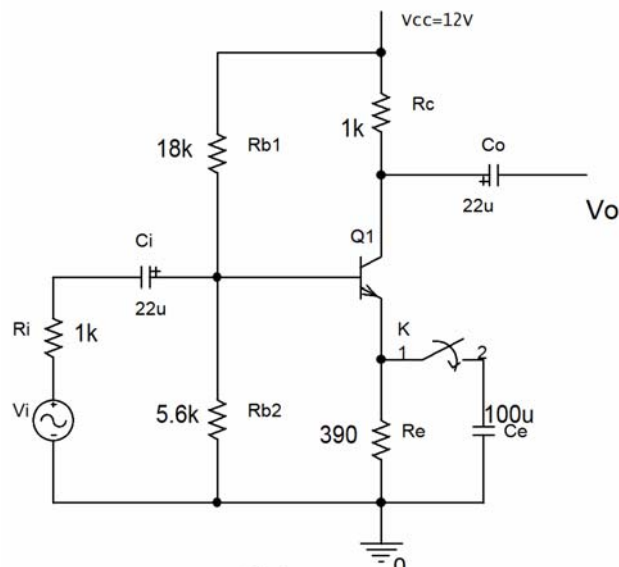


Bài thí nghiệm số 2: CÁC DẠNG CƠ BẢN CỦA MẠCH KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ

I. Mạch khuếch đại ghép E chung:

1. Phân cực DC:

a. Tính toán phân cực:



Xác định dòng tĩnh  $I_{EQ}$ : Thế đặt tại cực C là 6.5V,

$$\text{dòng tĩnh } I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_C}{R_C} = \frac{12 - 6.5}{1000} = 5.5mA, \text{ suy}$$

ra dòng emitter:

$$I_{EQ} = \frac{h_{FE} + 1}{h_{FE}} I_{CQ} = \frac{131}{130} \times 5.5mA = 5.542mA. \text{ Áp}$$

dụng Kirchhoff 2 và phân áp, ta sẽ có:

$$V_E + V_D = \frac{V_{CC} R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} I_{BQ} \Rightarrow R_2 \approx 5.9k\Omega,$$

chọn giá trị  $R_2 = 5.6k\Omega$ . Từ đó:

$$I_{EQ} = \frac{\frac{V_{CC} \times (R_1 // R_2) - V_D}{R_1}}{\frac{h_{FE} + 1}{h_{FE}} + R_E} = 5.081mA, \text{ điện áp}$$

tĩnh

$$V_{CEQ} = V_{CC} - (R_C I_{CQ} + R_E I_{EQ}) = 12 - \left( 1k \times \frac{130}{130 + 1} + 390 \right) \times 5.081m = 4.96V$$

b. Phân cực Maxswing: Khi K đóng, ta có:  $R_{AC} = R_C = 1k\Omega$ ,  $R_{DC} = R_C + R_E = 1390\Omega$ ,

$$V_E + V_D = \frac{V_{CC} R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} I_{BQmaxswing} \Rightarrow R_2 = 5.506k\Omega \text{ chọn giá trị } R_2 = 5.6k\Omega.$$

c. Các giá trị đo: Dùng Fluke45, ta sẽ đo được các giá trị:  $V_{CEQ}$ ,  $I_{EQ} = \frac{V_E}{R_E}$

Tính toán phân cực			
$I_{EQ}$ (mA)		$V_{CEQ}$ (V)	
Tính toán	Đo đạc	Tính toán	Đo đạc
5.081	5.4835	4.96	4.6378

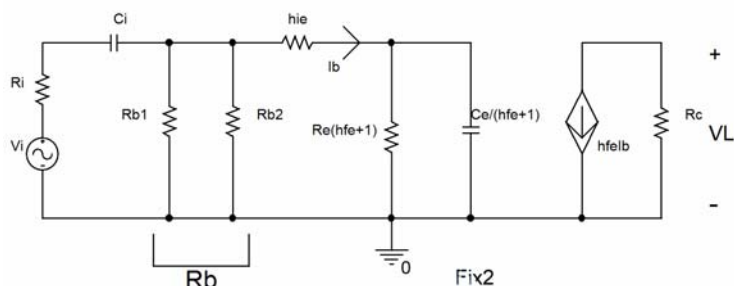
Ta đo được  $V_C = 6.5165(V) \approx 6.5(V)$ , phân cực cho BJT xấp xỉ giá trị maxswing.

1. Chế độ AC:

a. Sơ đồ tương đương tín hiệu nhỏ khi K đóng:  $h_{ie} = h_{fe} \frac{mV_T}{I_{EQ}} = 1.4 \times 130 \times \frac{25.6m}{5.081m} \approx 917\Omega$

Các giá trị tìm được bằng lý thuyết:

$$Z_{in} = R_i + \left( R_b // \left( h_{ie} + \left( (h_{fe} + 1) R_E // \frac{C_E}{h_{fe} + 1} \right) \right) \right), Z_{out} = R_c = 1k\Omega$$



Tại tần số  $f = 1kHz$ , ta tìm được:

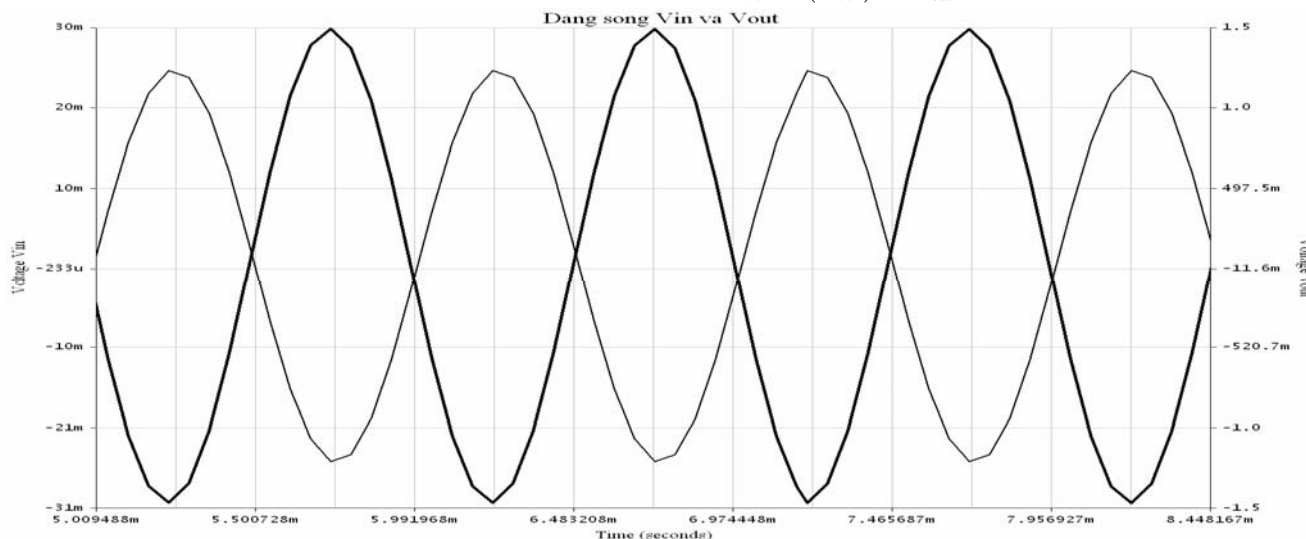
$$Z_{in} = 1.77k\Omega$$

$$\text{Độ lợi áp: } A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{V_{out}}{i_b} \times \frac{i_b}{V_{in}}$$

$$A_v \approx -60 \frac{j\omega(j\omega + 25.6)}{(j\omega + 38.1)(j\omega + 18.2)}$$

## Bài số 2: Các dạng ghép cơ bản của mạch khuếch đại tín hiệu nhỏ

Tại tần số đã cho,  $|A_v| \simeq 60$ . Từ đó, độ lợi công suất:  $A_p = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \left(\frac{V_{out}}{V_{in}}\right)^2 \times \frac{Z_{in}}{Z_{out}} = 60^2 \times \frac{1.77k}{1k} = 6372$ .

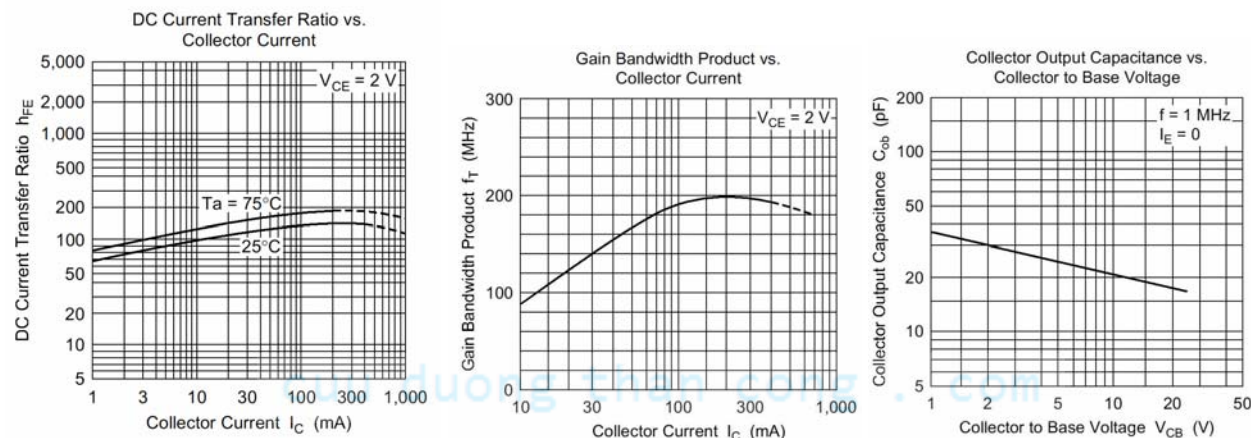


Rõ ràng chúng ngược pha nhau. Điều đó giải thích cho dấu “-” xuất hiện trước công thức độ lợi áp.

Thực tế đo đạc:

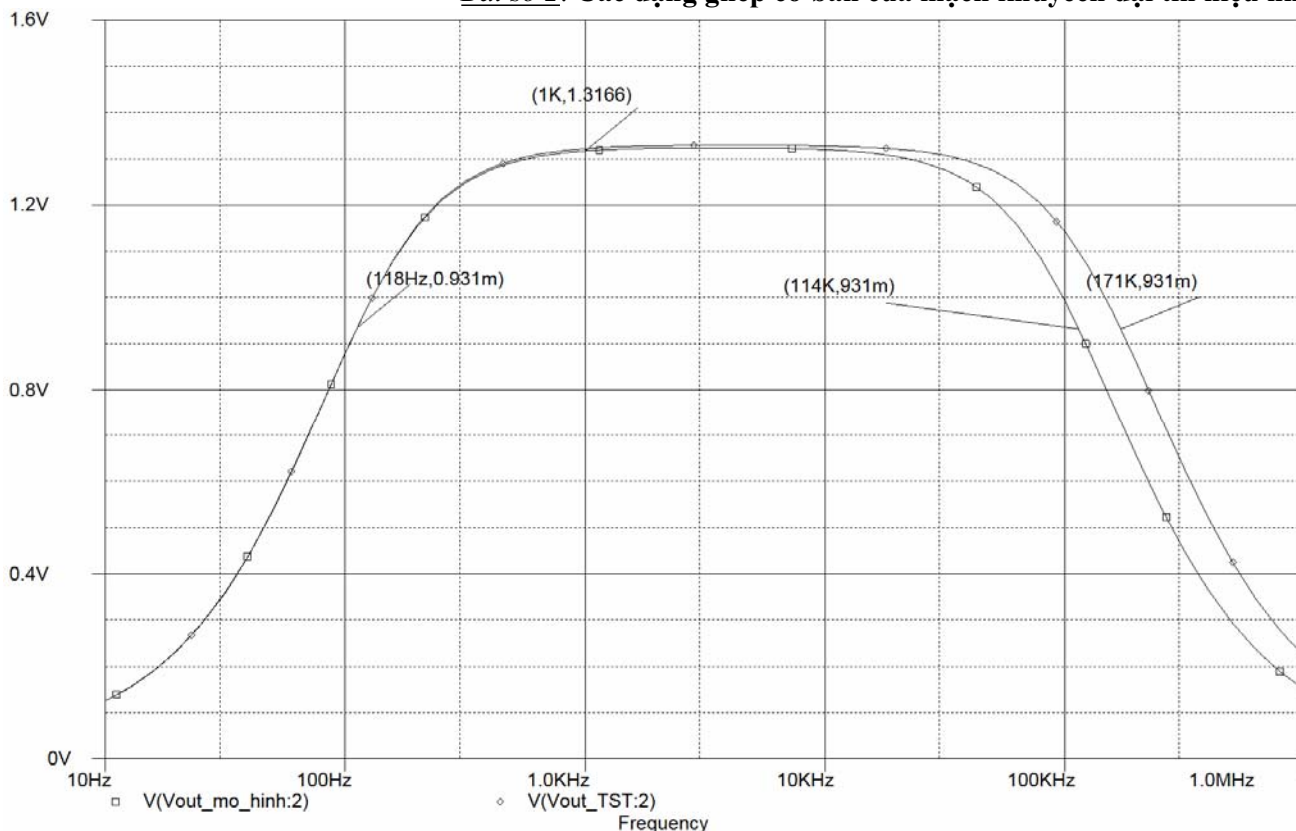
Các thông số của mạch ghép E chung											
Giá trị điện áp đỉnh-đỉnh				Tổng trở				Tần số cắt		Độ lợi	
Vi(mV)		Vout(V)		Zin(kOhm)		Zout(kOhm)		$f_L$ (Hz)	$f_H$ (kHz)	$A_v$ (db)	$A_p$ (db)
LT	Đo	LT	Đo	LT	Đo	LT	Đo				
50	50	3	2.6	1.77	2	1	0.987	138.69	135	35.6	76.1

Sự khác nhau giữa lý thuyết tính toán và thực tế đo tính toán đã lý tưởng hoá các giá trị tụ kí sinh, không tính đến ảnh hưởng của nhiệt độ, nhiễu, và khi chọn các giá trị tính toán cho hfe, Cb'e, Cb'c đã không thật sự chính xác như trong bản Datasheet của Transistor (Q2SD468-Hitachi). Ví dụ như lấy các giá trị hFE, Cb'e đã không chính xác tại giá trị dòng collector Ic tương ứng (trong bài lấy giá trị tiêu chuẩn).



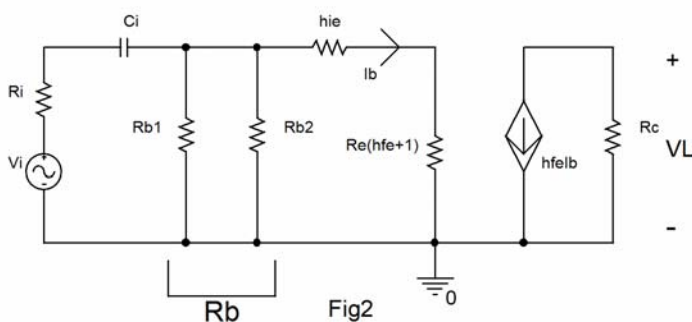
Giả sử ta chỉnh lại các thông số như sau:  $hFE=100$ ,  $f_T=85\text{MHz}$ ,  $C_{b'c} = 30\text{pF}$ , lập tức ta có ngay:

$C_{b'e} = 374\text{pF}$ , khi đó, bằng mô hình mô phỏng Transistor Q2SD468 (Các thông số được dùng trong Pspice như sau: .model Q2sd468 NPN(Is=4.344f Xti=3 Eg=1.11 Vaf=100 Bf=100 Ise=4.365f Ne=1.288 Ikf=.7482 Nk=.429 Xtb=1.5 Var=100 Br=13.13 Isc=4.344f Nc=1 Ikr=.1613 Cjc=30p Mjc=.3333 Vjc=.3905 Fc=.5 Cje=374p Mje=.3333 Vje=.65 Tr=10n Tf=934.7p Itf=1 Xtf=0 Vtf=10 Af=0)) và bằng mô hình tương đương của nó ( $h_{ie}=712\Omega$ ,  $g=0.14$ ), ta có dạng sóng ra so sánh như sau:



Rõ ràng lúc này, các giá trị mô phỏng, đo đạc rất gần nhau. Tần số cắt cao có sự chênh lệch giữa mô hình tương đương, BJT mô phỏng do mô hình tương đương chưa kể đến các sự bổ chính khác. Giá trị đo ngoài thực tế lại bị chi phối bởi sự quan sát của người thực hiện, mà dao động khi sử dụng ở dải tần cao thì lại bị nhiễu nên rất khó quan sát, tuy nhiên, giá trị xấp xỉ khoảng từ 130kHz đến 160kHz có thể chấp nhận được.

b. Sơ đồ tương đương tín hiệu nhỏ khi K mở:



Các giá trị tìm được bằng lý thuyết:

$$Z_{in} = R_i + (R_b // (h_{ie} + (h_{fe} + 1) R_E))$$

$$Z_{out} = R_c = 1k\Omega$$

Tại tần số  $f=1kHz$ , ta tìm được:

$$Z_{in} = 4.945k\Omega$$

Độ lợi áp:

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{V_{out}}{i_b} \times \frac{i_b}{V_{in}}$$

$$A_v \approx -2 \frac{j\omega}{(j\omega + 9)}$$

Tại tần số đã cho,  $|A_v| \approx 2$ . Từ đó, độ lợi công suất:  $A_p = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \left( \frac{V_{out}}{V_{in}} \right)^2 \times \frac{Z_{in}}{Z_{out}} = 2^2 \times \frac{4.945k}{1k} = 19.78$ .

Thực tế đo đạc:

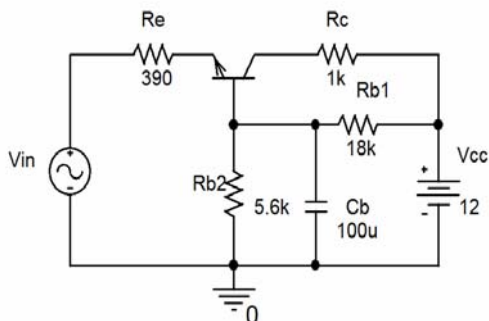
Giá trị điện áp đỉnh-đỉnh				Tổng trở				Độ lợi	
Vi(mV)		Vout(mV)		Zin(kOhm)		Zout(kOhm)		Av(db)	Ap(db)
LT	Đo	LT	Đo	LT	Đo	LT	Đo		
38	38	74	68	4.945	4.9	1	0.973	5.1	23.9

Nếu dùng lại các thông số chuyển đổi, ta sẽ có  $V_{out}=67mV$  (đỉnh-đỉnh). Điều này càng khẳng định sự đúng đắn của việc chọn lại các thông số của BJT. Từ đây về sau, khi tính lý thuyết, ta lấy các giá trị mới này.

## II. Mạch khuếch đại ghép B chung:

**Bài số 2: Các dạng ghép cơ bản của mạch khuếch đại tín hiệu nhỏ**

1. Phân cực DC:



a. Tính toán phân cực:

Dùng các định lý chia dòng, áp, ta có ngay:

$$V_{CC'} = \frac{V_{cc} R_2}{R_1 + R_2} = 2.85V,$$

$$I_{EQ} = \frac{V_{CC'} - V_{BE}}{\frac{R_b}{hfe + 1} + R_E} = \frac{2.85 - 0.61}{\frac{4271}{101} + 390} = 5.18mA,$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - (R_C I_{CQ} + R_E I_{EQ}) = 12 - \left( 1k \times \frac{100}{100 + 1} + 390 \right) \times 5.18m = 4.85V$$

b. Các giá trị đo:

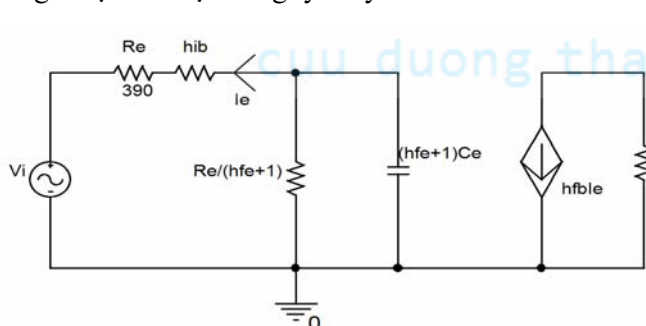
Tính toán phân cực			
$I_{EQ}$ (mA)		$V_{CEQ}$ (V)	
Tính toán	Đo đạc	Tính toán	Đo đạc
5.18	5.4	4.85	4.6373

Nhận xét: Các giá trị đo và tính toán xấp xỉ nhau.

1. Chế độ AC:

a. Sơ đồ tương đương tín hiệu nhỏ khi K đóng:  $h_{ib} = \frac{mV_T}{I_{EQ}} = 1.4 \times \frac{25.6m}{5.18m} \approx 7\Omega$

Các giá trị tìm được bằng lý thuyết:



$$Z_{in} = R_e + h_{ib} + \left( (hfe + 1) C_b // \frac{R_b}{hfe + 1} \right),$$

$$Z_{out} = R_c = 1k\Omega$$

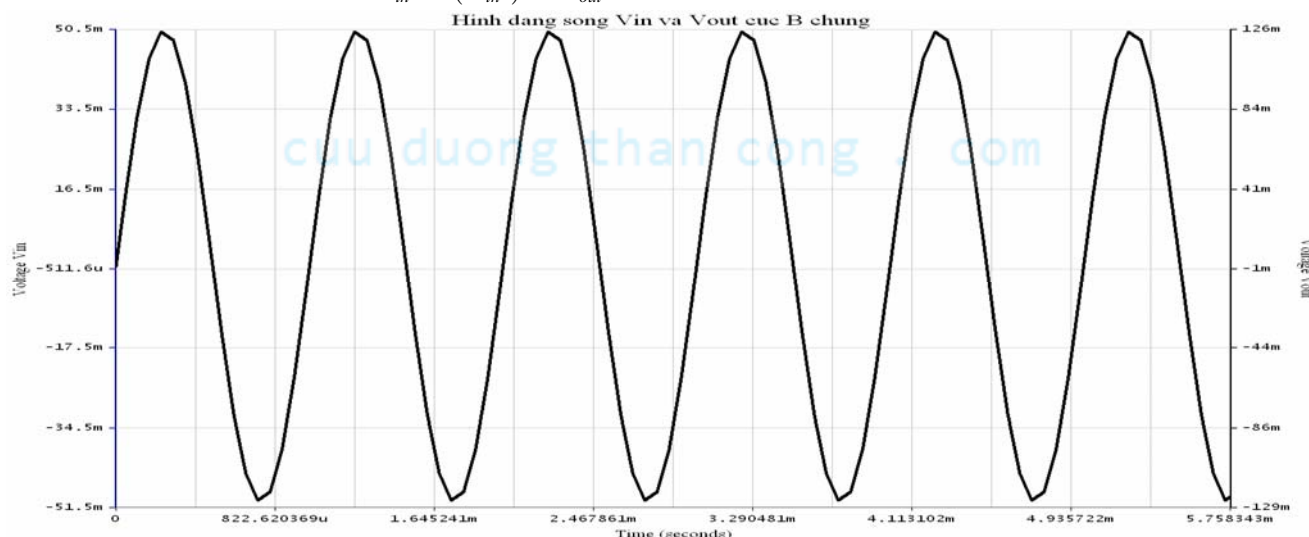
Tại tần số  $f=1kHz$ , ta tìm được:

$$Z_{in} = 0.44k\Omega$$

$$\text{Độ lợi áp: } A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{V_{out}}{i_b} \times \frac{i_b}{V_{in}}$$

$$A_v \approx 2.5$$

Từ đó, độ lợi công suất:  $A_p = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \left( \frac{V_{out}}{V_{in}} \right)^2 \times \frac{Z_{in}}{Z_{out}} = 2.5^2 \times \frac{0.44k}{1k} = 2.75.$



## Bài số 2: Các dạng ghép cơ bản của mạch khuếch đại tín hiệu nhỏ

Trong mô phỏng, với các giá trị cho BJT như đã nói trên, sóng Vout gấp 2.5 lần sóng Vin nên khi đổi tỷ lệ biểu diễn trên máy Oscilloscope, chúng trùng nhau (cùng pha).

Thực tế đo đạc:

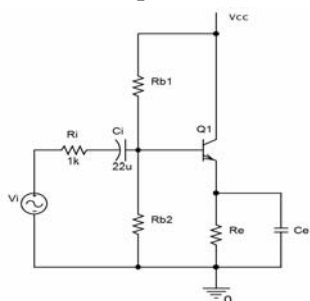
Các thông số của mạch ghép B chung											
Giá trị điện áp đỉnh-đỉnh				Tổng trở				Tần số cắt (Mô phỏng)		Độ lợi	
Vi(mV)		Vout(mV)		Zin(kOhm)		Zout(kOhm)		f <sub>L</sub> (Hz)	f <sub>H</sub> (MHz)	A <sub>v</sub> (db)	A <sub>p</sub> (db)
LT	Đo	LT	Đo	LT	Đo	LT	Đo				
100	100	250	240	0.44	0.44	1	0.9	∞	11.13	7.6	8.8

Tần số cắt cao bị giảm so với  $f_T$  do có hiệu ứng Miller.

### III. Mạch khuếch đại ghép C chung:

#### 1. Phân cực DC:

##### a. Tính toán phân cực:



Dùng các định lý chia dòng, áp, ta có ngay:

$$V_{CC'} = \frac{V_{CC} R_2}{R_1 + R_2} = 2.85V, \quad I_{EQ} = \frac{V_{CC'} - V_{BE}}{\frac{R_b}{hfe + 1} + R_E} = \frac{2.85 - 0.61}{\frac{4271}{101} + 390} = 5.18mA,$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - R_E I_{EQ} = 12 - 390 \times 5.18m = 9.98V$$

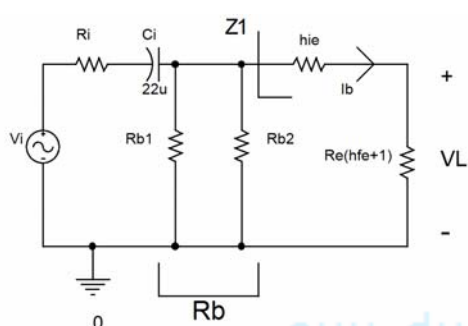
##### b. Các giá trị đo:

Tính toán phân cực			
$I_{EQ}$ (mA)		$V_{CEQ}$ (V)	
Tính toán	Đo đạc	Tính toán	Đo đạc
5.18	5.505	9.98	9.853

Nhận xét: Các giá trị đo và tính toán xấp xỉ nhau.

#### 1. Chế độ AC:

a. Sơ đồ tương đương tín hiệu nhỏ khi K đóng:  $h_{ie} = h_{fe} \frac{mV_T}{I_{EQ}} = 1.4 \times 100 \times \frac{25.6m}{5.18m} \approx 692\Omega$



Các giá trị tìm được bằng lý thuyết:

$$Z_{in} = (R_i \parallel C_i) \parallel \left( R_b \parallel \left( h_{ie} + \left( (h_{fe} + 1) R_E \parallel \frac{C_b}{h_{fe} + 1} \right) \right) \right),$$

$$Z_{out} = R_E + h_{ib} + \left( \frac{R_b}{h_{fe} + 1} \parallel \left( \frac{R_i}{h_{fe} + 1} \parallel (h_{fe} + 1) C_i \right) \right) = 0.4k\Omega$$

Tại tần số  $f=1kHz$ , ta tìm được:

$$Z_{in} = 4.889k\Omega \rightarrow Z'_{in} = 3.889k\Omega \text{ (bỏ } R_i)$$

$$Z_{out} = 378\Omega$$

Độ lợi áp:  $A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{i_b}{i_b} \times \frac{V_{out}}{V_{in}}$  Suy ra  $A_v \approx 0.78$

Từ đó, độ lợi công suất:  $A_p = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \left( \frac{V_{out}}{V_{in}} \right)^2 \times \frac{Z_{in}}{Z_{out}} = 0.78^2 \times \frac{4.889k}{0.4k} = 7.44.$

Thực tế đo đạc:

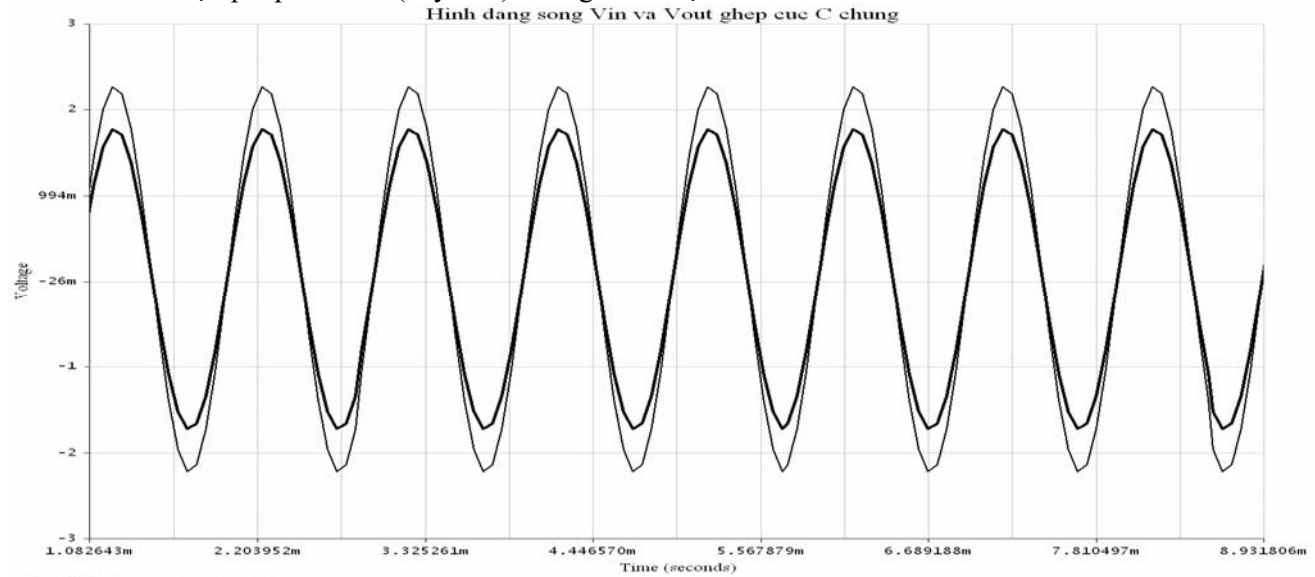
Các thông số của mạch ghép C chung											
Giá trị điện áp đỉnh-đỉnh				Tổng trở				Tần số cắt (Mô phỏng)		Độ lợi	
Vi(V)		Vout(V)		Zin(kOhm)		Zout(Ohm)		f <sub>L</sub> (Hz)	f <sub>H</sub> (MHz)	A <sub>v</sub> (lần)	A <sub>p</sub> (lần)
LT	Đo	LT	Đo	LT	Đo	LT	Đo				
±2.3	±2.3	±1.8	±2.3	4.858	4.889	400	378	1.58	8.28	1	12.9



## Bài số 2: Các dạng ghép cơ bản của mạch khuếch đại tín hiệu nhỏ

Tần số cắt cao bị giảm so với  $f_T$  do có hiệu ứng Miller.

Ta có thể kết luận phép đo  $V_{out}$  (hay  $V_{in}$ ) không tối ưu lệch đến hơn 20%



Biểu diễn độ lợi theo tần số:

