

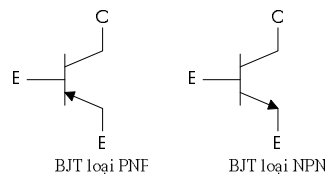
BÀI THÍ NGHIỆM SỐ 2

CÁC DẠNG GHÉP CƠ BẢN CỦA

MẠCH KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ

A. GIỚI THIỆU

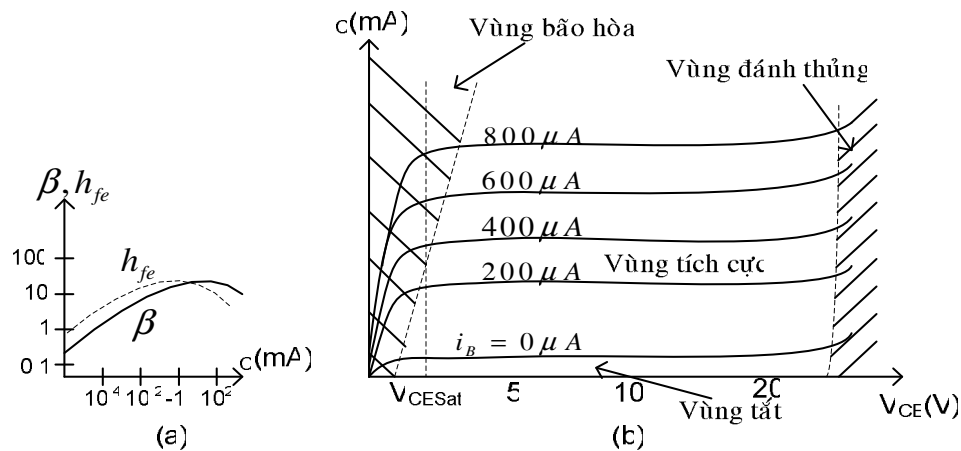
BJT là linh kiện bán dẫn 2 mối nối, có 3 cực là base (B), emitter (E), collector (C). Có 2 loại BJT: pnp và npn. BJT là linh kiện điện tử điều khiển bằng dòng điện, nghĩa là các đặc tính dòng áp ngõ ra collector C được điều khiển bằng dòng ngõ vào cực base B. Hình 1 là ký hiệu và các cực của BJT.



Hình 1. Ký hiệu của 2 loại BJT PNP và NPN

Mỗi loại BJT khi được sản xuất ra đều có kèm theo datasheet cho biết các thông số hoạt động như công suất, đặc tuyến ra, hệ số khuếch đại, đặc tuyến làm việc thay đổi theo nhiệt độ. . . Hình 2 cho ta 2 thông số quan trọng là hệ số khuếch đại và đặc tuyến ra khi được ghép E chung của một BJT npn. Khi sử dụng BJT trong thiết kế các mạch điện tử, cần chú ý tham khảo datasheet để biết được các thông số của BJT; từ đó chọn các BJT sao cho hợp lý.

BJT có 3 chế độ làm việc, đó là tắt, dẫn khuếch đại và dẫn bão hoà tương ứng với các vùng tắt, vùng tuyến tính (hay còn gọi là vùng tích cực) và vùng bão hoà trên đặc tuyến ra. Tùy theo mục đích sử dụng (làm công tắc hay còn gọi là khóa điện tử, làm phần tử khuếch đại . . .) mà BJT được **phân cực** để có thể làm việc xuyên suốt từ vùng tắt đến vùng bão hòa hay chỉ hoạt động trong vùng tuyến tính.



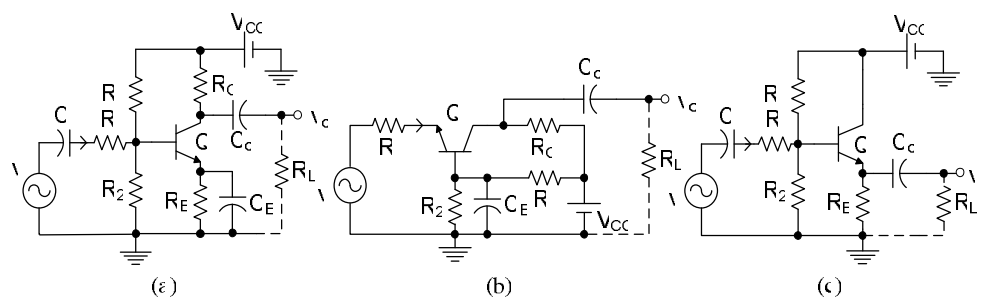
Hình 2. (a) Hệ số khuếch đại (b) Đặc tuyến ra của BJT được ghép E chung

Điểm tĩnh Q: là một điểm trên đồ thị đặc tuyến ra V- I của BJT xác định trạng thái làm việc của BJT trong điều kiện : Mạch có chứa BJT chỉ hoạt động ở chế độ DC, không có các thành phần tín hiệu AC.

Phân cực : Phân cực cho một BJT là thiết lập điểm làm việc tĩnh Q cho BJT bằng các điện áp, dòng điện DC.

Khuếch đại tín hiệu nhỏ : Một mạch khuếch đại dùng BJT được gọi là ở chế độ khuếch đại tín hiệu nhỏ khi BJT được phân cực sao cho điểm tĩnh Q nằm trong vùng tuyến tính và thành phần tín hiệu ngõ ra dao động quanh vị trí của điểm tĩnh Q với biên độ tương đối nhỏ. Thực ra, khái niệm **tín hiệu nhỏ** chỉ mang ý nghĩa tương đối. Nhìn chung, trong thực tế thì một mạch khuếch đại được gọi là hoạt động ở chế độ tín hiệu nhỏ khi điểm tĩnh Q được phân cực trong vùng tuyến tính và thành phần tín hiệu được khuếch đại ở ngõ ra không bị méo dạng so với tín hiệu ngõ vào. Điều này cũng có nghĩa rằng, thành phần tín hiệu ngõ ra nằm hoàn toàn trong vùng tuyến tính trên đặc tuyến ra của BJT.

Có 3 loại mạch khuếch đại dùng BJT là E chung, B chung và C chung. Sơ đồ mạch tiêu biểu của các cách ghép này cho ở hình 3.



