

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA**



**BÁO CÁO BÀI TẬP LỚN MẠCH ĐIỆN TỬ**

**THIẾT KẾ, THI CÔNG VÀ MÔ PHỎNG MẠCH KHUẾCH ĐẠI**

Đáp ứng yêu cầu sau:

Trở kháng ngõ vào:  $> 100K$ .

Trở kháng ngõ ra:  $< 1K$ .

Nguồn ngõ vào trở kháng  $1K$ , biên độ max  $1V_{pp}$ .

Độ lợi áp: 5.

Băng thông:  $15\text{ Hz} - 15\text{ KHz}$ .

**Lớp: L01 - Nhóm: 07 - Học kỳ: 232**

**Giảng viên hướng dẫn: Đinh Quốc Hùng**

Họ và tên	MSSV	Công việc	Đánh giá
Phạm Võ Hiệp	2211051	Lắp mạch thực tế	25%
Phạm Lộ Hoàng Khang	2211464	Tính toán thiết kế	25%
Nguyễn Đức Mạnh	2211997	Mô phỏng thiết kế	25%
Trần Kim Phát	2212536	Báo cáo tổng hợp	25%

*Thành phố Hồ Chí Minh, ngày 23 tháng 04 năm 2024*

# MỤC LỤC

<b>LỜI NÓI ĐẦU.....</b>	<b>1</b>
<b>PHẦN I. CƠ SỞ LÝ THUYẾT .....</b>	<b>2</b>
<b>1. Mạch khuếch đại cực E chung (Common Emmitter - CE). ....</b>	<b>2</b>
<b>2. Mạch khuếch đại cực B chung (Common Base - CB).....</b>	<b>3</b>
<b>3. Mạch khuếch đại cực C chung (Common Collector - CC).....</b>	<b>4</b>
<b>4. Mạch khuếch đại ghép liên tầng. ....</b>	<b>4</b>
<i>4.1. Mạch khuếch đại Cascade. ....</i>	<i>5</i>
<i>4.2. Mạch khuếch đại Cascode. ....</i>	<i>5</i>
<i>4.3. Mạch khuếch đại Darlington. ....</i>	<i>6</i>
<i>4.4. Mạch khuếch đại vi sai.....</i>	<i>6</i>
<b>5. Khái niệm ghép RC. ....</b>	<b>7</b>
<b>PHẦN II. THIẾT KẾ, THI CÔNG VÀ MÔ PHỎNG MẠCH KHUẾCH ĐẠI.....</b>	<b>8</b>
<b>1. Thiết kế, thi công mạch khuếch đại theo yêu cầu đề bài. ....</b>	<b>8</b>
<b>2. Mô phỏng mạch khuếch đại trên LTspice. ....</b>	<b>14</b>
<b>3. Lắp đặt thực tế và thực hiện đo đạc qua máy phát sóng.....</b>	<b>22</b>
<b>LỜI KẾT THÚC.....</b>	<b>24</b>

## LỜI NÓI ĐẦU

Mạch điện tử là một trong những môn cơ sở ngành thể hiện vai trò vô cùng to lớn để ứng dụng và phát triển chuyên sâu vào những môn chuyên ngành phía sau. Có thể nói ở thời đại 4.0 này, hàng loạt các công nghệ hiện đại, phức tạp đều có một điểm chung đó chính là phát triển từ các mạch điện tử cơ bản. Chỉ những linh kiện điện tử bé nhỏ, nhưng đã thực hiện được hàng loạt các cuộc cách mạng trên toàn thế giới. Qua các cuộc cách mạng công nghiệp, các linh kiện điện tử ngày càng được ứng dụng trong đời sống sản xuất cũng như sinh hoạt thường ngày.

Chính vì sự quan trọng ấy, nhóm chúng em vận dụng những kiến thức được học tại lớp nhằm thực hiện bài tập lớn về thiết kế mạch khuếch đại. Mạch khuếch đại thường được ứng dụng nhiều trong nhiều thiết bị, nhưng điển hình nhất, gần gũi nhất với chúng ta đó chính là Ampli.

Vì thế, nhóm chúng em đã lên ý tưởng và bắt đầu tiến hành thiết kế mạch khuếch đại này theo yêu cầu của đề tài được giao đó chính là:

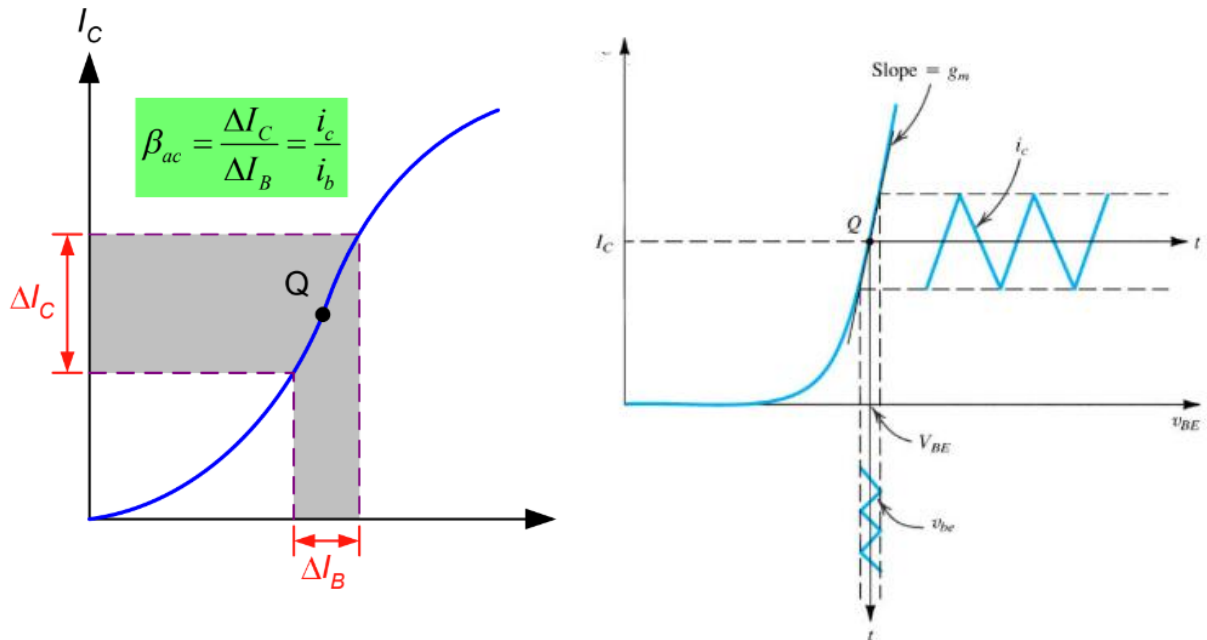
- Trở kháng ngõ vào:  $> 100K$ .
- Trở kháng ngõ ra:  $< 1K$ .
- Nguồn ngõ vào trở kháng  $1K$ , biên độ max  $1V_{pp}$ .
- Độ lợi áp: 5.
- Băng thông:  $15\text{ Hz} - 15\text{ KHz}$ .

Trong quá trình báo cáo bài tập lớn cùng với việc thiết kế, thi công và mô phỏng mạch khuếch đại sẽ không tránh những sai sót đang có. Do đó, nhóm chúng em mong thầy sẽ đưa ra những lời nhận xét, để bài tập lớn này có thể hoàn thành đúng như kỳ vọng cũng như được học hỏi thêm nhiều kiến thức áp dụng thực tế mai sau.

# PHẦN I

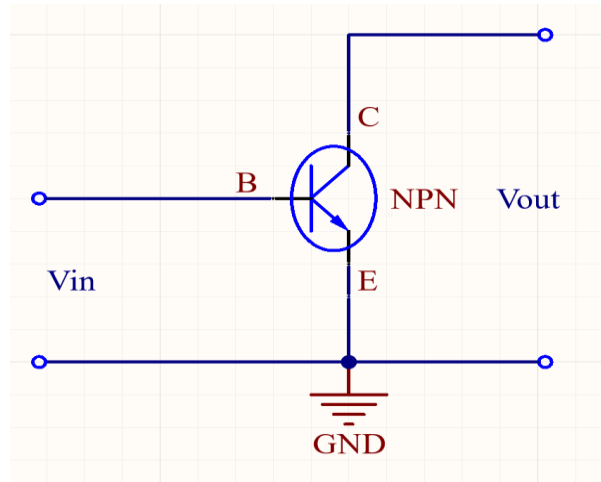
## CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Mạch khuếch đại là mạch gồm các linh kiện điện tử cơ bản và một vài linh kiện điện tử khác có chức năng khuếch đại cấu thành nên. Khi xuất hiện một tín hiệu từ ngõ vào của mạch khuếch đại là dòng điện hoặc là điện áp, các linh kiện transistor thực hiện công việc khuếch đại tín hiệu ngõ vào, sau đó tín hiệu đã được khuếch đại sẽ được đưa ra ngõ ra và nối vào các ngoại vi tùy nhu cầu người thiết kế. Các phần tử transistor dùng trong mạch khuếch đại chủ yếu là BJT, FET,... Hiện nay, để thiết kế mạch khuếch đại, chúng ta có thể sử dụng nhiều phương pháp phụ thuộc vào nhu cầu của người thiết kế có thể kể đến như: Mạch khuếch đại vi sai, mạch khuếch đại liên tầng, ... Và nhóm chúng em quyết định sử dụng BJT để thực hiện bài tập lớn này, khi sử dụng BJT, chúng ta cần phải quan tâm chú ý đến điểm làm việc tĩnh của loại BJT lựa chọn sử dụng. Và để ứng dụng tính khuếch đại của BJT, ta cần thiết kế sao cho điểm làm việc tĩnh này nằm trong vùng active mode.



