

Bài 12: MẠCH DAO ĐỘNG

12.1 Khái niệm về mạch dao động

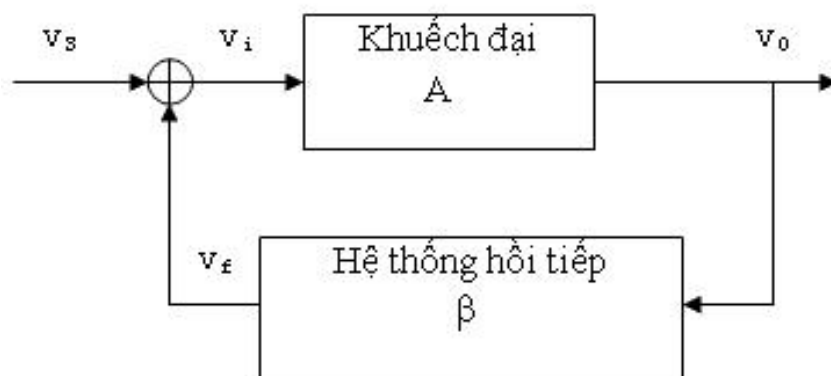
Ngoài các mạch khuếch đại điện áp và công suất, mạch dao động cũng là loại mạch căn bản của ngành điện tử. Mạch dao động được sử dụng phổ biến trong các thiết bị viễn thông. Mạch dao động là mạch có khả năng chuyển đổi năng lượng một chiều (DC) sang dạng xoay chiều (AC). Hay nói cách khác, mạch dao động không có ngõ vào AC, nhưng lại cung cấp ngõ ra với một tần số xác định. Ngõ vào duy nhất của bộ dao động chỉ là nguồn áp cung cấp để phân cực cho linh kiện tích cực hoặc các linh kiện được sử dụng trong mạch dao động.

Có nhiều loại mạch dao động tạo ra các dạng sóng tín hiệu khác nhau như: sóng sin, sóng vuông, sóng tam giác, ... Trong đó, mạch dao động tạo sóng sin được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống thông tin, trong đo lường, kiểm tra, điều khiển, chuyển đổi tần số, ... Các mạch dao động tạo sóng vuông, tam giác, xung gai thì thường được dùng trong các bộ chuyển mạch, điều khiển, ...

Chất lượng của mạch dao động phụ thuộc vào sự ổn định của tần số ngõ ra.

12.2 Mạch tạo dao động sóng sin

Nguyên lý tạo dao động dựa trên cấu trúc của mạch khuếch đại hồi tiếp dương được trình bày trong hình sau:



Hình 12.1: Sơ đồ khối mạch khuếch đại có hồi tiếp dương

Trong đó:

- A : Hệ số khuếch đại của mạch khuếch đại vòng hở.
- β : Hệ số hồi tiếp của hệ thống hồi tiếp.
- v_s : Tín hiệu ngõ vào.
- v_f : Tín hiệu hồi tiếp.
- v_i : Tín hiệu ngõ vào của mạch khuếch đại khi có hồi tiếp.
- v_o : Tín hiệu ngõ ra.
- A_f : Độ lợi vòng kín của mạch khuếch đại khi có hồi tiếp.

Mạch khuếch đại hồi tiếp dương chủ yếu sử dụng trong các mạch dao động. Hồi tiếp dương có tín hiệu hồi tiếp cùng pha với tín hiệu vào nên làm tăng tín hiệu ngõ vào của mạch khuếch đại dẫn đến độ lợi của mạch khuếch đại tăng. Tuy nhiên, mạch khuếch đại có độ lợi lớn dẫn tới không ổn định dễ bị đánh thủng.

Từ sơ đồ khối mạch khuếch đại có hồi tiếp dương **hình 12.1**, ta có:

- Tín hiệu ngõ vào của mạch khuếch đại khi có hồi tiếp:

$$v_i = v_s + v_f$$

- Độ lợi vòng hở của mạch: $A_v = \frac{v_o}{v_i}$

- Hệ số hồi tiếp: $\beta = \frac{v_f}{v_o}$

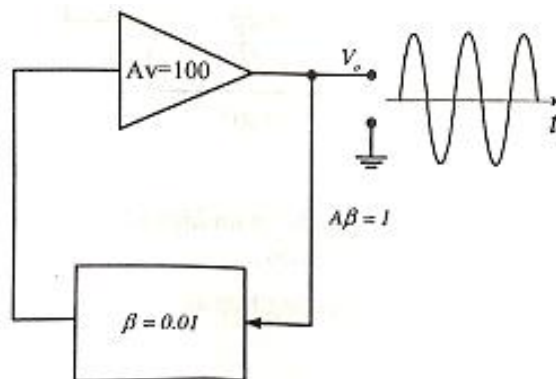
- Độ lợi vòng kín của mạch khuếch đại khi có hồi tiếp:

$$\begin{aligned} A_f &= \frac{v_o}{v_s} = \frac{v_o}{v_i} \cdot \frac{v_i}{v_s} = A_v \cdot \frac{v_s + v_f}{v_s} \\ &= A_v \left(1 + \frac{v_f}{v_s} \right) = A_v \left(1 + \frac{v_f}{v_o} \cdot \frac{v_o}{v_s} \right) = A_v \left(1 + \frac{\beta v_o}{v_s} \right) \\ &= A_v (1 + \beta A_f) = A_v + \beta A_v A_f \end{aligned}$$

Suy ra:

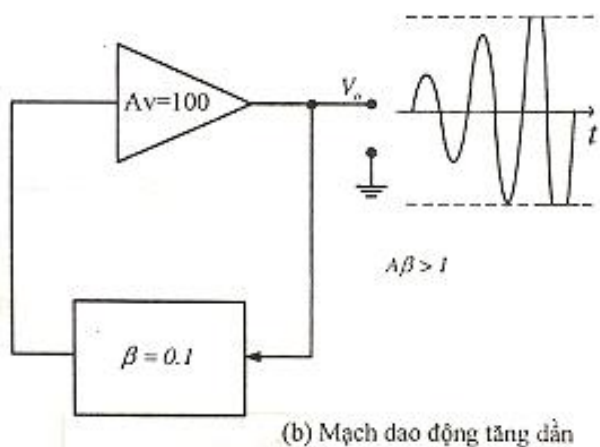
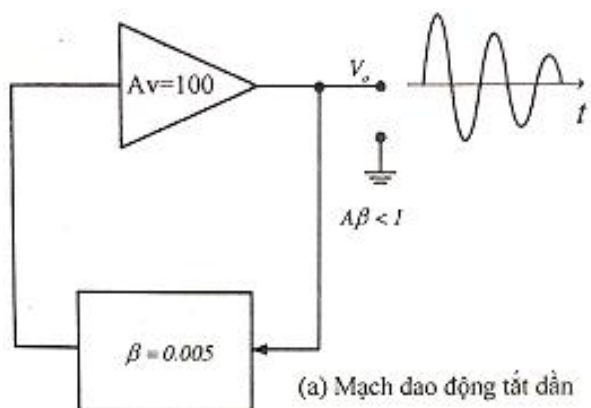
$$A_f = \frac{A_v}{1 - \beta A_v} \quad (12.1)$$

- ❖ Nếu $\beta A_v = 1$ (được gọi là chuẩn cứ Barkhausen -Barkhausen criteria) lúc này A_f trở nên vô hạn, nghĩa là khi không có tín hiệu nguồn v_s mà vẫn có tín hiệu ra v_o . Như vậy khi điều kiện này được thoả thì khi không có tín hiệu vào mạch vẫn có tín hiệu ở ngõ ra, lúc đó được gọi là mạch dao động.



Hình 12.2: Mạch dao động sóng sin

- ❖ Nếu $\beta A_v \neq 1$ thì sẽ xảy ra các trường hợp sau:



Hình 12.3: (a) Mạch dao động tắt dần; (b) Mạch dao động tăng dần

Kết luận:

Mạch dao động là mạch khuếch đại có hồi tiếp dương và có các phần tử tích cực để nạp xả năng lượng và mạch phải thoả mãn điều kiện cần và đủ của Barkhausen như sau:

a) Điều kiện cân bằng biên độ: $|\beta A_v| = 1$

b) Điều kiện cân bằng pha: $\varphi_{|\beta A_v|} = 0$

Ta có biểu thức hàm phức như sau:

$$|\beta A_v| = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{\sqrt{a_1^2 + b_1^2}} = 1$$

Suy ra:

$$\varphi_{|\beta A_v|} = \arctg\left(\frac{b}{a}\right) - \arctg\left(\frac{b_1}{a_1}\right) = 0 \quad (12.2)$$

Từ điều kiện này ta có thể tính được tần số cộng hưởng của các mạch dao động.