Hình 3. Các dạng ghép cơ bản của mạch khuếch đại tín hiệu nhỏ

(a) Ghép E chung (b) Ghép B chung (c) Ghép C chung

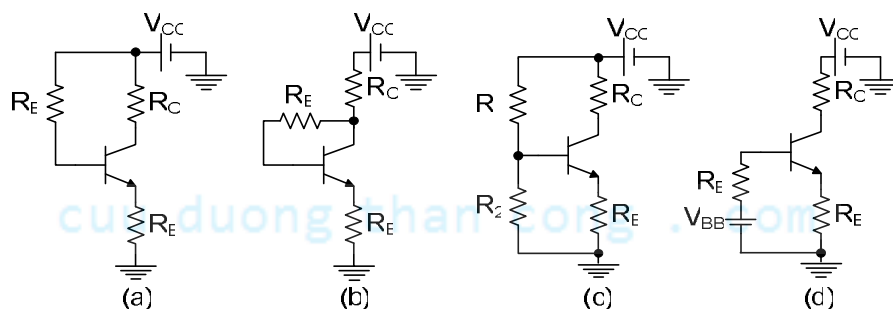
B. MỤC ĐÍCH BÀI THÍ NGHIỆM

- Giúp sinh viên tính toán, thiết kế, phân cực cho các mạch khuếch đại ghép E chung, B chung và C chung.
- Giúp sinh viên đo đạc, khảo sát và đối chiếu với phần lý thuyết các mạch khuếch đại đã được học thông qua các đại lượng đặc trưng của một mạch khuếch đại như độ lợi, trở kháng vào, trở kháng ra, tần số cắt . . .

C. TÓM TẮT LÝ THUYẾT

Khảo sát hoạt động của các mạch khuếch đại dùng BJT, chúng ta sẽ tiến hành khảo sát 2 phần : Trước hết khảo sát việc thiết lập điểm làm việc tĩnh Q, tức phân cực cho BJT; sau đó sẽ khảo sát hoạt động của các mạch khuếch đại khi có tín hiệu vào thông qua các thông số đặc trưng của một mạch khuếch đại như độ lợi, trở kháng vào và ra . . .

I. Phân cực DC



Hình 4. Một số cách phân cực cơ bản

Để một mạch khuếch đại dùng BJT có thể hoạt động được, cần phải phân cực cho nó. Phân cực được gọi là tốt khi nó làm cho mạch khuếch đại làm việc ổn định (điểm làm việc tĩnh ít thay đổi), đồng thời việc phân cực cũng đòi hỏi một số yêu cầu khác, tùy thuộc yêu cầu thiết kế, chẳng hạn phân cực sao cho dòng tín hiệu ngõ ra maxswing . . . Các ví dụ trong phần này áp dụng cho trường hợp mạch khuếch đại ghép E chung; tuy vậy, việc phân cực cho các mạch ghép B chung và C chung là hoàn toàn tương tự.

Hình 4 cho ta 3 cách phân cực cho BJT. Kiểu phân cực hình 4a đơn giản, tuy nhiên độ ổn định phân cực kém, do đó thường hay sử dụng các kiểu phân cực hình 4b hay 4c. Kiểu phân cực hình 4c là kiểu phân cực tiêu biểu, thường rất hay được sử dụng, nhất là trong các mạch tiền khuếch đại của các ampli. Mạch tương đương của nó được cho ở hình 4d. Các công thức thường dùng tính toán phân cực trong mạch này là:

$$V_{BB} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{CC} \quad (1)$$

$$R_B = R_1 // R_2 \quad (2)$$

$$R_2 = \frac{R_B}{1 - V_{BB}/V_{CC}} \quad (3)$$

$$R_1 = R_B (V_{CC}/V_{BB}) \quad (4)$$

$$I_{EQ} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E + (1 - \alpha) R_B} \quad (5)$$

trong đó, $\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$; β là hệ số khuếch đại dòng tín hiệu nhỏ, $V_{BE} \approx 0.7V$

đối với BJT loại Si. Thường thì $R_E \gg (1 - \alpha) R_B$ để loại bỏ sự thay đổi của

I_E khi nhiệt độ thay đổi. Trong thiết kế thường chọn $R_B = \frac{1}{10} R_E (1 + \beta)$.

Từ đó, có thể viết lại (5):

$$I_{EQ} \approx \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E} \quad (6)$$

và

$$V_{CEQ} = V_{CC} - (V_{BB} - V_{BE})(1 + R_C/R_E) \quad (7)$$

Kết hợp (6) và (7) ta có thể viết

$$I_{CQ} \approx I_{EQ} = -\frac{1}{R_C + R_E}(V_{CC} - V_{CEQ}) \quad (8)$$

(8) được gọi là phương trình đường tải DC (DCLL).

Ví dụ: Thiết kế phân cực cho một mạch khuếch đại ghép E chung. Cho nguồn cung cấp là 15V, $R_C = 1k\Omega$, $\beta = 110$. Hãy phân cực sao cho điện áp tại cực B của BJT xấp xỉ 3.5V, dòng tĩnh $I_{EQ} = 5mA$.

Trước hết, ta tính được điện áp tại cực E của BJT, từ đó suy ra điện trở R_E

$$R_E = \frac{V_B - V_{BE}}{I_{EQ}} = \frac{(3.5 - 0.7)}{0.005} = 560\Omega. \text{ Chọn điện trở } 560\Omega.$$

Phân cực cho cực B tức là tìm 2 điện trở R_1 và R_2 . Từ các biểu thức (1) và

(2) và sử dụng $V_{BB} \approx V_B$, $R_B = \frac{1}{10}R_E(1 + \beta)$ có thể tính được R_1 và R_2 .

$$R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1}{10}R_E(1 + \beta) = 11.1 \times 560 = 6.22k\Omega$$

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{V_{BB}}{V_{CC}} = 0.2333$$

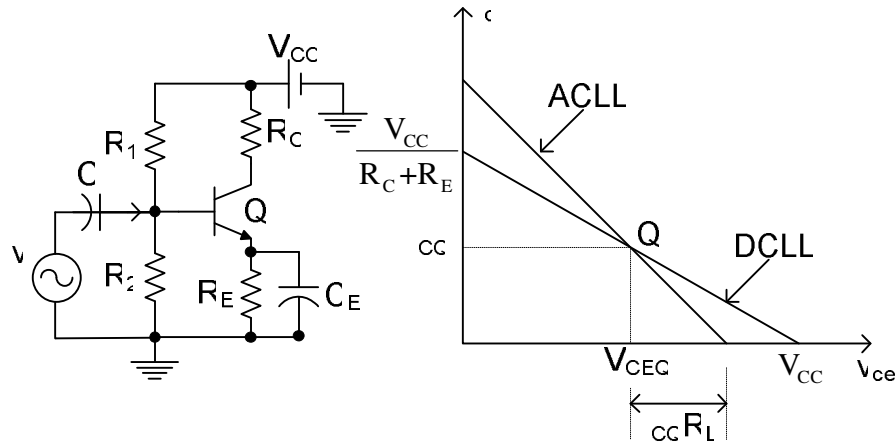
$\Rightarrow R_1 = 26.66k\Omega$. Chọn điện trở $27k\Omega$.

$\Rightarrow R_2 = 8.217k\Omega$. Chọn điện trở $8.2k\Omega$.

(SV có thể sử dụng định luật Kirchhoff để tính toán phân cực một cách chính xác hơn).

