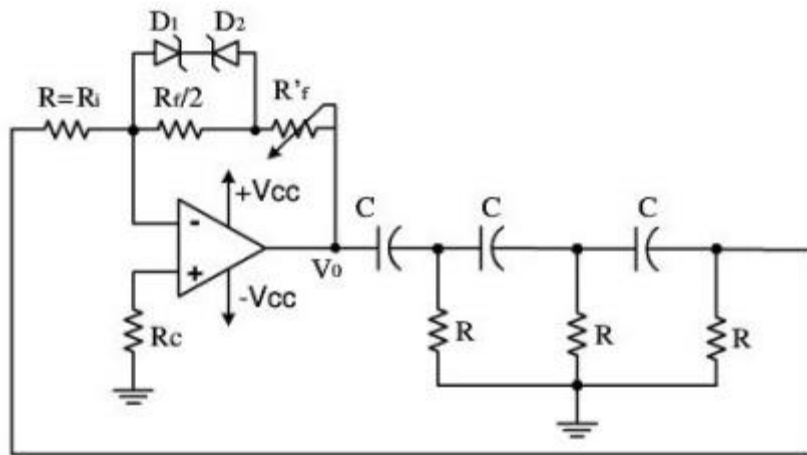
Theo điều kiện dao động thì $A\beta = 1$, ta suy ra

$$A = \frac{1}{\beta} = -29$$

Suy ra $A = -\frac{R_F}{R_I} = -29$

Hay $R_F = 29R_I$

Chú ý: giá trị của R_I vì ngõ vào $V_- = V_+ = 0V$ nên R_I/R của tầng RC cuối cùng sẽ gây sai số lệch pha. Để kết quả trùng với tính toán thì $R_I \gg R$ để $R_I/R \approx R$ hoặc bỏ qua điện trở R và R_I được thay bằng R . Mạch hoàn chỉnh như hình 4.10



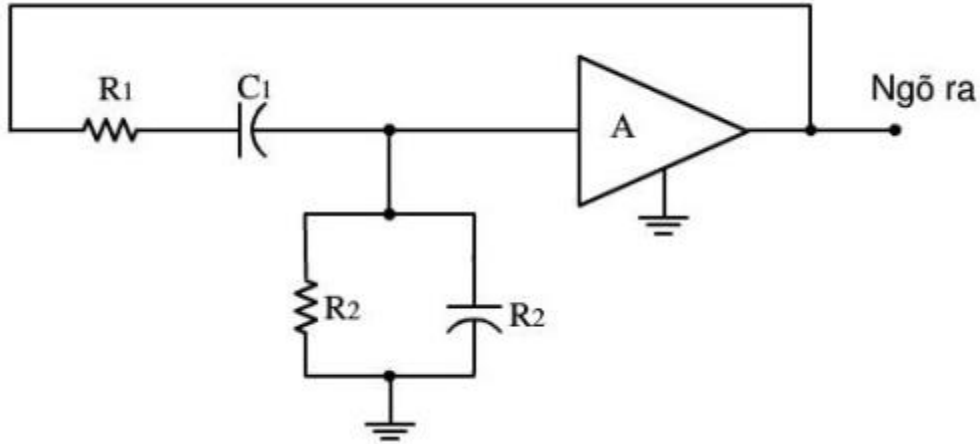
Hình 4.10. Mạch dao động dịch pha trong thực tế.

- A bộ khuếch đại.
- Biến trở R_F ổn định chống tạp âm
- $D_1 D_2$ đóng vai trò ổn định dao động với tần số ω_0

4.3.4. Mạch dao động cầu Wien

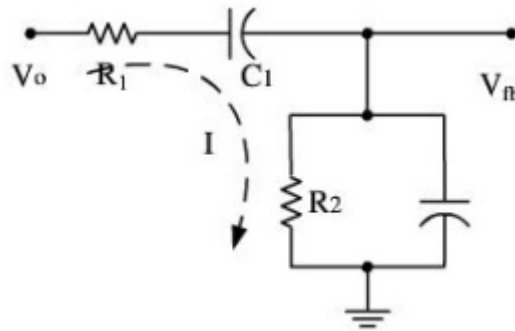
Chương 4: Mạch dao động

Một bộ dao động thực tế là dùng khuếch đại thuật toán và mạch cầu RC, với tần số dao động được xác định bởi R và C (gồm RC nối tiếp và RC mắc song song)



Hình 4.11. Sơ đồ khối của mạch dao động cầu Wien

Với A là bộ khuếch đại không đảo



Hình 4.12. Sơ đồ mạch cầu Wien

Xét sơ đồ như hình 4.12 ta có:

$$\begin{aligned}
 V_{fb} &= \frac{R_2 // X_{C2}}{R_1 + X_{C1} + (R_2 // X_{C2})} V_o \\
 \beta &= \frac{V_{fb}}{V_o} = \frac{R_2 // X_{C2}}{R_1 + X_{C1} + (R_2 // X_{C2})} \\
 &= \frac{\frac{R_2 X_{C2}}{R_2 + X_{C2}}}{R_1 + X_{C1} + \frac{R_2 X_{C2}}{R_2 + X_{C2}}} \\
 &= \frac{R_2 X_{C2}}{R_1 R_2 + R_1 X_{C1} + R_2 X_{C1} + X_{C1} X_{C2} + R_2 X_{C2}}
 \end{aligned}$$