Ta đi vào tiến hành phân tích một số mạch khuếch đại sử dụng BJT.

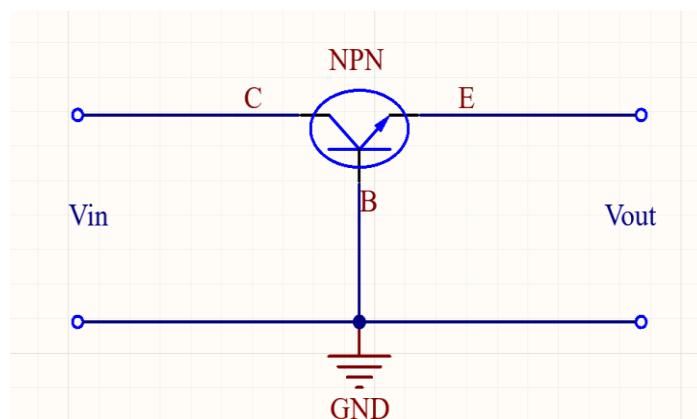
### 1. Mạch khuếch đại cực E chung (Common Emmitter - CE).



Mạch mắc theo kiểu cực E chung có các đặc điểm sau:

- Trở kháng ngõ vào ( $R_{in}$ ) nhỏ.
- Trở kháng ngõ ra ( $R_{out}$ ) lớn.
- Tín hiệu ngõ vào ( $V_{in}$ ) là cực B.
- Tín hiệu ngõ ra ( $V_{out}$ ) là cực C.
- Tín hiệu ngõ ra ngược pha so với tín hiệu ngõ vào.
- Khi mắc cực E chung, transistor có khả năng khuếch đại dòng điện, khuếch đại điện áp, và khuếch đại công suất.

## 2. Mạch khuếch đại cực B chung (Common Base - CB).

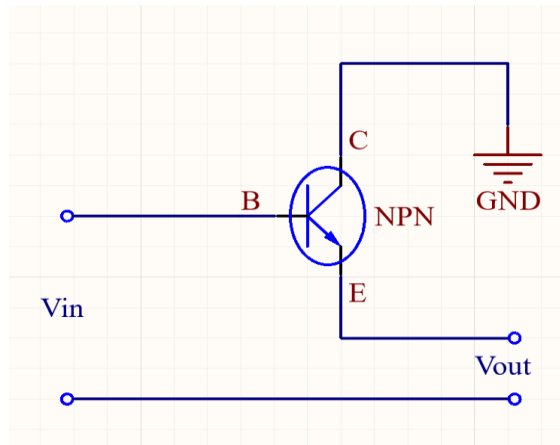


Mạch mắc theo kiểu cực B chung có các đặc điểm sau:

- Trở kháng ngõ vào ( $R_{in}$ ) lớn.
- Trở kháng ngõ ra ( $R_{out}$ ) lớn.

- Tín hiệu ngõ vào ( $V_{in}$ ) là cực E.
- Tín hiệu ngõ ra ( $V_{out}$ ) là cực C.
- Tín hiệu ngõ ra cùng pha so với tín hiệu ngõ vào.
- Khi mắc cực B chung, transistor có khả năng khuếch đại điện áp.

### 3. Mạch khuếch đại cực C chung (Common Collector - CC).

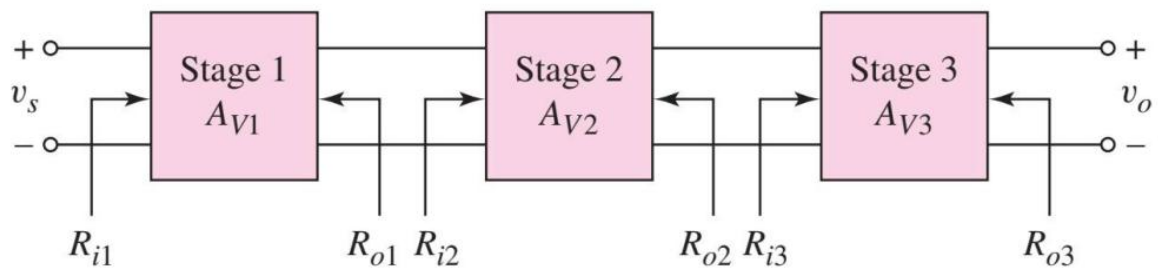


Mạch mắc theo kiểu cực C chung có các đặc điểm sau:

- Trở kháng ngõ vào ( $R_{in}$ ) lớn.
- Trở kháng ngõ ra ( $R_{out}$ ) nhỏ.
- Tín hiệu ngõ vào ( $V_{in}$ ) là cực B.
- Tín hiệu ngõ ra ( $V_{out}$ ) là cực E.
- Tín hiệu ngõ ra cùng pha so với tín hiệu ngõ vào.
- Khi mắc cực C chung, transistor có khả năng khuếch đại dòng điện.

### 4. Mạch khuếch đại ghép liên tầng.

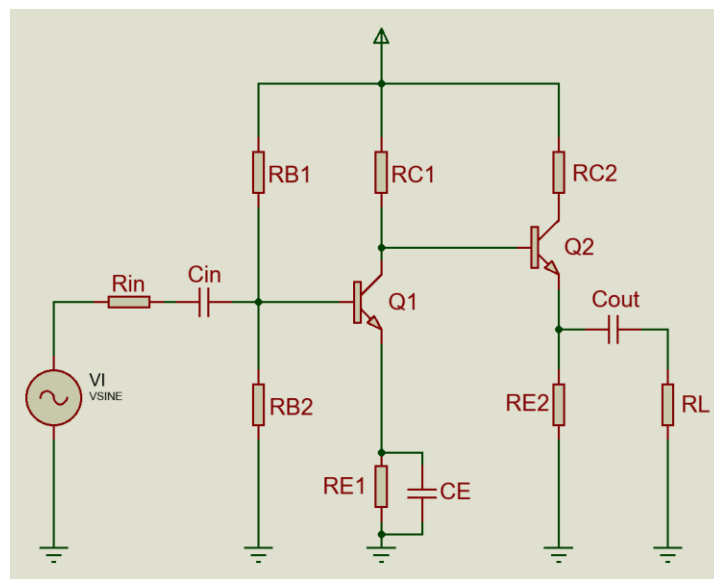
Trong thực tế, việc sử dụng một mạch khuếch đại đơn có thể không đáp ứng đủ độ lợi theo yêu cầu. Ví dụ, một hệ thống loa trong hệ thống khuếch đại âm thanh có chứa nhiều mạch khuếch đại liên tầng nhằm để nâng mức tín hiệu gốc từ microphone lên đến mức hiệu quả để cho ra một công suất đủ lớn tại loa. Sau đây là sơ đồ khối mô tả mạch khuếch đại ghép liên tầng:



Một số mạch khuếch đại ghép liên tầng như: Mạch khuếch đại Cascade, mạch khuếch đại Cascode, mạch khuếch đại Darlington, mạch khuếch đại vi sai.

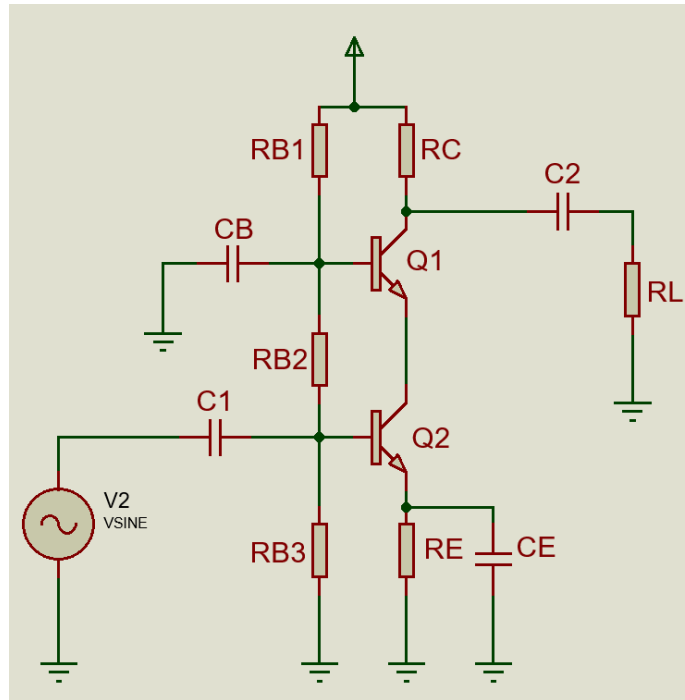
#### 4.1. Mạch khuếch đại Cascade.

Là mạch gồm nhiều mạch khuếch đại nối tiếp với nhau. Ngõ ra của mạch khuếch đại này là ngõ vào của mạch khuếch đại tiếp theo.



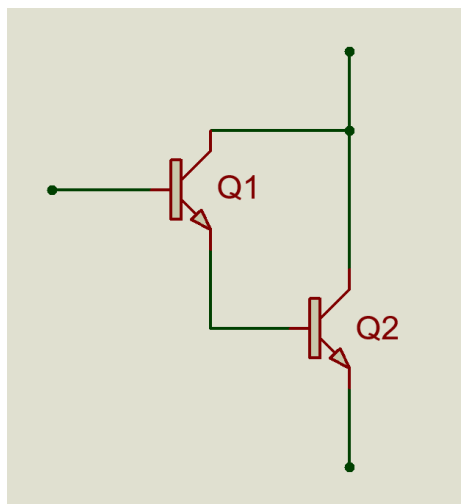
#### 4.2. Mạch khuếch đại Cascode.