Trong thực tế, khi thiết kế phân cực, nếu không có đòi hỏi gì về tải (nghĩa là tải ra R_L không cố định), người ta thường thiết kế sao cho điện áp tại cực C của BJT xấp xỉ $V_{CC}/2$. Điện áp V_{CC} là tùy chọn dựa trên datasheet của BJT; β được lấy dựa trên datasheet và dòng tĩnh I_{EQ} ; dòng tĩnh I_{EQ} lại phụ thuộc độ lợi của mạch khuếch đại. Độ lợi này là tùy chọn, thông thường trong các mạch tiền khuếch đại trong ampli độ lợi này không quá lớn, do đó dòng tĩnh thường được chọn chỉ vào khoảng 0.5 đến 1.5mA.

Một trường hợp khác thường gặp trong tính toán phân cực là thiết kế phân cực sao cho dòng ngõ ra là maxswing. Để thiết kế phân cực sao cho dòng ra maxswing thì điện trở tải R_L phải hoàn toàn xác định. Điểm tĩnh Q sẽ được xác định từ giao điểm của đường tải DC (DCLL) và đường tải AC (ACLL). Ở đây chỉ đưa ra một trường hợp cụ thể như mạch hình 5, lúc này có thể xem R_C là điện trở tải. Các trường hợp khác SV có thể tham khảo thêm giáo trình mạch điện tử 1.



Hình 5. (a) Mạch ghép E chung (b) Các phương trình đường tải

Tổng quát, điểm tĩnh Q vẫn được tính từ các công thức từ (1) đến (8), lúc này tụ C_E hở mạch do mạch ở chế độ DC. Bây giờ ta giải tích mạch tìm vị trí của Q sao cho dòng ra là maxswing. Ở chế độ AC, giả sử không xét đến hiệu ứng tần số (Việc ảnh hưởng của tần số tín hiệu đến mạch khuếch đại sẽ được xét đến sau) khi đó tụ C_E xem như tiến tới vô cùng, làm ngắn mạch R_E , vì vậy ở chế độ AC có thể viết :

$$i_c + \frac{v_{ce}}{R_C} = 0 \quad (9)$$

(9) được gọi là phương trình đường tải AC (ACLL). Ta có:

$$i_C = i_c + I_{CQ}, v_{CE} = v_{ce} + V_{CEQ} \quad (10)$$

Trong đó : i_C : Dòng điện tổng cộng chảy qua collector của BJT.

i_c : Dòng điện AC chảy qua collector của BJT.

I_{CQ} : Dòng điện DC chảy qua collector của BJT.

v_{CE} : Điện áp tổng cộng giữa 2 cực C,E của BJT.

v_{ce} : Dòng điện AC giữa 2 cực C,E của BJT.

V_{CEQ} : Dòng điện DC giữa 2 cực C,E của BJT.

Từ đó, (9) được viết lại :

$$i_C - I_{CQ} = -\frac{1}{R_C}(v_{CE} - V_{CEQ}) \quad (11)$$

$$\Rightarrow i_{Cmax} = I_{CQ} + \frac{V_{CEQ}}{R_C} \text{ khi } v_{CE} = 0 \quad (12)$$

Để maxswing đối xứng :

$$i_{Cmax} = 2 \cdot I_{CQ} \quad (13)$$

Thay vào (11)

$$2I_{CQ} = I_{CQ} + \frac{V_{CEQ}}{R_C} \Rightarrow I_{CQ} = \frac{V_{CEQ}}{R_C} \quad (14)$$

Vì điểm tĩnh Q là giao điểm của DCLL và ACLL nên thay (14) vào phương trình đường tải DC, ta được :

$$V_{CC} - V_{CEQ} = I_{CQ}(R_C + R_E) \quad (15)$$

$$\Rightarrow I_{CQmaxswing} = \frac{V_{CC}}{2R_C + R_E}; V_{CEQ} = \frac{V_{CC}}{2 + R_E/R_C} \quad (16)$$

Ví dụ: Thiết kế phân cực cho một mạch khuếch đại ghép E chung sao cho dòng ra là swing 3mA đỉnh. Cho nguồn cung cấp là 15V, $R_C = 2k\Omega$, $\beta = 110$.

Do dòng ra là swing 3mA đỉnh nên nếu thiết kế phân cực để dòng ra là maxswing thì I_{CQ} phải bằng 3mA. Từ đó tính R_E từ công thức (16)

$$R_E = \frac{V_{CC}}{I_{CQmaxswing}} - 2R_C = \frac{15}{3} - 2 \times 2 = 1k\Omega.$$

Từ (6) có $V_{BB} = I_{CQ}R_E + V_{BE} = 3 \times 1 + 0.7 = 3.7 \text{ V}$

Lại áp dụng $R_B = \frac{1}{10} R_E (1 + \beta) = 11.1 \times 1 = 11.1 \text{ k}\Omega$

Từ đó, $R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 11.1 \text{ k}\Omega$, $\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{V_{BB}}{V_{CC}} = \frac{3.7}{15} = 0.247$

$\Rightarrow R_1 = 45 \text{ k}\Omega$. Chọn điện trở $47 \text{ k}\Omega$.

$\Rightarrow R_2 = 15.4 \text{ k}\Omega$. Chọn điện trở $15 \text{ k}\Omega$.

Chú ý rằng trong ví dụ này, yêu cầu đề bài chỉ là dòng ra swing 3 mA đỉnh chứ không phải dòng ra maxswing 3mA đỉnh, nên SV có thể chọn các giá trị điện trở khác mà vẫn đảm bảo dòng ra swing theo yêu cầu (Nghĩa là có thể chọn I_{CQ} sao cho dòng ra maxswing lớn hơn 3mA).

II. Chế độ AC

Ở chế độ AC, các mạch khuếch đại dùng BJT được phân tích dựa trên mô hình mạch tương đương tín hiệu nhỏ dạng hybrid. Các thông số quan trọng của các mạch khuếch đại dùng BJT là:

1. Độ lợi áp

Trong một mạch khuếch đại (hình 3), độ lợi áp được tính theo biểu thức :

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \quad (17)$$

Trong thực nghiệm, A_v được tìm bằng cách đo điện áp ngõ ra và điện áp ngõ vào rồi áp dụng (17) để tính toán.

2. Tổng trở vào

Trong một mạch khuếch đại, tổng trở vào có vai trò quan trọng; đặc biệt khi ghép nhiều tầng, tổng trở vào của tầng sau phải được tính toán phối hợp với tổng trở ra của tầng trước để truyền công suất cực đại; đối với tầng đầu tiên, tổng trở vào phải phối hợp với tổng trở nguồn tín hiệu. Tổng trở vào Z_{in} (hoặc R_{in}) của một mạch khuếch đại được định nghĩa bằng tỷ số giữa điện áp và dòng điện của tín hiệu ngõ vào (v_i và i_i)

$$R_{in} = \frac{V_i}{I_i} \quad (18)$$

Như vậy có thể xác định R_{in} bằng thực nghiệm bằng cách đo V_i và I_i rồi lập tỉ số như (18).