- Nếu ta có: $|\beta A_v| = \left| \frac{a}{a_1 + jb_1} \right| \quad (12.3)$

Để mạch dao động phải thoả mãn điều kiện:

$$\varphi_{|\beta A_v|} = \arctg\left(\frac{0}{a}\right) - \arctg\left(\frac{b_1}{a_1}\right) = 0 \quad (12.4)$$

Cho $b_1 = 0$ ta có điều kiện cân bằng về pha và suy ra tần số dao động ω_0

- Nếu ta có: $|\beta A_v| = \left| \frac{jb}{a_1 + jb_1} \right| \quad (12.5)$

Để mạch dao động ta cho $a_1 = 0$, từ đó ta suy ra điều kiện cân bằng về pha và suy ra tần số dao động ω_0

- Để phân giải mạch ta thực hiện theo 4 bước:

Bước 1: Viết phương trình tính hệ số hồi tiếp β

Bước 2: Rút gọn β đưa về dạng số phức: $a + jb$ (với $j^2 = -1$)

Bước 3: Cho $b = 0$ để xác định tần số dao động ω_0

Bước 4: Thay ω_0 vào phương trình của Bước 1 để xác định giá trị của β tại ω_0 .

Trong chương này chúng ta chỉ khảo sát các mạch dao động dùng linh kiện rời như BJT, do đó những mạch dao động này phụ thuộc vào các yếu tố bất ổn như: sự thay đổi nhiệt độ, điện áp nguồn cung cấp, điện dung ký sinh của transistor, ... dẫn đến sự bất ổn của biên độ tín hiệu ra và tần số dao động. Chất lượng của mạch dao động phụ thuộc vào các điều kiện sau:

- Sự ổn định của nguồn cung cấp
- Thông số ổn định nhiệt của mạch (dùng điện trở R_E)
- Tại tần số dao động của mạch không có sự ảnh hưởng của điện dung ký sinh bên trong của transistor.

Nguyên tắc hoạt động của các mạch tạo dao động sóng sin:

- Khối A đóng vai trò khuếch đại để duy trì dao động (biên độ dao động)
- Khối β là khối chọn lọc tần số dao động (tần số dao động)

Khi vừa mới cấp điện do có sự biến thiên điện áp trong các phần tử trong mạch nên nó sinh ra điện áp tạp âm với phổ tần liên tục. Nếu là hồi tiếp âm thì các tạp âm này sẽ bị triệt tiêu, còn nếu là hồi tiếp dương thì tại tần số tín hiệu được chọn sẽ cùng pha với tín hiệu ngõ vào, làm tăng biên độ ngõ vào và ngõ ra xuất hiện tín hiệu dao động.

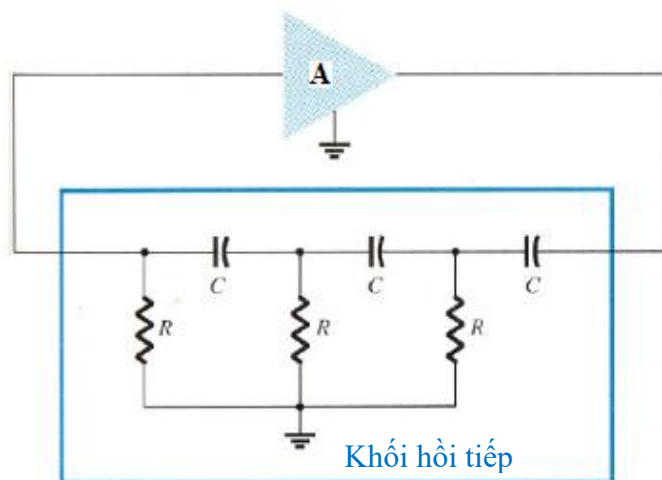
Dựa vào các đặc tính linh kiện và tần số dao động, có thể phân loại mạch tạo dao động sóng sin thành hai loại:

- Mạch dao động RC: trong đó tần số dao động của mạch phụ thuộc vào thông số của các phần tử R và C, được sử dụng trong mạch dao động tần số thấp.
- Mạch dao động LC: trong đó tần số dao động của mạch phụ thuộc vào thông số của các phần tử L và C, được sử dụng trong mạch dao động tần số cao.

12.2.1 Mạch dao động RC

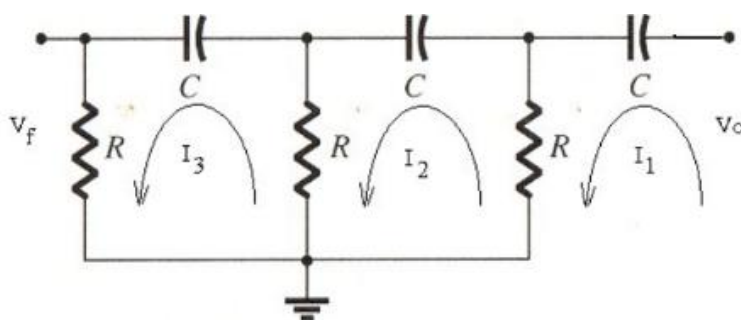
a) Mạch dao động dịch pha sử dụng Op-amp

Sơ đồ khối mạch dao động dịch pha được trình bày trong hình 12.4.



Hình 12.4: Sơ đồ khối mạch dao động dịch pha

Trong mạch dao động dịch pha, khối A là mạch khuếch đại đảo và được nối với 3 bộ lọc RC, nên được 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. Tín hiệu sau khi đi qua mạch lọc RC sẽ lệch pha đi so với tín hiệu vào từ 0 đến 90° tùy thuộc vào tần số của tín hiệu ngõ 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 khối hồi tiếp là 180° , vậy trong trường hợp sử dụng 3 mạch lọc RC như hình bên dưới thì mạch sẽ dao động tại tần số tín hiệu có góc lệch pha 60° sau khi đi qua một mạch lọc RC.



Hình 12.5: Khối hồi tiếp của mạch dao động dịch pha

Từ mạch hình 12.5 ta có: $v_f = I_3 R$ (a)

- Trong mạch vòng 1 ta có: $v_o = I_1(X_C + R) - I_2 R$ (b)

- Trong mạch vòng 2 ta có:

$$\begin{aligned} I_2 R + I_2 X_C + I_2 R - I_1 R - I_3 R &= 0 \\ \Leftrightarrow 2I_2 R + I_2 X_C - R(I_1 + I_3) &= 0 \\ \Leftrightarrow I_2(2R + X_C) - R(I_1 + I_3) &= 0 \end{aligned} \quad (c)$$

- Trong mạch vòng 3 ta có:

$$\begin{aligned} I_3 R + I_3 X_C + I_3 R - I_2 R &= 0 \\ \Leftrightarrow 2I_3 R + I_3 X_C - I_2 R &= 0 \\ \Leftrightarrow I_3(2R + X_C) - I_2 R &= 0 \end{aligned} \quad (d)$$

Giải hệ phương trình gồm (a), (b), (c) và (d) ta được:

$$\beta = \frac{v_f}{v_o} = \frac{R^3}{R^3 + 5RX_C^2 + 6R^2X_C + X_C^3} = \frac{1}{1 + 5\frac{X_C^2}{R^2} + 6\frac{X_C}{R} + \frac{X_C^3}{R^3}} \quad (12.6)$$

Thay $X_C = -j\frac{1}{\omega C}$ (và với $j^2 = -1$) vào (12.6) ta được:

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{1}{1 + 5\frac{(-j)^2}{(\omega C)^2} \cdot \frac{1}{R^2} + 6\frac{-j}{\omega C} \cdot \frac{1}{R} + \frac{(-j)^3}{(\omega C)^3} \cdot \frac{1}{R^3}} \\ \Leftrightarrow \beta &= \frac{1}{1 + 5\frac{(-1)^2 \cdot j^2}{(\omega C)^2} \cdot \frac{1}{R^2} + 6\frac{-j}{\omega C} \cdot \frac{1}{R} + \frac{-j \cdot j^2}{(\omega C)^3} \cdot \frac{1}{R^3}} \\ \Leftrightarrow \beta &= \frac{1}{1 - 5\frac{1}{(\omega RC)^2} - 6\frac{j}{\omega RC} + \frac{j}{(\omega RC)^3}} \\ \Leftrightarrow \beta &= \frac{1}{1 - 5\frac{1}{(\omega RC)^2} - j(6\frac{1}{\omega RC} - \frac{1}{(\omega RC)^3})} \end{aligned} \quad (12.7)$$

Mạch dao động tại tần số có hồi tiếp dương hay $\angle\beta = 180^\circ$.

Theo biểu thức (12.3) ta có:

$$b_1 = 6\frac{1}{\omega RC} - \frac{1}{(\omega RC)^3}$$

Để mạch dao động thì phải thỏa mãn điều kiện cân bằng về pha, nên ta cho

$$b_1 = 6 \frac{1}{\omega RC} - \frac{1}{(\omega RC)^3} = 0$$

$$\Leftrightarrow 6 \frac{1}{\omega RC} = \frac{1}{(\omega RC)^3}$$

$$\Leftrightarrow (\omega RC)^2 = \frac{1}{6}$$

$$\Leftrightarrow \omega = \frac{1}{RC\sqrt{6}}$$

Vậy mạch sẽ dao động tại tần số:

$$\omega_0 = \frac{1}{RC\sqrt{6}} \text{ hay } f_0 = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{6}} \quad (12.8)$$

Thay giá trị tần số tín hiệu dao động của mạch (ω_0) vào công thức (12.7), ta được:

$$\beta = \frac{1}{1 - 5 \frac{(RC)^2 \cdot 6}{(RC)^2} - j(6 \frac{RC\sqrt{6}}{RC} - \frac{(RC)^3 \cdot 6\sqrt{6}}{(RC)^3})}$$

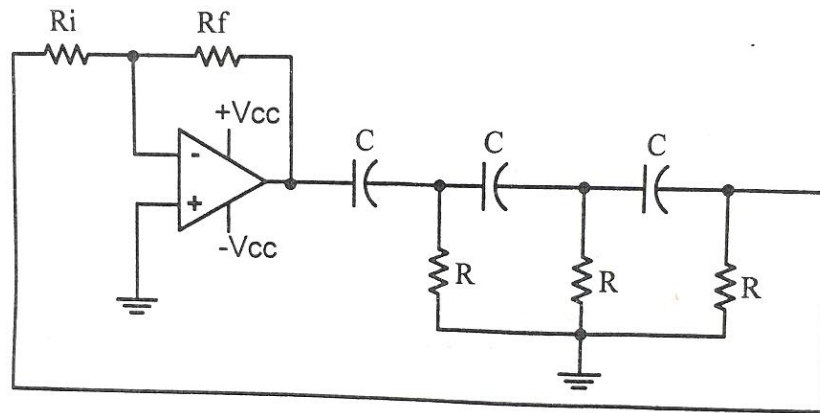
$$\Leftrightarrow \beta = \frac{1}{1 - 30} = -\frac{1}{29}$$

Theo điều kiện dao động thì ta có: $\beta A_v = 1$, suy ra: $A_v = \frac{1}{\beta} = -29$

Vậy để mạch duy trì dao động, mạch khuếch đại A phải có hệ số khuếch đại:

$$A_v = -29 \text{ (mạch khuếch đại đảo)}$$

Xem xét mạch dao động dịch pha RC sử dụng Op-Amp có sơ đồ như hình sau:



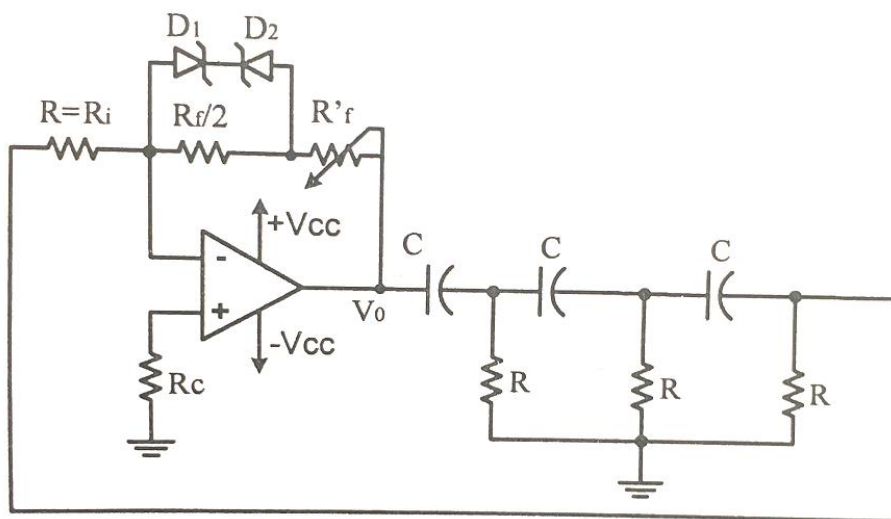
Hình 12.6: Mạch dao động dịch pha RC

Do mạch khuếch đại đảo nên ta có:

$$A_v = -\frac{R_f}{R_i} = -29$$

$$\Leftrightarrow R_f = 29R_i$$

Lưu 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 $R_i \gg R$ và $R_i // R$, do đó **R_i được thay bằng R** . Mạch dao động thực tế được trình bày trong hình sau:



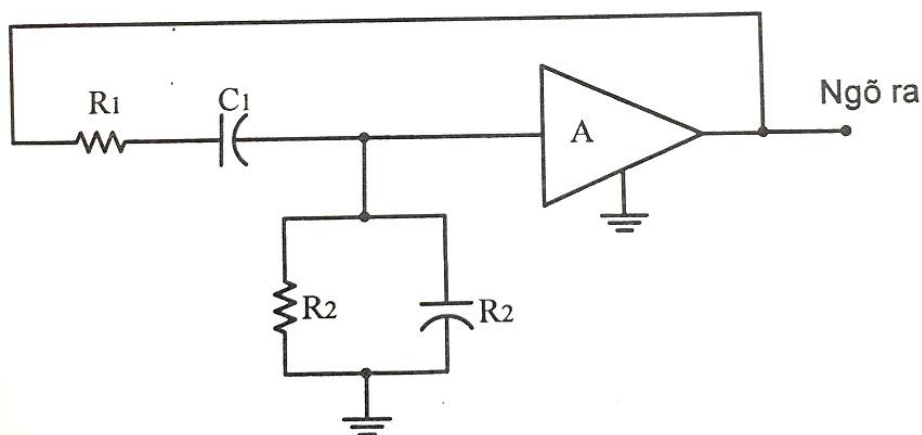
Hình 12.7: Mạch dao động dịch pha trong thực tế

Trong đó:

- Biến trở R_f nhằm ổn định chống tạp âm
- D_1 và D_2 đóng vai trò ổn định dao động với tần số ω_0

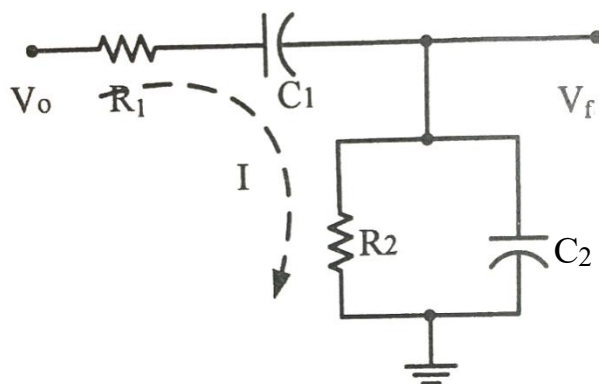
b) Mạch dao động cầu Wien

Mạch dao động cầu Wien là một dạng dao động dịch pha, thường dùng mạch khuếch đại thuật toán ráp theo kiểu khuếch đại không đảo 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 12.8: Sơ đồ khối của mạch dao động cầu Wien

Với A là mạch khuếch đại thuật toán ráp theo kiểu khuếch đại không đảo. Sơ đồ mạch cầu Wien được trình bày như hình sau:



Hình 12.9: Sơ đồ mạch cầu Wien

Từ **hình 12.9**, áp dụng cầu phân áp, ta có:

$$v_f = \frac{R_2 // X_{C2}}{(R_1 + X_{C1}) + (R_2 // X_{C2})} \cdot v_o$$

Suy ra:

$$\beta = \frac{v_f}{v_o} = \frac{R_2 // X_{C2}}{(R_1 + X_{C1}) + (R_2 // X_{C2})} = \frac{\frac{R_2 X_{C2}}{R_2 + X_{C2}}}{(R_1 + X_{C1}) + \frac{R_2 X_{C2}}{R_2 + X_{C2}}}$$

$$= \frac{R_2 X_{C2}}{R_1 R_2 + R_1 X_{C2} + R_2 X_{C1} + X_{C1} X_{C2} + R_2 X_{C2}} = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{X_{C1}}{X_{C2}} + \frac{R_1}{X_{C2}} + \frac{X_{C1}}{R_2}}$$

Thay $X_{C1} = -j \frac{1}{\omega C_1}$ và $X_{C2} = -j \frac{1}{\omega C_2}$ (và với $j^2 = -1$) vào β và rút gọn, ta được:

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{-j}{\omega C_1} \cdot \frac{\omega C_2}{-j} + R_1 \cdot \frac{\omega C_2}{-j} + \frac{-j}{\omega C_1} \cdot \frac{1}{R_2}} \\ \Leftrightarrow \beta &= \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} + (-1) \frac{\omega C_2}{j} \cdot R_1 - \frac{j}{\omega C_1 R_2}} \\ \Leftrightarrow \beta &= \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} + j^2 \frac{\omega C_2}{j} \cdot R_1 - \frac{j}{\omega C_1 R_2}} \\ \Leftrightarrow \beta &= \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} + j \omega C_2 R_1 - \frac{j}{\omega C_1 R_2}} \\ \Leftrightarrow \beta &= \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} + j(\omega C_2 R_1 - \frac{1}{\omega C_1 R_2})} \end{aligned} \quad (12.9)$$

Trong mạch dao động cầu Wien, do A là mạch khuếch đại không đảo, vì vậy để thoả điều kiện về pha thì: $\angle \beta = 0^\circ$

Theo biểu thức (12.3) ta có:

$$b_1 = \omega C_2 R_1 - \frac{1}{\omega C_1 R_2}$$

Để mạch dao động thì phải thoả mãn điều kiện cân bằng về pha, nên ta cho $b_1 = 0$

$$b_1 = R_1 \omega C_2 - \frac{1}{\omega C_1 R_2} = 0$$

$$\Leftrightarrow R_1 \omega C_2 = \frac{1}{\omega C_1 R_2}$$

$$\Leftrightarrow \omega = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

Vậy mạch sẽ dao động tại tần số:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \text{ hay } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

Thay giá trị tần số tín hiệu dao động của mạch (ω_0) vào công thức (12.9), ta được:

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} + j\left(\frac{R_1 C_2}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} - \frac{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}{R_2 C_1}\right)}$$

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} + j\left(\frac{R_1 R_2 C_1 C_2 - R_1 R_2 C_1 C_2}{R_2 C_1 \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}\right)}$$

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}}$$

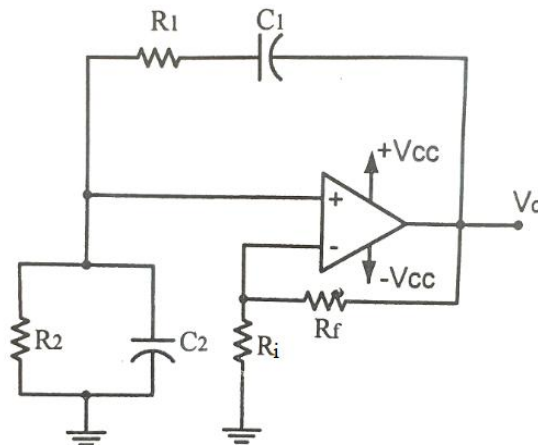
Khi phải thỏa điều kiện về cân bằng biên độ $\beta A_v = 1 \Rightarrow A_v = 1/\beta$

$$\text{Vậy suy ra } A_v = 1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}$$

Nếu chọn giá trị linh kiện trong mạch là: $C_1 = C_2 = C$ và $R_1 = R_2 = R$ thì tần số dao động của mạch là: $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$, và để mạch duy trì dao động thì mạch khuếch đại A_v

phải thỏa: $A_v = 3$

Khảo sát một mạch dao động cầu Wien sử dụng Op-Amp (mạch khuếch đại không đảo) như sau:



Hình 12.10: Mạch dao động cầu Wien

Do sử dụng mạch khuếch đại không đảo nên ta có:

$$A_v = 1 + \frac{R_f}{R_i} = 3 \Leftrightarrow \frac{R_f}{R_i} = 2$$

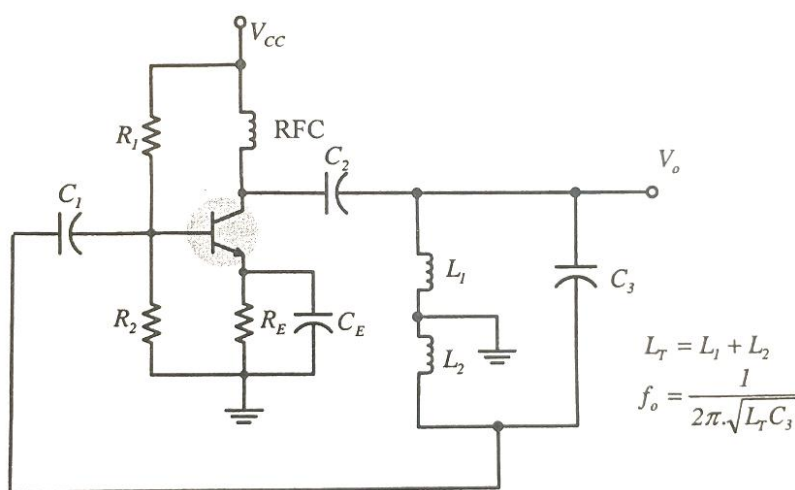
Suy ra: $R_f = 2R_i$

12.2.2 Mạch dao động LC

Mạch dao động LC hoạt động dựa trên khung cộng hưởng LC trong các sơ đồ mạch.

a) Mạch dao động Hartley

Sơ đồ mạch dao động Hartley được trình bày như hình sau:



Hình 12.11: Mạch dao động Hartley

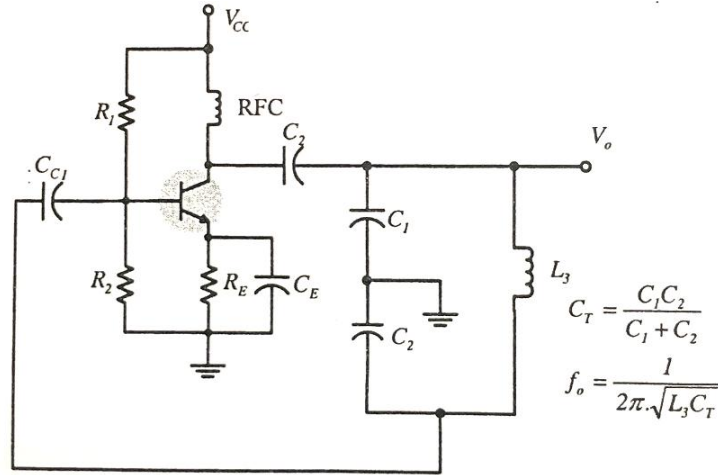
Transistor được phân cực ở chế độ khuếch đại, khung cộng hưởng LC có vai trò chọn lọc tần số và hồi tiếp về ngõ vào của khối khuếch đại. RFC (Radio Frequency Choke) là cuộn cảm cao tần có điện cảm rất lớn trong vùng tần số dao động, vì vậy về mặt xoay chiều ta xem như cuộn RFC hở mạch tại vùng tần số dao động. Mạch dao động Hartley có điện áp hồi tiếp trên cuộn dây L_1 và điện áp ngõ ra trên cuộn dây L_2 , như vậy tần số dao động của mạch được xác định như sau:

$$\omega L_1 + \omega L_2 - \frac{1}{\omega C_3} = 0$$

$$\Leftrightarrow \omega = \frac{1}{\sqrt{C_3(L_1 + L_2)}} \quad \text{hay} \quad f = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_3(L_1 + L_2)}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_3 L_T}} \quad (12.10)$$

b) Mạch dao động Colpitts

Sơ đồ mạch dao động Colpitts được trình bày như hình sau:



Hình 12.12: Mạch dao động Colpitts

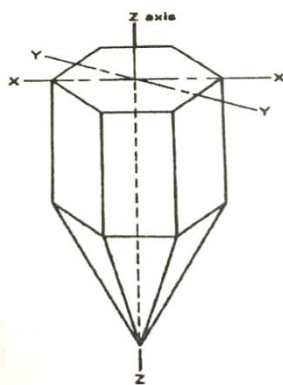
Mạch dao động Colpitts có điện áp hồi tiếp trên tụ C_1 và điện áp ngõ ra trên tụ C_2 , như vậy tần số dao động của mạch được xác định như sau:

$$-\frac{1}{\omega C_1} - \frac{1}{\omega C_2} + \omega L_3 = 0$$

$$\Leftrightarrow \omega = \sqrt{\frac{1}{L_3} \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)} = \sqrt{\frac{1}{L_3} \left(\frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2} \right)} = \sqrt{\frac{1}{L_3 C_T}} = \frac{1}{\sqrt{L_3 C_T}} \quad \text{hay} \quad f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_3 C_T}}$$

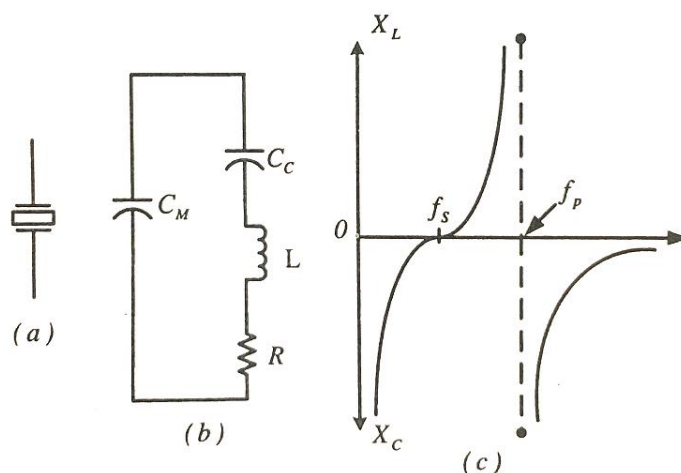
c) Mạch dao động thạch anh

Các mạch dao động LC có nhược điểm là tần số dao động không ổn định do các giá trị L và C bị thay đổi theo nhiệt độ, độ ẩm, ... Để tín hiệu ngõ ra của mạch dao động có độ ổn định cao thì thường sử dụng các mạch dao động dùng thạch anh. Do tính chất của tinh thể thạch anh có thể cho ra những tần số dao động chuẩn không phụ thuộc vào điều kiện của môi trường. Hình sau trình bày cấu trúc tinh thể thạch anh.



Hình 12.13: Tinh thể thạch anh

Tinh thể thạch anh được chế tạo từ SiO_2 , nó có đặc tính của tinh thể áp điện: khi áp lên bề mặt tinh thể một dao động điện bằng cách lấy hai má kim loại kẹp miếng thạch anh ở giữa, tinh thể sẽ dao động cơ học hoặc nếu tác động lên bề mặt tinh thể một áp lực, trên bề mặt sẽ xuất hiện một sức điện động. Tùy thuộc vào kích thước, bề dày, mặt cắt mỗi phiến tinh thể thạch anh có một tần số cộng hưởng nhất định, từ đó sinh ra một dao động điện cộng hưởng ở tần số tương ứng. Do đặc tính của thạch anh hoạt động như mạch cộng hưởng của tinh thể áp điện, nên có thể mô phỏng mạch điện tương đương của nó như hình sau:



Hình 12.14: (a) Ký hiệu thạch anh; (b) Mạch điện tương đương; (c) Đáp ứng tần số

Trong đó:

- C_M : điện dung giá đỡ
- C_C : điện dung của phiến thạch anh
- L : điện cảm của phiến thạch anh

- R : điện trở của phiên thạch anh (tổn hao của thạch anh khi dao động)
 f_s : tần số cộng hưởng nối tiếp
 f_p : tần số cộng hưởng song song

Ta có:

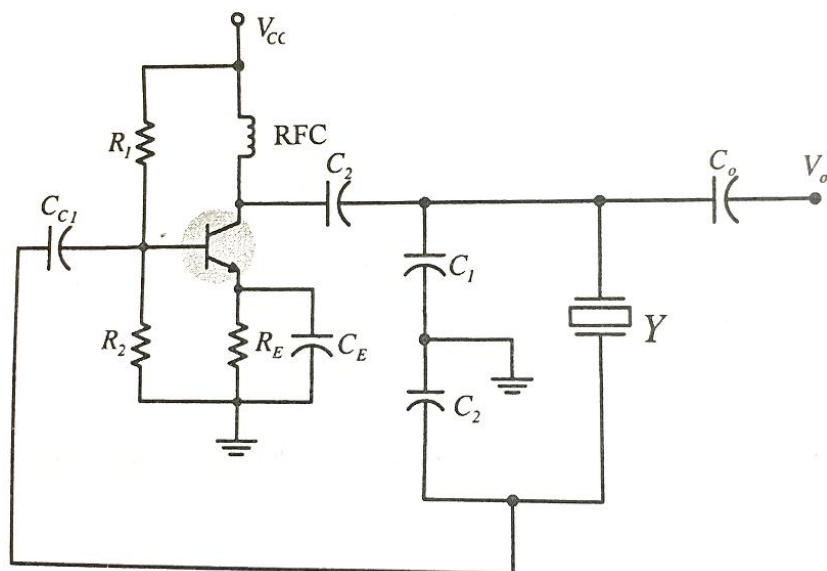
- Tần số cộng hưởng nối tiếp là: $f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_C}}$

- Tần số cộng hưởng song song là:

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_C}} \sqrt{1 + \frac{C_C}{C_M}}$$

Vậy có thể sử dụng thạch anh để thay thế một mạch LC nối tiếp hay mạch LC song song.

Ví dụ: mạch dao động Colpitts dùng thạch anh như sau:



Hình 12.15: Mạch dao động Colpitts dùng thạch anh

12.3 Mạch dao động tạo xung vuông

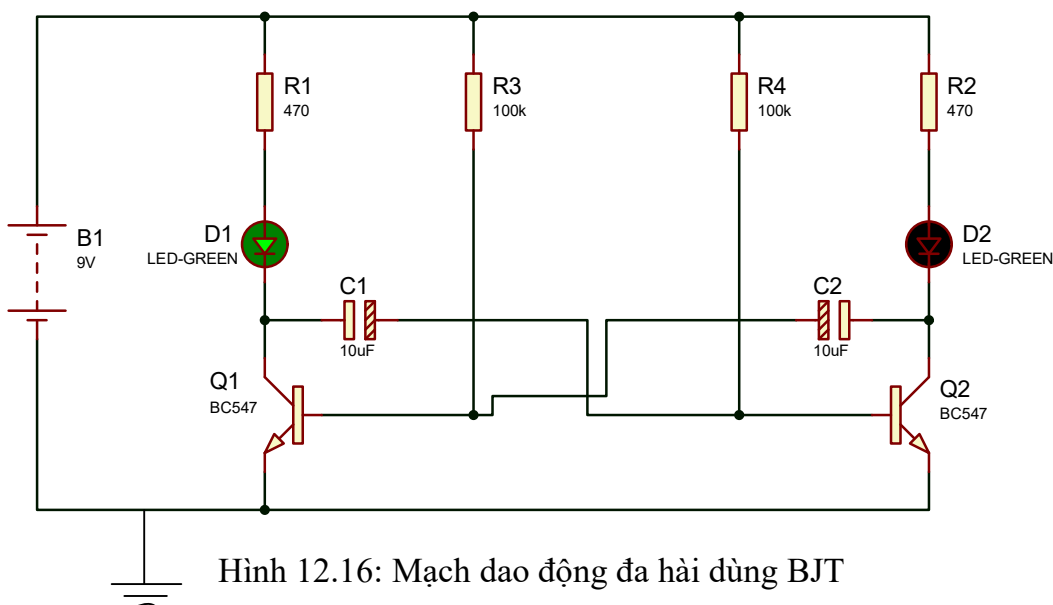
Tín hiệu xung vuông là một dao động điện rất phổ biến trong lĩnh vực điều khiển tự động. Thông thường các mạch tạo xung vuông được thiết kế để tạo ra các xung điện vuông có tần số và chu kỳ ổn định để làm bộ đếm, bộ định thời gian nhằm thực hiện quá trình tự động hoá.

Mạch tạo xung vuông thường được xây dựng trên quá trình phóng và nạp của tụ điện, tần số của dao động của mạch phụ thuộc vào khoảng thời gian nạp và phóng của tụ điện.

12.3.1 Mạch dao động đa hài dùng BJT

Trạng thái cân bằng của mạch (một BJT dẫn và một BJT ngắt) chỉ ổn định trong một khoảng thời gian nhất định nào đó rồi tự động lật lại trạng thái kia và ngược lại. Hai trạng thái này của mạch đa hài tự dao động còn được gọi là các trạng thái chuẩn cân bằng. Ở đó, những thay đổi tương đối chậm của dòng điện và điện áp giữa các điểm trong sơ đồ mạch dẫn tới một trạng thái tới hạn mà tại đó có những điều kiện để tự động chuyển đột ngột từ trạng thái này sang trạng thái khác.

Xem xét mạch dao động đa hài dùng BJT như hình sau. Mạch gồm hai transistor mắc cực phát chung, đầu ra transistor Q1 được ghép tới đầu vào của tầng transistor Q2 qua tụ C_1 , còn đầu ra của tầng transistor Q2 ghép trở lại đầu vào của tầng transistor Q1 qua tụ C_2 . Như vậy mỗi tầng dịch pha một góc 180° , hai tầng dịch pha 360° , bảo đảm hồi tiếp dương khi mạch làm việc.



Hình 12.16: Mạch dao động đa hài dùng BJT

Nguyên lý hoạt động:

Khi cấp nguồn, giả sử transistor Q1 dẫn trước, áp V_{C1} của transistor Q1 giảm \Rightarrow thông qua C1 làm áp V_{B2} của transistor Q2 giảm \Rightarrow Q2 tắt \Rightarrow áp V_{C2} của transistor Q2 tăng và nạp vào tụ C2 \Rightarrow thông qua C2 làm áp V_{B1} của transistor Q1 tăng \Rightarrow xác lập trạng thái Q1 dẫn bão hoà và Q2 tắt, lúc này LED D1 sáng và LED D2 tắt.

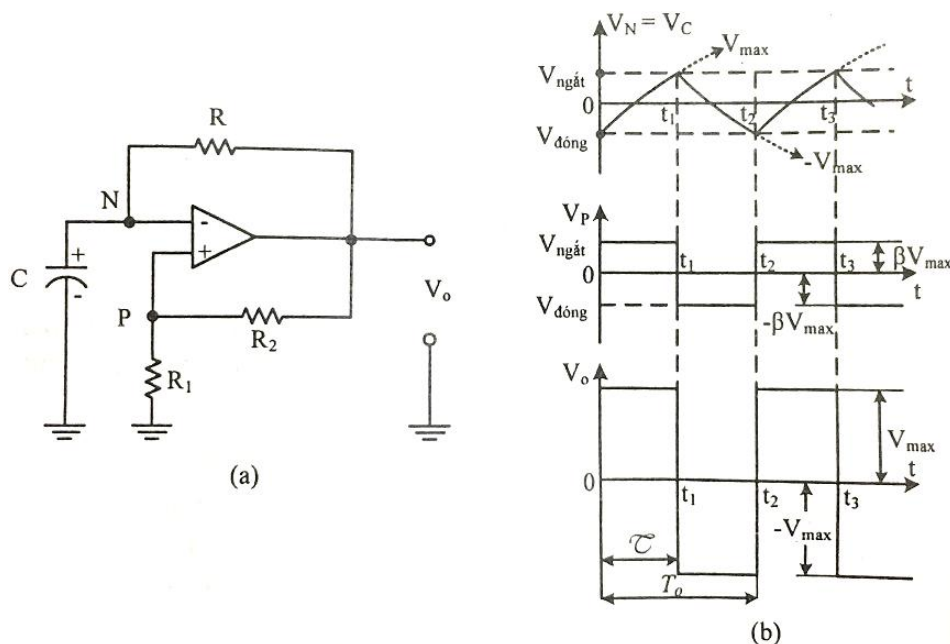
Sau khoảng thời gian t, dòng nạp qua R4 vào tụ C1 khi điện áp này lớn hơn 0,6V thì transistor Q2 dẫn \Rightarrow áp V_{C2} của transistor Q2 giảm \Rightarrow thông qua C2 làm áp V_{B1} của transistor Q1 giảm \Rightarrow Q1 tắt \Rightarrow áp V_{C1} của transistor Q1 tăng và nạp vào tụ C1 \Rightarrow thông qua C1 làm áp V_{B2} của transistor Q2 tăng \Rightarrow xác lập trạng thái Q2 dẫn bão hoà và Q1 tắt, lúc này LED D2 sáng và LED D1 tắt. Trạng thái lặp đi lặp lại và tạo thành dao động xung vuông. Chu kỳ dao động phụ thuộc vào C1, C2 và R3, R4.

Ta có tần số dao động của mạch là: $f_0 = \frac{1}{1,4RC}$

Biên độ xung ra được xác định gần đúng bằng giá trị nguồn cung cấp V_{CC}

12.3.2 Mạch dao động đa hài dùng Op-Amp

Xem xét mạch đa hài trên cơ sở bộ khuếch đại thuật toán được trình bày như hình sau.



Hình 12.17: Mạch dao động đa hài dùng Op-Amp

Nguyên lý hoạt động:

Giả sử ban đầu Op-Amp bão hoà dương $V_o = +V_{CC}$, khi đó điện áp trên đầu vào V_N tăng lên nhờ quá trình nạp tụ C cho đến khi đạt tới ngưỡng lật ($V_N > V_P$) thì sơ đồ chuyển trạng thái và điện áp ra $V_o = -V_{CC}$. Sau đó điện áp đầu vào V_N giảm dần nhờ quá trình phóng điện của tụ điện C cho đến khi đạt tới ngưỡng lật ($V_N < V_P$) thì sơ đồ chuyển trạng thái và điện áp ra $V_o = +V_{CC}$.

Nếu chọn $V_{omax} = -V_{omin} = V_{CC}$, thì ta có:

$$V_{đóng} = -\beta \cdot V_{CC}$$

$$V_{ngắt} = \beta \cdot V_{CC}$$

Với $\beta = \frac{V_f}{V_o} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ là hệ số hồi tiếp dương của mạch. Cần lưu ý là điện áp ngõ

vào V_N chính là điện áp trên tụ C, sẽ biến thiên theo thời gian mang qui luật của quá trình phóng điện và nạp điện của tụ C từ nguồn V_{CC} hoặc $-V_{CC}$ thông qua R trong các khoảng thời gian từ 0 đến t_1 và từ t_1 đến t_2 (cho một chu kỳ), sau đó lặp lại cho chu kỳ tiếp theo.

Chu kỳ của mạch dao động được xác định theo công thức:

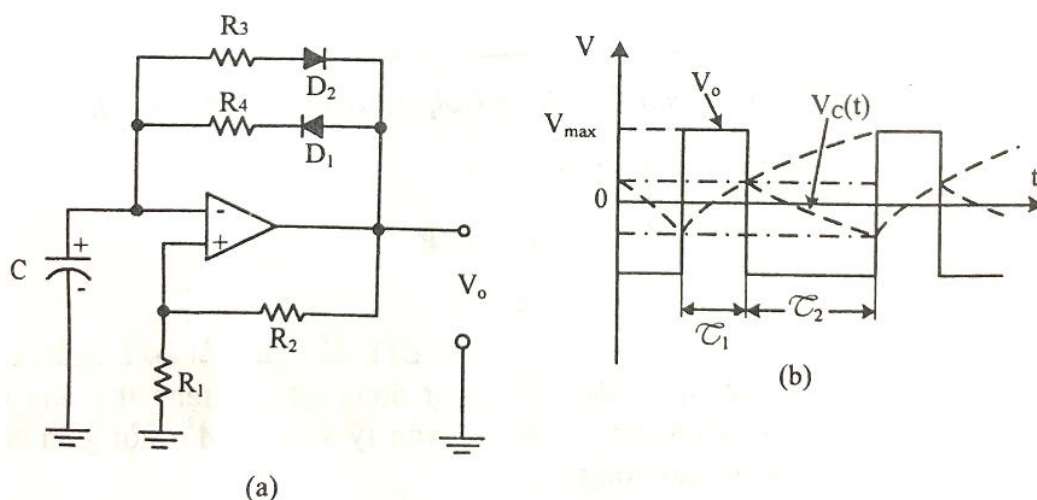
$$T = 2\tau = 2RC \cdot \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)$$

Nếu chọn $R_1 = R_2$ thì ta có: $T = 2RC \cdot \ln 3 = 2RC \cdot 1,1 = 2,2RC$

Tần số dao động của mạch là: $f_0 = \frac{1}{2,2RC}$

Như vậy chu kỳ của mạch dao động chỉ phụ thuộc vào các thông số mạch ngoài R_1 , R_2 , R, C.

Khi cần thiết kế mạch dao động đa hài có độ ổn định tần số cao và có khả năng điều chỉnh tần số ta có thể sử dụng các mạch phức tạp hơn. Hình sau trình bày sơ đồ nguyên lý và giản đồ sóng của mạch dao động đa hài không đối xứng.



Hình 12.18: Mạch dao động đa hài không đối xứng

Tụ điện C được nạp qua (R₄, D₁) và phóng qua (R₃, D₂). Nếu chọn R₃ khác R₄, khi đó ta có:

$$\tau_1 = R_4 C \cdot \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)$$

$$\tau_2 = R_3 C \cdot \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)$$

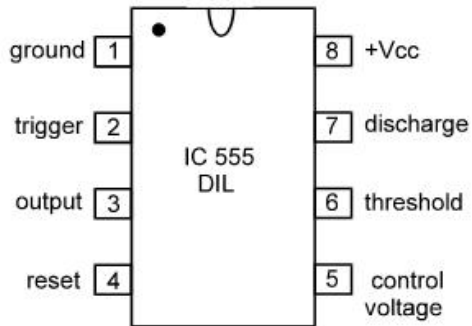
$$\text{Do đó: } T = \tau_1 + \tau_2 = C(R_3 + R_4) \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)$$

$$\text{Tần số dao động của mạch là: } f_0 = \frac{1}{T}$$

Bằng cách thay đổi giá trị R₃ và R₄ ta sẽ thay đổi được độ rộng xung trong khi chu kỳ của tín hiệu vẫn giữ nguyên không đổi.

12.3.3 Mạch dao động tạo xung vuông dùng IC 555

Loại IC thông dụng được sử dụng để tạo dao động xung vuông là IC XX555 (XX có thể là TA hoặc LA, ...). Sơ đồ chân của IC 555 được trình bày như hình sau:



Hình 12.19: Sơ đồ chân của IC 555

Chân 1 (GND): Chân nối đất để lấy dòng.

Chân 2 (Trigger): Chân so áp với mức áp chuẩn là $1/3$ mức nguồn (V_{cc}).

Chân 3 (Output): Chân ngõ ra, tín hiệu trên chân 3 có dạng xung (mức thấp/mức cao).

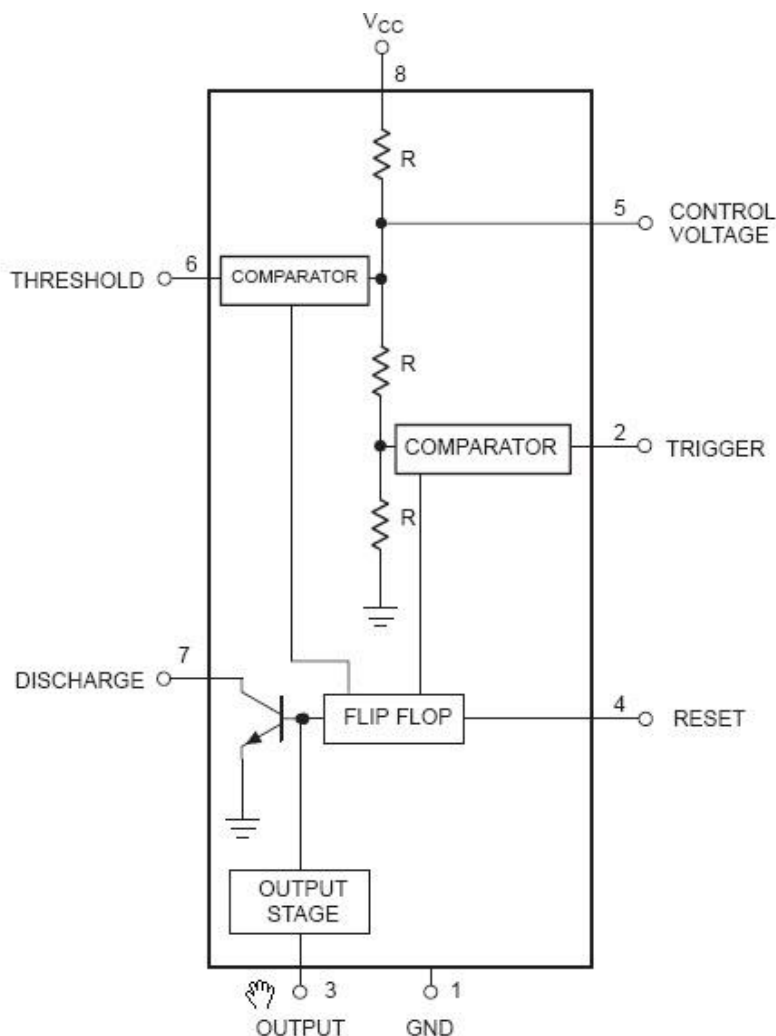
Chân 4 (Reset): Chân xác lập trạng thái trên chân 3 (ở mức thấp hay hoạt động).

Chân 5 (Control Voltage): Chân làm thay đổi mức áp chuẩn trong IC 555.

Chân 6 (Threshold): Chân so áp với mức áp chuẩn là $2/3$ mức nguồn (V_{cc}).

Chân 7 (Discharge): Chân này như là một khoá điện đóng/mở theo mức áp trên chân số 3, thường dùng cho tụ xả điện.

Chân 8 (V_{cc}): Chân nối vào đường nguồn V_{cc} . IC 555 làm việc với mức nguồn từ 3V đến 15V.



Hình 12.20: Sơ đồ các khối chức năng của IC 555

Chân 1 nối GND và chân 8 nối vào nguồn Vcc, là một cầu chia áp với 3 điện trở bằng nhau (đều là 5K). Cầu chia áp này tạo ra 2 mức áp ngưỡng:

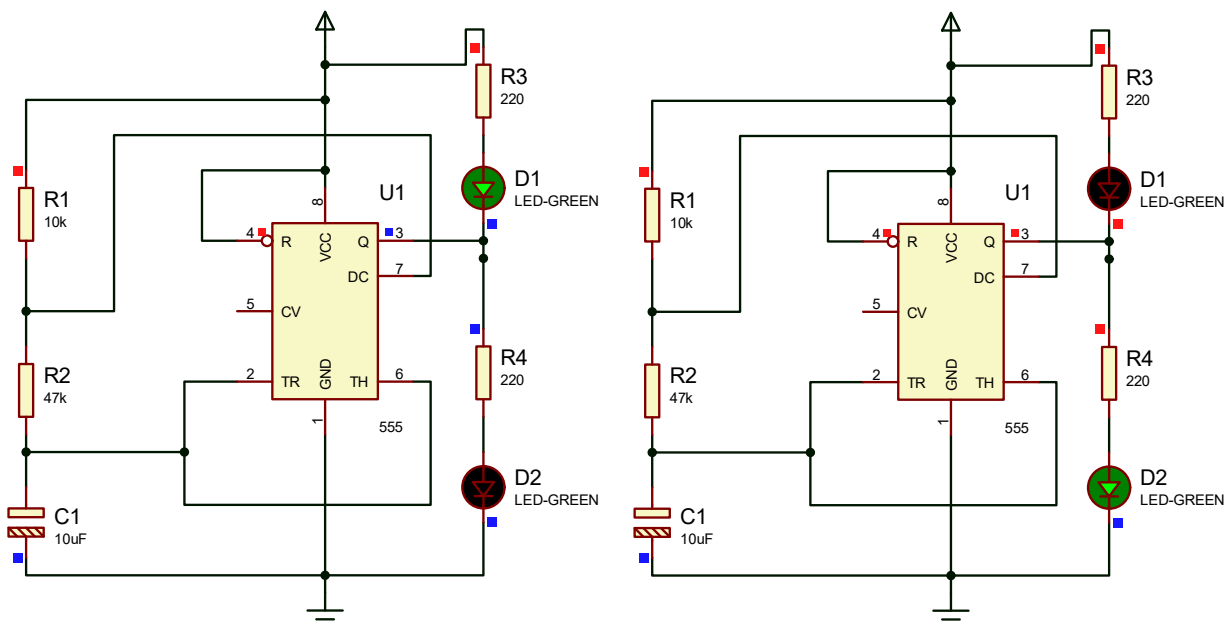
- Mức áp ngưỡng thứ 1 là: $1/3$ mức áp nguồn ($1/3 V_{cc}$) dùng làm mức áp ngưỡng cho tầng so áp thứ 1, với tín hiệu vào trên chân số 2. Nếu mức áp trên chân 2 xuống thấp hơn $1/3 V_{cc}$ thì ngõ ra trên chân 3 sẽ tăng lên mức áp cao.
- Mức áp ngưỡng thứ 2 là: $2/3$ mức áp nguồn ($2/3 V_{cc}$) dùng làm mức áp ngưỡng cho tầng so áp thứ 2, với tín hiệu vào trên chân số 6. Nếu mức áp trên chân 6 lên cao hơn $2/3 V_{cc}$ thì ngõ ra trên chân 3 sẽ xuống mức áp thấp.

Khi chân 4 ở mức áp thấp, chân 3 bị chốt ở mức áp thấp, khi chân 4 ở mức áp cao, lúc đó chân 3 mới có thể biến đổi theo Flip Flop. Do vậy trong các mạch dao động, thường cho chân 4 nối vào mức nguồn cao.

Chân số 5 có thể chịu tác động ngoài để làm thay đổi mức áp ngưỡng.

Chân số 7 là một khóa điện đóng/mở (transistor bảo hòa/ngưng dẫn) theo mức áp trên chân số 3. Chân số 3 là ngõ ra một tầng Flip Flop, nên tín hiệu trên chân 3 có dạng xung (mức áp chỉ xác lập ở trạng thái cao hay thấp).

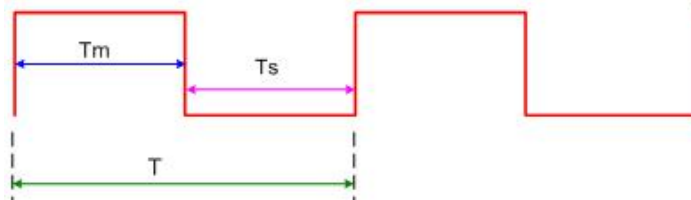
Xem xét mạch tạo dao động xung vuông sử dụng IC 555 như hình sau:



Hình 12.20: Mạch dao động xung vuông sử dụng IC 555

Khi thay đổi giá trị các điện trở R_1 , R_2 và giá trị tụ C_1 chúng ta sẽ thu được dao động có:

- Chu kỳ toàn phần tính bằng (s):



Hình 12.19: Chu kỳ toàn phần T

Ta có:

T_m : thời gian điện mức cao, $T_m = \ln 2 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C_1 = 0,7 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C_1$

T_s : thời gian điện mức thấp, $T_s = \ln 2 \cdot R_2 \cdot C_1 = 0,7 \cdot R_2 \cdot C_1$

T : chu kỳ toàn phần, bao gồm thời gian có điện mức cao T_m và thời gian có điện mức thấp T_s .

Suy ra: $T = T_m + T_s = 0,7 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C_1 + 0,7 \cdot R_2 \cdot C_1 = 0,7 \cdot (R_1 + 2R_2) \cdot C_1$

- Tần số dao động tính bằng (Hz):

$$f_0 = \frac{1}{T} = \frac{1,4}{(R_1 + 2R_2) \cdot C_1}$$

Bài tập - Mạch dao động

Câu 1: Thiết kế mạch dao động dịch pha RC sử dụng Op-Amp có $R_i=20\text{ K}\Omega$; $R=1\text{ K}\Omega$.

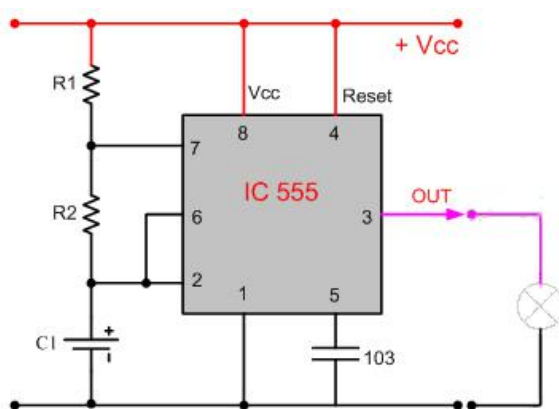
Hãy tính giá trị của R_f và C để mạch tạo ra dao động sóng sin có tần số $f_0=1\text{ KHz}$.

Câu 2: Tính tần số dao động của mạch cầu Wien có $R_1=R_2=51\text{ K}\Omega$; $C_1=C_2=0,001\mu\text{F}$.

Giả thiết mạch thỏa mãn điều kiện biên độ và pha.

Câu 3: Cho một mạch dao động Colpits dùng transistor có $C_1=0,01\mu\text{F}$; $C_2=2500\text{ pF}$ và $L=40\mu\text{H}$. Hãy tính tần số dao động của mạch.

Câu 4: Thiết kế mạch dao động tạo xung vuông sử dụng IC 555 với các thông số như sau:



$$C1 = 10\mu\text{F}$$

$$R1 = R2 = 100\text{ k}\Omega$$

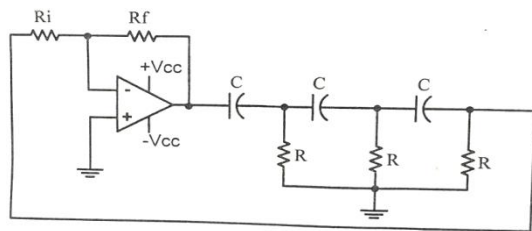
a) Tính T_s , T_m và T

b) Tính tần số $f = ?$

Câu 5: Cho mạch dao động dịch pha RC (3 mạch lọc RC) sử dụng Op-Amp (khuếch đại đảo) như sau. Biết $R_i=R=10\text{ k}\Omega$, $C=0,01\mu\text{F}$.

a) Xác định tần số dao động của mạch

b) Tính giá trị của R_f



Câu 6: Thiết kế mạch dao động dịch pha RC (3 mạch lọc RC) sử dụng Op-Amp (khuếch đại đảo) để có tần số dao động 2kHz. Biết giá trị của điện trở R và điện dung C trong mạch lọc RC là như nhau. Trong đó điện dung C được chọn bằng 0,01 μ F và $R_i=R$.

Hãy xác định giá trị của điện trở R, R_i , R_f

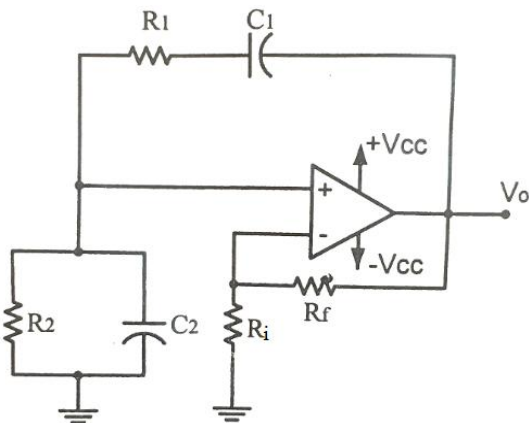
Câu 7: Cho mạch dao động dịch pha RC (3 mạch lọc RC) sử dụng Op-Amp (khuếch đại đảo). Cho biết $R_i=R=10k\Omega$.

- Hãy xác định giá trị điện dung C trong các mạch lọc RC để mạch tạo ra dao động sóng sin có tần số $f_0=2,5kHz$.
- Tính giá trị điện trở R_f
- Nếu thay đổi cả ba điện trở R trong mạch lọc từ 4,7k Ω đến 20k Ω . Hãy xác định phạm vi thay đổi tần số dao động của mạch.

Câu 8: Cho mạch dao động cầu Wien sử dụng Op-Amp như sau. Cho biết

$R_1=R_2=R=33k\Omega$, $C_1=C_2=C=10nF$. Giả thiết mạch thỏa mãn điều kiện biên độ và pha.

- Xác định tần số dao động.
- Tính giá trị của điện trở R_f nếu cho $R_i=47k\Omega$.



Phục lục

1. Một số khái niệm về số phức [5]

Số phức z được biểu diễn dưới dạng $z = a + b.j$, trong đó a và b là các số thực và j là đơn vị ảo, thỏa $j^2 = -1$.

Ví dụ 1: $z = -3,5 + 2.j$ là một số phức.

Số thực a được gọi là phần thực của số phức $a + b.j$; số thực b được gọi là phần ảo của số phức $a + b.j$ (phần ảo không có chứa đơn vị ảo j), số phức $b.j$ được gọi là thuần ảo. Phần thực của số phức z được ký hiệu là $\text{Re}(z)$; phần ảo của số phức z được ký hiệu là $\text{Im}(z)$.

Ví dụ 2: $\text{Re}(z) = \text{Re}(-3,5 + 2.j) = -3,5$

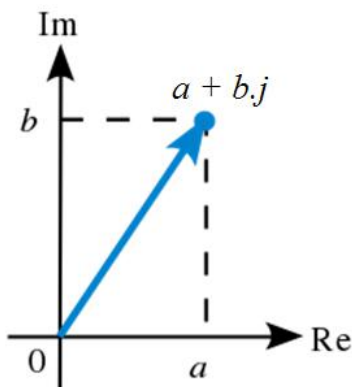
$\text{Im}(z) = \text{Im}(-3,5 + 2.j) = 2$

Nếu xét theo phần thực và phần ảo, một số phức z sẽ được viết là: $\text{Re}(z) + \text{Im}(z).j$

Một số thực a có thể được biểu diễn ở dạng phức là $a + 0.j$ với phần ảo là 0. Số thuần ảo $b.j$ là một số phức được viết là $0 + b.j$ với phần thực bằng 0. Ngoài ra, khi phần ảo âm, nó được viết là $a - b.j$ hay ta có thể viết là: $a + (-b).j$

Ví dụ 3: ta có số phức $z = 3 - 4.j$ hay viết là $z = 3 + (-4).j$

Số phức có thể được biểu diễn trên mặt phẳng phức với trục hoành là trục thực và trục tung là trục ảo, do đó một số phức $a + b.j$ được xác định bằng một điểm có tọa độ (a, b) . Một số phức nếu có phần thực bằng không thì gọi là số thuần ảo, nếu có phần ảo bằng không thì trở thành là số thực. Việc mở rộng trường số phức để giải những bài toán mà không thể giải trong trường số thực.



Hình 1: Biểu diễn số phức trên mặt phẳng phức, với Re là trục thực, Im là trục ảo [4]

Mỗi số phức z đều được biểu diễn duy nhất dưới dạng: $z = a + b.j$, trong đó a, b là các số thực. Dạng biểu diễn này được gọi là dạng đại số của số phức z . Với cách biểu diễn dưới dạng đại số, phép cộng và nhân các số phức được thực hiện như phép cộng và nhân các nhị thức bậc nhất với lưu ý rằng $j^2 = -1$. Như vậy, ta có:

$$\begin{aligned}(a + b.j) + (c + d.j) &= (a + c) + (b + d).j \\(a + b.j) - (c + d.j) &= (a - c) + (b - d).j \\(a + b.j)(c + d.j) &= (ac - bd) + (ad + bc).j \\ \frac{a + b.j}{c + d.j} &= \frac{(a + b.j)(c - d.j)}{(c + d.j)(c - d.j)} = \frac{ac + bd}{c^2 + d^2} + \frac{bc - ad}{c^2 + d^2}.j\end{aligned}$$

2. Ứng dụng của số phức

- Trong hình học phẳng: phép quay 90 độ có bình phương bằng -1: Quay hai lần 90 độ thì bằng quay 180 độ, mà quay 180 độ có nghĩa là lấy điểm ngược lại, cũng có nghĩa là nhân với -1. Vậy ta có thể nói rằng số ảo j đại diện cho sự quay, hay sự chuyển hướng 90 độ. Chính vì “ j chẳng qua là quay 90 độ” nên số phức rất hiệu nghiệm trong hình học phẳng và trong lượng giác. Nhiều vấn đề của hình học phẳng rất phức tạp, hay nhiều công thức lượng giác phức tạp, trở nên đơn giản hơn khi sử dụng số phức để giải quyết.
- Phân tích đa thức ra thừa số
- Tính toán các tích phân
- Tìm dạng chuẩn và phân loại các cấu trúc toán học
- Trong vật lý ngày nay, số phức xuất hiện rất nhiều. Bởi vì vật lý liên quan đến hình học, có nhiều đại lượng không chỉ có độ lớn mà còn có hướng. Mà đã nói đến hướng là dễ đụng đến số phức, vì số ảo thể hiện sự quay 90 độ. Ví dụ như đề mô tả điện xoay chiều hay trong mạng điện nói chung, người ta có thể dùng số phức.

Mỗi số phức z đều được biểu diễn duy nhất dưới dạng: $z = a + b.j$, trong đó a, b là các số thực. Dạng biểu diễn này được gọi là dạng đại số của số phức z . Với cách biểu diễn dưới dạng đại số, phép cộng và nhân các số phức được thực hiện như phép cộng và nhân các nhị thức bậc nhất với lưu ý rằng $j^2 = -1$. Như vậy, ta có:

$$\begin{aligned}(a + b.j) + (c + d.j) &= (a + c) + (b + d).j \\(a + b.j) - (c + d.j) &= (a - c) + (b - d).j \\(a + b.j)(c + d.j) &= (ac - bd) + (ad + bc).j \\ \frac{a + b.j}{c + d.j} &= \frac{(a + b.j)(c - d.j)}{(c + d.j)(c - d.j)} = \frac{ac + bd}{c^2 + d^2} + \frac{bc - ad}{c^2 + d^2}.j\end{aligned}$$

2. Ứng dụng của số phức

- Trong hình học phẳng: phép quay 90 độ có bình phương bằng -1: Quay hai lần 90 độ thì bằng quay 180 độ, mà quay 180 độ có nghĩa là lấy điểm ngược lại, cũng có nghĩa là nhân với -1. Vậy ta có thể nói rằng số ảo j đại diện cho sự quay, hay sự chuyển hướng 90 độ. Chính vì “ j chẳng qua là quay 90 độ” nên số phức rất hiệu nghiệm trong hình học phẳng và trong lượng giác. Nhiều vấn đề của hình học phẳng rất phức tạp, hay nhiều công thức lượng giác phức tạp, trở nên đơn giản hơn khi sử dụng số phức để giải quyết.
- Phân tích đa thức ra thừa số
- Tính toán các tích phân
- Tìm dạng chuẩn và phân loại các cấu trúc toán học
- Trong vật lý ngày nay, số phức xuất hiện rất nhiều. Bởi vì vật lý liên quan đến hình học, có nhiều đại lượng không chỉ có độ lớn mà còn có hướng. Mà đã nói đến hướng là dễ đụng đến số phức, vì số ảo thể hiện sự quay 90 độ. Ví dụ như đề mô tả điện xoay chiều hay trong mạng điện nói chung, người ta có thể dùng số phức.