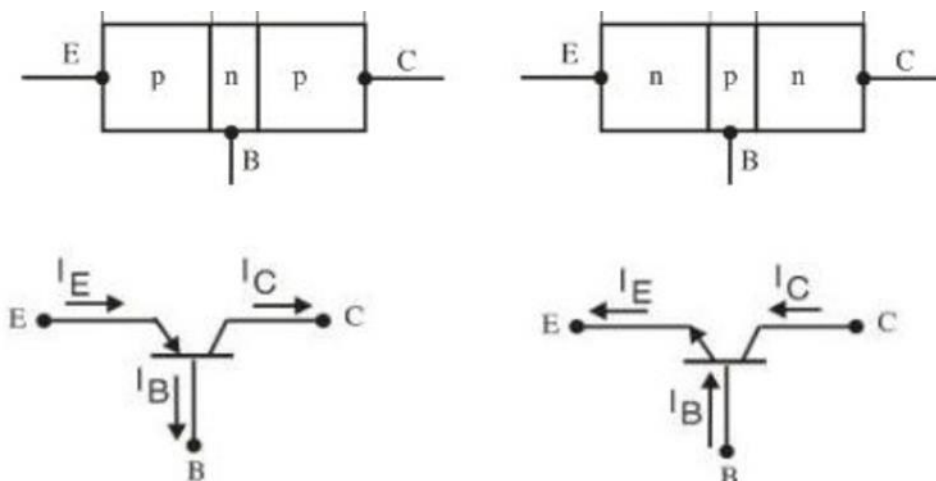


# I. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

## 1.1. Cấu tạo của BJT

Transistor lưỡng cực (hay BJT - Bipolar Junction Transistor) là linh kiện bán dẫn có cấu tạo cơ bản dựa trên 2 chuyển tiếp P-N. Linh kiện 3 điện cực này được sử dụng như một phần tử khuếch đại hoặc như một khóa điện tử. BJT là khối đơn vị cơ bản xây dựng nên cấu trúc mạch ở máy tính điện tử và tất cả các thiết bị điện tử hiện đại khác.

Transistor là một linh kiện bán dẫn 3 lớp, bao gồm 2 lớp bán dẫn loại N và một lớp bán dẫn loại P (gọi là Transistor NPN) hoặc gồm 2 lớp bán dẫn loại P và một lớp bán dẫn loại N (gọi là Transistor PNP).



*Cấu trúc và kí hiệu transistor PNP và NPN*

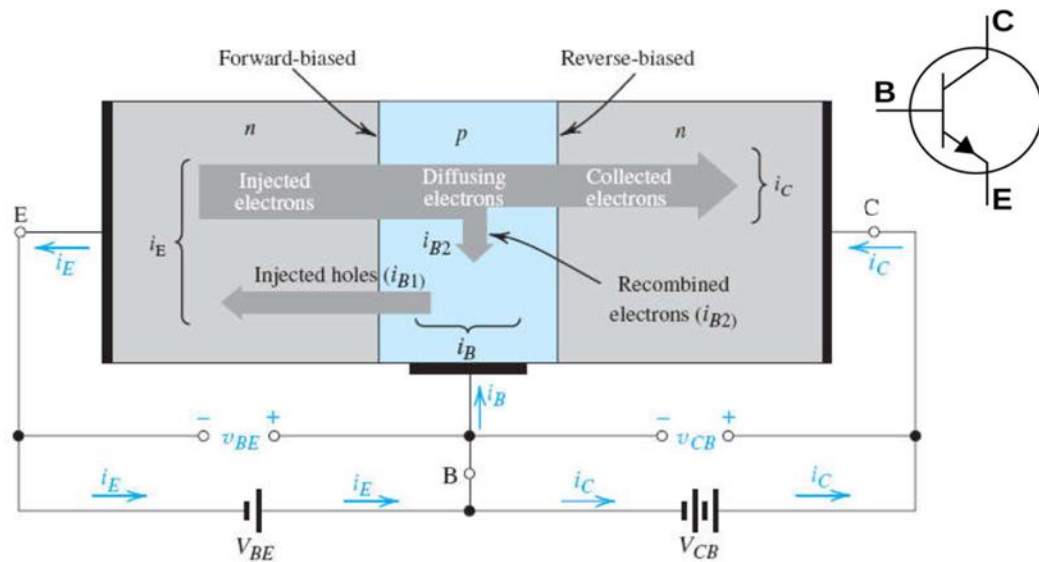
Các cực được kí hiệu bằng các kí tự **E** (**E**mitter – cực phát), **C** (**C**ollector – cực thu) và **B** (**B**ase – cực nền).

## 1.2. Nguyên lý hoạt động của BJT

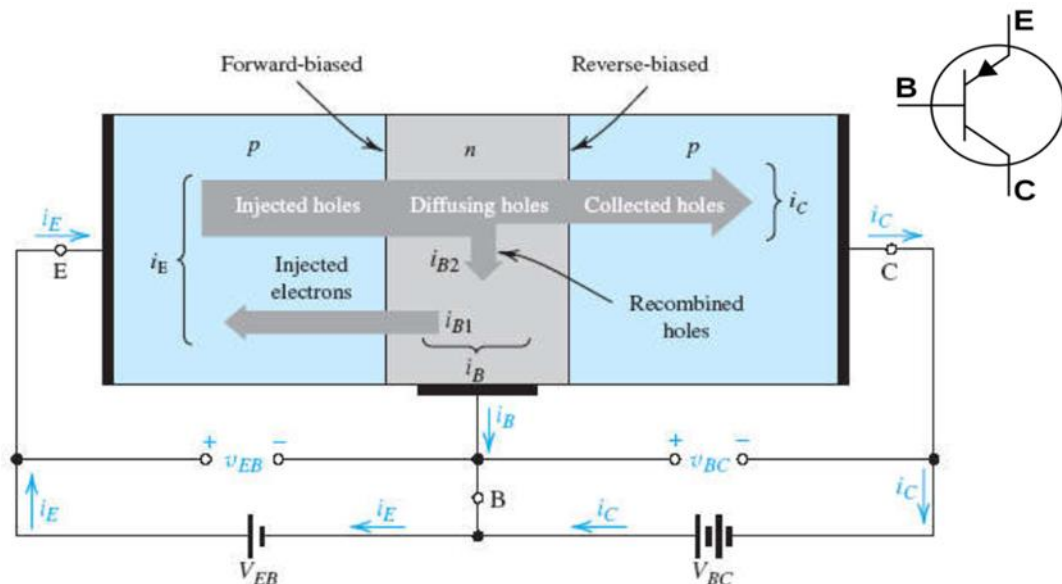
Nguyên lý hoạt động của BJT (Bipolar Junction Transistor) dựa trên việc điều khiển dòng điện qua các lớp bán dẫn của transistor bằng một dòng dẫn điện nhỏ hơn. BJT là loại transistor ba khối, gồm ba lớp bán dẫn là base, emitter và collector. Trong BJT, dòng điện chạy từ emitter tới collector và được điều khiển bởi một dòng dẫn điện điều khiển vào base.

Ở transistor NPN, khi dòng điện dương được đưa vào base, nó sẽ kích hoạt và tăng cường dòng điện dương chạy từ emitter tới collector. Phần lớn các hạt tải điện trong

NPN transistor là electrons, trong khi đối với transistor PNP là các lỗ trống điện tử (holes electrons). Tuy nhiên, dù khác nhau về loại hạt tải điện, nguyên lý hoạt động của NPN và PNP transistor lại tương tự nhau.



*BJT NPN ở chế độ khuếch đại*



*BJT PNP ở chế độ khuếch đại*

Trong BJT, số lượng điện tử cơ bản chịu trách nhiệm chỉ chiếm một phần nhỏ trong tổng số dòng điện chạy qua (đa số), phần lớn dòng điện được tạo ra bởi các điện tử không cơ bản (thiểu số). Khi một dòng dẫn điện vào base của transistor, điện trường được tạo ra giữa hai điốt, base và emitter (hoặc collector), và điện trường này sẽ điều khiển dòng điện chạy giữa hai diode. Do đó, BJT có thể được sử dụng để tạo ra các kết nối ampli, chuyển đổi tín hiệu, và như một công tắc trong các mạch điện tử.

Transistor NPN là một loại transistor gồm ba lớp bán dẫn, bao gồm hai lớp N (âm) được phân cách bởi một lớp P (dương). Chế độ hoạt động của transistor NPN bao gồm ba trạng thái chính: cắt, bão hòa và dẫn.

**Trạng thái cắt:** không có dòng điện chạy qua transistor vì hai điện cực của nó không được kết nối với nhau. Trong trạng thái này, transistor hoạt động như một vật cản cho dòng điện.

**Trạng thái bão hòa:** một điện áp được áp dụng giữa đầu vào (điện cực cực âm) và đầu ra (điện cực cực dương) của transistor, tạo ra một dòng điện cơ bản trong transistor. Trong trạng thái này, transistor hoạt động như một bộ khuếch đại dòng.

**Trạng thái dẫn:** một điện áp đủ lớn được áp dụng giữa đầu vào và đầu ra của transistor, tạo ra một dòng điện lớn trong transistor. Trong trạng thái này, transistor hoạt động như một công tắc hoặc bộ khuếch đại dòng lớn.

Trong một mạch điện, transistor NPN thường được sử dụng để khuếch đại hoặc chuyển đổi tín hiệu điện. Chế độ hoạt động của transistor NPN là rất quan trọng trong việc thiết kế các mạch điện tử.

### 1.3. Đặc tính của BJT

**Khuếch đại dòng:** BJT có thể được sử dụng để khuếch đại dòng, tức là đầu ra lớn hơn đầu vào. Điều này là do điện áp và dòng điện được kiểm soát bởi dòng cơ bản được điều khiển bởi dòng điều khiển.

**Điều khiển dòng bằng điện áp:** BJT có thể được điều khiển bằng một điện áp nhỏ tại cổng điều khiển, dẫn đến sự điều khiển dòng điện lớn hơn tại đầu ra.

**Tính chất tương tự:** BJT có thể được sử dụng để kết nối hai mạch điện có điện áp khác nhau với nhau, trong đó một mạch làm nguồn cấp điện và một mạch là đầu ra.

Điều này là do BJT có tính chất tương tự giống như tranzitor FET (Field Effect Transistor).

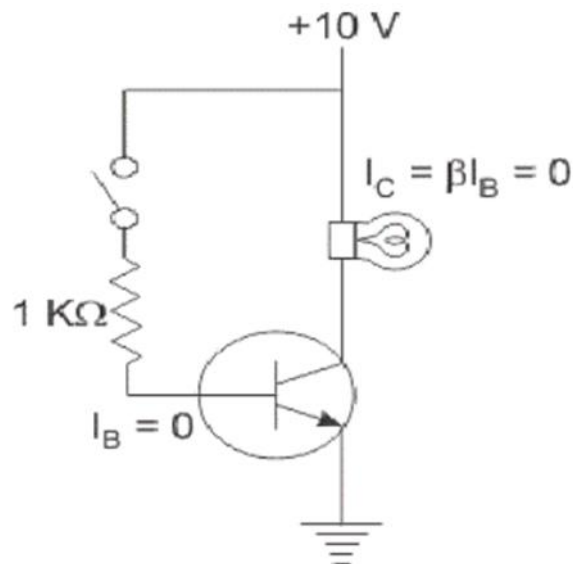
**Độ ổn định nhiệt độ tốt:** BJT có thể giữ độ ổn định tốt ở nhiệt độ cao, điều này giúp BJT có thể được sử dụng trong các mạch điện tử yêu cầu ổn định nhiệt độ.

#### 1.4. Ứng dụng của BJT

Có 2 loại ứng dụng của BJT là: công tắc và khuếch đại

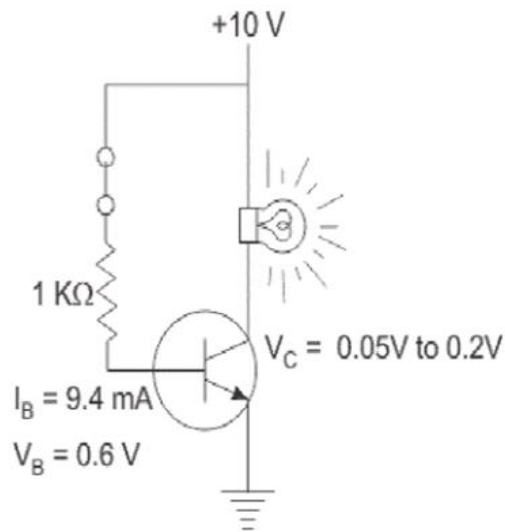
- **BJT làm công tắc:**

Đối với các ứng dụng làm công tắc, transistor được phân cực để hoạt động trong vùng bão hòa hoặc vùng cắt (cutoff). Transistor trong vùng cắt sẽ hoạt động như một công tắc mở trong khi ở trạng thái bão hòa sẽ hoạt động như một công tắc đóng.



*Công tắc mở*

Trong vùng cắt (cả hai điểm nối đều bị phân cực ngược) điện áp qua điểm nối CE rất cao. Điện áp đầu vào bằng 0 nên cả dòng điện cực gốc và dòng điện cực góp đều bằng 0, do đó điện trở được cung cấp bởi BJT rất cao (lý tưởng là vô hạn).

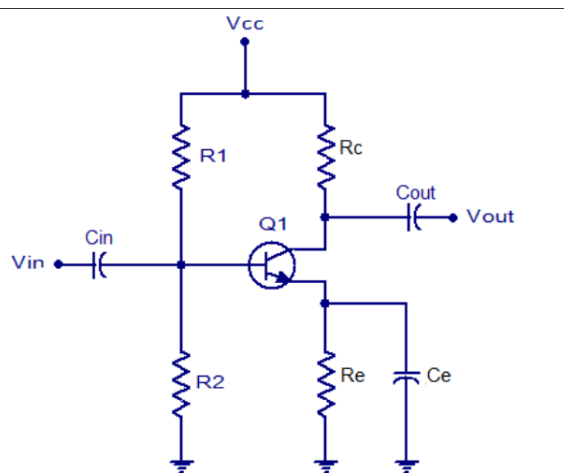


### *Công tắc đóng*

Ở trạng thái bão hòa (cả hai điểm nối đều được phân cực thuận) một điện áp đầu vào cao được đặt vào cực gốc. Giá trị của điện trở cực gốc được điều chỉnh sao cho dòng điện cực gốc lớn chạy qua. Có một điện áp rơi nhỏ qua đường giao nhau của cực góp cực phát từ 0,05 đến 0,2 V và dòng điện cực góp rất lớn. Một sụt giảm điện áp rất nhỏ diễn ra trên BJT và tương đương với một công tắc đóng.

- **BJT làm bộ khuếch đại:**

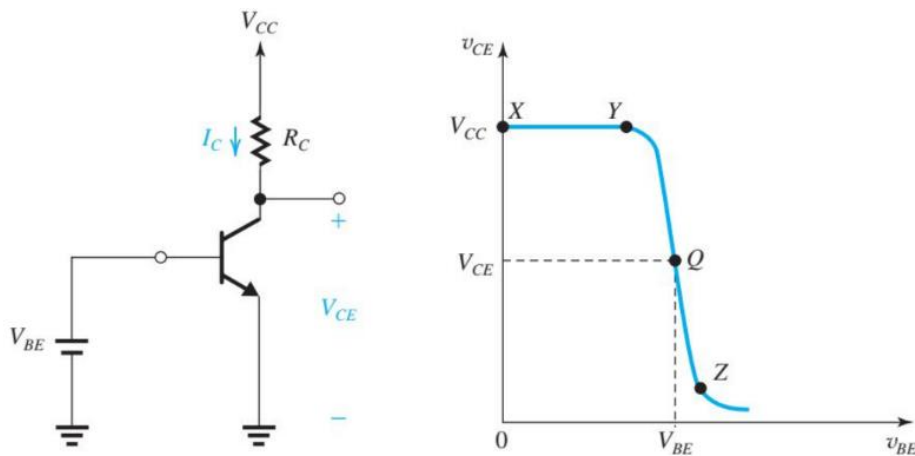
Hình dưới là một bộ khuếch đại CE một tầng.  $C_1$  và  $C_3$  là các tụ điện ghép nối (coupling), chúng được sử dụng để chặn thành phần DC và chỉ cho phần xoay chiều đi qua. Chúng cũng đảm bảo các điều kiện phân cực DC của BJT không thay đổi ngay cả khi đầu vào được đặt.  $C_2$  là tụ điện bypass làm tăng độ lợi điện áp và bỏ qua điện trở  $R_4$  cho tín hiệu AC.