Có thể sử dụng microampemeter hoặc miliampemeter để đo dòng ngõ vào của mạch khuếch đại, hoặc dùng voltmeter đo điện áp trên R_i (như hình 3a, 3b, 3c), sau đó dùng Ohmmeter và định luật Ohm để xác định dòng I_i .

Một cách đo điện trở ngõ vào khác: Nối biến trở VR_i nối tiếp với ngõ vào của mạch khuếch đại (mắc VR_i nối tiếp giữa tụ C_i và điện trở R_i trong các mạch trên hình 3), chỉnh biến trở VR_i cho tới khi điện áp tín hiệu rơi trên VR_i bằng với điện áp tín hiệu rơi trên ngõ vào của mạch khuếch đại. Khi đó điện trở của VR_i đo được sẽ là điện trở ngõ vào R_{in} của mạch khuếch đại.

Tổng trở vào của mạch khuếch đại E, B, C chung có thể tăng (hay giảm) tùy theo dạng hồi tiếp âm.

3. Tổng trở ra

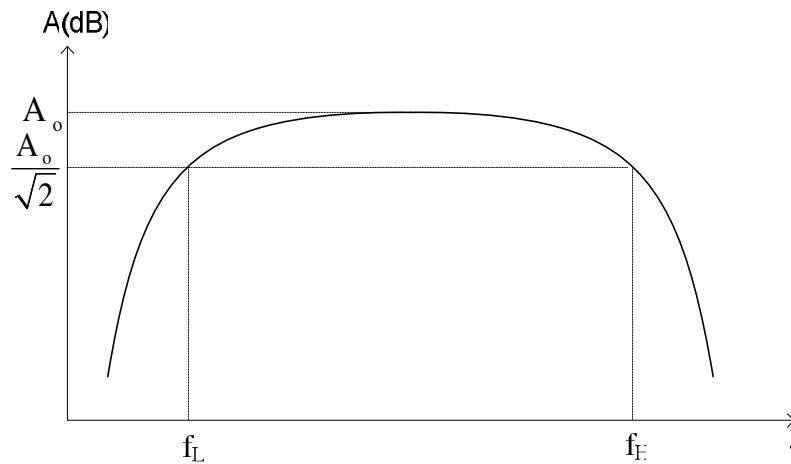
Tổng trở ra của một mạch khuếch đại cũng có vai trò quan trọng như tổng trở vào. Tổng trở ra Z_{out} (R_{out}) của một mạch khuếch đại có thể xác định bằng thực nghiệm như sau:

- + Đo điện áp tín hiệu ngõ ra không tải, V_{out_1} .
- + Nối biến trở VR_L vào ngõ ra mạch khuếch đại (tại vị trí của tải R_L trong hình 3a, 3b, 3c).
- + Chỉnh biến trở VR_L cho tới khi thấy tín hiệu ngõ ra có điện áp V_{out_2} bằng $1/2 V_{out_1}$.
- + Giá trị điện trở của VR_L đo được sẽ là điện trở ngõ ra R_{out} của mạch khuếch đại.

** Chú ý: Khi đo tổng trở vào và ra chú ý giữ sao cho tín hiệu vào và ra không bị méo dạng.*

Tổng trở ra của mạch khuếch đại ghép E, B, C có thể tăng (hay giảm) tùy theo dạng hồi tiếp âm.

4. Tần số cắt



Hình 6. Đáp ứng tần số của một mạch khuếch đại

Độ lợi của một mạch khuếch đại bất kỳ không phải là một hằng số, nó là một hàm theo tần số. Ở các tần số khác nhau, do ảnh hưởng của các tụ điện trong mạch cũng như điện dung ký sinh trên các phần tử của mạch, độ lợi sẽ thay đổi. Sự thay đổi độ lợi theo tần số được biểu diễn bằng đáp ứng tần số như trong hình 6, trong đó :

- Khi $f_L < f < f_H$ thì $A = A_0$ (độ lợi xem như không đổi)
 - + Khi $f < f_L$ thì A giảm.
 - + Khi $f > f_H$ thì A giảm.
 - + Khi $f = f_L$ và $f = f_H$ thì độ lợi tại các tần số này bằng $1/\sqrt{2}$ so với A_0 . Tại các vị trí này của tần số, ta gọi $f = f_L$ là tần số cắt thấp và $f = f_H$ là tần số cắt cao của mạch khuếch đại.
- Tần số cắt có thể xác định trong thực nghiệm như sau:
 - + Thay đổi tần số tín hiệu ngõ vào cho tới khi thấy biên độ điện áp tín hiệu ngõ ra cực đại. Tần số ghi nhận lúc này là tần số giữa, ghi nhận giá trị biên độ điện áp tín hiệu ngõ ra V_{out_1} .
 - + Giảm dần tần số tín hiệu ngõ vào cho tới khi thấy biên độ điện áp tín hiệu ngõ ra giảm còn $1/\sqrt{2}$ so với V_{out_1} . Tần số ghi nhận lúc này là tần số cắt thấp f_L .
 - + Tăng dần tần số tín hiệu ngõ vào cho tới khi thấy biên độ điện áp tín hiệu ngõ ra giảm còn $1/\sqrt{2}$ so với V_{out_1} . Tần số ghi nhận lúc này là tần số cắt cao f_H .

* Chú ý trong toàn bộ quá trình đo không thay đổi biên độ tín hiệu vào.

Về mặt lý thuyết, trong một mạch ghép E chung, tần số cắt thấp của một mạch khuếch đại phụ thuộc vào tất cả các tụ điện có trong mạch (Tụ bypass C_E , các tụ liên lạc C_i và C_o). Việc xét ảnh hưởng của tất cả các tụ này là khá phức tạp. Khi phân tích, người ta cố ý đi tìm ảnh hưởng tần số lên mạch khuếch đại gây ra bởi từng loại tụ một cách độc lập với nhau (Nghĩa là đi tìm tần số cắt thấp khi mạch chỉ tồn tại tụ C_E mà không có C_i và C_o , hoặc ngược lại). Các tần số cắt thấp độc lập này được gọi là các tần số gây. Trong thiết kế, người ta tìm cách đơn giản hóa ảnh hưởng của các tụ bằng cách thiết kế sao cho tần số gây gây ra bởi tụ bypass C_E xác định tần số cắt thấp của mạch, còn các tụ liên lạc sẽ được chọn sao cho tần số gây gây ra bởi chúng nhỏ hơn rất nhiều so với tần số gây gây ra bởi tụ bypass C_E . Từ đó, công thức dùng để tính tần số cắt thấp của một mạch khuếch đại ghép E chung là:

$$f_L = \frac{1}{2\pi R_{iL} C_E} \quad (19)$$

với R_{iL} là điện trở tương đương nhìn ra từ 2 đầu tụ C_E khi mạch ở chế độ AC và **NGẮN MẠCH** các tụ C_i và C_o . Các tần số gây của C_i và C_o được tính bởi công thức :

$$f_{Ci} = \frac{1}{2\pi R_{Ci} C_i}, f_{Co} = \frac{1}{2\pi R_{Co} C_o} \quad (20)$$

với R_{Ci} và R_{Co} là điện trở tương đương nhìn ra từ 2 đầu tụ C_i và C_o trong điều kiện không tồn tại tụ C_E .

