

**HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG**



**CƠ SỞ**  
**KỸ THUẬT ĐIỆN – ĐIỆN TỬ**

*(Dùng cho sinh viên hệ đào tạo đại học từ xa)*

**Lưu hành nội bộ**

**HÀ NỘI - 2006**

# **CƠ SỞ**

## **KỸ THUẬT ĐIỆN – ĐIỆN TỬ**

**Biên soạn : Ths. NGÔ ĐỨC THIÊN**

# LỜI NÓI ĐẦU

Tài liệu hướng dẫn học tập môn học này được biên soạn dựa theo bài giảng môn học "Cơ sở Kỹ thuật điện - Điện tử" dành cho hệ Đại học chuyên ngành Công nghệ Thông tin, của Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông. Với mục đích trình bày các nội dung chủ yếu của môn học cho hệ đào tạo từ xa, tài liệu này được biên soạn và sắp xếp lại bao gồm các phần sau:

**Phần thứ nhất** (Chương 1): Cung cấp cho người đọc các vấn đề cơ bản của mạch điện, các định luật và các phương pháp phân tích mạch điện.

**Phần thứ hai** (Chương 2): Bao gồm các nội dung về các linh kiện bán dẫn và linh kiện quang điện tử.

**Phần thứ ba** (Chương 3, 4, 5, 6): Gồm các nội dung về kỹ thuật mạch điện tử bao gồm:

- Các mạch khuếch đại tín hiệu nhỏ dùng tranzito, IC khuếch đại thuật toán...và các mạch khuếch đại công suất
- Các mạch lọc tần số.
- Các mạch tạo tín hiệu hình sin, xung vuông, xung tam giác, răng cưa.
- Các mạch biến đổi tần số: Mạch điều chế biên độ, điều tần, điều pha. Các mạch tách sóng điều biên, điều tần, điều pha. Các mạch trộn tần, nhân tần, chia tần.

**Phần thứ tư** (Chương 7): Là nội dung cơ bản về các mạch cung cấp nguồn cho các thiết bị điện tử, viễn thông. Phần này bao gồm các mạch chỉnh lưu, lọc nguồn, các mạch ổn định và bảo vệ nguồn điện.

Đây là lần đầu tiên biên soạn tài liệu này nên chắc chắn không thể tránh khỏi thiếu sót, rất mong nhận được các ý kiến đóng góp quý báu của đồng nghiệp và bạn đọc.

Hà Nội, tháng 06 năm 2006

*Chủ biên*

**ThS. Ngô Đức Thiện**

# CHƯƠNG 1: CÁC KHÁI NIỆM, ĐỊNH LUẬT VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP CƠ BẢN PHÂN TÍCH MẠCH ĐIỆN

## GIỚI THIỆU

Chương này trình bày về các dạng tín hiệu, biểu diễn phức các tín hiệu điều hòa. Các thông số tác động và thụ động trong mạch điện. Các định luật Kirchoff về dòng điện và điện áp. Một số phương pháp phân tích mạch điện như:

- Phương pháp dòng điện vòng.
- Phương pháp điện áp nút.
- Phương pháp nguồn tương đương
- Phương pháp dùng nguyên lý xếp chồng.

Việc phân tích mạch điện trong miền thời gian trong nhiều trường hợp cũng gặp những khó khăn về tính toán chẳng hạn như các phương trình vi phân và tích phân. Nhờ có cách biểu diễn trong miền tần số  $\omega$  mà xuất phát của nó là cặp biến đổi Fourier, ta đã thay thế được các phương trình này làm cho các tính toán đơn giản đi rất nhiều.

Thực chất ở đây là người ta đã thực hiện một phép toán tử trong miền tần số. Trong phần này chúng ta sẽ xét một cách tổng quát hơn đó là việc áp dụng phép toán tử trong miền tần số phức  $p$  để phân tích mạch điện.

Trong số các phương pháp toán tử thì phương pháp thường dùng là dựa trên cặp biến đổi Laplace bởi vì nó thích hợp cho việc biến đổi các phương trình vi tích phân thường gặp trong phân tích mạch.

Phần tiếp theo là mạng bốn cực, là mô hình của các phần tử và các phần mạch điện thường gặp trong thực tế. Các định luật tổng quát dùng cho mạch tuyến tính đều có thể áp dụng cho bốn cực tuyến tính, nhưng lý thuyết mạng bốn cực chủ yếu đi sâu vào phân tích mạch điện theo hệ thống, lúc ấy có thể không cần quan tâm tới mạch cụ thể nữa mà coi chúng như một hộp đen và vấn đề người ta cần đến là mối quan hệ dòng và áp ở hai cửa của mạch.

Phần cơ bản của mạng bốn cực là các hệ phương trình đặc tính, bao gồm: hệ phương trình trở kháng  $Z$ , hệ phương trình dẫn nạp  $Y$ , hệ phương trình truyền đạt  $A$ , hệ phương trình truyền đạt ngược  $B$ , hệ phương trình hỗn hợp  $H$ , hệ phương trình hỗn hợp ngược  $G$ .

Khi ghép nối các mạng bốn cực thành một mạng bốn cực chung, tùy theo cách mắc ta có thể tìm được hệ phương trình đặc tính của mạng bốn cực chung đó.

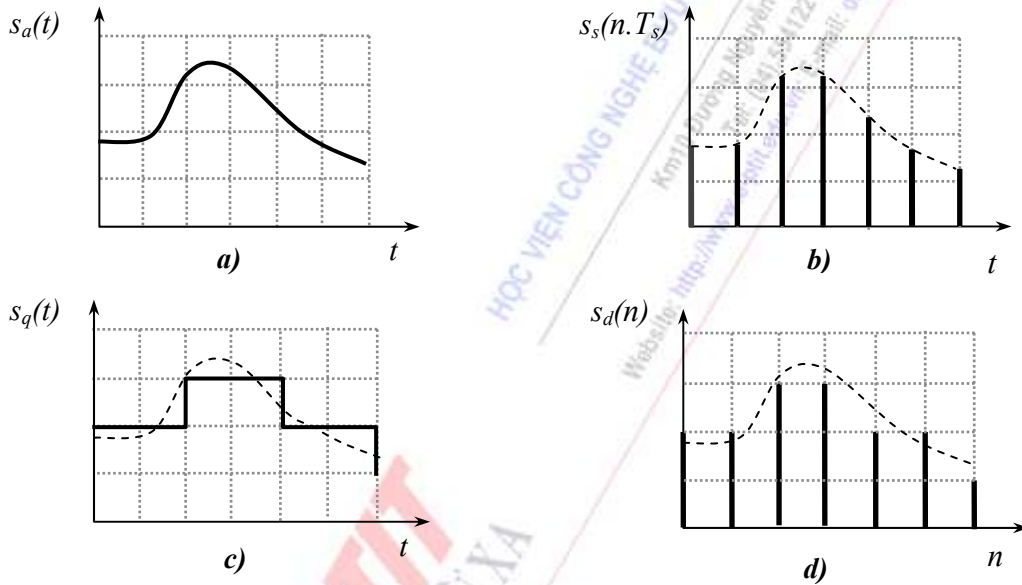
## NỘI DUNG

### 1.1. TỔNG QUAN

Sự tạo ra, thu nhận và xử lý tín hiệu là những quá trình phức tạp xảy ra trong các thiết bị & hệ thống khác nhau. Việc phân tích về lý thuyết sẽ được tiến hành thông qua các loại mô hình gọi là mạch điện.

Tín hiệu là dạng biểu hiện vật lý của thông tin, nó qui định tính chất và kết cấu của các hệ thống mạch. Về mặt toán học, tín hiệu được biểu diễn bởi hàm của các biến độc lập  $S(x,y,...)$ . Về mặt thời gian, có các loại tín hiệu sau:

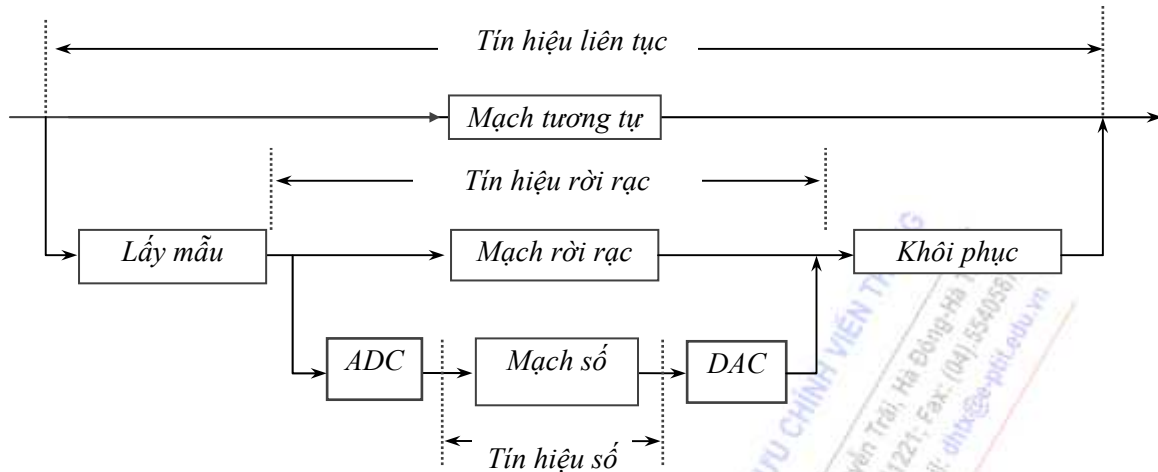
- Tín hiệu liên tục (hay còn gọi là tín hiệu tương tự - analog signal), hình 1-1a. Liên tục cả về thời gian và biên độ.
- Tín hiệu được lấy mẫu, còn gọi là tín hiệu rời rạc (discrete signal), hình 1-1b. Tín hiệu này rời rạc về thời gian.
- Tín hiệu liên tục được lượng tử hoá, hình 1-1c. Tín hiệu này có biên độ ở các mức cố định (rời rạc về biên độ).
- Tín hiệu lấy mẫu được lượng tử hoá, (hay tín hiệu số - digital signal), hình 1-1d.



**Hình 1-1.**

Trên hình 1-2 là sơ đồ phân loại xử lý tín hiệu liên tục.

- Khi xử lý tín hiệu bằng mạch tương tự, thì không cần sử dụng bộ biến đổi.
- Khi xử lý tín hiệu bằng mạch rời rạc, cần cho tín hiệu qua 2 bộ biến đổi: lấy mẫu ở đầu vào và khôi phục lại tín hiệu ở đầu ra.
- Khi xử lý tín hiệu bằng mạch số (digital circuit), so với mạch rời rạc thì cần thêm hai bộ biến đổi nữa là: biến đổi tín hiệu tương tự sang tín hiệu số (ADC) và ngược lại từ tín hiệu số sang tín hiệu tương tự (DAC).



Hình 1-2.

## 1.2. CÁC THÔNG SỐ TÁC ĐỘNG VÀ THỤ ĐỘNG CỦA MẠCH ĐIỆN

### 1.2.1. Các thông số tác động của mạch điện.

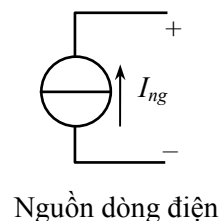
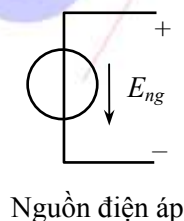
Thông số tác động còn gọi là thông số tạo nguồn. Đó là các thông số đặc trưng cho tính chất tạo ra tín hiệu và cung cấp năng lượng trong mạch điện. Thông số đặc trưng cho nguồn có thể là:

- Sức điện động của nguồn: một đại lượng vật lý có giá trị là điện áp hở mạch của nguồn, đo bằng đơn vị “vôn” và được ký hiệu là  $V$ .
- Dòng điện của nguồn: một đại lượng vật lý có giá trị là dòng điện ngắn mạch của nguồn, đo bằng đơn vị “ampe” và được ký hiệu là  $A$ .

Từ hai thông số đặc trưng tạo nguồn ở trên dẫn đến sự phân loại các nguồn tác động thành hai loại: nguồn điện áp và nguồn dòng điện. Theo định nghĩa, một nguồn gọi là nguồn điện áp lý tưởng (hay còn gọi là nguồn điện áp) khi điện áp do nó cung cấp cho mạch ngoài không phụ thuộc vào dòng điện của mạch ngoài. Một nguồn gọi là nguồn dòng điện lý tưởng (hay nguồn dòng) khi dòng điện do nó cung cấp cho mạch ngoài không phụ thuộc vào điện áp của mạch ngoài.

Ngoài cách phân loại nguồn theo nguồn điện áp và nguồn dòng điện, người ta còn chia nguồn thành hai loại khác là: nguồn kích thích (hay nguồn tín hiệu) và nguồn cung cấp năng lượng.

Trong tài liệu này, các loại nguồn được ký hiệu thống nhất như hình 1-3, lưu ý rằng qui ước chiều suất điện động của nguồn ngược lại với chiều dòng điện chạy trong nguồn.



Hình 1-3.

Nguồn điện lý tưởng là không có tổn hao năng lượng. Nhưng trong thực tế phải tính đến tổn hao, có nghĩa là tồn tại trở kháng trong của nguồn.

\* Xét nguồn điện áp (hình 1-4):

$$U_{ab} = \frac{E_{ng}}{R_i + R_t} R_t$$

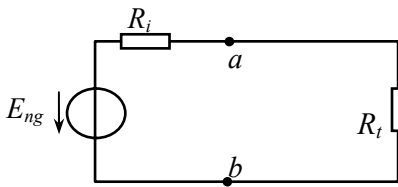
(công thức phân áp trên các phần tử mắc nối tiếp)

Như vậy ta thấy rằng điện áp nguồn trong trường hợp này là phụ thuộc vào tải  $R_t$ .

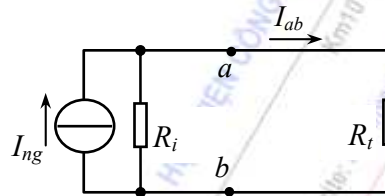
\* Xét nguồn dòng điện (hình 1-5):

$$I_{ab} = \frac{I_{ng}}{R_i + R_t} R_i$$

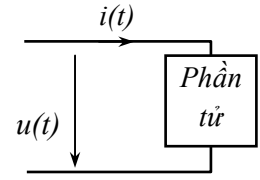
(công thức phân dòng trên các phần tử mắc song song)



Hình 1-4.



Hình 1-5.



Hình 1-6.

### 1.2.2. Các thông số thụ động của mạch điện

Xét dưới góc độ năng lượng, một phần tử (hình 1-6) trong khoảng thời gian  $T = t_2 - t_1$  nó nhận một năng lượng là:

$$W_T = \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt$$

Trong đó  $p(t)$  là công suất tức thì mà phần tử nhận được ở thời điểm  $t$  và được tính theo công thức:

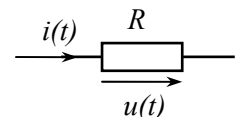
$$p(t) = u(t) \cdot i(t)$$

Nếu  $u(t)$  và  $i(t)$  ngược chiều thì  $p(t)$  có giá trị âm, như vậy thực tế tại thời điểm  $t$  phần tử cung cấp năng lượng, nghĩa là phần tử có tính chất tích cực (ví dụ nguồn).

Nếu  $u(t)$  và  $i(t)$  cùng chiều thì  $p(t)$  có giá trị dương, vậy tại thời điểm đó phần tử nhận năng lượng, nghĩa là phần tử có tính chất thụ động. Lượng năng lượng nhận được đó có thể được tích lũy tồn tại dưới dạng năng lượng điện trường hay năng lượng từ trường, mà cũng có thể bị tiêu tán dưới dạng nhiệt hoặc dạng bức xạ điện từ. Đặc trưng cho sự tiêu tán và tích lũy năng lượng là các thông số thụ động của phần tử.

Người ta phân các thông số thụ động này thành hai loại sau:

#### a. Thông số không quán tính (R).



Hình 1-7.



Thông số không quán tính đặc trưng cho tính chất của phần tử khi điện áp và dòng điện trên nó tỉ lệ trực tiếp với nhau (hình 1-7). Nó được gọi là điện trở ( $R$ ) và xác định theo công thức:

$$u(t) = R \cdot i(t)$$

hay 
$$i(t) = \frac{1}{R} u(t) = G \cdot u(t)$$

$R$  có đơn vị vôn/ampe, hay còn được biết là ôm ( $\Omega$ ).

thông số  $G = \frac{1}{R}$  gọi là điện dẫn, có đơn vị  $1/\Omega$ , hay S (Simen).

Về mặt thời gian, dòng điện và điện áp trên phần tử thuần trở là trùng pha nên năng lượng nhận được trên phần tử thuần trở là luôn luôn dương, vì vậy  $R$  đặc trưng cho sự tiêu tán năng lượng.

### b. Các thông số quán tính

Các thông số quán tính trong mạch gồm hai loại: điện dung và điện cảm.

Thông số điện dung ( $C$ ) đặc trưng cho tính chất của phần tử khi dòng điện chạy trên nó tỉ lệ với tốc độ biến thiên của điện áp, nó có đơn vị là fara (F) và được xác định theo công thức:

$$i(t) = C \frac{du(t)}{dt}$$

hay 
$$u(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt = \frac{q(t)}{C}$$

trong đó  $q(t) = \int_0^t i(t) dt$  là điện tích tích lũy được trên phần tử ở thời điểm  $t$ .

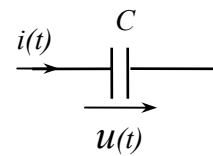
Năng lượng tích lũy trên  $C$ : 
$$W_E = \int p(t) dt = \int C \cdot \frac{du}{dt} \cdot u(t) dt = \frac{1}{2} C u^2$$

Xét về mặt năng lượng, thông số  $C$  đặc trưng cho sự tích lũy năng lượng điện trường, thông số này không gây đột biến điện áp trên phần tử và thuộc loại thông số quán tính. Xét về mặt thời gian điện áp trên phần tử thuần dung chậm pha so với dòng điện một góc  $\pi/2$ .

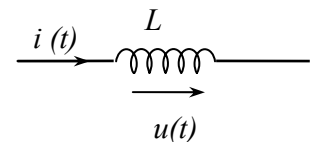
Thông số điện cảm ( $L$ ) đặc trưng cho tính chất của phần tử khi điện áp trên nó tỉ lệ với tốc độ biến thiên của dòng điện, có đơn vị là henry (H) và được xác định theo công thức:

$$u(t) = L \frac{di(t)}{dt} \quad \text{hay} \quad i(t) = \frac{1}{L} \int_0^t u(t) dt$$

và năng lượng tích lũy trên  $L$ :



Hình 1-8.



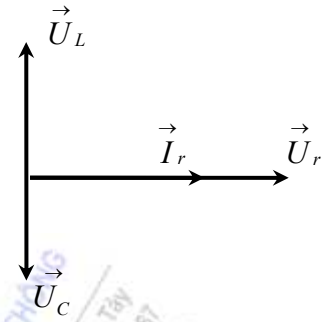
Hình 1-9.



$$W_H = \int L \frac{di}{dt} i(t) dt = \frac{1}{2} Li^2$$

Xét về mặt năng lượng, thông số L đặc trưng cho sự tích lũy năng lượng từ trường, thông số này không gây đột biến dòng điện trên phần tử và thuộc loại thông số quán tính. Xét về mặt thời gian, điện áp trên phần tử thuần cảm nhanh pha so với dòng điện là  $\pi/2$ .

Sự tương quan về pha giữa dòng điện chạy trong phần tử với điện áp ở trên hai đầu của nó, tùy theo từng loại thông số tương ứng được mô tả ở hình 1-10.



Hình 1-10.

- *Thông số hỗ cảm (M)* có cùng bản chất vật lý với thông số điện cảm, đặc trưng cho sự ảnh hưởng qua lại của hai phần tử điện cảm đặt gần nhau, nối hoặc không nối về điện, khi có dòng điện chạy trong chúng. Ví dụ như trên hình 1-11 ta thấy dòng điện  $i_1$  chạy trong phần tử điện cảm thứ nhất sẽ gây ra trên phần tử thứ hai một điện áp là:

$$u_{21} = M_{21} \frac{di_1}{dt}$$

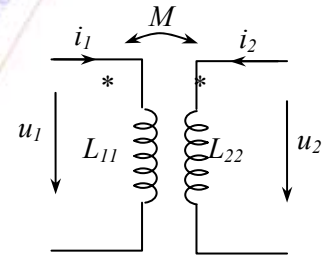
Ngược lại, dòng điện  $i_2$  chạy trong phần tử điện cảm thứ hai sẽ gây ra trên phần tử thứ nhất một điện áp là:

$$u_{12} = M_{12} \frac{di_2}{dt}$$

Như vậy do tác dụng đồng thời của các thông số điện cảm và hỗ cảm, trên mỗi phần tử sẽ có tương ứng một điện áp tự cảm và một điện áp hỗ cảm:

$$u_1 = L_{11} \frac{di_1}{dt} \pm M_{12} \frac{di_2}{dt} \quad u_2 = \pm M_{21} \frac{di_1}{dt} + L_{22} \frac{di_2}{dt}$$

Trong đó, nếu các dòng điện cùng chảy vào hoặc cùng chảy ra khỏi đầu có đánh dấu \* (đầu cùng tên) thì các biểu thức trên lấy dấu '+', nếu ngược lại lấy dấu '-'.



Hình 1-11.

**c. Thông số của các phần tử mắc nối tiếp và song song**

Trong trường hợp có một số các phần tử mắc nối tiếp hoặc song song với nhau thì các thông số được tính theo các công thức ghi trong bảng 1-1.

Bảng 1-1

Cách mắc	Thông số điện trở	Thông số điện cảm	Thông số điện dung
Nối tiếp	$r = \sum_k r_k$	$L = \sum_k L_k$	$\frac{1}{C} = \sum_k \frac{1}{C_k}$
Song song	$\frac{1}{r} = \sum_k \frac{1}{r_k}$	$\frac{1}{L} = \sum_k \frac{1}{L_k}$	$C = \sum_k C_k$

### 1.3. BIỂU DIỄN PHỨC CỦA CÁC TÁC ĐỘNG ĐIỀU HOÀ, TRỞ KHÁNG VÀ DẪN NẠP

Trong các phương pháp phân tích mạch điện, việc phân tích nguồn tác động và các thông số tác động thành các thành phần điều hoà và biểu diễn chúng dưới dạng phức làm việc tính toán mạch điện trở nên thuận lợi hơn rất nhiều. Khi sử dụng phương pháp biểu diễn phức thì việc giải các phép đạo hàm và tích phân trở nên dễ dàng hơn rất nhiều.

#### 1.3.1. Cách biểu diễn phức các tác động điều hoà

Xét cách biểu diễn phức từ công thức Ole:

$$\exp(j\varphi) = \cos\varphi + j\sin\varphi$$

Khi có một dao động điều hoà, ví dụ sức điện động:

$$e(t) = E_m \cos(\omega t + \varphi_u)$$

Nghĩa là nếu đặt:  $\vec{E} = E_m \exp[j(\omega t + \varphi_u)]$

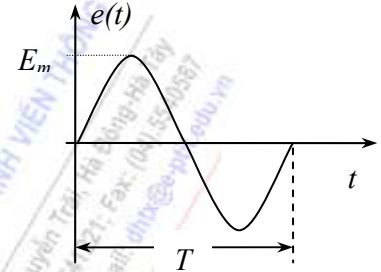
sẽ viết được:  $e(t) = \text{Re } \vec{E}$

$\vec{E}$  gọi là sức điện động phức hay là biểu diễn phức của  $e(t)$ , với  $E_m$  là biên độ,  $\omega = 2\pi/T$  [rad/s] là tần số góc,  $\varphi_u$  [rad] là pha đầu.

Cách biểu diễn phức còn được viết dưới dạng:

$$\vec{E} = E_m \exp(j\varphi_u) \exp(j\omega t) = \vec{E}_m \exp(j\omega t)$$

Trong đó  $\vec{E}_m = E_m \exp(j\varphi_u)$  là biên độ phức của sức điện động  $e(t)$ .



Hình 1-12.

#### 1.3.2. Trở kháng và dẫn nạp

Trong một hệ thống (hình 1-13), nếu tác động vào là  $x(t)$  và đáp ứng ra là  $y(t)$  thì về mặt toán học ta có thể nói hệ thống đã thực hiện một phép toán từ  $p$  lên  $x(t)$ .

Bây giờ hãy nói đến định luật ôm tổng quát viết dưới dạng phức:

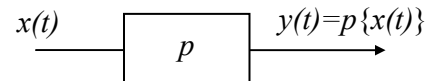
$$\vec{U} = Z \vec{I} \quad \text{hay} \quad \vec{I} = \frac{1}{Z} \vec{U}$$

Như vậy  $Z$  chính là một toán tử có nhiệm vụ biến đổi dòng điện thành điện áp và gọi là trở kháng của mạch, đơn vị đo bằng ôhm ( $\Omega$ ), còn  $Y = \frac{1}{Z}$  là một toán tử có nhiệm vụ biến đổi điện áp thành dòng điện và gọi là dẫn nạp của mạch, đơn vị đo bằng Simen (S). Chúng được biểu diễn dưới dạng phức:

$$Z = R + jX = |Z| \exp(j \arg Z)$$

$$Y = G + jB = |Y| \exp(j \arg Y)$$

trong đó  $R$  là điện trở,  $X$  là điện kháng,  $G$  là điện dẫn và  $B$  là điện nạp.



Hình 1-13.

Mặt khác:

$$Z = \frac{\vec{U}}{\vec{I}} = \frac{U_m \exp[j(\omega t + \varphi_u)]}{I_m \exp[j(\omega t + \varphi_i)]} = \frac{U_m}{I_m} \exp[j(\varphi_u - \varphi_i)]$$

$$Y = \frac{\vec{I}}{\vec{U}} = \frac{I_m \exp[j(\omega t + \varphi_i)]}{U_m \exp[j(\omega t + \varphi_u)]} = \frac{I_m}{U_m} \exp[j(\varphi_i - \varphi_u)]$$

như vậy từ ta có thể rút ra:

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2} = \frac{U_m}{I_m} ; \quad \varphi_z = \arg Z = \arctg \frac{X}{R} = \varphi_u - \varphi_i$$

$$\text{và: } |Y| = \sqrt{G^2 + B^2} = \frac{I_m}{U_m} ; \quad \varphi_y = \arg Y = \arctg \frac{B}{G} = \varphi_i - \varphi_u = -\varphi_z$$

Sau đây ta xét trở kháng của các phần tử tương ứng với các tham số thụ động.

• Đối với phần tử thuần trở:

$$\vec{U}_r = Z_r \cdot \vec{I} = R \vec{I} \quad \text{vậy} \quad Z_r = R$$

• Đối với phần tử thuần dung:

$$Z_c = \frac{1}{j\omega C} = -jX_c \quad \text{và} \quad Y_C = j\omega C = jB_C$$

trong đó:  $X_C = \frac{1}{\omega C} ; \quad B_C = \omega C$

• Đối với phần tử thuần cảm:

$$Z_L = j\omega L = jX_L \quad \text{và} \quad Y_L = \frac{1}{j\omega L} = -jB_L$$

trong đó  $X_L = \omega L ; \quad B_L = \frac{1}{\omega L}$

• Trở kháng của nhiều phần tử mắc nối tiếp và song song:

+ Trở kháng tương đương của các phần tử mắc nối tiếp:  $Z_{ab} = \sum_k Z_k$

+ Dẫn nạp tương đương của các phần tử mắc song song:  $Y_{ab} = \sum_k Y_k$

## 1.4. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN CỦA MẠCH ĐIỆN

### 1.4.1. Các yếu tố hình học của mạch điện

• **Graph:** của mạch điện: là sơ đồ cấu trúc hình học diễn tả sự ghép nối giữa các phần tử trong mạch bởi các nút và các nhánh, minh hoạ ở hình 1-14.

Graph có đánh dấu mũi tên trong các nhánh gọi là Graph có hướng.

• **Nút:** là điểm gặp nhau của ba nhánh trở lên. Nếu ký hiệu số nút là  $N_n$  thì trên hình 1-14 có năm nút: A, B, C, D, O:

$$N_n = 5$$

• **Nhánh:** là phần mạch nằm giữa hai nút. Nếu ký hiệu số nhánh là  $N_{nh}$  thì trên hình 1-14 có tám nhánh:  $N_{nh} = 8$

• **Cây và nhánh cây:** Cây là phần mạch bao gồm một số nhánh đi qua toàn bộ các nút, nhưng không tạo thành vòng kín. Nhánh thuộc cây gọi là nhánh cây và nhánh không thuộc cây gọi là nhánh bù cây. Nếu ký hiệu số nhánh cây là  $N_c$  và số nhánh bù cây là  $N_b$  thì:

$$N_c = N_n - 1 \quad \text{và} \quad N_b = N_{nh} - N_c$$

Như trên hình 1-14 các nhánh OA, OB, OC, OD tạo thành một cây có bốn nhánh gốc tại O, các nhánh còn lại là các nhánh bù cây.

• **Vòng:** là phần mạch bao gồm một số nút và một số nhánh tạo thành một vòng kín mà qua đó mỗi nhánh và mỗi nút chỉ gặp một lần. Vòng cơ bản (ứng với một cây) là vòng chỉ chứa một bù cây. Nếu số vòng cơ bản là  $N_v$  thì:

$$N_v = N_b = N_{nh} - N_n + 1$$

Như trên hình 1-14 với qui ước cây có gốc O ta sẽ thấy các vòng I, II, III, là các vòng cơ bản.

• **Vết cắt:** Là một tập các nhánh mà khi bỏ các nhánh trên vết cắt đó đi thì các nút của graph chia thành hai nhóm riêng biệt. Vết cắt cơ bản là vết cắt chỉ chứa một nhánh cây. Số vết cắt cơ bản ứng với một cây ký hiệu là  $N_{vc}$ ;  $N_{vc} = N_c = N_n - 1$

### 1.4.2. Khái niệm tương hỗ

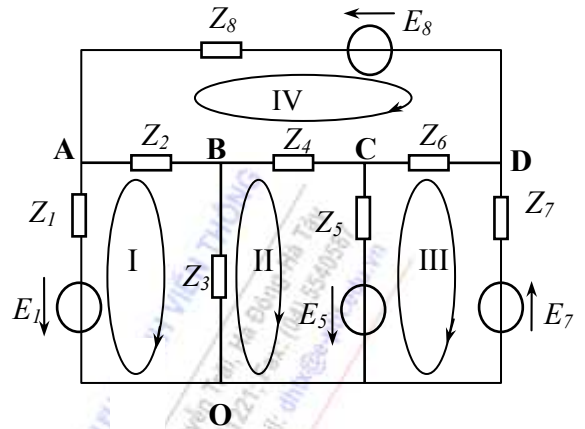
Phần tử tương hỗ là phần tử có tính chất dẫn điện hai chiều, thoả mãn điều kiện:

$$Z_{ab} = Z_{ba}$$

Mạch điện tương hỗ là mạch điện bao gồm các phần tử tương hỗ. Nói một cách tổng quát nó thoả mãn điều kiện:

$$Z_{lk} = Z_{kl} \quad \text{hay} \quad Y_{MN} = Y_{NM}$$

trong đó  $Z_{lk}$ : trở kháng chung giữa vòng  $l$  và vòng  $k$ .



Hình 1-14.

$Z_{kl}$ : trở kháng chung giữa vòng  $k$  và vòng  $l$ .

$Y_{MN}$ : dẫn nạp chung giữa nút  $M$  và nút  $N$ .

$Y_{NM}$ : dẫn nạp chung giữa nút  $N$  và nút  $M$ .

Như vậy trong mạch tương hỗ, dòng điện trong vòng  $l$  (sinh ra bởi các nguồn đặt trong vòng  $k$ ) bằng dòng điện trong vòng  $k$  (sinh ra bởi chính nguồn đó chuyển sang vòng  $l$ ). Hay nói một cách khác, dòng điện trong nhánh  $i$  (sinh ra bởi nguồn  $E$  đặt trong nhánh  $j$ ) bằng dòng điện trong nhánh  $j$  (sinh ra bởi chính nguồn đó chuyển sang nhánh  $i$ ).

Các phần tử và mạch tuyến tính có tính chất tương hỗ (như các phần tử thụ động dẫn điện hai chiều  $R, L, C...$ ) đã làm cho việc phân tích mạch trong các phần đã đề cập trở nên thuận lợi. Đối với các phần tử và mạch không tương hỗ (như đèn điện tử, tranzito, điốt...) thì việc phân tích khá phức tạp, khi đó cần phải có thêm các thông số mới.

### 1.4.3. Luật đóng ngắt của các phần tử quán tính

- Luật đóng ngắt của phần tử thuần cảm:

“Trong cuộn dây không có đột biến dòng điện, kể cả tại thời điểm đóng ngắt mạch”.

$$i_L(0+) = i_L(0-) = i_L(0)$$

- Luật đóng ngắt của phần tử thuần dung:

“Trong tụ điện không có đột biến điện áp, kể cả tại thời điểm đóng ngắt mạch”.

$$u_c(0+) = u_c(0-) = u_c(0)$$

Một cách tổng quát:

- Tổng từ thông móc vòng trong một vòng kín phải liên tục, kể cả tại thời điểm có đột biến trong vòng.
- Tổng điện tích tại một nút của mạch phải liên tục, kể cả tại thời điểm có đột biến trong các nhánh nối vào nút đó.

## 1.5. CÁC ĐỊNH LUẬT KIRCHHOFF

### 1.5.1. Định luật Kirchhoff I

Định luật này phát biểu về dòng điện, nội dung của nó là: “Tổng các dòng điện đi vào một nút bằng tổng các dòng điện đi ra khỏi nút đó”. Hoặc là: “Tổng đại số các dòng điện tại một nút bằng không”:

$$\sum_k a_k i_k = 0$$

trong đó:  $a_k = 1$  nếu dòng điện nhánh đi ra khỏi nút đang xét

$a_k = -1$  nếu dòng điện nhánh đi vào nút đang xét

$a_k = 0$  nếu nhánh không thuộc nút đang xét.



### 1.5.2. Định luật Kirchhoff II

Định luật này phát biểu về điện áp, nội dung của nó là: “*Tổng đại số các sụt áp trên các phần tử thụ động của một vòng kín bằng tổng đại số các sức điện động có trong vòng kín đó*”.  
Hoặc là: “*Tổng đại số các sụt áp của các nhánh trong một vòng kín bằng không*”:

$$\sum_k b_k u_k = 0$$

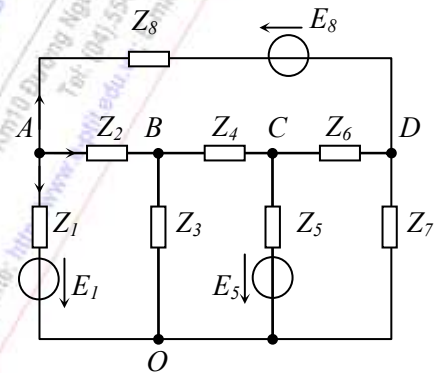
trong đó:  $b_k = 1$  nếu chiều điện áp trên nhánh cùng chiều vòng quy ước,  
 $b_k = -1$  nếu chiều điện áp trên nhánh ngược chiều vòng quy ước,  
 $b_k = 0$  nếu nhánh đó không thuộc vòng đang xét.

### 1.6. CÁC PHƯƠNG PHÁP CƠ BẢN PHÂN TÍCH MẠCH ĐIỆN

#### 1.6.1. Phương pháp điện áp nút

Nội dung của phương pháp này được diễn tả thông qua mạch điện hình 1-15:

Với ký hiệu cho các nút như hình vẽ, ta chọn một nút làm gốc, trong trường hợp này ta chọn gốc là O. Để thành lập hệ phương trình điện áp nút cho mạch, ta viết định luật Kirchhoff I cho các nút mạch.



Hình 1-15.

Nút A:

$$i_1 + i_2 + i_8 = 0$$

$$\text{hay: } \frac{U_A - E_1}{Z_1} + \frac{U_A - U_B}{Z_2} + \frac{U_A - U_D + E_8}{Z_8} = 0$$

nhóm số hạng và chuyển về ta được:

$$(Y_1 + Y_2 + Y_3).U_A - Y_2.U_B - 0.U_C - Y_8.U_D = \frac{E_1}{Z_1} - \frac{E_8}{Z_8}$$

Tương tự như vậy đối với các nút B, C và D, ta sẽ được hệ phương trình điện áp nút viết dưới dạng ma trận như sau:

$$\begin{pmatrix} Y_1 + Y_2 + Y_8 & -Y_2 & 0 & -Y_8 \\ -Y_2 & Y_2 + Y_3 & -Y_4 & 0 \\ 0 & -Y_4 & Y_4 + Y_5 + Y_6 & -Y_6 \\ -Y_8 & 0 & -Y_6 & Y_6 + Y_7 + Y_8 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} U_A \\ U_B \\ U_C \\ U_D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_{ng1} - I_{ng8} \\ 0 \\ I_{ng5} \\ I_{ng6} \end{pmatrix}$$

$$\text{Tổng quát: } \underline{Y}_N \cdot \underline{U}_N = \underline{I}_{ngN}$$

trong đó:  $\underline{Y}_N$  là ma trận dẫn nạp nút, có kích thước  $[(N_n - 1) \times (N_n - 1)]$ .

Từ hệ phương trình này (hay phương trình ma trận vừa thành lập ở trên) ta sẽ tìm ra giá trị của các điện áp nút.

$$\underline{U}_N = \underline{Y}_N^{-1} \underline{I}_{ngN}$$

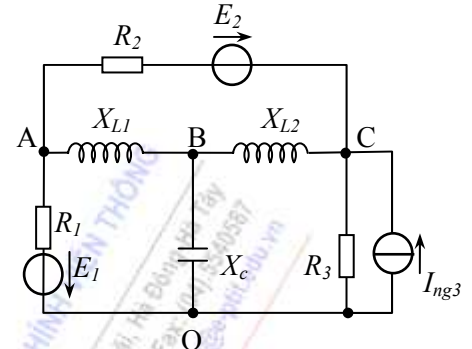
Khi đã tìm được các điện áp nút ta có thể dễ dàng tìm được dòng điện trong các nhánh.

**Thí dụ 1-1:** Hãy viết hệ phương trình điện áp nút cho mạch điện hình 1-16.

**Giải:**

Ký hiệu các nút là A, B, C, O và chọn nút O làm gốc. Như vậy ta sẽ có hệ ba phương trình, ba ẩn số  $U_A, U_B, U_C$ :

$$\begin{cases} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{jX_{L1}} \right) U_A - \frac{1}{jX_{L1}} U_B - \frac{1}{R_2} U_C = \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} \\ -\frac{1}{jX_{L1}} U_A + \left( \frac{1}{jX_{L1}} + \frac{1}{jX_{L2}} - \frac{1}{-jX_c} \right) U_B - \frac{1}{jX_{L2}} U_C = 0 \\ -\frac{1}{R_2} U_A - \frac{1}{jX_{L2}} U_B + \left( \frac{1}{jX_{L2}} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) U_C = I_{ng3} - \frac{E_2}{R_2} \end{cases}$$

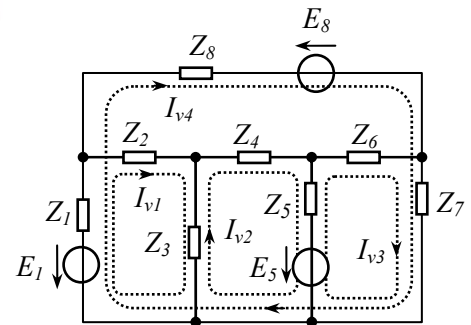


Hình 1-16.

Qua thí dụ trên ta thấy trong sơ đồ mạch việc biểu diễn nguồn dòng rất thuận tiện để áp dụng phương pháp điện áp nút, do đó trước khi viết phương trình bạn có thể chuyển đổi các nguồn áp về nguồn dòng.

### 1.6.2. Phương pháp dòng điện vòng

Nội dung của phương pháp này được diễn tả thông qua mạch điện hình 1-17 với sự chọn chiều và đánh ký hiệu cho các vòng như hình vẽ. Hệ phương trình dòng điện vòng cho mạch được thành lập từ định luật Kirchhoff 2:



Hình 1-17.

$$(Z_1 + Z_2 + Z_3) \cdot I_{V1} - Z_3 \cdot I_{V2} + 0 \cdot I_{V3} + Z_1 \cdot I_{V4} = E_1$$

$$-Z_3 \cdot I_{V1} + (Z_3 + Z_4 + Z_5) \cdot I_{V2} - Z_5 \cdot I_{V3} - 0 \cdot I_{V4} = -E_5$$

$$0 \cdot I_{V1} - Z_5 \cdot I_{V2} + (Z_5 + Z_6 + Z_7) \cdot I_{V3} + Z_7 \cdot I_{V4} = E_5$$

$$Z_1 \cdot I_{V1} + 0 \cdot I_{V2} + Z_7 \cdot I_{V3} + (Z_1 + Z_7 + Z_8) \cdot I_{V4} = E_1 + E_8$$

Hệ phương trình dòng điện vòng còn có thể viết dưới dạng ma trận:

$$\begin{matrix} I_{v1} & I_{v2} & I_{v3} & I_{v4} \\ V_1 & \left[ \begin{array}{cccc} Z_1 + Z_2 + Z_3 & -Z_3 & 0 & Z_1 \\ -Z_3 & Z_3 + Z_4 + Z_5 & -Z_5 & 0 \\ 0 & -Z_5 & Z_5 + Z_6 + Z_7 & Z_7 \\ Z_1 & 0 & Z_7 & Z_1 + Z_7 + Z_8 \end{array} \right] & x & \begin{bmatrix} I_{v1} \\ I_{v2} \\ I_{v3} \\ I_{v4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 \\ -E_5 \\ E_5 \\ E_1 + E_8 \end{bmatrix} \end{matrix}$$



Tổng quát:  $\underline{\underline{Z}}_V \cdot \underline{\underline{I}}_V = \underline{\underline{E}}_V$

trong đó:  $\underline{\underline{Z}}_V$  là ma trận trở kháng vòng, nó có kích thước:

$$[(N_{nh} - N_n + 1) \times (N_{nh} - N_n + 1)].$$

Tiến hành giải hệ phương trình (hay giải phương trình ma trận) vừa thành lập ở trên để tìm ra giá trị của các dòng điện vòng.

$$\underline{\underline{I}}_V = \underline{\underline{Z}}_V^{-1} \cdot \underline{\underline{E}}_V$$

Sau khi tính được các dòng điện vòng dễ dàng tính được các dòng điện trên các nhánh.

**Thí dụ 1-2:** Cho mạch điện hình 1-18.

- Viết hệ phương trình dòng điện vòng khi không tính đến hồ cảm giữa các cuộn cảm.
- Tính dòng điện chạy qua các nhánh trong trường hợp có tính đến ghép hồ cảm, cho biết các giá trị:

$$R_1 = 1\Omega; R_2 = 1\Omega; X_{L1} = 1\Omega;$$

$$X_{L2} = 2\Omega; X_M = 1\Omega; E = 1V.$$

**Giải:**

**a.** Các phương trình dòng điện vòng khi không tính đến hồ cảm:

$$(R_1 + jX_{L1} + R_2) \cdot I_{v1} - R_2 I_{v2} = E$$

$$-R_2 I_{v1} + (jX_{L2} + R_2) \cdot I_{v2} = 0$$

**b.** Các phương trình dòng điện vòng khi có tính đến hồ cảm:

$$(R_1 + jX_{L1} + R_2) \cdot I_{v1} - (R_2 + jX_M) \cdot I_{v2} = E$$

$$-(R_2 + jX_M) \cdot I_{v1} + (jX_{L2} + R_2) \cdot I_{v2} = 0$$

trong đó thành phần  $-jX_M \cdot I_{v2}$  là điện áp hồ cảm do dòng điện  $I_{v2}$  chạy trong  $X_{L2}$  gây ra trên  $X_{L1}$ , còn thành phần  $-jX_M \cdot I_{v1}$  là điện áp hồ cảm do dòng điện  $I_{v1}$  chạy trong  $X_{L1}$  gây ra trên  $X_{L2}$ .

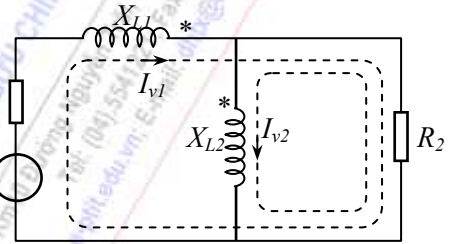
Thay số ta có:

$$\begin{cases} (2 + j) \cdot I_{v1} - (1 + j) \cdot I_{v2} = 1 \\ -(1 + j) \cdot I_{v1} + (1 + 2j) \cdot I_{v2} = 0 \end{cases}$$

áp dụng quy tắc Cramer ta tính được:  $I_{v1} = \frac{2-j}{3} A; I_{v2} = \frac{1-j}{3} A$

Theo công thức biến đổi vòng:

$$i_{X_{L1}} = I_{v1} = \frac{2-j}{3} A \quad i_{X_{L2}} = I_{v2} = \frac{1-j}{3} A \quad i_{R_2} = I_{v1} - I_{v2} = \frac{1}{3} A$$



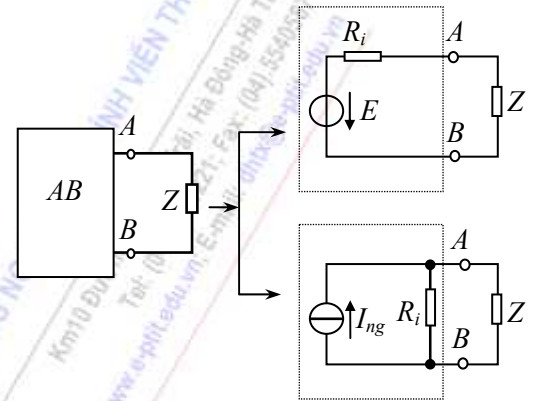
**Hình 1-18.**

**1.6.3. Phương pháp nguồn tương đương**

Trong một số trường hợp, nhiệm vụ phân tích mạch không đòi hỏi phải tính tất cả dòng và áp của tất cả các nhánh, mà chỉ đòi hỏi tính toán trên một nhánh hay một phần mạch nào đó. Phương pháp nguồn tương đương mà cơ sở của nó là định lý Thevenine-Norton cho phép chúng ta giải các bài toán như vậy một cách đơn giản hơn bằng cách thay thế phần mạch có chứa nguồn bởi một nguồn áp hay nguồn dòng tương đương.

**Nội dung định lý Thevenine-Norton**

Trong mạch điện, phần mạch AB có chứa nguồn (và nối với phần còn lại Z của mạch tại cặp điểm AB, đồng thời giữa hai phần không có ghép hồ cảm với nhau), có thể được thay thế tương đương bằng một nguồn áp có sức điện động bằng điện áp hở mạch trên cặp điểm AB (hay một nguồn dòng có dòng điện nguồn bằng dòng điện ngắn mạch trên cặp điểm AB), còn trở kháng trong của nguồn bằng trở kháng tương đương nhìn từ cặp điểm AB với nguyên tắc ngắn mạch nguồn suất điện động và hở mạch nguồn dòng có trong phần mạch này.



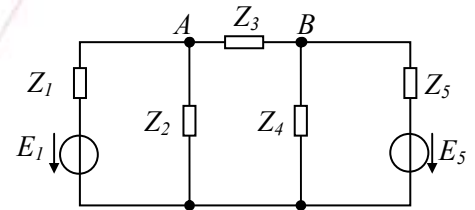
Hình 1-19.

Nội dung định lý được mô tả như hình 1-19:

**Thí dụ 1-3:** Cho mạch điện như hình 1-20, hãy tính dòng điện chạy qua  $Z_3$ .

**Giải:**

Ta thấy ở đây chỉ tính dòng chạy qua một nhánh, do đó để đơn giản hãy áp dụng phương pháp nguồn tương đương theo sơ đồ tương đương Thevenine:



Hình 1-20.

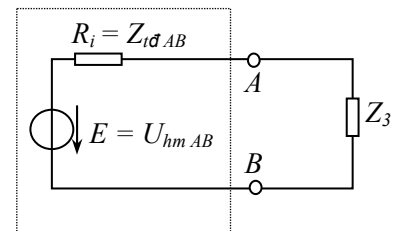
- Xác định điện áp hở mạch trên cặp điểm AB:

$$U_{hmAB} = U_A - U_B = \frac{E_1}{Z_1 + Z_2} Z_2 - \frac{E_5}{Z_4 + Z_5} Z_4$$

- Xác định  $Z_{tdAB}$  nhìn từ cặp điểm AB, ngắn mạch nguồn suất đđ  $E_1$  &  $E_5$ :

$$Z_{tdAB} = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} + \frac{Z_4 Z_5}{Z_4 + Z_5}$$

- Sơ đồ tương đương Thevenine có dạng như hình 1-21, vậy:



Hình 1-21.

$$i_3 = \frac{U_{hmAB}}{Z_{tdAB} + Z_3}$$

**1.6.4. Phương pháp phân tích dùng nguyên lý xếp chồng.**

Nếu trong một mạch điện tuyến tính có chứa nhiều nguồn tác động, thì dòng điện vòng sinh ra trong vòng  $l$  bởi tất cả các nguồn của mạch bằng tổng các dòng điện vòng sinh ra trong vòng  $l$  bởi riêng các nguồn đặt trong mỗi vòng  $k$  của mạch. Hay nói một cách khác, dòng điện vòng sinh ra trong vòng  $l$  nào đó của mạch, bởi tất cả các nguồn của mạch bằng tổng các dòng điện vòng sinh ra trong vòng  $l$  đó bởi mỗi nguồn riêng rẽ của mạch (khi đó các nguồn không làm việc sẽ ngắn mạch đối với nguồn suất điện động và hở mạch đối với nguồn dòng).

Nguyên lý xếp chồng hoàn toàn đúng cho dòng điện nhánh, dòng điện vòng và cả điện áp nút. Việc mô tả nguyên lý này sẽ thông qua một số thí dụ minh họa dưới đây.

**Thí dụ 1-4:** Cho mạch điện như hình 1-22, hãy tính dòng điện chạy qua  $Z_3$  bằng cách áp dụng nguyên lý xếp chồng.

**Giải:**

Nếu nguồn  $E_1$  gây nên trong  $Z_3$  một dòng điện  $i_{3E1}$  và nguồn  $E_5$  gây nên trong  $Z_3$  một dòng điện  $i_{3E5}$  thì dòng tổng qua  $Z_3$  sẽ là:

$$i_3 = i_{3E1} + i_{3E5}$$

- Để tính dòng  $i_{3E1}$  trước hết ta phải loại bỏ nguồn  $E_5$ , khi đó:

$$Z_{45} = \frac{Z_4 Z_5}{Z_4 + Z_5} \qquad Z_{345} = Z_3 + Z_{45}$$

$$Z_{2345} = \frac{Z_2 Z_{345}}{Z_2 + Z_{345}} \qquad Z_{1234} = Z_1 + Z_{2345} = Z_{td1}$$

và như vậy: 
$$i_{3E1} = \frac{E_1}{Z_{td1}} \frac{Z_2}{Z_2 + Z_{345}}$$

- Để tính dòng  $i_{3E5}$  ta phải loại bỏ nguồn  $E_1$ , với cách tính tương tự ta sẽ tính được:

$$Z_{12} = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} \qquad Z_{123} = Z_3 + Z_{12}$$

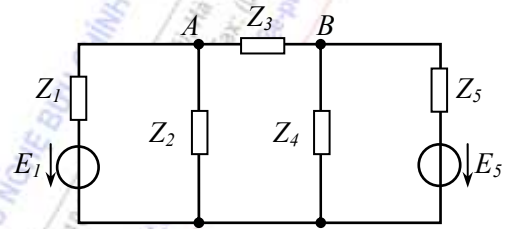
$$Z_{1234} = \frac{Z_4 Z_{123}}{Z_4 + Z_{123}} \qquad Z_{td5} = Z_5 + Z_{1234}$$

và ta có: 
$$i_{3E5} = \frac{E_5}{Z_{td5}} \frac{Z_4}{Z_4 + Z_{123}}$$

Như vậy nếu tính đến chiều dòng điện ta sẽ có:

$$i_3 = |i_{3E1}| - |i_{3E5}|$$

Ngoài các phương pháp phân tích mạch ở trên còn có các phương pháp khác như: Phân tích mạch điện bằng phương pháp tần số, phương pháp dùng phép toán tử... Các phương pháp này có thể giải các bài toán phức tạp hơn. Bạn đọc xem thêm ở các tài liệu tham khảo.



**Hình 1-22.**

## 1.7. MẠNG BỐN CỰC

Mạng bốn cực (còn gọi là mạch hai cửa) là mô hình của các phần tử và các phần mạch điện thường gặp trong thực tế (như mô hình biến áp, tranzito...). Các định luật tổng quát dùng cho mạch tuyến tính đều có thể áp dụng cho bốn cực tuyến tính, nhưng lý thuyết mạng bốn cực chủ yếu đi sâu vào phân tích mạch điện theo hệ thống, lúc ấy có thể không cần quan tâm tới mạch cụ thể nữa mà coi chúng như một hộp đen và vấn đề người ta cần đến là mối quan hệ dòng và áp ở hai cửa của mạch.

Lý thuyết mạng bốn cực cho phép nghiên cứu các mạch điện phức tạp như là sự ghép nối của các bốn cực đơn giản theo nhiều cách khác nhau, nó là một trong những phương pháp hữu hiệu dùng để phân tích và tổng hợp mạch.

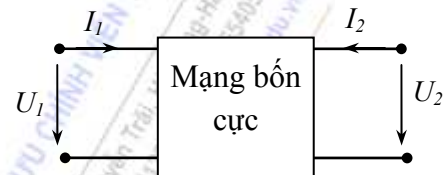
Mạng bốn cực là phần mạch có bốn đầu ra tương ứng với hai cửa được diễn tả như hình 1-23, trong đó:

$U_1, I_1$ : điện áp và dòng điện tại cửa 1

$U_2, I_2$ : điện áp và dòng điện tại cửa 2

Chú ý rằng chiều điện áp và dòng điện trên hình 1-23 là chiều được quy ước.

Trong tài liệu này chỉ đề cập tới bốn cực tuyến tính, bất biến, tương hỗ.



Hình 1-23.

### 1.7.1. Các hệ phương trình đặc tính của bốn cực

Dạng tổng quát của phương trình đặc tính:

$$a_{11}U_1 + a_{12}U_2 + b_{11}I_1 + b_{12}I_2 = 0$$

$$a_{21}U_1 + a_{22}U_2 + b_{21}I_1 + b_{22}I_2 = 0$$

Từ hai phương trình trên ta có thể rút ra hai thông số bất kỳ theo hai thông số còn lại. Mỗi một hệ phương trình đặc tính của bốn cực tương ứng với 2 trong số 4 thông số nêu trên (điện áp và dòng điện tại hai cửa) của bốn cực. Như vậy có tất cả 6 hệ phương trình đặc tính (tổ hợp chập 2 từ 4 thông số,  $C_4^2 = 6$ ). Tùy theo từng dạng bốn cực mà ta sử dụng hệ phương trình đặc tính phù hợp nhất để phân tích.

- Hệ phương trình đặc tính trở kháng

Dưới dạng ma trận: 
$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \underline{\underline{Z}} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

trong đó: 
$$\underline{\underline{Z}} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix}$$
 (gọi là ma trận trở kháng hở mạch).

Dưới dạng hệ phương trình: 
$$\begin{cases} U_1 = z_{11}I_1 + z_{12}I_2 \\ U_2 = z_{21}I_1 + z_{22}I_2 \end{cases}$$

Các hệ số (thông số trở kháng hở mạch) được tính theo các công thức:

$$z_{11} = \left. \frac{U_1}{I_1} \right|_{I_2=0} ; \quad z_{22} = \left. \frac{U_2}{I_2} \right|_{I_1=0} ; \quad z_{12} = \left. \frac{U_1}{I_2} \right|_{I_1=0} ; \quad z_{21} = \left. \frac{U_2}{I_1} \right|_{I_2=0}$$

Đối với trường hợp bốn cực tương hỗ ta có:

$$z_{12} = z_{21}$$

- Hệ phương trình đặc tính dẫn nạp

Dưới dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \underline{Y} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$$

trong đó  $\underline{Y} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix}$  ( ma trận dẫn nạp ngắn mạch)

Dưới dạng hệ phương trình: 
$$\begin{cases} I_1 = y_{11}U_1 + y_{12}U_2 \\ I_2 = y_{21}U_1 + y_{22}U_2 \end{cases}$$

Các hệ số (thông số dẫn nạp) được tính theo các công thức:

$$y_{11} = \left. \frac{I_1}{U_1} \right|_{U_2=0} ; \quad y_{22} = \left. \frac{I_2}{U_2} \right|_{U_1=0} ; \quad y_{12} = \left. \frac{I_1}{U_2} \right|_{U_1=0} ; \quad y_{21} = \left. \frac{I_2}{U_1} \right|_{U_2=0}$$

Đối với trường hợp bốn cực tương hỗ ta có:

$$y_{12} = y_{21}$$

- Hệ phương trình đặc tính truyền đạt

Dưới dạng ma trận: 
$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \underline{A} \begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

trong đó  $\underline{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$  ( ma trận truyền đạt)

Dưới dạng hệ phương trình: 
$$\begin{cases} U_1 = a_{11}U_2 + a_{12}I_2 \\ I_1 = a_{21}U_2 + a_{22}I_2 \end{cases}$$

Các hệ số (thông số truyền đạt) được tính theo các công thức:

$$a_{11} = \left. \frac{U_1}{U_2} \right|_{I_2=0} ; \quad a_{22} = \left. \frac{I_1}{I_2} \right|_{U_2=0} ; \quad a_{12} = \left. \frac{U_1}{I_2} \right|_{U_2=0} ; \quad a_{21} = \left. \frac{I_1}{U_2} \right|_{I_2=0}$$

Đối với trường hợp bốn cực tương hỗ ta có:

$$\Delta a = -1$$

- Hệ phương trình đặc tính truyền đạt ngược

Dưới dạng ma trận: 
$$\begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix} = \underline{\underline{B}} \begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix}$$

trong đó: 
$$\underline{\underline{B}} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} \quad (\text{ma trận truyền đạt ngược})$$

Dưới dạng hệ phương trình: 
$$\begin{cases} U_2 = b_{11}U_1 + b_{12}I_1 \\ I_2 = b_{21}U_1 + b_{22}I_1 \end{cases}$$

Các hệ số (thông số truyền đạt ngược) được tính theo các công thức:

$$b_{11} = \left. \frac{U_2}{U_1} \right|_{I_1=0}; \quad b_{22} = \left. \frac{I_2}{I_1} \right|_{U_1=0}; \quad b_{12} = \left. \frac{U_2}{I_1} \right|_{U_1=0}; \quad b_{21} = \left. \frac{I_2}{U_1} \right|_{I_1=0}$$

Đối với trường hợp bốn cực tương hỗ ta có:

$$\Delta b = -1$$

- Hệ phương trình đặc tính hỗn hợp

Dưới dạng ma trận: 
$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \underline{\underline{H}} \begin{bmatrix} I_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$$

trong đó 
$$\underline{\underline{H}} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \quad (\text{ma trận hỗn hợp})$$

Dưới dạng hệ phương trình: 
$$\begin{cases} U_1 = h_{11}I_1 + h_{12}U_2 \\ I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}U_2 \end{cases}$$

Các hệ số (thông số hỗn hợp) được tính theo các công thức:

$$h_{11} = \left. \frac{U_1}{I_1} \right|_{U_2=0}; \quad h_{22} = \left. \frac{I_2}{U_2} \right|_{I_1=0}; \quad h_{12} = \left. \frac{U_1}{U_2} \right|_{I_1=0}; \quad h_{21} = \left. \frac{I_2}{I_1} \right|_{U_2=0}$$

Đối với trường hợp bốn cực tương hỗ ta có:

$$h_{12} = -h_{21}$$

- Hệ phương trình đặc tính hỗn hợp ngược

Dưới dạng ma trận: 
$$\begin{bmatrix} I_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \underline{\underline{G}} \begin{bmatrix} U_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

trong đó 
$$\underline{\underline{G}} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix} \quad (\text{ma trận hỗn hợp ngược})$$

Dưới dạng hệ phương trình: 
$$\begin{cases} I_1 = g_{11}U_1 + g_{12}I_2 \\ U_2 = g_{21}U_1 + g_{22}I_2 \end{cases}$$

Các hệ số (thông số hỗn hợp ngược) được tính theo các công thức:



$$g_{11} = \left. \frac{I_1}{U_1} \right|_{I_2=0}; \quad g_{22} = \left. \frac{U_2}{I_2} \right|_{U_1=0}; \quad g_{12} = \left. \frac{I_1}{I_2} \right|_{U_1=0}; \quad g_{21} = \left. \frac{U_2}{U_1} \right|_{I_2=0}$$

Đối với trường hợp bốn cực tương hỗ ta có:

$$g_{12} = -g_{21}$$

### 1.7.2. Các phương pháp ghép nối mạng bốn cực

#### a. Ghép nối nối tiếp - nối tiếp (N-N):

Hai mạng bốn cực I và II được gọi là mắc nối tiếp-nối tiếp với nhau như hình 1-24.

