

CHƯƠNG 3

ĐIỀU CHẾ

3.1. Định nghĩa

Điều chế là quá trình ghi tin tức vào 1 dao động cao tần để chuyển đi xa nhờ biến đổi một thông số nào đó (ví dụ : biên độ, tần số, góc pha, độ rộng xung...)

Tin tức gọi là tín hiệu điều chế, dao động cao tần gọi là tải tin. Dao động cao tần mang tin tức gọi là dao động cao tần đã điều chế.

Có 2 loại điều chế; điều biên và điều tần (gồm điều tần và điều pha).

3.2. Điều biên

- Điều biên là quá trình làm cho biên độ tải tin biến đổi theo tin tức.

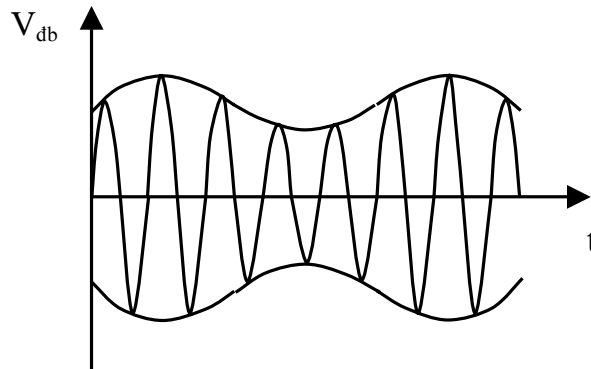
Giả sử tín tức V_s và tải tin V_t đều là dao động điều hòa:

$$v_s = V_s \cos \omega_s t \quad \text{và} \quad v_t = V_t \cos \omega_t t \quad \text{với } \omega_t \gg \omega_s$$

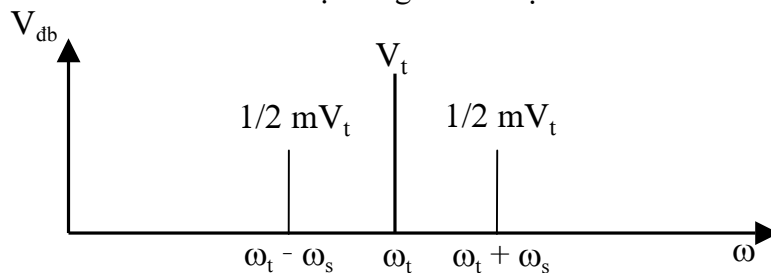
Do đó tín hiệu điều biên:

$$\begin{aligned} V_{db} &= (V_t + V_s \cos \omega_s t) \cos \omega_t t \\ &= V_t (1 + m \cos \omega_s t) \cos \omega_t t \end{aligned} \quad (1)$$

$$\rightarrow V_{db} = V_t \cdot \cos \omega_t t + \frac{m}{2} V_t \cdot \cos(\omega_t + \omega_s)t + \frac{m}{2} V_t \cos(\omega_t - \omega_s)t$$



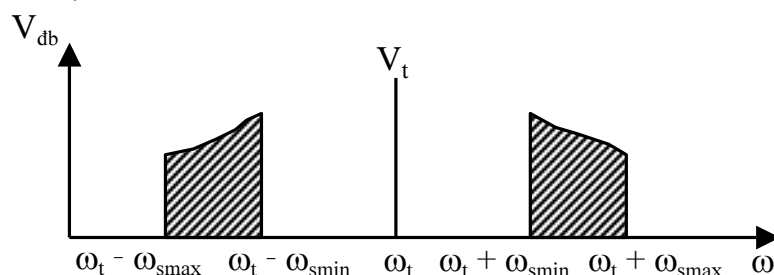
Hình 3.1. Đồ thị thời gian tín hiệu điều biên



Hình 3.2 Phổ tín hiệu điều biên

Phổ của tín hiệu điều biên có dạng như hình 3.2.

Khi tín hiệu điều chế có phổ biến thiên từ $\omega_{s\min} \div \omega_{s\max}$ thì phổ của tín hiệu điều biên có dạng như hình 3.3



Hình 3.3 Phổ tín hiệu điều biên

- Quan hệ năng lượng trong điều biên:**

Công suất tải tin là công suất bình quân trong 1 chu kỳ của tải tin:

$$P_{\sim t} = I_{hd}^2 R = \frac{V_{hd}^2}{R} = \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{T} \int_0^T V_t^2 \cdot \sin^2 \omega dt = \frac{V_t^2}{2R}$$

$$\Rightarrow P_{\sim t} \sim \frac{V_t^2}{2}$$

Tương tự: $P_{\sim bt} \sim \frac{1}{2} \left(\frac{m \cdot V_t}{2} \right)^2 = \frac{1}{4} m^2 \cdot \frac{V_t^2}{2} = \frac{m^2}{4} \cdot P_{\sim t}$

Công suất của tín hiệu đã điều chế biên là công suất bình quân trong một chu kỳ của tín hiệu điều chế:

$$P_{\sim db} = P_{\sim t} + 2P_{\sim bt} = P_{\sim t} \left(1 + \frac{m^2}{2} \right)$$

m càng lớn thì $P_{\sim db}$ càng lớn

Khi $m = 1 \rightarrow P_{\sim db} = \frac{3P_{\sim t}}{2}$ và $\rightarrow P_{\sim bt} = \frac{1}{4} P_{\sim t}$

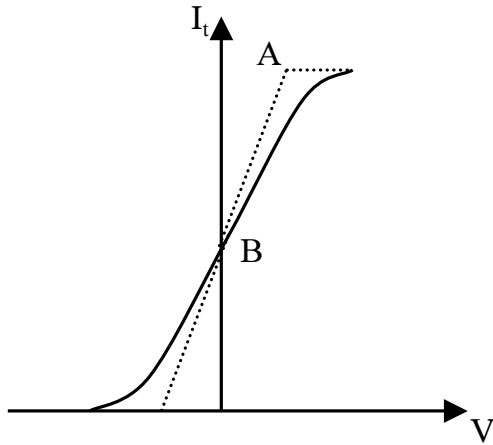
Từ biểu thức (1) suy ra:

$$V_{db\max} = V_t (1+m)$$

Do đó $P_{\sim \max} \sim \frac{1}{2} (1+m)^2 V_t^2$

- Các chỉ tiêu cơ bản của dao động đã điều biên**

3.2.1 Hệ số méo phi tuyến



Hình 3.4. Đặc tính điều chế tĩnh

$$K = \frac{\sqrt{I^2(\omega_t \pm 2\omega_s) + I^2(\omega_t \pm 3\omega_s) + \dots}}{I(\omega_t \pm \omega_s)}$$

$I(\omega_t \pm n\omega_s)$ ($n \geq 2$): Biên độ dòng điện ứng với hài bậc cao của tín hiệu điều chế.

