

## CHƯƠNG 4

### TÁCH SÓNG

#### 4.1. Khái niệm

Tách sóng là quá trình tìm lại tín hiệu điều chế. Tín hiệu sau khi tách sóng phải giống tín hiệu điều chế ban đầu.

Thực tế tín hiệu điều chế  $v_s$  sau khi qua điều chế và qua kênh truyền sóng đưa đến bộ tách sóng đã bị méo dạng thành  $v'_s$ . Do méo phi tuyến trong bộ tách sóng nên sau khi tách sóng ta lại nhận được tín hiệu  $v''_s$  khác với  $v'_s$ . do đó  $v''_s$  khác  $v_s$  ban đầu. Vì vậy chống méo phi tuyến là một trong những yêu cầu cơ bản của quá trình tách sóng.

#### 4.2. Tách sóng biên độ

##### 4.2.1. Các tham số cơ bản

##### 4.2.1.1. Hệ số tách sóng

Tín hiệu vào của bộ tách sóng là tín hiệu đã điều biên :

$$v_{vTS} = V_{vTS}(t) \cdot \cos \omega_c t = V_{Zt} \cos \omega_c t$$

Trong đó :  $V_{vTS}(t)$  : biến thiên theo qui luật của tin tức.

Tín hiệu ra bộ tách sóng :

$$V_{rTS}(t) = K_{TS} \cdot V_{vTS}(t)$$

Với:  $K_{TS} = \frac{V_{rTS}(t)}{V_{vTS}(t)}$  = hệ số tỉ lệ và được gọi là hệ số tách sóng

$V_{rTS}(t)$ ,  $V_{vTS}(t)$  gồm có thành phần một chiều và thành phần xoay chiều biến thiên chậm theo thời gian:

$$V_{rTS}(t) = V'_o + v'_s$$

$$V_{vTS}(t) = V''_o + v''_s$$

Chỉ cần quan tâm đến thành phần biến thiên chậm (mang tin tức)  $\rightarrow$  hệ số tách sóng:

$$K_{TS} = \frac{v''_s}{v'_s}$$

$v'_s$  và  $v''_s$  là điện áp vào và ra của bộ tách sóng

$K_{TS}$  càng lớn thì hiệu quả tách sóng càng cao.

Nếu  $K_{TS} = Cte$  thì  $v''_s$  tỉ lệ  $v'_s$  và bộ tách sóng không gây méo phi tuyến, gọi là bộ tách sóng tuyến tính.

#### 4.2.1.2. Trở kháng vào của bộ tách sóng

$$Z_{vTS} = \frac{V_{vTS}}{I_{vTS}}$$

Thông thường dòng và áp lệch pha  $\rightarrow Z_{vTS}$  là một số phức.

#### 4.2.1.3. Méo phi tuyến

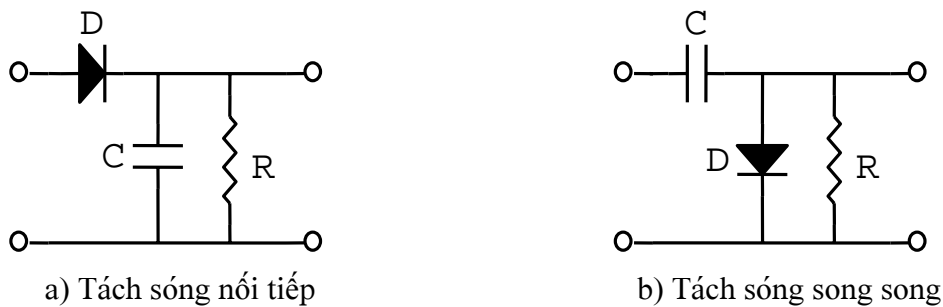
$$\text{Hệ số méo phi tuyến : } K = \frac{\sqrt{I_{2ZS}^2 + I_{3ZS}^2 + \dots}}{I_{ZS}} \cdot 100\%$$

$I_{ZS}, I_{2ZS}, I_{3ZS} \dots$  biên độ thành phần cơ bản và các hài của tín hiệu điều chế.

Ta không quan tâm đến các dòng điện cao tần (tải tần và hai bậc cao của nó), vì trong mạch điện bộ tách sóng có thể dễ dàng lọc bỏ các thành phần này.

### 4.2.2. Mạch điện bộ tách sóng biên độ

#### 4.2.2.1. Mạch tách sóng biên độ bằng mạch chỉnh lưu



Hình 4.1. Mạch tách sóng biên độ bằng mạch chỉnh lưu

Ta phân tích và tính toán đối với sơ đồ tách sóng nối tiếp. Khi tín hiệu vào lớn thì đặc tuyến Volt - Ampe của diode :

$$i_D = \begin{cases} S V_D & V_D \geq 0 \\ 0 & V_D < 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$i_D = S \cdot V_D = S (V_{db} - V_C) \quad (2)$$

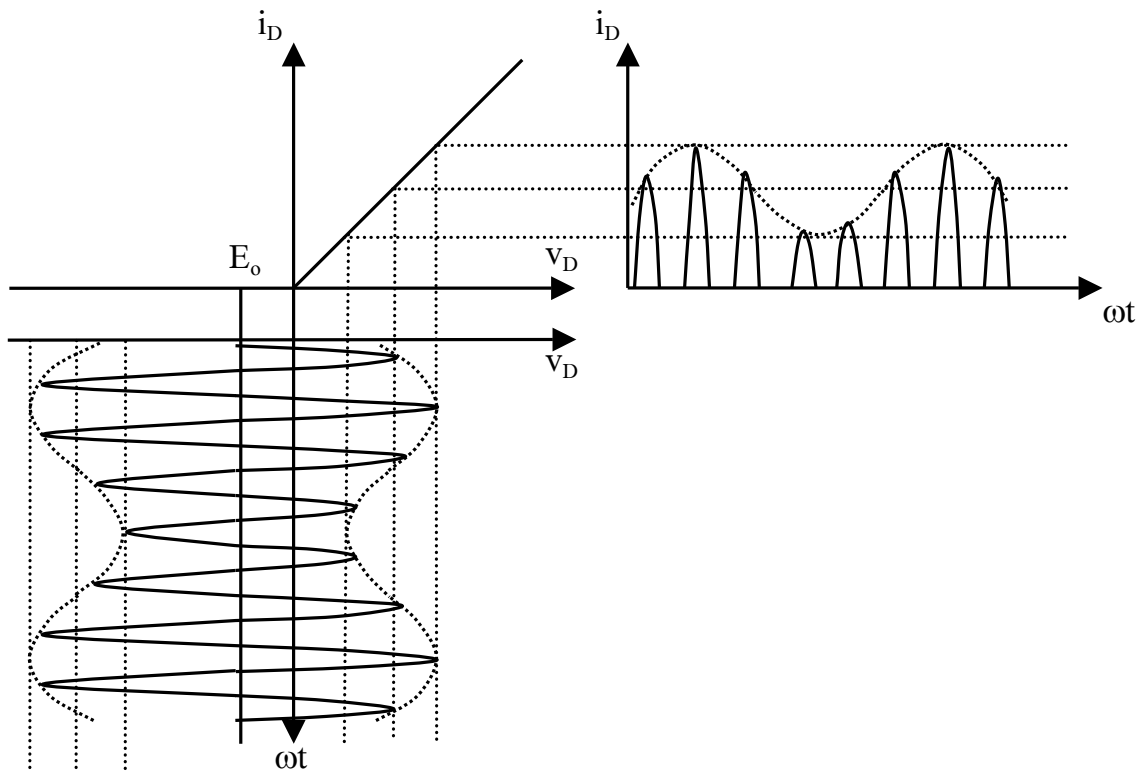
$$\text{Với : } V_{db} = V_T (1 + m \cos \omega_s t) \cdot \cos \omega_t t = V_{db} \cos \omega_t t$$

$$\Rightarrow i_D = S (V_{db} \cdot \cos \omega_t t - V_C) \quad (3)$$

Khi  $\cos \omega_t t = \theta$  thì  $i_D = 0$ , thay vào biểu thức (3) ta có :

$$0 = S (V_{db} \cdot \cos \omega_t t - V_C) \quad (4)$$

$$\Rightarrow \text{Góc dẫn điện của diode : } \cos \theta = \frac{V_C}{V_{db}} \quad (4')$$