Là mạch ghép từ một mạch khuếch đại CE và một mạch khuếch đại CB. Tín hiệu vào cấp cho mạch CE, tín hiệu ra lấy từ mạch CB. Ưu điểm lớn nhất của mạch là có đáp ứng tần số tốt hơn các kiểu mạch ghép khác, cũng như tốt hơn mạch khuếch đại đơn tầng.



#### 4.3. Mạch khuếch đại Darlington.

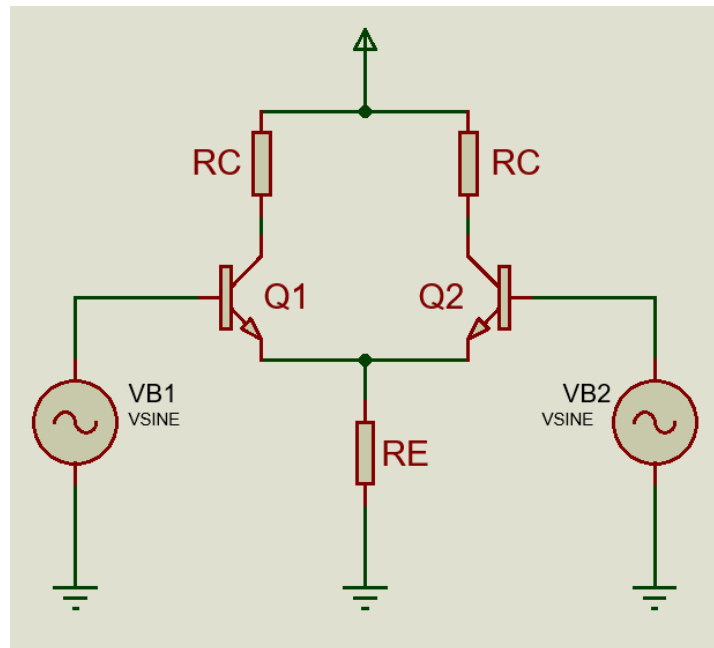
Là mạch dùng 2 BJT ghép chung và cực E của BJT này ghép nối tiếp với cực B của BJT kia. Có thể xem như tương đương với 1 BJT với  $h_{fe} = \beta_1 \beta_2$ .



#### 4.4. Mạch khuếch đại vi sai.

Là mạch gồm 2 BJT hoàn toàn giống nhau về mặt giá trị cũng như thông số ngõ vào ngõ ra (mạch đối xứng). Nguồn dòng cực E xem như nguồn dòng lý tưởng với trở kháng  $\rightarrow \infty$ . Có thể sử dụng  $R_E$  thay cho nguồn dòng.





## 5. Khái niệm ghép RC.

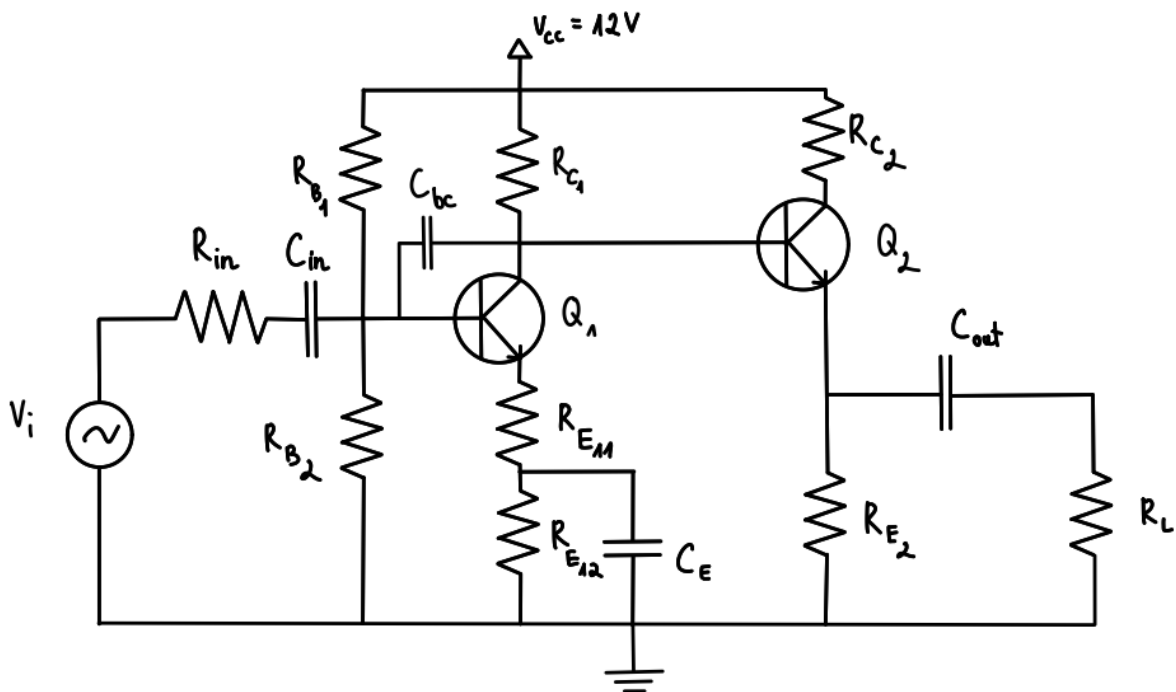
Khi ta ghép các tụ, các tụ sẽ có chức năng chính đó là cho nguồn xoay chiều đi qua, cách ly nguồn DC giữa các tầng ghép, và tạo tần số đủ cao để giữ cho giá trị điện kháng  $X_C$  nhỏ. Nhưng khi ta ghép RC, nó sẽ tác động đến những tín hiệu có tần số thấp, sẽ xuất hiện những tổn hao xảy ra trên những tụ điện này, và vì thế cần phải lựa chọn tụ có điện dung lớn và một tần số cắt thấp nhỏ.

## PHẦN II

### THIẾT KẾ, THI CÔNG VÀ MÔ PHỎNG MẠCH KHUẾCH ĐẠI

#### 1. Thiết kế, thi công mạch khuếch đại theo yêu cầu đề bài.

Sau khi phân tích phần cơ sở lý thuyết nêu trên, nhóm chúng em đã quyết định thiết kế mạch theo sơ đồ mạch khuếch đại Cascade. Để thiết kế một mạch khuếch đại dùng BJT, ta cần nắm rõ tính toán các thông số của BJT phù hợp với nhu cầu sử dụng. Vì vậy, sau khi bàn bạc, thảo luận và đóng góp ý kiến thì nhóm chúng em quyết định sử dụng 2 linh kiện BJT BC547B (Q1 và Q2).

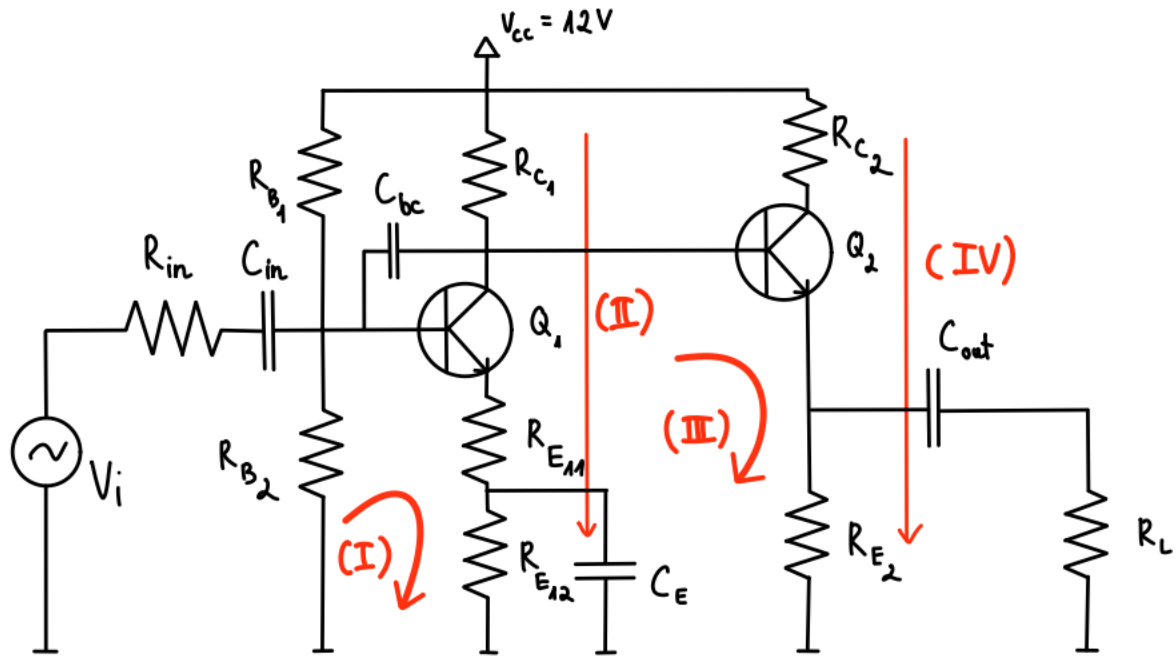


Đầu tiên, chọn điều kiện làm việc tĩnh cho  $Q_1$  ( $V_{CE}, I_{CQ}$ ) = (4,5 V; 0,4 mA).