BJT được phân cực trong vùng hoạt động bằng cách sử dụng các thành phần phân cực cần thiết. Điểm Q được tạo ra ổn định trong vùng hoạt động của transistor. Khi đầu vào được đặt như hình dưới đây, dòng điện cực gốc bắt đầu thay đổi lên và xuống, do đó dòng điện cực góp cũng thay đổi khi  $I_C = \beta \times I_B$ . Do đó điện áp trên  $R_C$  thay đổi khi dòng điện cực góp đi qua nó. Điện áp trên  $R_C$  là điện áp được khuếch đại và cách nhau  $180^\circ$  so với tín hiệu đầu vào. Do đó điện áp trên  $R_C$  được ghép nối với tải và quá trình khuếch đại diễn ra. Nếu điểm Q được duy trì ở tâm tải thì sẽ có rất ít hoặc không xảy ra hiện tượng méo dạng sóng. Điện áp cũng như độ lợi dòng điện của bộ khuếch đại CE cao (độ lợi là hệ số mà điện áp của dòng điện tăng từ đầu vào đến đầu ra). Nó thường được sử dụng trong radio và làm bộ khuếch đại điện áp tần số thấp.

### 1.5. Các mạch khuếch đại cơ bản thường gặp

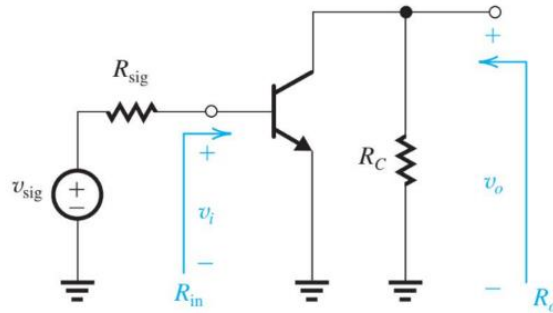
Mạch khuếch đại là mạch điện tử trong đó với một sự biến đổi nhỏ của đại lượng điện ở đầu vào sẽ gây ra sự biến đổi lớn của đại lượng điện ở đầu ra. Các phần tử cơ bản của mạch điện là BJT hay FET,... Dùng BJT để làm mạch khuếch đại, khi đó ta cần thiết kế sao cho BJT hoạt động ở chế độ active mode (tức là điểm làm việc tĩnh nằm ở vùng active).



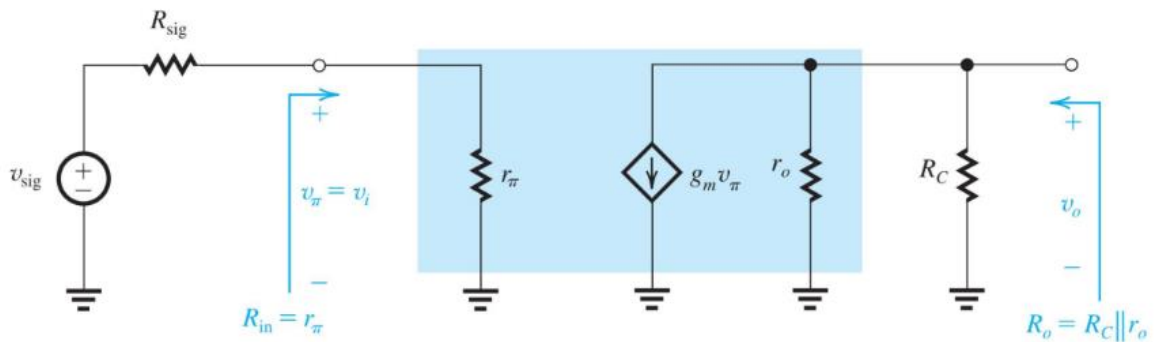
\* Các mạch khuếch đại cơ bản:

#### a. Mạch khuếch đại ghép E chung (Common Emitter - CE)

Mạch khi xét ở chế độ AC có dạng:



Mạch tương đương tín hiệu nhỏ:



$$R_{in} = r_{\pi}; R_o = R_C // r_o \approx R_C$$

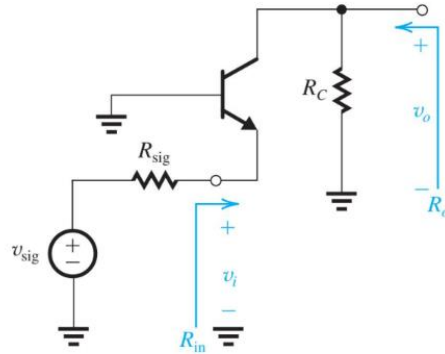
$$A_V = \frac{v_o}{v_i} = -g_m(R_C // r_o) \approx -g_m R_C; G_V = \frac{v_o}{v_{sig}} = -\frac{r_{\pi}}{r_{\pi} + R_{sig}} g_m(R_C // r_o)$$

- Đặc điểm thường có của mạch:

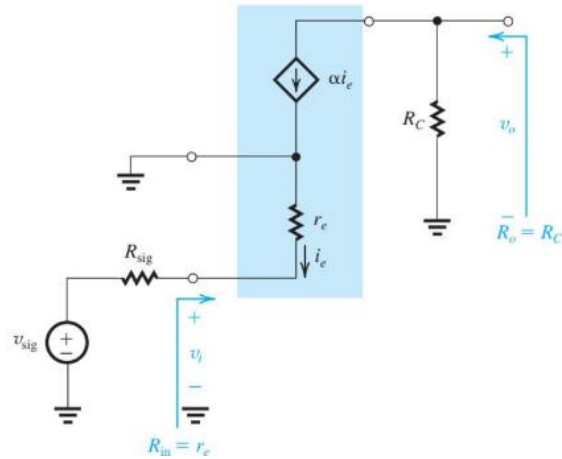
- + Tổng trở vào ( $R_i$ ) khoảng vài  $K\Omega$
- + Tổng trở ra ( $R_o$ ) từ vài chục  $K\Omega$  đến vài trăm  $K\Omega$
- + Hệ số khuếch đại dòng điện ( $A_i$ ): lớn từ vài chục đến hàng trăm lần
- + Hệ số khuếch đại điện áp ( $A_v$ ): lớn cỡ hàng trăm lần
- + Điện áp ra ( $V_o$ ) ngược pha so với điện áp vào ( $V_i$ )
- + Dải thông của mạch hẹp

## b. Mạch khuếch đại ghép B chung (Common Base - CB)

Mạch khi xét ở chế độ AC có dạng:



Mạch tương đương tín hiệu nhỏ:



$$R_{in} = r_e; R_o \approx R_C$$

$$A_V = \frac{v_o}{v_i} = g_m R_C; G_V = \frac{v_o}{v_{sig}} = \frac{r_e}{r_e + R_{sig}} g_m R_C$$

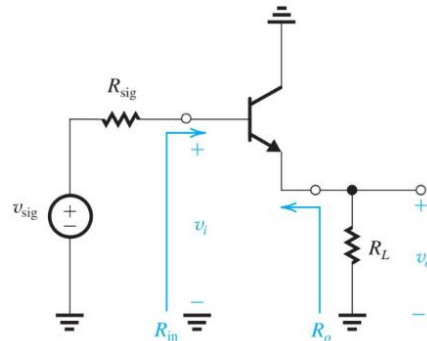
- Đặc điểm thường có của mạch:

- + Tổng trở vào ( $R_i$ ) khoảng vài chục  $\Omega$
- + Tổng trở ra ( $R_o$ ) vài trăm  $K\Omega$
- + Hệ số khuếch đại dòng điện ( $A_i$ ): nhỏ, xấp xỉ 1
- + Hệ số khuếch đại điện áp ( $A_v$ ): lớn cỡ hàng trăm lần
- + Điện áp ra ( $V_o$ ) cùng pha so với điện áp vào ( $V_i$ )
- + Dải thông của mạch rộng

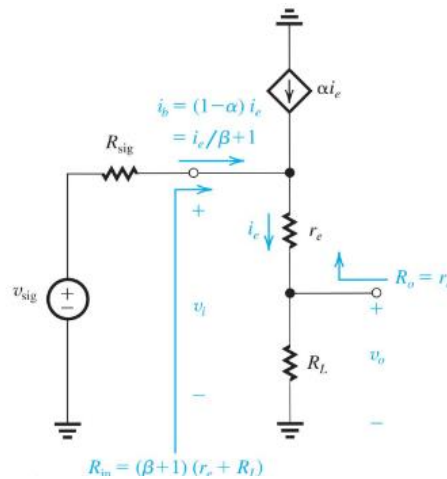


### c. Mạch khuếch đại ghép C chung (*Common Collector – CC*)

Mạch khi xét ở chế độ AC có dạng:



Mạch tương đương tín hiệu nhỏ (xem  $r_o$  rất lớn  $\rightarrow$  bỏ qua):



$$R_{in} = (\beta + 1)(r_e + R_L); R_o = r_e$$

$$A_V = \frac{v_o}{v_i} = \frac{R_L}{r_e + R_L}$$

- Đặc điểm thường có của mạch:

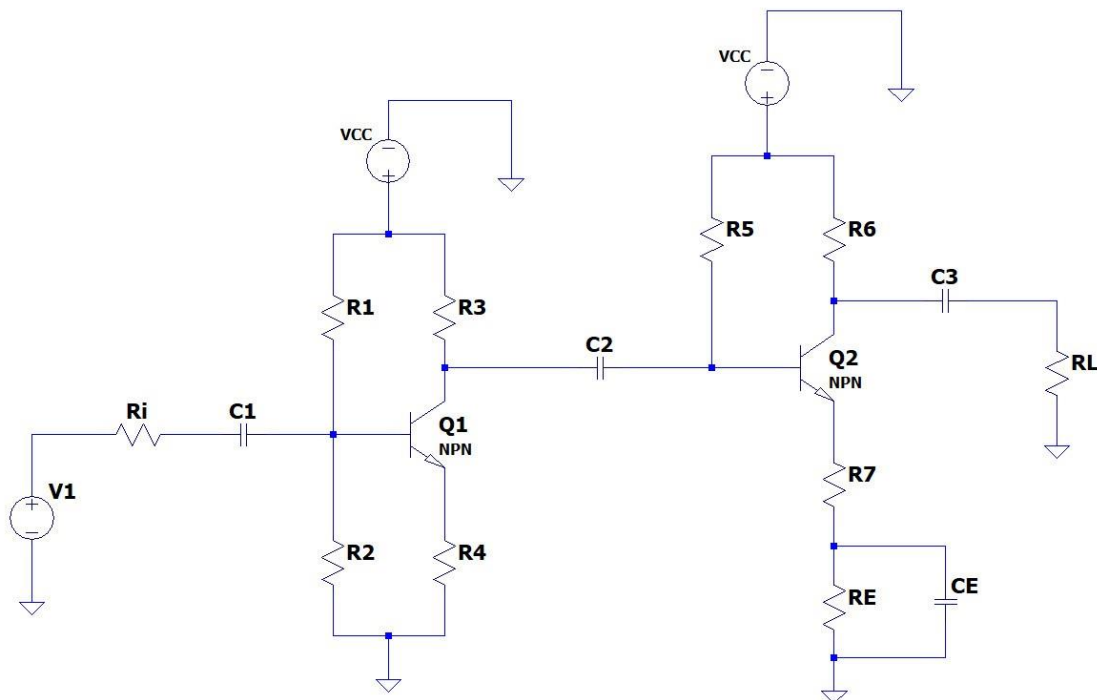
- + Tổng trở vào ( $R_i$ ) khoảng vài  $K\Omega$
- + Tổng trở ra ( $R_o$ ) khoảng vài chục  $\Omega$
- + Hệ số khuếch đại dòng điện ( $A_i$ ): lớn, từ vài chục đến hàng trăm lần
- + Hệ số khuếch đại điện áp ( $A_v$ ): nhỏ, xấp xỉ 1
- + Điện áp ra ( $V_o$ ) cùng pha so với điện áp vào ( $V_i$ )
- + Dải thông của mạch trung bình

## II. CƠ SỞ TÍNH TOÁN, BIỆN LUẬN CÁC GIÁ TRỊ, THÔNG SỐ CỦA MẠCH

Để đáp ứng điện trở vào cao ( $R_i > 100k\Omega$ ), điện trở ngõ ra thấp ( $R_{out} \leq 1k\Omega$ ) với độ lợi  $A_V = 10$ ; và để đảm bảo tín hiệu ngõ ra cùng pha với tín hiệu ngõ vào (đảm bảo giữ được các tính chất cơ bản của tín hiệu đầu vào)  $\Rightarrow$  Ta sử dụng mạch khuếch đại Cascade CE-CE với các thông số trở của hai mạch khác nhau để đảm bảo các yêu cầu đặt ra của đề bài.

Với yêu cầu đề là  $R_s = 1k\Omega$  nhóm chọn giá trị  $R = 1k\Omega$  để thỏa mãn đề bài. Chọn giá trị ngõ vào là  $1V$  ( $V_{p-p}$ ) để thuận tiện cho ngõ vào lớn nhất mà mạch có thể đáp ứng.

Và dưới đây là dạng mạch mà nhóm em đã sử dụng để tiến hành thiết kế:



### 2.1. Chọn BJT để thiết kế mạch

Vì tính dễ hoạt động, dễ tìm và chi phí rẻ nên nhóm lựa chọn BJT 2N222 để thiết kế mạch.

