

Bài báo cáo:

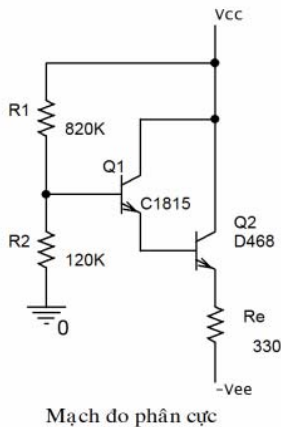
MẠCH TRANSITOR GHEP LIEN TANG MẠCH KHUẾCH ĐẠI CÔNG SUẤT ĐẦY KÉO

Sv: Bùi Trung Hiếu – Ms: 40200776

Lớp : DD02KSTN

I. Mạch khuếch đại ghép Darlington:

a. Khảo sát và đo đặc điểm làm việc của BJT:



Với các số liệu có trên mạch như hình vẽ, ta tính bằng lý thuyết:

$$I_{BE1} = \frac{\frac{V_{CC}}{R_2 + R_1} R_2 - 2V_{BE} + V_{EE}}{\frac{R_1 R_2}{R_2 + R_1} + (h_{FE} + 1)^2 R_E} = \frac{\frac{12 \times 120k}{120k + 820k} - 2 \times 0.6 + 12}{\frac{820k \times 120k}{120k + 820k} + (120 + 1)^2 \times 330} = 2.38 \mu A$$

$$\Rightarrow V_{B1} = 1.28V$$

Với sai số 20% của mỗi điện trở R1, R2, RE giá trị VBE xấp xỉ 0.6V cho mỗi BJT, trong trường hợp các linh kiện có sai số, ta tìm được khoảng biến thiên của VB1:

$$I_{BE1} = \frac{\frac{V_{CC}}{R_2 + R_1} R_2 - 2V_{BE} + V_{EE}}{\frac{R_1 R_2}{R_2 + R_1} + (h_{FE} + 1)^2 R_E} = \frac{\frac{12 \times 144k}{144k + 656k} - 2 \times 0.6 + 12}{\frac{656k \times 144k}{144k + 656k} + (120 + 1)^2 \times 330} = 2.50 \mu A$$

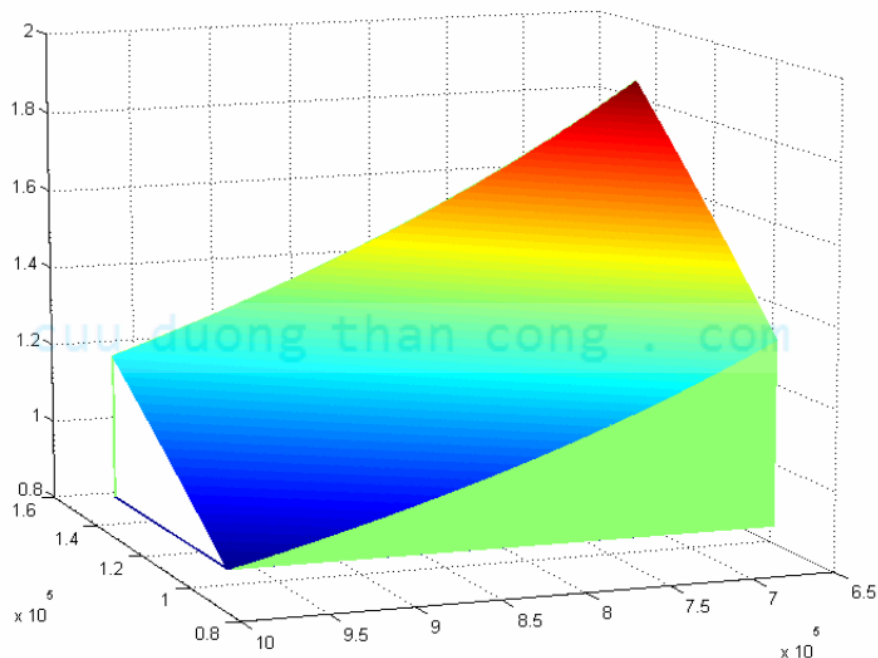
$$(V_{B1})_{Max} = 1.87V$$

Tương tự:

$$I_{BE1} = \frac{\frac{V_{CC}}{R_2 + R_1} R_2 - 2V_{BE} + V_{EE}}{\frac{R_1 R_2}{R_2 + R_1} + (h_{FE} + 1)^2 R_E} = \frac{\frac{12 \times 96k}{96k + 984k} - 2 \times 0.6 + 12}{\frac{984k \times 96k}{96k + 984k} + (120 + 1)^2 \times 330} = 2.29 \mu A \Rightarrow (V_{B1})_{Min} = 0.87V$$

Dùng Matlab, ta có được đồ thị biểu diễn sự biến thiên của Vb1 theo R1 và R2:

Sự thay đổi của Vb1 khi R1 và R2 biến thiên trong khoảng sai số 20% của nó



Thực tế đo đạc:

V_{B1} [V]	V_{B2} [V]	V_{C1} [V]	V_{E2} [mV]	V_{CEQ2} [V]	I_{CQ2} [mA]
1.4585	0.8905	12	286	11.684	37.171

Số liệu đo đạc và tính lý thuyết có gì khác nhau?

Chú ý tới Datasheet của Q2SD468, Q2SC1815(Group GR) ta sẽ thấy với $I_{CQ2} \cong 40mA$, ta sẽ có $h_{FE2}=120$,

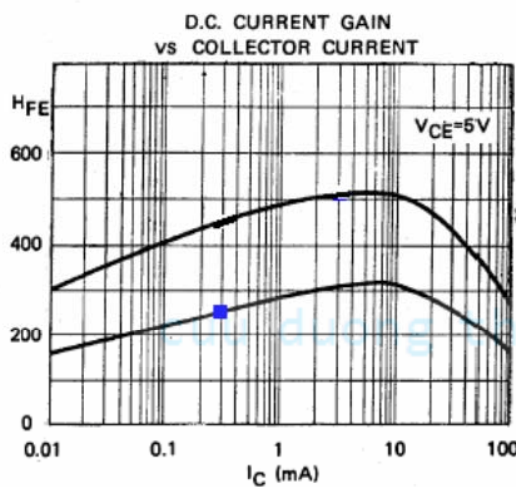
khi đó: $I_{CQ1} \cong \frac{40}{120} \cong 0.3mA$, thì $h_{FE1}=250$ (có thể sai lệch quanh 250), như vậy, giả sử các trở R_1 và R_2 là tốt

(sai số không đáng kể) ta tính lại giá trị I_{BQ1} như sau:

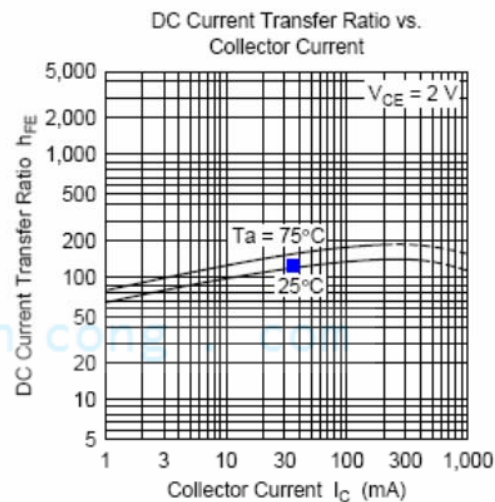
$$I_{BE1} = \frac{\frac{V_{CC}}{R_2 + R_1} R_2 - 2V_{BE} + V_{EE}}{\frac{R_1 R_2}{R_2 + R_1} + (h_{FE1} + 1)(h_{FE2} + 1)R_E} = \frac{\frac{12 \times 120k}{120k + 820k} - 2 \times 0.6 + 12}{\frac{820k \times 120k}{120k + 820k} + 121 \times 256 \times 330} = 1.22\mu A, \Rightarrow V_{B1} = 1.42V \text{ sai khác}$$

là không đáng kể. Với dòng $I_{BE1} = 1.22\mu A$ ta cũng suy ra được dòng

$I_{EQ2} = 1.22\mu A \times 121 \times 251 = 37.1mA \cong I_{CQ2}$ xấp xỉ với giá trị đo đạc (dòng I_{CQ2} được tính nhờ áp đặt trên tải R_E).