Ví dụ: Tính toán giá trị tụ C_E trong mạch cho ở hình 7. Cho tần số cắt thấp $f_L=100$ Hz, $\beta = h_{fe} = 100$, $h_{ie} = 1k\Omega$.

Trong mạch này, chúng ta không cần phân tích mạch ở chế độ DC, mà sẽ đi ngay vào phân tích mạch ở chế độ AC. Sơ đồ tương đương tín hiệu nhỏ (bỏ qua ảnh hưởng của các tụ C_i , C_o) sau khi đã phản ánh về cực E được cho ở hình 8. Điện trở nhìn ra từ 2 đầu của tụ C_E là

$$R_{iL} = R_E // \left(\frac{R'_B + h_{ie}}{1 + h_{fe}} \right) \quad (21)$$

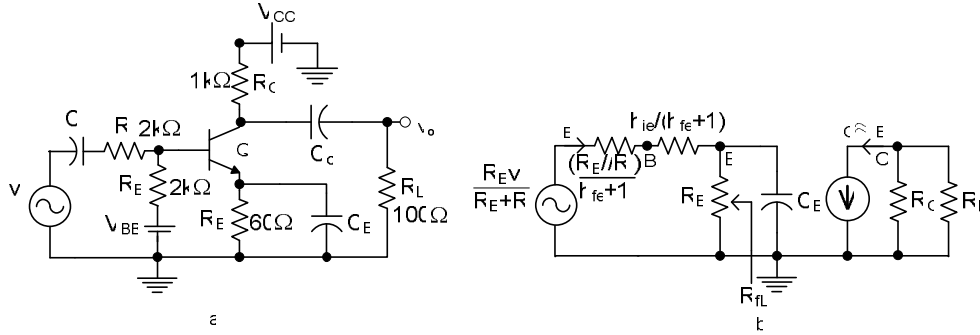
trong đó $R'_B = (R_B // R_i) = 1k\Omega$. Từ đó,

$$f_L = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{R_{fL} C_E} = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{R_E // \left(\frac{R'_B + h_{ie}}{1 + h_{fe}} \right) C_E} = 100 \text{ Hz}$$

$$\Rightarrow C_E = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{R_E // \left(\frac{R'_B + h_{ie}}{1 + h_{fe}} \right) f_L} = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{60 // \left(\frac{1000 + 1000}{101} \right)} 100 \quad (22)$$

$$\Rightarrow C_E \approx 106.9 \mu\text{F}.$$

Chọn tụ $100 \mu\text{F}$.



Hình 7. (a) Mạch ghép E chung (b) Sơ đồ tương đương tín hiệu nhỏ

Ở tần số cao, đáp ứng tần số bị giới hạn bởi các điện dung ký sinh bên trong linh kiện, cụ thể là bên trong BJT. Lúc này, sơ đồ tương đương tín hiệu nhỏ trở thành sơ đồ tương đương hybrid – pi (Hình 8 là kiểu mẫu ở tần số cao trong kiểu ghép E chung). Mạch lúc này xuất hiện các thành phần $r_{bb'}$, $r_{b'e}$, $C_{b'e}$ và $C_{b'c}$. Ký hiệu B' để chỉ mối cực base và B là đầu cuối (đầu ra) base của BJT. $r_{bb'}$ đặc trưng cho điện trở giữa 2 thành phần này; $r_{b'e}$ là điện trở giữa 2 mối nối B-E và chúng ta có quan hệ: $h_{ie} = r_{bb'} + r_{b'e}$; các tụ $C_{b'e}$ và $C_{b'c}$ biểu diễn cho điện dung ký sinh giữa các mối nối B-E và B-C. Các công thức cần quan tâm là:

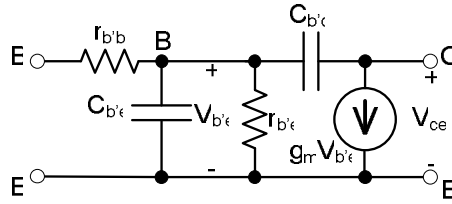
$$r_{bb'} = 10 \div 50 \Omega; r_{b'e} = \frac{h_{fe}}{40 I_{EQ}}$$

$$g_m = 40 I_{EQ}$$

$$C_{b'e} = \frac{g_m}{2\pi f_T}$$

$$C_{b'c} = C_{ob} \quad (23)$$

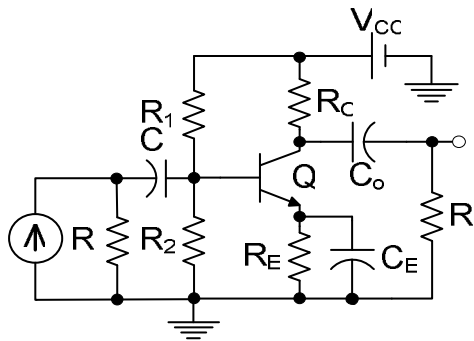
với f_T và C_{ob} được tham khảo từ datasheet của BJT.



Hình 8. Sơ đồ tương đương hybrid – pi của kiểu ghép E chung

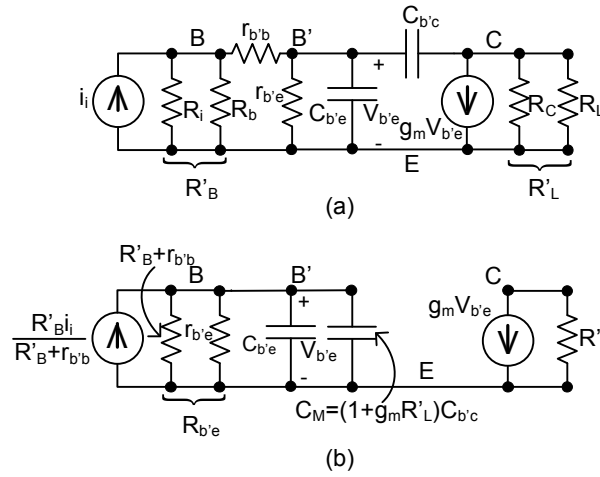
Xét một mạch khuếch đại ghép E chung điển hình như hình 9, mạch tương đương tín hiệu nhỏ tần số cao cho ở hình 10(a). Dùng kỹ thuật hồi tiếp, sau một số phép biến đổi, chúng ta được mạch tương đương rút gọn¹ cho ở hình 10(b) (Sơ đồ này không phải là sơ đồ mạch chính xác, nó chỉ dùng để tính độ lợi và trở kháng vào, tuy vậy nó không làm ảnh hưởng đến việc xác định tần số cắt cao), trong đó C_M gọi là điện dung Miller, là điện dung phản ánh của $C_{b'c}$ về mạch vào. Từ đó tần số cắt cao của mạch được xác định bởi :

$$f_H = \frac{1}{2\pi R_{b'e} (C_{b'e} + C_M)} \quad (24)$$



Hình 9. Sơ đồ mạch ghép E chung

¹ Tham khảo thêm chương 2, giáo trình Mạch điện tử 2.