Datasheet:

## P2N2222A

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>				
Collector - Emitter Breakdown Voltage ( $I_C = 10\text{ mA}$ , $I_B = 0$ )	$V_{(BR)CEO}$	40	—	Vdc
Collector - Base Breakdown Voltage ( $I_C = 10\text{ }\mu\text{A}$ , $I_E = 0$ )	$V_{(BR)CBO}$	75	—	Vdc
Emitter - Base Breakdown Voltage ( $I_E = 10\text{ }\mu\text{A}$ , $I_C = 0$ )	$V_{(BR)EBO}$	6.0	—	Vdc
Collector Cutoff Current ( $V_{CE} = 60\text{ Vdc}$ , $V_{EB(off)} = 3.0\text{ Vdc}$ )	$I_{CEX}$	—	10	nAdc
Collector Cutoff Current ( $V_{CB} = 60\text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ ) ( $V_{CB} = 60\text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ , $T_A = 150^\circ\text{C}$ )	$I_{CBO}$	— —	0.01 10	$\mu\text{Adc}$
Emitter Cutoff Current ( $V_{EB} = 3.0\text{ Vdc}$ , $I_C = 0$ )	$I_{EBO}$	—	10	nAdc
Collector Cutoff Current ( $V_{CE} = 10\text{ V}$ )	$I_{CEO}$	—	10	nAdc
Base Cutoff Current ( $V_{CE} = 60\text{ Vdc}$ , $V_{EB(off)} = 3.0\text{ Vdc}$ )	$I_{BEX}$	—	20	nAdc
<b>ON CHARACTERISTICS</b>				
DC Current Gain ( $I_C = 0.1\text{ mA}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ ) ( $I_C = 1.0\text{ mA}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ ) ( $I_C = 10\text{ mA}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ ) ( $I_C = 10\text{ mA}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $T_A = -55^\circ\text{C}$ ) ( $I_C = 150\text{ mA}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ ) (Note 1) ( $I_C = 150\text{ mA}$ , $V_{CE} = 1.0\text{ Vdc}$ ) (Note 1) ( $I_C = 500\text{ mA}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ ) (Note 1)	$h_{FE}$	35 50 75 35 100 50 40	— — — — 300 — —	—
Collector - Emitter Saturation Voltage (Note 1) ( $I_C = 150\text{ mA}$ , $I_B = 15\text{ mA}$ ) ( $I_C = 500\text{ mA}$ , $I_B = 50\text{ mA}$ )	$V_{CE(sat)}$	— —	0.3 1.0	Vdc
Base - Emitter Saturation Voltage (Note 1) ( $I_C = 150\text{ mA}$ , $I_B = 15\text{ mA}$ ) ( $I_C = 500\text{ mA}$ , $I_B = 50\text{ mA}$ )	$V_{BE(sat)}$	0.6 —	1.2 2.0	Vdc
<b>SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS</b>				
Current - Gain - Bandwidth Product (Note 2) ( $I_C = 20\text{ mA}$ , $V_{CE} = 20\text{ Vdc}$ , $f = 100\text{ MHz}$ )	$f_T$	300	—	MHz
Output Capacitance ( $V_{CB} = 10\text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ , $f = 1.0\text{ MHz}$ )	$C_{obo}$	—	8.0	pF
Input Capacitance ( $V_{EB} = 0.5\text{ Vdc}$ , $I_C = 0$ , $f = 1.0\text{ MHz}$ )	$C_{ibo}$	—	25	pF
Input Impedance ( $I_C = 1.0\text{ mA}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ ) ( $I_C = 10\text{ mA}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ )	$h_{ie}$	2.0 0.25	8.0 1.25	k $\Omega$
Voltage Feedback Ratio ( $I_C = 1.0\text{ mA}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ ) ( $I_C = 10\text{ mA}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ )	$h_{re}$	— —	8.0 4.0	$\times 10^{-4}$
Small-Signal Current Gain ( $I_C = 1.0\text{ mA}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ ) ( $I_C = 10\text{ mA}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ )	$h_{fe}$	50 75	300 375	—
Output Admittance ( $I_C = 1.0\text{ mA}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ ) ( $I_C = 10\text{ mA}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ )	$h_{oe}$	5.0 25	35 200	$\mu\text{Mhos}$
Collector Base Time Constant ( $I_E = 20\text{ mA}$ , $V_{CB} = 20\text{ Vdc}$ , $f = 31.8\text{ MHz}$ )	$\tau_{b'c}$	—	150	ps
Noise Figure ( $I_C = 100\text{ }\mu\text{A}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $R_B = 1.0\text{ k}\Omega$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ )	$N_F$	—	4.0	dB

1. Pulse Test: Pulse Width  $\leq 300\text{ }\mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2.0\%$ .

2.  $f_T$  is defined as the frequency at which  $|h_{fe}|$  extrapolates to unity.

Sau khi đã chọn BJT, chúng em sẽ tìm các thông số của điện trở cho tầng đệm:

Chọn điểm hoạt động của BJT 2N2222 thứ 1: Q ( $I_{CQ1}$ ,  $V_{CEQ1}$ ) = (2mA, 5V),  $\beta_1 = 200$

Chọn  $V_{CC} = 18V$ , chọn  $V_{CEQ1} = 3.3k\Omega$ ,  $R_2 = 330k\Omega$

Ta có:

$$\text{Mặt khác: } V_{CC} = I_{C_1} \cdot (R_3 + R_4) + V_{CE_1}$$

$$18 = 2 \cdot 10^{-3} \cdot (R_3 + 3,3k) + 5$$

$$\Rightarrow R_3 = 3.2k \Rightarrow \text{Chọn } R_3 = 3.3k\Omega$$

Và

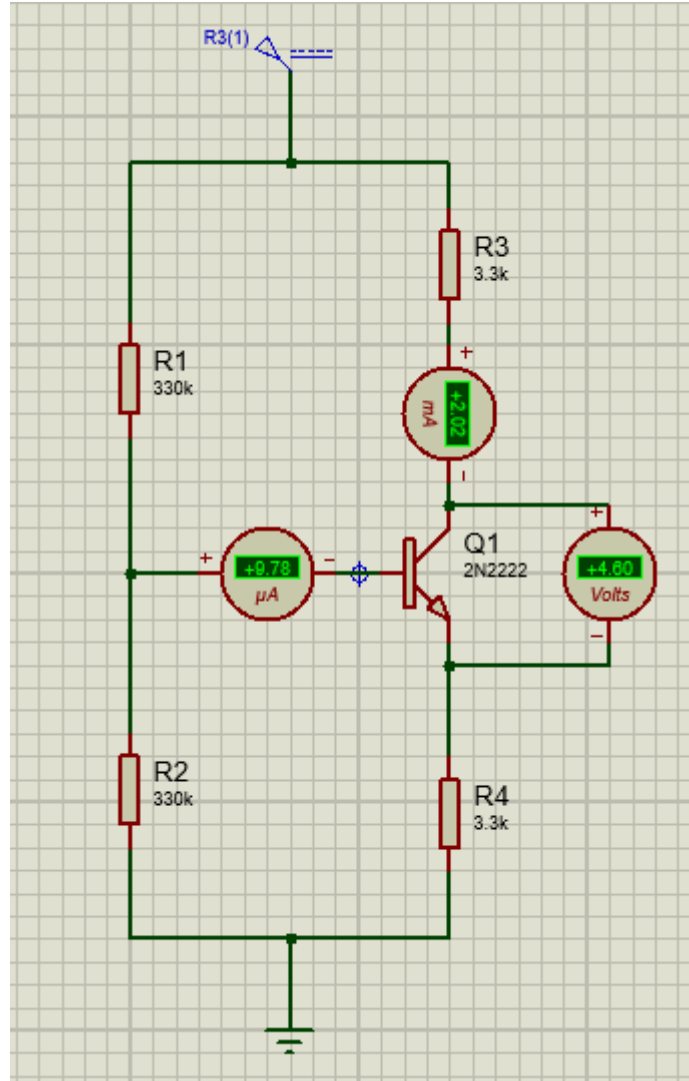
$$V_{th} = \frac{I_{C_1}}{\beta_1} \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + I_{C_1} \cdot R_4 + 0,7$$

$$\Leftrightarrow 18 \cdot \frac{330 \cdot 10^3}{R_1 + 330 \cdot 10^3} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{200} \cdot \frac{R_1 \cdot 330 \cdot 10^3}{R_1 + 330 \cdot 10^3} + 2 \cdot 10^{-3} \cdot 3,3 \cdot 10^3 + 0,7$$

$$\rightarrow R_1 = 333k\Omega. \text{ Chọn } R_1 = 330k\Omega$$

Sau khi có các giá trị điện trở của phần mạch CE đầu tiên nhóm em tiến hành vẽ lại mạch trên mô phỏng proteus và cung cấp nguồn 18V DC để tính và kiểm chứng lại giá trị của  $\beta_1$  và tính toán giá trị của  $R_{\pi_1}$ .

Mạch mô phỏng của đoạn mạch này ở chế độ DC là:



Từ các thông số của đồng hồ DC, nhóm em tính được:

$$\beta_1 = \frac{I_{CQ1}}{I_{B1}} = \frac{2mA}{10\mu A} = 200$$

Từ đó tìm được giá trị:

$$r_{\pi 1} = \beta_1 \times \frac{V_T}{I_{CQ1}} = 200 \times \frac{25mV}{2mA} = 2.5k\Omega$$

Tiến hành tính toán lại giá trị  $Z_{in}$  ta có giá trị:

$$Z_{in} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{r_{\pi 1} + (\beta_1 + 1) \times R_4}}$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{330k} + \frac{1}{330k} + \frac{1}{2.5k + (200 + 1) \times 3.3k}} = 132.23k\Omega$$

⇒ Thỏa mãn được yêu cầu của đề bài về phần  $Z_{in} > 100k\Omega$

### 2.3. Tầng khuếch đại

Đối với đoạn mạch CE thứ 2: Đoạn mạch chính để đáp ứng độ lợi của toàn mạch.

Chọn điểm hoạt động của BJT 2N2222 thứ 2: Q ( $I_{CQ2}, V_{CEQ2}$ ) = (9mA, 6V),  $\beta_2 = 200$

Với sơ đồ tương đương như hình dưới và đáp ứng yêu cầu  $Z_{out} < 1k\Omega$ , nhóm em tiến hành chọn giá trị cho  $R_{C2} = 990\Omega$  để vừa đảm bảo giá trị ngõ ra thỏa mãn yêu cầu đề bài và độ lợi của toàn mạch đạt giá trị lớn khả quan.

Chọn  $V_{CC}=18V$ , chọn  $R_6 = 990\Omega$

Ta có:

$$V_{CC} = I_{CQ2} \cdot (R_6 + R_7) + V_{CEQ2}$$

$$18 = 9 \cdot 10^{-3} \cdot (990 + R_7) + 6$$

$$\Rightarrow R_7 = 350\Omega$$

$$\Rightarrow \text{Để đảm bảo độ lợi của toàn mạch là 10 thì giá trị của điện trở } R_{E3} < \frac{R_{C2}}{10} = 99\Omega$$

Nhóm em lựa chọn giá trị của trở  $R_7 = 66\Omega$ ;  $R_E = 330\Omega$ .

Và

$$V_{CC} = \frac{I_{CQ2}}{\beta_2} \cdot R_5 + I_{CQ2} \cdot R_7 + 0,7$$

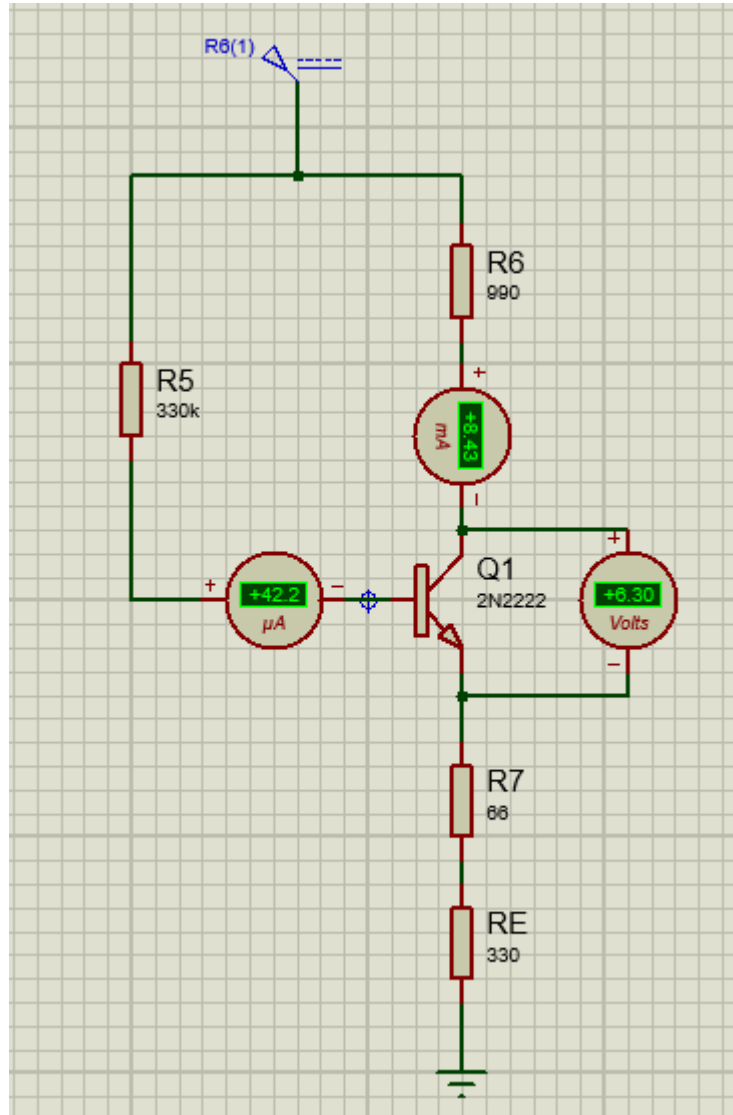
$$18 = \frac{9 \times 10^{-3}}{200} \cdot R_5 + 9 \times 10^{-3} \cdot 350 + 0.7$$

$$\Rightarrow R_5 = 305k\Omega \text{ . Chọn } R_5 = 330k\Omega$$

Sau khi có các giá trị điện trở của phần mạch CE thứ hai nhóm em tiến hành vẽ lại mạch trên mô phỏng proteus và cung cấp nguồn 18VDC để tính và kiểm chứng lại

giá trị của  $\beta_2$  và tính toán giá trị của  $r_{\pi 2}$

Mạch mô phỏng của đoạn mạch này ở chế độ DC là:



Từ các thông số của đồng hồ DC, nhóm em tính được:

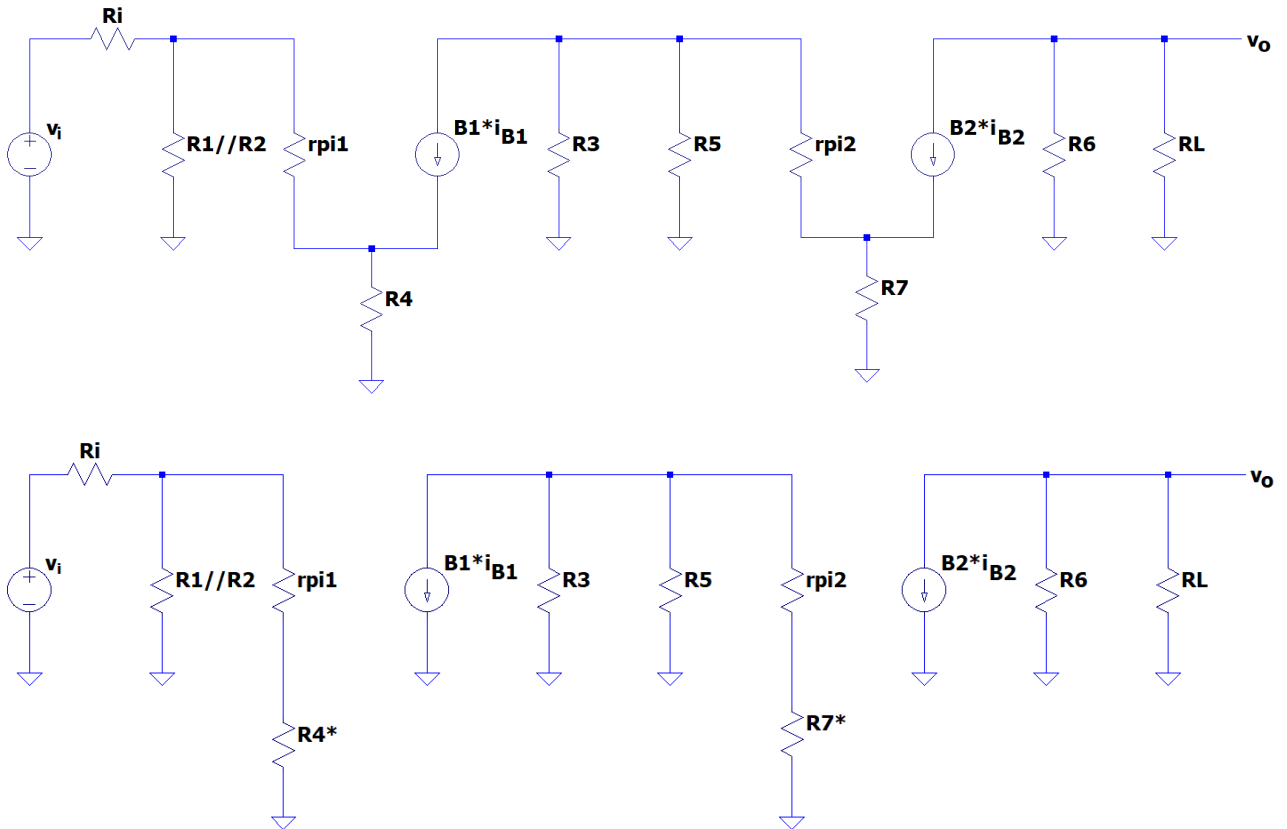
$$\beta_2 = \frac{I_{CQ2}}{I_B} = \frac{8.43mA}{42.2\mu A} = 200$$

