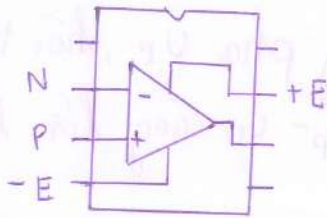


1) Sơ đồ



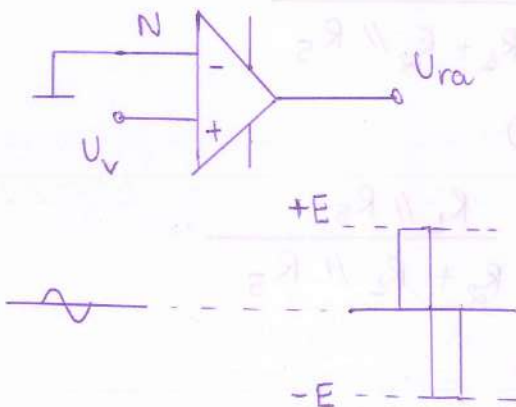
Khuếch đại thuật toán (KĐTT)

2) Chức năng

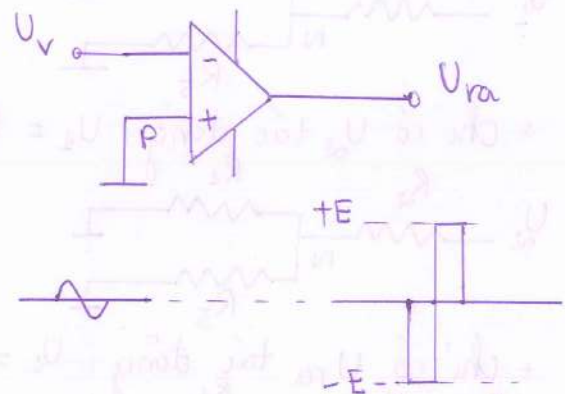
khuếch đại điện áp, từ đó thực hiện được các phép toán.

3) Các đặc điểm

- Trở kháng vào rất lớn nên không có dòng vào KĐTT
- Bản chất là khuếch đại chênh lệch điện áp giữa P và N
- $U_{ra} = K(U_P - U_N)$
- Hệ số khuếch đại K rất lớn
- Điện áp ra không được vượt quá nguồn nuôi ( $U_{ra} \leq E$ )
- Hệ quả là:  $U_P - U_N = \frac{U_{ra}}{K} \approx 0 \rightarrow U_P = U_N$
- Điện áp vào P thì ra không bị đảo
- Điện áp vào N thì ra bị đảo



Tín hiệu ra được nhân lên K lần rất lớn thành xung vuông không bị đảo

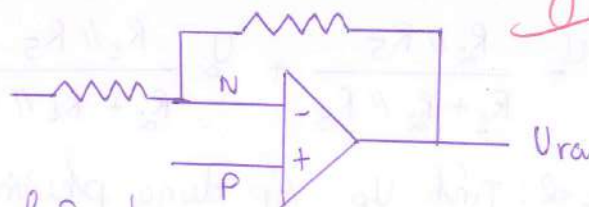


Tín hiệu ra được nhân lên K lần rất lớn thành xung vuông bị đảo

*Long Đặng*

4) Hồi tiếp âm

Bản chất của mạch hồi tiếp âm là để làm giảm sự khuếch đại, tín hiệu ra không bị vuông mà phải đồng dạng với tín hiệu vào. Giải thích:

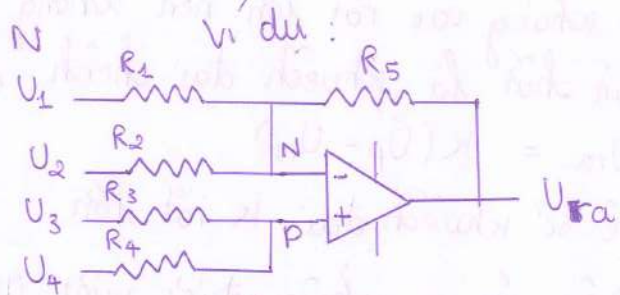


- Vì  $U_{ra}$  ngược pha  $U_N$  nên ta lấy một phần  $U_{ra}$  mắc ngược lại để triệt tiêu  $U_N$ , làm giảm độ chênh lệch  $U_P - U_N$ , từ đó làm giảm  $U_{ra}$ .
- Không thể hồi tiếp dương dưới vì  $U_{ra}$  cùng pha  $U_P$ , hồi tiếp dương làm  $U_P$  càng lớn hơn, chênh lệch  $U_P - U_N$  càng lớn làm  $U_{ra}$  càng bị vuông.

5) Cách giải các mạch KĐTT

5.1 Cách 1: Xếp chồng tại N

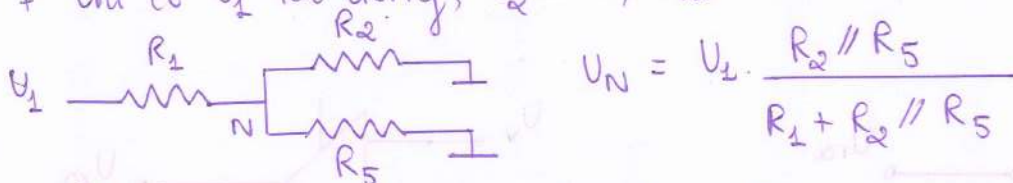
- Bước 1: Tính  $U_N$
- Bước 2: Tính  $U_P$
- Bước 3: Đặt  $U_N = U_P$
- Bước 4: Suy ra  $\frac{U_{ra}}{U_v}$



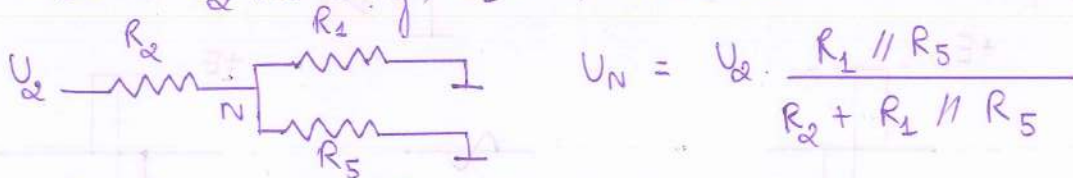
Tính  $U_{ra}$  theo  $U_1, U_2, U_3, U_4$

Bài giải: Chú ý KĐTT có  $Z_v = \infty$  nên  $I_v = 0$

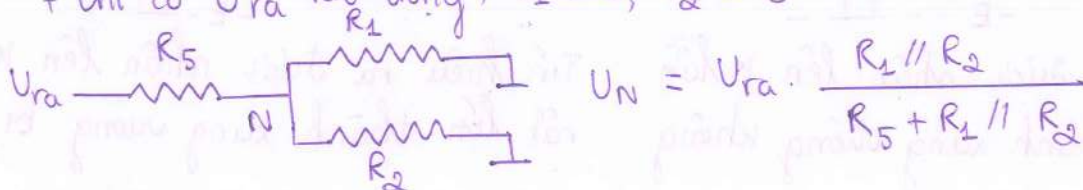
- Bước 1: Tính  $U_N$ : Áp dụng phương pháp xếp chồng  $U_1, U_2, U_{ra}$
- + chỉ có  $U_1$  tác động,  $U_2 = 0, U_{ra} = 0$



- + chỉ có  $U_2$  tác động,  $U_1 = 0, U_{ra} = 0$



- + chỉ có  $U_{ra}$  tác động,  $U_1 = 0, U_2 = 0$



+ kết hợp lại ta có:

$$U_N = U_1 \cdot \frac{R_2 \parallel R_5}{R_1 + R_2 \parallel R_5} + U_2 \cdot \frac{R_1 \parallel R_5}{R_2 + R_1 \parallel R_5} + U_{ra} \cdot \frac{R_1 \parallel R_2}{R_5 + R_1 \parallel R_2}$$

- Bước 2: Tính  $U_P$ : Áp dụng phương pháp xếp chồng  $U_3, U_4$

Long Đăng



+ Chỉ có  $U_3$  tác động,  $U_4 = 0$ :

$$U_3 \xrightarrow{R_3} P \xrightarrow{R_4} \text{---} \quad U_P = U_3 \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

+ Chỉ có  $U_4$  tác động,  $U_3 = 0$

$$U_4 \xrightarrow{R_4} P \xrightarrow{R_3} \text{---} \quad U_P = U_4 \cdot \frac{R_3}{R_3 + R_4}$$

+ kết hợp lại ta có:  $U_P = U_3 \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} + U_4 \cdot \frac{R_3}{R_3 + R_4}$

- Bước 3: Đặt  $U_P = U_N$

- Bước 4: Suy ra  $\frac{U_{ra}}{U_V}$

nên giải phương trình như sau:

$$U_1 \cdot \frac{R_2 \parallel R_5}{R_1 + R_2 \parallel R_5} + U_2 \cdot \frac{R_1 \parallel R_5}{R_2 + R_1 \parallel R_5} + U_{ra} \cdot \frac{R_1 \parallel R_2}{R_5 + R_1 \parallel R_2} = U_P$$

$$\text{Ta thấy } \frac{a \parallel b}{c + a \parallel b} = \frac{ab}{(a+b)(c + \frac{ab}{a+b})} = \frac{ab}{ab + bc + ca}$$

Áp dụng:

$$R_2 R_5 U_1 + R_1 R_5 U_2 + R_1 R_2 U_{ra} = (R_1 R_2 + R_2 R_5 + R_1 R_5) U_P$$

chia & vẽ cho  $R_1 R_2$  ta có:

$$U_{ra} = \left(1 + \frac{R_5}{R_1} + \frac{R_5}{R_2}\right) U_P - \frac{R_5}{R_1} U_1 - \frac{R_5}{R_2} U_2$$