$I(\omega_t \pm \omega_s)$: Biên độ các thành phần biên tần

Trong đó: I_t : biên độ tín hiệu ra

V_s : giá trị tức thời của tín hiệu vào

A: giá trị cực đại

B: tải tin chưa điều chế

Đường đặc tuyến thực không thẳng tạo ra các hài bậc cao không mong muốn. Trong đó đáng lưu ý nhất là các hài $(\omega_t \pm 2\omega_s)$ có thể lọt vào các biên tần mà không thể lọc được. Để giảm K thì phải hạn chế phạm vi làm việc của bộ điều chế trong địa thẳng của đặc tuyến. Lúc đó luợc phải giảm hệ số điều chế m.

3.2.2 Hệ số méo tần số

Gọi: m_0 : hệ số điều chế lớn nhất

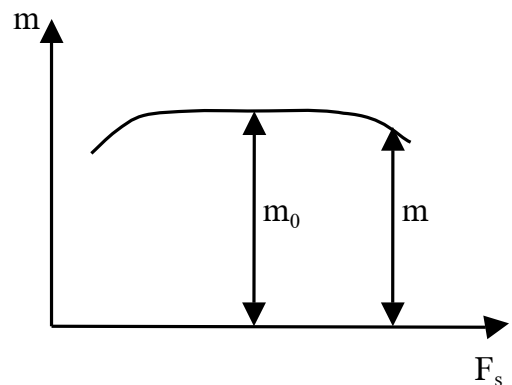
m : Hệ số điều chế tại tần số đang xét.

Hệ số méo tần số được xác định theo biểu thức:

$$M = \frac{m_0}{m} \quad \text{Hoặc} \quad M_{dB} = 20 \log M$$

Để đánh giá độ méo tần số này, người ta căn cứ vào đặc tuyến biên độ và tần số:

$$m = f(F_s) \Big|_{V_s = \text{cte}}$$



Hình 3.5. Đặc tính biên độ tần số

• Phương pháp tính toán mạch điều biên:

Hai nguyên tắc xây dựng mạch điều biên:

- Dùng phân tử phi tuyến công tải tin và tín hiệu điều chế trên đặc tuyến của phân tử phi tuyến đó.
- Dùng phân tử tuyến tính có tham số điều khiển được. Nhân tải tin và tín hiệu điều chế nhờ phân tử tuyến tính đó.

3.2.3 Điều biên dùng phân tử phi tuyến

Phần tử phi tuyến được dùng để điều biên có thể là đèn điện tử, bán dẫn, các đèn có khí, cuộn cảm có lõi sắt hoặc điện trở có trị số biến đổi theo điện áp đặt vào. Tùy thuộc vào điểm làm việc được chọn trên đặc tuyến phi tuyến, hàm số đặc trưng của phần tử phi tuyến có thể biểu diễn gần đúng theo chuỗi Taylor khi chế độ làm việc của mạch là chế độ A ($\theta = 180^\circ$) hoặc phân tích theo chuỗi Fourier khi chế độ làm việc của mạch có góc cắt $\theta < 180^\circ$ (chế độ AB, B, C)

♣ Trường hợp 1: ĐIỀU BIÊN Ở CHẾ ĐỘ A

$$\theta = 180^\circ$$

Mạch làm việc ở chế độ A nếu thỏa mãn điều kiện:

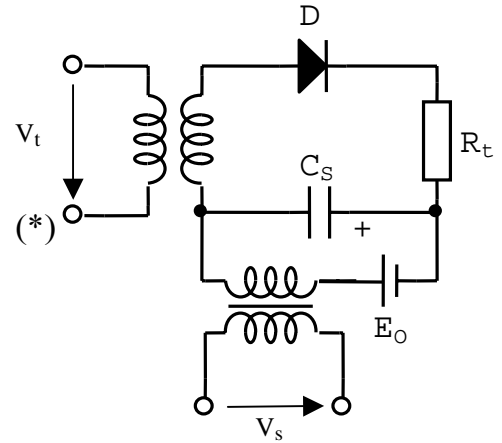
$$|V_t| + |V_s| < |E_o| \quad (*)$$

Khai triển dòng i_D theo chuỗi Taylor:

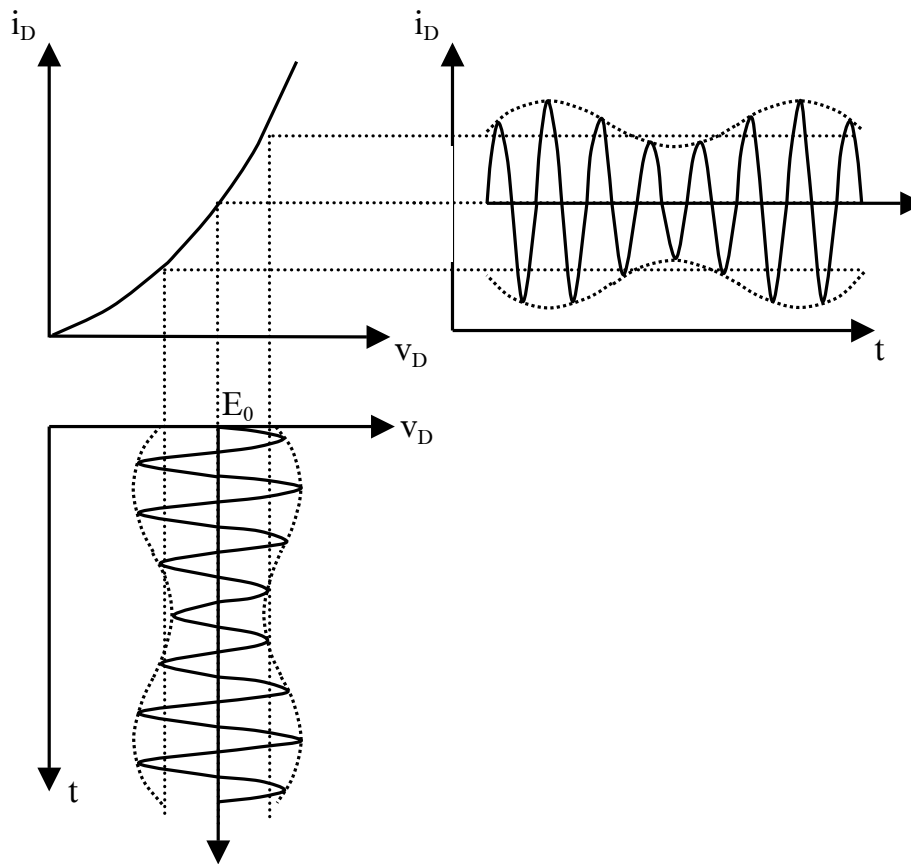
$$i_D = a_1 v_D + a_2 v_D^2 + a_3 v_D^3 \quad (1)$$