Từ đó tìm được giá trị:

$$r_{\pi 2} = \beta_2 \times \frac{V_T}{I_{CQ2}} = 200 \times \frac{25mV}{8.43mA} = 593\Omega$$

❖ **Khảo sát AC: Tín hiệu dây giữa:**

Sơ đồ tương đương AC:



Ta có:

$$r_{\pi 1} = 2,5k\Omega; R_4 = (\beta_1 + 1) \cdot R_4 = 201.3,3k\Omega = 663,3k\Omega;$$

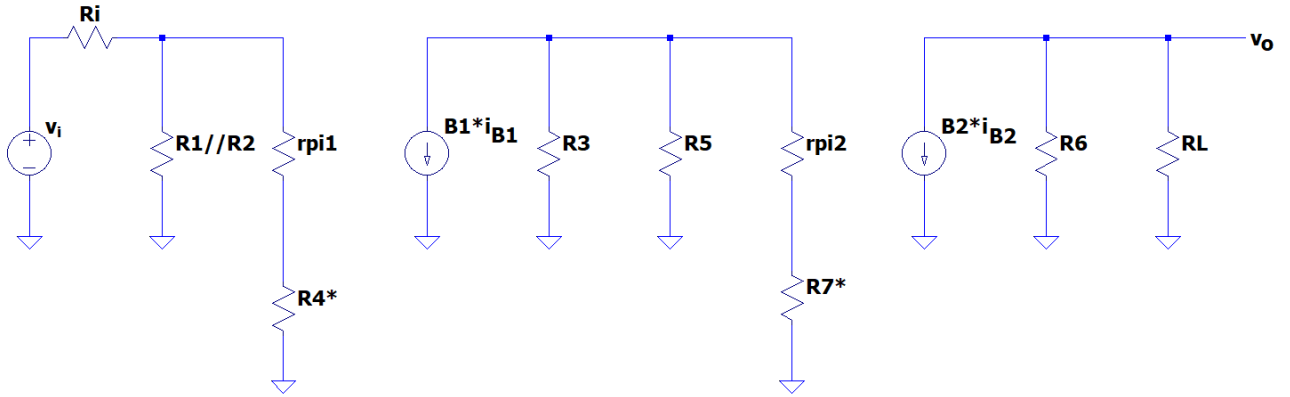
$$R_{12} = R_1 || R_2 = 165k\Omega;$$

$$r_{\pi 2} = 556\Omega; R_7 = (\beta_2 + 1) \cdot R_7 = 201.66\Omega = 13,3k\Omega;$$

$$R_{35} = R_3 || R_5 = 3,3k\Omega$$



## 2.4. Tín hiệu dây giữa:



Ta có:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_o}{\beta_2 i_{b2}} \cdot \frac{\beta_2 i_{b2}}{i_{b2}} \cdot \frac{i_{b2}}{\beta_1 i_{b1}} \cdot \frac{\beta_1 i_{b1}}{i_{b1}} \cdot \frac{i_{b1}}{v_i}$$

Trong đó:

$$\frac{V_o}{\beta_2 i_{b2}} = -(R_L \parallel R_6)$$

$$\frac{\beta_2 i_{b2}}{i_{b2}} = \beta_2$$

$$\frac{i_{b2}}{\beta_1 i_{b1}} = -\frac{(R_3 \parallel R_5)}{r_{\pi 2} + R_7(\beta_2 + 1) + (R_3 \parallel R_5)}$$

$$\frac{\beta_1 i_{b1}}{i_{b1}} = \beta_1$$

$$\frac{i_{b1}}{V_i} = R_i \frac{1}{\frac{(R_1 \parallel R_2) + r_{\pi 1} + R_4(\beta_1 + 1)}{(R_1 \parallel R_2)} + r_{\pi 1} + R_4(\beta_1 + 1)}$$

Suy ra:

$$A_v = -R_L \parallel R_6 \times \beta_2 \times \left( -\frac{R_3 \parallel R_5}{r_{\pi 2} + R_7^* + R_{35}} \right) \times \beta_1 \times \frac{R_i}{\frac{R_{12} + r_{\pi 1} + R_4^*}{R_{12}} + r_{\pi 1} + R_4^*}$$

$$A_v = -(10k \parallel 990k) \times 200 \times \frac{3.3k}{593 + 13.3k + 3.3k} \times 200 \\ \times \frac{1k}{\frac{165k + 2.5k + 663.3k}{165k} + 2.5k + 663.3k}$$

Mà  $A_v = 10$

Nên  $(R_L \parallel R_6) = 0.9k\Omega$

Suy ra:  $R_L = 9.9k\Omega$

Vậy ta chọn điện trở  $R_L$  trong thực tế có giá trị bằng  $10k\Omega$

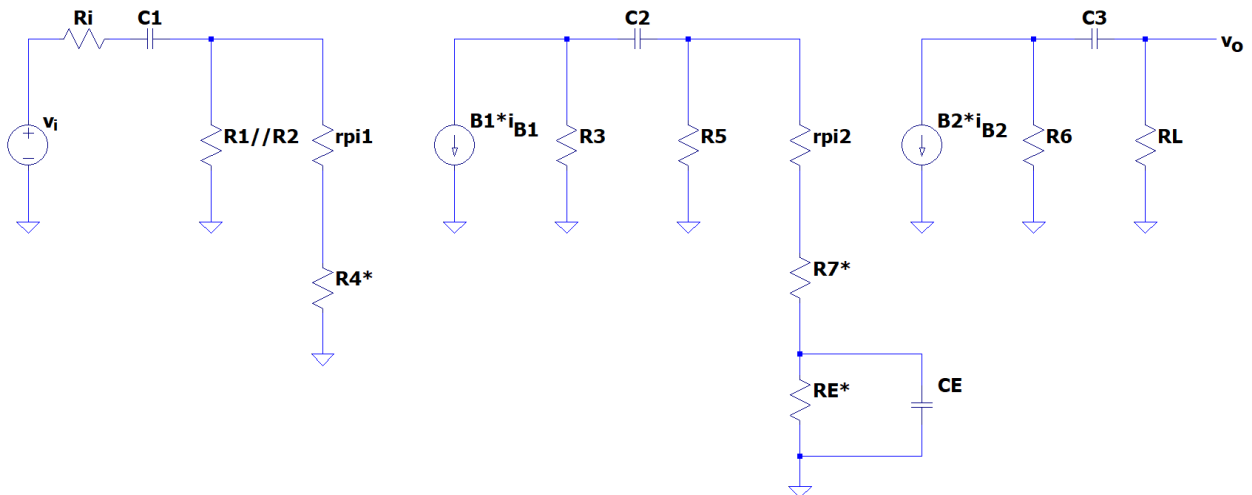
## 2.5. Đáp ứng dải băng thông của mạch:

Sau khi đáp ứng độ lợi của mạch, nhóm em tiến hành mô phỏng trên phần mềm LT SPICE để xác định dải băng thông, tìm các thông số của các tụ để tần số cắt của mạch là 15Hz, và tần số cắt cao là 15KHz.

Với độ lợi là  $A_V = 10$  (V/V) thì ta tính được chỉ số dB là 20dB  
 ➔ Tần số cắt thấp và tần số cắt cao để xác định tần số là  $20\text{dB} - 3\text{dB} = 17\text{dB}$   
 Sau khi tiến hành thay đổi giá trị của các tụ, nhóm em nhận thấy ở giá trị tụ được cho trong hình thì mạch đáp ứng được tần số cắt thấp và tần số cắt cao thỏa mãn được giá trị tối ưu (gần nhất so với 15KHz)

### a. Tần số thấp:

Khảo sát DC: Tần số thấp:



Tụ  $C_1$ :

$$f_{L1} = \frac{1}{2\pi \cdot [(R_1 + R_{12}) || (r_{\pi 1} + R_4)] C_1}$$

$$= \frac{1}{2\pi \cdot [(1\text{k} + 165\text{k}) || (2,5\text{k} + 633,3\text{k})] C_1} = \frac{1}{837\text{k} \cdot C_1}$$

Tụ  $C_2$ :

$$f_{L2} = \frac{1}{2\pi \cdot [(R_3 + R_5) || (r_{\pi 2} + R_7)] C_2}$$

$$= \frac{1}{2\pi \cdot [(3,3k + 330k) || (556 + 13,3k)] C_2} = \frac{1}{104,5k \cdot C_2}$$

Tụ C<sub>3</sub>:

$$f_{L3} = \frac{1}{2\pi \cdot (R_6 + R_L) \cdot C_3} = \frac{1}{2\pi \cdot (990 + 10k) \cdot C_3} = \frac{1}{69k \cdot C_3}$$

Tụ C<sub>E</sub>:

$$f_{L_{CE}} = \frac{1}{2\pi \cdot [R_E || (R_7 + \frac{r_{\pi 2} + R_{35}}{\beta_2})] C_E}$$

$$= \frac{1}{2\pi \cdot [330 || (66 + \frac{556 + 3,3k}{200 + 1})] C_E} = \frac{1}{426 \cdot C_E}$$

Ta có  $f_{L_{CE}} \gg f_{L1}, f_{L_{CE}} \gg f_{L2}, f_{L_{CE}} \gg f_{L3}$

Nên

$$f_L = f_{L_{CE}} = \frac{1}{426 \cdot C_E} \geq 15Hz$$

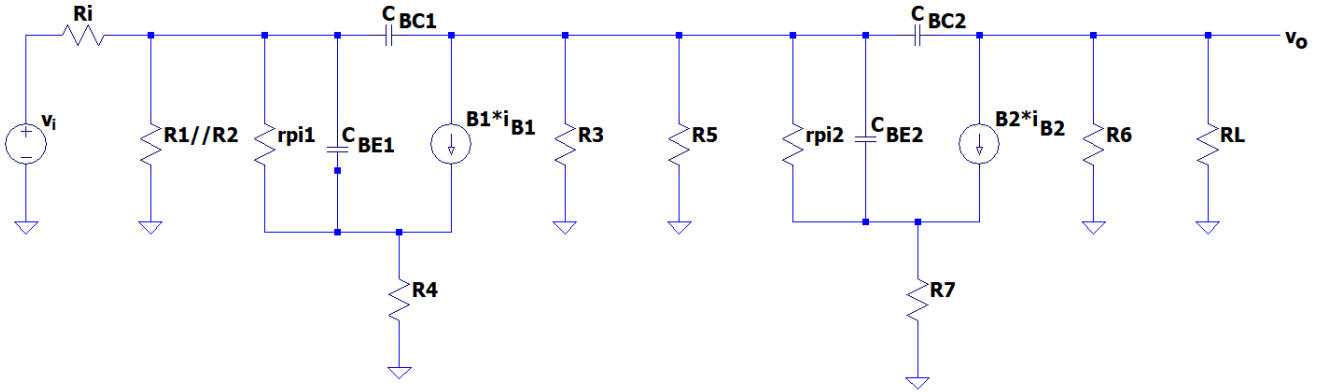
Suy ra: Tụ C<sub>E</sub> ≤ 149,6μF

Chọn các tụ như sau:

- Tụ có nhiệm vụ ngăn cách hai mạch ở chế độ DC C<sub>2</sub> và C<sub>3</sub> mang giá trị là 100μF.
- Các tụ có nhiệm vụ ngắn mạch trở ở chế độ AC của chân E của mạch chứa BJT thứ 2 là C<sub>E</sub> mang giá trị 100μF.
- Tụ ngăn cách nguồn vào mạch C<sub>1</sub> mang giá trị là 100μF.

## **b. Tần số cao**

Khi BJT hoạt động ở tần số cao, xuất hiện 2 tụ ký sinh là  $C_{BE} = 25\text{pF}$  và  $C_{BC} = 8\text{pF}$ . Ta có sơ đồ với các tụ ký sinh như sau:

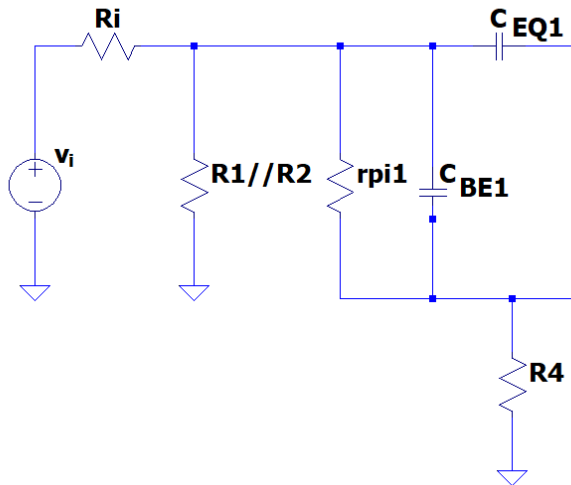


Xét các tụ ký sinh trên tầng đệm:

Ta có:

$$C_{EQ1} = C_{BC1} \cdot \{1 + g_{m1} \cdot [R_{35} \parallel (r_{\pi2} + R_7)]\} = 8\text{pF} \cdot \{1 + 0,08 \cdot [3,3\text{k} \parallel (593 + 13,3\text{k})]\} = 1714\text{pF}$$

Sơ đồ tương đương:



$$\text{Tụ } C_{in1} = C_{EQ1} + C_{BE1} = 1714 + 25 = 1739\text{pF}$$

$$f_{H1} = \frac{1}{2\pi \cdot [(R_{12} + r_{\pi1}) \parallel R_4] C_{in1}}$$

$$= \frac{1}{2\pi \cdot [165\text{k} + 2,5\text{k}] \parallel 3,3\text{k}] C_{in1}} = 28\text{kHz}$$

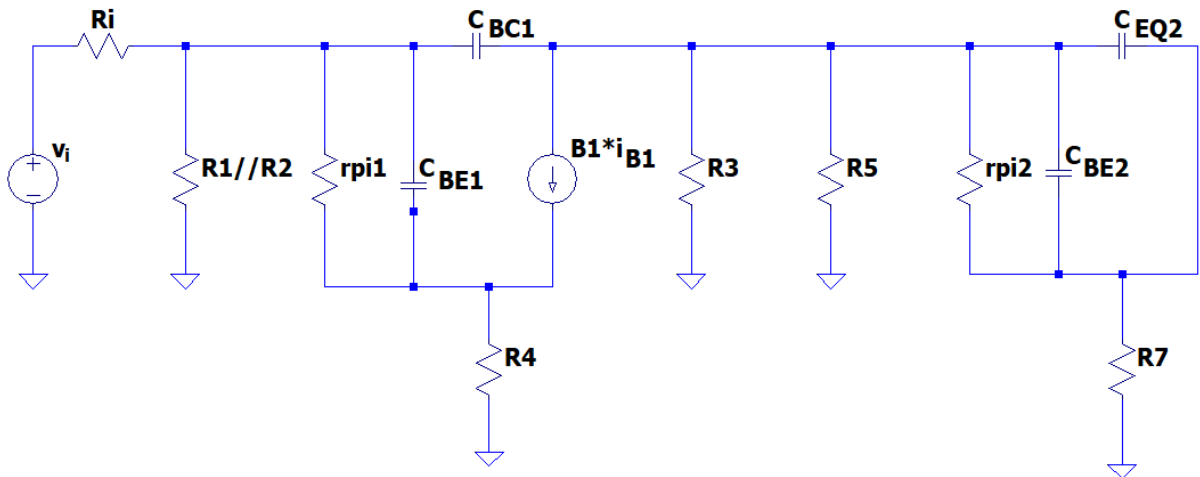
Xét các tụ ký sinh trên tầng khuếch đại:

Ta có:

$$C_{EQ2} = C_{BC2} \cdot (1 + g_{m2} \cdot R_6 \parallel R_L)$$

$$= 8p \cdot (1 + 0,34.990 \parallel 10k) = 2700pF$$

Sơ đồ tương đương:

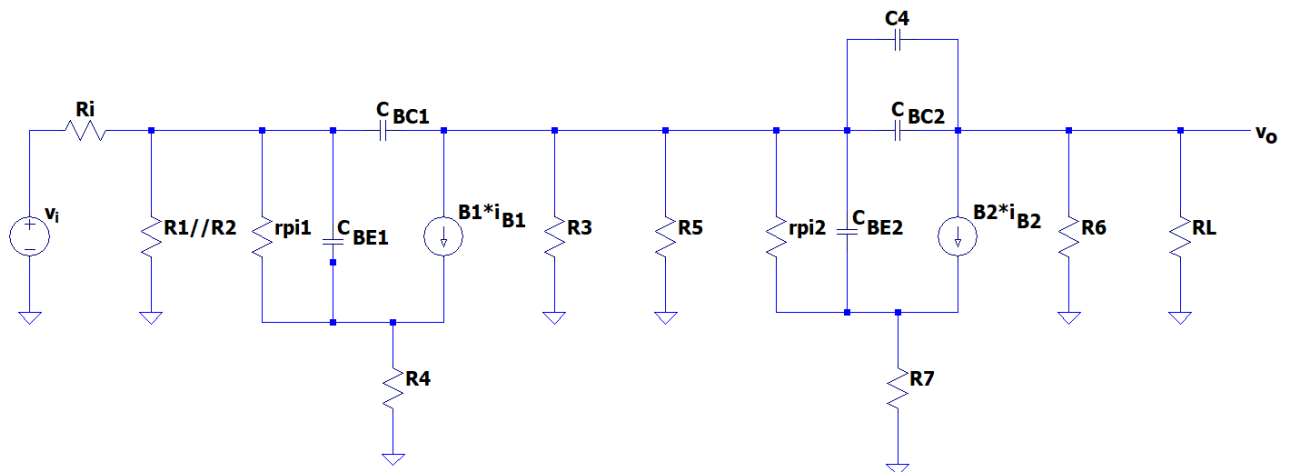


Tụ  $C_{in2} = C_{EQ2} + C_{BE2} + 2700 + 25 = 2725pF$

$$f_{H2} = \frac{1}{2\pi \cdot [R_7 \parallel (r_{\pi2} + R_{35})] C_{in2}}$$

$$= \frac{1}{2\pi \cdot [66 \parallel (593 + 3,3k)] 2725p} = 900kHz$$

Ta có:  $f_{H1}$  và  $f_{H2}$  đều lớn hơn tần số cắt cao mà đề tài yêu cầu là 15kHz. Để khắc phục, chúng em nối thêm tụ  $C_4$  ở giữa 2 cực B và C của BJT ở tầng khuếch đại như sau:



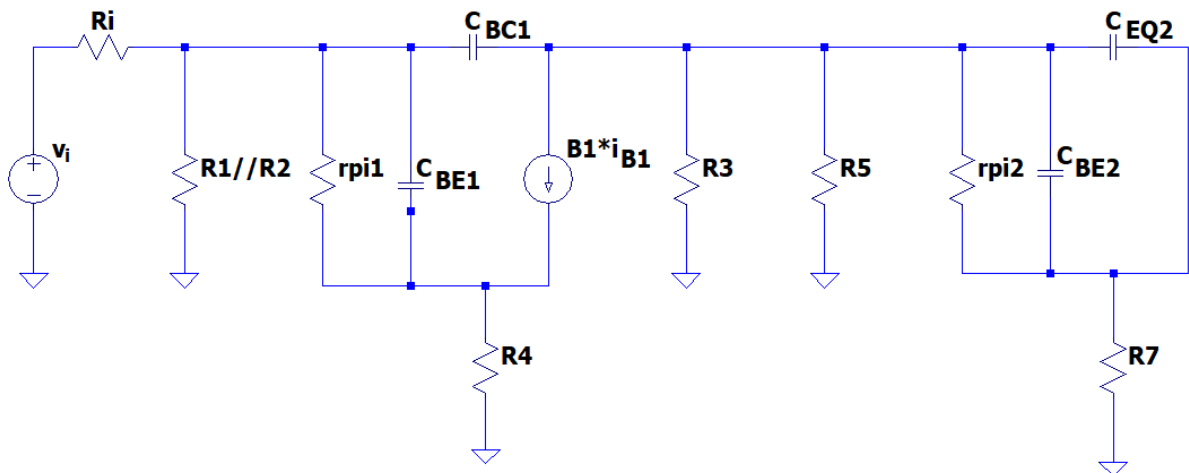
Khi đó: xét các tụ ký sinh trên tầng khuếch đại:

Ta có:

$$C_{EQ2} = (C_4 + C_{BC2}).(1 + g_{m2} \cdot R_6 \parallel R_L)$$

$$= (C_4 + 8p).(1 + 0,34.990 \parallel 10k) = (C_4 + 8p).337,6pF$$

Sơ đồ tương đương:



$$C_{in2} = C_{EQ2} + C_{BE2} = (C_4 + 8).337,6pF$$

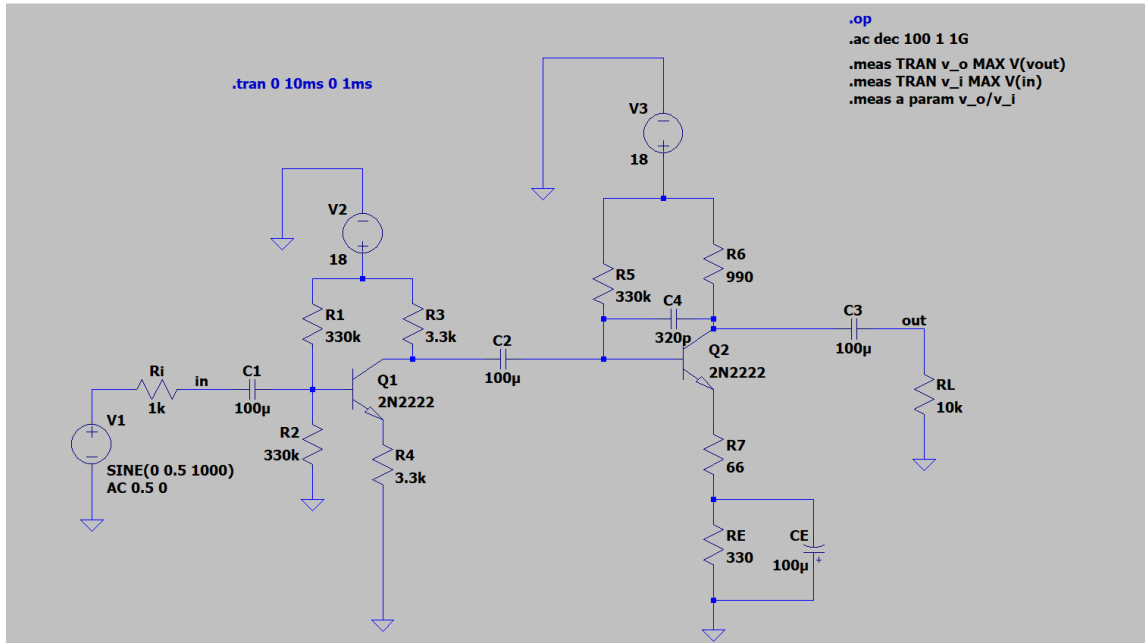
$$f_{H2} = \frac{1}{2\pi. [R_7 \parallel (r_{\pi 2} + R_{35})] C_{in2}}$$

$$= \frac{1}{2\pi. [66 \parallel (593 + 3,3k)]. (C_4 + 8). 337,6pF}$$

Với  $f_H = 15kHz$ , suy ra  $C_4 = 320pF$

### III. MÔ PHỎNG MẠCH BẰNG PHẦN MỀM PROTEUS VÀ LT SPICE

Ta có mạch khi thiết kế trên phần mềm có dạng bên dưới với phần mềm LT SPICE:



Sau đó, ta tiến hành đo các thông số của mạch:

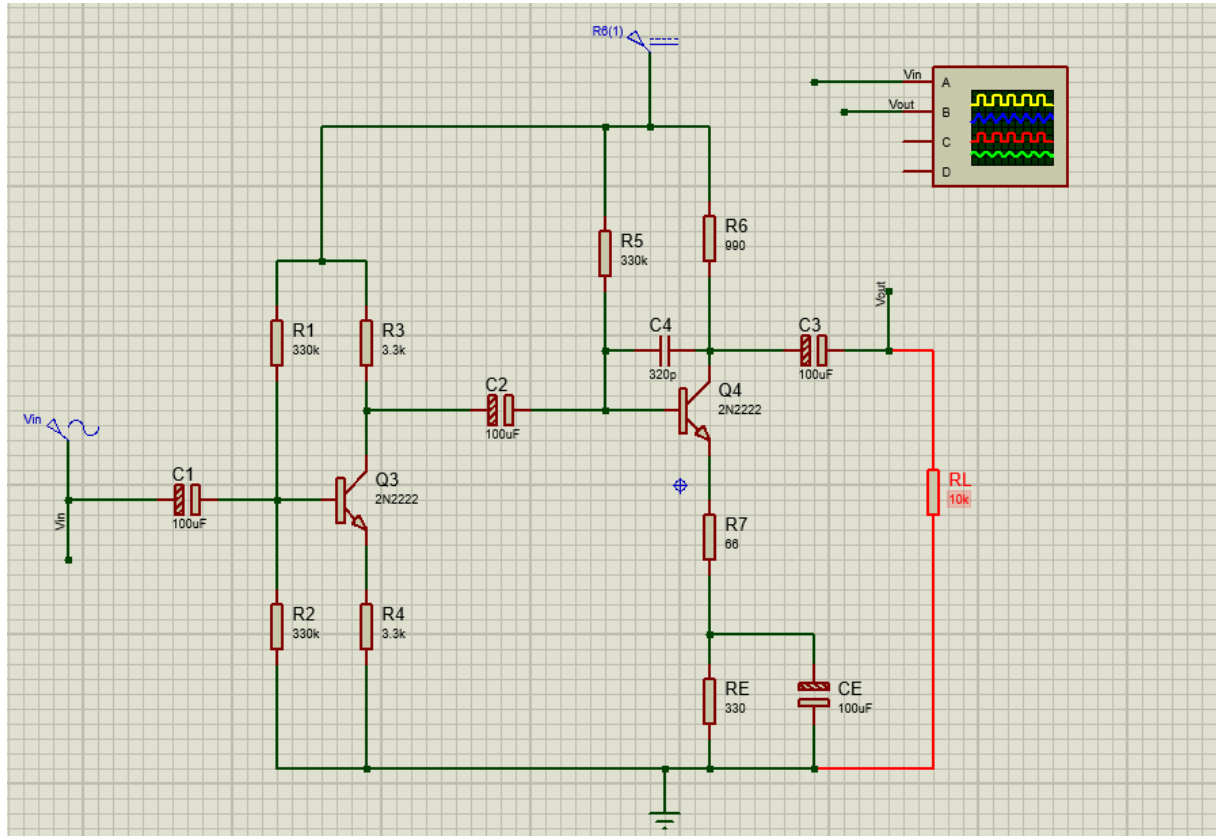
--- Operating Point ---		
V(n006):	0	voltage
V(n007):	7.38353	voltage
V(n002):	18	voltage
V(n005):	11.322	voltage
V(in):	7.38353e-13	voltage
V(n009):	6.71032	voltage
V(n003):	4.13977	voltage
V(n004):	9.47295	voltage
V(n008):	3.42745	voltage
V(n001):	18	voltage
V(n010):	2.85621	voltage
V(out):	9.47295e-12	voltage
Ic(Q1):	0.00202363	device_current
Ib(Q1):	9.79678e-06	device_current
Ie(Q1):	-0.00203343	device_current
Ic(Q2):	0.00861318	device_current
Ib(Q2):	4.20007e-05	device_current
Ie(Q2):	-0.00865518	device_current
I(C1):	7.38353e-16	device_current
I(C2):	-7.18224e-16	device_current
I(C3):	-9.47295e-16	device_current
I(CE):	-2.85621e-16	device_current
I(C4):	1.70662e-21	device_current
I(R2):	-2.23743e-05	device_current
I(R1):	3.21711e-05	device_current
I(R3):	0.00202363	device_current
I(R4):	0.00203343	device_current
I(R5):	4.20007e-05	device_current
I(R7):	0.00865518	device_current
I(RE):	0.00865518	device_current
I(R6):	0.00861318	device_current
I(RL):	9.47295e-16	device_current
I(Ri):	7.38353e-16	device_current
I(V1):	7.38353e-16	device_current
I(V2):	-0.0020558	device_current
I(V3):	-0.00865518	device_current



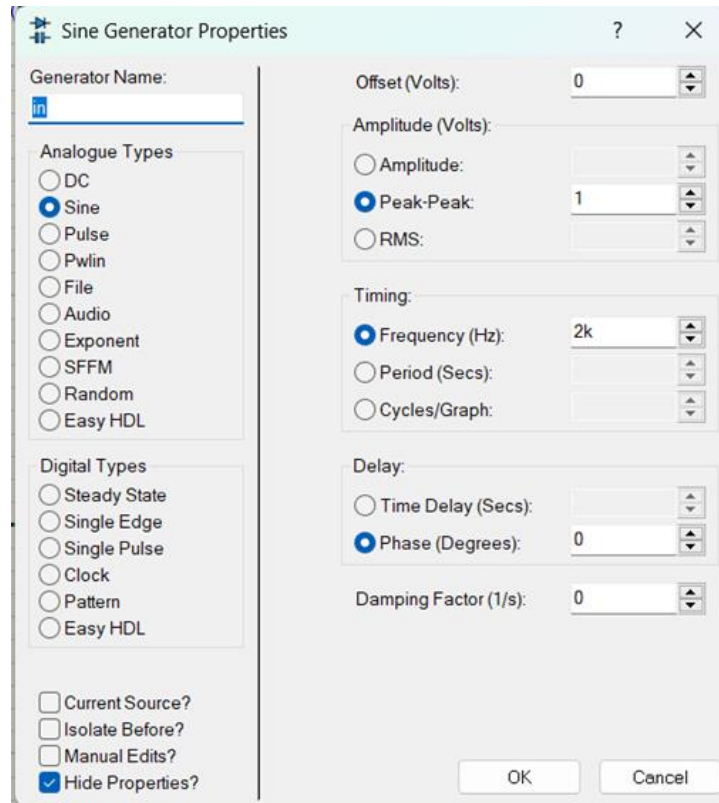
### 3.1. Đo độ lợi $A_v$ :

Đối với phần mềm PROTEUS:

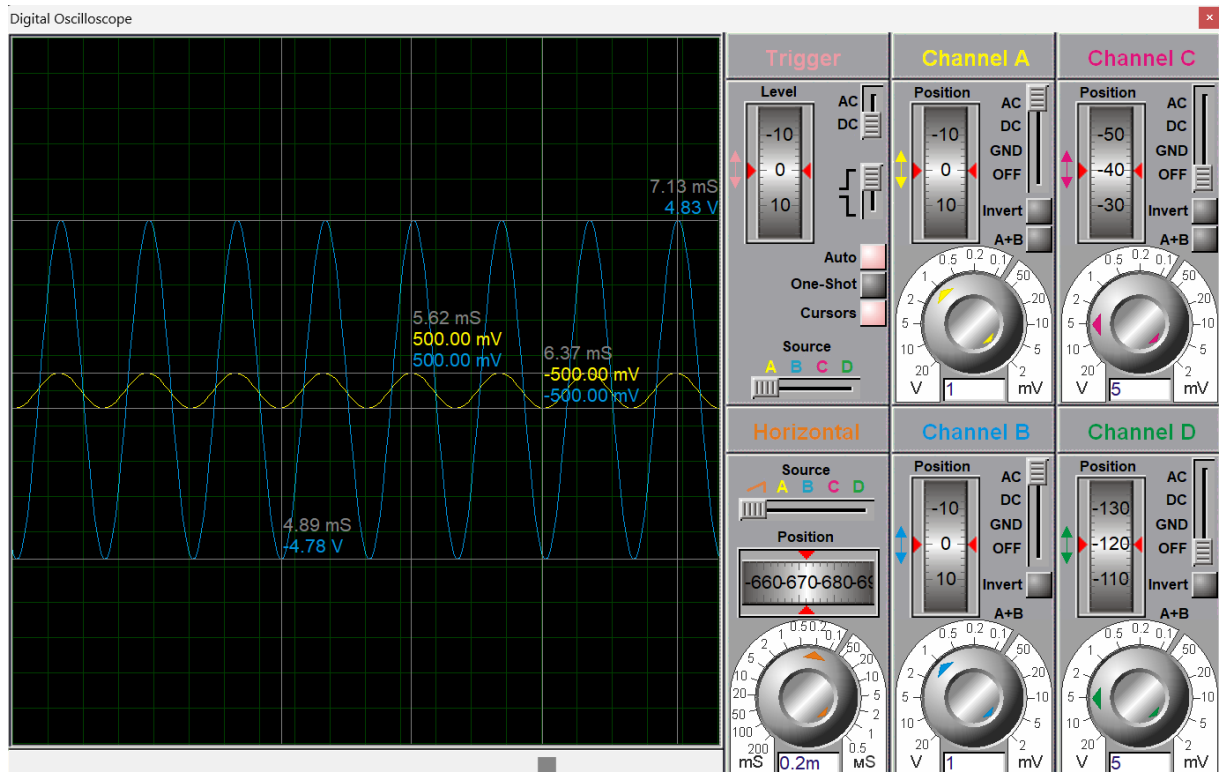
Mạch mô phỏng của nhóm em có dạng như hình dưới: Với nguồn DC là 18V, nguồn vào sóng sin biên độ  $V_{p-p} = 1V$



