

VIETNAM NATIONAL UNIVERSITY HO CHI MINH CITY
HO CHI MINH CITY UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

DEPARTMENT OF ELECTRONICS

—oo—



HOMEWORK REPORT

Chapter 1 - Amplifiers and Pulse Circuits

SUPERVISOR: Nguyễn Trung Hiếu

SUBJECT: Applied Electronics (EE3129)

GROUP: 02

List of Members

STT	MSSV	Họ Và Tên	Lớp
1	2212904	Đoàn Ngọc Sang	L02
2	2210780	Nguyễn Đại Đồng	L02
3	2210164	Trần Nguyễn Trâm Ánh	L02

Ho Chi Minh,/..../20..

Mục lục

Câu 1	1
a1)	1
b1)	4
c1)	6
d1)	7
a2)	9
b2)	11
c2)	13
d2)	14
Câu 2	17
a)	17
b)	19
c)	22
Câu 3	24
a)	24
b)	27
c)	30
d)	31
Câu 4	33
a)	33
b)	36
c)	41
Câu 5	45

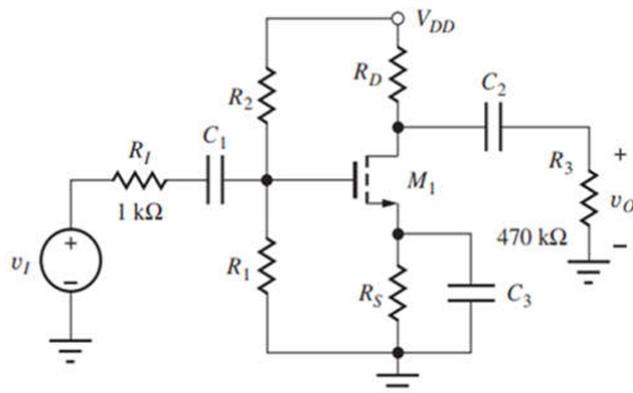
a)	45
b)	46
c)	49
d)	54
Câu 6		58
a)	58
b)	61
c)	66
Câu 7		71
a)	72
b)	73
c)	79
Câu 8		81
a)	81
b)	82
c)	86
d)	86
Câu 9		89
a)	89
b)	92
c)	96
d)	98
Câu 10		101
a)	101

b)	105
c)	110

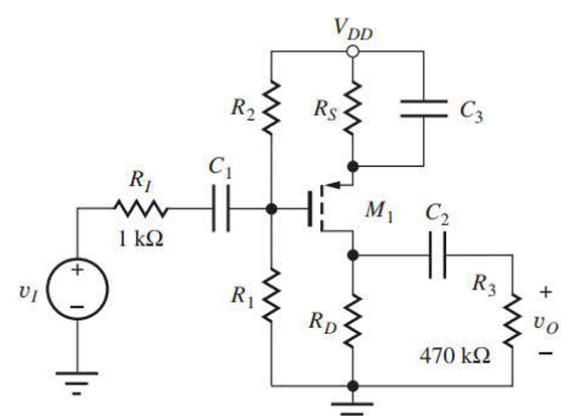
Câu 1

Cho mạch khuếch đại tín hiệu như hình vẽ. Các tụ C_1 , C_2 và C_3 có giá trị rất lớn.

- Hình 1: Các giá trị $R_1 = 500 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 1.4 \text{ M}\Omega$, $R_S = 33 \text{ k}\Omega$, $R_D = 82 \text{ k}\Omega$, $V_{DD} = 16 \text{ V}$. MOSFET có $K_n = 250 \mu\text{A/V}^2$, $V_{TN} = 1.2 \text{ V}$ và $V_A = \infty$.
- Hình 2: Các giá trị $R_1 = 2.2 \text{ M}\Omega$, $R_2 = 2.2 \text{ M}\Omega$, $R_S = 22 \text{ k}\Omega$, $R_D = 18 \text{ k}\Omega$ và $V_{DD} = 20 \text{ V}$. FET có $K_p = 400 \mu\text{A/V}^2$, $V_{TP} = -1.5 \text{ V}$ và $V_A = \infty$.



Hình 1



Hình 2

Ở hình 1

a1) Vẽ VTC của mạch và tìm hiểu điểm hoạt động Q của FET.

Vẽ VTC của mạch

- $v_{GS} < V_{TN} = 1.2 \text{ V}$: MOSFET hoạt động ở trạng thái **cut-off**

$$\Rightarrow i_D = 0 \Rightarrow v_{DS} = V_{DD} = 16 \text{ V}$$

- $v_{GS} = V_{TN}$: MOSFET hoạt động ở trạng thái **saturation (bão hòa)**

$$\Rightarrow i_D = \frac{1}{2} \times K_n (v_{GS} - V_{TN})^2$$

$$\Rightarrow v_{DS} = V_{DD} - (R_D + R_S) \times \frac{1}{2} \times K_n (v_{GS} - V_{TN})^2$$

$$\Rightarrow v_{DS} = 16 - 14.375 (v_{GS} - 1.2)^2$$

- $v_{GS} \geq v_{GS}|_{v_{DS}=v_{DS\text{sat}}}$: MOSFET hoạt động ở trạng thái **triode**

$$\Rightarrow i_D = K_n \left[(v_{GS} - V_{TN}) v_{DS} - \frac{v_{DS}^2}{2} \right]$$

$$\Rightarrow v_{DS} = V_{DD} - (R_D + R_S) \times K_n \left[(v_{GS} - V_{TN}) v_{DS} - \frac{v_{DS}^2}{2} \right]$$

$$v_{DS} = v_{DS\text{sat}} = v_{GS} - V_{TN}$$

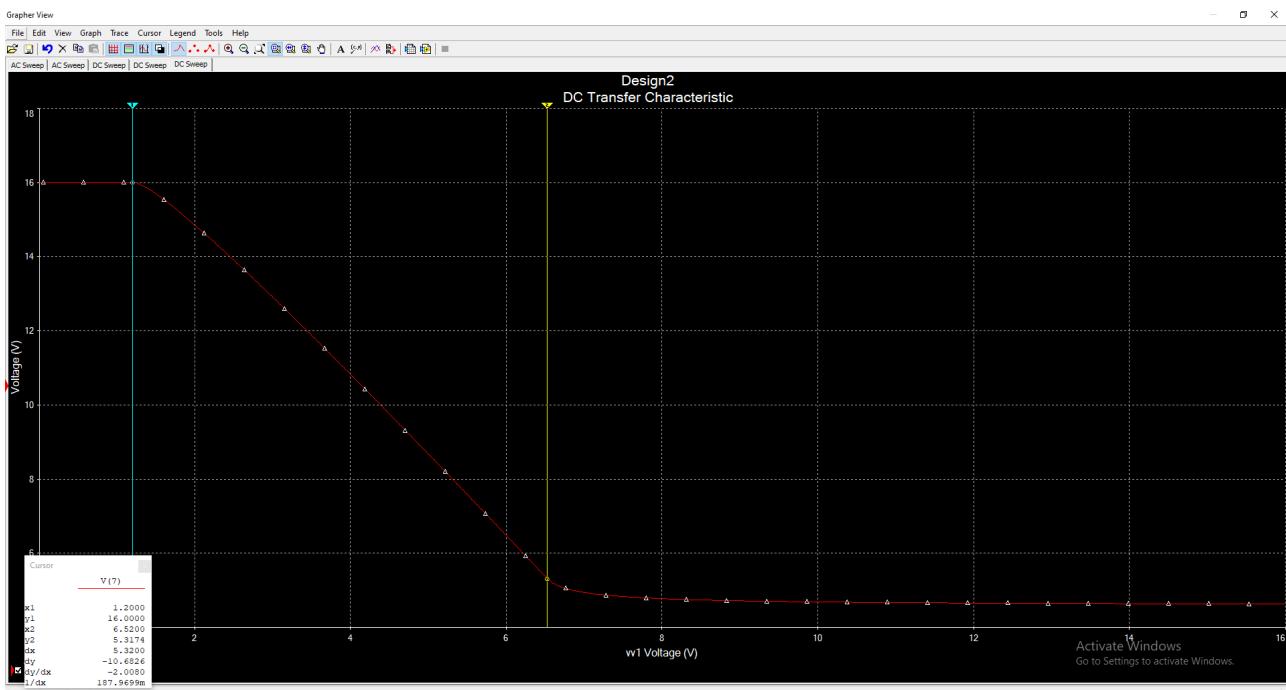
$$\Rightarrow v_{GS} = V_{TN} + \frac{\sqrt{2V_{DD}(R_D + R_S) \times K_n} - 1}{(R_D + R_S) \times K_n}$$

$$\Rightarrow v_{GS} = 2.22 \text{ V}$$

$$\Rightarrow i_D = 0.13 \text{ mA}$$

- **Điểm chuyen:**

$$V_i = V_{GS} + V_S = V_{GS} + I_D R_S = 6.51 \text{ V}$$



Hình 1: VTC của mạch ở hình 1.

Tìm điểm hoạt động Q:

$$V_G = V_{DD} \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 16 \times \frac{500}{500 + 1400} = 4.21 \text{ V}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - (R_D + R_S) \times \frac{1}{2} \times K_n (V_{GS} - V_{TN})^2$$

$$V_S = I_D R_S$$

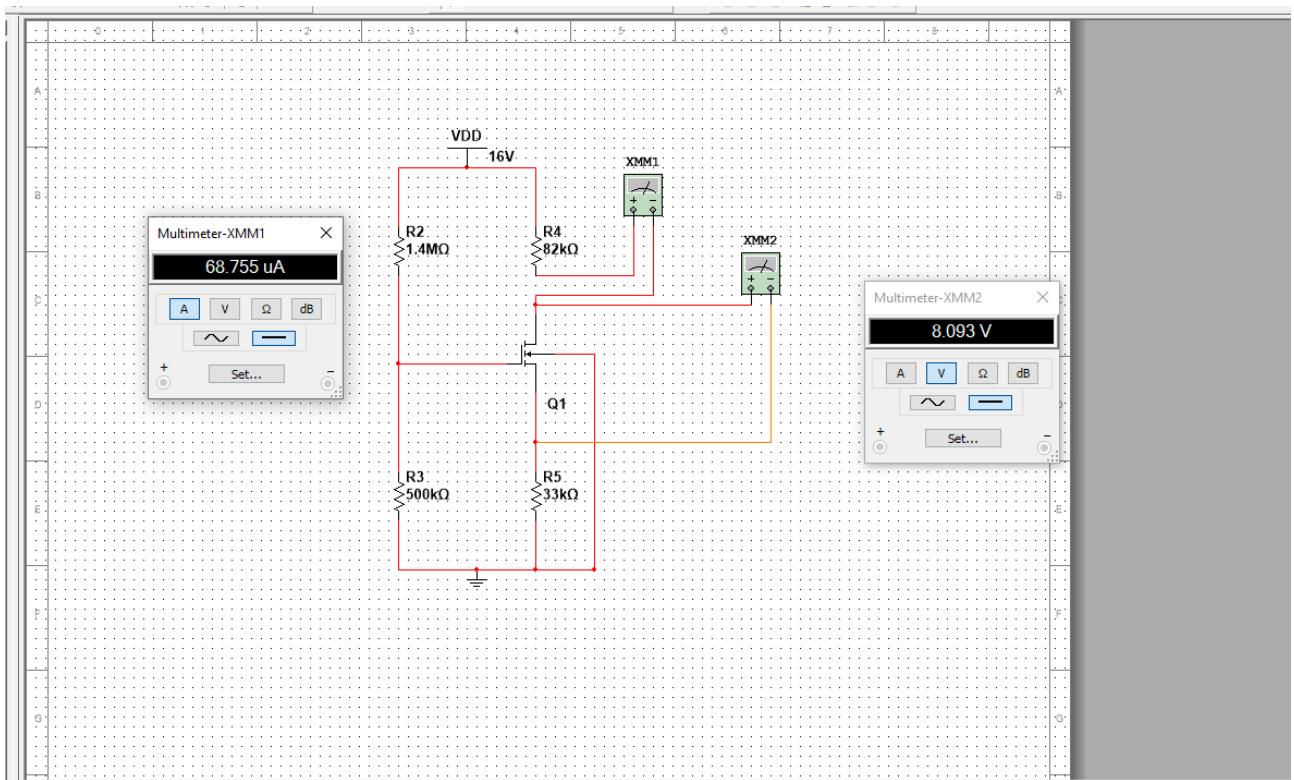
$$\begin{aligned} \Rightarrow V_{GS} &= V_{DD} \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{1}{2} K_n (V_{GS} - V_{TN})^2 R_S \\ &= 16 \frac{500}{500 + 1400} - \frac{1}{2} \times 0.25 \times 33 \times (V_{GS} - 1.2)^2 \\ &= 1.94 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{DS} &= V_{DD} - (R_D + R_S) \times \frac{1}{2} \times K_n (V_{GS} - V_{TN})^2 \\ \Rightarrow V_{DS} &= 16 - 115 \times 0.5 \times 0.25 \times (1.94 - 1.2)^2 = 8.13 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{DQ} &= \frac{1}{2} K_n (V_{GS} - V_{TN})^2 \\ \Rightarrow I_{DQ} &= \frac{1}{2} \times 0.25 \times (1.94 - 1.2)^2 = 0.068 \text{ mA} \end{aligned}$$

Vậy điểm làm việc Q là: (I_{DQ}, V_{DS}) = (0.068 mA, 8.13 V).

Kiểm chứng kết quả



b1) Đặt $v_1 = V_m \sin(\omega t)$ vào mạch. Tìm A_{vo} , G_v , R_i , R_o của mạch.

$$R_i = R_1 // R_2 = \frac{500 \times 1400}{500 + 1400} = 368.42 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow R_i = 368.42 \text{ k}\Omega .$$

$$R_o = R_D = 82 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow R_o = 82 \text{ k}\Omega .$$

$$g_m = \frac{2I_{DQ}}{V_{GSQ} - V_{TN}} = 0.184 \text{ mS}$$

$$A_{vo} = -g_m R_D = -15.088 \text{ V/V}$$

$$\Rightarrow A_{vo} = 15.088 \text{ V/V} .$$

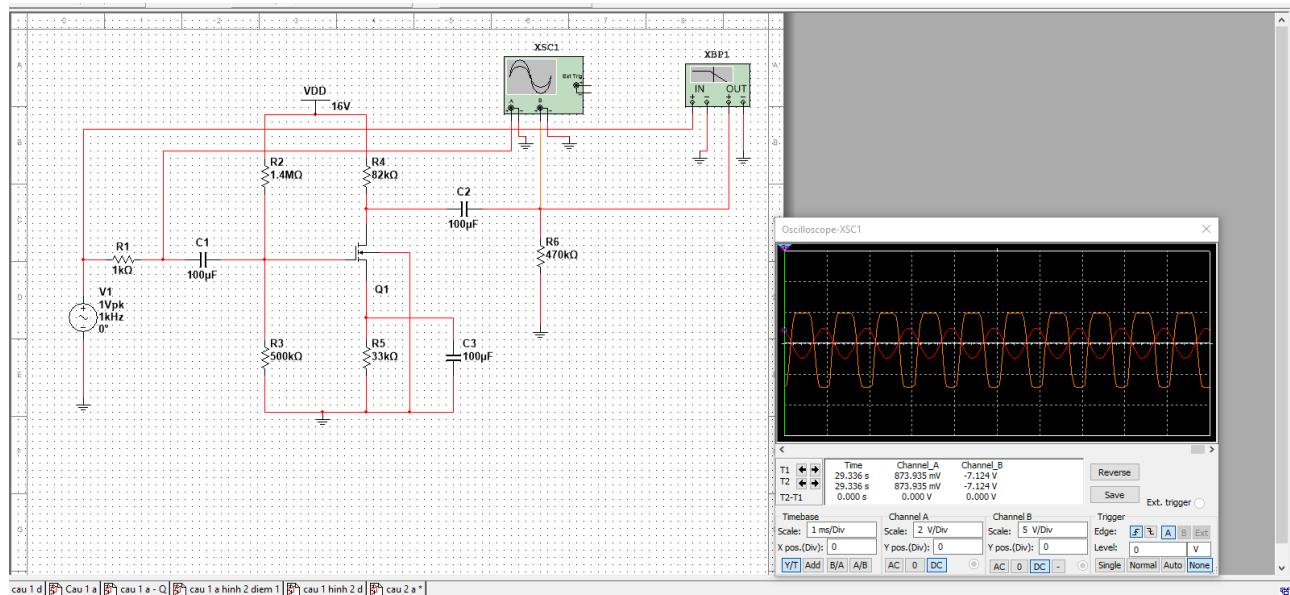
$$A_v = A_{vo} \times \frac{R_L}{R_o + R_L} = -15.088 \times \frac{470}{82 + 470} = -12.85 \text{ V/V}$$

$$\Rightarrow A_v = -12.85 \text{ V/V}.$$

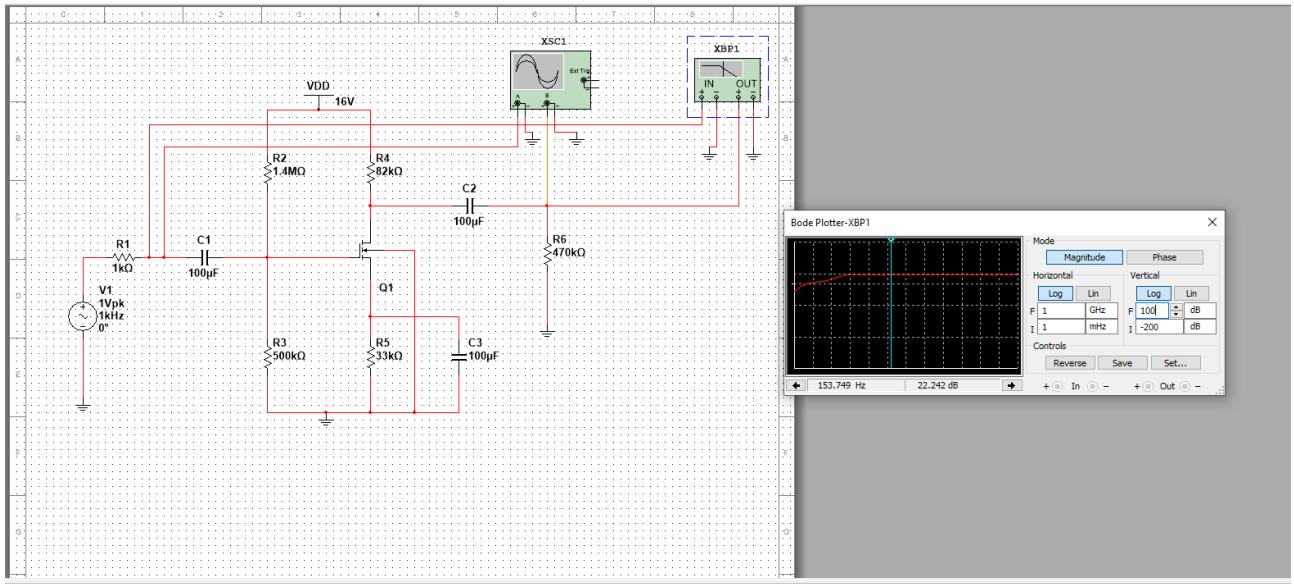
$$G_v = A_{vo} \times \frac{R_L}{R_o + R_L} \times \frac{R_i}{R_o + R_i} = -15.088 \times \frac{470}{82 + 470} \times \frac{368.42}{1 + 368.42} = -12.81 \text{ V/V}$$

$$\Rightarrow G_v = -12.81 \text{ V/V}.$$

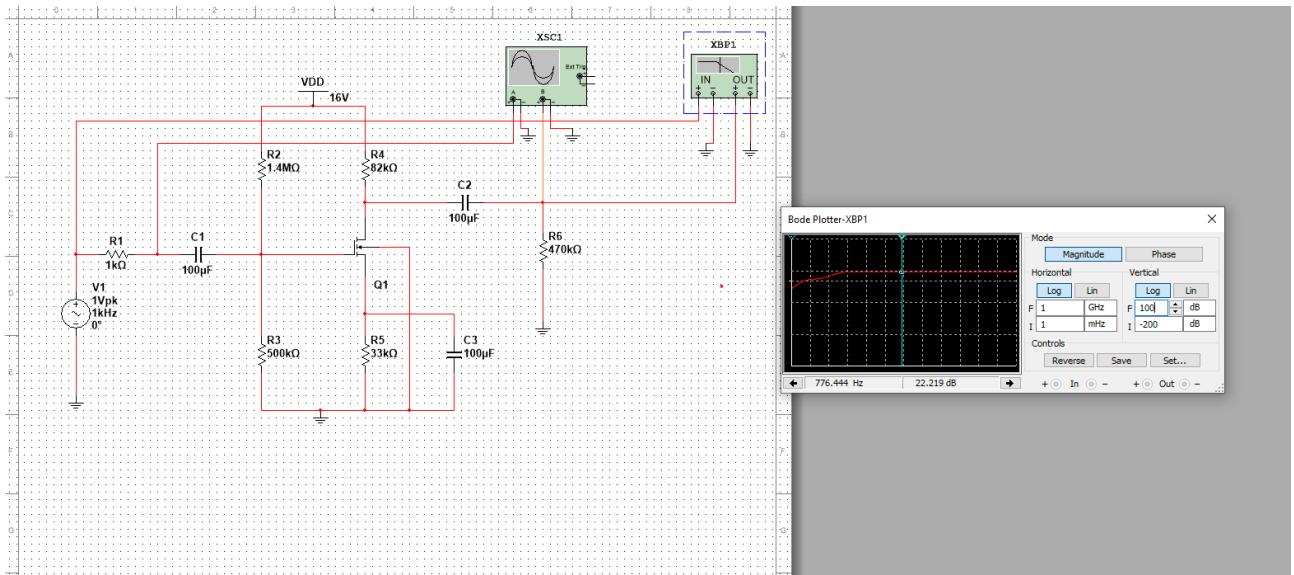
Kiểm tra kết quả



Hình 2: Dạng sóng ngõ vào và ngõ ra của mạch.



Hình 3: Do $A_v = 22.242 \text{ dB} \approx 12.9449$.

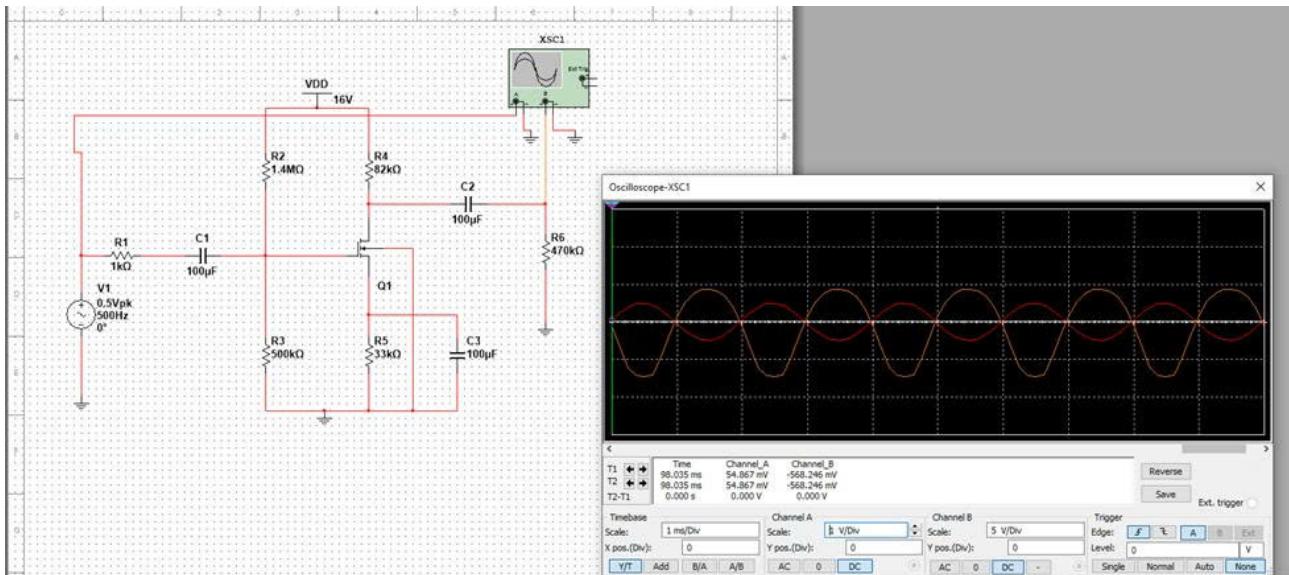


Hình 4: Do $G_v = 22.219 \text{ dB} \approx 12.9107$.

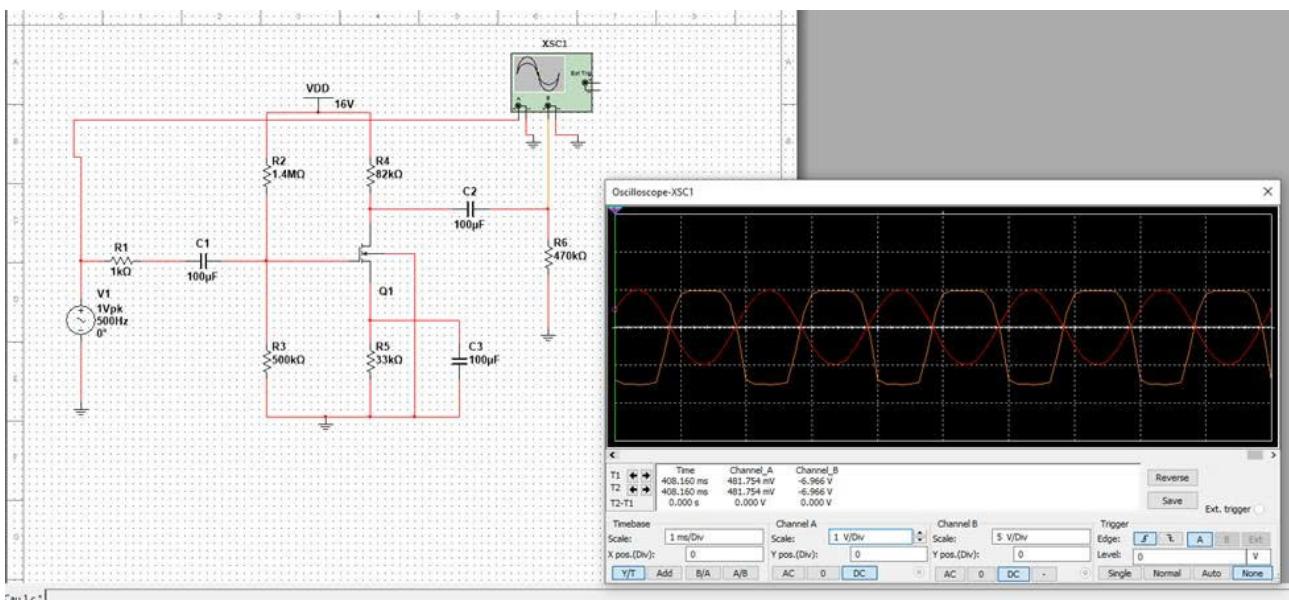
c1) Tìm biên độ lớn nhất của V_m để sóng ngo ra không méo dạng.

Từ VTC, ta nhận thấy:

$$a_{v_{ds\ Max}} = 8.13 - 1.02 = 7.11 \text{ V} \Rightarrow a_{v_{gs\ Max}} = \frac{a_{v_{ds\ Max}}}{|A_v|} = \frac{7.11}{12.85} = 0.55 \text{ V}$$



Hình 5: Ngõ ra chưa bị méo dạng.



Hình 6: Ngõ ra bị méo dạng.

d1) Lựa chọn các tụ C_1 , C_2 và C_3 để mạch có $f_L = 100 \text{ Hz}$.

- Xét ảnh hưởng tụ C_1 :

$$R_{C_1} = R_1 + R_{in} \implies \omega_{p1} = \frac{1}{C_1(R_1 + R_{in})}$$

- Xét ảnh hưởng tụ C_2 :

$$R_{C_2} = R_3 + R_D \implies \omega_{p_2} = \frac{1}{C_2(R_3 + R_D)}$$

- Xét ảnh hưởng tụ C_3 :

$$R_{C_3} = R_3 \parallel \frac{1}{g_m} \implies \omega_{p_3} = \frac{1}{C_3 \left(R_3 \parallel \frac{1}{g_m} \right)}$$

Theo phương pháp **cực tần số trội (dominant pole)**, chọn C_1 làm cực trội có giá trị 100 Hz, C_2 và C_3 tạo ra các cực ở tần số 10 Hz. Như vậy, tần số cắt của mạch là:

$$f_L = \sqrt{f_{C_1}^2 + f_{C_2}^2 + f_{C_3}^2}$$

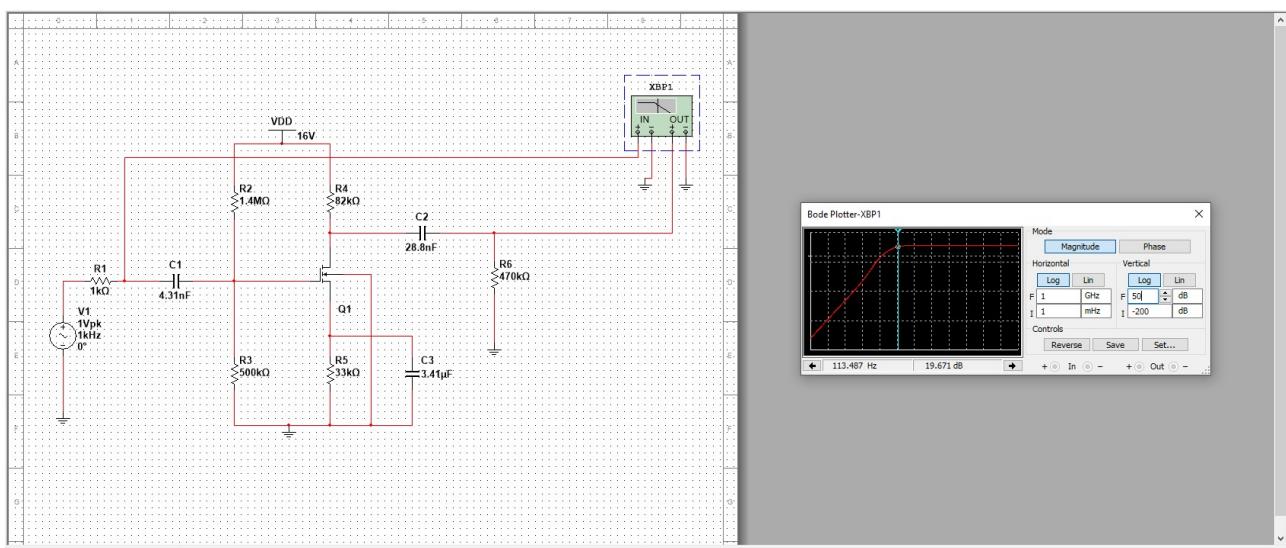
Lựa chọn các tụ C_1 , C_2 , C_3 :

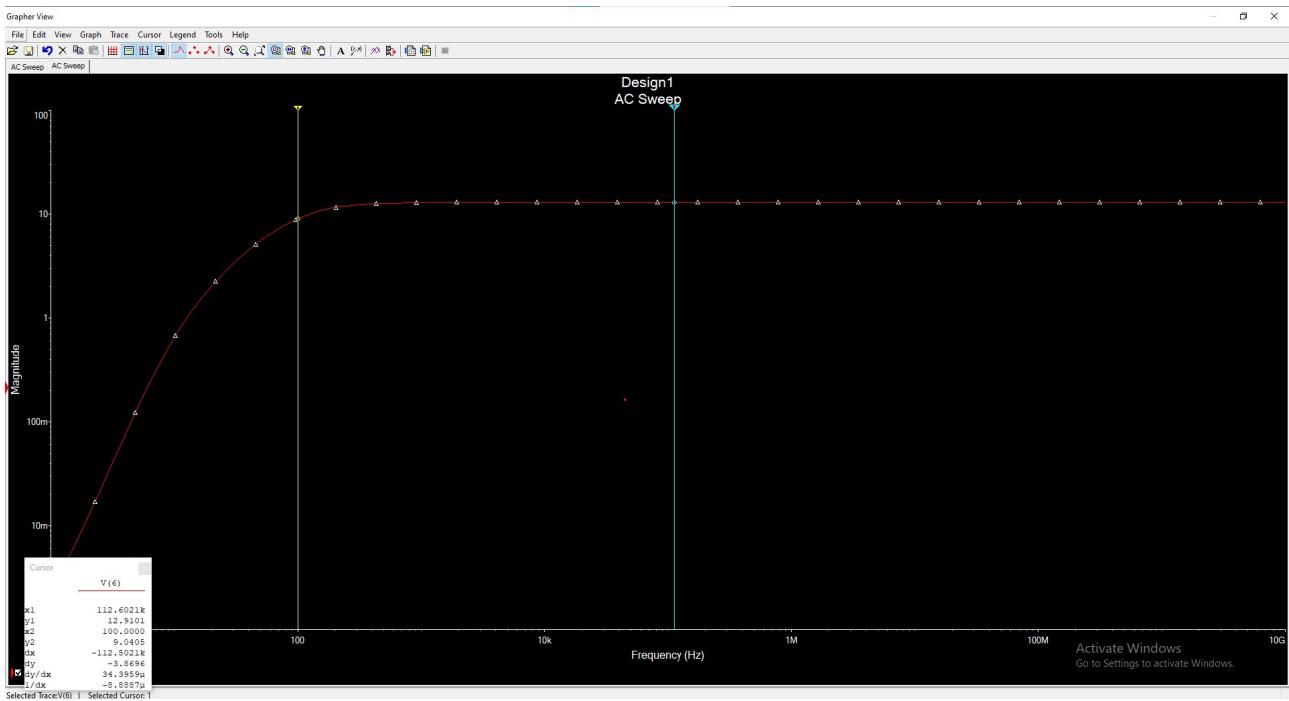
$$C_1 = \frac{1}{2\pi \times 100 \times (1k + 368.42k)} = 4.31 \text{ nF}$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi \times 10 \times (470k + 82k)} = 28.8 \text{ nF}$$

$$C_3 = \frac{1}{2\pi \times 10 \times (33k \parallel \frac{1}{0.184 \text{ mS}})} = 3.41 \mu\text{F}$$

$\Rightarrow C_1 = 4.31 \text{ nF}$ and $C_2 = 28.8 \text{ nF}$ and $C_3 = 3.41 \mu\text{F}$.





Ở hình 2

a2) Vẽ VTC của mạch và tìm điểm hoạt động Q của FET.

Vẽ VTC của mạch

- $v_{GS} < V_{TP}$: MOSFET hoạt động ở trạng thái **cut-off**

$$\Rightarrow i_D = 0 \Rightarrow v_{DS} = V_{DD} = 20 \text{ V}$$

- $v_{GS} > V_{TP}$: MOSFET hoạt động ở trạng thái **saturation (bão hòa)**

$$\Rightarrow i_D = \frac{1}{2} \times K_p (v_{GS} - V_{TP})^2$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow v_{DS} &= V_{DD} - (R_D + R_S) \times \frac{1}{2} \times K_p (v_{GS} - V_{TP})^2 \\ &\Rightarrow v_{DS} = 20 - 8 (v_{GS} - 1.2)^2 \end{aligned}$$

- $v_{GS} \geq v_{GS}|_{v_{DS}=v_{DSsat}}$: MOSFET hoạt động ở trạng thái **triode**

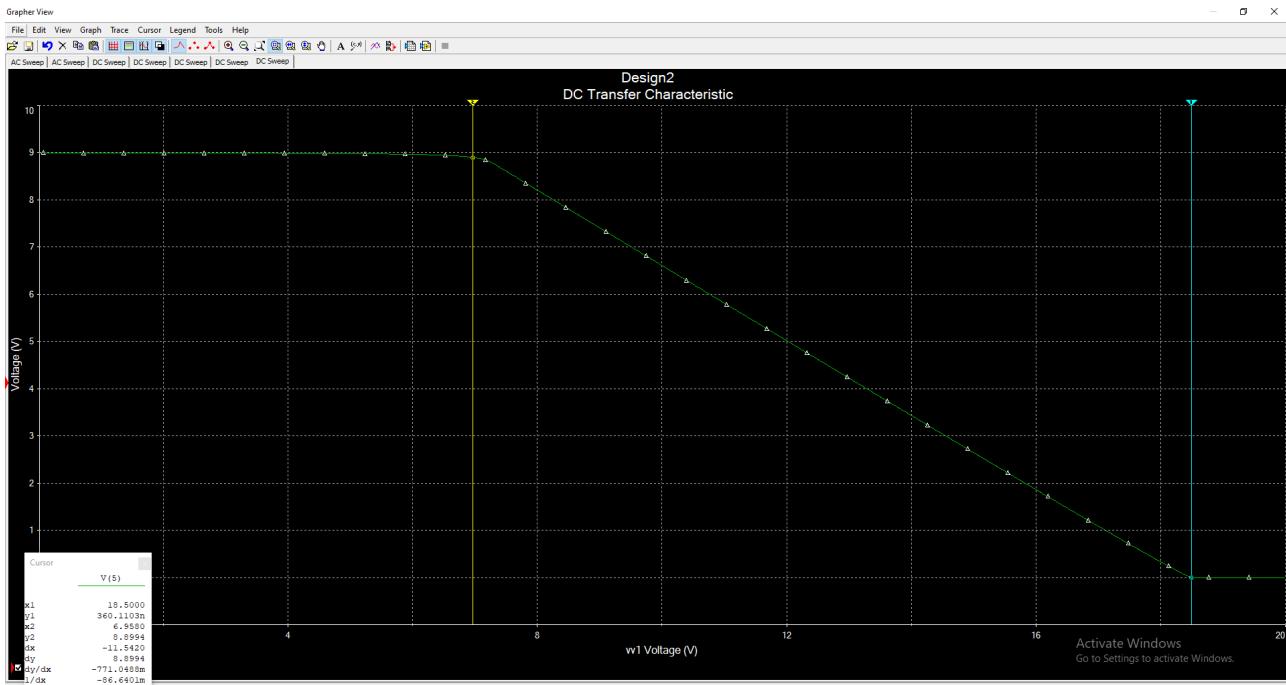
$$\Rightarrow i_D = K_p \left[(v_{GS} - V_{TP}) v_{DS} - \frac{v_{DS}^2}{2} \right]$$

$$\Rightarrow v_{DS} = V_{DD} - (R_D + R_S) \times K_p \left[(v_{GS} - V_{TP}) v_{DS} - \frac{v_{DS}^2}{2} \right]$$

$$v_{DS} = v_{DS_{sat}} = v_{GS} - V_{TP}$$

$$\Rightarrow v_{GS} = V_{TP} + \frac{\sqrt{2V_{DD}(R_D + R_S) \times K_p} - 1}{(R_D + R_S) \times K_p}$$

$$\Rightarrow v_{GS} = -3.01 \text{ V}$$



Hình 7: VTC của mạch ở hình 2.

Tìm điểm hoạt động Q:

$$V_G = V_{DD} \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 20 \times \frac{2.2 \text{ M}}{2.2 \text{ M} + 2.2 \text{ M}} = 10 \text{ V}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - (R_D + R_S) \times \frac{1}{2} \times K_p (V_{GS} - V_{TP})^2$$

$$V_S = I_D \times R_S$$

$$\Rightarrow V_{GS} = V_{DD} \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{1}{2} \times K_p (V_{GS} - V_{TP})^2 \times R_S$$

$$= 10 - \frac{1}{2} \times 0.4 \times 22 \times (V_{GS} - V_{TP})^2$$

$$= -2.781 \text{ V}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - (R_D + R_S) \times \frac{1}{2} \times K_p (V_{GS} - V_{TP})^2$$

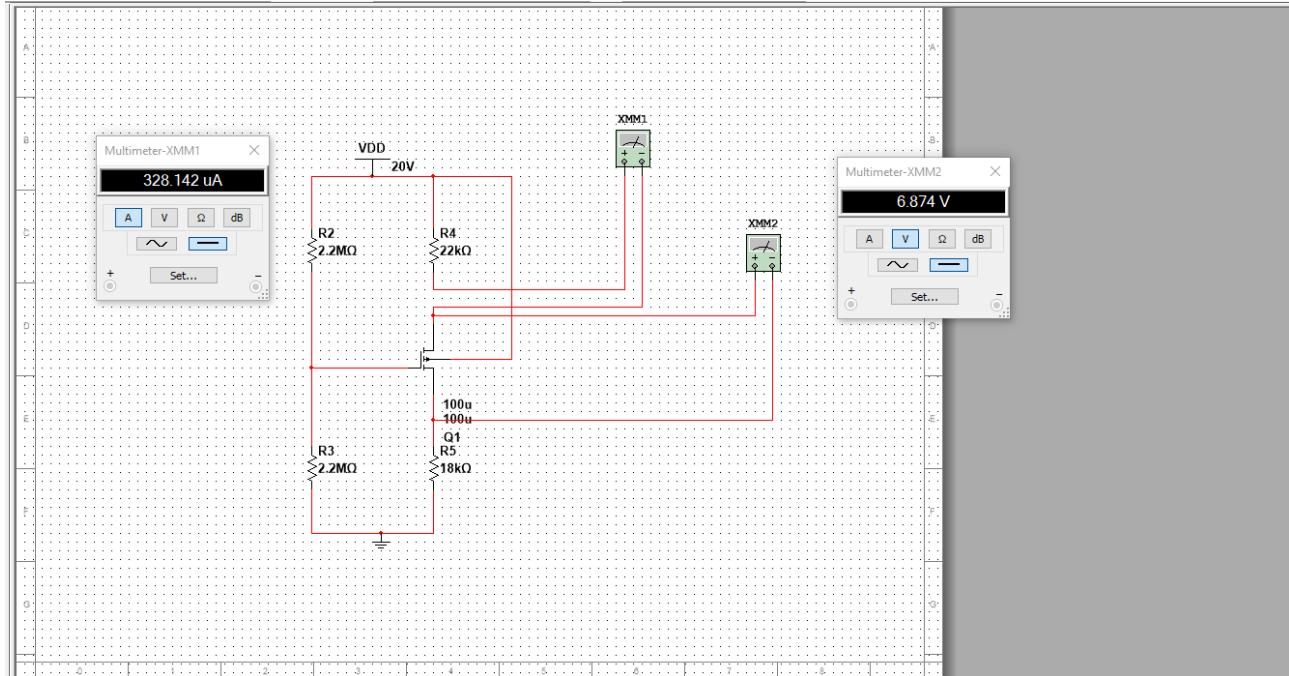
$$\Rightarrow V_{DS} = 20 - 40 \times 0.5 \times 0.4 \times (2.781 + 1.5)^2 = -6.87 \text{V}$$

$$I_{DQ} = \frac{1}{2} K_p (V_{GS} - V_{TP})^2$$

$$\Rightarrow I_{DQ} = \frac{1}{2} \times 0.4 \times (-2.871 + 1.5)^2 = 0.328 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow (I_{DQ}, V_{DS}) = (0.328 \text{ mA}, -6.87 \text{V})$$

Kiểm tra kết quả



b2) Tính A_{vo} , G_v , R_i , R_o của mạch.

$$R_i = R_1 // R_2 = \frac{2.2 \text{ M} \times 2.2 \text{ M}}{2.2 \text{ M} + 2.2 \text{ M}} = 1.1 \text{ M}\Omega$$

$$\Rightarrow R_i = 1.1 \text{ M}\Omega$$

$$R_o = R_D = 18 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow R_o = 18 \text{ k}\Omega .$$

$$g_m = \frac{2I_{DQ}}{|V_{GSQ} - V_{TP}|} = 0.512 \text{ mS}$$

$$A_{vo} = -g_m R_D = -9.22 \text{ V/V}$$

$$\Rightarrow A_{vo} = -9.22 \text{ V/V}.$$

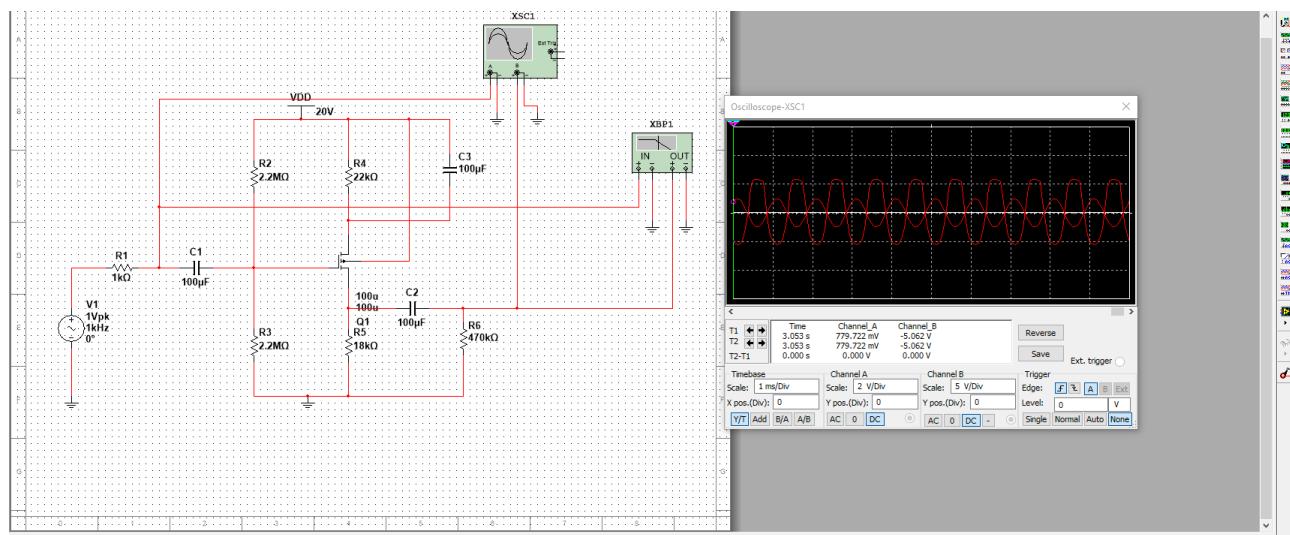
$$A_v = A_{vo} \times \frac{R_L}{R_o + R_L} = -9.22 \times \frac{470}{18 + 470} = -8.88 \text{ V/V}$$

$$\Rightarrow A_v = -8.88 \text{ V/V}.$$

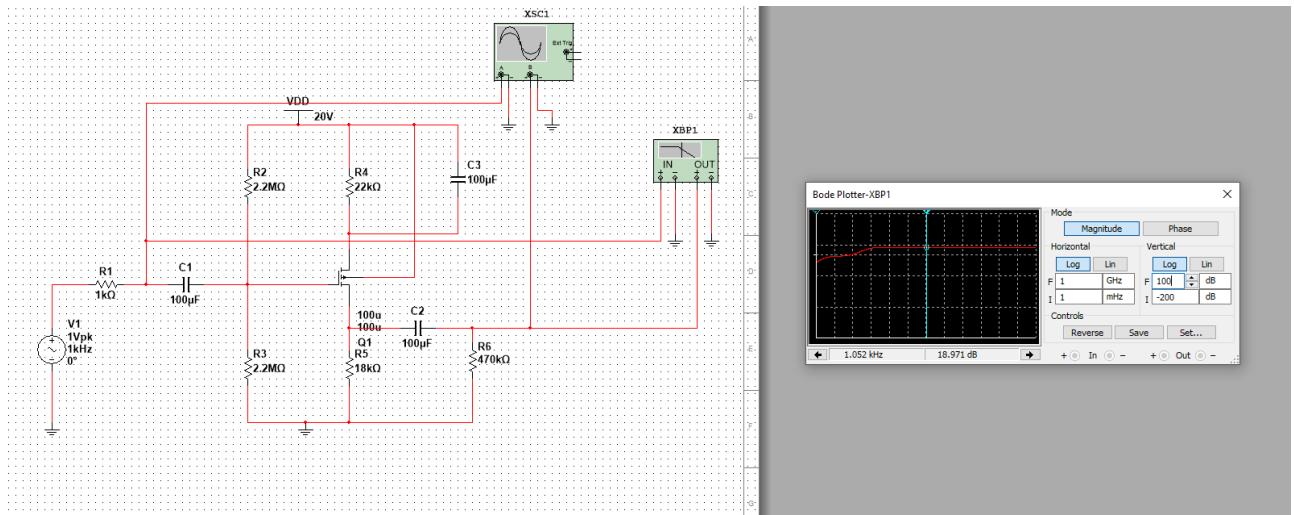
$$G_v = A_{vo} \times \frac{R_L}{R_o + R_L} \times \frac{R_i}{R_{sig} + R_i} = -9.22 \times \frac{470}{18 + 470} \times \frac{1.1 \text{ M}}{1 \text{ k} + 1.1 \text{ M}} = -8.87 \text{ V/V}$$

$$\Rightarrow G_v = -8.87 \text{ V/V}.$$

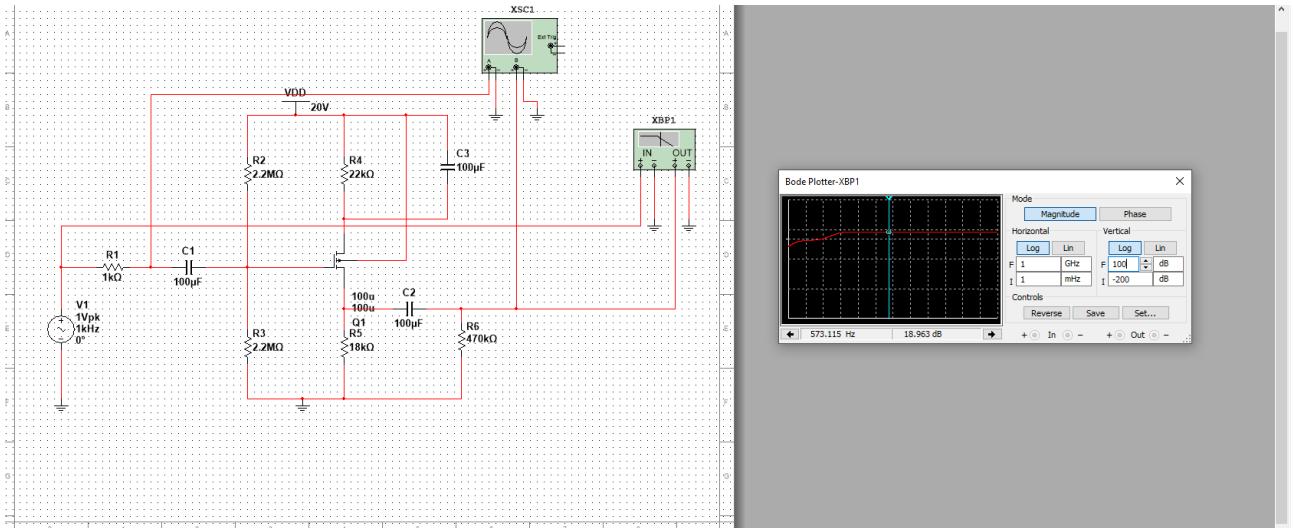
Kiểm tra kết quả



Hình 8: Dạng sóng ngõ vào và ngõ ra của mạch.



Hình 9: Do $A_v = 18.971 \text{ dB} \approx 8.8828$.



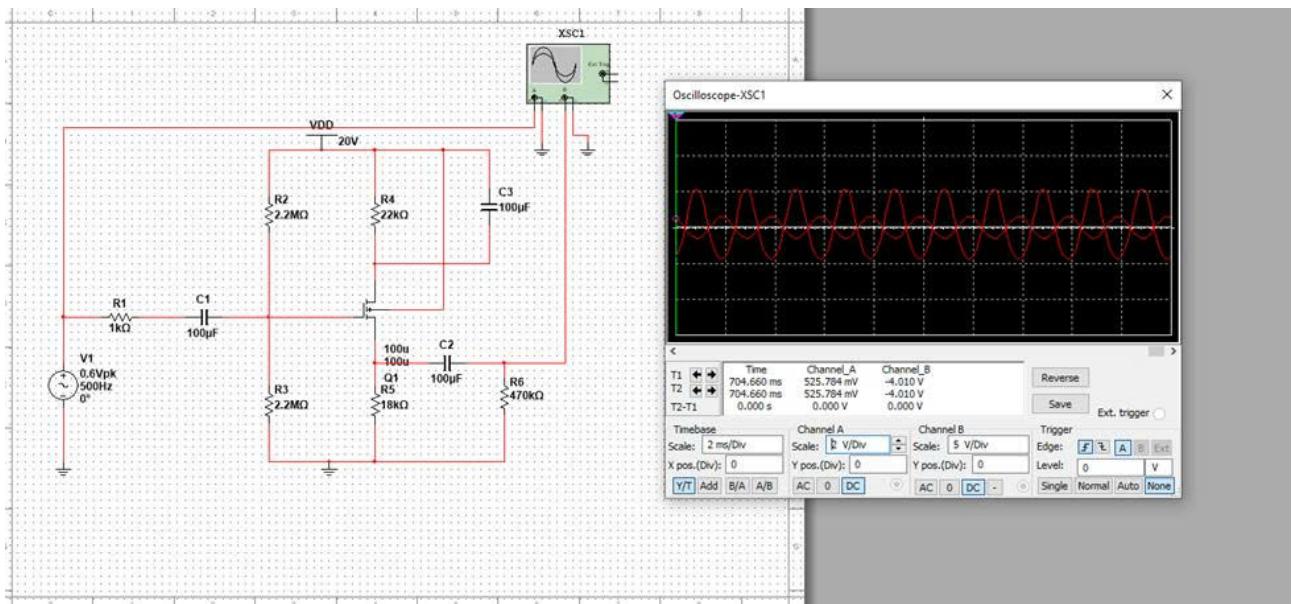
Hình 10: Do $G_v = 18.963 \text{ dB} \approx 8.8746$.

c2) Tìm biên độ lớn nhất của V_m để sóng ngo ra không méo dạng.

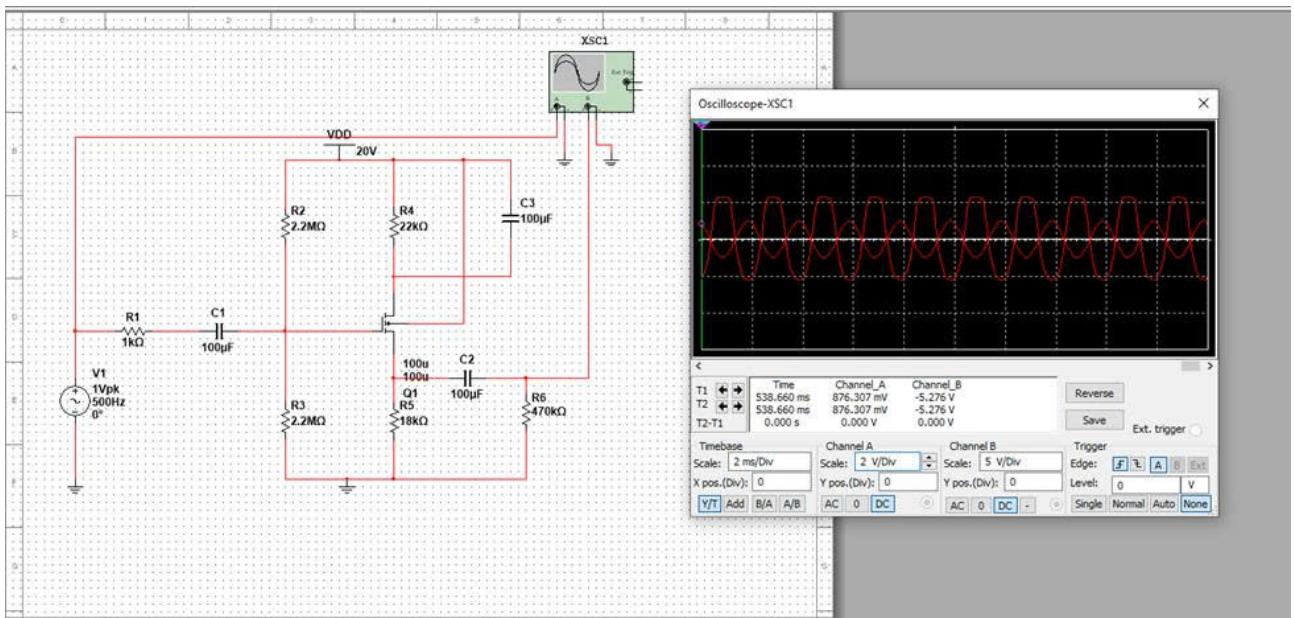
Từ VTC, ta nhận thấy:

$$a_{v_{ds}\text{Max}} = 5.36 \text{ V} \Rightarrow a_{v_{gs}\text{Max}} = \frac{a_{v_{ds}\text{Max}}}{|A_v|} = \frac{5.36}{8.88} = 0.603 \text{ V}$$

$$\Rightarrow a_{v_{gs}\text{Max}} = 0.603 \text{ V}.$$



Hình 11: Ngõ ra chưa bị méo dạng.



Hình 12: Ngõ ra bị méo dạng.

d2) Lựa chọn các tụ C_1 , C_2 , C_3 để mạch có $f_L = 100 \text{ Hz}$.

- Xét ảnh hưởng tụ C_1 :

$$R_{C_1} = R_{sig} + R_{in} \implies \omega_{p1} = \frac{1}{C_1 (R_{sig} + R_{in})}$$

- Xét ảnh hưởng tụ C_2 :

$$R_{C_2} = R_L + R_D \implies \omega_{p_2} = \frac{1}{C_2(R_L + R_D)}$$

- Xét ảnh hưởng tụ C_3 :

$$R_{C_3} = R_S // \frac{1}{g_m} \implies \omega_{p_3} = \frac{1}{C_3 \left(R_S // \frac{1}{g_m} \right)}$$

Theo phương pháp **cực tần số trội (dominant pole)**, chọn C_1 làm cực trội có giá trị 100 Hz, C_2 và C_3 tạo ra các cực ở tần số 10 Hz. Như vậy, tần số cắt của mạch là:

$$f_L = \sqrt{f_{C_1}^2 + f_{C_2}^2 + f_{C_3}^2}$$

Lựa chọn các tụ C_1, C_2, C_3 :

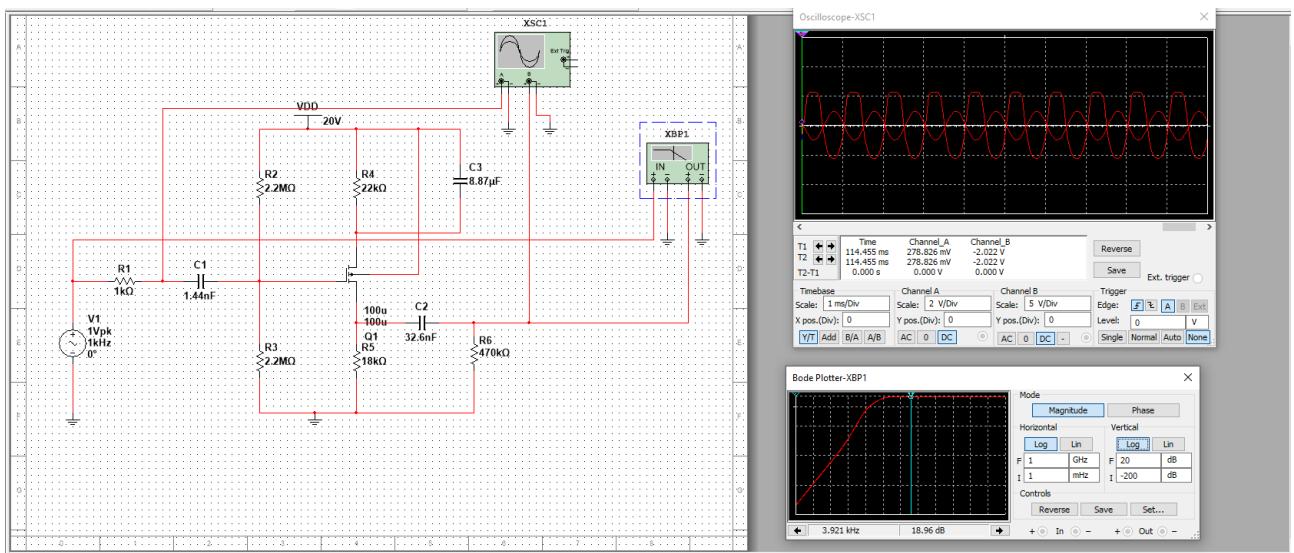
$$C_1 = \frac{1}{2\pi \times 100 \times (1\text{ k} + 1.1\text{ M})} = 1.44\text{ nF}$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi \times 10 \times (470\text{ k} + 18\text{ k})} = 32.6\text{ nF}$$

$$C_3 = \frac{1}{2\pi \times 10 \times (22\text{ k} // \frac{1}{0.512\text{ mS}})} = 8.87\text{ }\mu\text{F}$$

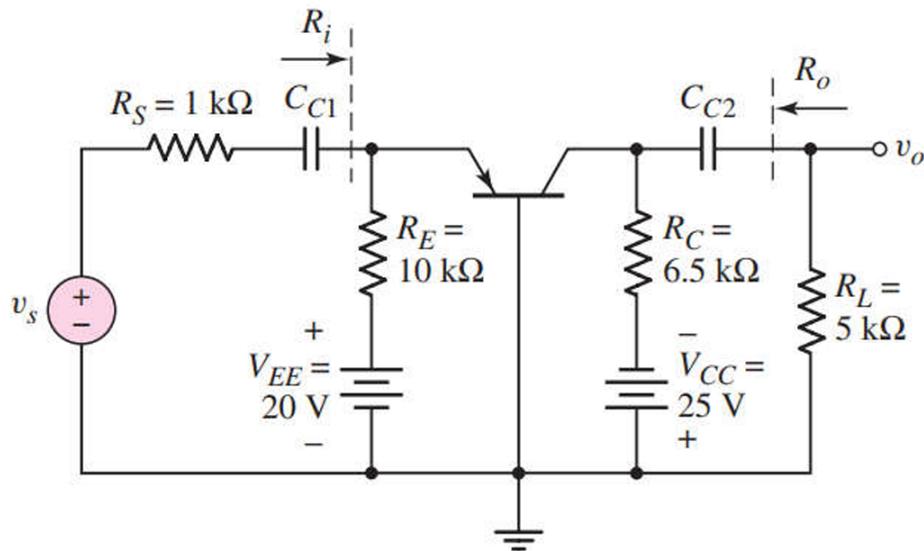
$$\Rightarrow C_1 = 1.44\text{ nF}, C_2 = 32.6\text{ nF}, C_3 = 8.87\text{ }\mu\text{F}.$$

Kiểm tra kết quả



Câu 2

Cho mạch khuếch đại tín hiệu như hình vẽ. Các tụ C_1 , C_2 có giá trị rất lớn. BJT có hệ số $\beta = 80$ và có mã là 2N2907.



a) Vẽ VTC của mạch (kiểm chứng sử dụng mô phỏng) và tìm điểm hoạt động Q của BJT.

Vẽ VTC của mạch:

- $v_{EB} < V_{EB(ON)}$: BJT hoạt động ở trạng thái **cut-off**

$$\Rightarrow i_C = 0 \Rightarrow V_C = -V_{CC} = -25 \text{ V}$$

- $v_{EB} = V_{EB(ON)} = 0.7 \text{ V}$: BJT hoạt động ở trạng thái **active**

$$V_i = V_E = V_B + V_{BE(ON)} = 0 + 0.7 = 0.7 \text{ V}$$

$$V_o = V_i - V_{CEsat} = 0.7 - 0.2 = 0.5 \text{ V}$$

$$I_C = \beta I_B$$

- $v_{EB} \geq V_{EB}|_{v_{EC}=v_{EC_{sat}}}$: BJT hoạt động ở trạng thái **saturation**

$$v_{EC} = v_{EC_{sat}} = 0.2 \text{ V}$$

$$\Rightarrow V_{EC} = (V_{EE} + V_{CC}) - I_E(R_E + R_C)$$

$$\Rightarrow 0.2 = (20 + 25) - I_{E(sat)}(10 \text{ k} + 6.5 \text{ k})$$

$$\Rightarrow I_{E(sat)} = 2.715 \text{ mA}$$

Tìm **điểm hoạt động Q**:

Giả sử BJT hoạt động ở chế độ khuếch đại:

$$V_E = V_B + V_{EB} = 0 + 0.7 = 0.7 \text{ V}$$

Áp dụng KVL cho vòng 1:

$$-V_{EE} + R_E I_E + V_{EB} = 0$$

$$\Rightarrow I_E = \frac{V_{EE} - V_{EB}}{R_E} = \frac{20 - 0.7}{10 \text{ k}} = 1.93 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow I_C = \frac{\beta}{\beta + 1} \times I_E = 1.906 \text{ mA}$$

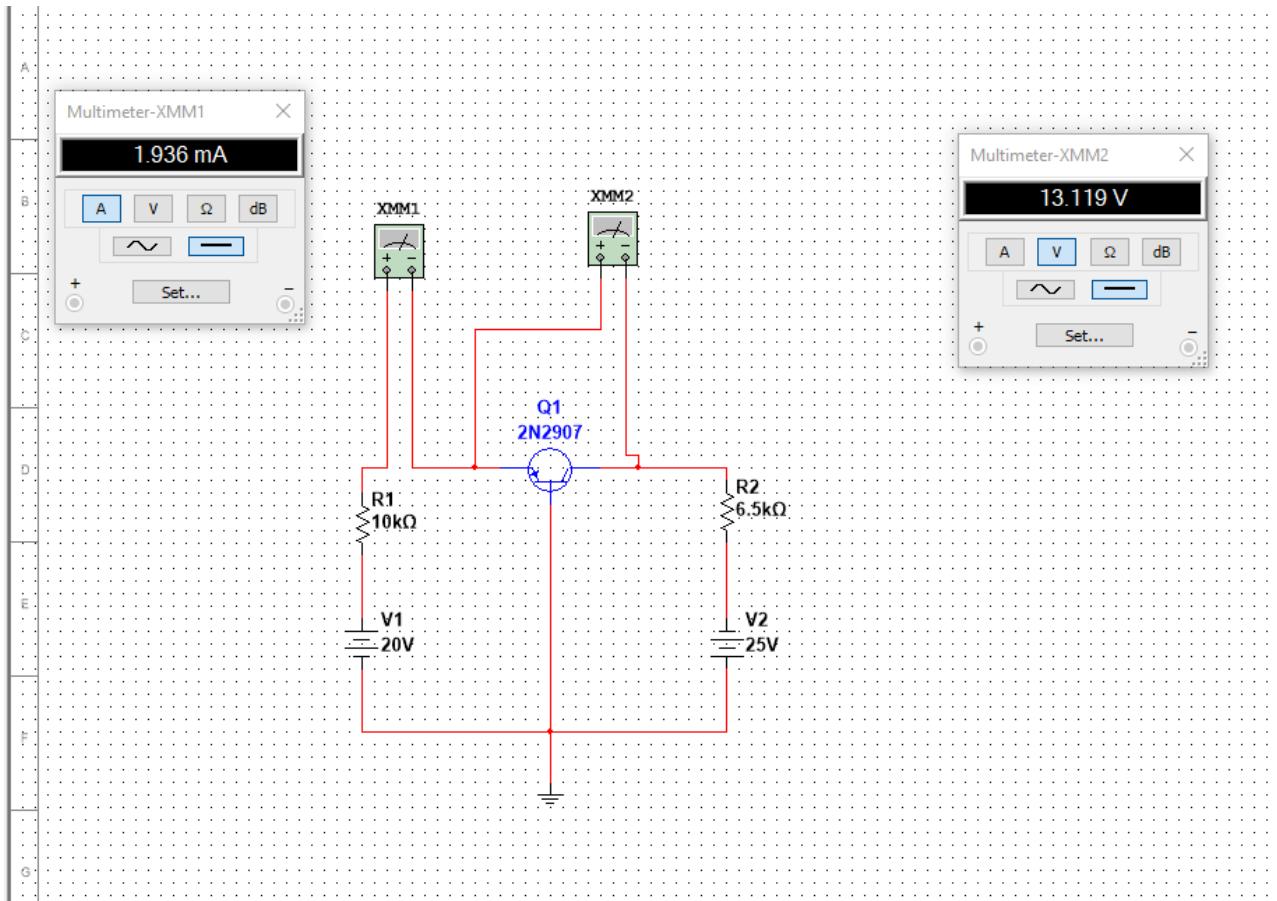
Áp dụng KVL cho vòng 2:

$$-V_{EE} + I_E(R_E + R_C) + V_{EC} - V_{CC} = 0$$

$$\Rightarrow V_{EC} = 13.155 \text{ V}$$

Vậy điểm làm việc Q là: $(I_{CQ}, V_{ECQ}) = (1.93 \text{ mA}, 13.155 \text{ V})$.

Kiểm tra kết quả

Hình 13: Điểm phân cực Q của mạch.

b) Đặt $v_1 = V_m \sin(\omega t)$ vào mạch. Tìm A_{vo} , G_v , R_i , R_o của mạch.

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = 0.07624 \text{ mS}$$

$$\Rightarrow g_m = 0.07624 \text{ mS}.$$

$$R_i = \frac{1}{g_m} // R_E = \frac{\frac{1}{0.07624} \times 10 \text{ k}}{\frac{1}{0.07624} + 10 \text{ k}} = 13.1 \Omega$$

$$\Rightarrow R_i = 13.1 \Omega.$$

$$R_o = R_C = 6.5 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow R_o = 6.5 \text{ k}\Omega.$$

$$A_{vo} = g_m R_C = 495.56 \text{ V/V}$$

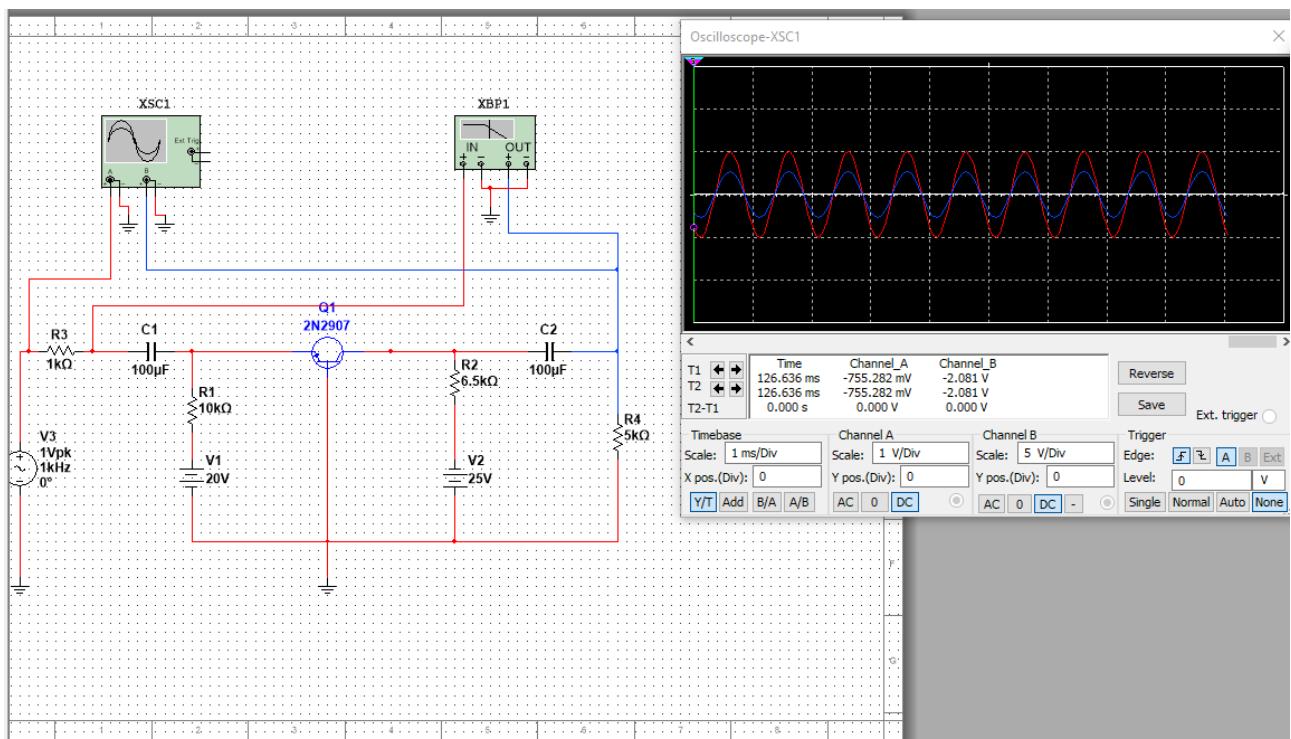
$$\Rightarrow A_{vo} = 495.56 \text{ V/V}.$$

$$A_v = A_{vo} \times \frac{R_L}{R_o + R_L} = 495.56 \times \frac{5 \text{ k}}{5 \text{ k} + 6.5 \text{ k}} = 215.46 \text{ V/V}$$

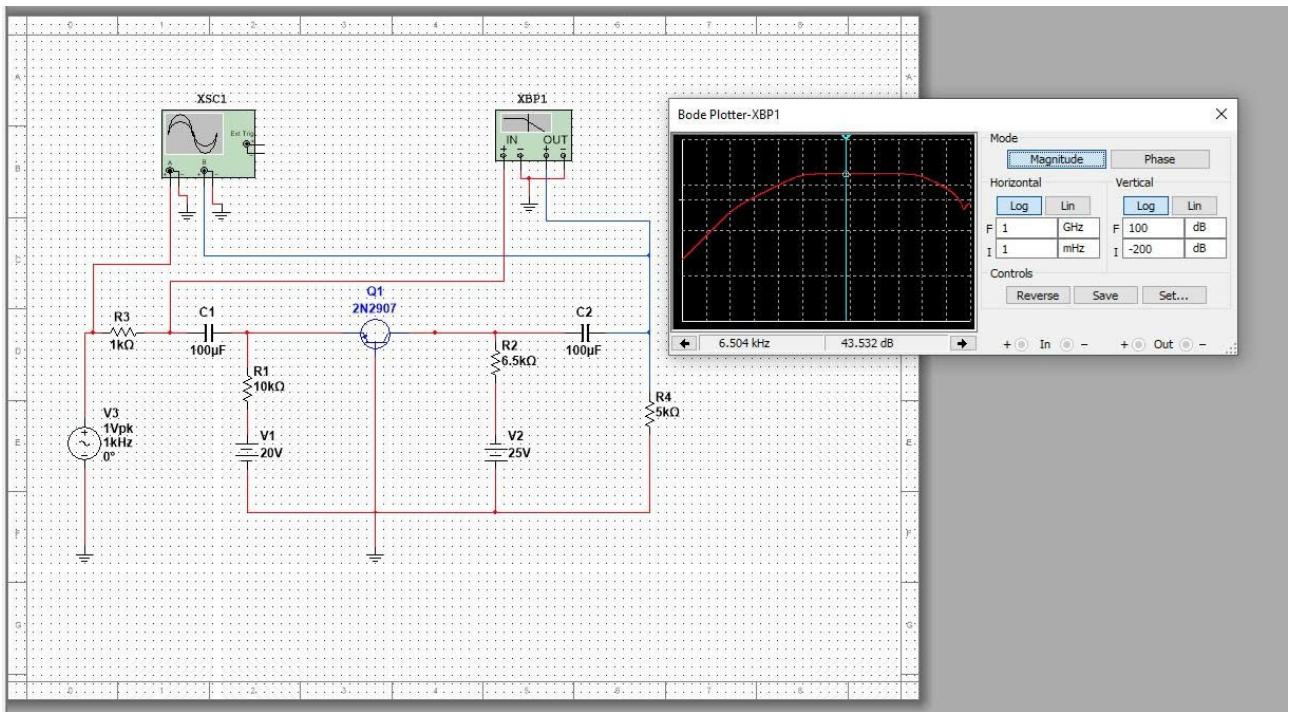
$$\Rightarrow A_v = 215.46 \text{ V/V}.$$

$$G_v = A_{vo} \times \frac{R_L}{R_o + R_L} \times \frac{R_i}{R_{sig} + R_i} = 495.56 \times \frac{5 \text{ k}}{5 \text{ k} + 6.5 \text{ k}} \times \frac{13.1}{1 \text{ k} + 13.1} = 2.79 \text{ V/V}$$

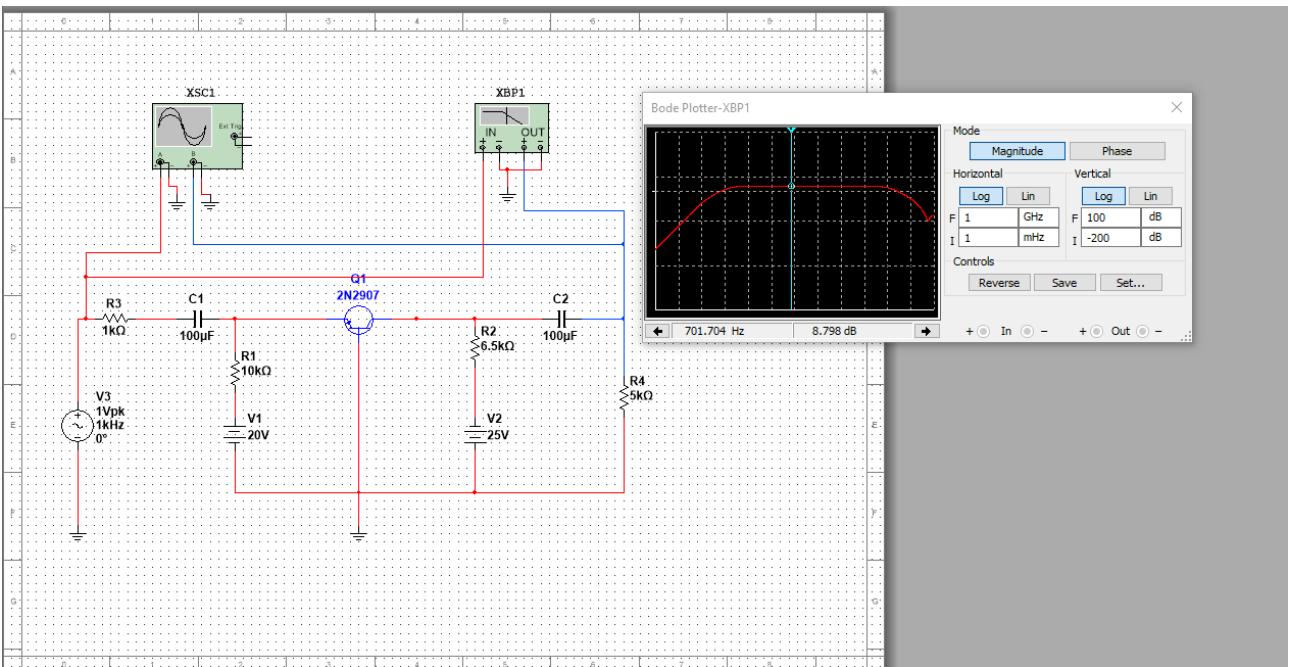
$$\Rightarrow G_v = 2.79 \text{ V/V}.$$



Hình 14: Dạng sóng ngõ vào và ngõ ra của mạch.



Hình 15: Đo $A_v = 43.532dB \approx 150.1758$.



Hình 16: Đo $G_v = 8.798 dB \approx 2.7536$.

c) Lựa chọn các tụ C_1 , C_2 để mạch có $f_L = 100 \text{ Hz}$.

- Xét ảnh hưởng tụ C_1 :

$$R_{C_1} = R_{sig} \parallel R_{in} \implies \omega_{p_1} = \frac{1}{C_1 (R_{sig} \parallel R_{in})}$$

- Xét ảnh hưởng tụ C_2 :

$$R_{C_2} = R_C + R_L \implies \omega_{p_2} = \frac{1}{C_2 (R_C + R_L)}$$

Theo phương pháp **cực tần số trội (dominant pole)**, chọn C_1 làm cực trội có giá trị 100 Hz , C_2 tạo ra cực ở tần số 40 Hz . Như vậy, tần số cắt của mạch là:

$$f_L = \sqrt{f_{C_1}^2 + f_{C_2}^2}$$

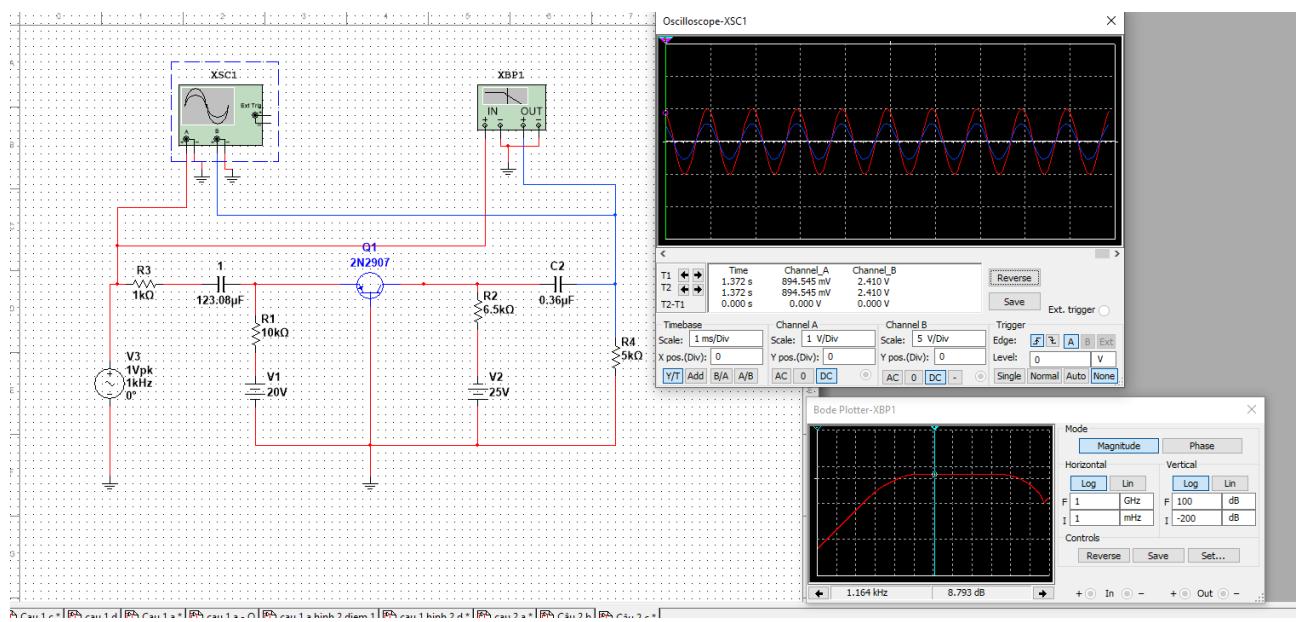
Lựa chọn các tụ C_1 và C_2 :

$$C_1 = \frac{1}{2\pi \times 100 \times (1 \text{ k} \parallel 13.1 \text{ k})} = 123.08 \mu\text{F}$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi \times 40 \times (6.5 \text{ k} + 5 \text{ k})} = 0.36 \mu\text{F}$$

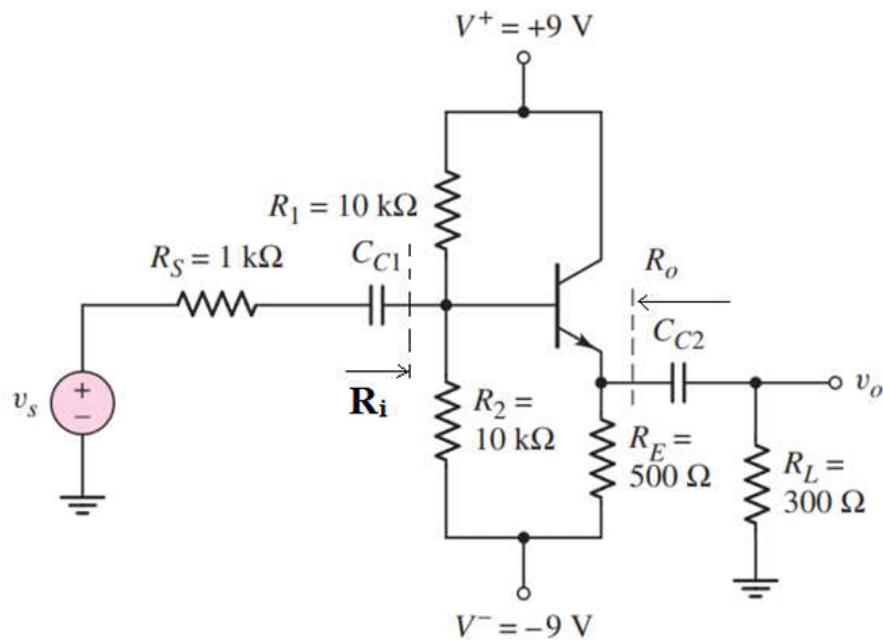
$$\Rightarrow C_1 = 123.08 \mu\text{F} \quad \text{và} \quad C_2 = 0.36 \mu\text{F}.$$

Kiểm tra kết quả



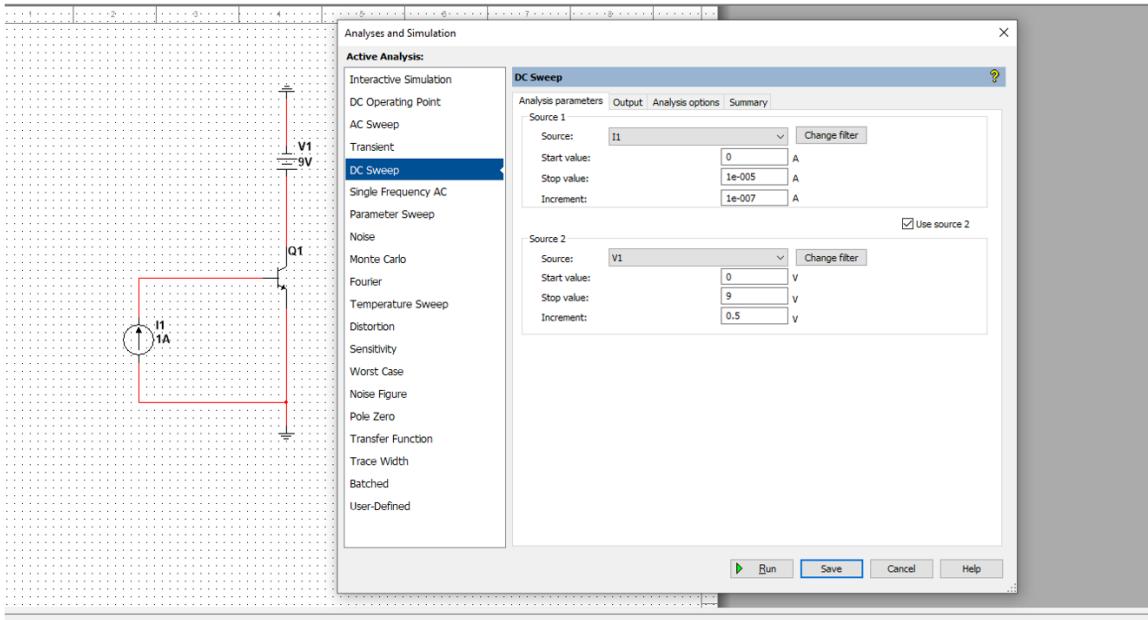
Câu 3

Cho mạch khuếch đại tín hiệu như hình vẽ. Giả sử các tụ có giá trị rất lớn. BJT có $\beta = 100$ và $V_A = \infty$.

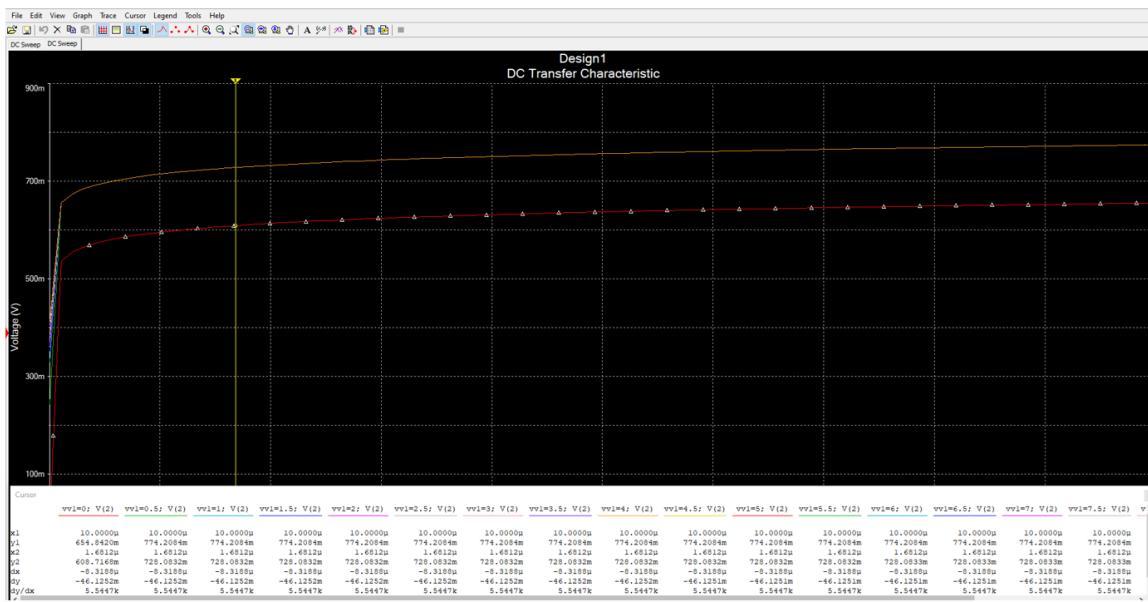


a) Tìm điểm hoạt động Q của BJT

Xét hoạt động chế độ DC cho toàn mạch

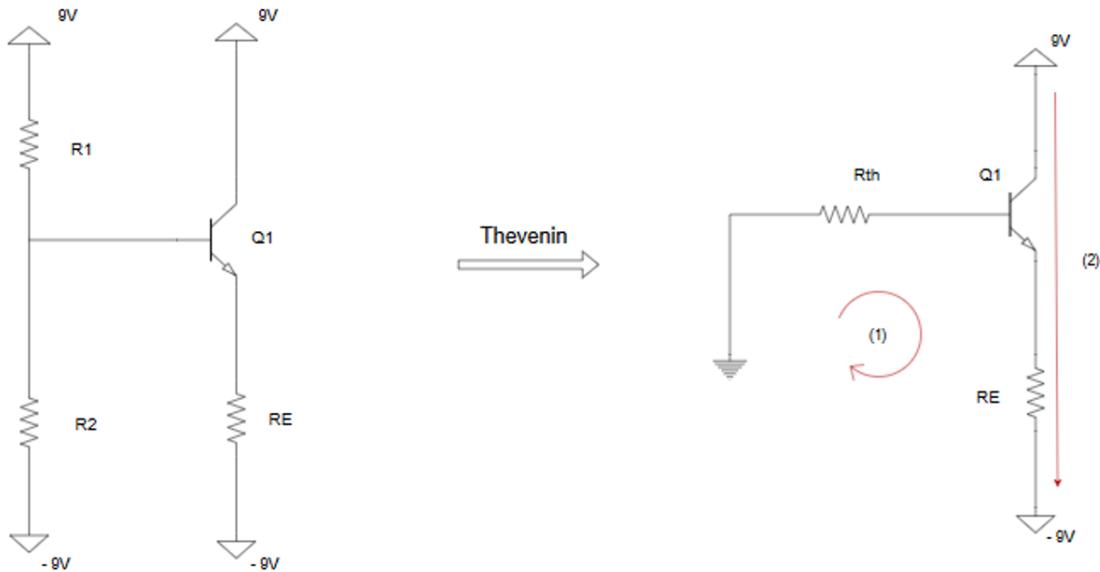
Hình 17: Tìm giá trị V_{BE} của mạch.

Ta sử dụng chế độ DC Sweep để tìm giá trị V_{BE} dãy của mạch. Sau khi chạy tool, ta có kết quả như sau,

Hình 18: Kết quả sau khi chạy DC Sweep để tìm V_{BE} .

Như vậy, ta có giá trị điện áp V_{BE} của BJT dãy rơi vào tầm $\approx 0.774 \text{ mA}$.

- Tìm giá trị I_{CQ}



Thevenin ta có:

$$R_{th} = R_1 // R_2 = 5 \text{ k}\Omega$$

$$V_{th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{cc} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{cc} = 0 \text{ V}$$

Áp dụng KVL cho vòng (1):

$$I_B R_{th} + V_{BE} + I_E R_E - 9 = 0$$

Ta có: $I_E = (\beta + 1)I_B$

$$\Rightarrow I_B = \frac{9 - V_{BE}}{R_{th} + (\beta + 1)R_E} = \frac{9 - 0.774}{5 + (100 + 1) \times 0.5} = \frac{8.226}{55.5} = 0.148 \text{ mA}$$

$$I_C = \beta I_B = 100 \times 0.148 \text{ mA} = 14.8 \text{ mA}$$

- Tìm giá trị V_{CEQ}

Áp dụng KVL cho vòng (2):

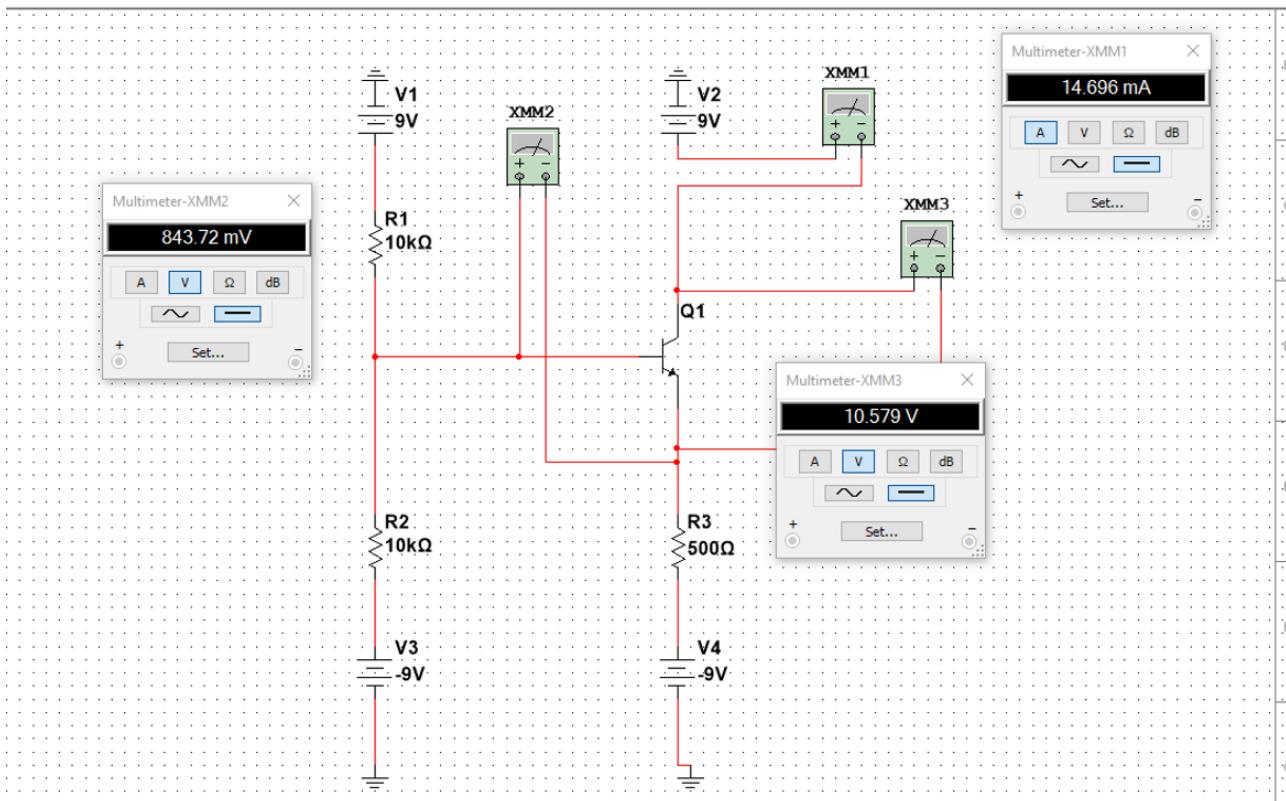
$$-9 + V_{CE} + I_E R_E - 9 = 0$$

Ta có: $I_C = \frac{\beta}{(\beta+1)} I_E$

$$\Rightarrow V_{CE} = 18 - \frac{(\beta+1)}{\beta} I_C \times R_E = 10.526 \text{ V}$$

Vậy điểm làm việc Q của tầng 2 là : $(I_{CQ}, V_{CEQ}) = (14.8 \text{ mA}, 10.526 \text{ V})$.

- Kiểm tra kết quả



b) Đặt $v_s = V_s \sin(\omega t)$ vào mạch. Ngõ ra nối với tải $R_L = 1 \text{ k}\Omega$. Tìm A_{vo} , G_v , R_i , R_o của mạch.

Xét hoạt động chế độ AC cho toàn mạch:

$$r_\pi = \frac{V_T}{I_B} = \frac{\beta V_T}{I_C} = 0.169 \text{ k}\Omega$$

$$r_o = \frac{V_A}{I_C} = \frac{100}{14.8} = 6.76 \text{ k}\Omega$$

$$A_{vo} = \frac{R_E}{\frac{r_\pi}{\beta+1} + R_E} = \frac{0.5}{\frac{0.169}{101} + 0.5} = 0.997 \text{ V/V}$$

$$\Rightarrow A_{vo} = 0.997 \text{ V/V} .$$

$$R_{in} = R_1 // R_2 // (\beta + 1) (r_e + R_E // r_o) = 10k // 10k // 101 \times \left(\frac{r_\pi}{\beta + 1} + 500 // 6.76k \right) = 4.52 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow R_i = 4.52 \text{ k}\Omega .$$

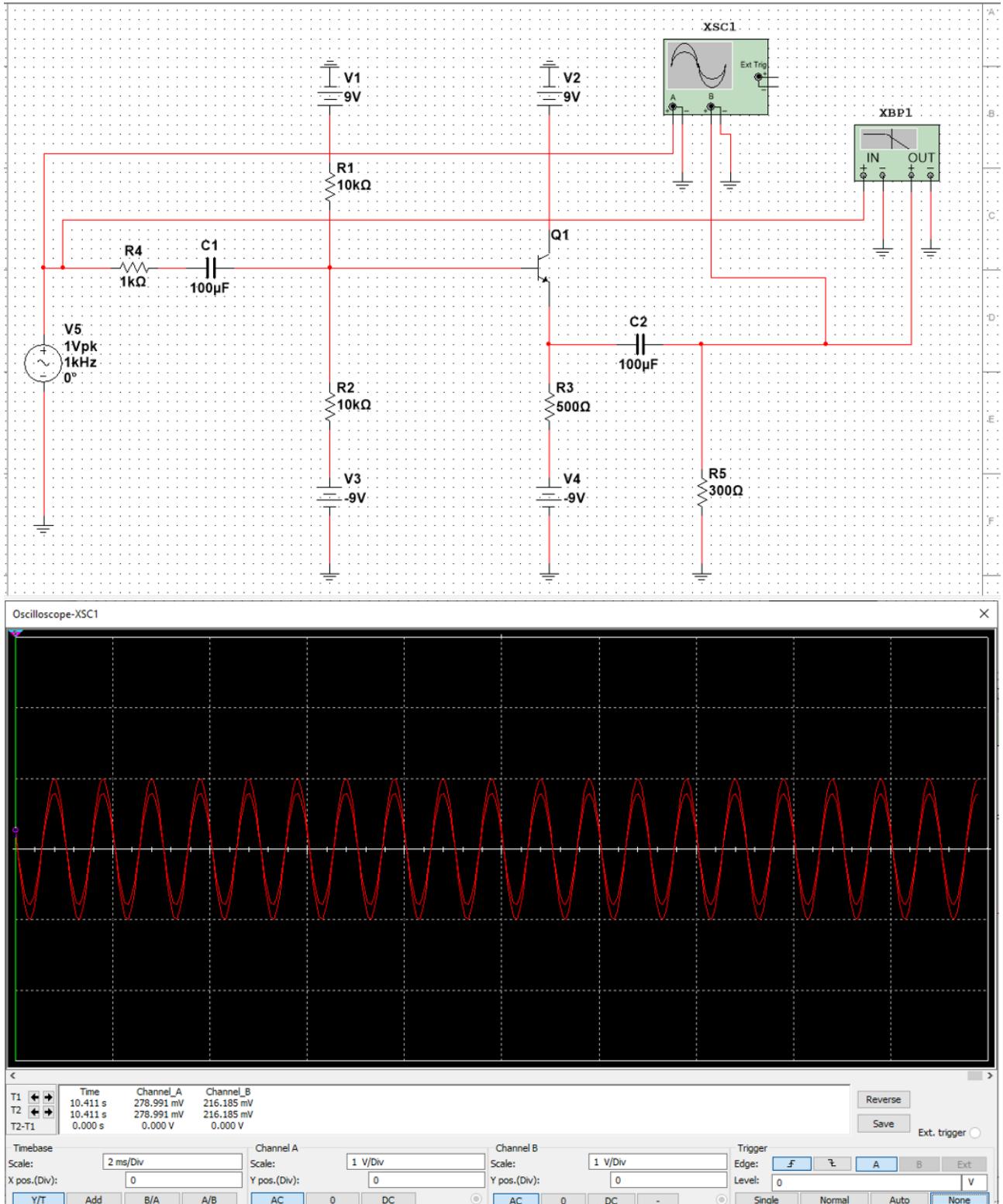
$$R_o = R_E // r_e // r_o = 0.5k // \frac{0.167k}{101} // 6.76k = 1.65 \text{ }\Omega$$

$$\Rightarrow R_o = 1.65 \text{ }\Omega .$$

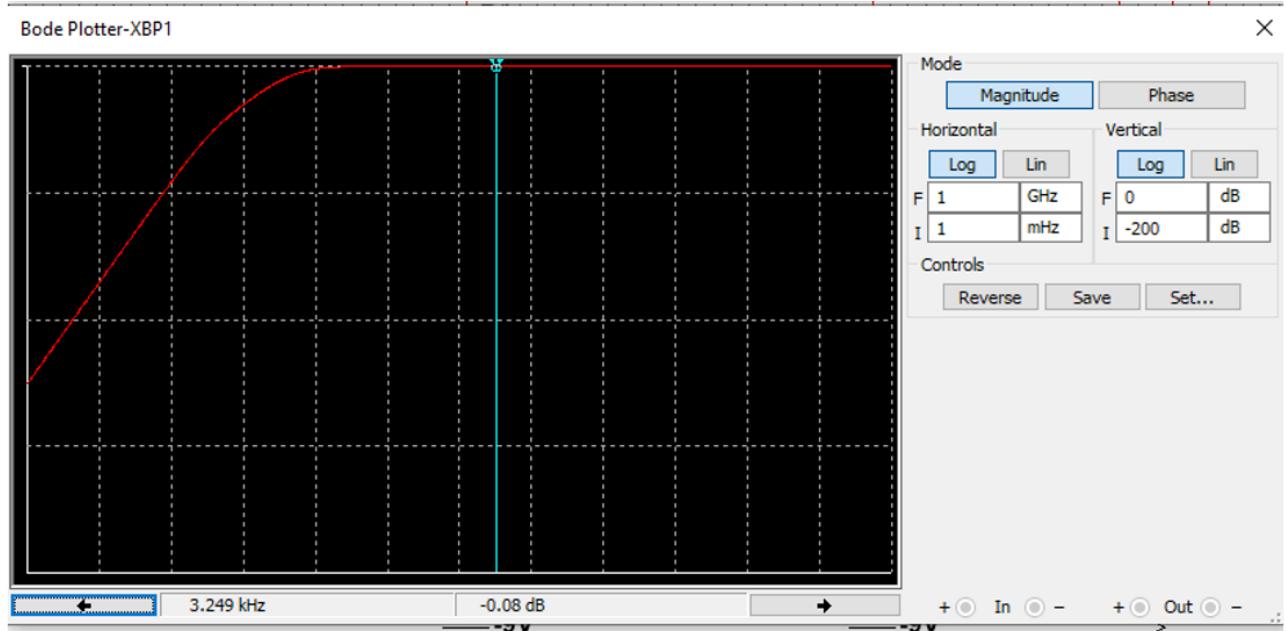
$$G_v = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{sig}} \times \frac{R_L}{R_L + R_o} \times A_{vo} = \frac{4.52}{4.52 + 1} \times \frac{300}{300 + 1.65} \times 0.997 = 0.81 \text{ V/V}$$

$$\Rightarrow G_v = 0.81 \text{ V/V} .$$

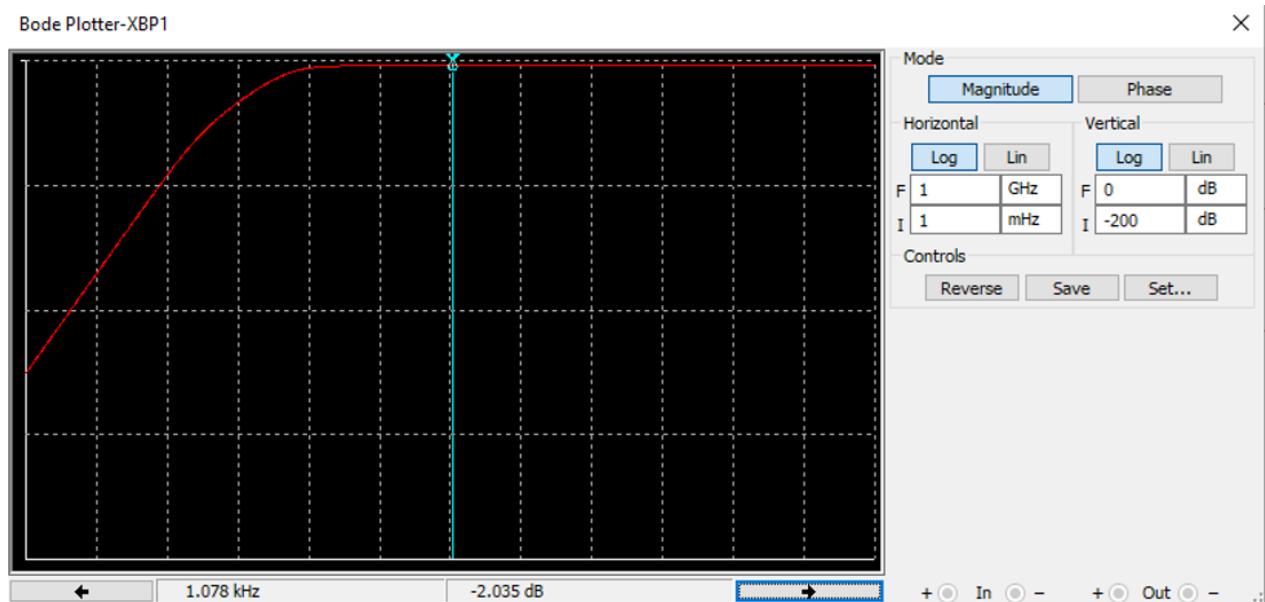
Kiểm tra kết quả



Hình 19: Dạng sóng ngõ vào và ngõ ra của mạch.



Hình 20: Tiến hành đo $A_{vo} = -0.08dB \approx 0.997V/V$.



Hình 21: Tiến hành đo $G_{vo} = -2.035dB \approx 0.81V/V$.

c) Tìm biên độ lớn nhất của V_m để vs là tín hiệu nhỏ.

Giả sử $V_{BE(on)} = 0.7V$ và $V_{CE(sat)} = 0.2V$.

Điểm chuyển từ Cut-off → Active của BJT:

$$V_E = V_- = -9\text{V} \Rightarrow V_{BE} = V_{BE(on)} = 0.7\text{V}$$

$$\Rightarrow V_i = V_E + V_{BE(on)} = -9 + 0.7 = -8.3\text{V}$$

Điểm chuyển từ Active → Saturation của BJT:

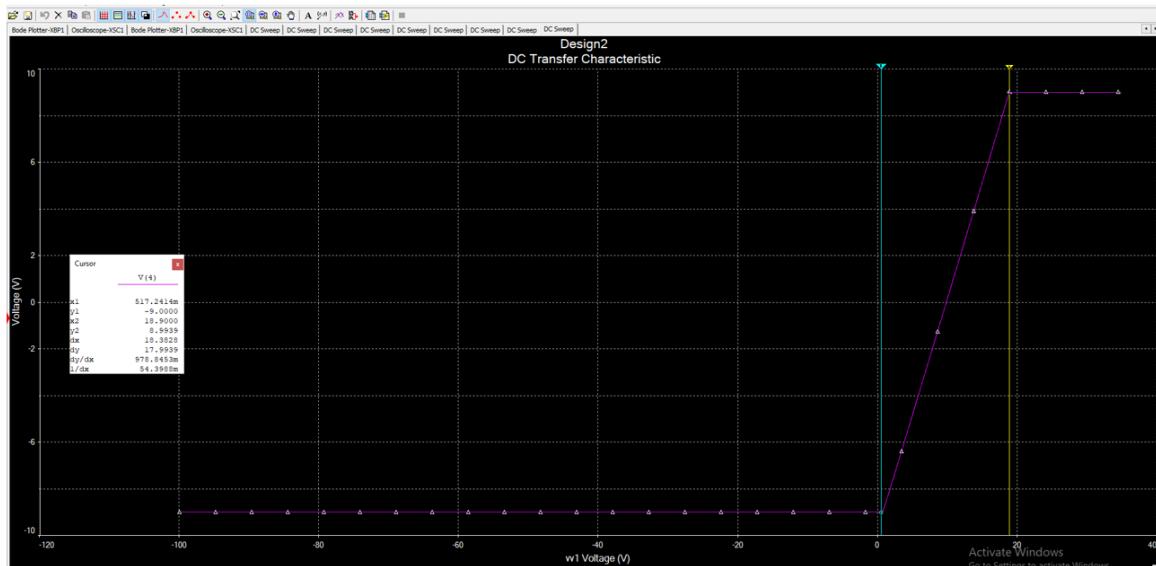
BJT hoạt động trong vùng khuếch đại (active): $V_{BE} \approx 0.7\text{V}$, $V_{CE} > V_{CE(sat)}$

BJT đi vào vùng bão hòa khi: $V_{CE} = V_{CE(sat)} = 0.2\text{V}$

$$\Rightarrow V_E = V_C + V_{CE(sat)} = 9 - (-9) + 0.2 = 18.2\text{V}$$

$$V_i = V_E + V_{BE(on)} = 18.2 + 0.7 = 18.9\text{V}$$

Kiểm tra kết quả



d) Lựa chọn các tụ C_{C1} , C_{C2} để mạch có $f_L = 100Hz$.

- Xét ảnh hưởng của tụ C_1 :

$$R_{C1} = R_{in} \implies \omega_{p1} = \frac{1}{C_1 R_{in}}$$

- Xét ảnh hưởng của tụ C_2 :

$$R_{C_2} = R_E // R_L \implies \omega_{p_2} = \frac{1}{C_2(R_E // R_L)}$$

- Theo phương pháp cực tần số trội (*dominant pole*), chọn C_1 tạo cực trội ở $f_{C_1} = 100$ Hz, và C_2 tạo cực ở $f_{C_2} = 10$ Hz. Tần số cắt của mạch:

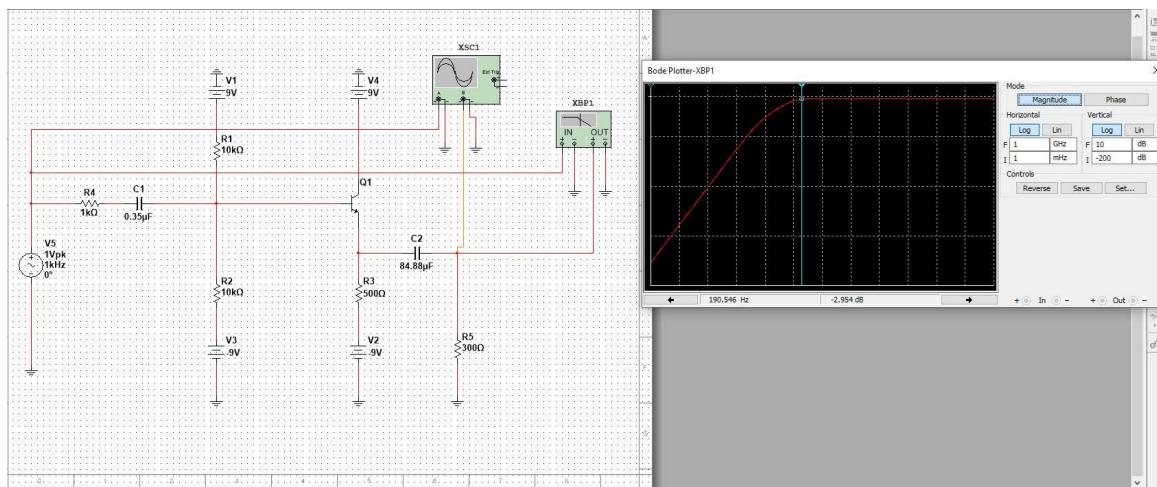
$$f_L = \sqrt{f_{C_1}^2 + f_{C_2}^2}$$

- Lựa chọn các tụ C_1, C_2 :

$$\Rightarrow C_1 = \frac{1}{2\pi \times 100 \times (4.52k)} = 0.35 \mu F$$

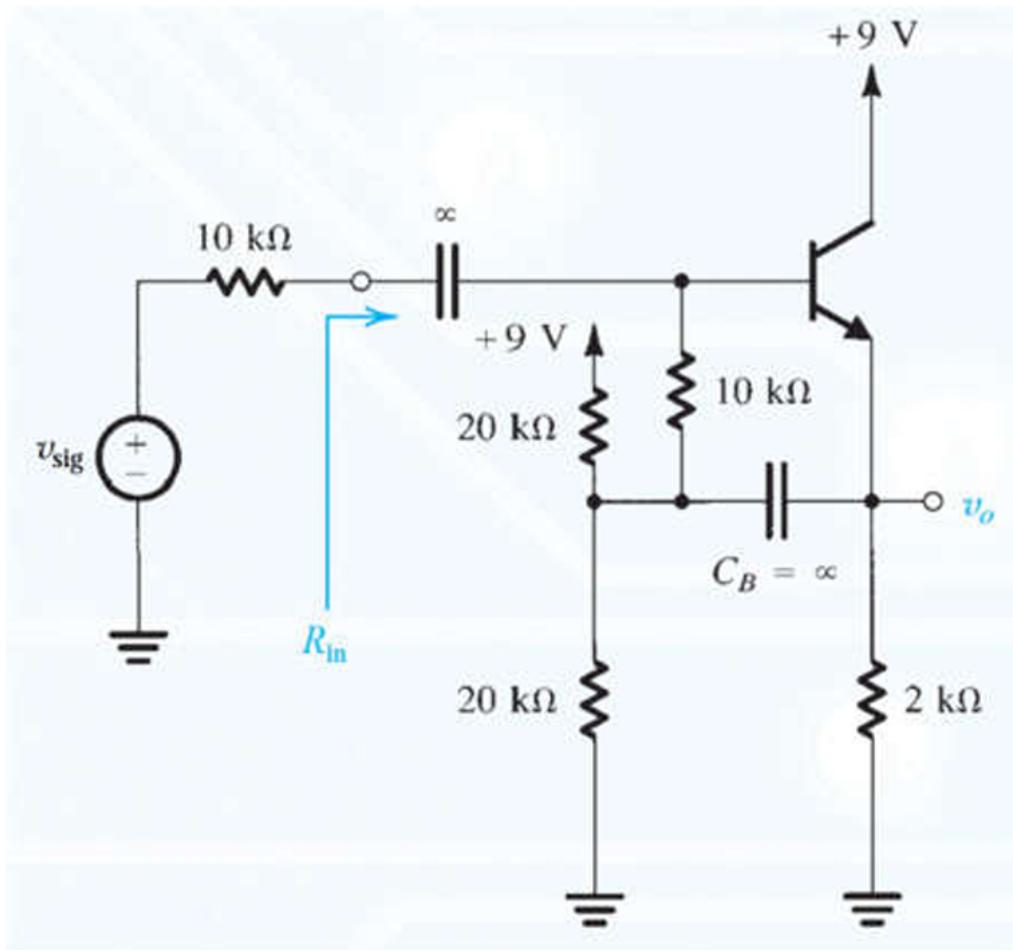
$$\Rightarrow C_2 = \frac{1}{2\pi \times 10 \times (500 // 300)} = 84.88 \mu F$$

Kiểm tra kết quả



Câu 4

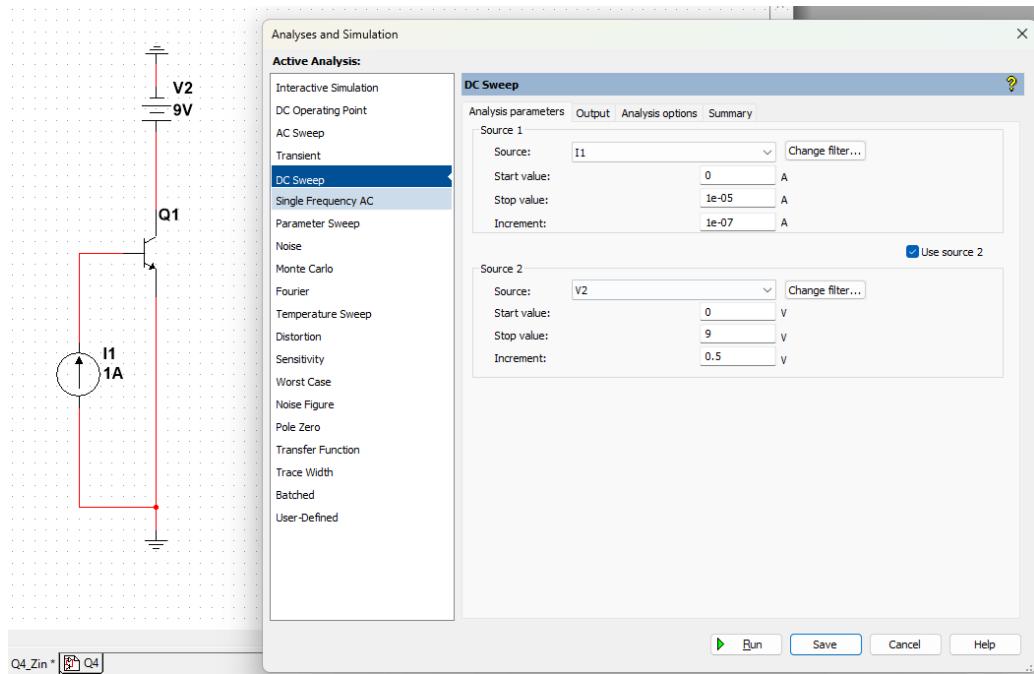
Cho mạch khuếch đại tín hiệu như hình vẽ. Giả sử các tụ có giá trị rất lớn. BJT có $\beta = 100$ và $V_A = \infty$.



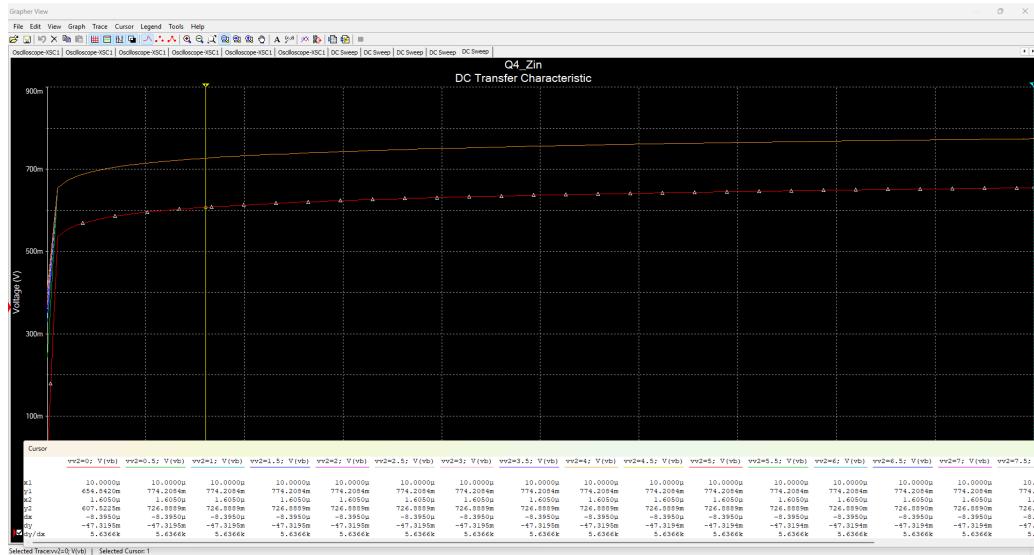
a) Tìm điểm hoạt động Q của BJT

Xét hoạt động chế độ DC cho toàn mạch.

- Tìm giá trị V_{BE} của BJT trong Multisim

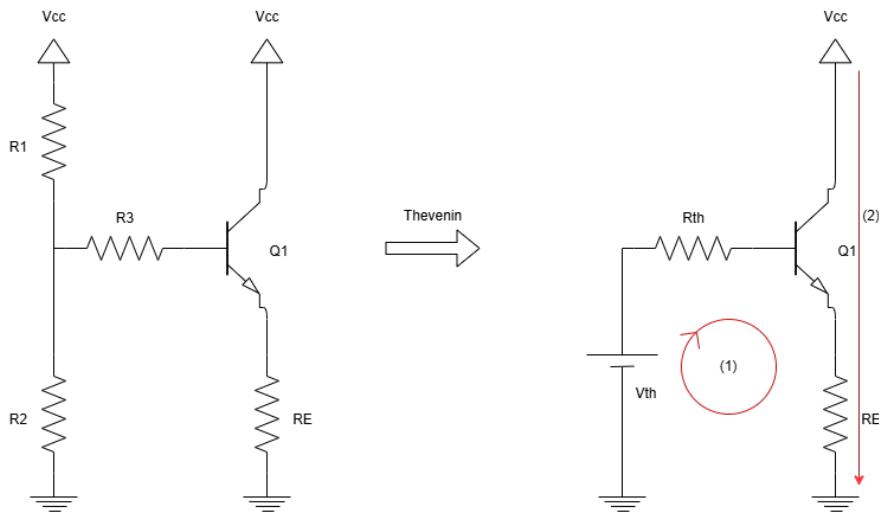
Hình 22: Tìm giá trị V_{BE} của mạch.

Ta sử dụng một chế độ DC Sweep để tìm giá trị V_{BE} dãy của mạch. Sau khi chạy tool ta có kết quả như sau,

Hình 23: Kết quả sau khi chạy DC Sweep để tìm V_{BE} .

Nhìn vậy hình ta thấy được điện áp V_{BE} của BJT dãy roi vào tầm ≈ 0.774 mA. Từ đó, nhóm em chọn $V_{BE} = 0.774$ mA cho câu 4.

- Tìm giá trị I_{CQ}



Thevenin ta có:

$$R_{th} = R_3 + R_1//R_2 = 10 + \frac{20 \times 20}{20 + 20} = 20k\Omega$$

$$V_{th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{cc} = \frac{20}{20 + 20} \times 9 = 4.5V$$

Áp dụng KCL cho vòng (1):

$$-V_{th} + I_B R_{th} + V_{BE} + I_E R_E = 0$$

Ta có: $I_E = (\beta + 1)I_B$

$$\Rightarrow I_B = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_{th} + (\beta + 1)R_E} = \frac{4.5 - 0.774}{20 + (100 + 1) \times 2} = 0.0168 \text{ mA}$$

Ta có: $I_C = \beta I_B = 100 \times 0.0168 \text{ mA} = 1.68 \text{ mA}$.

- Tìm giá trị V_{CEQ}

Áp dụng KCL cho vòng (2):

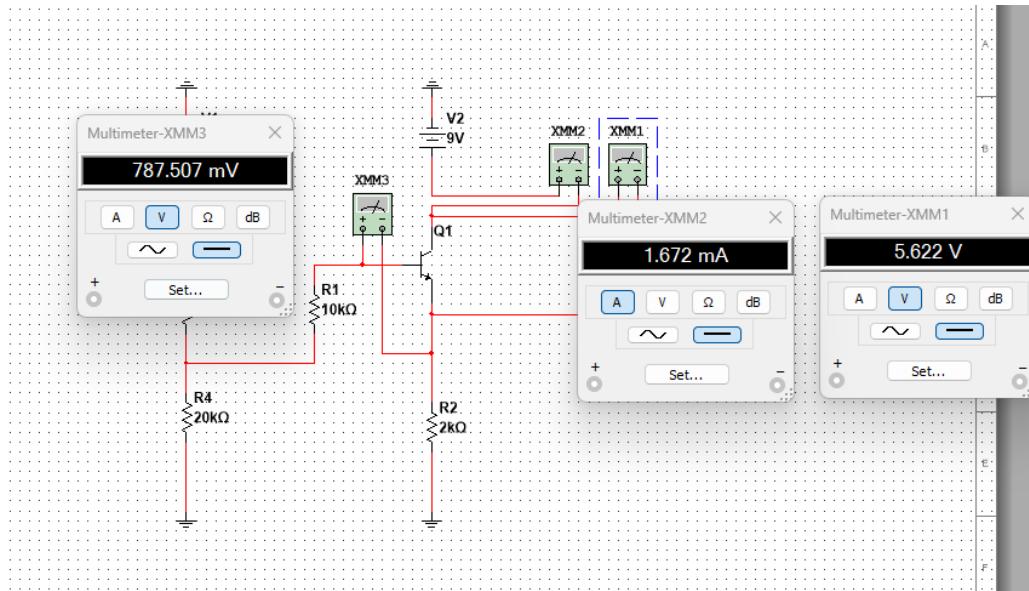
$$-V_{cc} + V_{CE} + I_E R_E = 0$$

Ta có: $I_C = \frac{\beta}{\beta + 1} I_E = \alpha I_E \approx I_E$

$$\Rightarrow V_{CE} = V_{cc} - I_C R_E = 9 - 1.71 \times 2 = 5.64V$$

Vậy điểm làm việc Q của tần số 2 là : $(I_{CQ}, V_{CEQ}) = (1.68 \text{ mA}, 5.64 \text{ V})$.

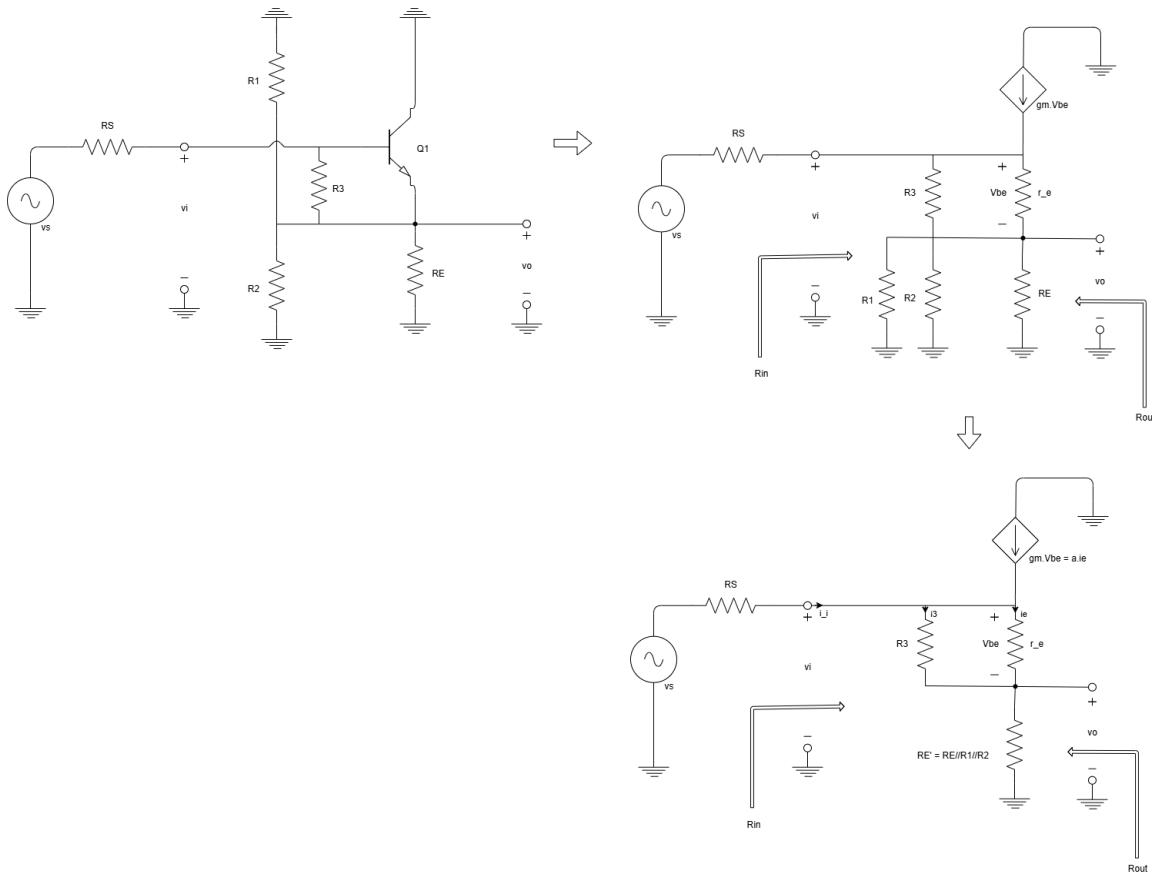
- Kiểm chứng kết quả:



Hình 24: Kết quả điểm Q của bài 4.

b) Đặt $v_s = V_s \sin(\omega t)$ vào mạch. Ngõ ra nối với tải $R_L = 1k\Omega$. Tìm A_{vo} , G_v , R_i , R_o của mạch.

Xét hoạt động chế độ AC cho toàn mạch.



Ta có,

$$\begin{aligned}
 & + R'_E = R_E // R_1 // R_2 \approx 1.6667 \text{ k}\Omega \\
 & + g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1.68 \text{ m}}{25 \text{ m}} = 67.2 \text{ mS} \\
 & + r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{V_T}{I_C/\alpha} = \frac{25 \text{ mV}}{1.68 \text{ mA} / \frac{100}{100+1}} \approx 14.7336 \Omega \\
 & + r_\pi = \beta \frac{V_T}{I_C} = 100 \times \frac{25 \text{ m}}{1.68 \text{ m}} = 1.4881 \text{ k}\Omega
 \end{aligned}$$

- Tính giá trị R_{in}

Ta có, $R_{in} = \left. \frac{v_i}{i_i} \right|_{i_o=0}$, đầu tiên ta xét

$$\begin{aligned}
 & + i_i = i_3 + i_e - \alpha i_e \\
 & \text{Trong đó, } i_3 = \frac{i_e r_e}{R_3}
 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow i_i = \frac{i_e r_e}{R_3} + i_e(1 - \alpha)$$

$$+ v_i = v_{be} + v_o$$

$$\text{Trong đó, } v_o = R'_E(i_3 + i_e) = R'_E \left(\frac{i_e r_e}{R_3} + i_e \right)$$

$$\Rightarrow R_{in} = \frac{R'_E \left(\frac{i_e r_e}{R_3} + i_e \right) + i_e r_e}{\frac{i_e r_e}{R_3} + i_e(1 - \alpha)} = \frac{R'_E \left(\frac{r_e}{R_3} + 1 \right) + r_e}{\frac{r_e}{R_3} + (1 - \alpha)} \approx 148.0428 \text{ k}\Omega.$$

$$\Rightarrow R_{in} = 148.0428 \text{ k}\Omega.$$

- Tính giá trị R_{out}

$$\text{Ta có, } R_{out} = \frac{v_o}{i_o} \Big|_{v_i=0}$$

$$\Rightarrow R_{out} = R'_E // r_e // \frac{R_3}{\beta + 1} = 12.7272 \Omega.$$

$$\Rightarrow R_{out} = 12.7272 \Omega.$$

- Tính giá trị A_{vo}

$$\text{Ta có, } A_{vo} = \frac{v_o}{v_i} \Big|_{R_L=\infty} = \frac{R'_E \left(\frac{r_e}{R_3} + 1 \right)}{R'_E \left(\frac{r_e}{R_3} + 1 \right) + r_e} \approx 0.9913 \text{ V/V.}$$

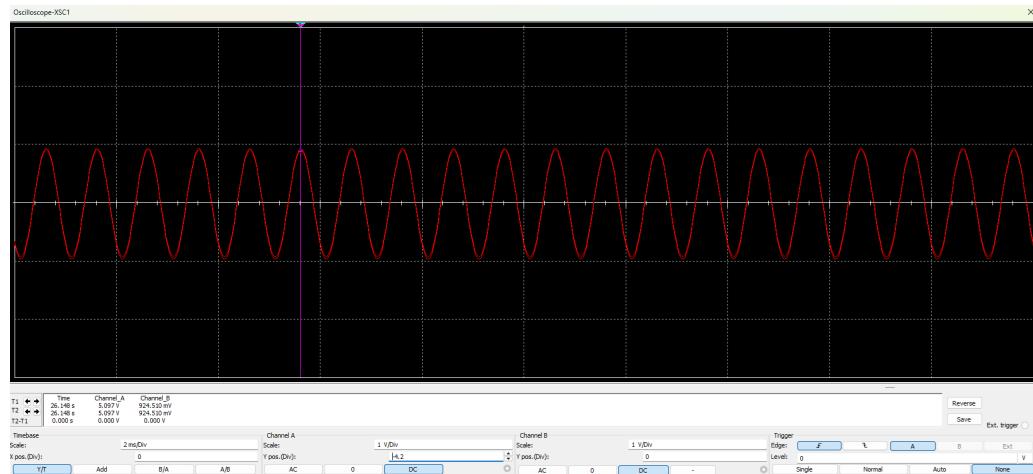
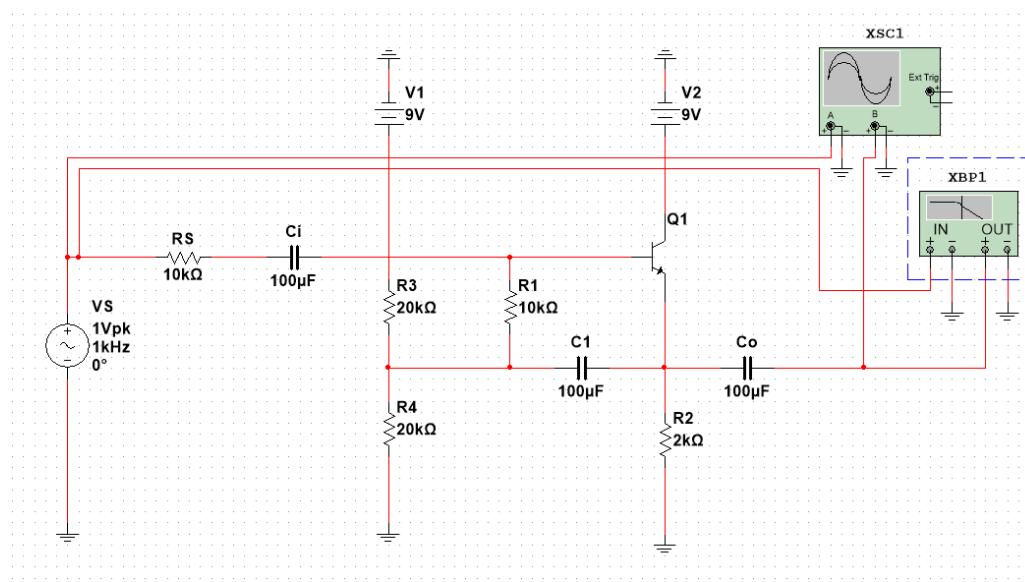
$$\Rightarrow A_{vo} = 0.9913 \text{ V/V.}$$

- Tính giá trị G_v

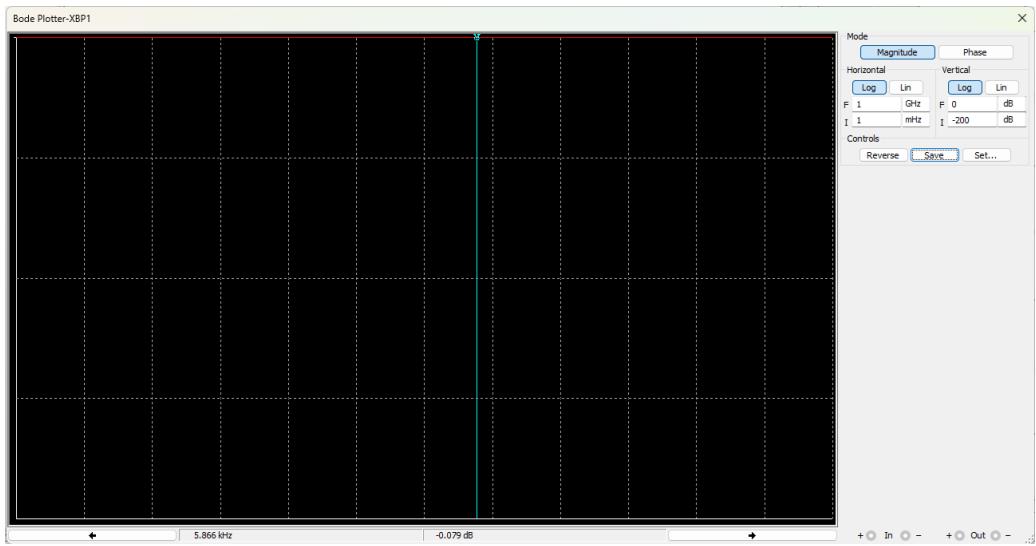
$$\text{ta có, } G_v = \frac{v_o}{v_s} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_s} A_v = \frac{148.0428}{148.0428 + 10} \times 0.9914 \approx 0.9287 \text{ V/V.}$$

$$\Rightarrow G_v = 0.9287 \text{ V/V.}$$

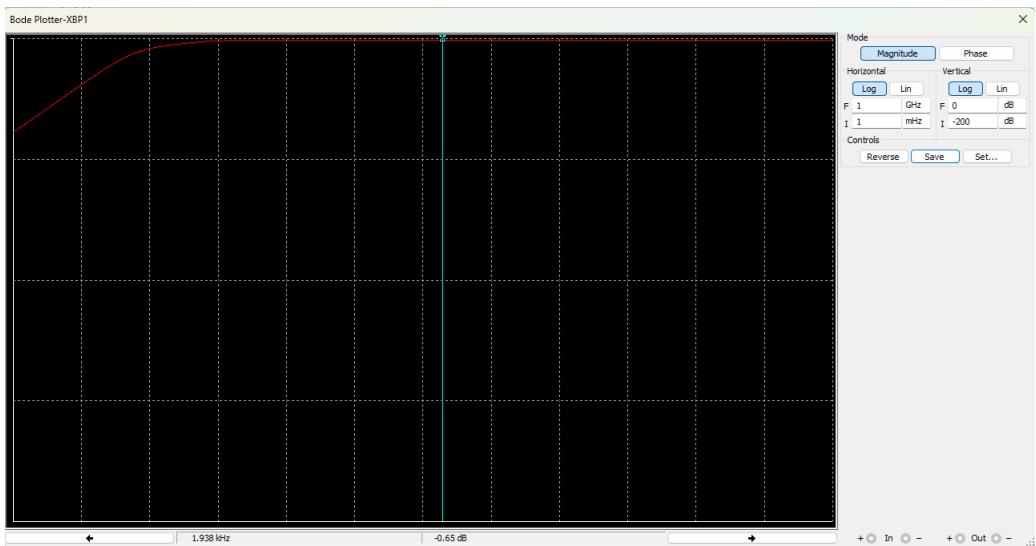
- Kiểm tra kết quả



Hình 25: Coi dạng sóng ngõ vào và ngõ ra của mạch.

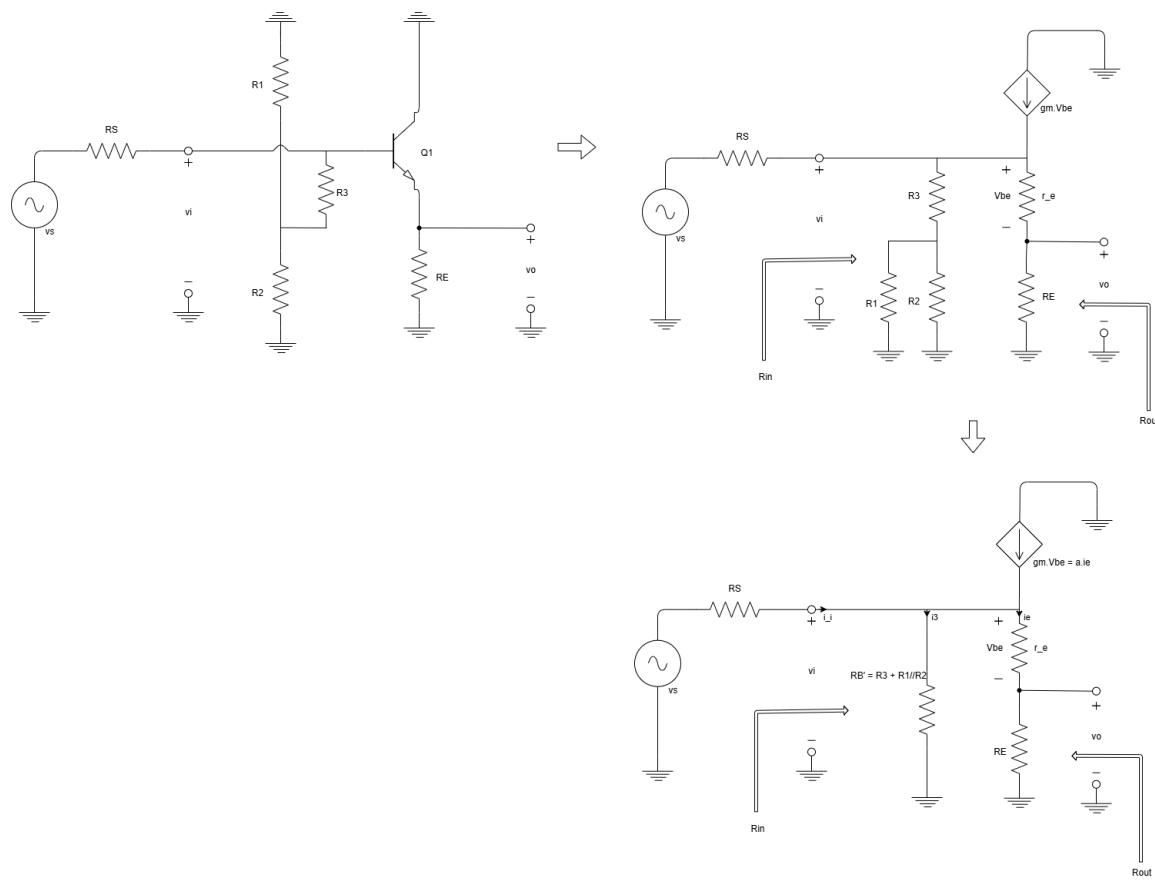


Hình 26: Tiến hành đo $A_{vo} = -0.079dB \approx 0.9909$.



Hình 27: Tiến hành đo $G_v = -0.65dB \approx 0.9279$.

c) Bỏ tụ C_B ra khỏi mạch. Lập lại câu a và b. Từ đó, nêu vai trò của tụ C_B .



Ta có,

$$\begin{aligned}
 &+ R'_B = R_3 + R_1 // R_2 = 20 \text{ k}\Omega \\
 &+ g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1.68 \text{ m}}{25 \text{ m}} = 67.2 \text{ mS} \\
 &+ r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{V_T}{I_C/\alpha} = \frac{25 \text{ mV}}{1.68 \text{ mA} / \frac{100}{100+1}} \approx 14.7336 \Omega \\
 &+ r_\pi = \beta \frac{V_T}{I_C} = 100 \times \frac{25 \text{ m}}{1.68 \text{ m}} = 1.4881 \text{ k}\Omega
 \end{aligned}$$

- Tính giá trị R_{in}

Ta có, $R_{in} = \frac{v_i}{i_i} \Big|_{i_o=0}$

$$\rightarrow R_{in} = R'_B // (\beta + 1)(r_e + R_E) \approx 18.2102 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow R_{in} = 18.2102 \text{ k}\Omega.$$

- Tính giá trị R_{out}

Ta có, $R_{out} = \frac{v_o}{i_o} \Big|_{v_i=0}$

$$\rightarrow R_{out} = R_E // r_e = 14.6259 \Omega$$

$$\Rightarrow R_{out} = 14.6259 \Omega.$$

- Tính giá trị A_{vo}

Ta có, $A_{vo} = \frac{v_o}{v_i} \Big|_{R_L=\infty} = \frac{R_E}{R_E + r_e} \approx 0.9927 \text{ V/V.}$

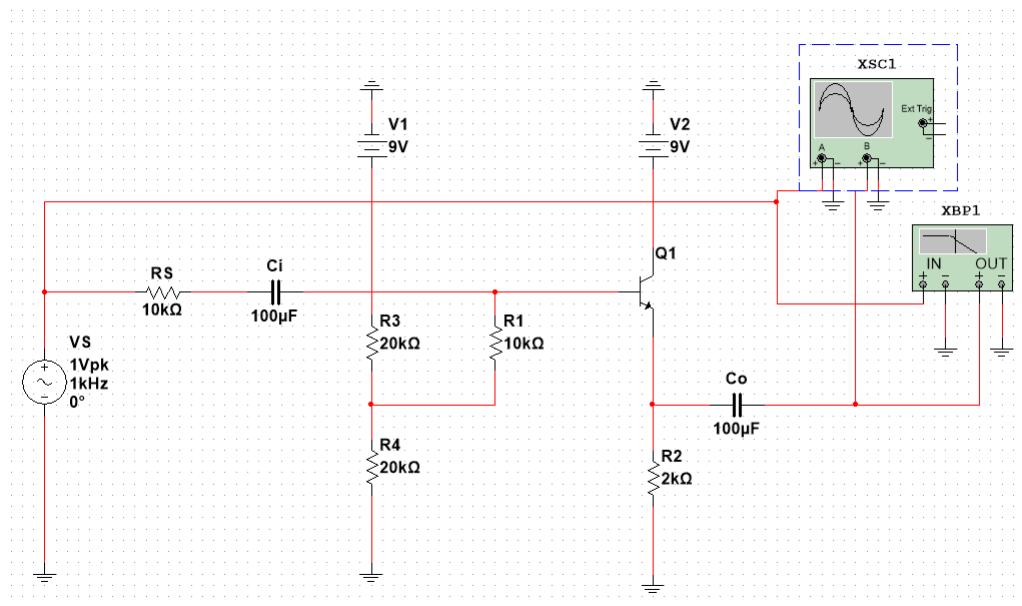
$$\Rightarrow A_{vo} \approx 0.9927 \text{ V/V}.$$

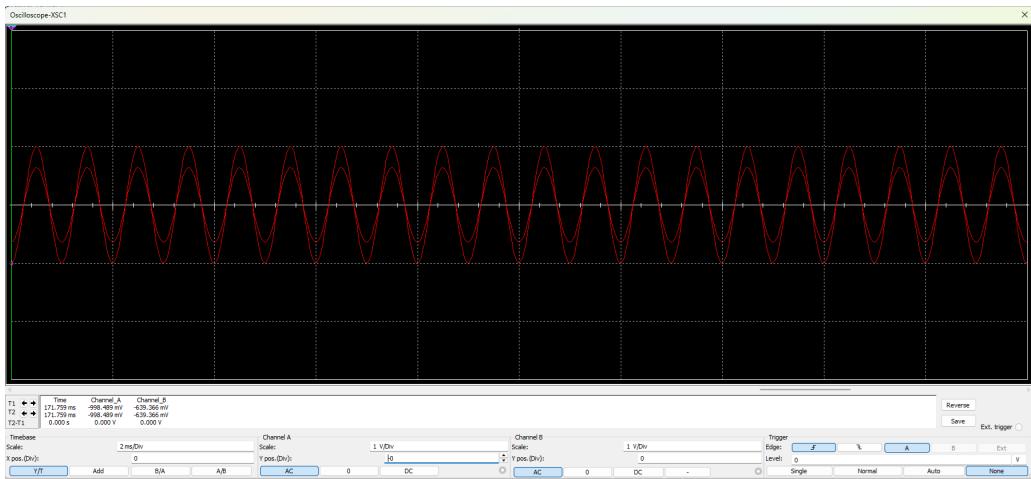
- Tính giá trị G_v

ta có, $G_v = \frac{v_o}{v_s} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_s} A_v = \frac{18.2102}{18.2102 + 10} \times 0.9927 \approx 0.6408 \text{ V/V.}$

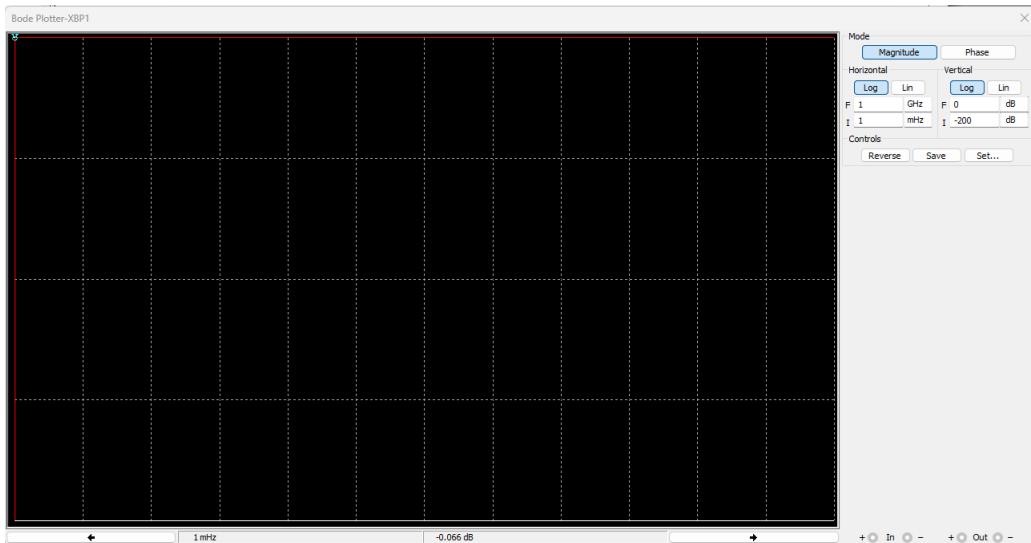
$$\Rightarrow G_v = 0.6408 \text{ V/V}.$$

- Kiểm tra kết quả

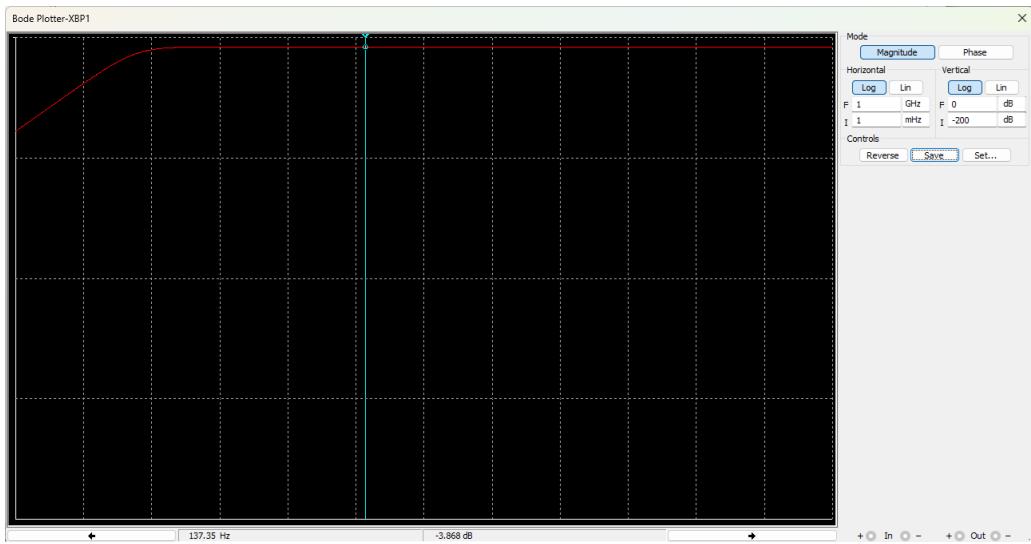




Hình 28: Coi dạng sóng ngõ vào và ngõ ra của mạch.



Hình 29: Tiến hành đo $A_{vo} = -0.066dB \approx 0.9924$.

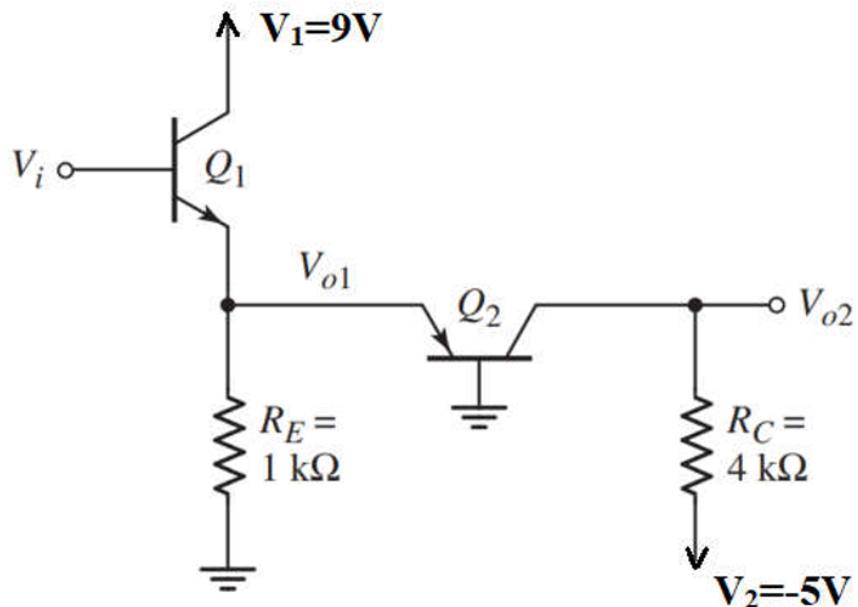
Hình 30: Tiến hành đo $G_v = -3.868dB \approx 0.6406$.

Nhận xét

Mạch trên giống với mạch Bootstrapped Emitter Follower với có một tụ C_B hồi tiếp dương qua tụ, mạch giúp tăng điện trở đầu vào giúp tăng độ lợi của mạch mà không cần tăng điện trở lên quá cao. Với một chỉ cần hồi tiếp về kết hợp một điện trở $R_1 = 10\text{ k}\Omega$ đã có thể tăng R_{in} từ $18.2102\text{ k}\Omega \rightarrow 148.0428\text{ k}\Omega$ có nghĩa là tăng lên đến 8 lần, và tăng độ lợi G_v từ $0.6408 \rightarrow 0.9287$.

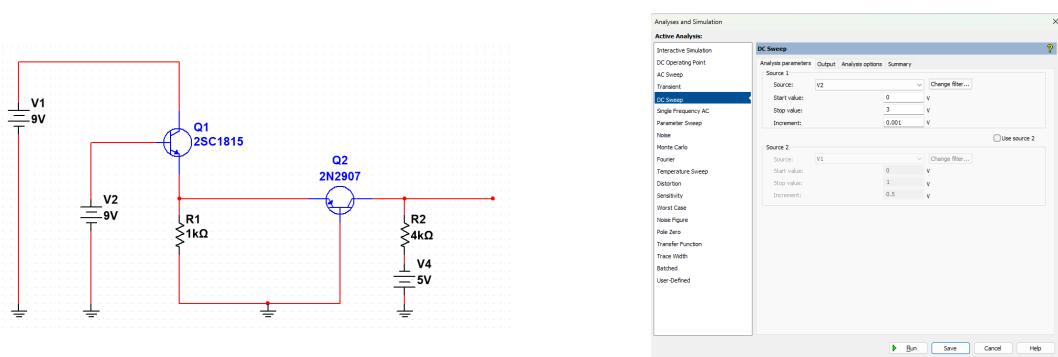
Câu 5

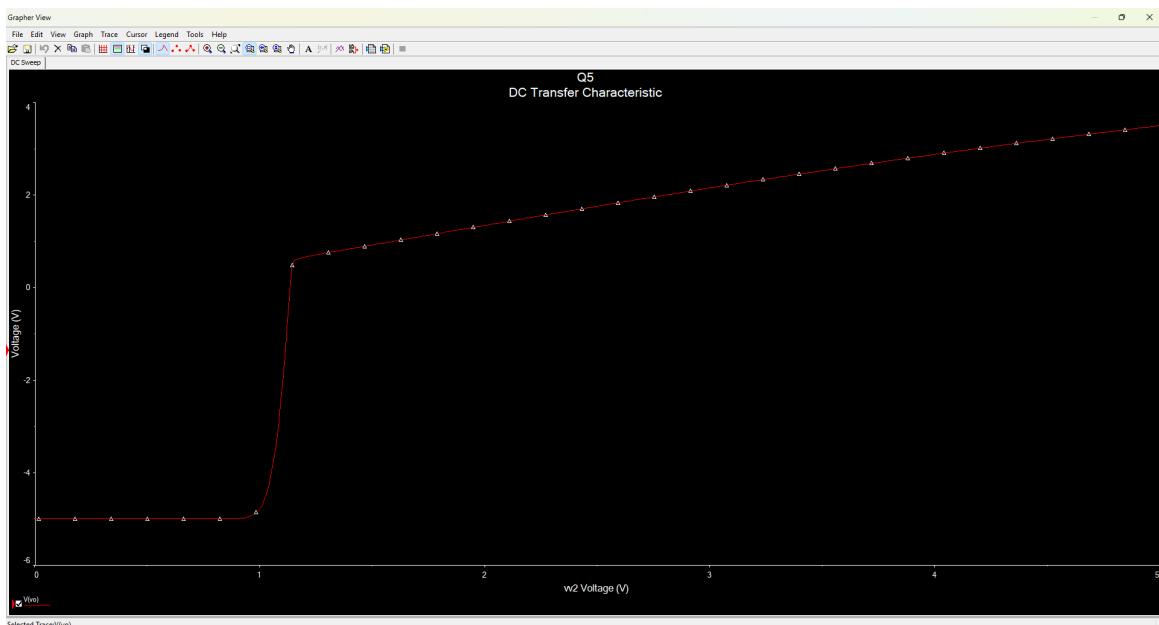
Cho mạch khuếch đại tín hiệu được ghép liên tầng như hình vẽ. Trong đó, Q_1 là BJT có $\beta = 100$ và mã 2SC1815, và Q_2 có $\beta = 80$ có mã là 2N2907.



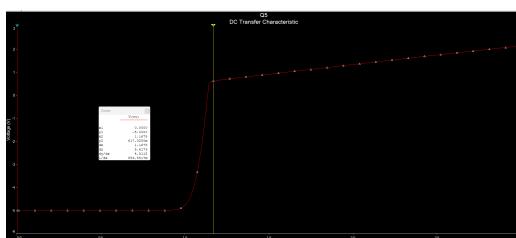
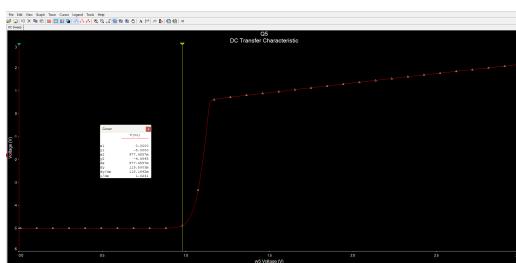
a) Sử dụng phần mềm mô phỏng, vẽ VTC của mạch (ngõ vào V_i và ngõ ra là V_o).

Sử dụng chế độ DC Sweep trong Multisim để khảo sát VTC,





Hình 31: VTC của mạch với ngõ vào V_i và ngõ ra là V_o .

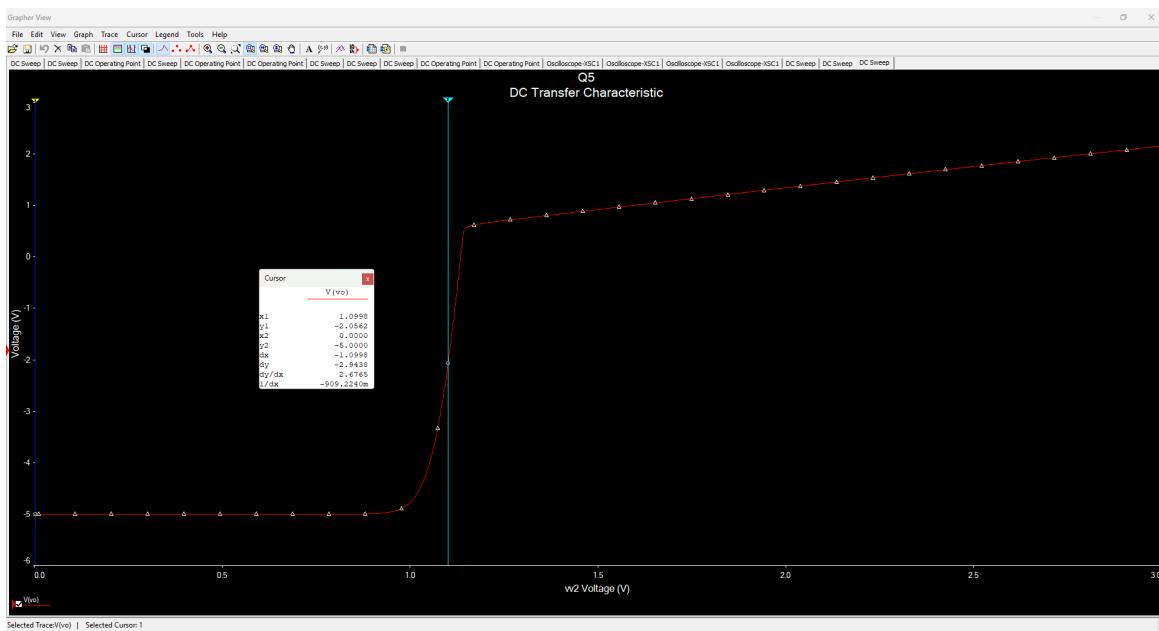


- Với $V_i < 0.9775\text{V}$ thì mạch bị roi vào miền cut off, lúc này ngõ ra của mạch luôn bằng $V_{EE} = -5\text{V}$.
- Với $0.9775 < V_i < 1.1675\text{V}$ thì mạch trong miền khuếch đại, với độ dốc lớn.

- Với $V_i > 1.1675\text{V}$ thì mạch trong miền bão hòa.

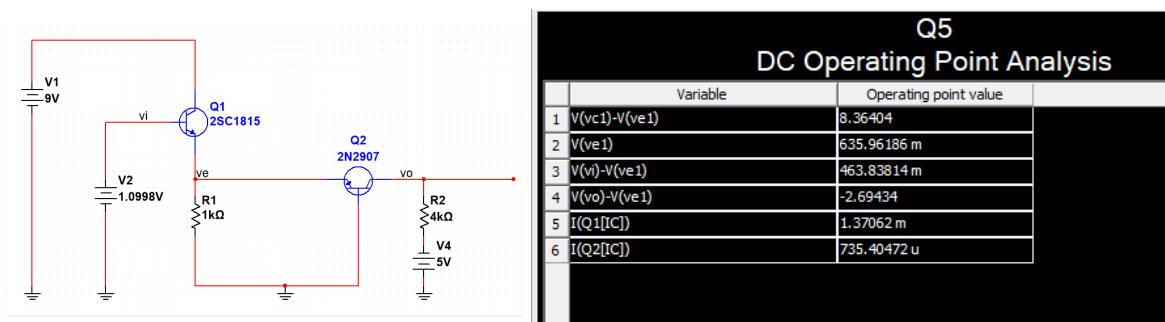
b) Lựa chọn điểm phân cực của cả mạch trên VTC và thiết kế mạch ghép vào phía trước VTC để có được điểm phân cực đó.

Quan sát VTC của mạch, để tín hiệu ngõ ra không bị méo dạng thì ta chọn điểm Q với $V_i = 1.0998\text{V}$.



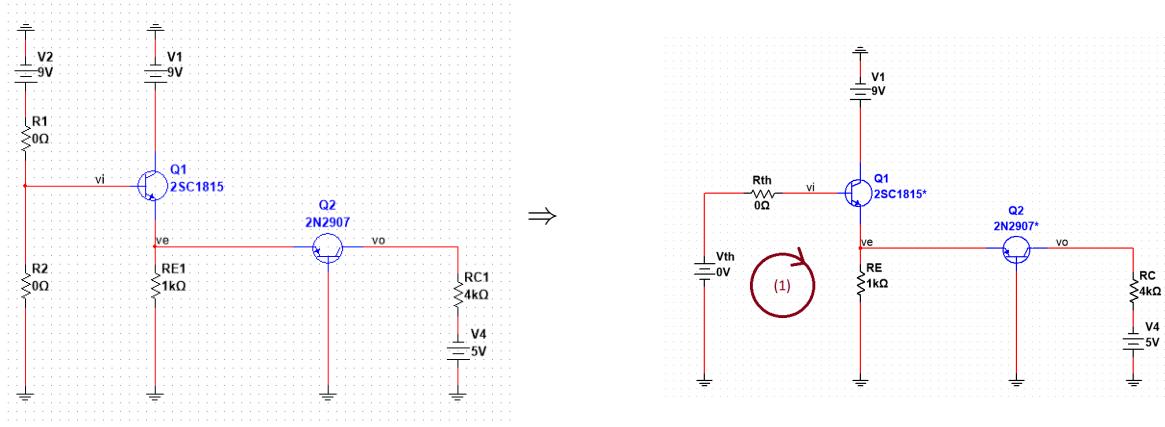
Hình 32: Điểm hoạt động của toàn mạch rơi vào tầm $V_i = 1.0998$ V để tín hiệu V_o không méo dang.

Với $V_i = 1.0998$ V, ta chọn được hai điểm:



- $Q_1 = (I_{CQ1}, V_{CEQ1}) = (1.3706 \text{ mA}, 8.3640 \text{ V})$
- $Q_2 = (I_{CQ2}, V_{CEQ2}) = (0.7354 \text{ mA}, -2.6943 \text{ V})$

Ta sử dụng một mạch phân cực R_1 và R_2 như sau:



$$\text{Ta có, } I_{C1} = 1.3706 \text{ mA} \Rightarrow I_{B1} = \frac{I_{C1}}{\beta} = \frac{1.3706}{100} = 0.013706 \text{ mA.}$$

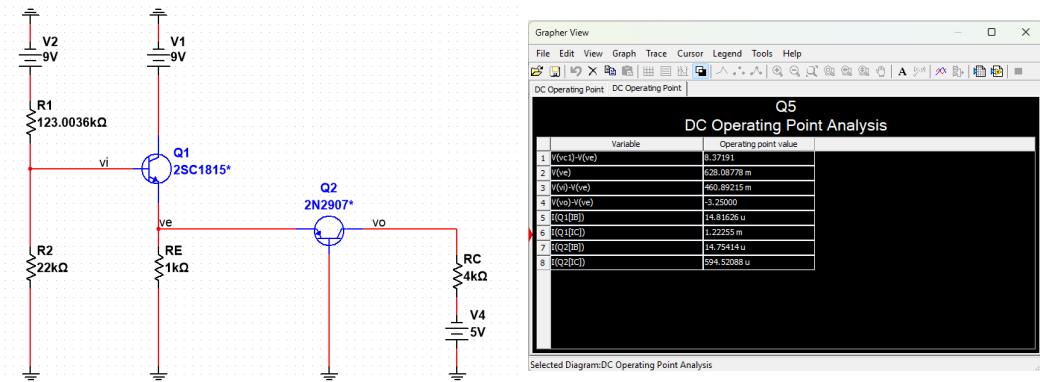
$$I_{RE} = I_{E1} - I_{E2} = \frac{I_{C1}}{\alpha} - \frac{I_{C2}}{\alpha} = \frac{1.3706}{100} - \frac{0.7354}{100 + 1} = 0.64582 \text{ mA}$$

Viết KCL cho vòng (1):

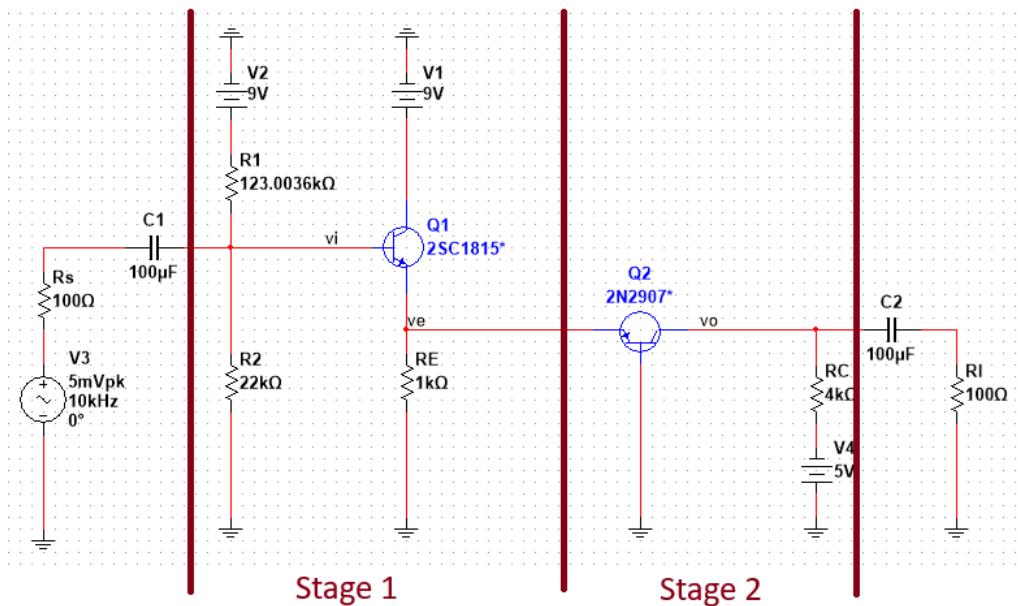
$$\begin{aligned} V_{th} &= R_{th}I_{B1} + V_{BE1} + I_{RE}R_E \\ \Leftrightarrow 9 \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} &= \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2} \times I_{B1} + V_{BE1} + R_EI_{RE} \\ \Leftrightarrow \frac{R_2}{R_1 + R_2} (9 - R_1 \times 0.013706) &= 1.1097 \end{aligned}$$

Với chọn $R_2 = 22 \text{ k}\Omega \Rightarrow R_1 = 123.0036 \text{ k}\Omega$.

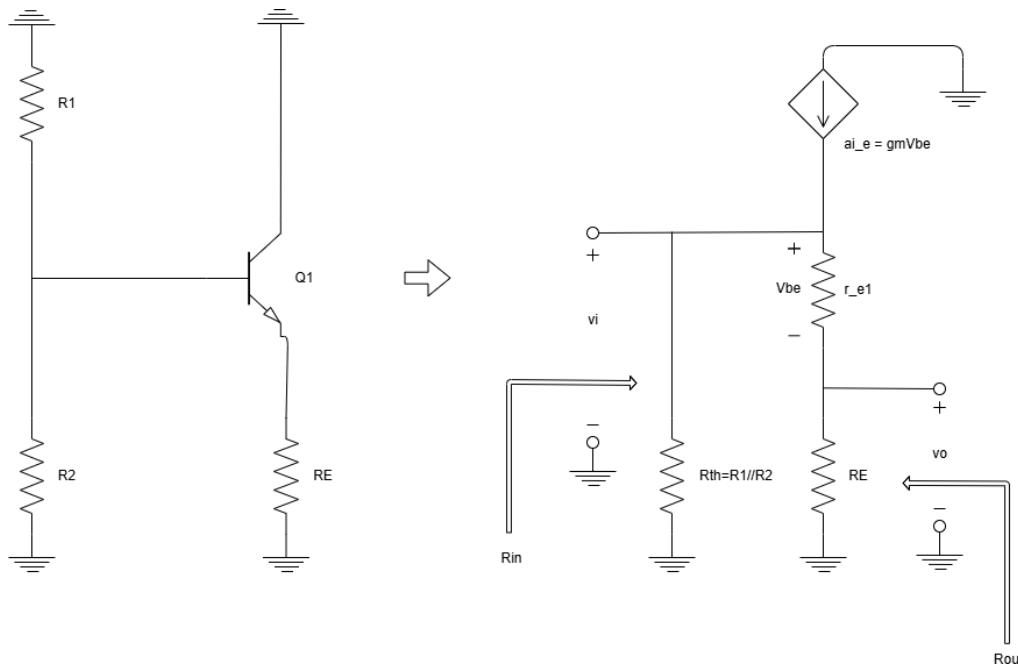
Kết quả mô phỏng,



c) Lựa chọn tụ C_1 (ghép tín hiệu) và C_2 (ghép tải) để mạch có $f_L = 200Hz$. Giả sử tín hiệu có nội trở 100Ω và tải có điện trở 100Ω . Sử dụng phần mềm mô phỏng, vẽ đáp ứng tần số của mạch.



- Với tầng 1



$$+ r_{e1} = \frac{V_T}{I_{E1}} = 18.0560 \Omega$$

$$+ r_{\pi 1} = \beta \frac{V_T}{I_{C1}} = 1.8240 \text{ k}\Omega$$

$$+ g_{m1} = \frac{I_{C1}}{V_T} = 54.824 \text{ mS}$$

Tính $R_{in1} = \left. \frac{v_i}{i_i} \right|_{i_o=0} = R_{th} // (\beta + 1)(r_{e1} + R_E)$

$$\Rightarrow R_{in1} = 15.7954 \text{ k}\Omega$$

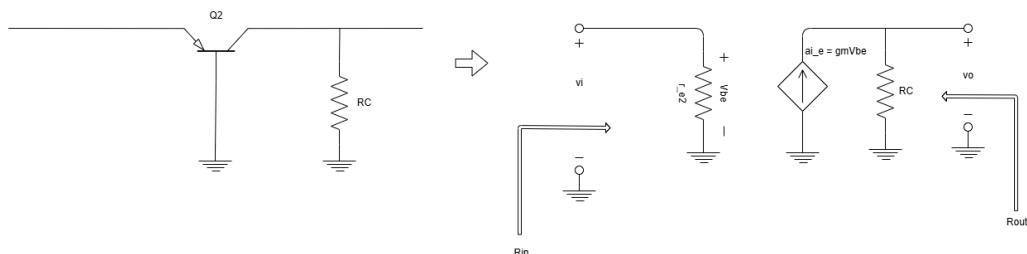
Tính $R_{out1} = \left. \frac{v_o}{i_o} \right|_{v_i=0} = r_{e1} // R_E$

$$\Rightarrow R_{out1} = 17.7358 \Omega$$

Tín $A_{vo1} = \left. \frac{v_o}{v_i} \right|_{R_L=\infty} = \frac{R_E}{R_E + r_{e1}}$

$$\Rightarrow A_{vo1} = 0.9823 \text{ V/V}$$

- Với tầng 2



$$+ r_{e2} = \frac{V_T}{I_{E2}} = 33.6585 \Omega$$

$$+ r_{\pi 2} = \beta \frac{V_T}{I_{C2}} = 2.7196 \text{ k}\Omega$$

$$+ g_{m2} = \frac{I_{C1}}{V_T} = 29.416 \text{ mS}$$

Tính $R_{in2} = \left. \frac{v_i}{i_i} \right|_{i_o=0} = r_{e2}$

$$\Rightarrow R_{in2} = 33.6585 \Omega$$

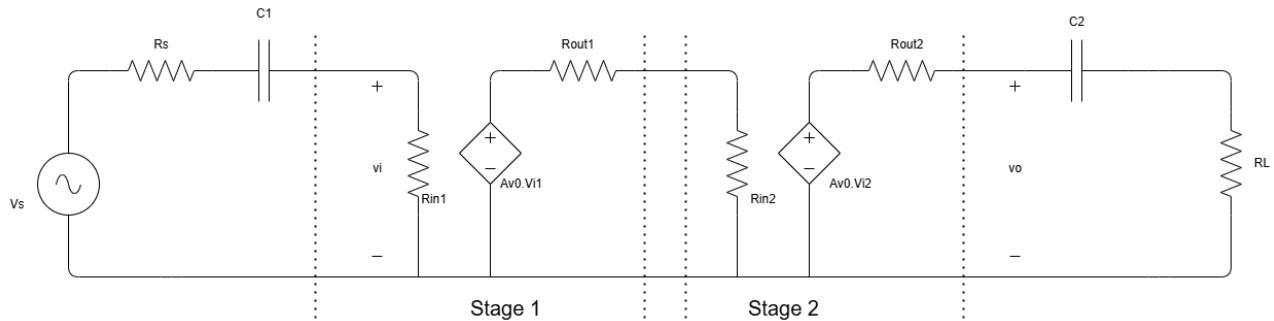
Tính $R_{out2} = \left. \frac{v_o}{i_o} \right|_{v_i=0} = R_C$

$$\Rightarrow R_{out2} = 4 \text{ k}\Omega$$

Tín $A_{vo2} = \left. \frac{v_o}{v_i} \right|_{R_L=\infty} = g_{m2} R_C$

$$\Rightarrow A_{vo2} = 117.664 \text{ V/V}$$

Sau khi tính các giá trị của các tầng, ta có mô hình tổng quát như sau



- Xét tụ C_1 :

$$\begin{aligned}\tau_1 &= C_1 (R_s + R_{in1}) \Rightarrow f_1 = \frac{1}{2\pi\tau_1} \\ \Rightarrow C_1 &= \frac{1}{2\pi f_1 (R_s + R_{in1})}\end{aligned}$$

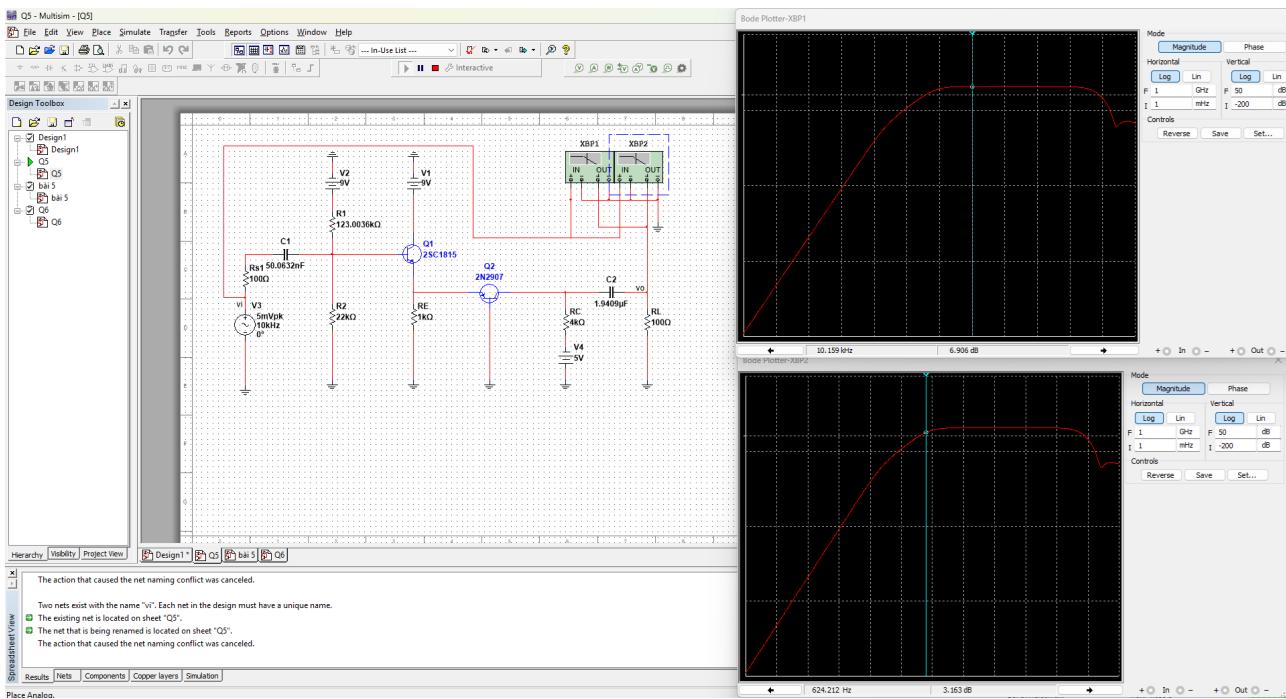
- Xét tụ C_2 :

$$\begin{aligned}\tau_2 &= C_2 (R_{out2} + R_L) \Rightarrow f_2 = \frac{1}{2\pi\tau_2} \\ \Rightarrow C_2 &= \frac{1}{2\pi f_2 (R_{out2} + R_L)}\end{aligned}$$

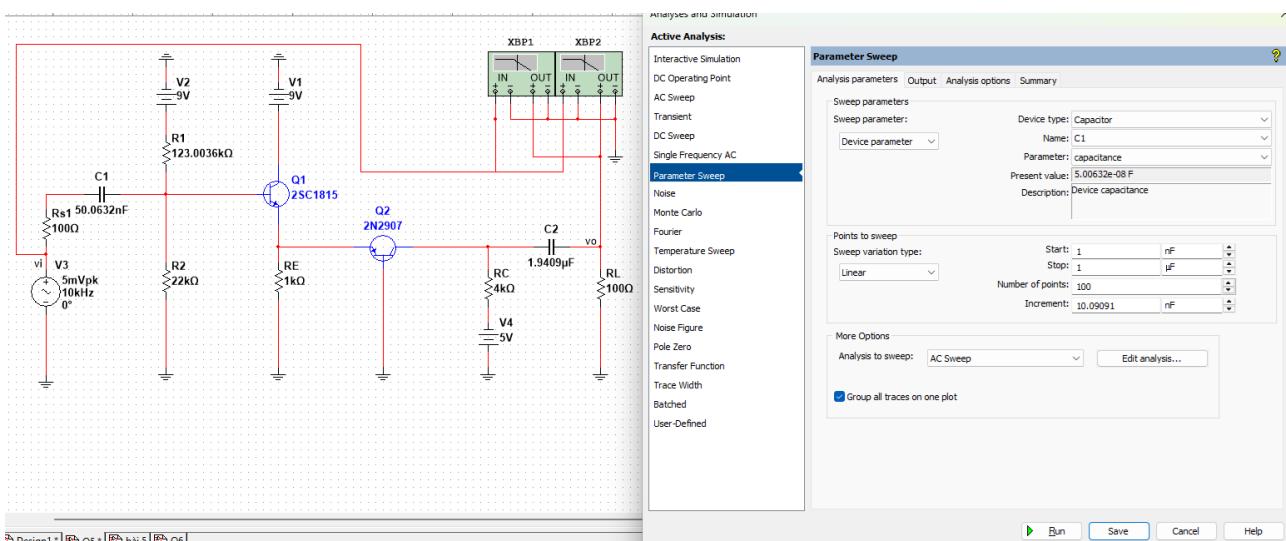
Chọn $f_1 = 200 \text{ Hz} = f_L$, và cho $f_2 = \frac{f_1}{10} = 20 \text{ Hz}$

$$\Rightarrow C_1 \approx 50.0632 nF$$

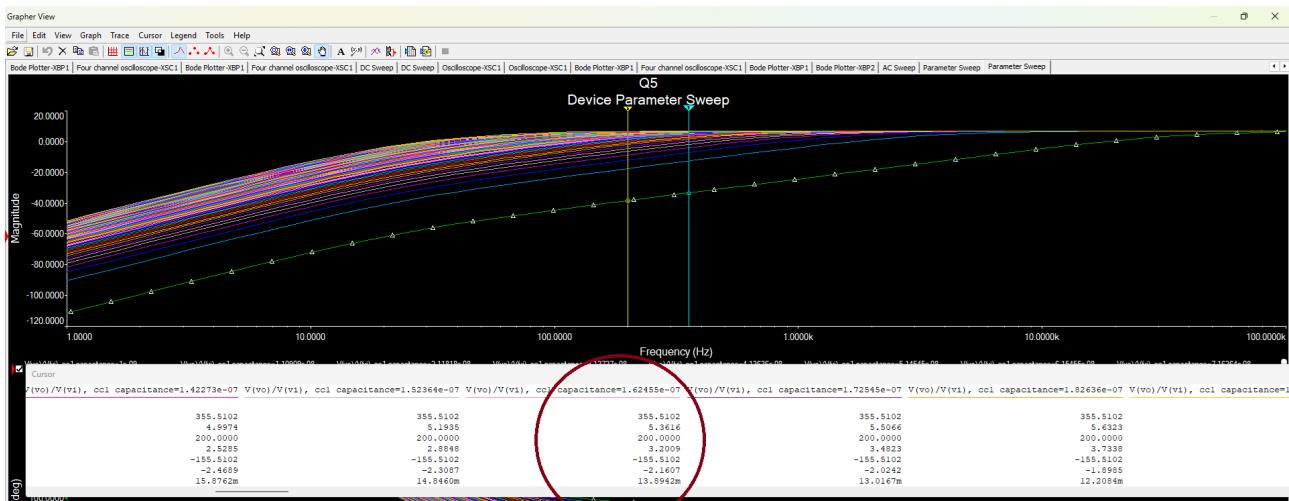
$$\Rightarrow C_2 \approx 1.9409 \mu F$$



Hình 33: Ta thấy tại điểm cắt $-3dB$ ta có $f_L \approx 624.212\text{ Hz}$.

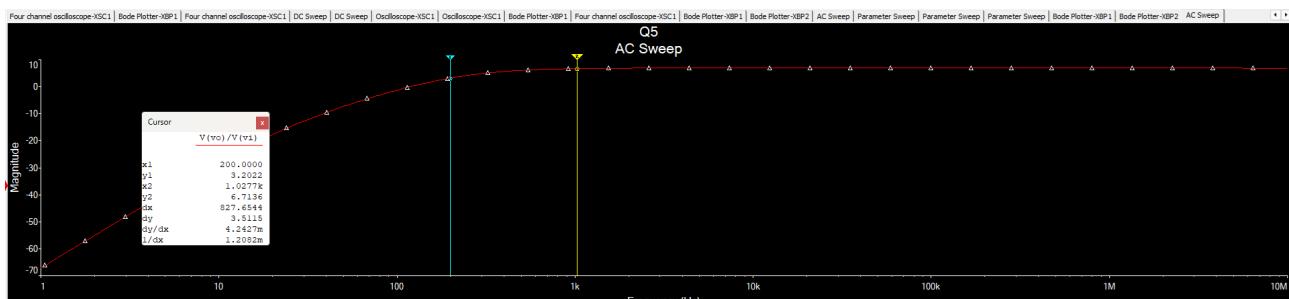


Hình 34: Tiến hành sweep giá trị $C1$ để tìm điểm hợp lý.

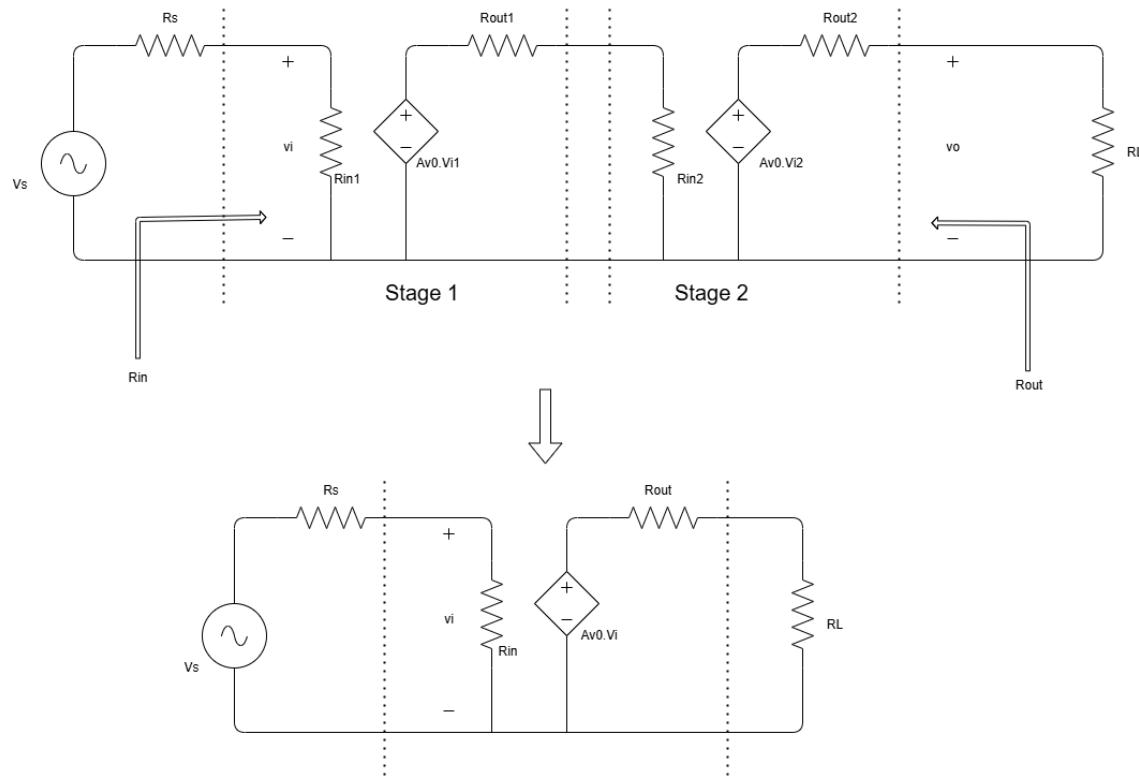
Hình 35: Chọn điểm $-3dB$ so với giá trị G_v của mạch.

Từ ảnh trên ta chọn được $C_1 \approx 162.46 \text{ nF}$.

Tiến hành chạy lại để kiểm tra kết quả cuối cùng

Hình 36: Sau khi thay đổi C_1 ta có $f_L = 200 \text{ Hz}$.

d) Đặt vào mạch tín hiệu xoay chiều có biên độ 5 mV và tần số 10 KHz . Sử dụng phần mềm mô phỏng, cho biết tín hiệu tại V_{o1} và V_{o2} . Giải thích

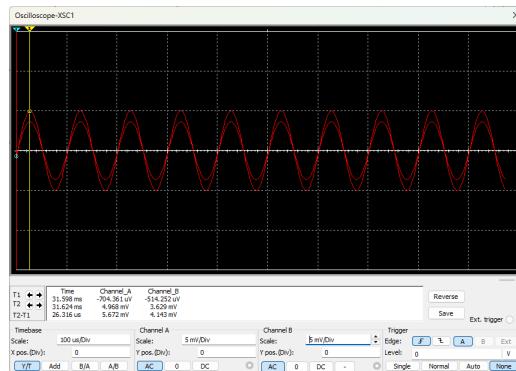


$$+ A_{vo} = A_{vo2} \frac{R_{in2}}{R_{out1} + R_{in2}} A_{vo1} = 75.6951 \text{ V/V}$$

$$+ A_v = A_{vo} \frac{R_L}{R_L + R_{out2}} = 1.8462 \text{ V/V}$$

$$+ G_v = \frac{R_s}{R_s + R_{in1}} A_v = 1.8346 \text{ V/V} \approx 5.2708 \text{ dB}$$

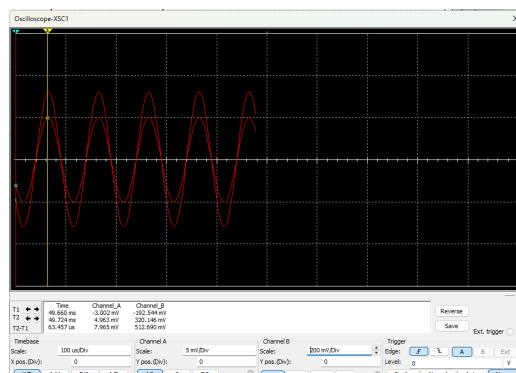
- Tầng 1



Hình 37: Kết quả khi đo dạng sóng ngõ ra ở v_{o1} .

Vì với $A_{vo1} = 0.9823 \text{ V/V}$ nên tín hiệu ngõ ra có suy giảm một lượng nhỏ so với tín hiệu ngõ vào.

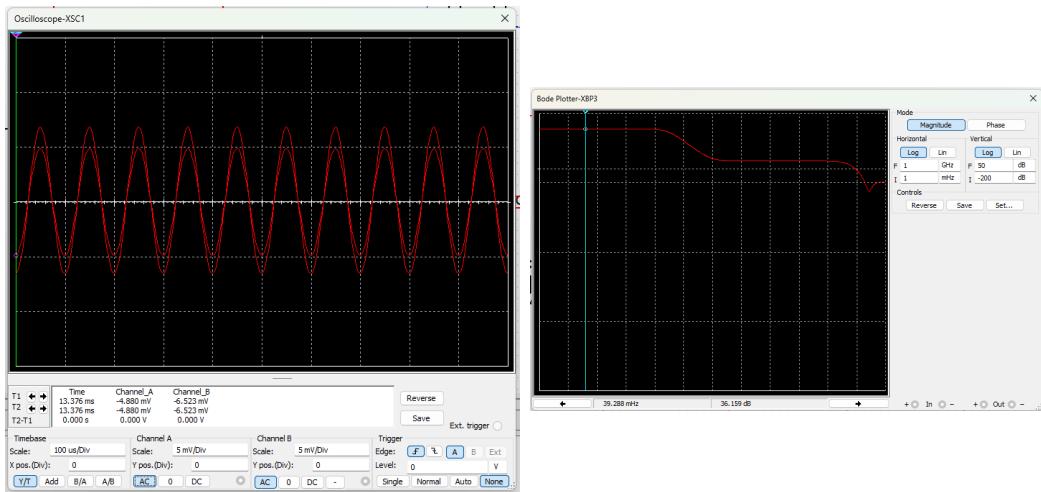
- Tầng 2



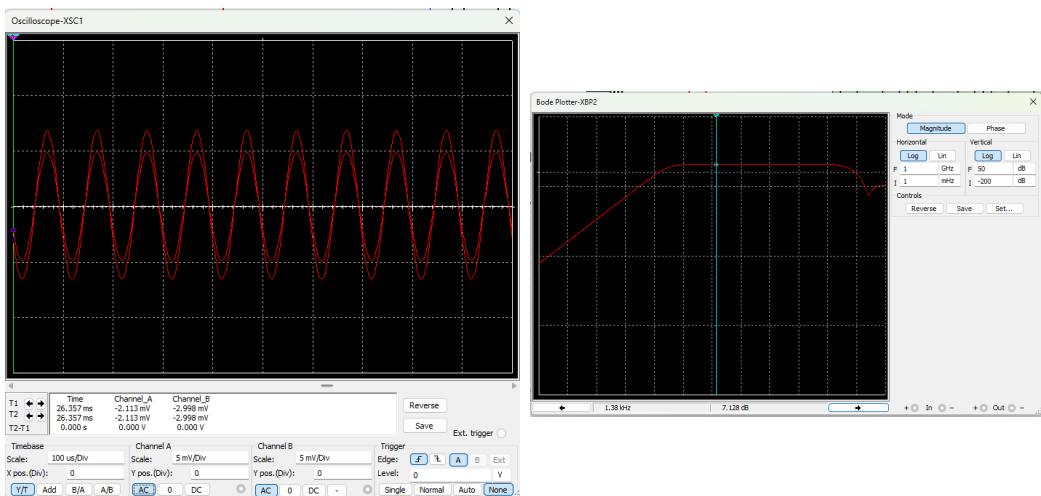
Hình 38: Kết quả khi đo dạng sóng ngõ ra ở v_{o2} .

Vì tới $A_{vo2} = 117.664 \text{ V/V}$ nên tín hiệu ngõ ra ở v_{o2} rất lớn hơn so với tín hiệu ngõ vào.

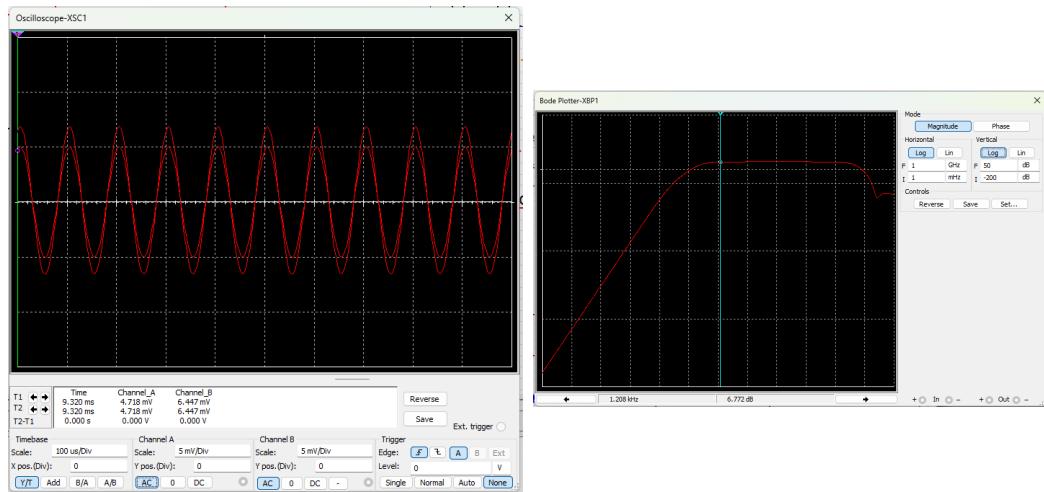
Toàn mạch



Hình 39: Kết quả khi đo A_{vo} cho toàn mạch.



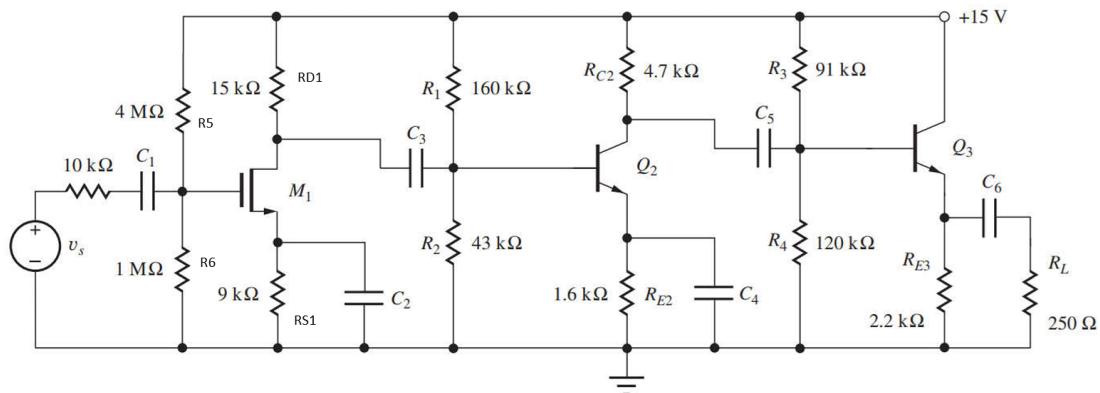
Hình 40: Kết quả khi đo A_v cho toàn mạch.



Hình 41: Kết quả khi đo G_v cho toàn mạch.

Câu 6

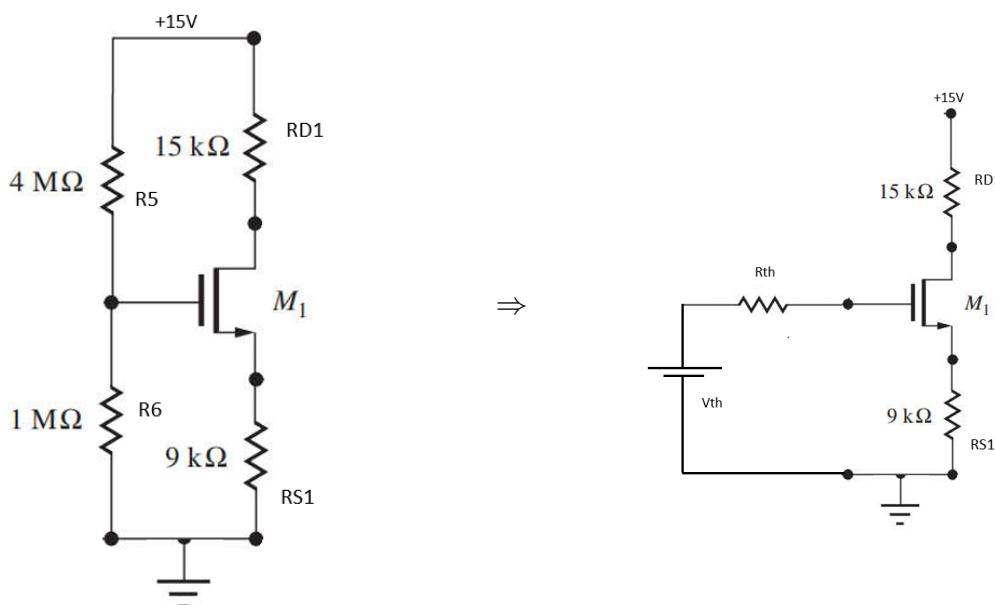
Cho mạch khuếch đại tín hiệu được ghép liên tầng như hình vẽ. Giả sử các tụ có điện dung rất lớn. Các thông số $\beta = 100$, $K_n = 1mA/V^2$, $V_{TN} = 1V$. BJT có $V_A = \infty$ và FET có $\lambda = 0$.



a) Tìm các điểm hoạt động của Q

Xét hoạt động chế độ DC cho toàn mạch.

- Tầng 1:



Thevenin ta có:

$$R_{th} = R_5 // R_6 = \frac{4M \times 1M}{4M + 1M} = 0.8M \Omega$$

$$V_{th} = \frac{R_6}{R_5 + R_6} \times V_{cc} = \frac{1M}{1M + 4M} \times 15 = 3V$$

$$\Rightarrow V_G = 3V \Rightarrow V_{GS} = V_G - V_S = 3 - V_S$$

$$\text{Với } V_S = I_{DS} \times R_{S1} \Rightarrow V_{GS} = 3 - I_{DS} \times R_{S1}$$

$$\begin{aligned} I_{DS1} &= \frac{1}{2} K_n (V_{GS} - V_{tn})^2 \\ &= \frac{1}{2} K_n (3 - I_{DS} \times R_{S1} - V_{tn})^2 \\ &= \frac{1}{2} (3 - I_{DS} \times 9 - 1)^2 \end{aligned}$$

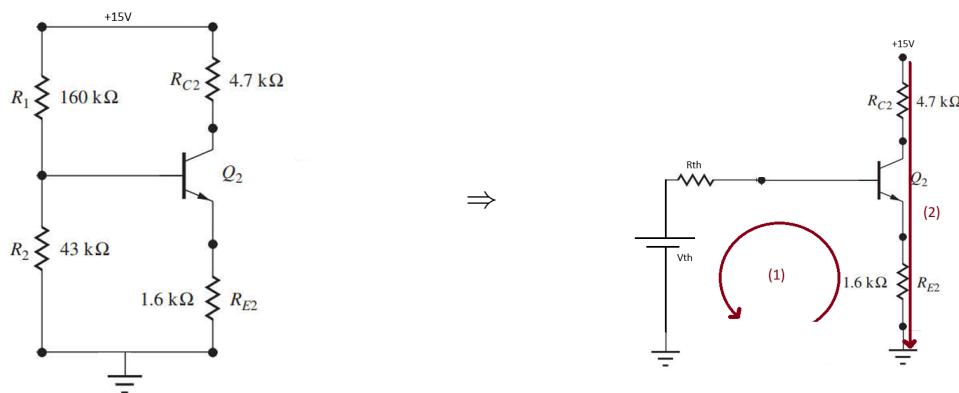
$$\Rightarrow \begin{cases} I_{DS1} = 0.3097mA \rightarrow V_{GS} = 3 - 0.3097 \times 9 = 0.2127V < V_{tn} (\text{Loại}) \\ I_{DS1} = 0.1595mA \rightarrow V_{GS} = 3 - 0.1595 \times 9 = 1.5645V > V_{tn} (\text{Thỏa}) \end{cases}$$

$$\Rightarrow V_D = V_{cc} - I_D \times R_{D1} = 15 - 0.1595 \times 15 = 12.6075V$$

$$\Rightarrow V_{DS1} = V_D - V_S = 11.1720V$$

Vậy điểm làm việc Q của tầng 1 là : $(I_{DS1}, V_{DS1}) = (0.1595mA, 11.1720V)$.

- Tầng 2:



Thevenin ta có:

$$R_{th} = R_1 // R_2 = \frac{160k \times 43k}{160k + 43k} \approx 33.8916k \Omega$$

$$V_{th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{cc} = \frac{43k}{160k + 43k} \times 15 \approx 3.1773V$$

Áp dụng KVL cho vòng (1):

$$-I_{E2} \times R_{E2} - V_{BE} - I_{B2} \times R_{th} + V_{th} = 0$$

Ta có: $I_{E2} = (\beta + 1)I_B$

$$\Rightarrow I_B = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_{th} + (\beta + 1)R_{E2}} = \frac{3.1773 - 0.7}{33.8916 + (100 + 1)1.6} = 0.0127mA$$

Ta có: $I_{C2} = \beta I_{B2} = 100 \times 0.0127mA = 1.270mA$.

Áp dụng KVL cho vòng (2):

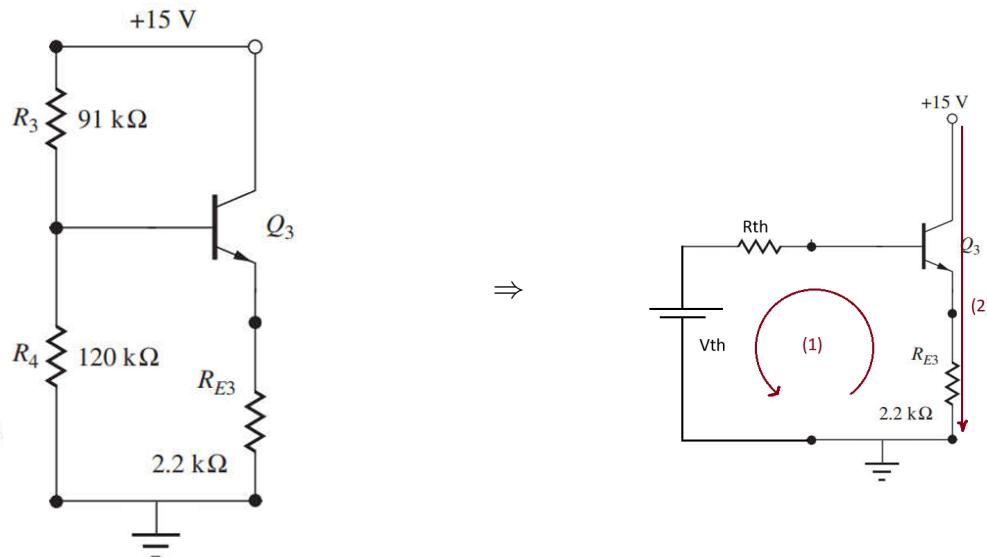
$$-V_{cc} + I_{C2}R_{C2} + V_{CE} + I_{E2}R_{E2} = 0$$

Ta có: $I_{C2} = \frac{\beta}{\beta + 1}I_{E2} = \alpha I_{E2} \approx I_{E2}$

$$\Rightarrow V_{CE2} = V_{cc} - I_{C2}(R_{C2} + R_{E2}) = 15 - 1.270(4.7 + 1.6) = 6.9990V$$

Vậy điểm làm việc Q của tầng 2 là : $(I_{CQ2}, V_{CEQ2}) = (1.270mA, 6.9990V)$.

- Tầng 3:



Thevenin ta có:

$$R_{th} = R_3 // R_4 = \frac{91k \times 120k}{91k + 120k} \approx 51.7536k\Omega$$

$$V_{th} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \times V_{cc} = \frac{120k}{91k + 120k} \times 15 \approx 8.5308V$$

Áp dụng KVL cho vòng (1):

$$-I_{E3} \times R_{E3} - V_{BE} - I_{B3} \times R_{th} + V_{th} = 0$$

Ta có: $I_{E3} = (\beta + 1)I_{B3}$

$$\Rightarrow I_{B3} = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_{th} + (\beta + 1)R_{E3}} = \frac{8.5308 - 0.7}{51.7536 + (100 + 1)2.2} = 0.0286mA$$

Ta có: $I_{C3} = \beta I_{B3} = 100 \times 0.0286mA = 2.86mA$.

Áp dụng KVL cho vòng (2):

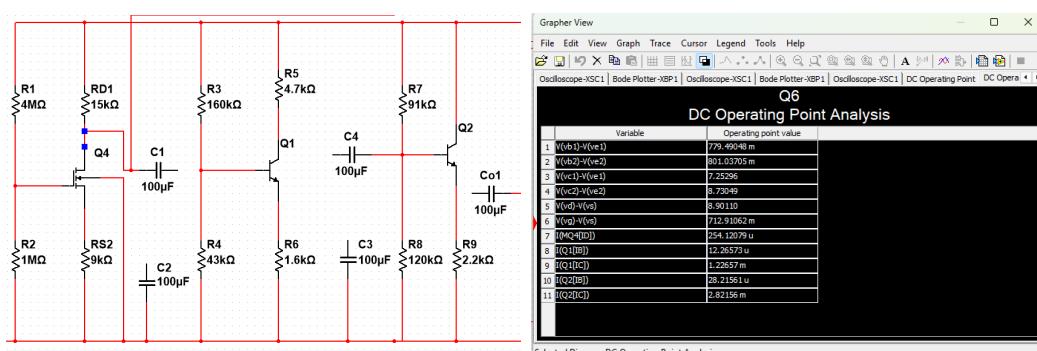
$$-V_{cc} + V_{CE} + I_E R_{E2} = 0$$

Ta có: $I_{C3} = \frac{\beta}{\beta + 1} I_{E3} = \alpha I_{E3} \approx I_E$

$$\Rightarrow V_{CE3} = V_{cc} + R_{E2} I_{E3} = 15 - 2.86(2.2) = 8.708V$$

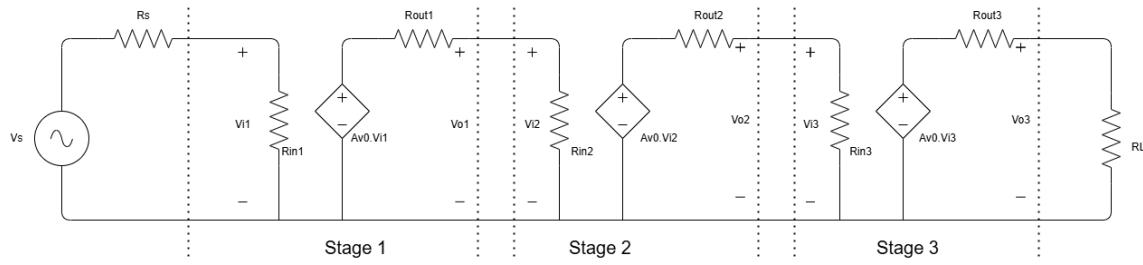
Vậy điểm làm việc Q của tần số 3 là : (I_{CQ3}, V_{CEQ3}) = (2.86mA, 8.708V).

Kiểm chứng kết quả

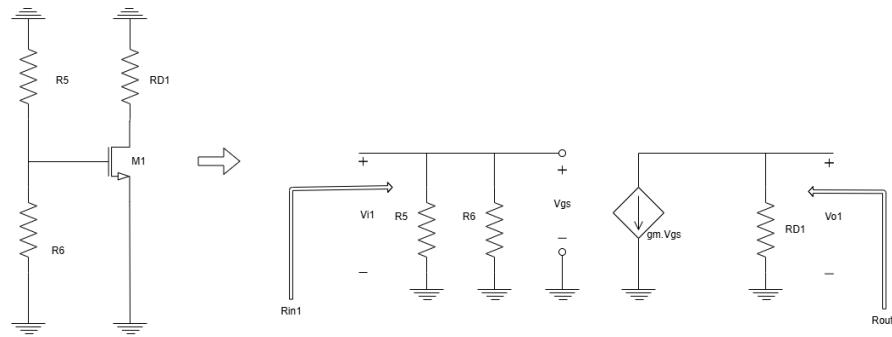


b) Tìm A_v , G_v , R_i , R_o của mạch.

Xét hoạt động chế độ AC cho toàn mạch, ta có mạch tương đương như sau:



- Tầng 1:



$$+ R_{in1} = \frac{v_i}{i_i} \Big|_{v_o=0} = R_5 // R_6 = \frac{4M \times 1M}{4M + 1M} = 0.8M \Omega$$

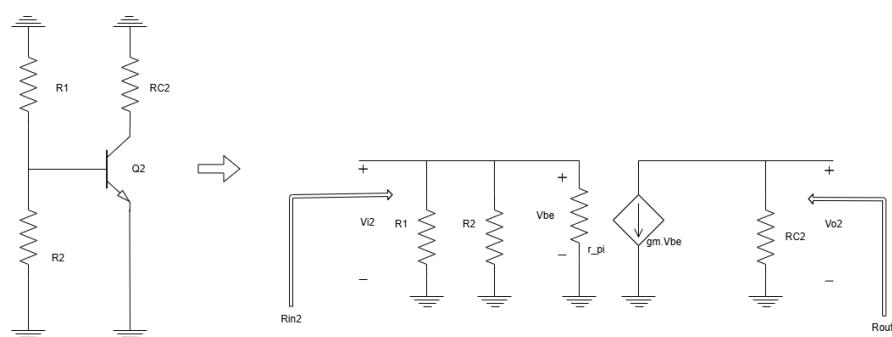
$$+ R_{out1} = \frac{v_o}{i_o} \Big|_{i_i=0} = R_{D1} = 15k \Omega$$

$$+ A_{vo1} = \frac{v_{o1}}{v_{i1}} \Big|_{R_L=\infty} = \frac{v_{o1}}{V_{gs}} = -g_m R_{D1}$$

$$\text{Trong đó, } g_m = \frac{2I_{DQ}}{V_{OV}} = \frac{2I_{DQ}}{V_{GS} - V_{tn}} = \frac{2 \times 0.1595mA}{1.5645V - 1V} \approx 0.5651mA/V$$

$$\Rightarrow A_{vo1} = -0.5651mA/V \times 15k = -8.4765V/V.$$

- Tầng 2:



$$+ R_{in2} = \frac{v_i}{i_i} \Big|_{i_o=0} = R_1 // R_2 // r_\pi$$

$$\text{Trong đó, } r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \beta \frac{V_T}{I_C} = 100 \frac{25mV}{1.270mA} = 1.9685k\Omega$$

$$\Rightarrow R_{in2} = 1.8604k\Omega$$

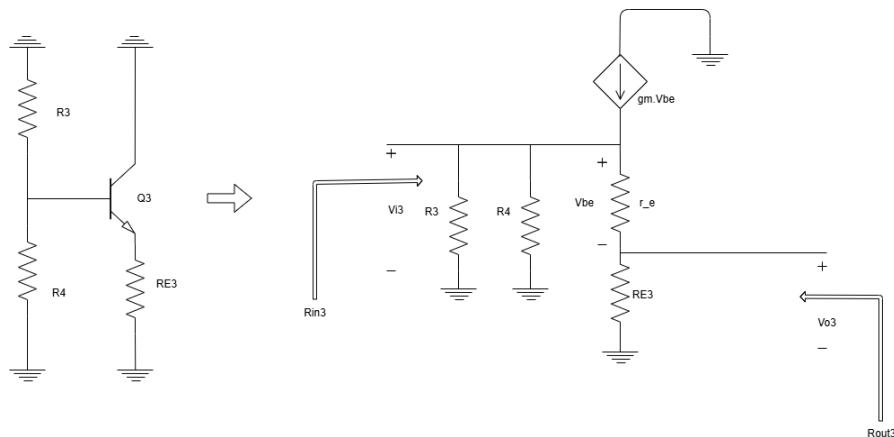
$$+ R_{out2} = \left. \frac{v_o}{i_o} \right|_{v_i=0} = R_{C2} = 4.7k\Omega$$

$$+ A_{vo_2} = \left. \frac{v_{o2}}{v_{i2}} \right|_{R_L=\infty} = \frac{v_{o2}}{v_{be}} = -g_m R_{C2}$$

$$\text{Trong đó, } g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1.270mA}{25mV} = 0.0508A/V$$

$$\Rightarrow A_{vo_2} = -0.0508 \times 4.7k = -238.76V/V.$$

- Tầng 3:



$$+ R_{in3} = \left. \frac{v_i}{i_i} \right|_{i_o=0} = R_3 // R_4 // ((\beta + 1)(r_e + R_{E3}))$$

$$\text{Trong đó, } r_e = \alpha \frac{V_T}{I_C} = \frac{\beta}{\beta + 1} \frac{V_T}{I_C} = \frac{100}{100 + 1} \frac{25mV}{2.86mA} = 8.6547\Omega$$

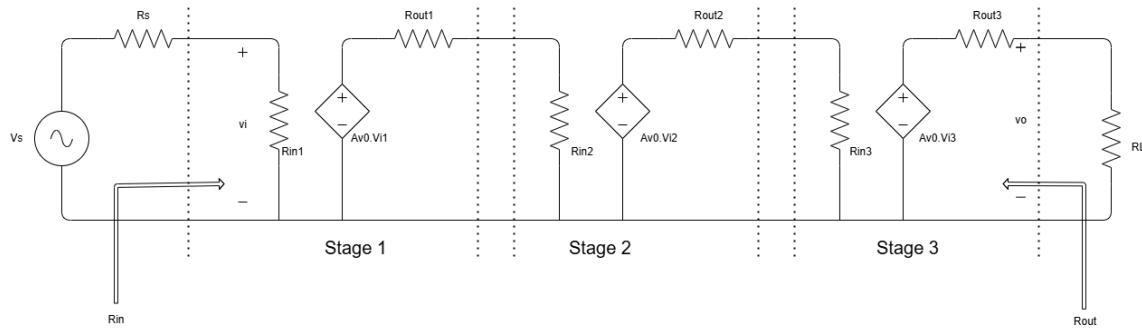
$$\Rightarrow R_{in3} = 42.0078k\Omega$$

$$+ R_{out3} = \left. \frac{v_o}{i_o} \right|_{v_i=0} = (r_e // R_{E3}) = 8.6208\Omega$$

$$+ A_{vo_3} = \left. \frac{v_{o3}}{v_{i3}} \right|_{R_L=\infty} = \frac{R_{E3}}{r_e + R_{E3}} = 0.9961V/V$$

$$\Rightarrow A_{vo_3} = 0.9961V/V.$$

Cuối cùng ta có mạch tương đương như sau:



- $R_{in} = R_{in1} = 0.8M\Omega$

- $R_{out} = R_{out3} = 8.6208\Omega$

- $A_{vo} = \frac{v_o}{v_i} \Big|_{R_L=\infty}$

$$= A_{vo_3} \frac{R_{in3}}{R_{in3} + R_{out2}} A_{vo_2} \frac{R_{in2}}{R_{in2} + R_{out1}} A_{vo_1}$$

$$= 200.0600 V/V$$

- $\Rightarrow A_{vo} = 200.0600 V/V$

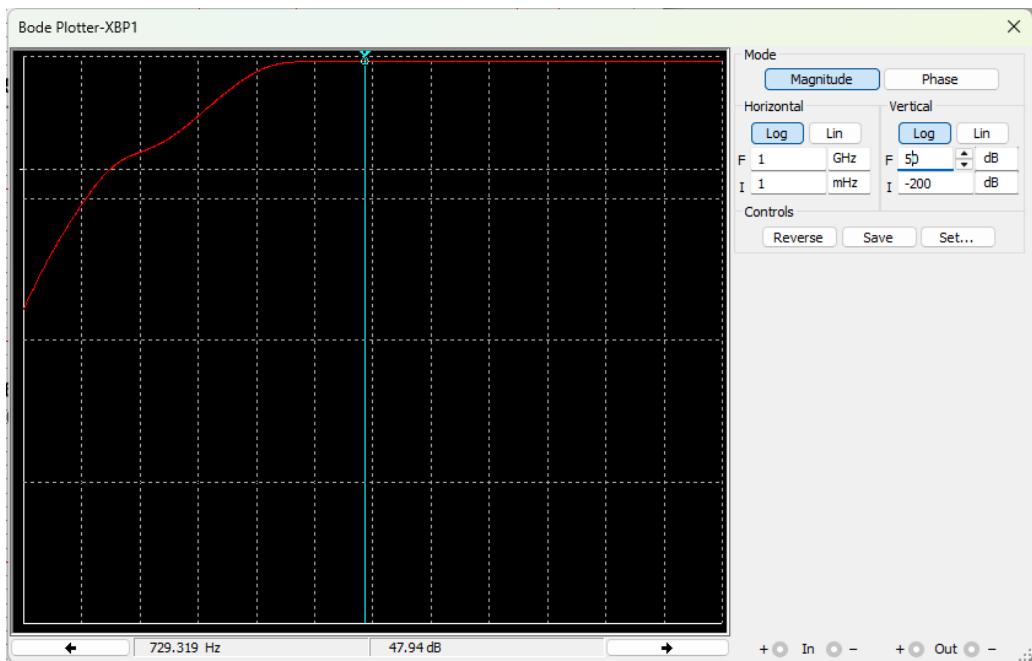
- $A_v = A_{vo} \frac{R_L}{R_L + R_{out3}} = 193.3913 V/V$

- $\Rightarrow A_v = 193.3913 V/V$

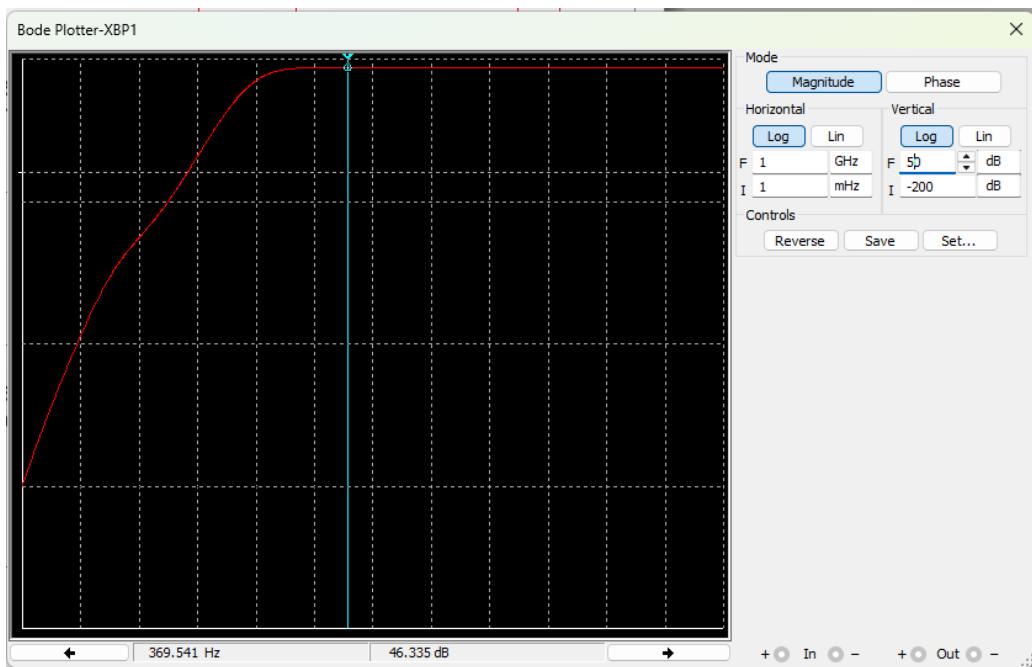
- $G_v = \frac{R_{in1}}{R_{in1} + R_s} A_v = 191.0038 V/V$

- $\Rightarrow G_v = 191.0038 V/V$

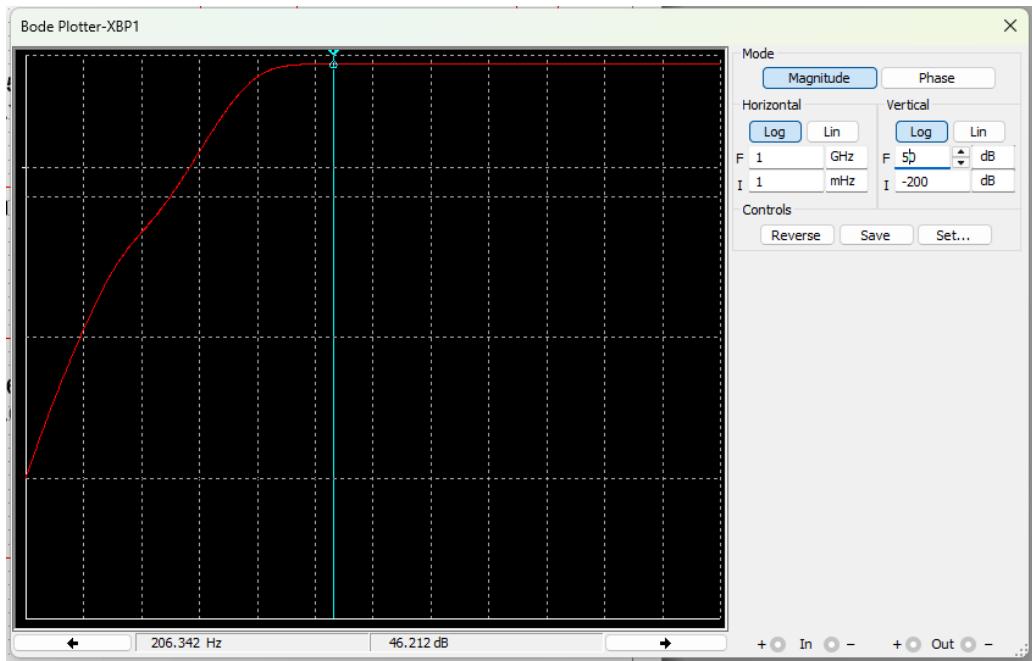
Kiểm tra kết quả



Hình 42: Với $A_{vo} = 47.94\text{db} = 249.44595 \text{V/V}$.



Hình 43: Với $A_v = 46.335\text{db} = 207.3719 \text{V/V}$.

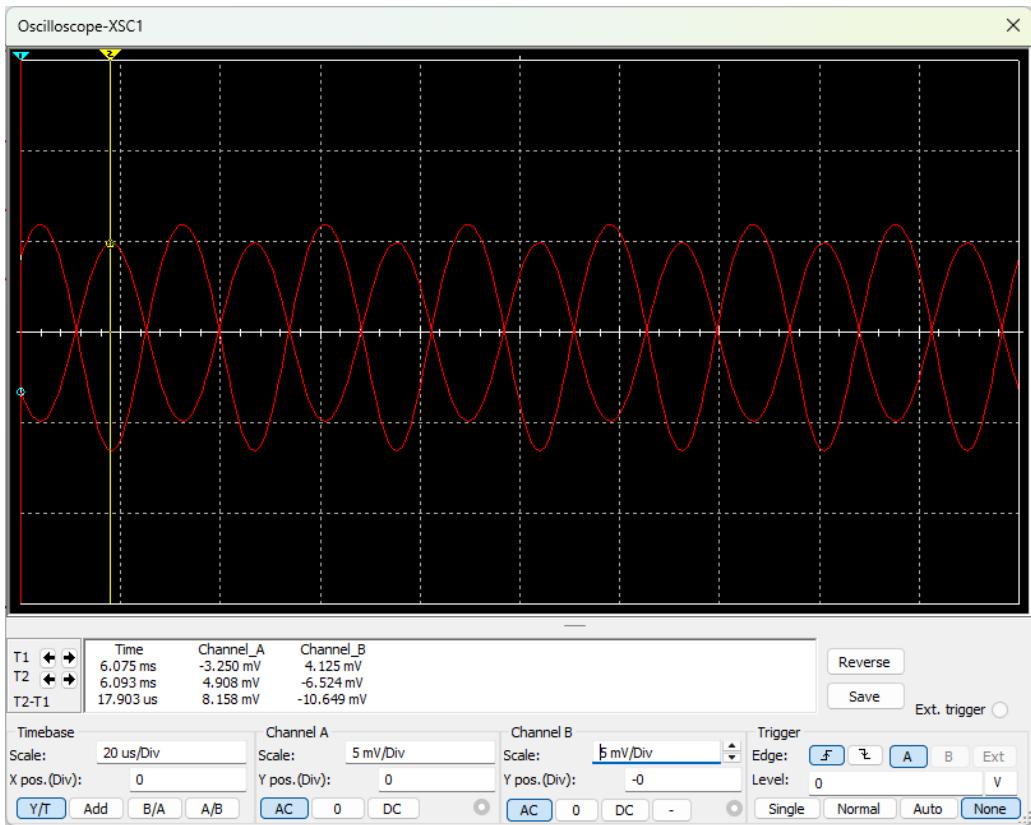


Hình 44: Với $G_v = 46.121 \text{db} = 202.3252 \text{V/V}$.

c) Vẽ dạng sóng ngõ vs và vo khi đi qua từng tầng (vị trí trước khi đi qua tụ ghép).

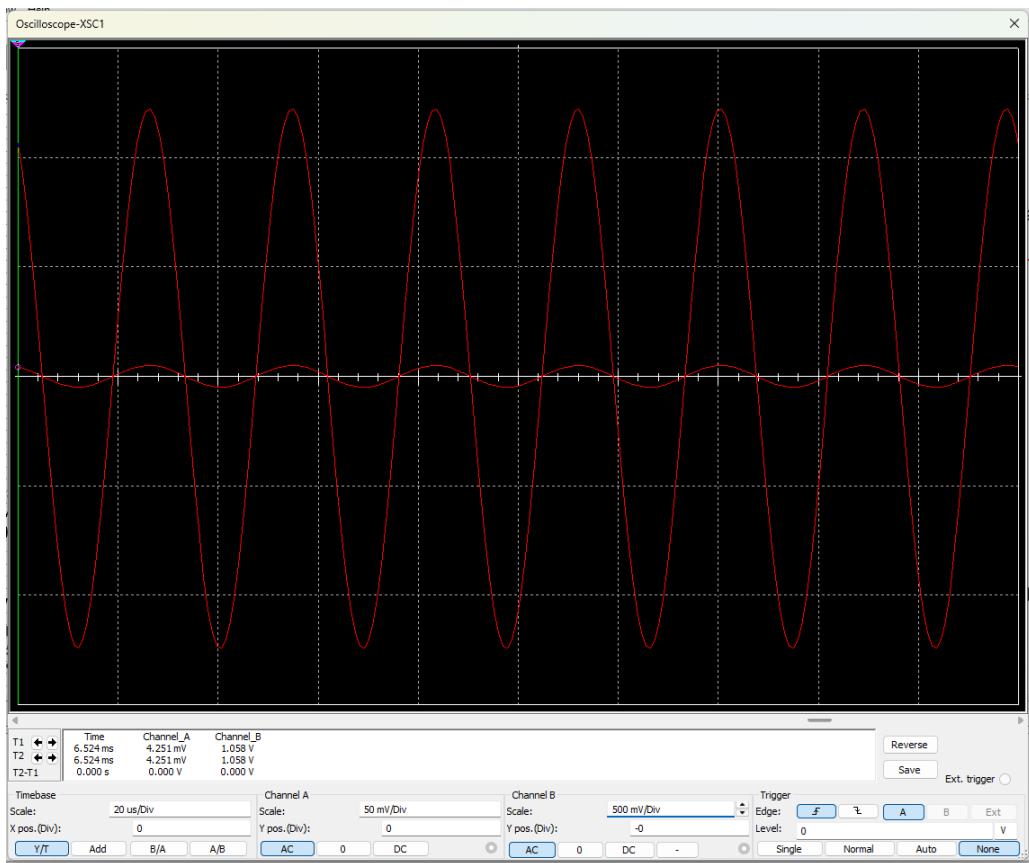
Cho $V_s = 5 \sin(\Omega t) (\text{mV})$

- Qua tầng đầu tiên, Tầng 1



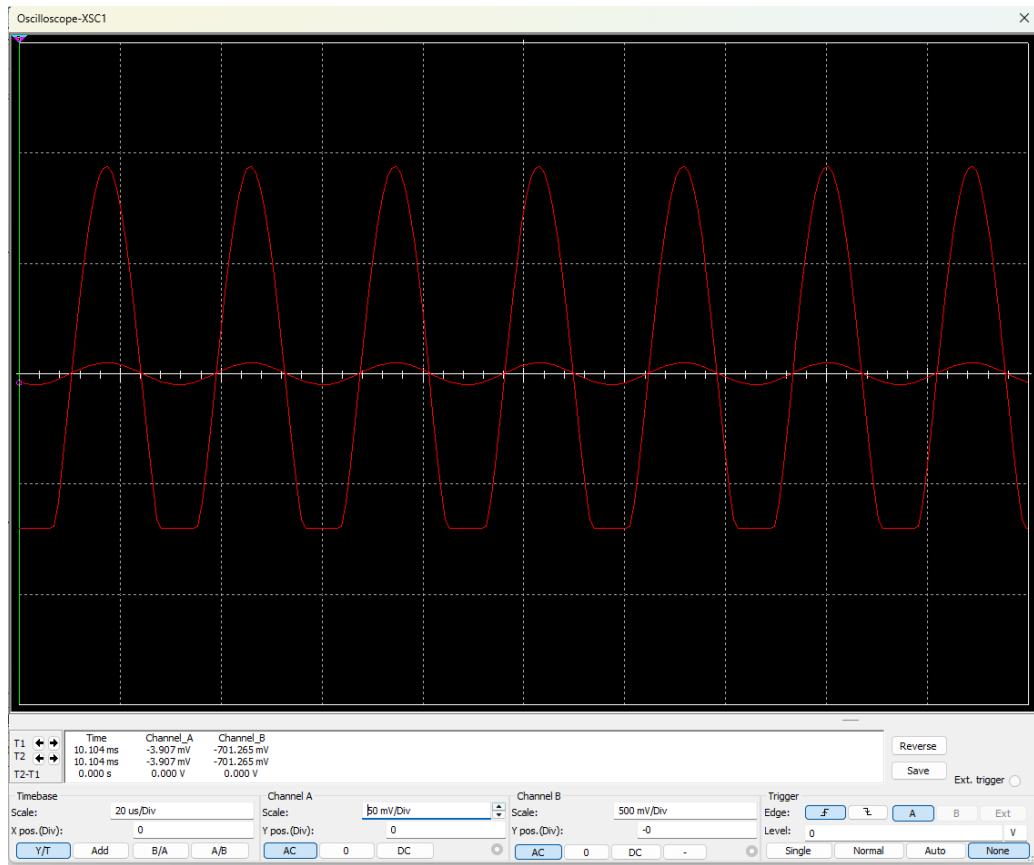
Ta thấy với $A_{vo1} = -8.4765 \text{ V/V}$ với tính toán thì sóng bị đảo pha so với sóng ban đầu và được khuếch đại lên 8.4765 lần.

- Qua tầng tiếp theo, Tầng 2

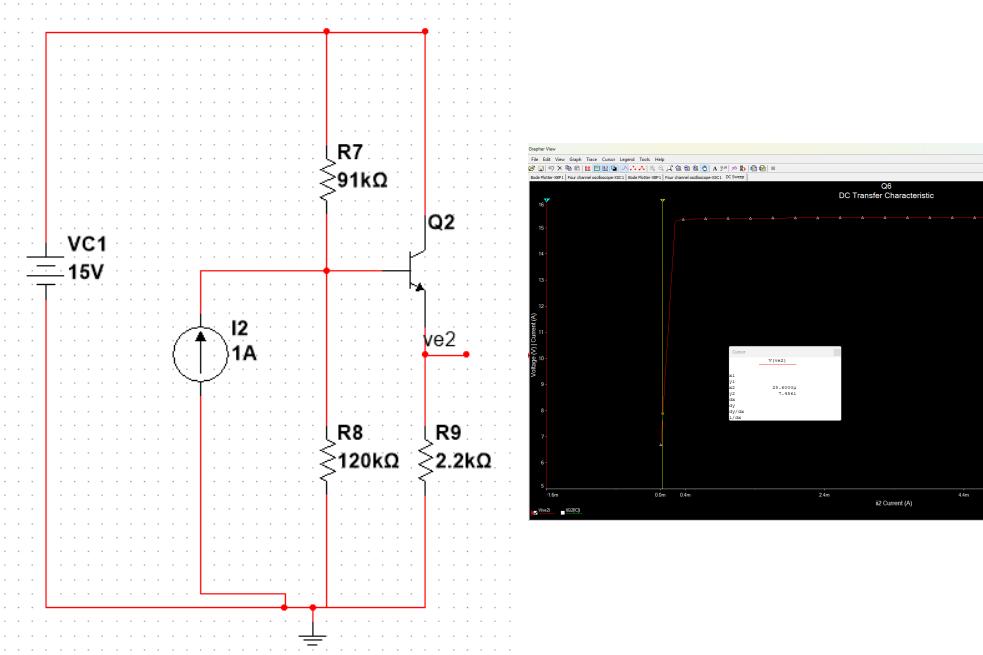


Sau khi qua tầng 2 với $A_{vo2} = -238.76 \text{ V/V}$, thì dạng sóng được đưa về đúng pha ban đầu và được khuếch đại lên thêm để có trị rất lớn so với ngõ vào.

- Tầng cuối cùng, Tầng 3



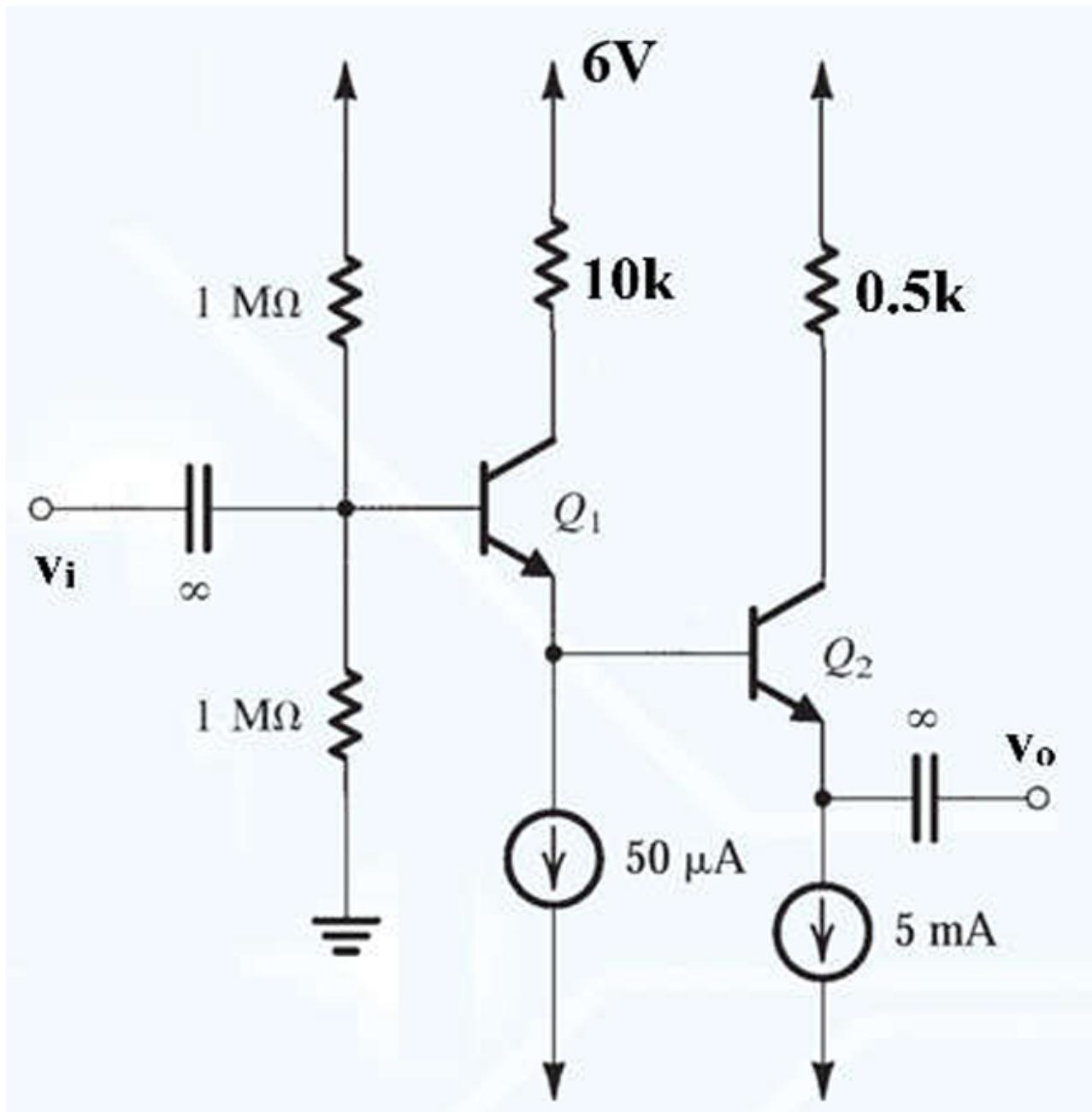
Sau khi qua tầng 3 thì tín hiệu bị xén phía bên dưới, chứng tỏ điểm phân cực Q_3 chưa được tốt trong vùng hoạt động. Ta tiến hành Sweep tầng 3 để khảo sát VTC của mạch.



Như vậy, điểm Q_3 đang nằm lệch phía bên dưới vùng khuếch đại, dẫn tới tín hiệu ngõ ra bị xén phần âm của tín hiệu.

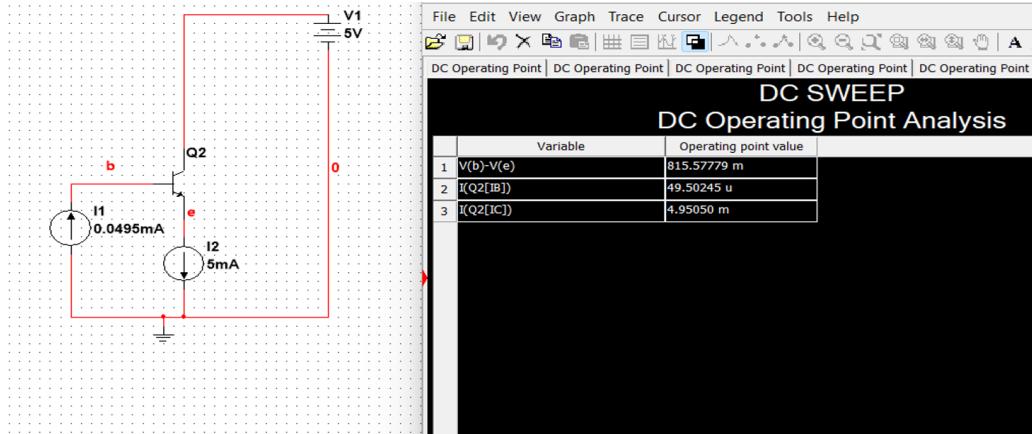
Câu 7

Cho mạch khuếch đại tín hiệu như hình vẽ, BJT Q_1 có hệ số $\beta = 50$ và Q_2 có hệ số $\beta = 100$. Các hệ số $V_A = \infty$.



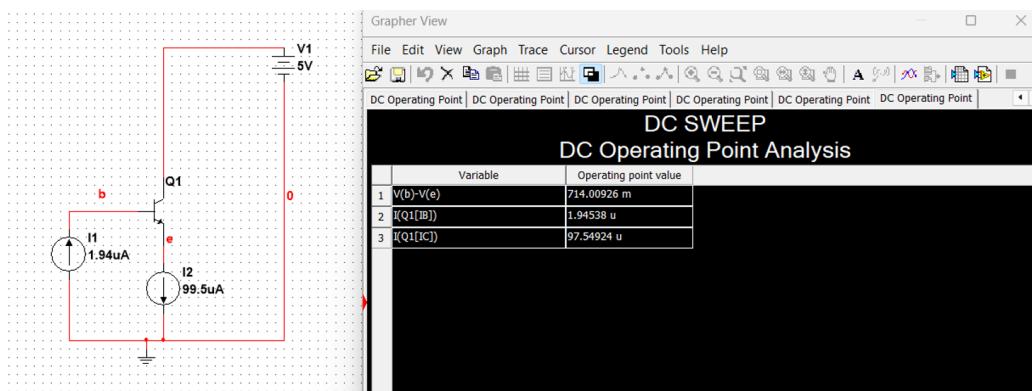
a) Tìm điểm hoạt động Q_1 và Q_2 của BJT.

- Sweep BJT Q_2 để tìm được điện áp V_{BE2}



$$\begin{aligned} - I_{B2} &= \frac{I_{E2}}{\beta_2 + 1} = \frac{5 \text{ m}}{101} = 0.0495 \text{ mA} \\ \Rightarrow I_{C2} &= \beta I_{B2} = 100 \times 0.0495 = 4.95 \text{ mA} \end{aligned}$$

- Sweep BJT Q_1 để tìm được điện áp V_{BE1}



$$\begin{aligned} - I_{E1} &= I_{B2} + 50\mu\text{A} = 49.5\mu + 50\mu = 99.5\mu\text{A} \\ \Rightarrow I_{C1} &= \frac{I_{E1}}{\beta_1 + 1} \beta_1 = \frac{99.5}{51} \times 50 = 97\mu\text{A} \\ \Rightarrow I_{B1} &= \frac{I_{C1}}{\beta_1} = \frac{97}{50} = 1.94\mu\text{A} \end{aligned}$$

Với,

$$R_{th} = R_1 // R_2 = 0.5 \text{ M}\Omega$$

$$V_{th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times 2V_{cc} - V_{cc} = \frac{1}{2} \times 2 \times 6 - 6 = 0 \text{ V}$$

$$V_{B1} = V_{th} - R_{th}I_{B1} = 0 - 0.5 \times 1.94 = -0.97 \text{ V}$$

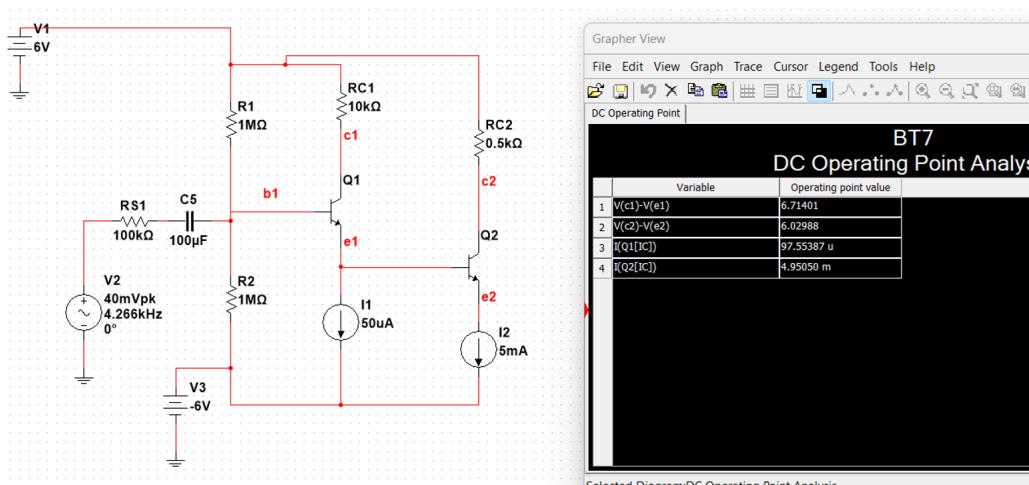
$$V_{E1} = V_{B1} - V_{BE1} = -0.97 - 0.714 = -1.684 \text{ V} \Rightarrow V_{E2} = V_{E1} - V_{BE2} = -1.684 - 0.816 = -2.5 \text{ V}$$

$$\Rightarrow V_{CE1} = V_{cc} - I_{C1}R_{C1} - V_{E1} = 6 - 97\text{m} \times 10 - (-1.684) = 6.714 \text{ V}$$

$$\Rightarrow V_{CE2} = V_{cc} - I_{C2}R_{C2} - V_{E2} = 6 - 4.95\text{m} \times 0.5 - (-2.5) = 6.025 \text{ V}$$

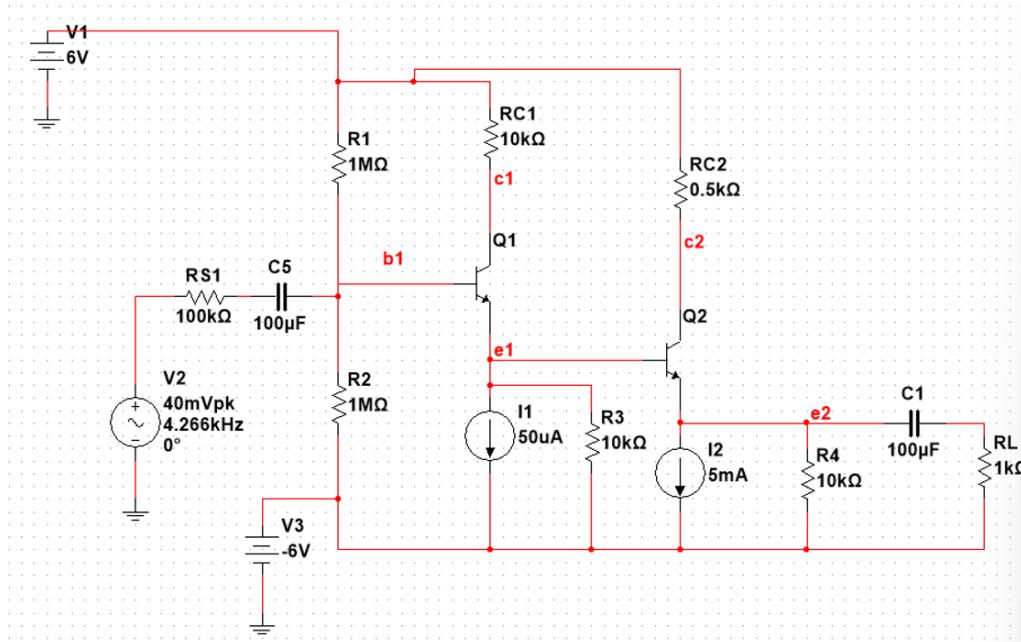
$$\Rightarrow Q_1(I_{CQ1}, V_{CEQ1}) = (96 \mu\text{A}, 6.714 \text{ V}) \text{ và } Q_2(I_{CQ2}, V_{CEQ2}) = (4.95 \text{ mA}, 6.025 \text{ V}) .$$

Kiểm tra kết quả



b) Đặt nguồn $v_s = V_m \sin(\omega t)$ có nội trở $RS = 100 \text{ k}\Omega$ vào mạch. Ngõ ra nối với tải $R_L = 1 \text{ k}\Omega$. Tìm A_v , G_v , R_{in} , R_{out} của mạch. Biết nguồn dòng điện có điện trở nội là $10 \text{ k}\Omega$.

Với đề yêu cầu thêm điện trở nội của nguồn dòng nên ta tiến hành giải lại điểm Q_1 và Q_2 .



$$I_{E1} = 50\mu + \frac{V_{E1} + 6}{R_3} + \frac{I_{E2}}{\beta_2 + 1}$$

Trong đó ta có, $I_{E2} = 5 \text{ mA} + \frac{V_{E2} + 6}{R_4}$ (1)

$$\Rightarrow I_{E1} = 50\mu\text{A} + \frac{V_{E1} + 6}{R_3} + \frac{5 \text{ mA}}{\beta_2 + 1} + \frac{V_{E2} + 6}{R_4(\beta_2 + 1)} \Rightarrow I_{E1} = 705 \mu V_{E1} + 0.99\mu V_{E2} \quad (2)$$

$$V_{B1} = V_{th} - I_{B1}R_{th} \Rightarrow V_{B1} = -I_{B1}R_{th} = -\frac{I_{E1}}{\beta + 1}R_{th} \quad (3)$$

Thay (2) và (3) ta có:

$$V_{B1} = -6.91 - 0.98V_{E1} - 0.0097V_{E2}$$

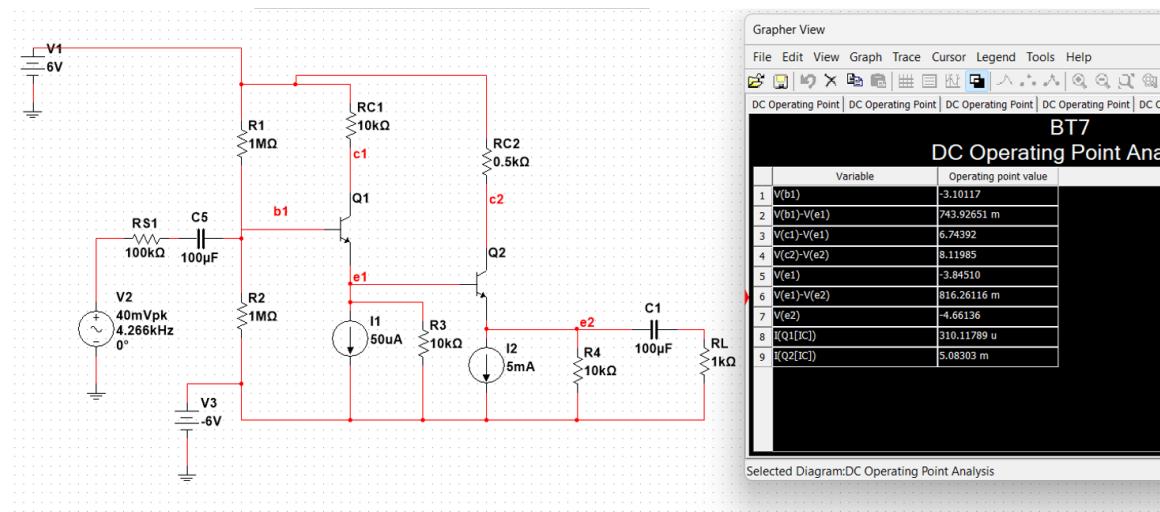
Với $V_{B1} - V_{E1} = 0.714 \text{ V}$, $V_{E1} - V_{E2} = 0.816 \text{ V}$

$$\Rightarrow V_{B1} = -3.11 \text{ V}, V_{E1} = -3.83 \text{ V}, V_{E2} = -4.64 \text{ V}$$

Thay vào (1) và (2),

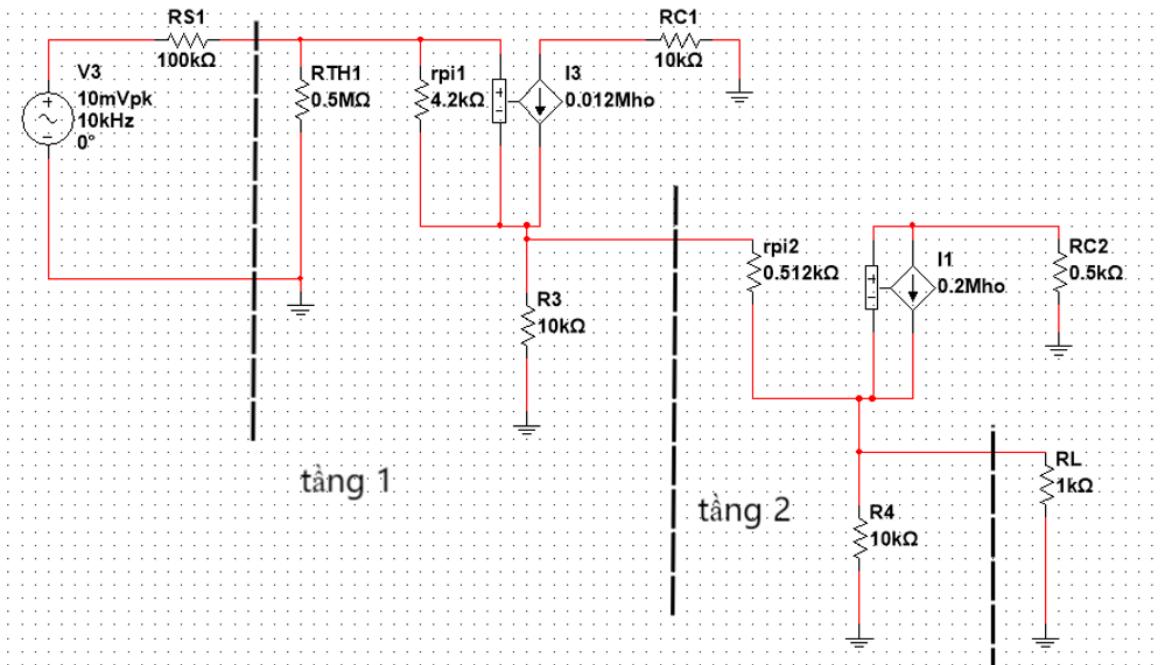
$$\Rightarrow I_{E2} = 5.136 \text{ mA}, I_{E1} = 317 \mu\text{A}$$

Ta tiến hành chạy lại để đo DC cho mạch khi có thêm điện trở nội của nguồn dòng vào



Từ mô phỏng trên, ta lấy được thông số chính xác là $I_{C1} = 0.31 \text{ mA}$, $I_{C2} = 5.08 \text{ mA}$.

Xét mạch hoạt động chê độ AC, ta có mạch tương đương như sau



$$+ r_{\pi 1} = \frac{V_T}{I_{B1}} = \frac{V_T \times \beta_1}{I_{CQ1}} = \frac{26 \times 50}{0.31} = 4.2 \text{ k}\Omega$$

$$+ r_{\pi 2} = \frac{V_T}{I_{B2}} = \frac{V_T \times \beta_2}{I_{CQ2}} = \frac{26 \times 100}{5.08} = 0.512 \text{ k}\Omega$$

$$+ g_{m1} = \frac{I_{CQ1}}{V_T} = \frac{0.31}{26} = 0.012 \text{ S}$$

$$+ g_{m2} = \frac{I_{CQ2}}{V_T} = \frac{5.08}{26} = 0.2 \text{ S}$$

- Tầng 1

$$\begin{aligned} + R_{in1} &= R_{TH1} / (r_{\pi1} + R_3(\beta_1 + 1)) = 500 \text{ k} / (4.2 \text{ k} + 10 \text{ k} \times (50 + 1)) = 253.5 \text{ k}\Omega \\ + R_{out1} &= R_3 / \frac{r_{\pi1}}{(\beta_1 + 1)} = 10 \text{ k} / \frac{4.2 \text{ k}}{51} = 0.08168 \text{ k}\Omega \\ + A_{V1} &= \frac{R_3}{R_3 + \frac{r_{\pi1}}{(\beta + 1)}} = 0.992 (\text{V/V}) \end{aligned}$$

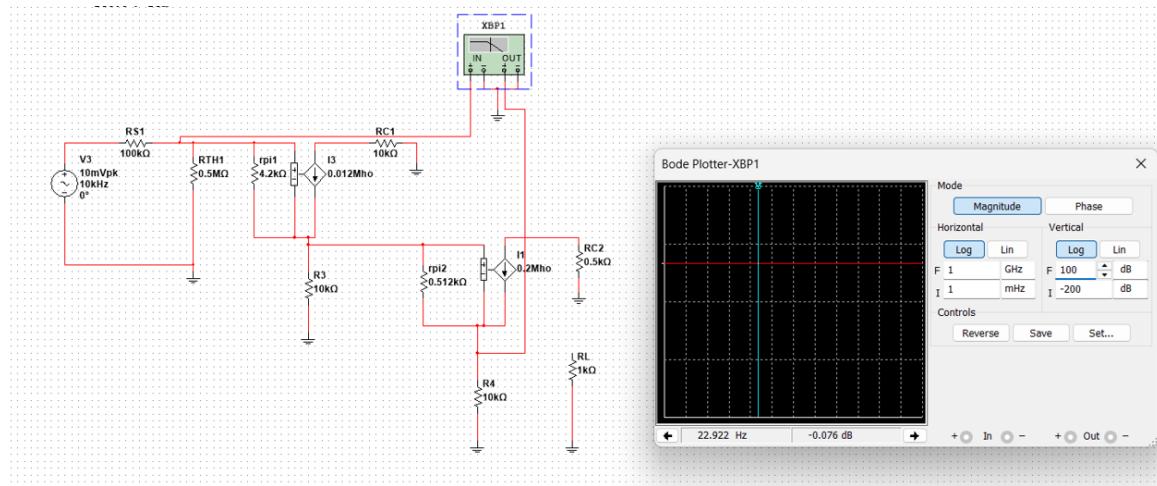
- Tầng 2

$$\begin{aligned} + R_{in2} &= r_{\pi2} + (\beta_2 + 1)R_4 = 0.512 \text{ k} + 101 \times 10 \text{ k} = 1010 \text{ k}\Omega \\ + R_{out2} &= R_4 / \frac{r_{\pi2}}{(\beta_2 + 1)} = 10 \text{ k} / \frac{0.512 \text{ k}}{101} = 5.067 \Omega \\ + A_{V2} &= \frac{R_4}{R_4 + \frac{r_{\pi2}}{(\beta_2 + 1)}} = \frac{1.5 \text{ k}}{1.5 \text{ k} + \frac{1.3 \text{ k}}{101}} = 0.9995 (\text{V/V}) \end{aligned}$$

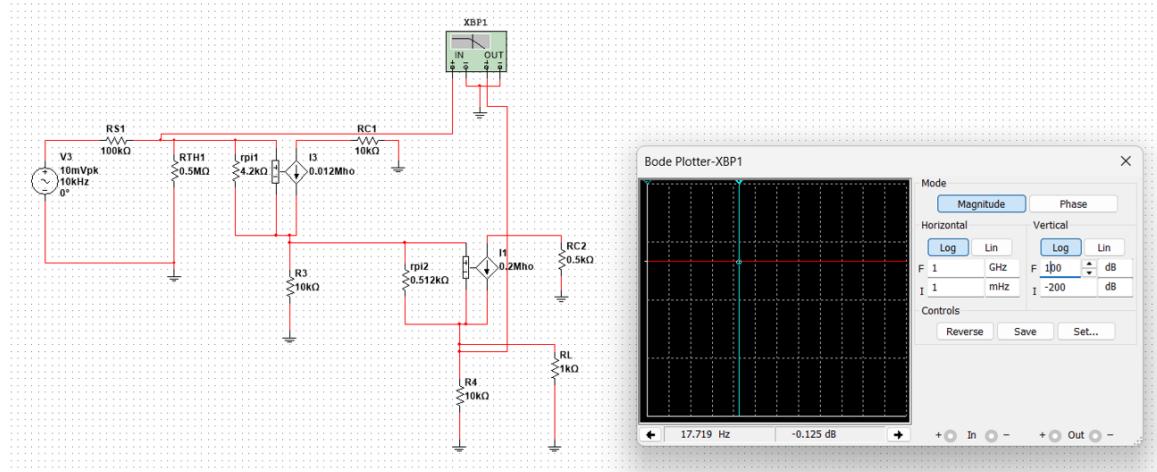
- Toàn mạch

$$\begin{aligned} + R_{in} &= R_{in1} = 253.5 \text{ k}\Omega \\ + R_{out} &= R_{out2} = 5.067 \Omega \\ + A_{vo} &= A_{v1} \times A_{v2} \times \frac{R_{in2}}{R_{out1} + R_{in2}} = 0.9907 (\text{V/V}) \\ \Rightarrow A_{vo} &= 0.9907 (\text{V/V}) \\ + A_v &= A_{v0} \times \frac{R_L}{R_{out} + R_L} = 0.9857 (\text{V/V}) \\ \Rightarrow A_v &= 0.9857 (\text{V/V}) \\ + G_v &= A_v \times \frac{R_{in}}{R_{in} + R_S} = 0.707 (\text{V/V}) \\ \Rightarrow G_v &= 0.707 (\text{V/V}) \end{aligned}$$

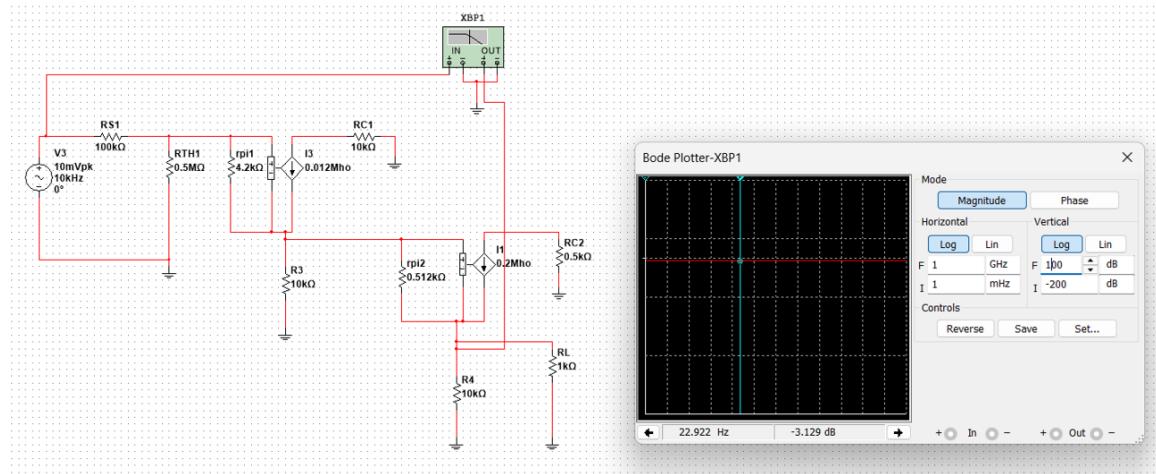
- Kiểm tra kết quả



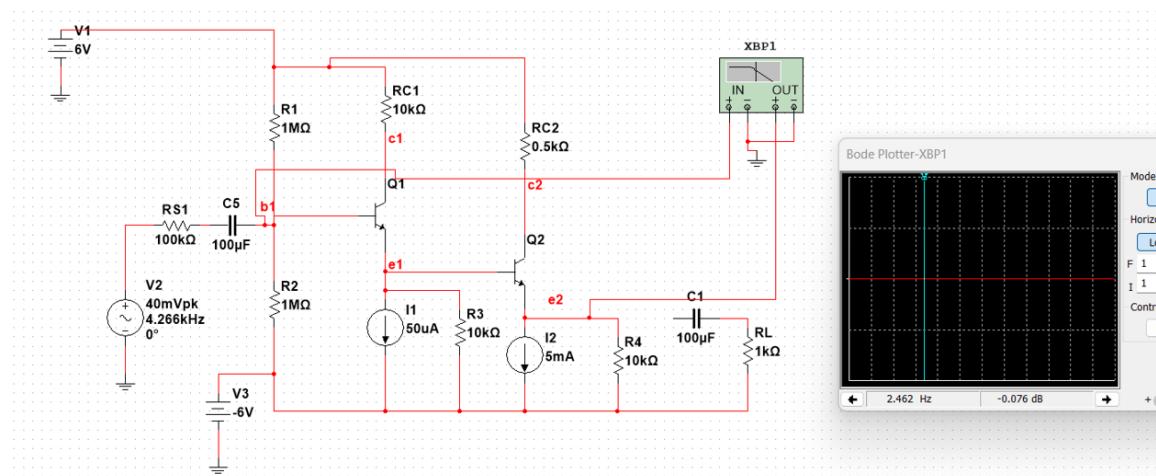
Hình 45: Đo $|A_{vo}| = -0.076\text{db} = 0.991 \text{V/V}$ (mô hình tương đương).



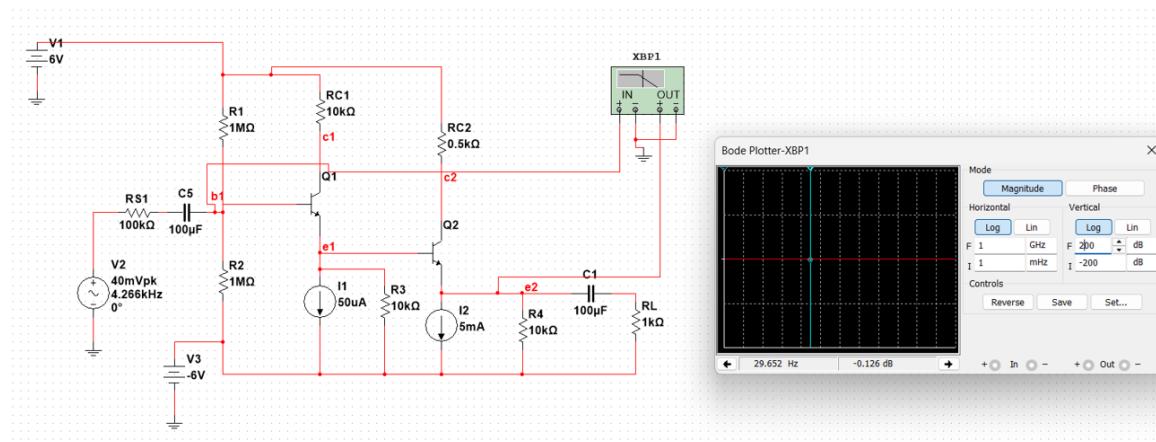
Hình 46: Đo $|A_v| = -0.125\text{db} = 0.9857 \text{V/V}$ (mô hình tương đương).



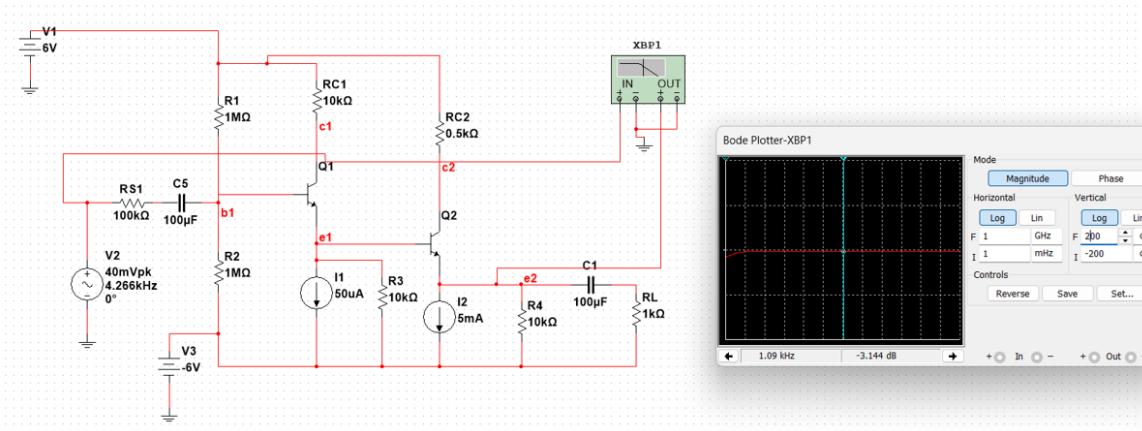
Hình 47: Do $|G_v| = -3.129\text{db} = 0.7\text{V/V}$ (mô hình tương đương).



Hình 48: Do $|A_{vo}| = -0.076\text{db} = 0.991\text{V/V}$ (tổn mạch).



Hình 49: Do $|A_v| = -0.126\text{db} = 0.9856\text{V/V}$ (tổn mạch).



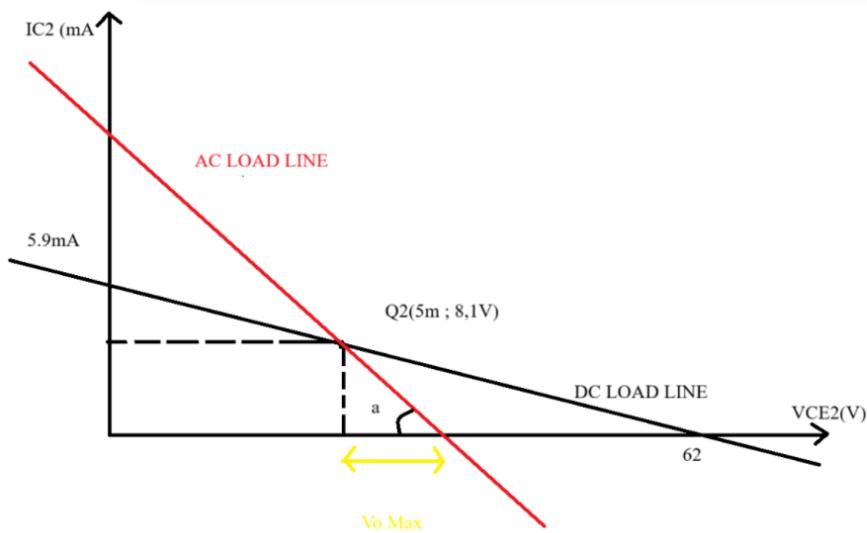
Hình 50: Do $|G_v| = -3.144 \text{db} = 0.7 \text{V/V}$ (tòan mạch).

c) Tìm biên độ lớn nhất của V_m để để vs là tín hiệu nhỏ ở cả hai tầng.

Xét Q_2

$$V_{CE} = 2V_{cc} - I_{C2}R_{C2} - (I_{C2} - I_2)R_4$$

$$\Rightarrow V_{CE2} = 62 - 10.5 \text{ k} \times I_{C2}$$

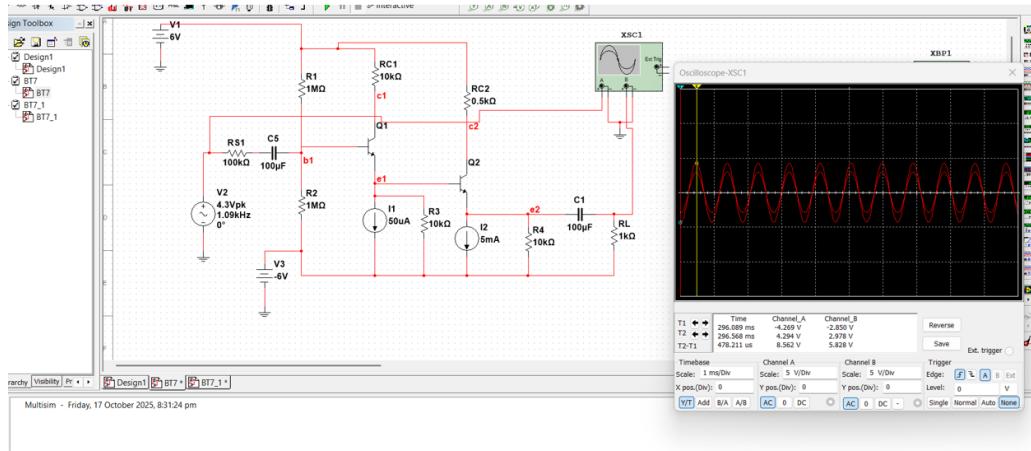


$$\tan(\alpha) = \frac{1}{(R_L // R_4) + R_{C2}} = \frac{1}{1.4 \text{ k}}$$

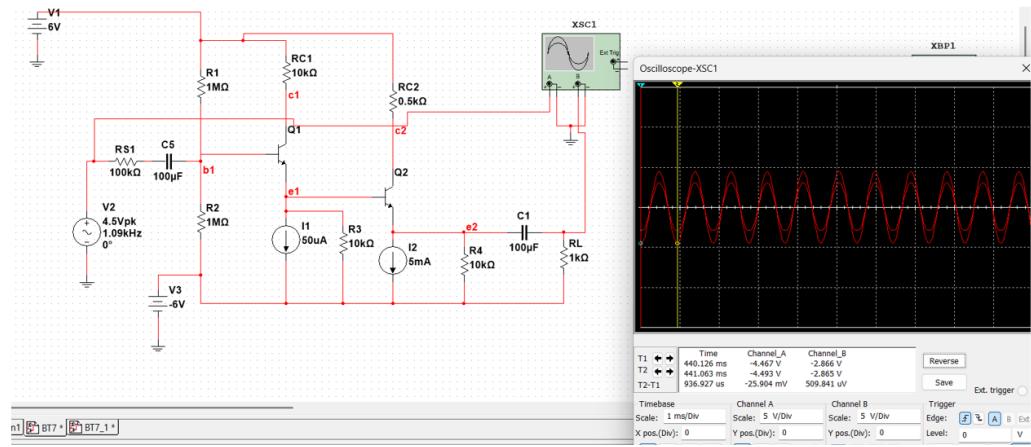
$$\Rightarrow V_{o_{max}} = \frac{I_{CQ2}}{\tan(\alpha)} = 7V \Rightarrow V_{sig_{max}} = \left. \frac{V_{o_{max}}}{G_v} \right|_{f=1.09\text{ kHz}} = \frac{7}{0.7} = 10(V)$$

$$\Rightarrow V_{sig_{max}} = 10(V).$$

Dùng mô phỏng để quét từ $V_{sig_{max}}$ trở x đến khi ngõ ra không méo dạng.



Hình 51: $V_{sig} = 4.3V$, $V_{pL} = 2.978V$, $G_v = 0.7V/V$.

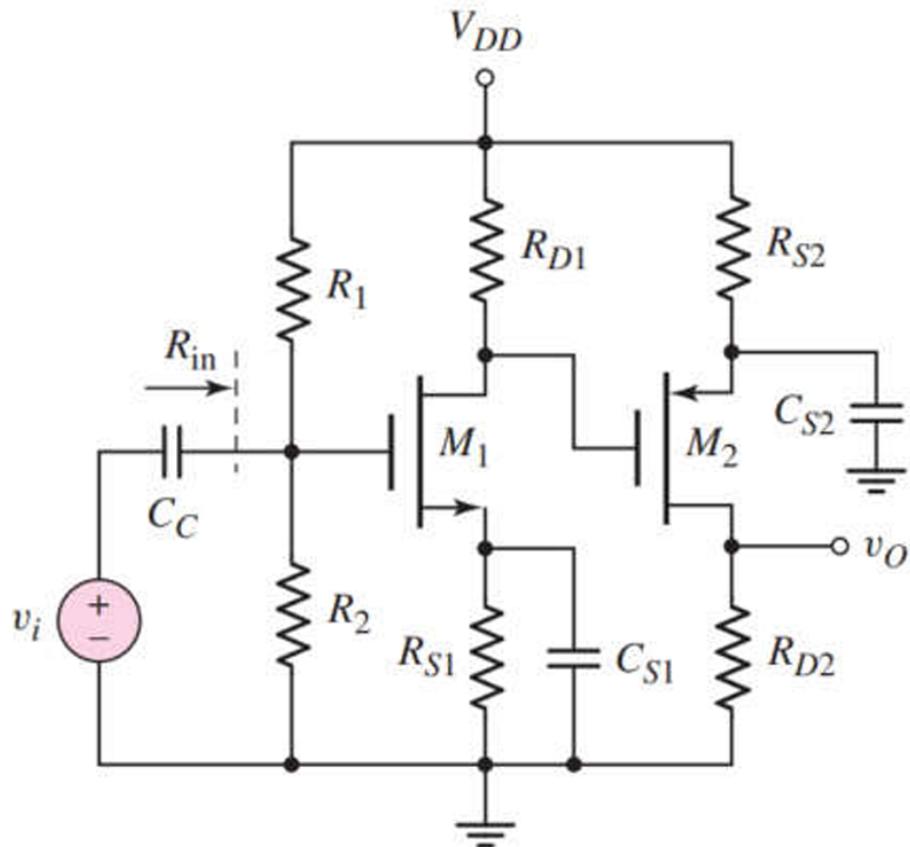


Hình 52: $V_{sig} = -4.5V$, $V_{pL} = -2.865V$, $G_v = 0.647V/V$ (ngõ ra bị xén dưới).

$$\text{Vậy } V_{m_{max}} = 4.5V.$$

Câu 8

Cho mạch khuếch đại như hình vẽ, mạch có $R_{in} = 400 \text{ k}\Omega$ và $V_{DD} = 5V$. M_1 và M_2 có $k_n = 200 \mu\text{A/V}^2$, $V_{tn} = 0.6 \text{ V}$, $K_{p2} = 1 \text{ mA/V}^2$, $V_{TP2} = -0.6 \text{ V}$ và $V_{A1} = V_{A2} = \infty$, giả sử các tụ có giá trị rất lớn.



a) Thiết kế mạch để M_1 có $Q_1(I_{DS1} = 0.2 \text{ mA}, V_{DS1} = 2 \text{ V})$, M_2 có $Q_2(I_{DS2} = 0.5 \text{ mA}, V_{SD2} = 3 \text{ V})$ và điện áp DC trên $R_{S1} = 0.6 \text{ V}$

$$R_{S1} = \frac{V_{RS1}}{I_{D1}} = \frac{0.6}{0.2} = 3 \text{ k}\Omega \Rightarrow R_{S1} = 3 \text{ k}\Omega .$$

$$V_{DD} - V_{DS1} = I_{D1}(R_{D1} + R_{S1}) \Rightarrow 5 - 2 = 0.2(R_{D1} + 3k) \Rightarrow R_{D1} = 12 \text{ k}\Omega .$$

$$I_{DS1} = \frac{1}{2}k_n(V_{GS1} - V_{tn})^2 \Rightarrow 0.2 = \frac{1}{2}(200 \times 10^{-3})(V_{GS1} - 0.6)^2 \Rightarrow V_{GS1} = 2.014 \text{ V}$$

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} - V_{RS1} = V_{GS1} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot 5 - 0.6 = 2.014 \Rightarrow \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0.5228$$

$$\Rightarrow 0.9123R_2 = R_1 \quad (1)$$

Với $R_{in} = R_1 // R_2 = 400 \text{ k}\Omega$ (2)

Từ (1) và (2)

$$\Rightarrow \begin{cases} R_2 = 838.45 \text{ k}\Omega \\ R_1 = 764.9 \text{ k}\Omega \end{cases}$$

$$I_{SD2} = \frac{1}{2}k_p(V_{SG2} - |V_{thp}|)^2 \Rightarrow 0.5 = \frac{1}{2} \times 1 \times (V_{SG2} - 0.6)^2 \Rightarrow V_{SG2} = 1.6 \text{ V}$$

$$V_{DD} - I_{D2}R_{S2} - (V_{DD} - I_{D1}R_{D1}) = 1.6 \Rightarrow I_{D1}R_{D1} - I_{D2}R_{S2} = 1.6$$

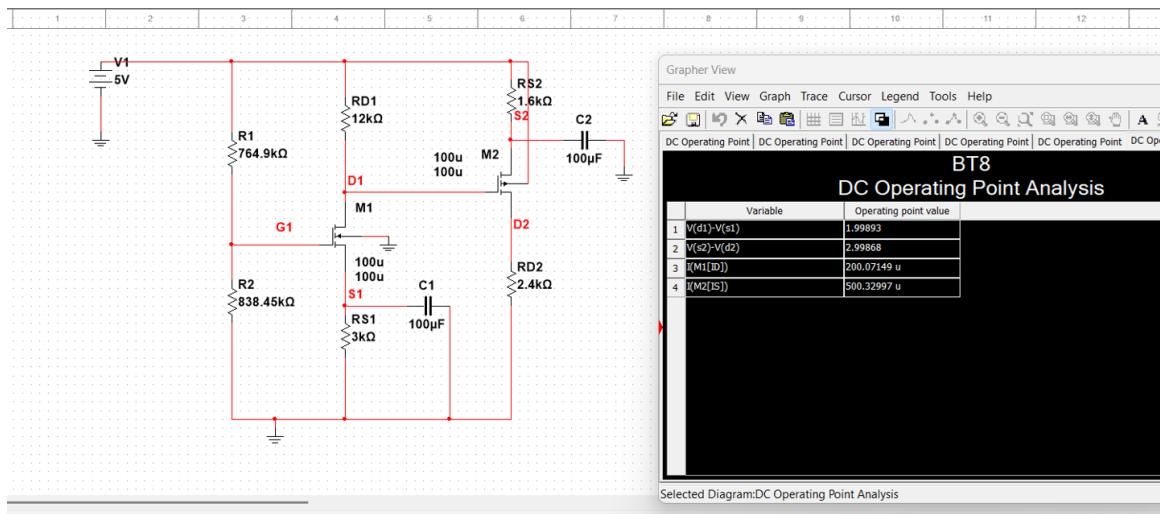
$$\Rightarrow 0.2 \times 12k - 0.5R_{S2} = 1.6$$

$$\Rightarrow R_{S2} = 2.4 \text{ k}\Omega$$

$$V_{cc} - V_{CE2} - R_{S2}I_{D2} = I_{D2}R_{D2} \Rightarrow 5 - 3 - 1.6 \times 0.5 = 0.5R_{D2}$$

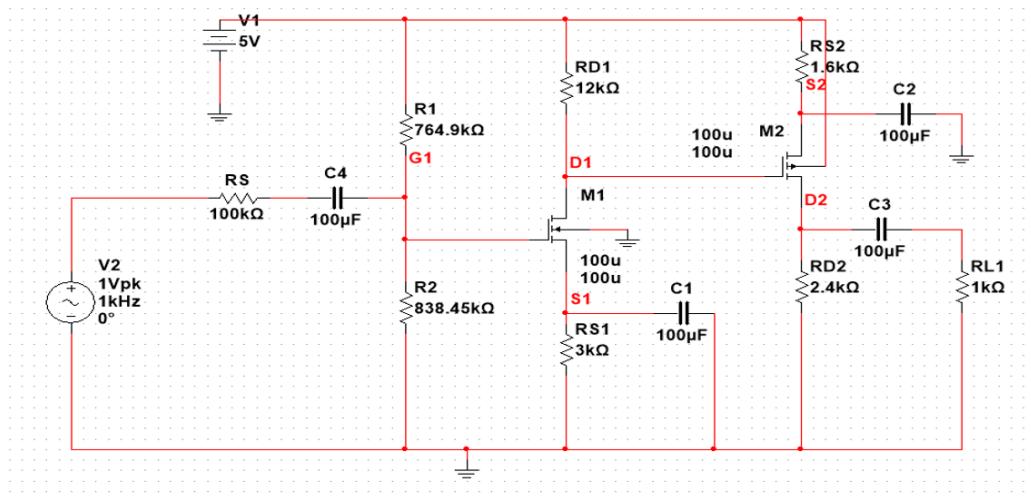
$$\Rightarrow R_{D2} = 2.4 \text{ k}\Omega$$

Kiểm tra kết quả,

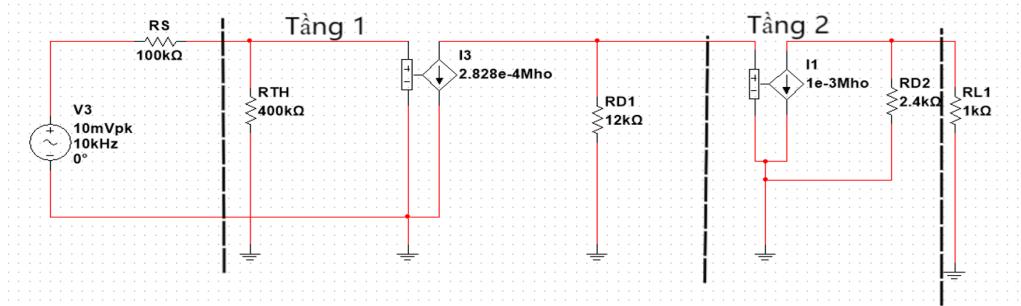


b) Đặt $v_s = 2 \sin(\omega t)$ (mV) vào mạch. Ngõ ra nối với tải $R_L = 1 \text{ k}\Omega$. Tìm $A_v, G_v, R_{in}, R_{out}$ của mạch.

Từ câu a ta có mạch tổng quan như sau,



Ta xét hoạt động AC, với mạch tương đương như sau



$$+ g_{m1} = k_n(V_{GS1} - V_{thn}) = 200 \times 10^{-6} (2.014 - 0.6) = 0.0002828 \text{ S} = 2.828 \times 10^{-4} \text{ S}$$

$$+ g_{m2} = k_p(V_{SG2} - |V_{thp}|) = 1 \times 10^{-3} (1.6 - 0.6) = 0.001 \text{ S}$$

- Tầng 1

$$+ R_{in1} = R_{TH} = 400 \text{ k}\Omega$$

$$+ R_{out1} = R_{D1} = 12 \text{ k}\Omega$$

$$+ A_{vo1} = -g_{m1}R_{D1} = -0.0002828 \times 12000 = -3.3936 \text{ (V/V)} \approx -3.39 \text{ (V/V)}$$

- Tầng 2

$$+ R_{in2} \rightarrow \infty$$

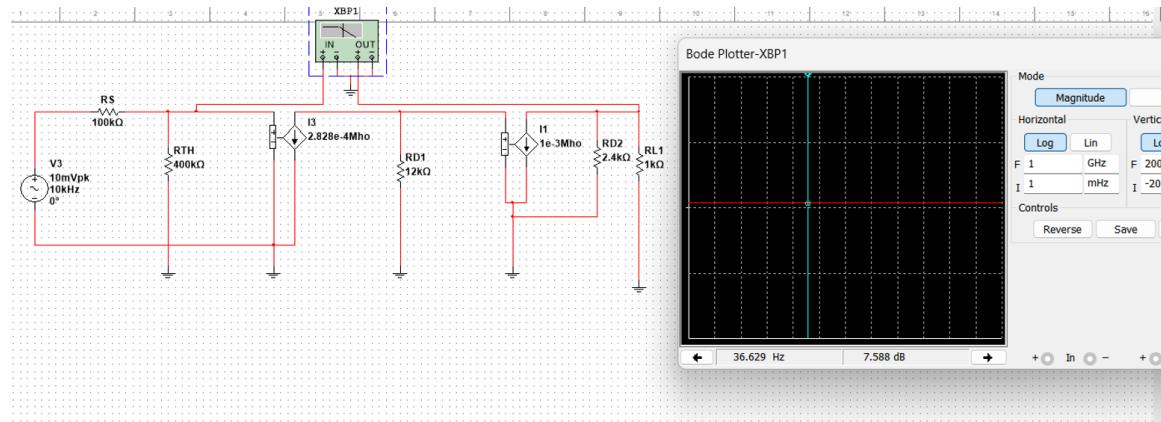
$$+ R_{out2} = R_{D2} = 2.4 \text{ k}\Omega$$

$$+ A_{vo2} = -g_{m2}R_{D2} = -0.001 \times 2400 = -2.4 \text{ (V/V)}$$

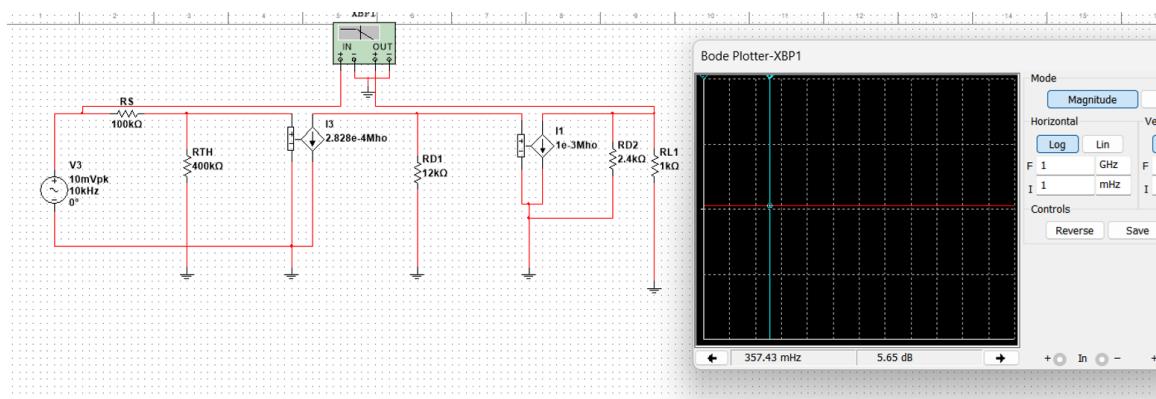
- Toàn mạch

$$\begin{aligned}
 & + R_{in} = R_{in1} = 400 k\Omega \\
 & + R_{out} = R_{out2} = 2.4 k\Omega \\
 & + A_{vo} = A_{vo1}A_{vo2}\frac{R_{in2}}{R_{out1}+R_{in2}} = 8.136(\text{V/V}). \\
 & \Rightarrow A_{vo} = 8.136(\text{V/V}) . \\
 & + A_v = A_{vo}\frac{R_L}{R_{out} + R_L} = 2.39(\text{V/V}) \\
 & \Rightarrow A_v = 2.39(\text{V/V}) . \\
 & + G_v = A_v\frac{R_{in}}{R_{in} + R_s} = 1.91(\text{V/V}) \\
 & \Rightarrow G_v = 1.91(\text{V/V}) .
 \end{aligned}$$

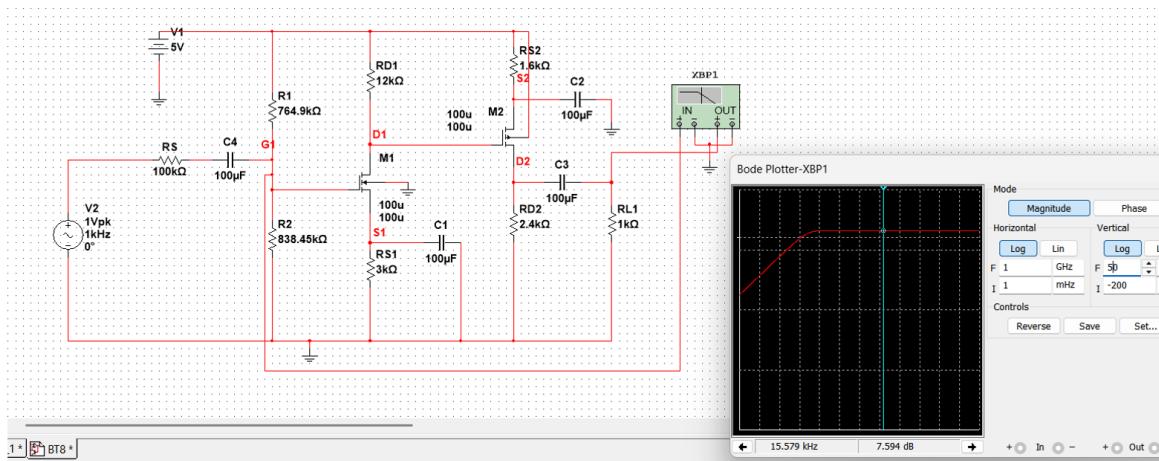
- Kiểm tra kết quả



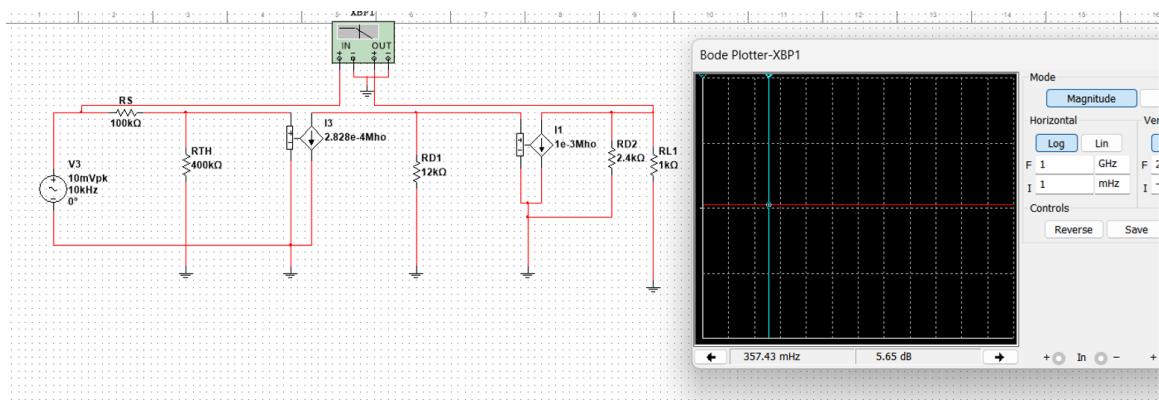
Hình 53: Do $|A_v| = 7.558 \text{db} = 2.4 \text{V/V}$ (mô hình tương đương).



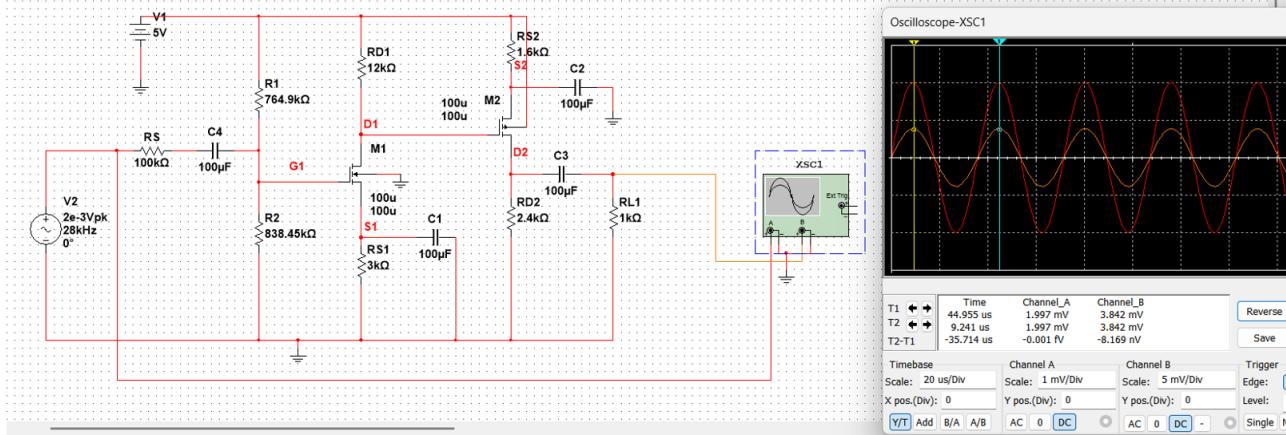
Hình 54: Do $|G_v| = 5.65 \text{db} = 1.91 \text{V/V}$ (mô hình tương đương).



Hình 55: Do $|A_v| = 7.594 \text{db} = 2.4 \text{V/V}$ (mô hình toàn mạch).



Hình 56: Do $|G_v| = 5.655 \text{db} = 1.92 \text{V/V}$ (mô hình toàn mạch).

c) Vẽ ngõ ra v_o Hình 57: $V_{psig} = 2 \text{ mV}$, $V_{pL} = 3.842 \text{ mV}$, $G_v = 1.921 \text{ V/V}$.d) Lựa chọn các tụ C_C , C_{S2} để mạch có $f_L = 100 \text{ Hz}$.

- Xét tụ C_4 :

$$\tau_4 = R_5 + R_{TH} = 100k + 400k = 500k \quad \Rightarrow \quad f_4 = \frac{1}{2\pi\tau_4 C_4}$$

- Xét tụ C_1 :

$$\tau_1 = R_{S1} = 3k \quad \Rightarrow \quad f_1 = \frac{1}{2\pi\tau_1 C_1}$$

- Xét tụ C_2 :

$$\tau_2 = R_{S2} = 1.6k \quad \Rightarrow \quad f_2 = \frac{1}{2\pi\tau_2 C_2}$$

- Xét tụ C_3 :

$$\tau_3 = R_{D2} + R_L = 2.4k + 1k = 3.4k \quad \Rightarrow \quad f_3 = \frac{1}{2\pi\tau_3 C_3}$$

Ta có:

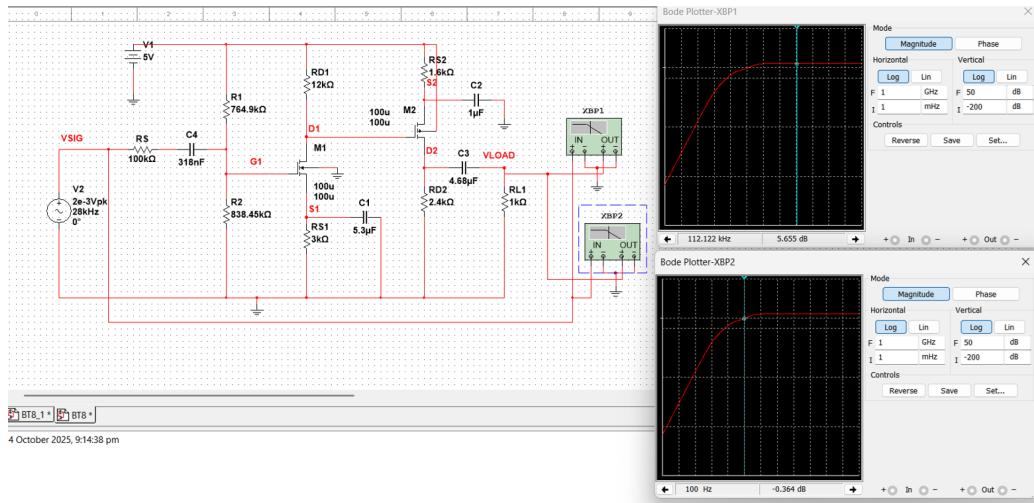
$$\tau_2 < \tau_1 < \tau_3 < \tau_4 \quad \Rightarrow \quad \text{Để tối ưu điện dung,}$$

Ta chọn:

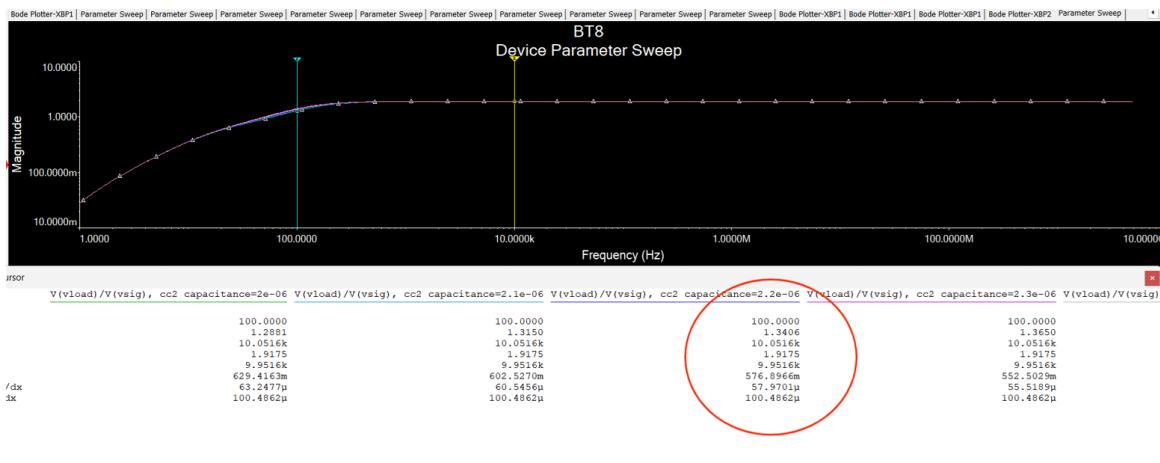
$$f_2 = 100 \text{ Hz} \quad \Rightarrow \quad f_4 = \frac{f_2}{100} = 1 \text{ Hz}, \quad f_1 = f_3 = \frac{f_2}{10} = 10 \text{ Hz}$$

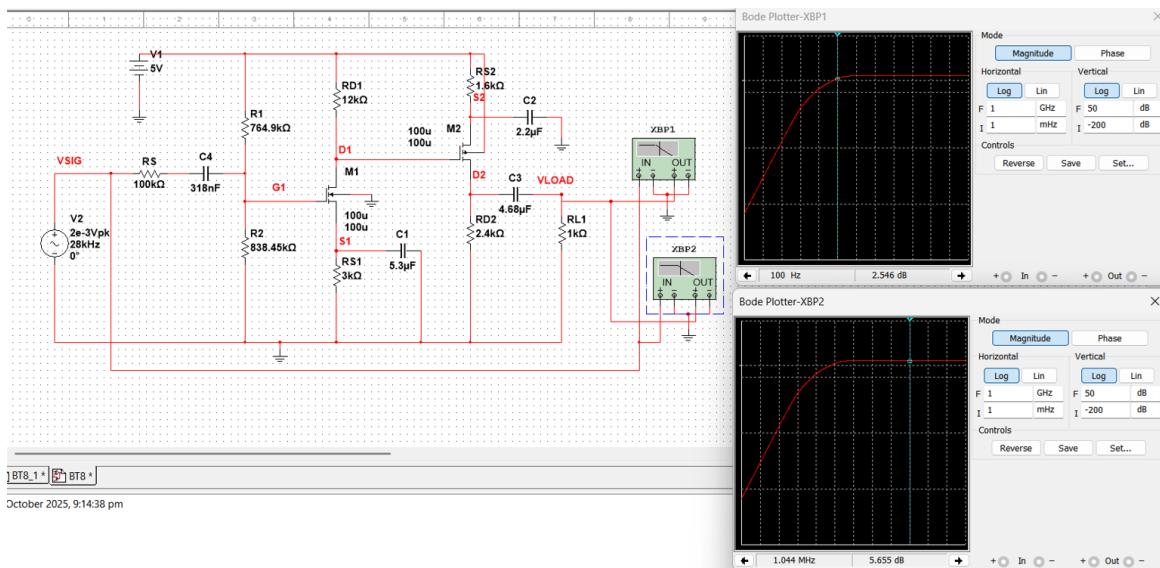
$$\Rightarrow \boxed{C_2 = 1 \mu\text{F}} \text{ and } \boxed{C_4 = 318 \text{ nF}} \text{ and } \boxed{C_1 = 5.3 \mu\text{F}} \text{ and } \boxed{C_3 = 4.68 \mu\text{F}}$$

Kiểm tra kết quả

Hình 58: Tại $f = 100\text{Hz}$ $G_v = -0.364\text{db} \neq 2.665\text{db}$.

Để mạch có đúng tần số cắt tại $f = 100\text{Hz}$ ta tiến hành sweep C_4 từ để tìm giá trị C_4 vì f_4 là cực chủ đạo.

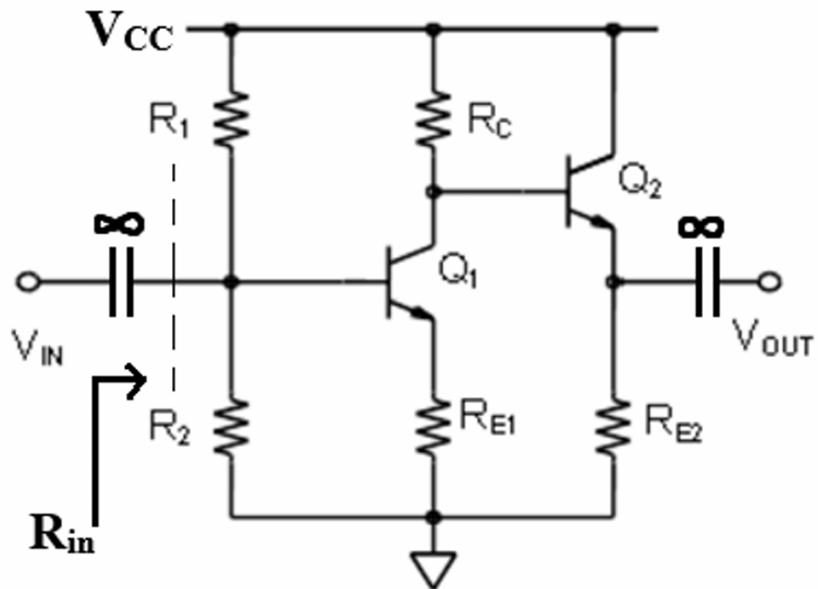
Hình 59: Với $C_4 = 2.2\mu\text{F}$, tại $f = 100\text{Hz}$ $G_v = 1.3406\text{V/V} = 2.546\text{db} \approx 2.66\text{db}$.



Hình 60: Tại $f = 100\text{Hz}$ $G_v = 2.546\text{db} \approx 2.665\text{db}$.

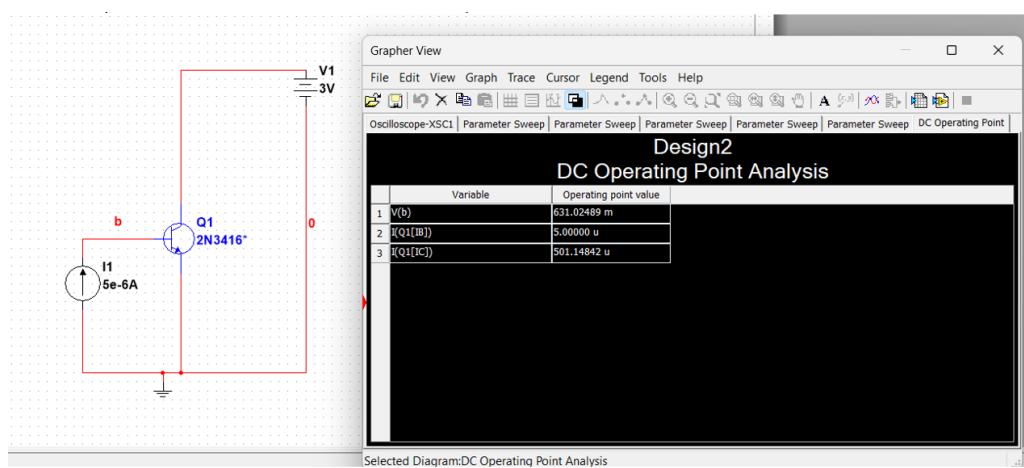
Câu 9

Cho mạch khuếch đại tín hiệu như hình vẽ. Mạch có $V_{CC} = 9\text{V}$. BJT Q_1 và Q_2 có hệ số $\beta = 100$. Các hệ số $V_A = \infty$.

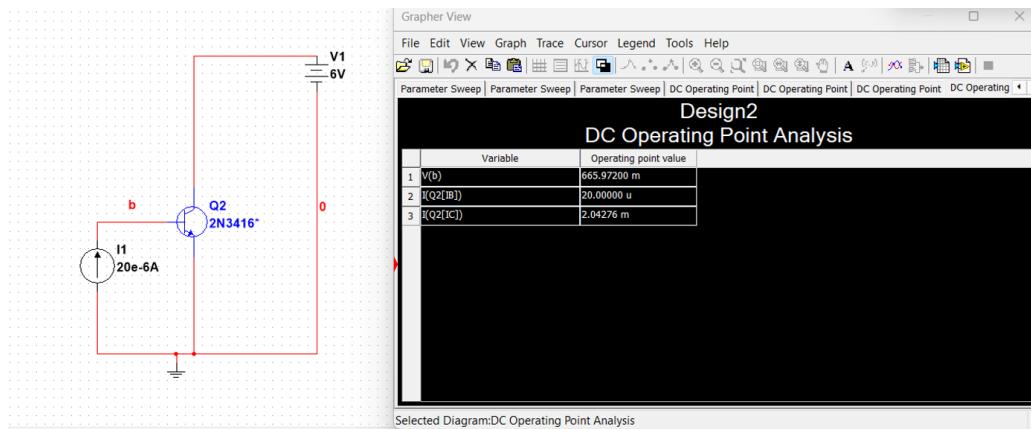


a) Thiết kế mạch để có $Q_1(0.5\text{mA}, 3\text{V})$; $Q_2(2\text{mA}, 6\text{V})$.

Sweep bf cho đến khi thỏa mãn điểm Q



Hình 61: Chọn transistor Q_1 thỏa mãn $\beta = 100$ ứng với $I_{C1} = 0.5\text{ mA}$ và $V_{CE1} = 3\text{V}$ (chọn NPN 2N3416 với thông số bf chỉnh thấp còn 153 so với 157 ban đầu); $V_{be} = 0.63\text{V}$



Hình 62: Chọn transistor Q_2 thỏa mãn $\beta = 100$ ứng với $I_{C2} = 2 \text{ mA}$ và $V_{CE2} = 6 \text{ V}$ (chọn NPN 2N3416 với thông số bf chỉnh thấp còn 112 so với 157 ban đầu); $V_{be} = 0.665 \text{ V}$

$$R_{TH} = R_1 // R_2 \quad (1)$$

$$V_{TH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad (2)$$

$$V_{TH} - V_{BE1} = I_{C1} \left(\frac{R_{TH}}{\beta} + R_{E1} \right) \quad (3)$$

$$V_{CC} - V_{CEQ1} = (I_{CQ1} + \frac{I_{CQ2}}{\beta}) R_C + I_{CQ1} R_{E1} \quad (4)$$

$$V_{CC} - V_{BE2} = (I_{CQ1} + \frac{I_{CQ2}}{\beta}) R_C + I_{CQ2} R_{E2} \quad (5)$$

$$V_{CC} - V_{CEQ2} = I_{CQ2} R_{E2} \quad (6)$$

$$\Rightarrow 9 - 6 = 2R_{E2}$$

$$\Rightarrow R_{E2} = 1.5 \text{ k}\Omega$$

Thết R_{E2} vào (5):

$$9 - 0.665 = 0.52R_C + 2 \times 1.5$$

$$\Rightarrow R_C = 10.26 \text{ k}\Omega$$

Thay R_C vào (4):

$$9 - 3 = 0.52 \times 10.26 + 0.5R_{E1}$$

$$\Rightarrow R_{E1} = 1.33 \text{ k}\Omega$$

$$I_{CQ1} = \frac{(V_{TH} - V_{BE1})\beta}{R_{TH} + (\beta + 1)R_{E1}} \quad (7)$$

Chọn $R_{TH} \ll (\beta + 1)R_{E1}$ để dòng I_C ổn định.

$$\Rightarrow R_{TH} \ll 134.33 \text{ k}\Omega \Rightarrow R_{TH} = 13.433 \text{ k}\Omega$$

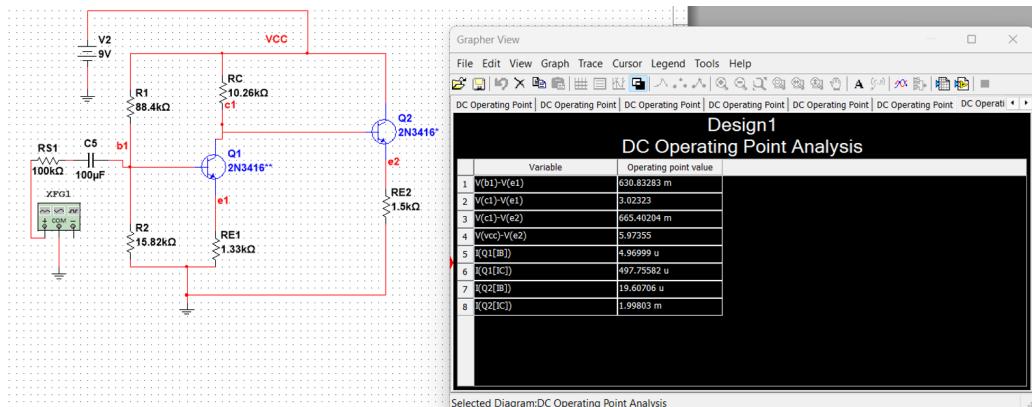
Từ (3):

$$V_{TH} - 0.63 = 0.5 \left(\frac{13.433}{100} + 1.33 \right) \Rightarrow V_{TH} = 1.36 \text{ V}$$

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0.151 \Rightarrow 5.62R_2 = R_1$$

Với $R_{TH} = 13.433 \text{ k}\Omega$:

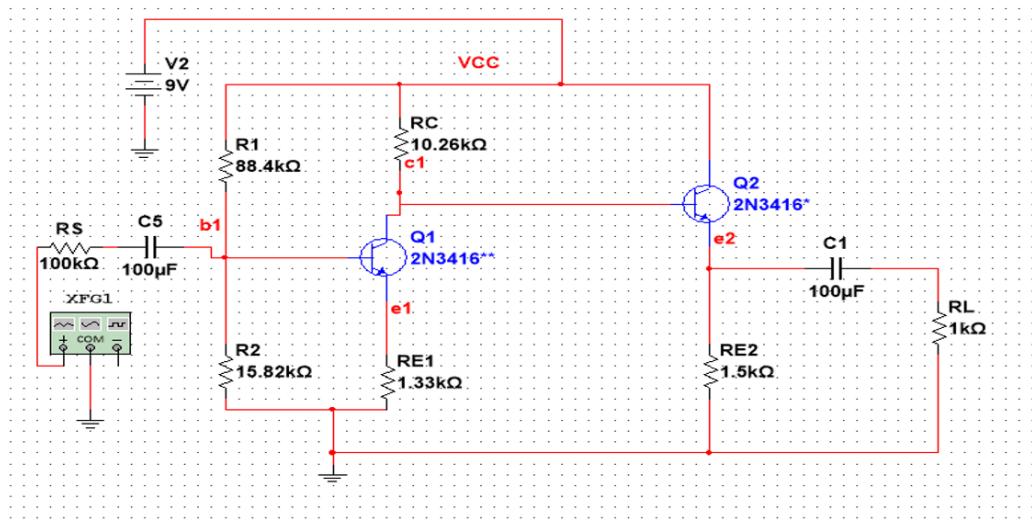
$$\Rightarrow R_2 = 15.73 \text{ k}\Omega \text{ và } R_1 = 88.4 \text{ k}\Omega$$



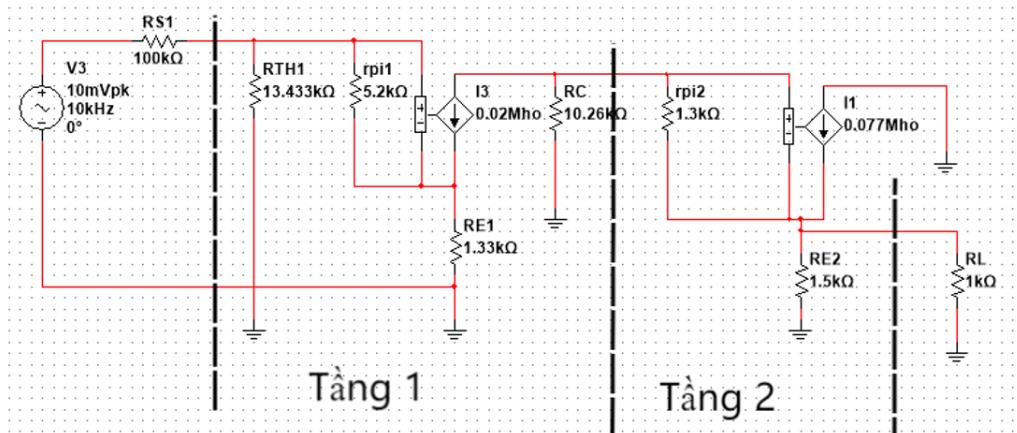
Hình 63: DC Point.

b) Đặt nguồn $v_s = V_m \sin(\omega t)$ có nội trở $R_S = 100 \text{ k}\Omega$ vào mạch. Ngõ ra nối với tải $R_L = 1 \text{ k}\Omega$. Tìm A_{vo} , A_v , G_v , R_i , R_o của mạch.

Từ kết quả câu a ta có mạch như sau,



Ta chia thành 2 tầng như sau:



$$+ r_{\pi 1} = \frac{V_T}{I_{B1}} = \frac{V_T \beta}{I_{CQ1}} = \frac{26100}{0.5} = 5.2 k\Omega$$

$$+ r_{\pi 2} = \frac{V_T}{I_{B2}} = \frac{V_T \beta}{I_{CQ2}} = \frac{26100}{2} = 1.3 k\Omega$$

$$+ g_{m1} = \frac{I_{CQ1}}{V_T} = \frac{0.5}{26} = 0.02 (\text{S})$$

$$+ g_{m2} = \frac{I_{CQ2}}{V_T} = \frac{2}{26} = 0.077 (\text{S})$$

- Tầng 1

$$+ R_{in1} = R_{TH1} // (r_{\pi 1} + (\beta + 1)R_{E1}) = 13.433 k // (5.2 k + 101 \times 1.33 k) = 12.25 k\Omega$$

$$+ R_{out1} = R_{C1} = 10.26 k\Omega$$

$$+ A_{V1} = \frac{-\beta R_C}{r_{\pi 1} + (\beta + 1)R_{E1}} = \frac{-10010.26 k}{5.2 k + 1011.33 k} = -7.35 (\text{V/V})$$

- Tầng 2

$$+ R_{in2} = r_{\pi 2} + (\beta + 1)R_{E2} = 1.3 k + 101 \times 1.5 k = 152.8 k\Omega$$

$$+ R_{out2} = R_{E2} // \frac{r_{\pi 2}}{(\beta + 1)} = 1.5 k // \frac{1.3 k}{101} = 0.0137 k\Omega$$

$$+ A_{V2} = \frac{R_{E2}}{R_{E2} + \frac{r_{\pi 2}}{(\beta + 1)}} = \frac{1.5 k}{1.5 k + \frac{1.3 k}{101}} = 0.99 (\text{V/V})$$

- Toàn bộ tầng

$$+ R_{in} = R_{in1} = 12.25 k\Omega$$

$$+ R_{out} = R_{out2} = 0.013 \text{ k}\Omega$$

$$+ A_{vo} = A_{v1}A_{v2} \frac{R_{in2}}{R_{out1} + R_{in2}} = -6.82 \text{ (V/V)}$$

$$\Rightarrow A_{vo} = -6.82 \text{ (V/V)}$$

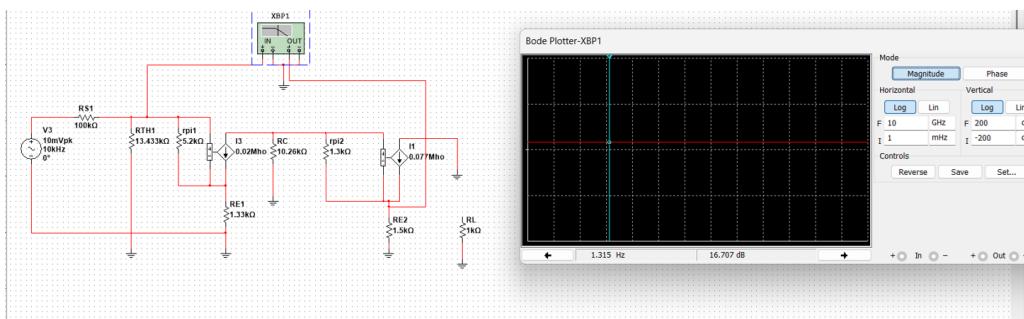
$$+ A_V = A_{V0} \frac{R_L}{R_{out} + R_L} = -6.73 \text{ (V/V)}$$

$$\Rightarrow A_v = -6.73 \text{ (V/V)}$$

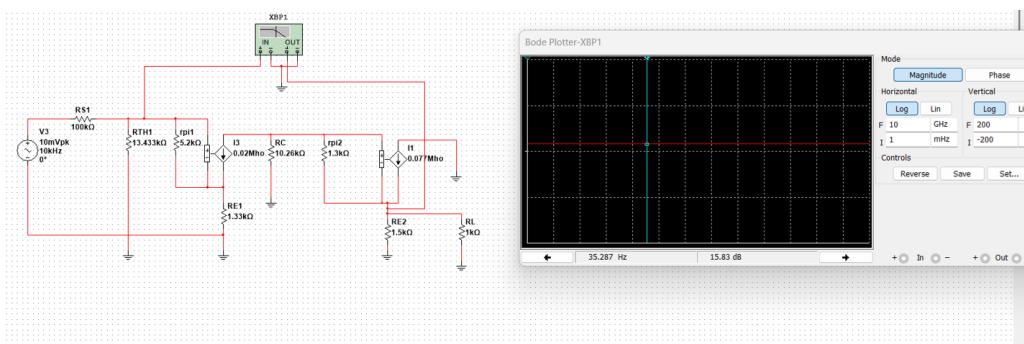
$$+ G_V = A_V \frac{R_{in}}{R_{in} + R_S} = -0.73 \text{ (V/V)}$$

$$\Rightarrow G_v = -0.73 \text{ (V/V)}$$

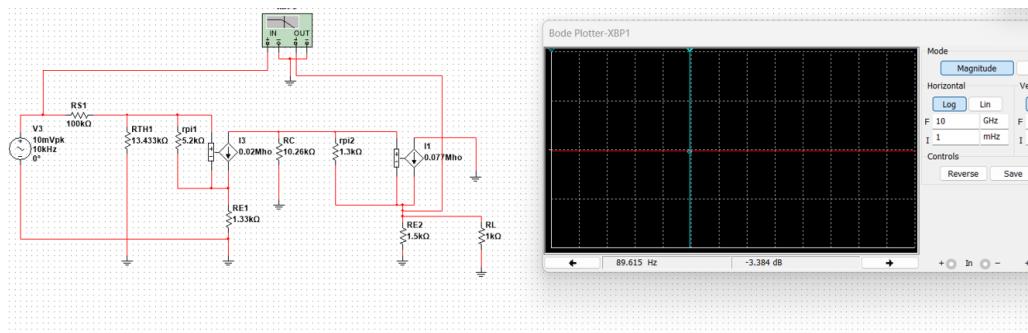
- Kiểm tra kết quả



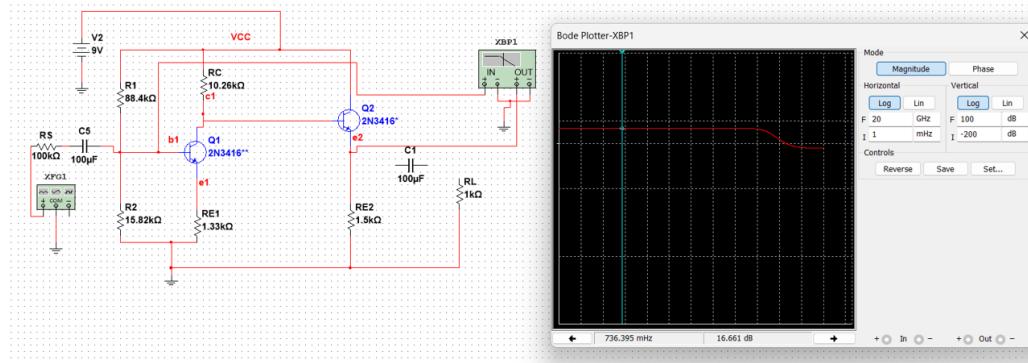
Hình 64: Đo $|A_{V0}| = 16.707 \text{ dB} = 6.84 \text{ V/V}$ (mô hình tương đương)



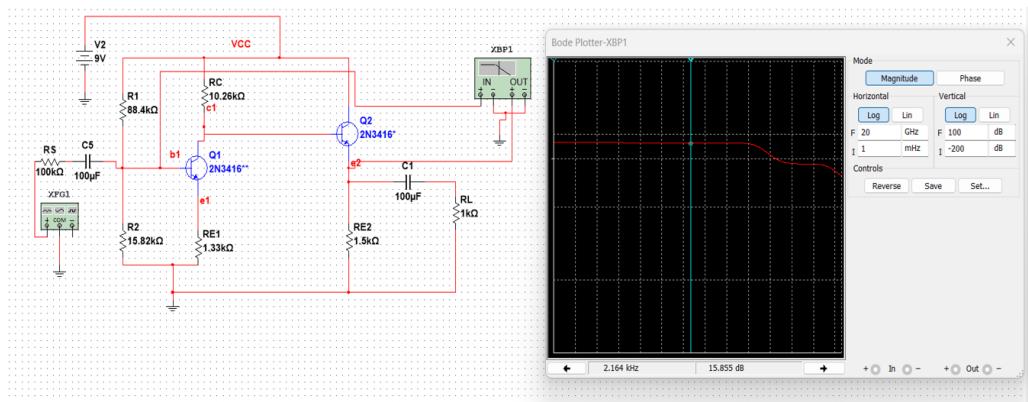
Hình 65: Đo $|A_V| = 15.83 \text{ dB} = 6.187 \text{ V/V}$ (mô hình tương đương)



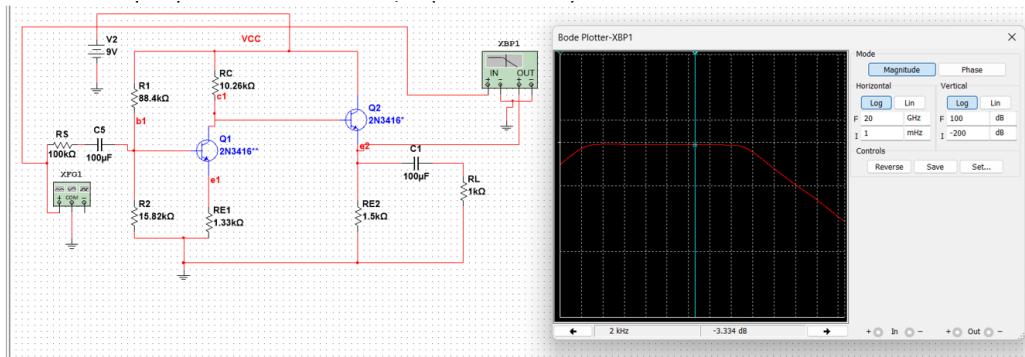
Hình 66: Do $|G_V| = -3.384 \text{ dB} = 0.677 \text{ V/V}$ (mô hình tương đương)



Hình 67: Do $|A_{V0}| = 16.661 \text{ dB} = 6.77 \text{ V/V}$ (tổng mạch)

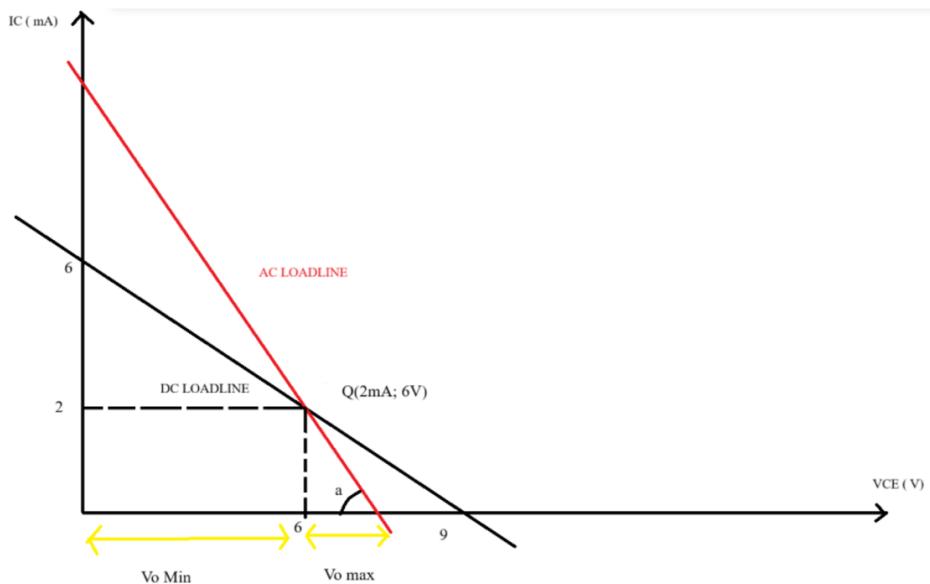


Hình 68: Do $|A_V| = 15.855 \text{ dB} = 6.20 \text{ V/V}$ (tổng mạch)



Hình 69: Do $|G_V| = -3.34 \text{ dB} = 0.68 \text{ V/V}$ (tòan mạch)

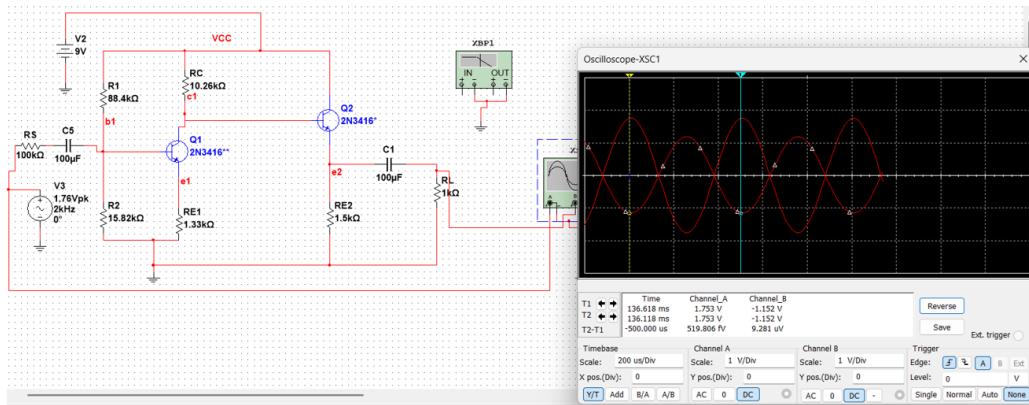
c) Tìm biên độ lớn nhất của V_m để để v_s là tín hiệu nhỏ ở cả hai tầng.



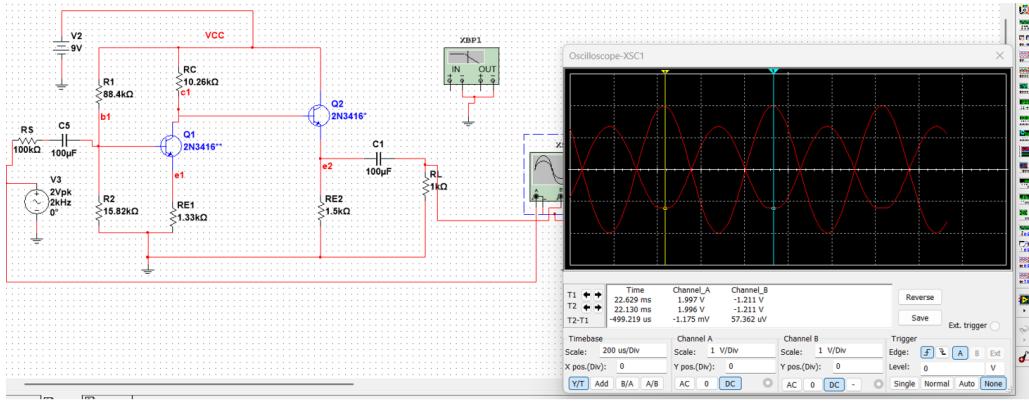
$$\tan(\alpha) = \frac{1}{R_L//R_{E2}} = \frac{1}{0.6 k} \Rightarrow V_{o,\max} = \frac{I_{CQ2}}{\tan(\alpha)} = 1.2 \text{ V}$$

$$V_{\text{sig,max}} = \frac{V_{o,\max}}{G_V(f = 2 \text{ kHz})} = \frac{1.2}{0.68} = 1.76 \text{ V}$$

$$\Rightarrow V_{\text{sig,max}} = 1.76 \text{ V}$$

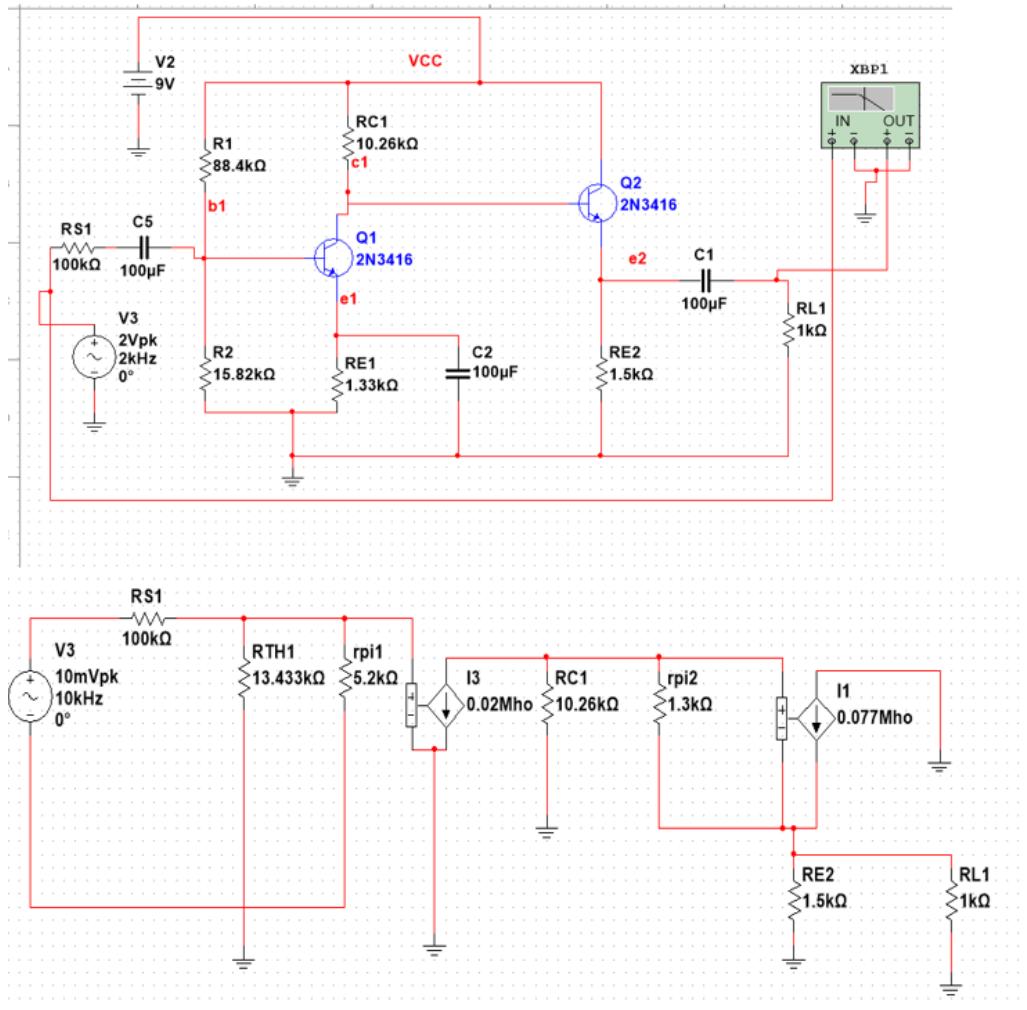


Hình 70: $V_{p,\text{sig}} = 1.76 \text{ V}$; $V_{pL} = -1.152 \text{ V}$; $G_V = -0.654 \text{ (V/V)}$



Hình 71: $V_{p,\text{sig}} = 2 \text{ V}$; $V_{pL} = -1.211 \text{ V}$; $G_V = -0.6055 \text{ (V/V)}$ (ngõ ra đã bị xén dưới)

d) Thiết kế mắc thêm tụ C để cải thiện độ lợi của mạch. Tính lại G_v , R_i , R_o của mạch.

Hình 72: Mắc các tụ C vào mạch.

$$+ r_{\pi 1} = \frac{V_T}{I_{B1}} = \frac{V_T \beta}{I_{CQ1}} = \frac{26 \times 100}{0.5} = 5.2 k\Omega$$

$$+ r_{\pi 2} = \frac{V_T}{I_{B2}} = \frac{V_T \beta}{I_{CQ2}} = \frac{26 \times 100}{2} = 1.3 k\Omega$$

$$+ g_{m1} = \frac{I_{CQ1}}{V_T} = \frac{0.5}{26} = 0.02 (\text{S})$$

$$+ g_{m2} = \frac{I_{CQ2}}{V_T} = \frac{2}{26} = 0.077 (\text{S})$$

- Tầng 1

$$\begin{aligned}
 + R_{in1} &= R_{TH1} // r_{\pi 1} = 13.433 k // 5.2 k = 3.75 k\Omega \\
 + R_{out1} &= R_C = 10.26 k\Omega \\
 + A_{V1} &= -g_{m1}R_C = -0.02 \times 10.26 k = -205.2 (\text{V/V})
 \end{aligned}$$

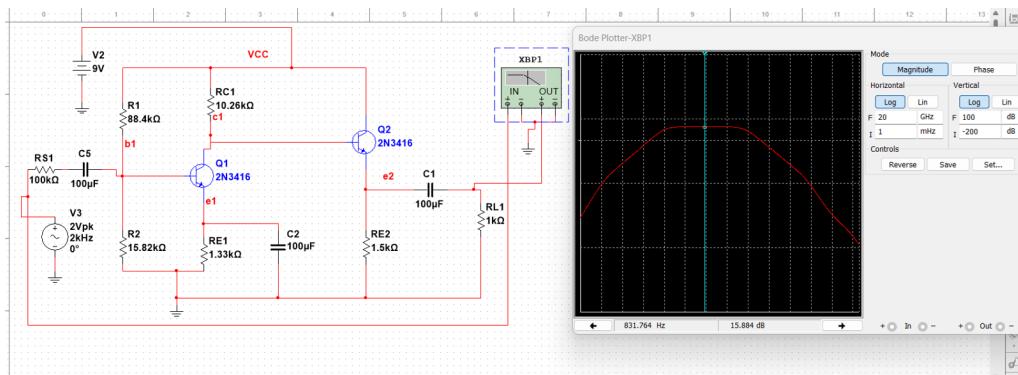
- Tầng 2

$$\begin{aligned}
 + R_{in2} &= r_{\pi 2} + (\beta + 1)R_{E2} = 1.3 k + 101 \times 1.5 k = 152.8 k\Omega \\
 + R_{out2} &= R_{E2} // \frac{r_{\pi 2}}{(\beta + 1)} = 1.5 k // \frac{1.3 k}{101} = 0.0137 k\Omega \\
 + A_{V2} &= \frac{R_{E2}}{R_{E2} + \frac{r_{\pi 2}}{(\beta + 1)}} = \frac{1.5 k}{1.5 k + \frac{1.3 k}{101}} = 0.99 (\text{V/V})
 \end{aligned}$$

- Toàn bộ tầng

$$\begin{aligned}
 + R_{in} &= R_{in1} = 3.75 k\Omega \\
 + R_{out} &= R_{out2} = 0.013 k\Omega \\
 + A_{V0} &= A_{V1}A_{V2} \frac{R_{in2}}{R_{out1} + R_{in2}} = -190.36 (\text{V/V}) \\
 \Rightarrow A_{V0} &= -190.36 (\text{V/V}) \\
 + A_V &= A_{V0} \frac{R_L}{R_{out} + R_L} = -187.92 (\text{V/V}) \\
 \Rightarrow A_V &= -187.92 (\text{V/V}) \\
 + G_V &= A_V \frac{R_{in}}{R_{in} + R_S} = -6.79 (\text{V/V}) \\
 \Rightarrow G_V &= -6.79 (\text{V/V})
 \end{aligned}$$

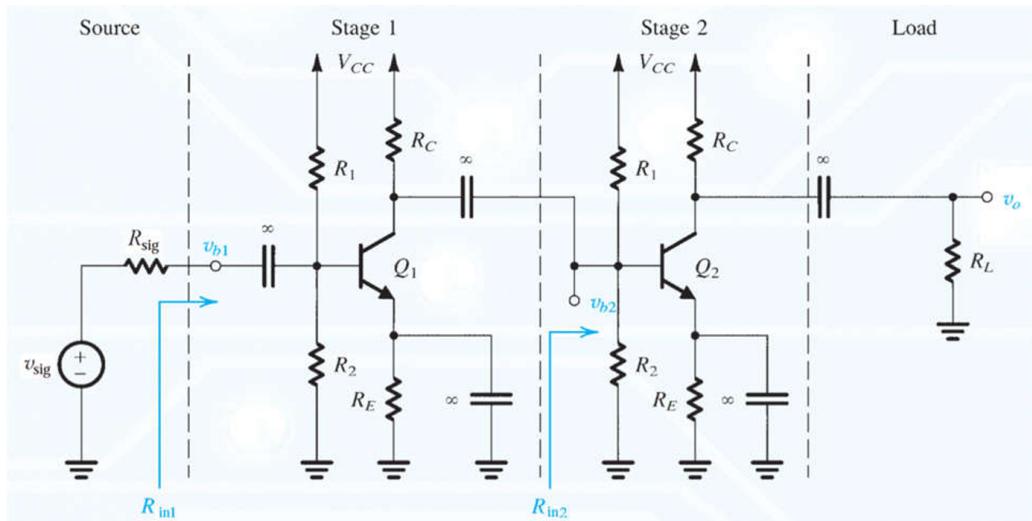
- Kiểm tra kết quả



Hình 73: Do $|G_v| = 15.884 \text{db} = 6.225 (\text{V/V})$

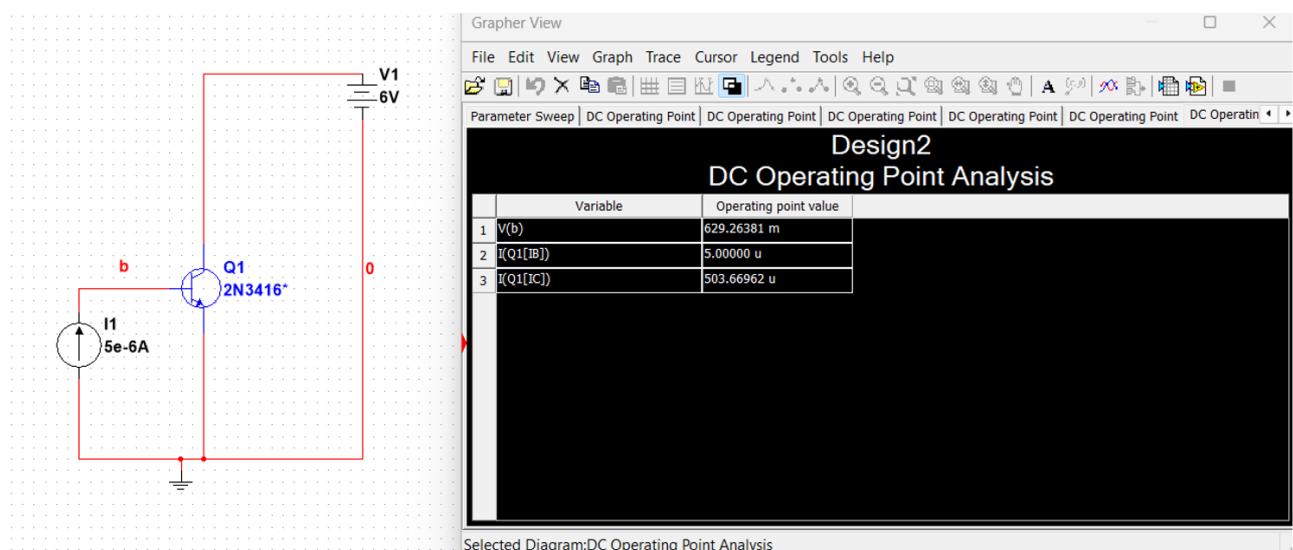
Câu 10

Cho mạch khuếch đại tín hiệu như hình vẽ. Mạch có $V_{CC} = 9V$. BJT Q_1 và Q_2 có hệ số $\beta = 100$. Các hệ số $V_A = \infty$.



a) Thiết kế để có $Q_1(0.5mA, 6V)$, $Q_2(2mA, 6V)$

- Xét tầng 1 (SWEEP bf cho đến khi thỏa điều kiện Q)



Hình 74: Chọn transistor Q_1 thỏa mãn $\beta = 100$ ứng với $I_{C1} = 0.5mA$ và $V_{CE1} = 6V$ (chọn NPN 2N3416 với thông số bf chỉnh thấp còn 140 so với 157 ban đầu); $V_{BE1} = 0.63V$

Ta có: $Q_1(I_{CQ1} = 0.5mA, V_{CEQ1} = 6V)$

Ta có:

$$R_{TH1} = R_1 // R_2 \quad (1)$$

$$V_{TH1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad (2)$$

Từ phương trình mạch:

$$\begin{aligned} V_{CC} - V_{CEQ1} &= I_{CQ1}(R_C + R_E) \\ \Rightarrow 9 - 6 &= 0.5(R_C + R_E) \\ \Rightarrow R_C + R_E &= 6 \text{ k}\Omega \end{aligned} \quad (3)$$

Công thức dòng collector:

$$I_{CQ1} = \frac{(V_{TH1} - V_{BE1})\beta}{R_{TH1} + (\beta + 1)R_E} \quad (4)$$

Chọn $R_{TH1} \ll (\beta + 1)R_E$ để dòng I_C ổn định.

Giả sử chọn:

$$R_E = 2 \text{ k}\Omega \Rightarrow R_{TH1} \ll 202 \text{ k}\Omega \Rightarrow R_{TH1} = 20.2 \text{ k}\Omega$$

Thay R_{TH1} và R_E vào (4), ta được:

$$V_{TH1} = 1.741 \text{ V}$$

Từ (3):

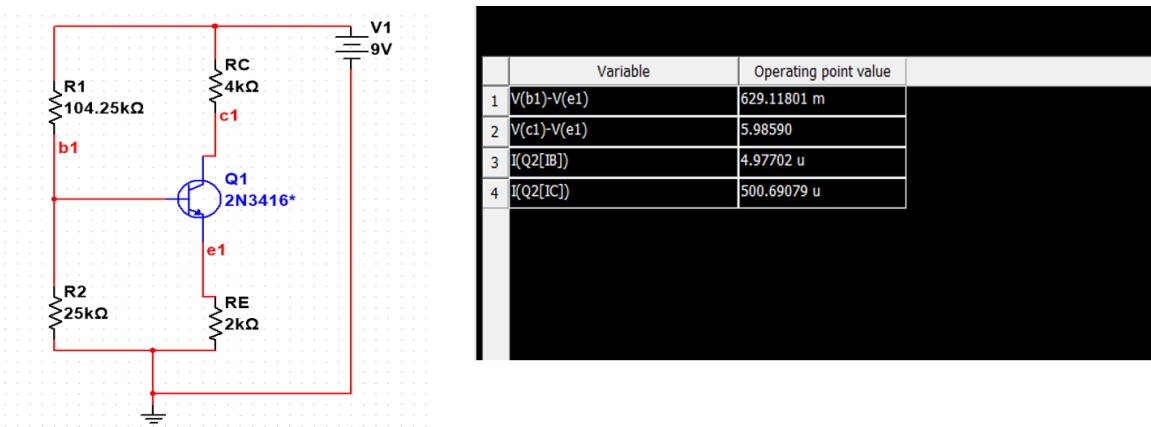
$$R_C = 4 \text{ k}\Omega$$

Từ (2):

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0.1934 \Rightarrow 4.17R_2 = R_1$$

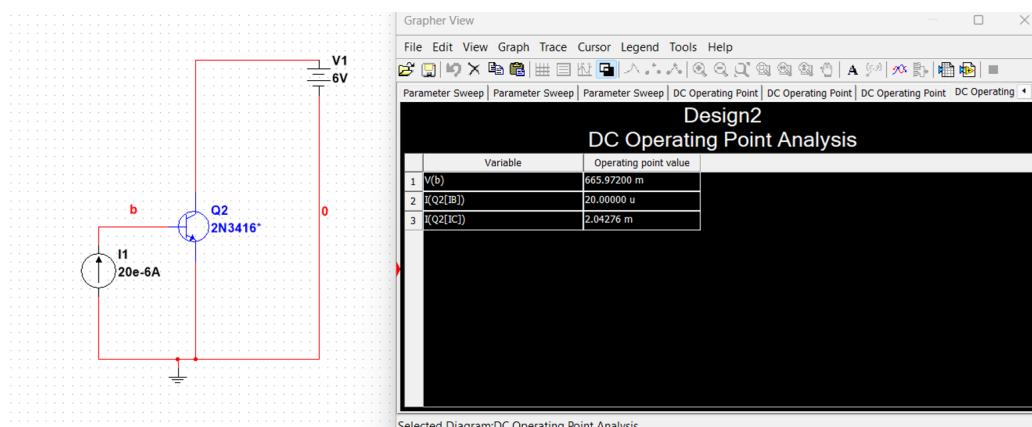
Lại có:

$$\begin{aligned} R_1 // R_2 &= 20.2 \text{ k}\Omega \\ \Rightarrow R_2 &= 25 \text{ k}\Omega, \quad R_1 = 104.25 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$



Hình 75: Mạch Bias cho tầng 1 và mô phỏng điểm Q tầng 1

- Xét tầng 2 (SWEEP bf cho đến khi thỏa điểm Q)

Hình 76: Chọn transistor Q_2 thỏa mãn $\beta = 100$ ứng với $I_{C2} = 2mA$ và $V_{CE2} = 6V$ (chọn NPN 2N3416 với thông số bf chỉnh thấp còn 112 so với 157 ban đầu); $V_{BE2} = 0.665V$.

Ta có: $Q_2(I_{CQ2} = 2mA, V_{CEQ2} = 6V)$

Ta có:

$$R_{TH2} = R_1 // R_2 \quad (1)$$

$$V_{TH2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad (2)$$

Phương trình mạch:

$$\begin{aligned} V_{CC} - V_{CEQ2} &= I_{CQ2}(R_C + R_E) \\ \Rightarrow 9 - 6 &= 2(R_C + R_E) \\ \Rightarrow R_C + R_E &= 1.5 \text{ k}\Omega \end{aligned} \quad (3)$$

Công thức dòng collector:

$$I_{CQ2} = \frac{(V_{TH2} - V_{BE2})\beta}{R_{TH2} + (\beta + 1)R_E} \quad (4)$$

Chọn $R_{TH2} \ll (\beta + 1)R_E$ để dòng I_C ổn định.

Giả sử chọn: $R_E = 500 \Omega$

$$\Rightarrow R_{TH2} \ll 50.5 \text{ k}\Omega \Rightarrow R_{TH2} = 5.05 \text{ k}\Omega$$

Thay R_{TH2} và R_E vào (4), ta được:

$$V_{TH2} = 1.776 \text{ V}$$

Từ (3):

$$R_C = 1 \text{ k}\Omega$$

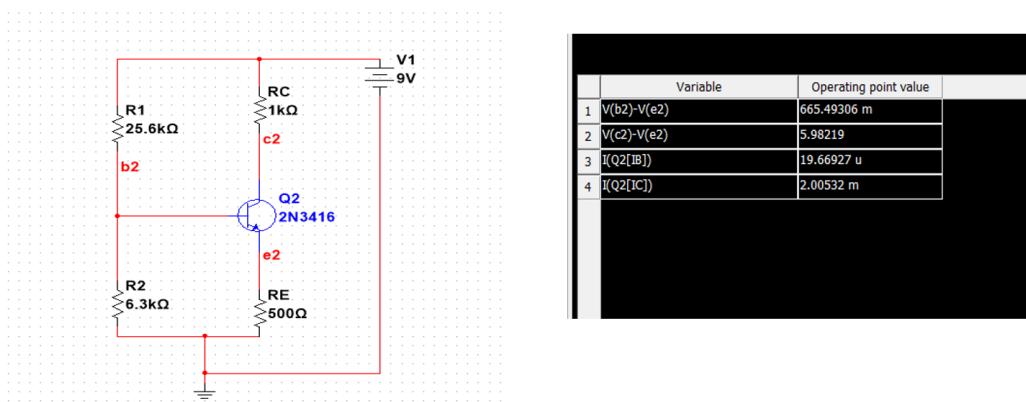
Từ (2):

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0.1973 \Rightarrow 4.07R_2 = R_1$$

Lại có:

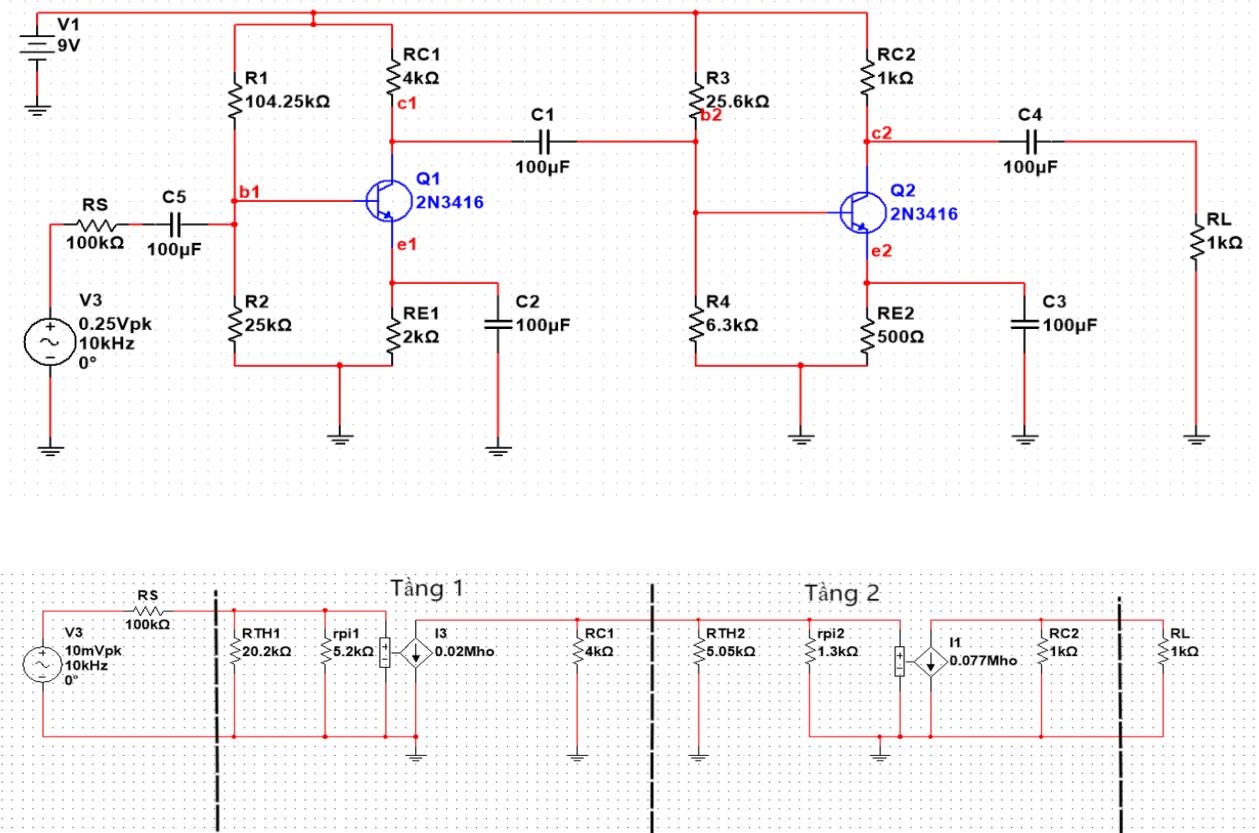
$$R_1//R_2 = 5.05 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow R_2 = 6.3 \text{ k}\Omega \text{ và } R_1 = 25.6 \text{ k}\Omega$$



Hình 77: Mạch Bias cho tầng 2 và mô phỏng điểm Q tầng 2

b) Đặt nguồn $v_s = V_m \sin(\omega t)$ có nội trở $R_S = 100k\Omega$ vào mạch. Ngõ ra nối với tải $R_L = 1k\Omega$. Tìm A_{vo} , A_v , G_v , R_{in} , R_{out} của mạch.



Hình 78: mô hình tín hiệu nhỏ.

- Các thông số cơ bản:

$$r_{\pi 1} = \frac{V_T}{I_{B1}} = \frac{V_T \times \beta}{I_{CQ1}} = \frac{26 \times 100}{0.5} = 5.2 k\Omega$$

$$r_{\pi 2} = \frac{V_T}{I_{B2}} = \frac{V_T \times \beta}{I_{CQ2}} = \frac{26 \times 100}{2} = 1.3 k\Omega$$

$$g_{m1} = \frac{I_{CQ1}}{V_T} = \frac{0.5}{26} = 0.02 (\text{S})$$

$$g_{m2} = \frac{I_{CQ2}}{V_T} = \frac{2}{26} = 0.077 (\text{S})$$

- Tại tầng 1:

$$R_{in1} = R_{TH1} // r_{\pi 1} = 20.2 k // 5.2 k = 4 k\Omega$$

$$R_{out1} = R_{C1} = 4 \text{ k}\Omega$$

$$A_{V1} = -g_{m1} \times R_{C1} = -0.02 \times 4 \text{ k} = -80 \text{ (V/V)}$$

- Tại tầng 2:

$$R_{in2} = R_{TH2} / r_{\pi 2} = 5.05 \text{ k} / 1.3 \text{ k} = 1.03 \text{ k}\Omega$$

$$R_{out2} = R_{C2} = 1 \text{ k}\Omega$$

$$A_{V2} = -g_{m2} \times R_{C2} = -0.077 \times 1 \text{ k} = -77 \text{ (V/V)}$$

- Tính A_{vo} , A_v , R_{in} , R_{out} cho toàn bộ mạch

$$\Rightarrow R_{in} = R_{in1} = 4 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow R_{out} = R_{out2} = 1 \text{ k}\Omega$$

$$A_{v0} = A_{V1} \times A_{V2} \times \frac{R_{in2}}{R_{out1} + R_{in2}} = (-80) \times (-77) \times \frac{1.03}{4 + 1.03} = 1261 \text{ (V/V)}$$

$$\Rightarrow A_{v0} = 1261 \text{ (V/V)}.$$

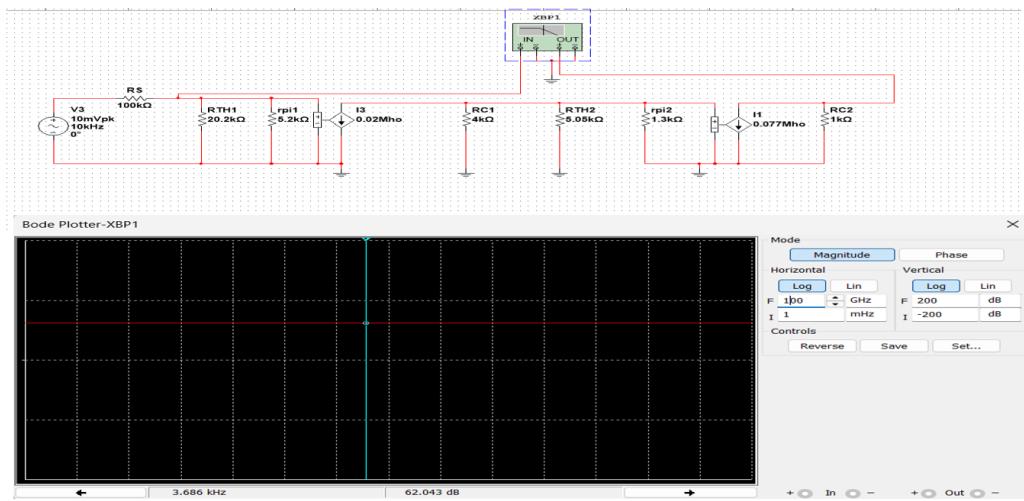
$$A_v = A_{v0} \times \frac{R_L}{R_{out} + R_L} = 1261 \times \frac{1}{1 + 1} = 630.7 \text{ (V/V)}$$

$$\Rightarrow A_v = 630.7 \text{ (V/V)}.$$

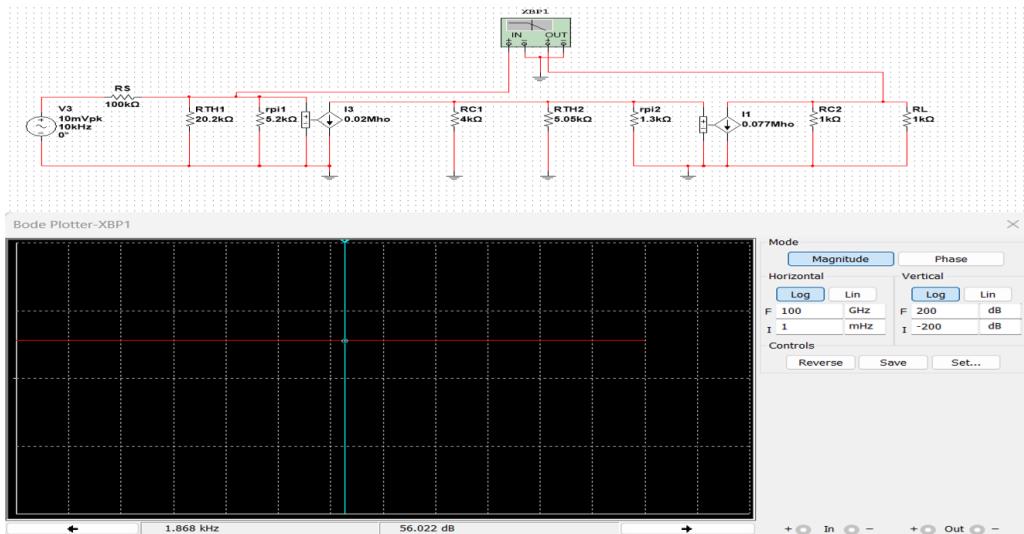
$$G_v = A_v \times \frac{R_{in}}{R_{in} + R_S} = 630.7 \times \frac{4}{4 + 100} = 24.2 \text{ (V/V)}$$

$$\Rightarrow G_v = 24.2 \text{ (V/V)}$$

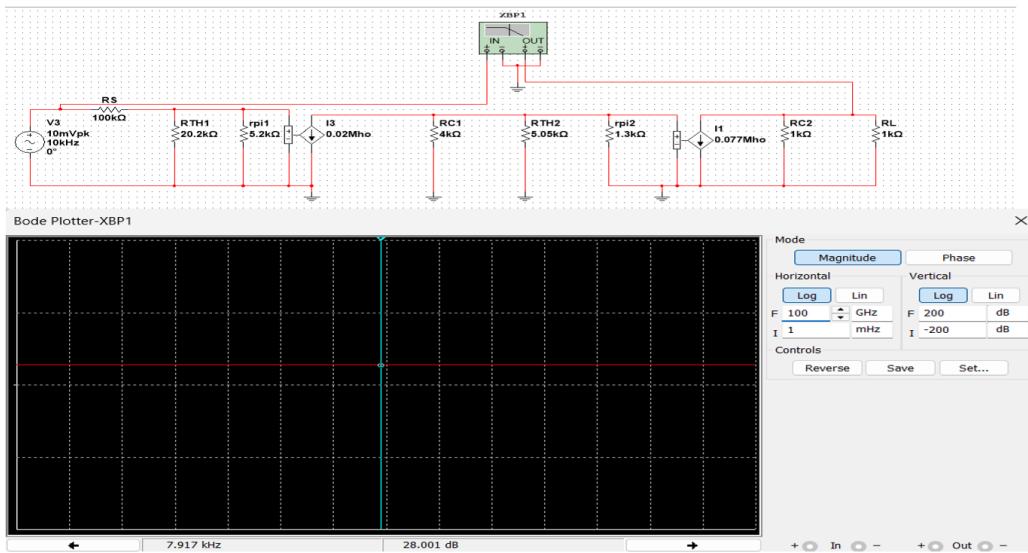
- Kết quả đo thực nghiệm:



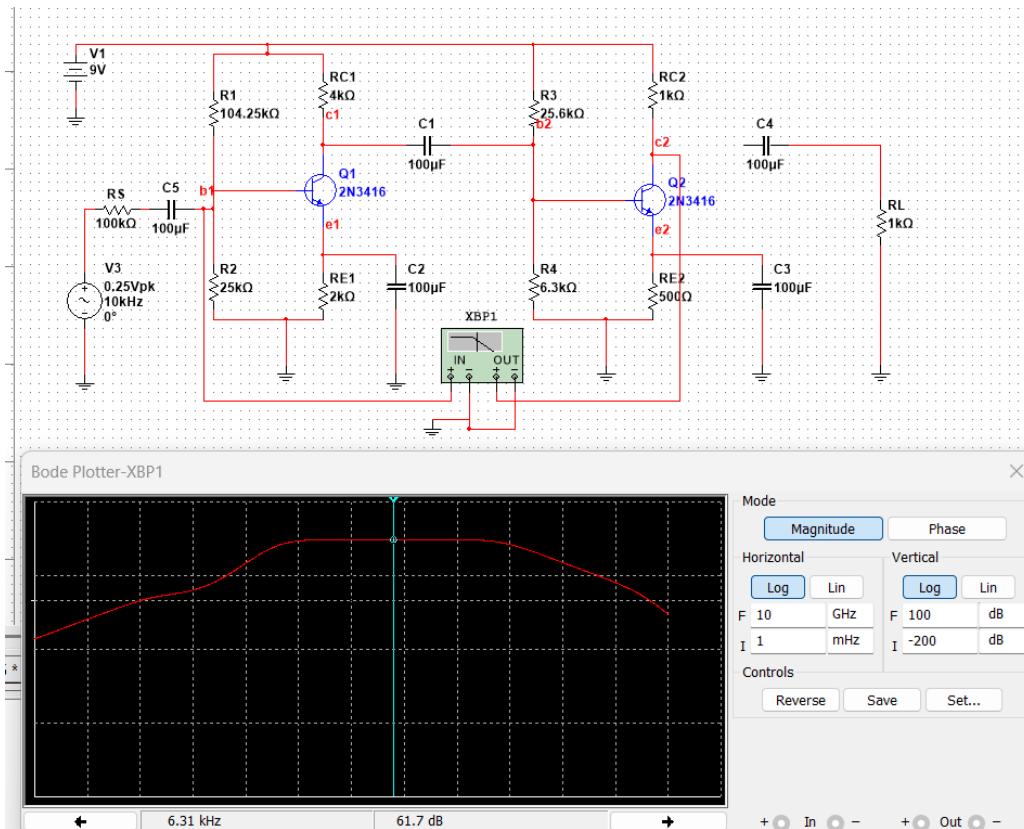
Hình 79: Do $A_{vo} = 62.043db = 1258V/V$ (mô hình tương đương).



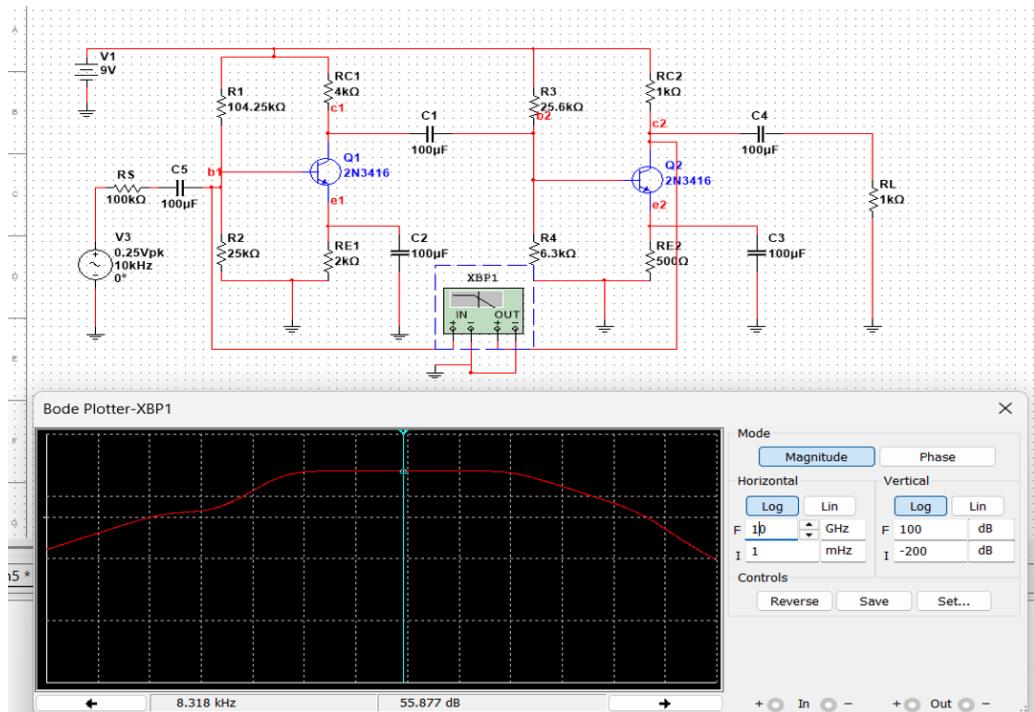
Hình 80: Do $A_v = 56.022db = 632.55V/V$ (mô hình tương đương).



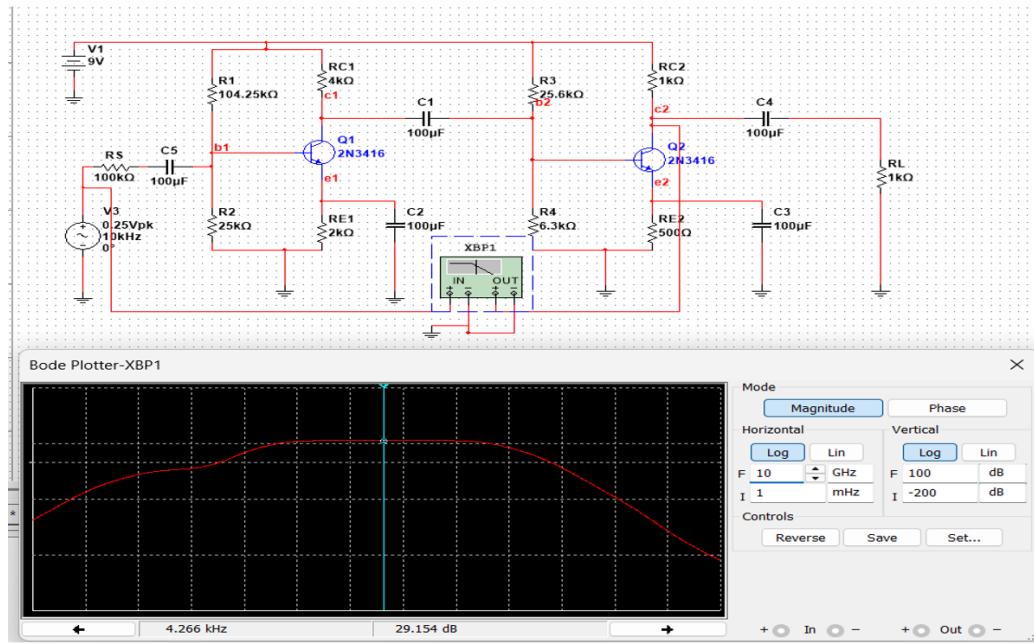
Hình 81: Do $G_v = 28db = 25.11V/V$ (mô hình tương đương).



Hình 82: Do $A_{vo} = 61.7db = 1216V/V$ (tổn mạch).



Hình 83: Do $A_v = 55.877\text{db} = 622.08V/V$ (tòan mạch).

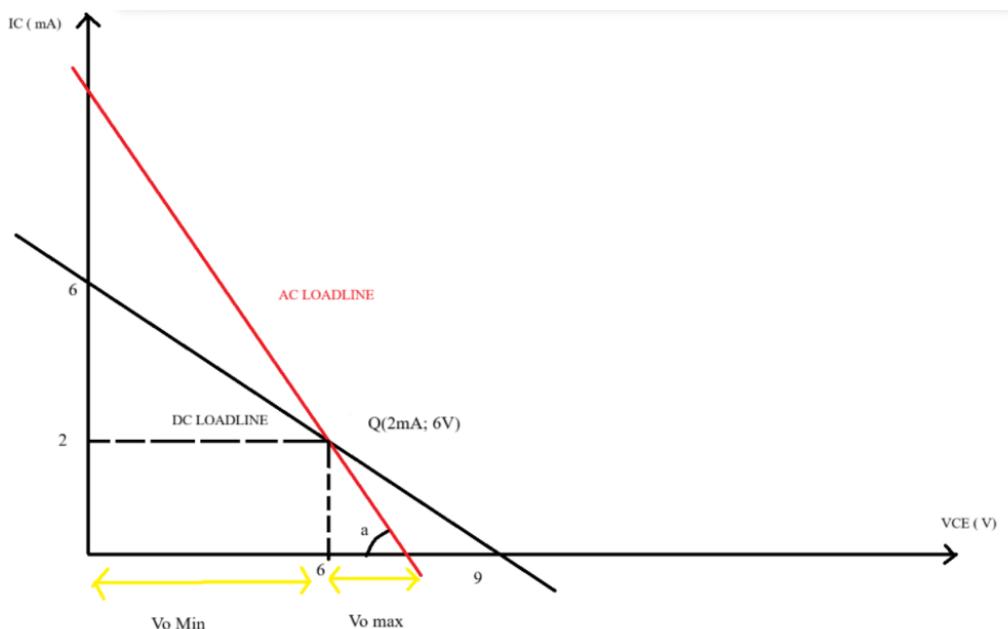


Hình 84: Do $G_v = 29.154\text{db} = 28.69V/V$ tại tần số 4.266kHz (toàn mạch).

c) Tìm biên độ lớn nhất của V_m để v_s là tín hiệu nhỏ ở cả hai tầng.

Xét Q2 ta có:

- DC load line: $V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_{C2} + R_{E2}) \rightarrow V_{CE} = 9 - I_C \times 6$
- Ac load line: $v_{ce} = -i_c(R_{C2}/R_L) \Rightarrow v_{ce} = -i_c \times 0.5$ và đường này cũng phải cắt qua điểm I_{CQ2} , được mô tả như hình dưới đây.

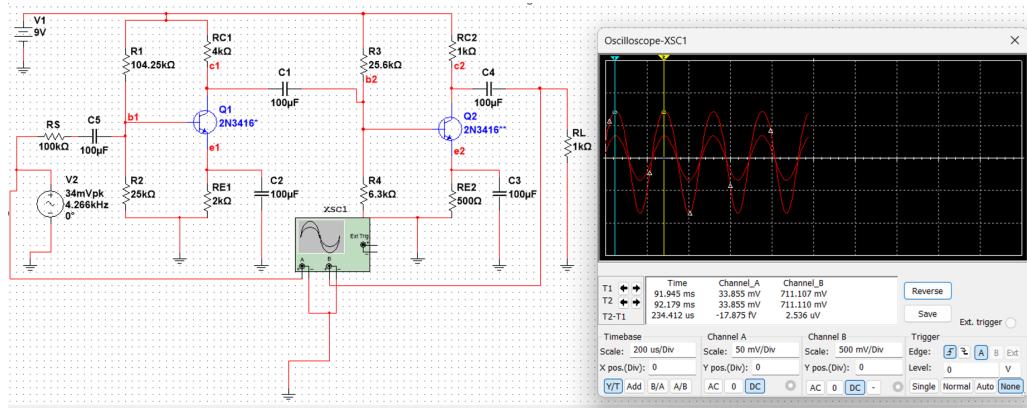


$$\tan(\alpha) = \frac{1}{R_L//R_C} = \frac{1}{0.5 \text{ k}\Omega}$$

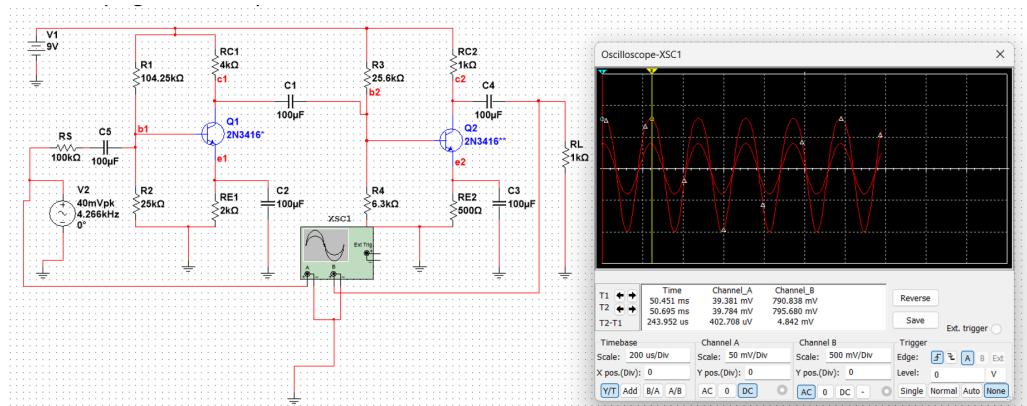
$$\Rightarrow V_{o_{\max}} = \frac{I_{CQ2}}{\tan(\alpha)} = 1 \text{ V}$$

$$\Rightarrow V_{\text{sig(max)}} = \frac{V_{o_{\max}}}{G_V(f = 4.266 \text{ kHz})} = \frac{1}{28.69} = 34 \text{ mV}$$

$$\Rightarrow V_{\text{sig(max)}} = 34 \text{ mV} .$$



Hình 85: $V_{p_{sig}} = 34mV$; $V_{p_L} = 711mV$; $G_v = 21.54V/V$.



Hình 86: $V_{p_{sig}} = 40mV$; $V_{p_L} = 790.68mV$; $G_v = 19.767V/V$.