Khi mắc theo kiểu này sẽ tạo thành một mạng 4 cực mới, có ma trận đặc tính trở kháng được tính như sau:

$$\underline{\underline{Z}} = \underline{\underline{Z'}} + \underline{\underline{Z''}}$$

Trong đó:  $\underline{\underline{Z'}}$  và  $\underline{\underline{Z''}}$  lần lượt là ma trận đặc tính trở kháng của mạng bốn cực I và II.

Một cách tổng quát ta có thể viết cho  $n$  bốn cực mắc N-N với nhau:

$$\underline{\underline{Z}} = \sum_{k=1}^n \underline{\underline{Z}}_k$$

#### b. Ghép nối song song - song song (S-S)

Hai mạng bốn cực I và II được gọi là mắc song song-song song với nhau như hình 1-25.

Khi mắc theo kiểu này sẽ tạo thành một mạng 4 cực mới, có ma trận đặc tính dẫn nạp được tính như sau:

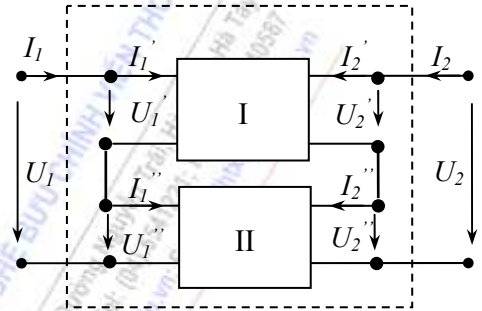
$$\underline{\underline{Y}} = \underline{\underline{Y'}} + \underline{\underline{Y''}}$$

Trong đó:  $\underline{\underline{Y'}}$  và  $\underline{\underline{Y''}}$  lần lượt là ma trận đặc tính dẫn nạp của mạng bốn cực I và II. Một cách tổng quát ta có thể viết cho  $n$  bốn cực mắc S-S với nhau:

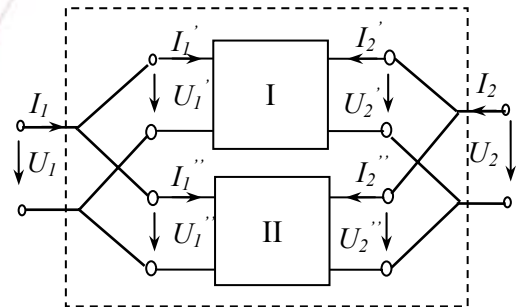
$$\underline{\underline{Y}} = \sum_{k=1}^n \underline{\underline{Y}}_k$$

#### c. Ghép nối nối tiếp - song song (N-S)

Các bốn cực được gọi là mắc theo kiểu N-S với nhau nếu đối với cửa 1 có dòng điện là chung, còn điện áp là tổng các điện áp thành phần. Còn cửa 2 có điện áp là chung, còn dòng điện là tổng của các dòng điện thành phần (hình 1-26).



Hình 1-24.



Hình 1-25.



Khi mắc theo kiểu này sẽ tạo thành một mạng 4 cực mới, có ma trận đặc tính hỗn hợp được tính như sau:

$$\underline{\underline{H}} = \underline{\underline{H}}' + \underline{\underline{H}}''$$

Trong đó:  $\underline{\underline{H}}'$  và  $\underline{\underline{H}}''$  lần lượt là ma trận đặc tính hỗn hợp của các mạng bốn cực I và II.

Một cách tổng quát ta có thể viết cho  $n$  bốn cực mắc N-S với nhau:

$$\underline{\underline{H}} = \sum_{k=1}^n \underline{\underline{H}}_k$$

**d. Ghép nối song song - nối tiếp (S-N)**

Các bốn cực được gọi là mắc theo kiểu S-N với nhau nếu đối với cửa 1 có điện áp là chung, còn dòng điện là tổng của các dòng điện thành phần. Còn cửa 2 có dòng điện là chung, còn điện áp là tổng các điện áp thành phần (hình 1-27).

Khi mắc theo kiểu này sẽ tạo thành một mạng 4 cực mới, có ma trận đặc tính hỗn hợp ngược được tính như sau:

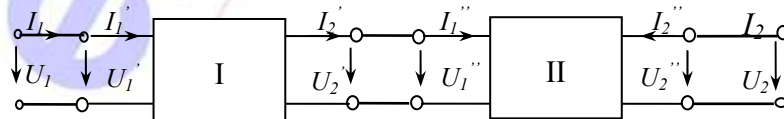
$$\underline{\underline{G}} = \underline{\underline{G}}' + \underline{\underline{G}}''$$

Trong đó:  $\underline{\underline{G}}'$  và  $\underline{\underline{G}}''$  lần lượt là ma trận đặc tính hỗn hợp ngược của mạng bốn cực I và II. Một cách tổng quát ta có thể viết cho  $n$  bốn cực mắc S-N với nhau:

$$\underline{\underline{G}} = \sum_{k=1}^n \underline{\underline{G}}_k$$

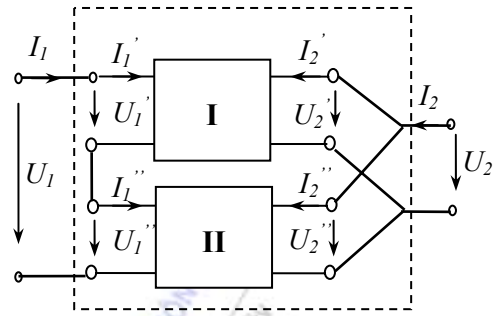
**e. Ghép nối theo kiểu dây chuyền**

Các bốn cực được gọi là mắc theo kiểu dây chuyền với nhau nếu cửa ra của bốn cực này được nối với cửa vào của bốn cực kia theo thứ tự liên tiếp (hình 1-28).

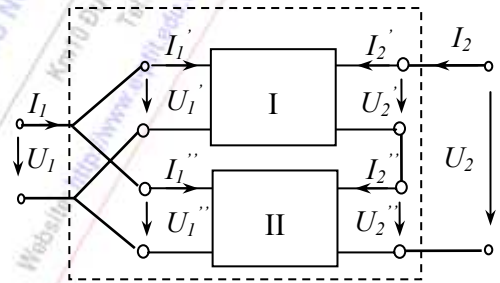


Hình 1-28.

Chú ý chiều dòng điện  $I_2'$  đảo đi so với chiều đã quy định trước, mục đích để tiện cho việc tính toán.



Hình 1-26.



Hình 1-27.

Khi mắc theo kiểu dây chuyền như thế này, ta được một mạng bốn cực mới với ma trận đặc tính truyền đạt tính như sau:  $\underline{\underline{A}} = \underline{\underline{A'}} \cdot \underline{\underline{A''}}$

Trong đó  $\underline{\underline{A'}}$  là ma trận đặc tính truyền đạt của mạng bốn cực tính cho trường hợp dòng điện  $I_2'$  đã đảo chiều,  $\underline{\underline{A''}}$  là ma trận đặc tính truyền đạt của mạng bốn cực thứ hai.

Một cách tổng quát ta có thể viết cho  $n$  bốn cực mắc dây chuyền với nhau:

$$\underline{\underline{A}} = \prod_{k=1}^{n-1} \underline{\underline{A_k}} \cdot \underline{\underline{A_n}}$$

*Chú ý*, các ma trận truyền đạt của  $(n-1)$  mạng 4 cực đầu tiên phải tính với trường hợp các dòng điện ở cửa 2 đảo chiều so với quy định (đi ra), và còn mạng bốn cực cuối cùng thì dòng điện cửa 2 vẫn đúng chiều (đi vào).

## TÓM TẮT NỘI DUNG

Các thông số tác động là các thông số tạo nguồn: có 2 loại nguồn chính là nguồn điện áp và nguồn dòng điện. Nên nắm được ký hiệu của 2 loại nguồn này và đặc điểm của từng nguồn. Các thông số thụ động đặc trưng cho các phần tử tiêu thụ năng lượng, có hai loại thông số thụ động là thông số không quán tính và thông số không có quán tính.

Cách biểu diễn phức các tín hiệu điều hòa, đây là một cách biểu diễn tín hiệu rất thuận lợi cho việc tính toán và phân tích mạch điện. Khi tính toán mạch điện thì các thông số tác động cũng như thụ động cũng được biểu diễn theo dạng phức, và khi tính toán với số phức thì không phải giải các phương trình vi phân và tích phân khá phức tạp ở miền thời gian.

Hai phương pháp phân tích mạch điện: Điện áp nút và dòng điện vòng. Hai phương pháp này dựa vào 2 định luật Kirchoff 1 và 2. Nắm vững cách viết hệ phương trình cho điện áp nút và dòng điện vòng từ đó có được hệ các phương trình độc lập tuyến tính, sau khi đã giải hệ phương trình này ta có thể dễ dàng tính được các điện áp và dòng điện trong tất cả các nhánh của mạch điện.

Ngoài hai phương pháp trên còn có thêm các phương pháp phân tích mạch khác như: phương pháp nguồn tương đương dựa vào định lý Thevenine-Norton.

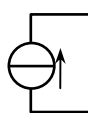
Phương pháp dùng biến đổi Laplace có thể giải các bài toán phức tạp trong miền thời gian (các phương trình vi phân, tích phân), các quá trình quá độ trong mạch điện.

Phần cuối là một số vấn đề về mạng bốn cực, cần nắm được các phương trình đặc tính, và các cách ghép nối mạng 4 cực.

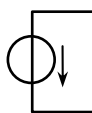
## CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP

**Câu 1.** Hai phương pháp phân tích mạch: dòng điện vòng và điện áp nút dựa trên các định luật nào?

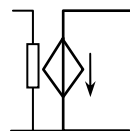
**Câu 2:** Ký hiệu nguồn điện áp độc lập là:



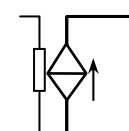
a)



b)

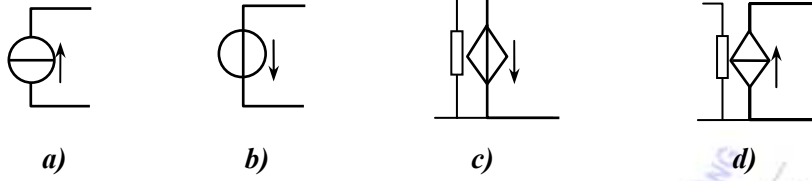


c)



d)

**Câu 3:** Ký hiệu nguồn dòng điện độc lập là:



**Câu 4:** Trở kháng của phần tử thuần dung là:

a)  $Z_C = \frac{1}{j\omega C} = -jX_C$       b)  $Z_C = j\omega C = jX_C$   
 c)  $Z_C = j\frac{1}{\omega C} = jX_C$       d)  $Z_C = -j\omega C$

**Câu 5:** Dẫn nạp của phần tử thuần cảm là:

a)  $Y_L = j\frac{1}{\omega L} = jB_L$       b)  $Y_L = j\omega L = jB_L$   
 c)  $Y_L = \frac{1}{j\omega L} = -jB_L$       d)  $Y_L = -j\omega L = jB_L$

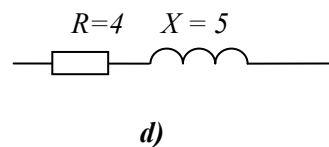
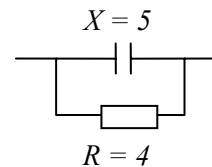
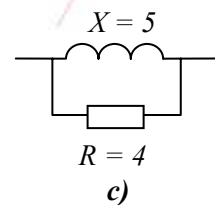
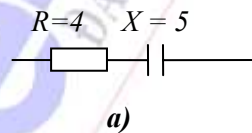
**Câu 6:** Một tụ điện có  $C = 50\mu F$ ; với tần số  $\omega = 100(\text{rad/s})$  thì trở kháng của tụ là:

a)  $Z_C = j200$       b)  $Z_C = -j200$   
 c)  $Z_C = j5 \cdot 10^{-3}$       d)  $Z_C = -j5 \cdot 10^{-3}$

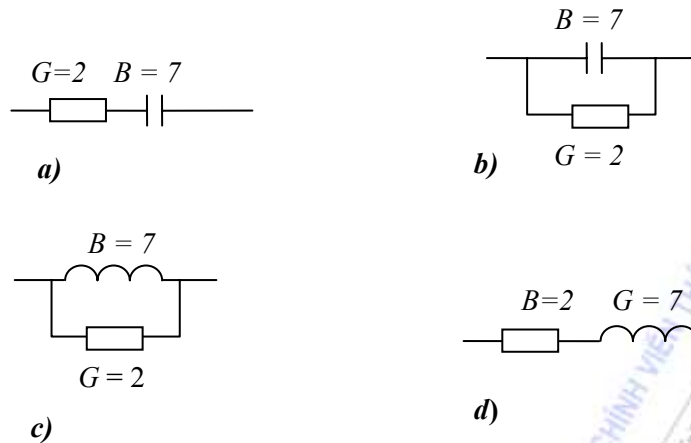
**Câu 7:** Một cuộn dây có điện cảm là  $L = 20\mu H$ ; với tần số  $\omega = 1000(\text{rad/s})$  thì dẫn nạp của cuộn dây là:

a)  $Y_L = j50$       b)  $Y_L = -j2 \cdot 10^{-2}$   
 c)  $Y_L = j2 \cdot 10^{-2}$       d)  $Y_L = -j50$

**Câu 8:** Sơ đồ tương đương chi tiết của mạch có  $Z = 4 - 5j$  là:

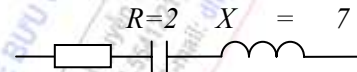


**Câu 9:** Sơ đồ tương đương chi tiết của mạch có  $Y = 2 + 7j$  là:



**Câu 10:** Trở kháng tương đương của mạch hình 1-29 là:

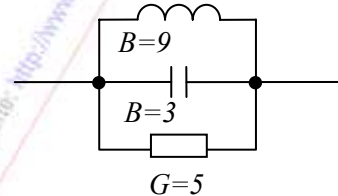
- a)  $Z = 2 + j12$                       b)  $Z = 2 - j2$   
 c)  $Z = 2 + j2$                       d)  $Z = 2 - j12$



**Hình 1-29.**

**Câu 11:** Dẫn nạp tương đương của mạch hình 1-30 là:

- a)  $Y = 5 + j12$                       b)  $Y = 5 + j6$   
 c)  $Y = 5 - j6$                       d)  $Z = 5 - j12$

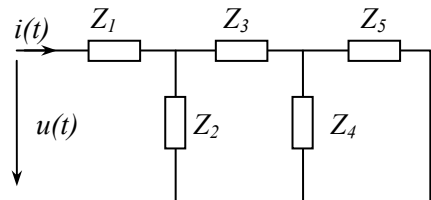


**Hình 1-30.**

**Câu 12:** Cho sơ đồ mạch như hình 1-31.

Với:  $Z_1 = 1,025j$ ;  
 $Z_2 = 1,25 - j$ ;  $Z_3 = j$   
 $Z_4 = 2 - j$ ;  $Z_5 = 2 + j$

- a) Vẽ sơ đồ tương đương chi tiết theo các linh kiện.  
 b) Tính  $i(t)$  khi đặt một điện áp có biên độ hiệu dụng là 5V lên hai đầu đoạn mạch?

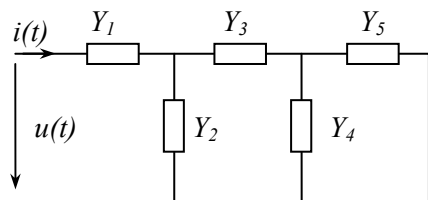


**Hình 1-31.**

**Câu 13:** Cho sơ đồ mạch như hình 1-32.

Với:  $Y_1 = 1 + 2j$ ;  
 $Y_2 = -5j$ ;  $Y_3 = 2 + 4j$   
 $Y_4 = 1 - 5j$ ;  $Y_5 = 1 + j$

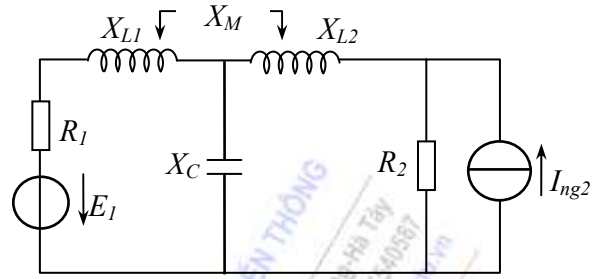
- a) Vẽ sơ đồ tương đương chi tiết theo các linh kiện.



**Hình 1-32.**

b) Tính dẫn nạp tương đương của toàn bộ mạch điện  $Y_{td} i(t)$ . Khi đặt một điện áp có biên độ hiệu dụng là 9V lên hai đầu đoạn mạch?

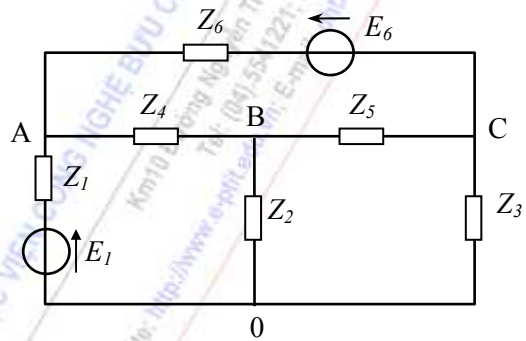
**Câu 14:** Hãy tính các dòng điện nhánh của mạch điện hình 1-33.



Hình 1-33.

**Câu 15:** Tính dòng các điện nhánh của mạch điện hình 1-34 với các số liệu dưới dạng phức:

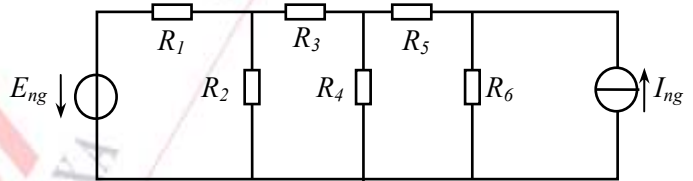
$$\begin{aligned} E_1 &= 1V & E_6 &= jV \\ Z_1 &= 1\Omega & Z_2 &= -j\Omega \\ Z_3 &= j\Omega & Z_4 &= 1\Omega \\ Z_5 &= j\Omega & Z_6 &= 1\Omega \end{aligned}$$



Hình 1-34.

**Câu 16:** Cho mạch điện hình 1-35, hãy tính dòng điện  $i_{R4}$  bằng phương pháp nguồn tương đương, với các số liệu:

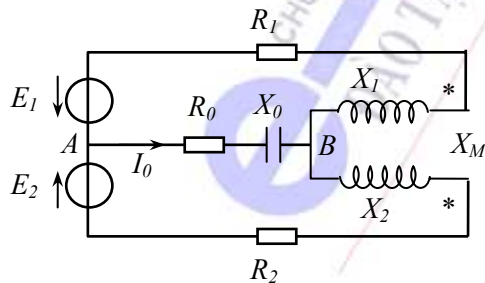
$$\begin{aligned} R_1 &= R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = 2\Omega \\ I_{ng} &= 4A & E_{ng} &= 6V. \end{aligned}$$



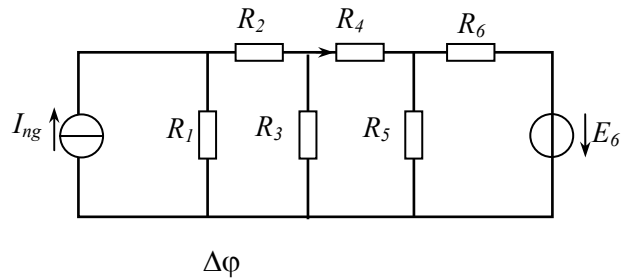
Hình 1-35.

**Câu 17:** Cho mạch điện hình 1-36, hãy tính dòng  $i_0$  bằng phương pháp nguồn tương đương.

**Câu 18:** Cho mạch điện hình 1-37, hãy tính dòng điện chạy qua  $R_4$  bằng cách áp dụng nguyên lý xếp chồng.



Hình 1-36.



$\Delta\varphi$

## CHƯƠNG 2: LINH KIỆN BÁN DẪN VÀ QUANG ĐIỆN TỬ

### GIỚI THIỆU

Chương này trình bày về cấu tạo của chất bán dẫn thuần và cách tạo ra các chất bán dẫn tạp chất loại P và loại N. Sự hình thành lớp tiếp xúc P-N và các tính chất của lớp tiếp xúc này khi được cung cấp điện áp. Từ lớp tiếp xúc P-N người ta có thể chế tạo các loại linh kiện bán dẫn khác nhau. Có thể nói linh kiện bán dẫn ra đời là một cuộc cách mạng trong lĩnh vực linh kiện điện tử. Ngày nay, với khả năng chế tạo được các linh kiện bán dẫn rất nhỏ, tiêu hao năng lượng ít thì linh kiện bán dẫn đã thay thế các bóng đèn điện tử (có kích thước lớn và tiêu hao nhiều năng lượng). Với công nghệ chế tạo linh kiện bán dẫn hiện đại, các thiết bị điện tử càng ngày càng có nhiều tính năng hơn, kích thước nhỏ hơn thích hợp cho các thiết bị cầm tay...

Điốt bán dẫn là một linh kiện bán dẫn có cấu tạo dựa trên lớp tiếp xúc P-N. Đặc điểm nổi bật nhất của điốt bán dẫn là nó chỉ cho dòng điện đi theo một chiều. Người ta có thể tạo ra được nhiều loại điốt khác nhau với các ứng dụng khác nhau như điốt zener, điốt biến dung, điốt cao tần, điốt tunel...

Tranzito lưỡng cực (BJT) là loại linh kiện bán dẫn có 2 lớp tiếp xúc P-N. Tranzito được sử dụng rất nhiều trong các mạch điện tử. Một loại tranzito nữa là tranzito hiệu ứng trường (FET), đây là loại linh kiện có một số tính chất rất tốt dùng cho các mạch có yêu cầu chống nhiễu.

Một loại linh kiện bán dẫn cũng rất hay được dùng đó là thyristor. Nó là linh kiện bán dẫn thường dùng để điều khiển đóng và ngắt mạch. Có thể là linh kiện 2 cực, 3 cực hoặc 4 cực, có thể dẫn điện một chiều hoặc cả hai chiều. Trong họ Thyristor quan trọng nhất là bộ chỉnh lưu silic có điều khiển (SCR), Triac, Điac.

Phần cuối của chương trình bày về hệ thống thông tin quang và các linh kiện quang. Bao gồm các linh kiện phát quang như điốt phát quang (LED) và điốt LASER. Linh kiện thu quang như điốt thu quang loại PIN và điốt quang thác (APD).

### NỘI DUNG

#### 2.1. CHẤT BÁN DẪN THUẦN VÀ CHẤT BÁN DẪN TẠP CHẤT

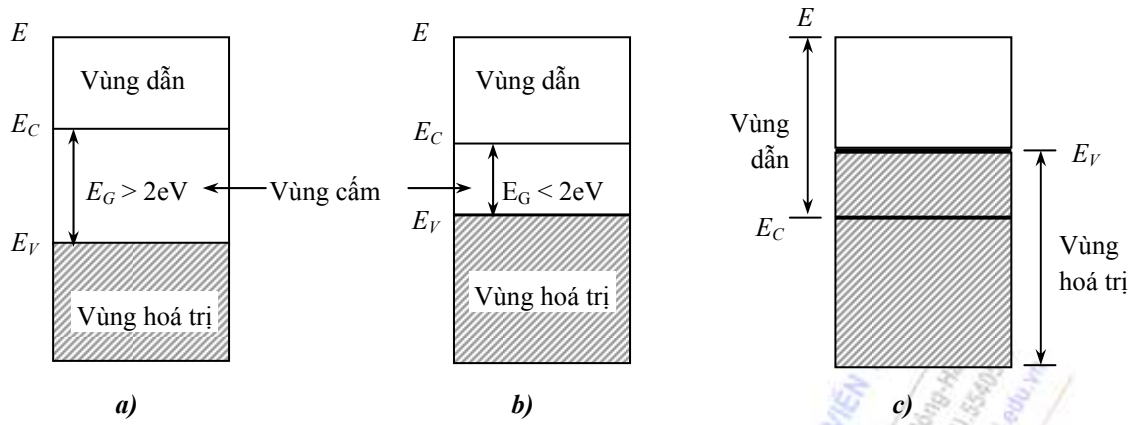
##### 2.1.1. Cấu trúc vùng năng lượng của chất rắn tinh thể

Trong phần này cần nắm vững về cấu trúc năng lượng điển hình của vật rắn tinh thể.

Tùy theo tình trạng các mức năng lượng trong một vùng có bị điện tử chiếm chỗ hay không, người ta phân biệt 3 loại vùng năng lượng khác nhau: *Vùng hóa trị*, trong đó tất cả các mức năng lượng đã bị chiếm chỗ; *Vùng dẫn*, trong đó các mức năng lượng đều còn bỏ trống hay chỉ bị chiếm chỗ một phần. *Vùng cấm*, trong đó không tồn tại các mức năng lượng nào để điện tử có thể chiếm chỗ, hay xác suất tìm hạt tại đây bằng 0.

Tùy theo vị trí tương đối giữa ba vùng kể trên và độ rộng vùng cấm mà các chất rắn cấu trúc tinh thể được chia thành 3 loại là chất cách điện, chất bán dẫn và chất dẫn điện.





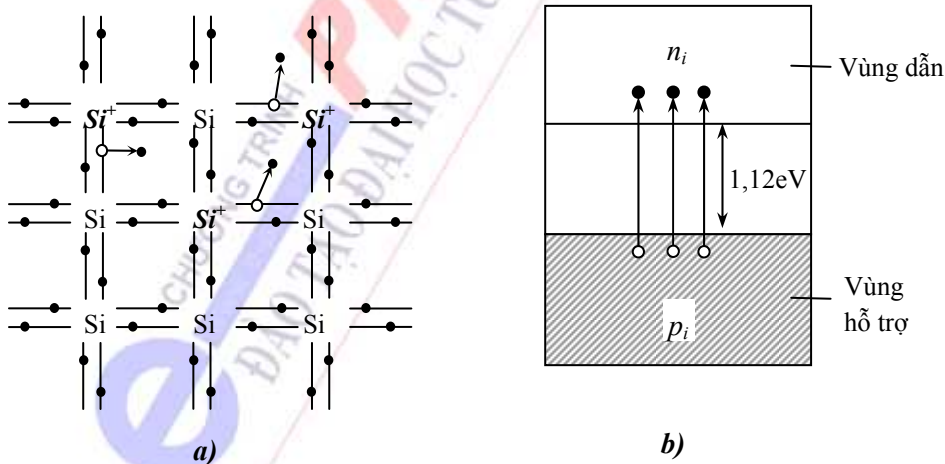
**Hình 2-1 Cấu trúc dải năng lượng của vật chất:**

**a. Chất cách điện; b. Chất bán dẫn; c. Chất dẫn điện.**

**2.1.2. Chất bán dẫn thuần**

Hai chất bán dẫn thuần điển hình là Germanium (Ge) với  $E_G = 0,72\text{eV}$  và Silicon (Si) với  $E_G = 1,12\text{eV}$  ( $E_G$  là độ rộng vùng cấm, đo bằng eV- electron Vôn) có cấu trúc vùng năng lượng dạng hình 2-1b thuộc nhóm IV bảng tuần hoàn Mendeleev.

Mô hình cấu trúc mạng tinh thể (1 chiều) của chúng có dạng như hình 2-2a với bản chất là các liên kết ghép đôi điện tử hóa trị vành ngoài. Ở nhiệt độ  $0^0\text{K}$  chúng là các chất cách điện. Khi được một nguồn năng lượng ngoài kích thích, xảy ra hiện tượng ion hóa các nguyên tử nút mạng và sinh ra từng cặp hạt dẫn tự do: điện tử bứt khỏi liên kết ghép đôi trở thành hạt tự do và để lại 1 liên kết bị khuyết (lỗ trống). Trên đồ thị vùng năng lượng hình 2-2b, điều này tương ứng với sự chuyển điện tử từ 1 mức năng lượng trong vùng hóa trị lên một mức trong vùng dẫn để lại 1 mức tự do (trống) trong vùng hóa trị. Các cặp hạt dẫn tự do này, dưới tác dụng của một trường ngoài hay một gradient nồng độ có khả năng dịch chuyển có hướng trong mạng tinh thể tạo nên dòng điện trong chất bán dẫn thuần.



**Hình 2-2 a. Cấu trúc mạng tinh thể một chiều của chất bán dẫn thuần Si**

**b. Đồ thị vùng giải thích cơ chế phát sinh từng cặp hạt dẫn tự do.**

Kết quả là:

- Muốn tạo hạt dẫn tự do trong chất bán dẫn thuần cần có năng lượng kích thích đủ lớn  $E_{kt} \geq E_G$ .



- Dòng điện trong chất bán dẫn thuần gồm hai thành phần tương đương nhau do quá trình phát sinh từng cặp hạt dẫn tạo ra ( $n_i = p_i$ ).

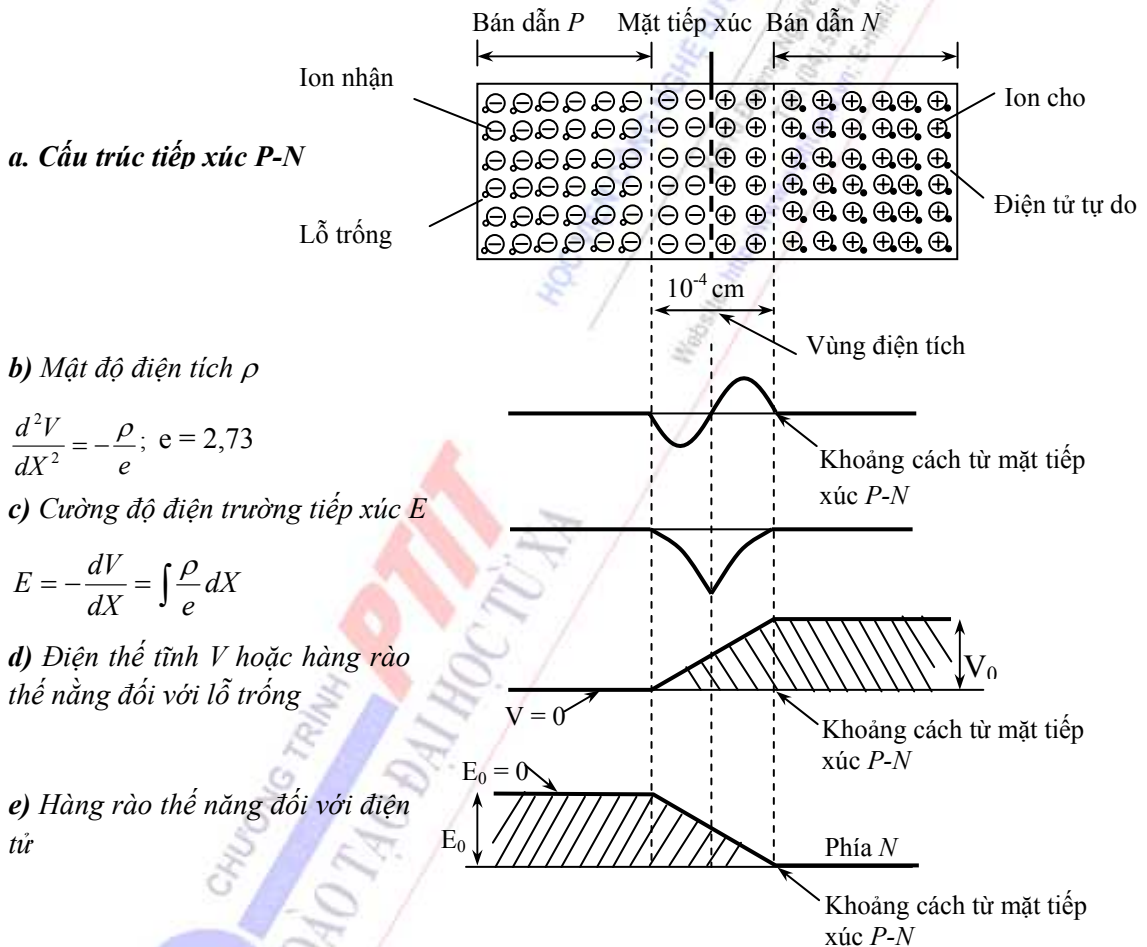
### 2.1.3. Chất bán dẫn tạp

Người ta tiến hành pha thêm các nguyên tử thuộc nhóm V bảng Mendeleev vào mạng tinh thể chất bán dẫn nguyên chất (nhờ công nghệ đặc biệt) sẽ thu được bán dẫn loại n. Và nếu pha nguyên tử thuộc nhóm III vào bán dẫn thuần ta sẽ thu được bán dẫn loại p.

Có 2 loại hạt dẫn trong chất bán dẫn là điện tử và lỗ trống. Với bán dẫn n thì  $n_n \gg p_n$ . Với bán dẫn p thì  $p_p \gg n_p$ .

## 2.2. LỚP TIẾP XÚC P-N

### 2.2.1. Sự tạo thành lớp tiếp xúc P-N và các tính chất điện



**Hình 2-3 Đồ thị của tiếp xúc P-N.**

- Cấu trúc tiếp xúc P-N ;
- mật độ điện tích
- Cường độ điện trường
- Hàng rào thế năng ở tiếp xúc P-N.

Nắm được cơ chế hình thành và các hiện tượng xảy ra ở lớp tiếp xúc P-N. Ở vùng lân cận của mặt tiếp xúc sẽ xuất hiện dòng các hạt tải điện theo cơ chế khuếch tán. Cụ thể:

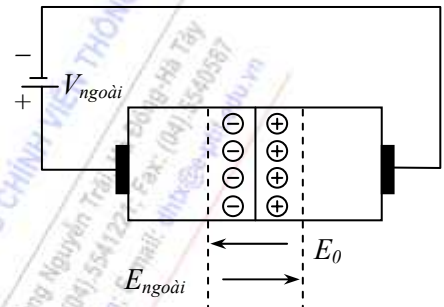
- Các lỗ trống sẽ khuếch tán từ vùng P sang vùng N tạo thành dòng khuếch tán  $I_{dp}$ .
- Các điện tử sẽ khuếch tán từ vùng N sang vùng P tạo thành dòng khuếch tán  $I_{dn}$ .

Học viên cần nắm được quá trình khuếch tán và hình thành các khối điện tích trái dấu ở vùng gần lớp tiếp xúc và cường độ điện trường ở vùng lân cận tiếp xúc  $E_0$ . Điện trường tiếp xúc này có chiều tác dụng từ bán dẫn  $N$  sang bán dẫn  $P$  và nó tạo nên một hàng rào thế năng ngăn cản sự khuếch tán tiếp theo của các lỗ trống qua lớp tiếp xúc.

### 2.2.2. Lớp tiếp xúc P-N khi phân cực thuận.

Đặt một nguồn điện áp bên ngoài lên lớp tiếp xúc  $P-N$  có chiều sao cho  $V_P - V_N > 0$ .

Trường hợp này điện trường ngoài làm giảm hàng rào thế năng, do vậy các hạt dẫn đa số dễ dàng khuếch tán qua tiếp xúc  $P-N$ : Các lỗ trống từ phía bán dẫn  $P$  khuếch tán qua tiếp xúc  $P-N$  sang phía bán dẫn  $N$  và các điện tử từ phía bán dẫn  $N$  khuếch tán sang phía bán dẫn  $P$ . Kết quả là dòng điện qua tiếp xúc  $P-N$  tăng lên và đây là thành phần dòng điện khuếch tán. Dòng điện chạy qua tiếp xúc  $P-N$  khi nó phân cực thuận gọi là dòng điện thuận  $I_{th}$ .

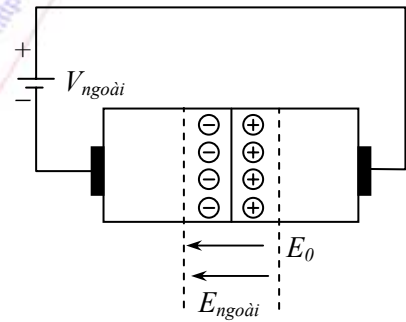


Hình 2-4 Tiếp xúc P-N khi phân cực thuận.

### 2.2.3. Lớp tiếp xúc P-N khi phân cực ngược

Đặt một nguồn điện áp bên ngoài lên lớp tiếp xúc  $P-N$  có chiều sao cho  $V_P - V_N < 0$ .

Khi đó điện trường trong lớp tiếp xúc tăng lên. Các hạt dẫn đa số khó khuếch tán qua lớp chuyển tiếp, làm cho dòng điện qua tiếp xúc  $P-N$  giảm xuống. Có thể nói lúc này tiếp xúc  $P-N$  ngăn không cho dòng điện đi qua (thực tế có một dòng điện rất nhỏ là dòng ngược bão hòa  $I_S$ ).



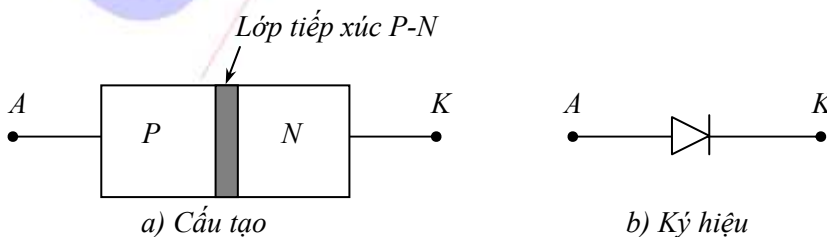
Hình 2-5 Tiếp xúc P-N khi phân cực ngược.

## 2.3. ĐIỐT BÁN DẪN

### 2.3.1. Cấu tạo của điốt và ký hiệu trong sơ đồ mạch.

Điốt bán dẫn là linh kiện gồm có một lớp tiếp xúc  $P-N$  và hai cực là anốt (ký hiệu là  $A$ ) được nối với bán dẫn  $P$  và catốt (ký hiệu là  $K$ ) được nối với bán dẫn  $N$  (như hình 2-6).

Khi  $U_{AK} > 0$  thì điốt sẽ dẫn điện và trong mạch có dòng điện chạy qua vì lúc này tiếp xúc  $P-N$  được phân cực thuận. Khi  $U_{AK} < 0$  điốt sẽ khóa vì tiếp xúc  $P-N$  phân cực ngược, dòng điện ngược rất nhỏ  $I_0$  chạy qua.



Hình 2-6 Cấu tạo và ký hiệu của điốt bán dẫn trong sơ đồ mạch.

### 2.3.2. Đặc tuyến vôn-ampe của điốt bán dẫn.

Đặc tuyến vôn- ampe (V-A) của điốt biểu thị mối quan hệ giữa dòng điện qua điốt với điện áp đặt trên nó  $U_{AK}$ .

$$I = I_0(e^{\frac{U_{AK}}{\eta V_T}} - 1)$$

Trong đó:  $\eta = 2$  đối với dòng điện nhỏ và  $\eta = 1$  đối với dòng điện lớn.

$V_T$  - điện thế nhiệt, ở nhiệt độ trong phòng ( $T = 300^{\circ}\text{K}$ ).

$$V_T = 0,026\text{V} = 26\text{mV}.$$

$I_0$  - Dòng điện ngược bão hòa.

Phần thuận của đặc tuyến (khi  $U_{AK} > 0$ ),

+  $U_{AK} < U_D$ : dòng điện qua điốt còn quá nhỏ và tăng chậm, thông thường  $U_D \approx 0,2\text{V}$  đối với điốt gecmani và  $U_D \approx 0,6\text{V}$  đối với điốt silic.

+ Khi  $U_{AK} > U_D$ : dòng qua điốt tăng nhanh hơn và tăng gần như tuyến tính với điện áp.  $I_{th,max}$  là dòng điện thuận cực đại cho phép. Điốt không được làm việc với dòng điện cao hơn trị số này của dòng điện.

Phần ngược của đặc tuyến V-A. (Khi  $U_{AK} < 0$ )

Khi  $|U_{AK}|$  lớn hơn vài lần  $V_T$  thì dòng điện ngược bằng giá trị  $I_0$  và giữ nguyên giá trị này. Khi  $|U_{AK}|$  tăng lên đến trị số  $U_{đ.t}$ . thì dòng điện tăng vọt, đây là hiện tượng đánh thủng tiếp xúc P-N. Có hai hiện tượng đánh thủng: Đánh thủng về nhiệt và đánh thủng về điện.

### 2.3.3. Các tham số tĩnh của điốt

#### a) Điện trở một chiều hay còn gọi là điện trở tĩnh: $R_0$

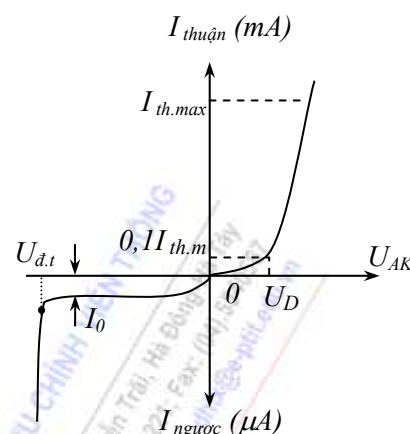
Đây là điện trở của điốt khi làm việc ở chế độ nguồn một chiều hoặc tại chế độ tĩnh (tại điểm làm việc tĩnh trên đặc tuyến).

$$R_0 = \frac{U}{I} [\Omega]$$

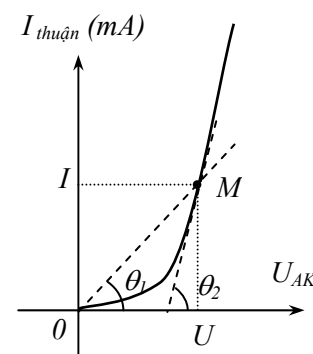
Điện trở một chiều  $R_0$  chính là nghịch đảo góc nghiêng của đặc tuyến V-A tại điểm làm việc tĩnh M (góc  $\theta_1$ . Thông thường  $R_{0thuận} \ll R_{0ngược}$ .

#### b) Điện trở động $R_i$

Là tham số tính bằng nghịch đảo của góc nghiêng của tiếp tuyến với đặc tuyến V-A, nghĩa là  $R_i$  tỉ lệ với  $\cotang\theta_2$ .



**Hình 2-7: Đặc tuyến Vôn-Ampe của điốt bán dẫn.**



**Hình 2-8: Xác định điện trở một chiều và điện trở động của điốt.**

$$R_i = \frac{dV}{dI} \quad [\Omega]$$

Người ta tính được:  $R_i = \frac{\eta V_T}{I}$

Tại một điểm làm việc thì  $R_0 > R_i$  (vì có góc  $\theta_2 > \theta_1$ ).

**c) Hệ số chỉnh lưu k.**

Đây là thông số đặc trưng độ phi tuyến của điốt và được xác định bằng biểu thức sau:

$$k = \frac{I_{th}}{I_0} = \frac{R_{0nguc}}{R_{0thuan}} \quad \text{ở giá trị } U_{AK} = \pm 1V$$

**d) Điện dung của điốt:  $C_d$  (hay điện dung của tiếp xúc P-N)**

Điện dung của tiếp xúc P-N gồm có 2 thành phần là điện dung bản thân (hay còn gọi là điện dung rào thế) của tiếp xúc P-N (ký hiệu  $C_0$ ) và điện dung khuếch tán của tiếp xúc P-N (ký hiệu  $C_{k.t.}$ ).

$$C_d = C_0 + C_{k.t.}$$

Điện dung tiếp xúc P-N gây nhiều ảnh hưởng khi điốt làm việc ở tần số cao. Trị số điện dung phải nhỏ và các điốt này phải là các điốt tiếp điểm để diện tích mặt tiếp xúc nhỏ và tần số làm việc giới hạn khoảng 300 ÷ 600 MHz, có loại tới hàng chục GHz.

**e) Điện áp ngược cực đại cho phép:  $U_{n,max}$**

Đây là giá trị điện áp ngược lớn nhất có thể đặt lên điốt mà nó vẫn làm việc bình thường. Thông thường trị số này được chọn khoảng  $0,8U_{d.t.}$  [V]; trong đó  $U_{d.t.}$  là điện áp đánh thủng của điốt.

**f) Khoảng nhiệt độ làm việc**

Đây là khoảng nhiệt độ đảm bảo điốt làm việc bình thường. Tham số này quan hệ với công suất tiêu tán cho phép của điốt. Khi điốt làm việc, dòng điện chạy qua nó sẽ làm cho điốt nóng lên- điện năng biến thành nhiệt năng. Công suất điện cực đại mà điốt chịu đựng được:

Khoảng nhiệt độ làm việc của điốt gecmani khoảng từ  $- 60^{\circ}C$  đến  $+85^{\circ}C$  , và của điốt silic khoảng từ  $- 60^{\circ}C$  đến  $+150^{\circ}C$ .

**2.3.4. Phân loại và ứng dụng của điốt**

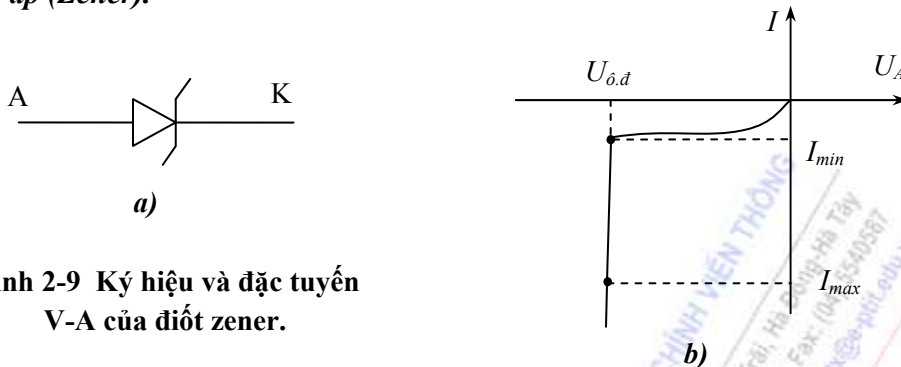
Người ta có nhiều cách phân loại điốt. Có thể dựa vào vật liệu chế tạo, vào ứng dụng, vào công nghệ chế tạo... Có các loại điốt tiếp mặt, điốt tiếp điểm, điốt chỉnh lưu, điốt ổn áp, điốt tách sóng, điốt âm tần, điốt cao tần... Sau đây là một số loại điốt thường sử dụng.

**a) Điốt chỉnh lưu**

Điốt chỉnh lưu sử dụng tính dẫn điện một chiều để chỉnh lưu dòng điện xoay chiều thành một chiều. Đặc tính của điốt chỉnh lưu là các đại lượng dòng điện thuận cực đại  $I_{max}$  và điện áp ngược tối đa cho phép  $U_{ng,max.}$  sẽ xác định điện áp chỉnh lưu lớn nhất. Thông thường ta chọn trị số

điện áp ngược cho phép  $U_{ng,max} = 0,8 U_{d.t.}$ . Hiện nay điốt chỉnh lưu phổ biến nhất là điốt Silic vì có nhiệt độ làm việc cao.

**b) Điốt ổn áp (Zener).**



**Hình 2-9** Ký hiệu và đặc tuyến V-A của điốt zener.

Người ta sử dụng chế độ đánh thủng về điện của chuyển tiếp P-N để ổn định điện áp. Sử dụng trên nhánh ngược của điốt. Điốt ổn áp được chế tạo từ bán dẫn Silic vì nó bảo đảm được đặc tính kỹ thuật cần thiết.

**c) Điốt xung**

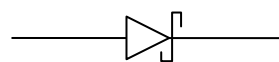
Ở chế độ xung, điốt được sử dụng như khóa điện tử gồm có hai trạng thái: "dẫn" (ON) khi điện trở của điốt rất nhỏ và "tắt" (Off) khi điện trở của nó rất lớn.

Theo trị số của thời gian phục hồi khả năng ngắt  $t_p$  (là khoảng thời gian kể từ thời điểm khi điốt dẫn dòng điện ngược cho tới khi dòng ngược đạt giá trị 0,1 lần giá trị dòng ngược cực đại) người ta chia điốt xung làm 3 loại chính:

Loại tốc độ cao có  $t_p < 10$  ns; Loại tốc độ trung bình có  $10$  ns  $< t_p < 100$  ns và loại tốc độ thấp có  $t_p > 100$  ns.

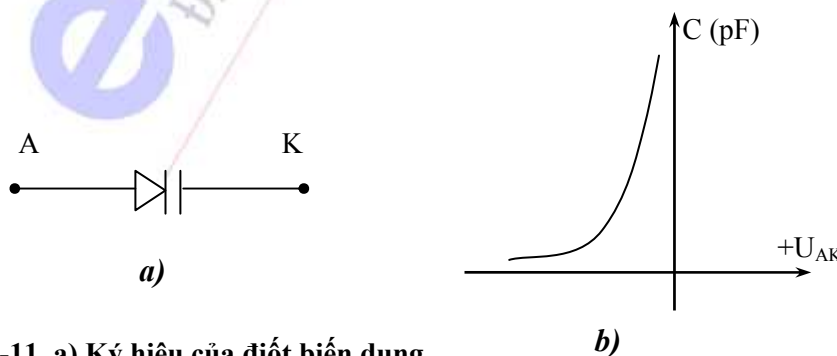
Thời gian  $t_p$  của điốt Schottky có thể đạt tới 100ps do đó nó rất thích hợp dùng làm các chuyển mạch điện tử, ký hiệu của điốt này trong các sơ đồ mạch điện như hình 2-10.

**Hình 2-10** Ký hiệu điốt Schottky.



**d) Điốt biến dung (Varicap).**

Là loại điốt bán dẫn được sử dụng như một tụ điện có trị số điện dung điều khiển được bằng điện áp. Nguyên lý làm việc của điốt biến dung là dựa vào sự phụ thuộc của điện dung vào điện áp ngược đặt lên tiếp xúc P-N.



**Hình 2-11 a)** Ký hiệu của điốt biến dung.

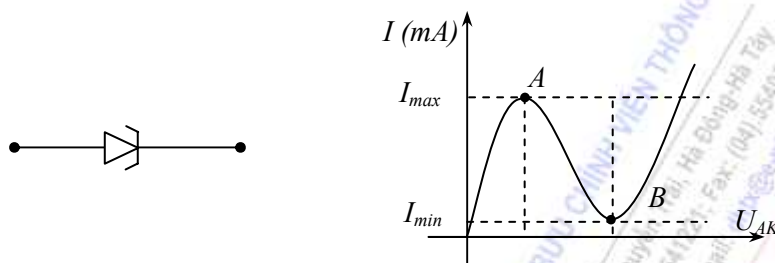
**b)** Sự phụ thuộc của điện dung chuyển tiếp P-N theo điện áp ngược đặt lên nó.



Trị số điện dung cực đại của điốt biến dung phụ thuộc vào loại của nó và có trị số vào khoảng từ (5 ÷ 300) pF. Khi tăng trị số điện áp ngược thì điện dung của varicap giảm dần.

Varicap thường được dùng trong các mạch dao động cần điều khiển tần số cộng hưởng bằng điện áp ở lĩnh vực siêu cao tần.

**e) Điốt Tunen (hay điốt xuyên hầm)**



**Hình 2-12 Ký hiệu và đặc tuyến Vôn-Ampe của điốt Tunen.**

Loại điốt này có khả năng dẫn điện cả chiều thuận và chiều ngược. Đặc tuyến  $V-A$  của điốt tunen ở phần thuận có đoạn điện trở âm AB. Người ta sử dụng đoạn đặc tuyến AB này để tạo các mạch dao động phóng nạp. Điốt tunen có kích thước nhỏ, độ ổn định cao và tần số làm việc lên tới GHz.

**g) Điốt cao tần**

Dùng để xử lý các tín hiệu cao tần như:

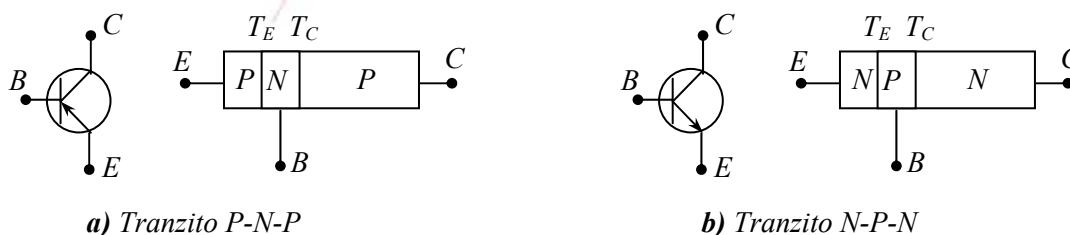
- Điốt tách sóng dùng để tách tín hiệu tần thấp từ dao động điều biên.
- Điốt trộn tần dùng để thay đổi tần số sóng mang của dao động điều biên.
- Điốt điều chế dùng để điều chế các dao động cao tần (sóng mang) theo các tín hiệu âm tần. Các điốt cao tần thường là loại điốt tiếp điểm.

**2.4. TRANZITO LƯƠNG CỰC (BJT – Bipolar Junction Transistor)**

**2.4.1. Cấu tạo và ký hiệu trong các sơ đồ mạch**

Tranzito lưỡng cực được chế tạo từ một tinh thể bán dẫn có 3 miền pha tạp khác nhau để hình thành hai lớp tiếp xúc P-N phân cực ngược nhau. Như thế có thể có 2 loại tranzito khác nhau: PNP (tranzito thuận) hoặc NPN (tranzito ngược). Vùng bán dẫn nằm giữa gọi là bazơ (B-còn gọi là cực gốc) hai vùng còn lại được gọi là colectơ (C- cực C) và emitơ (E-emitơ).

Lớp tiếp xúc P-N giữa cực E và B gọi là  $T_E$  và giữa C và B gọi là  $T_C$ .



**Hình 2 -13 Ký hiệu và cấu tạo của các tranzito lưỡng cực:**  
**a) Loại P-N-P; b) Loại N-P-N.**

HƯỚNG DẪN THI ĐỀ THI TUYỂN SINH ĐẠI HỌC NĂM 2010  
 Môn: Vật lý, Khối A  
 Trường THPT Chuyên Hà Tĩnh  
 Website: www.ha Tinh.edu.vn  
 Hà Tĩnh, Hà Tĩnh  
 Fax: (04) 5540587  
 Email: htdt@hst.edu.vn



### 2.4.2. Nguyên lý làm việc

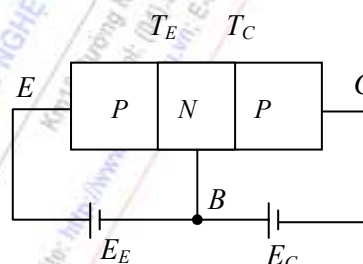
Khi chưa cung cấp điện áp ngoài lên các cực của tranzito thì hai tiếp xúc phát  $T_E$  và góp  $T_C$  đều ở trạng thái cân bằng và dòng điện tổng chạy qua các cực của tranzito bằng 0.

Muốn cho tranzito làm việc ta phải cung cấp cho các cực của nó một điện áp một chiều thích hợp. Tùy theo điện áp đặt vào các cực mà ta tạo cho tranzito làm việc ở các chế độ khác nhau. Cả hai loại tranzito  $P-N-P$  và  $N-P-N$  đều có nguyên lý làm việc giống hệt nhau, chỉ có chiều nguồn điện cung cấp là ngược dấu nhau.

#### a) Chế độ tích cực (hay chế độ khuếch đại).

Ở chế độ tích cực phải cung cấp nguồn điện một chiều lên các cực sao cho tiếp xúc phát  $T_E$  phân cực thuận và tiếp xúc góp  $T_C$  phân cực ngược (hình 2-17). Khi tranzito làm việc ở chế độ này nó có khả năng khuếch đại.

Hình 2-14 Chiều nguồn điện cung cấp cho các cực của tranzito PNP ở chế độ tích cực.



+ Hệ số chuyển dời  $\beta^*$  :

$$\beta^* = \frac{\text{Dòng điện do các hạt dẫn chính vào đèn được tiếp xúc } T_C}{\text{Dòng điện của các hạt dẫn được chính vào tại tiếp xúc } T_E}$$

Trường hợp tranzito loại  $P-N-P$ :  $\beta^* = 0,98 \div 0,995$

+ Hệ số khuếch đại dòng điện emitor  $\alpha$  :

$$\alpha_i = \frac{I_{Cp}}{I_E} = \frac{I_{Cp}}{I_{Ep}} \cdot \frac{I_{Ep}}{I_E} = \beta^* \cdot \gamma \quad (\alpha_i \approx 0,90 \div 0,995).$$

Quan hệ giữa 3 thành phần dòng điện trong tranzito là:

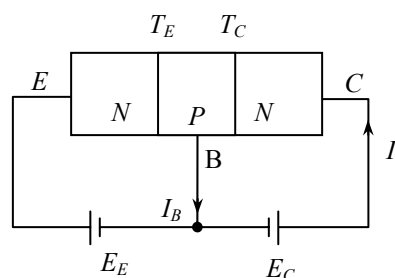
$$I_C = \alpha I_E + I_{CBo}; \quad I_B = (1 - \alpha)I_E - I_{CBo}; \quad I_E = I_C + I_B$$

#### b) Chế độ ngắt

Trong chế độ này cả hai tiếp giáp  $T_E$  và  $T_C$  đều *phân cực ngược*. Tức là:

$$U_{BE} < 0; \quad U_{CE} > 0 \quad \text{và} \quad U_{BE} < U_{CE} \rightarrow U_{BC} < 0.$$

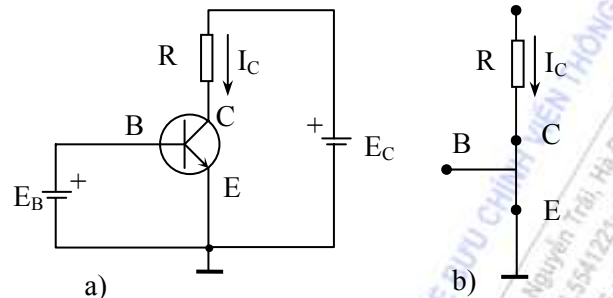
Hình 2-15 Chiều nguồn điện cung cấp cho các cực của tranzito NPN ở chế độ ngắt.



Lúc này điện trở của tranzito rất lớn cực  $E$  coi như hở mạch. Dòng điện qua cực  $B$  bằng dòng  $I_{CB0}$  nhưng ngược dấu ( $I_B = -I_{CB0}$ ). Ở chế độ ngắt điện áp  $U_{CE} \approx E_C$ .

### c. Chế độ dẫn bão hòa

Ở chế độ này cả hai tiếp xúc  $T_E$  và  $T_C$  đều phân cực thuận và điện thế  $E-B$  lớn hơn điện thế  $B-C$ . Điện áp  $U_{CE} \approx 0$ , thực tế  $U_{CE}$  khoảng vài chục mV, và trong tính toán thường sử dụng giá trị  $U_{CE} = 0,3V$ .



**Hình 2-16** Chế độ dẫn bão hòa của tranzito NPN  
a) Sơ đồ mạch    b) Sơ đồ mạch tương đương.

Hai chế độ ngắt và chế độ dẫn bão hòa của tranzito được sử dụng nhiều trong kỹ thuật xung và kỹ thuật mạch logic.

### 2.4.3. Phân loại và ứng dụng của tranzito lưỡng cực

Có nhiều cách phân loại tranzito dựa trên các cơ sở khác nhau. Thông thường ta có thể phân loại tranzito theo các nguyên lý sau:

- Dựa theo vật liệu chế tạo có các loại: tranzito Gecmani, tranzito Silic.
- Dựa vào công nghệ chế tạo ta có: tranzito khuếch tán, tranzito trôi, tranzito hợp kim.
- Dựa vào tần số công tác có: tranzito âm tần, tranzito cao tần.
- Dựa vào chức năng làm việc có: tranzito công suất, tranzito chuyên mạch.
- Dựa vào diện tích mặt tiếp xúc P-N có: tranzito tiếp điểm, tranzito tiếp mặt.

Tranzito được sử dụng cơ bản để khuếch đại tín hiệu, trong các mạch tạo dao động, trong các mạch ổn áp, các mạch khuếch đại đặc biệt, các chuyển mạch điện tử...

## 2.5. TRANZITO HIỆU ỨNG TRƯỜNG (Field Effect Transistor - FET)

### 2.5.1. Khái niệm chung

#### a. Nguyên lý cơ bản

Nguyên lý hoạt động cơ bản của tranzito trường là dòng điện đi qua một môi trường bán dẫn có tiết diện dẫn điện thay đổi dưới tác dụng của điện trường vuông góc với lớp bán dẫn đó. Khi thay đổi cường độ điện trường sẽ làm thay đổi điện trở của lớp bán dẫn và do đó làm thay đổi dòng điện đi qua nó. Lớp bán dẫn này được gọi là kênh dẫn điện.

#### b. Phân loại

Tranzito trường có hai loại chính là:

- Tranzito trường điều khiển bằng tiếp xúc  $P-N$  (hay gọi là tranzito trường mối nối): Junction Field Effect Transistor - viết tắt là JFET.

- Tranzito có cực cửa cách điện: Insulated Gate Field Effect Transistor - viết tắt là IGFET. Thông thường lớp cách điện được dùng là lớp oxit nên còn gọi là Metal Oxide Semiconductor Transistor (hay gọi tắt là tranzito trường loại MOS).

Trong loại tranzito trường có cực cửa cách điện được chia làm 2 loại là MOS kênh có sẵn và loại MOS kênh cảm ứng.

Mỗi loại FET lại được phân chia thành loại kênh  $N$  và loại kênh  $P$ .

Tranzito trường có ba cực là cực Nguồn ký hiệu là chữ  $S$  (source); cực Cửa ký hiệu là chữ  $G$  (gate); cực Máng ký hiệu là chữ  $D$  (drain).

Tại cực nguồn ( $S$ ) các hạt dẫn đa số đi vào kênh và tạo ra dòng điện nguồn  $I_S$ .

Tại cực máng ( $D$ ) các hạt dẫn đa số rời khỏi kênh.

Cực cửa ( $G$ ) là cực điều khiển dòng điện chạy qua kênh.

### c. Một số ưu nhược điểm của tranzito trường

- Dòng điện qua tranzito chỉ do một loại hạt dẫn đa số tạo nên. Do vậy FET là loại linh kiện một loại hạt dẫn (unipolar device).
- Dòng điện qua cực cửa rất nhỏ.
- FET có trở kháng vào rất cao, khoảng  $10^{10} \div 10^{13} \Omega$ ; loại MOS khoảng  $10^{13} \div 10^{15} \Omega$
- Tạp âm trong FET ít hơn nhiều so với tranzito lưỡng cực.
- Nó không bù điện áp tại dòng  $I_D = 0$ , do đó nó là linh kiện ngắt điện tuyệt vời
- Có độ ổn định về nhiệt cao.
- Tần số làm việc cao.

\* *Nhược điểm* chính của FET là hệ số khuếch đại thấp hơn nhiều so với BJT.

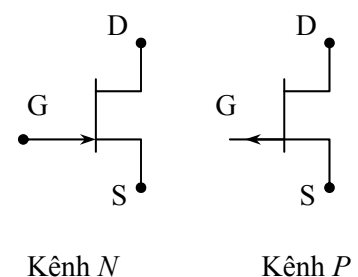
### 2.5.2. Tranzito trường điều khiển bằng tiếp xúc $P-N$ (JFET)

Cần nắm được cấu tạo, nguyên lý hoạt động của JFET, đặc tuyến ra của nó và các tham số chủ yếu của JFET.

Chú ý, dòng điện chạy trong JFET là trên kênh dẫn, độ lớn của dòng điện này phụ thuộc vào các điện áp  $U_{GS}$  và  $U_{DS}$ .

### 2.5.3. Tranzito trường có cực cửa cách điện (MOSFET)

Đây là loại tranzito trường có cực cửa cách điện với kênh dẫn điện bằng một lớp cách điện mỏng. Lớp cách điện thường dùng là chất oxit nên ta gọi tranzito trường thường gọi tắt là tranzito MOS.

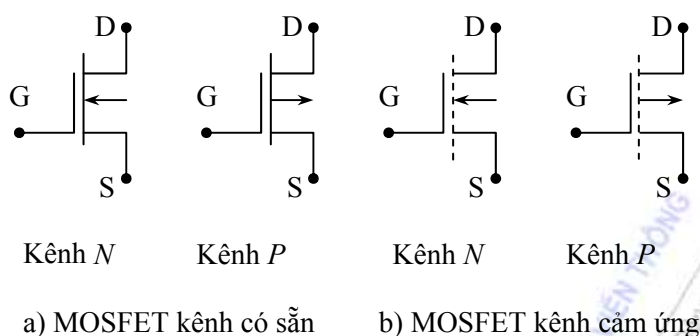


Kênh  $N$

Kênh  $P$

**Hình 2-17** Ký hiệu của JFET trong sơ đồ mạch

MOSFET có hai loại là có kênh sẵn và kênh cảm ứng. Trong mỗi loại MOSFET này lại có hai loại là kênh dẫn loại  $P$  hoặc kênh dẫn loại  $N$ .



**Hình 2-18 Các loại MOSFET và ký hiệu trong sơ đồ**

Cần nắm được cấu tạo của từng loại MOSFET và nguyên lý làm việc của từng loại.

#### 2.5.4. Các điểm chú ý khi sử dụng tranzito trường

Ở tranzito trường chú ý đến điện áp cực cửa giới hạn:  $U_{GS}$  giới hạn thường khoảng từ  $50 \div 100V$ . Nếu cao quá trị số này lớp ôxit cách điện sẽ bị đánh thủng.

Chú ý đến hiện tượng tĩnh điện ở đầu vào rất dễ phá hỏng tranzito ngay khi chạm tay vào nó. Vì vậy khi hàn, thay thế, hoặc sửa chữa ta phải nối đất các dụng cụ, máy đo, mỏ hàn và cả người sử dụng để tránh hiện tượng này.

### 2.6. THYRISTOR

Thyristor là linh kiện bán dẫn thường dùng để điều khiển đóng và ngắt mạch. Nó có thể là linh kiện 2 cực, 3 cực hoặc 4 cực, có thể dẫn điện một chiều hoặc cả hai chiều. Trong họ Thyristor quan trọng nhất là bộ chỉnh lưu silic có điều khiển (SCR), Triac, Điắc.

#### 2.6.1. Chỉnh lưu Silic có điều khiển (SCR)

SCR là chuyển mạch có điều khiển. Khi chịu một điện áp ngược, nó sẽ ngắt với điều kiện là điện áp này phải vượt qua một giá trị xác định nào đó. Còn khi phân cực thuận nó cũng ngắt, nhưng nếu có một xung dòng tác động vào cực điều khiển gọi là cực cửa ( $G$ ), thì nó sẽ dẫn. Nó sẽ luôn dẫn chừng nào dòng qua nó lớn hơn giá trị của dòng duy trì.



**Hình 2-10 Ký hiệu của SCR.**

- SCR theo qui ước (đơn giản gọi là SCR). Loại này cực điều khiển  $G$  được nối với phần bán dẫn  $P_2$  sau.
- SCR kiểu bù. Loại này cực điều khiển  $G$  được nối với phần bán dẫn  $N_1$  trước.

Đặc điểm của SCR:

- Thời gian mở và tắt rất nhanh (vài  $\mu\text{s}$  đến chục  $\mu\text{s}$ )
- Cường độ dòng điện cao.
- Điện áp cao (hàng nghìn Vôn)
- Sụt áp giữa 2 cực nhỏ (từ 1 ÷ 2V)
- Khả năng điều khiển lớn

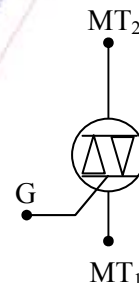
### 2.6.2. Triac

Là một loại linh kiện thuộc họ Thyristor. Triac có 3 cực và có khả năng dẫn điện hai chiều khi có tín hiệu kích khởi động (dương hoặc âm).

#### a) Cấu tạo của triac

Giữa hai đầu ra  $MT_1$  và  $MT_2$  là một khóa ngắt điện gồm bốn lớp bán dẫn  $P-N-P-N$  nối song song với bốn lớp bán dẫn  $N-P-N-P$ . Đầu ra thứ ba gọi là cực điều khiển  $G$ . Như vậy triac được coi như hai SCR đấu song song ngược chiều với nhau.

Hình 2- 20 Ký hiệu của Triac và đặc tuyến vôn-ampe.



Theo quy ước, tất cả các điện áp và dòng điện đều quy ước theo đầu ra chính  $MT_1$ .

Phương pháp kích cổng của triac cũng giống như SCR chỉ khác là có thể dùng cả dòng dương hay dòng âm. Có hai phương pháp kích khởi động cho triac hoạt động nhạy nhất là:

- Cực cổng  $G$  dương và cực  $MT_2$  dương so với  $MT_1$
- Cực cổng  $G$  âm và cực  $MT_2$  âm so với  $MT_1$

Khác với SCR, triac tắt trong một khoảng thời gian rất ngắn lúc dòng điện tải đi qua điểm O. Nếu mạch điều khiển của triac có gánh là điện trở thuần thì việc ngắt mạch không có gì khó khăn. Nhưng nếu tải là một cuộn cảm thì vấn đề làm tắt triac trở nên khó khăn vì dòng lệch pha trễ. Thông thường để tắt Thyristo người ta sử dụng cái ngắt điện hoặc mạch đảo lưu dòng điện trong mạch.

### 2.6.3. Ứng dụng của Thyristor

Thyristo được dùng như một chuyển mạch điện tử. Nó thường được dùng để điều khiển nguồn điện, điều khiển công suất cho lò nung, điều khiển tốc độ ô tô, điều khiển đèn tắt - sáng, điều khiển mô tơ điện một chiều v.v...

## 2.7. VI MẠCH TÍCH HỢP

Vậy, vi mạch tích hợp (Integrated Circuits - viết tắt là IC) là sản phẩm của kỹ thuật vi điện tử bán dẫn. Nó gồm các linh kiện tích cực như tranzito, điốt...các linh kiện thụ động như điện trở, tụ điện, cuộn cảm, và các dây dẫn, tất cả được chế tạo trong một qui trình công nghệ thống nhất,



trong một thể tích hay trên một bề mặt của vật liệu nền. Mỗi một loại vi mạch tích hợp chỉ giữ một hoặc vài chức năng nhất định nào đó.

#### Phân loại vi mạch tích hợp

##### + Phân loại theo tính chất dữ liệu được xử lý bằng IC

- IC tuyến tính: Là loại IC có khả năng xử lý các dữ liệu xảy ra liên tục.
- IC số: Là loại IC có khả năng xử lý các dữ liệu xảy ra rời rạc.

+ Phân loại theo công nghệ chế tạo bao gồm: Vi mạch bán dẫn, vi mạch màng mỏng, vi mạch màng dày, vi mạch lai.

##### + Phân loại theo loại tranzito có trong IC

- Vi mạch lưỡng cực: các tranzito được tích hợp là các tranzito lưỡng cực. Công suất tiêu tán nhiệt từ vài  $\mu\text{W}$  đến vài trăm mW, mức độ tích hợp thấp khoảng  $\leq 100$  phần tử.
- Vi mạch MOS: các tranzito được tích hợp là loại tranzito trường, thông thường là các tranzito trường loại MOS. Vi mạch MOS có khả năng chống nhiễu cao nhưng thời gian chuyển mạch chậm, công suất tiêu thụ thấp hơn IC lưỡng cực nhiều.

##### + Dựa theo số phần tử được tích hợp trong IC

- Vi mạch loại SSI (Small Scale Integration): số phần tử được tích hợp  $< 10$ .
- Vi mạch loại MSI (Medium Scale Integration): số phần tử tích hợp từ  $10 \div 100$ .
- Vi mạch loại LSI (Large Scale Integration): số phần tử tích hợp từ  $100 \div 1000$ .
- Vi mạch loại VLSI (Very Large Scale Integration): số phần tử tích hợp  $> 1000$

Cần chú ý thêm các yêu cầu khi sử dụng các linh kiện bán dẫn và vi mạch tích hợp.

## **2.8. LINH KIỆN QUANG ĐIỆN TỬ**

### **2.8.1. Khái niệm chung về kỹ thuật quang điện tử**

Cần nắm vững kỹ thuật quang điện tử, hiệu ứng tương hỗ giữa bức xạ ánh sáng và mạch điện tử. Bức xạ ánh sáng là một dạng của bức xạ điện từ có dải tần số dao động hoặc độ dài bước sóng từ 0,001nm đến 1cm. Sự thay đổi trạng thái năng lượng trong nguyên tử và phân tử là nguồn gốc của các bức xạ ánh sáng đó.

Linh kiện quang điện tử gồm có linh kiện bán dẫn quang điện tử và linh kiện không bán dẫn quang điện tử.

Linh kiện bán dẫn quang điện tử là những linh kiện chất rắn được chế tạo từ vật liệu bán dẫn như điện trở quang, điốt quang, tranzito quang, LED, LASER bán dẫn...

Các linh kiện bán dẫn quang điện tử hoạt động với hai hiệu ứng vật lý sau:

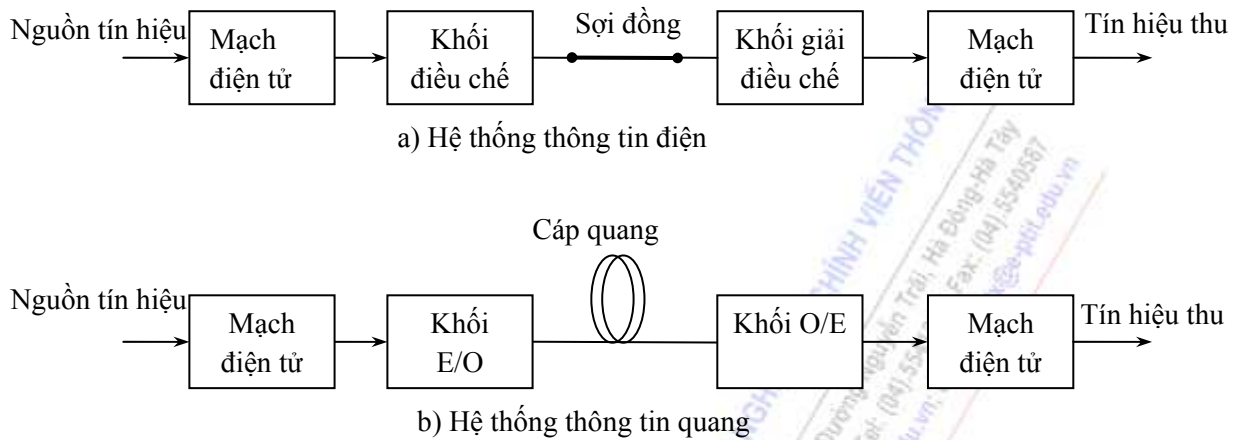
- Sự hấp thụ ánh sáng để sinh ra các điện tích tự do trong chất bán dẫn.
- Sự phát sáng do sự tái hợp của các điện tích tự do trong chất bán dẫn.

Linh kiện không phải bán dẫn quang điện tử như sợi quang dẫn, mặt chỉ thị tinh thể lỏng LCD, ống nhân quang v.v..



### 2.8.2. Hệ thống truyền dẫn quang

Nắm được sơ đồ khối của hệ thống thông tin quang trong đó bao gồm: Nguồn tín hiệu, các mạch điện tử, các khối khối E/O và O/E, sợi quang...



**Hình 2-21.**

Trong hệ thống điện thì tải tin là các sóng điện từ cao tần, trong hệ thống quang là ánh sáng cũng là sóng điện từ song có tần số rất cao ( $10^{14} \div 10^{15}$  Hz) do vậy tải tin quang rất thuận lợi cho tải các tín hiệu băng rộng.

\* Ưu điểm của hệ thống truyền dẫn quang

- Sợi quang nhỏ, nhẹ hơn dây kim loại, dễ uốn cong, tốn ít vật liệu.
- Sợi quang chế tạo từ thủy tinh thạch anh không bị ảnh hưởng của nước, axit, kiềm nên không sợ bị ăn mòn. Đồng thời, sợi là chất điện môi nên cách điện hoàn toàn, tín hiệu truyền trong sợi quang không bị ảnh hưởng của nhiễu bên ngoài tới và cũng không gây nhiễu ra môi trường xung quanh.
- Đảm bảo bí mật thông tin, không sợ bị nghe trộm.
- Khả năng truyền được rất nhiều kênh trong một sợi quang có đường kính rất nhỏ. Tiêu hao nhỏ và không phụ thuộc tần số nên cho phép truyền dẫn băng rộng và tốc độ truyền lớn hơn nhiều so với sợi kim loại.
- Giá thành rất rẻ.

### 2.8.3. Sợi dẫn quang

#### a) Nguyên lý truyền dẫn ánh sáng trong sợi dẫn quang.

Nguyên lý cơ bản truyền dẫn ánh sáng dựa vào hiện tượng phản xạ toàn phần của tia sáng tại mặt phân cách hai môi trường khi nó đi từ môi trường có chiết suất lớn hơn sang môi trường có chiết suất nhỏ hơn.

Vậy để truyền được ánh sáng trong sợi quang thì ánh sáng phải đi tới mặt phân cách giữa hai môi trường có chiết suất  $n_1 > n_2$ . Chỉ trong điều kiện này mới có phản xạ toàn phần của ánh sáng.

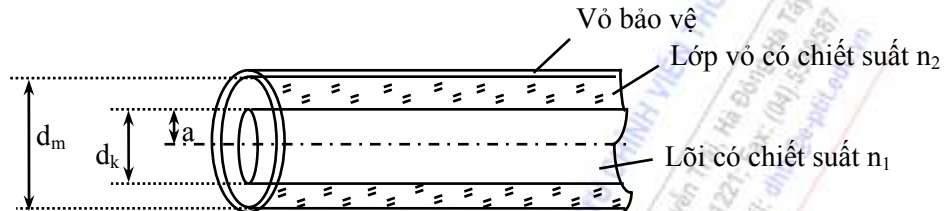
#### b) Cấu tạo sợi dẫn quang.

Dựa vào điều kiện phản xạ toàn phần mà người ta chế tạo sợi quang dẫn. Sợi quang phổ biến là sợi quang tròn, còn trong các mạch tổ hợp quang OI thì sợi quang dẹt.

Sợi quang tròn gồm một lõi chế tạo từ vật liệu dẫn quang có chiết suất  $n_1$ , bán kính là  $a$  và đường kính là  $d_k$  và một lớp vỏ cũng là vật liệu dẫn quang có chiết suất  $n_2$ , đường kính  $d_m$ . Yêu cầu chiết suất  $n_1 > n_2$ .

Các tham số  $n_1, n_2, a$  quyết định đặc tính truyền dẫn của sợi quang.

Ngoài cùng là lớp vỏ bảo vệ.



Hình 2-22 Cấu tạo sợi dẫn quang.

### c) Phân loại và ứng dụng của sợi dẫn quang.

- *Sợi đa mode - MultiMode* (viết tắt là MM): là sợi có thể truyền dẫn đồng thời nhiều một ánh sáng, có nghĩa là có thể truyền đồng thời được nhiều thành phần sóng. Sợi đa mode có kích thước lõi  $d_k$  lớn hơn sợi đơn mode, do đó các tia sáng thành phần truyền dẫn trong sợi đa mode theo các đường đi khác nhau.

- *Sợi đơn mode - SingleMode* (SM): chỉ truyền duy nhất một một ánh sáng. Sợi đơn mode có kích thước lõi  $d_k$  rất nhỏ nên tia sáng chạy gần như song song với trục của sợi.

Nếu phân loại theo sự biến thiên của chiết suất bên trong lõi của sợi thì sợi quang được chia làm 2 loại: Sợi quang chiết suất nhảy bậc- Stepped Index (viết tắt là SI) và sợi quang chiết suất giảm dần.

Sợi quang được sử dụng trong rất nhiều lĩnh vực như: y học, công nghiệp, quân sự... Đặc biệt trong kỹ thuật thông tin, sợi dẫn quang được sử dụng trong các hệ thống cự ly gần như hệ thống quản lý dữ liệu tính toán, trên mạng máy tính, mạng LAN, trong truyền số liệu, trong đo lường và điều khiển. Và trong các hệ thống truyền dẫn đường trục cự ly xa.

### d) Suy giảm và tán sắc trong sợi dẫn quang.

Hai tham số quan trọng đặc trưng cho sợi quang là: suy giảm và tán sắc. Sự suy giảm cơ bản trong sợi quang là các mất mát do hấp thụ và tán xạ. Sự suy giảm do hấp thụ có liên quan đến vật liệu của sợi quang, còn suy giảm tán xạ là do cả vật liệu sợi quang và cấu trúc không hoàn chỉnh trong sợi quang dẫn.

Hệ số suy giảm  $\alpha$  được tính theo công thức: 
$$\alpha = \frac{10}{L} \log_{10} \left( \frac{P_{in}}{P_{out}} \right) [dB / Km]$$

Sự tán sắc trong sợi quang là hiện tượng làm biến dạng của các tín hiệu truyền dẫn. Hệ số tán sắc cho một đơn vị bề rộng phổ của nguồn phát và một đơn vị chiều dài sợi, có đơn vị là ps/(nm.Km).

#### 2.8.4. Các linh kiện phát quang

##### a) Các điốt phát quang

Các linh kiện phát quang là các linh kiện khi có dòng điện chạy trên nó thì nó sẽ có khả năng phát ra ánh sáng, hay nói cách khác linh kiện phát quang là các linh kiện biến đổi dòng điện thành ánh sáng. Các linh kiện phát quang điển hình là điốt phát quang (LED) và điốt LASER.

Các linh kiện phát quang này cơ bản vẫn được cấu tạo từ các bán dẫn và tiếp xúc P-N. Ngày nay điốt laser được sử dụng nhiều vì nó có công suất phát xạ lớn và bề rộng phổ hẹp.

Học viên cần nắm vững cấu tạo, hoạt động và các đặc tuyến của các linh kiện phát quang đặc biệt là điốt laser.

##### b) Mặt chỉ thị tinh thể lỏng (LCD: Liquid Crystal Display).

Mặt chỉ thị tinh thể lỏng (LCD) không phải là linh kiện bán dẫn quang điện tử. LCD được chế tạo trong dạng thanh và chấm- ma trận.

Ưu điểm của LCD: Công suất tiêu thụ thấp, cấu trúc phẳng, dẹt, có độ bền cơ học cao, kích thước gọn nhẹ.

Nhược điểm của LCD: trễ lớn, khoảng nhiệt độ làm việc tương đối hẹp.

Cơ chế hiển thị của LCD thụ động là các tinh thể lỏng có khả năng xoay phân cực ánh sáng khi nó được cung cấp điện áp. Do mắt người chỉ nhìn được 1 phân cực của ánh sáng nên những vùng ánh sáng bị xoay phân cực chúng ta sẽ nhìn thấy màu đen.

Ngày nay còn có thêm các màn LCD tích cực (tự phát sáng) và các màn hình plasma có công suất phát sáng rất lớn được sử dụng nhiều ở ngoài trời (các biển quảng cáo).

#### 2.8.5. Các linh kiện thu quang

Các linh kiện thu quang có chức năng biến đổi ánh sáng thành tín hiệu điện. Hai linh kiện thu quang thường sử dụng đó là: điốt thu quang loại PIN và điốt quang thác (APD).

Hai loại điốt thu quang này có cấu tạo cũng từ các bán dẫn N và P. Nguyên lý hoạt động chính của chúng là khi chiếu ánh sáng vào dưới tác dụng của các photon ánh sáng sẽ xuất hiện thêm các hạt dẫn (điện tử và lỗ trống) làm cho nồng độ các hạt dẫn sẽ tăng lên và dưới tác dụng của điện trường thì sẽ xuất hiện dòng điện chạy qua.

Để tăng độ nhạy của điốt quang, người ta có thể ứng dụng hiệu ứng giống như hiệu ứng nhân điện tử trong các bộ nhân quang điện. Cấu tạo của điốt thu quang sẽ có dạng đặc biệt đó là điốt thu quang với hiệu ứng quang thác APD- Avalanche Photodiodes.

## TÓM TẮT NỘI DUNG

Chương này trình bày về chất bán dẫn thuần và các chất bán dẫn tạp chất. Sự hình thành lớp tiếp xúc P-N và trên cơ sở lớp tiếp xúc P-N người ta chế tạo các linh kiện bán dẫn.

Cần nắm vững một số vấn đề sau:

- + Điốt bán dẫn:
  - Cấu tạo của các loại điốt.
  - Các thông số cơ bản của điốt.

- Đặc tuyến V-A của các điốt điện hình.
- Phân loại và ứng dụng của điốt.
- + Tranzito lưỡng cực:
  - Cấu tạo của 2 loại tranzito lưỡng cực P-N-P và N-P-N.
  - Các thông số đặc trưng của tranzito.
  - Các chế độ làm việc của tranzito.
- + Tranzito hiệu ứng trường (FET)
  - Cấu tạo của 2 loại tranzito trường JFET và MOSFET.
  - Các thông số đặc trưng của tranzito hiệu ứng trường.
- + Các linh kiện quang:
  - Hệ thống thông tin cáp sợi quang.
  - Các linh kiện phát quang: Các điốt phát quang (LED), các điốt LASER.
  - Các linh kiện thu quang: Điốt thu quang loại PIN, và điốt quang thác APD.

## CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP

**Câu 1.** Độ rộng vùng cấm  $E_G$  của chất cách điện là:

- a)  $E_G < 2eV$ .
- b)  $E_G = -2eV$
- c)  $E_G > 2eV$ .
- d)  $E_G > -2eV$ .

**Câu 2.** Độ rộng vùng cấm  $E_G$  của chất bán dẫn là:

- a)  $0 < E_G < 2eV$ .
- b)  $E_G = 1eV$
- c)  $E_G > 2eV$ .
- d)  $E_G > -2eV$ .

**Câu 3:** Nêu đặc điểm chính của chất bán dẫn thuần, cách tạo ra các bán dẫn tạp chất loại n và loại p, cơ chế hình thành các hạt dẫn đa số trong hai loại bán dẫn này?

**Câu 4:** Lớp tiếp xúc P-N phân cực thuận khi điện áp đặt lên tiếp xúc P-N có chiều sao cho:

- a)  $V_P - V_N < 0$ .

- b)  $V_P - V_N = 0$
- c)  $V_P - V_N > 0$
- d) Không phải các đáp án trên.

**Câu 5:** Lớp tiếp xúc P-N phân cực ngược khi điện áp đặt lên tiếp xúc P-N có chiều sao cho:

- a)  $V_P - V_N < 0$ .
- b)  $V_P - V_N = 0$
- c)  $V_P - V_N > 0$
- d) Không phải các đáp án trên.

**Câu 6:** Một tranzito được gọi là tranzito thuận nếu nó là loại:

- a) N-P-N.
- b) P-N-P
- c) N-N-P
- d) P-P-N

**Câu 7:** Một tranzito được gọi là tranzito ngược nếu nó là loại:

- a) N-P-N.
- b) P-N-P
- c) N-N-P
- d) P-P-N

**Câu 8:** Một tranzito hoạt động ở chế độ tích cực khi:

- a) Tiếp xúc  $T_E$  phân cực ngược và  $T_C$  phân cực ngược.
- b) Tiếp xúc  $T_E$  phân cực thuận và  $T_C$  phân cực ngược.
- c) Tiếp xúc  $T_E$  phân cực thuận và  $T_C$  phân cực thuận.
- d) Tiếp xúc  $T_E$  phân cực ngược và  $T_C$  phân cực thuận.

**Câu 9:** Một tranzito hoạt động ở chế độ ngắt khi:

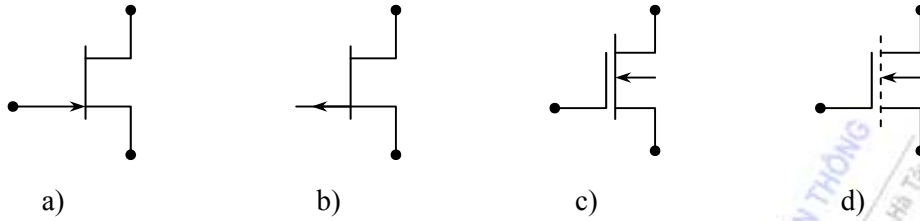
- a) Tiếp xúc  $T_E$  phân cực ngược và  $T_C$  phân cực ngược.
- b) Tiếp xúc  $T_E$  phân cực thuận và  $T_C$  phân cực ngược.
- c) Tiếp xúc  $T_E$  phân cực thuận và  $T_C$  phân cực thuận.
- d) Tiếp xúc  $T_E$  phân cực ngược và  $T_C$  phân cực thuận.

**Câu 10:** Một tranzito hoạt động ở chế độ thông bão hòa khi:

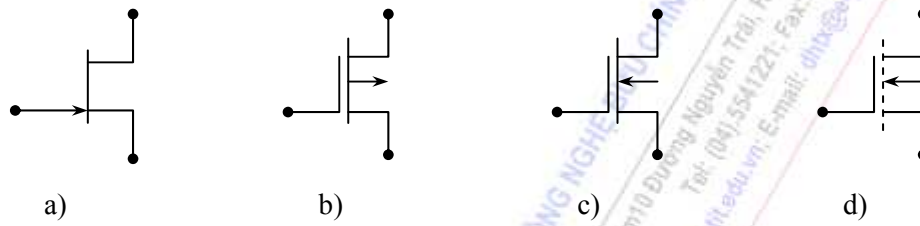
- a) Tiếp xúc  $T_E$  phân cực ngược và  $T_C$  phân cực ngược.
- b) Tiếp xúc  $T_E$  phân cực thuận và  $T_C$  phân cực ngược.

- c) Tiếp xúc  $T_E$  phân cực thuận và  $T_C$  phân cực thuận.
- d) Tiếp xúc  $T_E$  phân cực ngược và  $T_C$  phân cực thuận

**Câu 11:** Ký hiệu của JFET kênh N trong sơ đồ mạch là hình nào?



**Câu 12:** Ký hiệu của MOSFET kênh có sẵn loại P trong sơ đồ mạch là hình nào?



HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ HỮU CƠ - HÀ NỘI  
Km10 Đường Nguyễn Trãi, Hà Nội - Hà Tây  
Tel: (04) 5541221; Fax: (04) 5540587  
Website: <http://www.c-phit.edu.vn>; E-mail: [dhkc@ph.edu.vn](mailto:dhkc@ph.edu.vn)

CHƯƠNG TRÌNH **PTIT**  
ĐÀO TẠO ĐẠI HỌC TỪ XA



## CHƯƠNG 3: MẠCH KHUẾCH ĐẠI BÁN DẪN

### GIỚI THIỆU

Chương này trình bày về các mạch khuếch đại dùng tranzito. Để có thể khuếch đại được thì các tranzito hoạt động ở chế độ tích cực, và do đó phải có các mạch điện cung cấp điện áp phân cực cho tranzito.

Có 3 cách mắc mạch khuếch đại đó là emitor chung (EC), bazơ chung (BC) và colectơ chung (CC). Mỗi cách mắc đều có ưu điểm và nhược điểm chung, nhưng mạch EC được sử dụng rộng rãi nhất vì có hệ số khuếch đại điện áp và dòng điện lớn.

Tương ứng các mạch khuếch đại dùng tranzito lưỡng cực, cũng có các mạch khuếch đại tương ứng dùng tranzito trường là SS, GS và DC. Các mạch khuếch đại dùng FET có hệ số khuếch đại thấp nhưng lại có độ ổn định và tránh nhiễu tốt hơn so với BJT.

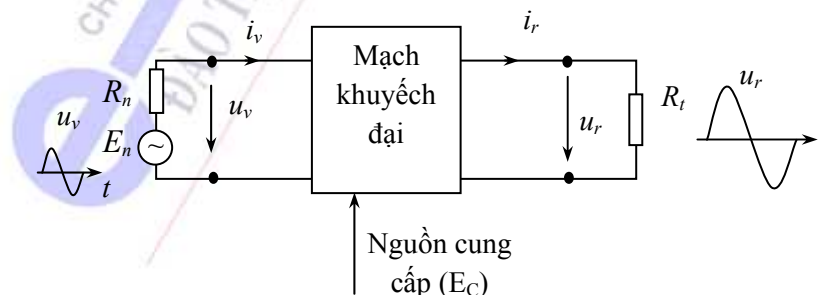
Một trong các khối mạch quan trọng trong các thiết bị điện tử là khối mạch khuếch đại công suất. Đây thường là khối mạch cuối cùng nó có nhiệm vụ khuếch đại tín hiệu lên đủ công suất để đưa ra tải. Các tranzito dùng trong các mạch khuếch đại công suất thường là các tranzito chịu được dòng lớn. Tùy vào công suất yêu cầu mà có các loại mạch khuếch đại công suất khác nhau, hoạt động ở chế độ khác nhau. Các chế độ làm việc của tầng khuếch đại công suất bao gồm chế độ A, AB, và B. Các loại mạch bao gồm các mạch đẩy kéo dùng tranzito cùng loại và tranzito khác loại.

### NỘI DUNG

#### 3.1. ĐỊNH NGHĨA, CÁC CHỈ TIÊU VÀ THAM SỐ CƠ BẢN CỦA MẠCH KHUẾCH ĐẠI

##### 3.1.1. Định nghĩa mạch khuếch đại

Thực chất khuếch đại là một quá trình biến đổi năng lượng có điều khiển, ở đó năng lượng một chiều của nguồn cung cấp, không chứa thông tin, được biến đổi thành năng lượng xoay chiều theo tín hiệu điều khiển đầu vào, chứa đựng thông tin, làm cho tín hiệu ra lớn lên nhiều lần và không méo. Phần tử điều khiển đó là tranzito. Sơ đồ tổng quát của mạch khuếch đại như ở hình 3-1.



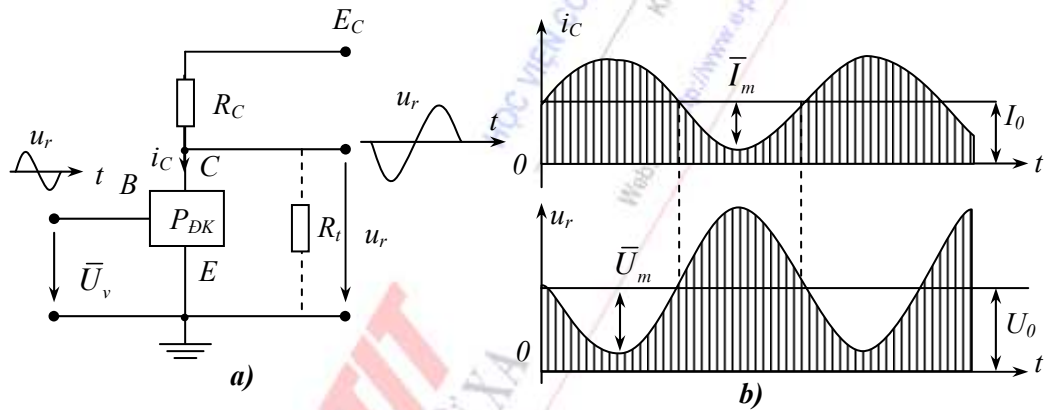
Hình 3-1 Sơ đồ tổng quát của mạch khuếch đại.

Phần tử cơ bản là phần tử điều khiển tranzito có điện trở thay đổi theo sự điều khiển của điện áp hay dòng điện đặt tới cực điều khiển (cực B) của nó, qua đó điều khiển quy luật biến đổi

dòng điện của mạch ra bao gồm tranzito và điện trở  $R_c$ . Tại lối ra giữa cực C và cực phát, người ta nhận được một điện áp biến thiên cùng quy luật với tín hiệu vào nhưng độ lớn được tăng lên nhiều lần. Để đơn giản, giả thiết điện áp đặt vào cực gốc có dạng hình sin.

Từ sơ đồ hình 3-2 ta thấy rằng dòng điện và điện áp xoay chiều ở mạch ra (tỷ lệ với dòng điện và điện áp tín hiệu vào) cần phải coi là tổng các thành phần xoay chiều dòng điện và điện áp trên nền của thành phần một chiều  $I_0$  và  $U_0$ . Phải đảm bảo sao cho biên độ thành phần xoay chiều không vượt quá thành phần một chiều, nghĩa là  $I_0 \geq \bar{I}_m$  và  $U_0 \geq \bar{U}_m$ . Nếu điều kiện đó không được thoả mãn thì dòng điện và điện áp ở mạch ra trong từng khoảng thời gian nhất định sẽ bằng không và sẽ làm méo dạng tín hiệu.

Như vậy để đảm bảo công tác cho tầng khuếch đại (khi tín hiệu vào là xoay chiều) thì ở mạch ra của nó phải tạo nên thành phần dòng một chiều  $I_0$  và điện áp một chiều  $U_0$ . Chính vì vậy, ở mạch vào của tầng, ngoài nguồn tín hiệu cần khuếch đại, người ta cũng phải đặt thêm điện áp một chiều  $U_{V0}$  (hay dòng điện một chiều  $I_{V0}$ ). Các thành phần dòng điện và điện áp một chiều đó xác định chế độ làm việc tĩnh của tầng khuếch đại. Tham số của chế độ tĩnh theo mạch vào ( $I_{V0}$ ,  $U_{V0}$ ) và theo mạch ra ( $I_0$ ,  $U_0$ ) đặc trưng cho trạng thái ban đầu của sơ đồ khi chưa có tín hiệu vào.



Hình 3-2: a) Nguyên lý xây dựng một tầng khuếch đại. b) Biểu đồ thời gian.

### 3.1.2. Các chỉ tiêu và tham số cơ bản của một tầng khuếch đại

#### a) Hệ số khuếch đại $\vec{K}$

$$\vec{K} = \frac{\text{Đại lượng đầu ra}}{\text{Đại lượng tương ứng đầu vào}}$$

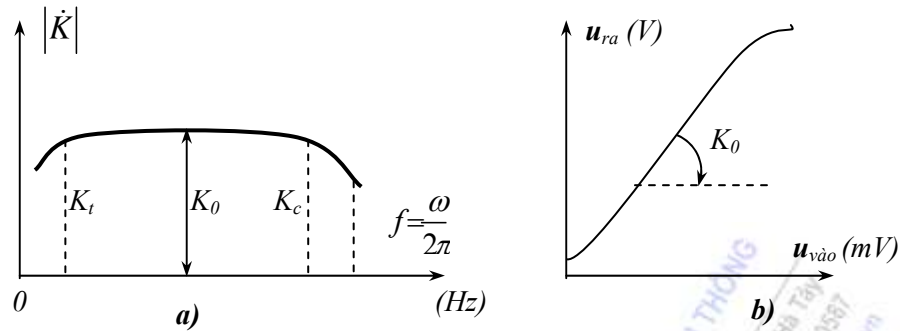
Nói chung vì tầng khuếch đại có chứa các phần tử điện kháng nên  $\vec{K}$  là một số phức.

#### b) Trở kháng đầu vào và đầu ra

Trở kháng đầu vào và trở kháng đầu ra của tầng khuếch đại được định nghĩa

$$Z_v = \frac{U_v}{I_v} ; \quad Z_r = \frac{U_r}{I_r}$$

c) Méo tần số



**Hình 3-3** a) Đặc tuyến biên độ - tần số  
b) Đặc tuyến biên độ của một bộ khuếch đại tần số thấp.

Méo tần số là méo khi độ khuếch đại của mạch khuếch đại bị giảm ở vùng tần số thấp và vùng tần số cao.

$$M_t = \frac{K_0}{K_t}; \quad M_C = \frac{K_0}{K_C}$$

d) Méo phi tuyến.

Méo phi tuyến là do tính chất phi tuyến của các phần tử bán dẫn như tranzito gây ra. Khi  $u_v$  chỉ có thành phần tần số  $\omega$  thì  $u_r$  nói chung có các thành phần tín hiệu với tần số là bội của  $\omega$  tức là  $n \cdot \omega$  (với  $n = 1, 2, \dots$ ) với các biên độ cực đại tương ứng là  $\bar{U}_{n, \max}$ . Hệ số méo phi tuyến do tầng khuếch đại gây ra được đánh giá là:

$$\gamma = \frac{\sqrt{\bar{U}_{2, \max}^2 + \bar{U}_{3, \max}^2 + \dots + \bar{U}_{n, \max}^2}}{\bar{U}_{1, \max}} \%$$

e) Hiệu suất của tầng khuếch đại

Hiệu suất của một tầng khuếch đại là đại lượng được tính bằng tỷ số giữa công suất tín hiệu xoay chiều đưa ra tải  $P_r$  với công suất tiêu thụ nguồn cung cấp một chiều:  $P_0$ .

$$\eta = \frac{P_r}{P_0}$$

**3.2. HỒI TIẾP TRONG CÁC TẦNG KHUẾCH ĐẠI**

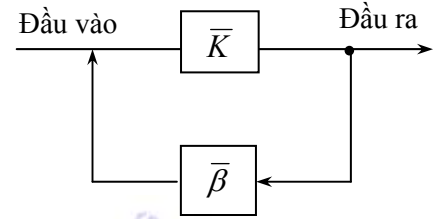
*Hồi tiếp là việc thực hiện truyền một phần tín hiệu từ đầu ra trở về đầu vào bộ khuếch đại.* Thực hiện hồi tiếp trong bộ khuếch đại sẽ cải thiện hầu hết các chỉ tiêu chất lượng của nó và làm cho bộ khuếch đại có một số tính chất đặc biệt.

Có thể phân chia hồi tiếp thành các kiểu như: Hồi tiếp nối tiếp hoặc song song (khi điện áp hồi tiếp về mắc nối tiếp hoặc song song với điện áp vào). Hồi tiếp điện áp hoặc dòng điện (khi điện áp hồi tiếp về tỷ lệ với dòng điện/ điện áp ra).

Nếu điện áp hồi tiếp về ngược pha với điện áp vào (khi đó nó sẽ làm giảm tín hiệu vào) thì đó là hồi tiếp âm. Hồi tiếp âm làm giảm hệ số khuếch đại của mạch nhưng bù lại nó lại làm tăng

tính ổn định của mạch và tăng dải tần làm việc. Do đó trong các mạch khuếch đại người ta thường sử dụng hồi tiếp âm.

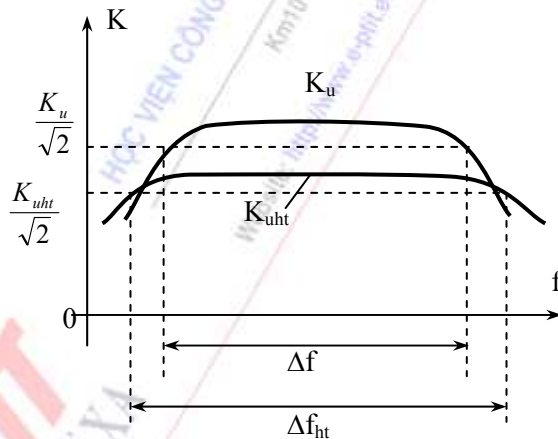
Nếu điện áp hồi tiếp về cùng pha với tín hiệu vào (nó sẽ làm tăng biên độ tín hiệu vào mạch khuếch đại), thì gọi là hồi tiếp dương. Hồi tiếp dương làm tăng hệ số khuếch đại nhưng làm mạch không ổn định thậm chí nếu hồi tiếp nhiều sẽ làm mạch xảy ra hiện tượng tự kích và mạch sẽ dao động, do đó hồi tiếp dương thường dùng trong các mạch tạo dao động.



**Hình 3-4: Sơ đồ khối bộ khuếch đại có hồi tiếp.**

Ngoài ra hồi tiếp âm còn có tác dụng tăng độ ổn định của hệ số khuếch đại, và nó được dùng rộng rãi để cải thiện đặc tuyến biên độ, tần số (hình 3-5) của bộ khuếch đại nhiều tầng ghép điện dung. Vì ở miền tần số thấp và cao hệ số khuếch đại bị giảm. Tác dụng hồi tiếp âm ở miền tần số kể trên sẽ yếu vì hệ số khuếch đại  $K$  nhỏ và sẽ dẫn đến tăng độ khuếch đại ở dải biên tần và mở rộng dải thông  $f$  của bộ khuếch đại.

**Hình 3-5 Ảnh hưởng của hồi tiếp âm đến đặc tuyến biên độ - tần số.**



Hồi tiếp âm cũng làm giảm méo phi tuyến của tín hiệu ra và giảm nhiễu (tạp âm) trong bộ khuếch đại.

Những quy luật chung ảnh hưởng của hồi tiếp âm đến chỉ tiêu bộ khuếch đại là:

Mọi loại hồi tiếp âm đều làm giảm tín hiệu trên đầu vào bộ khuếch đại và do đó làm giảm hệ số khuếch đại  $K_{ht}$ , làm tăng độ ổn định của hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại.

Ngoài ra hồi tiếp âm nối tiếp làm tăng điện trở vào.

Hồi tiếp điện áp nối tiếp làm ổn định điện áp ra, giảm điện trở ra  $R_{rht}$ . Còn hồi tiếp dòng điện nối tiếp làm ổn định dòng điện ra  $I_t$ , tăng điện trở ra  $R_{rht}$ .

Hồi tiếp âm song song làm tăng dòng điện vào, làm giảm điện trở vào  $R_{vht}$ , cũng như điện trở ra  $R_{rht}$ .

Cần nói thêm là hồi tiếp dương thường không dùng trong bộ khuếch đại nhưng nó có thể xuất hiện ngoài ý muốn do ghép về điện ở bên trong hay bên ngoài gọi là hồi tiếp ký sinh, có thể xuất hiện qua nguồn cung cấp chung, qua điện cảm hoặc điện dung ký sinh giữa mạch ra và mạch vào của bộ khuếch đại.

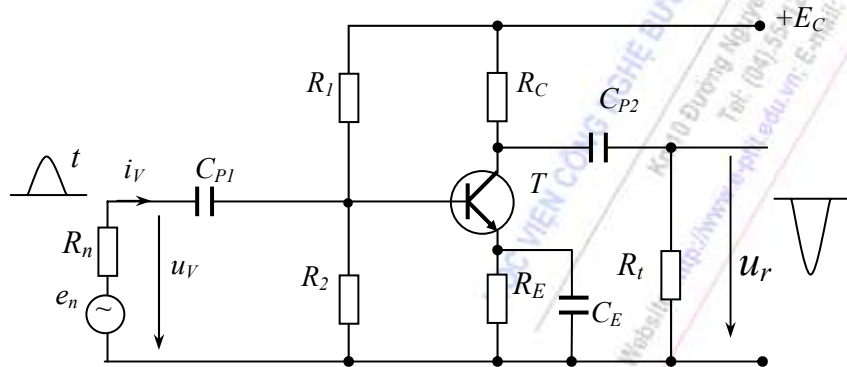
Hồi tiếp ký sinh làm thay đổi đặc tuyến biên độ - tần số của bộ khuếch đại do làm tăng hệ số khuếch đại ở các đoạn riêng biệt của dải tần hoặc thậm chí có thể làm cho bộ khuếch đại bị tự kích nghĩa là xuất hiện dao động ở một tần số xác định.

Để loại bỏ hiện tượng trên có thể dùng các bộ lọc thoát, bố trí mạch in và các linh kiện hợp lý.

*Chú ý*, khi tính toán mạch có hồi tiếp ta phải quan tâm đến độ lớn của tín hiệu hồi tiếp về cũng như pha của nó, tức là ta phải tính toán theo dạng số phức. Học viên phải nắm được hai kiểu hồi tiếp chính là hồi tiếp âm và hồi tiếp dương, tính toán hệ số hồi tiếp và hệ số khuếch đại chung của mạch khi có hồi tiếp.

### 3.3. CÁC SƠ ĐỒ KHUẾCH ĐẠI CƠ BẢN DÙNG TRANZITO LƯỜNG CỰC

#### 3.3.1. Tầng khuếch đại Emitơ chung (EC)



**Hình 3-6 Tầng khuếch đại Emitơ chung (EC).**

Sở dĩ người ta gọi là tầng emitơ chung là vì nếu xét về mặt xoay chiều thì tín hiệu đầu vào và đầu ra đều có chung một chất đất là cực E của tranzito.

Trong sơ đồ này  $C_{p1}$ ,  $C_{p2}$  là các tụ nối tầng, nó ngăn cách điện áp một chiều tránh ảnh hưởng lẫn nhau,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_C$  để xác định chế độ tĩnh của tầng khuếch đại.

$R_E$  điện trở hồi tiếp âm dòng điện một chiều có tác dụng ổn định nhiệt,  $C_E$  tụ thoát thành phần xoay chiều xuống đất ngăn hồi tiếp âm xoay chiều.

Đặc điểm của tầng khuếch đại EC là tầng khuếch đại đảo pha, tín hiệu ra ngược pha với tín hiệu vào.

Nguyên lý làm việc của tầng EC như sau: khi đưa điện áp xoay chiều tới đầu vào xuất hiện dòng xoay chiều cực B của tranzito và do đó xuất hiện dòng xoay chiều cực C ở mạch ra của tầng. Dòng này gây sụt áp xoay chiều trên điện trở  $R_C$ . Điện áp đó qua tụ  $C_{p2}$  đưa đến đầu ra của tầng tức là tới  $R_t$ . Có thể thực hiện bằng hai phương pháp cơ bản là phương pháp đồ thị đối với chế độ một chiều và phương pháp giải tích dùng sơ đồ tương đương đối với chế độ xoay chiều tín hiệu nhỏ.

Phương pháp đồ thị dựa vào đặc tuyến vào và ra của tranzito có ưu điểm là dễ dàng tìm được mối quan hệ giữa các giá trị biên độ của thành phần xoay chiều (điện áp ra  $\hat{U}_r$  và dòng điện ra  $\hat{I}_r$ ) và là số liệu ban đầu để tính toán. Trên đặc tuyến hình (3-7a), vẽ đường tải một chiều (a-b). Sự phụ thuộc  $U_{CE0} = f(I_{C0})$  có thể tìm được từ phương trình cân bằng điện áp ở mạch ra của tầng:



$$U_{CE0} = E_C - I_{C0} \cdot R_C - I_{E0} R_E = E_C - I_{C0} R_C - \frac{I_{C0}}{\alpha} \cdot R_E$$

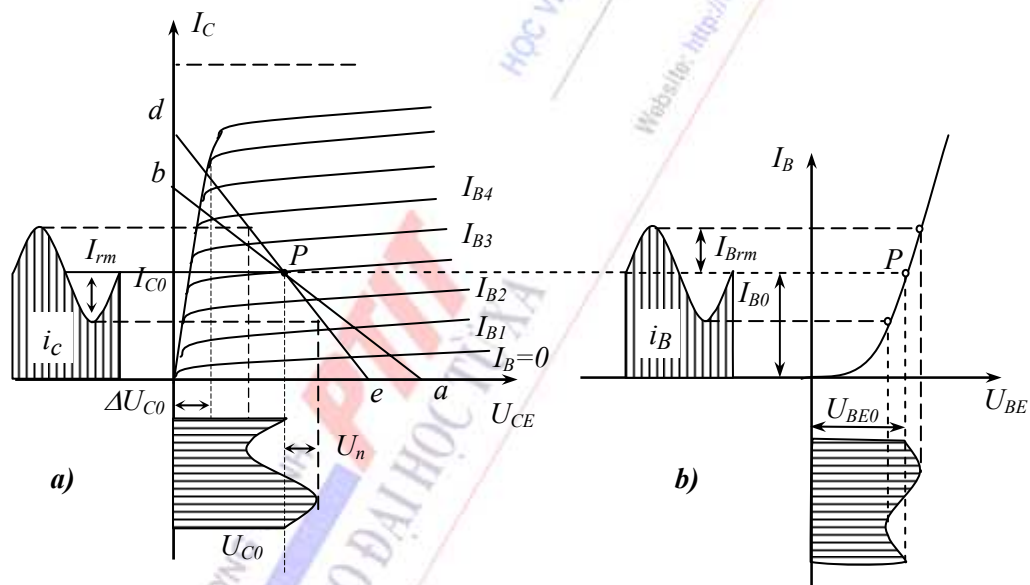
Vì hệ số  $\alpha$  gần đúng 1, nên có thể viết

$$U_{CE0} = E_C - I_{C0} (R_C + R_E)$$

Dựa vào đặc tuyến vào  $I_B = f(U_{BE})$  ta chọn dòng cực gốc tĩnh cần thiết  $I_{B0}$ , chính là xác định được tọa độ điểm P là giao điểm của đường  $I_B = I_{B0}$  với đường tải một chiều trên đặc tuyến ra ở hình 3-7b.

Để xác định thành phần xoay chiều của điện áp ra và dòng ra cực C của tranzito phải dùng đường tải xoay chiều của tầng. Chú ý rằng điện trở xoay chiều trong mạch cực E của tranzito bằng không (vì có tụ  $C_E$  mắc song song với điện trở  $R_E$ ) còn tải  $R_t$  được mắc vào mạch cực C, vì điện trở xoay chiều của tụ  $C_2$  rất nhỏ.

Nếu coi điện trở xoay chiều của nguồn cung cấp  $E_C$  bằng không, thì điện trở xoay chiều của tầng gồm hai điện trở  $R_C$  và  $R_t$  mắc song song, nghĩa là  $R_{\sim} = R_t // R_C$ . Từ đó thấy rõ điện trở tải một chiều của tầng  $R_t = R_C + R_E$  lớn hơn điện trở tải xoay chiều  $R_{\sim}$ . Khi có tín hiệu vào, điện áp và dòng điện là tổng của thành phần một chiều và xoay chiều, đường tải xoay chiều đi qua điểm tĩnh P.



**Hình 3-7** Xác định chế độ tĩnh của tầng EC.

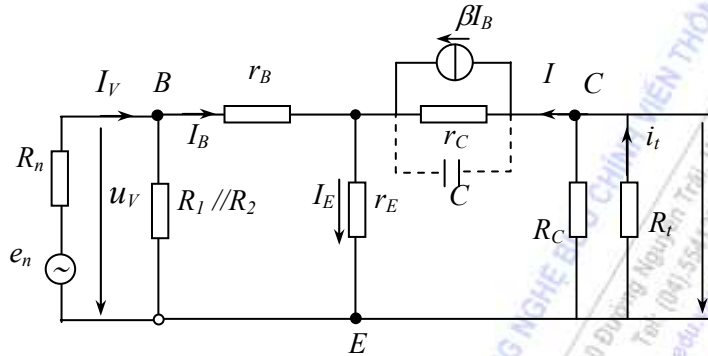
**a) Trên đặc tuyến ra. b) Trên đặc tuyến vào.**

Độ dốc của đường tải xoay chiều lớn hơn độ dốc đường tải một chiều. Xây dựng đường tải xoay chiều theo tỷ số số gia của điện áp và dòng điện  $\Delta U_{CE} = \Delta I_C \cdot (R_C // R_t)$ . Khi cung cấp điện áp vào tới đầu vào của tầng thì trong mạch cực gốc xuất hiện thành phần dòng xoay chiều  $i_b$  liên quan đến điện vào  $u_v$  theo đặc tuyến vào của tranzito. Vì dòng  $I_C = \beta I_B$  nên trên mạch cực C cũng có thành phần dòng xoay chiều  $i_{c\sim}$  và điện áp xoay chiều  $u_{ra}$  liên hệ với  $i_{c\sim}$  bằng đường tải xoay chiều. Khi đó đường tải xoay chiều đặc trưng cho sự thay đổi giá trị tức thời dòng cực C  $i_c$  và điện áp trên tranzito  $u_C$  hay người ta nói đó là sự dịch chuyển điểm làm việc. Điểm làm việc dịch từ P đi lên ứng với 1/2 chu kỳ dương và dịch chuyển đi xuống ứng với 1/2 chu kỳ âm của tín hiệu vào. Nếu chọn trị số tín hiệu vào thích hợp và chế độ tĩnh đúng thì tín hiệu ra của tầng



khuếch đại không bị méo dạng. Việc chọn điểm làm việc tĩnh và tính toán sẽ được thực hiện theo một tầng khuếch đại cụ thể. Những tham số ban đầu để tính toán là biên độ điện áp ra  $\hat{U}_r$  và dòng điện tải  $\hat{I}_t$ , công suất tải  $P_t$  và điện trở tải  $R_t$ . Giữa những tham số này có quan hệ chặt chẽ với nhau, nên về nguyên tắc chỉ cần biết hai trong những tham số đó là đủ để tính các tham số còn lại.

Để tính toán theo phương pháp giải tích dùng sơ đồ tương đương đối với chế độ xoay chiều tín hiệu nhỏ.



Hình 3-8 Sơ đồ tương đương xoay chiều tầng khuếch đại EC.

Các tham số của mạch EC tính gần đúng như sau:

+ Điện trở vào của tầng:  $R_V = R_1 // R_2 // r_V$ ;  $r_V = r_B + (1 + \beta).r_E$ .

+ Hệ số khuếch đại dòng điện:

$$K_i = \beta \cdot \frac{R_C // R_t}{R_t}$$

Như vậy tầng EC có hệ số khuếch đại dòng tương đối lớn, và nếu như  $R_C \gg R_t$  thì nó gần bằng hệ số khuếch đại  $\beta$  của tranzito.

+ Hệ số khuếch đại điện áp:  $K_u = -\beta \cdot \frac{R_C // R_t}{R_n + R_V}$  (dấu trừ thể hiện sự đảo pha)

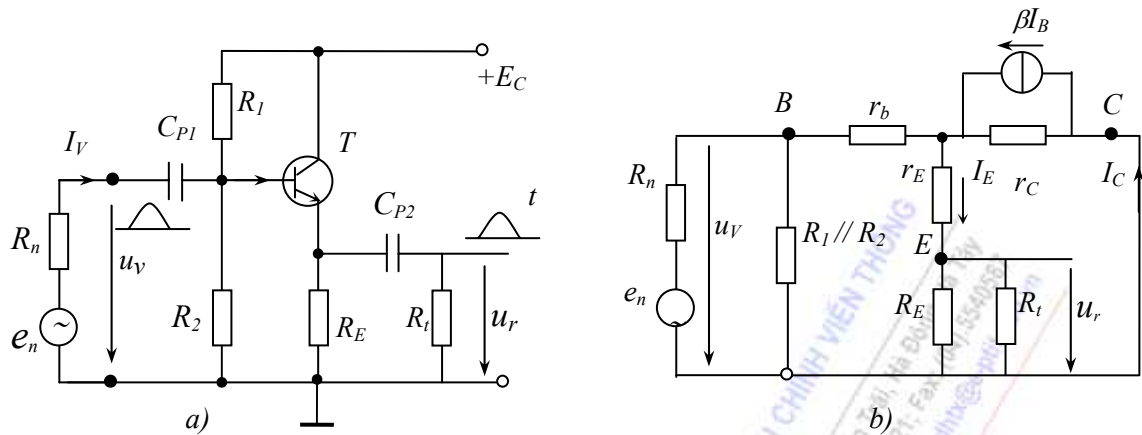
+ Hệ số khuếch đại công suất  $K_p = \frac{P_r}{P_V} = K_u \cdot K_i$ ; rất lớn khoảng từ  $(0,2 \div 5) \cdot 10^3$  lần

+ Điện trở ra của tầng.  $R_r = R_C // r_C(E)$ ; Vì  $r_{C(E)} \gg R_C$  nên  $R_r = R_C$ .

Tầng EC có hệ số khuếch đại điện áp và dòng điện lớn nên thường được sử dụng nhiều.

### 3.3.2. Tầng khuếch đại Colectơ chung (CC)

Điện trở  $R_E$  trong sơ đồ đóng vai trò như  $R_C$  trong mạch EC, nghĩa là tạo nên một điện áp biến đổi ở đầu ra trên nó. Tụ C có nhiệm vụ đưa tín hiệu ra tải  $R_t$ . Điện trở  $R_1, R_2$  là bộ phân áp cấp điện một chiều cho cực B, xác định chế độ tĩnh của tầng. Để tăng điện trở vào thường người ta không mắc điện trở  $R_2$ . Tính toán chế độ một chiều tương tự như tính toán tầng EC. Để khảo sát các tham số của tầng theo dòng xoay chiều, cần chuyển sang sơ đồ tương đương xoay chiều.



Hình 3-9 a) sơ đồ khuếch đại CC.  
b) Sơ đồ tương đương xoay chiều.

Các tham số:

+ Điện trở vào của tầng:  $R_V \approx R_1 // R_2 // (1 + \beta) \cdot (R_E // R_t)$

Nếu chọn bộ phân áp đầu vào vào  $R_1, R_2$  lớn thì điện trở vào sẽ lớn. Tuy nhiên khi đó không thể bỏ qua điện trở  $r_C(E)$  mắc song song với mạch vào, nên điện trở vào phải tính:

$$R_V = R_1 // R_2 // [(1 + \beta) \cdot (R_E // R_t)] // r_E(E)$$

Điện trở vào lớn là một trong những ưu điểm quan trọng của tầng C chung, dùng làm tầng phối hợp với nguồn tín hiệu có điện trở trong lớn.

+ Hệ số khuếch đại dòng điện:  $K_i = (1 + \beta) \cdot \frac{R_V}{r_V} \cdot \frac{R_E // R_t}{R_t}$

+ Hệ số khuếch đại điện áp:  $K_u = (1 + \beta) \cdot \frac{R_E // R_t}{R_n + R_V}$

Khi  $R_V \gg R_n$  và gần đúng  $R_V \approx (1 + \beta) \cdot (R_E + R_t)$  thì  $K_u \approx 1$ . Như vậy tầng khuếch đại C chung để khuếch đại công suất tín hiệu trong khi giữ nguyên trị số điện áp của nó.

Vì  $K_u = 1$  nên hệ số khuếch đại  $K_p$  xấp xỉ bằng  $K_i$  về trị số.

+ Điện trở ra của tầng:  $R_r = R_E // (r_E + \frac{r_B + R_n // R_1 // R_2}{1 + \beta}) = R_E // r_E$

Điện trở ra của tầng nhỏ cỡ  $(1 \div 50)\Omega$ . Nó được dùng để phối hợp mạch ra của tầng khuếch đại với tải có điện trở nhỏ, khi đó tầng C chung dùng làm tầng ra của bộ khuếch đại có vai trò như một tầng khuếch đại công suất đơn chế độ A không có biến áp ra.

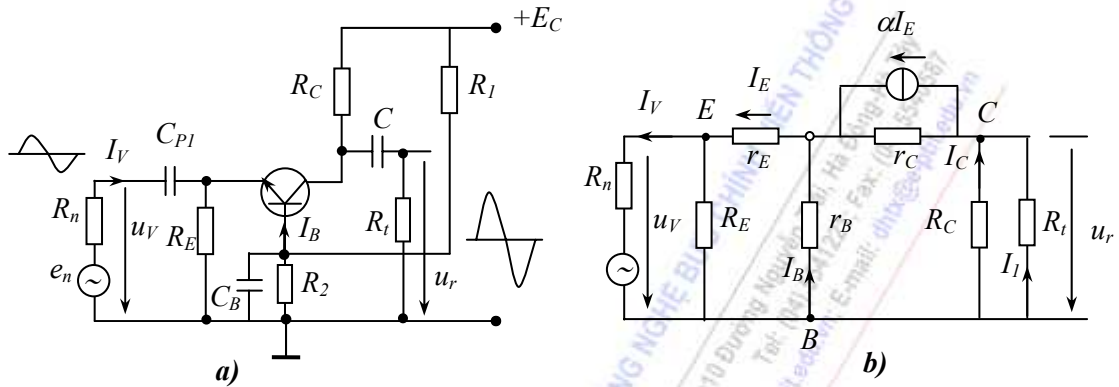
### 3.3.3. Tầng khuếch đại cực B chung (BC)

Các phần tử  $R_1, R_2, R_E$  dùng để xác định chế độ tĩnh  $I_E$ . Các phần tử còn lại cũng có chức năng giống sơ đồ mạch EC.

+ Điện trở vào:  $R_V = R_E // [r_E + (1 - \alpha)r_B]$

Điện trở vào của tầng được xác định chủ yếu bằng điện trở  $r_E$  vào khoảng  $(10 \div 50)\Omega$ . Điện trở vào nhỏ là nhược điểm cơ bản của tầng  $BC$  vì tầng đó sẽ là tải lớn đối với nguồn tín hiệu vào.

+ Hệ số khuếch đại dòng của tầng:  $K_i = \alpha \cdot \frac{R_C // R_t}{R_t}$



**Hình 3-10 a) Sơ đồ mạch khuếch đại BC; b) sơ đồ tương đương xoay chiều.**

+ Hệ số khuếch đại điện áp:  $K_u = \alpha \cdot \frac{R_C // R_t}{R_n + R_V}$

+ Điện trở ra của tầng:  $R_r = R_C // r_C(E) \approx R_C$ .

Cần chú ý rằng đặc tuyến tĩnh của tranzito mắc  $BC$  có độ tuyến tính lớn nên tranzito có thể dùng với điện áp cực  $C$  lớn hơn sơ đồ  $EC$ . Chính vì vậy tầng khuếch đại  $BC$  được dùng khi cần có điện áp ở đầu ra lớn.

### 3.4. TẦNG KHUẾCH ĐẠI ĐẢO PHA

Tầng đảo pha dùng để khuếch đại tín hiệu và cho ra hai tín hiệu có biên độ bằng nhau nhưng pha lệch nhau  $180^\circ$  (hay ngược pha nhau).

Sơ đồ tầng khuếch đại đảo pha chia tải vẽ ở hình 3-11a. Tín hiệu lấy ra từ cực  $E$  và cực  $C$  của tranzito. Tín hiệu ra  $u_{r2}$  lấy từ cực  $E$  đồng pha với tín hiệu vào  $u_V$  còn tín hiệu ra  $u_{r1}$  lấy từ cực  $C$  ngược pha với tín hiệu vào. Dạng tín hiệu vẽ trên hình 3-11b,c,d.

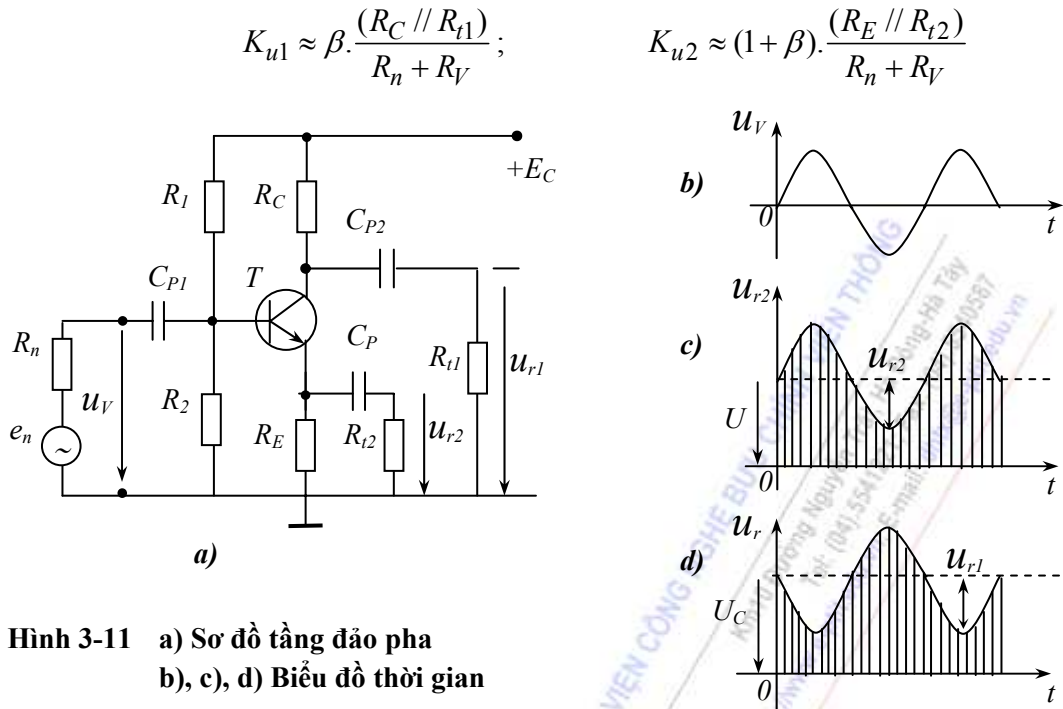
Ta sẽ khảo sát chỉ tiêu của tầng tính tương tự như tầng  $CC$ .

$$R_V = R_1 // R_2 [r_B + (1 + \beta) \cdot (r_E + R_E // R_{t2})]$$

hoặc tính gần đúng:

$$R_V \approx (1 + \beta) \cdot (r_E + R_E // R_{t2})$$

Hệ số khuếch đại điện áp ở đầu ra 1 xác định tương tự như sơ đồ  $EC$ , còn ở đầu ra 2 xác định tương tự như sơ đồ  $CC$ .

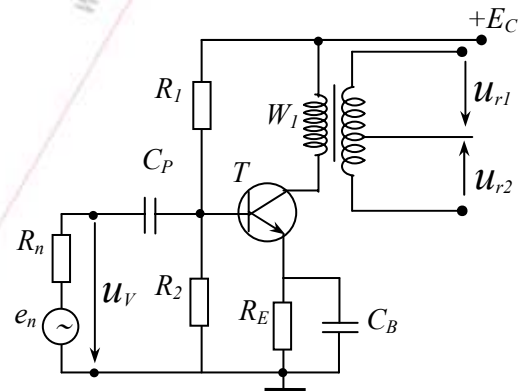


Nếu chọn  $R_C = R_E$  và có  $R_{t1} = R_{t2}$  thì giá trị hệ số khuếch đại  $K_{u1}$  gần đúng bằng  $K_{u2}$  và sơ đồ này còn gọi là mạch đảo pha chia tải.

Tầng đảo pha cũng có thể dùng biến áp, sơ đồ nguyên lý như hình 3-12.

Hai tín hiệu lấy ra từ hai nửa cuộn thứ cấp có góc pha lệch nhau  $180^\circ$  so với điểm 0.

Khi hai nửa cuộn thứ cấp có số vòng bằng nhau thì hai điện áp ra sẽ bằng nhau. Mạch này có hệ số khuếch đại lớn, dễ dàng thay đổi cực tính của điện áp ra và còn có tác dụng phối hợp trở kháng nhưng công kênh, nặng nề và méo lớn nên hiện nay ít được dùng.



**Hình 3-12 Sơ đồ tầng đảo pha dùng biến áp**

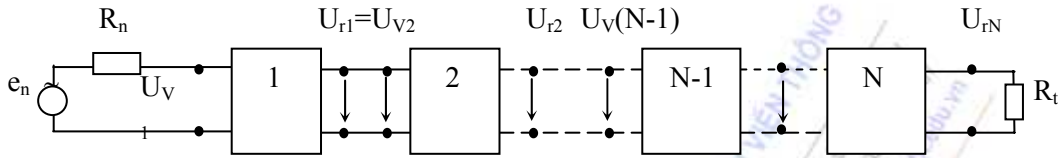
### 3.5. CÁC SƠ ĐỒ CƠ BẢN DÙNG TRANZITO TRƯỜNG (FET)

Nguyên lý xây dựng tầng khuếch đại dùng tranzito trường cũng giống như tầng dùng tranzito lưỡng cực. Điểm khác nhau là tranzito trường điều khiển bằng điện áp. Khi chọn chế độ tĩnh của tầng dùng tranzito trường cần đưa tới đầu vào (cực cửa G) một điện áp một chiều có giá trị và cực tính cần thiết. Các sơ đồ nguồn chung (SC), cực máng chung (DC) và cực cổng chung (GC) về nguyên lý mạch cũng tương tự.

Cần chú ý thêm một số đặc điểm của mạch khuếch đại dùng tranzito trường là các mạch này thường có hệ số khuếch đại nhỏ hơn so với tranzito lưỡng cực, tuy nhiên độ ổn định và tránh nhiễu lại tốt hơn.

### 3.6. PHƯƠNG PHÁP GHÉP CÁC TẦNG KHUẾCH ĐẠI

Trên thực tế khi khuếch đại 1 tín hiệu nhỏ lên đến một công suất đủ lớn theo yêu cầu thì một tầng khuếch đại chưa thể đáp ứng được mà người ta thường phải sử dụng nhiều tầng khuếch đại. Khi ghép nối các tầng khuếch đại thành một bộ khuếch đại thì ta mắc đầu ra của tầng đằng trước vào đầu vào của tầng sau. Điện trở vào và ra của bộ khuếch đại sẽ được tính theo tầng đầu và tầng cuối.



Hình 3-13 Sơ đồ khối bộ khuếch đại nhiều tầng.

Hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại nhiều tầng bằng tích hệ số khuếch đại của mỗi tầng (tính theo đơn vị số lần) hay bằng tổng của chúng (tính theo đơn vị dB)

$$K_u = \frac{U_t}{E_n} = \frac{U_{r1}}{E_n} \cdot \frac{U_{r2}}{U_{V2}} \dots \frac{U_{rN}}{U_{VN}} = K_{u1} \cdot K_{u2} \dots K_{uN}$$

$$K_u (dB) = K_{u1} (dB) + \dots + K_{uN} (dB)$$

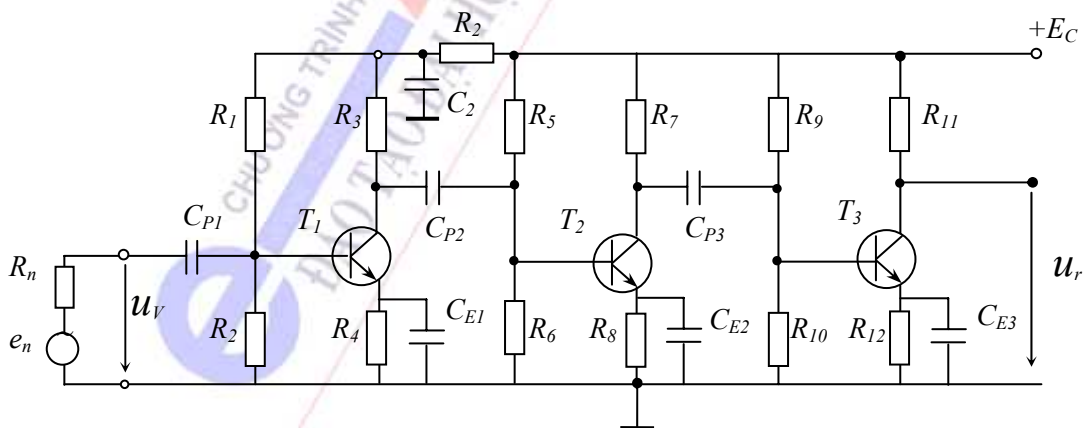
Việc ghép giữa các tầng có thể dùng tụ điện, biến áp hay ghép trực tiếp.

#### 3.6.1. Ghép tầng bằng tụ điện

Ưu điểm của phương pháp này là mạch đơn giản, cách ly được thành phần một chiều giữa các tầng, thuận lợi cho việc tính toán các chế độ một chiều.

Nhược điểm là làm giảm hệ số khuếch đại ở miền tần số thấp,  $K_u \rightarrow 0$  khi  $f \rightarrow 0$ .

Ngoài ra với tần số thấp thì mạch làm tăng mức độ hồi tiếp âm dòng xoay chiều trên các điện trở  $R_E$  và do đó làm giảm hệ số khuếch đại.



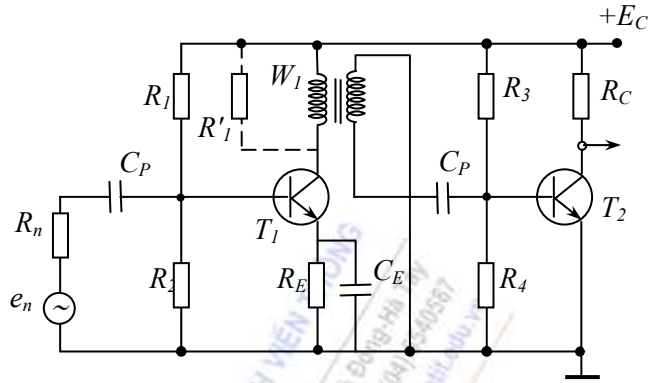
Hình 3-14 Sơ đồ bộ khuếch đại nhiều tầng ghép điện dung.

#### 3.6.2 Ghép bằng biến áp

Trong sơ đồ cuộn sơ cấp  $W_1$  mắc vào cực C của  $T_1$ , cuộn thứ cấp  $W_2$  mắc vào cực B của  $T_2$  qua tụ  $C_{P2}$ . Ghép tầng bằng biến áp cách ly điện áp một chiều giữa các tầng mà còn làm tăng hệ số khuếch đại chung về điện áp hay dòng điện tùy thuộc vào biến áp tăng hay giảm áp.



Ưu điểm của mạch này là điện áp nguồn cung cấp cho cực C của tranzito lớn vì điện áp một chiều cuộn dây bé, do đó cho phép nguồn có điện áp thấp. Ngoài ra tầng ghép biến áp dễ dàng thực hiện phối hợp trở kháng và thay đổi cực tính điện áp tín hiệu trên các cuộn dây. Tuy nhiên nó có nhược điểm là đặc tuyến tần số không bằng phẳng trong dải tần. Kết cấu mạch nặng nề, công kênh, hư hỏng sửa chữa thay thế phức tạp.

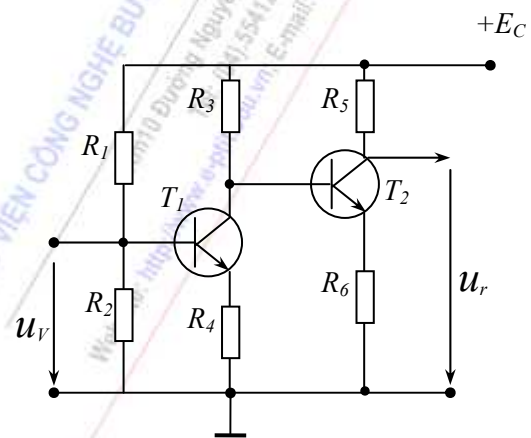


Hình 3-15 Tầng khuếch đại ghép biến áp.

### 3.6.3. Mạch ghép trực tiếp

Trong mạch này cực C của tranzito trước đấu trực tiếp vào cực B của tranzito sau. Cách trực tiếp này làm giảm méo tần số thấp trong bộ khuếch đại, được dùng trong bộ khuếch đại tín hiệu có thành phần một chiều (tín hiệu biến thiên chậm).

Nhược điểm của mạch là không tận dụng được độ khuếch đại của tranzito do chế độ cấp điện một chiều.



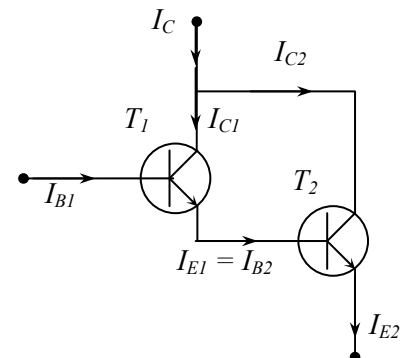
Hình 3-16 Mạch khuếch đại ghép trực tiếp.

## 3.7. MỘT SỐ MẠCH KHUẾCH ĐẠI KHÁC

### 3.7.1 Mạch khuếch đại Darlington

Khi cần trở kháng vào tầng khuếch đại lớn để dòng vào nhỏ, hệ số khuếch đại lớn ta nối mạch khuếch đại theo Darlington. Mạch điện gồm hai tranzito  $T_1$  và  $T_2$  đấu như hình 3-17.

Hệ số khuếch đại dòng toàn mạch là  $\beta = \beta_1 \cdot \beta_2$



Hình 3-17 Mạch Darlington.

### 3.7.2. Mạch Cascôt (Kaskode)

Mạch gồm hai tranzito ghép với nhau,  $T_1$  mắc E chung còn  $T_2$  mắc B chung.

Khi tín hiệu vào  $T_1$  khuếch đại đặt tín hiệu ra  $U_{ra1}$  lên cực E góc  $T_2$  điều khiển tiếp  $T_2$  khuếch đại cho  $U_{ra2}$

Ta chứng minh được hệ số khuếch đại điện áp của  $T_1$ :  $K_{ul} = -1$



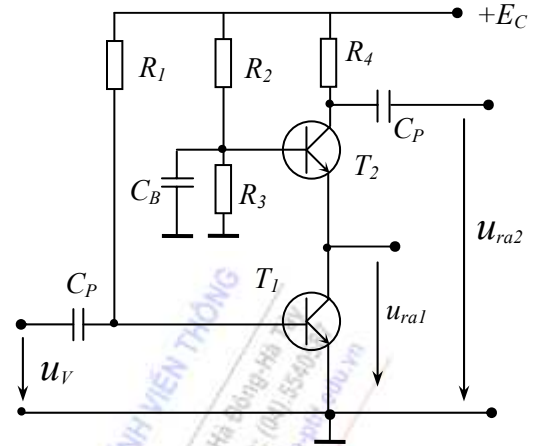
của  $T_2$ :  $K_{u2} \approx \frac{\beta_2 \cdot R_C}{r_{V2}}$  nên hệ số khuếch đại

chung:

$$K = K_{u1} \cdot K_{u2} = -\frac{\beta_2 \cdot R_C}{r_{V2}}$$

trong đó  $r_{V2}$  là điện trở vào của tranzito  $T_2$ .

Ưu điểm cơ bản của mạch này là ngăn cách ảnh hưởng của mạch ra đến mạch vào của tầng khuếch đại, đặc biệt ở tần số cao.

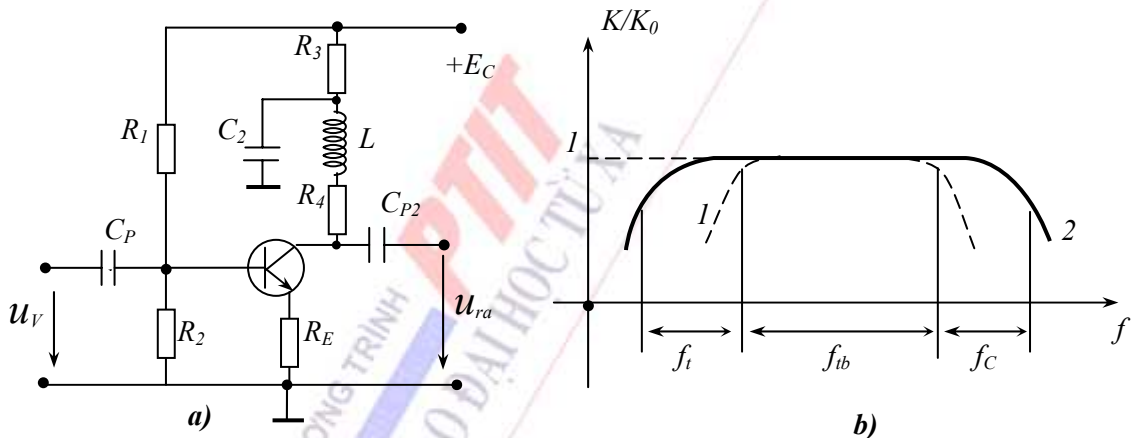


Hình 3-18 Mạch khuếch đại Cascot.

Tín hiệu có dải tần rộng điển hình là tín hiệu video. Để khuếch đại được dải tần rộng như vậy mạch khuếch đại thường dùng thêm một phần tử hiệu chỉnh.

Ở mạch này  $L, R_3, C_2$  là các phần tử hiệu chỉnh được chọn phù hợp sao cho ở khoảng tần số trung bình của dải tần nên tải của tầng là  $R_4$ . Thường  $R_4$  chọn nhỏ hơn các tầng khuếch đại khác. Ở khoảng tần số cao  $f_C$  có  $\omega_C \cdot L$  đủ lớn nên tải của tầng gồm  $R_4$  và  $\omega_C \cdot L$  nên  $U_{ra}$  tăng lên.

Ở tần số thấp tải của tầng là  $R_4$  và  $R_3$ . Như vậy nhờ các phần tử hiệu chỉnh làm tăng tải xoay chiều ở vùng tần số hai đầu của dải tần nhờ vậy điện áp ra tăng lên ở hai đầu vùng đó. Trong hình 3-19 đường 1 ứng với khi không có phần tử hiệu chỉnh, đường 2 là khi có các phần tử hiệu chỉnh.



Hình 3-19 a) Tầng khuếch đại dải rộng  
b) Đặc tuyến biên độ tần số.

### 3.7.4. Mạch khuếch đại cộng hưởng (chọn lọc)

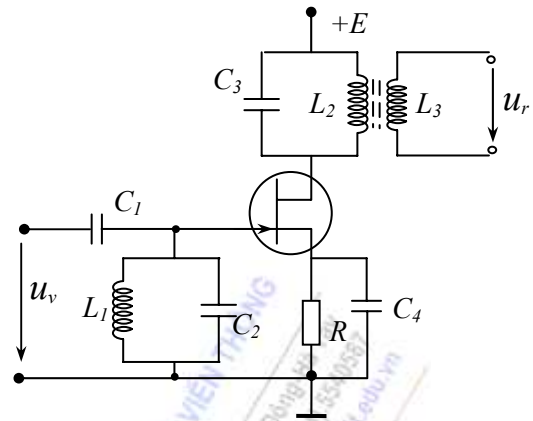
Mạch khuếch đại cộng hưởng dùng phổ biến ở các tầng khuếch đại có tần số cao. Tải của tầng là mạch cộng hưởng song song.

$L_1 C_2, L_2 C_3$  cộng hưởng ở tần số vào. Khi tần số tín hiệu vào thay đổi các mạch  $L_1 C_2, L_2 C_3$  cần phải điều chỉnh tần số cộng hưởng theo.

Tức là:

$$\frac{1}{\sqrt{L_1 C_2}} = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_3}} = f_{0V}.$$

Đặc điểm của mạch, ngoài tác dụng khuếch đại tín hiệu nó còn có khả năng chọn lọc tín hiệu theo tần số.



Hình 3-20 Tầng khuếch đại cộng hưởng dùng tranzito trường.

### 3.8. TẦNG KHUẾCH ĐẠI CÔNG SUẤT

#### 3.8.1. Đặc điểm chung và yêu cầu của tầng khuếch đại công suất

Tầng khuếch đại công suất là tầng khuếch đại cuối cùng của bộ khuếch đại, có tín hiệu vào lớn. Nó có nhiệm vụ khuếch đại tín hiệu để đưa ra tải một công suất lớn nhất có thể được. Với độ méo cho phép vào bảo đảm hiệu suất cao.

Do khuếch đại tín hiệu lớn, tranzito làm việc trong miền không tuyến tính nên không thể dùng sơ đồ tương đương tín hiệu nhỏ để nghiên cứu mà phải dùng phương pháp đồ thị.

Các tham số cơ bản của tầng khuếch đại công suất là:

- Hệ số khuếch đại công suất  $K_p$  là tỷ số giữa công suất ra và công suất vào.

$$K_p = \frac{P_r}{P_v}$$

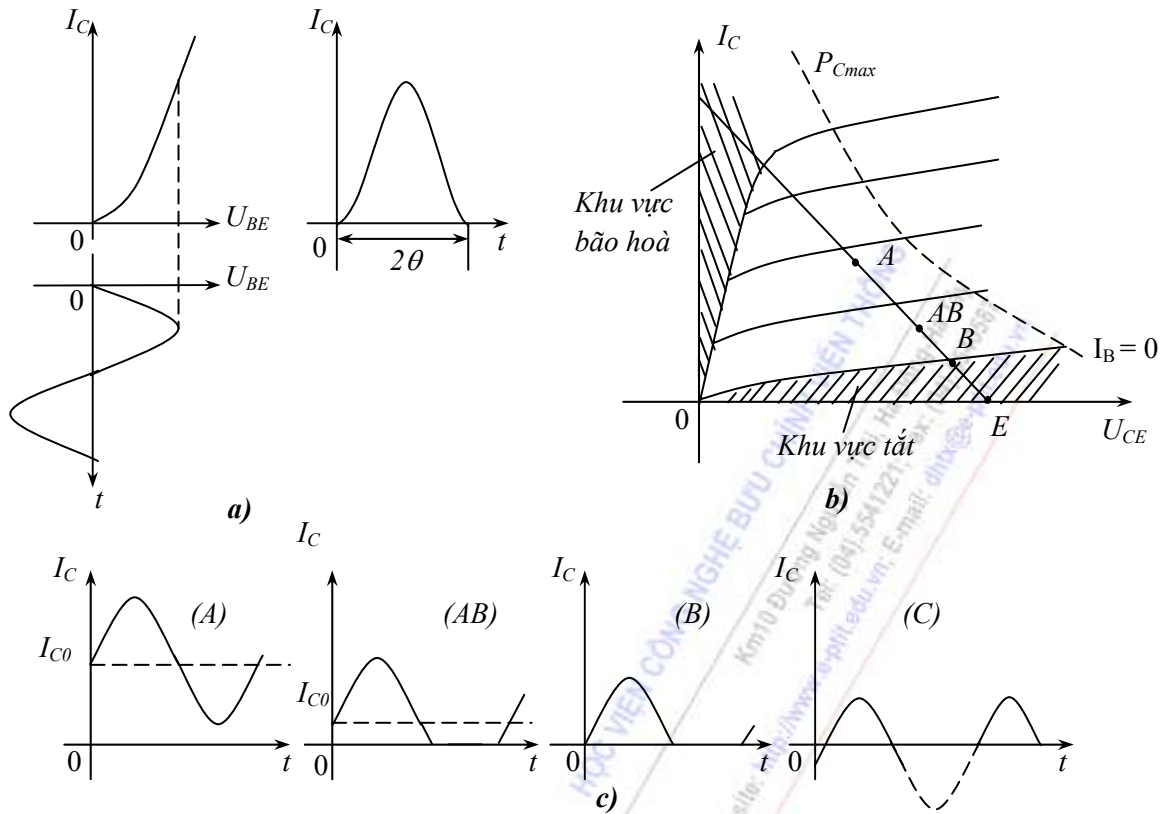
- Hiệu suất là tỷ số công suất ra và công suất cung cấp một chiều  $P_0$ :  $\eta = \frac{P_r}{P_0}$

Hiệu suất càng lớn thì công suất tổn hao trên cực C của tranzito càng nhỏ.

Tầng khuếch đại công suất có thể làm việc ở các chế độ A, AB, B và C tùy thuộc vào chế độ công tác của tranzito.

Chế độ A là chế độ tầng khuếch đại cả 2 nửa chu kỳ (+) và (-) của tín hiệu vào. Ở chế độ này góc cắt  $\theta = 180^\circ$ , dòng tĩnh luôn lớn hơn biên độ dòng điện ra nên méo nhỏ nhưng hiệu suất rất thấp, chỉ dùng khi yêu cầu công suất ra nhỏ.

Chế độ AB tầng khuếch đại hơn nửa chu kỳ (+) của tín hiệu vào, góc cắt  $90^\circ < \theta < 180^\circ$ . Lúc này dòng tĩnh bé hơn chế độ A nên hiệu suất cao hơn. Điểm làm việc của chế độ AB gần khu vực tắt của tranzito.



**Hình 3-21 Minh họa chế độ công tác của tầng khuếch đại công suất**

**a) Đặc tuyến truyền đạt của tranzito**

**b) Đặc tuyến ra của tranzito**

**c) Dòng điện ra ứng với các chế độ khi điện áp vào là sin**

Chế độ B tầng khuếch đại nửa tín hiệu hình sin vào, có góc cắt  $\theta = 90^\circ$ . Ở chế độ này dòng tĩnh bằng không nên hiệu suất cao.

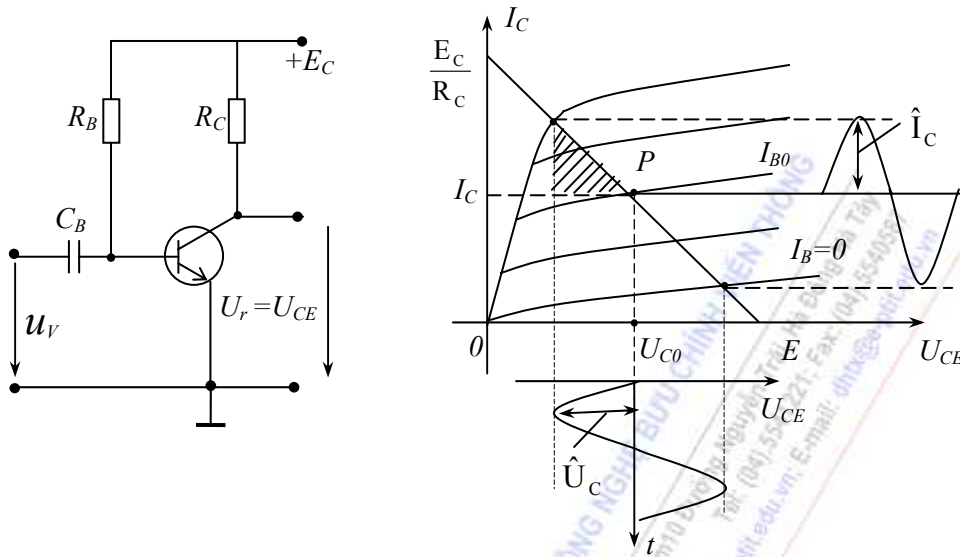
Chế độ AB và B có hiệu suất cao nhưng gây méo lớn. Để giảm méo phải dùng mạch khuếch đại kiểu đẩy kéo.

Chế độ C tầng khuếch đại tín hiệu ra bé hơn nửa hình sin, góc cắt  $\theta < 90^\circ$ . Nó được dùng trong các mạch khuếch đại cao tần có tải là khung cộng hưởng để chọn lọc sóng hài mong muốn và để có hiệu suất cao.

Chế độ D chỉ là trường hợp đặc biệt của chế độ C: lợi dụng sóng hài làm cho dạng sóng gần với hình chữ nhật nhằm tăng hiệu suất cực C (dùng tầng khuếch đại công suất cao tần ở máy phát).

### 3.8.2. Tầng khuếch đại công suất chế độ A

Trong tầng khuếch đại chế độ A, điểm làm việc thay đổi đối xứng xung quanh điểm làm việc tĩnh. So với tầng khuếch đại tín hiệu nhỏ, nó chỉ khác là tín hiệu vào lớn nên  $I_{C0}$  phải lớn theo. Xét tầng khuếch đại đơn mắc EC vì có hệ số khuếch đại lớn và méo nhỏ.



**Hình 3-22 Tầng khuếch đại công suất chế độ A mắc E chung**  
 a) Sơ đồ; b) Minh họa dạng tín hiệu trên họ đặc tuyến ra.

Công suất ra của tầng:  $P_r = \frac{\hat{I}_C \cdot \hat{U}_C}{2}$

Công suất tiêu thụ của nguồn cung cấp:  $P_0 = I_{C0} \cdot E_C$

Hiệu suất của mạch cực C:  $\eta = \frac{P_r}{P_0} = \frac{\hat{U}_C \cdot \hat{I}_C}{2 \cdot I_{C0} \cdot E_C}$

Từ hình vẽ ta thấy khi  $\hat{U}_C = U_{C0} = \frac{E_C}{2}$  và  $\hat{I}_C = I_{C0}$  thì có  $\eta_{\max} = 25\%$ .

Nếu dùng mạch ra ghép biến áp, thực hiện được phối hợp trở kháng và tận dụng được nguồn nuôi  $E_C$ , hiệu suất cực đại có thể đạt 50%.

Công suất tiêu hao trên mặt ghép góp:

$$P_C = P_0 - P_r = I_{C0} \cdot E_C - \frac{1}{2} \cdot \hat{U}_C \cdot \hat{I}_C.$$

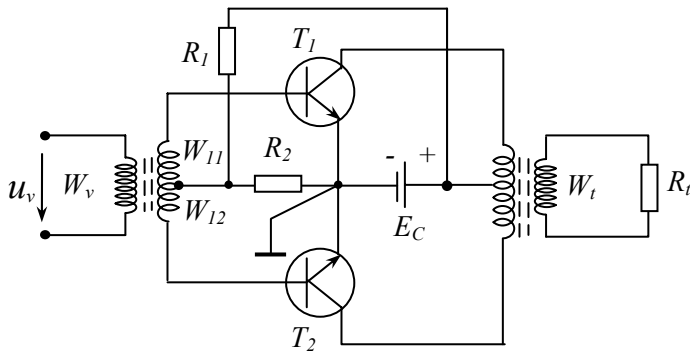
Theo công thức này ta thấy công suất  $P_C$  phụ thuộc vào tín hiệu ra. Khi không có tín hiệu  $P_C = P_0$  nên chế độ nhiệt của tranzito phải tính theo công suất  $P_0$ .

### 3.8.3. Tầng khuếch đại công suất đẩy kéo chế độ B và AB có biến áp.

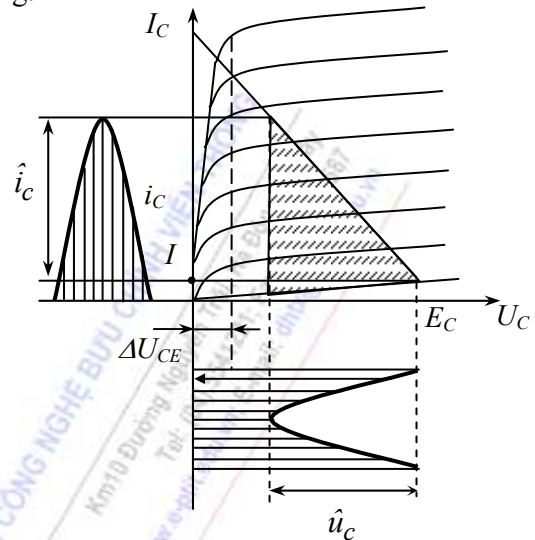
Sơ đồ tầng khuếch đại công suất đẩy kéo gồm hai tranzito  $T_1, T_2$ . Tải được mắc với tầng khuếch đại qua biến áp ra  $BA_2$ . Mạch cực C của mỗi tranzito mắc với nửa cuộn sơ cấp biến áp. Tỷ số biến áp là  $n_2 = W_{21}/W_t = W_{22}/W_t$ .

Hai tranzito  $T_1$  và  $T_2$  thay phiên nhau hoạt động ở hai nửa chu kỳ của tín hiệu vào.  $T_1$  hoạt động ở nửa chu kỳ dương,  $T_2$  hoạt động ở nửa chu kỳ âm, điện áp trên cuộn dây  $W_{12}$  đã được đảo so với tín hiệu vào.

Biến áp  $BA_1$  có hệ số biến áp là  $n_1 = W_V/W_{11} = W_V/W_{22}$  đảm bảo cung cấp tín hiệu vào cực B của hai tranzito. Tầng có thể làm việc ở chế độ B hay AB. Trong chế độ AB thiên áp lấy trên cực B của hai tranzito được lấy từ nguồn nuôi  $E_C$  bằng bộ phân áp  $R_1, R_2$ . Trong chế độ B thiên áp ban đầu bằng không nên không cần  $R_1$ . Khi đó điện trở  $R_2$  được dùng để đảm bảo công tác cho mạch vào của tranzito trong chế độ gần với chế độ nguồn dòng.



Hình 3-23 Tầng đẩy kéo ghép biến áp.



Hình 3-24 Đồ thị tính tầng công suất.

Công suất ra của tầng tính được theo diện tích tam giác:  $P_r = \frac{\hat{U}_C \cdot \hat{I}_C}{2}$

Công suất đưa ra tải có tính đến hiệu suất của biến áp là:  $P_t = P_r \cdot \eta_{ba2}$

Trị số trung bình dòng tiêu thụ từ nguồn:  $I_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \hat{I}_C \sin \theta \cdot dt = \frac{2 \cdot \hat{I}_C}{\pi}$

Công suất tiêu thụ từ nguồn cung cấp:  $P_0 = \frac{2 \cdot E_C \cdot \hat{I}_C}{\pi}$

Hiệu suất của mạch cực C:  $\eta_C = \frac{P_r}{P_0} = \frac{\pi \cdot \hat{U}_C}{4 \cdot E_C}$

Hiệu suất của tầng:  $\eta = \eta_{ba2} \cdot \frac{\pi \cdot \hat{U}_C}{E_C}$

Nếu  $\eta_{ba} = 1$  thì  $\eta = 78,5\%$  khi  $\hat{U}_C = E_C$ .

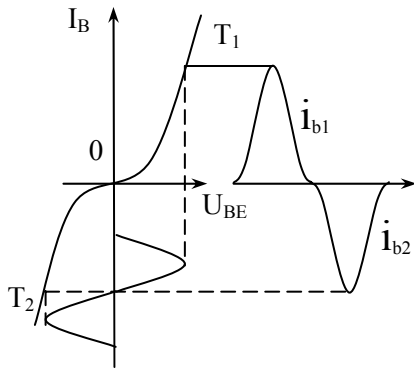
Thực tế  $\hat{U}_C < E_C$  do vòng cong của đặc tuyến và  $\eta_{ba} = 0,8$  nên

$$\eta = 0,6 \div 0,17.$$

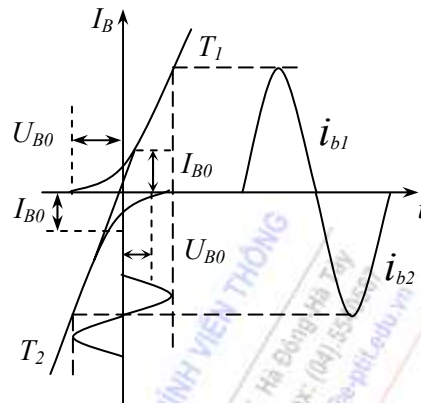
$P_{Cmax}$  khi  $\hat{U}_C = 0,64 \cdot E_C$

$$P_{Cmax} = \frac{2}{\pi^2 \cdot n_2^2} \cdot \frac{E_C^2}{R_t}$$





**Hình 3-25 Ảnh hưởng méo phi tuyến của đặc tuyến vào tranzito đến méo dạng tín hiệu trong chế độ B**

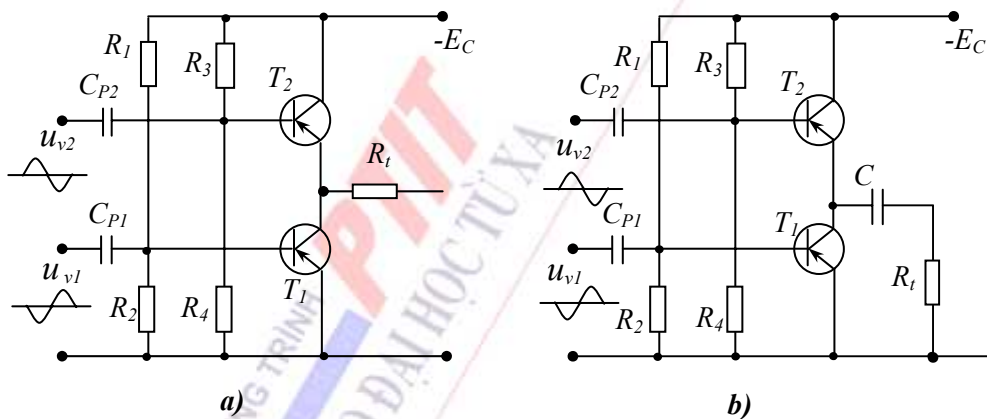


**Hình 3-26 Giảm méo phi tuyến trong chế độ AB**

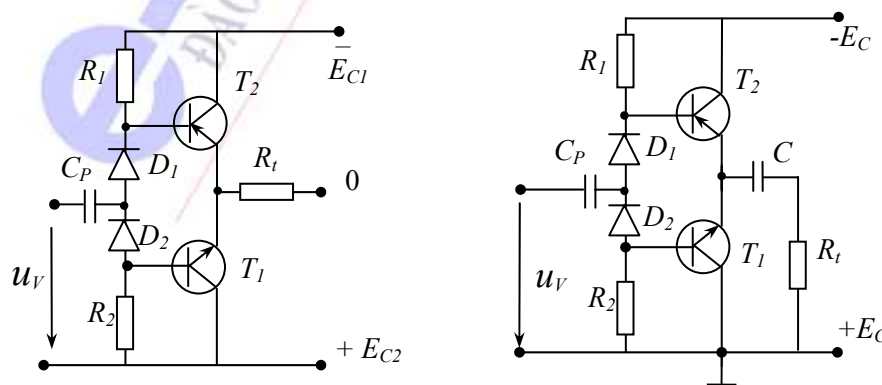
Để tránh méo do tính không đường thẳng đoạn đầu đặc tuyến vào tranzito khi dòng cực B bé. Người ta cho tăng làm việc ở chế độ AB. Ở chế độ này  $U_{BE0}$ ,  $I_{B0}$ ,  $I_{C0}$  bé nên các công thức dùng cho chế độ B vẫn đúng.

### 3.8.4. Mạch khuếch đại công suất đẩy kéo không biến áp

Có hai kiểu mạch là dùng tranzito cùng loại và tranzito khác loại. Như hình 3-27 và 3-28.



**Hình 3-27 Mạch đẩy kéo không biến áp dùng tranzito cùng loại.**



**Hình 3-28 Mạch đẩy kéo không biến áp ra dùng tranzito khác loại.**

Các mạch khuếch đại này ở đầu ra không cần lắp thêm các biến áp, đối với mạch dùng tranzito khác loại thì đầu vào cũng không cần biến áp, như thế sẽ làm giảm méo do các biến áp tạo ra, và kích thước của mạch cũng nhỏ gọn hơn.

### 3.9. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG IC

Ngày nay IC đã được dùng phổ biến trong các thiết bị điện tử dân dụng cũng như chuyên dụng do có rất nhiều ưu điểm. Ngoài trừ IC khuếch đại thuật toán có đặc điểm riêng, IC tuyến tính dùng khuếch đại có nhiều loại, do yêu cầu khác nhau của các nhà chế tạo, được cho sẵn trong sổ tay tra cứu hay sơ đồ mạch. Thông thường các IC này được chia ra nhiều vùng (theo sơ đồ khối) để làm nhiều nhiệm vụ khác nhau. Ví dụ một IC dùng cho máy thu thanh thường có khối dao động (OSC hoặc VCO), trộn tần (MIX), khuếch đại trung tần (IF.AMP), tách sóng điều biên (AM.DET), tách sóng điều tần (FM.DET) và có thể có cả mạch khuếch đại âm tần. Tuy nhiên để làm việc được các chân tương ứng của IC phải được nối với các linh kiện mạch ngoài phù hợp và cấp nguồn nuôi.

Khi cần khuếch đại công suất ra lớn, có thể dùng IC khuếch đại công suất riêng. Mức công suất ra, mức nguồn nuôi tùy từng loại IC mà ta lựa chọn cho phù hợp. Trong trường hợp cần mạch khuếch đại hai đường cho máy stereo ta có thể dùng IC kép hay hai IC đơn cùng loại để thực hiện. Ngoài ra cần chú ý rằng khi dùng các IC công suất lớn cần có biện pháp tản nhiệt để bảo đảm nhiệt độ cho phép khi làm việc.

## TÓM TẮT NỘI DUNG

Nội dung chính của chương trình bày về các mạch khuếch đại dùng tranzito và chủ yếu là tranzito lưỡng cực.

#### **Cần nắm các vấn đề sau:**

Nguyên tắc xây dựng mạch khuếch đại dùng các phần tử điều khiển là các tranzito.

Vấn đề hồi tiếp trong các mạch khuếch đại, ảnh hưởng của từng loại hồi tiếp đến các thông số của mạch khuếch đại. Có nhiều kiểu phân chia hồi tiếp nhưng nếu xét về pha của tín hiệu hồi tiếp về thì có 2 loại là hồi tiếp dương và hồi tiếp âm. Trong các mạch khuếch đại chủ yếu dùng hồi tiếp âm vì nó làm tăng khả năng ổn định điểm làm việc tĩnh, tăng dải tần làm việc mặc dù nó làm giảm hệ số khuếch đại.

Các mạch khuếch đại tín hiệu nhỏ dùng BJT có 3 kiểu mạch là EC, BC, và CC. Nguyên lý hoạt động của từng mạch và các hệ số khuếch đại điện áp, khuếch đại dòng điện, trở kháng vào ra của từng mạch. Mạch EC được sử dụng nhiều vì có  $K_u, K_i$  lớn, tuy nhiên mạch EC là mạch khuếch đại đảo pha.

Ngoài các mạch khuếch đại dùng BJT thì cũng có các mạch dùng tranzito trường (FET): Về cơ bản các mạch khuếch đại dùng FET cũng giống các mạch dùng BJT. Chỉ có điểm khác là các mạch dùng FET có hệ số khuếch đại nhỏ hơn, nhưng bù lại chúng lại có một số tính chất rất tốt.

Ngoài các mạch khuếch đại thông thường đó còn có các mạch khuếch đại khác như mạch Darlington, Kaskode...

Tầng cuối cùng trong các thiết bị điện tử thường là các mạch khuếch đại công suất. Đặc điểm chính của mạch khuếch đại công suất là chủ yếu khuếch đại dòng điện lên đủ lớn cung cấp

cho tải. Có các chế độ làm việc A, AB, B và các loại mạch khác nhau. Cần nắm được các sơ đồ khuếch đại, các thông số như  $K_P$ ; hiệu suất  $\eta$  ... của từng loại mạch.

## CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP

**Câu 1:** Trong các mạch khuếch đại tín hiệu nhỏ, tranzito hoạt động ở chế độ nào:

- a) Thông bão hòa      b) Ngắt      c) Tích cực      d) cả phương án a và b.

**Câu 2:** Arguymen của hệ số khuếch đại điện áp  $\vec{K}_u$  cho biết điều gì:

- a) Lệch pha giữa điện áp vào và dòng điện đầu vào.  
 b) Lệch pha giữa điện áp ra và dòng điện đầu ra.  
 c) Lệch pha giữa điện áp ra và điện áp vào.  
 d) Lệch pha giữa điện áp vào và dòng điện ra.

**Câu 3:** Hiệu suất của một tầng khuếch đại được tính bằng:

- a)  $\eta = \frac{P_r}{P_v}$       b)  $\eta = \frac{P_r}{P_0}$       c)  $\eta = \frac{P_v}{P_0}$       d)  $\eta = \frac{P_0}{P_r}$

**Câu 4:** Hồi tiếp là hồi tiếp âm khi:

- a) Điện áp hồi tiếp về ngược pha với điện áp vào.  
 b) Điện áp hồi tiếp về cùng pha với điện áp vào.  
 c) Điện áp hồi tiếp về tỷ lệ với dòng điện đầu ra.  
 d) Không phải các trường hợp trên.

**Câu 5:** Hồi tiếp là hồi tiếp dương khi:

- a) Điện áp hồi tiếp về ngược pha với điện áp vào.  
 b) Điện áp hồi tiếp về cùng pha với điện áp vào.  
 c) Điện áp hồi tiếp về tỷ lệ với điện áp đầu ra.  
 d) Điện áp hồi tiếp về tỷ lệ với dòng điện đầu ra.

**Câu 6:** Hồi tiếp âm làm

- a) Tăng hệ số khuếch đại chung của mạch.  
 b) Giảm hệ số khuếch đại chung của mạch.  
 c) Ổn định điểm làm việc tĩnh và mở rộng dải tần làm việc.  
 d) Cả b) và c).

**Câu 7:** Hồi tiếp dương làm

- a) Tăng hệ số khuếch đại chung của mạch.
- b) Giảm hệ số khuếch đại chung của mạch.
- c) Thường dùng trong các mạch tạo dao động.
- d) Cả a) và c).

**Câu 8:** Tầng khuếch đại EC có

- a) Điện trở vào lớn.
- b) Hệ số khuếch đại điện áp và dòng điện lớn.
- c) Điện áp ra đảo pha so với điện áp vào
- d) Cả b) và c)

**Câu 9:** Tầng khuếch đại CC có

- a) Điện trở vào lớn.
- b) Điện trở vào nhỏ.
- c) Điện áp ra đảo pha so với điện áp vào
- d) Cả a) và c)

**Câu 10:** Tầng khuếch đại BC có

- a) Điện trở vào lớn.
- b) Điện trở vào nhỏ.
- c) Điện áp ra đảo pha so với điện áp vào
- d) Cả b) và c)

**Câu 11:** Hệ số khuếch đại điện áp của mạch khuếch đại được tính bằng công thức:

$$a) \bar{K}_U = \frac{\bar{U}_v}{\bar{U}_r} \quad b) \bar{K}_U = \frac{\bar{U}_r}{\bar{U}_v} \quad c) K_U = \frac{\bar{U}_r}{\bar{I}_v} \quad d) \bar{K}_U = \frac{\bar{I}_r}{\bar{U}_v}$$

**Câu 12:** Trở kháng đầu ra của tầng khuếch đại là:

$$a) Z_r = \frac{U_v}{I_v} ; \quad b) Z_r = \frac{U_r}{I_v} \quad c) Z_r = \frac{U_r}{I_r} \quad d) Z_r = \frac{U_v}{I_r}$$

**Câu 13:** Góc cắt  $\theta$  của mạch khuếch đại công suất làm việc ở chế độ AB là:

$$a) \theta = 90^0 \quad b) \theta = 180^0 \quad c) \theta = 360^0 \quad d) 90^0 < \theta < 180^0$$

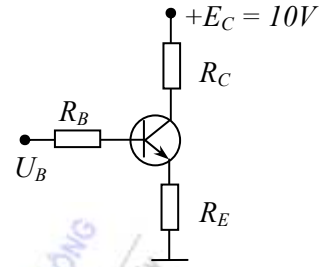
**Câu 14:** Méo tần số thấp của bộ khuếch đại được tính bằng

$$a) M_t = \frac{K_0}{K_t} \quad b) M_t = \frac{K_0}{K_c} \quad c) M_t = \frac{K_c}{K_t} \quad d) M_t = \frac{K_t}{K_0}$$

**Câu 15:** Cho mạch điện như hình 3-29;

$$R_C = 400\Omega; R_E = 600\Omega; R_B = 20k\Omega; U_B = 0,6V;$$

$U_{BC} = 0,7; \beta = 90$ . Hãy tính các đặc tính của mạch (Dòng điện và điện áp trong mạch).



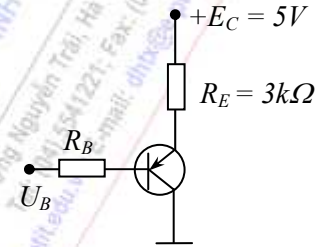
**Hình 3-29.**

**Câu 16:** Cho mạch điện như hình 3-30.

Với:

$$U_{EB} = 0,6V; \beta = 80; U_{EC0} = 2,5V; \\ E_C = 5V; U_B = -2V$$

Tính các đặc tính của mạch?



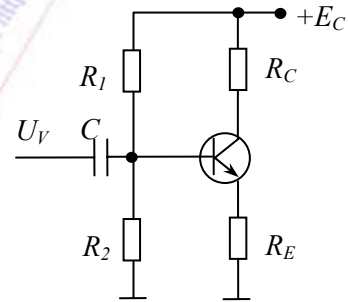
**Hình 3-30.**

**Câu 17:**

Cho mạch như hình 3-31. Với các số liệu:

$$E_C = 5V; R_C = 1k\Omega; U_{BE0} = 0,7V; \beta = 100;$$

Hãy tính  $R_1, R_2$  để mạch ổn định thiên áp với  $U_{CE0} = 3V$ . Biết  $U_{RE} = 0,673V$ .

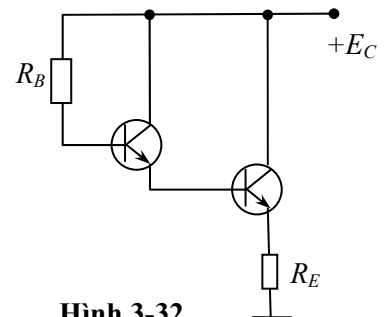


**Hình 3-31.**

**Câu 18:** Cho mạch như hình 3-32.

$$\text{Với } \beta_1 = \beta_2 = 65; E_C = 10V.$$

Hãy xác định  $R_B$  và  $U_{CE1}$  để  $U_{CE2} = 6V$



**Hình 3-32.**

**Câu 19:** Cho mạch điện như hình 3-33.

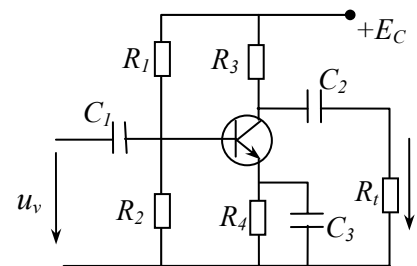
Với  $E = 12V$ ;

$$R_1 = 20k\Omega; R_2 = 4k\Omega$$

$$R_3 = 4k\Omega; R_4 = 1k\Omega$$

$$\beta = 99; U_{BE} = +0,6V$$

a) Xác định dòng điện và điện áp một chiều trên các cực.



**Hình 3-33.**

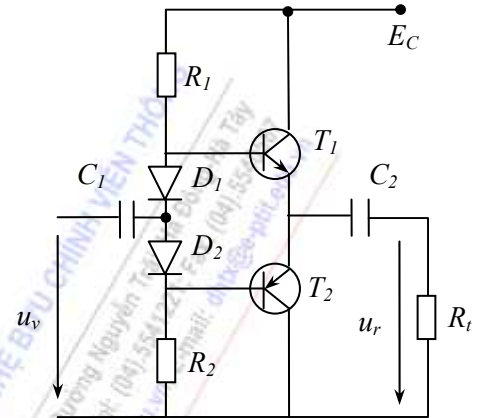


- b) Biết  $R_f = 8k\Omega$ , xác định tải một chiều và tải xoay chiều của tầng khuếch đại. Vẽ đường tải một chiều tại vị trí điểm làm việc Q đầu ra của tầng khuếch đại.
- c) Vẽ dạng tín hiệu vào, ra của mạch.

**Câu 20:** Cho mạch điện hình 3-34.

Biết:  $E = 20V$ ;  $U_D = U_{BE} = 0,5V$

Xem  $T_1, T_2$  là lý tưởng để khuếch đại cho biên độ cực đại.  $I_{phân\ cực} = 1mA$ . Tìm  $R_1; R_2; P_r$ ;  $\eta = ?$  khi  $R_G = 100\Omega$ .



Hình 3-34.

## CHƯƠNG 4: MẠCH KHUẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

### GIỚI THIỆU

Chương này trình bày về bộ khuếch đại thuật toán (Op-Amp: Operational Amplifier). Danh từ "khuếch đại thuật toán" thuộc về bộ khuếch đại dòng một chiều có hệ số khuếch đại lớn, có hai đầu vào vi sai và một đầu ra chung. Tên gọi này có quan hệ tới việc ứng dụng đầu tiên của chúng chủ yếu để thực hiện các phép tính cộng, trừ, tích phân... Hiện nay bộ khuếch đại thuật toán đóng vai trò quan trọng và ứng dụng rộng rãi trong mạch khuếch đại, tạo tín hiệu hình sin và xung, trong bộ ổn áp và bộ lọc tích cực...

### NỘI DUNG

#### 4.1. CÁC TÍNH CHẤT CHUNG CỦA IC THUẬT TOÁN

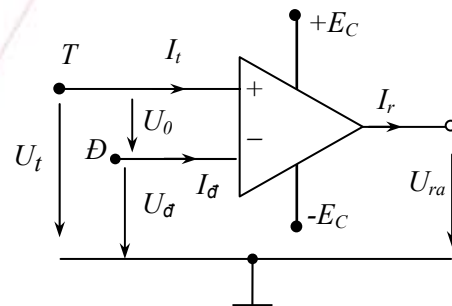
Bộ khuếch đại thuật toán được ký hiệu như hình 4-1. Trong đó  $U_t$ ,  $I_t$  là điện áp, dòng điện vào cửa thuận.  $U_d$ ,  $I_d$  là điện áp, dòng điện vào cửa đảo,  $U_r$ ,  $I_r$  là điện áp ra và dòng điện ra.  $U_0$  là điện áp vào giữa hai cửa. Bộ khuếch đại thuật toán khuếch đại hiệu điện áp  $U_0 = U_r - U_d$  với hệ số khuếch đại  $K_0 > 0$ .

Do đó điện áp ra:

$$U_r = K_0 \cdot U_0 = K_0(U_r - U_d)$$

Nếu  $U_d = 0$  thì  $U_r = K_0 \cdot U_t$  lúc này điện áp ra cùng pha với điện áp vào. Vì vậy cửa T gọi là cửa thuận của bộ khuếch đại thuật toán và ký hiệu dấu "+".

Tương tự khi  $U_t = 0$  thì  $U_r = -K_0 \cdot U_d$ , lúc này điện áp ra ngược pha với điện áp vào nên cửa Đ gọi là cửa đảo của bộ khuếch đại thuật toán và ký hiệu dấu "-". Ngoài ra bộ khuếch đại có hai cửa đấu với nguồn nuôi đối xứng  $\pm E_C$  và các cửa để chỉnh lệch 0 và bù tần.



Hình 4-1 Bộ khuếch đại thuật toán.

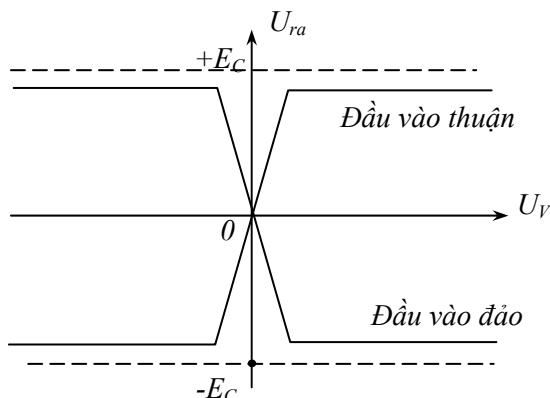
Một bộ khuếch đại thuật toán lý tưởng có những tính chất sau:

- + Trở kháng vào  $Z_V = \infty$
- + Trở kháng ra  $Z_{ra} = 0$
- + Hệ số khuếch đại  $K_0 = \infty$

Thực tế bộ khuếch đại thuật toán có  $K_0 = 10^4 \div 10^6$  ở vùng tần số thấp.

Lên vùng tần số cao hệ số khuếch đại giảm xuống. Nguyên nhân do sự phụ thuộc tham số của tranzito và điện dung ký sinh trong sơ đồ. Đặc tuyến truyền đạt, đặc tuyến biên độ và đặc tuyến pha như ở hình 4-2 và 4-3.

IC khuếch đại thuật toán có khả năng nén tín hiệu đồng pha.



**Hình 4-2** Đặc tuyến truyền đạt của bộ khuếch đại thuật toán.

Gọi  $K_{CM}$  là hệ số khuếch đại tín hiệu đồng pha thì hệ số nén tín hiệu đồng pha được xác định theo biểu thức:

$$G = \frac{K_0}{K_{CM}}$$

Thường  $G = 10^3 \div 10^4$ .

Một bộ khuếch đại thuật toán thường có 4 tầng ghép trực tiếp với nhau. Tầng vào là tầng khuếch đại vi sai, tiếp theo là tầng khuếch đại trung gian (có thể là tầng đệm hay khuếch đại vi sai thứ hai), đến tầng dịch mức và tầng khuếch đại ra.

## 4.2. CÁC MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG BỘ KHUẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

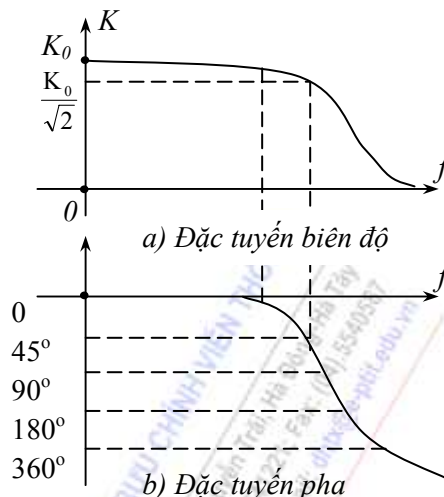
Trong phần này nghiên cứu về các mạch khuếch đại tín hiệu sử dụng bộ khuếch đại thuật toán. Do vi mạch khuếch đại thuật toán có hai cửa vào. Khi đưa tín hiệu vào cửa đảo ta có mạch khuếch đại đảo, nếu đưa tín hiệu vào cửa thuận ta có mạch khuếch đại thuận.

### 4.2.1. Mạch khuếch đại đảo

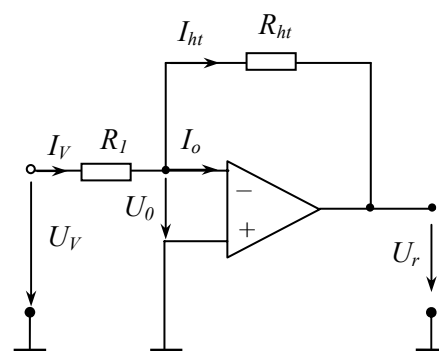
Mạch khuếch đại đảo cho ở hình 4-4 có thực hiện hồi tiếp âm điện áp qua  $R_{ht}$ . Đầu vào thuận được nối đất. Tín hiệu qua  $R_1$  đưa tới đầu vào đảo. Nếu coi IC có trở kháng vào vô cùng lớn tức  $Z_V \rightarrow \infty$  thì dòng vào IC vô cùng bé  $I_0 = 0$ , khi đó tải nút N có phương trình nút dòng.

$$I_V \approx I_{ht}$$

$$\text{Từ đó có: } \frac{U_V - U_0}{R_1} = \frac{U_0 - U_{ra}}{R_{ht}}$$



**Hình 4-3** Đặc tuyến biên độ và đặc tuyến pha của bộ khuếch đại thuật toán.



**Hình 4-4** Mạch khuếch đại đảo.

Khi  $K \rightarrow \infty$  điện áp đầu vào  $U_0 = \frac{U_{ra}}{K} \rightarrow 0$  do đó:

$$\frac{U_V}{R_1} = -\frac{U_{ra}}{R_{ht}}$$

Do đó hệ số khuếch đại điện áp của mạch khuếch đại đảo  $K_u$  có hồi tiếp âm song song được xác định bằng phân tử thụ động trong sơ đồ:

$$K_u = \frac{U_r}{U_v} = -\frac{R_{ht}}{R_1}$$

Nếu chọn  $R_{ht}=R_1$  thì  $K_d=-1$ , sơ đồ có tính chất tăng đảo lặp lại điện áp (đảo tín hiệu).

Nếu  $R_1 = 0$  thì từ phương trình  $I_v=I_{ht}$  ta có  $I_V = -\frac{U_{ra}}{R_{ht}}$  hay  $U_{ra} = -I_V \cdot R_{ht}$  tức là điện áp ra tỷ lệ với dòng điện vào. Mạch trở thành bộ biến đổi dòng thành áp.

Vì  $U_0=0$  nên  $R_v= R_1$ , khi  $K \rightarrow \infty$  thì  $R_{ra} = 0$ .

#### 4.2.2. Mạch khuếch đại thuận

Mạch khuếch đại thuận có hình 4-5 gồm một mạch hồi tiếp âm điện áp đặt vào đầu đảo còn tín hiệu đặt vào cửa thuận.

Vì điện áp đặt vào giữa hai cửa rất bé, xem  $U_0=0$  nên quan hệ giữa  $U_v$  và  $U_{ra}$  xác định bởi

$$U_V = U_r \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_{ht}}$$

Hệ số khuếch đại điện áp của mạch khuếch đại thuận.

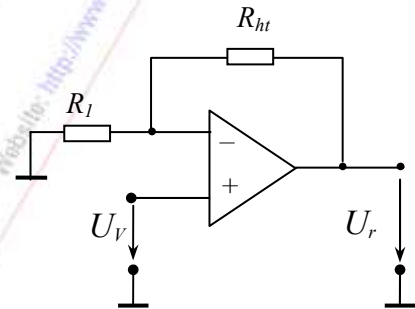
$$K_t = \frac{U_r}{U_V} = \frac{R_1 + R_{ht}}{R_1} = 1 + \frac{R_{ht}}{R_1}$$

Vì  $R_v= \infty$  nên  $I_V = 0$ . Được dùng khi cần mạch khuếch đại có trở kháng vào lớn. Khi  $R_{ht}=0$  và  $R_1=\infty$  ta có sơ đồ bộ lặp lại điện áp với  $K_t=1$  (hình 4-6). Điện trở vào của mạch khuếch đại thuận rất lớn, bằng điện trở vào của IC, còn điện trở ra  $R_{ra} \rightarrow 0$ .

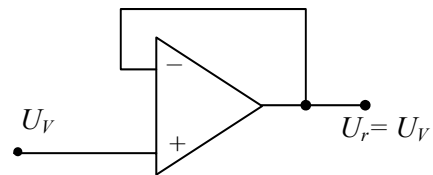
### 4.3. CÁC PHƯƠNG PHÁP CHỐNG TRÔI VÀ BÙ ĐIỂM KHÔNG

Khi dùng bộ khuếch đại thuật toán để khuếch đại tín hiệu một chiều có trị số nhỏ thì các sai số chủ yếu do dòng điện tĩnh, điện áp lệch 0 và hiện tượng trôi gây ra.

Các dòng điện tĩnh  $I_t, I_d$  ở đầu vào bộ khuếch đại thuật toán thực chất là các dòng cực gốc tranzito tầng vào mạch khuếch đại vi sai. Dòng tĩnh cửa thuận  $I_t$  và dòng tĩnh cửa đảo gần bằng nhau. Các dòng tĩnh  $I_t$  và  $I_d$  gây sụt áp trên các cửa vào. Do sự khác nhau trị số các điện trở cửa thuận T và cửa đảo Đ nên sụt áp này cũng khác nhau. Hiệu điện thế của chúng chính là điện áp



Hình 4-5 Mạch khuếch đại thuận.



Hình 4-6 Mạch khuếch đại lặp lại điện áp

lệch 0. Để giữ cho điện áp lệch 0 nhỏ, trong mạch khuếch đại đảo, cửa thuận không đấu trực tiếp xuống đất mà đấu qua điện trở  $R_C$  như trên hình 4-7.

$R_C$  có trị số bằng điện trở vào cửa đảo, nghĩa là:

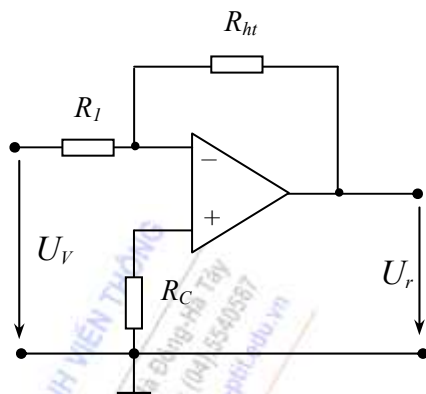
$$R_C = \frac{R_1 \cdot R_{ht}}{R_1 + R_{ht}}$$

Lúc đó dòng tĩnh gây ra trên hai đầu vào các sụt áp là  $I_t \cdot R_C$  và  $I_d \cdot (R_1 // R_{ht})$ . Thường  $I_t \approx I_d$  nên các sụt áp đó gần bằng nhau.

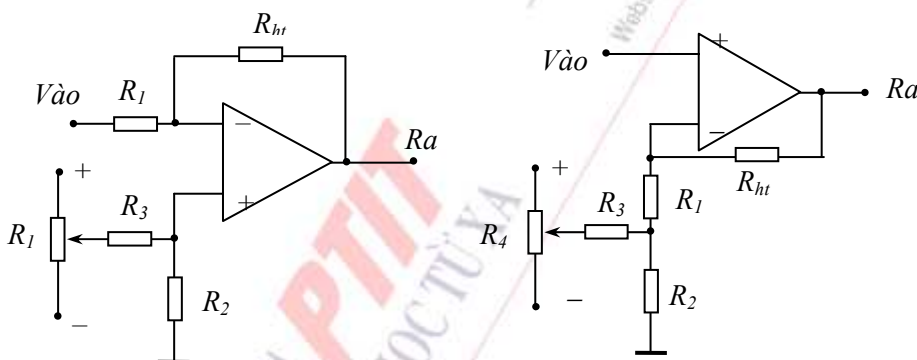
Thực tế  $I_t \neq I_d$  nên dòng tĩnh  $I_0 = I_t - I_d$  còn gây ra một hiệu điện áp ở đầu vào, gọi là điện áp lệch 0  $U_0$ . Khi đó điện áp ra sai số là:

$$U_{r0} = \left(1 + \frac{R_{ht}}{R_1}\right) \cdot U_0$$

Để khử sai số này dùng các mạch bù điện hình ở hình 4-8. Việc bù điện áp lệch 0 được thực hiện theo nguyên tắc: một trong hai đầu vào của bộ khuếch đại thuật toán với một nguồn điện áp biến đổi để có một điện áp ngược với điện áp lệch 0 trên.



**Hình 4-7** Mạch khuếch đại mắc thêm điện trở  $R_C$



**Hình 4-8** Mạch bù điện áp lệch 0.

Khi cần phải để trống cả hai cửa vào thì mắc mạch bù vào cửa khác có liên quan đến cửa vào. Cần phải chọn các linh kiện mạch bù sao cho bộ khuếch đại thuật toán làm việc bình thường.

Ngoài ra còn có hiện tượng trôi điện áp đầu ra do lượng trôi điện áp đầu vào  $\Delta U_0$  và lượng trôi của dòng tĩnh vào  $\Delta I_0$ .

Lượng trôi điện áp đầu ra được xác định: 
$$\Delta U_{r0} = \Delta U_0 \cdot \left(1 + \frac{R_{ht}}{R_1}\right) - \Delta I_0 \cdot R_{ht}$$

trong đó:  $\Delta U_0$  là lượng trôi điện áp lệch 0 đầu vào.

$\Delta I_0$  là lượng trôi dòng lệch 0 đầu vào.

Biến đổi công thức này ta có:

$$\Delta U_{r0} = \frac{R_{ht}}{R_1} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_{ht}}\right) \cdot [\Delta U_0 - \Delta I_0 \cdot (R_1 // R_{ht})]$$



**Tóm lại:**

- Nếu nguồn tín hiệu có trở kháng lớn ( $R_I // R_{ht}$  lớn) thì điện áp sai số ở đầu ra chủ yếu do trôi dòng lệch 0 đầu vào sinh ra. Ngược lại nếu nguồn tín hiệu có trở kháng nhỏ ( $R_I$  nhỏ) thì sai số đầu ra chủ yếu do điện áp lệch 0 đầu vào sinh ra. Do đó khi cần khuếch đại dòng một chiều nhỏ thì chọn  $R_I // R_{ht}$  nhỏ, nếu cần khuếch đại điện áp một chiều nhỏ thì chọn  $R_I$  lớn.

Trong bộ khuếch đại tín hiệu xoay chiều không cần quan tâm đến vấn đề bù lệch 0.

**4.4. MẠCH CỘNG**

Mạch cộng thực hiện cộng hai hoặc nhiều tín hiệu tương tự thành một tín hiệu ở đầu ra. Tuy nhiên, nếu tín hiệu tổng lớn hơn nguồn cung cấp cho bộ khuếch đại thì tín hiệu ra chỉ giữ ở mức bão hòa  $\pm U_{max}$ .

**4.4.1. Mạch cộng đảo**

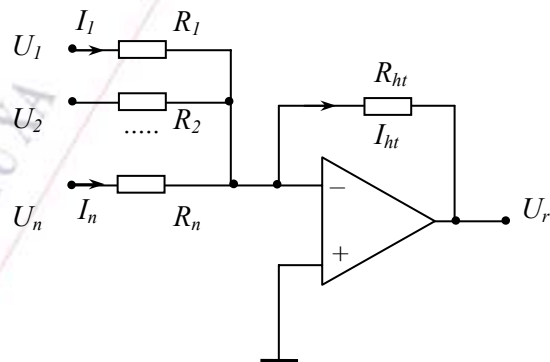
Mạch này cộng các tín hiệu vào đưa tới cửa đảo. Sơ đồ hình 4-9. Coi các điện trở vào bằng nhau.

$$R_{ht} = R_1 = R_2 = \dots = R_n < R_V.$$

Khi  $I_V = 0$  thì (vì  $R_V$  của IC xem  $= \infty$ )  $I_{ht} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$  hay

$$U_{ra} = -(U_1 + U_2 + \dots + U_n) = -\sum_{i=1}^n U_i$$

**Hình 4-9 Mạch cộng đảo.**



Tổng quát khi  $R_1 \neq \dots \neq R_n$  có:

$$U_{ra} = -\left( \frac{R_{ht}}{R_1} U_1 + \frac{R_{ht}}{R_2} U_2 + \dots + \frac{R_{ht}}{R_n} U_n \right)$$

$$U_{ra} = -R_{ht} \cdot \left( \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \dots + \frac{U_n}{R_n} \right) = -\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot U_i$$

với  $\alpha_i = \frac{R_{ht}}{R_i}$

#### 4.4.2. Mạch cộng thuận

Sơ đồ mạch điện ở hình 4-10, ở đây các tín hiệu vào đưa tới cửa thuận. Khi  $U_0 = 0$  điện áp ở hai đầu vào bằng nhau và bằng:

$$U_{V+} = U_{V-} = \frac{R_1}{R_1 + R_{ht}} \cdot U_{ra}$$

Khi dòng vào đầu thuận bằng không ( $R_V = \infty$ ) ta có:

$$\frac{U_1 - U_{V-}}{R} + \frac{U_2 - U_{V-}}{R} + \dots + \frac{U_n - U_{V-}}{R} = 0$$

Hay  $U_1 + U_2 + \dots + U_n = n \cdot U_{V-}$

$$U_1 + U_2 + \dots + U_n = n \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_{ht}} \cdot U_{ra}$$

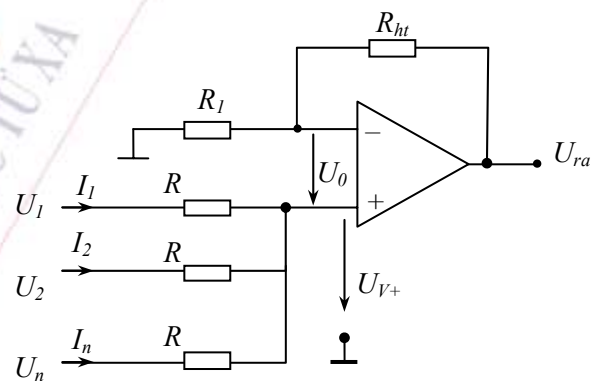
từ đó

$$U_{ra} = \frac{R_1 + R_{ht}}{n \cdot R_1} \cdot (U_1 + \dots + U_n) = \frac{R_1 + R_{ht}}{n \cdot R_1} \cdot \sum_{i=1}^n U_i$$

Chọn các tham số của mạch thích hợp để có thừa số đầu tiên của vế phải công thức này bằng 1:  $\frac{R_1 + R_{ht}}{n \cdot R_1} = 1$  và khi đó:

$$U_{ra} = U_1 + U_2 + \dots + U_n = \sum_{i=1}^n U_i$$

Hình 4-10 Mạch cộng thuận



#### 4.5. MẠCH TRỪ

Khi cần trừ hai điện áp người ta có thể thực hiện theo sơ đồ hình 4-11. Khi đó điện áp đầu ra được tính theo

$$U_{ra} = K_1 \cdot U_1 + K_2 \cdot U_2$$

Có thể tìm  $K_1, K_2$  theo phương pháp cho điện áp vào từng cửa bằng không.

Cho  $U_2 = 0$  thì mạch làm việc như một bộ khuếch đại đảo. Ta có:

$$U_{ra} = -\alpha_a \cdot U_1. \text{ vậy } K_1 = -\alpha_a$$

Khi  $U_1 = 0$  mạch trở thành mạch khuếch đại thuận có phân áp vào. Khi đó:

$$U_b = \frac{U_2}{R_b + \frac{R_b}{\alpha_b}} \cdot R_b.$$

Hệ số phân áp:  $\frac{\alpha_b}{1 + \alpha_b}$

Khi đó  $U_{ra} = (1 + \alpha_a) \cdot \frac{\alpha_b}{1 + \alpha_b} \cdot U_2$

Hệ số khuếch đại

$$K_2 = (1 + \alpha_a) \cdot \frac{\alpha_b}{1 + \alpha_b}$$

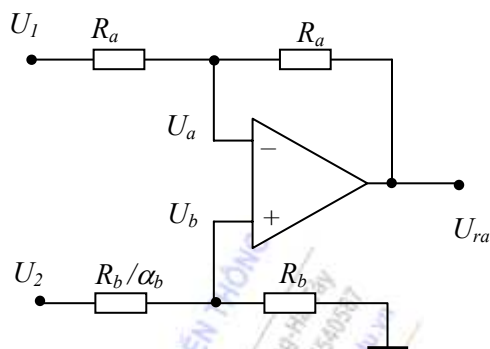
nên  $U_{ra}$  khi có  $U_1, U_2$  là :

$$U_{ra} = (1 + \alpha_a) \cdot \frac{\alpha_b}{1 + \alpha_b} \cdot U_2 - \alpha_a \cdot U_1$$

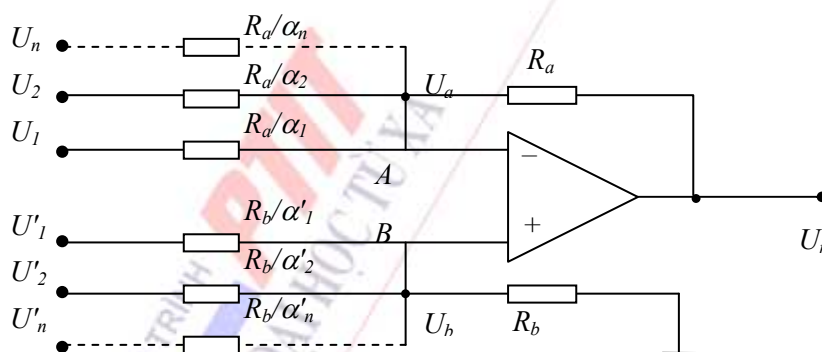
Nếu điện trở trên cả hai lối vào là như nhau tức là:  $\alpha_a = \alpha_b = \alpha$  thì  $K_2 = \alpha; K_1 = -\alpha$

Vậy :  $U_{ra} = \alpha(U_2 - U_1)$

Tổng quát sơ đồ vận năng đồng thời dùng để lấy tổng và lấy hiệu của một số điện áp vào bất kỳ có thể thực hiện bằng mạch hình 4-12.



Hình 4-11 Mạch trừ



Hình 4-12 Mạch lấy hiệu một số lớn tín hiệu vào.

Để rút ra hệ thức cần thiết ta sử dụng quy tắc nút đối với cửa vào A của bộ khuếch đại.

$$\sum_{i=1}^n \frac{U_i - U_a}{R_a / \alpha_i} = \frac{U_a - U_{ra}}{R_a}$$

Rút ra: 
$$\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot U_i - U_a \cdot (\sum_{i=1}^n \alpha_i + 1) + U_{ra} = 0$$

Tương tự đối với cửa B của mạch khuếch đại:

$$\sum_{i=1}^n \alpha'_i U'_i - U_b \cdot (\sum_{i=1}^n \alpha'_i + 1) = 0$$

Nếu  $U_a = U_b$  thoả mãn thêm điều kiện  $\sum_{i=1}^n \alpha_i = \sum_{i=1}^n \alpha'_i$  thì sau khi trừ hai biểu thức trên ta có:

$$U_{ra} = \sum_{i=1}^n \alpha'_i U'_i - \sum_{i=1}^n \alpha_i U_i$$

## 4.6. MẠCH VI PHÂN, MẠCH TÍCH PHÂN

### 4.6.1. Mạch vi phân

Mạch vi phân là mạch điện áp đầu ra tỷ lệ với vi phân điện áp đầu vào, tức là  $U_{ra} = k \cdot \frac{dU_V}{dt}$ , trong đó  $k$  là một hệ số.

Mạch vi phân dùng IC khuếch đại thuật toán như hình 4-13.

$$\text{Xem như } U_0 = 0, I_0 = 0 \text{ nên } I_V = C \frac{dU_V}{dt}$$

$$\text{Mà } U_{ra} = -I_V \cdot R \text{ nên } U_{ra} = -R \cdot C \cdot \frac{dU_V}{dt}$$

trong đó  $k = RC = \tau$  gọi là hằng số vi phân của mạch. Dấu (-) nói lên  $U_{ra}$  ngược pha với  $U_V$ .

Khi tín hiệu vào là hình sin thì mạch vi phân làm việc như một bộ lọc tần cao.

### 4.6.2. Mạch tích phân

Mạch tích phân là mạch mà điện áp đầu ra tỷ lệ với tích phân điện áp đầu vào.

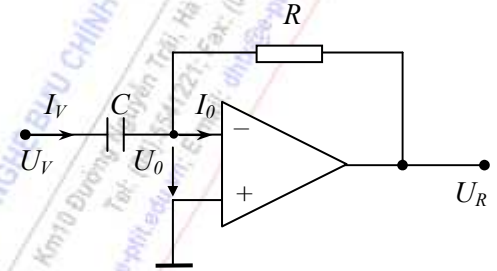
$$U_{ra} = k \cdot \int_0^t U_V dt$$

trong đó  $k$  là hệ số.

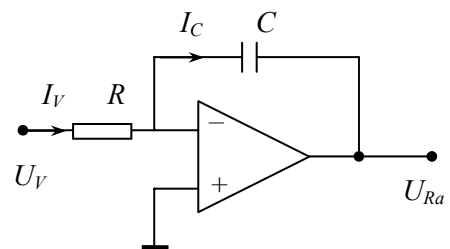
Mạch tích phân sử dụng IC khuếch đại thuật toán như hình 4-14.

$$\text{Tại nút A ta có } I_V = I_C \text{ hay: } -C \cdot \frac{dU_{ra}}{dt} = \frac{U_V}{R}$$

$$\text{nên } U_{ra} = -\frac{1}{R \cdot C} \cdot \int_0^t U_V dt + U_{ra0}$$



Hình 4-13 Mạch vi phân



Hình 4-14 Mạch tích phân

Ở đây  $U_{ra0}$  là điện áp trên tụ C khi  $t = 0$  (là hằng số tích phân xác định từ điều kiện ban đầu).

Thường khi  $t = 0$ ,  $U_V = 0$  và  $U_{ra} = 0$  nên: 
$$U_{ra} = -\frac{1}{\tau} \int_0^t U_V dt$$

$\tau = R.C$  gọi là hằng số thời gian của mạch tích phân.

Khi tín hiệu vào thay đổi từng nấc, tốc độ thay đổi của điện áp ra bằng:

$$\frac{\Delta U_{ra}}{\Delta t} = -\frac{U_V}{R.C}$$

nghĩa là ở đầu ra bộ tích phân có điện áp tăng hay giảm tuyến tính theo thời gian.

Đối với tín hiệu hình sin mạch tích phân trở thành mạch lọc thông thấp.

#### 4.7. MẠCH TẠO HÀM LOGARIT VÀ LUỸ THỪA

Trong thực tế thường cần tạo ra một điện áp  $U_2$  là hàm số nào đó của điện áp  $U_1$ , tức là  $U_2 = f(U_1)$ . Ở đây  $f$  là một quan hệ hàm như hàm logarit, hàm mũ, hàm lượng giác... Ta xét một vài mạch tạo hàm cụ thể.

##### 4.7.1. Mạch tạo hàm logarit

Mạch tạo hàm số logarit cho điện áp đầu ra:  $U_2 = \alpha \ln(\alpha_2 U_1)$

Muốn vậy ta có thể dùng biểu thức của dòng qua điốt ở phần linh kiện điện tử

$$I_D = I_0 \cdot (e^{\frac{U_{ak}}{m U_T}} - 1)$$

trong đó:  $I_0$  - dòng điện ngược bão hoà.

$U_T$  - điện thế nhiệt .

$m$  - hệ số hiệu chỉnh:  $1 < m < 2$ .

$U_{AK}$  - điện áp đặt lên điốt.

Trong miền làm việc  $I_D \gg I_0$  gần đúng có thể coi: 
$$I_D = I_0 \cdot e^{\frac{U_{ak}}{m U_T}}$$

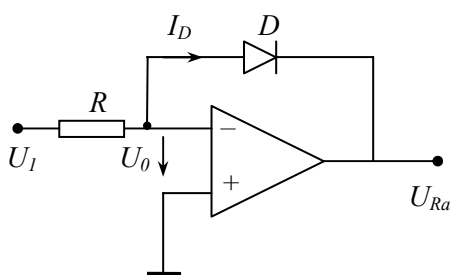
Từ đó: 
$$U_{AK} = m U_T \cdot \ln \frac{I_D}{I_0}$$

chính là hàm logarit cần tìm.

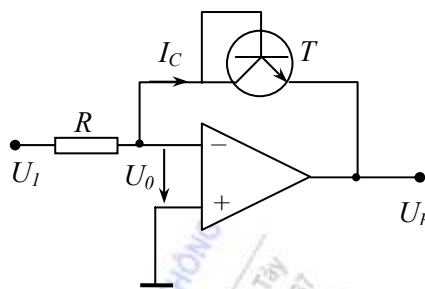
Để thực hiện quan hệ này, có thể sử dụng như hình 4-15. Nếu vi mạch khuếch đại thuật toán là lý tưởng ta có thể tính như sau:

$$I_D = \frac{U_1}{R}, \quad U_{ra} = -U_{AK}$$





Hình 4-15 Mạch logarit dùng điốt



Hình 4-16 Mạch logarit dùng tranzito nối kiểu điốt

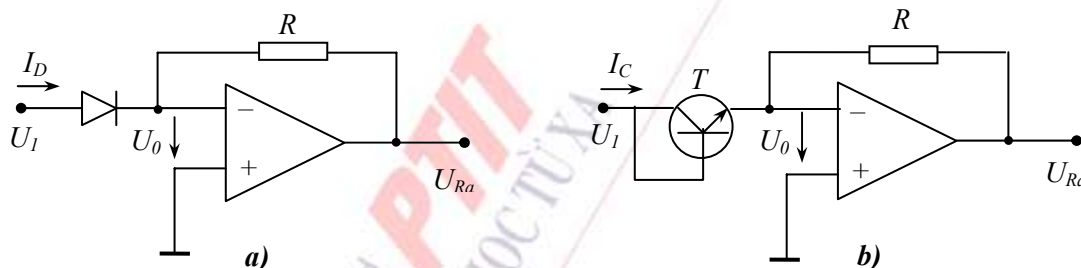
rút ra: 
$$U_{ra} = -m.U_T \cdot \ln\left(\frac{U_1}{I_0 \cdot R}\right)$$

Có thể thay điốt bằng tranzito (hình 4-16) nối kiểu điốt, khi đó loại trừ được  $m$  và mở rộng phạm vi làm việc của mạch.

Lúc này: 
$$U_{ra} = -U_{BE} = -U_T \cdot \ln\left(\frac{U_1}{I_0 \cdot R}\right)$$

#### 4.7.2. Mạch tạo hàm đối logarit (hàm mũ)

Để tạo hàm đối logarit ta mắc phần tử phi tuyến là điốt hay tranzito vào nhánh vào của IC khuếch đại thuật toán. Mạch nguyên lý được biểu diễn trên hình 4-17.



Hình 4-17 Mạch khuếch đại đối loga  
a) Mạch dùng điốt; b) Mạch dùng tranzito kiểu điốt.

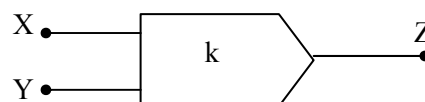
Với mạch dùng điốt ta có: 
$$I_D = I_0 \cdot e^{\frac{U_1}{m \cdot U_T}}$$

Nên 
$$U_{ra} = -R \cdot I_0 \cdot e^{\frac{U_1}{m \cdot U_T}}$$

Với mạch b ta dùng tranzito đấu theo kiểu điốt, lúc đó: 
$$U_{ra} = -R \cdot I_0 \cdot e^{\frac{U_1}{U_T}}$$

#### 4.8. MẠCH NHÂN TƯƠNG TỰ

Mạch nhân tương tự có sơ đồ quy ước trên hình 4-18. Tín hiệu trên đầu ra của nó tỷ lệ với tích các tín hiệu đặt lên hai đầu vào.



Hình 4-18 Sơ đồ quy ước của mạch nhân tương tự.

$$Z = k.X.Y.$$

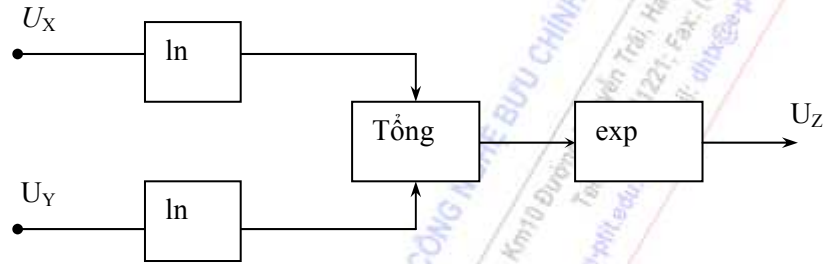
Trong đó:  $X, Y$  - các tín hiệu vào.

$Z$  - tín hiệu ra

$k$  - hệ số tỷ lệ còn gọi là hệ số truyền đạt của mạch nhân.

Mạch nhân điện áp lý tưởng có trở kháng vào hai cửa  $Z_{VX}, Z_{VY} = \infty$  và trở kháng ra  $Z_r = 0$ . Hệ số truyền đạt lý tưởng không phụ thuộc vào tần số và trị số các điện áp vào  $U_X, U_Y$  nghĩa là  $k$  là một hằng số.

Mạch nhân thực hiện bởi mạch khuếch đại logarit và đối logarit có sơ đồ khối như hình 4-19.



**Hình 4-19** Sơ đồ khối mạch nhân dùng mạch logarit và đối logarit.

Gọi  $X = k_x.U_X$

$Y = k_y.U_Y$  và  $Z = k_z.U_Z$ .

trong đó  $k_x, k_y, k_z$  lần lượt là hệ số tỷ lệ của các điện áp vào  $U_X, U_Y$  và điện áp ra  $U_Z$ .

Từ mạch trên ta có:

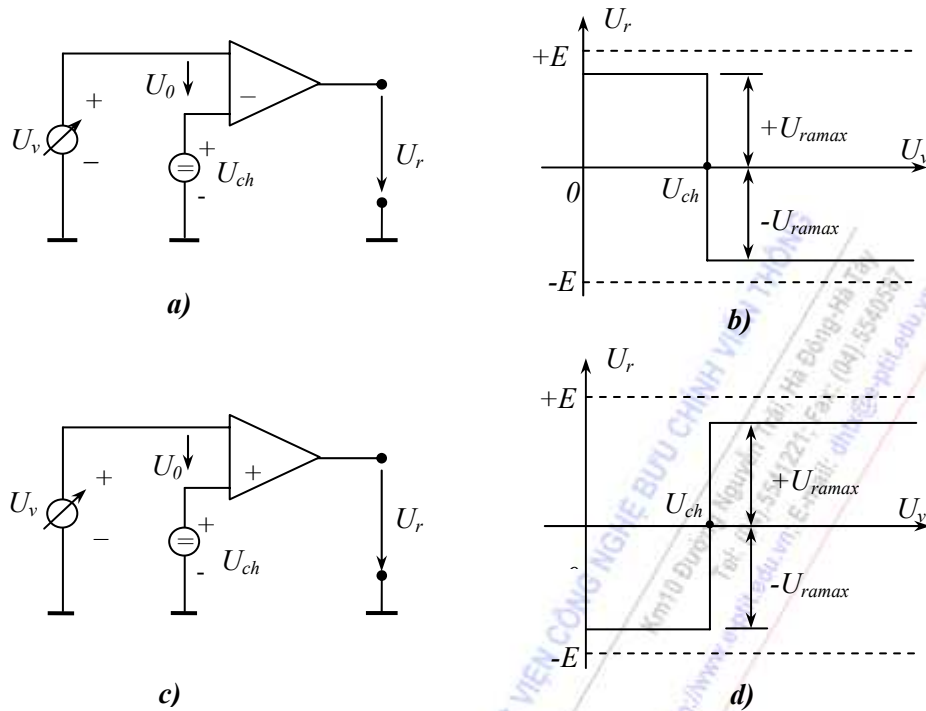
$$U_Z = e^{(\ln U_X + \ln U_Y)}$$

tức là: 
$$\frac{Z}{k_z} = e^{(\ln \frac{X}{k_x} + \ln \frac{Y}{k_y})} = e^{\ln \frac{X.Y}{k_x.k_y}}$$

Suy ra: 
$$Z = \frac{k_z}{k_x.k_y}.X.Y.$$

#### 4.9. MẠCH SO SÁNH ĐIỆN ÁP

Mạch so sánh điện áp dùng IC khuếch đại thuật toán như hình 4-20. Đó là quá trình so sánh biên độ điện áp đưa vào với một điện áp chuẩn ( $U_{ch}$ ) có cực tính có thể dương hay âm. Thông thường điện áp chuẩn được định trước cố định.



**Hình 4-20** Mạch so sánh điện áp dùng IC khuếch đại thuật toán (a, c) và hàm truyền đạt tương ứng (b, d).

Trong mạch hình 4-20a, điện áp vào đưa tới cửa đảo còn  $U_{ch}$  ở cửa thuận.

Khi  $U_V < U_{ch}$  thì  $U_0 < 0$  do đó  $U_{ra} = +U_{ra.max}$

Khi  $U_V > U_{ch}$  thì  $U_0 > 0$  do đó  $U_{ra} = -U_{ra.max}$

Khi  $U_{ra} = +U_{ra.max}$  thì ta nói IC bão hoà dương.

$U_{ra} = -U_{ra.max}$  thì ta nói IC bão hoà âm.

Về giá trị điện áp ra bão hoà thấp hơn nguồn nuôi ( $1 \div 3V$ ) tuỳ vào từng loại IC

Ở hình 4-20b điện áp vào đưa tới cửa thuận còn điện áp chuẩn ở cửa đảo.

Trong trường hợp này khi:

$U_V < U_{ch}$  thì  $U_{ra} = -U_{ra.max}$

$U_V > U_{ch}$  thì  $U_{ra} = +U_{ra.max}$ .

Khi làm việc với tín hiệu xung biến đổi nhanh cần chú ý đến tính quán tính (trễ) của IC thuật toán. Với các IC thuật toán tiêu chuẩn hiện nay thời gian tăng của điện áp ra khoảng  $V/\mu s$ . Trong điều kiện tốt hơn nên sử dụng các IC chuyên dùng có tốc độ chuyển biến nhanh hơn như loại  $\mu A710$ , A110, LM310 -339;

## 4.10. MẠCH LỌC TÍCH CỰC

### 4.10.1. Khái niệm về mạch lọc tần số

Mạch lọc tần số là mạch lọc lấy tín hiệu trong một hay một số khoảng tần số nào đó, còn ở khoảng tần số khác lọc bỏ đi.

Phân loại theo dải tần ta có mạch lọc thông thấp (lấy tần số thấp), mạch lọc thông cao, mạch lọc thông dải và mạch lọc chặn dải.

Khi biểu diễn mạch lọc tần số thông qua hệ số truyền đạt điện áp, thì có thể nói mạch lọc lý tưởng là một mạng bốn cực có môđun hệ số truyền đạt:

$$|K| = \begin{cases} 1 & \text{trong dải thông} \\ 0 & \text{trong dải chắn} \end{cases}$$

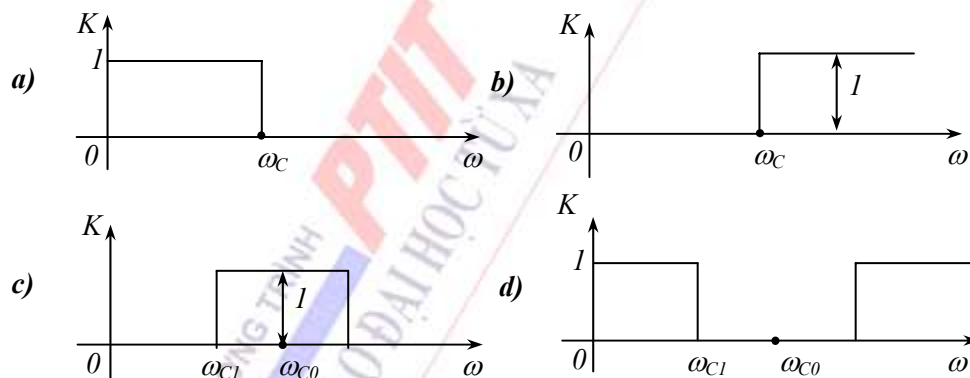
Hình 4-19 biểu diễn hệ số truyền đạt của các mạch lọc trên, trong đó  $\omega_C$  là tần số cắt.

Đối với mạch lọc thông dải ta có thêm khái niệm dải thông B và tần số giữa  $\omega_0$  và cho cả mạch lọc chặn dải.

Đặt tuyến truyền đạt mạch lọc thực có dạng như hình 4-22 của mạch lọc thông thấp. Ở đây có dải thông, dải chuyển tiếp và dải chắn.

$\omega_C$  là tần số tại đó  $K_0$  giảm đi  $\sqrt{2}$  lần tức giảm 3dB.

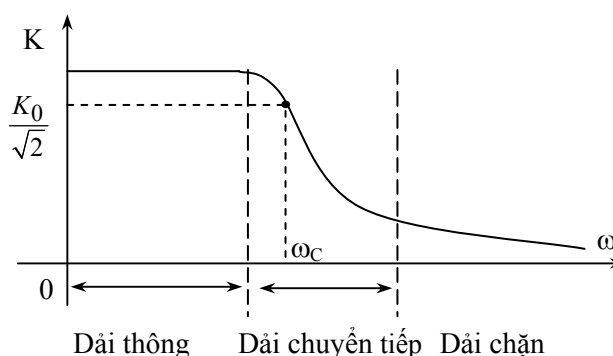
Yêu cầu các mạch lọc có K trong dải thông bằng phẳng, dải chuyển tiếp hẹp tức có độ dốc cao và dải chắn có K rất bé.



Hình 4-21 Hệ số truyền đạt của mạch lọc

a) Thông thấp; b) Thông cao; c) Thông dải; d) chặn dải

Hình 4-22  
Đặc tuyến truyền đạt thực tế  
của mạch lọc thông thấp



**4.10.2. Mạch lọc thụ động RC**

Mạch lọc thụ động RC ta xét hai loại lọc thông thấp và thông cao. Bậc của loại mạch này được xác định bằng cấp đạo hàm cao nhất trong hàm truyền đạt của mạch, thường cũng chính là số phần tử tụ điện tham gia vào việc lọc tín hiệu trong mạch.

**a. Mạch lọc thông thấp bậc 1 và bậc n**

Mạch điện như hình 4-23.

Hàm truyền đạt phức của mạch là:

$$\bar{K} = \frac{1}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

$$\bar{K} = \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_C}} \rightarrow |K| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_C}\right)^2}}$$

với  $\omega_C = \frac{1}{RC}$  là tần số cắt.

Khi  $\omega = \omega_C$  tại đó  $|K|$  giảm đi  $\sqrt{2}$  lần (hoặc -3dB)

Với bộ lọc thụ động RC bậc  $n$  ta có: 
$$K = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_C}\right)^{2n}}}$$

Ta thấy khi bậc càng cao, ngoài dải thông  $\omega > \omega_C$  nên  $K$  giảm xuống càng nhanh, tất nhiên mạch sẽ phức tạp hơn và tổn hao nhiều.

**b. Mạch lọc thông cao bậc 1 và bậc n**

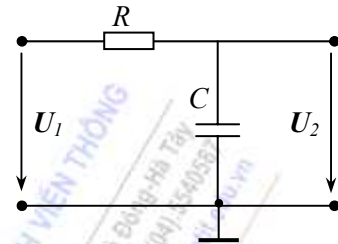
Mạch lọc thụ động RC thông cao bậc 1 như hình 4-24.

Hàm truyền đạt của mạch:

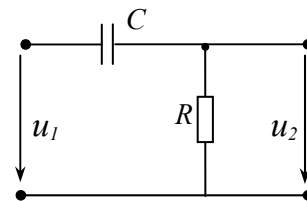
$$\bar{K} = \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{j\omega CR}}$$

với  $\omega_C = \frac{1}{RC}$  có:

Độ lớn của hàm truyền đạt: 
$$K = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega_C}{\omega}\right)^2}}$$



**Hình 4-23 Mạch lọc thông thấp thụ động RC.**



**Hình 4-24 Mạch lọc RC thông cao**

Tại  $\omega_C$   $K$  giảm  $\sqrt{2}$  lần tương đương (-3dB). Khi  $\omega \ll \omega_C$  thì  $K$  càng giảm nên rõ ràng đây là mạch lọc thông cao.

Đối với mạch lọc bậc  $n$  ta có:

$$K = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega_C}{\omega}\right)^{2n}}}$$

#### 4.10.3. Mạch lọc tích cực

Ở tần số cao thường dùng các mạch lọc thụ động RLC. Ở tần số thấp các mạch lọc đó có điện cảm quá lớn làm cho kết cấu nặng nề và tổn kém cũng như phẩm chất của mạch giảm. Vì vậy trong phạm vi tần số  $\leq 100\text{kHz}$  người ta hay dùng bộ lọc khuếch đại thuật toán và mạng RC được gọi là mạch lọc tích cực.

Khác với mạch lọc thụ động, mạch lọc tích cực được đặc trưng bởi ba tham số cơ bản: tần số giới hạn  $\omega_C$ , bậc của bộ lọc và loại bộ lọc.

- Tần số giới hạn  $\omega_C$  là tần số tại đó hàm truyền đạt giảm đi 3dB so với tần số ở trung tâm.
- Bậc của bộ lọc xác định độ dốc của đặc tuyến biên độ tần số ngoài dải tần.

- Loại bộ lọc xác định dạng đặc tuyến biên độ tần số xung quanh tần số cắt và trong khu vực thông của mạch lọc. Cần chú ý rằng mạch điện của các loại bộ lọc thì giống nhau, chúng chỉ khác nhau ở giá trị các linh kiện RC mà thôi. Người ta quan tâm đến 3 loại bộ lọc: lọc Bessel, lọc Butterworth và lọc Tschebyscheff.

Để tiện xét các mạch lọc, ta đưa vào hàm truyền đạt tổng quát của một mạch lọc thông thấp:

$$K_{d(p)} = \frac{K_{d0}}{1 + C_1 \cdot p + C_2 \cdot p^2 + C_3 \cdot p^3 + \dots + C_n \cdot p^n}$$

trong đó:  $P = \frac{j \cdot \omega}{\omega_C} = j\Omega$

$C_i$  là các hệ số thực, dương.

Bậc của bộ lọc chính là số mũ lớn nhất của  $p$ . Để thực hiện bộ lọc đó thuận lợi ta phân tích mẫu số của biểu thức trên thành tích các thừa số:

$$K_{d(p)} = \frac{K_{d0}}{\prod (1 + a_i \cdot p + b_i \cdot p^2)}$$

$K_{d0}$  - hệ số truyền đạt ở tần số thấp.

$a_i, b_i$  - là các số thực, dương.

Với bộ lọc bậc lẻ thì có một hệ số  $b_i = 0$ .

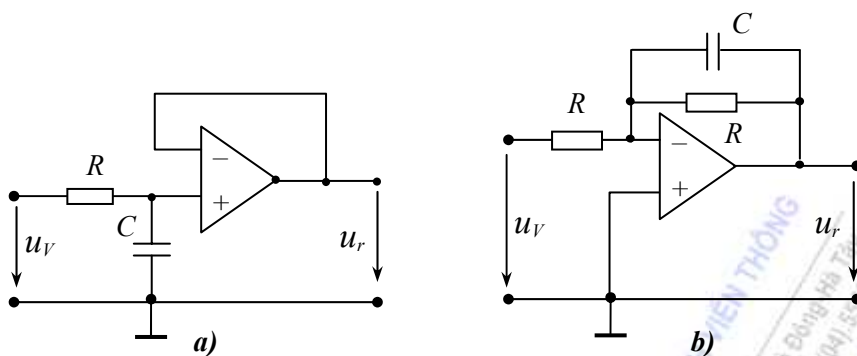
##### a. Mạch lọc tích cực bậc một

Loại này chỉ dùng cho mạch lọc thông thấp hay thông cao.

- Mạch lọc thông thấp bậc một



Hàm truyền đạt có dạng:  $K_d = \frac{K_{d0}}{1 + a_1 p}$



Hình 4-25 Mạch lọc tích cực thông thấp bậc 1.

Mạch điện như ở hình 4-25.

Với mạch a): 
$$K = \frac{\bar{U}_r}{\bar{U}_v} = \frac{1}{1 + j \cdot \omega \cdot R \cdot C} = \frac{1}{1 + p \cdot \omega_C \cdot R \cdot C} \quad (\text{vì } \frac{j \cdot \omega}{\omega_C} = p)$$

ở đây  $K_{d0} = 1$ ;  $a_1 = \omega_C \cdot R \cdot C$

Biết  $a_1, \omega_C$ ; chọn  $R$  ta có  $C = \frac{a_1}{\omega_C \cdot R}$

Mạch b) ta có: 
$$K_d = \frac{-1}{1 + p \cdot \omega_C \cdot R \cdot C}$$

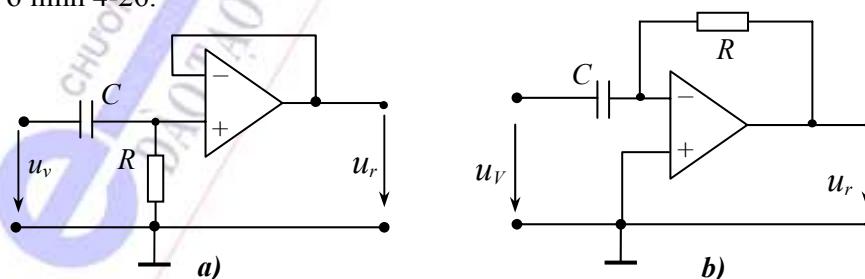
Ở đây  $K_{d0} = -1$  và  $a_1 = \omega_C \cdot R \cdot C$ .

Khi biết  $a_1, \omega_C$  và chọn  $R$  ta cũng có:  $C = \frac{a_1}{\omega_C \cdot R}$

• Mạch lọc tích cực thông cao bậc một

Đổi chỗ  $R$  và  $C$  cho nhau, ở mạch thông thấp ta có mạch lọc tích cực thông cao.

Mạch như ở hình 4-26.



Hình 4-26 Mạch lọc tích cực thông cao bậc 1.

Mạch a) có: 
$$K = \frac{1}{1 + \frac{1}{p \cdot \omega_C \cdot R \cdot C}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{\omega_C \cdot R \cdot C}}$$

Ở đây:  $K_{d0} = 1$ ;  $a_1 = \frac{1}{\omega_C.R.C}$

Khi biết  $a_1$ ,  $\omega_C$  và chọn  $C$  ta tính được:  $R = \frac{1}{a_1.C.\omega_C}$

Mạch b:  $K = -\frac{1}{1 + \frac{1}{p.\omega_C.R.C}}$

Ở đây:  $K_{d0} = -1$

và tương tự khi biết  $a_1$ ,  $\omega_C$ , chọn  $C$  ta tính được  $R = \frac{1}{a_1.C.\omega_C}$ .

**b. Mạch lọc tích cực bậc hai**

• Mạch lọc thông thấp bậc hai

Mạch lọc tích cực thông thấp bậc hai có các dạng hồi tiếp âm một vòng, hồi tiếp âm nhiều vòng, hồi tiếp dương một vòng như ở hình 4-27.

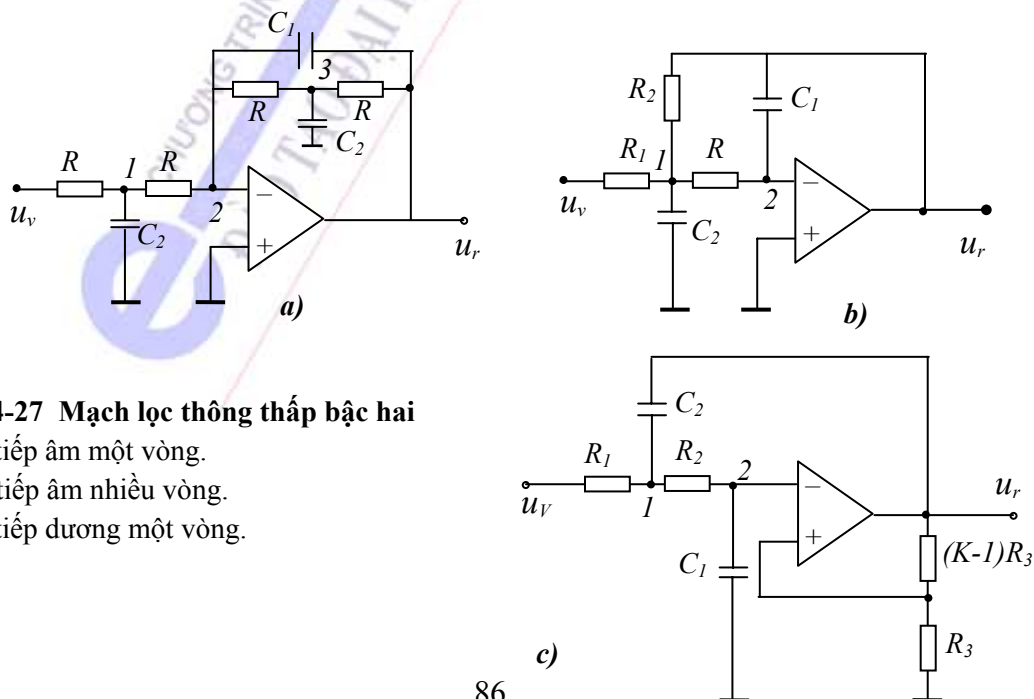
+ Xét mạch ở hình 4-27a ta có hàm truyền đạt (dùng phương trình điện thế nút):

$$K_d = \frac{U_r}{U_v} = \frac{1}{1 + 2.p.\omega_C.R.C_1 + p^2.\omega_C^2.R^2.C_1.C_2}$$

$$K_{d0} = 1; \quad a_1 = 2.\omega_C.R.C_1; \quad b_1 = \omega_C^2.R^2.C_1.C_2.$$

Dựa vào loại bộ lọc xác định  $a_1$ ,  $b_1$ , chọn trước  $C_1$  theo giá trị chuẩn và tính  $R$ ,  $C_2$  theo công thức:

$$R = \frac{a_1}{2.\omega_C.C_1}; \quad C_2 = \frac{4.b_1.C_1}{a_1^2}$$



**Hình 4-27 Mạch lọc thông thấp bậc hai**

- a) hồi tiếp âm một vòng.
- b) hồi tiếp âm nhiều vòng.
- c) hồi tiếp dương một vòng.

+ Với mạch 4-27b:

$$K_d = \frac{R_2 / R_1}{1 + p \cdot \omega_C \cdot C_1 (R_2 + R_3 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1}) + p^2 \cdot \omega_C^2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot R_2 \cdot R_3}$$

Từ đây xác định:  $K_{do} = \frac{R_2}{R_1}$

$$a_1 = \omega_C \cdot C_1 \cdot \left( R_2 + R_3 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1} \right)$$

$$b_1 = \omega_C^2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot R_2 \cdot R_3.$$

Cho trước  $\omega_C$ ,  $K_{do}$ , chọn  $C_1$  và  $C_2$  tính được:

$$R_2 = \frac{a_1 \cdot C_2 - \sqrt{a_1^2 \cdot C_2^2 - 4 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot b_1 \cdot (1 + K_{do})}}{2 \cdot \omega_C \cdot C_1 \cdot C_2}$$

$$R_1 = \frac{R_2}{K_{do}} \quad \text{và} \quad R_3 = \frac{b_1}{\omega_C^2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot R_2}$$

Để  $R_2$  có giá trị thực:

$$\frac{C_2}{C_1} \geq \frac{4 \cdot b_1 \cdot (1 + K_{do})}{a_1^2}$$

+ Với mạch 4-27c có hàm truyền đạt:

$$K_d = \frac{K}{1 + p \cdot \omega_C [R_1 \cdot C_1 + R_2 \cdot C_1 + (1 - K) \cdot R_1 \cdot C_2] + p^2 \cdot \omega_C^2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2}$$

Để đơn giản chọn  $K=1$  khi đó  $(1-K) = 0$ .

Biểu thức trên viết lại:

$$K_d = \frac{1}{1 + p \cdot \omega_C \cdot C_1 \cdot (R_1 + R_2) + p^2 \cdot \omega_C \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2}$$

Nếu cho trước  $\omega_C$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  ta tính được  $K_{do}$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ .

$$K_{do} = 1$$

$$R_{1,2} = \frac{a_1 \cdot C_2 \pm \sqrt{a_1^2 \cdot C_2^2 - 4 \cdot b_1 \cdot C_1 \cdot C_2}}{2 \cdot \omega_C \cdot C_1 \cdot C_2}$$

Để  $R_{1,2}$  là số thực cần:  $\frac{C_1}{C_2} \geq \frac{4 \cdot b_1}{a_1^2}$ .

- Mạch lọc thông cao bậc hai

Mạch lọc thông cao bậc hai có thể dùng các dạng ở thông thấp hình 4-27. Trong đó phải đổi chỗ  $C$  và  $R$  cho nhau. Ví dụ mạch lọc thông cao bậc hai hồi tiếp dương một vòng ở hình 4-28. Thay  $p = 1/p$ ,  $C$  bởi  $R$  và  $R$  bởi  $C$  ta có hàm truyền đạt

$$K_d = \frac{K}{1 + \frac{1}{p} \cdot \frac{R_2(C_1 + C_2) + R_1 \cdot C_2 \cdot (1 - K)}{\omega_C \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2} + \frac{1}{p^2} \cdot \frac{1}{\omega_C^2 \cdot C_1^2 \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot C_2}}$$

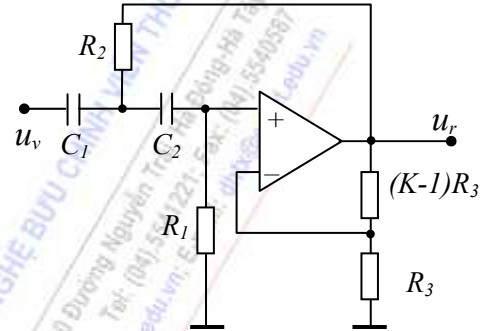
Cho  $K=1$  và  $C_1 = C_2 = C$  ta có:

$$K_d = \frac{1}{1 + \frac{1}{p} \cdot \frac{2}{\omega_C \cdot R_1 \cdot C} + \frac{1}{p^2} \cdot \frac{1}{\omega_C^2 \cdot C^2 \cdot R_1 \cdot R_2}}$$

Ở đây  $K_{d0} = 1$

$$a_1 = \frac{2}{\omega_C \cdot R_1 \cdot C} \text{ nên } R_1 = \frac{2}{\omega_C \cdot a_1 \cdot C}$$

$$b_1 = \frac{1}{\omega_C^2 \cdot C^2 \cdot R_1 \cdot R_2} \text{ nên } R_2 = \frac{a_1}{2 \cdot \omega_C \cdot C \cdot b_1}$$



Hình 4-28 Sơ đồ mạch lọc thông cao bậc hai một vòng hồi tiếp dương.

- Mạch lọc tích cực bậc hai thông dải

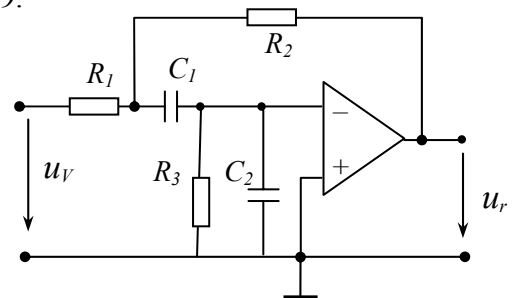
Nếu mắc nối tiếp một mắt lọc thông thấp và một mắt lọc thông cao ta nhận được bộ lọc thông dải. Đặc tính tần số là tích tần số của hai khâu lọc riêng rẽ.

$$K = K_{d1} \cdot K_{d2}$$

Mạch lọc tích cực thông dải bậc hai như ở hình 4-29.

**c. Mạch lọc tích cực bậc cao**

Khi cần đặc tính biên độ, tần số của bộ lọc vuông góc người ta phải thực hiện bộ lọc bậc cao. Muốn vậy mắc nối tiếp các bộ lọc bậc một và hai đã biết. Lúc đó đặc tính tần số của mạch là tích các đặc tính tần số của các mạch riêng rẽ.



Hình 4-29 Mạch lọc thông dải.

## TÓM TẮT NỘI DUNG

Chương này trình bày các vấn đề cơ bản nhất của bộ khuếch đại thuật toán. Các thông số của một bộ khuếch đại thuật toán lý tưởng. Các mạch điện sử dụng IC khuếch đại thuật toán:

- Mạch khuếch đại đảo.
- Mạch khuếch đại không đảo.
- Mạch cộng đảo và cộng thuận.
- Mạch trừ.
- Mạch vi phân tích phân.
- Mạch tạo hàm loga và đối loga.
- Mạch nhân tương tự.
- Các mạch lọc tần số...

Để đơn giản cho việc tính toán các mạch điện sử dụng IC khuếch đại thuật toán, người ta thường tính với trường hợp IC là lý tưởng. coi trở kháng vào  $Z_v = \infty$ , nên điện áp chênh lệch giữa hai cửa  $U_0 = 0$  hay  $U_N = U_P$ .

## CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP

**Câu 1:** Một bộ khuếch đại thuật toán lý tưởng có tính chất:

- a)  $Z_V = \infty; Z_r = 0; K_0 = \infty$
- b)  $Z_V = 0; Z_r = 0; K_0 = \infty$
- c)  $Z_V = \infty; Z_r = \infty; K_0 = \infty$
- d)  $Z_V = 0; Z_r = \infty; K_0 = \infty$

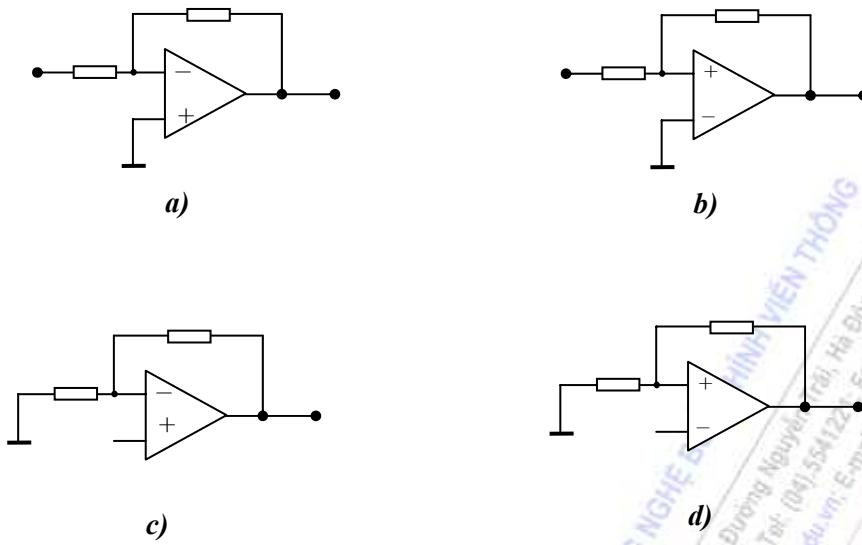
**Câu 2:** Hệ số khuếch đại của mạch khuếch đại đảo dùng Op-Amp là:

- a)  $K_u = -\frac{R_{ht}}{R_1}$
- b)  $K_u = -\frac{R_1}{R_{ht}}$
- c)  $K_u = 1 + \frac{R_{ht}}{R_1}$
- d)  $K_u = \frac{R_{ht}}{R_1}$

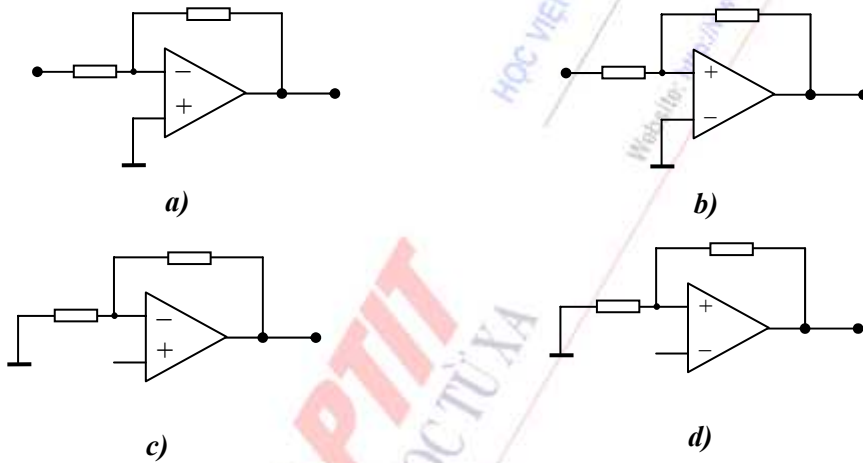
**Câu 3:** Hệ số khuếch đại của mạch khuếch đại không đảo dùng Op-Amp là:

- a)  $K_u = -\frac{R_{ht}}{R_1}$
- b)  $K_u = -\frac{R_1}{R_{ht}}$
- c)  $K_u = 1 + \frac{R_{ht}}{R_1}$
- d)  $K_u = \frac{R_{ht}}{R_1}$

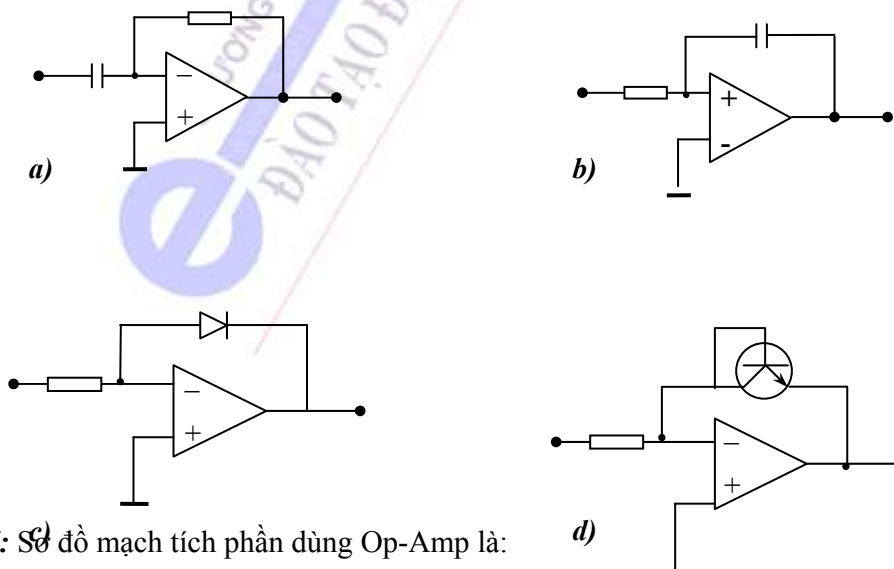
**Câu 4:** Sơ đồ mạch khuếch đại đảo dùng Op-Amp là:



**Câu 5:** Sơ đồ mạch khuếch đại không đảo dùng Op-Amp là:

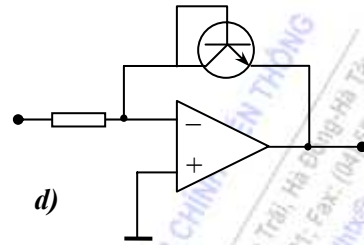
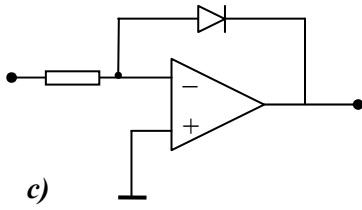
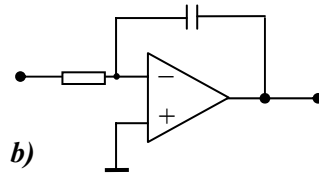
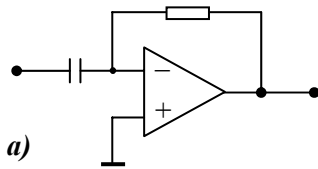


**Câu 6:** Sơ đồ mạch vi phân dùng Op-Amp là:

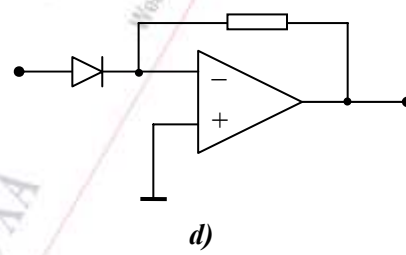
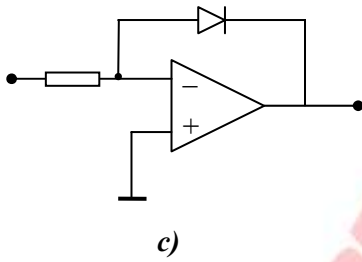
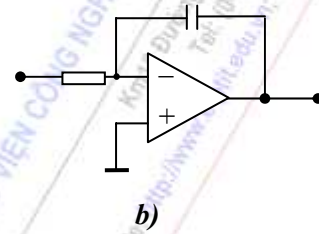
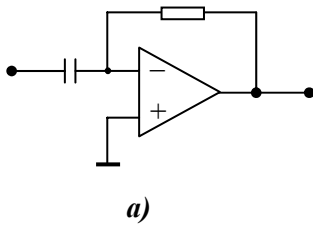


**Câu 7:** Sơ đồ mạch tích phân dùng Op-Amp là:

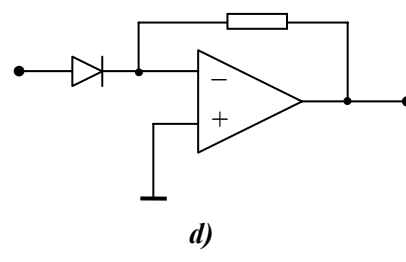
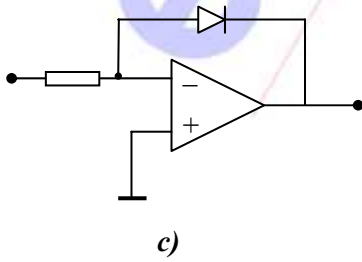
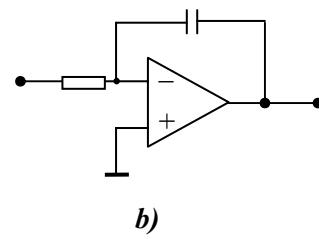
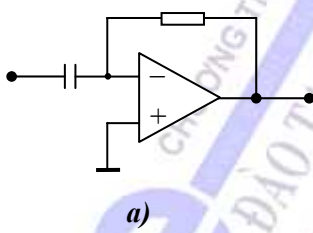




**Câu 8:** Sơ đồ mạch tạo hàm logarit dùng Op-Amp là:



**Câu 9:** Sơ đồ mạch tạo hàm đối logarit dùng Op-Amp là:

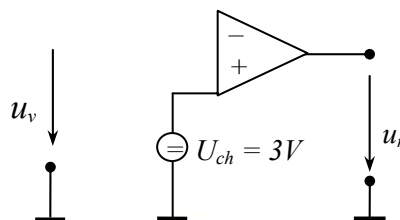


**Câu 10:** Sơ đồ mạch như hình 4-31.

Biết IC là lý tưởng, nguồn cung cấp cho IC là  $E_C = \pm 12V$ .

Vẽ dạng điện áp vào và điện áp ra khi điện áp vào là:

$$u_v = 6 \cdot \sin(100\pi t) (V)$$



**Hình 4-31.**

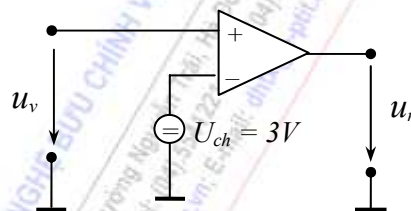
**Câu 11:** Sơ đồ mạch như hình 4-32.

Biết IC là lý tưởng, điện áp ra cực đại là:

$$U_{r \max} = \pm 9V ; U_{ch} = 2V$$

Vẽ dạng điện áp vào và điện áp ra khi điện áp vào là:

$$u_v = 5 \cdot \sin(1000\pi t) (V)$$



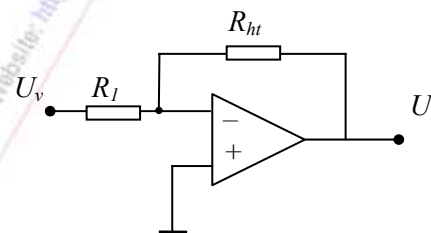
**Hình 4-32.**

**Câu 12:** Cho mạch điện hình 4-33.

$$R_1 = 10k\Omega ; R_{ht} = 50k\Omega$$

$$E = 15V$$

- Xác định hệ số khuếch đại của mạch
- Xác định trở kháng vào của mạch  $Z_v$
- Xác định trở kháng ra lý tưởng của mạch.
- Xác định điện áp vào đỉnh-đỉnh mà mạch hoạt động tuyến tính.
- Xác định điện áp ra với mỗi giá trị điện áp vào:  $U_v = 0, 2V; -1V; 2V; -3V; 4V$  ?



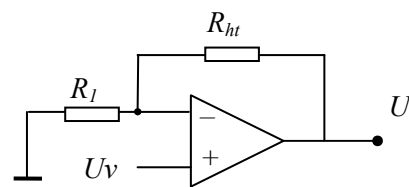
**Hình 4-33.**

**Câu 13:** Cho mạch điện hình 4-34.

$$R_1 = 12k\Omega ; R_{ht} = 180k\Omega$$

$$E = 15V$$

- Xác định hệ số khuếch đại của mạch
- Xác định trở kháng vào của mạch  $Z_v$
- Xác định trở kháng ra lý tưởng của mạch.
- Xác định điện áp vào đỉnh-đỉnh mà mạch hoạt động tuyến tính.
- Xác định điện áp ra với mỗi giá trị điện áp vào  $-0,4V; 0,8V; 1,2V; -1,4V$ .



**Hình 4-34.**

**Câu 14:** Cho mạch điện hình 4-35

- Tìm biểu thức  $u_r$  theo các  $u_v$  và  $R$  ?

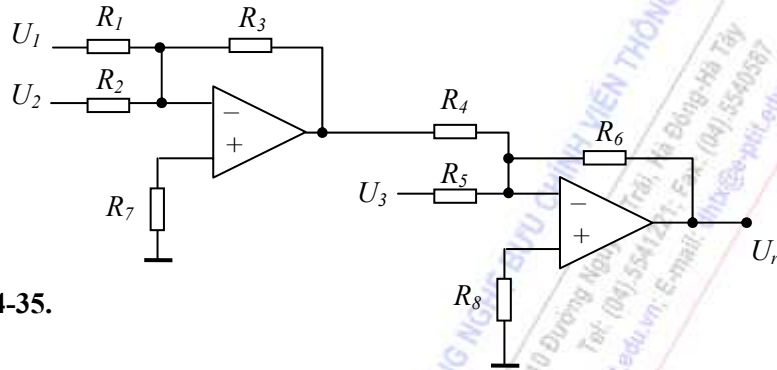
b) Tính  $u_r$  khi:

$$R_1 = 25k\Omega; R_2 = 10k\Omega; R_3 = 50k\Omega$$

$$R_4 = R_6 = 100k\Omega; R_5 = 10k\Omega;$$

$$U_1 = 0,2V; U_2 = 0,3V; U_3 = 0,5V$$

c) Nêu tác dụng của  $R_7, R_8$ . Tìm giá trị của nó để mạch làm việc tốt nhất?



Hình 4-35.

**Câu 15:** Cho mạch điện hình 4-36.

$$R_1 = 10k\Omega; R_2 = 50k\Omega$$

$$E = 15V$$

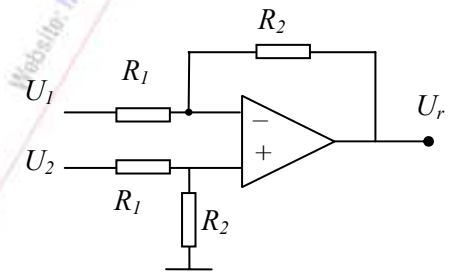
a) Viết biểu thức  $U_r$  theo  $U_v$

b) Xác định  $U_r$  khi

$$+ U_1 = 4V; U_2 = 2V ;$$

$$+ U_1 = 1V; U_2 = 5V ;$$

$$+ U_1 = 6V; U_2 = 1V .$$



Hình 4-36.

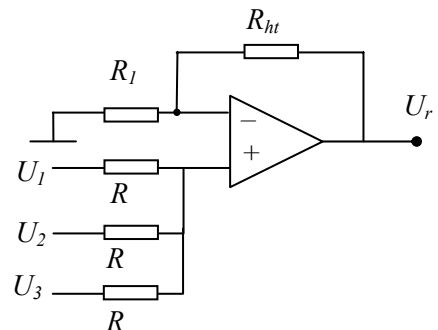
**Câu 16:** Cho mạch điện hình 4-37.

$$R = 50k\Omega; R_1 = 10k\Omega$$

$$R_{ht} = 30k\Omega; E = 15V$$

a) Viết biểu thức  $U_r$  theo các  $U_v$ .

b) Xác định  $U_r$  khi  $U_1 = 0,3V; U_2 = 1V; U_3 = -2V$



Hình 4-37.

**Câu 17:** Cho mạch điện như hình 4-38.

$$R_{ht} = 100k\Omega; R_1 = 100k\Omega;$$

$$R_2 = 50k\Omega; R_3 = 25k\Omega$$

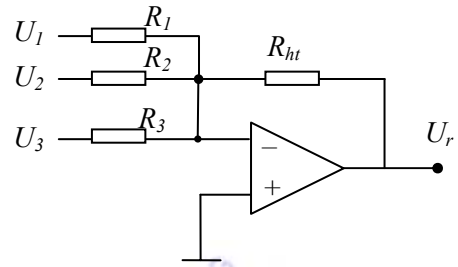
$$E = 15V$$

a) Viết biểu thức  $U_r$  theo  $U_v$

b) Xác định  $U_r$  khi:

$$U_1 = 3V; U_2 = -10V; U_3 = -7V$$

$$U_1 = 8V; U_2 = -4V; U_3 = 5V$$



**Hình 4-38.**

**Câu 18:** Cho mạch điện hình 4-39

$$E = 15V$$

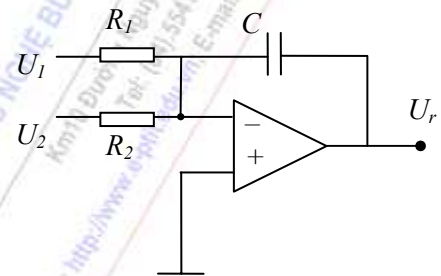
a) Tìm  $U_r$  theo  $U_v$

b) Xác định  $U_r$  khi

$$U_1 = (1 + 10 \sin 100t) V$$

$$U_2 = -1V; C = 1\mu F$$

$$R_1 = R_2 = 100k\Omega$$



**Hình 4-39.**

## CHƯƠNG 5: MẠCH TẠO DAO ĐỘNG

### GIỚI THIỆU

Chương này giới thiệu các mạch tạo dao động tín hiệu hình sin, tạo xung vuông, xung tam giác, răng cưa.

Để tạo dao động hình sin theo phương pháp truyền thống là sử dụng mạch hồi tiếp dương. Có nhiều cách để tạo hồi tiếp dương đó là dùng biến áp, hoặc dùng các khâu RC để đi pha tín hiệu hồi tiếp. Để tạo các xung răng cưa người ta thường sử dụng mạch có các tụ điện và điện trở và dựa trên quá trình phóng nạp của tụ điện để tạo dạng sóng theo mong muốn. Các dao động xung vuông được tạo bằng các mạch đa hài hoặc cũng có thể được biến đổi từ các dạng sóng có chu kỳ khác nhờ các mạch so sánh hay các trigơ Schmit.

Các bộ tạo sóng thường có thể tạo ra các dạng sóng khác nhau và thông thường người ta chỉ tạo một dạng sóng có tần số chuẩn và từ đó biến đổi dạng sóng này thành các dạng sóng khác.

### NỘI DUNG

#### 5.1. KHÁI NIỆM

Mạch tạo dao động là mạch khi có nguồn cung cấp nó tự làm việc cho ra tín hiệu dao động. Sơ đồ tổng quát một mạch tạo dao động như ở hình 5-1.

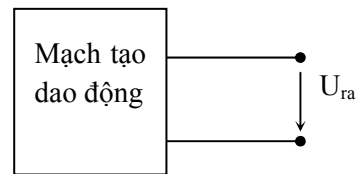
Mạch tạo dao động có thể phân làm hai loại. Mạch tạo ra tín hiệu sin gọi là mạch tạo dao động sin (hay dao động điều hoà). Mạch tạo ra tín hiệu xung như xung vuông, xung tam giác... gọi là mạch tạo xung.

Yêu cầu mạch tạo dao động tạo ra tín hiệu có biên độ, tần số ổn định cao, ít chịu ảnh hưởng của môi trường như nhiệt độ, độ ẩm.

Để đạt các yêu cầu đó mạch tạo dao động cần:

- + Dùng nguồn ổn áp.
- + Dùng các phần tử có hệ số nhiệt độ nhỏ.
- + Giảm ảnh hưởng của tải đến mạch tạo dao động như mắc thêm tầng đệm
- + Dùng các linh kiện có sai số nhỏ.
- + Dùng các phần tử ổn nhiệt.

Đặc biệt khi cần có độ ổn định tần số cao trên  $10^4$  ta dùng thạch anh vào mạch tạo dao động. Khi đó sai lệch tần số  $\frac{\Delta f}{f}$  đạt được  $10^{-6} \div 10^{-8}$ .



**Hình 5-1** Sơ đồ tổng quát của một mạch tạo dao động.

\* Điều kiện dao động của mạch tạo dao động (theo cách truyền thống) đó là sử dụng mạch hồi tiếp dương. Như hình 5-2. Khi  $\bar{U}_{ht} = \bar{U}_V$  thì có thể chập  $a'$  với  $a$  vào nhau, và ta không cần tín hiệu vào nữa mà mạch tự dao động.

Như vậy trong sơ đồ này mạch chỉ dao động ở tần số mà nó thỏa mãn:

$$\bar{K} \cdot \bar{\beta} = 1$$

$$\text{Hay } K \cdot \beta = 1 \text{ và } \varphi = \varphi_k + \varphi_\beta = 2\pi \cdot n$$

Đây gọi là điều kiện cân bằng biên độ và cân bằng pha của mạch tạo dao động.

### 5.2. MẠCH TẠO DAO ĐỘNG SIN GHÉP BIẾN ÁP

Mạch tạo dao động sin ghép biến áp có mạch hồi tiếp ghép qua biến áp có điện trở ở hình 5-3.

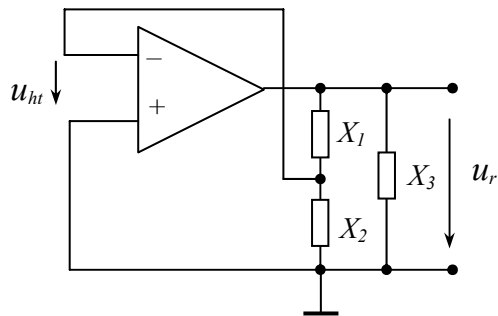
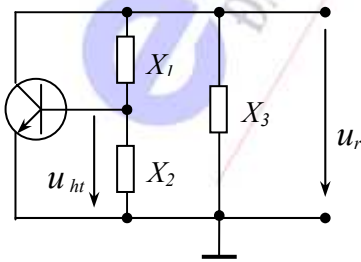
Trong mạch  $R_1, R_2$  là bộ phân áp cấp điện áp một chiều cho cực gốc.  $R_3, C_3$  là mạch ổn định nhiệt.  $L_1, C_1$  là khung dao động,  $L_2$  là cuộn ghép lấy điện áp  $u_{ht}$ ,  $C_2$  tụ thoát,  $C_4$  là tụ lấy tín hiệu ra. Do tranzito mắc E chung nên tại tần số dao động có tải là điện trở thuần,  $u_{ra}$  ngược pha  $u_{vào}$ . Vì vậy để đảm bảo điều kiện cân bằng pha cần đấu cuộn  $L_2$  phù hợp.

Tần số dao động của mạch do mạch cộng hưởng ở cực C quyết định.

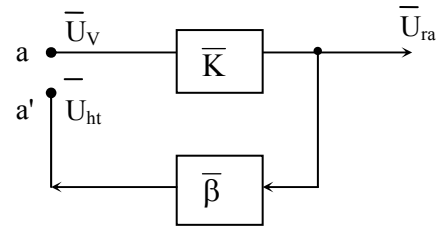
$$f_{da} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L_1 \cdot C_1}}$$

### 5.3. MẠCH DAO ĐỘNG SIN BA ĐIỂM

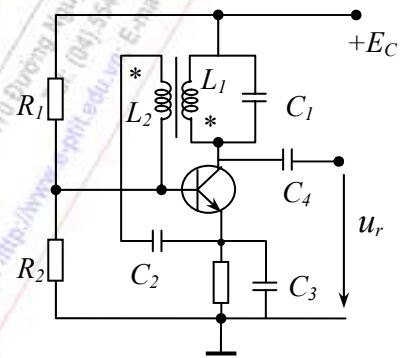
Mạch dao động sin ba điểm có thể dùng tranzito hay IC để khuếch đại. Với mạch dùng tranzito mắc E chung còn IC khuếch đại thuật toán có cửa thuận nối đất. Khung dao động chứa ba phần tử điện kháng thứ tự là  $X_1, X_2, X_3$ .



Hình 5-4 Sơ đồ mạch dao động ba điểm với thành phần xoay chiều  
 Từ mạch điện ta có:  $\beta = \frac{X_2}{X_1 + X_2}$



Hình 5-2 Sơ đồ khối của bộ tạo dao động

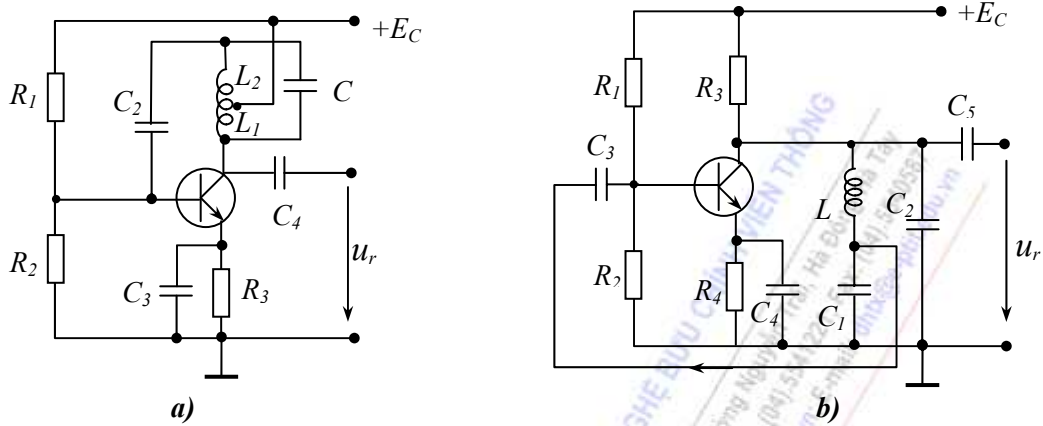


Hình 5-3 Mạch tạo dao động sin ghép biến áp.



Để mạch dao động được cân  $\overline{K} \cdot \overline{\beta} > 1$  mà  $K < 0$  nên cần  $\beta < 0$  mặt khác tại tần số dao động có:

$$X_1 + X_2 + X_3 = 0$$



**Hình 5-5 Mạch tạo dao động ba điểm điện cảm (a) và ba điểm điện dung (b).**

Kết hợp lại ta thấy  $X_1 + X_2$  phải khác dấu và  $X_2, X_3$  phải cùng dấu, tức là:

- Nếu  $X_1$  là điện cảm thì  $X_2, X_3$  là tụ điện, ta có mạch ba điểm điện dung.

- Nếu  $X_1$  là tụ điện thì  $X_2, X_3$  là điện cảm, ta có mạch ba điểm điện cảm. Mạch điện dùng tranzito như hình 5-5.

Tần số dao động của mạch 5-5a là: 
$$f_{đđ} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{C \cdot (L_1 + L_2)}}$$

Tần số dao động của mạch 5-5b là: 
$$f_{đđ} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{C_1 + C_2}{L \cdot C_1 \cdot C_2}}$$

#### 5.4. MẠCH TẠO DAO ĐỘNG SIN GHÉP RC

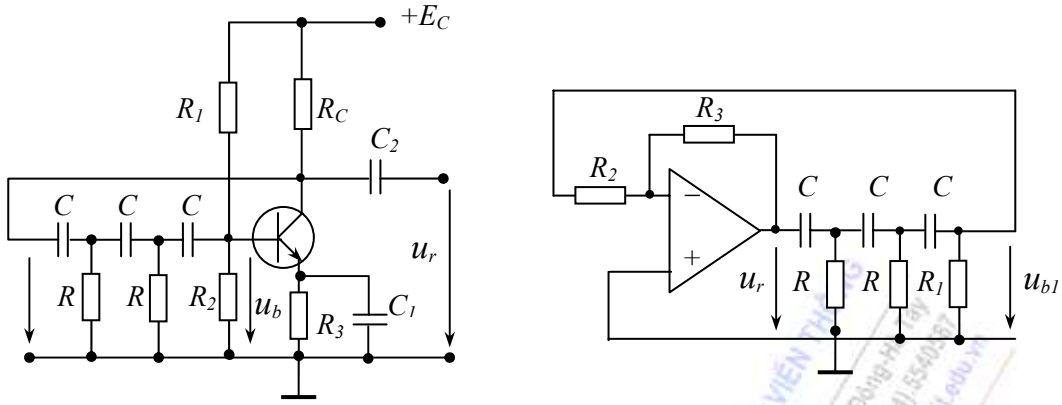
Các mạch tạo dao động RC thường dùng ở phạm vi tần số thấp. Vì nếu dùng mạch LC kích thước quá lớn, do điện cảm L. Trong mạch hồi tiếp chứa các phần tử RC.

##### 5.4.1. Mạch tạo dao động dùng mạch di pha RC trong mạch hồi tiếp

Mạch điện dùng tranzito và IC khuếch đại thuật toán như ở hình 5-6.

Mỗi khâu RC chỉ tạo ra một góc di pha  $< 90^\circ$  khi trị số R, C khác không. Vì vậy để đảm bảo về pha mạch hồi tiếp ít nhất phải có ba mắt RC. Với trường hợp dùng 3 khâu RC như nhau ở hình 5-6a cần:

$$R_1 // R_2 // r_{BE} = R \text{ và } R_1 // R_2 = R \text{ mạch dùng IC.}$$



Hình 5-6.

Tính toán mạch điện này sẽ được:  $\bar{\beta} = -\frac{1}{29}$ ;  $\omega_{dd} = \frac{1}{\sqrt{6RC}}$

Theo điều kiện cân bằng biên độ  $K.\beta = 1$ , ta có  $K = -29$ .

#### 5.4.2. Mạch tạo dao động dùng mạch cầu Viên

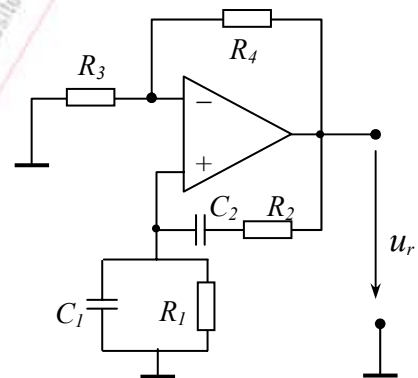
Mạch này lấy tín hiệu  $u_{ht}$  thông qua một mạch gồm hai khâu RC mắc nối tiếp ( $R_2$  và  $C_2$ ) và song song ( $R_1$  và  $C_1$ ).

Với mạch này ta có:

$$\omega_{dd} = \frac{1}{R.C}$$

$$K = 3; \quad \beta = \frac{1}{3}$$

Để mạch tạo dao động được cần chọn các điện trở  $R_3, R_4$  sao cho  $R_4/R_3 = 2$ .



Hình 5-7 Mạch dao động cầu Viên.

### 5.5. MẠCH DAO ĐỘNG BẰNG THẠCH ANH

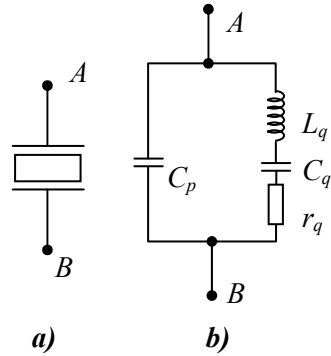
#### 5.5.1. Tính chất và mạch tương đương của thạch anh

Khi cần mạch tạo dao động có tần số ổn định cao người ta thường dùng mạch tạo dao động thạch anh. Thạch anh có những đặc tính vật lý rất đáng quý như độ bền cơ học cao, ít chịu ảnh hưởng của nhiệt độ và các tác dụng hoá học.

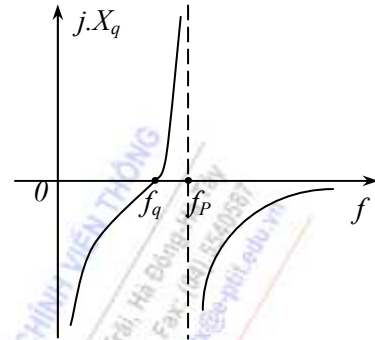
Thạch anh có tính chất áp điện, nghĩa là dưới tác dụng của điện trường thì sinh ra dao động. Do đó có thể dùng thạch anh như một khung cộng hưởng. Tính chất dao động của thạch anh được biểu diễn bởi sơ đồ tương đương hình 5-8a. trong đó  $L_q, C_q$  và  $r_q$  phụ thuộc vào kích thước khối thạch anh và cách cắt khối thạch anh. Thạch anh có kích thước càng nhỏ thì  $L_q, C_q$  và  $r_q$  càng nhỏ, nghĩa là tần số cộng hưởng riêng của nó càng cao.  $L_q, C_q, r_q$  có tính ổn định cao.  $C_p$  là điện dung giá đỡ, tính ổn định của  $C_p$  kém hơn.

Ta có :

$$f_q = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L_q \cdot C_q}} \quad \text{và} \quad f_p = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{C_p + C_q}{L_q \cdot C_q \cdot C_p}}} = f_q \cdot \sqrt{1 + \frac{C_q}{C_p}}$$



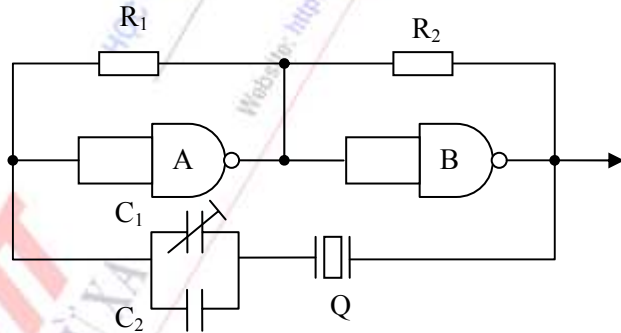
Hình 5-8 a) Ký hiệu thạch anh.  
b) Sơ đồ tương đương của thạch anh.



Hình 5-9 Đặc tính điện kháng của thạch anh

### 5.5.2. Mạch điện bộ tạo dao động dùng thạch anh

Ngoài các mạch điện dao động dùng thạch anh đã nêu trong bài giảng, thì ngay nay người ta hay sử dụng sơ đồ sau.



Hình 5-10 Mạch điện tạo dao động dùng thạch anh

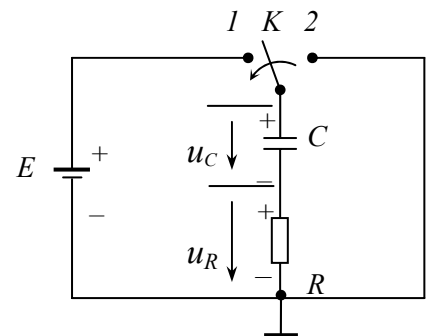
Trong sơ đồ này các cổng A và B là các cổng NOT được xây dựng từ các cổng NAND, đây là cổng logic có chức năng đảo tín hiệu đầu vào của nó. Các cổng logic sẽ được nghiên cứu trong môn học “điện tử số”.

### 5.6. MẠCH TẠO XUNG VUÔNG

Mạch tạo xung vuông có ba loại cơ bản là mạch dao động đa hài, mạch đa hài đợi và trigơ. Hầu hết các mạch tạo xung đều lợi dụng quá trình quá độ trong mạch RC và tranzito ở chế độ khoá (chế độ D) hoặc khuếch đại thuật toán ở chế độ so sánh.

#### 5.6.1. Quá trình quá độ trong mạch RC

Mạch tạo xung vuông thường được xây dựng trên quá trình phóng nạp của tụ điện, tần số của dao động của mạch phụ thuộc vào khoảng thời gian nạp và phóng của tụ điện.



Hình 5-11 Quá trình nạp điện trong mạch RC

**a. Quá trình nạp điện**

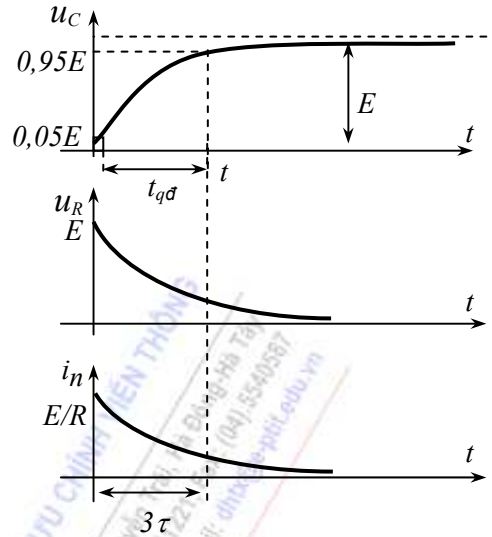
Giả sử khi  $t < 0$  tụ C không chứa điện  $U_C = 0$ . Tại  $t = 0$  khoá K đóng vào 1, tụ C nạp điện từ nguồn E qua điện trở R.

Điện áp trên tụ tính bằng:  $u_C = E \cdot (1 - e^{-t/\tau})$

trong đó  $\tau = R \cdot C$  gọi là hằng số thời gian của mạch và  $u_R = E - u_C = E e^{-t/\tau}$

Dòng nạp  $i_n = \frac{u_R}{R} = \frac{E}{R} e^{-t/\tau}$

Gần đúng ta có thời gian nạp điện của tụ gọi gần đúng là:  $t_{qd} = t_2 - t_1 \approx 3\tau$ .



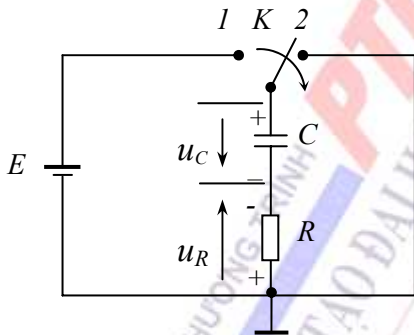
**Hình 5-12** Đồ thị  $u_C, u_R, i_n$  trong quá trình tụ nạp điện.

**b. Quá trình phóng điện**

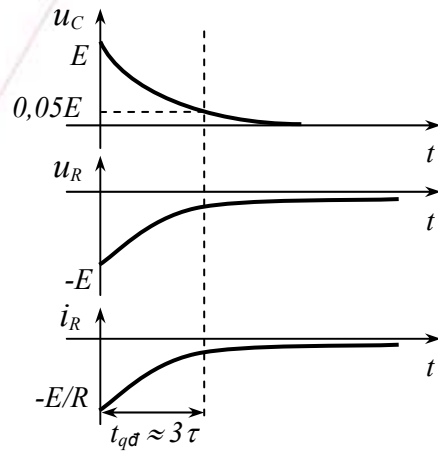
Giả thiết trước thời điểm phóng điện tụ C đã được nạp đầy  $u_C = E$ . Tại thời điểm  $t = 0$  khoá K chuyển về 2, tụ C phóng điện qua R (từ +C qua R đến -C).

Các giá trị điện áp tính được như sau:  $u_C = E \cdot e^{-t/\tau}$

$u_R = -u_C = -E \cdot e^{-t/\tau}; i_p = -\frac{E}{R} \cdot e^{-t/\tau}$



**Hình 5-13** Quá trình phóng điện trong mạch RC.



**Hình 5-14** Đồ thị  $u_C, u_R, i_R$  trong quá trình tụ phóng điện.

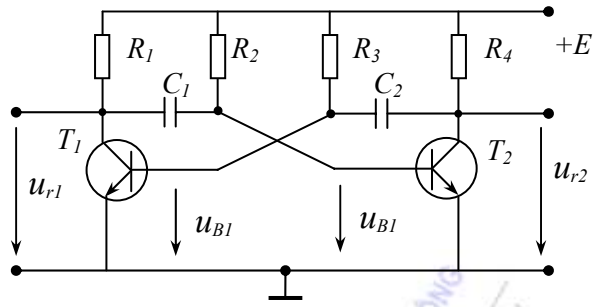
Sau thời gian  $3\tau$  quá trình phóng điện xem như chấm dứt  $u_C = 0, u_R = 0, i_p = 0$ . Dạng điện áp  $u_C, u_R$  và  $i_p$  theo thời gian như ở hình 5-14.

**5.6.2. Mạch đa hài tự dao động**

**a. Mạch dùng tranzito**

Mạch gồm hai tranzito mắc theo kiểu EC, đầu ra  $T_1$  ghép tới đầu vào tầng  $T_2$  qua tụ  $C_1$ , còn đầu ra tầng  $T_2$  ghép trở lại qua tụ  $C_2$ . Như vậy mỗi tầng gây di pha một góc  $180^\circ$ , hai tầng di pha  $360^\circ$ , bảo đảm hồi tiếp dương khi mạch làm việc.

Hình 5-15 Mạch đa  
hài tự dao động.



Hai tranzito hoạt động ở chế độ đóng và ngắt, hai tranzito thay nhau thông (bão hoà), và ngắt tạo cho mạch có hai trạng thái cân bằng không ổn định:  $T_1$  ngắt,  $T_2$  thông (bão hoà) và  $T_1$  thông (bão hoà),  $T_2$  ngắt và tự chuyển đổi trạng thái cho nhau, đầu ra nhận được dãy xung vuông.

- Điều kiện làm việc của mạch

Để xung ra vuông, tụ  $C$  nạp điện nhanh hơn khi tụ phóng phải có:  $R_{1,4} \ll R_{3,2}$  và tranzito khi thông ở chế độ bão hoà cần  $R_3 \leq \beta_1 \cdot R_1$  và  $R_2 \leq \beta_2 \cdot R_4$ , trong đó  $\beta_1, \beta_2$  là hệ số khuếch đại dòng của tranzito  $T_1, T_2$ . Khi cần tần số xung ra lớn, tranzito thông làm việc ở chế độ khuếch đại, không áp dụng điều kiện này. Biên độ xung ra trong trường hợp đó bé hơn  $E$ .

- Các tham số xung ra.

Biên độ xung ra:  $\hat{U}_r \approx E$

Tần số dao động của mạch:  $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,7(R_3 \cdot C_2 + R_2 \cdot C_1)}$

Với mạch đối xứng ta có:

$R_1 = R_4 = R_C; R_2 = R_3 = R_B; C_1 = C_2 = C$ , các tranzito  $T_1, T_2$  cùng loại, cùng tham số thì

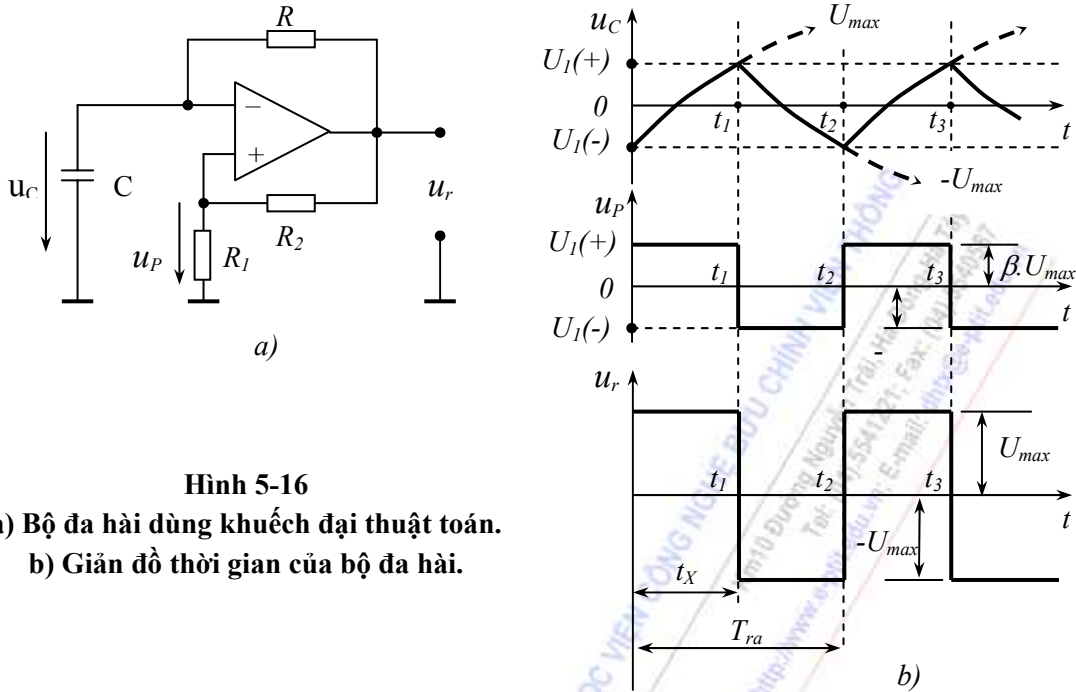
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,4 \cdot R_B \cdot C}$$

### b. Mạch dùng IC khuếch đại thuật toán

Nguyên lý hoạt động chính của mạch là dựa vào sự phóng và nạp của tụ điện theo cả hai chiều, kết hợp với bộ khuếch đại thuật toán hoạt động ở chế độ so sánh. Điện áp trên tụ khi đi qua các ngưỡng so sánh do bộ phân áp điện trở  $R_1$  và  $R_2$  lấy điện áp từ đầu ra đưa về.

Khi  $U_C > U_{I(+)}$  thì đầu ra lập tức đột biến về  $-U_{max}$ , mạch chuyển sang trạng thái bão hoà âm. Khi  $U_C < U_{I(-)}$  thì đầu ra đột biến từ  $-U_{max}$  về  $+U_{max}$ , mạch chuyển sang trạng thái bão hoà dương ban đầu. Cứ như vậy mạch tự làm việc chuyển từ trạng thái này sang trạng thái khác cho dãy xung vuông ở đầu ra.

Nếu chọn  $R_1 = R_2$  thì tần số dao động của mạch là:  $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2,2RC}$

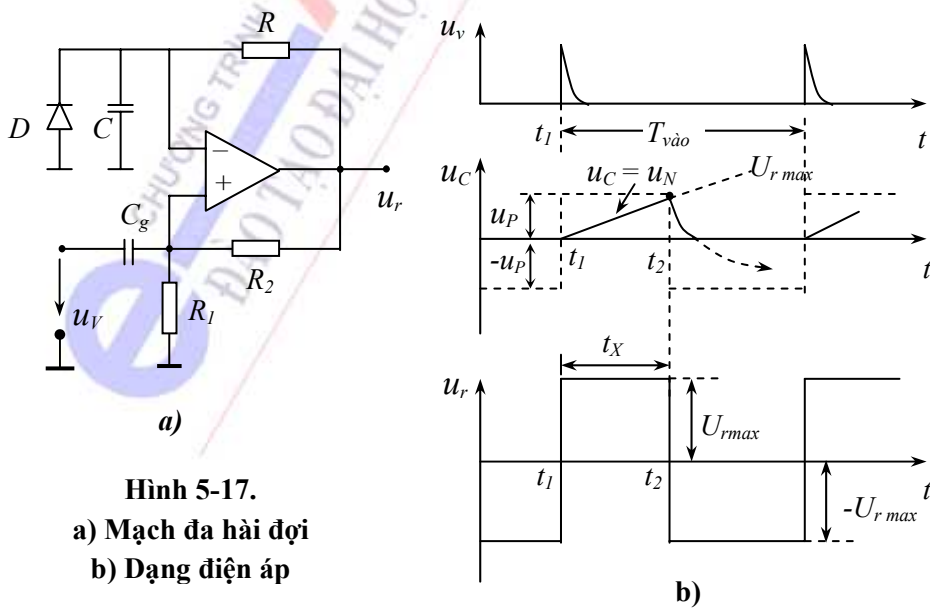


Hình 5-16

- a) Bộ đa hài dùng khuếch đại thuật toán.
- b) Giảm đồ thời gian của bộ đa hài.

### 5.6.3. Mạch đa hài đợi

Mạch đa hài đợi có hai trạng thái, trong đó có một trạng thái ổn định và một trạng thái không ổn định. Khi có nguồn mạch ở trạng thái ổn định. Có xung kích thích mạch chuyển sang trạng thái không ổn định một thời gian rồi tự trở về trạng thái ổn định ban đầu chờ xung kích thích tiếp. Như vậy cứ một xung vào mạch chuyển đổi trạng thái hai lần cho một xung vuông ra. Mạch có thể dùng tranzito hay IC thuật toán. Thực chất mạch đa hài đợi là mạch biến đổi xung nhọn thành xung vuông, tần số xung vuông đầu ra bằng với tần số của xung nhọn đầu vào.



Hình 5-17.  
a) Mạch đa hài đợi  
b) Dạng điện áp



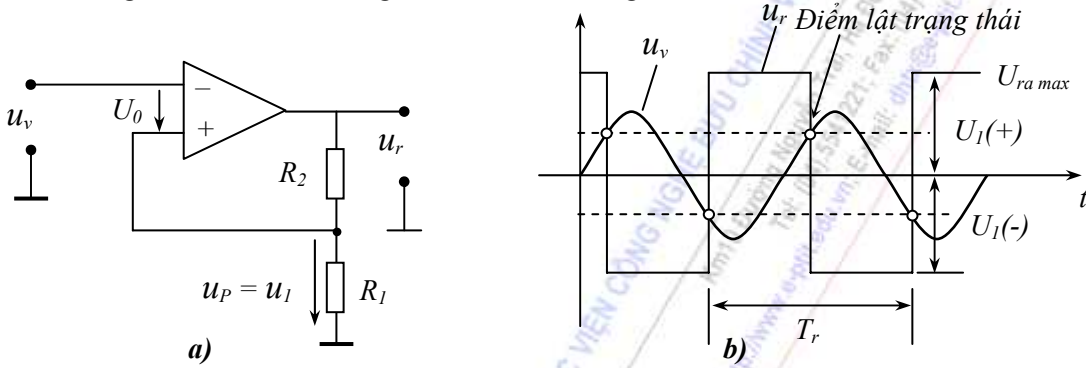
**5.7.4. Trigrơ Schmit**

Trigrơ Schmit là mạch biến đổi tín hiệu hình sin thành xung vuông. Mạch điện gồm có IC khuếch đại thuật toán hoạt động ở chế độ so sánh.

Điện áp vào đưa vào cửa đảo, điện áp cửa thuận được lấy từ bộ phân áp  $R_1, R_2$  từ điện áp đầu ra đưa về.

Khi điện áp vào vượt qua ngưỡng điện áp đặt trên cửa thuận của IC thì điện áp đầu ra lật sang trạng thái bão hòa ngược lại lúc trước đó. Và cứ luôn phiên như thế đầu ra sẽ có dạng điện áp xung vuông.

Mạch trigrơ Schmit còn được gọi là mạch sửa xung.



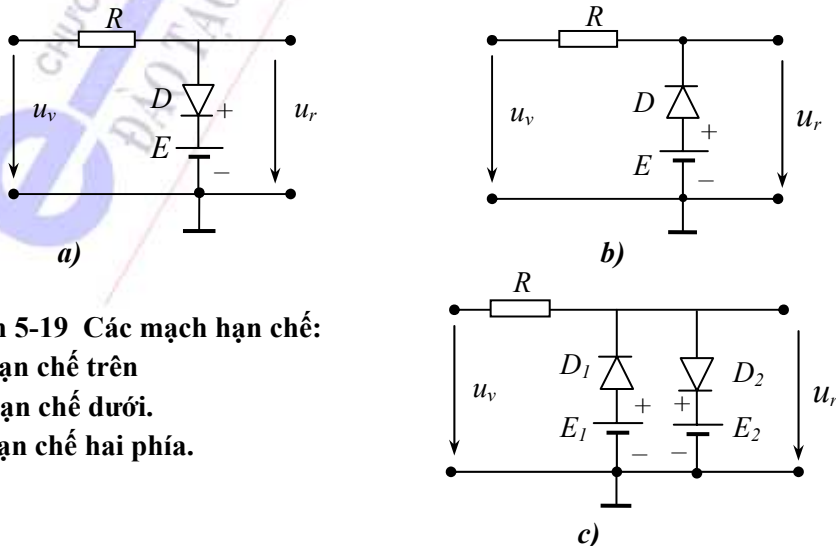
**Hình 5- 18 Trigrơ Schmit và dạng điện áp vào, ra.**

**5.7. MẠCH HẠN CHẾ BIÊN ĐỘ**

Mạch hạn chế biên độ còn gọi là mạch xén biên, trong đó tín hiệu ra  $U_r$  luôn tỷ lệ với tín hiệu vào  $U_v$  nếu  $U_v$  chưa vượt quá một mức ngưỡng cho trước, còn khi  $U_v$  vượt quá mức ngưỡng thì tín hiệu ra  $U_r$  luôn giữ ở một giá trị không đổi. Các linh kiện tích cực được sử dụng trong mạch hạn chế thường là điốt, tranzito hay IC. Dưới đây ta là các mạch hạn chế dùng điốt lý tưởng (tức là các điốt mà ở trạng thái ngắt điện trở bằng vô cùng).

Tùy theo cách mắc điốt là nối tiếp hay song song với tải, người ta phân biệt thành mạch hạn chế nối tiếp hay hạn chế song song. Cũng có thể phân loại theo chức năng hạn chế ở mức trên, hạn chế ở mức dưới (một phía) hoặc hạn chế ở hai mức (hai phía).

Các mạch điện hạn chế thường sử dụng các điốt làm phần tử điều khiển việc hạn chế biên độ.



**Hình 5-19 Các mạch hạn chế:**  
 a) Hạn chế trên  
 b) Hạn chế dưới.  
 c) Hạn chế hai phía.

### 5.8. MẠCH TẠO XUNG RĂNG CỬA

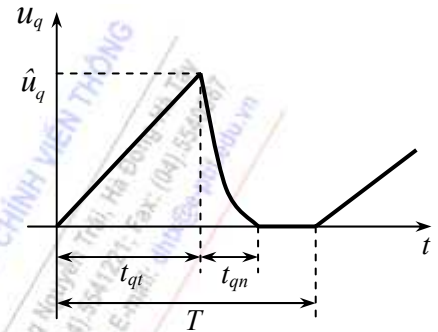
Tín hiệu xung răng cưa được sử dụng rộng rãi trong các thiết bị điện tử, chẳng hạn làm tín hiệu quét trong các máy hiện sóng, làm tín hiệu so sánh biến đổi điện áp hay thời gian...

Trên hình 5-20 là một tín hiệu xung răng cưa thông thường. Nó bao gồm hai phần rõ rệt: phần biến thiên tuyến tính theo thời gian gọi là thời gian quét thuận  $t_{qt}$  và phần còn lại là thời gian quét ngược  $t_{qn}$ . Các mạch tạo tín hiệu răng cưa phải bảo đảm sao cho thời gian quét thuận lớn hơn rất nhiều thời gian quét ngược. Biên độ của xung răng cưa là  $U_q$ .

Trong thực tế, phần quét thuận của xung răng cưa không hoàn toàn tuyến tính.

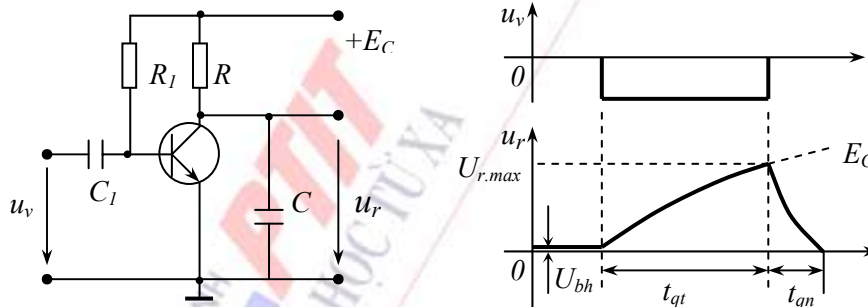
Các mạch tạo xung răng cưa đều dựa theo một trong ba nguyên lý cơ bản sau:

- Nạp, phóng cho tụ bằng mạch RC đơn giản.
- Nạp hoặc phóng cho tụ qua nguồn dòng ổn định.
- Dùng hồi tiếp để ổn định dòng nạp cho tụ.



Hình 5-20 Tín hiệu xung răng cưa.

#### 5.8.1. Mạch tạo xung răng cưa dùng mạch RC đơn giản



Hình 5-21 Mạch tạo xung răng cưa dùng mạch RC đơn giản.

Hình 5-21 là sơ đồ nguyên lý tạo xung răng cưa dùng mạch RC đơn giản. Trong mạch tranzito hoạt động ở chế độ khoá. Bình thường, khi không có xung kích thích, tranzito thông bão hoà do được cung cấp dòng  $I_B$  khá lớn hơn điện trở  $R_1$ , và  $U_r = U_q \approx 0$ . Khi mạch được kích thích xung âm, tranzito ngắt, tụ  $C$  nạp điện từ nguồn  $E_C$  qua  $R$ . Điện áp trên tụ tăng dần theo công thức:

$$U_r = E_C (1 - e^{-t/R.C})$$

Khi xung vào kết thúc tranzito thông và bão hoà trở lại, tụ  $C$  phóng điện nhanh qua tranzito tới giá trị gần bằng không. Thời gian quét thuận của mạch bằng thời gian tồn tại của xung vào, còn thời gian quét ngược là thời gian phóng điện của tụ  $C$ .

Nhược điểm của loại mạch này là độ tuyến tính của phần quét thuận không cao, do ở cuối dòng nạp cho tụ giảm dần. Để khắc phục nhược điểm trên, có thể sử dụng nguồn dòng ổn định để nạp cho tụ.

**5.8.2. Mạch tạo xung răng cưa dùng nguồn dòng**

Điện áp và dòng điện trên tụ điện quan hệ theo công thức:

$$u_C = \frac{1}{C} \int i dt$$

Vì vậy nếu dòng nạp cho tụ lấy từ một nguồn dòng, tức là:  $i = I_0 = \text{const}$ ; thì điện áp trên tụ sẽ biến đổi tuyến tính theo thời gian.

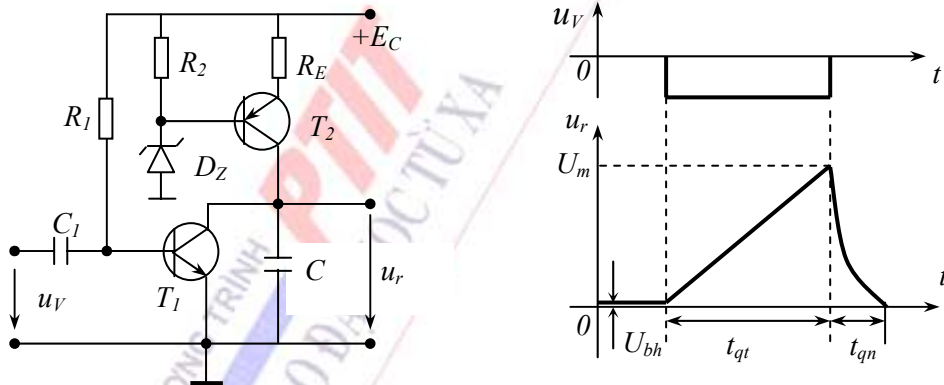
$$u_C = \frac{1}{C} \cdot \int I_0 dt = \frac{I_0}{C} \cdot t$$

Mạch ở hình 5-22 tranzito  $T_1$  hoạt động như một khoá điện tử. Bình thường khi chưa có xung vào do được cấp dòng  $I_{B1}$  đủ lớn nên  $T_1$  bão hoà, do đó điện áp ra gần như bằng không. Tranzito  $T_2$  đóng vai trò nguồn dòng. Nhờ có điốt ổn áp  $D_Z$  nên điện áp cực gốc  $T_2$  luôn ổn định. Vì vậy dòng qua  $T_2$ ,  $I_{E2}$  cũng như  $I_{C2}$  có giá trị ổn định.

Trong khi  $T_1$  bão hoà, dòng  $I_{C2}$  này bằng dòng  $I_{C1}$ . Khi có xung âm vào  $T_1$  ngắt, tụ  $C$  nạp điện bởi dòng  $I_{C2}$  và điện áp trên tụ tăng tuyến tính theo thời gian:

$$u_q = u_C = \frac{1}{C} \int_0^t i_{C2} dt = \frac{E_C - U_{BE2} - U_D}{C \cdot R_E}$$

Khi hết xung kích thích  $T_1$  lại thông và bão hoà, tụ  $C$  phóng điện nhanh qua  $T_1$  làm cho  $U_r$  giảm xuống nhanh chóng về điện áp gần bằng không.



**Hình 5-22 Mạch tạo xung răng cưa dùng nguồn dòng.**

**5.8.3. Mạch tạo xung răng cưa thêm tầng khuếch đại có hồi tiếp.**

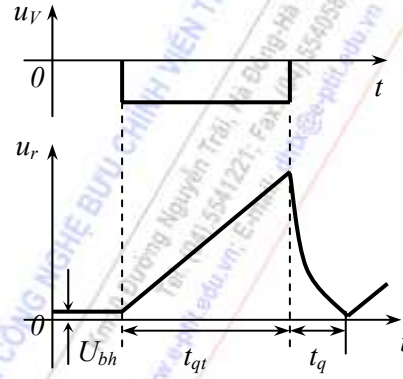
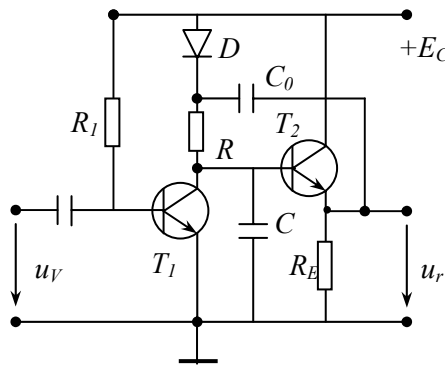
Để tăng độ tuyến tính của đường quét thuận, trong một số mạch tạo xung răng cưa ta dùng thêm mạch khuếch đại có hồi tiếp như trên hình 5-23 (còn gọi là mạch quét Bootstrap).

Trong mạch này  $T_1$  luôn thông bão hoà khi không có xung vào, do đó điện áp trên tụ  $C$  luôn xấp xỉ bằng không ( $U_C \approx 0$ ). Lúc đó tồn tại một dòng điện chạy từ nguồn  $E_C$ , qua điốt  $D$ , qua  $R$  đến  $T_1$ . Tầng khuếch đại  $T_2$  mắc cực  $C$  chung, có độ khuếch đại điện áp gần bằng một nên điện áp ra  $U_r \approx U_C = 0$ , tụ  $C_0$  (có điện dung rất lớn hơn tụ  $C$ ) lúc này nạp điện tới giá trị  $E_C$ ,  $U_{C0} = E_C$ .

Khi có xung kích thích, tranzito  $T_1$  ngắt, tụ  $C$  bắt đầu được nạp điện bởi dòng do tụ  $C_0$  phóng ra qua  $R$ . Theo mức độ nạp của tụ  $C$ , điện áp ra tăng dần và do đó điốt ngắt. Ta thấy dòng nạp cho tụ  $C$  khá ổn định nhờ điện áp trên tụ  $C_0$  hầu như không đổi trong suốt thời gian quét thuận nên điện áp ra tuyến tính.

Về mặt giải tích, có thể xác định dòng nạp cho tụ  $C$  thông qua điện áp hạ trên  $R$ .

$$I = \frac{U_R}{R} = \frac{U_{C0} + U_r - U_C}{R}$$



Hình 5-23 Mạch tạo xung răng cưa thêm tầng khuếch đại có hồi tiếp.

Do  $u_C \approx u_r$  nên:

$$I \approx \frac{U_{C0}}{R} = \frac{E_C}{R}$$

Trong quá trình nạp:

$$u_r \approx u_C = \frac{1}{C} \int_0^t i dt = \frac{E_C}{R.C} . t$$

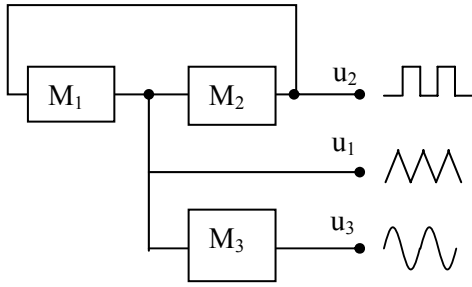
Sau khi xung vào kết thúc,  $T_1$  thông và bão hoà trở lại, tụ  $C$  phóng điện qua  $T_1$ . Khi tụ  $C$  phóng điện giảm xuống xấp xỉ bằng không điốt  $D$  thông và tụ  $C_0$  lại nạp bổ sung đến giá trị  $U_{C0} = E_C$  ban đầu.

Trong mạch này thời gian quét thuận cũng bằng độ rộng xung vào.

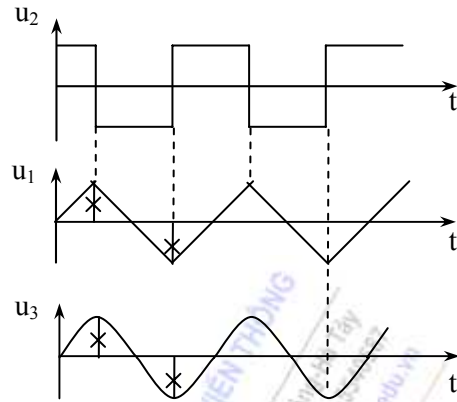
Cũng có thể dùng mạch tích phân có IC khuếch đại thuật toán để tạo xung răng cưa.

### 5.9. MẠCH TẠO TÍN HIỆU HỖN HỢP

Loại mạch này được sử dụng trong các máy tạo sóng đa chức năng. Nó có thể đồng thời tạo ra ba loại tín hiệu xung vuông, xung tam giác và điện áp hình sin. Sơ đồ khối của mạch được thể hiện trên hình 5-32. Nó gồm ba khối chính là  $M_1$ ,  $M_2$  và  $M_3$ . Hệ kín gồm một mạch tích phân (một mạch khuếch đại thuật toán và hai phần tử  $R_1C_1$ ) phần tử chuyển mạch  $M_2$  (mạch khuếch đại thuật toán và một khâu hồi tiếp dương  $R_1, R_2$ ) tạo thành một hệ tự dao động, cho ra hai dạng tín hiệu: tín hiệu tam giác ( $U_1$ ) và tín hiệu xung chữ nhật ( $U_2$ ).  $M_3$  là bộ biến đổi xung tam giác hình sin cho tín hiệu đầu ra  $U_3$  là sin. Các tín hiệu này có cùng tần số, dạng điện áp ở các đầu ra như ở hình 5-25.



Hình 5-24 Sơ đồ khối bộ tạo sóng đa chức năng.



Hình 5-25 Dạng điện áp các đầu ra bộ tạo sóng đa chức năng.

### 5.10. MẠCH TẠO DAO ĐỘNG CÓ TẦN SỐ ĐIỀU KHIỂN BẰNG ĐIỆN ÁP (VCO)

Các mạch VCO là các mạch dao động mà tần số có thể điều khiển được bằng điện áp. Yêu cầu chung đối với các mạch tạo dao động có tần số điều khiển được là quan hệ giữa điện áp điều khiển và tần số dây xung ra phải tuyến tính. Ngoài ra mạch phải có độ ổn định tần số cao, dải biên đổi của tần số theo điện áp rộng, đơn giản, dễ điều chỉnh.

Về nguyên tắc, có thể dùng một mạch tạo dao động mà tần số dao động của nó có thể biến thiên được trong phạm vi  $\pm 10\%$  đến  $\pm 50\%$  xung quanh tần số dao động tự do  $f_0$ . Tuy nhiên người ta thường dùng các bộ tạo xung chữ nhật hơn cả, vì loại này có thể làm việc trong phạm vi tần số khá rộng ( $1\text{MHz} \div \approx 100\text{MHz}$ ). Trong phạm vi ( $1 \div 50\text{MHz}$ ) thường dùng các mạch tạo dao động đa hài. Các bộ tạo dao động điều khiển bằng dòng điện ưu việt hơn các bộ tạo dao động điều khiển bằng điện áp ở chỗ: nó có phạm vi tuyến tính của đặc tuyến truyền đạt rộng hơn.

Khi nối đầu điều khiển với  $E_C$  thì đây là một mạch dao động đa hài thông thường. Khi tách ra và đặt điện áp điều khiển vào đầu đó  $U_d$  thì tần số dây xung ra biến thiên theo  $U_d$ .

## TÓM TẮT NỘI DUNG

Chương này trình bày các mạch tạo dao động với các dạng sóng khác nhau. Trong đó các mạch tạo dao động hình sin bao gồm:

- Mạch tạo dao động sin ghép biến áp.
- Mạch tạo dao động sin ba điểm: Ba điểm điện dung, ba điểm điện cảm.
- Mạch tạo dao động sin dùng RC trong khâu hồi tiếp và mạch cầu Viên.

Các mạch tạo xung vuông và xung răng cưa dựa trên quá trình phóng và nạp của tụ điện. Các mạch điện tạo xung vuông bao gồm:

- Mạch đa hài dùng tranzito, dùng IC khuếch đại thuật toán.
- Các mạch đa hài độn (thực chất là tạo xung vuông từ các xung nhọn).
- Trigon Schmit.

Các mạch tạo xung răng cưa:



- Mạch tạo xung răng cưa dùng RC đơn giản.
- Mạch tạo xung răng cưa dùng nguồn dòng.
- Mạch tạo xung răng cưa có thêm tầng khuếch đại có hồi tiếp.

Tần số dao động của các mạch tạo xung vuông và xung răng cưa được tính theo thời gian phóng và nạp của tụ điện, tức là nó phụ thuộc vào giá trị điện dung của tụ điện và giá trị của điện trở phóng nạp.

## CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP

**Câu 1:** Điều kiện để mạch tạo dao động sử dụng hồi tiếp dương là:

- a)  $K.\beta = 1$  và  $\varphi = \varphi_k + \varphi_\beta = 2n\pi$
- b)  $K.\beta = 1$  và  $\varphi = \varphi_k + \varphi_\beta = (2n+1)\pi$
- c)  $K.\beta < 1$  và  $\varphi = \varphi_k + \varphi_\beta = (2n+1)\pi$
- d)  $K.\beta < 1$  và  $\varphi = \varphi_k + \varphi_\beta = 2n\pi$

**Câu 2:** Điều kiện để mạch tạo dao động sin 3 điểm làm việc được là:

- a)  $X_1 + X_2 - X_3 = 0$
- b)  $X_1 + X_2 + X_3 = 0$
- c)  $X_1 - X_2 + X_3 = 0$
- d)  $X_1 + X_2 + X_3 > 0$

**Câu 3:** Mạch dao động 3 điểm điện cảm có:

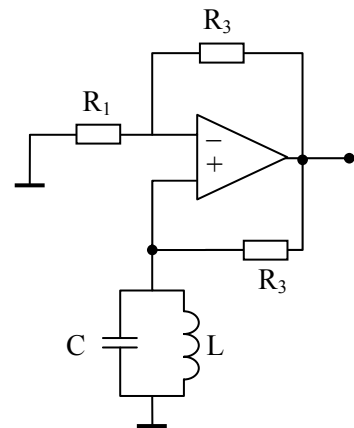
- a)  $X_1$  là điện cảm và  $X_2, X_3$  là tụ điện.
- b)  $X_1$  là tụ điện và  $X_2, X_3$  là điện cảm.
- c)  $X_2$  là điện cảm và  $X_1, X_3$  là tụ điện.
- d)  $X_2$  là tụ điện và  $X_1, X_3$  là điện cảm.

**Câu 4:** Mạch dao động 3 điểm dung cảm có:

- a)  $X_1$  là điện cảm và  $X_2, X_3$  là tụ điện.
- b)  $X_1$  là tụ điện và  $X_2, X_3$  là điện cảm.
- c)  $X_2$  là điện cảm và  $X_1, X_3$  là tụ điện.
- d)  $X_2$  là tụ điện và  $X_1, X_3$  là điện cảm.

**Câu 5:** cho mạch điện như hình 5-26.

- a) Giải thích nguyên lý làm việc của mạch trên.



Hình 5-26



b) Tìm điều kiện dao động

Cho  $R_1 = R_2 = R_3 = 1k\Omega$ ;

$Q = 100$ ;  $f_{dd} = f_{ch} = 100kHz$ ;

Tìm L, C ?

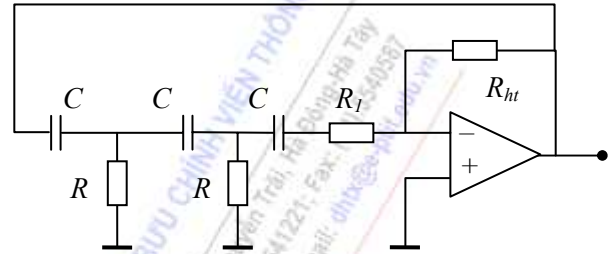
**Câu 6:** Cho mạch điện hình 5-27.

$E = 15V$

a) Giải thích mạch điện, vẽ dạng tín hiệu ra theo  $t$ .

b) Cho  $f_{dd} = 1kHz$ ;  $R = 1k\Omega$ , tính các giá trị linh kiện còn lại.

Tìm khoảng  $f_{dd}$  khi các tụ C cùng biến đổi  $C_{min} \div C_{max}$ .



**Hình 5-27.**

**Câu 7:** Cho mạch điện như hình 5-28.

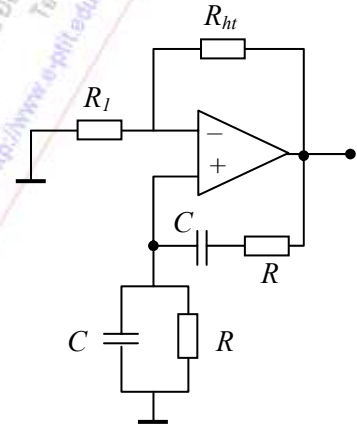
$R = 15k\Omega$ ;  $C = 0,02\mu F$

$R_1 = 10k\Omega$ ;  $E = 15V$

a) Vẽ dạng tín hiệu ra theo  $t$ .

b) Tìm tần số dao động của mạch.

c) Tìm trị số của  $R_{ht}$  cần thiết.



**Hình 5-28.**

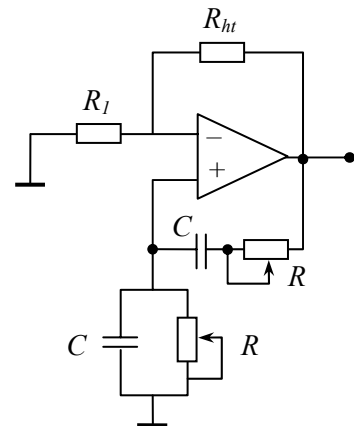
**Câu 8:** Cho mạch điện như hình 5-29.

$R_1 = 22k\Omega$ ;  $C = 0,01\mu F$ ;  $E = 15V$

$f_{dd}$  biến đổi từ 100Hz đến 1kHz.

a) Tìm trị số cần thiết của  $R_{ht}$ .

b) Tìm khoảng biến đổi cần thiết của R



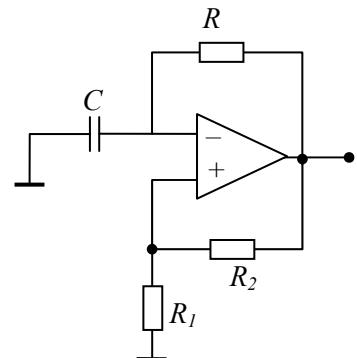
**Hình 5-29.**

**Câu 9:** Cho mạch điện như hình 5-30.

$R_1 = R_2 = 15k\Omega$ ;  $R = 18k\Omega$

$C = 0,068\mu F$ ;  $E = 15V$

a) Vẽ dạng tín hiệu ra theo  $t$ .



- b) Xác định biên độ  $U_{r\max}$
- c) Xác định  $T, f_{đđ}$
- d) Xác định điện áp hồi tiếp.

Hình 5-30.

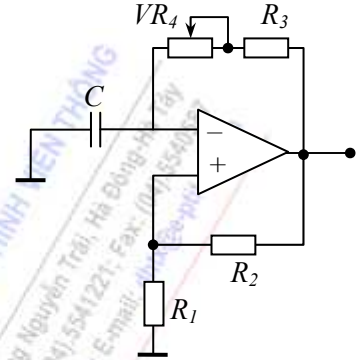
**Câu 10:** Cho mạch điện như hình 5-31.

$$R_1 = R_2 = 20k\Omega; R_3 = 1,8k\Omega$$

$$VR_4 = 100k\Omega.$$

$$C = 0,024\mu F; E = 15V$$

- a) Vẽ dạng  $t$ /hiệu ra theo  $t$
- b) Xác định biên độ  $U_{r\max}$
- c) Xác định khoảng  $f_{đđ}$  khi điều chỉnh  $VR_4$



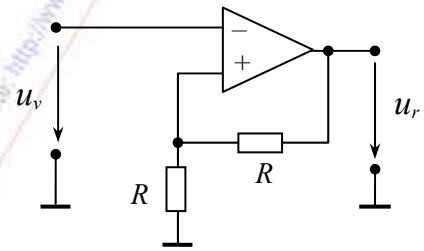
Hình 5-31.

**Câu 11:** Cho mạch điện như hình 5-32.

$$\text{Biết } \pm U_{r\max} = \pm 11V$$

Vẽ dạng điện áp vào vào ra điện áp ra, biết

$$u_v(t) = 8\sin(100\pi t)V$$

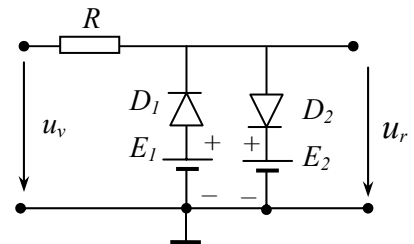


Hình 5-32.

**Câu 12:** Cho mạch điện như hình 5-33.

$$\text{Biết } E_1 = -5V; E_2 = 3V$$

Vẽ hàm truyền đạt và dạng sóng  $u_r$  khi  $u_v = 8\sin(100t)V$



Hình 5-33.

## CHƯƠNG 6: CÁC MẠCH BIẾN ĐỔI TẦN SỐ

### GIỚI THIỆU

Trong kỹ thuật thông tin vô tuyến điện, khi muốn truyền thông tin đi xa người ta phải chuyển tần số của tín hiệu tin tức lên một tần số cao hơn rất nhiều là vì công suất của sóng điện từ khi bức xạ ra tỷ lệ với tần số của sóng. Do vậy với tín tức có tần số thấp thì khả năng bức xạ rất yếu và không có khả năng truyền đi xa.

Phương pháp để thực hiện chuyển phổ của tín hiệu tin tức lên vùng có tần số cao hơn đó là điều chế (điều chế biên độ, điều tần, điều pha), các mạch trộn tần.

Ở phía máy thu phải có một quá trình chuyển đổi ngược lại, tức là chuyển phổ tín hiệu tin tức đang ở tần số cao về đúng với tần số gốc ban đầu, quá trình đó là tách sóng (giải điều chế). Với mỗi kiểu điều chế sẽ có các mạch tách sóng tương ứng.

Ngoài ra, trong một số trường hợp khó thực hiện việc chuyển phổ tần số một lần đến đúng tần số mong muốn, người ta thường dùng các mạch trộn tần. Trong các máy thu đổi tần thông thường cũng sử dụng các mạch trộn tần để chuyển tần số sóng mang (tần số cao) về một tần số trung gian (tần số trung tần), sau đó khuếch đại tín hiệu lên nhiều lần trước khi đưa vào mạch tách sóng.

Tất cả các quá trình biến đổi tần số đều dựa vào một tính chất rất quan trọng của linh kiện bán dẫn đó là tính chất phi tuyến. Tính chất phi tuyến ở đây được hiểu là khi chúng ta tác động một tần số  $f$  và linh kiện bán dẫn thì nó sẽ cho ra nhiều tần số là bội của  $f$  tức là  $nf$  với  $n = 1, 2, 3, \dots$

### NỘI DUNG

#### 6.1. KHÁI NIỆM VỀ ĐIỀU CHẾ

Điều chế là quá trình ghi tin tức vào dao động cao tần nhờ biến đổi một thông số nào đó như biên độ, tần số hay góc pha của dao động cao tần theo tin tức.

Thông qua điều chế, tín tức ở miền tần số thấp được chuyển lên vùng tần số cao để bức xạ truyền đi xa.

- Tín tức được gọi là tín hiệu điều chế.
- Dao động cao tần được gọi là tải tin hay tải tần.
- Dao động cao tần mang tín tức gọi là dao động cao tần đã điều chế.

Đối với tải tin điều hoà, ta phân biệt ra hai loại điều chế là điều biên và điều chế góc, trong đó điều chế góc bao gồm cả điều tần và điều pha.

## 6.2. ĐIỀU BIÊN

### 6.2.1. Phổ của tín hiệu điều biên

Điều biên là quá trình làm cho biên độ tải tín hiệu biến đổi theo tín tức. Để đơn giản, giả thiết tín tức  $u_S$  và tải tín  $u_t$  đều là dao động điều hoà và tần số tín tức biến thiên từ  $\omega_{Smin} \div \omega_{Smax}$ , ta có:

$$u_S = \hat{U}_S \cdot \cos \omega_S t$$

$$u_t = \hat{U}_t \cdot \cos \omega_t t \quad \text{và} \quad \omega_t \gg \omega_S$$

Do đó tín hiệu điều biên:

$$u_{db} = (\hat{U}_t + \hat{U}_S \cdot \cos \omega_S t) \cdot \cos \omega_t t = \hat{U}_t \cdot (1 + m \cdot \cos \omega_S t) \cdot \cos \omega_t t$$

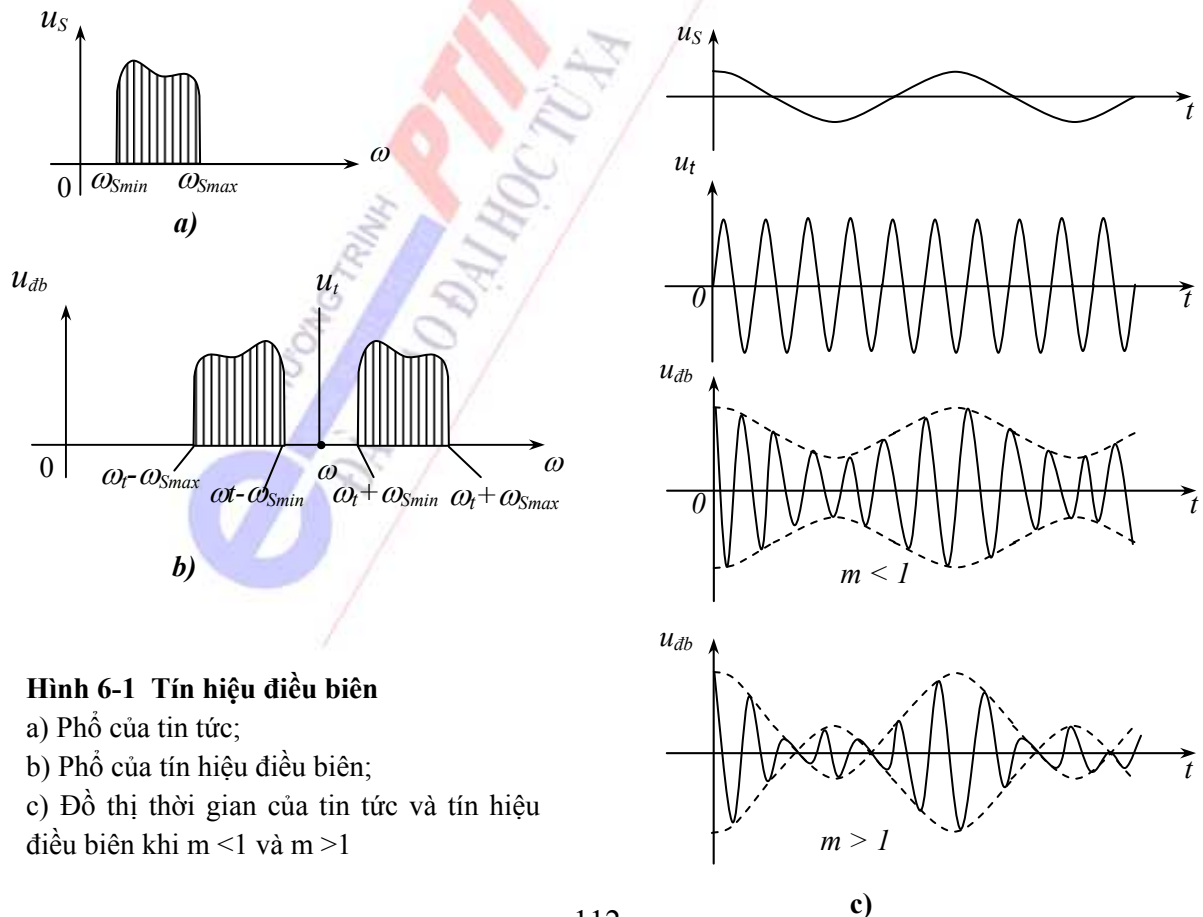
trong đó:  $m = \frac{\hat{U}_S}{\hat{U}_t}$  là hệ số điều chế (hay độ sâu điều chế).

Hệ số điều chế phải thoả mãn điều kiện  $m \leq 1$ . Khi  $m > 1$  thì mạch có hiện tượng quá điều chế làm cho tín hiệu bị méo trầm trọng. (hình 6-1).

Áp dụng biến đổi lượng giác ta được:

$$u_{db} = \hat{U}_t \cos \omega_t t + \frac{m \hat{U}_t}{2} \cos(\omega_t + \omega_S) t + \frac{m \hat{U}_t}{2} \cos(\omega_t - \omega_S) t$$

Như vậy, ngoài thành phần tải tín, tín hiệu điều khiển còn có hai biên tần. Biên tần trên có tần số từ  $(\omega_t + \omega_{Smin})$  đến  $(\omega_t + \omega_{Smax})$  và biên tần dưới từ  $(\omega_t - \omega_{Smin})$  đến  $(\omega_t - \omega_{Smax})$ .



**Hình 6-1** Tín hiệu điều biên

- a) Phổ của tín tức;
- b) Phổ của tín hiệu điều biên;
- c) Đồ thị thời gian của tín tức và tín hiệu điều biên khi  $m < 1$  và  $m > 1$

### 6.2.2. Quan hệ năng lượng trong điều biên

Trong tín hiệu điều biên, các biên tần chứa tin tức, còn tải tin không mang tin tức. Ta xét xem năng lượng được phân bố thế nào trong tín hiệu điều biên.

Công suất của tải tin: là công suất trung bình trong một chu kỳ tải tin.

$$P_{\sim t} \sim (\text{tỷ lệ}) \frac{1}{2} \widehat{U}_t^2$$

Công suất biên tần: 
$$P_{\sim bt} \sim \left(\frac{m \widehat{U}_t}{2}\right)^2 / 2$$

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

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

Ta thấy rằng công suất của tín hiệu đã điều biên phụ thuộc vào hệ số điều chế  $m$ . Hệ số điều chế  $m$  càng lớn thì công suất tín hiệu đã điều biên càng lớn. Khi  $m=1$  thì ta có quan hệ công suất hai biên tần và tải tần như sau:

$$2P_{\sim bt} = \frac{P_{\sim t}}{2}$$

Để giảm méo hệ số điều chế  $m < 1$  do đó công suất các biên tần thực tế chỉ khoảng một phần ba công suất tải tin. Nghĩa là phần lớn công suất phát xạ được phân bổ cho tải tin, còn công suất của tín tức chỉ chiếm phần nhỏ. Đó là nhược điểm của tín hiệu điều biên so với tín hiệu đơn biên.

### 6.2.3. Các chỉ tiêu cơ bản của tín hiệu điều biên

#### a. Hệ số méo phi tuyến

$$k = \frac{\sqrt{\widehat{I}_{(\omega_i \pm 2\omega_s)}^2 + \widehat{I}_{(\omega_i \pm 3\omega_s)}^2 + \dots}}{\widehat{I}_{(\omega_i \pm \omega_s)}}$$

$\widehat{I}_{(\omega_i \pm n\omega_s)}$  là thành phần dòng điện ứng với hài bậc cao của tín hiệu điều chế.

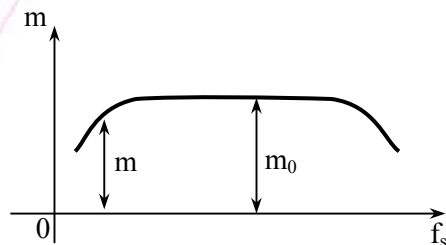
$\widehat{I}_{(\omega_i \pm \omega_s)}$  là biên độ của các thành phần biên tần (thành phần sóng cơ bản).

Để giảm méo phi tuyến buộc phải giảm độ sâu điều chế.

#### b. Hệ số méo tần số

Để đánh giá ta dựa vào đặc tuyến biên độ - tần số  $m = f(f_s) \Big|_{\widehat{U}_s = const}$

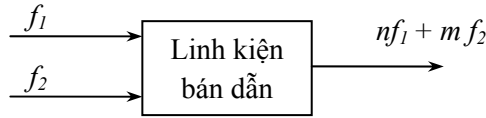
Hệ số méo tần số xác định theo biểu thức:  $M = \frac{m_0}{m}$  hoặc  $M_{dB} = 20 \lg M$ .



Hình 6-2 Đặc tuyến biên độ - tần số.

6.2.4. Các mạch điều biên

Các mạch điều biên thường sử dụng các phân tử bán dẫn với tính chất phi tuyến của chúng. Tính chất phi tuyến ở đây được hiểu là khi chúng ta cho hai tín hiệu với hai tần số khác nhau tác động lên linh kiện bán dẫn thì nó sẽ sinh ra các thành phần là tổng và hiệu của các tần số tác động.



Về lý thuyết thì tín hiệu đầu ra có tần số  $n.f_1 + m.f_2$  với  $m, n = 1, 2, \dots$

Có các kiểu điều biên như điều biên cân bằng và điều biên vòng, điều chế đơn biên...

- Mạch điều chế đơn biên chỉ dùng một phần tử tích cực như điốt hoặc tranzito.

- Mạch điều biên cân bằng có ưu điểm giảm được méo phi tuyến.

a) Điều biên cân bằng

Theo hình 6-3a điện áp đặt lên các điốt  $D_1, D_2$  lần lượt là:

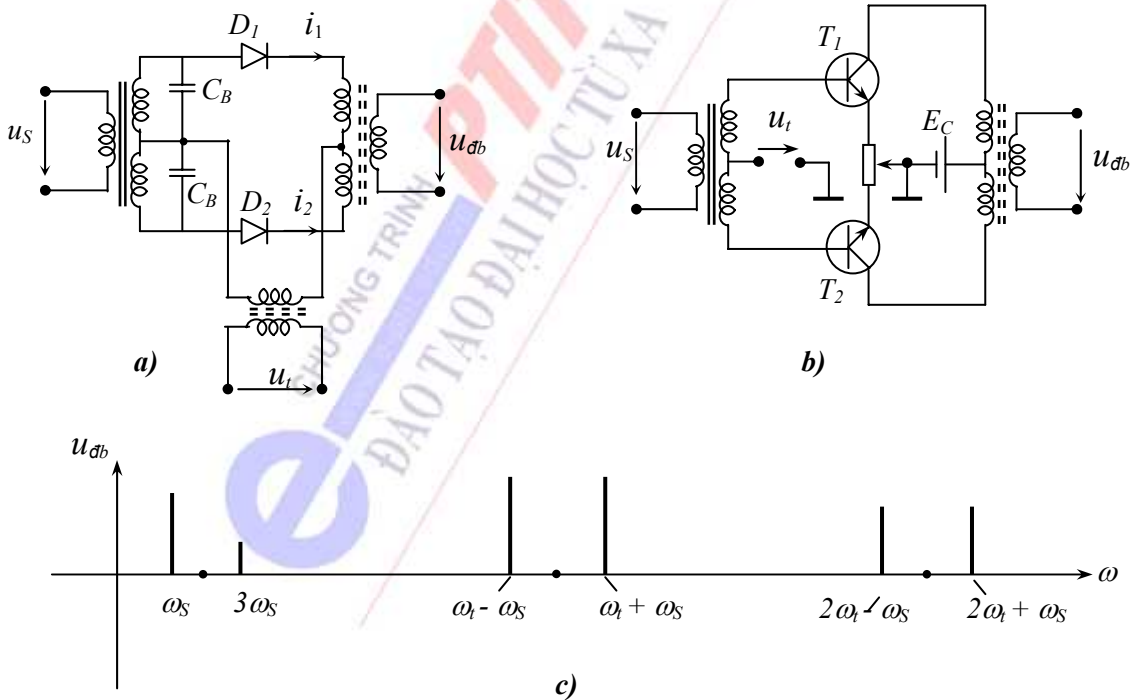
$$u_1 = \hat{U}_S \cdot \cos \omega_S t + \hat{U}_t \cdot \cos \omega_t t$$

$$u_2 = -\hat{U}_S \cdot \cos \omega_S t + \hat{U}_t \cdot \cos \omega_t t$$

Dòng điện qua mỗi điốt được biểu diễn theo chuỗi Taylor:

$$i_1 = a_0 + a_1 \cdot u_1 + a_2 \cdot u_1^2 + a_3 \cdot u_1^3 + \dots$$

$$i_2 = a_0 + a_1 \cdot u_2 + a_1 \cdot u_2^2 + a_3 \cdot u_2^3 + \dots$$



Hình 6-3 Mạch điều biên cân bằng  
a) Dùng điốt; b) Dùng tranzito; c) Phổ tín hiệu ra



Dòng điện ra:  $i = i_1 - i_2$

$$i = A.\cos \omega_S t + B.\cos 3\omega_S t + C.[\cos(\omega_t + \omega_S)t + \cos(\omega_t - \omega_S)t] + D.[\cos(2\omega_t + \omega_S)t + \cos(2\omega_t - \omega_S)t]$$

trong đó:

$$A = \hat{U}_S + (2a_1 + 3a_3).\hat{U}_t^2 + \frac{1}{2}.a_3.\hat{U}_S^2; \quad B = \frac{1}{2}.a_3.\hat{U}_S^3$$

$$C = 2.a_2.\hat{U}_S.\hat{U}_t; \quad D = \frac{3}{2}.a_3.\hat{U}_S.\hat{U}_t.$$

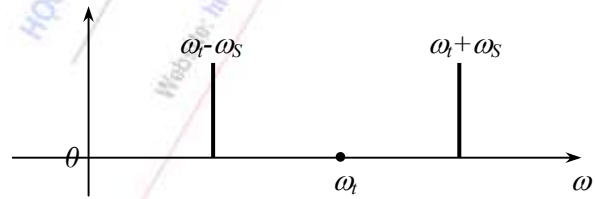
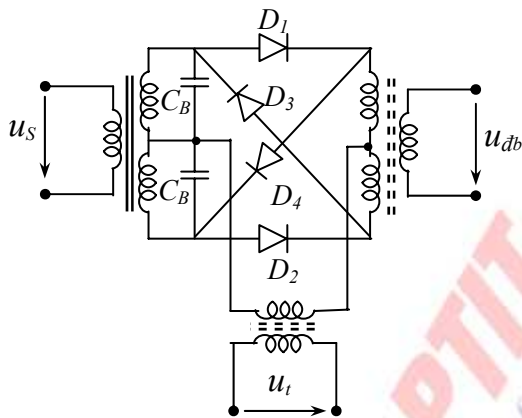
### b) Mạch điều chế vòng

Mạch điều chế vòng: thực chất là hai mạch điều chế cân bằng chung tải.

Gọi dòng điện ra của mạch điều chế cân bằng  $D_1, D_2$  là  $i_I$  và dòng điện ra của mạch điều chế cân bằng  $D_3, D_4$  là  $i_{II}$ .

Với mạch điều chế kiểu này ta có được:

$$i_{db} = 2.C.[\cos(\omega_t + \omega_S)t + \cos(\omega_t - \omega_S)t]$$



Hình 6-4 Mạch điều chế vòng và dạng phổ tương ứng.

Điều chế vòng cho méo nhỏ nhất vì nó khử được các hài bậc lẻ của  $\omega_S$  và các biên tần  $2\omega_t$ .

### c) Điều chế đơn biên

- Khái niệm:

Phổ của tín hiệu điều biên gồm tải tần và hai biên tần, trong đó chỉ có biên tần mang tin tức. Vì hai dải biên tần mang tin tức như nhau nên chỉ cần truyền đi một biên tần là đủ thông tin về tin tức. Tải tần chỉ cần dùng để tách sóng, do đó có thể nén toàn bộ hoặc một phần tải tần trước khi truyền đi. Quá trình điều chế để nhằm tạo ra một dải biên tần gọi là điều chế đơn biên.

Điều chế đơn biên tuy tốn kém nhưng có các ưu điểm sau:

- + Độ rộng dải tần giảm một nửa.
- + Công suất bức xạ yêu cầu thấp hơn cùng với một cự ly thông tin. Vì có thể tập trung công suất của tải tần và một biên tần cho biên tần còn lại.
- + Tạp âm đầu thu giảm do dải tần của tín hiệu hẹp hơn.

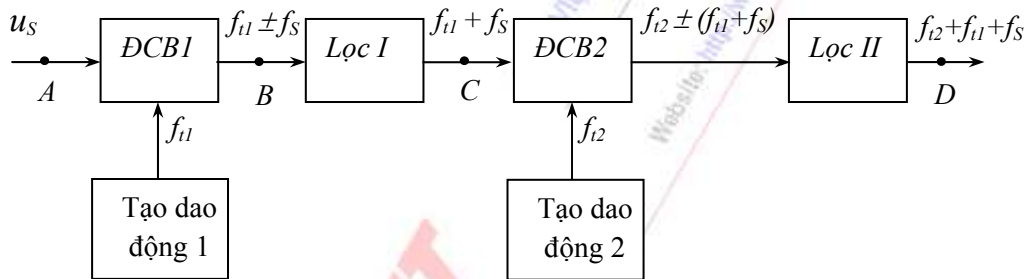
Biểu thức của tín hiệu điều chế đơn biên trên là:

$$u_{ab}(t) = \frac{k}{2} \cdot \widehat{U}_t \cdot \cos(\omega_t + \omega_s)t$$

trong đó  $k = \frac{\widehat{U}_s}{\widehat{U}_t}$  được gọi là hệ số nén tải tin,  $k$  có thể nhận các giá trị từ  $0 \div \infty$ .

- Điều chế đơn biên theo phương pháp lọc.

Từ sự phân tích phổ của tín hiệu điều biên rõ ràng muốn có tín hiệu đơn biên ta chỉ cần lọc bớt một dải biên tần. Nhưng thực tế không làm được như vậy. Khi tải tần là cao tần thì vấn đề lọc để tách ra một dải biên tần gặp khó khăn. Thật vậy, giả thiết tần số thấp nhất của tín tức  $f_{Smin} = 200\text{Hz}$ , lúc đó khoảng cách giữa hai biên tần là  $\Delta f = 2f_{Smin} = 400\text{Hz}$  (xem hình 6-1b). Nếu tải tần  $f_t = 10\text{MHz}$  thì hệ số lọc của bộ lọc  $X = \frac{\Delta f}{f_t} = 4 \cdot 10^{-5}$ , khá nhỏ. Khi đó sự phân bố của hai biên tần gần nhau đến nỗi ngay dùng một mạch lọc Thạch anh cũng rất khó lọc được dải biên tần mong muốn. Do đó trong phương pháp lọc, người ta dùng một bộ biến đổi trung gian để có thể hạ thấp yêu cầu đối với bộ lọc.



Hình 6-5 Sơ đồ khối mạch điều chế đơn biên bằng phương pháp lọc.

### 6.3. ĐIỀU TẦN VÀ ĐIỀU PHA

#### Các công thức cơ bản và quan hệ giữa điều tần và điều pha

Vì giữa tần số và góc pha của một dao động có quan hệ như biểu thức sau, nên dễ dàng chuyển đổi sự biến thiên tần số thành biến thiên về pha và ngược lại.

$$\omega = \frac{d\psi}{dt}$$

Điều tần và điều pha là ghi tin tức vào tải tin làm cho tần số hoặc pha tức thời của tải tin biến thiên theo dạng tín hiệu điều chế.

Khi điều chế tần số hoặc điều chế pha thì tần số hoặc góc pha của dao động cao tần biến thiên tỷ lệ với tín hiệu điều chế và chúng được xác định lần lượt theo biểu thức:

$$\begin{aligned} \omega(t) &= \omega_t + k_{dt} \cdot \widehat{U}_s \cos \omega_s t = \omega_t + \Delta \omega_m \cdot \cos \omega_s t \\ \varphi(t) &= \varphi_o + k_{dp} \cdot \widehat{U}_s \cos \omega_s t = \varphi_0 + \Delta \varphi_m \cdot \cos \omega_s t \end{aligned}$$

Trong đó:  $\omega_t$  là tần số trung tần của tín hiệu điều tần

$k_{dt} \cdot \hat{U}_S = \Delta\omega_m$  và gọi là lượng di tần cực đại.

$k_{dp} \cdot \hat{U}_S = \Delta\varphi_m$  và gọi là lượng di pha cực đại.

Biểu thức của dao động điều tần:

$$u_{dt} = \hat{U}_t \cdot \cos\left(\omega_t t + \frac{\Delta\omega_m}{\omega_S} \cdot \sin \omega_S t + \varphi_0\right)$$

Biểu thức dao động điều pha khi  $\omega = \omega_t = const$ .

$$u_{dp} = \hat{U}_t \cdot \cos(\omega_t t + \Delta\varphi_m \cdot \cos \omega_S t + \varphi_0)$$

Lượng di pha đạt được khi điều pha  $\Delta\varphi = \Delta\varphi_m \cdot \cos \omega_S t$

tương ứng có lượng di tần là:  $\Delta\omega = \frac{d(\Delta\varphi)}{dt} = \Delta\varphi_m \cdot \omega_S \cdot \sin \omega_S t$

Như vậy ta thấy điều tần và điều pha đều làm cho góc pha thay đổi nên thường gọi chung là điều chế góc. Điểm khác nhau cơ bản giữa điều tần và điều pha là lượng di tần khi điều pha tỷ lệ với biên độ của tín hiệu điều chế và tần số điều chế, còn lượng di tần của tín hiệu điều tần tỷ lệ với tín hiệu điều chế mà thôi.

## 6.4. MẠCH ĐIỀU TẦN VÀ ĐIỀU PHA

### 6.4.1. Mạch điều tần

Có thể dùng mạch điều tần trực tiếp hay điều tần gián tiếp.

Mạch điều tần trực tiếp thường được thực hiện bởi các mạch tạo dao động mà tần số dao động riêng của nó được điều khiển bằng điện áp (VCO) hoặc bởi các mạch biến đổi điện áp - tần số. Nguyên tắc thực hiện điều tần trong các bộ tạo dao động là làm biến đổi trị số điện kháng của bộ tạo dao động theo điện áp đặt vào. Phương pháp phổ biến nhất là dùng điốt biến dung (varicap) và tranzito điện kháng.

#### a) Mạch điều tần trực tiếp dùng điốt biến dung.

Điốt biến dung có điện dung mặt ghép biến đổi theo điện áp đặt vào.  $C_D$  được xác định theo biểu thức:

$$C_D = \frac{k}{(u_D + \varphi_k)^\gamma}$$

trong đó  $k$  - hệ số tỷ lệ.

$\varphi_k$  - hiệu điện thế tiếp xúc mặt ghép, với điốt Silic  $\varphi_k \approx 0,7V$

$\gamma$  - hệ số phụ thuộc vật liệu.

Mắc điốt song song với hệ tạo dao động của bộ tạo dao động, đồng thời đặt điện áp điều chế lên điốt thì  $C_D$  thay đổi theo điện áp điều chế, do đó tần số cộng hưởng riêng của bộ tạo dao động cũng biến đổi theo. Trên hình 6-6b là mạch điện bộ tạo dao động điều tần bằng điốt biến dung. Trong mạch điện này điốt được phân cực ngược bởi nguồn  $E_2$ .

Tần số dao động của mạch gần bằng tần số cộng hưởng riêng của hệ dao động và được xác định như sau:

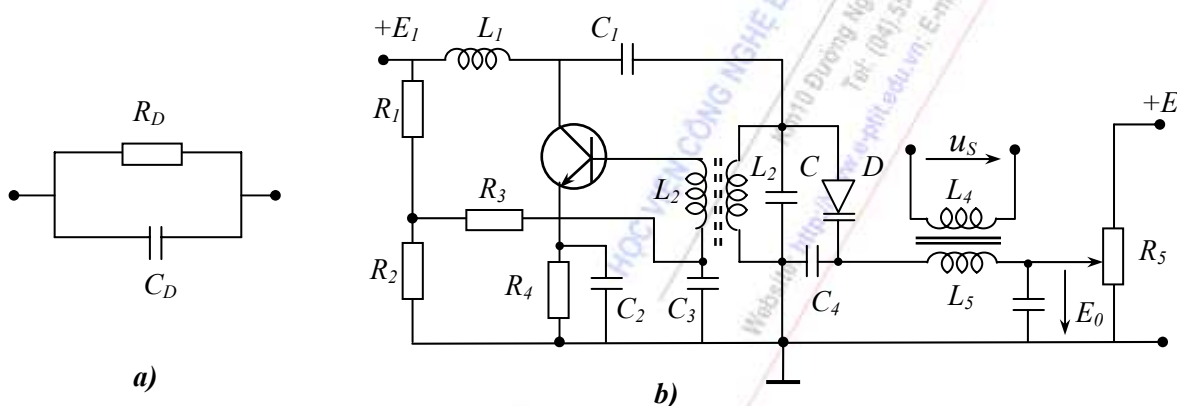
$$f_{ad} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L_3 \cdot (C + C_D)}}$$

Điện áp đặt lên điốt:  $u_D = u_t - u_s - E_0 = \hat{U}_t \cdot \cos \omega_t t - \hat{U}_s \cdot \cos \omega_s t - E_0$

Để điốt luôn được phân cực ngược cần thỏa mãn điều kiện:

$$u_D = u_{D\min} = |-\hat{U}_t - \hat{U}_s - E_0| \leq U_{ngcp}$$

Nguyên lý hoạt động chính của mạch là khi có điện áp tin tức  $u_s$  tác động vào nó sẽ tác động một điện áp ngược lên điốt biến dung D và từ đó giá trị điện dung của điốt sẽ thay đổi làm cho tần số cộng hưởng của mạch thay đổi.



**Hình 6-6 Mạch điều tần dùng điốt biến dung.**

**a) Sơ đồ tương đương của điốt.**

**b) Mạch tạo dao động điều tần bằng điốt biến dung.**

Khi điều tần bằng điốt biến dung phải chú ý những đặc điểm sau:

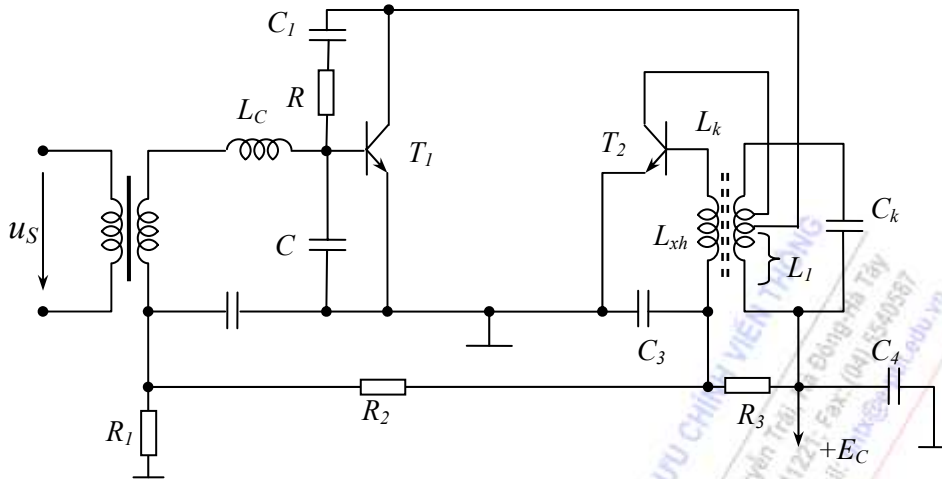
- Chỉ phân cực ngược cho điốt để tránh ảnh hưởng của  $R_D$  đến phẩm chất của hệ tạo dao động nghĩa là đến độ ổn định tần số của mạch.

- Phải hạn chế khu vực làm việc trong đoạn tuyến tính của đặc tuyến  $C_D = f(u_d)$  của điốt biến dung để giảm méo phi tuyến. Lượng di tần tương đối khi điều tần dùng điốt biến dung đạt được khoảng 1%.

- Vì dùng điốt điều tần nên thiết bị điều tần có kích thước nhỏ. Có thể dùng điốt bán dẫn để điều tần ở tần số siêu cao, khoảng vài trăm MHz. Tuy nhiên độ tạp tán của tham số bán dẫn lớn, nên kém ổn định.

**b) Điều tần dùng tranzitodiện kháng.**

Phần tử điện kháng dung tính hoặc cảm tính được mắc song song với hệ dao động của bộ tạo 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 mắc trong mạch hồi tiếp của một tranzito.

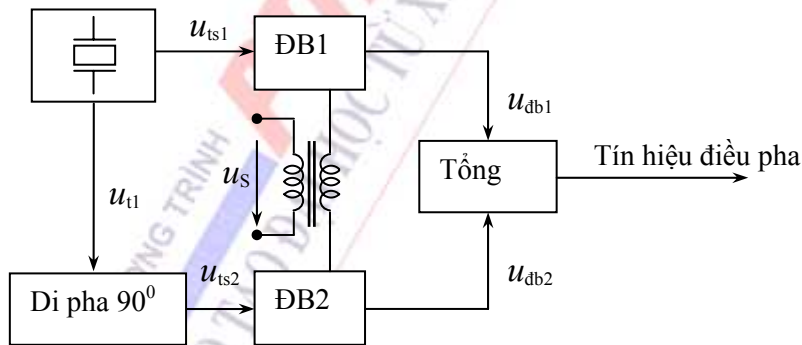


**Hình 6-7 Sơ đồ bộ điều tần bằng phần tử điện kháng.**  
 Các tụ điện từ  $C_1 \div C_4$  là tụ ngắn mạch cao tần;  $L_C$ : cuộn chặn cao tần

Phần tử điện kháng là phân áp RC. Trong đó  $T_1$  là tranzito điện kháng,  $T_2$  là tranzito dao động. Tranzito điện kháng được mắc một phần (trên  $L_1$ ) với hệ dao động. Cũng có thể mắc hai tranzito điện kháng thành một mạch đẩy kéo để tăng lượng di tần.

#### 6.4.2. Mạch điều pha

Mạch điều chế pha theo ArmStrong ở hình 6-8 được thực hiện theo nguyên lý: tải tin từ bộ tạo dao động thạch anh được đưa đến bộ điều biên 1 (ĐB1) và điều biên 2 (ĐB2) lệch pha nhau  $90^\circ$ , còn tín hiệu điều chế  $u_S$  đưa đến hai mạch điều biên ngược pha.



**Hình 6-8 Sơ đồ khối mạch điều pha theo ArmStrong**

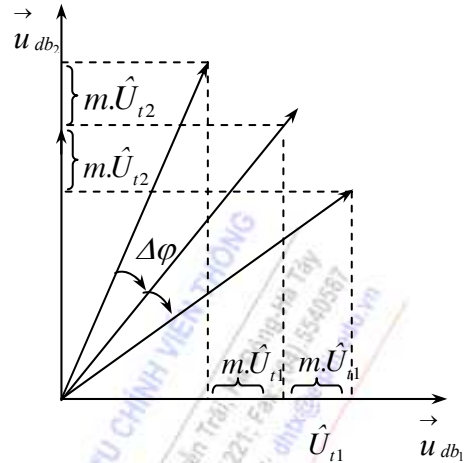
Điện áp đầu ra trên hai bộ điều biên là:

$$u_{db1} = \hat{U}_{t1} \cdot (1 + m \cdot \cos \omega_S t) \cdot \cos \omega_t t = \hat{U}_{t1} \cdot \cos \omega_t t + \frac{m \cdot \hat{U}_{t1}}{2} \cdot [\cos(\omega_t + \omega_S)t + \cos(\omega_t - \omega_S)t]$$

$$u_{db2} = \hat{U}_{t2} \cdot (1 - m \cdot \cos \omega_S t) \cdot \sin \omega_t t = \hat{U}_{t2} \cdot \sin_t t - \frac{m \cdot \hat{U}_{t2}}{2} \cdot [\sin(\omega_t + \omega_S)t + \sin(\omega_t - \omega_S)t]$$

Điện áp  $u_{dp} = u_{db1} + u_{db2}$ . Điều đó được giải thích bằng đồ thị vectơ.

**Hình 6-9 Đồ thị vectơ của tín hiệu điều pha theo mạch Armstrong.**



## 6.5. TÁCH SÓNG

### 6.5.1. Khái niệm

Tách sóng là quá trình lấy lại tín hiệu điều chế. Tín hiệu sau tách sóng phải giống dạng tín hiệu ban đầu. Thực tế tín hiệu điều chế  $u_S$  sau khi qua điều chế và qua kênh thông tin đưa đến bộ tách sóng đã bị méo dạng thành  $u_{S'}$ . Do méo phi tuyến trong bộ tách sóng, nên sau khi tách sóng ta lại nhận được  $u_{S''}$  khác dạng  $u_{S'}$ . Như vậy tín hiệu sau tách sóng thường khác dạng tín hiệu nguyên thủy  $u_{S'}$ . Vì vậy một trong những yêu cầu cơ bản của quá trình tách sóng là méo phi tuyến nhỏ.

Tương ứng với các loại điều chế, ta cũng có các mạch tách sóng sau đây: tách sóng điều biên, tách sóng điều tần, tách sóng điều pha.

### 6.5.2. Tách sóng biên độ

#### a. Các tham số cơ bản

+ Hệ số tách sóng

$$K_{TS} = \frac{\hat{U}_{RTS}}{\hat{U}_{VTS}}$$

Trong đó  $\hat{U}_{VTS}(t)$  và  $\hat{U}_{RTS}(t)$  đều gồm có thành phần một chiều và thành phần biến thiên chậm theo thời gian:

$$\hat{U}_{VTS}(t) = U_0 + u'_S$$

$$\hat{U}_{RTS}(t) = U_0'' + u'_S$$

- Thực tế, đối với quá trình tách sóng chỉ cần quan tâm đến thành phần biến thiên chậm (mang tin tức) mà thôi, do đó thường xác định hệ số tách sóng như sau:

$$K_{TS} = \frac{U_S''}{U_S'}$$

+ Trở kháng vào bộ tách sóng:

$$Z_{VTS} = \frac{\hat{U}_{VTS}}{I_{VTS}} = \frac{\hat{U}_{\omega t}}{\hat{I}_{\omega t}}$$



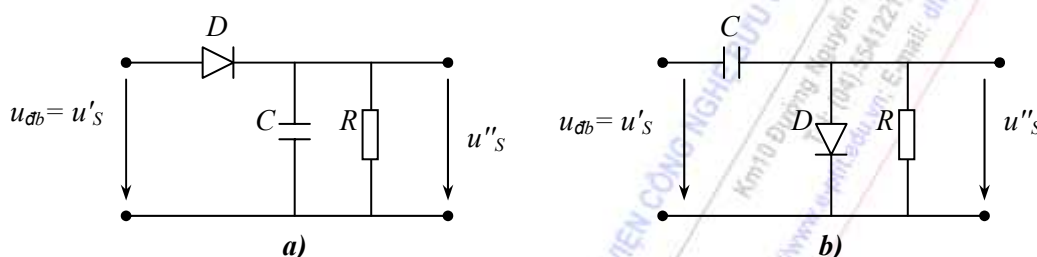
$$+ \text{Méo phi tuyến: } k = \frac{\sqrt{\hat{I}_{2\omega_s}^2 + \hat{I}_{3\omega_s}^2 + \dots}}{\hat{I}_{\omega_s}} \cdot 100\%$$

trong đó  $\hat{I}_{2\omega_s}, \hat{I}_{3\omega_s} \dots$  là thành phần dòng điện các sóng hài của tín hiệu điều chế xuất hiện khi qua mạch tách sóng.

Ở đây không quan tâm đến các sóng hài dòng điện cao tần vì dễ dàng lọc bỏ chúng.

**b) Mạch điện bộ tách sóng biên độ**

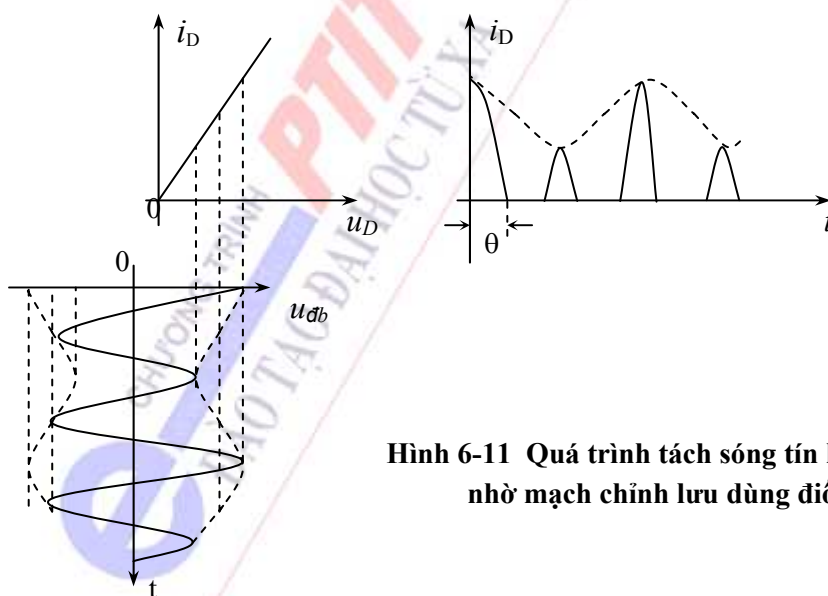
Xét mạch tách sóng biên độ dùng mạch chỉnh lưu mắc nối tiếp hình 6-10. Nếu tín hiệu vào đủ lớn sao cho điốt làm việc trong đoạn thẳng của đặc tuyến như trên hình 6-11 ta có quá trình tách sóng tín hiệu lớn.



**Hình 6-10 Sơ đồ tách sóng biên độ bằng mạch chỉnh lưu.**

a) Tách sóng nối tiếp. b) Tách sóng song song

Trong các sơ đồ hình 6-9 điốt chỉ thông đối với nửa chu kỳ dương của dao động cao tần ở phần đầu vào. Hình bao của dao động nhận được nhờ sự phóng nạp của tụ C (hình 6-10).

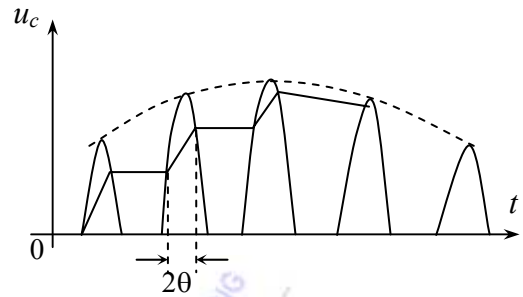


**Hình 6-11 Quá trình tách sóng tín hiệu lớn nhờ mạch chỉnh lưu dùng điốt**

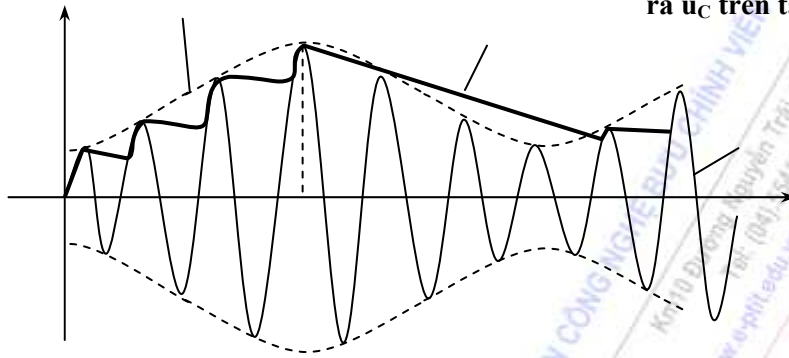
Trong các sơ đồ hình 6-12 phải chọn hằng số thời gian  $\tau = RC$  đủ lớn sao cho dạng điện áp ra tải gần với dạng hình bao của điện áp cao tần ở đầu vào. Thông thường biên độ điện áp vào lớn hơn 1 vôn hiệu dụng và  $R \gg R_i, R_V$  thì có thể tách sóng được điện áp đỉnh. Tuy nhiên cũng không được chọn  $\tau$  quá lớn để tránh méo do điện dung tải gây ra. Điều kiện tổng quát để chọn  $\tau$  là:

$$\frac{1}{\omega_t} \ll \tau = R.C \ll \frac{1}{\omega_s}$$

Trường hợp chọn C lớn quá sẽ gây méo tín hiệu như ở hình 6-13.