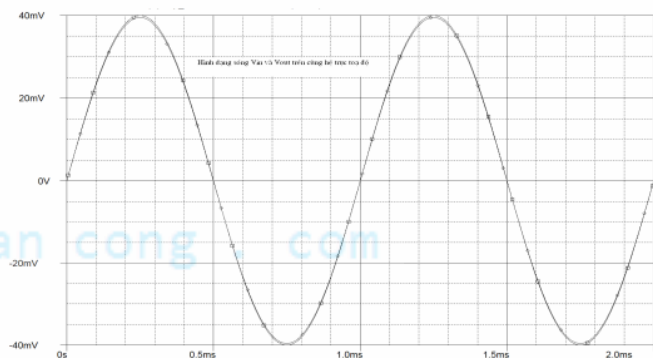
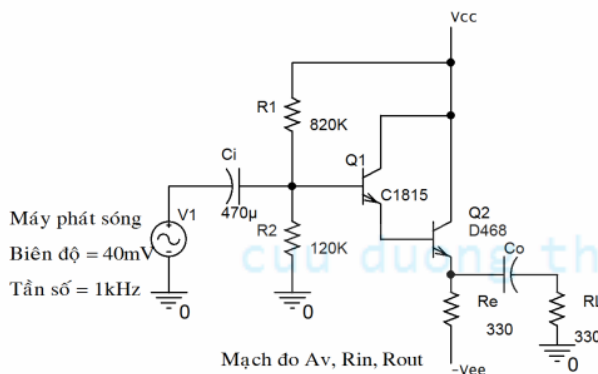


2SC1815



2SD468

b. Xác định độ lợi áp A_v :



Ta đã tính được rằng: $hie1 = 1.4 \times \frac{25.6mV}{1.22\mu A} = 22.38k\Omega$, $hie2 = 1.4 \times \frac{25.6mV}{1.22\mu A \times 251} = 117\Omega$, từ đó:

$$A_v = \frac{(h_{fe1} + 1)(h_{fe2} + 1)(R_E // R_L)}{(h_{fe1} + 1)(h_{fe2} + 1)(R_E // R_L) + (h_{fe1} + 1)hie2 + hie1} = 0.988$$

Các số liệu thu được:

	$V_{in}(mV)$	$V_{om}(mV)$	A_v
Đo đạc:	40	40	1
Tính lý thuyết	40	39.537	0.988
Mô phỏng:	40	39.595	0.99

c. Tổng trở vào:

$$Z_{in} = [R_{b1} // R_{b2}] // \left[(h_{fe1} + 1)(h_{fe2} + 1)(R_E // R_L) + (h_{fe1} + 1)hie2 + hie1 \right] = 102.558k\Omega$$

Số liệu đo đạc $Z_{in} = 85.75k\Omega$

Số liệu mô phỏng $Z_{in} = 101.744k\Omega$

d. Tổng trở ra:

$$Z_{out} = R_E // \left[\frac{hie2}{(h_{fe2} + 1)} + \frac{hie1}{(h_{fe1} + 1)(h_{fe2} + 1)} \right] = 1.92\Omega.$$

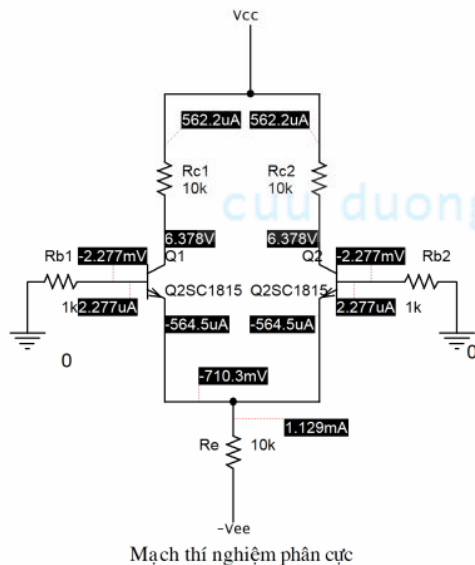
Số liệu đo đạc: $Z_{out} = 2.4\Omega$

Số liệu mô phỏng: $Z_{out} = 1.8\Omega$.

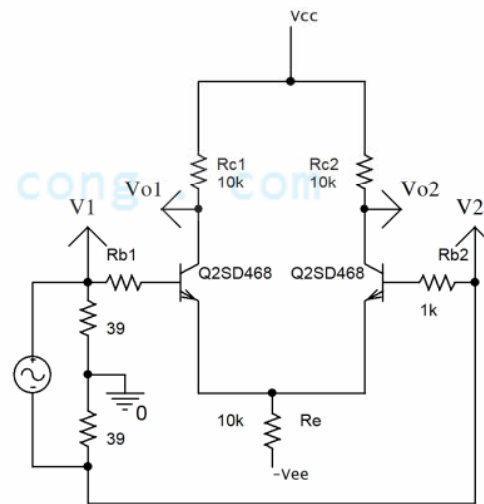
e. Nhận xét: Giá trị tổng trở vào của mạch lớn và tổng trở ra nhỏ, đó là đặc tính của mạch ghép Collector chung (EF) mà ta mong muốn.

II. Mạch khuếch đại ghép vi sai:

a. Khảo sát phân cực các BJT:



Máy phát sóng
Biên độ = 50mV
Tần số = 1kHz



Các số liệu đo được:

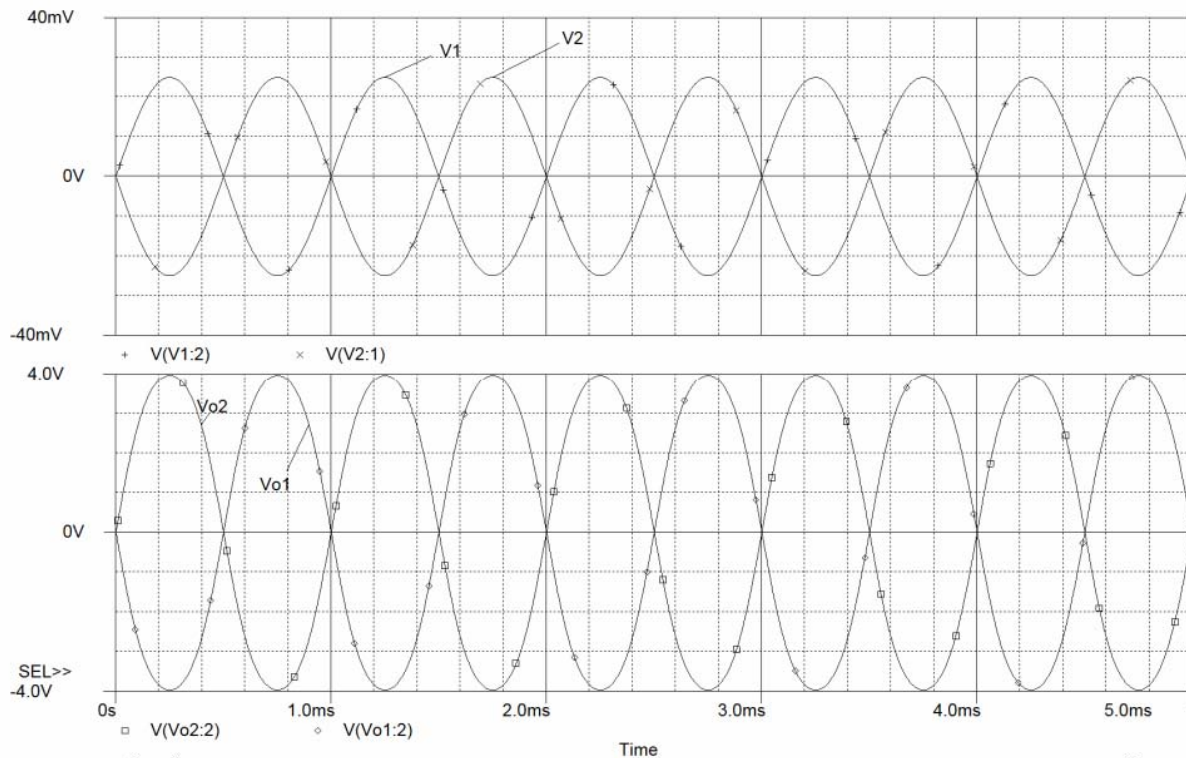
$V_{B1}[mV]$	$V_{B2}[mV]$	$V_{E1}[V]$	$V_{C1}[mV]$	$V_{C2}[mV]$	$V_{CEQ1}[V]$	$V_{CEQ2}[V]$	$I_{CQ1}[\mu A]$	$I_{CQ2}[\mu A]$
-2.17	-2.21	-0.6203	6.186	6.309	6.806	6.930	581.4	569.1

Ta nhận thấy các giá trị đo được trên 2 BJT không hoàn toàn đối xứng nhau và chỉ xấp xỉ với giá trị tính toán hay mô phỏng, bởi vì các BJT này không hoàn toàn giống nhau về các thông số kỹ thuật khi thiết kế, và còn xuất hiện sai lệch do các trở Collector và Emitter có sai số đến 20% giá trị thực tế.

So với yêu cầu thiết kế ($I_{RE}=11.2mA$) thì có thể chấp nhận được. Sự sai khác khoảng 2% giữa 2 giá trị dòng điện I_{C1} và I_{C2} cũng có thể chấp nhận được.(giá trị $V_{BE}=0.62V$).

b. Khảo sát chế độ vi sai: (Differential mode)

Thực hiện thí nghiệm như hình trên, ta sẽ được dạng sóng của v_1 , v_2 , v_{01} , v_{02} như hình sau:



Nhận xét thấy rằng pha của v_1 và v_{o1} , pha của v_2 và v_{o2} ngược nhau, còn pha của v_1 và v_2 , v_{o1} và v_{o2} giống nhau. Đây là tính chất của mạch khuếch đại ghép vi sai.

Giá trị đo đặc thực tế:

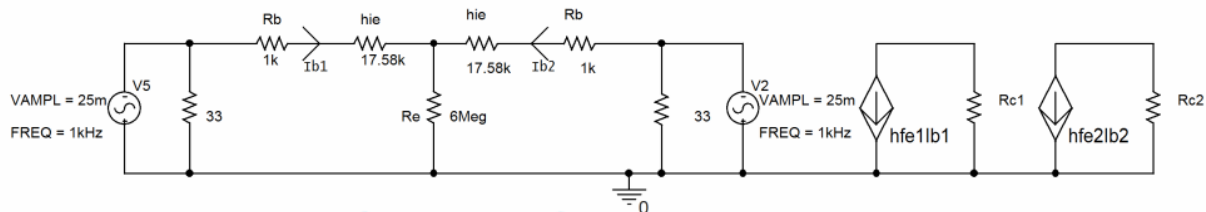
v_1 (mV)	v_2 (mV)	v_{o1} (V)	v_{o2} (V)	A_d
25	25	3	3.1	60

Có thể tính nhờ sơ đồ mạch tương đương AC: (Bài này nên chọn hệ số $m=1.3$ (experience factor))

$$\text{Ta có: } I_{BE} = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_1 + 2(h_{FE1} + 1)R_E} = \frac{11.4}{1k + 2 \times 301 \times 10k} = 1.893 \mu A \Rightarrow h_{ie} = 1.3 \times \frac{25.6m}{1.89 \mu} \approx 17.58k\Omega$$

(Tại $I_C=0.6mA$, ta chọn $h_{FE}=300$)

$$\text{Tính theo lý thuyết: } A_d = \frac{R_C}{2 \left(h_{ib} + \frac{R_b}{h_{fe}} \right)} = \frac{10k \times 300}{2 \times (17.58k + 1k)} = 80.73$$



Sơ đồ tương đương AC của mạch vi sai

Tính toán các giá trị ra giống với mô phỏng trên BJT và mô phỏng trên sơ đồ tương đương.

c. Khảo sát chế độ chung: (Common mode)

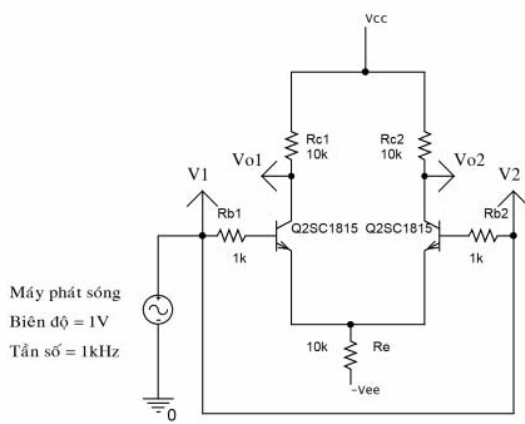
Bảng đo độ lợi A_c của mạch ghép vi sai với điện trở cực phát R_E :

v_1 (V)	v_2 (V)	v_{o1} (V)	v_{o2} (V)	A_c
1	1	0.6	0.6	0.6

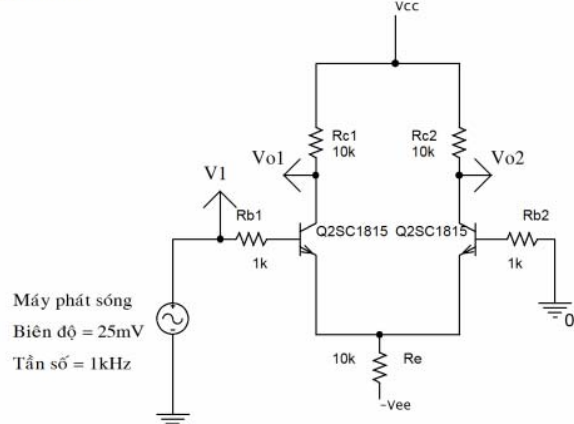
Dùng lý thuyết vi sai, ta tính được:

$$A_c = \frac{R_C}{h_{ib} + \frac{R_b}{h_{fe}} + 2R_E} = \frac{10k}{2 \times 10k + \frac{1k}{300} + \frac{17.58k}{300}} = 0.498 \approx 0.5$$

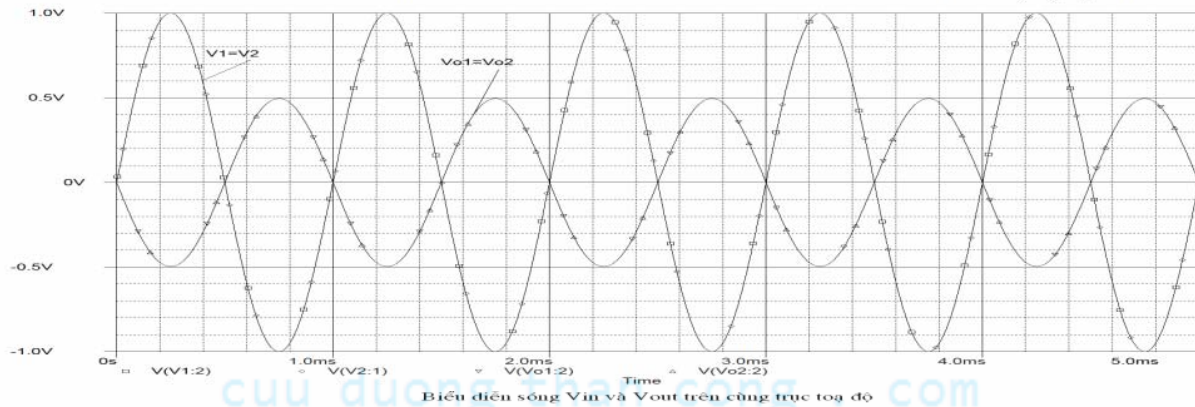
Các giá trị tính toán, đo và mô phỏng tương đối phù hợp nhau.



Sơ đồ AC đo Ac cho mạch ghép vi sai



Sơ đồ AC đo Av cho mạch ghép vi sai



$$CMMR = \frac{h_{ie} + 2R_E h_{fe} + R_B}{2(h_{ie} + R_B)} = 162, \text{ Thực tế: } CMMR = \frac{A_d}{A_c} = 130$$

d. Khảo sát mạch với tín hiệu bất kỳ: (Sơ đồ đo A_V)

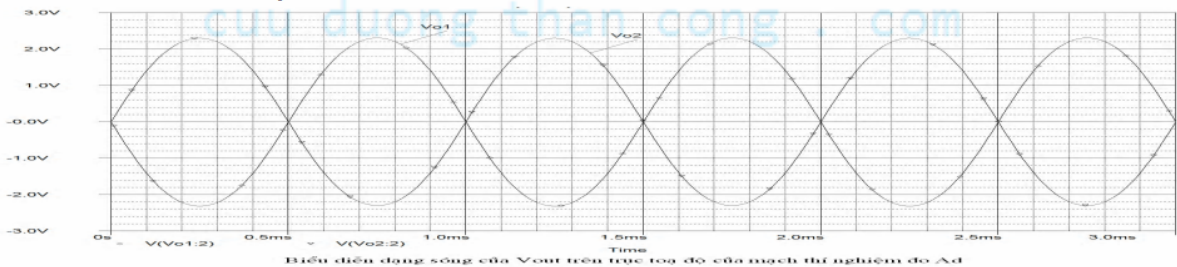
Bảng đo độ lợi A_V của mạch ghép vi sai với điện trở cực phát R_E :

v_i (mV)	v_{o1} (V)	v_{o2} (V)	A_V
25	2.4	2.4	96

Dùng lý thuyết vi sai, ta tính được:

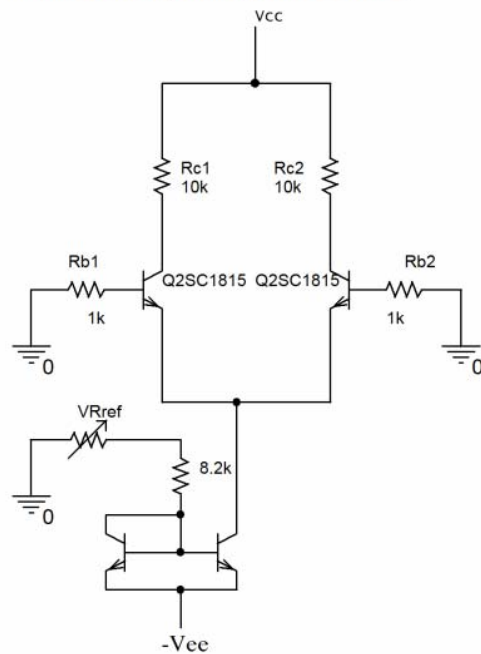
$$v_{i,2} = 12.5mV \pm \frac{25mV}{2} \Rightarrow i_i = \frac{v_i}{R_b} \text{ and } i_L = A_c i_o + A_d \Delta i = \frac{12.5mV}{R_b} [0.6 + 2 \times 78]$$

$$\Rightarrow A_i = \left| \frac{i_L}{i_i} \right| = \frac{\frac{12.5mV}{R_b} [0.5 + 2 \times 80.73]}{\frac{25mV}{R_b}} = 8.098 \Rightarrow A_v = \left| \frac{v_L}{v_i} \right| = 80.98$$

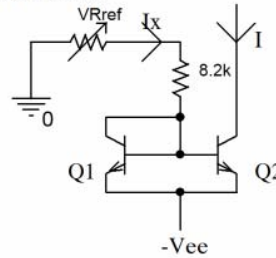


Mô phỏng: $A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{2.3}{25m} = 92$. Vậy, các giá trị tính toán, đo và mô phỏng có chút ít sai khác.

e. Khảo sát mạch tăng tỉ số CMMR:



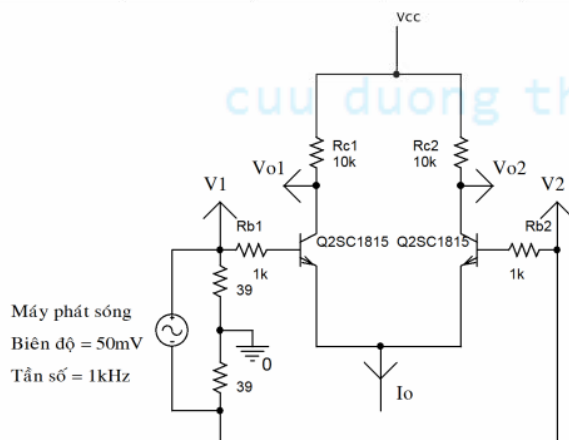
Chỉnh VRref để $V_{C1}=V_{C2}$ và như bài trên, ta thu được bảng số liệu dưới:



$$Ta\ có: I = \frac{hfe2}{hfe1 + 2} I_x$$

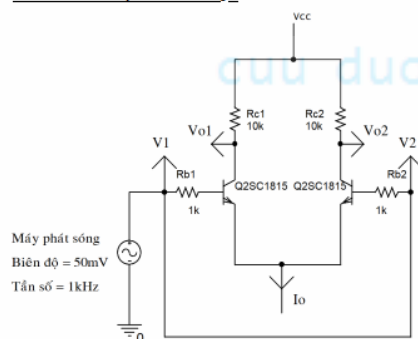
So với kết quả thu được ở bài trên V_{C1} và V_{C2} gần nhau hơn. (đối xứng hơn) Tuy nhiên, vẫn chưa đối xứng hoàn toàn (chưa bằng nhau)

V_{B1} [mV]	V_{B2} [mV]	V_{E1} [V]	V_{C1} [mV]	V_{C2} [mV]	V_{CEQ1} [V]	V_{CEQ2} [V]	I_{CQ1} [μA]	I_{CQ2} [μA]
-2.16	-2.21	-0.6203	6.222	6.321	6.833	6.937	577.8	506.3



Sơ đồ AC đo Ad cho mạch ghép vi sai

Đối với mạch đo Ac:



Sơ đồ AC đo Ac cho mạch ghép vi sai

Bảng số liệu:

v_1 (mV)	v_2 (mV)	v_{o1} (V)	v_{o2} (V)	A_d
25	25	3.5	3.5	70

Kết luận: mạch đối xứng tốt ($R_E \rightarrow \infty$) nên tiến tới gần giá trị lý thuyết và mô phỏng hơn. Khi tính lý thuyết, ta giả sử rằng dòng $I_C = 0.56mA$, lúc đó, ta sẽ chọn $h_{FE} = 300$ và tại nhiệt độ phòng ($27^{\circ}C = 300^{\circ}K$) ta có:

$$h_{ie} = 1.3 \times \frac{25.85m}{0.56m} \times 300 \approx 18k\Omega. \text{ Tính được:}$$

$$v_{o1} = -\frac{v_{i1}}{R_{B1} + h_{ie1}} \times h_{fe} \times R_{c1}$$

$$= -\frac{25m}{1k + 18k} \times 300 \times 10k = -3.95V$$

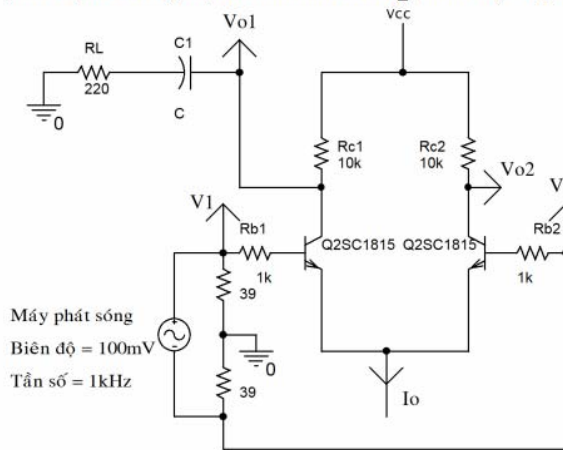
Ta cũng có bản số liệu sau:

v_1 (V)	v_2 (V)	v_{o1} (mV)	v_{o2} (mV)	A_c
1	1	20	20	0.02

So với mạch dùng điện trở cực phát thì mạch này tốt hơn, giá trị A_c nhỏ hơn nhiều, điều đó là điều mong muốn của mạch vi sai.

Tỉ số CMMR = $A_d/A_c = 4000 \gg$ so với mạch lúc đầu \rightarrow tốt hơn.

Với mạch thí nghiệm vi sai có tải R_L : (Bài này thực hiện mô phỏng bằng PSPICE)



Máy phát sóng
Biên độ = 100mV
Tần số = 1kHz

Sơ đồ AC đo Ad cho mạch ghép vi sai

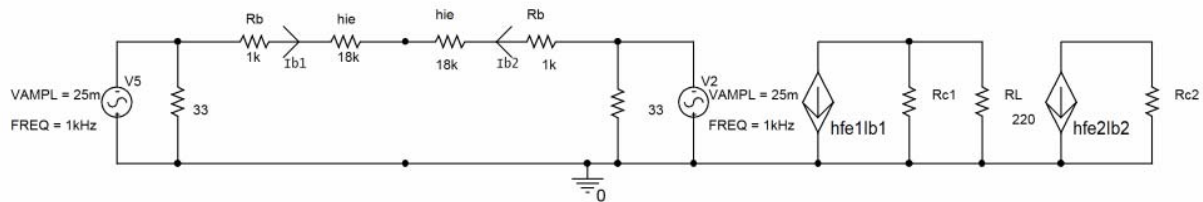
$$v_{o1} = -\frac{v_{i1}}{R_{B1} + h_{ie1}} \times h_{fe} \times (R_{c1} // R_L)$$

$$= -\frac{50m}{1k + 18k} \times 300 \times (10k // 220) = -175mV$$

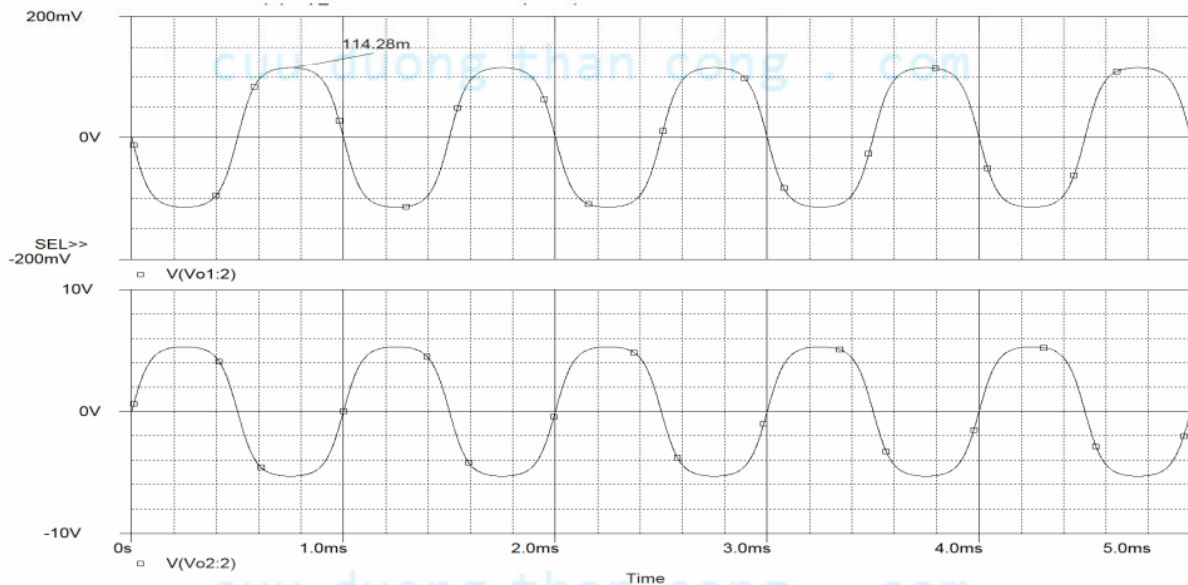
$$v_{o2} = -\frac{v_{i1}}{R_{B1} + h_{ie1}} \times h_{fe} \times R_{c2}$$

$$= \frac{50m}{1k + 18k} \times 300 \times 10k = 7.895V$$

(Dấu trừ chỉ pha của áp tính với áp so sánh là V_1)
Thực hiện mô phỏng, ta có kết quả sau:



Sơ đồ tương đương AC của mạch vi sai

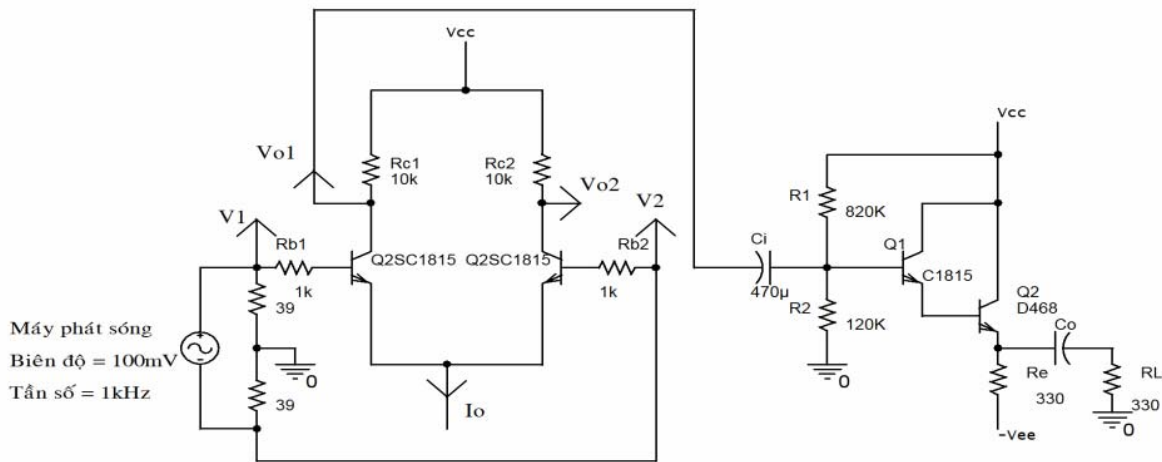


Dạng sóng ra của mạch cho trên.

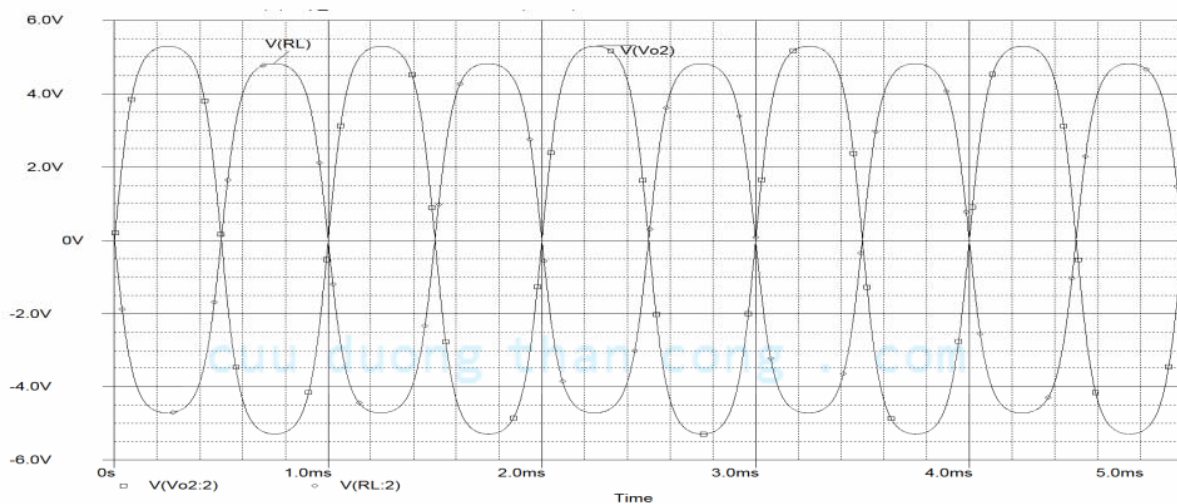
*Nếu nối trực tiếp tải R_L với mạch (không qua tụ Bybass), các dòng tĩnh I_{C1} và I_{C2} đã khác nhau, tuy nhiên, không đáng kể, và lúc đó, không có sự thay đổi nhiều về thành phần AC của các tín hiệu ra, chỉ có thành phần DC lót nền cho V_{O2} được nâng lên khoảng 140mV.

*Khi thay thế tải R_L bằng ngõ vào của mạch Darlington, ta có mạch như sau:

Lúc này, nhờ có trở kháng vào tương đối lớn ($\sim 100K\Omega$) và trở kháng ra nhỏ ($\sim 2\Omega$) nên tầng Darlington như một tầng đệm cách ly tải và bộ khuếch đại (mạch vi sai). Ta có hình dạng sóng ra của các ngõ V_{O1} , V_{O2} , V_L như sau:



Sơ đồ AC cho mạch ghép vi sai kéo tải là một mạch Darlington



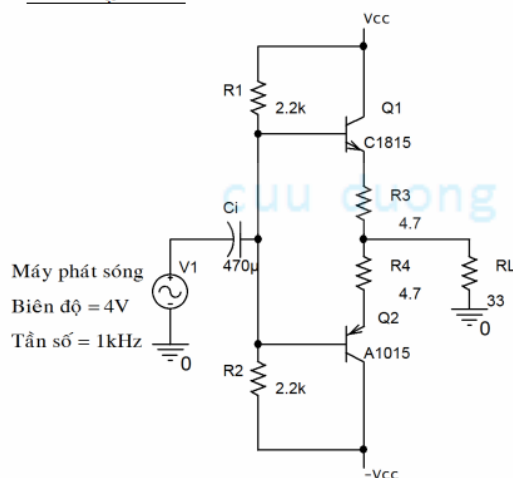
Hình dạng sóng ra của tín hiệu điện áp trên tải và so sánh với mức V_{O2}

Ta thấy, hai tín hiệu không cùng biên độ, bởi có sự thất thoát khi dòng chia qua trở R_{C1} và R_{in} của mạch ghép Darlington, làm suy giảm áp đặt trên chúng.

III. Mạch khuếch đại công suất đẩy-kéo:

1. Khuếch đại đẩy kéo lớp B:

a. Phân cực DC:



Thực hiện mạch đẩy kéo nhờ cặp Transistor bổ trợ Q2SA1015 và Q2SC1815.

Khi phân cực DC, ta không cấp nguồn của máy phát. Dùng FLUKE45 đo và so sánh với các giá trị tính toán, ta có bảng sau:

Nếu các BJT bổ phụ là tốt và trở có sai số nhỏ, ta sẽ được số như tính toán, tuy nhiên, thực tế không được như vậy, kết quả là ta đo được những giá trị không mong muốn. có vẻ như cặp BJT này đã được phân cực.

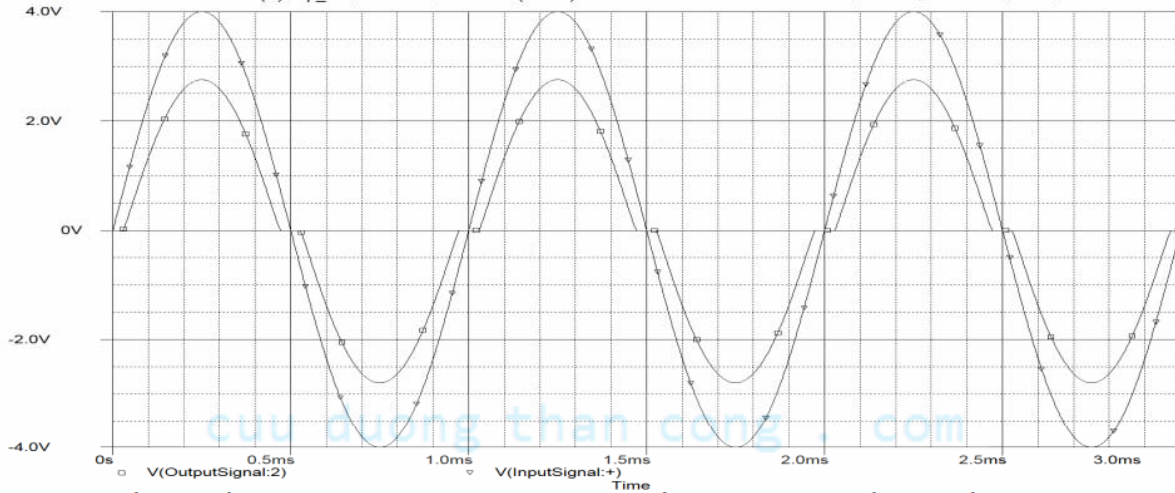
	I_{R1} [mA]	I_{R2} [mA]	V_{B1} [V]	V_{B2} [V]	V_o [V]	V_{BEQ1} [V]	V_{BEQ2} [V]	V_L [V]
Tính toán	5.45	5.45	0	0	0	0	0	0
Đo đạc	5.76	5.16	-0.625	-0.625	-48.43m	-0.578	0.574	45.19m

b. Phân cực AC:

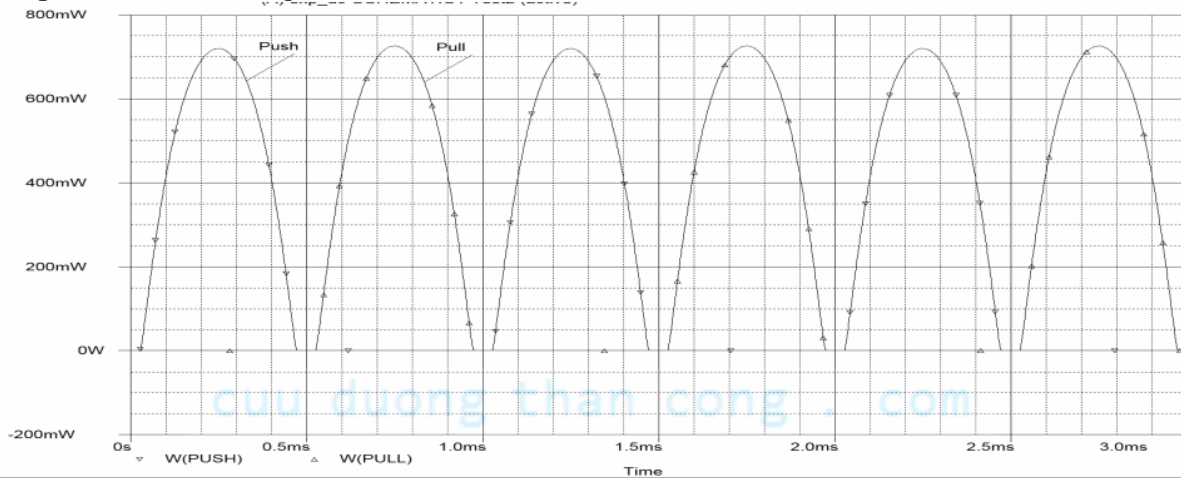
i./ Cấp nguồn cho máy phát sóng, ta có những kết quả sau:

V_{im} [V]	4	5	6	7	8	9	10
V_{Lm} [V]	3	4	5	5.6	6.4	7.1	7.6
P_L [mW]	136.4	242.42	378.79	475.15	620.61	763.79	875.15
I_{av1} [mA]	22.34	34.04	41.91	51.94	63.82	67.38	74.11
P_{cc1} [mW]	268.08	408.48	502.92	623.28	765.84	808.56	889.32
I_{av2} [mA]	22.76	38.09	44.04	52.12	61.49	66.60	71.28
P_{cc2} [mW]	273.12	457.08	527.48	625.44	737.88	799.2	855.36
η (%)	25.20	28.01	36.76	38.05	41.27	47.51	50

BIỂU DIỄN TÍN HIỆU ĐIỆN ÁP V_{in} VÀ V_{out} TRÊN CÙNG HỆ TRỤC TOẠ ĐỘ



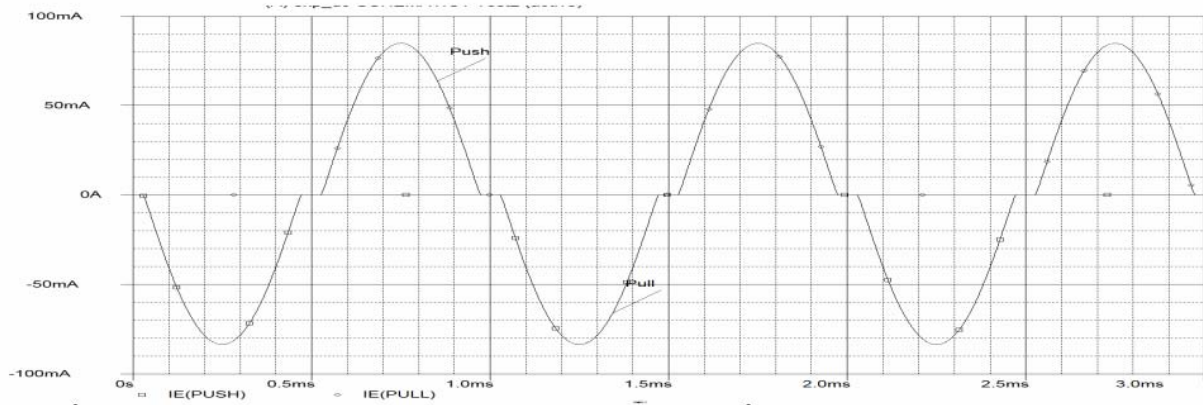
Rõ ràng ta thấy có xuất hiện méo xuyên tâm, đây là nhược điểm của mạch khuếch đại đẩy kéo lớp B. Công suất của các BJT bổ phụ được biểu diễn bởi hình sau:



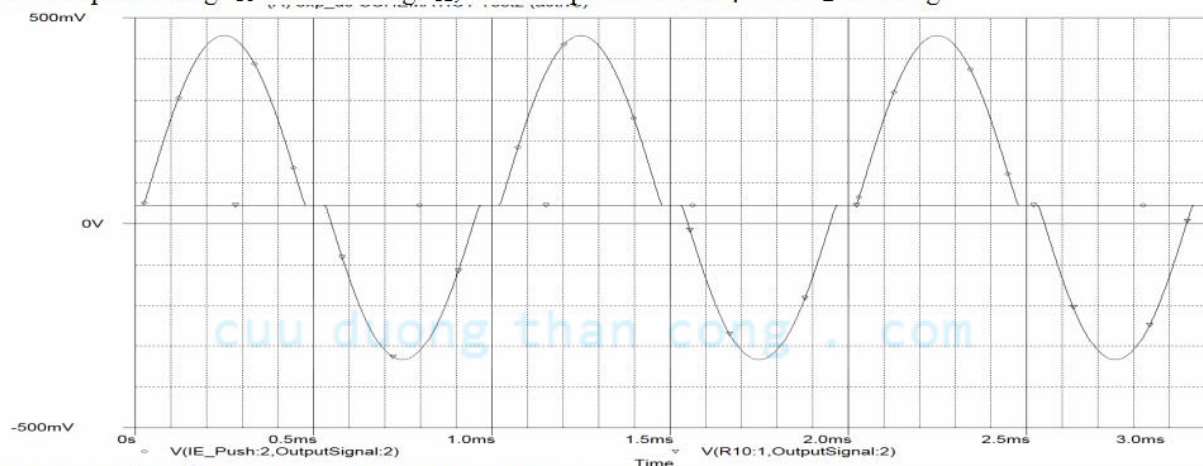
Đây là một ưu điểm của mạch khuếch đại công suất lớp B, TST chỉ tiêu hao công suất khi làm việc (có dòng đi qua tải)

Trong khi đó, dòng điện qua chân Emitter của các transistor có dạng chỉnh lưu bán chu kì và bị tắt tín hiệu trước khi hết $\frac{1}{2}$ chu kì của nó do mỗi nối BE không cho phép dòng đi qua nó khi áp đặt lên chúng nhỏ hơn V_{BE} của Transistor.

Giá trị trung bình của dòng điện có thể tính theo công thức:
$$I_{av} = \frac{V_{Eav}}{R_E} = \frac{I_p}{\pi}$$

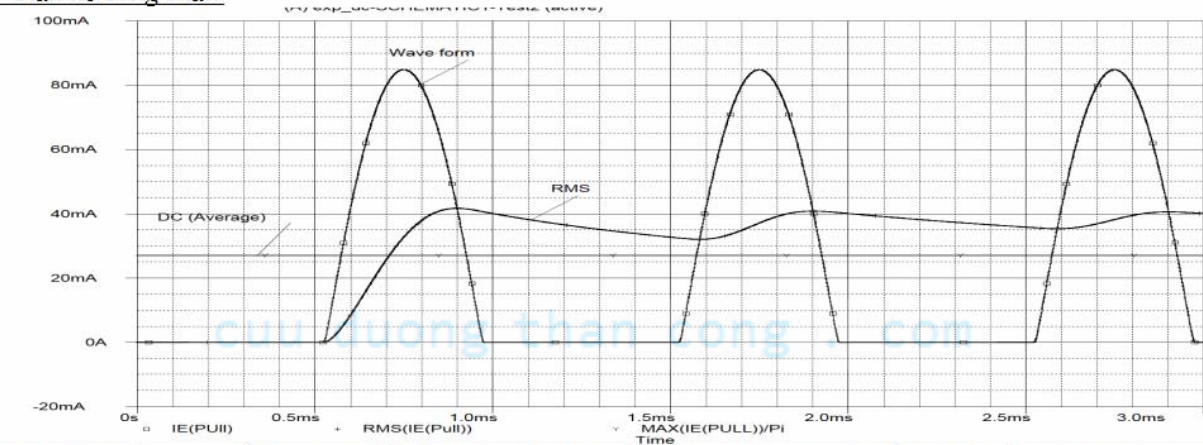


Thực tế thì dạng của dòng điện không được như mô phỏng, do từ đầu các TST đã không được phân cực một cách hoàn hảo như lý thuyết, nên đã xuất hiện các mức dẫn và tắt trước và sau V_{BE} (~ 0.7), có nghĩa là V_{DC} của R_L luôn có, và chính nó đã nâng mức nền của tín hiệu lên. Hai tín hiệu I_{E1} và I_{E2} không còn đối xứng nhau qua trục hoành (trục $I_C=0$) nữa, theo hình quan sát trên Oscilloscope thì dòng I_{C1} nhỏ hơn dòng I_{C2} , và thành phần DC tồn tại trên R_L là dương.

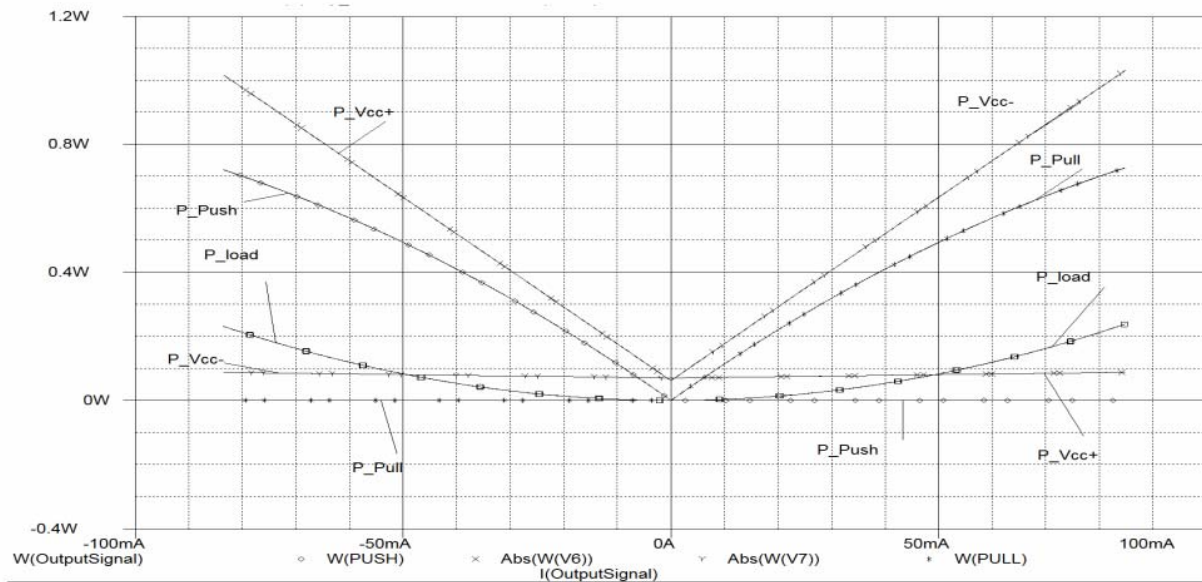


Hình trên biểu diễn cho tín hiệu được đặt 46mVDC lên R_L .

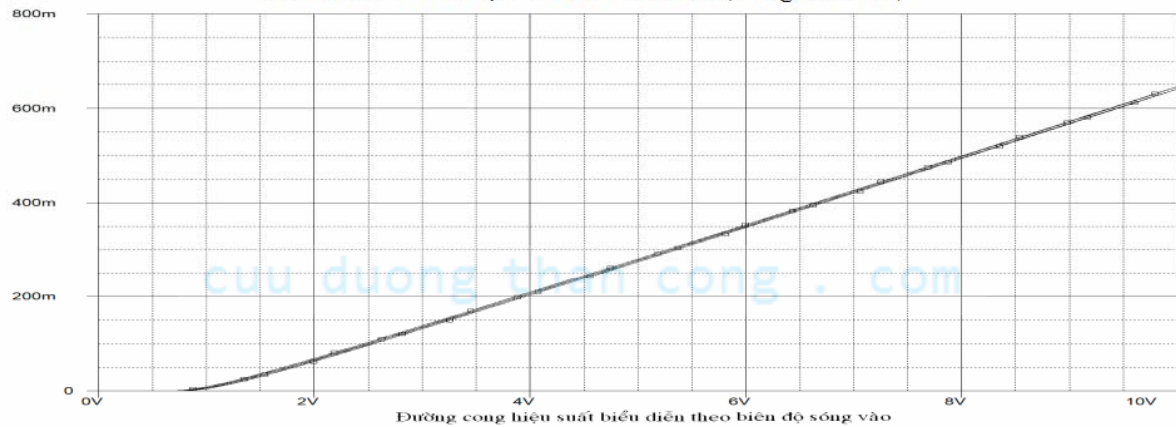
*Giản đồ công suất:



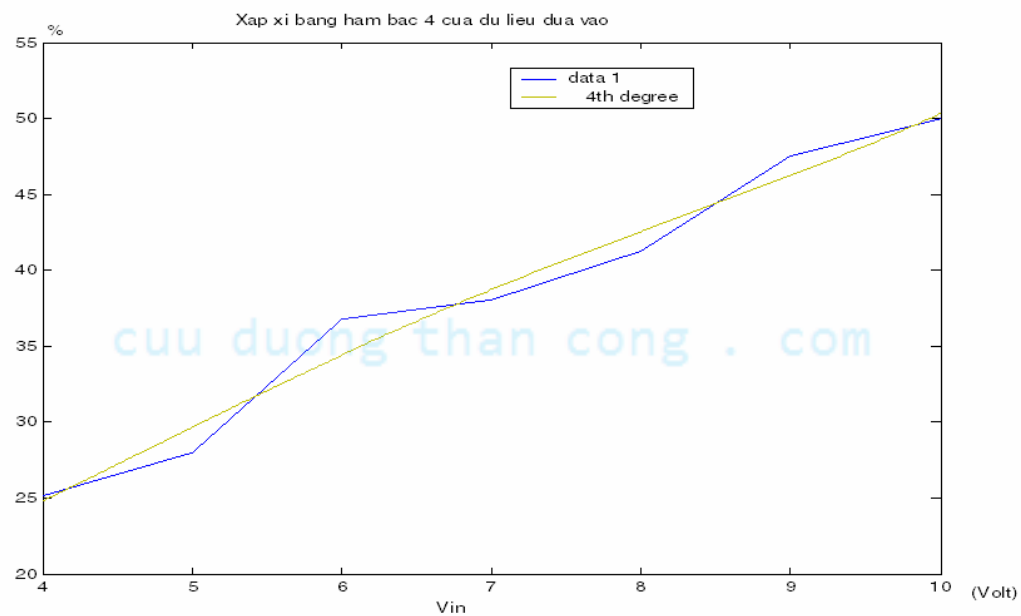
Ta có giản đồ công suất cho các phần tử tiêu thụ công suất trong mạch (Công suất của nguồn luôn có vì phải tiêu tán trên tại R_1 và tại R_2) theo dòng điện chạy qua tại.



ĐƯỜNG CÔNG HIỆU SUẤT CỦA TẢI (Dùng ORCAD)

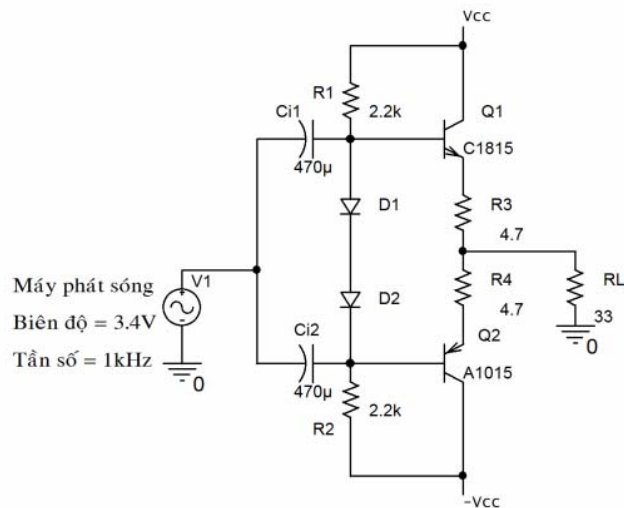


Dùng Matlab xử lý số liệu tìm được, ta có hình biểu diễn sau:



2. Khuếch đại đẩy kéo lớp AB:

a. Phân cực DC:



	$I_{R1}[\text{mA}]$	$I_{R2}[\text{mA}]$	$V_{B1}[\text{V}]$	$V_{B2}[\text{V}]$	$V_0[\text{V}]$	$V_{BEQ1}[\text{V}]$	$V_{BEQ2}[\text{V}]$	$V_L[\text{V}]$
Tính toán	5.13	5.13	0.7	-0.7	0	0.7	0.7	0
Đo đạc	5.29	5.0m	0.343	-1.0023	220m	0.5	0.626	220m

b. Phân cực AC:

i./ Cấp nguồn cho máy phát sóng, ta có những kết quả sau:

$V_{im} [\text{V}]$	4	5	6	7	8	9	10
$V_{Lm} [\text{V}]$	3.8	4.5	5.4	6.4	7.2	8	8.6
$P_L [\text{mW}]$	218.8	306.82	441.82	620.61	758.45	970	
$I_{av1} [\text{mA}]$	12.1	44.19	53.08	64.50	67.29	85	
$P_{cc1} [\text{mW}]$	145.2	530.28	636.96	774	807.48	1020	
$I_{av2} [\text{mA}]$	37.0	45.11	52.27	61.03	68.23	76.57	
$P_{cc2} [\text{mW}]$	444	541.32	627.24	732.36	828.76	918.84	
η	37.14	28.63	34.95	41.2	46.35	50	

Nếu sử dụng chương trình mô phỏng để tìm đường cong hiệu suất, ta có hình dưới.