Tại đó, ta có giá trị  $h_{fe} = 300$  nên ta suy ra được giá trị  $h_{ie}$  của Q1 bằng công thức:

$$h_{ie_1} = h_{fe} \cdot \frac{V_T}{I_{CQ}} = 300 \cdot \frac{0,025}{0,4 \cdot 10^{-3}} = 18,75 K\Omega$$

Tiếp theo đó, ta chọn  $R_{E1} = 3000\Omega$  và chia làm 2 phần đó là  $R_{E11}$  và  $R_{E12}$  lần lượt có giá trị là  $2500\Omega$  và  $500\Omega$  (Do chọn  $V_E \sim \frac{1}{10} V_{CC}$ ). Ta có mạch như sau:



Theo Thevanin, ta tính được giá trị của  $V_B$  và  $R_B$  lần lượt là:  $V_B = \frac{V_{CC} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$  và  $R_B = \frac{R_{B1} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$ .

**Theo KVL (I), ta có phương trình:**

$$V_B - V_{BE} - I_B \cdot R_B = V_E$$

$$\frac{V_{CC} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} - 0,7 - \frac{I_{CQ}}{hfe} \cdot \frac{R_{B1} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = I_{CQ} \cdot \frac{hfe + 1}{hfe} \cdot R_{E1}$$

Ta chọn  $R_{B2} = 330K\Omega$  để đảm bảo  $Z_{in} > 100K$ .

$$\Rightarrow \frac{12 \cdot 330K}{R_{B1} + 330K} - 0,7 - \frac{0,4 \cdot 10^{-3}}{300} \cdot \frac{R_{B1} \cdot 330K}{R_{B1} + 330K} = 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{300 + 1}{300} \cdot 3000$$

$$\Rightarrow R_{B1} = 1421K\Omega \rightarrow \text{Chọn } R_{B1} = 1425K\Omega \text{ để đảm bảo sai số.}$$

**Theo KVL (II), ta có phương trình:**

$$V_{CC} = V_C + V_{CE} + V_E = I_{CQ} \cdot R_{C1} + V_{CE} + I_{CQ} \cdot \frac{hfe + 1}{hfe} \cdot R_E$$

$$\Rightarrow R_{C1} = \frac{V_{CC} - V_{CE} - I_{CQ} \cdot \frac{hfe + 1}{hfe} \cdot R_E}{I_{CQ}} = \frac{12 - 4,5 - 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{301}{300} \cdot 3000}{0,4 \cdot 10^{-3}}$$

$\Rightarrow R_{C1} = 15740\Omega \rightarrow \text{Chọn } R_{C1} = 15K\Omega.$

Kiểm chứng lại dòng để phân cực cho BJT:

$$I = \frac{V_{CC}}{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{12}{1425K + 330K} = 6,84\mu A > I_B = \frac{I_{CQ}}{hfe} = 1,33\mu A$$

**Theo KVL (III), ta có phương trình:**

$$V_{C1} \approx V_{B2} \quad (I_{B2} \ll I_{CQ1})$$

$$\begin{aligned} V_{B2} - V_\gamma = V_E \Rightarrow V_E = V_{C1} - V_\gamma = V_{CC} - I_{CQ1} \cdot R_{C1} - V_\gamma \\ = 12 - 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot 15K - 0,7 = 5,3 \text{ (V)} \end{aligned}$$

Sau khi đã tính toán các thông số trở nối với các cực của Q1, ta tiếp tục tính toán các thông số liên quan đến BJT Q2. Cũng giống như BJT Q1, ta cần chọn điều kiện tĩnh của  $Q_2$  ( $V_{CE}, I_{CQ}$ ) = (5 V; 5 mA). Ta tính được trở cần mắc vào cực E của BJT Q2.

$$R_{E2} = \frac{V_E}{I_{EQ}} \approx \frac{V_E}{I_{CQ2}} = \frac{5,3}{5 \cdot 10^{-3}} \approx 1K \Omega$$

**Theo KVL (IV), ta có phương trình:**

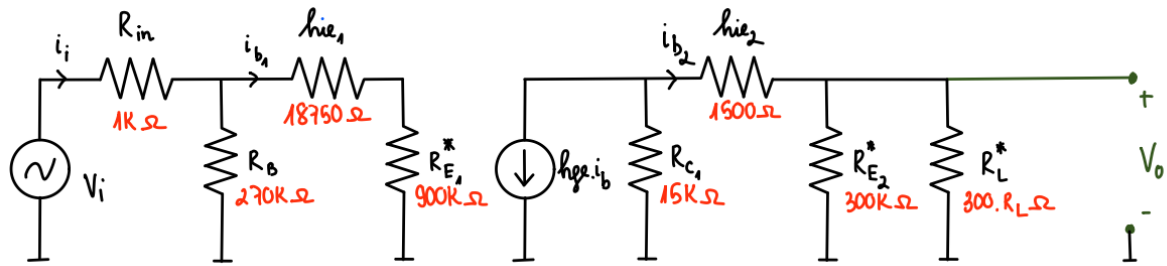
$$R_{C2} = \frac{V_{CC} - V_{CE} - V_{E2}}{I_{CQ2}} = \frac{12 - 5 - 5,3}{5 \cdot 10^{-3}} = 340 \Omega$$

$\rightarrow \text{Chọn } R_{C2} = 400 \Omega$

Vì  $R_{B1} // R_{B2}$  nên ta có:

$$R_B = \frac{R_{B1} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{1425K \cdot 330K}{1425K + 330K} \approx 270 K\Omega$$

Vậy là chúng ta đã có toàn bộ giá trị của điện trở trong mạch, tiếp theo đó, ta bắt đầu đi tính độ lợi của mạch khuếch đại Cascade này.



**Độ lợi của mạch là:**

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{i_{b2}} \cdot \frac{i_{b2}}{i_{b1}} \cdot \frac{i_{b1}}{i_i} \cdot \frac{i_i}{V_i}$$

$$= (R_{E2}^* // R_L^*) \cdot \frac{R_{C1} \cdot (-h_{fe})}{R_{C1} + h_{ie2} + R_{E2}^* // R_L^*} \cdot \frac{R_B}{R_B + h_{ie1} + R_{E1}^*} \cdot \frac{1}{R_{in} + [R_B // (h_{ie1} + R_{E1}^*)]}$$

Đặt  $R_{E2}^* // R_L^* = X$ , ta có:

$$A_V = \frac{-h_{fe} \cdot R_{C1}}{\frac{R_{C1} + h_{ie2}}{X} + 1} \cdot \frac{R_B}{R_B + h_{ie1} + R_{E1}^*} \cdot \frac{1}{R_{in} + [R_B // (h_{ie1} + R_{E1}^*)]}$$

$$= \frac{-300 \cdot 15K}{\frac{15K + 1.5K}{X} + 1} \cdot \frac{270K}{270K + 18,75K + 900K} \cdot \frac{1}{1K + [270K // (918,75K)]}$$

$$= -5$$

$\Leftrightarrow X \gg 15K + 1.5K \rightarrow$  Chọn  $R_L = 16 K\Omega$

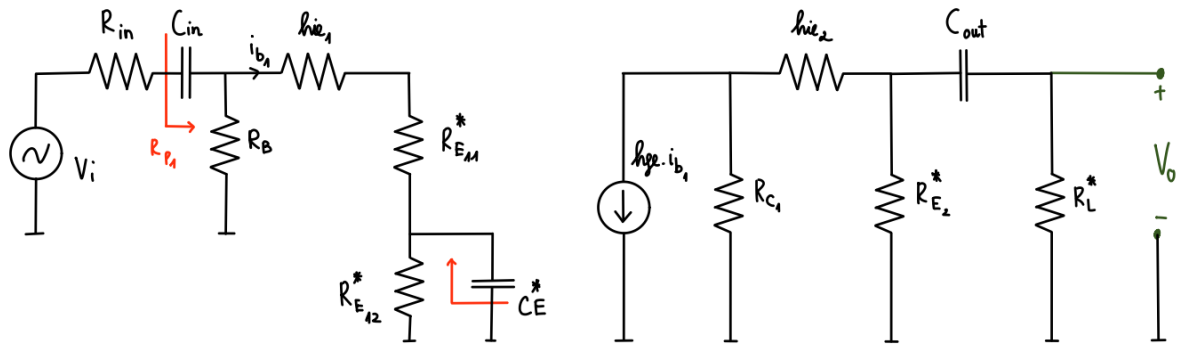
Vậy sau khi thiết kế và tính toán, ta tính lại các giá trị trở ngõ ra, trở ngõ vào như sau:

$$Z_{in} = R_B // (h_{ie1} + R_{E1}^*) = \frac{270K \cdot (18,75K + 900K)}{270K + (18,75K + 900K)} = 208675\Omega > 100 K\Omega$$

$$Z_{out} = \frac{R_{E2}^* // (R_{C1} + h_{ie2})}{h_{fe}} = \frac{300K \cdot (15K + 1,5K)}{300K + (15K + 1,5K)} = 52,13\Omega < 1K\Omega$$

Vậy giá trị trở ngõ ra và ngõ vào đều thỏa mãn yêu cầu thiết kế.