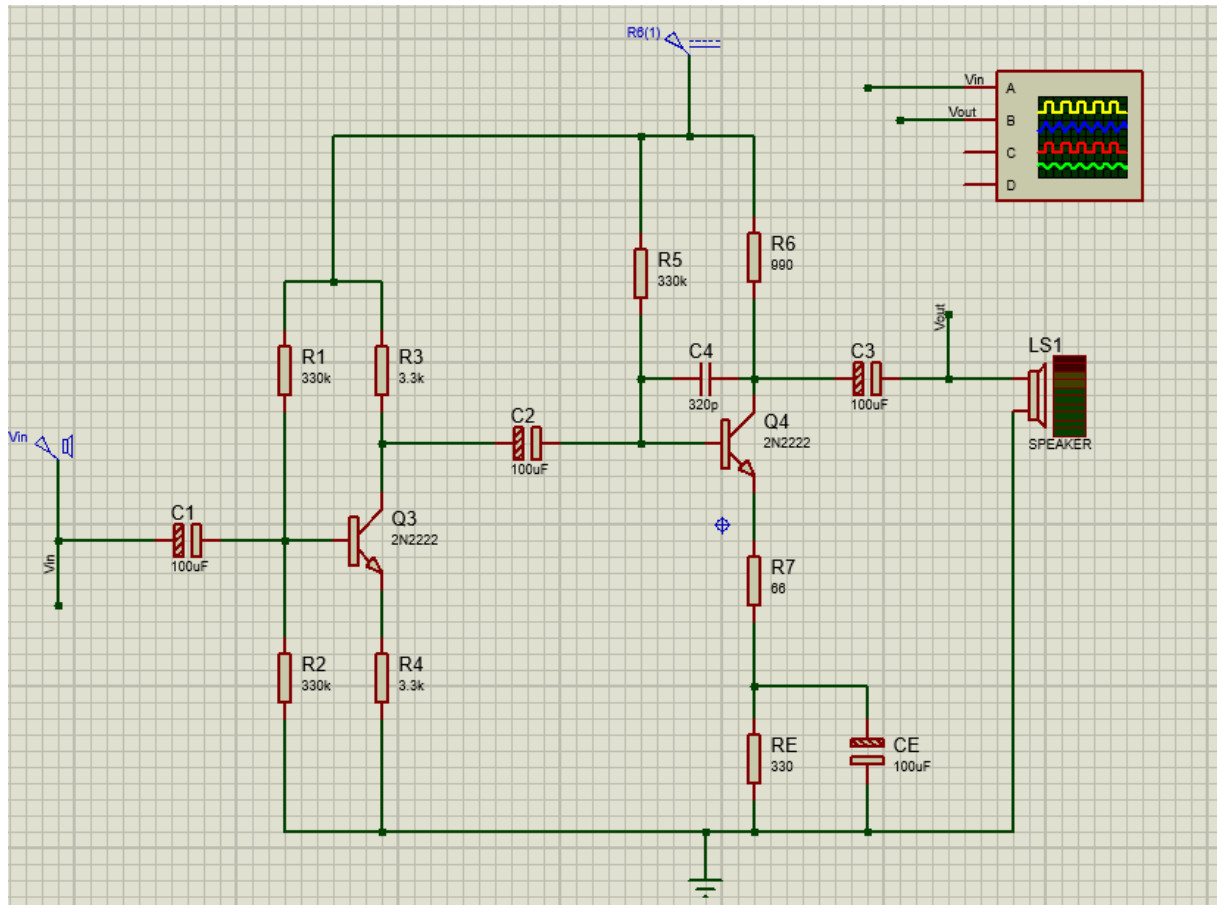
Trong đó nguồn vào được chọn như sau:



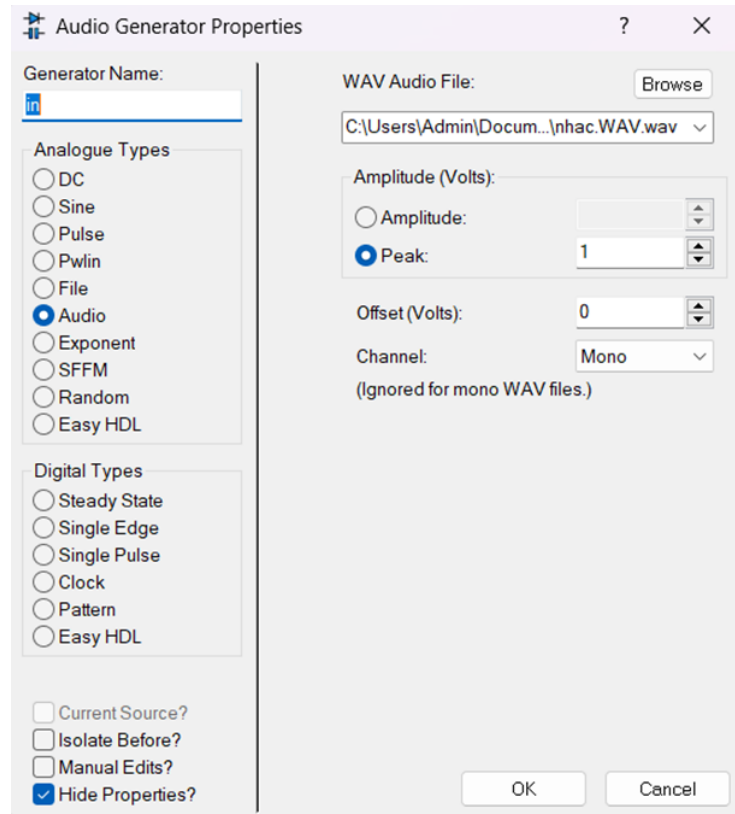
Sau khi kết nối và tiến hành chạy mô phỏng thì kết quả thu được trên màn hình Oscilicop của nhóm em là:



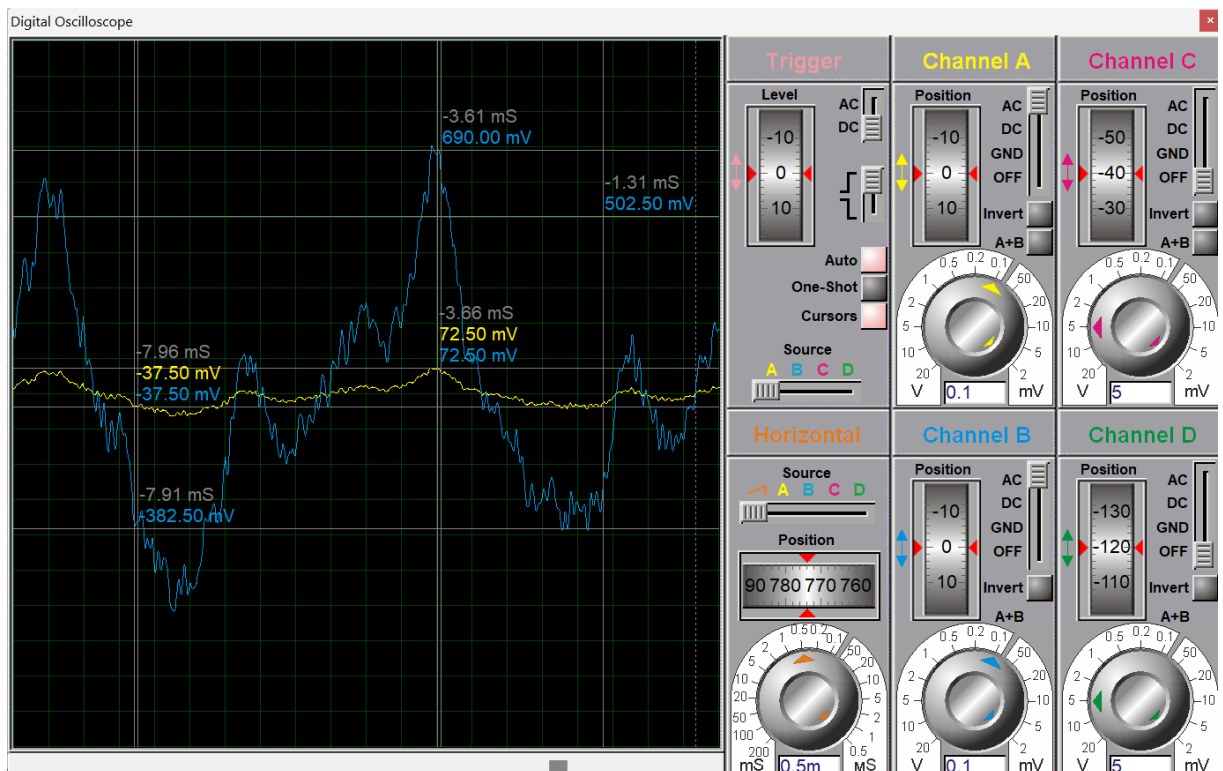
Kết quả trên cho thấy độ lợi của mạch trên ứng dụng mô phỏng là  $A_v = 10$ . Để kiểm chứng hơn về tính xác thực của mạch nhóm em cũng thử chọn nguồn vào AUDIO với biên độ  $V_{pp} = 1V$  đầu ra kết nối với LOA Speak như hình dưới.



Với nguồn vào AUDIO được thiết lập các thông số:

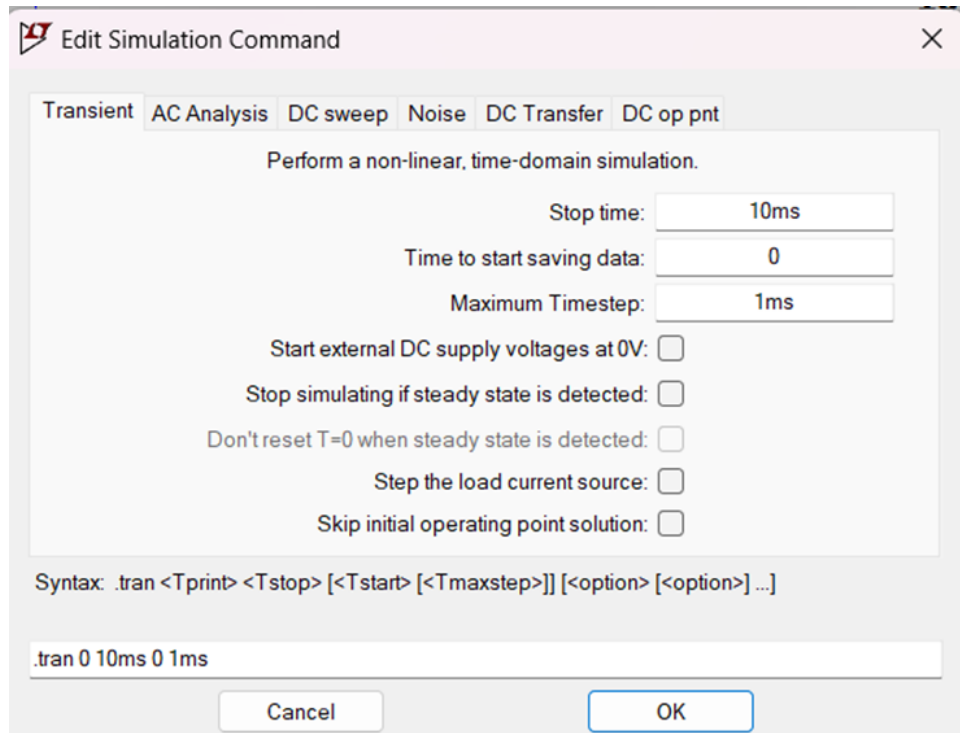


Và LOA SPEAK được chọn điện trở là  $10k\Omega$ . Khi tiến hành chạy mô phỏng kết quả trên màn hình Oscilicop cho hình ảnh bên dưới.

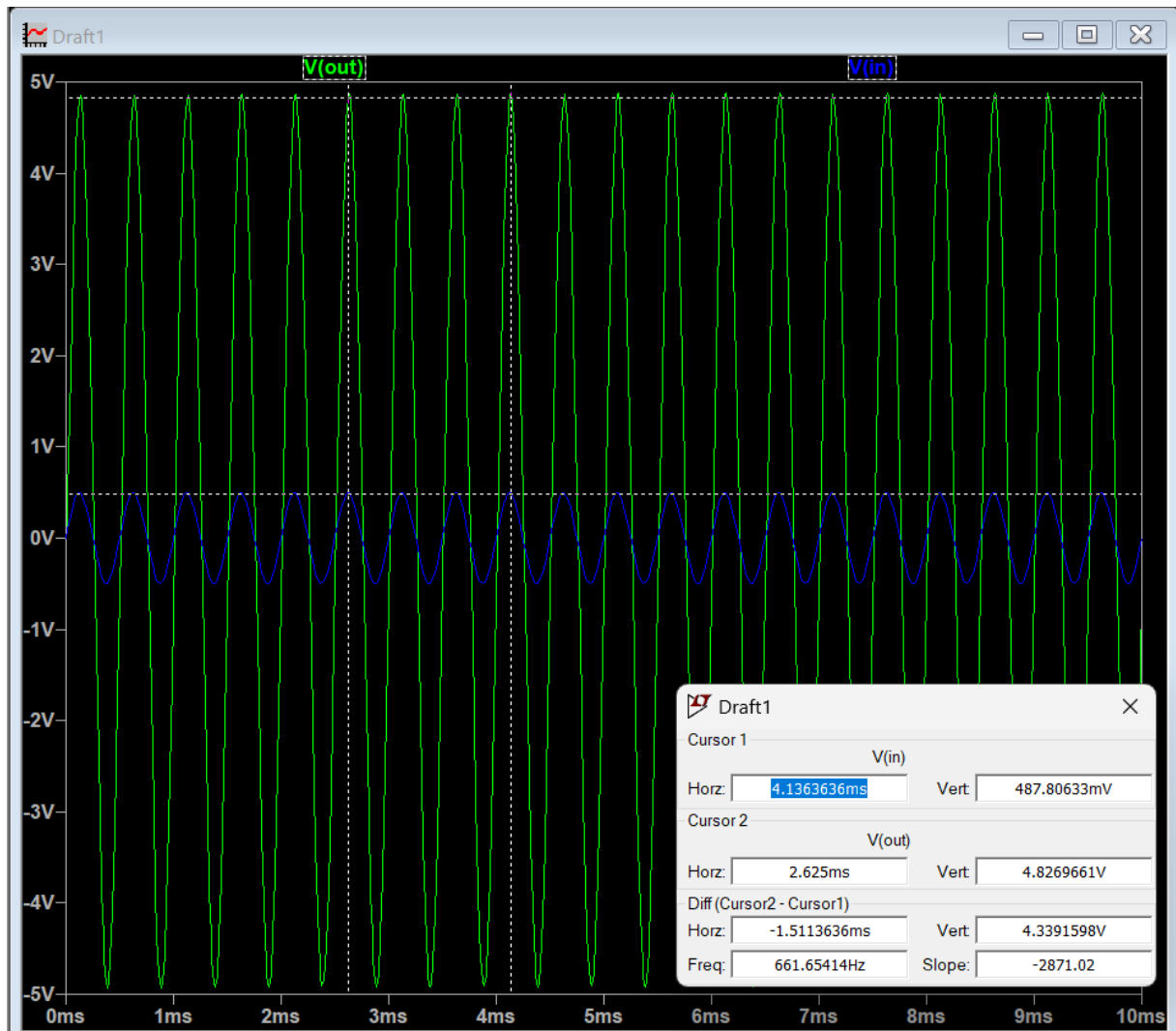


Với đường màu xanh (bên trên) biểu thị dạng sóng ngõ ra và đường màu vàng (bên dưới) biểu thị dạng sóng ngõ vào.

