

Chương 6.
MẠCH KHUẾCH ĐẠI
CÔNG SUẤT ÂM TẦN

Mạch khuếch đại công suất âm tần

- Các khái niệm
 - Dòng và áp (DC và AC)
 - Công suất (DC và AC)
 - Âm tần: 20Hz – 20KHz
- Nguyên lý và sơ đồ khối tổng quát
- Ứng dụng: am-pli
- Chế độ tín hiệu lớn: méo hài (phi tuyến) → hồi tiếp
- Linh kiện công suất: transistor, điện trở

Mạch khuếch đại công suất âm tần

- Mạch khuếch đại công suất có nhiệm vụ tạo ra một công suất đủ lớn để kích thích tải. Công suất ra có thể từ vài trăm mW đến vài trăm watt. Như vậy mạch công suất làm việc với biên độ tín hiệu lớn ở ngõ vào: do đó ta không thể dùng mạch tương đương tín hiệu nhỏ để khảo sát như trong các chương trước mà thường dùng phương pháp đồ thị.

6.1 Mạch khuếch đại công suất lớp A

Mạch khuếch đại công suất lớp A khuếch đại cả hai bán chu kỳ tín hiệu ngõ vào

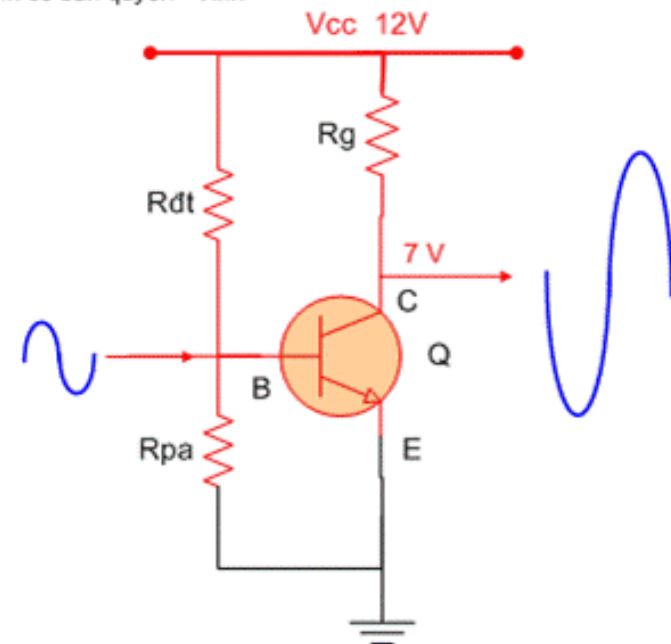
+ Ưu : méo phi tuyến nhỏ.

+ Khuyết : hiệu suất thấp :

$$\begin{cases} \eta_A \leq 25\% : \text{dùng tải là } R \\ \eta_A \leq 50\% : \text{dùng tải là biến áp} \end{cases}$$

sử dụng trong các mạch trung gian: khuếch đại cao tần, khuếch đại trung tần, tiền khuếch đại vv..

Ảnh có bản quyền - Vĩnh



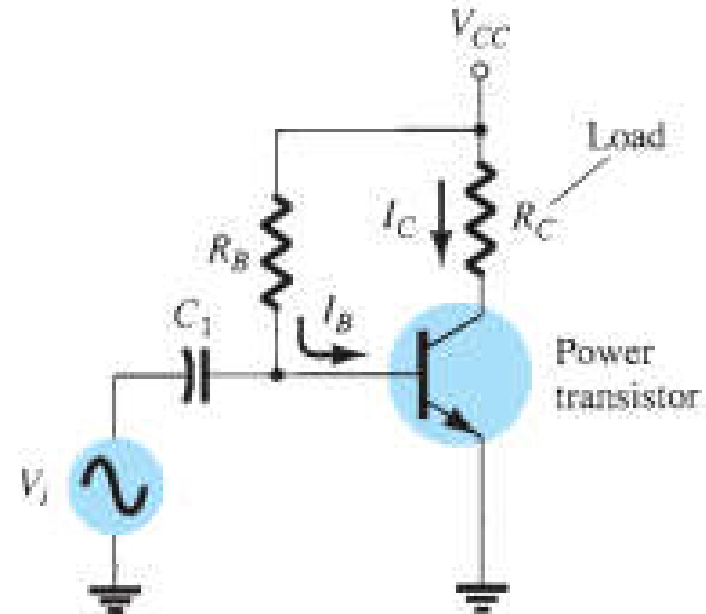
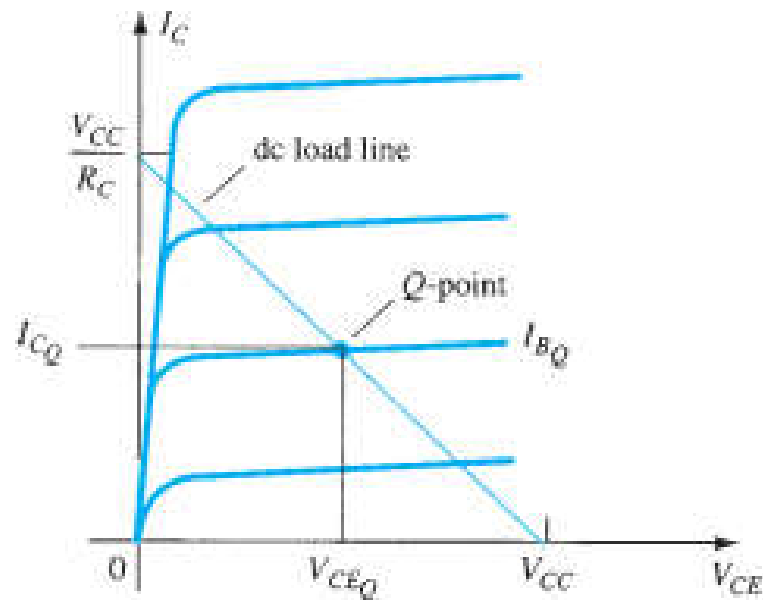
6.1 Mạch khuếch đại công suất lớp A

Khảo sát phân cực

$$I_B = \frac{V_{CC} - 0.7 \text{ V}}{R_B}$$

$$I_C = \beta I_B$$

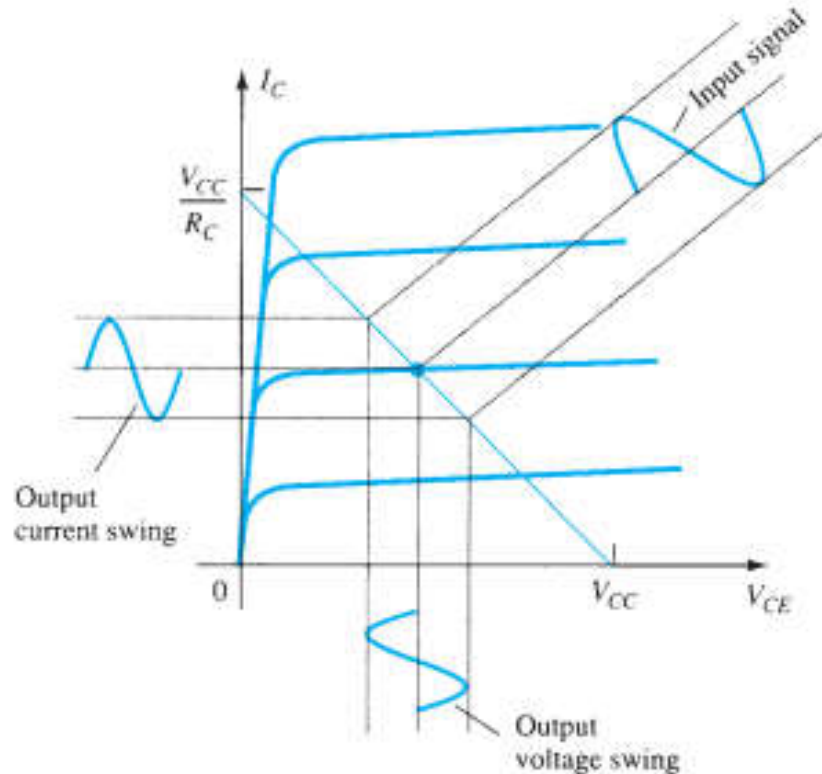
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$