Hình 10. (a) Mạch tương đương tín hiệu nhỏ tần số cao của mạch hình 9
(b) Sơ đồ mạch tương đương rút gọn của mạch hình 9

5. Độ lợi công suất

Độ lợi công suất của mạch khuếch đại là tỉ số giữa công suất tín hiệu ngõ ra trên công suất tín hiệu ngõ vào :

$$A_p = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (25)$$

- Công suất ngõ ra và công suất ngõ vào có thể tính được khi biết điện áp và tổng trở tại 2 ngõ vào và ra. Ta có :

$$P_{out} = \frac{V_{out}^2}{R_{out}}; P_{in} = \frac{V_{in}^2}{R_{in}} \quad (26)$$

Thay các giá trị trong (25) vào (24) được

$$A_p = \frac{V_{out}^2}{V_{in}^2} \frac{R_{in}}{R_{out}} = \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right)^2 \frac{R_{in}}{R_{out}} \quad (27)$$

- Thông thường độ lợi công suất của mạch khuếch đại được tính bằng Decibel (dB) :

$$A_p(dB) = 10 \log \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (28)$$

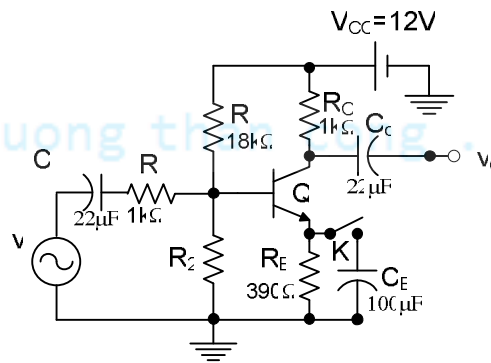
6. Quan hệ pha

- Trong mạch khuếch đại ghép E chung, tín hiệu ngõ ra lệch pha 180° so với tín hiệu ngõ vào.
- Trong mạch khuếch đại ghép B chung, tín hiệu ngõ ra cùng pha với tín hiệu ngõ vào.
- Trong mạch khuếch đại ghép C chung, tín hiệu ngõ ra cùng pha với tín hiệu ngõ vào.

D. YÊU CẦU TRƯỚC KHI LÀM 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 và tụ điện, sinh viên cần lựa chọn giá trị trên thực tế gần với tính toán nhất theo bảng cho ở phần phụ lục.

I. Mạch khuếch đại ghép E chung



Hình 11. Mạch thí nghiệm khuếch đại ghép E chung

1. Phân cực DC

a. Tính toán phân cực

Mạch trên hình 11. Xác định R_2 để điện áp tại cực C của BJT $V_C = 6.5V$. Từ R_2 tìm được, xác định điểm phân cực tĩnh Q (xác định dòng tĩnh I_{EQ} và điện áp tĩnh V_{CEQ}). Cho $V_{BE} = 0.7V$.

b. Phân cực maxswing

Khi K đóng, tìm R_2 để tín hiệu dòng điện ngõ ra là maxswing 5mA. Từ giá trị R_1 tìm được, tìm điểm tĩnh Q.

2. Chế độ AC

a. K đóng

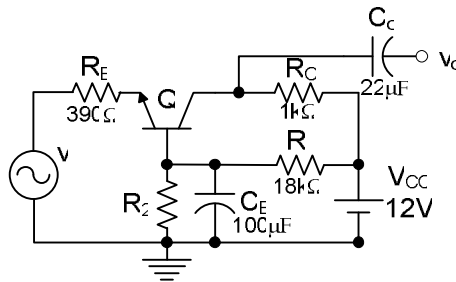
i) Khi K đóng, dùng mạch tương đương tín hiệu nhỏ tính toán các giá trị độ lợi áp A_v , độ lợi công suất, tổng trở vào, tổng trở ra của mạch hình 11 (Với giá trị R_2 đã tìm được trong phần 1a, BJT có $\beta = 130$).

ii) Với giá trị nào của C_E thì tần số cắt thấp của mạch là 150 Hz ? Tần số cắt cao của mạch là bao nhiêu nếu vẫn có $C_E = 100 \mu\text{F}$. Cho $f_T = 190 \text{ Mhz}$ và $C_{ob} = 22 \text{ pF}$.

b. K hở

Khi K hở, dùng mạch tương đương tín hiệu nhỏ tính toán các giá trị độ lợi áp A_v , độ lợi công suất, tổng trở vào, tổng trở ra của mạch hình 11. (Với giá trị R_2 đã tìm được trong phần 1a, BJT có $\beta = 130$). So sánh với các giá trị này ở câu a.

II. Mạch khuếch đại ghép B chung



Hình 12. mạch thí nghiệm khuếch đại ghép B chung

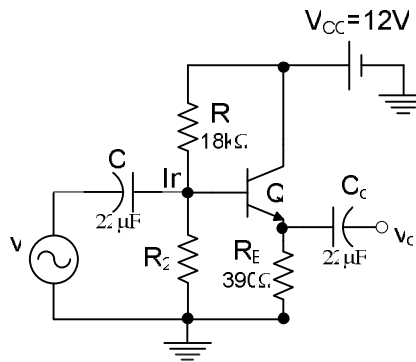
1. Phân cực DC

Mạch hình 12. Khi R_2 có giá trị như đã tìm được trong phần phân cực DC của mạch khuếch đại ghép E chung, tính toán I_{CQ} và V_{CEQ} . So sánh với trường hợp phân cực trong mạch khuếch đại ghép E chung và nhận xét.

2. Chế độ AC

Với R_2 như phần phân cực, BJT có $\beta = 130$, hãy dùng mạch tương đương tín hiệu nhỏ tính toán các giá trị độ lợi áp A_v , độ lợi công suất, tổng trở vào, tổng trở ra.

III. Mạch khuếch đại ghép C chung



cuu duong than cong . com

Hình 13. Mạch thí nghiệm khuếch đại ghép C chung

1. Phân cực DC

Mạch hình 13. Khi R_2 có giá trị như đã tìm được trong phần phân cực DC của mạch khuếch đại ghép E chung, tính toán I_{CQ} và V_{CEQ} . So sánh với trường hợp phân cực trong mạch khuếch đại ghép E chung và nhận xét.

2. Chế độ AC

Với R_2 như phần phân cực, dùng mạch tương đương tín hiệu nhỏ tính toán các giá trị độ lợi áp A_v , độ lợi công suất, tổng trở vào, tổng trở ra.

cuu duong than cong . com

E. TRÌNH TỰ THÍ NGHIỆM

I. Mạch khuếch đại ghép E chung

Thực hiện mạch trên hình 11.