Với v_D : điện áp trên Diode D và trên tải R_t

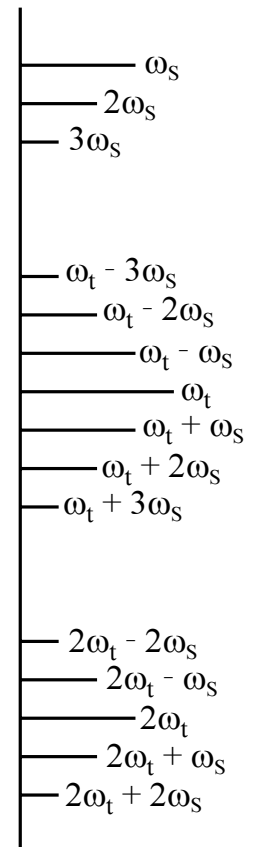
Với: $v_D = E_o + V_t \cos \omega_t t + V_s \cos \omega_s t$



Hình 3.6. Mạch điều chế dùng Diode



Hình 3.7. Đặc tuyến của diode và đồ thị thời gian của tín hiệu vào ra



Hình 3.8. Phổ tín hiệu điều biên khi làm việc ở chế độ A

Thay u_D vào biểu thức (1) ta nhận được :

$$i_D = a_1(E_0 + V_t \cos \omega_t t + V_s \cos \omega_s t) + a_2(E_0 + V_t \cos \omega_t t + V_s \cos \omega_s t)^2 + a_3(E_0 + V_t \cos \omega_t t + V_s \cos \omega_s t)^3 + \dots \quad (2)$$

Khai triển (2) và bỏ qua các số hạng bậc cao $n \geq 4$ sẽ có kết quả mà phỏ của nó được biểu diễn như hình 3.8.

Khi $a_3 = a_4 = a_5 = \dots a_{2n+1} = 0$ ($n = 1, 2, 3$) nghĩa là đường đặc tính của phần tử phi tuyến là 1 đường cong bậc 2 thì tín hiệu điều biên không bị méo phi tuyến.

Để thỏa mãn điều kiện (*) mạch làm việc chế độ A thì m phải nhỏ và hạn chế công suất ra. Chính vì vậy mà người ta rất ít khi dùng điều biên chế độ A.

♣ Trường hợp 2: ĐIỀU BIÊN CHẾ ĐỘ AB, B hoặc C $\theta < 180^\circ$

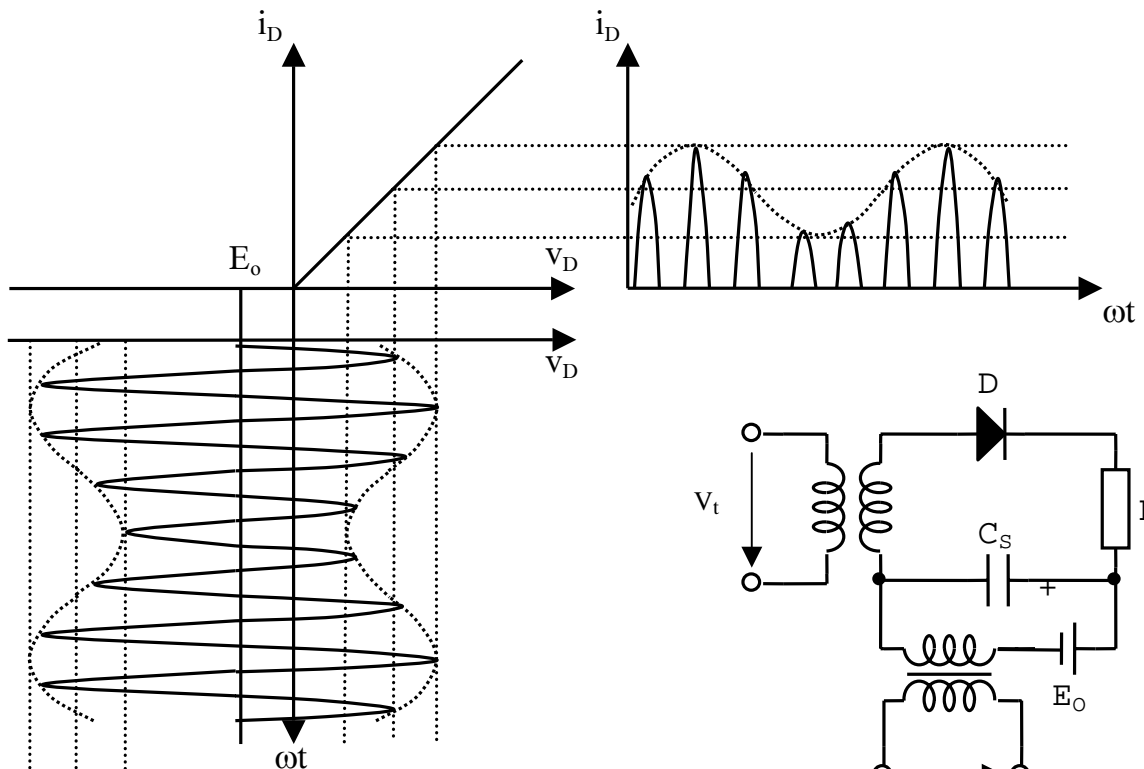
Khi $\theta < 180^\circ$, nếu biên độ điện áp đặt vào diode đủ lớn thì có thể coi đặc tuyến của nó là một đường gấp khúc.

Phương trình biểu diễn đặc tuyến của diode lúc đó :

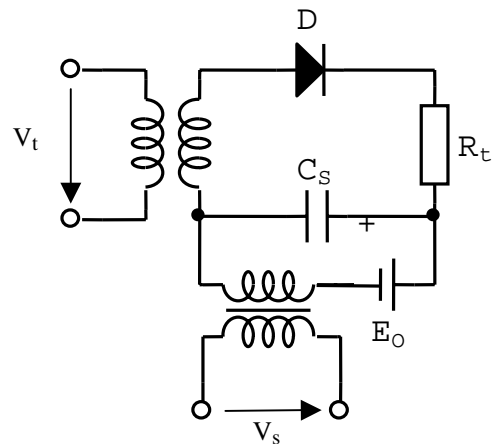
$$i_D = 0 \text{ khi } V_D \leq 0$$

$$SV_D \text{ khi } v_D > 0 \quad S : \text{Hỗ dẫn của đặc tuyến}$$

Chọn điểm làm việc ban đầu trong khu tắt của Diode (chế độ C).



Hình 3.10. Đặc tuyến của diode và đồ thị của tín hiệu vào ra khi làm việc ở chế độ C



Hình 3.9. Mạch điều chế dùng Diode

Dòng qua diode là 1 dãy xung hình sine, nên có thể biểu diễn i_D theo chuỗi Fourier như sau :

$$\begin{aligned} i_D &= I_0 + i_1 + i_2 + i_n + \\ &= I_0 + I_1 \cos \omega_t t + I_2 \cos 2\omega_t t + I_3 \cos 3\omega_t t + \dots + I_n \cos n\omega_t t \end{aligned} \quad (1)$$

I_0 : thành phần dòng điện một chiều.

I_1 : biên độ thành phần dòng điện cơ bản đối với tải tin

I_2, I_3, \dots, I_n : biên độ thành phần dòng điện bậc cao đối với tải tin

$I_0, I_1, I_3, \dots, I_n$: được tính toán theo biểu thức của chuỗi Fourier :

$$\begin{aligned} I_0 &= \frac{1}{\pi} \int_c^\theta i_D \cdot d\omega_t t \\ I_1 &= \frac{2}{\pi} \int_c^\theta i_D \cdot \cos \omega_t t \cdot d\omega_t t \\ &\dots\dots\dots \\ I_n &= \frac{2}{\pi} \int_c^\theta i_D \cos n\omega_t t \cdot d\omega_t t \end{aligned} \quad (2)$$

Theo biểu thức (*) ta có thể viết :

$$i_D = S \cdot v_D = S(-E_0 + V_s \cos \omega_s t + V_t \cos \omega_t t) \quad (3)$$

Khi $\omega_t t = \theta$ thì $i_D = 0$:

$$0 = S \cdot v_D = S(-E_0 + V_s \cos \omega_s t + V_t \cos \theta) \quad (4)$$

Lấy (3) - (4) =>

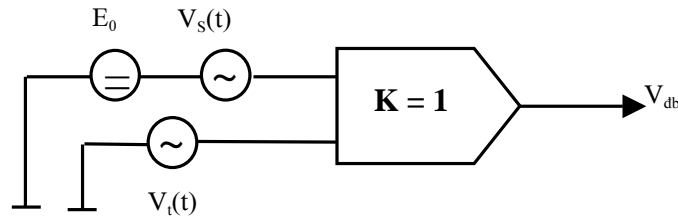
$$\begin{aligned} i_D &= SV_t (\cos \omega_t t - \cos \theta) \\ I_1 &= \frac{2}{\pi} \int_0^\theta SV_t (\cos \omega_t t - \cos \theta) \cdot \cos \omega_t t \cdot d\omega_t t \\ &= \frac{2}{\pi} \int_0^\theta SV_t \left[\frac{1 + \cos 2\omega_t t}{2} - \cos \theta \cdot \cos \omega_t t \right] d\omega_t t \\ &= \frac{2SV_t}{\pi} \left(\frac{1}{2} \theta + \frac{\sin 2\omega_t t}{4} \Big|_0^\theta - \cos \theta \cdot \sin \omega_t t \Big|_0^\theta \right) \\ &= \frac{2SV_t}{\pi} \left(\frac{1}{2} \theta - \frac{1}{4} \sin 2\theta \right) = \frac{SV_t}{\pi} \left(\theta - \frac{1}{2} \sin 2\theta \right) \\ i_1 &= \frac{SV_t}{\pi} \left(\theta - \frac{1}{2} \sin 2\theta \right) \cos \omega_t t \quad \rightarrow \equiv (6) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{Ở đây } \theta \text{ được xác định từ biểu thức (4) : } \cos \theta = \frac{-E_0 + V_s \cdot \cos \omega_s t}{V_t} = \frac{E_0 - V_s \cdot \cos \omega_s t}{V_t} \quad (7)$$

Từ biểu thức (6) và (7) biên độ của thành phần dòng điện cơ bản biến thiên theo tín hiệu điều chế (V_s).

3.2.4 Điều biên dùng phân tử tuyến tính có tham số thay đổi

Đây là quá trình nhân tín hiệu dùng bộ nhân tương tự



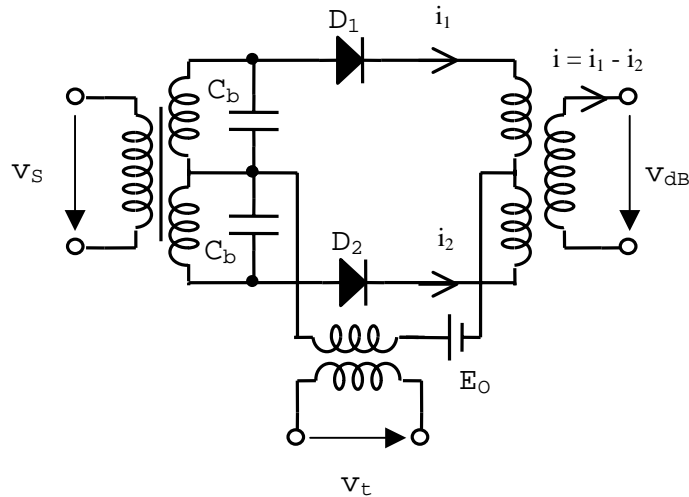
Hình 3.11. Mạch điều biên dùng phân tử tuyến tính

$$v_{db} = (E_o + V_s \cdot \cos \omega_s t) \cdot V_t \cdot \cos \omega_t t$$

$$v_{db} = E_o V_t \cdot \cos \omega_t t + \frac{V_t \cdot V_s}{2} \cos (\omega_t + \omega_s) t + \frac{V_t \cdot V_s}{2} \cos (\omega_t - \omega_s) t$$

- Các mạch điều biên cụ thể :

a. Điều biên cân bằng dùng diode



Hình 3.12. Mạch điều chế cân bằng dùng diode

Điện áp đặt lên D_1, D_2 :

$$\begin{cases} v_1 = V_s \cos \omega_s t + V_t \cdot \cos \omega_t t \\ v_2 = -V_s \cos \omega_s t + V_t \cdot \cos \omega_t t \end{cases} \quad (1)$$

Dòng điện qua diode được biểu diễn theo chuỗi Taylo :

$$\begin{cases} i_1 = a_o + a_1 v_1 + a_2 v_1^2 + a_3 v_1^3 + \dots \\ i_2 = a_o + a_1 v_2 + a_2 v_2^2 + a_3 v_2^3 + \dots \end{cases} \quad (2)$$

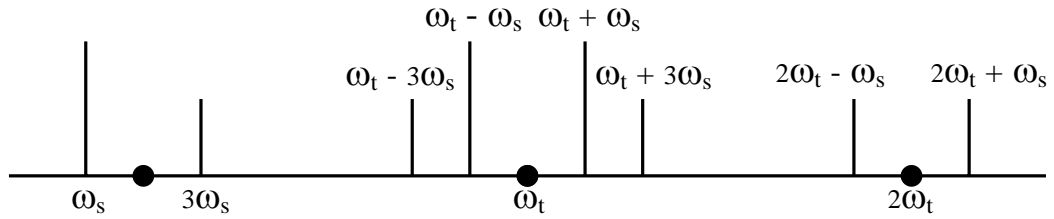
$$\text{Dòng điện ra : } i = i_1 - i_2 \quad (3)$$

Thay (1), (2) vào (3) và chỉ lấy 4 vế đầu ta nhận được biểu thức dòng điện ra :

$$i = A \cos \omega_s t + B \cos 3\omega_s t + C [\cos (\omega_t + \omega_s) t + \cos (\omega_t - \omega_s) t] + D [\cos (2\omega_t + \omega_s) t + \cos (2\omega_t - \omega_s) t] \quad (4)$$

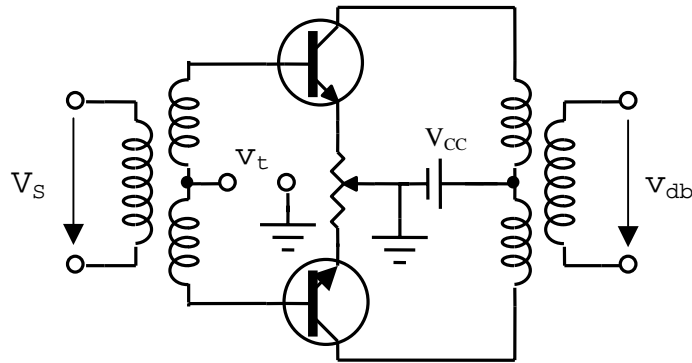
Trong đó :

$$\begin{cases} A = V_s \left(2a_1 + 3a_3 V_t^2 + a_3 \frac{V_s^2}{2} \right) \\ B = \frac{a_3 V_s^2}{2}, \quad C = 2a_2 V_s \cdot V_t, \quad D = 3a_3 \cdot V_s \cdot \frac{V_t}{2} \end{cases}$$



Hình 3.13. Phổ tín hiệu điều biên cân bằng

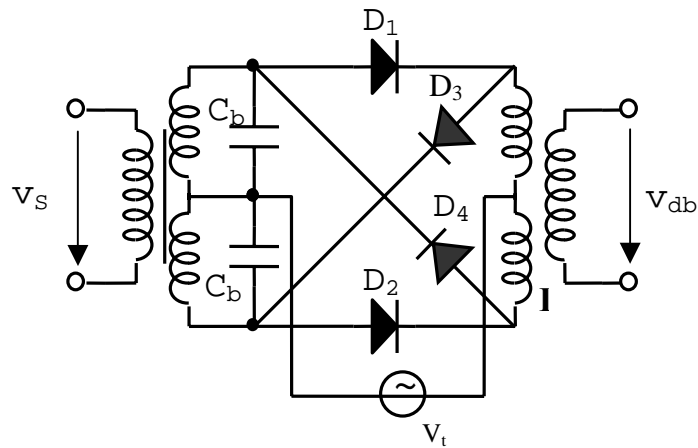
b. Mạch điều biên cân bằng dùng 2BJT



Hình 3.14. Mạch điều biên cân bằng dùng 2 BJT

Kết quả cũng tương tự như trường hợp trên.

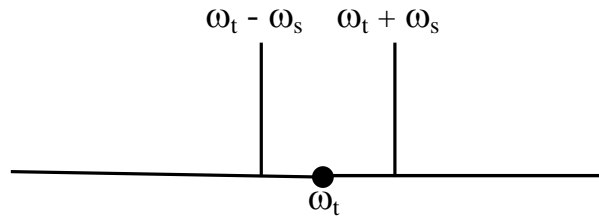
c. Mạch điều chế vòng



Hình 3.15. Mạch điều chế vòng

Gọi : i_I là dòng điện ra của mạch điều chế cân bằng gồm D_1, D_2

i_{II} là dòng điện ra của mạch điều chế cân bằng gồm D_3, D_4



Hình 3.16. Phổ tín hiệu điều chế cân vòng

Theo công thức (4) ở mục trên (điều biên cân bằng dùng diode) ta có được biểu thức tính i_I :

$$i_I = A \cos \omega_s t + B \cos 3\omega_s t + C [\cos (\omega_t + \omega_s) t + \cos (\omega_t - \omega_s) t] + D [\cos (2\omega_t + \omega_s) t + \cos (2\omega_t - \omega_s) t] \quad (*)$$

Ta có : $i_{II} = i_{D3} - i_{D4} \quad (1)$

Trong đó :

$$\begin{aligned} i_{D3} &= a_0 + a_1 v_3 + a_2 v_3^2 + a_3 v_3^3 + \dots \\ i_{D4} &= a_0 + a_1 v_4 + a_2 v_4^2 + a_3 v_4^3 + \dots \end{aligned} \quad (2)$$

Với v_3, v_4 là điện áp đặt lên D_3, D_4 và được xác định như sau :

$$\begin{aligned} v_3 &= -V_t \cos \omega_t t - V_s \cos \omega_s t \\ v_4 &= -V_t \cos \omega_t t + V_s \cos \omega_s t \end{aligned} \quad (3)$$

Thay (3) vào (2) và sau đó thay vào (1), đồng thời lấy 4 vế đầu ta được kết quả :

$$\begin{aligned} i_{II} &= -A \cos \omega_s t - B \cos 3\omega_s t + C [\cos (\omega_t + \omega_s) t + \cos (\omega_t - \omega_s) t] \\ &\quad - D [\cos (2\omega_t + \omega_s) t + \cos (2\omega_t - \omega_s) t] \\ \Rightarrow i_{dB} &= i_I + i_{II} = 2C [\cos (\omega_t + \omega_s) t + \cos (\omega_t - \omega_s) t] \end{aligned} \quad (4)$$

Vậy : mạch điều chế vòng có thể khử được các hàm bậc lẻ của ω_s và các biên tần của $2\omega_s t$, do đó méo phi tuyến rất nhỏ.

3.3. Điều chế đơn biên

3.3.1. Khái niệm

Phổ tín hiệu đã điều biên gồm tải tần và hai dải biên tần, trong đó chỉ có các biên tần mang tin tức. Vì hai dải biên tần mang tin tức như nhau (về biên độ và tần số) nên chỉ cần truyền đi một biên tần là đủ thông tin về tin tức, còn tải tần thì được nén trước khi truyền đi. Quá trình đó gọi là điều chế đơn biên.

Ưu điểm của điều chế đơn biên so với điều chế hai biên :

- Độ rộng dải tần giảm đi một nửa.

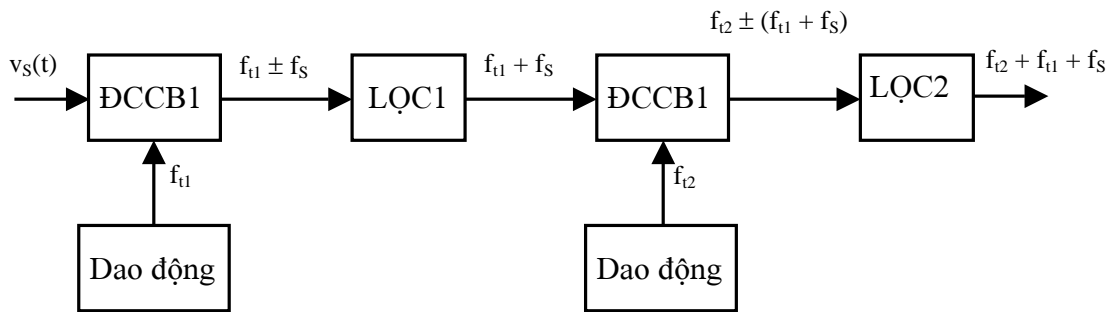
- Công suất phát xạ yêu cầu thấp hơn với cùng một cự ly thông tin.
- Tạp âm đầu thu giảm do dải tần của tín hiệu hẹp hơn,

Biểu thức của điều chế đơn biên : $V_{db}(t) = V_t \cdot \frac{m}{2} \cdot \cos(\omega_t + \omega_s)t$

m : hệ số nén tải tin, $m = \frac{V_s}{V_t}$, m có thể nhận giá trị từ $0 \rightarrow \infty$

3.3.2. Các phương pháp điều chế đơn biên

3.3.2.1. Điều chế theo phương pháp lọc



Hình 3.17. Sơ đồ khối mạch điều chế theo phương pháp lọc

Đặt : $\Delta f_s = f_{s \max} - f_{s \min}$

f_{t1} : tần số của tải tần thứ nhất f_{t2} : tần số của tải tần thứ hai

$$x = \frac{\Delta f_s}{f_t} = \frac{f_{s \max} - f_{s \min}}{f_t} : \text{hệ số lọc của bộ lọc.}$$

Trong sơ đồ khối trên đây, trước tiên ta dùng một tần số dao động f_{t1} khá nhỏ so với dải tần yêu cầu f_{t2} để tiến hành điều chế cân bằng tín hiệu vào $V_s(t)$. Lúc đó hệ số lọc tăng lên để có thể lọc bỏ được một biên tần dễ dàng. Trên đầu ra bộ lọc thứ nhất sẽ nhận được một tín hiệu có dải phổ bằng dải phổ của tín hiệu vào.

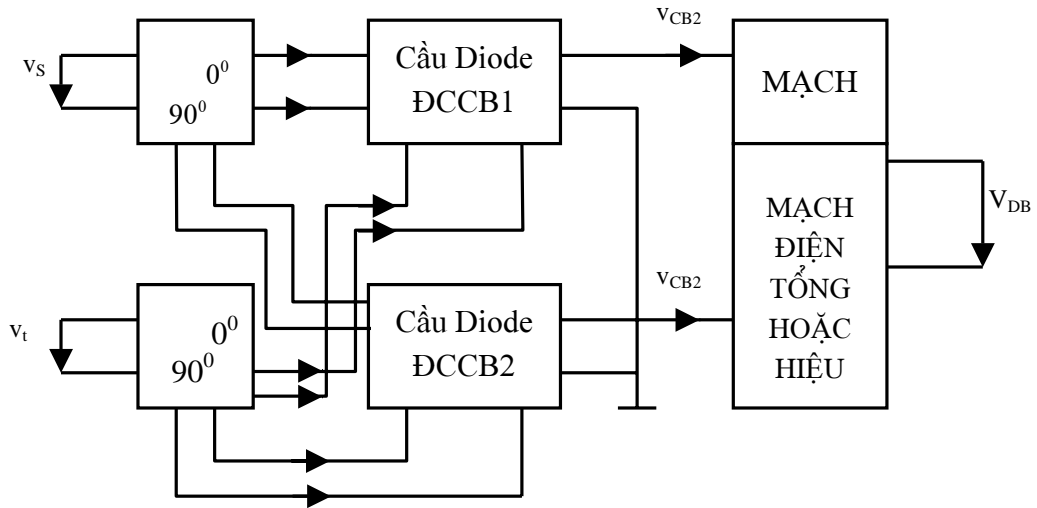
$\Delta f_s = f_{s \max} - f_{s \min}$, nhưng dịch một lượng bằng f_{t1} trên thang tần số, sau đó đưa đến bộ điều chế cân bằng thứ hai mà trên đầu ra của nó là tín hiệu phổ gồm hai biên tần cách nhau một khoảng $\Delta f' = 2(f_{t1} + f_{s \min})$ sao cho việc lọc lấy một dải biên tần nhờ bộ lọc thứ hai thực hiện một cách dễ dàng.

3.3.2.2. Điều chế đơn biên theo phương pháp quay pha

Tín hiệu ra của 2 bộ điều chế cân bằng:

$$V_{CB1} = V_{CB} \cos \omega_s t \cos \omega_t t = \frac{1}{2} V_{CB} [\cos(\omega_t + \omega_s)t + \cos(\omega_t - \omega_s)t]$$

$$V_{CB2} = V_{CB} \sin \omega_s t \sin \omega_t t = \frac{1}{2} V_{CB} [-\cos(\omega_t + \omega_s)t + \cos(\omega_t - \omega_s)t]$$



Hình 3.18. Sơ đồ mạch điều chế đơn biên theo phương pháp pha

Hiệu hai điện áp ta sẽ có biên tần trên :

$$\Rightarrow V_{DB} = V_{CB1} - V_{CB2} = V_{CB} \cos (\omega_t + \omega_s) t$$

Tổng hai điện áp ta sẽ có biên tần dưới :

$$\Rightarrow V_{DB} = V_{CB1} + V_{CB2} = V_{CB} \cos (\omega_t - \omega_s) t$$

3.4 Điều tần và điều pha

3.4.1. Quan hệ giữa điều tần và điều pha

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \quad (1)$$

Với tải tin là dao động điều hòa :

$$V(t) = V_t \cdot \cos (\omega_t t + \varphi_0) = V_t \cdot \cos \varphi (t) \quad (2)$$

Từ (1) rút ra :

$$\varphi (t) = \int_0^t \omega(t).dt + \varphi(t) \quad (3)$$

Thay (3) vào (2), ta được :

$$v(t) = V_t \cdot \cos \left[\int_0^t \omega(t).dt + \varphi(t) \right] \quad (4)$$

Giả thiết tín hiệu điều chế là tín hiệu đơn âm :

$$v_s = V_s \cos \omega_t t \quad (5)$$

Khi điều tần và điều pha thì $\omega (t)$ và $\varphi (t)$ được xác định theo các biểu thức :

$$\omega (t) = \omega_t + K_{dt} V_s \cos \omega_t t \quad (6)$$

$$\varphi(t) = \varphi_o + K_{df} V_s \cos \omega_t t \quad (7)$$

ω_t : tần số trung tâm của tín hiệu điều tần.

$$K_{dt} \cdot V_s = \Delta\omega_m : \text{lượng di tần cực đại}$$

$$K_{df} \cdot V_s = \Delta\varphi_m : \text{lượng di pha cực đại}$$

$$\omega(t) = \omega_t + \Delta\omega_m \cos \omega_t t \quad (8)$$

$$\varphi(t) = \varphi_o + \Delta\varphi_m \cos \omega_t t \quad (9)$$

Khi điều tần thì góc pha đầu không đổi, do đó $\varphi(t) = \varphi_o$.

Thay (8), (9) vào (4) và tích phân lên, ta nhận được :

$$v_{dt}(t) = V_t \cdot \cos \left(\omega_t t + \frac{\Delta\omega_m}{\omega_s} \sin \omega_t t + \varphi_o \right) \quad (10)$$

Tương tự thay $\varphi(t)$ trong (9) vào (4) và cho $\omega = \omega_t = \text{cte}$ ta có :

$$v_{dt}(t) = V_t \cdot \cos (\omega_t t + \Delta\varphi_m \cos \omega_t t + \varphi_o) \quad (11)$$

Lượng di pha đạt được khi điều pha : $\Delta\varphi = \Delta\varphi_m \cos \omega_t t$

Tương tự với lượng di tần :

$$\Delta\omega = \frac{d\Delta\varphi}{dt} = \Delta\varphi_m \omega_s \cdot \sin \omega_s t$$

Lượng di tần cực đại đạt được khi điều pha :

$$\Delta\omega_m = \omega_s \cdot \Delta\varphi_m = \omega_s \cdot K_{df} \cdot V_s \quad (12)$$

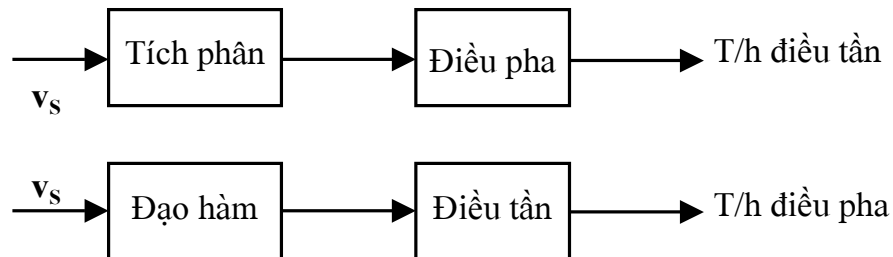
Lượng di tần cực đại đạt được khi điều tần :

$$\Delta\omega_m = K_{dt} \cdot V_s \quad (13)$$

Từ (12) và (13) ta thấy rằng : điểm khác nhau cơ bản giữa điều tần và điều pha là:

- Lượng di tần khi điều pha tỉ lệ với V_s và ω_s
- Lượng di tần khi điều tần tỉ lệ với V_s mà thôi.

Từ đó ta có thể lập được hai sơ đồ khối minh họa quá trình điều tần và điều pha :



Hình 3.19. Sơ đồ khối quá trình điều pha và điều tần

3.4.2. Phổ của dao động đã điều tần và điều pha

Trong biểu thức (10), cho $\varphi_0 = 0$, đặt $\frac{\Delta\varphi_m}{\omega_s} = M_f$ gọi là hệ số điều tần, ta sẽ có

$$\text{biểu thức điều tần : } v_{dt} = V_t \cos [\omega_t t + M_f \sin \omega_t t] \quad (14)$$

Tương tự, ta có biểu thức của dao động đã điều pha :

$$v_{df} = V_t \cos [\omega_t t + M \cos \omega_t t] \quad (15)$$

Trong đó : $M = \Delta\varphi_m$

Thông thường tín hiệu điều chế là tín hiệu bất kỳ gồm nhiều thành phần tần số. Lúc đó tín hiệu điều chế tần số và điều chế pha có thể biểu diễn tổng quát theo biểu thức :

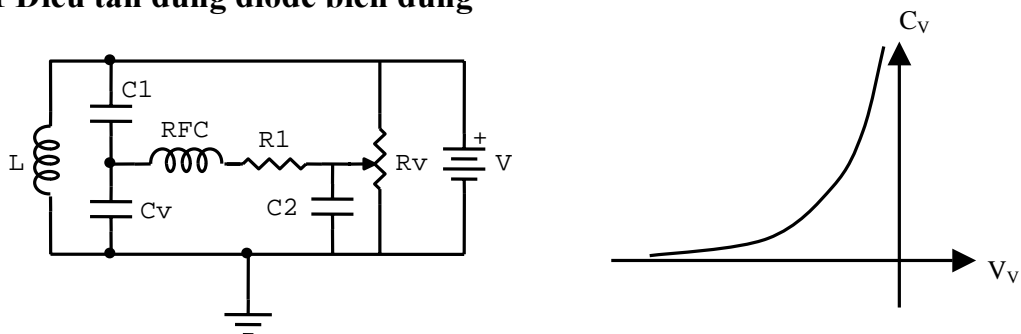
$$V_{dt} = V_t \cos [\omega_t t + \sum_{i=1}^m \Delta M_i \cos(\omega_{si} t + \varphi_i)]$$

Phổ của tín hiệu điều tần gồm có tất cả các thành phần tần số tổ hợp : $\omega_t + \sum_{i=1}^m \mu_i \omega_{si}$

Với μ_i là một số nguyên hữu tỉ; $-\infty \leq \mu_i \leq \infty$

3.4.3 Mạch điều tần và điều pha

3.4.3.1 Điều tần dùng diode biến dung



Hình 3.20. Mạch điều tần dùng Diode biến dung và đặc tuyến của C_v

L, C_v tạo thành khung cộng hưởng dao động của một mạch dao động

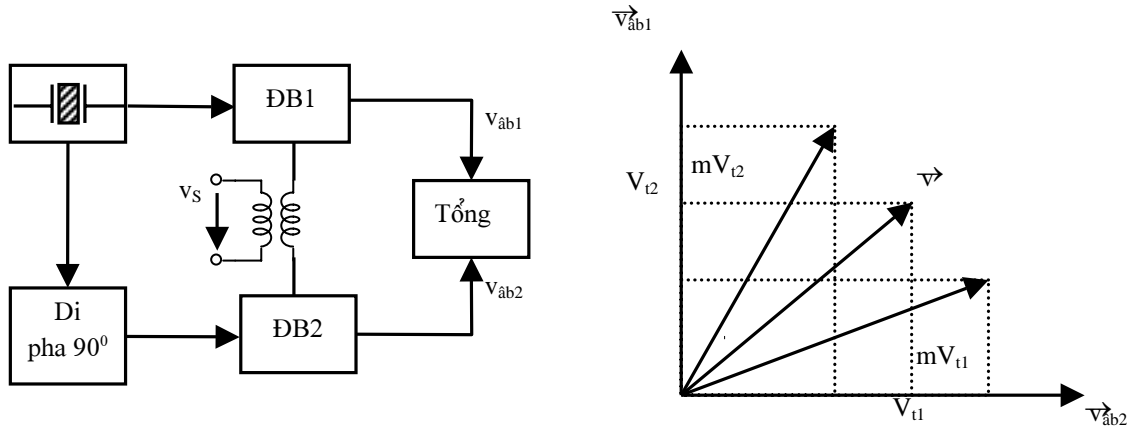
C_1 : tụ ngăn DC

C_2 : tụ thoát cao tần để ổn định phân cực cho C_v

RFC : cuộn cảm cao tần

R_1 : trở ngăn cách giữa mạch cộng hưởng và nguồn cung cấp khi R_v thay đổi $\rightarrow V_{PC}$ thay đổi $\rightarrow C_v$ thay đổi theo làm cho tần số cộng hưởng riêng $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_v}}$ của khung cộng hưởng LC_v thay đổi, dẫn đến quá trình điều tần.

3.4.3.2 Điều pha theo Amstrong



Hình 3.21. Mạch điều pha theo Amstrong và đồ thị vectơ của tín hiệu

Tải tin từ thạch anh đưa đến bộ điều biên 1 (ĐB1) và điều biên 2 (ĐB2) lệch pha 90° , còn tín hiệu điều chế v_s đưa đến hai mạch điều biên ngược pha. Điện áp ra trên hai bộ điều pha :

$$\begin{aligned} v_{db1} &= V_{t1} (1 + m \cos \omega_s t) \cos \omega_t t \\ &= \frac{V_{t1} \cos \omega_t t - mV_{t1} [\cos(\omega_t + \omega_s)t + \cos(\omega_t - \omega_s)t]}{2} \end{aligned}$$

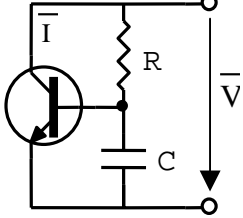
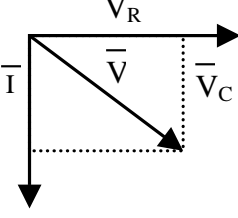
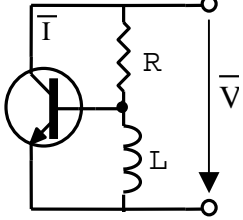
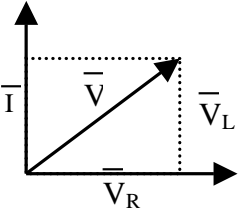
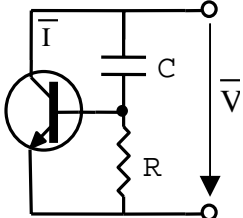
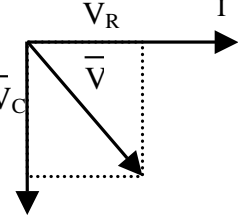
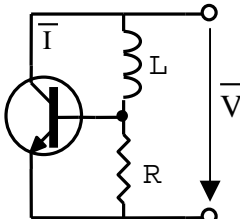
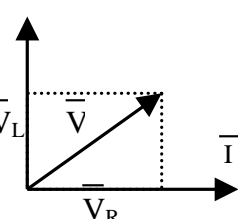
$$\begin{aligned} v_{db2} &= V_{t2} (1 - m \cos \omega_s t) \sin \omega_t t \\ &= \frac{V_{t2} \sin \omega_t t - mV_{t2} [\sin(\omega_t + \omega_s)t + \sin(\omega_t - \omega_s)t]}{2} \end{aligned}$$

Đồ thị véc tơ của tín hiệu \vec{V}_{db1} và \vec{V}_{db2} và véc tơ tổng của chúng $\vec{V} = \vec{V}_{db1} + \vec{V}_{db2}$ là một dao động được điều chế pha và biên độ. Điều biên ở đây là điều biên ký sinh.

Để hạn chế điều biên ký sinh \rightarrow chọn $\Delta\phi$ nhỏ ($\Delta\phi < 0,35$)

3.4.3.3 Điều tần dùng Transistor điện kháng

Phần tử điện kháng : dung tích hoặc cảm tính có trị số biến thiên theo điện áp điều chế đặt trên nó được mắc song song với hệ dao động của bộ dao động làm cho tần số dao động thay đổi theo tín hiệu điều chế. Phần tử điện kháng được thực hiện nhờ một mạch di pha trong mạch hồi tiếp của BJT. Có 4 cách mắc phần tử điện kháng như hình vẽ.

Cách mắc mạch	Sơ đồ nguyên lý	Đồ thị véc tơ	Trị số điện kháng	Tham số tương đương
Mạch phân áp RC			$Z = j \cdot \omega \frac{RC}{S}$	$L_{td} = \frac{RC}{S}$
Mạch phân áp RL			$Z = -j \cdot \frac{R}{\omega LS}$	$C_{td} = \frac{LS}{R}$
Mạch phân áp CR			$Z = -j \cdot \frac{1}{\omega RCS}$	$C_{td} = RCS$
Mạch phân áp LR			$Z = j\omega \cdot \frac{L}{RS}$	$L_{td} = \frac{L}{RS}$

Với mạch phân áp RC ta tính được :

$$Z = \frac{\bar{V}}{\bar{I}} = \frac{\bar{V}}{S \cdot \bar{V}_{BE}} \quad (I_C = S \cdot V_{BE} \Rightarrow I_C \text{ luôn luôn cùng pha với } V_{BE})$$

$$Z = \frac{\bar{V}}{\frac{1}{S \cdot \bar{V} \cdot \frac{j\omega C}{R + \frac{1}{j\omega C}}}} = \frac{R + \frac{1}{j\omega C}}{\frac{1}{j\omega C}}$$

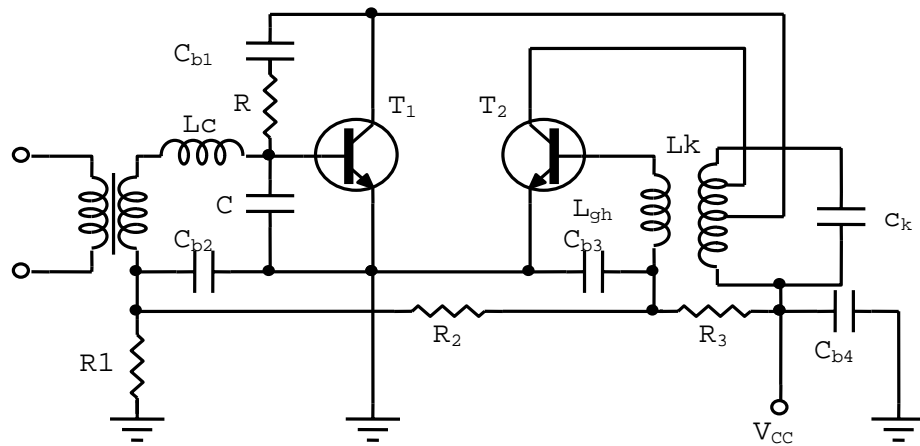
Nếu chọn $\frac{1}{j\omega C} \ll R$ (hợp lý vì $\frac{1}{j\omega C}$ tương ứng với V_{BE} ; R tương ứng với V_{CB})

$$\Rightarrow \cong \frac{j\omega CR}{S} = jX_L = j\omega L_{td} \quad \text{Với} \quad L_{td} = \frac{RC}{S}$$

Tham số của điện kháng tương đương phụ thuộc vào độ hở dẫn S của BJT.

Điều tần dùng phân tử điện kháng có thể đạt được lượng di tần tương đối là $\frac{\Delta f}{f_t}$ khoảng 2%

- Sơ đồ bộ tạo dao động điều tần bằng phân tử điện kháng phân áp RC :



Hình 3.22. Sơ đồ mạch tạo dao động điều tần phân tử điện kháng phân áp RC

T_1 : BJT điện kháng;

T_2 : BJT dao động