Hình 4.2. Đặc tuyến của diode và đồ thị của tín hiệu vào ra khi làm việc ở chế độ C

Khai triển  $i_D$  theo chuỗi Fourier :

$$i_D = I_0 + I_1 \cos \omega_1 t + I_2 \cos \omega_2 t + \dots + I_n \cos \omega_n t \quad (5)$$

$$\text{Trong đó : } \begin{cases} I_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^\theta i_D d\omega_1 t \\ I_1 = \frac{2}{\pi} \int_0^\theta i_D \cos \omega_1 t d\omega_1 t \\ I_n = \frac{2}{\pi} \int_0^\theta i_D n \omega_1 t d\omega_1 t \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{Tính bằng cách thay thế dần ta được : } I_0 = \frac{S \cdot U_{db}}{\pi} (\sin \theta - \theta \cos \theta) \quad (7)$$

$$I_1 = \frac{S \cdot U_{db}}{\pi} (\theta - \sin \theta \cos \theta) \quad (8)$$

Từ dòng một chiều  $I_0$  ta tính được điện áp ra trên tải :

$$V_c = R \cdot I_0 = \frac{R \cdot S}{\pi} V_{db} (\sin \theta - \theta \cos \theta) \quad (9)$$

Thay (9) vào (4'), ta được :

$$\cos\theta = \frac{R.S}{\pi} (\sin\theta - \theta \cos\theta) \quad (10)$$

$$\Rightarrow \operatorname{tg} \theta - \theta = \frac{\pi}{S.R} \quad (11)$$

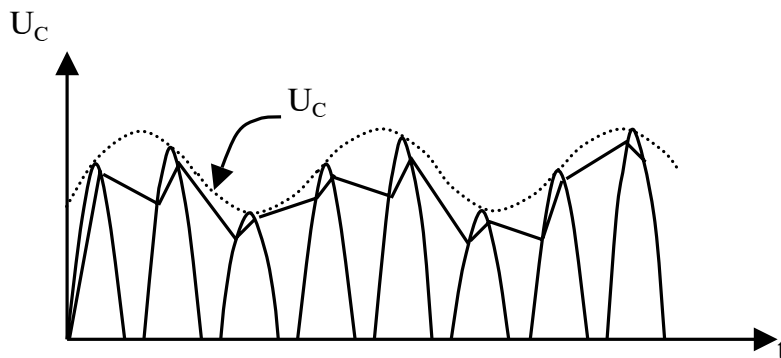
Từ (11) ta suy ra :

Góc điện dẫn  $\theta$  chỉ phụ thuộc vào tham số mạch điện (S, R) mà không phụ thuộc vào tín hiệu vào. Do đó tách sóng tín hiệu lớn là tách sóng không gây méo phi tuyến.

Chú ý : phổ của dòng điện  $i_D$  gồm có các thành phần : một chiều,  $\omega_t$ ,  $\omega_s$ ,  $\omega_t \pm \omega_s$ ,  $n\omega_t \pm \omega_s$ . Thông thường  $\omega_t \gg \omega_s$  do đó các thành phần  $\omega_t$ ,  $\omega_t \pm \omega_s$ , và  $n\omega_t \pm \omega_s$  được loại bỏ dễ dàng nhờ mạch lọc thông thấp. Chỉ còn thành phần hữu ích :

$$i_s = m.S.V_t \cdot \cos\omega_t.$$

Để tránh méo, trước khi tách sóng cần phải khuếch đại để tín hiệu đủ lớn để đảm bảo chế độ tách sóng tuyến tính.