Ta nhìn thấy hai dạng sóng cùng pha nhau và sóng ngõ ra có biên độ gấp 10 lần so với sóng ngõ vào (căn chỉnh phần V/div của Channel B gấp 10 lần Channel A).



Cài đặt các giá trị như trong ảnh rồi tiến hành chạy (RUN).

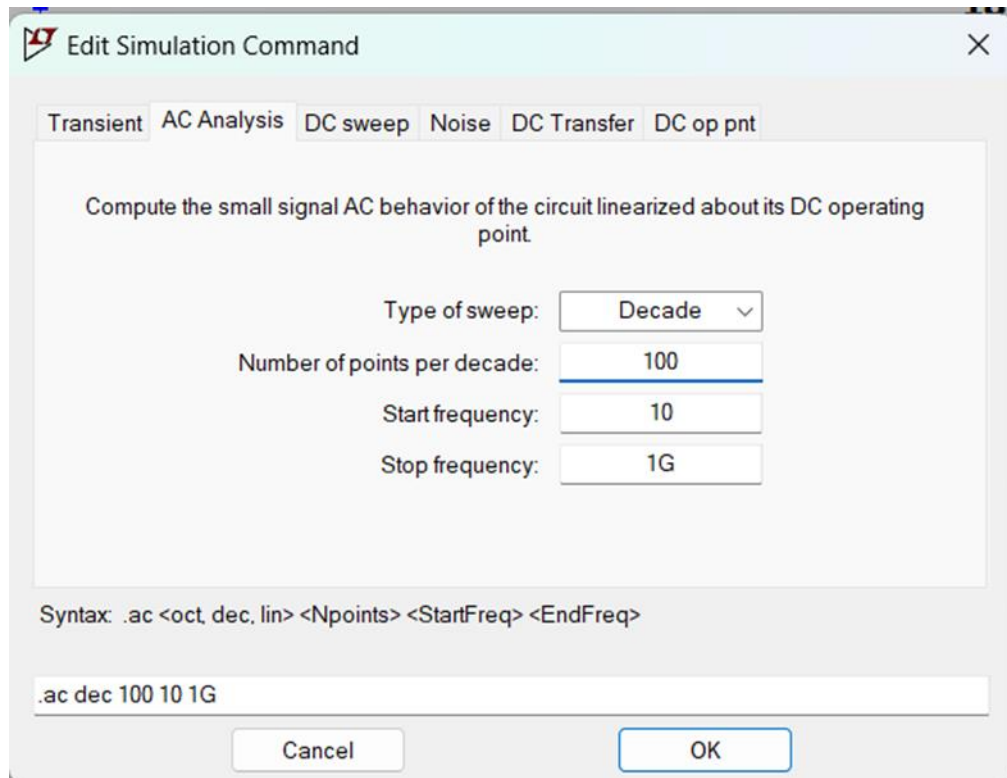


Ta có hình ảnh của sóng ngõ ra và vấp (màu xanh lá – ngõ ra; màu xanh dương ngõ vào).

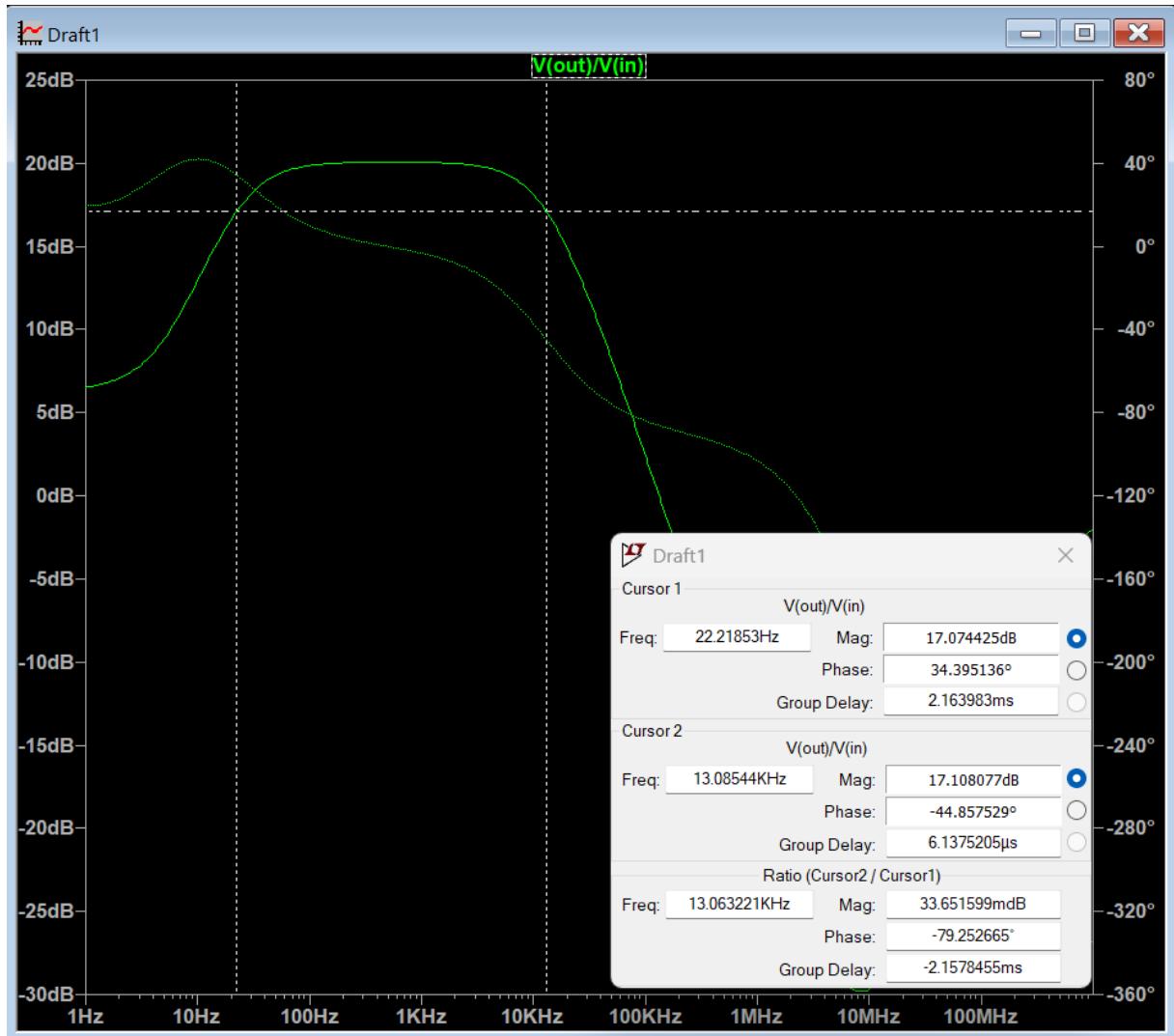
Kết quả cho ta độ lợi của mạch là:  $9.9 \approx 10 \rightarrow$  Đáp ứng được yêu cầu độ lợi của bài toán.

### 3.2. Đo dải băng thông:

Ta tiến hành cài đặt các thông số như trong bảng dưới để đo băng thông của mạch.



Và hình dưới là kết quả của bảng thông của mạch khi mô phỏng trên LT SPICE



*Đường biểu diễn sự phụ thuộc của cường độ sóng (dB) vào tần số Hz*

Trong đó điểm 1 có tọa độ 17dB là điểm của tần số cắt thấp của mạch (xấp xỉ 22Hz, điểm 2 có tọa độ 17 dB là điểm của tần số cắt cao của mạch (xấp xỉ 13kHz).

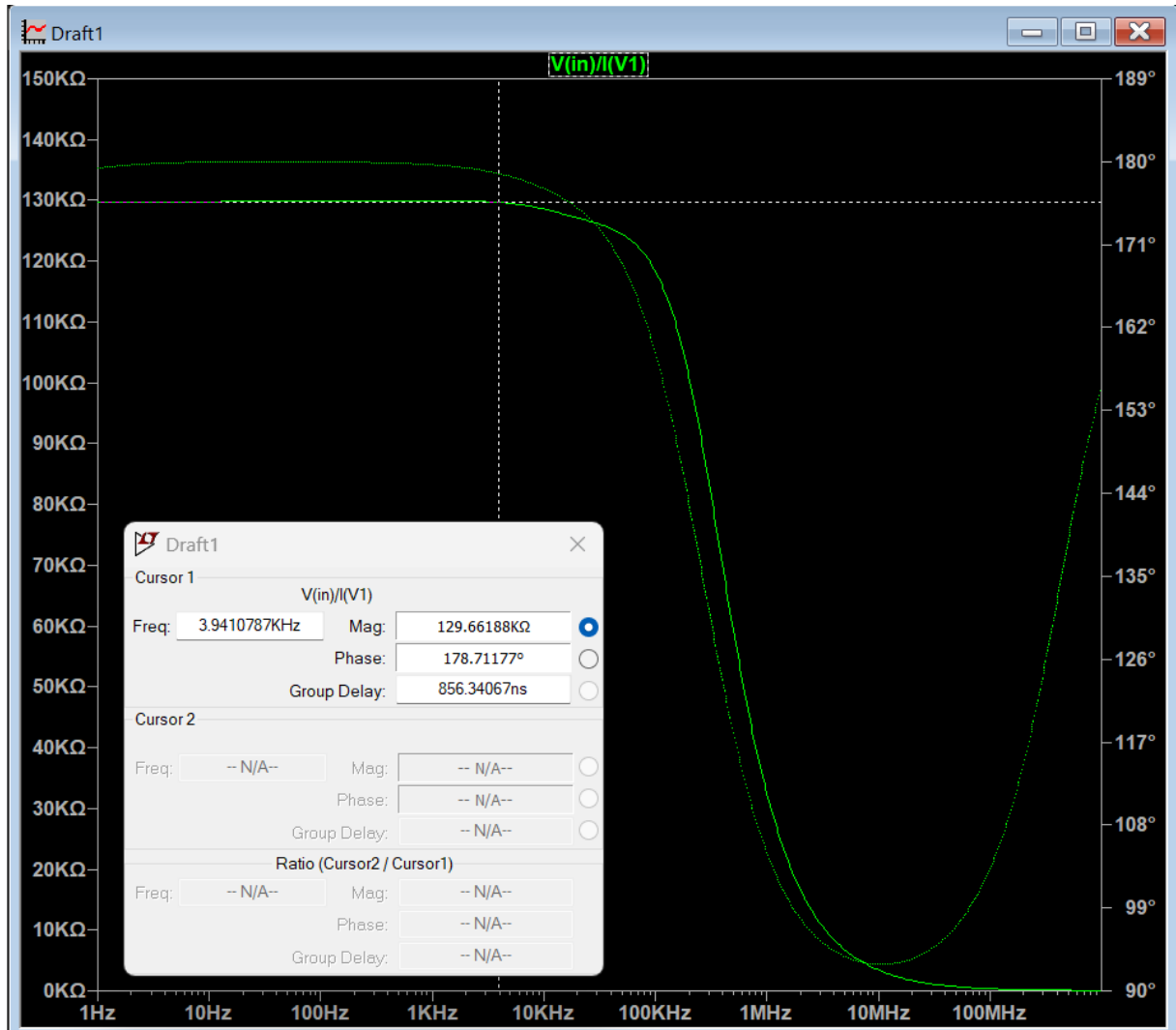
### 3.3. Đo trở kháng vào $Z_i$ và trở kháng ra $Z_o$

Trở kháng vào  $Z_i$ :

Công thức xác định:

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{V_1}}$$



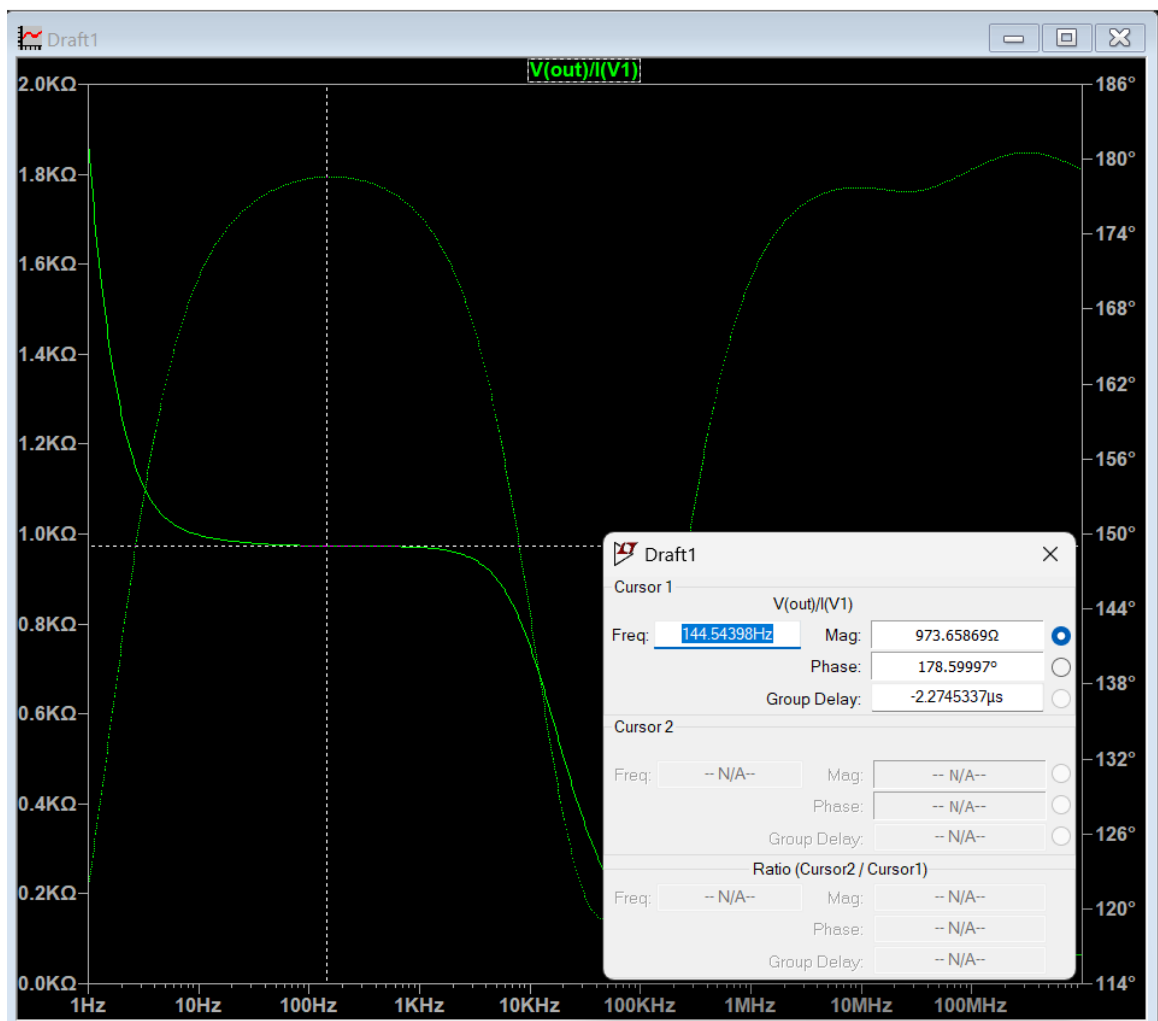
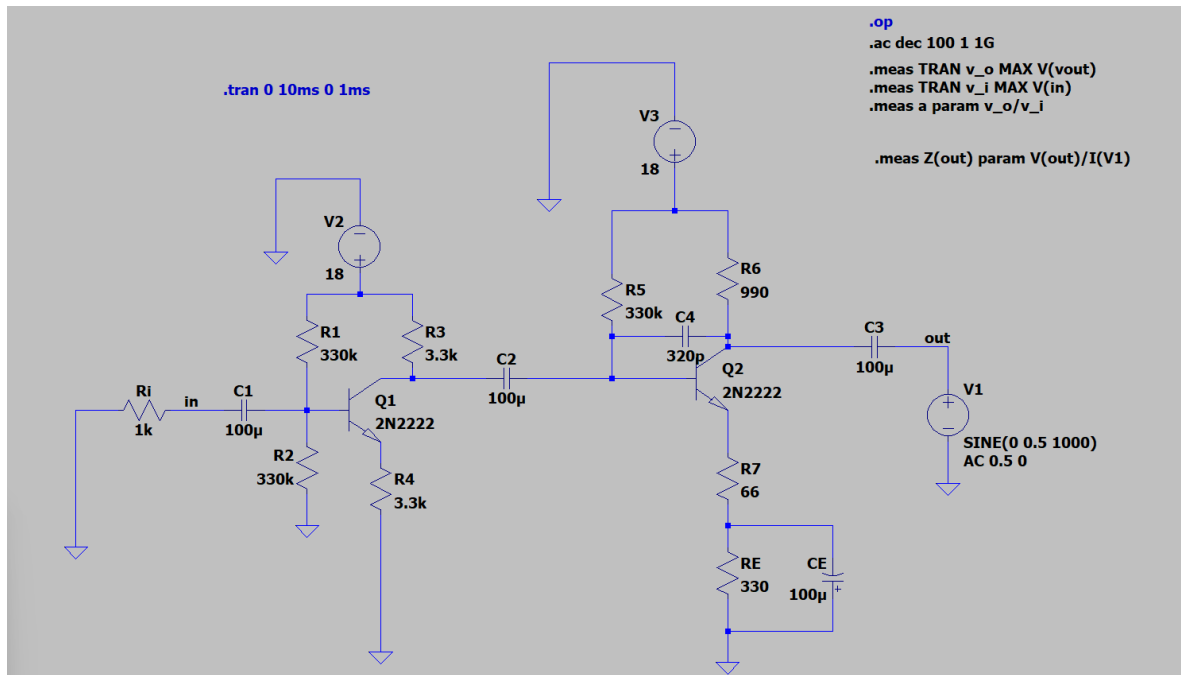


*Đường biểu diễn sự phụ thuộc của trở kháng vào ( $\Omega$ ) vào tần số Hz*

Trở kháng ra  $Z_o$ :

Công thức xác định:

$$Z_{out} = \frac{V_{out}}{I_{V_1}}$$



Đường biểu diễn sự phụ thuộc của trở kháng ra ( $\Omega$ ) vào tần số Hz

- So sánh kết quả thu được:

Thông số	Yêu cầu	Tính toán	Mô phỏng
Trở kháng vào	$> 100k$	$132k\Omega$	$130k\Omega$
Trở kháng ra	$< 1k\Omega$	$990\Omega$	$974\Omega$
$A_v$	10	10	9.98476
Băng thông	15Hz – 15kHz	15Hz – 15kHz	22Hz – 13kHz

Theo như quan sát, ta thấy các thông số mô phỏng không sai khác quá nhiều so với tính toán, các kết quả gần giống với yêu cầu đề ra ban đầu. Nguyên nhân sai số có thể là do trong quá trình làm tròn khi tính toán, mô hình tương đương gần đúng tín hiệu nhỏ, cách đo, hạn chế của phần mềm mô phỏng khó lấy chính xác các giá trị tần số cần quan sát, chỉ có thể lấy gần đúng, tương đối.

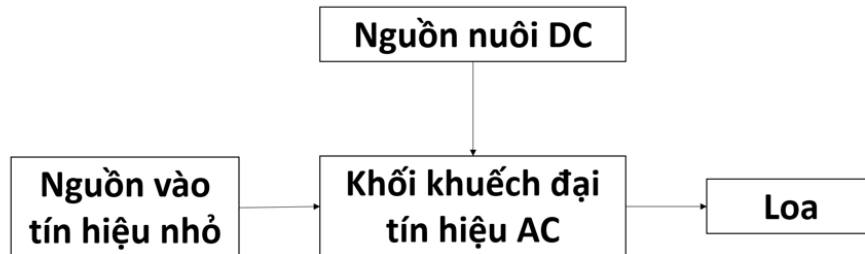
### • Kết luận

Ở phần mô phỏng trên PROTEUS và LT SPICE nhóm em đưa ra kết luận sau:

- Đáp ứng được độ lợi là  $A_v = 10$  (V/V) mô phỏng chính xác trên Proteus và LTSPICE
- Đáp ứng được yêu cầu trở kháng ngõ vào  $R_{in} > 100K \Omega$
- Đáp ứng được trở kháng ngõ ra  $R_{out} < 1K \Omega$
- Mô phỏng được khuếch đại âm thanh (chèn nhạc vào Proteus)

## IV. MÔ PHỎNG THỰC TẾ

Sơ đồ khối của mạch:



Cấu tạo mạch: 4 phần chính gồm Nguồn nuôi DC, Nguồn vào tín hiệu nhỏ ( $V_{ppmax} = 1V$ ), Khối khuếch đại tín hiệu AC, và đầu ra được nối với loa.

Nguồn nuôi DC: sử dụng nguồn 18V, gồm hai pin 9V ghép nối tiếp; có thay thế thêm bằng nguồn Adapter 18V trong trường hợp 2 nguồn pin 9V không khả quan.

Nguồn vào tín hiệu nhỏ: Sử dụng máy dao phát sóng, phát sóng sin biên độ 1Vpp, tần số 1kHz.

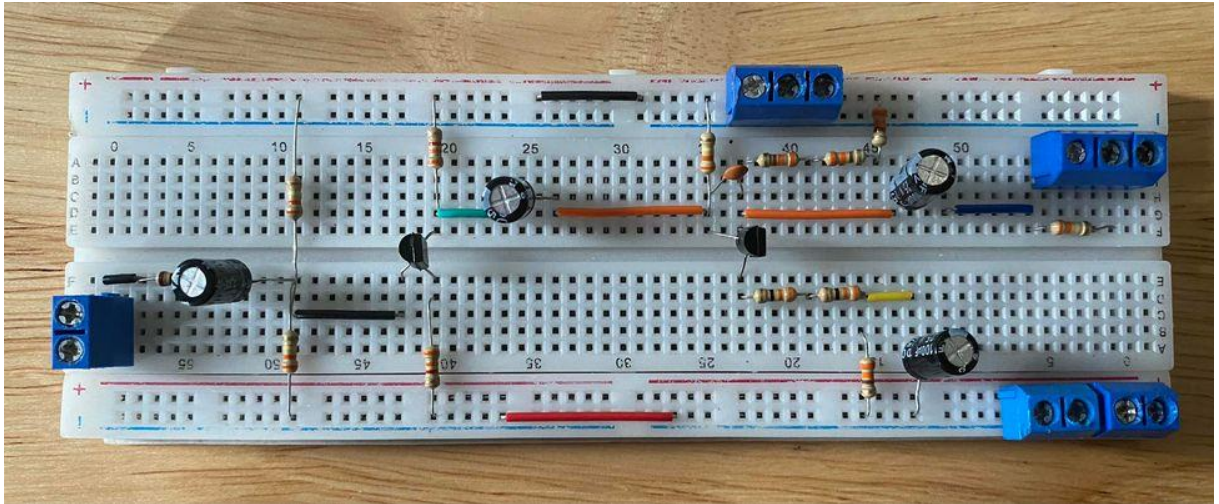
Khối khuếch đại AC: nhóm em sử dụng transistor 2N2222A với độ khuếch đại đã tính toán trong phần 2 lý thuyết tính toán, kết nối thêm các linh kiện như trở, tụ điện để đảm bảo các yêu cầu của đề.

Kiểm tra: Dùng máy dao động ký 2 kênh, kênh 1 đo sóng ngõ vào, kênh 2 đo sóng ngõ ra

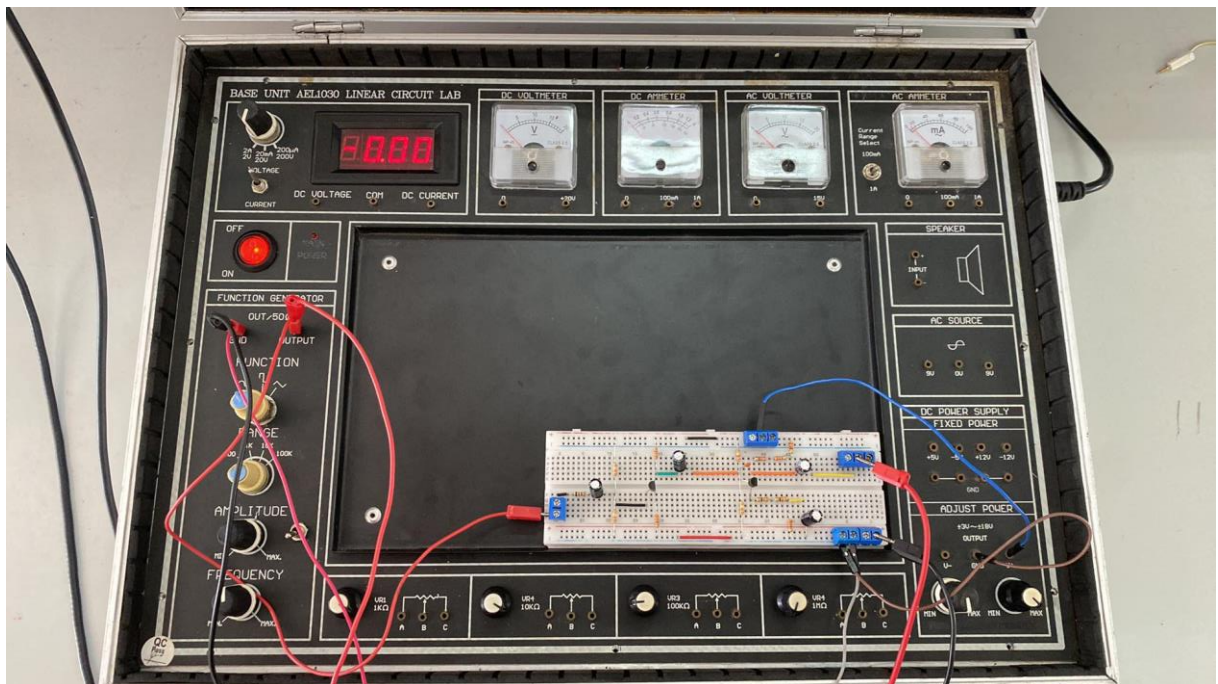
Vì không có các trở và tụ thực có giá trị tương ứng với mô phỏng nên các linh kiện được thay thế bằng các giá trị tương đương:

- |                              |                             |
|------------------------------|-----------------------------|
| - $R_i = 1\text{ k}\Omega$   | - $C_1 = 100\text{ }\mu F$  |
| - $R_1 = 330\text{ k}\Omega$ | - $C_2 = 100\text{ }\mu F$  |
| - $R_2 = 330\text{ k}\Omega$ | - $C_3 = 0.33\text{ }\mu F$ |
| - $R_3 = 3.3\text{ k}\Omega$ | - $C_4 = 320\text{ pF}$     |
| - $R_4 = 3.3\text{ k}\Omega$ | - $C_E = 100\text{ }\mu F$  |
| - $R_5 = 330\text{ k}\Omega$ |                             |
| - $R_6 = 990\text{ }\Omega$  |                             |
| - $R_7 = 66\text{ }\Omega$   |                             |
| - $R_E = 330\text{ }\Omega$  |                             |
| - $R_L = 10\text{ k}\Omega$  |                             |

Kết nối 3 phần trên như hình dưới đây (phần cứng của mạch):

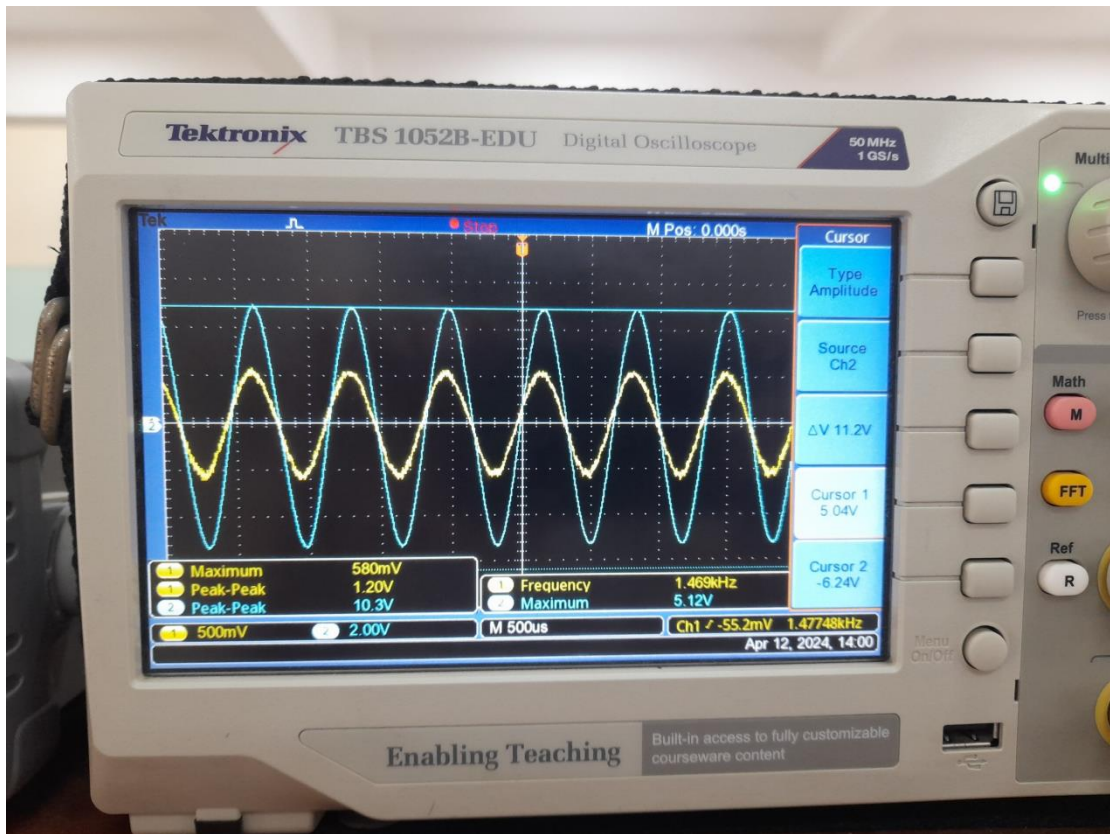


Sơ đồ nối dây:



#### 4.1. Đo độ lợi $A_v$ :

Với ngõ vào  $V_i$  biên độ 1V-pp, tần số 2 kHz, ta có kênh 1 (màu vàng) đo dạng sóng ngõ vào và kênh 2 (màu xanh) đo dạng sóng ngõ ra:



Ta có :

$$A_v = \frac{V_{o-pp}}{V_{i-pp}} = \frac{10.3}{1.20} = 8.58 \left( \frac{V}{V} \right)$$



## 4.2. Khảo sát bằng thông:

- Tần số cắt thấp:

