

BÀI THÍ NGHIỆM SỐ 4

CÁC MẠCH LỌC TÍCH CỰC DÙNG OP-AMP

CÁC MẠCH TẠO TÍN HIỆU DÙNG OP-AMP

A. GIỚI THIỆU

Trong bài thí nghiệm số 2 và số 3, chúng ta đã khảo sát các mạch khuếch đại dùng BJT. Trong bài thí nghiệm này, ta sẽ khảo sát một vài mạch ứng dụng với khuếch đại thuật toán (Op-Amp). Đó là các mạch lọc tích cực và các mạch tạo tín hiệu.

Trong các mạch khuếch đại dùng BJT, ta cũng đã khảo sát sơ qua về đáp ứng tần số của mạch khuếch đại. Với các mạch dùng Op-Amp ta sẽ có điều kiện khảo sát sâu hơn về đáp ứng tần số, chúng ta không chỉ khảo sát mà còn ứng dụng để thiết kế các bộ lọc tương tự, có đáp ứng tần số và độ lợi như mong muốn.

Dựa trên nguyên lý của mạch hồi tiếp ứng dụng với phần tử khuếch đại thuật toán, dễ dàng tạo được các mạch tự dao động, tạo tín hiệu sin, xung vuông, xung tam giác. Bài thí nghiệm này cũng sẽ trình bày và khảo sát một vài mạch tạo tín hiệu đơn giản nhằm giúp sinh viên phần nào nắm được nguyên lý của một máy phát sóng đã có mặt thường xuyên trong các buổi thí nghiệm. Theo đó giúp sinh viên có cơ sở khi khảo sát các mạch dao động cao tần dùng trong hệ thống viễn thông.

B. MỤC ĐÍCH THÍ NGHIỆM

- Giúp sinh viên thiết kế được các mạch lọc tích cực đơn giản dùng Op-amp.
- Giúp sinh viên khảo sát, đo đạc các thông số và vẽ đáp ứng tần số của một mạch lọc tích cực dùng Op-amp.
- Giúp sinh viên nắm được nguyên lý hoạt động của các mạch tạo tín hiệu đơn giản.
- Giúp sinh viên khảo sát và đo đạc các thông số của mạch tạo tín hiệu sin, xung vuông, xung tam giác.

C. TÓM TẮT LÝ THUYẾT

I. Mạch lọc tích cực

Mạch lọc là phần tử không thể thiếu trong hầu hết các thiết bị điện tử. Nó được tìm thấy với nhiều chủng loại có cấu trúc và vai trò khác nhau. Ví dụ mạch lọc nguồn dùng trong các bộ nguồn nhằm triệt tiêu độ gợn. Các bộ điều chỉnh Tone (Bass, Treble) dùng trong các mạch xử lý âm nhạc. Các mạch lọc nhằm giới hạn tần số tín hiệu trước khi nó được lấy mẫu được dùng trong các bộ xử lý tín hiệu số.

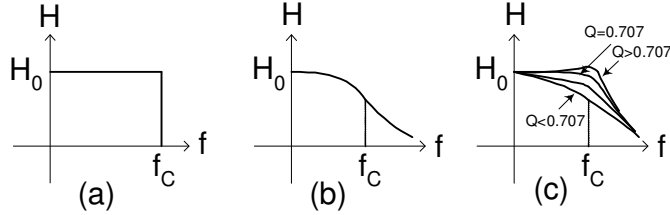
Mạch lọc được phân làm hai loại lớn đó là mạch lọc thụ động (Passive Filter) và mạch lọc tích cực (Active Filter). Mạch lọc thụ động có cấu trúc từ các phần tử thụ động (điện trở, tụ điện và cuộn dây). Mạch lọc tích cực có cấu trúc từ các phần tử tích cực (Transistor, Op-Amp ...) kết hợp với các phần tử thụ động. Trong mỗi loại lớn này đều có bốn loại nhỏ: Mạch lọc thông thấp (Low-pass Filter, LPF), mạch lọc thông cao (High-pass Filter, HPF), mạch lọc thông dải (Band-pass Filter, BPF), mạch lọc chắn dải (Band-reject Filter, BRF).

Mạch lọc tích cực dùng Op-amp kết hợp với các phần tử thụ động có thể tạo được đáp ứng bằng hoặc tốt hơn so với mạch lọc thụ động tương ứng. Khi ghép liên tầng các mạch lọc với nhau, mạch lọc tích cực nhờ phần tử Op-amp có tổng trở vào rất lớn và tổng trở ra rất nhỏ, cho nên không có sự suy hao giống như mạch lọc thụ động. Đặc biệt, trong các mạch lọc tích cực dùng Op-amp, thường không cần dùng phần tử cuộn dây. Đây là lợi điểm lớn của mạch lọc tích cực so với mạch lọc thụ động, bởi phần tử cuộn dây thường khó chế tạo chính xác, hơn nữa cuộn dây ở tần số thấp cần có giá trị lớn nên kích thước trở nên cồng kềnh giá thành cao. Chính vì thế, người ta thường thích chọn dùng mạch lọc tích cực hơn, đặc biệt là trong các ứng dụng trong xử lý âm thanh. Tuy nhiên, mạch lọc thụ động có lợi điểm hơn mạch lọc tích cực khi hoạt động ở tần số cao. Các phần tử tích cực thường bị giới hạn ở tần số cao, việc chế tạo linh kiện Op-amp hoạt động ở tần số cao trở nên khó khăn và giá thành đắt hơn. Cuộn dây ở tần số cao được chế tạo dễ dàng hơn, vì vậy mạch lọc thụ động thường xuất hiện nhiều trong các thiết bị cao tần, nhiều nhất là trong các thiết bị viễn thông.

1. Mạch lọc thông thấp

Mạch lọc thông thấp là mạch lọc chỉ cho tín hiệu ở tần số nhỏ hơn tần số cắt f_c đi qua. Đáp ứng tần số lý tưởng được trình bày trên hình 1(a).

a. Mạch lọc thông thấp bậc 1



Hình 1. Đáp ứng tần số của mạch lọc thông thấp

(a) Đáp ứng lý tưởng, (b) Bậc 1, (c) Bậc 2

Mạch lọc thông thấp bậc 1 có đáp ứng tần số trên hình 1(b). Hàm truyền đạt $H(s)$ có dạng như sau:

$$H(s) = \frac{H_0 \omega_0}{s + \omega_0} \quad (1)$$

$$s = j\omega \quad (2)$$

Trong đó H_0 gọi là độ lợi cực đại, $\omega_0 = 2\pi f_c$ gọi là tần số cắt (tần số 3dB). Độ dốc của hàm truyền đạt xác định từ biểu thức (3) là -20dB/dec

$$\text{rolloff} = \frac{20 \log \left(\frac{H_2}{H_1} \right)}{\log \left(\frac{f_2}{f_1} \right)} \quad (3)$$

H_1, H_2 là độ lợi tại tần số f_1, f_2 nằm trên đoạn xảy ra sự thay đổi (tăng hay giảm) của hàm truyền.

Mạch lọc thông thấp bậc 1 dùng Op-amp trên hình 2(a), hàm truyền của nó có dạng như biểu thức (1), với:

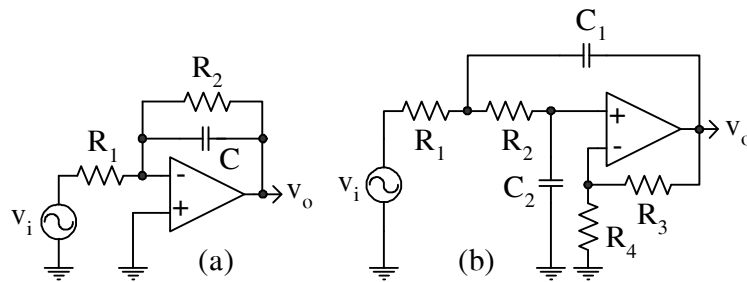
$$H_0 = -\frac{R_2}{R_1}, \quad \omega_0 = \frac{1}{R_2 C} \quad (4)$$

b. Mạch lọc thông thấp bậc 2 Butterworth

Mạch lọc thông thấp bậc 2 có đáp ứng tần số trên hình 1(c). Hàm truyền $H(s)$ có dạng như sau

$$H(s) = \frac{H_0 \omega_0^2}{s^2 + \left(\frac{\omega_0}{Q}\right)s + \omega_0^2} \quad (5)$$

Trong đó H_0 là độ lợi, $\omega_0 = 2\pi f_c$ là tần số cắt, Q là hệ số phẩm chất của mạch. Tùy vào giá trị của Q mà mạch có đáp ứng tần số như hình 1(c). Khi $Q = 0.707$, mạch có đáp ứng phẳng nhất đây gọi là mạch lọc Butterworth. Độ dốc của hàm truyền đạt xác định từ (3) là -40dB/dec.



Hình 2. Mạch lọc thông thấp dùng Op-amp
(a) Mạch lọc bậc 1, (b) Mạch lọc bậc 2 – Sallen - Key

Mạch lọc thông thấp bậc 2 dùng Op-amp trên hình 2(b), hàm truyền của nó có dạng như biểu thức (5), với:

$$H_0 = 1 + \frac{R_3}{R_4} \quad (6)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (7)$$

$$Q = \frac{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}{(R_1 + R_2)C_2 + C_1 R_1 (1 - H_0)} \quad (8)$$

Để đơn giản ta chọn $C_1 = C_2 = C$, khi đó biểu thức (7) và (8) được viết lại như sau:

$$\omega_0 = \frac{1}{C\sqrt{R_1 R_2}} \quad (9)$$

$$Q = \frac{\sqrt{R_1 R_2}}{R_1(2 - H_0) + R_2} \quad (10)$$

Từ (9) suy ra:

$$f_c = \frac{1}{2\pi C\sqrt{R_1 R_2}} \quad (11)$$

Giả sử $R_1 = KR_1(K)$, $R_2 = KR_2(K)$, K là hằng số, khi đó (11) trở thành:

$$f_c = \frac{1}{2\pi CK\sqrt{R_1(K)R_2(K)}} \quad (12)$$

Chọn:

$$\sqrt{R_1(K)R_2(K)} = \frac{10^4}{2\pi} \quad (13)$$

Ta có:

$$f_c = \frac{10^{-4}}{KC} \Leftrightarrow K = \frac{10^{-4}}{f_c \times C} \quad (14)$$

Với các thay thế như trên biểu thức (10) được viết lại:

$$Q = \frac{\sqrt{R_1(K)R_2(K)}}{(2 - H_0)R_1(K) + R_2(K)} \quad (15)$$

Biểu thức (13) và (15) được viết lại nếu $R_1(K)$ và $R_2(K)$ lấy theo đơn vị $K\Omega$:

$$\sqrt{R_1(K)R_2(K)} = \frac{10}{2\pi} \quad (16)$$

$$Q = \frac{10}{2\pi[(2 - H_0)R_1(K) + R_2(K)]} \quad (17)$$

Để mạch trở thành mạch lọc Butterworth thì $Q = 0.707$, hay:

$$Q = \frac{10}{2\pi[(2 - H_0)R_1(K) + R_2(K)]} = \frac{\sqrt{2}}{2} \quad (18)$$

Hệ phương trình (16) và (18) tương đương với hệ phương trình (19) và (20) sau:

$$R_2(K) = \frac{100}{4\pi^2 R_1(K)} \quad (19)$$

$$R_1(K) = 10 \frac{1 \pm \sqrt{2(H_0 - 1.5)}}{2\sqrt{2}\pi(2 - H_0)} \quad (20)$$

Chú ý : Hệ phương trình (19) và (20) chỉ áp dụng cho mạch có độ lợi H_0 lớn hơn 1.5 và H_0 khác 2. Khi $H_0 = 2$, giải hệ (15) và (16) để tìm nghiệm. Muốn mạch có độ lợi nhỏ hơn hoặc bằng 1.5 ta cần chọn lại C_1 và C_2 (C_1 khác C_2) và giải lại theo các bước như trên.

Ví dụ: Thiết kế mạch lọc thông thấp bậc 2 Butterworth có tần số cắt 1kHz, độ lợi bằng 11.

Ta có $H_0 = 11$, từ (19) suy ra:

$$R_1(K) = 10 \frac{1 - \sqrt{2(11 - 1.5)}}{2\sqrt{2}\pi(2 - 11)} = 0.420K\Omega$$

Từ (18), có $R_2(K) = 6.03K\Omega$

Chọn $R_3 = 100K\Omega$. Để $H_0 = 11$, từ (5) suy ra $R_4 = 10K\Omega$

Chọn $C = 10nF$, từ (13) suy ra $K = 10$.

Khi đó $R_1 = 4.2K\Omega$, $R_2 = 60.3K\Omega$

2. Mạch lọc thông cao

Mạch lọc thông cao là mạch lọc chỉ cho tín hiệu ở tần số lớn hơn tần số cắt f_C đi qua. Đáp ứng tần số lý tưởng được trình bày trên hình 3(a).

a. Mạch lọc thông cao bậc 1

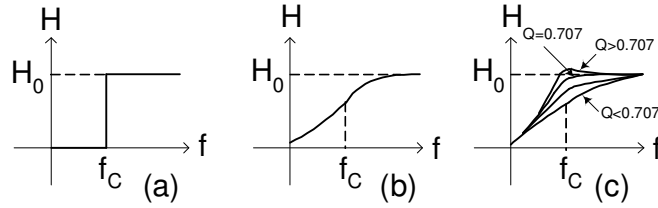
Mạch lọc thông cao bậc 1 có đáp ứng tần số trên hình 3(b). Hàm truyền $H(s)$ có dạng như sau:

$$H(s) = \frac{H_0 s}{s + \omega_0} \quad (21)$$

Trong đó H_0 gọi là độ lợi cực đại, $\omega_0 = 2\pi f_C$ gọi là tần số cắt (tần số 3dB). Độ dốc của hàm truyền xác định từ (3) là 20dB/dec.

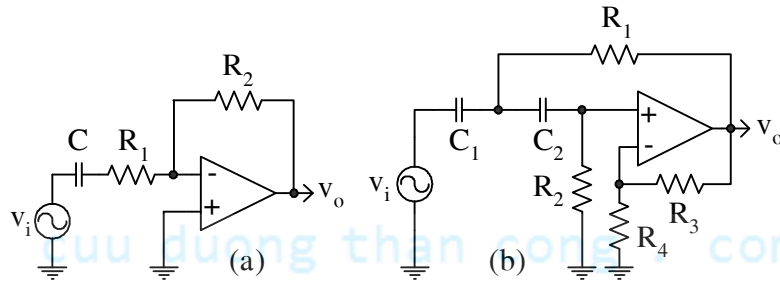
Mạch lọc thông cao bậc 1 dùng Op-amp trên hình 4(a), hàm truyền của nó có dạng như biểu thức (21), với:

$$H_0 = -\frac{R_2}{R_1}, \quad \omega_0 = \frac{1}{R_1 C} \quad (22)$$



Hình 3. Đáp ứng tần số của mạch lọc thông cao
(a) Đáp ứng lý tưởng, (b) Bậc 1, (c) Bậc 2

b. Mạch lọc thông cao bậc 2 Butterworth



Hình 4. Mạch lọc thông cao dùng Op-amp
(a) Mạch bậc 1, (b) Mạch bậc 2 – Sallen – Key

Mạch lọc thông cao bậc 2 có đáp ứng tần số trên hình 3(c). Hàm truyền $H(s)$ có dạng như sau:

$$H(s) = \frac{H_0 s^2}{s^2 + \left(\frac{\omega_0}{Q}\right)s + \omega_0^2} \quad (23)$$

Trong đó H_0 là độ lợi, $\omega_0 = 2\pi f_c$ là tần số cắt, Q là hệ số phẩm chất của mạch. Tùy vào giá trị của Q mà mạch có đáp ứng tần số như hình 3(c). Khi $Q = 0.707$, mạch có đáp ứng phẳng nhất đây gọi là mạch lọc Butterworth. Độ dốc của hàm truyền xác định từ (3) là 40dB/dec.

Mạch lọc thông cao bậc 2 dùng Op-amp trên hình 4(b), hàm truyền của nó có dạng như biểu thức (23), với:

$$H_0 = 1 + \frac{R_3}{R_4} \quad (24)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (25)$$

$$Q = \frac{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}{R_1 (C_1 + C_2) + R_2 C_2 (1 - H_0)} \quad (26)$$

Chọn $C_1 = C_2 = C$. Bằng cách đặt $R_1 = KR_1(K)$, $R_2 = KR_2(K)$, $R_1(K)$ và $R_2(K)$ tính theo $K\Omega$ như ở phần mạch lọc thông thấp bậc 2 Butterworth ta có được cách thiết kế mạch lọc thông cao bậc 2 Butterworth như sau:

$$K = \frac{10^{-4}}{f_c \times C} \quad (27)$$

$$R_1(K) = \frac{100}{4\pi^2 R_2(K)} \quad (28)$$

$$R_2(K) = 10 \frac{1 \pm \sqrt{4H_0 - 3}}{2\sqrt{2\pi}(1 - H_0)} \quad (29)$$

Chú ý: Hệ (28) và (29) chỉ được áp dụng khi H_0 lớn hơn hoặc bằng 0.75 và H_0 khác 1. Nếu cần $H_0 = 1$ phải giải lại hệ (25) và (26) khi $C_1 = C_2 = C$ kết hợp với (27) và (28).

Ví dụ: Thiết kế mạch lọc thông cao bậc 2 Butterworth có tần số cắt 1kHz, độ lợi 11.

$H_0 = 11$, từ (28) có được:

$$R_2(K) = 10 \frac{1 - \sqrt{44 - 3}}{2\sqrt{2\pi}(1 - 11)} = 0.608K\Omega$$

Từ (27) có: $R_1(K) = 4.166K\Omega$

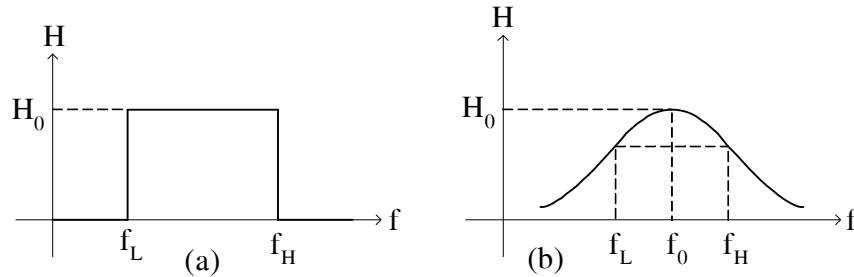
Chọn $R_3 = 100 K\Omega$, suy ra $R_4 = 10 K\Omega$

Chọn $C = 33nF$, từ (26) có: $K = 2.127$

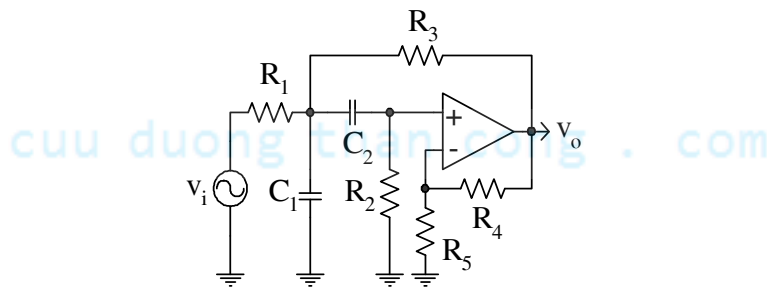
Suy ra $R_1 = 12.498 K\Omega$, $R_2 = 1.824 K\Omega$

3. Mạch lọc thông dải

Mạch lọc thông dải là mạch lọc chỉ cho tín hiệu ở tần số trong khoảng $f_L \div f_H$ đi qua. Đáp ứng tần số lý tưởng được trình bày trên hình 5(a), đáp ứng tần số thực trên hình 5(b).



Hình 5. Đáp ứng tần số của mạch lọc thông dải
(a) Đáp ứng lý tưởng, (b) Đáp ứng thực tế



Hình 6. Mạch lọc thông dải cấu trúc Sallen – Key dùng Op-amp

Mạch lọc thông dải có cấu trúc như trên hình 6 gọi là mạch lọc thông dải Sallen - Key. Hàm truyền $H(s)$ của nó có dạng như sau

$$H(s) = \frac{H_0 \left(\frac{\omega_0}{Q} \right) s}{s^2 + \left(\frac{\omega_0}{Q} \right) s + \omega_0^2} \quad (30)$$

Trong đó H_0 là độ lợi cực đại, $\omega_0 = 2\pi f_0$ là tần số trung tâm, Q là hệ số phẩm chất của mạch. Trong mạch hình 6 nếu chọn $R_1 = R_3 = R_2/2 = R$, $C_1 = C_2 = C$ thì :

$$K = 1 + \frac{R_4}{R_5} \quad (31)$$

$$H_0 = \frac{K}{3 - K} \quad (32)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{RC} \quad (33)$$

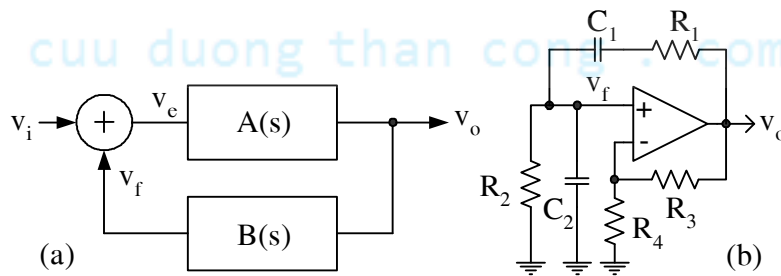
$$Q = \frac{1}{3 - K} \quad (34)$$

$$BW = \frac{f_0}{Q} \quad (35)$$

II. Các mạch tạo tín hiệu

1. Mạch tạo tín hiệu sin

a. Nguyên lý dao động sin



Hình 7. Mạch dao động sin
(a) Sơ đồ khối mạch hồi tiếp, (b) Mạch dao động cầu Wein

Một mạch có hàm truyền đạt bậc hai với phương trình đặc trưng là mẫu số

$$s^2 + as + b = 0 \text{ hay } s^2 + 2\zeta\omega_0 s + \omega_0^2 = 0 \quad (36)$$

Khi phương trình (36) có nghiệm phức $\alpha \pm j\omega_0$ thì mạch có đáp ứng:

$$y(t) = Ae^{-\alpha t} \sin \omega_0 t \quad (37)$$

Biểu thức (37) cho thấy mạch có đáp ứng là dao động tắt dần. Để mạch dao động điều hòa thì $\alpha = 0$ hay $a = 0$. Trong các mạch dao động RLC thì chính phần tử R gây nên dao động tắt dần. Với kỹ thuật mạch hồi tiếp dương ta dễ dàng tạo được đáp ứng có phương trình đặc trưng cho nghiệm thuần ảo ($\alpha = 0$). Mạch dao động hồi tiếp có sơ đồ khối như hình 7(a).

Trong đó v_i là nguồn tín hiệu bên ngoài, $A(s)$ là hệ số khuếch đại vòng hở, $B(s)$ là hệ số khuếch đại hồi tiếp, $A(s)$ và $B(s)$ nói chung phụ thuộc vào tần số. Ta có các mối quan hệ:

$$v_e = v_i + v_f = v_i + B(s)v_o \quad (38)$$

$$v_o = A(s)v_i \quad (39)$$

Hệ số khuếch đại vòng kín $T(s)$ được tính như sau:

$$T(s) = \frac{v_o}{v_i} = \frac{A(s)}{1 - A(s)B(s)} \quad (40)$$

Phương trình đặc trưng của mạch:

$$1 - A(s)B(s) = 0 \quad (41)$$

Phương trình (41) cho thấy mẫu số của $T(s)$ bằng không sẽ làm cho $T(s)$ lớn vô cùng. Điều này không có nghĩa là với tín hiệu vào v_i hữu hạn ta có tín hiệu ra v_o có giá trị lớn vô cùng, mà nó nói lên rằng với tín hiệu vào v_i vô cùng nhỏ (tương đương 0) thì v_o có giá trị hữu hạn.

Trong các mạch thực tế, ngõ vào luôn tồn tại nhiễu với phổ tần số liên tục (nhiều nhiệt hay nhiễu do nguồn cung cấp ...). Ở một tần số nào đó của nhiễu sẽ làm cho (41) xảy ra và nhiễu ở tần số này được khuếch đại lên với hệ số vô cùng lớn làm xuất hiện tín hiệu ngõ ra. Như vậy khi không cần tín hiệu ngõ vào ta cũng có tín hiệu ngõ ra với tần số bằng tần số làm cho $A(s)B(s) = +1 \angle 0^\circ$. Đây chính là sự tự kích hay sự tự dao động của mạch. Trong các mạch khuếch đại có hồi tiếp người ta cố gắng tránh hiện tượng này. Còn trong các mạch tạo sóng người ta lợi dụng nó với (41) là điều kiện để mạch dao động.

Về mặt toán học phương trình (41) có nghiệm thuần ảo $\pm j\omega_0$ sẽ làm cho mạch dao động điều hòa với tần số ω_0 .

b. Mạch dao động cầu Wein (Wein Bridge)

Hình 7(b) trình bày sơ đồ nguyên lý của mạch dao động cầu Wein, trong đó $R_1 = R_2 = R$, $C_1 = C_2 = C$.

Hệ số khuếch đại vòng hở của mạch :

$$A(s) = \frac{V_o}{V_f} = 1 + \frac{R_3}{R_4} = K \quad (42)$$

Hệ số khuếch đại hồi tiếp của mạch :

$$B(s) = \frac{V_f}{V_o} = \frac{Z_p}{Z_p + Z_s} \quad (43)$$

Với Z_p là tổng trở của nhánh RC song song, Z_s là tổng trở của nhánh RC nối tiếp. Kết quả ta có :

$$A(s)B(s) = \frac{(K/RC)s}{s^2 + (3/RC)s + 1/R^2C^2} \quad (44)$$

Phương trình đặc trưng của mạch :

$$1 - A(s)B(s) = 0 \Leftrightarrow 1 - \frac{(K/RC)s}{s^2 + (3/RC)s + 1/R^2C^2} = 0 \quad (45)$$

Rút gọn (45), ta được phương trình đặc trưng:

$$s^2 + (3 - K)\frac{s}{RC} + \frac{1}{R^2C^2} = 0 \quad (46)$$

So sánh với (36) ta có điều kiện dao động sin của mạch :

$$a = (3 - K)\frac{1}{RC} = 0 \Leftrightarrow K = 3 \quad (47)$$

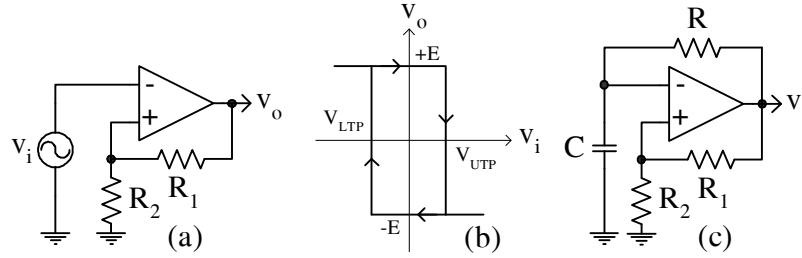
Lúc đó :

$$\omega_0^2 = \frac{1}{R^2C^2} \Rightarrow \omega_0 = \frac{1}{RC} \Rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad (48)$$

$$1 + \frac{R_3}{R_4} = 3 \Rightarrow R_3 = 2R_4 \quad (49)$$

Vậy khi (49) xảy ra thì mạch sẽ dao động sin với tần số f_0 .

2. Mạch tạo tín hiệu sóng vuông



**Hình 8. Mạch tạo sóng vuông, (a) Mạch Trigger Schmitt
(b) Đặc tuyến truyền đạt, (c) Mạch dao động tạo xung vuông**

Để tạo tín hiệu sóng vuông người ta có thể dùng transistor BJT hoặc FET (chế độ khuếch đại và bão hòa) hoặc dùng mạch Trigger Schmitt. Trong bài thí nghiệm này ta xét mạch Trigger Schmitt dựa trên Op-amp trên hình 8(a). Đây là loại mạch có hai trạng thái bền phân biệt, được sử dụng rộng rãi để biến đổi tín hiệu tuần hoàn dạng bất kỳ thành dãy xung vuông có cùng tần số. Hai trạng thái bền tương ứng với mức bão hòa dương $+E$ và bão hòa âm $-E$. Đặc tuyến truyền đạt của mạch Trigger Schmitt trên hình 8(b) có dạng từ trễ vuông góc với hai mức ngưỡng điện áp tác động để chuyển đổi trạng thái của mạch : V_{LTP} (LTP : Lower Trip Point) và V_{UTP} (UTP : Upper Trip Point). Tín hiệu vào v_i được đưa tới ngõ đảo, còn trên ngõ vào không đảo là tín hiệu hồi tiếp dương. Như vậy ứng với hai trạng thái của mạch, trên ngõ vào thuận có hai mức ngưỡng điện áp so sánh :

$$V_{UTP} = E \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{và} \quad V_{LTP} = -E \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (50)$$

Khi v_i là một giá trị âm lớn thì $v_o = +E$ và ngõ vào thuận có $v_+ = V_{LTP}$. Nếu tăng theo chiều dương sao cho $v_i < V_{LTP}$, trạng thái mạch vẫn không đổi. Tuy nhiên nếu $v_i \geq V_{LTP}$ thì điện áp ra của Op-amp đổi dấu : $v_o = -E$ và ngõ vào thuận có điện thế V_{UTP} . Tiếp tục tăng v_i hơn nữa mạch cũng không thay đổi trạng thái. Ngược lại, nếu giảm v_i thì mạch chỉ thay đổi trạng thái khi $v_i < V_{UTP}$, lúc đó $v_o = +E$ và trên ngõ thuận lại có $v_+ = V_{LTP}$. Như vậy để tạo ra sóng vuông, ngõ đảo người ta đưa vào tín hiệu sin có đỉnh dương lớn hơn V_{UTP} và đỉnh âm nhỏ hơn V_{LTP} . Có thể thay tín hiệu sin bằng tín hiệu điều hòa bất kỳ, có biên độ phù hợp với các điện áp ngưỡng.

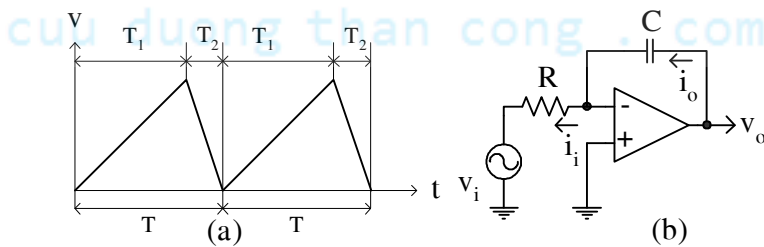
Ứng dụng mạch Trigger Schmitt để tạo sóng vuông mà không cần tín hiệu vào vi, người ta có thể dùng mạch dao động RC đơn giản như hình 8(c).

Giả sử khi mới cấp nguồn, điện áp trên tụ bằng 0, điện áp ngõ vào cộng có một giá trị nào đó giả sử là dương. Do mạch có hệ số khuếch đại vi sai ($v_+ - v_-$) rất lớn nên ngõ ra bị bão hòa dương $+E$, ngõ vào cộng lúc này có giá trị V_{UTP} , tụ C được nạp từ v_o thông qua R. Khi điện áp trên tụ chưa lớn hơn V_{UTP} thì ngõ ra vẫn còn bão hòa dương, khi điện áp trên tụ vượt V_{UTP} , lập tức ngõ ra của mạch chuyển trạng thái sang bão hòa âm $-E$. Ngõ vào cộng có giá trị là V_{LTP} , tụ C xả điện qua R xuống v_o . Khi điện áp trên tụ chưa nhỏ hơn V_{LTP} thì mạch vẫn còn bão hòa âm. Khi điện áp trên tụ nhỏ hơn V_{LTP} , lập tức ngõ ra của mạch chuyển trạng thái sang bão hòa dương $+E$. Quá trình này lặp đi lặp lại tạo thành chuỗi xung vuông ở ngõ ra.

Căn cứ vào quá trình nạp xả của tụ ta tính được tần số f_0 của chuỗi xung ngõ ra :

$$f_0 = \frac{1}{2RC \ln \left(\frac{R_1 + 2R_2}{R_1} \right)} \quad (51)$$

c. Mạch tạo tín hiệu sóng răng cưa



Hình 9. Mạch tạo sóng răng cưa
(a) Dạng sóng răng cưa, (b) Mạch tích phân

Tín hiệu răng cưa được ứng dụng nhiều trong điện tử, ví dụ làm tín hiệu quét ngang trong dao động ký, trong mạch phân tích 2 độ dốc của volt kế số. Hình 9(a) trình bày tín hiệu răng cưa với các thông số cơ bản :

T_1 : Thời gian lên (còn gọi là thời gian quét).

T_2 : Thời gian xuống (còn gọi là thời gian phục hồi).

T : Chu kỳ tín hiệu.

Các mạch tạo tín hiệu răng cưa phải đảm bảo sao cho T_1 lớn hơn rất nhiều T_2 . Nói chung tín hiệu răng cưa được tạo ra dựa trên quá trình nạp và phóng điện của tụ trong mạch RC.

Hình 9(b) trình bày mạch tạo tín hiệu xung răng cưa dựa trên Op-amp (còn gọi là mạch tích phân).

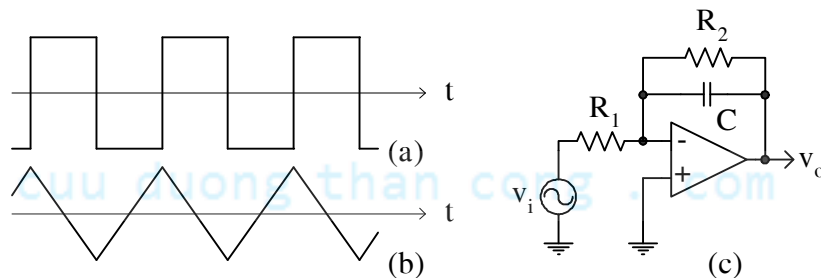
Nếu v_i là điện áp DC, vì không có dòng đi vào ngõ đảo (do tổng trở vào của Op-amp rất lớn), toàn bộ dòng vào sẽ đi qua tụ :

$$i_i = i_o = -\frac{v_i}{R} = \text{Const} \quad (52)$$

Mặt khác vì $v_- = v_+ = 0$ nên $v_o = v_C$, với :

$$v_C = \frac{1}{C} \int i_o dt \quad (53)$$

Vì dòng nạp (i_o) không đổi nên điện tích Q tích trên tụ thay đổi tuyến tính theo thời gian, hay điện áp ra thay đổi tuyến tính theo thời gian.



Hình 10. (a) Dạng tín hiệu vào xung vuông, (b) Dạng tín hiệu ra (c) Mạch tích phân trên thực tế

Khi tín hiệu sóng vuông trên hình 10(a) được đưa vào mạch tích phân trên hình 9(b), tín hiệu ra sẽ có dạng sóng tam giác như hình 10(b) với biên độ được xác định bởi :

$$V_{o(p-p)} = \frac{V_{i(p-p)}}{4fRC} \quad (54)$$

Trong thực tế mạch tích phân được điều chỉnh như hình 10(c). Điện trở R_2 được thêm vào nhằm tránh ngõ ra Op-amp bị bão hòa do xuất hiện điện áp trôi điểm 0 (điện áp DC) ở ngõ vào. R_2 được chọn có chỉ số lớn gấp $5 \div 10$ lần R_1 . R_2 hầu như không ảnh hưởng đến tín hiệu ngõ ra nếu tần số tín hiệu vào lớn hơn rất nhiều trị số :

$$f = \frac{1}{2\pi R_2 C} \quad (55)$$

D. YÊU CẦU TRƯỚC KHI VÀO THÍ NGHIỆM

Chú ý: Sinh viên phải thực hiện phần này trên giấy để giáo viên hướng dẫn kiểm tra trước khi vào thí nghiệm. Không thực hiện phần này, sinh viên sẽ không được vào làm thí nghiệm. Khi chọn giá trị điện trở sinh viên cần lựa chọn giá trị trên thực tế gần với tính toán nhất theo bảng cho ở phần phụ lục.

I. Mạch lọc thông thấp

1. Mạch lọc thông thấp bậc 1 như sơ đồ hình 2(a) có $C = 47\text{nF}$, hãy tìm R_1 và R_2 để đáp ứng của mạch có độ lợi 4, tần số cắt 1.82kHz , độ dốc của đáp ứng là bao nhiêu. Tính lại H_0 , f_C ghi vào bảng 1.
2. Mạch lọc thông thấp bậc 2 Butterworth như hình 2(b) có $C_1 = C_2 = C = 10\text{nF}$, $R_3 = 10\text{K}\Omega$, hãy tìm R_1 , R_2 , R_4 để mạch có độ lợi bằng 4, tần số cắt 1.82kHz . Độ dốc của đáp ứng là bao nhiêu. Tính lại H_0 , f_C ghi vào bảng 2.
3. So sánh độ dốc của hai mạch lọc vừa thiết kế.
4. Bằng chương trình mô phỏng mạch Pspice, hãy mô phỏng các mạch vừa thiết kế ở phần 1 và 2, xác định độ lợi, tần số cắt, so sánh độ dốc của hai mạch với nhau. Ghi các giá trị vào bảng 1 và 2.

II. Mạch lọc thông cao

1. Mạch lọc thông cao bậc 1 như sơ đồ hình 4(a) có $C = 33\text{nF}$, hãy tìm R_1 và R_2 để đáp ứng của mạch có độ lợi 4, tần số cắt 1kHz , độ dốc của đáp ứng là bao nhiêu. Tính lại H_0 , f_C ghi vào bảng 3.
2. Mạch lọc thông cao bậc 2 Butterworth như hình 4(b) có $C_1 = C_2 = C = 100\text{nF}$, $R_3 = 10\text{K}\Omega$, hãy tìm R_1 , R_2 , R_4 để mạch có độ lợi bằng 4, tần số cắt 1kHz . Độ dốc của đáp ứng là bao nhiêu. Tính lại H_0 , f_C ghi vào bảng 4.
3. So sánh độ dốc của hai mạch lọc vừa thiết kế.
4. Bằng chương trình mô phỏng mạch Pspice, hãy mô phỏng các mạch vừa thiết kế ở phần 1 và 2, xác định độ lợi, tần số cắt, so sánh độ dốc của hai mạch với nhau. Ghi các giá trị vào bảng 3 và 4.

III. Mạch lọc thông dải

1. Với mạch lọc thông dải trên hình 6, hãy lựa chọn các linh kiện sao cho đáp ứng theo tần số của mạch có tần số trung tâm 1.6kHz, băng thông 1.6KHz. Tính lại f_0 ghi vào bảng 5. Nếu sai số của điện trở là 20%, hãy xác định sai số của f_0 .
2. Tính hệ số phẩm chất và độ lợi cực đại của mạch với các thông số cho ở 1. Ghi các giá trị vào bảng 5.
3. Bằng chương trình mô phỏng mạch Pspice, hãy mô phỏng các mạch vừa thiết kế ở phần 1, xác định độ lợi, tần số trung tâm, băng thông, hệ số phẩm chất của mạch. Ghi các giá trị vào bảng 5.

IV. Mạch dao động cầu Wein

Với mạch trên hình 7(b), khi $R_1 = R_2 = R$, $C_1 = C_2 = C = 10\text{nF}$, hãy xác định giá trị của C để tần số dao động là 1.59kHz. Với C vừa tìm được tính lại f_0 , ghi vào bảng 6.

Nếu sai số của R là 20%, hãy xác định sai số của tần số dao động của tín hiệu ngõ ra.

V. Mạch tạo tín hiệu sóng vuông

1. Với mạch trên hình 8(a), $R_2 = 10\text{K}\Omega$, $E = 15\text{V}$, hãy xác định R_1 để :

- a. Điện áp ngưỡng là $\pm 7.5\text{V}$
- b. Điện áp ngưỡng là $\pm 1.36\text{V}$
- c. Điện áp ngưỡng là $\pm 0.65\text{V}$

Với các giá trị R_1 vừa tìm được, tính lại điện áp ngưỡng (V_{LTP} và V_{UTP}), ghi vào bảng 7 và 8.

2. Mạch trên hình 8(c) với $R_1 = R_2 = 10\text{K}\Omega$, $C = 22\text{nF}$, hãy xác định R để mạch tạo chuỗi xung vuông ngõ ra có tần số 2kHz.

VI. Mạch tạo tín hiệu sóng tam giác

Tín hiệu sóng vuông ở ngõ ra của mạch trên hình 8(c), với thông số R , R_1 , R_2 , C tính được ở phần trước, được đưa vào ngõ vào của mạch tích phân trên hình 10(c). Hãy cho biết dạng tín hiệu ngõ ra, tần số, biên độ bằng bao nhiêu khi các thông số mạch trên hình 10(c) là:

- 1 $R_1 = 10\text{K}\Omega$, $R_2 = 100\text{K}\Omega$, $C = 33\text{nF}$.

$$2. R_1 = 20K\Omega, R_2 = 100K\Omega, C = 33nF.$$

$$3. R_1 = 40K\Omega, R_2 = 100K\Omega, C = 33nF.$$

Ghi các giá trị vừa tính được vào bảng 8.

E. TRÌNH TỰ THÍ NGHIỆM

I. Mạch lọc thông thấp

1. Mạch lọc thông thấp bậc 1

a. Thực hiện mạch trên hình 2(a) với các thông số như phần yêu cầu trước khi vào làm thí nghiệm. Cấp nguồn cho mạch (nguồn đôi $\pm 15V$), nối máy phát sóng vào ngõ vào v_i của mạch. Máy phát sóng chỉnh sóng sin biên độ 1V, tần số 10kHz, dùng dao động ký để ở AC quan sát đồng thời tín vào v_i và tín hiệu ra v_o . Giảm dần tần số của máy phát sóng (chú ý giữ nguyên biên độ) quan sát sự biến thiên của biên độ tín hiệu ra. Khi biên độ tín hiệu ra cực đại, ghi nhận giá trị này ghi vào bảng 1, tìm H_0 . So sánh kết quả thu được với yêu tính toán và mô phỏng.

Bảng 1. Bảng đo, tính toán, mô phỏng thông số của mạch LPF bậc 1

| Thông số | Đo | Tính | Mô phỏng |
|------------|----|------|----------|
| H_0 | | | |
| $f_c(kHz)$ | | | |
| rolloff | | | |

b. Dùng dao động ký hãy xác định tần số cắt của mạch. Ghi nhận giá trị vào bảng 1, so sánh với tính toán và mô phỏng.

c. Xác định độ dốc rolloff của hàm truyền, ghi vào bảng 1.

d. Hãy lập bảng đo trị hiệu dụng AC của tín hiệu ra khi tín hiệu vào có biên độ không đổi 1V, tần số bằng 10, 30, 100, 300, 500, 1k, 1.4k, 1.8k, 2.2k, 2.6k, 3k, 5k, 10k. Vẽ đáp ứng của ngõ ra v_o theo tần số f .

2. Mạch lọc thông thấp bậc 2 Butterworth

a. Thực hiện mạch trên hình 2(b) với các thông số như phần yêu cầu trước khi vào làm thí nghiệm. Cấp nguồn cho mạch (nguồn đôi $\pm 15V$), nối máy phát sóng vào ngõ vào v_i của mạch. Máy phát sóng chỉnh sóng sin

biên độ 1V, tần số 10kHz, dùng dao động ký để ở AC quan sát đồng thời tín vào v_i và tín hiệu ra v_o . Giảm dần tần số của máy phát sóng (chú ý giữ nguyên biên độ) quan sát sự biến thiên của biên độ tín hiệu ra. Khi biên độ tín hiệu ra cực đại, ghi nhận giá trị này ghi vào bảng 2, tìm H_0 . So sánh kết quả thu được với yêu tính toán và mô phỏng.

b. Dùng dao động ký hãy xác định tần số cắt của mạch. Ghi nhận giá trị vào bảng 2, so sánh với tính toán và mô phỏng.

Bảng 2. Bảng đo, tính toán, mô phỏng thông số của mạch LPF bậc 2

| Thông số | Đo | Tính | Mô phỏng |
|-------------------|----|------|----------|
| H_0 | | | |
| $f_c(\text{kHz})$ | | | |
| rolloff | | | |

c. Xác định độ dốc rolloff của hàm truyền, ghi vào bảng 2.

d. Dùng máy đo Fluke 45 hãy lập bảng đo trị hiệu dụng AC của tín hiệu ra khi tín hiệu vào có biên độ không đổi 1V, tần số bằng 10, 30, 100, 300, 500, 1k, 1.4k, 1.8k, 2.2k, 2.6k, 3k, 5k, 10k. Vẽ đáp ứng của ngõ ra v_o theo tần số f .

II. Mạch lọc thông cao

1. Mạch lọc thông cao bậc 1

a. Thực hiện mạch trên hình 4(a) với các thông số như phần yêu cầu trước khi vào làm thí nghiệm. Cấp nguồn cho mạch (nguồn đôi $\pm 15\text{V}$), nối máy phát sóng vào ngõ vào v_i của mạch. Máy phát sóng chỉnh sóng sin biên độ 1V, tần số 100Hz, dùng dao động ký để ở AC quan sát đồng thời tín vào v_i và tín hiệu ra v_o . Tăng dần tần số của máy phát sóng (chú ý giữ nguyên biên độ) quan sát sự biến thiên của biên độ tín hiệu ra. Khi biên độ tín hiệu ra cực đại, ghi nhận giá trị này ghi vào bảng 3, tìm H_0 . So sánh kết quả thu được với yêu tính toán và mô phỏng.

b. Dùng dao động ký hãy xác định tần số cắt của mạch. Ghi nhận giá trị vào bảng 3, so sánh với tính toán và mô phỏng.

Bảng 3. Bảng đo, tính toán, mô phỏng thông số của mạch HPF bậc 1

| Thông số | Đo | Tính | Mô phỏng |
|-------------------|----|------|----------|
| H_0 | | | |
| $f_c(\text{kHz})$ | | | |
| rolloff | | | |

- c. Xác định độ dốc rolloff của hàm truyền, ghi vào bảng 3.
- d. Dùng máy đo Fluke 45, hãy lập bảng đo trị hiệu dụng AC của tín hiệu ra khi tín hiệu vào có biên độ không đổi 1V, tần số bằng 100, 300, 500, 700, 1k, 1.2k, 1.5k, 2k, 4k, 6k, 10k, 20k, 30k. Vẽ đáp ứng của ngõ ra v_o theo tần số f .

2. Mạch lọc thông thấp bậc 2 Butterworth

- a. Thực hiện mạch trên hình 4(b) với các thông số như phần yêu cầu trước khi vào làm thí nghiệm. Cấp nguồn cho mạch (nguồn đôi $\pm 15\text{V}$), nối máy phát sóng vào ngõ vào v_i của mạch. Máy phát sóng chỉnh sóng sin biên độ 1V, tần số 100Hz, dùng dao động ký để ở AC quan sát đồng thời tín vào v_i và tín hiệu ra v_o . Tăng dần tần số của máy phát sóng (chú ý giữ nguyên biên độ) quan sát sự biến thiên của biên độ tín hiệu ra. Khi biên độ tín hiệu ra cực đại, ghi nhận giá trị này ghi vào bảng 4, tìm H_0 . So sánh kết quả thu được với yêu tính toán và mô phỏng.
- b. Dùng dao động ký hãy xác định tần số cắt của mạch. Ghi nhận giá trị vào bảng 4, so sánh với tính toán và mô phỏng.

Bảng 4. Bảng đo, tính toán, mô phỏng thông số của mạch HPF bậc 2

| Thông số | Đo | Tính | Mô phỏng |
|-------------------|----|------|----------|
| H_0 | | | |
| $f_c(\text{kHz})$ | | | |
| rolloff | | | |

- c. Xác định độ dốc rolloff của hàm truyền, ghi vào bảng 4.
- d. Dùng máy đo Fluke 45, hãy lập bảng đo trị hiệu dụng AC của tín hiệu ra khi tín hiệu vào có biên độ không đổi 1V, tần số bằng 100, 300, 500, 700, 1k, 1.2k, 1.5k, 2k, 4k, 6k, 10k, 20k, 30k. Vẽ đáp ứng của ngõ ra v_o theo tần số f .

III. Mạch lọc thông dải

- Thực hiện mạch trên hình 6 với các thông số như phần yêu cầu trước khi vào làm thí nghiệm. Cấp nguồn cho mạch (nguồn đôi $\pm 15V$), nối máy phát sóng vào ngõ vào v_i của mạch. Máy phát sóng chỉnh sóng sin biên độ 1V, tần số 50Hz, dùng dao động ký để ở AC quan sát đồng thời tín vào v_i và tín hiệu ra v_o . Tăng dần tần số của máy phát sóng (chú ý giữ nguyên biên độ) quan sát sự biến thiên của biên độ tín hiệu ra. Khi biên độ tín hiệu ra cực đại, ghi nhận giá trị này ghi vào bảng 5, ghi nhận tần số trung tâm f_0 , tìm H_0 . So sánh kết quả thu được với yêu tính toán và mô phỏng.
- Dùng dao động ký hãy xác định băng thông BW và hệ số phẩm chất Q của mạch. Ghi các giá trị thu được vào bảng 5, so sánh chúng với tính toán và mô phỏng.

Bảng 5. Bảng đo, tính toán, mô phỏng thông số của mạch BPF

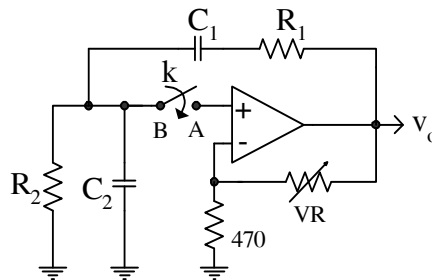
| Thông số | Đo | Tính | Mô phỏng |
|-------------------|----|------|----------|
| H_0 | | | |
| $f_0(\text{kHz})$ | | | |
| BW(Hz) | | | |
| Q | | | |

- Dùng máy đo Fluke 45, hãy lập bảng đo trị hiệu dụng AC của tín hiệu ra khi tín hiệu vào có biên độ không đổi 1V, tần số bằng 100, 200, 300, 500, 700, 1k, 1.2k, 1.3k, 1.4k, 1.5k, 1.6k, 1.7k, 1.8k, 2k, 2.2k, 2.4k, 3k, 4k, 5k, 6k. Vẽ đáp ứng của ngõ ra v_o theo tần số f .

IV. Mạch dao động cầu Wein:

1. Khảo sát mạch vòng hở

Thực hiện mạch trên hình 11, với các thông số cho và tính ở phần yêu cầu trước khi vào thí nghiệm, khi khóa k hở. Dùng máy phát sóng (chỉnh biên độ 1V, tần số 1kHz) cấp tín hiệu v_i vào A. Dùng dao động ký để ở AC đo đồng thời v_A và v_o , điều chỉnh biến trở VR sao cho độ hệ số khuếch đại vòng hở bằng 3.



Hình 11. Mạch thí nghiệm dao động cầu Wein

Giữ nguyên biên độ máy phát sóng, dùng dao động ký đo đồng thời v_A và v_B . Thay đổi tần số của máy phát sóng đến khi v_A bằng v_B , ghi nhận lại giá trị tần số này (ký hiệu là f_0) ghi vào bảng 6. Nó chính là tần số mà tại đó theo lý thuyết mạch có thể dao động điều hòa.

Bảng 6. Bảng tính toán đo đặc các thông số của mạch cầu Wein

| Thông số | Tính toán | Đo vòng hở | Đo vòng kín |
|-------------------|-----------|------------|-------------|
| $f_0(\text{kHz})$ | | | |

2. Khảo sát mạch vòng kín không tải

Thực hiện mạch trên hình 11, với các thông số cho và tính ở phần yêu cầu trước khi vào thí nghiệm, khi khóa k đóng (chú ý biến trở VR ở phần trước giữ nguyên không đổi và không cấp tín hiệu vào). Dùng dao động ký để ở AC quan sát tín hiệu ra v_o , cho biết dạng của tín hiệu v_o . Nếu v_o chưa phải hình sin, điều chỉnh biến trở VR để có tín hiệu sin ở ngõ ra.

Dùng dao động ký để ở AC vẽ lại dạng tín hiệu của v_o , điện áp chân cộng (v_+), điện áp chân trừ (v_-) của Op-amp trên cùng một hệ trục theo thời gian.

Dùng máy đo Fluke 45 nhấn phím FREQ để đo tần số của tín hiệu ra. Ghi giá trị vào bảng 6. So sánh nó với tần số tính toán và khi đo ở mạch vòng hở.

3. Khảo sát mạch vòng kín có tải

Với mạch ở phần không tải, điều chỉnh VR để có tín hiệu sin ở ngõ ra, nối tải VR_L vào ngõ ra của mạch. Điều chỉnh VR_L , nhận xét sự thay đổi của tín hiệu ngõ ra.

V. Mạch tạo tín hiệu sóng vuông

1. Khảo sát mạch Trigger Schmitt

- Thực hiện mạch trên hình 8(a), với $R_2 = 10K\Omega$, $R_1 = 68 K\Omega$. Dùng máy phát sóng (chỉnh sóng sin, tần số 500Hz, biên độ chỉnh về nhỏ nhất) cấp tín hiệu vào cho mạch. Dùng dao động ký để ở DC, quan sát đồng thời tín hiệu v_i và v_o .
- Tăng dần biên độ của máy phát sóng cho đến khi thấy tín hiệu ra có dạng xung vuông, dùng máy đo Fluke 45 nhấn phím FREQ đo tần số của tín hiệu vào và ra, ghi vào bảng 7.
- Dao động ký chuyển sang chế độ XY để vẽ đặc tuyến truyền đạt của mạch. Vẽ lại đặc tuyến truyền đạt đó vào bảng 7, dựa trên đặc tuyến hãy xác định E , V_{UTP} và V_{LTP} , so sánh với các giá trị tính toán.
- Lần lượt thay R_1 tìm được theo phần yêu cầu trước khi vào thí nghiệm ở các bước 1(a), 1(b), 1(c), lặp lại trình tự từ a đến c.

Bảng 7. Bảng khảo sát mạch Trigger Schmitt với tín hiệu sin (500Hz)

| R_1 | f_i (Hz) | f_o (Hz) | Đặc tuyến | E[V] | | V_{UTP} [V] | | V_{LTP} [V] | |
|--------------|---------------|---------------|--------------|------|----|---------------|----|---------------|----|
| | | | | Tính | Đo | Tính | Đo | Tính | Đo |
| 68K Ω | | | | | | | | | |
| 1(a) | | | | | | | | | |
| 1(b) | | | | | | | | | |
| 1(c) | | | | | | | | | |

e. Thực hiện lại các bước từ a đến d với tín hiệu vào là sóng tam giác. Ghi các giá trị vào bảng 8.

Bảng 8. Bảng khảo sát mạch Trigger Schmitt với tín hiệu tam giác (500Hz)

| R_1 | f_i (Hz) | f_o (Hz) | Đặc tuyến | E[V] | | $V_{UTP}[V]$ | | $V_{LTP}[V]$ | |
|--------------|---------------|---------------|--------------|------|----|--------------|----|--------------|----|
| | | | | Tính | Đo | Tính | Đo | Tính | Đo |
| 68K Ω | | | | | | | | | |
| 1(a) | | | | | | | | | |
| 1(b) | | | | | | | | | |
| 1(c) | | | | | | | | | |

f. So sánh các thông số của hai trường hợp sóng sin và sóng tam giác.

2. Mạch tạo tín hiệu sóng vuông

a. Thực hiện mạch trên hình 8(c) với các thông số cho và tính được ở phần yêu cầu trước khi vào thí nghiệm.

b. Dùng dao động ký để ở DC, đo và vẽ lại dạng sóng của tín hiệu v_o và v_i (điện áp áp trên chân trư của Op-amp). Nhận xét về hai dạng tín hiệu này.

c. Tính toán điện áp ngưỡng của mạch, so sánh nó với biên độ của v_i (giá trị đo được). Ghi các giá trị này vào bảng 9.

c. Dùng máy đo Fluke 45 đo tần số của tín hiệu ra, ghi vào bảng 9. So sánh với yêu cầu thiết kế.

Bảng 9. Bảng khảo sát mạch tạo tín hiệu sóng vuông

| Tần số f_0 (Khz) | | Tính toán | | Đo |
|--------------------|----|--------------|--------------|----------|
| Tính | Đo | $V_{LTP}[V]$ | $V_{UTP}[V]$ | $V_m[V]$ |
| | | | | |

VI. Mạch tạo tín hiệu sóng tam giác

1. Mạch trên hình 8(c), có các thông số cho và tìm được ở phần yêu cầu trước khi vào thí nghiệm của mạch tạo tín hiệu sóng vuông, ngõ ra được nối vào ngõ vào của mạch trên hình 10(c). Dùng dao động ký để ở DC đo và vẽ lại dạng sóng tín hiệu v_i , v_o trên mạch hình 10(c) lần lượt cho các trường hợp (1), (2), (3). Xác định biên độ tín hiệu v_o (V_{om}) ghi vào bảng 10, so sánh với tính toán.
2. Dùng máy đo Fluke 45 đo tần số của tín hiệu v_i , v_o của mạch trên hình 10(c), ghi các giá trị vào bảng 10, rút ra nhận xét.

Bảng 10. Bảng khảo sát mạch tạo tín hiệu sóng tam giác

| Trường hợp | f_i [kHz] | f_o [kHz] | V_{om} [V] | |
|------------|-------------|-------------|--------------|----|
| | | | Tính toán | Đo |
| (1) | | | | |
| (2) | | | | |
| (3) | | | | |

F. BÁO CÁO THÍ NGHIỆM

Nội dung tối thiểu của bài báo cáo thí nghiệm cần phải có là:

1. Các số liệu thiết kế.
2. Các số liệu mô phỏng.
3. Các số liệu chạy thực tế.
4. Các nhận xét, giải thích và so sánh.

Sinh viên có thể trình bày phần mở rộng như : Ứng dụng cụ thể của các mạch vừa thí nghiệm, trình bày các ưu điểm và khuyết điểm của chúng, hướng khắc phục, thay thế bằng các mạch có chức năng tương tự ...

G. GIÁ TRỊ ĐIỆN TRỞ 3 VẠCH MÀU

Hai vạch màu đầu tiên có trên thị trường cho điện trở 3 vạch màu sai số 20% là : 10, 12, 15, 18, 20, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82.