1. Phân cực DC

a. Với điện trở R_2 có giá trị như đã tìm được từ phần yêu cầu trước khi vào thí nghiệm của mạch ghép E chung, thực hiện mạch hình 11. Dùng máy đo Fluke 45 nhấn DC đo giá trị V_C trên mạch. V_C có bằng 6.5V? Ghi vào bảng 1.

b. Đo giá trị I_{EQ} và V_{CEQ} (Chú ý có thể đo I_{EQ} thông qua đo điện áp trên điện trở R_C). So sánh với các kết quả đã tìm được trong phần yêu cầu trước khi vào thí nghiệm. Ghi các giá trị vào bảng 1.

2. Chế độ AC

a. Đo độ lợi áp, quan sát quan hệ pha

i) K đóng Chỉnh máy phát sóng dạng sin, tần số 1Khz cấp tín hiệu v_i cho mạch hình 11 khi K đóng. Dùng dao động ký để ở mode AC đo tín hiệu tại ngõ ra của mạch, chỉnh biên độ máy phát sóng để tín hiệu ngõ ra mạch khuếch đại còn 70% của giá trị lớn nhất (100%) không bị méo dạng. Đọc các giá trị điện áp đỉnh - đỉnh của v_i , v_o . Tính A_v . Ghi các giá trị đo được vào bảng 2.

ii) K hở Giữ nguyên biên độ tín hiệu vào như phần trên, thực hiện mạch hình 11 khi K hở. Đo lại các giá trị v_i và v_o . Tính lại A_v . Ghi vào bảng 2. So sánh các giá trị ở i) và nhận xét.

iii) Trong i) và ii) tiến hành quan sát quan hệ pha giữa v_i và v_o bằng cách quan sát đồng thời 2 tín hiệu. Vẽ v_i và v_o trên cùng một hệ trục tọa độ. Nhận xét.

b. Đo tổng trở vào

i) Khi K đóng Trên mạch hình 11 với K đóng, mắc nối tiếp biến trở VR_i vào giữa tụ điện C_i và điện trở R_i . Dùng dao động ký quan sát đồng thời 2 tín hiệu tại 2 đầu biến trở VR_i so với mass. Chỉnh biến trở VR_i cho tới khi thấy biên độ tín hiệu này giảm còn $\frac{1}{2}$ so với biên độ tín hiệu kia. Tháo điện trở VR_i ra khỏi mạch. Dùng máy đo Fluke 45 đo giá trị điện trở của VR_i , đây chính là tổng trở ngõ vào R_{in} của mạch khuếch đại. Ghi vào bảng 2.

ii) Khi K hở Thực hiện lại phần i) ở trên với mạch hình 11 khi K hở. Ghi nhận giá trị R_{in} lúc này và so sánh với R_{in} ở phần trên.

c. Đo tổng trở ra

i) K đóng Trên mạch hình 11 với K đóng, dùng dao động ký đo biên độ ngõ ra v_o , giá trị này gọi là v_{o1} . Mắc biến trở VR_L vào ngõ ra của mạch. Chỉnh biến trở sao cho biên độ ngõ ra giảm còn $\frac{1}{2}$ so với v_{o1} . Tháo VR_L ra khỏi mạch và dùng máy đo Fluke 45 đo giá trị điện trở của VR_L , đây là tổng trở ngõ ra R_{out} của mạch khuếch đại. Ghi vào bảng 2.

ii) K hở Thực hiện lại phần trên với K hở và ghi lại giá trị R_{out} tìm được trong trường hợp này. So sánh với R_{out} tìm được ở i).

d. Đo tần số cắt

i) Đo tần số cắt thấp Khi K đóng, giữ nguyên biên độ tín hiệu ngõ vào như trong các thí nghiệm trước, dùng dao động ký quan sát tín hiệu ngõ ra v_{o2} . Ghi nhận giá trị này. Giảm dần tần số máy phát sóng (vẫn giữ nguyên biên độ máy phát sóng) cho tới khi thấy biên độ tín hiệu ngõ ra giảm còn $1/\sqrt{2} v_{o2}$. Đọc giá trị tần số trên máy phát sóng, đây chính là tần số cắt dưới của mạch khuếch đại. Ghi giá trị đo được vào bảng 2. So sánh với tần số cắt thấp 150 Hz theo lý thuyết. Nhận xét.

ii) Đo tần số cắt cao Giữ nguyên mạch như trong i). Tăng dần tần số máy phát sóng (biên độ máy phát sóng vẫn giữ nguyên) đến khoảng vài Khz. Ghi nhận lại giá trị ngõ ra v_{o2} . Tăng dần tần số máy phát sóng (vẫn giữ nguyên biên độ máy phát sóng) cho tới khi thấy biên độ tín hiệu ngõ ra

giảm còn $1/\sqrt{2} v_{o2}$. Đọc giá trị tần số trên máy phát sóng, đây chính là tần số cắt cao của mạch khuếch đại. Ghi giá trị đo được vào bảng 2. So sánh với giá trị tính toán và nhận xét.

e. Độ lợi công suất Tính và ghi lại độ lợi công suất vào bảng 2.

3. Khảo sát trường hợp maxswing

a. Thực hiện mạch hình 11 với K đóng, R_2 có giá trị sao cho dòng ngõ ra maxswing 5mA (Đã tìm được trong phần yêu cầu trước khi làm thí nghiệm). Đo điểm tĩnh Q trong mạch. Các giá trị I_{EQ} và V_{CEQ} có xấp xỉ giá trị tính toán theo lý thuyết? Ghi vào bảng 1.

b. Chỉnh máy phát sóng dạng sin, tần số 1Khz cấp tín hiệu v_i cho mạch hình 11. Dùng dao động ký đo tín hiệu tại ngõ ra của mạch, chỉnh biên độ máy phát sóng để tín hiệu ngõ ra cực đại mà không bị méo dạng. Dòng ra i_c đỉnh có bằng 5mA (Chú ý quan sát dòng ra thông qua quan sát điện áp trên điện trở R_C) ? Nhận xét. Ghi vào bảng 2.

Bảng1. Bảng các giá trị phân cực của mạch khuếch đại ghép E chung

Tính toán phân cực							
R1 (kΩ)		I_{EQ} (mA)		V_{CEQ} (V)		β	
(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Phân cực maxswing							
R1 (kΩ)		I_{EQ} (mA)		V_{CEQ} (V)		i_{cm} (mA)	
(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)

(1) : Giá trị tính toán bằng lý thuyết.

(2) : Giá trị đo được trong thực tế.