**Xét mạch ở đáp ứng tần số thấp, ta có:**



$$A_V = A_m \cdot \frac{1 + \omega_{Z1}}{1 + \omega_{P1}} \cdot \frac{1 + \omega_{Z2}}{1 + \omega_{P2}} \cdot \frac{1 + \omega_{Z3}}{1 + \omega_{P3}}$$

**- Xét tụ  $C_{in}$ :**

$$\begin{cases} R_{Z1} = \infty \Rightarrow \omega_{Z1} = 0 \\ R_{P1} = \frac{R_B(hie_1 + R_{E1}^*)}{R_B + (hie_1 + R_{E1}^*)} + R_{in} = \frac{270K(18.75K + 900K)}{270K + (18.75K + 900K)} + 1K = 209675 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \omega_{P1} = \frac{1}{R_{P1} \cdot C_{in}} = 15.2\pi$$

$$\Rightarrow C_{in} = \frac{1}{R_{P1} \cdot 15.2\pi} = \frac{1}{209675 \cdot 15.2\pi} = 5,06 \cdot 10^{-8} (F)$$

→ Chọn tụ có giá trị điện dung là  $50nF$ .

**- Xét tụ  $C_{out}$ :**

$$\begin{cases} R_{Z2} = \infty \Rightarrow \omega_{Z2} = 0 \\ R_{P2} = \frac{R_L^* + \left[ \frac{R_{E2}^*(hie_2 + R_{C1})}{R_{E2}^* + (hie_2 + R_{C1})} \right]}{hfe} = \frac{4800K + \left[ \frac{300K(1.5K + 15K)}{300K + (1.5K + 15K)} \right]}{300} = 16052\Omega \end{cases}$$

$$\Rightarrow \omega_{P2} = \frac{1}{R_{P2} \cdot C_{out}} = 15.2\pi$$

$$\Rightarrow C_{out} = \frac{1}{R_{P2} \cdot 15.2\pi} = \frac{1}{16052 \cdot 15.2\pi} = 0,67 \cdot 10^{-6} (F)$$

→ Chọn tụ có giá trị điện dung là  $0,68\mu F$ .

**- Xét tụ  $C_E$ :**

Đặt:  $Y = R_{E11}^* + h_{ie1} + R_B // R_{in}$

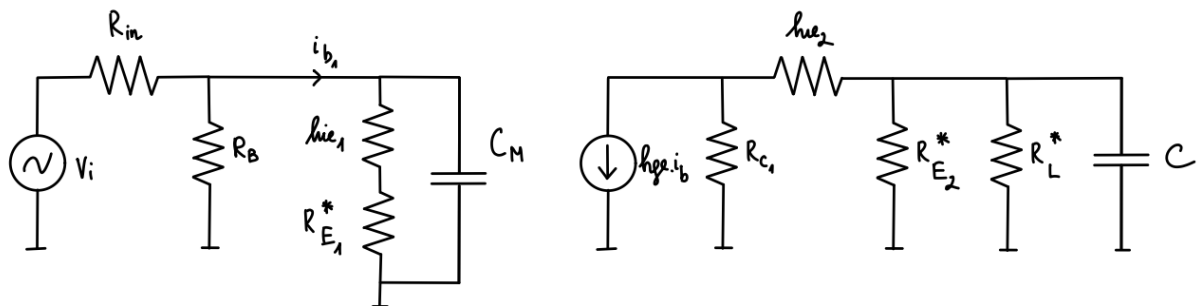
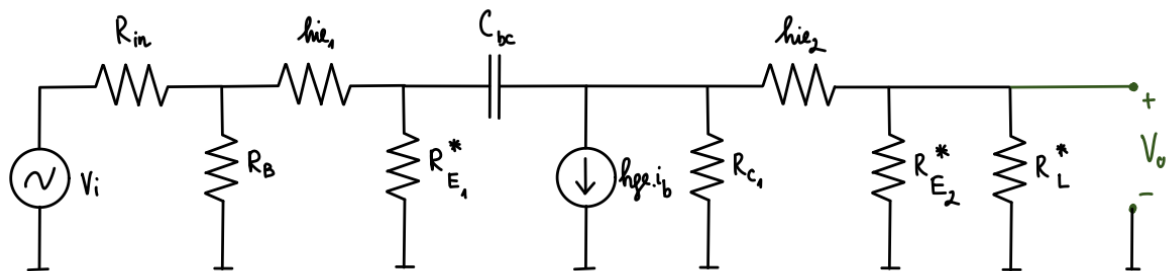
$$\Leftrightarrow Y = 2500.300 + 18750 + \frac{270K.1K}{270K + 1K} = 769746,31\Omega$$

$$\begin{cases} R_{Z3} = R_{E12}^* = 150K\Omega \Rightarrow \omega_{Z3} = \frac{1}{150K.25,356.10^{-6}} = 0,2629 \approx 0 \\ R_{P3} = \frac{\frac{Y.R_{E12}^*}{Y + R_{E12}^*}}{h_{fe}} = \frac{\frac{769746,31.500.300}{769746,31 + 500.300}}{300} = 418,456\Omega \Rightarrow \omega_{P3} = \frac{1}{418,456.C_E} = 2\pi.15 \end{cases}$$

$$\Rightarrow C_E = \frac{1}{418,456.2\pi.15} = 25,356\mu F$$

→ Chọn tụ  $C_E$  có giá trị điện dung là  $25\mu F$ .

**Xét mạch ở đáp ứng tần số cao, ta có:**



**- Xét tụ  $C_M$ :**

$$\begin{cases} R_{Z1} = 0 \Rightarrow \omega_{Z1} = \infty \\ R_{P1} = \left( \frac{1}{R_B} + \frac{1}{h_{ie1} + R_{E11}^*} + \frac{1}{R_{in}} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{270K} + \frac{1}{18,75K + 2500.300} + \frac{1}{1K} \right)^{-1} = 995\Omega \end{cases}$$

Nếu dùng  $C_{BE}$  của BJT BC547B thì  $C_{BE}$  có giá trị bằng  $9pF$ .

$$\Rightarrow f = \frac{1}{2\pi.R_{P1}.C_{BE}} = \frac{1}{2\pi.995.9.10^{-12}} = 17,77 \text{ MHz}$$

Mà theo yêu cầu đề bài, giá trị băng thông tối đa là:  $15KHz < 0,3f = 5,331 MHz$

=> Tụ  $C_{BE}$  và  $C_{BC}$  chưa hoạt động. Vì thế, ta cần mắc thêm 1 tụ điện giữa cực B và cực C.

Ta đi tìm giá trị  $g_m$ .

$$g_m = \frac{I_{CQ}}{V_T} = \frac{0,4 \cdot 10^{-3}}{25 \cdot 10^{-3}} = 0.016$$

$$K = \frac{V_2}{V_1} = -g_m \cdot \frac{R_{C1} \left[ hie_2 + \left( \frac{R_{E2} \cdot R_L}{R_{E2} + R_L} \right) \right]}{R_{C1} + \left[ hie_2 + \left( \frac{R_{E2} \cdot R_L}{R_{E2} + R_L} \right) \right]}$$

$$= -0.016 \cdot \frac{15K \left[ 1500 + \left( \frac{1K \cdot 16K}{1K + 16K} \right) \right]}{15K + \left[ 1500 + \left( \frac{1K \cdot 16K}{1K + 16K} \right) \right]} = -33,6$$

$$C_M = \left( 1 + g_m \cdot \frac{R_{C1} \left[ hie_2 + \left( \frac{R_{E2} \cdot R_L}{R_{E2} + R_L} \right) \right]}{R_{C1} + \left[ hie_2 + \left( \frac{R_{E2} \cdot R_L}{R_{E2} + R_L} \right) \right]} \right) \cdot C$$

$$= \left( 1 + 0.016 \cdot \frac{15K \left[ 1500 + \left( \frac{1K \cdot 16K}{1K + 16K} \right) \right]}{15K + \left[ 1500 + \left( \frac{1K \cdot 16K}{1K + 16K} \right) \right]} \right) \cdot C = 34,6C$$

$$\Rightarrow f_H = \frac{1}{R_{P1} \cdot 34,6C} = \frac{1}{995 \cdot 34,6C} = 2\pi \cdot 15K \Rightarrow C_C = 550pF$$

→ Chọn tụ  $C_C$  có giá trị điện dung là  $550pF$ .

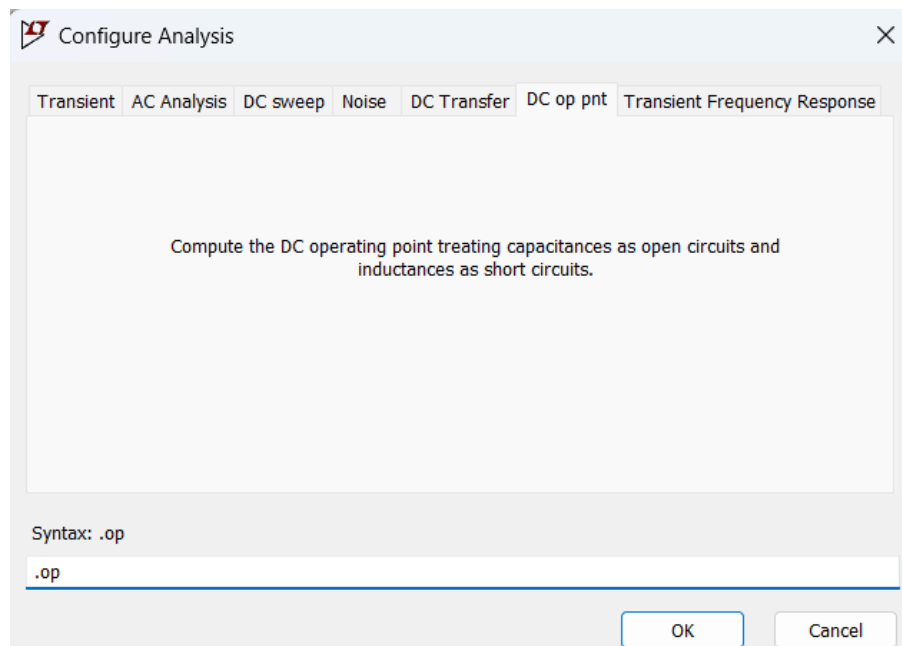
## 2. Mô phỏng mạch khuếch đại trên LTspice.

Để kiểm chứng với những kết quả trên, nhóm chúng em tiến hành thực hiện mô phỏng, đo đạc các thông số trên phần mềm LTspice để so sánh các kết quả với nhau. Đầu tiên, giống như phần trước thì chúng em sẽ tiến hành đo các thông số của BJT ở điều kiện làm việc tĩnh. Để đo các thông số  $I_C, I_B, I_E, V_B, V_C, V_E$ , ta đo ở chế độ DC, tức hở mạch các tụ điện và ngắn mạch cuộn cảm nếu có. Ta cần đặt các label tại các chân BJT ngoài ra ta có thể sử dụng voltage ( đặt giá trị 0V ) và xem voltage như một Ampe kế để đo dòng điện.

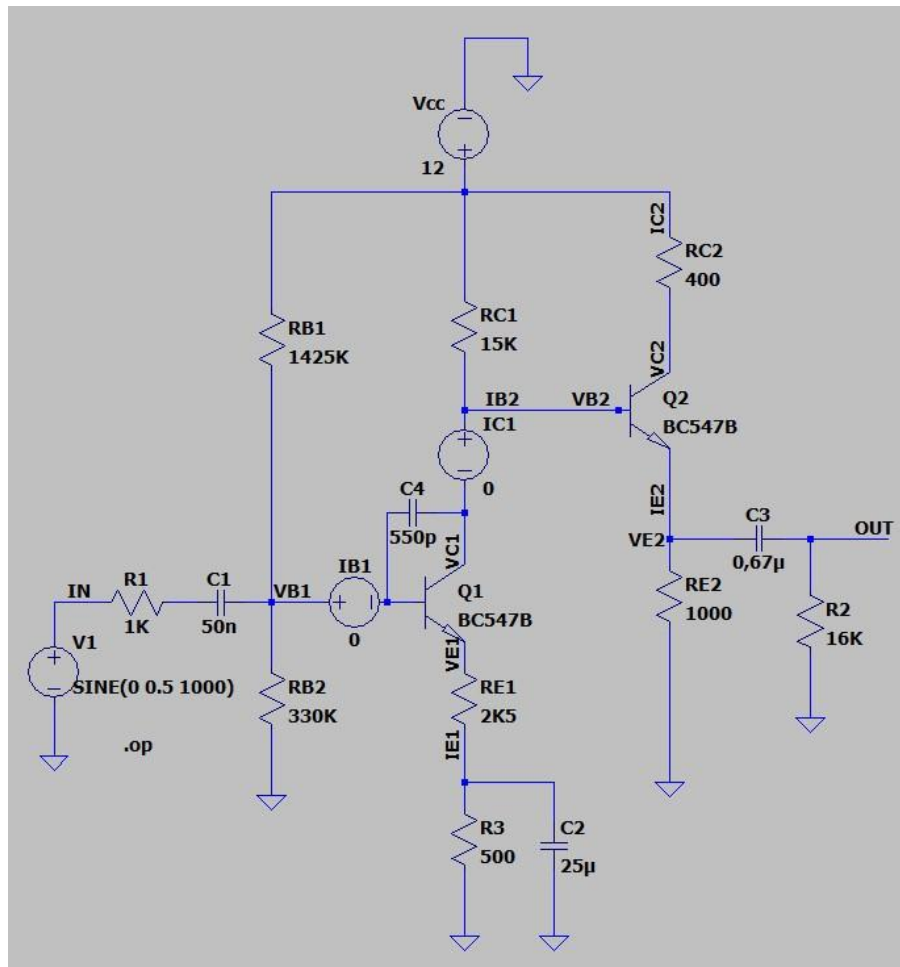
**Đo mạch ở chế độ DC:**



Ta chọn Simulate sau đó chọn Configure Analysis rồi chọn DC op pnt.



Tiến hành vẽ mạch mô phỏng trên phần mềm LTspice, mạch gồm 2 BJT BC547B được mắc theo kiểu mạch khuếch đại Cascade. Các giá trị sau khi đã chọn ở phần trên, ta tiến hành chạy mô phỏng để kiểm nghiệm lại các kết quả tính toán. Sau đây là sơ đồ mạch trong LTspice của nhóm chúng em.



Tiếp theo đó, ta bấm Run, ta thu được các thông số bên dưới đây.

--- Operating Point ---

V(ic2):	12	voltage
V(vb1):	1.87999	voltage
V(ve1):	1.26549	voltage
V(ie1):	0.210916	voltage
V(vb2):	5.45304	voltage
V(vc2):	10.0973	voltage
V(ve2):	4.77283	voltage
V(vc1):	5.45304	voltage
V(n002):	1.87999	voltage
V(in):	0	voltage
V(n001):	1.12799e-16	voltage
V(out):	5.11648e-12	voltage
Ic(Q1):	0.000420427	device_current
Ib(Q1):	1.40482e-06	device_current
Ie(Q1):	-0.000421832	device_current
Ic(Q2):	0.0047568	device_current
Ib(Q2):	1.6037e-05	device_current
Ie(Q2):	-0.00477283	device_current
I(C1):	1.12799e-19	device_current
I(C2):	8.85846e-19	device_current
I(C3):	-3.1978e-16	device_current
I(C4):	1.96518e-21	device_current
I(Rb1):	7.10176e-06	device_current
I(Rb2):	5.69694e-06	device_current
I(Re1):	0.000421832	device_current
I(Rc1):	0.000436464	device_current
I(Rc2):	0.0047568	device_current

### Transistor Q1:

+ Chênh lệch điện áp giữa hai chân B và E đo được:

$$V_{BE} = V_B - V_E = 1,87999 - 1,26549 = 0,6145(V)$$

+ Điện áp phân cực tĩnh:

$$V_{CE} = V_C - V_E = 5,45304 - 1,26549 = 4,18755(V)$$

+ Dòng  $I_{CQ}$  đo được:  $I_{CQ} = 0,420427(mA)$ .

+ Xác định hệ số khuếch đại dòng Q1:

$$hfe = \frac{I_C}{I_B} = \frac{0,420427 \times 10^{-3}}{1,40482 \times 10^{-6}} = 299,2746402 \approx 300$$

Qua đó, ta xác định được điểm hoạt động của BJT Q1: **Q1(4,19V; 0,42mA)**.

### Transistor Q2:

+ Chênh lệch điện áp giữa hai chân B và E đo được:

$$V_{BE} = V_B - V_E = 5,45304 - 4,77283 = 0,68021(V)$$

+ Điện áp phân cực tĩnh:

$$V_{CE} = V_C - V_E = 10,0973 - 4,77283 = 5,32447(V)$$

+ Dòng  $I_{CQ}$  đo được:  $I_{CQ} = 4,7568(mA)$ .

+ Xác định hệ số khuếch đại dòng Q2:

$$hfe = \frac{I_C}{I_B} = \frac{4,7568 \times 10^{-3}}{1,6037 \times 10^{-5}} = 296,6140799 \approx 300$$

Qua đó, ta xác định được điểm hoạt động của BJT Q2: **Q2(5,32V; 4,8mA)**.

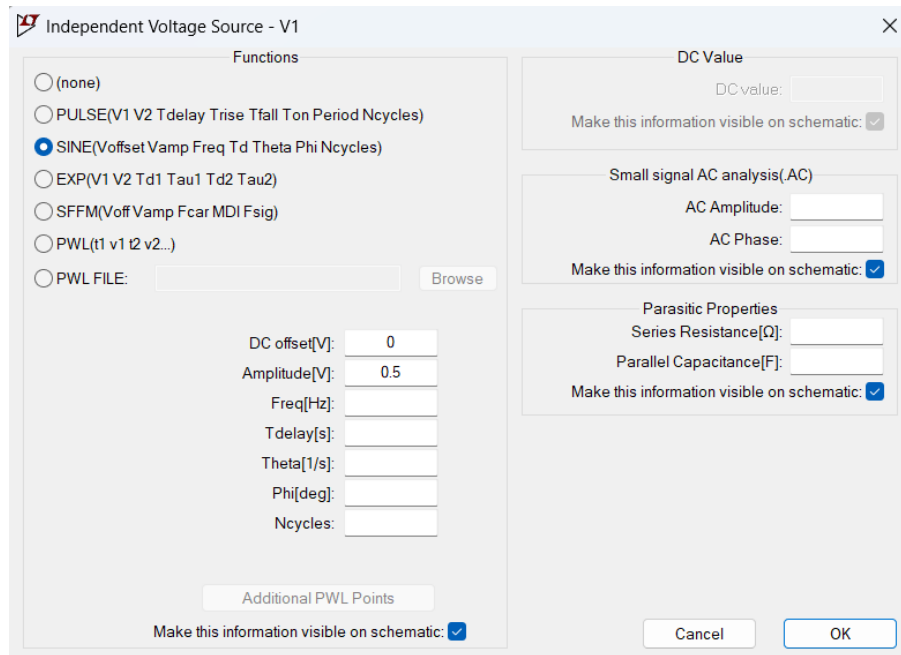
### Đo độ lợi áp:

Ta có công thức độ lợi áp:  $A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ . Để tính được độ lợi áp ta cần giá trị  $V_{out}$

và  $V_{in}$  do đó ta sẽ mô phỏng dạng sóng ngõ vào và ngõ ra.