Hình 4.3. Đồ thị theo thời gian của tín hiệu trước và sau tách sóng

$T = RC$  là hằng số thời gian phóng nạp của tụ điện.

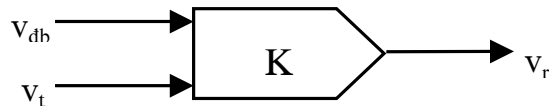
Để điện áp ra tải gần với dạng đường bao của điện áp cao tần ở đầu vào, ta phải chọn  $T = RC$  đủ lớn. Tuy nhiên, nếu chọn  $C$  quá lớn thì điện áp ra không biến thiên kịp với biên độ điện áp vào gây ra méo tín hiệu.

Tổng quát ta chọn :  $\frac{1}{\omega_t} \ll RC \ll \frac{1}{\omega_s}$  Trong hai sơ đồ trên, sơ đồ tách sóng nối tiếp có điện trở vào lớn hơn sơ đồ tách sóng song song.

Ngoài ra, trên tải của sơ đồ tách sóng song song còn có điện áp cao tần, do đó phải dùng bộ lọc để lọc nó.

Vì những lý do trên nên sơ đồ tách sóng song song chỉ được dùng trong trường hợp cần ngăn thành phần một chiều từ tầng trước đưa đến.

#### 4.2.2.2 Tách sóng biên độ dùng phân tử tuyến tính tham số



Hình 4.4. Mạch tích sóng tín hiệu dùng phân tử tuyến tính

$$V_{dB} = V_t (1 + m \cos \omega_s t) \cdot \cos \omega_t t \quad \text{và} \quad V_t = V_t \cos (\omega_t t + \varphi) \quad \Rightarrow \quad V_r = V_{dB} \cdot V_t \cdot K$$

$$\Rightarrow V_r = \frac{KV_t^2}{2} (1 + m \cos \omega_s t) \cos \varphi + K \cdot V_t^2 \left( \frac{1 + m \cos \omega_s t}{2} \right) \cdot \cos (2\omega_t t + \varphi) \quad (1)$$

Dùng mạch lọc thông thấp có thể tách ra thành phần tử hữu ích :

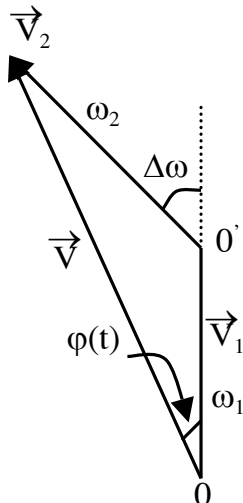
$$V_s'' = \frac{KV_t^2}{2} (1 + m \cos \omega_s t) \cdot \cos \varphi \quad \text{Nhận xét :}$$

- Trong phổ điện áp ra không có thành phần tải tần
- Muốn tách được sóng  $u_t$  phải có tần số bằng tần số tải tin của t/h đã điều biên
- Biên độ điện áp đầu ra phụ thuộc vào góc pha  $\varphi$  với  $\varphi$  là góc lệch pha giữa tín hiệu cần tách sóng và tải tin phụ.
- Khi  $\varphi = 0 \Rightarrow V_s''$  cực đại, khi  $\varphi = \pm \frac{\pi}{2} \rightarrow V_s'' = 0$
- Bộ tách sóng vừa có tính chọn lọc về biên độ, vừa có chọn lọc về pha gọi là bộ tách sóng biên độ pha
- Để tách sóng có hiệu quả cần phải đồng bộ tín hiệu vào và tải tin phụ về tần số và góc lệch pha. Bộ tách sóng này còn có tên gọi là bộ tách sóng đồng bộ.

#### 4.2.3 Hiện tượng phách và hiện tượng chèn ép trong tách sóng biên độ

Đó là trường hợp trên đầu vào bộ tách sóng biên độ có hai dao động cao tần: tín hiệu và nhiễu.

##### 4.2.3.1 Hiện tượng phách



$$\text{Tín hiệu :} \quad v_1 = V_1 \cos \omega_1 t$$

$$\text{Nhiều :} \quad v_2 = V_2 \cos \omega_2 t$$

$$\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2 = V(t) \cos [\omega_1 t + \varphi(t)]$$

Xem  $\vec{V}_1$  đứng yên thì  $\vec{V}_2$  quay quanh  $O'$  với vận tốc  $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$ . Vì  $\vec{V}_1, \vec{V}_2$  có tần số không cố định nên biên độ vectơ tổng không cố định. Áp dụng hệ thức lượng trong tam giác thường :

Hình 4.5. Sơ đồ các vectơ điện áp tín hiệu

$$V(t) = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + 2V_1V_2 \cos \Delta\omega t}$$

$$\varphi(t) = \arctg \cdot \frac{V_2 \cdot \sin \Delta\omega t}{V_1 + V_2 \cos \Delta\omega t}$$

$$V_{\text{rTS}} = K_{\text{TS}} \cdot V_{\text{vTS}} = K_{\text{TS}} \cdot V_1 \sqrt{1 + \frac{V_2^2}{V_1^2} + 2 \frac{V_2}{V_1} \cos(\Delta\omega t)} \quad (*)$$

Vậy điện áp biến thiên theo tín hiệu  $\Delta\omega$ . Gọi là hiện tượng phách.

#### 4.2.3.2 Hiện tượng chèn ép

Trường hợp hai dao động cao tần tác động đồng thời lên bộ tách sóng có biên độ chênh lệch nhau nhiều gọi là hiện tượng chèn ép.

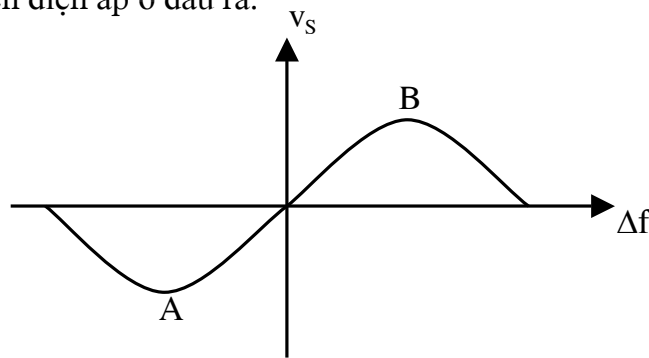
Tín hiệu lớn chèn tín hiệu bé, biểu hiện tính chọn lọc theo biên độ của bộ tách sóng.

Chẳng hạn với biểu thức (\*) ở trên ta thấy khi biên độ tín hiệu  $V_1 \gg$  so với biên độ nhiễu  $V_2$  thì lượng  $\frac{V_2^2}{V_1^2}$  và  $2 \cdot \frac{V_2}{V_1} \cos(\Delta\omega t)$  nhỏ, nghĩa là tác dụng chọn lọc của bộ tách sóng biên độ rất có lợi.

### 4.3 Tách sóng tín hiệu điều tần

#### 4.3.1 Khái niệm

Tách sóng tín hiệu điều tần là quá trình biến đổi lệch tần số tức thời của tín hiệu thành biến thiên điện áp ở đầu ra.



Hình 4.6. Đặc tuyến truyền đạt của bộ tách sóng

Đặc tuyến truyền đạt của bộ tách sóng biểu diễn quan hệ giữa điện áp ra và lượng biến thiên của tần số ở đầu vào.

Đề hạn chế méo phi tuyến, phải chọn điểm làm việc trong phạm vi tương đối thẳng của đặc tuyến truyền đạt. (đoạn AB).

Hệ số truyền đạt của bộ tách sóng là độ dốc lớn nhất trong khu vực làm việc của đặc tuyến truyền đạt.

$$S_f = \left. \frac{dv_s}{d\Delta f} \right|_{\Delta f = 0}$$

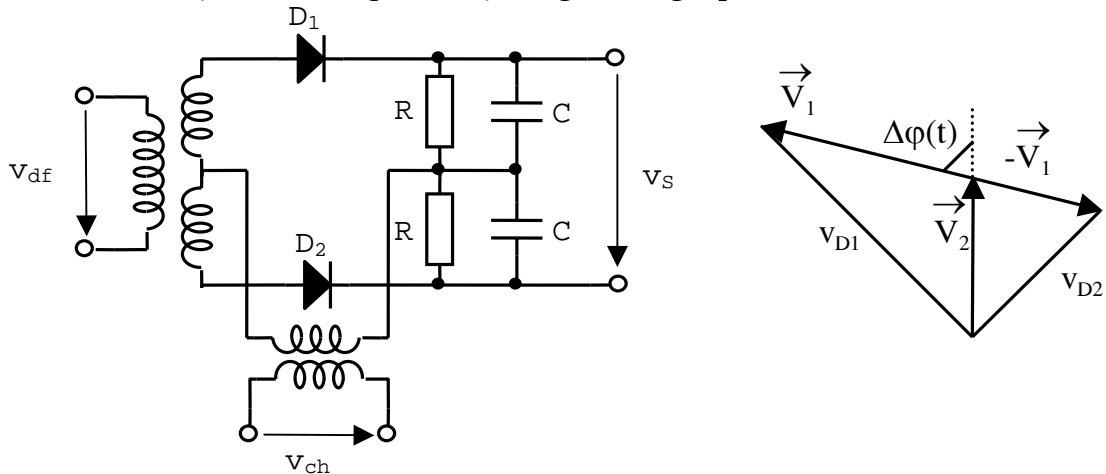
Tách sóng tần số và tách sóng pha thường được thực hiện theo một trong những nguyên tắc sau đây :

1. Biến tín hiệu điều tần hoặc điều pha thành tín hiệu điều biên rồi tách sóng biên độ.
2. Biến điều tần thành điều rộng xung rồi tách sóng nhờ mạch tích phân.
3. Làm cho tần số của tín hiệu điều tần bám theo tần số của một bộ dao động nhờ hệ thống vòng giữ pha PLL, điện áp sai số chính là điện áp cần tách sóng.

### 4.3.2 Mạch điện bộ tách sóng tần số

#### 4.3.2.1 Mạch tách sóng pha cân bằng dùng diode (DISCRIMINATOR)

Gồm hai mạch tách sóng biên độ dùng diode ghép với nhau.



Hình 4.7. Mạch sóng pha cân bằng dùng diode và đồ thị vectơ tín hiệu

Biểu thức của tín hiệu điều pha và một dao động chuẩn được biểu diễn :

$$v_{df} = V_1 \cdot \cos [\omega_{01}t + \varphi(t) + \varphi_{01}] = V_1 \cdot \cos \varphi_1(t)$$

$$v_{ch} = V_2 \cdot \cos (\omega_{02}t + \varphi_{02}) = V_2 \cdot \cos \varphi_2(t)$$

Điện áp đặt trên hai bộ tách sóng biên độ : (diode  $D_1, D_2$ )

$$v_{D1} = V_1 \cdot \cos [\omega_{01}t + \varphi(t) + \varphi_{01}] + V_2 \cos (\omega_{02}t + \varphi_{02}) = V_1 \cdot \cos \varphi_1(t)$$

$$v_{D2} = -V_1 \cdot \cos [\omega_{01}t + \varphi(t) + \varphi_{01}] + V_2 \cos (\omega_{02}t + \varphi_{02}) = V_1 \cdot \cos \varphi_1(t)$$

Áp dụng tính chất của hệ thức lượng trong tam giác thường ta tính được điện áp ra trên hai tải R, C :

$$V_{R1}(t) = v_{S1} = K_{TS} \cdot v_{D1} = K_{TS} \cdot \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + 2V_1V_2 \cos \Delta\varphi(t)}$$

$$V_{R2}(t) = v_{S2} = K_{TS} \cdot v_{D2} = K_{TS} \cdot \sqrt{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1V_2 \cos \Delta\varphi(t)}$$

$K_{TS}$  : hệ số truyền đạt của bộ tách sóng biên độ.

$$K_{TS} = \frac{V_s}{mV_t}$$

$\Delta\varphi(t)$  : hiệu pha của hai điện áp vào :

$$\Delta\varphi(t) = (\omega_{01} - \omega_{02})t + \varphi(t) + \varphi_{01} - \varphi_{02}$$

Điện áp ra trên bộ tách sóng :

$$\begin{aligned} v_s &= v_{S1} - v_{S2} \\ &= K_{TS} [ \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + 2V_1V_2 \cos \Delta\varphi(t)} - \sqrt{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1V_2 \cos \Delta\varphi(t)} ] \end{aligned}$$

$\Rightarrow v_s$  : phụ thuộc vào hiệu pha của tín hiệu điều pha và tín hiệu chuẩn.

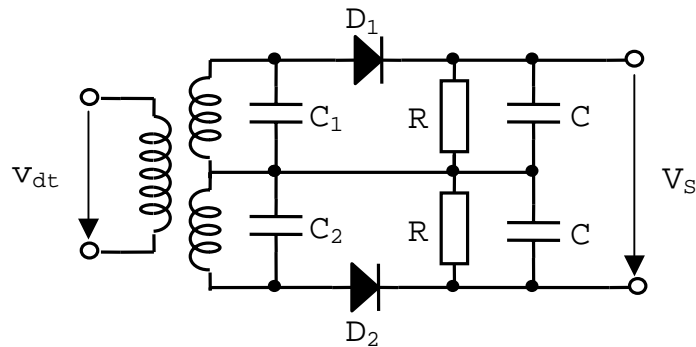
Trường hợp  $\omega_{01} = \omega_{02}$  ;  $\varphi_{01} = \varphi_{02} \Rightarrow v_s$  phụ thuộc vào  $\varphi(t)$

+  $v_s$  : đạt cực đại  $\Leftrightarrow \Delta\varphi = 0, 2\pi; 4\pi$ .

+  $v_s$  : đạt cực tiểu  $\Leftrightarrow \Delta\varphi = \pi; 3\pi; 5\pi$

+  $v_s = 0 \Leftrightarrow \Delta\varphi = (2n + 1) \frac{\pi}{2}$  (với  $n = 0, 1, 2, \dots$ )

#### 4.3.2.2. Bộ tách sóng tần số dùng mạch lệch cộng hưởng



Hình 4.8. Bộ tách sóng tần số dùng bộ lệch cộng hưởng

Mạch cộng hưởng 1 : cộng hưởng ở tần số  $\omega_1$

Mạch cộng hưởng 2 : cộng hưởng ở tần số  $\omega_2$

Gọi  $\omega_0 = \omega_t$  là tần số trung tâm.

$$\omega_1 = \omega_0 + \Delta\omega_0$$

$$\omega_2 = \omega_0 - \Delta\omega_0$$



Biên độ  $U_1, U_2$  thay đổi phụ thuộc vào sự sai lệch tần số  $\omega_1, \omega_2$  so với tần số cộng hưởng riêng của mạch 1 và 2, nghĩa là biến thiên theo điện áp vào :

$$V_1 = Km.V_{dt}.Z_1;$$

$K$  : hệ số quy đổi cho đúng thứ nguyên hai vế,  $K = \frac{1}{\Omega}$

$$V_2 = Km.V_{dt}.Z_2$$

$m$  : hệ số ghép biến áp :  $m = \frac{M}{L}$

$Z_1, Z_2$  : trở kháng của hai mạch cộng hưởng 1 và 2.

$$Z_1 = \frac{R_{td1}}{\sqrt{1 + \left(\frac{2Q(\omega - \omega_2)}{\omega_0}\right)^2}} = \frac{R_{td1}}{\sqrt{1 + (\nu_0 - \nu)^2}}$$

$$Z_2 = \frac{R_{td2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{2Q(\omega - \omega_2)}{\omega_0}\right)^2}} = \frac{R_{td2}}{\sqrt{1 + (\nu_0 - \nu)^2}}$$

$R_{td1}, R_{td2}$  : trở kháng của hai mạch cộng hưởng 1 và 2 tại tần số cộng hưởng  $\omega_1$  và  $\omega_2$ .

$Q_1, Q_2$  : hệ số phẩm chất.

Chọn hai mạch cộng hưởng như nhau :

$$\Rightarrow R_{td1} = R_{td2}; Q_1 = Q_2 = Q$$

$D_0 = 2Q \frac{|\omega_0 - \omega_{1,2}|}{\omega_0}$  : độ lệch tần tương đối giữa tần số cộng hưởng

riêng của mạch điện động và tần số trung bình của tín hiệu vào.

$D = 2Q \frac{|\omega_0 - \omega_0|}{\omega_0}$  : độ lệch tần số tương đối \*\*\*\* tần số tín hiệu vào

và tần số trung bình.

Khi tín hiệu  $\omega$  vào thay đổi thì  $\nu$  thay đổi  $\Rightarrow Z_1, Z_2$  thay đổi  $\Rightarrow V_1, V_2$  thay đổi.

Nghĩa là quá trình biến đổi điều tần thành tín hiệu điều biên. Sau khi qua hai bộ tách sóng (D, R)  $\Rightarrow$  ta nhận được các điện áp ra :

$$v_{S1} = K_{TS} \cdot V_1 = K_{TS} \cdot m \cdot V dt \cdot \frac{R dt_1}{\sqrt{1 + (v_0 - v)^2}}$$

$$v_{S2} = K_{TS} \cdot V_2 = K_{TS} \cdot m \cdot V dt \cdot \frac{R dt_2}{\sqrt{1 + (v_0 + v)^2}}$$

Điện áp ra tổng :

$$v_S = v_{S1} - v_{S2} = K_{TS} \cdot m \cdot R dt \cdot V dt \cdot \Psi (v_0, v)$$

$$\text{khi } v = +v_0 \Rightarrow \Psi = 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 4v_0^2}}$$

$$\text{khi } v = -v_0 \Rightarrow \Psi = \frac{1}{\sqrt{1 + 4v_0^2}} - 1 < 0$$

$$\text{Trong đó : } \Psi (v_0, v) = \frac{1}{\sqrt{1 + (v_0 - v)^2}} - \frac{1}{\sqrt{1 + (v_0 + v)^2}}$$

$$\Psi \Rightarrow \Psi_{\max} \text{ khi } v = -v_0 = +v_0$$

Độ dốc của đặc tuyến truyền đạt được xác định :

$$S_f = \left. \frac{dus}{d\Delta f} \right|_{\Delta f = 0} = K_{TS} \cdot m \cdot V_{dt} \cdot R_{td} \cdot \left. \frac{d\Psi(v, v_0)}{dv} \right|_{v=0}$$

$$S_f = \frac{K_{TS} \cdot m \cdot R dt \cdot V dt}{f_0} : \frac{2v_0}{(1 + v_0^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (*)$$

Vậy  $S_f$  phụ thuộc vào  $v_0$ . Đạo hàm (\*) theo  $v_0$  và xét cực trị ta thấy  $S_f = S_{f \max}$  khi  $v_0 = \pm \frac{1}{\sqrt{2}}$ . Vậy muốn hệ số truyền đạt cực đại phải chọn lượng lệch tần  $\Delta\omega_0$  theo điều

kiện sau đây :

$$\Delta\omega_0 = \frac{\omega_0 v_0}{2Q} = \pm \frac{1}{2\sqrt{2}} \cdot \frac{\omega_0}{Q}$$

Nhược điểm của mạch tách sóng cộng hưởng : khó điều chỉnh cho hai mạch cộng hưởng hoàn toàn đối xứng, nên ít được dùng).