6.1 Mạch khuếch đại công suất lớp A

Khảo sát xoay chiều

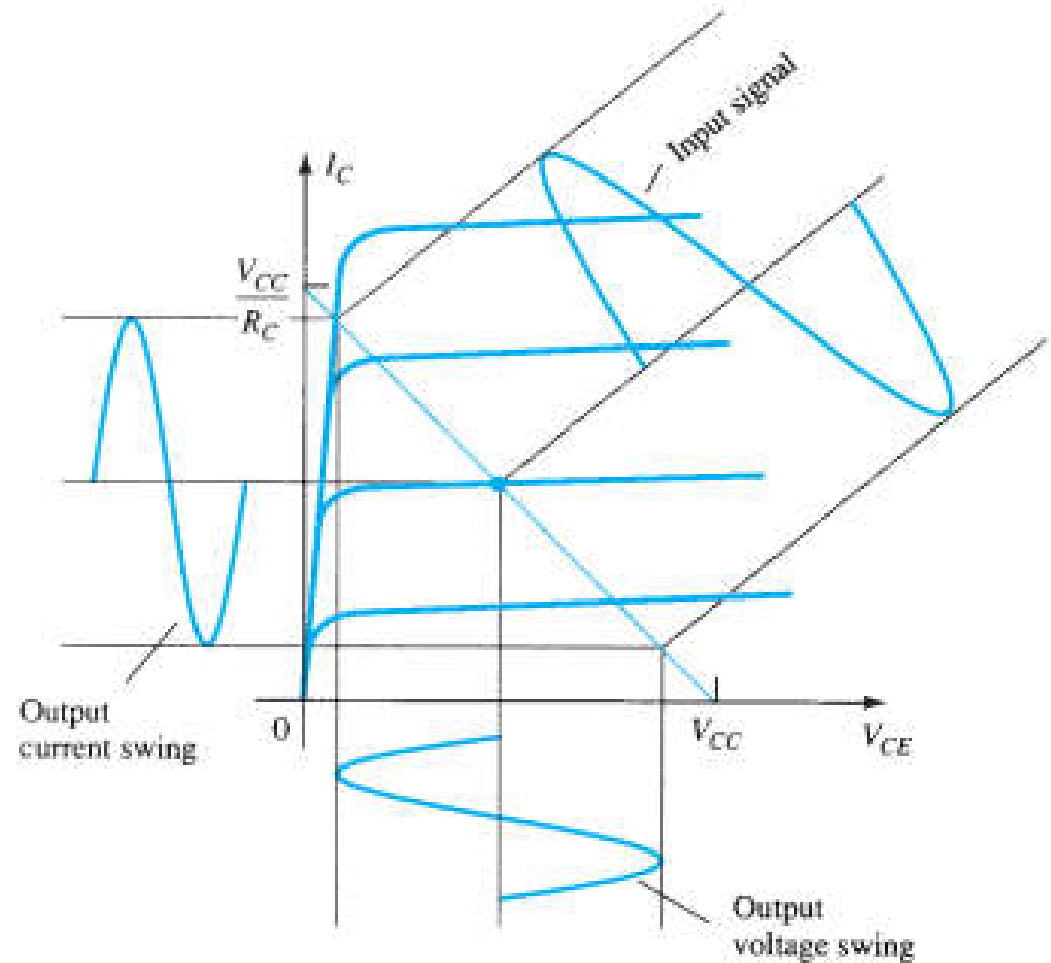
- Khi đưa tín hiệu vi vào ngõ vào dòng I_C và điện thế V_{CE} (tín hiệu ra) sẽ thay đổi quanh điểm Q. Với tín hiệu ngõ vào nhỏ, vì dòng điện cực nền thay đổi rất ít nên dòng điện I_C và điện thế V_{CE} ở ngõ ra cũng thay đổi ít quanh điểm Q.



6.1 Mạch khuếch đại công suất lớp A

Khảo sát xoay chiều

Khi tín hiệu ngõ vào lớn, ngõ ra sẽ thay đổi rất lớn quanh điểm Q. Dòng I_C sẽ thay đổi quanh giới hạn 0mA và V_{CC}/R_C . Điện thế V_{CE} thay đổi giữa hai giới hạn 0V và nguồn V_{CC}



6.1 Mạch khuếch đại công suất lớp A

Khảo sát công suất

- Công suất cung cấp:

$$P_I(\text{dc}) = V_{CC}I_{CQ}$$

- Công suất ngõ ra trên tải (R_C):

$$P_o(\text{ac}) = V_{CE}(\text{rms})I_C(\text{rms})$$

$$P_o(\text{ac}) = I_C^2(\text{rms})R_C$$

$$P_o(\text{ac}) = \frac{V_C^2(\text{rms})}{R_C}$$

6.1 Mạch khuếch đại công suất lớp A

Khảo sát công suất

- Tính theo điện thế đỉnh và dòng điện đỉnh:

$$\begin{aligned}\text{maximum } P_{I(\text{dc})} &= V_{CC}(\text{maximum } I_C) = V_{CC} \frac{V_{CC}/R_C}{2} \\ &= \frac{V_{CC}^2}{2R_C}\end{aligned}$$

6.1 Mạch khuếch đại công suất lớp A

Khảo sát công suất

- Tính theo điện thế đỉnh và dòng điện đối đỉnh:

$$\text{maximum } V_{CE(p-p)} = V_{CC}$$

$$\text{maximum } I_C(p-p) = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

$$\begin{aligned}\text{maximum } P_o(ac) &= \frac{V_{CC}(V_{CC}/R_C)}{8} \\ &= \frac{V_{CC}^2}{8R_C}\end{aligned}$$

6.1 Mạch khuếch đại công suất lớp A

Khảo sát công suất

- Hiệu suất của mạch khuếch đại công suất:

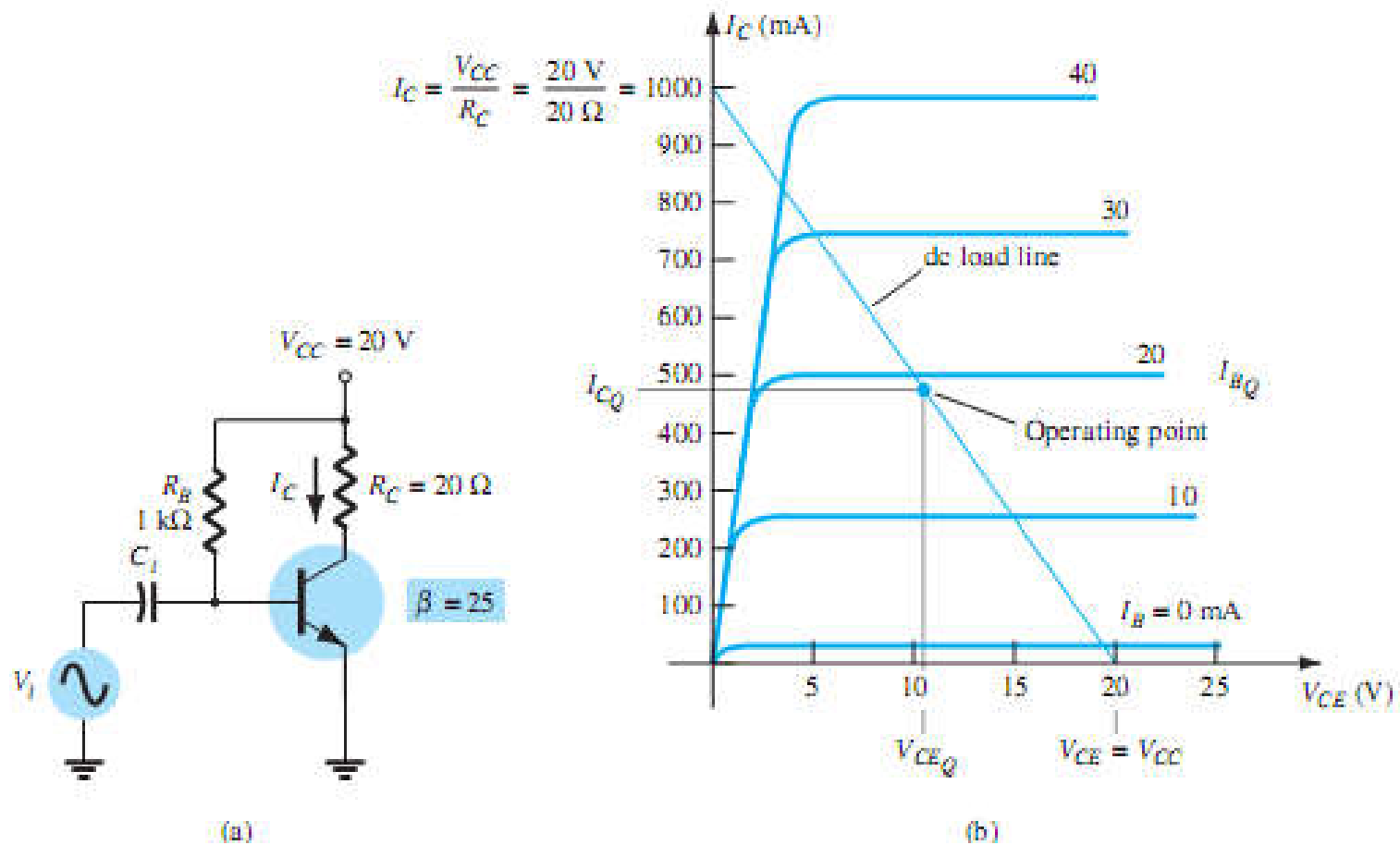
$$\% \eta = \frac{P_o(\text{ac})}{P_i(\text{dc})} \times 100\%$$

- Hiệu suất tối đa:

$$\begin{aligned} \text{maximum } \% \eta &= \frac{\text{maximum } P_o(\text{ac})}{\text{maximum } P_i(\text{dc})} \times 100\% \\ &= \frac{V_{CC}^2/8R_C}{V_{CC}^2/2R_C} \times 100\% \\ &= 25\% \end{aligned}$$

6.1 Mạch khuếch đại công suất lớp A

- Ví dụ 1:



6.1 Mạch khuếch đại công suất lớp A

- Ví dụ 1:

$$I_{B_Q} = \frac{V_{CC} - 0.7 \text{ V}}{R_B} = \frac{20 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 19.3 \text{ mA}$$

$$I_{C_Q} = \beta I_B = 25(19.3 \text{ mA}) = 482.5 \text{ mA} \cong 0.48 \text{ A}$$

$$V_{CE_Q} = V_{CC} - I_C R_C = 20 \text{ V} - (0.48 \text{ A})(20 \Omega) = 10.4 \text{ V}$$

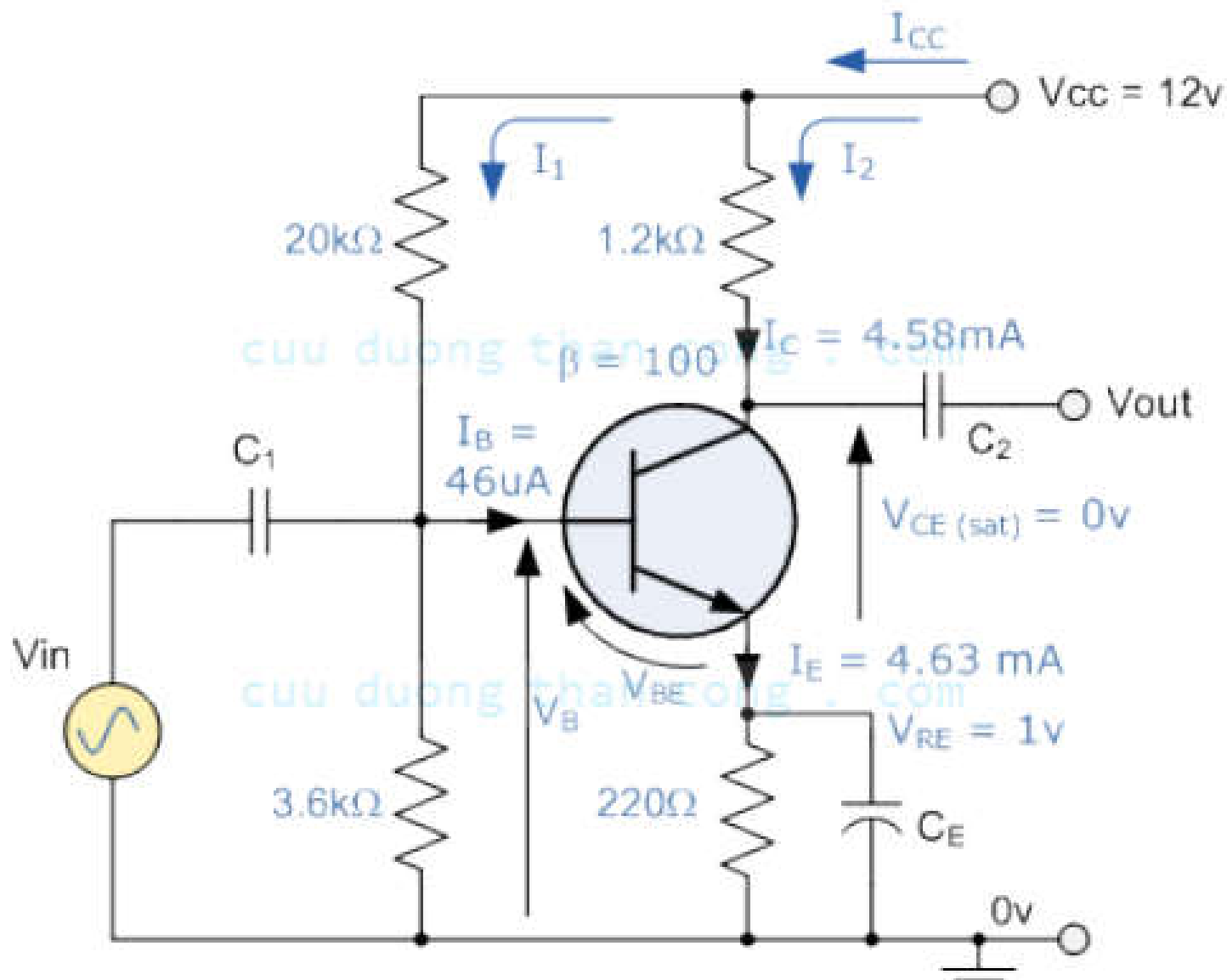
$$I_{C(p)} = \beta I_{B(p)} = 25(10 \text{ mA peak}) = 250 \text{ mA peak}$$

$$P_o(\text{ac}) = I_C^2(\text{rms}) R_C = \frac{I_{C(p)}^2}{2} R_C = \frac{(250 \times 10^{-3} \text{ A})^2}{2} (20 \Omega) = 0.625 \text{ W}$$

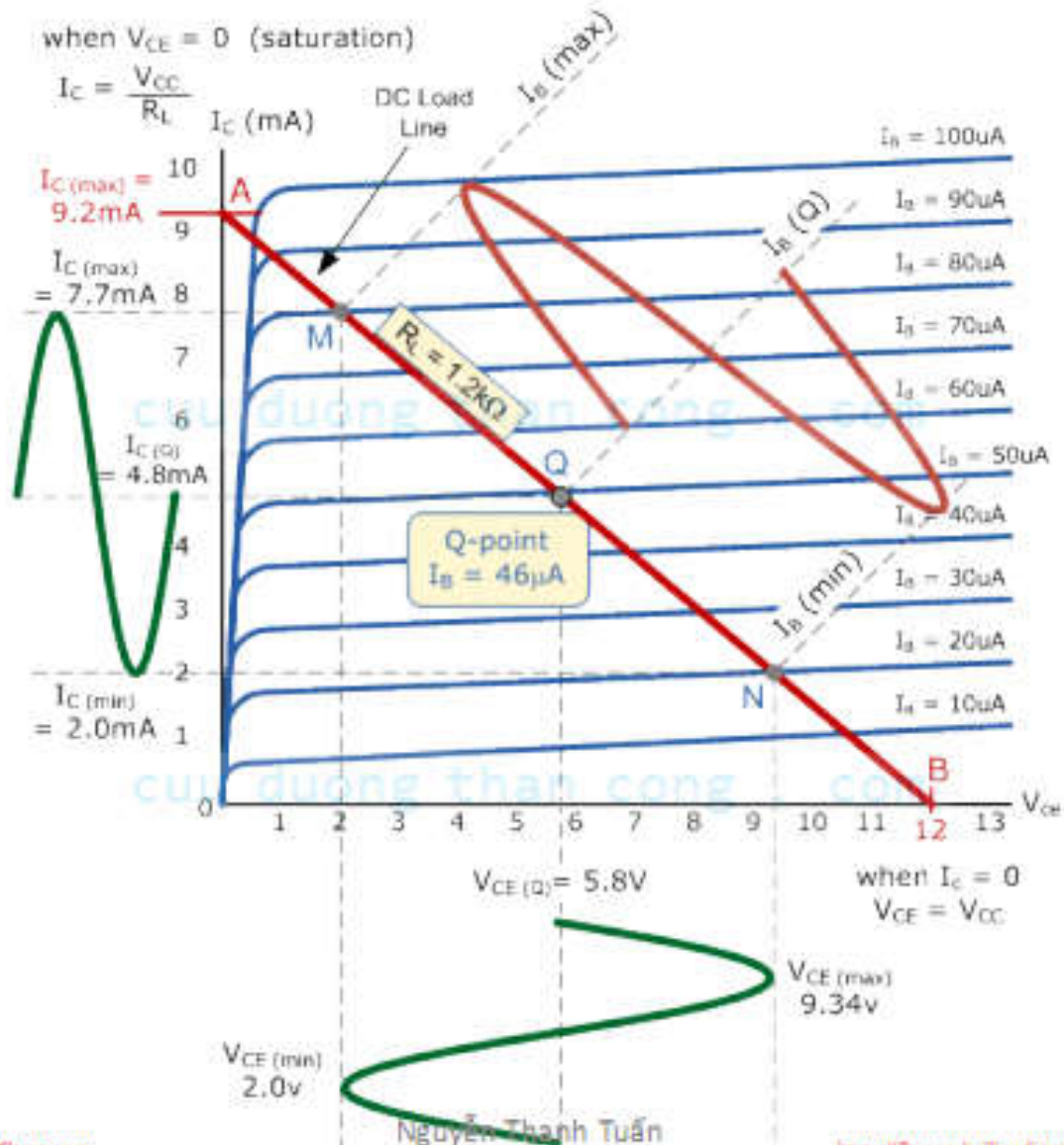
$$P_I(\text{dc}) = V_{CC} I_{C_Q} = (20 \text{ V})(0.48 \text{ A}) = 9.6 \text{ W}$$

$$\% \eta = \frac{P_o(\text{ac})}{P_I(\text{dc})} \times 100\% = \frac{0.625 \text{ W}}{9.6 \text{ W}} \times 100\% = 6.5\%$$

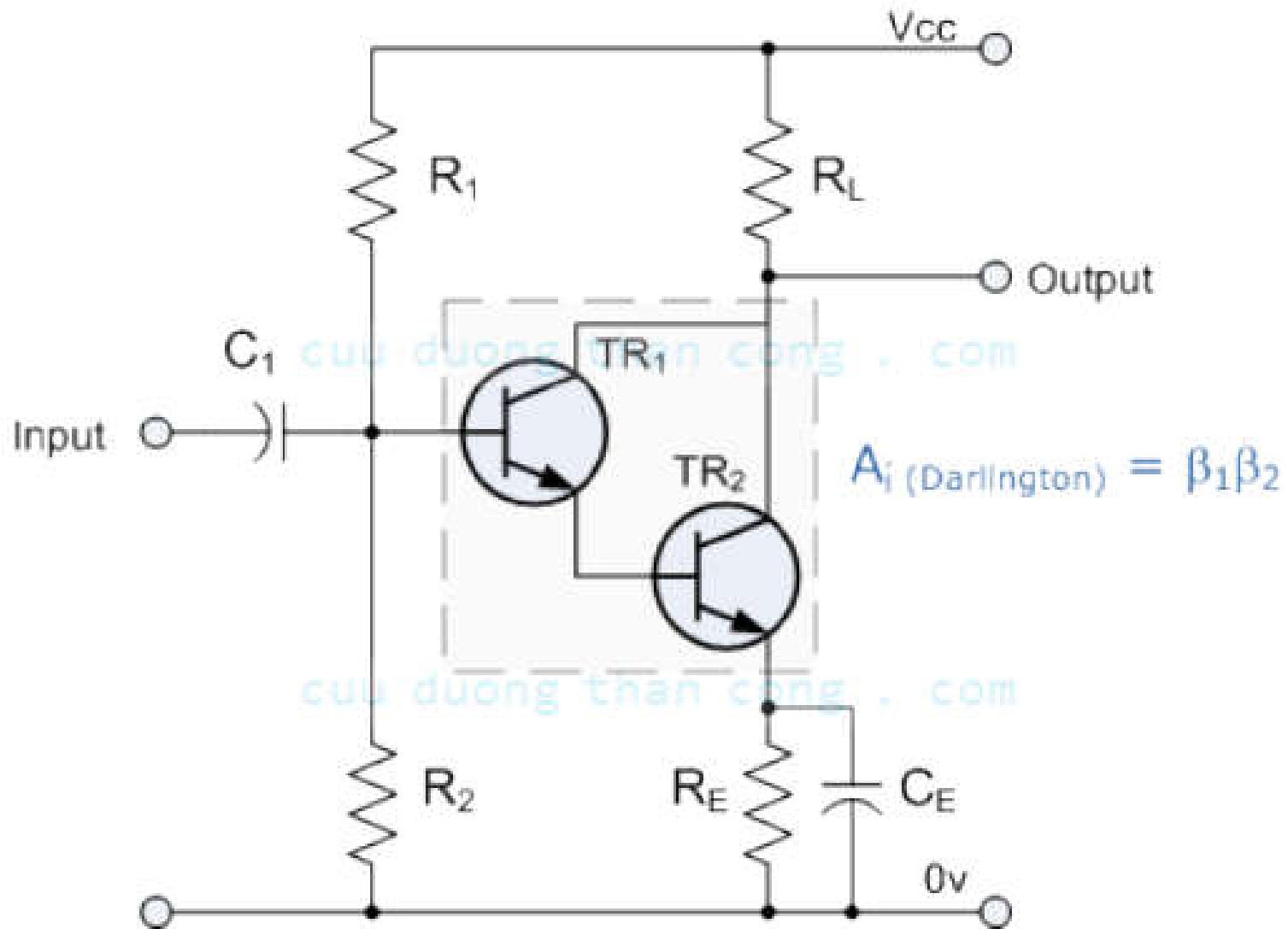
6.1 Mạch khuếch đại công suất lớp A



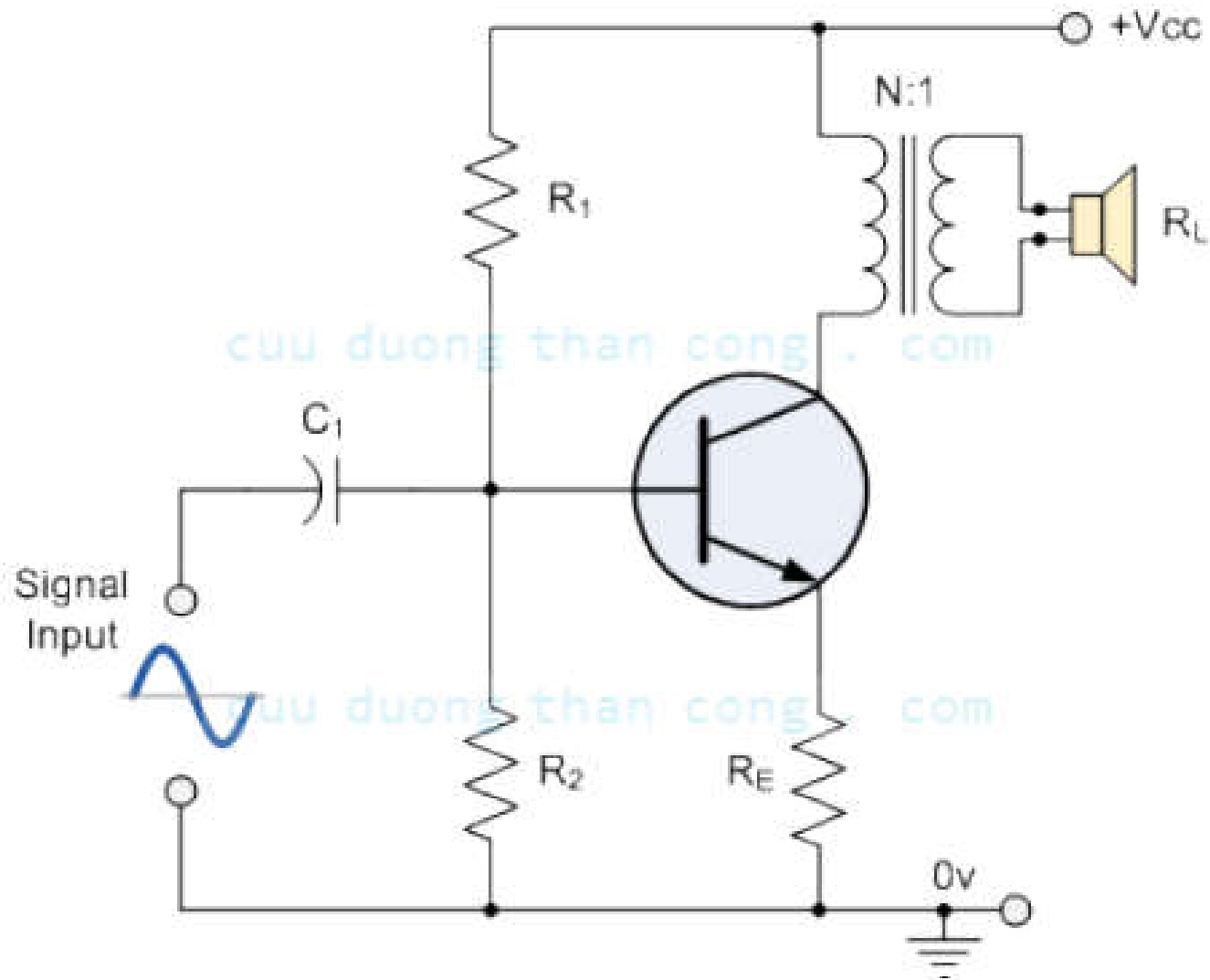
6.1 Mạch khuếch đại công suất lớp A



6.1 Mạch khuếch đại công suất lớp A



6.1 Mạch khuếch đại công suất lớp A



6.2. MẠCH KHUẾCH ĐẠI CÔNG SUẤT LỚP B

- Mạch khuếch đại ở chế độ B chỉ khuếch đại một bán chu kỳ của tín hiệu ngõ vào.

+ Ưu : hiệu suất cao : $\eta_B \leq 78,5 \%$

+ Khuyết : méo phi tuyến lớn

+ sử dụng trong các mạch khuếch đại công suất đẩy kéo



Hình 9.10

6.2. MẠCH KHUẾCH ĐẠI CÔNG SUẤT LỚP B

- Công suất cung cấp

$$P_I(\text{dc}) = V_{CC} I_{\text{dc}}$$

- I_{DC} là dòng điện trung bình cung cấp cho mạch. Do dòng tải có cả hai bán kì nên nếu gọi I_p là dòng điện đỉnh thì ta có:

$$I_{\text{dc}} = \frac{2}{\pi} I_p$$

$$P_I(\text{dc}) = V_{CC} \left(\frac{2}{\pi} I_p \right)$$

6.2. MẠCH KHUÊCH ĐẠI CÔNG SUẤT LỚP B

. Công suất ra:

Công suất ra lấy trên tải R_L có thể được tính:

$$P_{o(ac)} = \frac{v_{L(ms)}^2}{R_L}$$

Tính theo điện thế đỉnh - đỉnh:

$$P_{o(ac)} = \frac{v_{L(p-p)}^2}{8R_L}$$

Tính theo điện thế đỉnh:

$$P_{o(ac)} = \frac{v_L^2}{2R_L}$$

6.2. MẠCH KHUẾCH ĐẠI CÔNG SUẤT LỚP B

Hiệu suất:

$$\begin{aligned}\eta\% &= \frac{P_{o(ac)}}{P_{i(dc)}} \cdot 100\% \\ &= \frac{v_{L(p)}^2 / 2R_L}{V_{cc} \left[\frac{2}{\pi} \cdot I(p) \right]} \cdot 100\%\end{aligned}$$

$$\text{Vì: } I(p) = \frac{v_{L(p)}}{R_L}$$

$$\text{Nên: } \eta\% = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{v_{L(p)}}{V_{cc}} \cdot 100\%$$

Trị tối đa của $v_{L(p)}$ là V_{CC} nên hiệu suất tối đa là:

$$\eta\% (\max) = \frac{\pi}{4} \cdot 100\% = 78.54\% \quad (9.18)$$

6.2. MẠCH KHUÊCH ĐẠI CÔNG SUẤT LỚP B

- Công suất tiêu tán trong Transistor công suất

Trong hai Transistor:

$$P_{2Q} = P_I(dc) - P_o(ac)$$

Trong mỗi Transistor:

$$P_Q = \frac{P_{2Q}}{2}$$

6.2. MẠCH KHUẾCH ĐẠI CÔNG SUẤT LỚP B

- Công suất tối đa khi: $V_L(p) = V_{CC}$

$$\text{maximum } P_o(\text{ac}) = \frac{V_{CC}^2}{2R_L}$$

Khi đó dòng đỉnh là: $I(p) = \frac{V_{CC}}{R_L}$

Trị tối đa của dòng trung bình là:

$$\text{maximum } I_{dc} = \frac{2}{\pi} I(p) = \frac{2V_{CC}}{\pi R_L}$$

Trị tối đa của công suất ngõ vào là:

$$\text{maximum } P_i(\text{dc}) = V_{CC} (\text{maximum } I_{dc}) = V_{CC} \left(\frac{2V_{CC}}{\pi R_L} \right) = \frac{2V_{CC}^2}{\pi R_L}$$

6.2. MẠCH KHUẾCH ĐẠI CÔNG SUẤT LỚP B

- Hiệu suất cực đại:

$$\begin{aligned}\text{maximum \% } \eta &= \frac{P_o(\text{ac})}{P_i(\text{dc})} \times 100\% = \frac{V_{CC}^2/2R_L}{V_{CC}[(2/\pi)(V_{CC}/R_L)]} \times 100\% \\ &= \frac{\pi}{4} \times 100\% = 78.54\%\end{aligned}$$

Công suất tiêu tán tối đa khi điện thế hai đầu tải:

$$V_L(p) = 0.636V_{CC} \quad \left(= \frac{2}{\pi}V_{CC} \right)$$

Khi đó:

$$\text{maximum } P_{2Q} = \frac{2V_{CC}^2}{\pi^2 R_L}$$

6.2. MẠCH KHUÊCH ĐẠI CÔNG SUẤT LỚP B

EXAMPLE 12.8 For a class B amplifier using a supply of $V_{CC} = 30 \text{ V}$ and driving a load of 16Ω , determine the maximum input power, output power, and transistor dissipation.

Solution: The maximum output power is

$$\text{maximum } P_o(\text{ac}) = \frac{V_{CC}^2}{2R_L} = \frac{(30 \text{ V})^2}{2(16 \Omega)} = 28.125 \text{ W}$$

The maximum input power drawn from the voltage supply is

$$\text{maximum } P_i(\text{dc}) = \frac{2V_{CC}^2}{\pi R_L} = \frac{2(30 \text{ V})^2}{\pi(16 \Omega)} = 35.81 \text{ W}$$

The circuit efficiency is then

$$\text{maximum } \% \eta = \frac{P_o(\text{ac})}{P_i(\text{dc})} \times 100\% = \frac{28.125 \text{ W}}{35.81 \text{ W}} \times 100\% = 78.54\%$$

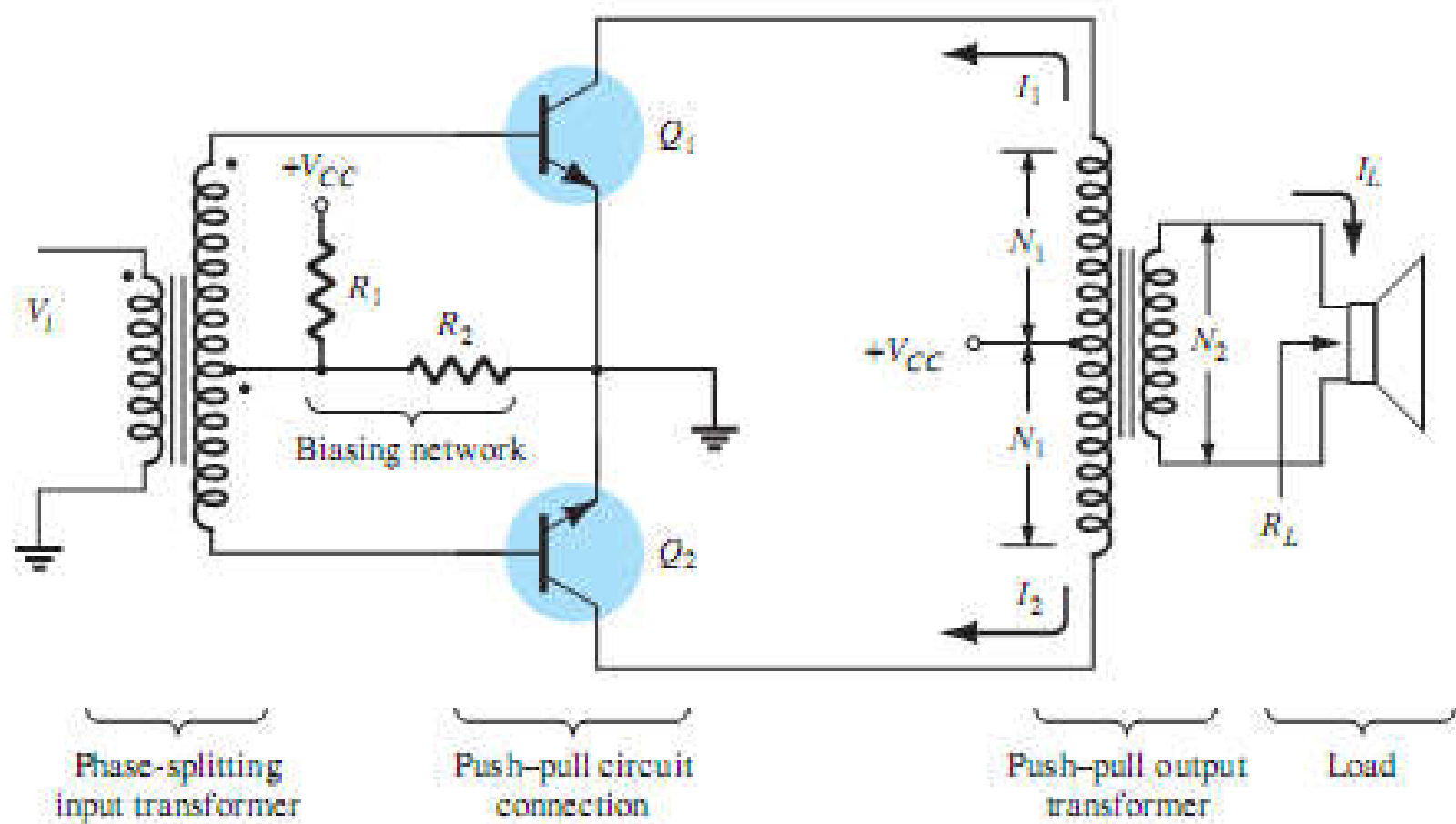
as expected. The maximum power dissipated by each transistor is

$$\text{maximum } P_Q = \frac{\text{maximum } P_{2Q}}{2} = 0.5 \left(\frac{2V_{CC}^2}{\pi^2 R_L} \right) = 0.5 \left[\frac{2(30 \text{ V})^2}{\pi^2 16 \Omega} \right] = 5.7 \text{ W}$$

Under maximum conditions a pair of transistors each handling 5.7 W at most can deliver 28.125 W to a 16- Ω load while drawing 35.81 W from the supply.

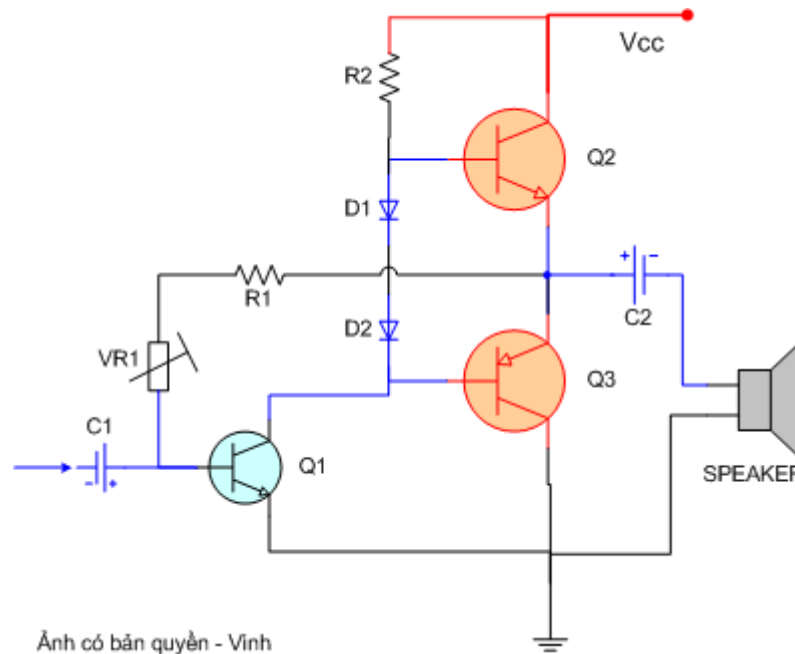
6.2. MẠCH KHUẾCH ĐẠI CÔNG SUẤT LỚP B

Mạch công suất đẩy kéo



6.2 Mạch khuếch đại công suất lớp AB

Có tính chất chuyển tiếp giữa chế độ A và B. Nó có dòng tĩnh nhỏ để tham gia vào việc giảm méo lúc tín hiệu vào có biên độ nhỏ

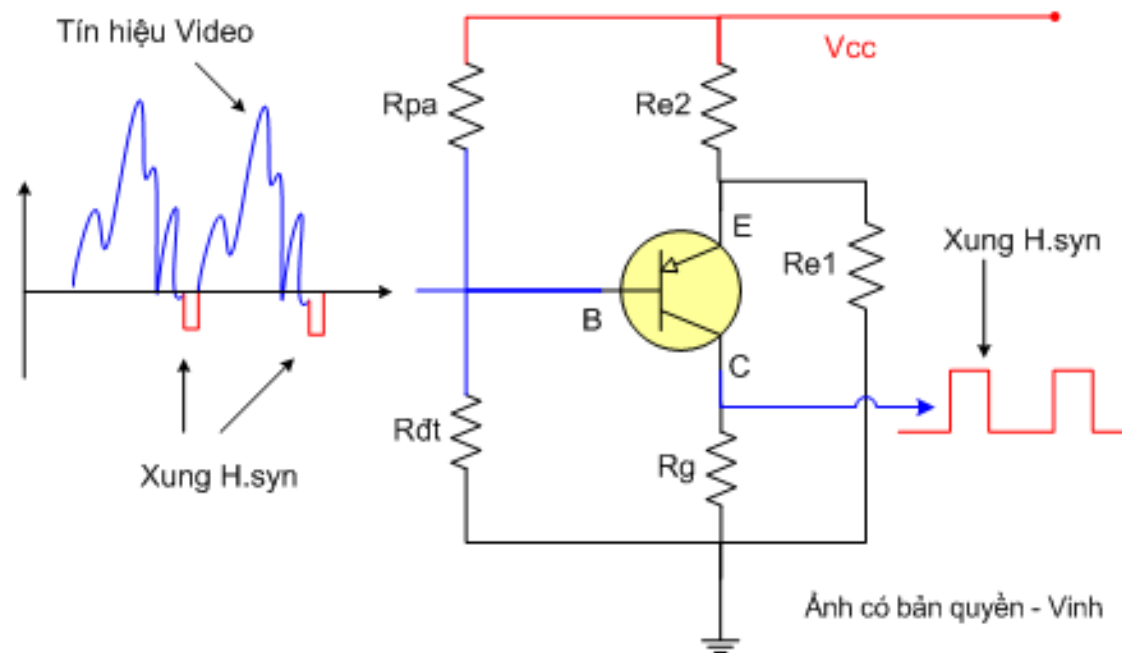


Ảnh có bản quyền - Vĩnh

6.1 Mạch khuếch đại công suất lớp C

Khuếch đại tín hiệu ra trong một phần nửa chu kỳ, nó có hiệu suất rất cao nhưng cũng méo rất lớn.

Chế độ này cũng được ứng dụng trong các mạch khuếch đại cao tần có tải là khung cộng hưởng để chọn lọc tần số mong muốn hoặc các mạch khuếch đại đẩy kéo.



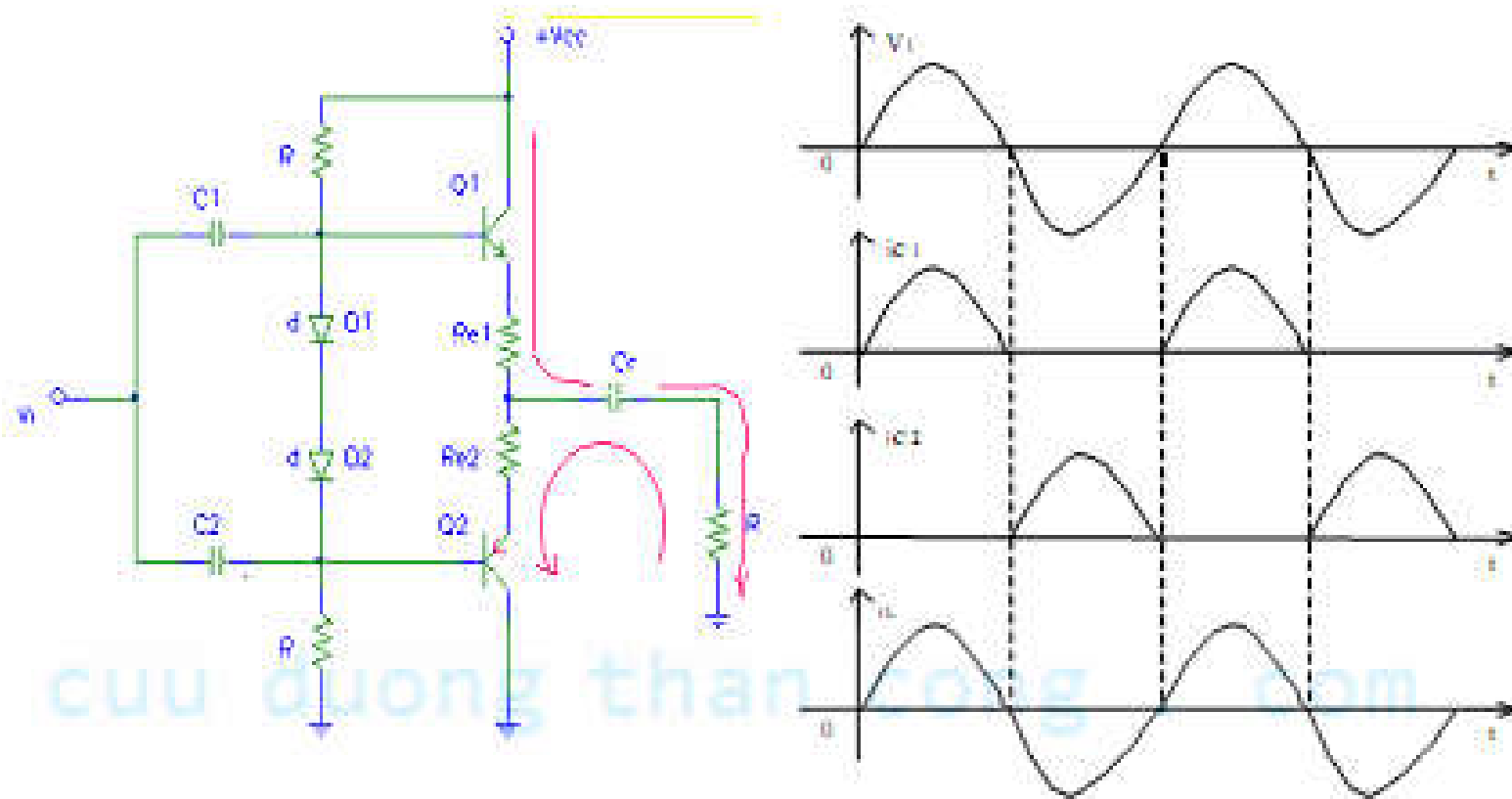
6.4. Khảo sát một số mạch công suất thông dụng

6.4.1. Mạch khuếch đại công suất OTL

6.4.2. Mạch khuếch đại công suất OCL

6.4.3. Mạch khuếch đại công suất BTL

6.4.1 Mạch khuếch đại công suất OTL



6.4.1 Mạch khuếch đại công suất OTL

* Nguyên lý hoạt động :

+ $\frac{1}{2}T > 0 \rightarrow Q_1$ dẫn : $i_{C1} \neq 0$; Q_2 tắt : $i_{C2} = 0$; i_{C1} nạp cho tụ C_c đến

giá trị $\frac{V_{CC}}{2}$ (C_c được chọn khá lớn).

+ $\frac{1}{2}T < 0 \rightarrow Q_1$ tắt : $i_{C1} = 0$; Q_2 dẫn : $i_{C2} \neq 0$ do tụ C_c phóng điện

qua Q_2 .

+ Trong cả hai nửa chu kỳ dòng i_{C1} và i_{C2} chảy ngược chiều nhau trên tải R_L nên ta có $i_L = i_{C1} - i_{C2}$ và i_L có dạng sóng sine. Do Q_1 có các tham số như Q_2 nên $I_{Cm1} = I_{Cm2}$.

* Hai diode D_1 và D_2 tạo phân cực và ổn định nhiệt độ cho Q_1 và Q_2 . R_{E1} , R_{E2} cũng để tăng độ ổn định nhiệt độ cho Q_1 , Q_2 . Q_1 , Q_2 mắc theo kiểu collector chung (mạch phát theo) để phối hợp trở kháng với tải R_L (thường có giá trị 4Ω hoặc 8Ω).

6.4.1 Mạch khuếch đại công suất OTL

- * Tần số cắt thấp phụ thuộc vào C_c được tính như sau :

$$f_1(C_c) = \frac{1}{2\pi(R_L + R_E)C_c} \quad (\text{Hz}) \quad (1)$$

- * Do có R_E nên dòng tải đỉnh là :

$$I_{pL} = I_{Lm} = \frac{V_p}{R_E + R_L} = \frac{V_{Lm}}{R_E + R_L} \quad (2)$$

- * Ở điều kiện tín hiệu cực đại (max-swing) ta có :

$$I_{Lm_{\max}} = \frac{V_{CC}}{2(R_E + R_L)} \quad (2') \quad (V_{Lm_{\max}} = \frac{V_{CC}}{2})$$

- * Giá trị trung bình của dòng cung cấp là :

$$I_{TB} = I_{STB} = \frac{V_p}{\pi(R_E + R_L)} \quad (3)$$

6.4.1 Mạch khuếch đại công suất OTL

Khi max-swing ta có : $I_{TB_{max}} = \frac{V_{CC}}{2\pi(R_E + R_L)} \quad (3')$

* Công suất cung cấp một chiều trên tải :

$$P_{CC} = P_S = V_{CC} \cdot I_{STB} = \frac{V_{CC} \cdot V_p}{\pi(R_E + R_L)} = \frac{V_{CC} \cdot V_{Lm}}{\pi(R_E + R_L)} \quad (4)$$

Khi max-swing ta có : $P_{CC_{max}} = \frac{V_{CC}^2}{2\pi(R_E + R_L)} \quad (4')$

* Công suất AC trung bình được phân phối trên tải là :

$$P_L = \frac{1}{2} I_{pL}^2 \cdot R_L = \frac{1}{2} I_{Lm}^2 \cdot R_L = \frac{V_p^2 \cdot R_L}{2(R_E + R_L)^2} \quad (5)$$

Khi max-swing ta có : $P_{L_{max}} = \frac{1}{8} \cdot \frac{V_{CC}^2 \cdot R_L}{(R_E + R_L)^2} \quad (5')$

6.4.1 Mạch khuếch đại công suất OTL

* Hiệu suất của mạch : $\eta = \frac{P_L}{P_{CC}} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{R_L}{R_E + R_L} \cdot \frac{V_p}{V_{CC}}$ (6)

Khi max-swing ta có : $V_p = \frac{V_{CC}}{2}$ nên $\eta_{\max} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{R_L}{R_E + R_L}$ (6')

Nếu $R_E = 0$ ta có : $\eta_{\max} = \frac{\pi}{4} = 0,785 = 78,5 \%$ (6*)

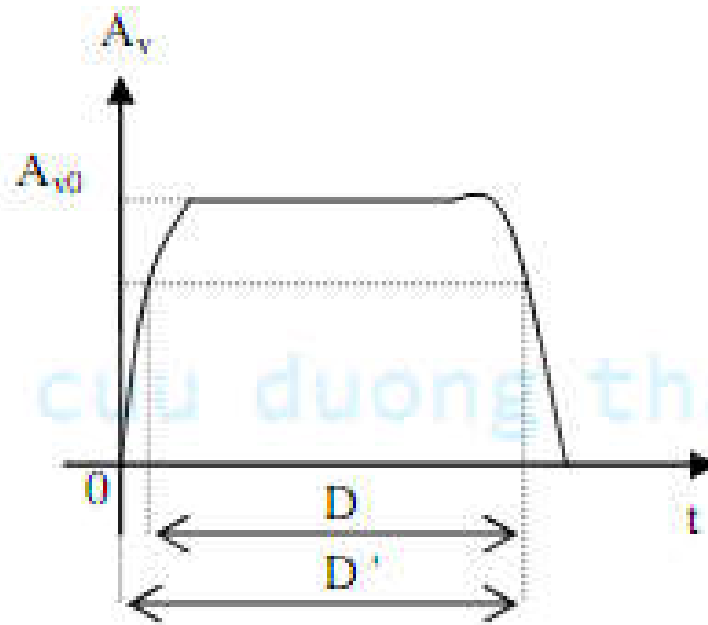
Vậy đối với bộ khuếch đại công suất âm tần đẩy kéo lớp B thì $\eta_B \leq 78,5\%$. Khi mạch làm việc ở chế độ AB để giảm méo phi tuyến thì $\eta = 60 \div 70 \%$.

* Công suất tiêu tán trên collector : $P_C = P_{CC} - P_L$ (7)

$$P_{C_{\max}} = P_{CC} \quad (7') \quad \text{khi } P_L = 0$$

* Ưu điểm của mạch OTL : tiết kiệm do chỉ dùng một nguồn cung cấp.

6.4.1 Mạch khuếch đại công suất OTL



* Khuyết điểm :

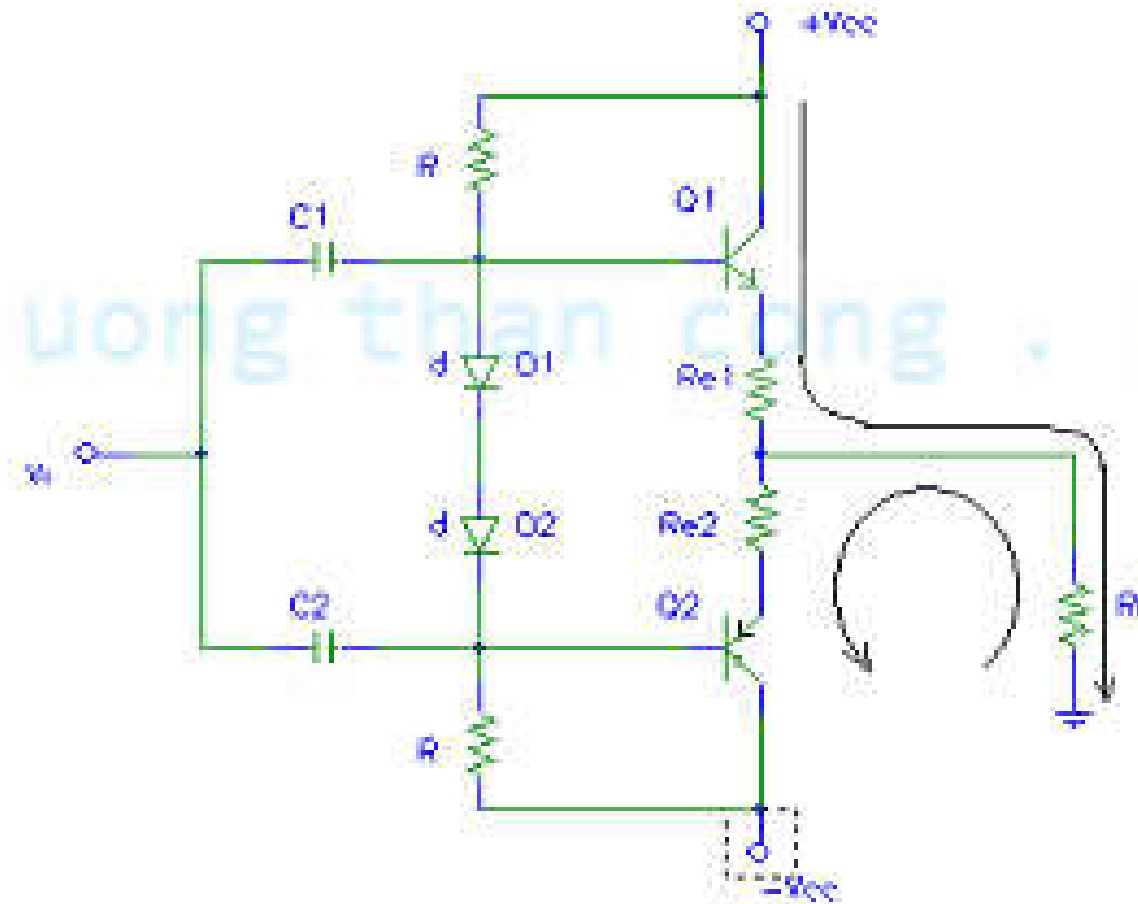
– Méo tần số thấp do tụ C_c gây ra (do C_c không thể tiến tới ∞)

– Méo phi tuyến lớn do 2 tầng Q_1, Q_2 không thật đối xứng (do V_c không phải lúc nào cũng đúng bằng $\frac{V_{cc}}{2}$).

– Băng thông bị co hẹp do tụ C_c ($D < D'$).

Để khắc phục những khuyết điểm trên ta dùng bộ khuếch đại công suất âm tần đẩy kéo kiểu OCL (không có tụ C_c).

6.4.2 Mạch khuếch đại công suất OCL



6.4.2 Mạch khuếch đại công suất OCL

Mạch OCL chỉ khác mạch OTL ở chỗ không có tụ ra C_C nên không có các khuyết điểm như mạch OTL, nhưng lại phải cần đến hai nguồn cung cấp $+V_{CC}$ và $-V_{CC}$. Nguyên lý hoạt động, dạng sóng và tác dụng của các linh kiện như D_1 , D_2 , R_{E1} , R_{E2} đều giống mạch OTL. Các công thức (2), (3), (4), (5), (6) đều đúng, chỉ khác là ở chế độ max-swing thì $V_{Lm_{max}} = V_{CC}$, nên các công thức (2'), (3'), (4'), (5'),

(6') sẽ có dạng như sau :

$$I_{pL_{max}} = I_{Lm_{max}} = \frac{V_{CC}}{R_E + R_L} \quad (2')$$

$$I_{STB_{max}} = I_{TB_{max}} = \frac{V_{CC}}{\pi(R_E + R_L)} \quad (3')$$

$$P_{CC_{max}} = \frac{V_{CC}^2}{\pi(R_E + R_L)} \quad (4')$$

$$P_{L_{max}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_{CC}^2 \cdot R_L}{(R_E + R_L)^2} \quad (5')$$

$$\eta_{max} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{R_L}{R_E + R_L} \quad (6')$$

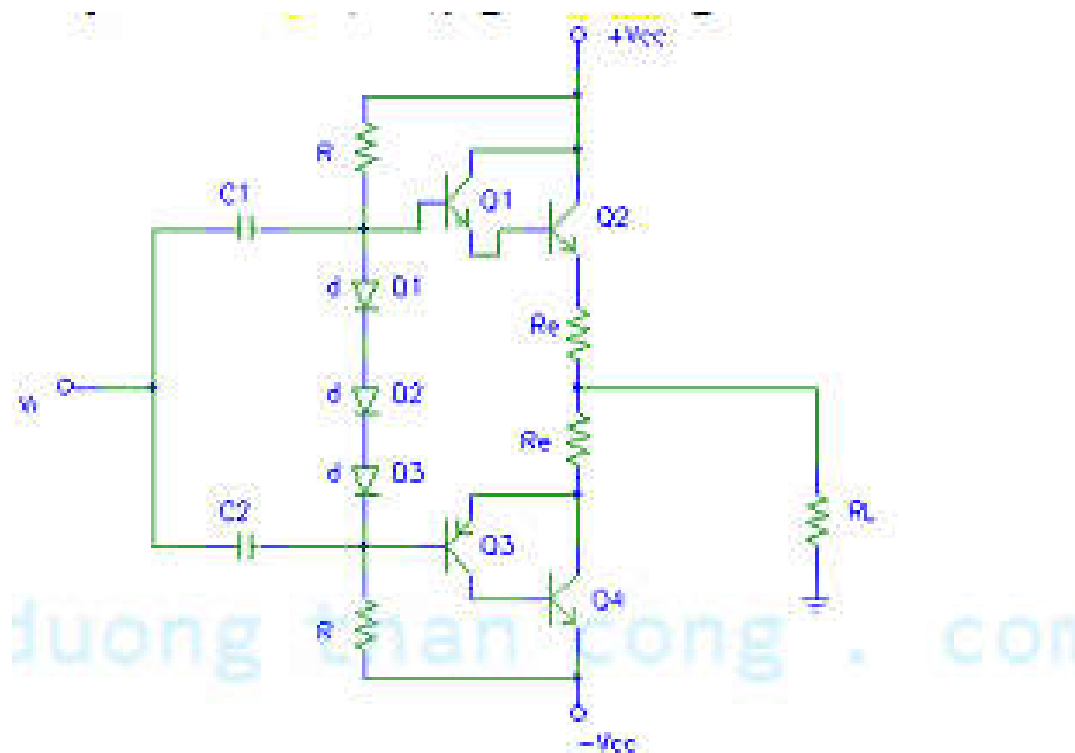
6.4.2 Mạch khuếch đại công suất OCL

Khi $P_L = 0$

$$P_{C_{\max}} = P_{CC_{\max}} \text{ và } P_{C_{\min}} = P_{CC_{\max}} - P_{L_{\max}}$$

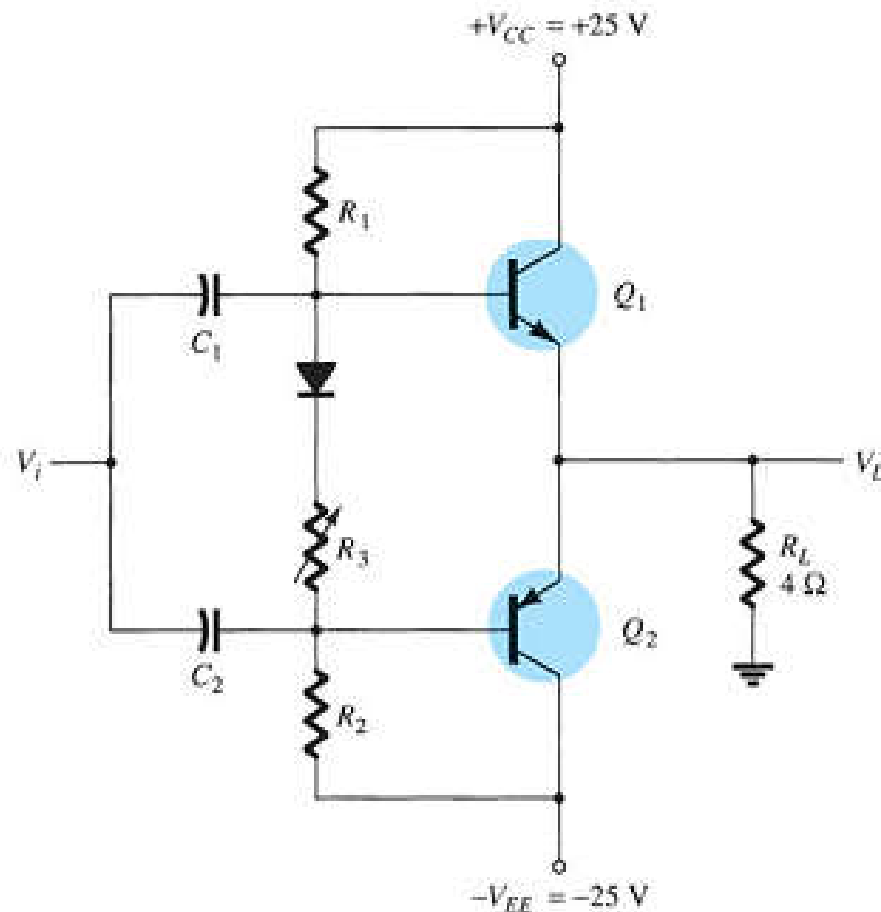
6.4.3 Mạch khuếch đại công suất BTL

* Đối với các bộ khuếch đại công suất âm tần công suất lớn, ta có thể mắc cầu các bộ khuếch đại công suất âm tần đẩy kéo lớp B OTL hoặc OCL (gọi là BTL)



Bài tập

1. Hãy tính công suất đầu vào, công suất đầu ra và công suất mỗi Transistor và hiệu suất mạch. Cho điện áp đầu vào 12 V rms.



Bài tập

$$V_I(p) = \sqrt{2} V_I(\text{rms}) = \sqrt{2} (12 \text{ V}) = 16.97 \text{ V} \approx 17 \text{ V}$$

$$V_L(p) = 17 \text{ V}$$

$$P_o(\text{ac}) = \frac{V_L^2(p)}{2R_L} = \frac{(17 \text{ V})^2}{2(4 \Omega)} = 36.125 \text{ W}$$

$$I_L(p) = \frac{V_L(p)}{R_L} = \frac{17 \text{ V}}{4 \Omega} = 4.25 \text{ A}$$

$$I_{dc} = \frac{2}{\pi} I_L(p) = \frac{2(4.25 \text{ A})}{\pi} = 2.71 \text{ A}$$

$$P_I(\text{dc}) = V_{CC} I_{dc} = (25 \text{ V})(2.71 \text{ A}) = 67.75 \text{ W}$$

$$P_Q = \frac{P_{2Q}}{2} = \frac{P_I - P_o}{2} = \frac{67.75 \text{ W} - 36.125 \text{ W}}{2} = 15.8 \text{ W}$$

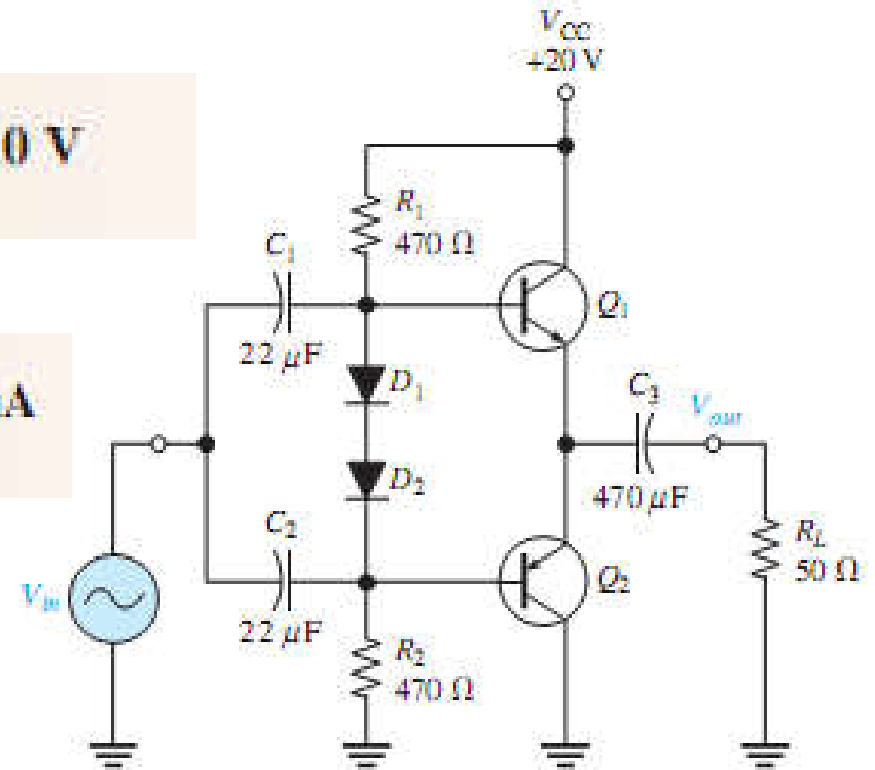
$$\% \eta = \frac{P_o}{P_I} \times 100\% = \frac{36.125 \text{ W}}{67.75 \text{ W}} \times 100\% = 53.3\%$$

Bài tập

2. Xác định điện áp đỉnh đầu ra và dòng điện đỉnh đầu ra

$$V_{out(peak)} \cong V_{CEQ} = \frac{V_{CC}}{2} = \frac{20 \text{ V}}{2} = 10 \text{ V}$$

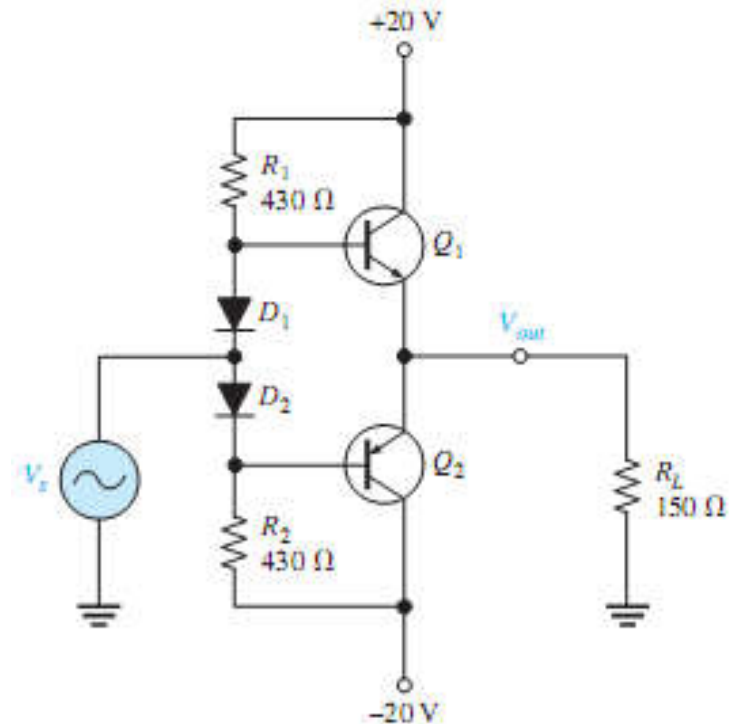
$$I_{out(peak)} \cong I_{c(sat)} = \frac{V_{CEQ}}{R_L} = \frac{10 \text{ V}}{50 \Omega} = 200 \text{ mA}$$



Bài tập

3. Xác định dòng điện đỉnh đầu ra

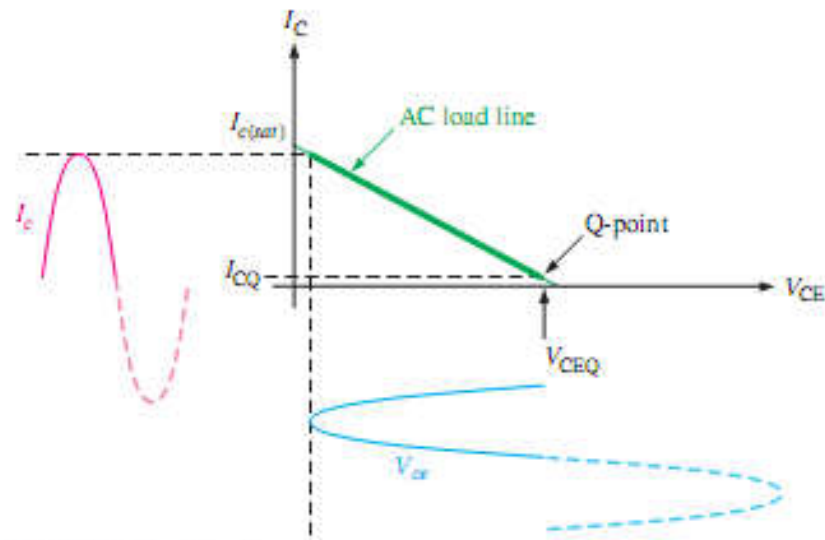
$$V_{out(peak)} \equiv V_{CEQ} \equiv V_{CC} = 20 \text{ V}$$



$$I_{out(peak)} \equiv I_{c(sat)} \equiv \frac{V_{CC}}{R_L} = \frac{20 \text{ V}}{150 \Omega} = 133 \text{ mA}$$

Bài tập

3. Xác định dòng điện đỉnh đầu ra



(a) AC load line for Q_1

$$V_{out(peak)} \cong V_{CEQ} \cong V_{CC} = 20 \text{ V}$$