*Đặt giá trị cho nguồn  $V_{in}$ .*

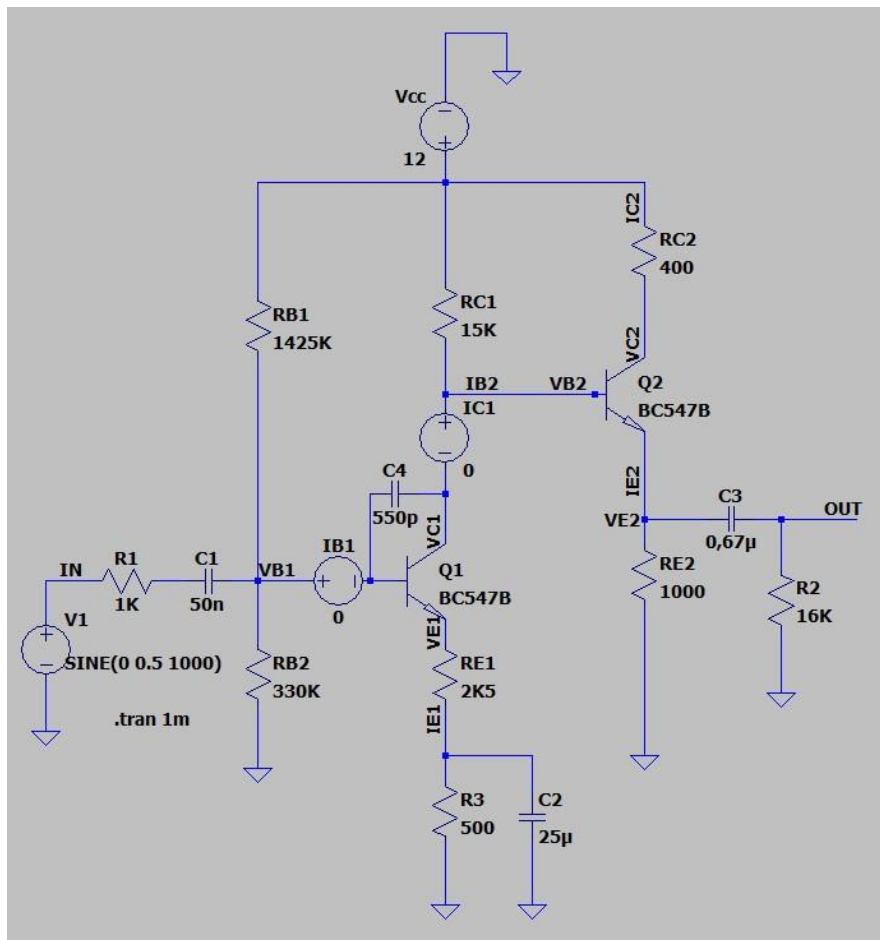
Nguồn  $V_{in}$  ta chọn SINE trong functions,  $V_{pp}=1V$  nên ta đặt giá trị 0.5V cho Amplitude và tần số 1000 Hz cho Freq.



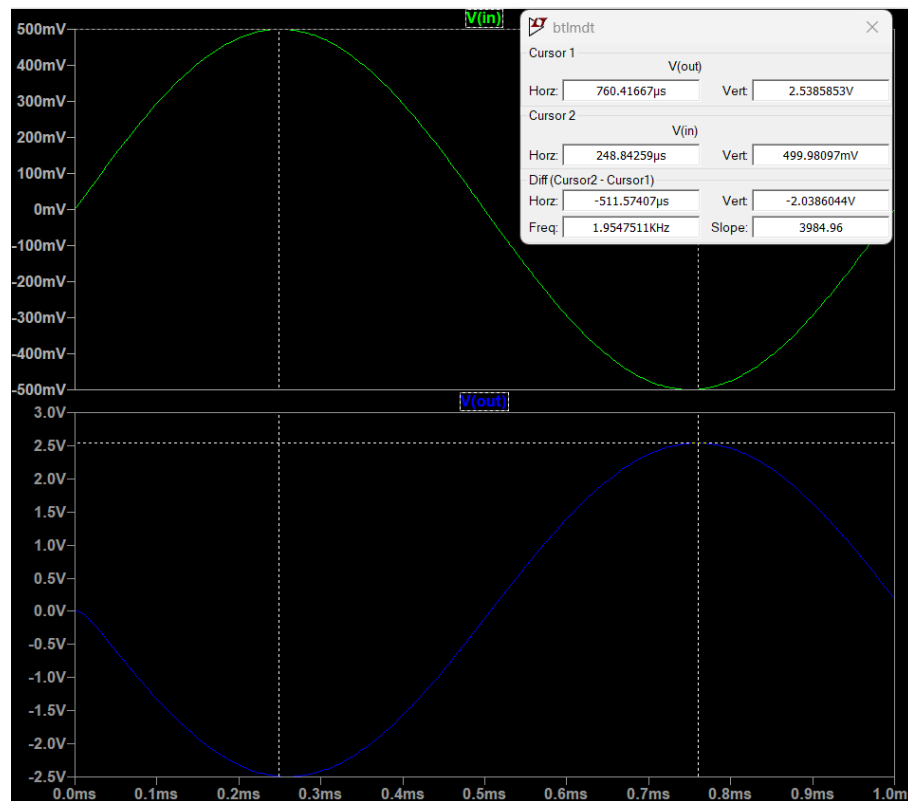
*Đặt chế độ mô phỏng.*

Ta chọn Simulate sau đó chọn Configure Analysis rồi chọn Transient. Đặt Stop time bằng 1m sau đó Run để chạy.

Mạch đo độ lợi Av:



Kết quả thu được:



Qua đó, ta đo được giá trị  $V_{out} = 2,5385853V$  và  $V_{in} = 0,499V$ .

Ta có công thức độ lợi áp:

$$|A_v| = \left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| = \frac{2,5385853}{0,499} = 5,087345291(V/V)$$

Do ngược pha nên  $A_v = -5,08734529(V/V)$ .

Theo lý thuyết  $A_v = -5(V/V)$ .

Ta tính được sai số:  $\sim 1,75\%$ .

### Đo tần số thấp và tần số cao:

*Đặt chế độ nguồn cho  $V_{in}$ .*

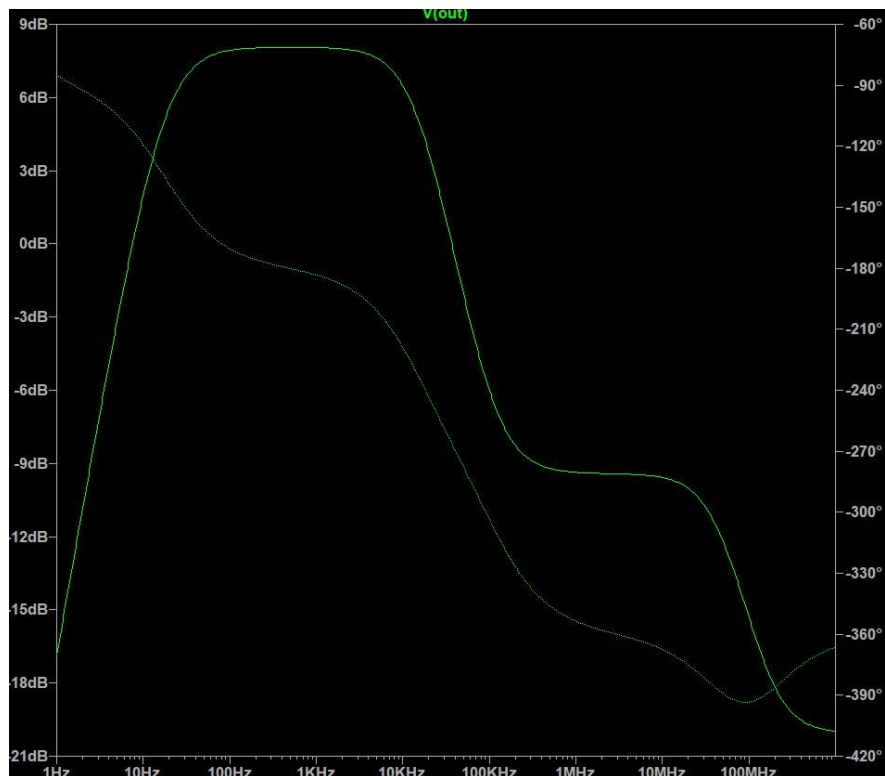
Ta chỉnh nguồn áp ở chế độ Small signal analysis (AC) với Amplitude là 0.5.