Thay  $U_P = \frac{U_3 R_4 + U_4 R_3}{R_3 + R_4}$  ta có:

$$U_{ra} = \left(1 + \frac{R_5}{R_1} + \frac{R_5}{R_2}\right) \left(\frac{U_3 R_4 + U_4 R_3}{R_3 + R_4}\right) - \frac{R_5}{R_1} U_1 - \frac{R_5}{R_2} U_2$$

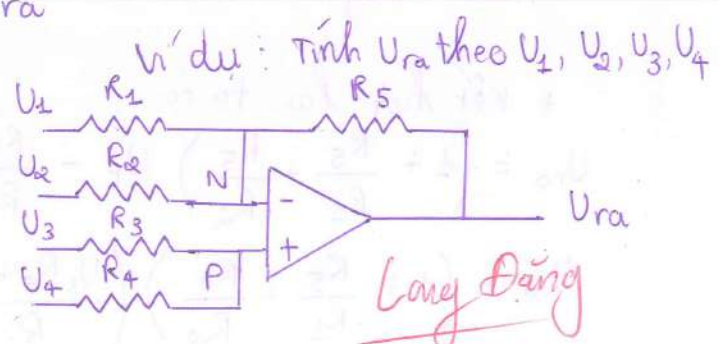
Như vậy ta đã tính được  $U_{ra}$  theo  $U_1, U_2, U_3, U_4$

5.2 Cách 2: Xếp chồng tại đầu ra

- Bước 1: Tính  $U_P$

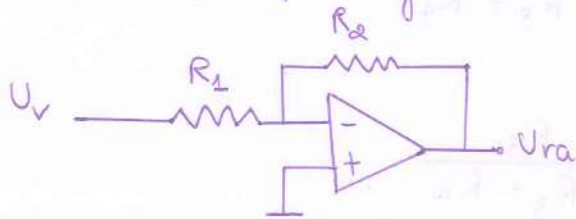
- Bước 2: Áp dụng kết quả của mạch khuếch đại đảo, không đảo

- Bước 3: Tính  $U_{ra}$

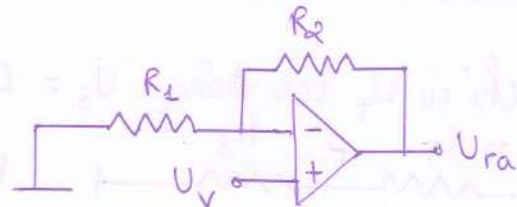


- Bước 1: Tính  $U_p$ : Như cách 1 ta có  $U_p = \frac{U_3 R_4 + U_4 R_3}{R_3 + R_4}$

- Bước 2: Áp dụng kết quả của mạch khuếch đại đảo, không đảo

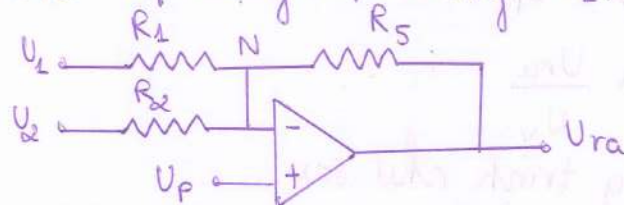


Đảo:  $\frac{U_{ra}}{U_v} = -\frac{R_2}{R_1}$

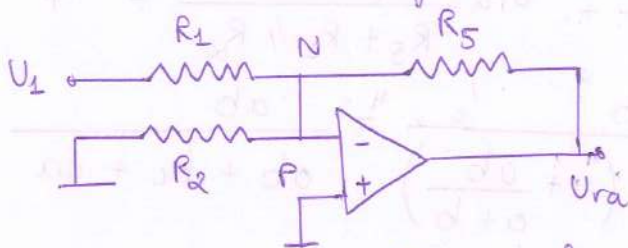


không đảo:  $\frac{U_{ra}}{U_v} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$

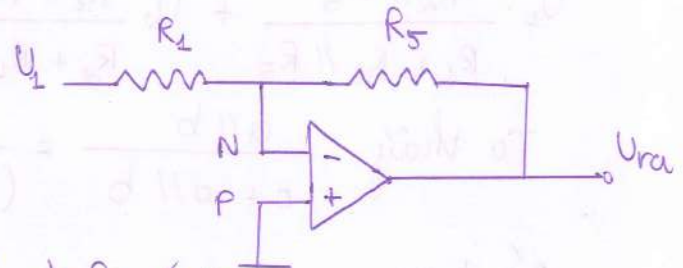
- Bước 3: Tính  $U_{ra}$ : Áp dụng xếp chồng  $U_1, U_2, U_p$



+ chỉ có  $U_1$  tác động,  $U_2 = 0, U_p = 0$



$\Leftrightarrow$



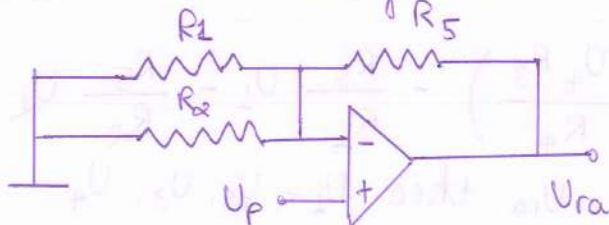
vì  $U_N = U_p = 0$  nên coi như mạch không có  $R_2$

Mạch này là mạch khuếch đại đảo nên  $\frac{U_{ra}}{U_1} = -\frac{R_5}{R_1}$

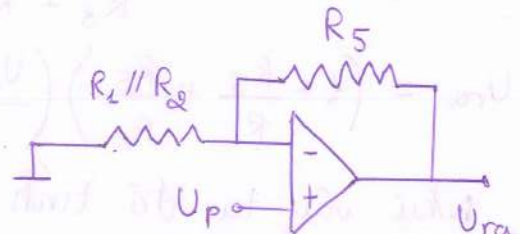
+ chỉ có  $U_2$  tác động,  $U_1 = 0, U_p = 0$

Tương tự ta có:  $\frac{U_{ra}}{U_2} = -\frac{R_5}{R_2}$

+ chỉ có  $U_p$  tác động,  $U_1 = 0, U_2 = 0$



$\Leftrightarrow$



Mạch này là mạch khuếch đại không đảo nên  $\frac{U_{ra}}{U_p} = 1 + \frac{R_5}{R_1 // R_2}$

+ kết hợp lại ta có:

$$U_{ra} = \left(1 + \frac{R_5}{R_1} + \frac{R_5}{R_2}\right) U_p - \frac{R_5}{R_1} U_1 - \frac{R_5}{R_2} U_2$$

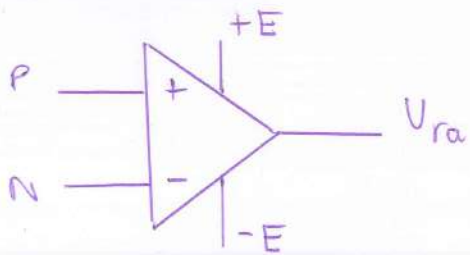
$$U_{ra} = \left(1 + \frac{R_5}{R_1} + \frac{R_5}{R_2}\right) \left(\frac{U_3 R_4 + U_4 R_3}{R_3 + R_4}\right) - \frac{R_5}{R_1} U_1 - \frac{R_5}{R_2} U_2$$

Long Đăng



## Mạch so sánh sử dụng khuếch đại thuật toán

1) Bản chất: KĐTT khuếch đại điện áp chênh lệch giữa  $U_P$  và  $U_N$



$U_{ra} = K(U_P - U_N)$  với  $K \approx 10^6$   
Tuy  $K$  rất lớn nhưng  $|U_{ra}| \leq E$  vì điện áp ra không thể vượt quá nguồn cung cấp cho nó được

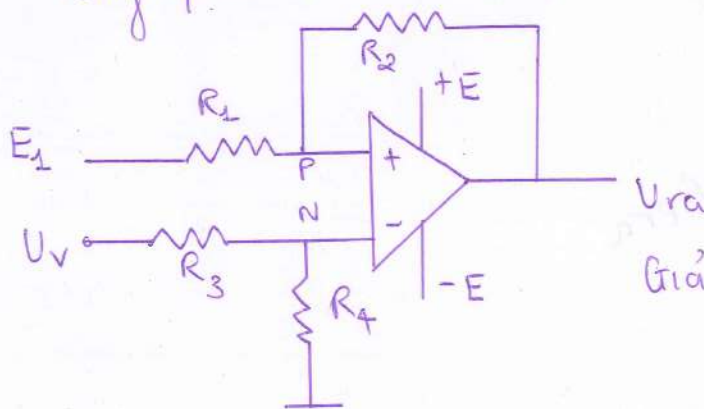
Hệ quả:  $U_P > U_N \rightarrow U_{ra} = +E$  (mức cao)  
 $U_P = U_N \rightarrow U_{ra} = 0$  (mức 0)  
 $U_P < U_N \rightarrow U_{ra} = -E$  (mức thấp)

*Long Đăng*

2) Các loại mạch so sánh

Hai loại: Mạch so sánh không trễ (không có hồi tiếp dương)  
Mạch so sánh có trễ (có hồi tiếp dương)

Tổng quát ta xét mạch so sánh có hồi tiếp dương, ví dụ



Mục đích: So sánh  $U_V$  và  $E_1$   
Nếu mạch không có hồi tiếp dương thì bỏ đi  $R_2$  ( $R_2 = \infty$ )

Giả sử:  $E_1 = -1(V)$

$R_1 = 1, R_2 = 2, R_3 = 3, R_4 = 4(k\Omega)$

$E = 12V$

cho  $U_V = 13 \cos \omega t (V)$

vẽ  $U_{ra}$  khi  $U_V$  biến thiên theo  $t$

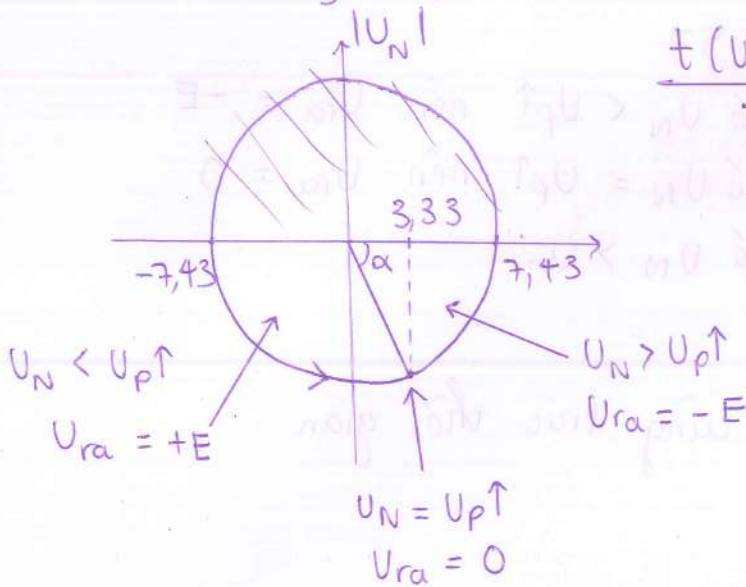
Bước 1: Xét  $U_V$  tăng dần từ  $-\infty$   
khi  $U_V = -\infty$  thì chắc chắn  $U_P > U_N$

( $U_N = U_V \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} = -\infty < U_P$ ), nên  $U_{ra} = +E$

Áp dụng nguyên lý xếp chồng và phân áp tính  $U_P$  lúc này

$$U_P \uparrow = \frac{E_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + \frac{U_{ra} \cdot R_1}{R_1 + R_2} = \frac{-1 \cdot 2 + (+12) \cdot 1}{1 + 2} = \frac{+10}{3} = 3,33 (V)$$

$$U_N = U_V \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 13 \cos \omega t \cdot \frac{4}{3 + 4} = 7,43 \cos \omega t \text{ (V)}$$



$$\frac{t(U_{ra} = -E)}{T/2} = \frac{\alpha}{\pi} = \frac{\arccos \frac{3,33}{7,43}}{\pi}$$

$$= 0,35$$

$$\Rightarrow \frac{t(U_{ra} = +E)}{T/2} = 1 - 0,35 = 0,65$$

Vậy: trong 0,65 nửa chu kỳ tăng của  $U_V$  thì  $U_{ra} = +E$  (cao) trong 0,35 nửa chu kỳ tăng còn lại thì  $U_{ra} = -E$  (thấp)

Bước 2: Xét  $U_V$  giảm dần từ  $+\infty$

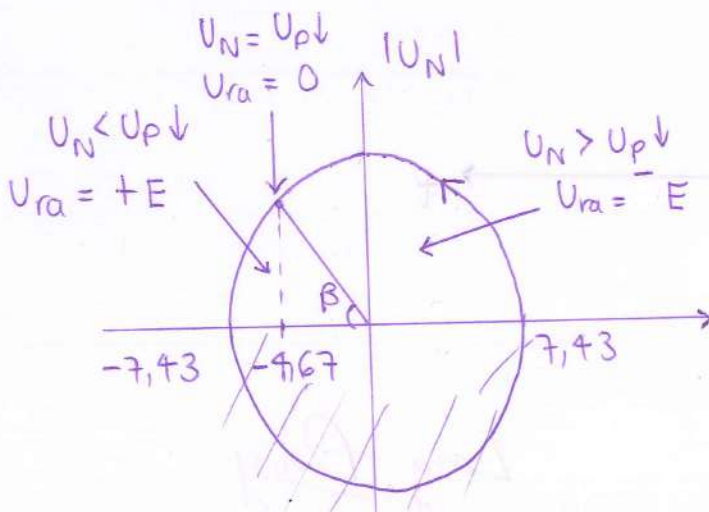
khi  $U_V = +\infty$  thì chắc chắn  $U_P < U_N \Rightarrow U_{ra} = -E = -12 \text{ (V)}$

Áp dụng nguyên lý xếp chồng và phân áp. tính  $U_P$  lúc này

$$U_{P\downarrow} = \frac{E_2 \cdot R_2 + U_{ra} \cdot R_1}{R_1 + R_2} = \frac{-1 \cdot 2 - 12 \cdot 1}{1 + 2} = -4,67 \text{ (V)}$$

$$U_N = U_V \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 7,43 \cos \omega t \text{ (V)}$$

$$\frac{t(U_{ra} = +E)}{T/2} = \frac{\beta}{\pi} = \frac{\arccos \frac{4,67}{7,43}}{\pi} = 0,28$$



$$\frac{t(U_{ra} = -E)}{T/2} = 1 - 0,28 = 0,72$$

*Long Đăng*

Bước 3: Vẽ hình:

$$U_N = U_{P\uparrow} = 3,33 \text{ thì } U_V = \frac{U_N(R_3 + R_4)}{R_4} = 5,83$$

$$U_N = U_{P\downarrow} = -4,67 \text{ thì } U_V = \frac{U_N(R_3 + R_4)}{R_4} = -8,17$$



$$\text{có } U_N = U_V \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 13 \cos \omega t \cdot \frac{3}{3+4} = 5,57 \cos \omega t \text{ (V)}$$

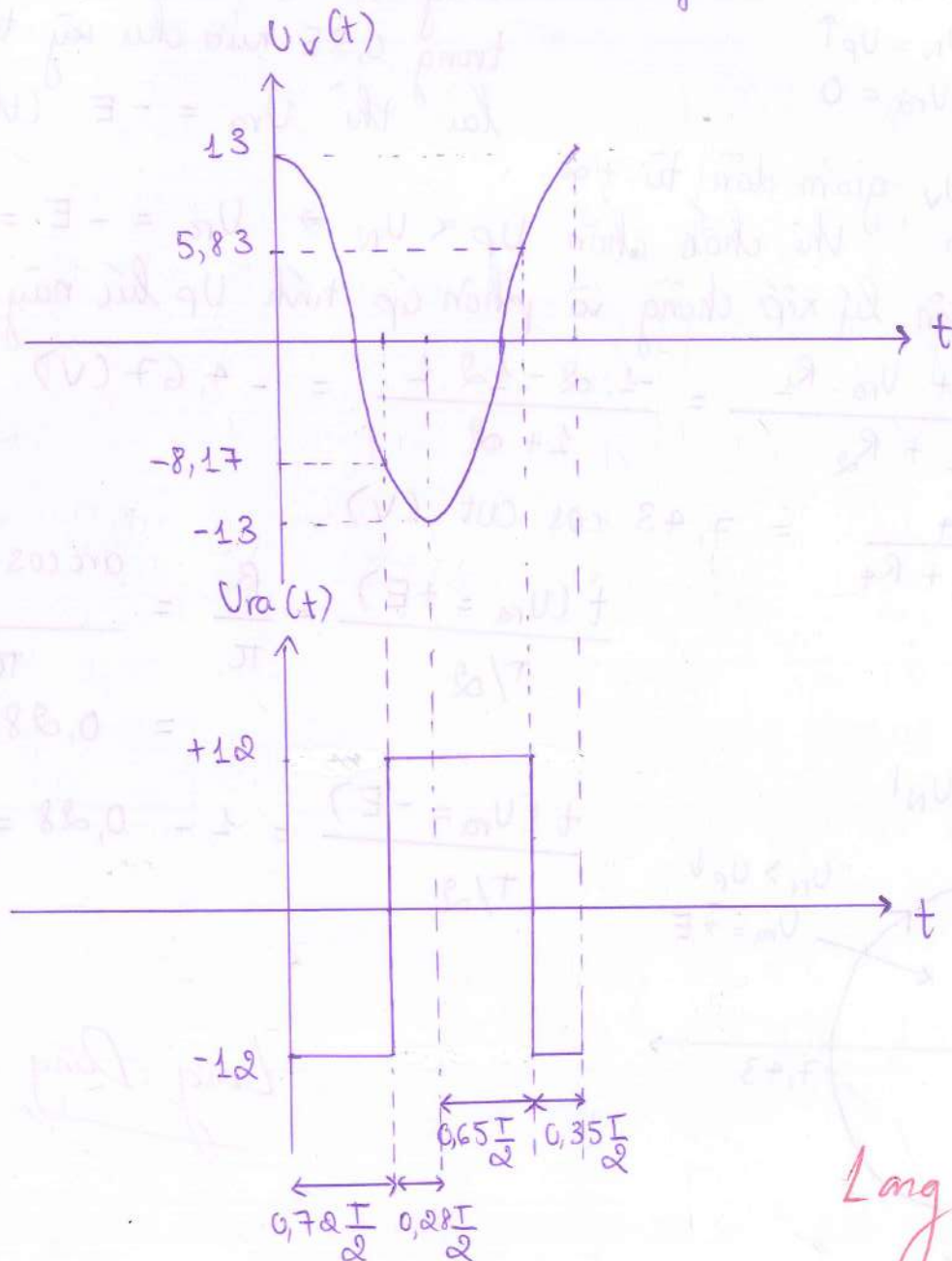
khi  $U_N$  tăng từ  $-5,57$  đến  $5,57$

- Trong  $(-5,57; -4,67)$  có  $U_N < U_p \uparrow$  nên  $U_{ra} = -E$

- Tại  $(-4,67)$  có  $U_N = U_p \uparrow$  nên  $U_{ra} = 0$

- Trong  $(-4,67; 5,57)$  có  $U_N > U_p$

Vẽ  $U_{ra}(t)$  theo  $U_V(t)$  trên cùng trục thời gian



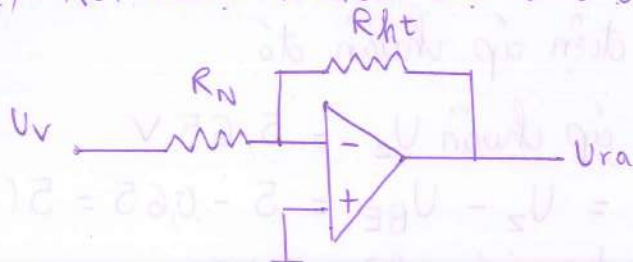
*Long Dang*

Tạo hàm bất kỳ  $U_{ra} = f(U_v)$  sử dụng

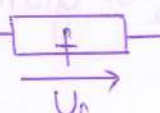
khếch đại thuật toán

Long Đăng

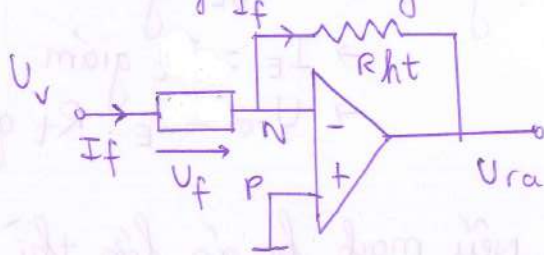
1) Xét mạch khuếch đại đảo đã biết



$$U_{ra} = -\frac{R_{ht}}{R_N} U_v$$

Ta có phân tử  có quan hệ  $I_f = f(U_f)$

- Nếu thay  $R_N$  bằng  $f$  thì: Vì  $U_N = U_P = 0$  nên

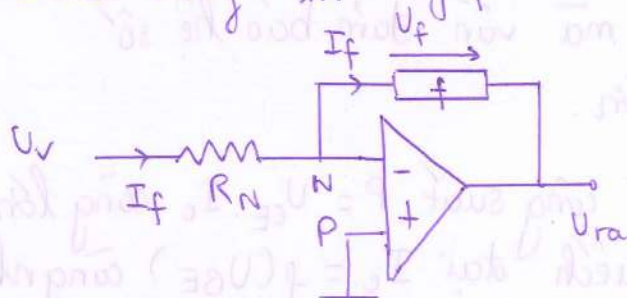


$$I_f = f(U_f) = f(U_v - U_N) = f(U_v)$$

$$I_f = \frac{U_N - U_{ra}}{R_{ht}} = \frac{-U_{ra}}{R_{ht}}$$

$$\Rightarrow U_{ra} = -R_{ht} \cdot f(U_v)$$

- Nếu thay  $R_{ht}$  bằng  $f$  thì: Vì  $U_N = U_P = 0$  nên



$$I_f = f(U_f) = f(U_N - U_{ra}) = f(-U_{ra})$$

$$I_f = \frac{U_v - U_N}{R_N} = \frac{U_v}{R_N}$$


$$\Rightarrow U_{ra} = -f^{-1}\left(\frac{U_v}{R_N}\right)$$

e) kết luận:

Nếu muốn tạo hàm  $U_{ra} = f(U_v)$  thì thay  $R_N$  bằng  $f$


Nếu muốn tạo hàm  $U_{ra} = f^{-1}(U_v)$  thì thay  $R_{ht}$  bằng  $f$

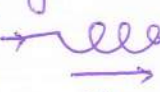
3) Ví dụ: Muốn tạo hàm exp thì dùng hoặc logarit thì dùng

diode vì  có  $I_D = I_0 \cdot e^{U_D/U_T} = f(U_D)$

$$U_D = U_T \ln(I_D / I_0) = f^{-1}(I_D)$$

Muốn tạo hàm đạo hàm hoặc nguyên hàm thì dùng L hoặc C

  $i_c = C \cdot \frac{du_c}{dt}$

  $i_L = \frac{1}{L} \int u_L dt$



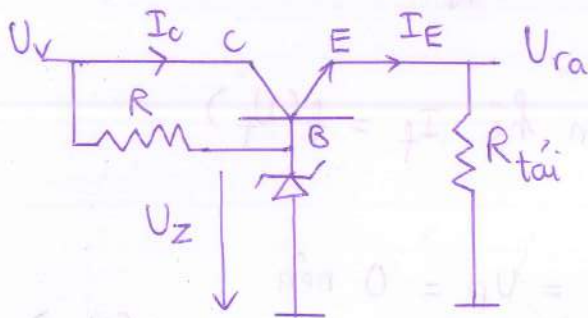
## Mạch ổn áp sử dụng BJT và diode zener

Bản chất: Mạch sử dụng một diode zener để tạo ra một điện áp chuẩn và so sánh  $U_{ra}$  tải với điện áp chuẩn đó.

Ví dụ mạch 7805:

Điện áp chuẩn  $U_z = 5,65V$

$$U_{ra} = U_z - U_{BE} = 5 - 0,65 = 4,35(V)$$



Nếu  $U_{ra}$  bị giảm thì  $U_{BE}$  tăng

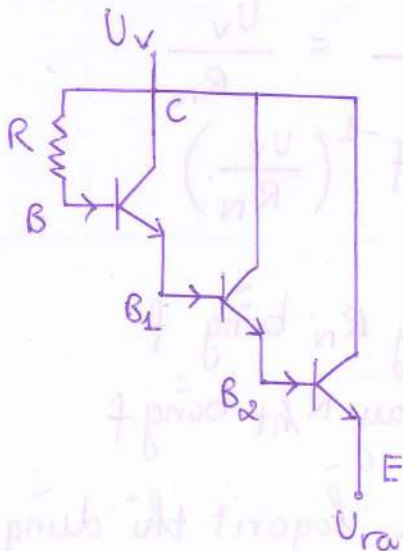
→  $I_E = I_C$  tăng  
→  $U_{ra} = I_E \cdot R_t$  tăng

Nếu  $U_{ra}$  bị tăng thì  $U_{BE}$  giảm

→  $I_E = I_C$  giảm  
→  $U_{ra} = I_E \cdot R_t$  giảm

Vậy  $U_{ra}$  luôn được giữ bằng 5V

BJT trong mạch có  $U_{CE} = U_v - U_{ra}$ . Nếu mạch hạ áp lớn thì  $U_{CE}$  lớn,  $I_C$  lớn nên phải mắc phức hợp nhiều BJT để giảm công suất mà mỗi BJT phải gánh mà vẫn đảm bảo hệ số khuếch đại lớn.



Các BJT có công suất  $P = U_{CE} \cdot I_C$  càng lớn thì độ khuếch đại  $I_C = f(U_{BE})$  càng nhỏ nên đối với những mạch hạ áp công suất lớn, nếu  $U_{ra}$  giảm →  $U_{BE}$  giảm →  $I_C$  tăng không đủ lớn để phục hồi  $U_{ra}$ . Do đó phải mắc phức hợp như hình vẽ.

$$I_E = \beta I_{B_2}$$

$$I_{B_2} = \beta I_{B_1}$$

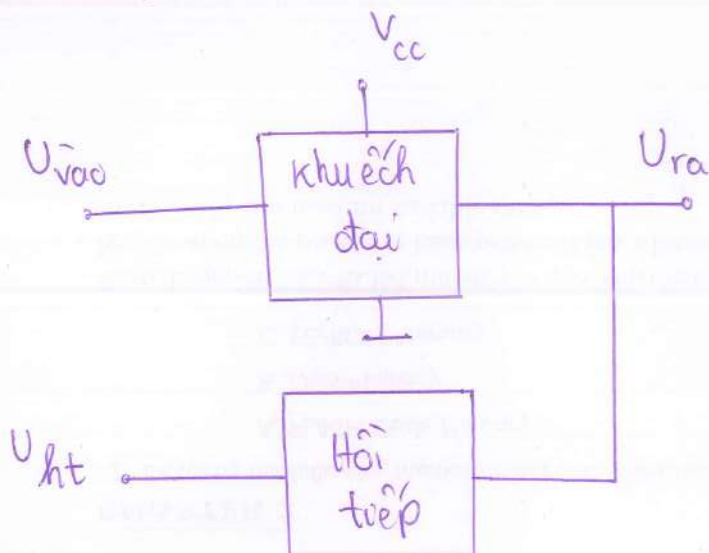
$$I_{B_1} = \beta I_B$$

$$\Rightarrow I_E = \beta^3 I_B$$

Lương Đăng

## Mạch tạo dao động

Xét mạch có sơ đồ khối như sau

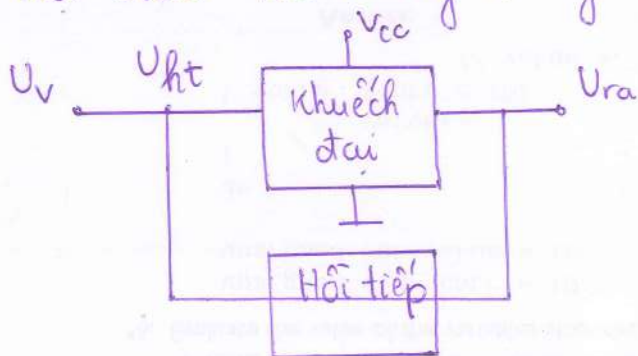


Long Đặng

khối khuếch đại có  $K = \frac{U_{ra}}{U_v} = |K| \cdot e^{j\varphi}$

khối hồi tiếp có  $K_{ht} = \frac{U_{ht}}{U_{ra}} = |K_{ht}| \cdot e^{j\varphi_{ht}}$

nếu  $U_{ht}$  giống hệt  $U_{ra}$  thì có thể chấp  $U_{ht}$  và  $U_v$  lại thành một điểm mà không bị ngắn mạch.



$$U_{ht} = U_v$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} K = \frac{U_{ra}}{U_v} \\ K_{ht} = \frac{U_v}{U_{ra}} \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow K \cdot K_{ht} = 1$$

$$\Leftrightarrow |K| \cdot |K_{ht}| = 1 \quad (1)$$

$$\begin{cases} \varphi + \varphi_{ht} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

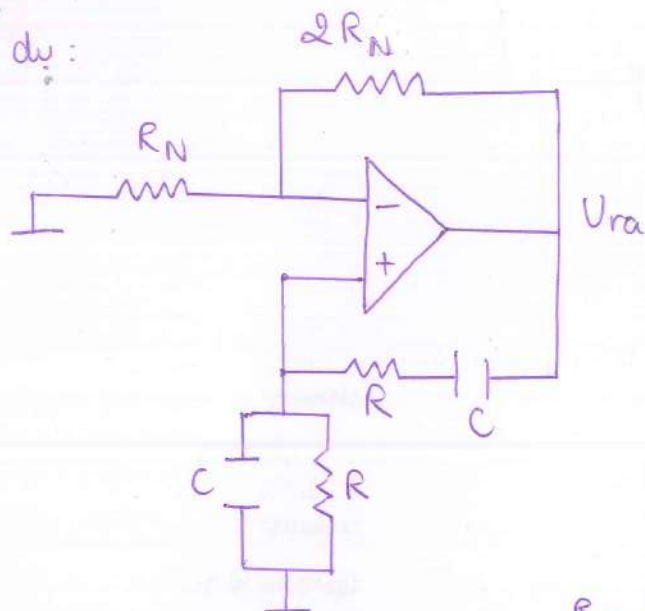
Hệ (1), (2) là điều kiện để mạch dao động ổn định

Tần số  $\omega$  thỏa mãn hệ (1), (2) là tần số dao động của mạch.

Nếu hệ chỉ có nghiệm duy nhất thì  $U_{ra}$  là dao động sin vì chỉ có tín hiệu sin mới có tần số duy nhất.

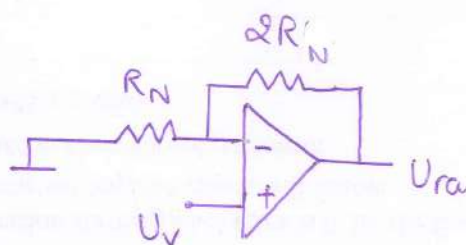


Ví dụ:



Long Đăng

khôi khuếch đại là:



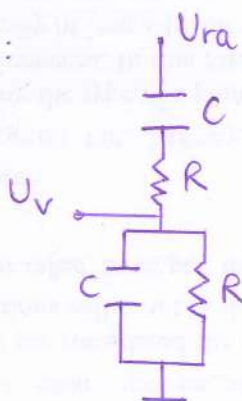
$$K = \frac{U_{ra}}{U_v} = 1 + \frac{2R_N}{R_N} = 3 = 3 \cdot e^{j0}$$

khôi hồi tiếp là:

$$Z_c = \frac{1}{j\omega C}$$

$$Z_{nt} = Z_c + R$$

$$Z_{//} = \frac{Z_c R}{Z_c + R}$$



$$K_{ht} = \frac{U_v}{U_{ra}} = \frac{1}{3 + j(\omega RC - \frac{1}{\omega RC})}$$

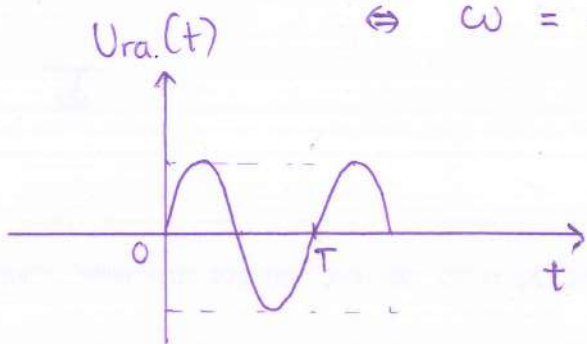
$$|K_{ht}| = \frac{1}{\sqrt{3^2 + (\omega RC - \frac{1}{\omega RC})^2}}$$

$$\varphi_{ht} = \arctan \frac{\frac{1}{\omega RC} - \omega RC}{3}$$

$U_{ra}$  dao động với tần số  $\omega_0$  là nghiệm của hệ

$$\begin{cases} |K| \cdot |K_{ht}| = 1 \\ \varphi + \varphi_{ht} = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{3^2 + (\omega RC - \frac{1}{\omega RC})^2}} = \frac{1}{3} \\ \arctan \frac{\frac{1}{\omega RC} - \omega RC}{3} = 0 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \omega = \frac{1}{RC}$$



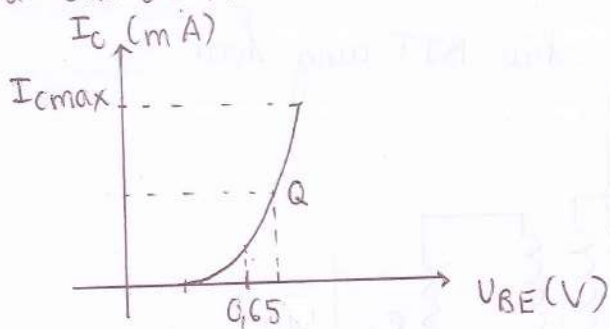
$$\text{chu kỳ } T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi RC$$

## Ôn tập Điện tử tương tự 1 Cuối kỳ

Câu 1: Trình bày các chế độ làm việc của BJT và khuếch đại công suất đẩy kéo.

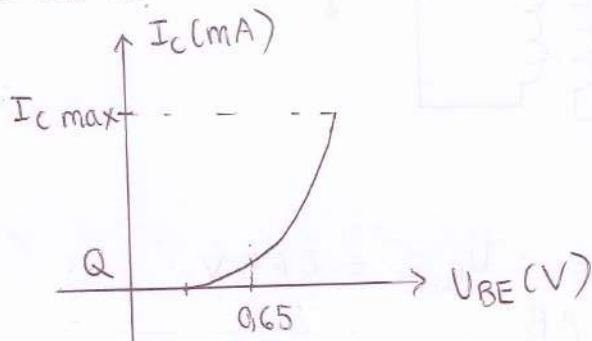
1) Các chế độ làm việc của BJT

a) chế độ A



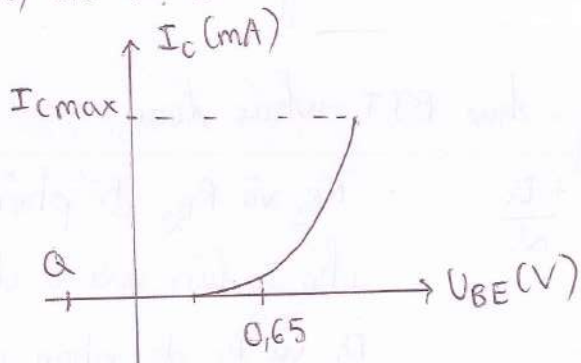
Chọn điểm làm việc tĩnh ở chính giữa đặc tuyến  
Ưu điểm: khuếch đại được  $V_o$  lớn  
Nhược điểm: BJT tiêu thụ công suất ở chế độ tĩnh gây hao phí và tỏa nhiệt dễ hỏng.

b) chế độ B



Chọn điểm làm việc tĩnh tại gốc tọa độ  
Ưu điểm: không tiêu thụ công suất ở chế độ tĩnh ( $I_{CQ} = 0$ )  
Nhược điểm: Tín hiệu ra bị cắt.

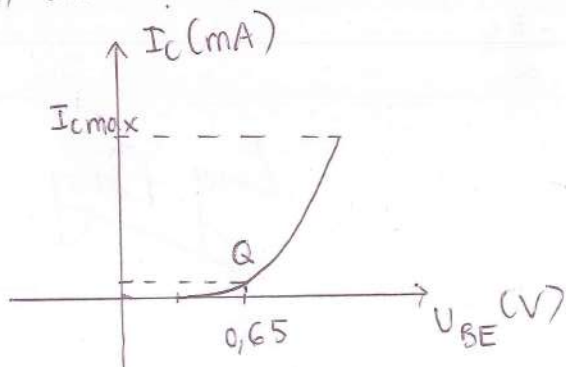
c) chế độ C



Chọn điểm làm việc tĩnh tại phía trái trục hoành  $V_{BE}$  ( $V_{BEQ} < 0$ )  
Ưu điểm: không tiêu thụ công suất ở chế độ tĩnh  
Nhược điểm: Tín hiệu ra bị cắt

d) chế độ D: Chọn điểm làm việc tĩnh tại  $I_C = 0$  hoặc  $I_C = I_{Cmax}$

e) chế độ AB:



Chọn điểm làm việc tĩnh

Có  $V_{BE} = 0.65V$ ,  $I_C = \frac{I_{Cmax}}{10}$

Ưu điểm: Tiêu thụ công suất thấp  
Nhược điểm: Tín hiệu ra bị cắt

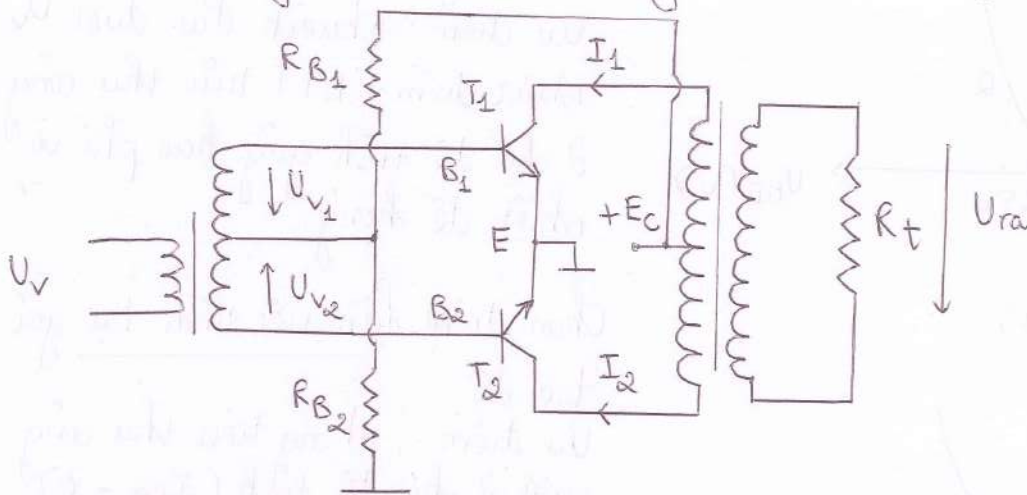
*Long Đặng*



a) Khuếch đại công suất đẩy kéo

- không dùng chế độ A vì chỉ cần 1 BJT đã có thể khuếch đại được
- không dùng chế độ B hoặc C vì sẽ có méo chuyển BJT do tín hiệu rơi vào vùng cắt.
- Phải dùng hai BJT làm việc ở chế độ AB.

Cách 1: Nguồn điện tải đối xứng, hai BJT cùng loại

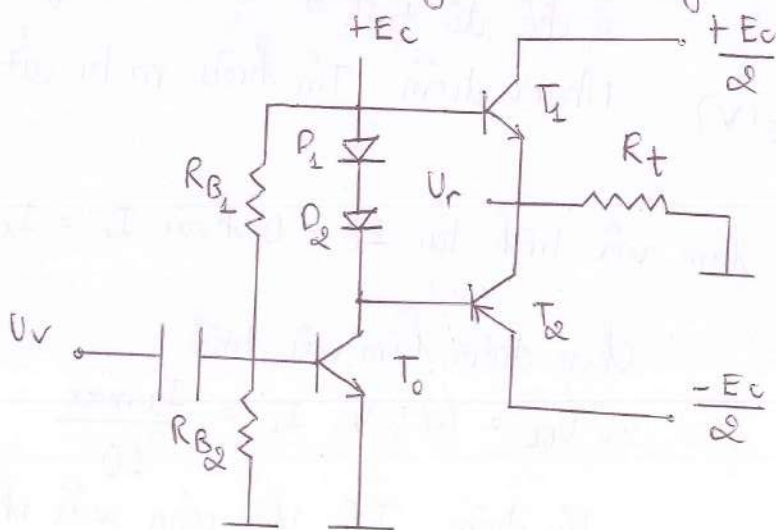


$R_{B1}$  và  $R_{B2}$  để phân cực cho  $U_{B1E} = U_{B2E} = 0,65V$

→ hai BJT làm việc ở chế độ AB

$U_{v1}$  và  $U_{v2}$  ngược pha nên tại mỗi nửa chu kỳ chỉ có một BJT làm việc.

Cách 2: Tải đơn nguồn đối xứng, hai BJT khác loại.

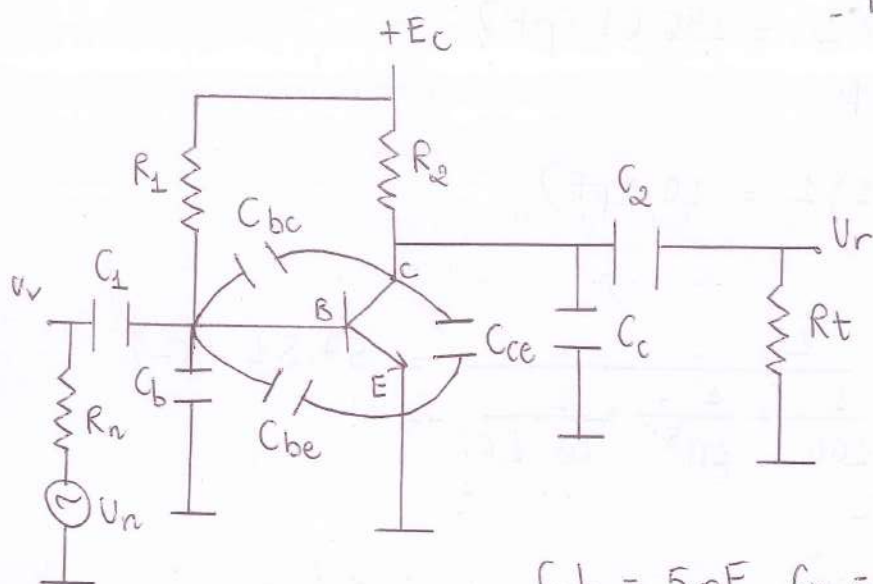


$R_{B1}$  và  $R_{B2}$  để phân cực cho  $T_0$  làm việc ở chế độ A  
 $D_1$  và  $D_2$  để phân cực cho  $T_1$  và  $T_2$  làm việc ở chế độ AB.

*Long Đặng*

Câu 2: Khuếch đại tín hiệu nhỏ  
Đáp ứng tần số

Cho BJT như hình vẽ



- Cho:  $U_n = 5 \text{ mV}$ ,  $\beta = 80$   
 $E_c = 20 \text{ V}$

- Điện trở:

$$R_n = 100 \Omega$$

$$R_1 = 100 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 1,2 \text{ k}\Omega$$

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

- Các tụ ghép tầng:

$$C_1 = 0,47 \mu\text{F}$$

$$C_2 = 1 \mu\text{F}$$

- Các tụ ký sinh:

$$C_b = 5 \text{ pF}, C_c = 7 \text{ pF}$$

$$C_{bc} = 1 \text{ pF}, C_{be} = 3 \text{ pF}, C_{ce} = 2 \text{ pF}$$

a) Tìm điểm làm việc tĩnh Q. Vẽ đường tải tĩnh (một chiều)

b) Vẽ đường tải động (xoay chiều)

c) Xem các tụ ghép tầng ngắn mạch, các tụ ký sinh hở mạch. Tính  $U_r$

d) Vẽ đáp ứng tần số của mạch khuếch đại trên

$$a) E_c = I_{BQ} \cdot R_1 + U_{BEQ} \rightarrow I_{BQ} = \frac{E_c - U_{BEQ}}{R_1} = \frac{20 - 0,65}{100} = 0,19 \text{ (mA)}$$

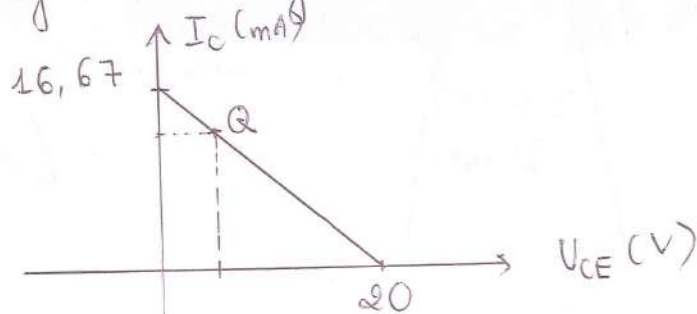
$$\Rightarrow I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 80 \cdot 0,19 = 15,48 \text{ (mA)}$$

$$\Rightarrow U_{CEQ} = E_c - I_{CQ} \cdot R_2 = 20 - 15,48 \cdot 1,2 = 1,42 \text{ (V)}$$

Điểm làm việc tĩnh Q ( $I_{BQ} = 0,19 \text{ mA}$ ,  $I_{CQ} = 15,48 \text{ mA}$ ,  $U_{CEQ} = 1,42 \text{ V}$ )

$$U_{CEQ} = E_c - I_{CQ} \cdot R_2 = 20 - 1,2 I_{CQ}$$

Phương trình đường tải tĩnh:  $I_c = 16,67 - 0,83 U_{CE}$



*Long Đặng*



d) Xét đáp ứng tần số cao

$$\text{Theo câu c ta có } K_{utp} = \frac{U_{ra}}{U_n} = \frac{U_{ra}}{U_v} \cdot \frac{U_v}{U_n} = -327,38 \cdot 0,57 = -187,61$$

$$\text{Đặt } C_1' = C_b \parallel C_{be} \parallel (1 - K_{utp}) C_{bc}$$

$$C_1' = C_b + C_{be} + (1 - K_{utp}) C_{bc}$$

$$C_1' = 5 + 3 + (1 + 187,61) 1 = 196,61 \text{ (pF)}$$

$$\text{Đặt } C_2' = C_c \parallel C_{ce} \parallel \left| \frac{1}{K_{utp}} - 1 \right| C_{bc}$$

$$C_2' = 7 + 2 + \left( \frac{1}{187,61} + 1 \right) 1 = 10 \text{ (pF)}$$

$$\text{Đặt } R_1' = R_n \parallel R_{11} \parallel \beta r_e$$

$$R_1' = \frac{1}{\frac{1}{R_n} + \frac{1}{R_{11}} + \frac{1}{\beta r_e}} = \frac{1}{\frac{1}{100} + \frac{1}{10^5} + \frac{1}{80 \cdot 4,68}} = 57,31 \text{ (}\Omega\text{)}$$

$$\text{Đặt } R_2' = R_2 \parallel R_t = 550 \text{ }\Omega$$

Bộ lọc thông thấp phía đầu vào:

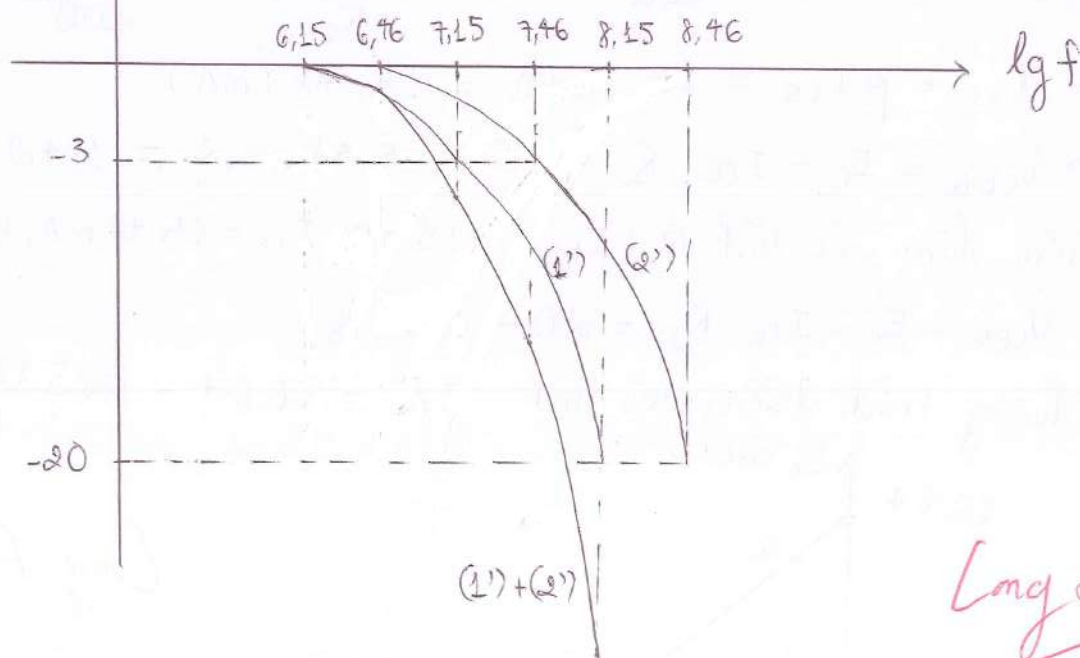
$$f_1' = \frac{1}{2\pi R_1' C_1'} = \frac{10^{12}}{2\pi \cdot 57,31 \cdot 196,61} = 14 \cdot 10^6 \text{ (Hz)} \Rightarrow \lg f_1' = 7,15$$

Bộ lọc thông thấp phía đầu ra:

$$f_2' = \frac{1}{2\pi R_2' C_2'} = \frac{10^{12}}{2\pi \cdot 550 \cdot 10} = 29 \cdot 10^6 \text{ (Hz)} \Rightarrow \lg f_2' = 7,46$$

Vẽ đáp ứng tần số cao:

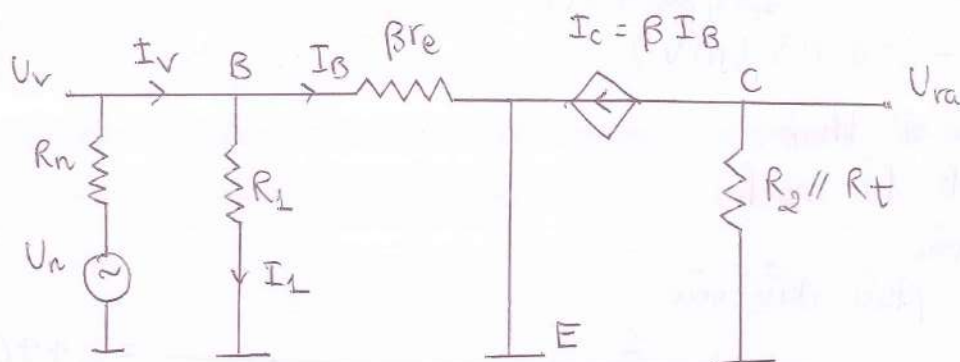
$|K_{utp}/K_{utp, \max}| \text{ (dB)}$



Long Dũng

b) Chế độ xoay chiều

Xem các tụ ghép tầng hở mạch, các tụ nối ngắn mạch  
 $\Rightarrow$  Mô hình tương đương xoay chiều E chung



$$\tilde{V}_{CE} = -\tilde{I}_C (R_2 \parallel R_t)$$

$$\Rightarrow (V_{CE} - V_{CEQ}) = -(I_C - I_{CQ})(R_2 \parallel R_t)$$

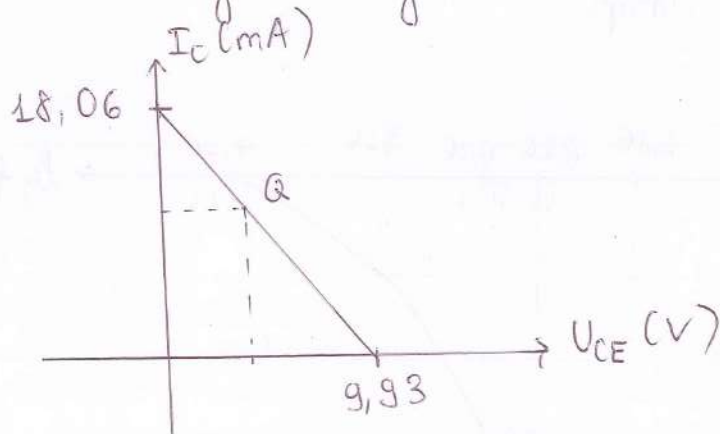
$$\Rightarrow V_{CE} = V_{CEQ} + (I_{CQ} - I_C)(R_2 \parallel R_t)$$

Thay số:  $V_{CEQ} = 1,42 \text{ V}$ ,  $I_{CQ} = 15,48 \text{ mA}$

$$R_2 \parallel R_t = \frac{R_2 R_t}{R_2 + R_t} = \frac{1,2 \cdot 1}{1,2 + 1} = 0,55 \text{ (k}\Omega\text{)}$$

$$V_{CE} = 1,42 + 0,55(15,48 - I_C) = 9,93 - 0,55 I_C$$

Phương trình đường tải động:  $I_C = 18,06 - 1,82 V_{CE}$



Long Đăng

$$\left. \begin{aligned} V_{ra} &= -I_C (R_2 \parallel R_t) \\ V_v &= I_B \cdot \beta r_e = I_C r_e \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{V_{ra}}{V_v} = -\frac{R_2 \parallel R_t}{r_e}$$

$$r_e = \frac{26 \text{ mV}}{I_{CQ}} = \frac{26}{15,48} = 1,68 \text{ (}\Omega\text{)}; R_2 \parallel R_t = 550 \text{ }\Omega$$

$$\Rightarrow V_{ra} / V_v = -550 / 1,68 = -327,38 \quad (1)$$

$$Z_v = \frac{V_v}{I_v} = \frac{V_v}{I_1 + I_B} = \frac{V_v}{\frac{V_v}{R_1} + \frac{V_v}{\beta r_e}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{\beta r_e}}$$



$$Z_v = \frac{1}{\frac{1}{100\,000} + \frac{1}{80\,468}} = 134,22$$

$$U_v = U_n \cdot \frac{Z_v}{Z_v + R_n} = 5 \cdot \frac{134,22}{134,22 + 100} = 2,87 \text{ (mV)} \quad (2)$$

$$(1), (2) \Rightarrow U_{ra} = -938,03 \text{ (mV)}$$

d) Xét đáp ứng tần số thấp:  
các tụ ký sinh hở mạch

Bộ lọc phía đầu vào:

Bộ lọc thông cao phía đầu vào:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi(R_n + Z_v)C_1} = \frac{1}{2\pi(100 + 134,22)0,47 \cdot 10^{-6}} = 1446 \text{ (Hz)}$$

$$\lg f_1 = \lg 1446 = 3,16$$

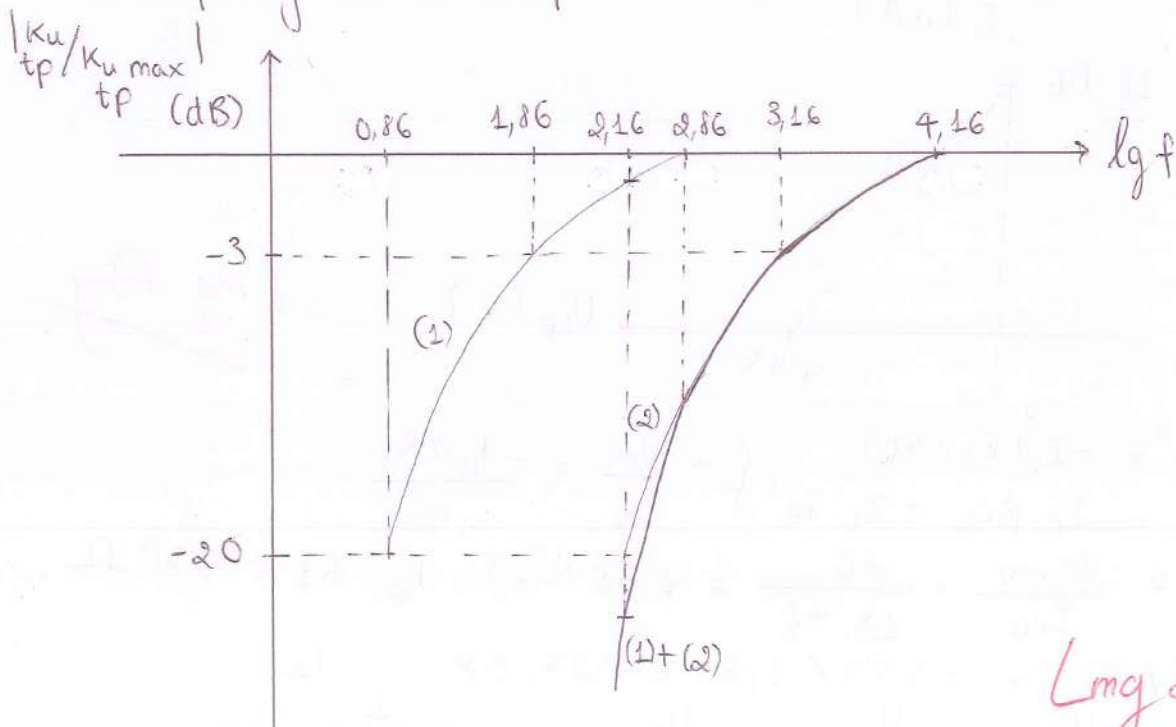
Bộ lọc thông cao phía đầu ra:

$$f_2 = \frac{1}{2\pi(R_t + Z_r)C_2} = \frac{1}{2\pi(R_t + R_2)C_2}$$

$$= \frac{1}{2\pi(1000 + 1200)10^{-6}} = 72 \text{ (Hz)}$$

$$\lg f_2 = \lg 72 = 1,86$$

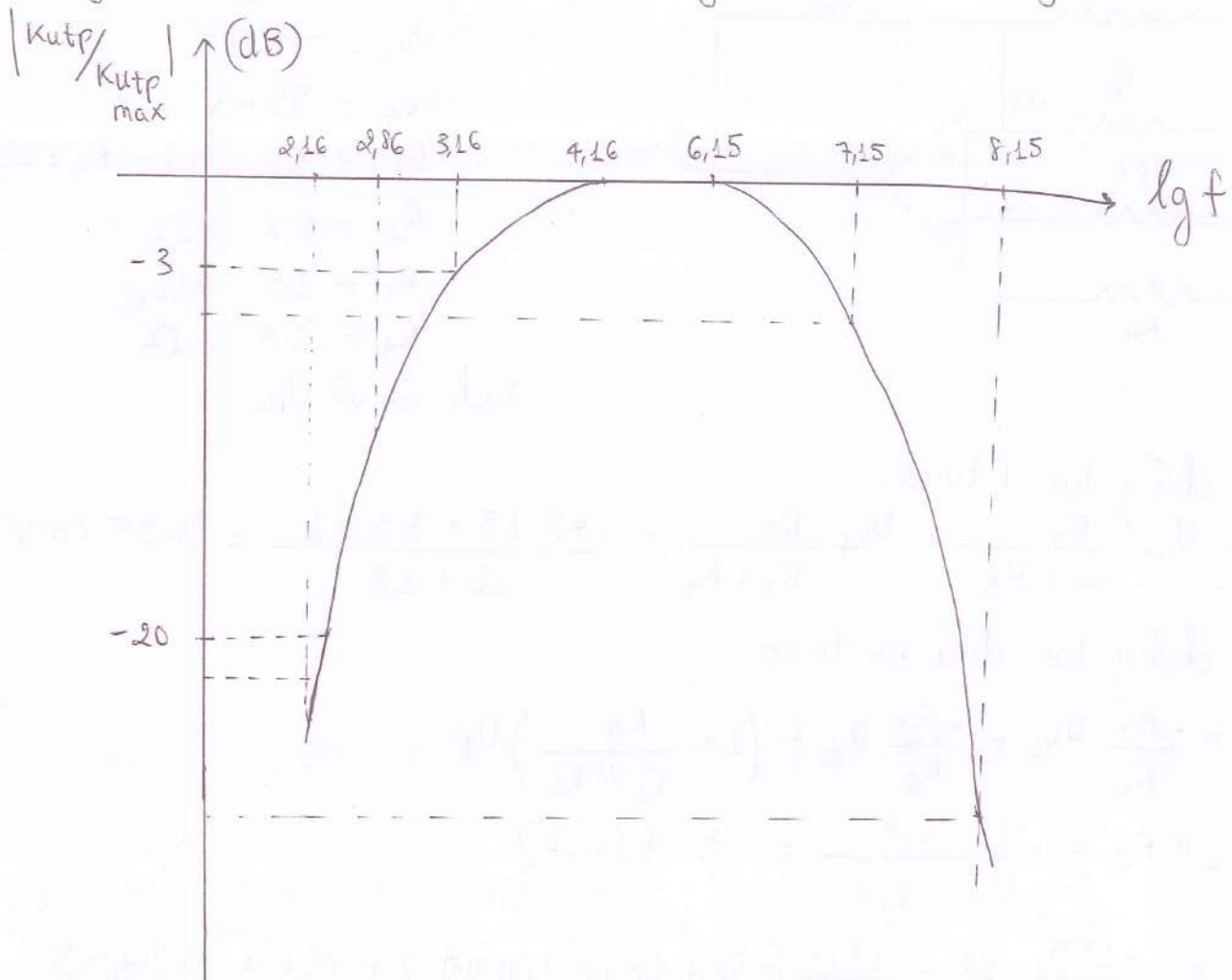
Vẽ đáp ứng tần số thấp



Lmq Dăng

Đáp ứng tần số của mạch khuếch đại

Công đáp ứng tần số của bộ lọc thông cao và bộ lọc thông thấp ta có:



Long Dăng



Câu 3:

cho mạch khuếch đại thuật toán

cho:  $U_{V1} = 18 \text{ mV}$

$U_{V2} = -38 + 18 \cos 100 \omega t$

$U_{V3} = -45 \text{ mV}$

$U_{V4} = 55 \text{ mV}$

$R_1 = 18 \text{ k}\Omega$   $R_5 = 150 \text{ k}\Omega$

$R_2 = 6,8 \text{ k}\Omega$

$R_3 = 1 \text{ k}\Omega$

$R_4 = 1 \text{ k}\Omega$

Tính và vẽ  $U_{ra}$

Xếp chồng tại P ta có:

$$U_P = U_{V3} \frac{R_4}{R_4 + R_3} + U_{V4} \frac{R_3}{R_3 + R_4} = \frac{-45 \cdot 15 + 55 \cdot 18}{15 + 18} = 9,55 \text{ (mV)}$$

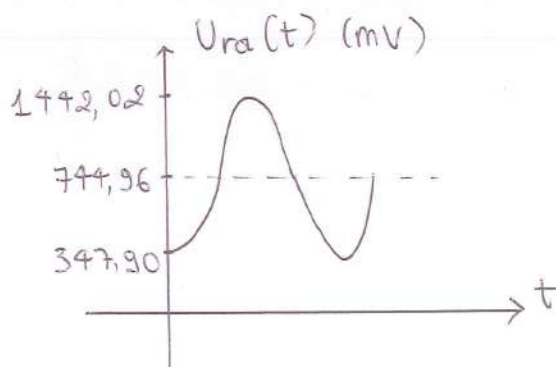
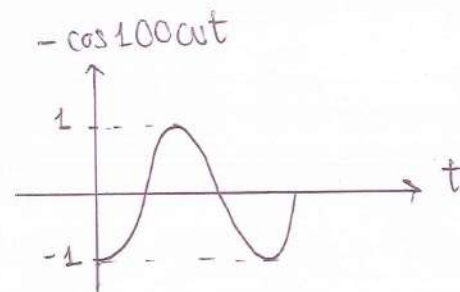
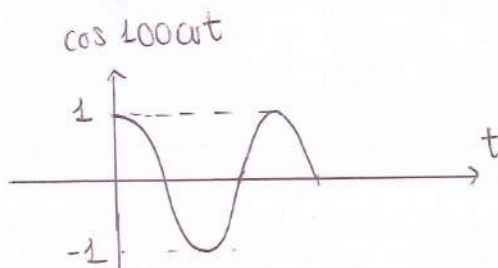
Xếp chồng tại đầu ra ta có:

$$U_{ra} = \frac{-R_5}{R_1} U_{V1} + \frac{-R_5}{R_2} U_{V2} + \left(1 + \frac{R_5}{R_1 // R_2}\right) U_P$$

$$\text{có } R_1 // R_2 = \frac{18 \cdot 6,8}{18 + 6,8} = 4,94 \text{ (k}\Omega\text{)}$$

$$U_{ra} = \frac{-150}{18} \cdot 18 - \frac{150}{6,8} (-38 + 18 \cos 100 \omega t) + (1 + 4,94) 9,55$$

$$\text{Vậy } U_{ra} = 744,96 - 397,06 \cos 100 \omega t \text{ (mV)}$$



Long Dũng