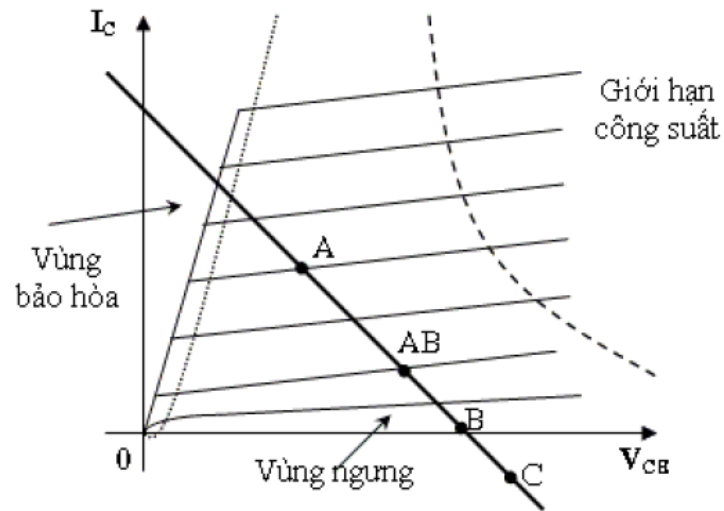


Bài 9: KHUẾCH ĐẠI CÔNG SUẤT

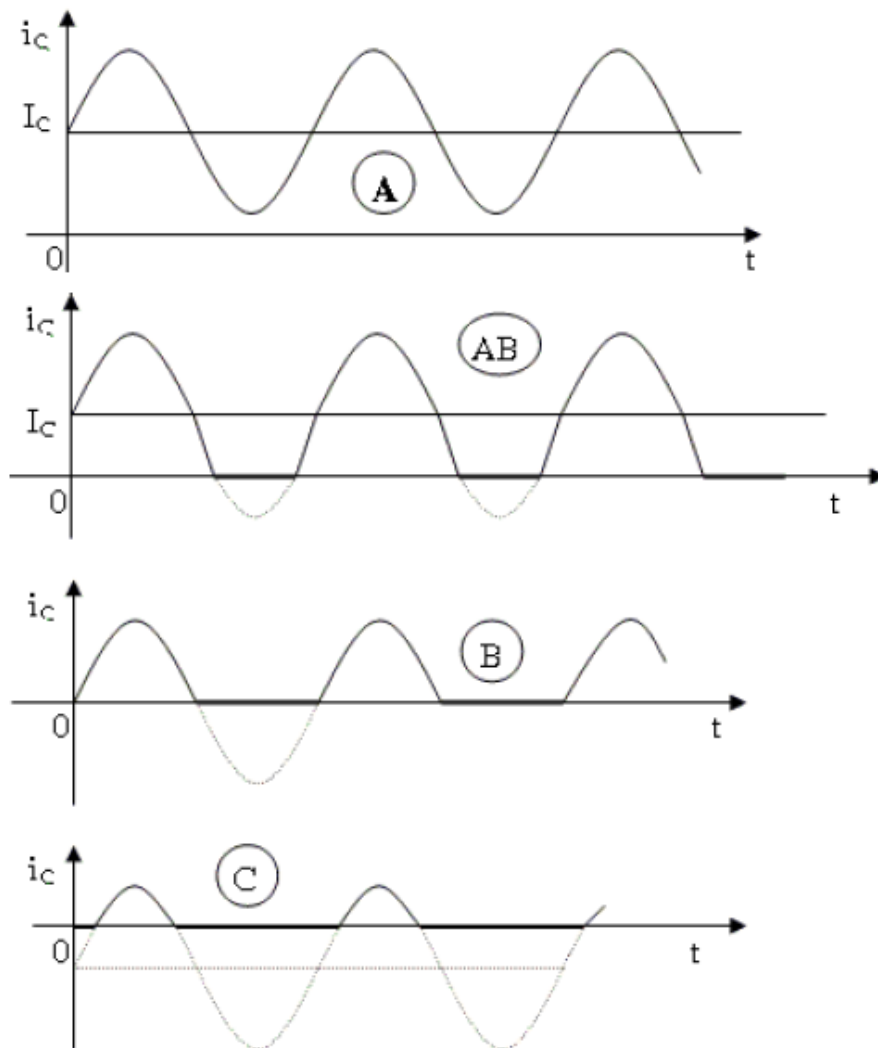
9.1 Khái niệm

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 miliwatt 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. Tùy theo chế độ làm việc của transistor, người ta thường phân mạch khuếch đại công suất ra thành các loại chính như sau:

- *Khuếch đại công suất loại A*: Tín hiệu được khuếch đại gần như tuyến tính, nghĩa là tín hiệu ngõ ra thay đổi tuyến tính trong toàn bộ chu kỳ 360° của tín hiệu ngõ vào (Transistor hoạt động cả hai bán kỳ của tín hiệu ngõ vào).
- *Khuếch đại công suất loại AB*: Transistor được phân cực ở gần vùng ngưng. Tín hiệu ngõ ra thay đổi hơn một nửa chu kỳ của tín hiệu vào (Transistor hoạt động hơn một nửa chu kỳ - dương hoặc âm - của tín hiệu ngõ vào).
- *Khuếch đại công suất loại B*: Transistor được phân cực tại $V_{BE}=0$ (vùng ngưng). Chỉ một nửa chu kỳ âm hoặc dương - của tín hiệu ngõ vào được khuếch đại.
- *Khuếch đại công suất loại C*: Transistor được phân cực trong vùng ngưng để chỉ một phần nhỏ hơn nửa chu kỳ của tín hiệu ngõ vào được khuếch đại. Mạch này thường được dùng khuếch đại công suất ở tần số cao với tải cộng hưởng và trong các ứng dụng đặc biệt.



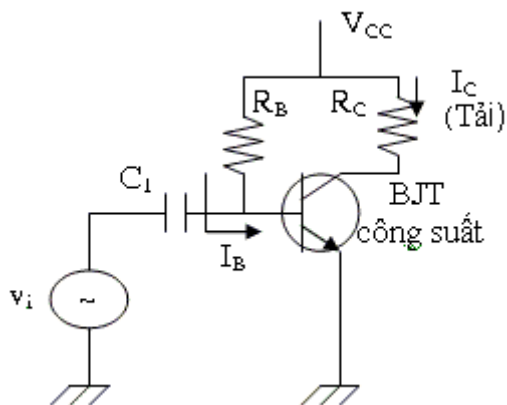
Hình 9.1: Các loại khuếch đại công suất.



Hình 9.2: Tín hiệu ra của các loại khuếch đại công suất.

9.2 Mạch khuếch đại công suất loại A

Khảo sát mạch khuếch đại công suất loại A đơn giản được trình bày trong hình sau:



Hình 9.3: Mạch khuếch đại công suất loại A

Điểm khác nhau giữa mạch này với mạch khuếch đại tín hiệu nhỏ là ngõ vào v_i có biên độ lớn (hàng trăm mV). Mạch công suất loại A ít được sử dụng do có hiệu suất kém. Chú ý hệ số β của các transistor công suất thường nhỏ hơn 100.

a) Khảo sát phân cực

Ta có:

$$I_B = \frac{V_{CC} - 0,7V}{R_B}$$

Và $I_C = \beta I_B$, $V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C$

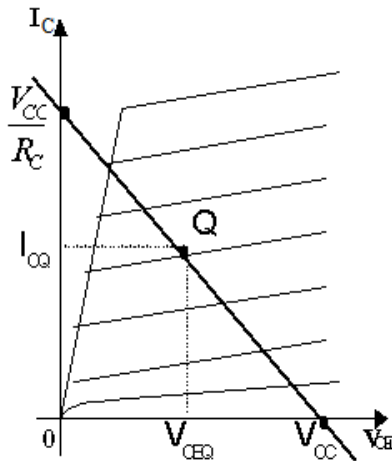
Dòng I_C có giới hạn tối đa là bằng $I_{CSat} = \frac{V_{CC}}{R_C}$

Do đó khi có tín hiệu vào, để dòng I_C có thể biến đổi lớn nhất và tốt nhất thì điểm

tĩnh điều hành Q phải được phân cực sao cho $I_{CQ} = \frac{I_{CSat}}{2} = \frac{V_{CC}}{2R_C}$, $V_{CEQ} = \frac{V_{CC}}{2}$

Đây là điểm phân cực để mạch cho hiệu suất lớn nhất.

Hình 9.4 trình bày điểm tĩnh điều hành Q.

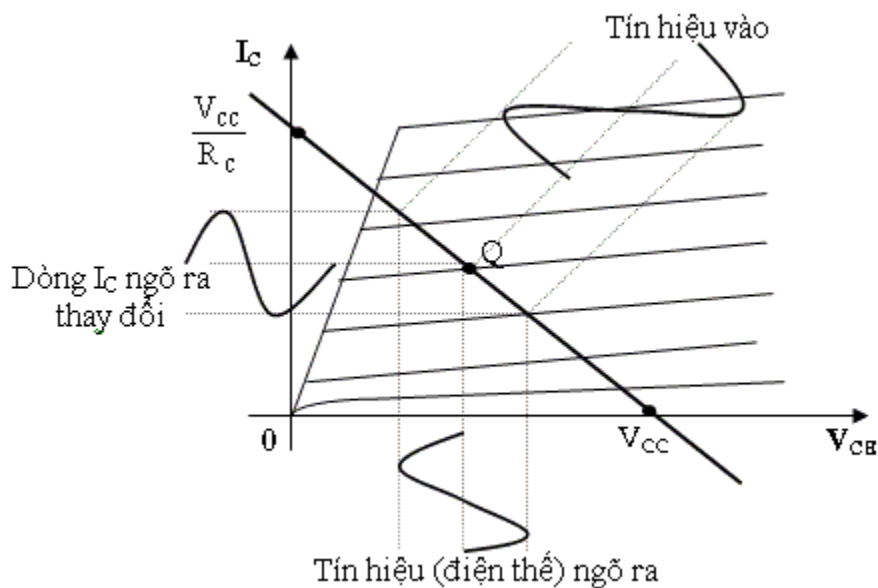


Hình 9.4: Điểm tĩnh điều hành Q

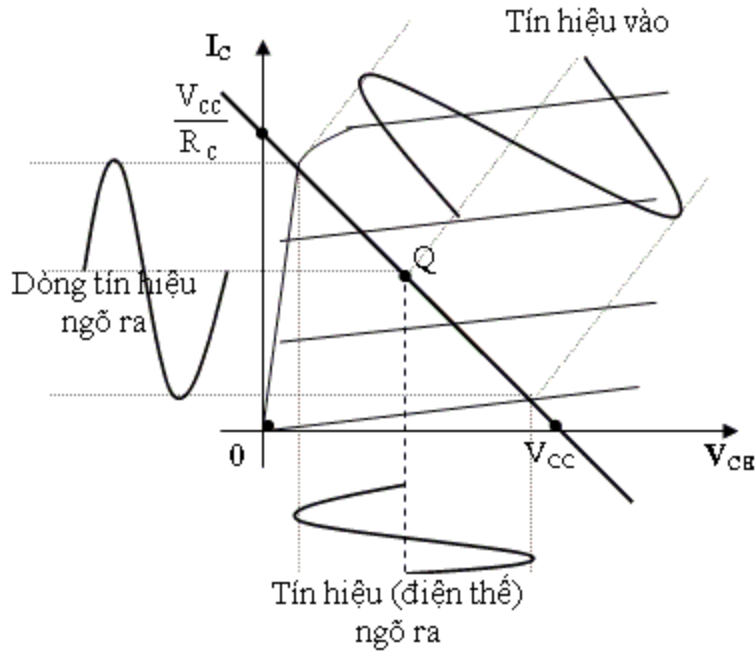
b) Khảo sát xoay chiều

Khi đưa tín hiệu v_i vào ngõ vào mạch khuếch đại công suất loại A (hình 9.3), dòng I_C và điện áp V_{CE} (tín hiệu ra) sẽ thay đổi quanh điểm điều hành Q. Với tín hiệu ngõ vào nhỏ (hình 9.5), vì dòng điện cực nền thay đổi rất ít nên dòng điện I_C và điện áp V_{CE} ở ngõ ra cũng thay đổi ít quanh điểm điều hành.

Khi tín hiệu ngõ vào lớn, ngõ ra sẽ thay đổi rất lớn quanh điểm tĩnh điều hành. Dòng I_C sẽ thay đổi quanh giới hạn từ 0mA đến V_{CC}/R_C . Điện áp V_{CE} thay đổi giữa hai giới hạn 0V và nguồn V_{CC} (hình 9.6).



Hình 9.5: Tín hiệu nhỏ



Hình 9.5: Tín hiệu lớn

c) Khảo sát công suất

Công suất cung cấp được định nghĩa:

$$P_{i(DC)} = V_{CC} \cdot I_{CQ} \quad (9.1)$$

Công suất ngõ ra lấy trên tải, trong trường hợp này là R_C , được định nghĩa:

$$P_{o(AC)} = V_{CE(rms)} \cdot I_{C(rms)} \quad (9.2)$$

Ta có:

$$V_{CE} = \frac{V_{CC}}{2} \quad \text{và} \quad V_{CC} = R_C I_C + V_{CE}$$

Suy ra:

$$V_{CE} = \frac{V_{CC}}{2} = \frac{R_C I_C + V_{CE}}{2}, \text{ rút gọn ta được: } V_{CE} = R_C I_C, \text{ hay } I_C = V_{CE}/R_C, \text{ lần}$$

lượt thay vào (9.2) ta được:

$$P_{o(AC)} = R_C \cdot I_{C(rms)}^2 \quad (9.3)$$

Hay:

$$P_{o(AC)} = \frac{V_{CE(rms)}^2}{R_C} \quad (9.4)$$

** Nếu tính theo điện thế đỉnh và dòng điện đỉnh:*

Ta có:

$$I_{C(rms)} = \frac{I_{C(p)}}{\sqrt{2}} \text{ và } V_{CE(rms)} = \frac{V_{CE(p)}}{\sqrt{2}} \quad (9.5)$$

Thay (9.5) vào (9.3) và (9.4) ta được:

$$P_{o(AC)} = \left(\frac{I_{C(p)}}{\sqrt{2}} \right)^2 \cdot R_C = \frac{I_{C(p)}^2}{2} \cdot R_C \quad (9.6)$$

Hay:

$$P_{o(AC)} = \left[\frac{V_{CE(p)}}{\sqrt{2}} \right]^2 \cdot \frac{1}{R_C} = \frac{V_{CE(p)}^2}{2R_C} \quad (9.7)$$

Hoặc:

$$P_{o(AC)} = V_{CE(rms)} \cdot I_{C(rms)} = \frac{V_{CE(p)}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_{C(p)}}{\sqrt{2}} = \frac{V_{CE(p)} \cdot I_{C(p)}}{2} \quad (9.8)$$

** Nếu tính theo điện áp và dòng điện đỉnh đối đỉnh:*

Ta có:

$$I_{C(p)} = \frac{I_{C(p-p)}}{2} \text{ và } V_{CE(p)} = \frac{V_{CE(p-p)}}{2} \quad (9.9)$$

Thay (9.9) vào (9.8) ta được:

$$P_{o(AC)} = \frac{\left[V_{CE(p-p)} / 2 \right] \left[I_{C(p-p)} / 2 \right]}{2} = \frac{V_{CE(p-p)} \cdot I_{C(p-p)}}{8} \quad (9.10)$$

Thay (9.9) vào (9.6) và (9.7) ta được:

$$P_{o(AC)} = \frac{I_{C(p-p)}^2}{8} \cdot R_C \quad (9.11)$$

Hoặc:

$$P_{o(AC)} = \frac{V_{CE(p-p)}^2}{8R_C} \quad (9.12)$$

* *Hiệu suất của mạch khuếch đại công suất:*

- Hiệu suất của mạch khuếch đại công suất được định nghĩa như sau:

$$\eta\% = \frac{P_{o(AC)}}{P_{i(DC)}} \cdot 100\% \quad (9.13)$$

- Hiệu suất tối đa:

Ta thấy trong mạch khuếch đại công suất loại A:

$$V_{CE} \text{ có thể thay đổi tối đa là } V_{CE(p-p)\max} = V_{CC} \quad (9.14)$$

$$I_C \text{ có thể thay đổi tối đa là } I_{C(p-p)\max} = V_{CC}/R_C \quad (9.15)$$

Thay (9.14) và (9.15) vào (9.10) ta được công suất tối đa là:

$$P_{o(AC)\max} = \frac{V_{CC} \cdot \frac{V_{CC}}{R_C}}{8} = \frac{V_{CC}^2}{8R_C} \quad (9.16)$$

Công suất cung cấp tối đa:

$$P_{i(DC)\max} = V_{CC} \cdot I_{C\max} \quad (9.17)$$

Mà ta có: $I_{C\max} = \frac{V_{CC}}{2R_C}$ thay vào (9.17) ta được:

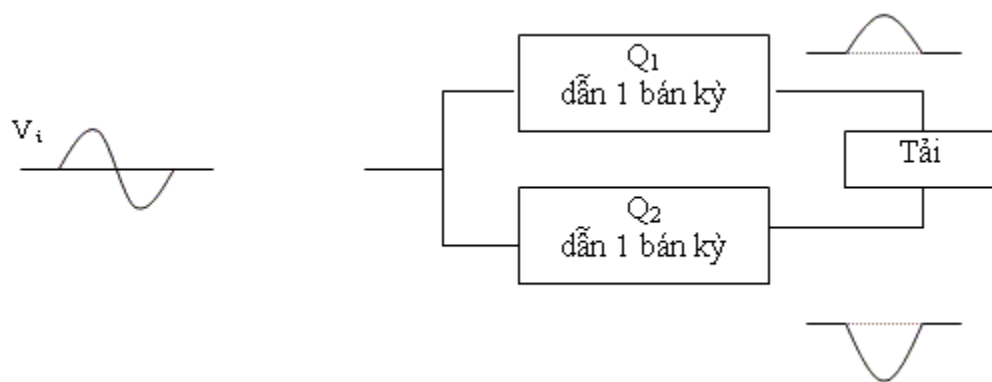
$$P_{i(DC)\max} = V_{CC} \cdot \frac{V_{CC}}{2R_C} = \frac{V_{CC}^2}{2R_C} \quad (9.18)$$

Suy ra hiệu suất tối đa của mạch là:

$$\eta\% = \frac{P_{o(AC)\max}}{P_{i(DC)\max}} \cdot 100\% = \frac{V_{CC}^2 / 8R_C}{V_{CC}^2 / 2R_C} \cdot 100\% = 25\% \quad (9.19)$$

9.3 Mạch khuếch đại công suất loại B

Trong mạch khuếch đại công suất loại B, người ta thường phân cực với $V_B=0V$ nên bình thường transistor không dẫn điện và chỉ dẫn điện khi có tín hiệu đủ lớn đưa vào. Do phân cực như thế nên transistor chỉ dẫn điện được ở một bán kỳ của tín hiệu (bán kỳ dương hay âm tùy thuộc vào transistor NPN hay PNP). Do đó muốn nhận được cả chu kỳ của tín hiệu ở ngõ ra người ta phải dùng 2 transistor, mỗi transistor dẫn điện ở một nửa chu kỳ của tín hiệu. Mạch này gọi là mạch công suất đẩy kéo (push-pull).



Hình 9.6: Mạch công suất đẩy kéo

a) Công suất cung cấp (công suất vào)

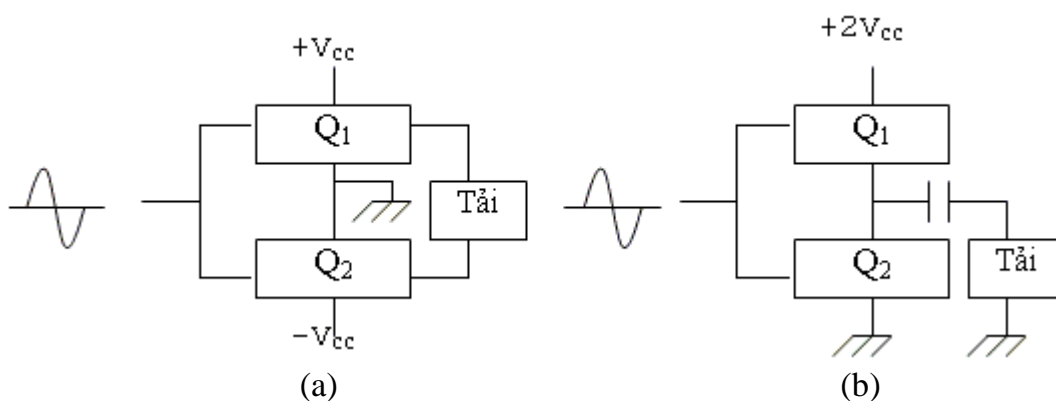
Ta có: $P_{i(DC)} = V_{CC} \cdot I_{DC}$

Trong đó I_{DC} là dòng điện trung bình cung cấp cho mạch. Do dòng tải có đủ cả hai bán kỳ nên nếu gọi $I_{(p)}$ là dòng đỉnh qua tải ta có:

$$I_{DC} = \frac{2}{\pi} I_{(p)}$$

Và

$$P_{i(DC)} = V_{CC} \cdot \left[\frac{2}{\pi} I_{(p)} \right] \quad (9.20)$$



Hình 9.7: Mạch công suất đẩy kéo (a) dùng nguồn đôi (b) dùng nguồn đơn

b) Công suất ra

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

$$P_{o(AC)} = \frac{V_{L(rms)}^2}{R_L}$$

Tính theo điện áp đỉnh:

$$P_{o(AC)} = \frac{V_{L(p)}^2}{2R_L}$$

Tính theo điện áp đỉnh-đỉnh:

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

c) Hiệu suất

$$\eta\% = \frac{P_{o(AC)}}{P_{i(DC)}} \cdot 100\% = \frac{V_{L(p)}^2 / 2R_L}{V_{CC} \left[\frac{2}{\pi} \cdot I_{(p)} \right]} \cdot 100\%$$

$$\text{Vì: } I_{(p)} = \frac{V_{L(p)}}{R_L}$$

$$\text{Nên: } \eta\% = \frac{\pi}{4} \frac{V_{L(p)}}{V_{CC}} \cdot 100\% \quad (9.21)$$

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

$$\eta\% = \frac{\pi}{4} \cdot 100\% = 78,54\% \quad (9.22)$$

d) Công suất tiêu tán trong transistor công suất

Tiêu tán trong 2 transistor:

$$P_{2Q} = P_{i(DC)} - P_{o(AC)}$$

Vậy công suất tiêu tán trong mỗi transistor công suất:

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

Công suất ra sẽ tối đa khi $V_{L(p)} = V_{CC}$

$$P_{o(AC)_{\max}} = \frac{V_{CC}^2}{2R_L}$$

Lúc đó dòng đỉnh là:

$$I_{(p)} = \frac{V_{CC}}{R_L}$$

Và trị tối đa của dòng trung bình là:

$$I_{(DC)max} = \frac{2}{\pi} I_{(p)} = \frac{2}{\pi} \frac{V_{CC}}{R_L}$$

Trị tối đa của công suất ngõ vào:

$$P_{i(DC)max} = V_{CC} \cdot I_{(DC)max}$$

Suy ra:
$$P_{i(DC)max} = V_{CC} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \frac{V_{CC}}{R_L} = \frac{2V_{CC}^2}{\pi R_L}$$

Hiệu suất tối đa của mạch công suất loại B là:

$$\eta\% = \frac{P_{o(AC)max}}{P_{i(DC)max}} \cdot 100\% = \frac{V_{CC}^2 / 2R_L}{2V_{CC}^2 / \pi R_L} \cdot 100\% = \frac{\pi}{4} \cdot 100\% = 78,54\% \quad (9.23)$$

So sánh (9.22) và (9.23) ta thấy rằng công suất tiêu tán tối đa của 2 transistor công suất không xảy ra khi công suất ngõ vào tối đa hay công suất ngõ ra tối đa.

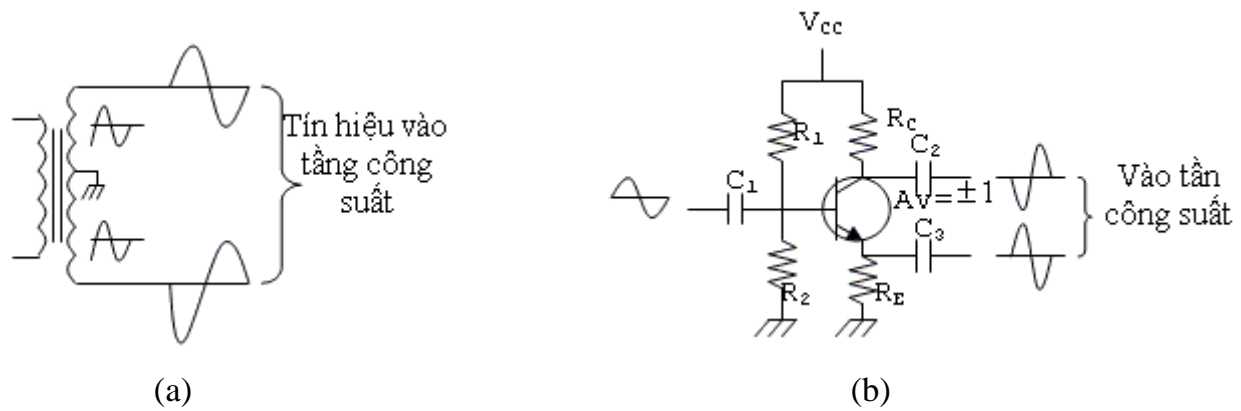
Nhận xét: ta thấy rằng hiệu suất tối đa của mạch công suất loại B (78,54%) lớn hơn so với hiệu suất tối đa của mạch công suất loại A (25%).

9.4 Dạng mạch công suất loại B

Trong phần này ta khảo sát một số dạng mạch công suất loại B thông dụng.

Tín hiệu vào có dạng hình sin sẽ cung cấp cho 2 tầng công suất khác nhau. Nếu tín hiệu vào là hai tín hiệu sin ngược pha, 2 tầng công suất giống hệt nhau được dùng, mỗi tầng hoạt động ở một bán kỳ của tín hiệu. Nếu tín hiệu vào chỉ có một tín hiệu sin, phải dùng 2 transistor công suất khác loại: một NPN hoạt động ở bán kỳ dương và một PNP hoạt động ở bán kỳ âm.

Để tạo được 2 tín hiệu ngược pha ở ngõ vào (nhưng cùng biên độ), người ta có thể dùng biến thể có điểm giữa (biến thể đảo pha), hoặc dùng transistor mắc thành mạch khuếch đại có độ lợi điện áp bằng 1 như diễn tả bằng các sơ đồ sau:

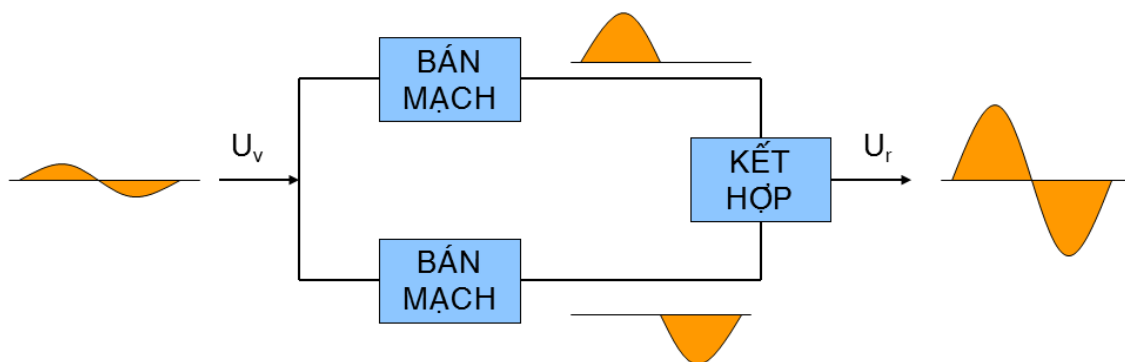


Hình 9.8: Mạch tạo 2 tín hiệu ngược pha

(a) Dùng biến thế có điểm giữa (b) dùng transistor mắc thành mạch khuếch đại

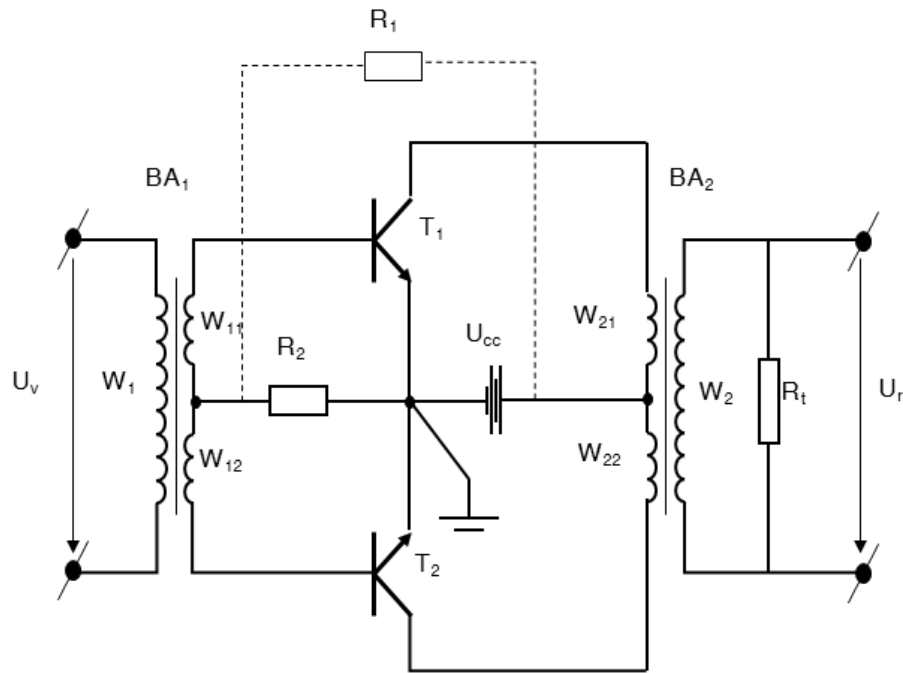
9.4.1 Mạch khuếch đại công suất đẩy kéo liên lạc bằng biến áp

Ở chế độ B, transistor sẽ điều khiển dòng điện ở mỗi nửa chu kỳ của tín hiệu. Để thu được cả chu kỳ tín hiệu ra, thì cần sử dụng 2 transistor, mỗi transistor được sử dụng ở mỗi nửa chu kỳ khác nhau của tín hiệu, sự vận hành kết hợp sẽ cho ra chu kỳ đầy đủ của tín hiệu và mạch điện trên được gọi là mạch khuếch đại công suất đẩy kéo. Sơ đồ khối của mạch khuếch đại công suất đẩy kéo được trình bày trong hình sau:



Hình 9.9: Sơ đồ khối mạch khuếch đại công suất đẩy kéo

Sơ đồ mạch khuếch đại công suất đẩy kéo song song dùng biến áp được trình bày trong hình sau. Mạch điện gồm có: 2 transistor T_1 và T_2 , 2 biến áp BA_1 và BA_2 , các điện trở R_1 , R_2 , R_t và nguồn cung cấp U_{cc} .



Hình 9.10: Sơ đồ mạch khuếch đại công suất đẩy kéo

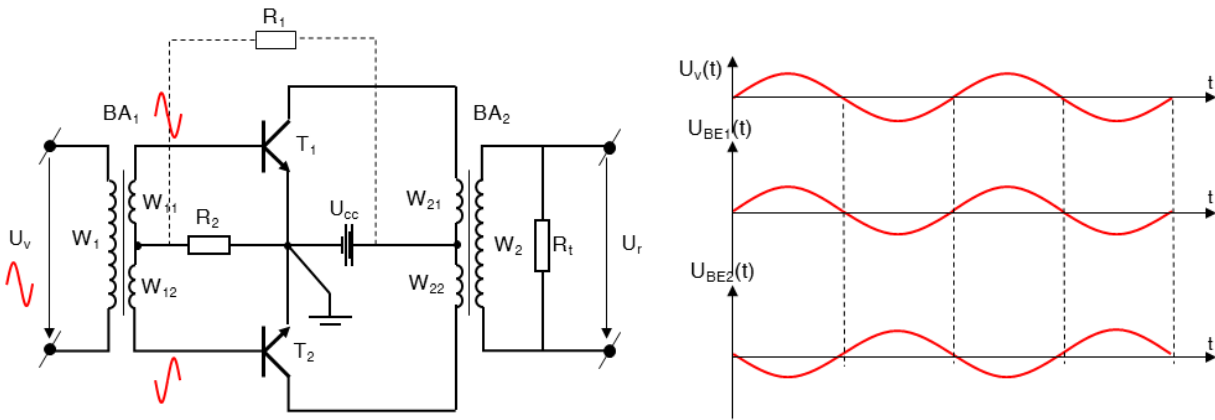
Trong đó:

- T_1 và T_2 : là hai BJT cùng loại NPN có tham số giống hệt nhau ($\beta_1 = \beta_2 = \beta$) là thành phần tích cực trong mạch, làm nhiệm vụ khuếch đại.
- Biến áp BA_1 : có hai nửa cuộn thứ cấp bằng nhau, có nhiệm vụ tạo ra hai điện áp ngược pha để kích thích cho T_1 và T_2
- Biến áp BA_2 : có hai nửa cuộn sơ cấp W_{21} và W_{22} bằng nhau: để lấy ra trên W_2 điện áp ở cả 2 nửa chu kỳ.
- R_1 và R_2 : là hai điện trở định thiên cho T_1 và T_2 , nếu mạch làm việc ở chế độ B thì chỉ cần mắc R_2
- R_t : là điện trở tải, điện áp lấy ra chính là sụt áp trên R_t
- U_{cc} : là nguồn điện cung cấp cho mạch làm việc

a) Nguyên lý hoạt động của mạch khuếch đại công suất đẩy kéo:

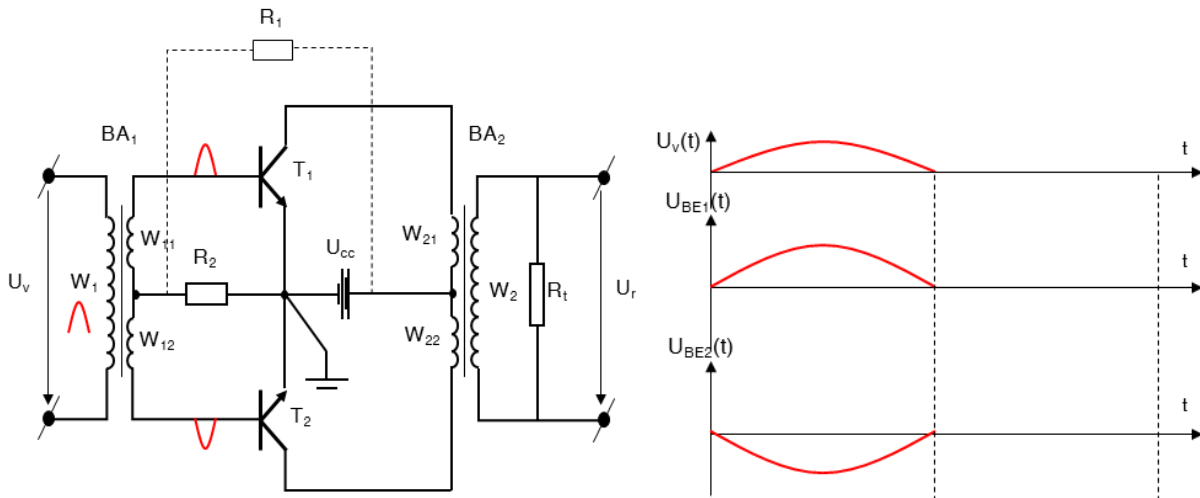
Khi không có tín hiệu vào, điện áp trên cực B của T_1, T_2 so với cực E của chúng đều bằng không (U_{BE1} và U_{BE2}), điện áp ra tải bằng không. Khi có tín hiệu vào, giả thiết

tín hiệu vào có dạng hình sin, do cách cấu tạo của biến áp BA_1 nên ở 2 cuộn thứ cấp của nó sẽ có hai nửa điện áp có biên độ bằng nhau nhưng ngược pha nhau.



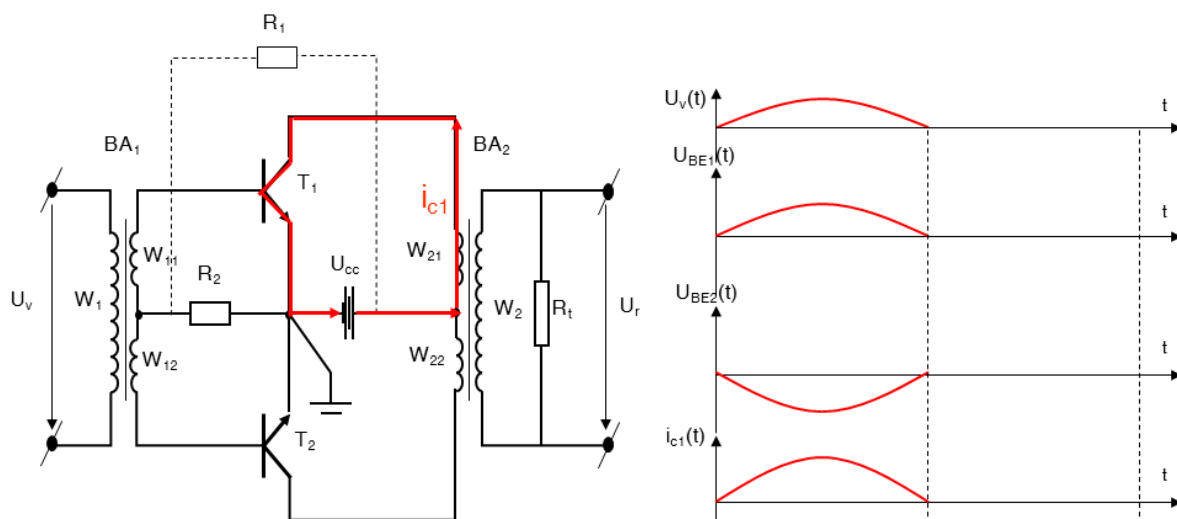
Hình 9.11

Ở nửa chu kỳ dương của tín hiệu vào, 2 cuộn thứ cấp của BA_1 sẽ có hai nửa điện áp có biên độ bằng nhau nhưng ngược pha nhau đặt vào T_1 và T_2 làm T_1 dẫn, T_2 ngưng.



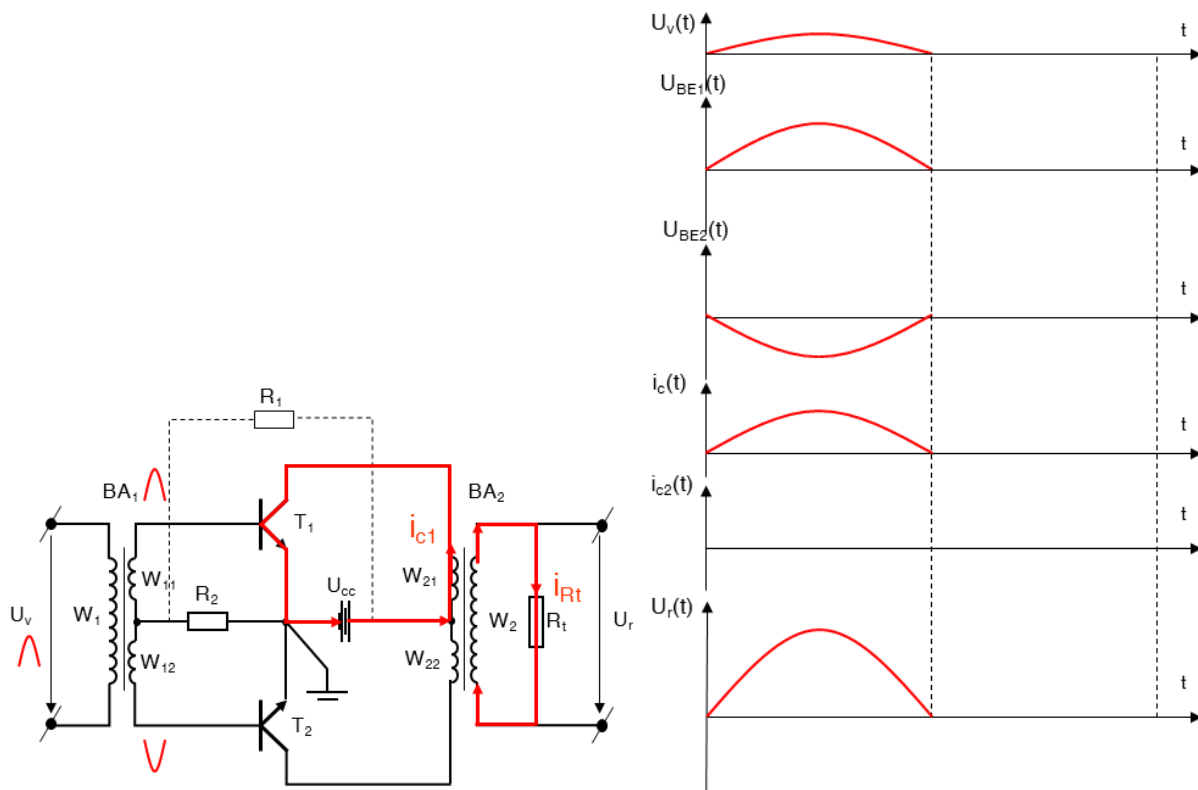
Hình 9.12

T_1 thực hiện khuếch đại công suất, trong mạch cực thu của của T_1 có dòng xoay chiều I_{C1} chạy từ : $+U_{CC} \rightarrow W_{21} \rightarrow CE$ của $T_1 \rightarrow -U_{CC}$



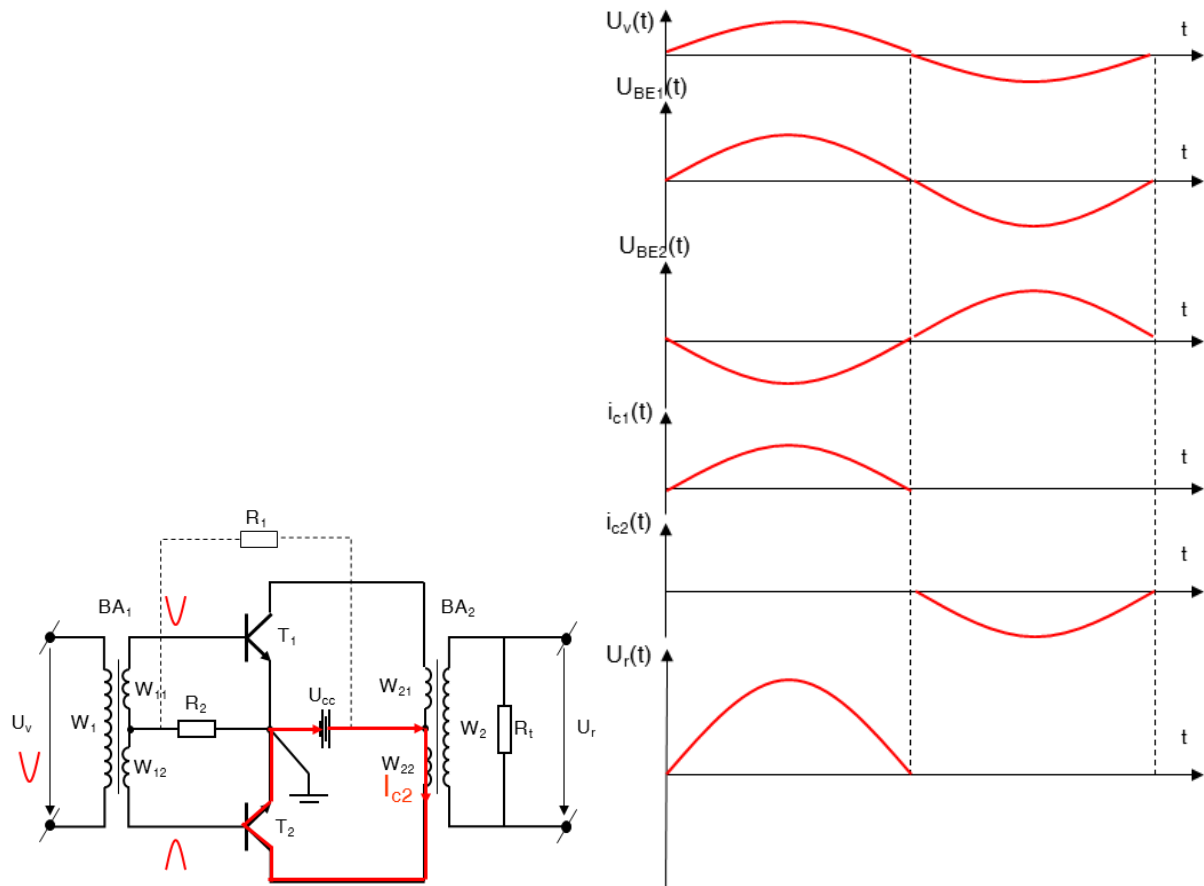
Hình 9.13

Do cấu tạo của biến áp BA_2 nên I_{C1} cảm ứng sang W_2 làm cho trên W_2 sinh ra một suất điện động cảm ứng, trên R_t có dòng điện I_{Rt} chạy qua, đầu ra ta nhận được một điện áp ở bán chu kỳ dương. Trên tải ta có nửa sóng điện áp dương.



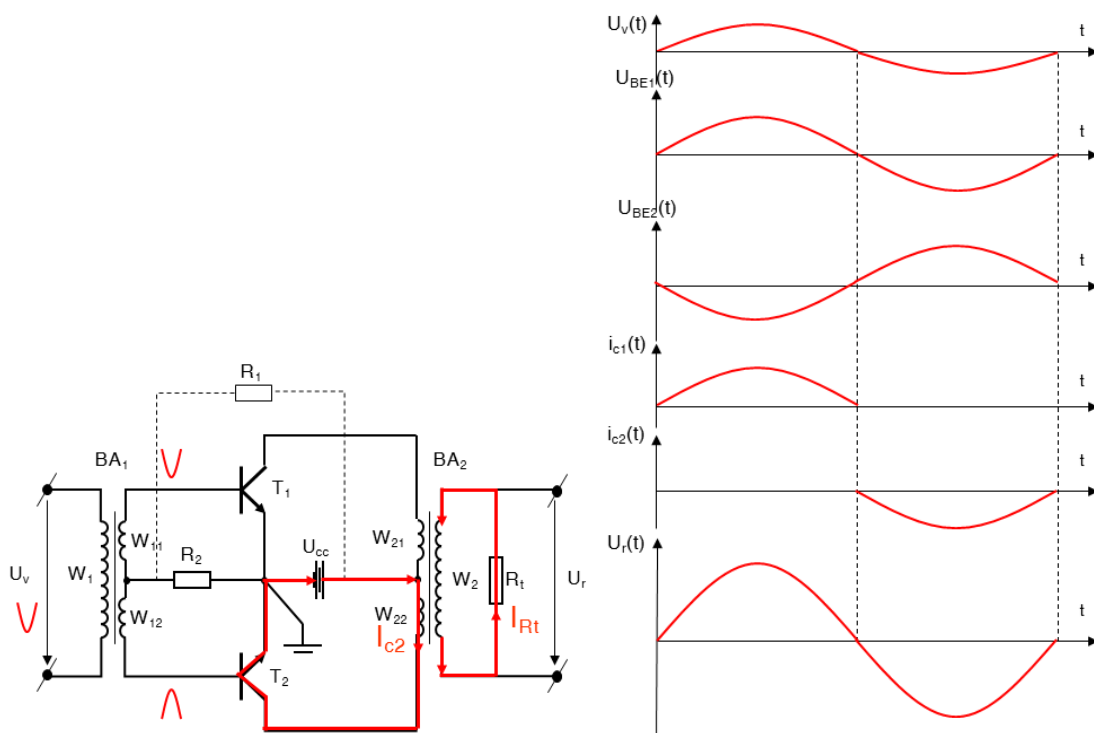
Hình 9.14

Khi tín hiệu vào ở nửa chu kỳ âm thì trên cuộn thứ cấp BA_1 điện áp đổi dấu dẫn đến T_1 ngưng, T_2 dẫn. T_2 thực hiện khuếch đại công suất, trong mạch cực thu của T_2 có dòng xoay chiều I_{C2} chạy từ : $+U_{CC} \rightarrow W_{22} \rightarrow CE$ của $T_2 \rightarrow -U_{CC}$



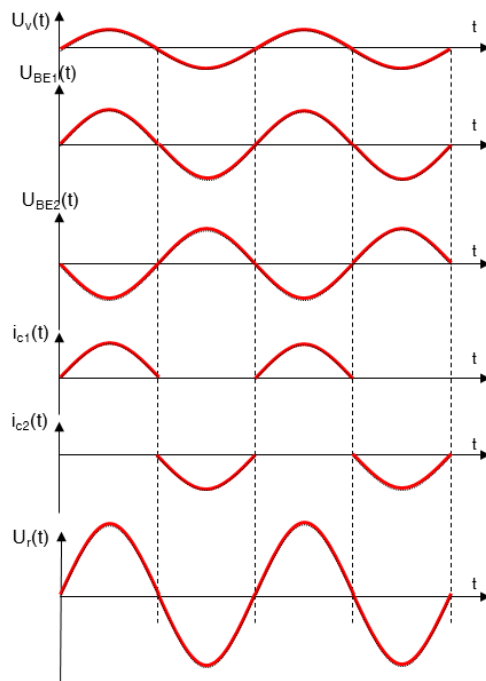
Hình 9.15

Do cấu tạo của biến áp BA_2 nên I_{C2} cảm ứng sang W_2 làm cho trên W_2 sinh ra một suất điện động cảm ứng, trên R_t có dòng chảy qua, đầu ra ta nhận được một điện áp ở bán chu kỳ âm. Trên tải ta có nửa sóng điện áp âm.



Hình 9.16

Như vậy quá trình khuếch đại được thực hiện theo hai nửa chu kỳ của tín hiệu vào, nửa chu kỳ đầu T_1 làm việc, nửa chu kỳ sau T_2 làm việc, cứ như vậy hai transistor thay nhau làm việc, trên tải ta nhận được tín hiệu có đủ chu kỳ và được khuếch đại lên K lần.



Hình 9.17

Nhận xét:

- Ưu điểm:

+ Ở chế độ tĩnh sẽ không tiêu thụ dòng do nguồn cung cấp nếu không có tổn hao trên transistor

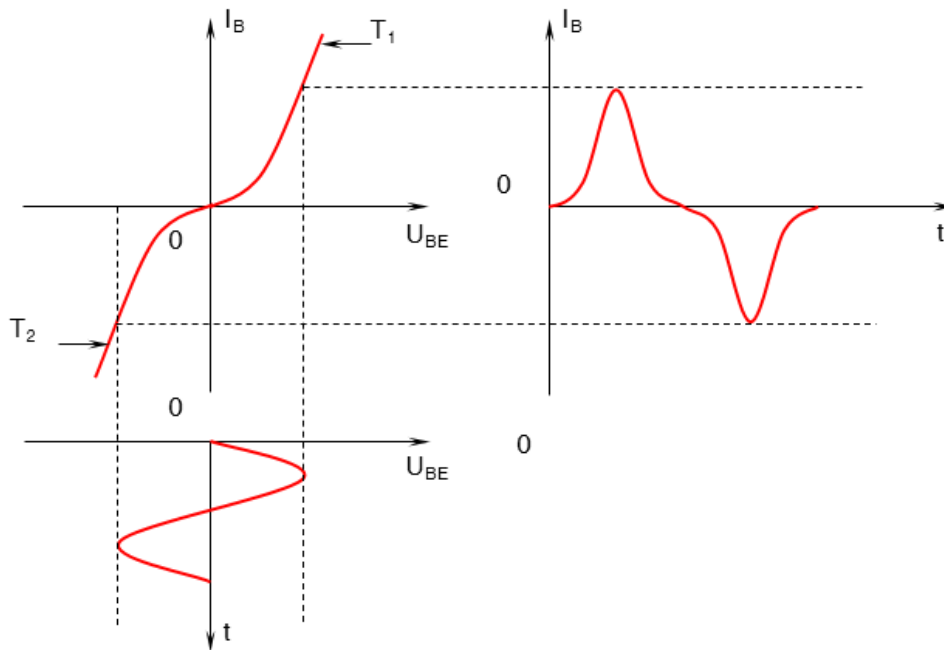
+ Hiệu suất của mạch cao ($\approx 78,5\%$)

- Khuyết điểm:

+ Dải tần hẹp, mạch công kênh, yêu cầu tính đối xứng cao, giá thành cao.

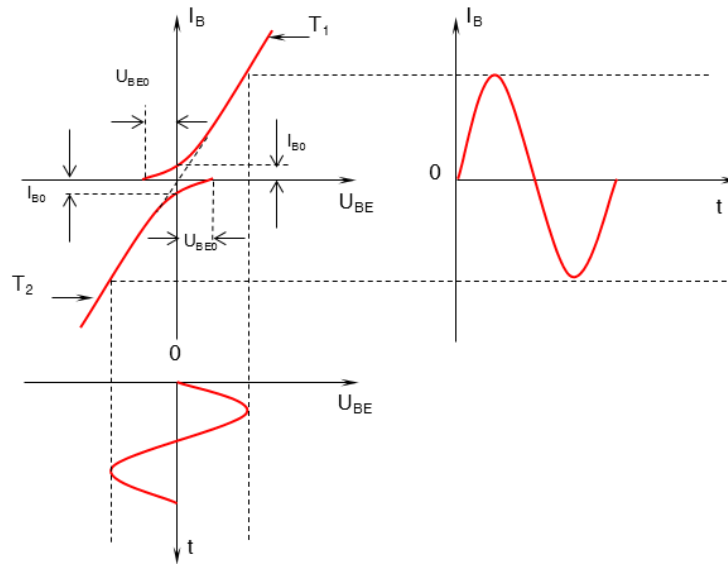
+ Méo xuyên tâm lớn khi tín hiệu vào nhỏ

Thực tế, ở chế độ A tín hiệu ngõ ra lấy được trên tải không được trọn vẹn như trên mà bị biến dạng. Lý do là khi bắt đầu một bán kỳ, transistor không dẫn điện ngay mà phải chờ khi biên độ vượt qua điện thế ngưỡng V_{BE} . Sự biến dạng này gọi là sự biến dạng xuyên tâm (cross-over).



Hình 9.18: Biến dạng xuyên tâm (ở chế độ A)

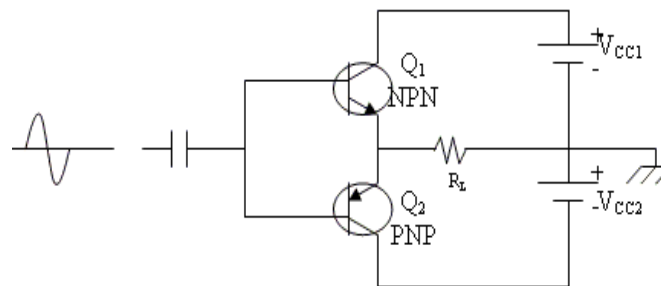
Để giảm biến dạng xuyên tâm triệt để hơn, người ta cho mạch đẩy kéo làm việc ở chế độ AB với thiên áp ban đầu được xác định bằng cặp R_1, R_2 . Khi đó đặc tuyến của mạch được biểu diễn trên hình sau.



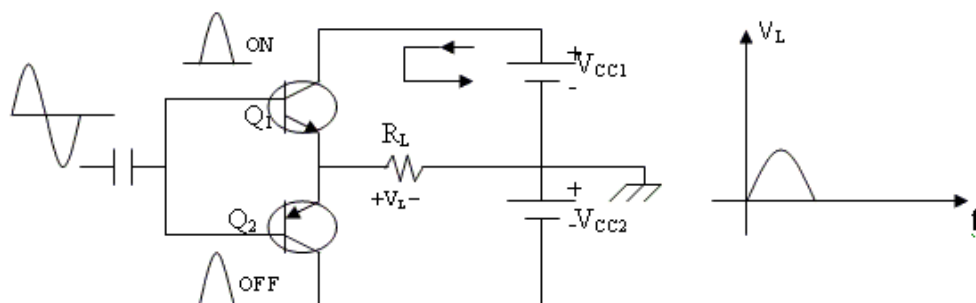
Hình 9.19: Giảm biến dạng xuyên tâm (ở chế độ AB)

9.4.2 Mạch khuếch đại công suất kiểu đối xứng-bổ túc

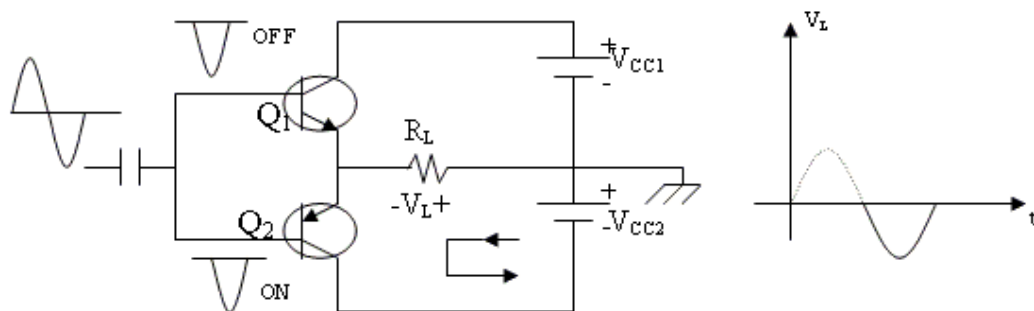
Mạch chỉ có một tín hiệu ở ngõ vào nên phải dùng hai transistor công suất khác loại: một NPN và một PNP. Khi tín hiệu áp vào cực nền của hai transistor, bán kỳ dương làm cho transistor NPN dẫn điện, bán kỳ âm làm cho transistor PNP dẫn điện. Tín hiệu nhận được trên tải là cả chu kỳ.



Hình 9.20: Mạch công suất kiểu đối xứng-bổ túc

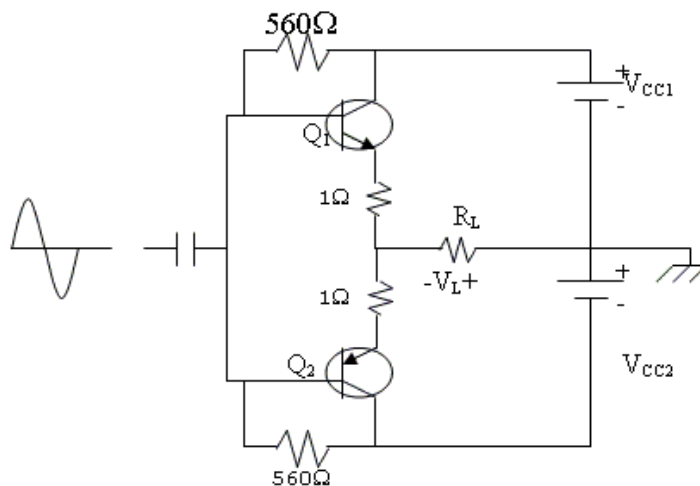


Hình 9.21: Bán kỳ dương – \$Q_1\$ dẫn, \$Q_2\$ ngưng



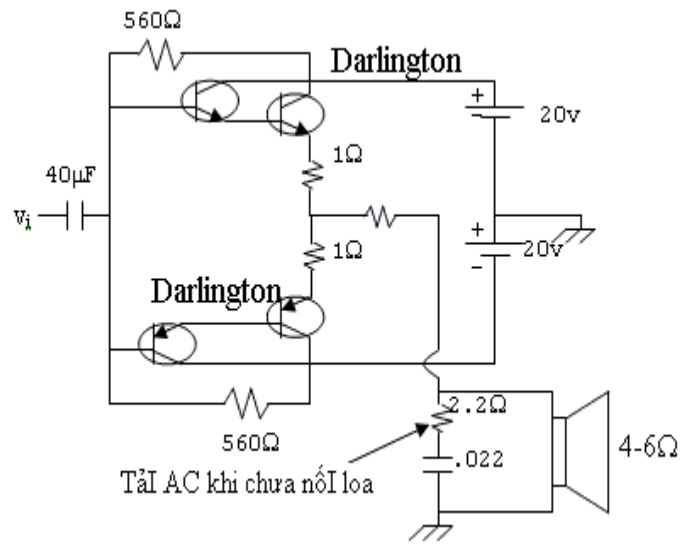
Hình 9.22: Bán kỳ âm –Q1 ngưng, Q2 dẫn

Cũng giống như mạch dùng biến thế, mạch công suất không dùng biến thế mắc như trên vẫn phải sự biến dạng cross-over do phân cực chân B bằng 0V. Để khắc phục, người ta cũng phân cực mỗi cho các chân B một điện thế nhỏ (dương đối với transistor NPN và âm đối với transistor PNP). Để ổn định nhiệt, ở 2 chân E cũng được mắc thêm hai điện trở nhỏ.



Hình 9.23: Mạch đối xứng-bổ tức loại AB

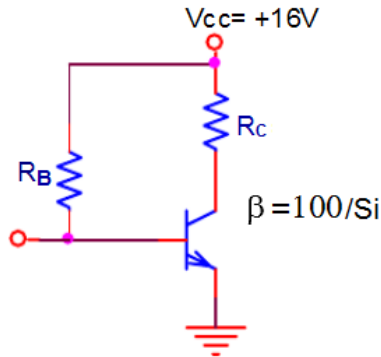
Trong thực tế, để tăng công suất của mạch, người ta thường dùng các cặp Darlington được mô tả ở hình sau.



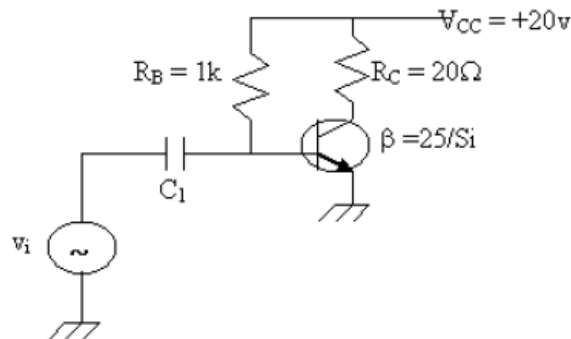
Hình 9.24: Mạch KĐCS dùng 2 cặp Darlington

Bài tập

Câu 1: Cho mạch khuếch đại công suất loại A như hình bên dưới, biết rằng tín hiệu sóng sin đỉnh–đỉnh $V_{CE(p-p)} = 8V$, $R_B = 16K\Omega$, $R_C = 80\Omega$. Xác định công suất vào, công suất ra và hiệu suất của mạch.



Câu 2: Cho mạch khuếch đại công suất loại A như hình bên dưới, biết rằng khi có tín hiệu ở ngõ vào dòng I_B sẽ dao động với biên độ đỉnh là 10mA (hay $I_{B(p)} = 10mA$). Tính công suất vào, công suất ra và hiệu suất của mạch.



Câu 3: Cho mạch khuếch đại công suất loại B, transistor ghép đẩy kéo dùng biến áp có dòng đỉnh qua tải là 4A và điện áp đỉnh ở ngõ ra mỗi transistor là 12V. Nguồn cung cấp là 24V, tỷ số vòng của biến áp 1:1. Giả sử bỏ qua các tổn hao dây quấn của các biến áp.

Hãy tìm:

- Công suất ra lấy trên tải
- Công suất trung bình được cung cấp từ nguồn DC
- Công suất tiêu tán trên mỗi transistor
- Hiệu suất của mạch trong trường hợp này
- Giả sử điện trở tải $R_L = 8\Omega$, tính công suất ra tối đa lấy trên tải