*Đặt chế độ mô phỏng.*

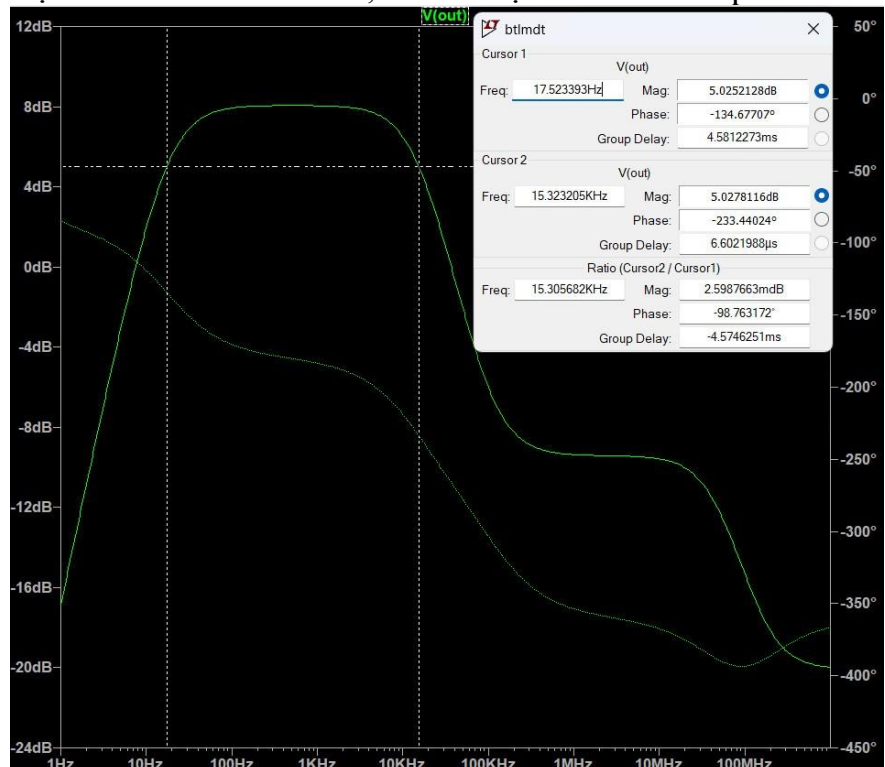
Ta chọn Simulate sau đó chọn Configure Analysis rồi chọn AC Analysis:



Ta thu được đồ thị như sau:



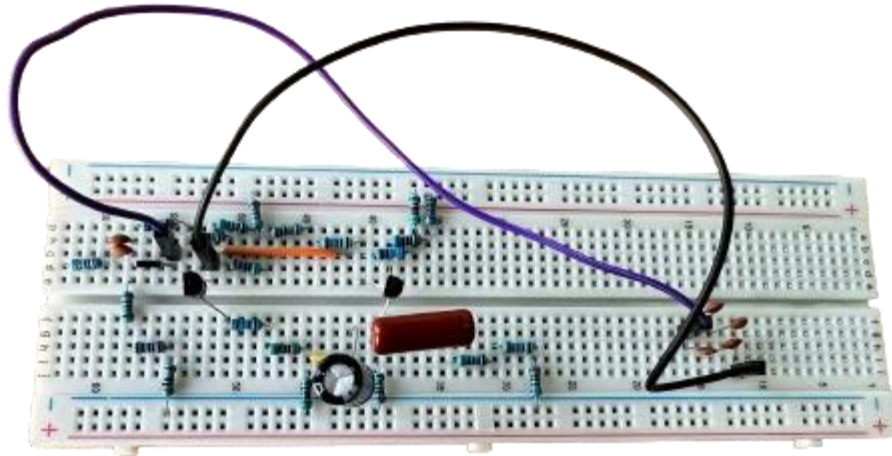
Đọc giá trị của đỉnh và trừ đi 3dB, ta thu được tần số cắt thấp và tần số cắt cao:



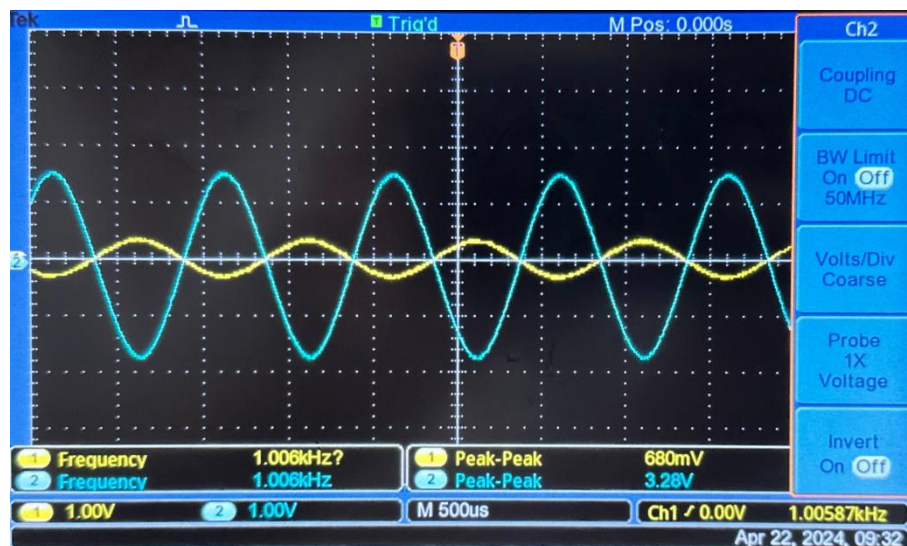
Đọc giá trị từ cursor1 và cursor2 ta có:  $f_L = 17,523393Hz$  và  $f_H = 15,323205KHz$ . Qua đó, theo mô phỏng ta có được băng thông trong khoảng 17,5Hz- 15,32KHz, đạt yêu cầu của đề tài.

### 3. Lắp đặt thực tế và thực hiện đo đạc qua máy phát sóng.

Sau khi tiến hành thực hiện các bước tính toán, thiết kế và mô phỏng mạch khuếch đại, nhóm chúng em bắt đầu tiến hành sử dụng các linh kiện được chọn phía trên để lắp đặt trên breadboard như hình vẽ sau:



Tiếp theo, ta kết nối mạch với máy phát sóng hình sine, tăng dần tần số từ 15Hz lên, ta thu được độ lợi  $A_m$  lớn nhất ở tần số 1,00587 kHz tương ứng với Hình 1.



Hình 1: Độ lợi lớn nhất thu được trên Oscilloscope.

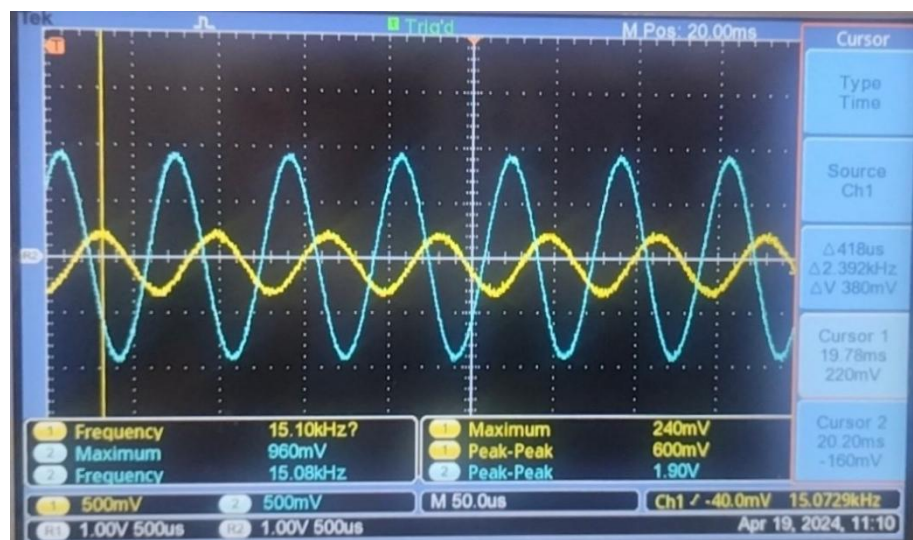


Từ độ lợi lớn nhất  $A_m$ , ta giảm tần số liên tục cho đến khi thu được độ lợi mới có giá trị  $\frac{A_m}{\sqrt{2}}$ . Ta thu được tần số cắt thấp  $f_L = 23,4269 \text{ Hz}$ .



Hình 2: Tần số cắt thấp thu được trên Oscilloscope.

Từ độ lợi lớn nhất  $A_m$ , ta tăng tần số liên tục cho đến khi thu được độ lợi mới có giá trị  $\frac{A_m}{\sqrt{2}}$ . Ta thu được tần số cắt cao  $f_H = 15,0729 \text{ kHz}$ .



Hình 3: Tần số cắt cao thu được trên Oscilloscope.

## LỜI KẾT THÚC

Trong thời gian thực hiện bài tập lớn mạch điện tử vừa qua, nhóm chúng em đã được tiếp xúc nhiều hơn với các phần mềm mô phỏng, các linh kiện điện tử và đặc biệt là khâu tính toán thiết kế. Sau khi được sự hướng dẫn của thầy qua các giờ học lý thuyết vào lúc 9 giờ sáng thứ 2 hàng tuần, nhóm chúng em đã từng bước đề ra những kế hoạch cụ thể và phân công nhiệm vụ hợp lý cho từng thành viên trong nhóm. Để có được một kết quả độ lợi gần bằng 5, trở kháng ngõ vào, ngõ ra và băng thông đều đáp ứng được theo yêu cầu đề tài, đó là một sự nỗ lực, đoàn kết, không ngừng trau dồi thêm tri thức của các thành viên trong nhóm. Tuy nhiên, trong lúc thực hiện mạch đôi lúc gặp nhiều thử thách không thể lường trước được. Vì thế, sau khi đã đọc qua bài báo cáo này, nhóm chúng em mong nhận được những lời góp ý vô cùng quý báu của thầy cũng như những lời nhận xét, để chúng em có thể hoàn thiện hơn sản phẩm bài tập lớn này nói riêng và các kiến thức liên quan đến mạch điện tử nói chung.

Sau hết, nhóm chúng em xin cảm ơn thầy một cách chân thành nhất vì đã tận tình hướng dẫn, chỉ bảo chúng em trong suốt thời gian qua. Chúc thầy thật nhiều sức khỏe và luôn thành công trong cuộc sống.