Bảng 2. Các thông số khảo sát ở chế độ AC của mạch ghép E chung

V _{p-p}				Tổng trở				Tần số cắt		Độ lợi	
v _i (V)		v _o (V)		R _{in} (kΩ)		R _{out} (kΩ)		f _L (Khz)	f _H (Khz)	Áp (dB)	Công suất (dB)
(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)				

(1): Giá trị khi K đóng. (2) : Giá trị khi K hở

II. Mạch khuếch đại ghép B chung

Thực hiện mạch trên hình 12.

1. Phân cực DC

Với điện trở R₂ có giá trị như đã tìm được từ phần yêu cầu trước khi vào thí nghiệm của mạch ghép E chung, thực hiện mạch hình 12. Dùng máy đo Fluke 45 nhấn DC đo các giá trị I_{EQ} và V_{CEQ} (Chú ý có thể đo I_{EQ} thông qua đo điện áp trên điện trở R_C). So sánh với các kết quả đã tìm được trong phần yêu cầu trước khi vào thí nghiệm. Ghi các giá trị vào bảng 3.

2. Chế độ AC

a. Đo độ lợi áp, quan sát quan hệ pha

i) Chỉnh máy phát sóng dạng sin, tần số 1Khz cấp tín hiệu v_i cho mạch hình 12 khi K đóng. Dùng dao động ký để ở mode AC đo tín hiệu tại ngõ ra của mạch, chỉnh biên độ máy phát sóng để tín hiệu ngõ ra mạch khuếch đại còn 70% của giá trị lớn nhất (100%) không bị méo dạng. Đọc các giá trị điện áp đỉnh - đỉnh của v_i, v_o. Tính A_v. Ghi các giá trị đo được vào bảng 3.

ii) Quan sát quan hệ pha giữa v_i và v_o bằng cách quan sát đồng thời 2 tín hiệu. Vẽ v_i và v_o trên cùng một hệ trục tọa độ. Nhận xét.

b. Đo tổng trở vào Mắc nối tiếp biến trở VR_i vào giữa tụ điện C_i và điện trở R_E . Giữ biên độ tín hiệu vào vẫn như câu a. Dùng dao động ký quan sát đồng thời 2 tín hiệu tại 2 đầu biến trở VR_i so với mass. Chỉnh biến trở VR_i cho tới khi thấy biên độ tín hiệu này giảm còn $\frac{1}{2}$ so với biên độ tín hiệu kia. Tháo điện trở VR_i ra khỏi mạch. Dùng máy đo Fluke 45 đo giá trị điện trở của VR_i , đây chính là tổng trở ngõ vào R_{in} của mạch khuếch đại. Ghi vào bảng 3.

c. Đo tổng trở ra Biên độ tín hiệu vào vẫn giống như câu a. Dùng dao động ký đo biên độ ngõ ra v_o , giá trị này gọi là v_{o1} . Mắc biến trở VR_L vào ngõ ra của mạch. Chỉnh biến trở sao cho biên độ ngõ ra giảm còn $\frac{1}{2}$ so với v_{o1} . Tháo VR_L ra khỏi mạch và dùng máy đo Fluke 45 đo giá trị điện trở của VR_L , đây là tổng trở ngõ ra R_{out} của mạch khuếch đại. Ghi vào bảng 3.

d. Độ lợi công suất Tính và ghi lại độ lợi công suất vào bảng 3.

Bảng 3. Các thông số được khảo sát của mạch khuếch đại ghép B chung

Phân cực			V_{p-p}		Tổng trở		Độ lợi	
I_{CQ} (mA)	V_{CEQ} (V)	β	v_i (V)	v_o (V)	R_{in} (k Ω)	R_{out} (k Ω)	Áp (dB)	Công suất (dB)

III. Mạch khuếch đại ghép C chung

Thực hiện mạch trên hình 13.

1. Phân cực DC

Với điện trở R_2 có giá trị như đã tìm được từ phần yêu cầu trước khi vào thí nghiệm của mạch ghép E chung, thực hiện mạch hình 13. Dùng máy đo Fluke 45 nhấn DC đo các giá trị I_{EQ} và V_{CEQ} (Chú ý có thể đo I_{EQ} thông

qua đo điện áp trên điện trở R_E). So sánh với các kết quả đã tìm được trong phần yêu cầu trước khi vào thí nghiệm. Ghi các giá trị vào bảng 4.

2. Chế độ AC

a. Đo độ lợi áp, quan sát quan hệ pha

iii) Chỉnh máy phát sóng dạng sin, tần số 1Khz cấp tín hiệu v_i cho mạch hình 12 khi K đóng. Dùng dao động ký để ở mode AC đo tín hiệu tại ngõ ra của mạch, chỉnh biên độ máy phát sóng để tín hiệu ngõ ra mạch khuếch đại còn 70% của giá trị lớn nhất (100%) không bị méo dạng. Đọc các giá trị điện áp đỉnh - đỉnh của v_i , v_o . Tính A_v . Ghi các giá trị đo được vào bảng 4.

iv) Quan sát quan hệ pha giữa v_i và v_o bằng cách quan sát đồng thời 2 tín hiệu. Vẽ v_i và v_o trên cùng một hệ trục tọa độ. Nhận xét.

b. Đo tổng trở vào Mắc nối tiếp biến trở VR_i vào giữa tụ điện C_i và ngõ vào In. Giữ biên độ tín hiệu vào vẫn như câu a. Dùng dao động ký quan sát đồng thời 2 tín hiệu tại 2 đầu biến trở VR_i so với mass. Chỉnh biến trở VR_i cho tới khi thấy biên độ tín hiệu này giảm còn $\frac{1}{2}$ so với biên độ tín hiệu kia. Tháo điện trở VR_i ra khỏi mạch. Dùng máy đo Fluke 45 đo giá trị điện trở của VR_i , đây chính là tổng trở ngõ vào R_{in} của mạch khuếch đại. Ghi vào bảng 4.

c. Đo tổng trở ra Biên độ tín hiệu vào vẫn giống như câu a. Dùng dao động ký đo biên độ ngõ ra v_o , giá trị này gọi là v_{o1} . Mắc biến trở VR_L vào ngõ ra của mạch. Chỉnh biến trở sao cho biên độ ngõ ra giảm còn $\frac{1}{2}$ so với v_{o1} . Tháo VR_L ra khỏi mạch và dùng máy đo Fluke 45 đo giá trị điện trở của VR_L , đây là tổng trở ngõ ra R_{out} của mạch khuếch đại. Ghi vào bảng 4.

d. Độ lợi công suất Tính và ghi lại độ lợi công suất vào bảng 4.

Bảng 4. Các thông số được khảo sát của mạch khuếch đại ghép C chung

Phân cực			V _{p-p}		Tổng trở		Độ lợi	
I _{CQ} (mA)	V _{CEQ} (V)	β	v _i (V)	v _o (V)	R _{in} (k Ω)	R _{out} (k Ω)	Áp (dB)	Công suất (dB)

F. BÁO CÁO THÍ NGHIỆM

Trong bài báo cáo thí nghiệm sinh viên cần trình bày tối thiểu các vấn đề sau:

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

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.