Hình 6-12 Đồ thị thời gian điện áp ra  $u_c$  trên tải bộ tách sóng nối tiếp.



Hình 6-13 Hiện tượng méo tín hiệu tách sóng do tải điện dung quá lớn.

Thực tế thường chọn  $RC$  theo điều kiện:

$$\frac{10}{\omega_t} < R.C < \frac{1}{\omega_{S \max}}$$

Muốn dễ dàng thoả mãn cần  $\omega_t \geq 100\omega_{S \max}$

## 6.6. TÁCH SÓNG ĐIỀU TẦN VÀ ĐIỀU PHA

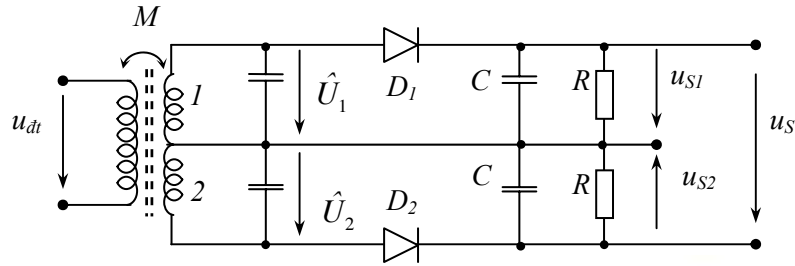
Tách sóng điều tần và điều pha thường được thực hiện theo một trong những nguyên tắc sau:

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

Ta xét một số mạch cụ thể:

### 6.6.1. Mạch tách sóng điều tần dùng mạch lệch cộng hưởng

Hình 6-14 là sơ đồ mạch tách sóng điều tần số dùng mạch lệch cộng hưởng. Đầu vào hai bộ tách sóng biên độ ( $D_1D_2$ ) là hai mạch cộng hưởng được điều chỉnh tại các tần số  $\omega_1$  và  $\omega_2$ . Nếu gọi tần số trung tâm của tín hiệu điều tần đầu vào là  $\omega_l = \omega_t$  thì:  $\omega_1 = \omega_0 + \Delta\omega$ ;  $\omega_2 = \omega_0 - \Delta\omega$ .



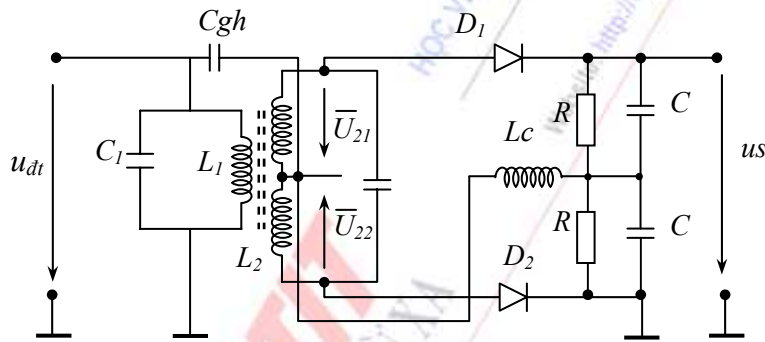
**Hình 6-14 Mạch điện bộ tách sóng điều tần dùng mạch lệch cộng hưởng.**

Sự điều chuẩn mạch cộng hưởng lệch khỏi tần số trung bình của tín hiệu vào làm biên độ điện áp vào của hai bộ tách sóng biên độ ( $U_1, U_2$ ) thay đổi phụ thuộc vào tần số điện áp vào.

Tách sóng dùng mạch lệch cộng hưởng có nhược điểm là khó điều chỉnh cho hai mạch cộng hưởng hoàn toàn đối xứng nên ít được dùng.

### 6.6.2. Mạch tách sóng điều tần dùng mạch cộng hưởng ghép

Mạch tách sóng điều tần dùng mạch cộng hưởng ghép ở hình 6-15. Mạch điện làm việc theo nguyên tắc chuyển biến thiên tần số thành biến thiên về pha, sau đó thực hiện tách sóng pha nhờ tách sóng biên độ.



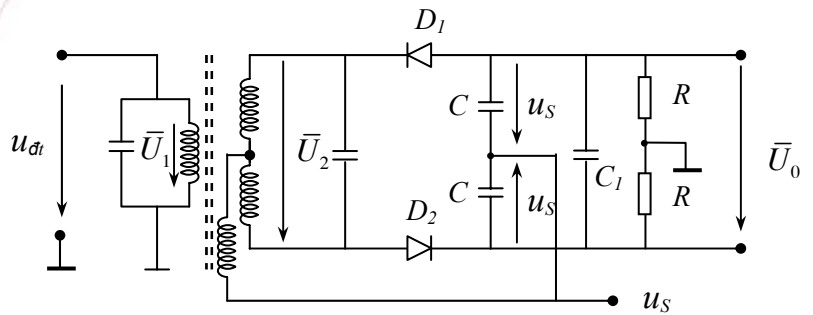
**Hình 6-15 Mạch tách sóng điều tần dùng mạch cộng hưởng ghép.**

Tách sóng dùng mạch cộng hưởng ghép ít gây méo và dễ điều chỉnh vì cả hai mạch đều cộng hưởng ở tần số  $f_0$ . Tuy nhiên điện áp ra trong bộ tách sóng này vừa phụ thuộc tần số vừa phụ thuộc biên độ tín hiệu vào  $|U_1|$  nên nó sinh ra nhiễu biên độ. Để khắc phục nhược điểm này, phải đặt trước mạch tách sóng một mạch hạn chế biên độ.

### 6.6.3. Mạch tách sóng tỷ số

Mạch tách sóng điều tần tỷ số có sơ đồ ở hình 6-16. Các điốt tách sóng được mắc nối tiếp nhau. Mạch vừa làm nhiệm vụ tách sóng vừa làm nhiệm vụ hạn chế biên độ.

Bộ tách sóng tỷ số không có phản ứng với các biến thiên về biên độ ở đầu vào nên tránh được nhiễu biên độ.



**Hình 6-16 Sơ đồ mạch tách sóng tỷ số.**

**6.6.4. Mạch tách sóng pha cân bằng dùng điốt**

Mạch tách sóng pha cân bằng là hai mạch tách sóng biên độ dùng điốt ghép với nhau hình 6-17. Tín hiệu cần tách sóng chính là tín hiệu đã điều pha,  $u_{dp}$  được so sánh về pha với một dao động chuẩn  $u_{ch}$ . Biểu thức  $u_{dp}$  và  $u_{ch}$  như sau:

$$u_{dp} = \hat{U}_1 \cdot \cos[\omega_{01}t + \varphi_{(t)} + \varphi_{01}] = \hat{U}_1 \cdot \cos \varphi_{1(t)}$$

$$u_{ch} = \hat{U}_2 \cdot \cos[\omega_{02}t + \varphi_{02}] = \hat{U}_2 \cdot \cos \varphi_{2(t)}$$

Điện áp đặt lên hai bộ tách sóng tương ứng là:

$$u_{D1} = \hat{U}_1 \cdot \cos[\omega_{01}t + \varphi_{(t)} + \varphi_{01}] + \hat{U}_2 \cdot \cos[\omega_{02}t + \varphi_{02}]$$

$$u_{D2} = -\hat{U}_1 \cdot \cos[\omega_{01}t + \varphi_{(t)} + \varphi_{01}] + \hat{U}_2 \cdot \cos[\omega_{02}t + \varphi_{02}]$$

Thay vào ta có:

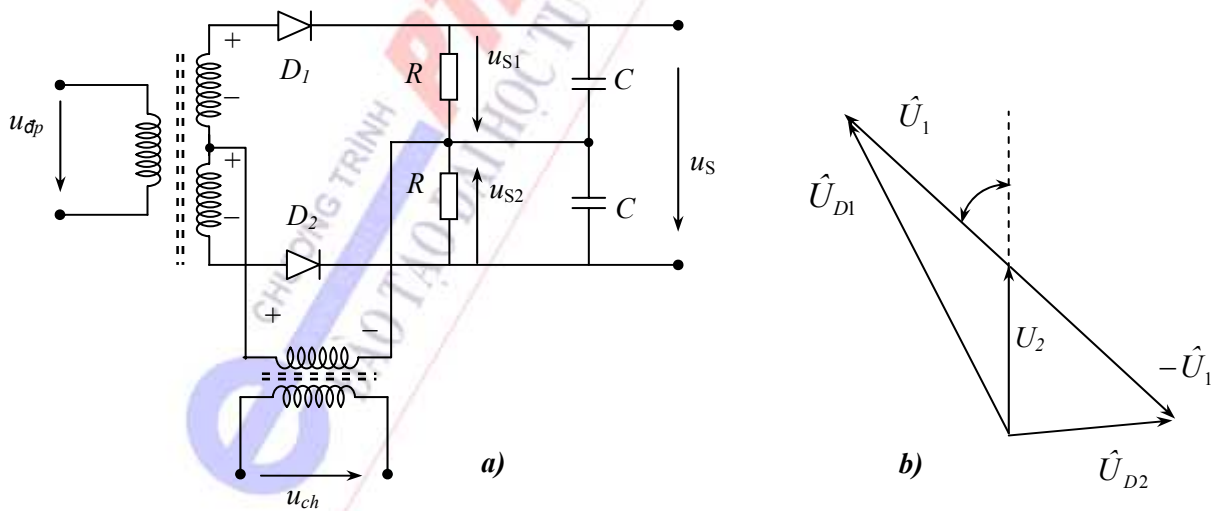
$$u_s = \frac{u_{S1} - u_{S2}}{2} = \frac{U_0}{2} \cdot \frac{u_{S1} - u_{S2}}{u_{S1} + u_{S2}}$$

Hay

$$u_s = \frac{U_0}{2} \cdot \frac{\frac{u_{S1}}{u_{S2}} - 1}{\frac{u_{S1}}{u_{S2}} + 1}$$

Điện áp ra trên bộ tách sóng:  $u_s = u_{S1} - u_{S2}$

$$u_s = K_{TS} \cdot [\sqrt{\hat{U}_1^2 + \hat{U}_2^2 + 2\hat{U}_1 \cdot \hat{U}_2 \cdot \cos \Delta \varphi(t)} - \sqrt{\hat{U}_1^2 + \hat{U}_2^2 - 2\hat{U}_1 \cdot \hat{U}_2 \cdot \cos \Delta \varphi(t)}]$$

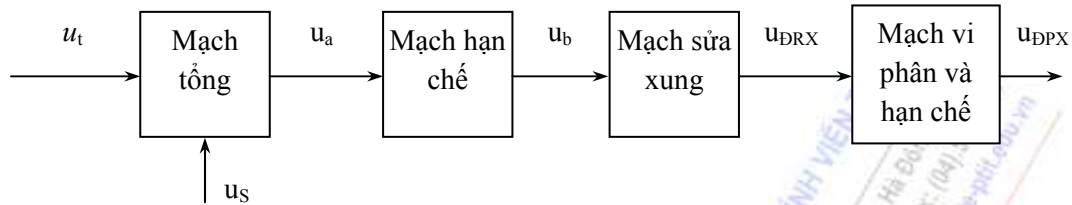


**Hình 6-17: a) Mạch điện bộ tách sóng điều pha dùng điốt.  
b) Đồ thị vector của các điện áp.**

Vậy trị số tức thời của điện áp ra trên bộ tách sóng phụ thuộc hiệu pha của tín hiệu điều pha và tín hiệu chuẩn. Trường hợp  $\omega_{01} = \omega_{02}$  và  $\varphi_{01} = \varphi_{02}$  thì điện áp ra chỉ còn phụ thuộc vào pha của tín hiệu vào  $\varphi(t)$ .

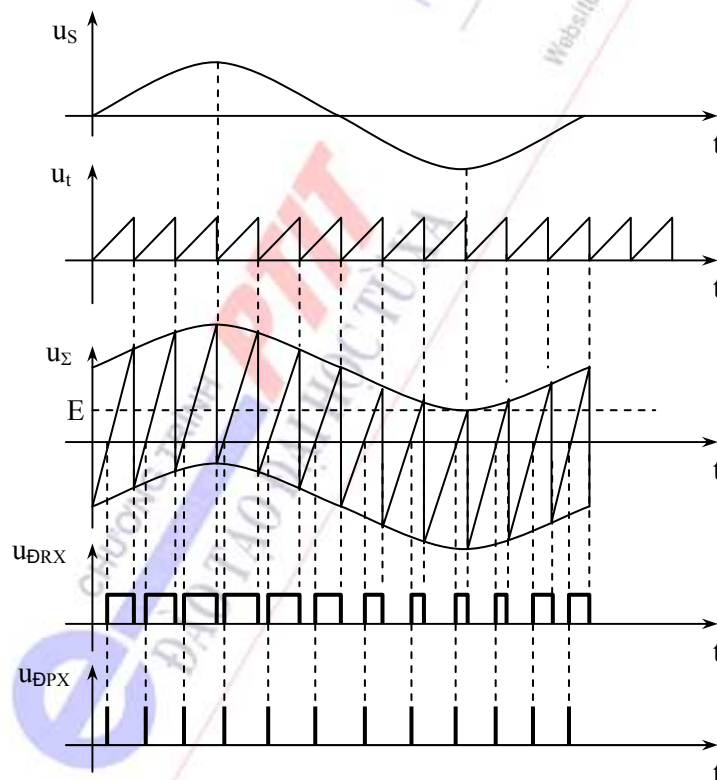
## 6.7. MẠCH ĐIỀU CHẾ XUNG

Điều chế xung thực hiện khi tách sóng mang  $u_t$  là các xung cao tần. Trong điều chế xung có thể thực hiện điều biên xung, điều chế độ rộng xung, điều pha xung, nhưng điều biên xung ít dùng vì tính chống nhiễu kém. Sơ đồ khối mạch điều chế xung được mô tả ở hình 6-18. Tín hiệu điều rộng xung (ĐRX) và tín hiệu điều pha xung (ĐPX) ở hình 6-19.



Hình 6-18 Sơ đồ khối mạch điều chế xung.

Cho  $u_t$  là dãy xung tam giác cao tần còn  $u_s$  là tín tức. Sau mạch tổng ta được điện áp  $u_a$  là dãy xung tam giác biến đổi theo  $u_s$ . Qua mạch hạn chế hai phía mức không và mức  $+E$  cho dãy xung hình thang vuông có độ rộng thay đổi theo  $u_s(u_b)$ . Dãy xung này qua mạch sửa xung được dãy xung vuông có biên độ không đổi, độ rộng thay đổi theo  $u_s$ , đó là tín hiệu điều rộng xung  $u_{DRX}$ . Để có tín hiệu điều pha xung cho dãy xung vuông trên qua mạch vi phân và hạn chế dưới ta được dãy xung có biên độ, độ rộng không đổi xuất hiện sớm muộn theo  $u_s$ , đó là tín hiệu điều pha xung  $u_{DPX}$ .



Hình 6-19 Tín hiệu điều rộng xung và điều pha xung.

## 6.8. TRỘN TẦN, NHÂN TẦN, CHIA TẦN

### 6.8.1. Trộn tần

#### a. Định nghĩa

Trộn tần là quá trình tác dụng vào hai tín hiệu sao cho trên đầu ra bộ trộn tần nhận được các thành phần tần số tổng và hiệu của hai tín hiệu đó (thường lấy hiệu tần số).

Thông thường một trong hai tín hiệu đó là đơn âm (có một vạch phổ), tín hiệu đó gọi là tín hiệu ngoại sai và có tần số  $f_{ns}$ . Tín hiệu còn lại là tín hiệu hữu ích với tần số  $f_{th}$  cố định hoặc biến thiên trong một phạm vi nào đó. Tín hiệu có tần số mong muốn ở đầu ra được tách nhờ bộ lọc, tần số của nó thường được gọi là tần số trung gian  $f_{tg}$ .

Để thực hiện trộn tần phải dùng phần tử phi tuyến (các linh kiện bán dẫn) hoặc dùng phần tử tuyến tính tham số.

### b) Nguyên lý trộn tần

Giả thiết đặc tuyến của phần tử phi tuyến được biểu diễn theo chuỗi Taylor sau đây:

$$i = a_0 + a_1.u + a_2.u^2 + \dots + a_n.u^n + \dots$$

trong đó  $u$  là phần điện áp đặt lên phần tử phi tuyến để trộn tần. Trong trường hợp này

$$u = u_{ns} + u_{th}$$

Giả thiết  $u_{ns} = \hat{U}_{ns} \cdot \cos \omega_{ns} t$

$$u_{th} = \hat{U}_{th} \cdot \cos \omega_{th} t$$

Thay vào biểu thức của  $i$  và biến đổi thì biểu thức cuối cùng sẽ chứa tín hiệu một chiều, thành phần cơ bản  $\omega_{ns}$ ,  $\omega_{th}$ ; các thành phần tần số tổng và hiệu  $\omega_{ns} \pm \omega_{th}$ , thành phần bậc cao  $2\omega_{ns}$ ,  $2\omega_{th}$ . Ngoài ra trong dòng điện còn có các thành phần bậc cao:

$$\omega = |\pm n\omega_{ns} \pm m\omega_{th}|$$

trong đó  $n$ ,  $m$  là những số nguyên dương.

Nếu trên đầu ra bộ trộn tần lấy tín hiệu có tần số  $\omega = \omega_{ns} - \omega_{th}$ , nghĩa là chọn  $n = m = 1$  thì ta có trộn tần đơn giản.

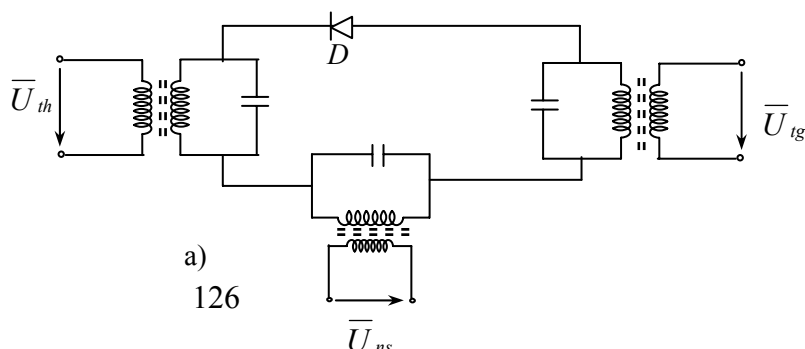
Có trường hợp lấy  $\omega = n.\omega_{ns} - \omega_{th}$  với  $n \geq 2$  ta có trộn tần tổ hợp.

Trộn tần được dùng trong máy thu đổi tần. Nhờ bộ trộn tần, mạch cộng hưởng của các tầng trung gian của máy thu tần được điều chỉnh cộng hưởng ở một tần số cố định. Tần số ngoại sai được đồng chuẩn với tần số tín hiệu vào sao cho  $f_{tg} = f_{ns} - f_{th} = const.$

### c) Mạch trộn tần: (có thể dùng điốt, tranzito hay IC)

#### • Mạch trộn tần dùng điốt.

Mạch trộn tần dùng điốt được dùng rộng rãi ở mọi tần số đặc biệt ở phạm vi tần số cao (trên 1GHz). Mạch trộn tần dùng điốt có nhược điểm là làm suy giảm tín hiệu. Mạch trộn tần dùng điốt được biểu diễn trên hình 6-20.



Hình 6-20  
Mạch trộn tần dùng điốt.



Điện áp  $u_{th}$  và  $u_{ns}$  được cộng trên diốt do tính chất phi tuyến của diốt, trong mạch sẽ xuất hiện các thành phần tần số là tổng và hiệu tần số của  $u_{th}$  và  $u_{ns}$ , tín hiệu trung gian đầu ra được lấy từ mạch cộng hưởng LC với tần số mong muốn.

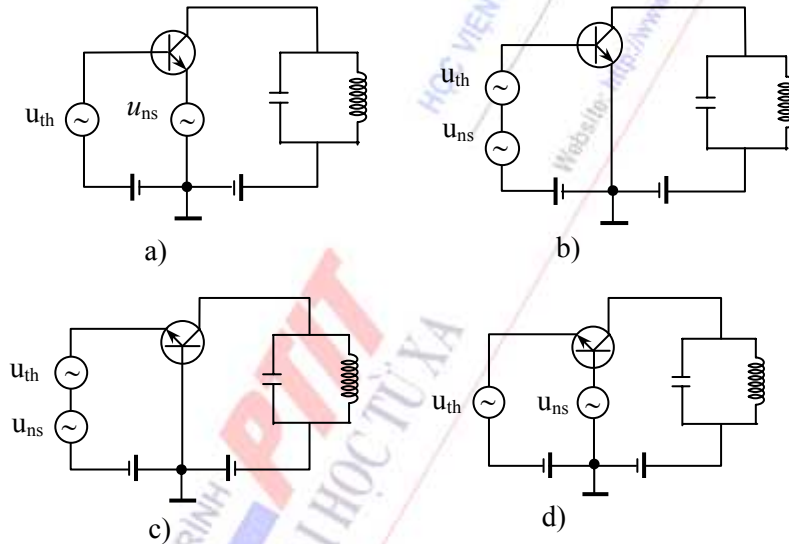
• **Mạch trộn tần dùng tranzito.**

Ưu điểm của mạch trộn tần kiểu này là ngoài nhiệm vụ trộn tần còn khuếch đại nên tín hiệu ra có biên độ lớn. Có thể dùng tranzito trường hay tranzito lưỡng cực để trộn tần. Có thể dùng cách mắc B chung hay E chung.

Mạch mắc B chung dùng ở phạm vi tần số cao hay siêu cao vì tần số giới hạn của nó cao. Tuy nhiên sơ đồ này độ khuếch đại không bằng mạch E chung.

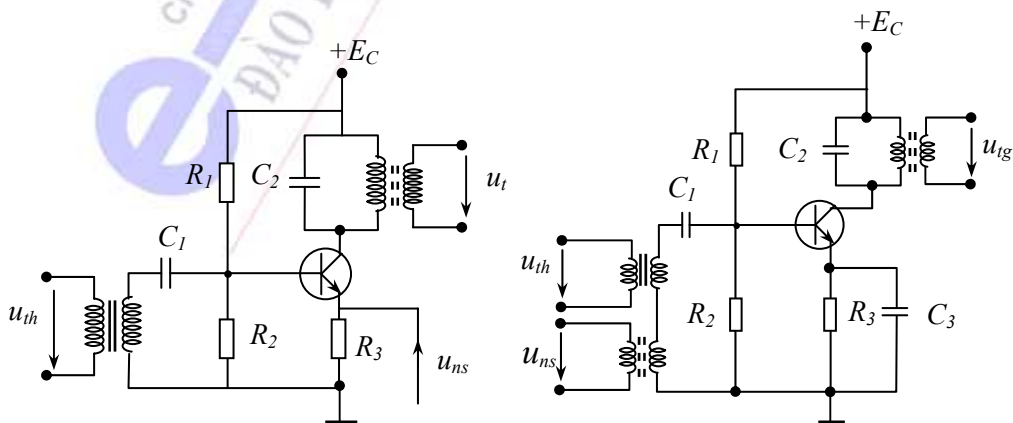
Có thể dùng mạch trộn tần dùng 1 tranzito, hoặc đẩy kéo hoặc đẩy kéo kép.

Các kiểu trộn tần đơn về nguyên lý biểu thị ở hình 6-21. Trên cơ sở đó có các mạch cụ thể khác nhau.

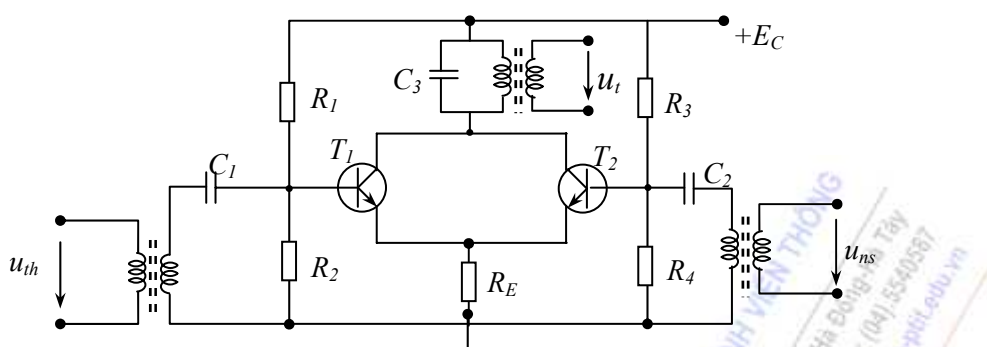


Hình 6-21 Sơ đồ nguyên lý mạch trộn tần dùng tranzito.

• **Mạch trộn tần dùng tranzito đơn cụ thể.**



Hình 6-22 Mạch trộn tần dùng tranzito.



Hình 6-23 Mạch trộn tần dùng tranzito mắc theo kiểu đẩy kéo.

Ở mạch này  $T_1, T_2$  mắc C chung đối với  $u_{th}$  và  $u_{ns}$ .

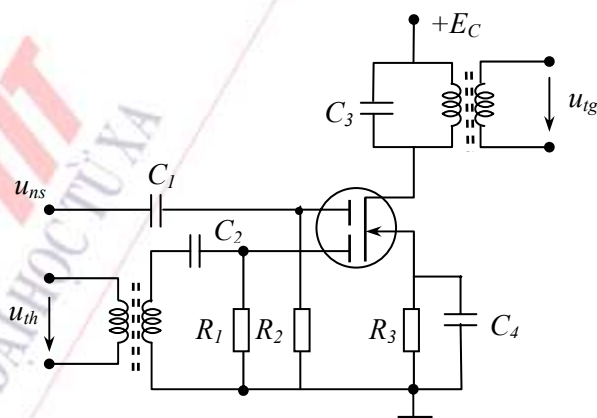
Khi  $u_{ns}$  tăng dòng  $i_{C2}$  tăng  $\rightarrow u_{RE}$  tăng  $\rightarrow i_{C1}$  giảm. Còn khi  $u_{th}$  tăng dòng  $i_{C1}$  tăng  $\rightarrow u_{RE}$  tăng  $\rightarrow i_{C2}$  giảm.

Như vậy  $u_{th}$  và  $u_{ns}$  tạo ra dòng ở đầu ra  $i_C$  ngược pha nhau, do đó dòng điện ra chứa tần số  $\omega_{ns} - \omega_{th}$  cho ra tín hiệu tần số trung gian.

• **Mạch trộn tần dùng tranzito trường**

Mạch trộn tần dùng tranzito trường cũng có kết cấu tương tự. Mạch dùng tranzito có hai cực cửa như hình vẽ.

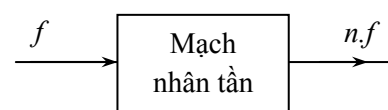
Hình 6-24 Mạch trộn tần dùng tranzito trường có hai cực cửa.



6.8.2. Nhân tần

Nhân tần là quá trình biến đổi tần số khi đầu vào tín hiệu tần số  $f$  thì đầu ra có tần số gấp  $n$  lần tần số đầu vào với  $n$  là số nguyên và  $n > 1$

Mạch nhân tần được dùng khi cần tăng tần số đầu ra. Ví dụ trong máy phát để nâng cao dải tần công tác của máy và để tăng tính ổn định tần số.



Để thực hiện nhân tần cần.

- Tạo ra những tín hiệu nhiều sóng hài.
- Dùng mạch cộng hưởng để lọc lấy sóng hài cần thiết.

Mạch nhân tần có thể dùng điốt hoặc tranzito.

Bộ nhân tần dùng điốt làm việc có hiệu quả ở chế độ phân cực ngược. Điốt có điện dung lớp chắn do đó có thể coi nó như một tụ điện (điốt biến dung). Chính vì vậy mà bộ nhân tần dùng điốt còn gọi là bộ nhân tần dung tính. Khi có điện áp tác dụng vào điốt thì điện dung thay đổi nên dòng qua nó thay đổi, dòng qua nó chứa nhiều sóng hài. Ta dùng mạch lọc để lấy sóng hài cần thiết.

Thực tế thấy rằng nhân tần dùng điốt biến dung tổn hao công suất không đáng kể nên khi nhân hai thì hiệu suất đạt 57%, còn nhân ba thì hiệu suất thấp.

• **Mạch điện nguyên lý.**

Mạch cộng hưởng bên trái cộng hưởng ở tần số tín hiệu vào  $\omega_1$  còn mạch cộng hưởng bên phải cộng hưởng ở tần số  $n\omega_1$ .

Mạch nhân tần dùng tranzito làm việc ở chế độ C. Muốn vậy chuyển tiếp phát phải được phân cực ngược. Các nửa chu kỳ dương của tín hiệu vào khai thông chuyển tiếp cực E và tạo ra các xung dòng cực C. Đồng thời quá trình tạo hài có cả quá trình khuếch đại.

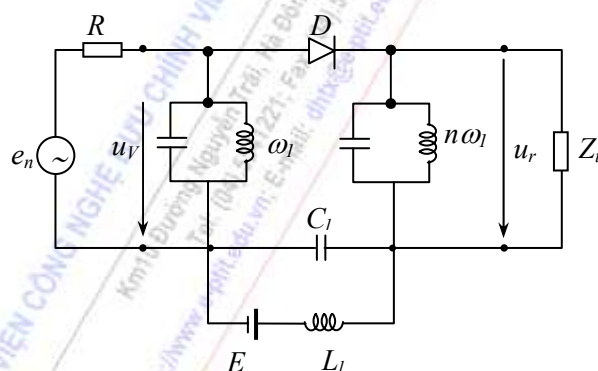
Tại cực C ta mắc mạch cộng hưởng với tần số cộng hưởng  $f_{ch} = n.f_v$  thì nhận được sóng hài mong muốn.

Để có hiệu suất cao nhất cần chọn góc cắt  $\theta$  thích hợp.

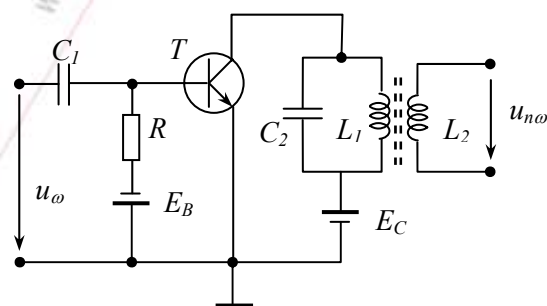
$$\text{Thực tế } \theta \text{ cần chọn} = \frac{120^\circ}{n}$$

$$\text{Nhân hai cần chọn } \theta = 60^\circ$$

$$\text{Nhân ba cần chọn } \theta = 40^\circ$$



Hình 6-25 Mạch nhân tần dùng điốt

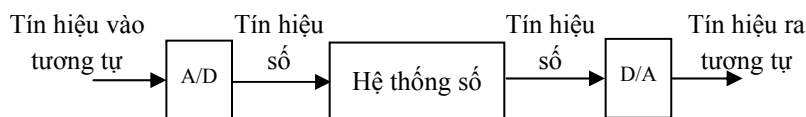


Hình 6-26 Mạch nhân tần dùng tranzito

**6.9. CHUYỂN ĐỔI TƯƠNG TỰ - SỐ (A/D) VÀ SỐ - TƯƠNG TỰ (D/A)**

Ngày nay, hệ thống số được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực kỹ thuật khác nhau. Số hoá và xử lý số đang trở thành xu thế tất yếu của các thiết bị tính toán, viễn thông, phát thanh, truyền hình, y tế ... Tuy nhiên, đại bộ phận tín hiệu tự nhiên như tiếng nói, hình ảnh, nhiệt độ, tốc độ, ... lại là các đại lượng tương tự. Do đó, muốn đưa các tín hiệu này vào một hệ thống số để xử lý, ta cần biến đổi chúng sang dạng số. Thiết bị đóng chức năng đó được gọi là *bộ biến đổi tương tự (analog) sang số (Digital)* thường được gọi tắt là *bộ A/D*. Nói khác đi, bộ A/D thực hiện việc số hoá tín hiệu tương tự.

Một mạch logic có chức năng ngược lại được gọi là *bộ biến đổi số sang tương tự* hay ngắn gọn là *bộ D/A*. Hình 6-27 chỉ ra vị trí của A/D và D/A trong một hệ thống xử lý số tín hiệu.



Hình 6-27 Mô hình một hệ thống xử lý số tín hiệu.

Như vậy, A/D và D/A đóng vai trò là phần tử giao diện giữa hệ thống số và tương tự. Trong một hệ thống thông tin thoại A/D, D/A luôn luôn đi cặp với nhau. Tuy nhiên, trong một số trường hợp, như hệ thống xử lý tín hiệu điều khiển thì có thể không cần D/A.

### 6.9.1. Chuyển đổi A/D

#### a) Khái niệm chung

Quá trình biến đổi một tín hiệu tương tự sang dạng số được minh họa bởi đặc tuyến truyền đạt trên hình 6-28.

Tín hiệu tương tự  $U_A$  được chuyển thành một tín hiệu có dạng bậc thang đều. Với đặc tuyến truyền đạt như vậy, một phạm vi giá trị của  $U_A$  được biểu diễn một giá trị đại diện số thích hợp. Các giá trị đại diện số là các giá trị rời rạc. Cách biểu diễn phổ biến nhất là dùng mã nhị phân (hệ cơ số 2) để biểu diễn tín hiệu số.

Tổng quát, gọi tín hiệu tương tự là  $S_A(U_A)$ , tín hiệu số là  $S_D(U_D)$  thì  $S_D$  được biểu diễn dưới dạng của nhị phân là:

$$S_D = b_{n-1} \cdot 2^{n-1} + b_{n-2} \cdot 2^{n-2} + \dots + b_0 \cdot 2^0$$

Trong đó các hệ số  $b_k = 0$  hoặc  $1$  (với  $k = 0$  đến  $k = n-1$ ) và được gọi là bit.

$b_{n-1}$  được gọi là bit có nghĩa lớn nhất (MSB) tương ứng với cột đứng đầu bên trái của dãy mã số. Muốn biến đổi giá trị của MSB ứng với sự biến đổi của tín hiệu của giải làm việc.

$b_0$  gọi là bit có nghĩa nhỏ nhất (LSB) ứng với cột đứng đầu bên phải của dãy mã số. Mỗi biến đổi của tín hiệu là một mức lượng tử (một nấc của hình bậc thang).

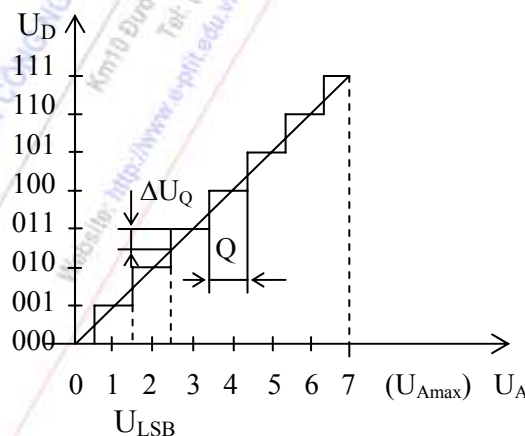
Với một mạch biến đổi có  $N$  bit tức là có  $N$  số hạng trong từ mã nhị phân thì một nấc trên hình bậc thang chiếm một giá trị.

$$Q = U_{LSB} = \frac{U_{Amax}}{2^N - 1}$$

trong đó  $U_{Amax}$  là giá trị cực đại cho phép tương ứng của điện áp tương tự ở đầu vào A/D.

Giá trị  $U_{LSB}$  hay  $Q$  gọi là mức lượng tử.

Do tín hiệu số là tín hiệu rời rạc nên trong quá trình chuyển đổi A/D xuất hiện một sai số gọi là sai số lượng tử hoá, được xác định như sau:



Hình 6-28: Đặc tuyến truyền đạt của mạch biến đổi A/D.

$$\Delta U_Q = \frac{1}{2} \cdot Q$$

Khi chuyển đổi A/D phải thực hiện lấy mẫu tín hiệu tương tự. Để đảm bảo khôi phục lại tín hiệu một cách trung thực tần số lấy mẫu phải thỏa mãn điều kiện sau:

$$f_M \geq 2 \cdot f_{t_{\max}} \approx 2 \cdot B$$

trong đó  $f_{t_{\max}}$  là tần số cực đại của tín hiệu.

$B$  là dải tần số của tín hiệu.

Theo định lý lấy mẫu, nếu điều kiện  $f_M \geq 2 \cdot f_{t_{\max}} \approx 2 \cdot B$  thỏa mãn thì không có sự trùng lặp giữa phổ cơ bản và các thành phần phổ khác sinh ra do quá trình lấy mẫu.

### b) Các tham số cơ bản của bộ chuyển đổi A/D.

\* **Giải biên đổi của điện áp tín hiệu tương tự ở đầu vào** là khoảng điện áp mà bộ chuyển đổi A/D thực hiện được.

Khoảng điện áp đó có thể lấy trị số từ 0 đến giá trị dương hoặc âm nào đó hoặc cũng có thể là điện áp hai cực tính từ  $-U_{Am}$  đến  $+U_{Am}$

\* **Độ chính xác của bộ chuyển đổi A/D.**

Tham số đầu tiên đặc trưng cho độ chính xác của bộ A/D là độ phân biệt. Ta biết rằng đầu ra của bộ A/D là các giá trị số sắp xếp theo quy luật của một loại mã nào đó. Số các số hạng của mã số đầu ra tương ứng với dải biến đổi của điện áp vào, cho biết mức chính xác của phép biến đổi. Ví dụ: 1 bộ A/D có số bit đầu ra  $N=12$  có thể phân biệt được  $2^{12} = 4096$  mức trong giải biên đổi điện áp của nó. Độ phân biệt của bộ A/D được ký hiệu là  $Q$  chính là giá trị của một mức lượng tử hoá hoặc còn gọi là 1 LSB.

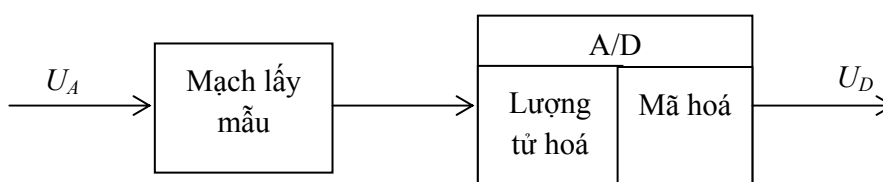
Trong thực tế thường dùng số bit  $N$  để đặc trưng cho độ chính xác, lúc đó phải hiểu ngầm rằng giải biên độ điện áp vào coi như không đổi.

Thông thường các bộ A/D có số bit từ 3 đến 12. Có những bộ A/D đạt độ chính xác 14 đến 16 bit.

\* **Tốc độ chuyển đổi:**

Tốc độ chuyển đổi cho biết kết quả chuyển đổi trong một giây được gọi là tần số chuyển đổi  $f_c$ . Cũng có thể dùng tham số thời gian chuyển đổi  $T_c$  để đặc trưng cho tốc độ chuyển đổi.  $T_c$  là thời gian cần thiết cho một kết quả chuyển đổi. Chú ý rằng  $f_c \neq \frac{1}{T_c}$ . Thường  $f_c < \frac{1}{T_c}$ . Khi bộ chuyển A/D có tốc độ cao thì độ chính xác giảm hoặc ngược lại, nghĩa là tốc độ chuyển đổi và độ chính xác mâu thuẫn với nhau. Tùy theo yêu cầu sử dụng mà dung hoà giữa các yêu cầu đó một cách hợp lý.

### c. Các bước cơ bản của quá trình biến đổi A/D



Hình 6-29 Sơ đồ khối minh họa nguyên tắc làm việc của bộ A/D



Để chuyển đổi tín hiệu tương tự thành tín hiệu số phải qua 3 bước sau: (xem đồ thị thời gian hình 6-29).

- Lấy mẫu, giữ mẫu.
- Lượng tử hoá.
- Mã hoá.

Lấy mẫu tín hiệu tương tự tại những thời điểm khác nhau và cách đều nhau (rời rạc hoá tín hiệu về mặt thời gian).

Giữ cho biên độ điện áp tại các thời điểm lấy mẫu không đổi trong quá trình chuyển đổi tiếp theo.

Tín hiệu ra mạch lấy mẫu được đưa đến mạch lượng tử hoá để làm tròn với độ chính xác  $\pm \frac{Q}{2}$ . Mạch lượng tử hoá có nhiệm vụ rời rạc tín hiệu tương tự về mặt biên độ.

Nhờ quá trình lượng tử hoá một tín hiệu tương tự bất kỳ được biểu diễn bởi một số nguyên lần mức lượng tử, nghĩa là:

$$Z_{Di} = \text{Phần nguyên} \frac{X_{Ai}}{Q} = \frac{X_{Ai}}{Q} - \frac{\Delta X_{Ai}}{Q}$$

Trong đó:  $X_{Ai}$  là tín hiệu tương tự ở thời điểm  $i$

$Z_{Di}$ : tín hiệu số ở thời điểm  $i$

$Q$ : Mức lượng tử

$\Delta X_i$ : Số dư trong phép lượng tử hoá

Trong phép chia trên chỉ lấy phần nguyên của kết quả, phần dư còn lại (không chia hết cho  $Q$ ) chính là sai số lượng tử hoá. Như vậy, quá trình lượng tử hoá thực chất là quá trình làm tròn số. Lượng tử hoá thực hiện theo nguyên tắc so sánh. Tín hiệu cần chuyển đổi được so sánh với một loạt các đơn vị chuẩn  $Q$ .

Sau mạch lượng tử hoá là mạch mã hoá. Trong mạch mã hoá, kết quả lượng tử hoá được sắp xếp lại theo một quy luật nhất định phụ thuộc vào loại mã yêu cầu trên đầu ra của bộ chuyển đổi.

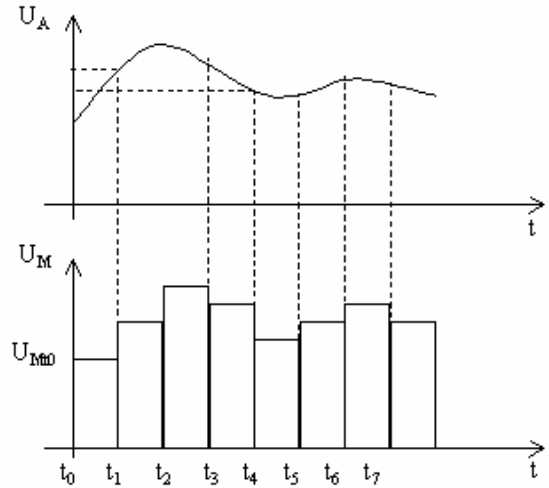
Trong nhiều loại mạch A/D quá trình lượng tử hoá và mã hoá xảy ra đồng thời, không thể tách rời hai quá trình đó.

Phép lượng tử hoá và phép mã hoá được gọi chung là mạch chuyển đổi A/D.

#### d. Một số phương pháp chuyển đổi A/D.

Có nhiều phương pháp chuyển đổi A/D, người ta phân ra bốn phương pháp biến đổi sau:

\* *Biến đổi song song.*



Hình 6-30.



Trong phương pháp chuyển đổi song song, tín hiệu được so sánh cùng một lúc với nhiều giá trị chuẩn. Do đó tất cả các bit được xác định đồng thời và đưa đến đầu ra.

*\* Biến đổi nối tiếp theo mã đếm*

Ở đây quá trình so sánh được thực hiện lần lượt từng bước theo quy luật của mã đếm. Kết quả chuyển đổi được xác định bằng cách đếm số lượng giá trị chuẩn có thể chứa được trong giá trị tín hiệu tương tự cần chuyển đổi.

*\* Biến đổi nối tiếp theo mã nhị phân*

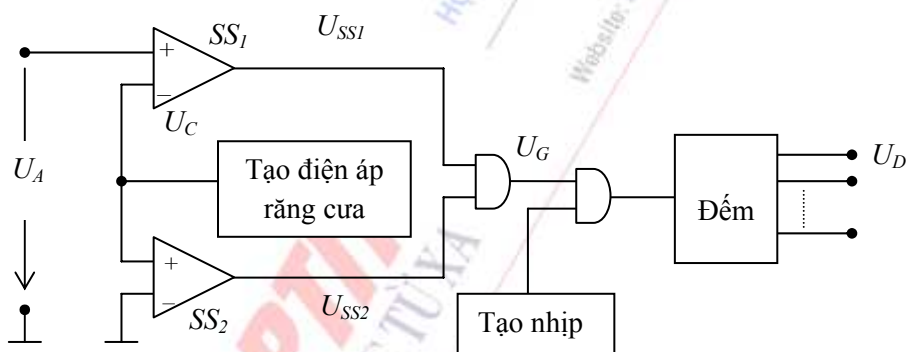
Quá trình so sánh được thực hiện lần lượt từng bước theo quy luật mã nhị phân. Các đơn vị chuẩn dùng để so sánh lấy các giá trị giảm dần theo quy luật mã nhị phân, do đó các bit được xác định lần lượt từ bit có nghĩa lớn nhất (MSB) đến bit có nghĩa nhỏ nhất (LSB)

*\* Biến đổi song song - nối tiếp kết hợp:* Trong phương pháp này, qua mỗi bước so sánh có thể xác định được tối thiểu là 2 bit đồng thời.

Ta xét một vài phương pháp biến đổi A/D sau:

*\* Chuyển đổi A/D theo phương pháp đếm đơn giản*

Hình 6-31 biểu diễn sơ đồ khối và nguyên tắc làm việc của mạch. Hình 6-32 là đồ thị thời gian điện áp ra của các khối hình 6-31.

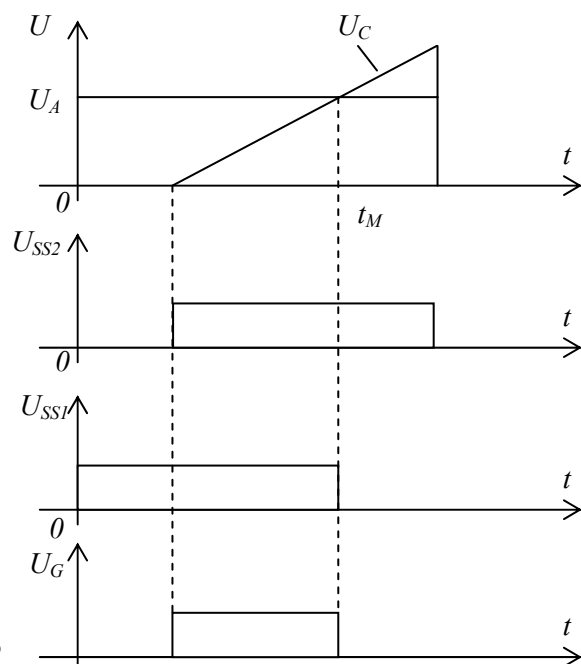


Hình 6-31.

Điện áp vào  $U_A$  được so sánh với điện áp chuẩn dạng răng cưa  $U_C$  nhờ bộ so sánh  $SS_1$ . Khi  $U_A > U_C$  thì  $SS_1 = 1$ , khi  $U_A < U_C$  thì  $SS_1 = 0$ .

Bộ so sánh  $SS_2$  so sánh điện áp răng cưa với mức 0V (đất).  $U_{SS1}$  và  $U_{SS2}$  được đưa đến một mạch "Và". Xung ra  $U_G$  có độ rộng tỷ lệ với độ lớn của điện áp vào tương tự  $U_A$ , với giả thiết xung chuẩn dạng răng cưa có độ dốc không đổi.

Mạch "Và" thứ 2 chỉ cho ra các xung nhịp khi tồn tại  $U_G$ , nghĩa là trong khoảng thời gian  $0 < U_C < U_A$ . Mạch đếm đầu ra sẽ đếm số xung

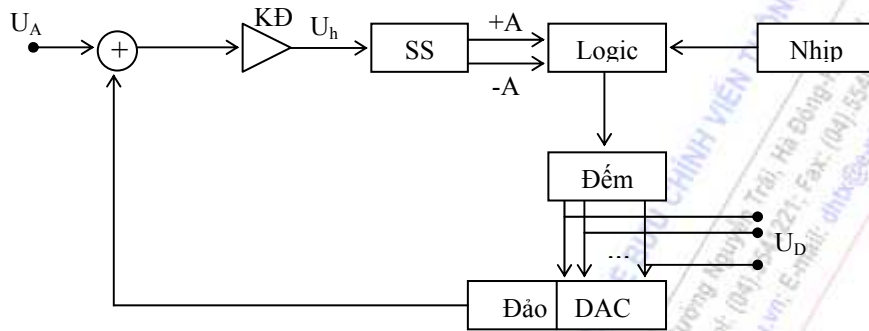


Hình 6-32.

nhịp đó. Đương nhiên, số xung này tỷ lệ với độ lớn của  $U_A$ .

**\* Chuyển đổi A/D nối tiếp dùng vòng hồi tiếp.**

Sơ đồ khối của bộ chuyển đổi A/D theo phương pháp này biểu diễn trên hình 6-33.



**Hình 6-33 Sơ đồ khối A/D nối tiếp dùng vòng hồi tiếp.**

Điện áp tương tự  $U_A$  được so sánh với một giá trị ước lượng cho trước  $U_M$ .

Khi:  $U_A > U_M$  thì  $U_h > 0$ ;

$U_A < U_M$  thì  $U_h < 0$ ;

Trong đó  $U_h$  là điện áp sai số giữa  $U_A$  và  $U_M$ . Điện áp hiệu dụng  $U_h$  được khuếch đại rồi đưa đến mạch so sánh SS. Nếu  $U_h > 0$  thì đầu ra SS có  $+A=1$ . Nếu  $U_h < 0$  thì đầu ra SS có  $-A=1$

Kết quả so sánh được đưa vào một mạch logic đồng thời với tín hiệu nhịp. Tùy thuộc vào tín hiệu ra SS, tại những thời điểm có xung nhịp mạch logic sẽ điều khiển bộ đếm sao cho ứng với  $+A$  thì bộ đếm sẽ đếm thuận và  $-A$  thì bộ đếm sẽ đếm ngược. Nếu bộ đếm được kết cấu theo quy luật mã nhị phân thì trên đầu ra A/D sẽ có tín hiệu số dưới dạng mã đó. Tín hiệu đi được một vòng ứng với một chu kỳ của xung nhịp.

Tín hiệu số xác định được trong bước so sánh thứ nhất qua D/A sẽ dẫn ra được giá trị ước lượng mới để so sánh với  $U_A$  trong bước tiếp theo. Quá trình này được lặp lại cho đến khi  $|U_h| < \frac{Q}{2}$ ; lúc đó  $+A = -A = 0$ , do đó mạch đếm giữ nguyên trạng thái và ta nhận được kết quả chuyển đổi chính xác của  $U_A$  với N bit yêu cầu.

So sánh với các phương pháp đã xét, ở đây mạch đơn giản, các linh kiện sử dụng lặp lại nhiều lần. Mạch làm việc với tốc độ không cao lắm nhưng chính xác.

**6.9.2. Chuyển đổi D/A**

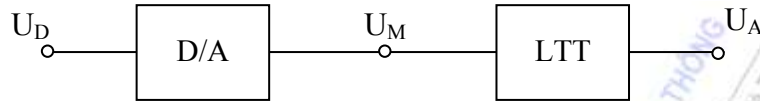
**a) Khái niệm chung**

Chuyển đổi số-tương tự (D/A) là quá trình tìm lại tín hiệu tương tự từ N số hạng (N bit) đã biết của tín hiệu số, với độ chính xác là một mức lượng tử từ 1 LSB.

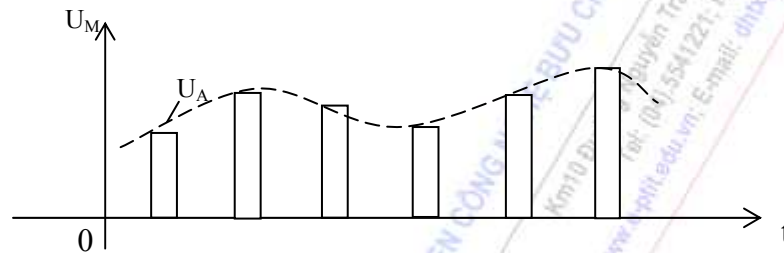
Chuyển đổi D/A không phải là phép nghịch đảo của chuyển đổi A/D, vì không thể thực hiện phép nghịch đảo của quá trình lượng tử hóa.

Để lấy lại tín hiệu tương tự từ tín hiệu số, dùng sơ đồ nguyên tắc trên hình 6-34.

Theo sơ đồ này thì quá trình chuyển đổi số- tương tự là quá trình tìm lại tín hiệu tương tự đã lấy mẫu được. Tín hiệu đầu ra là tín hiệu rời rạc theo thời gian như trên hình 6-16. Tín hiệu này được đưa qua một bộ lọc thông thấp lý tưởng. Đầu ra bộ lọc được tín hiệu  $U_A$  biến đổi liên tục theo thời gian, đó là tín hiệu nội quy của  $U_M$ .

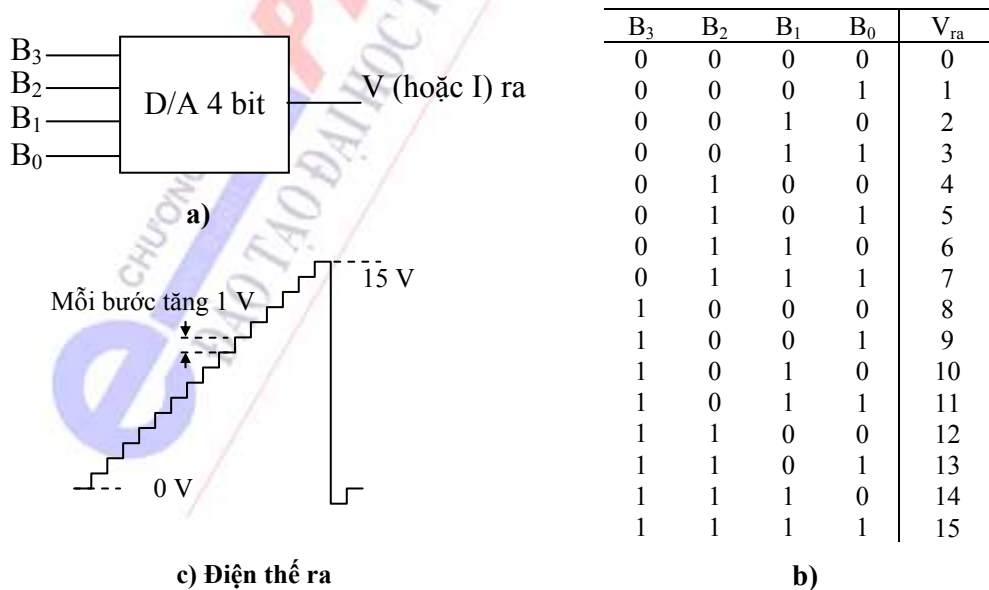


Hình 6-34 Sơ đồ khối bộ biến đổi tìm lại tín hiệu tương tự từ tín hiệu số.



Hình 6-35 Đồ thị thời gian của tín hiệu sau mạch chuyển đổi D/A.

Để đơn giản, ta có thể xét bộ D/A 4 bit có sơ đồ khối như chỉ ở hình 6-36a. Giả sử điện thế ra tăng 1 V theo mỗi bước biến đổi thì số bước sẽ ít hơn số trạng thái vào là 1. Sự thay đổi điện thế ra theo mỗi bước được gọi là *kích thước bước* hay *độ phân giải*. Như vậy, độ phân giải là sự thay đổi bé nhất có thể xuất hiện ở điện thế ra. Hình 6-36b và 6-36c mô tả sự gia tăng của điện thế ra theo từng bước biến đổi. Từ bảng trạng thái, thấy rằng điện thế ra lớn nhất hay điện thế toàn thang, được ký hiệu là  $V_{FS}$ , sẽ là 15 V.



Hình 6-36.

b. Tham số chính của bộ D/A

\* *Độ phân giải*

Độ phân giải là sự biến đổi nhỏ nhất có thể thực hiện được ở lối ra tương ứng với một biến đổi trên đầu vào. Độ phân giải thường được tính theo phần trăm. Công thức tính là:

$$\text{Độ phân giải \%} = \frac{1}{2^n - 1} \times 100\%$$

Ở đây,  $n$  là số bit vào. Rõ ràng, độ phân giải phụ thuộc số bit; số bit càng nhiều, độ phân giải càng cao.

Độ phân giải % cũng có thể được tính theo công thức:

$$\text{Độ phân giải \%} = (\text{Kích thước bước} / V_{FS}) \times 100\%$$

Trong đó,  $V_{FS}$  là điện thế ra lớn nhất hay hay điện thế toàn thang. Ví dụ,  $V_{FS}$  của bộ biến đổi D/A hình 6-31 là 15 V.

Độ phân giải cho biết khả năng phục hồi chính xác điện thế tương tự của một bộ biến đổi.

#### \* Độ chính xác

Độ sai lệch giữa điện thế phục hồi được so với giá trị thực của nó phụ thuộc không chỉ vào kích thước bước mà còn phụ thuộc sai số các linh kiện cấu thành bộ biến đổi. Sai lệch gây ra do các nguyên nhân trên được thể hiện qua độ chính xác, tính theo % hoặc sai lệch cực đại so với giá trị toàn thang. Có hai cách biểu diễn độ chính xác của bộ biến đổi D/A như sau.

- Độ sai lệch toàn thang

#### \* Độ sai lệch toàn thang

là độ lệch cực đại của điện thế ra toàn thang so với giá trị thực của nó. Ví dụ, một bộ D/A có độ chính xác là  $\pm 0,1\%$  và giá trị toàn thang là 10 V thì sai lệch cực đại toàn thang sẽ là :

$$\text{Sai lệch cực đại} = \pm 0,1\% * 10 \text{ V} = \pm 10 \text{ mV.}$$

#### \* Độ sai lệch tuyến tính

Độ tuyến tính sai phân là độ lệch cực đại cho phép của kích thước bước so với giá trị kích thước bước lý thuyết và cũng được tính theo %. Ví dụ, một bộ D/A có kích thước bước là 0,625 V. Nếu sai số tuyến tính toàn thang của nó là  $\pm 0,01\%$  thì kích thước của bước có thể lệch đi  $0,625 \text{ V} \times 0,01\% = 0,0625 \text{ mV}$ .

#### \* Thời gian xác lập

Thời gian xác lập thể hiện tốc độ hoạt động của bộ biến đổi. Đây là thời gian cần thiết để lối ra của bộ D/A biến đổi từ 0 đến giá trị lớn nhất của thang tương ứng với đầu vào nhị phân biến thiên từ “0” đến toàn “1”. Trong thực tế, thời gian xác lập được đo khi đầu ra xác lập được  $\pm 1/2$  lớn của bước. Ví dụ, một bộ D/A có độ phân giải là 10 mV, thời gian xác lập được đo khi đầu ra đạt 5 mV của giá trị toàn thang.

Thời gian xác lập của các D/A thường vào khoảng 50 ns đến 10 $\mu$ s. Các bộ khuếch đại thuật toán trong mạch biến đổi thường gây ra sự trễ tín hiệu từ 300 ns đến 2,5  $\mu$ s. Do đó, loại D/A theo dòng ra sẽ có tốc độ biến đổi nhanh hơn loại theo áp.

#### \* Điện thế dịch

Một D/A lý tưởng sẽ có điện thế trên đầu ra của nó đúng bằng không khi tín hiệu nhị phân trên đầu vào lấy giá trị toàn “0”. Trên thực tế, điều này khó đạt được và trên đầu ra của bộ D/A

luôn tồn tại một điện thế nhỏ. Điện thế này có tên là điện thế dịch. Điện thế dịch sẽ gây ra sai lệch giá trị điện thế biến đổi, gọi là lỗi trượt. Để tránh lỗi trượt, cần phải hiệu chỉnh điện thế dịch.

**c. Ví dụ mạch biến đổi D/A.**

**\* Mạch dùng mảng điện trở  $2^n R$**

Ta quay trở lại với hình 6-36a. Khi đưa tới đầu vào bộ D/A một số nhị phân 4 bit, trên đầu ra của nó sẽ xuất hiện một dòng điện bằng tổng các dòng điện thành phần, nghĩa là :

$$I_{T\text{ổng}} = I_3 + I_2 + I_1 + I_0$$

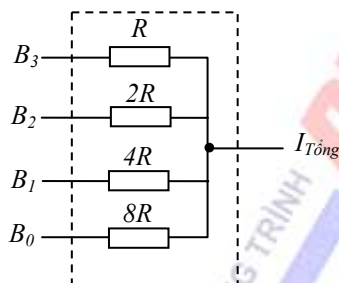
trong đó, các chỉ số 0, 1, 2, 3 ngầm chỉ trọng số tương ứng các lối vào. Dòng điện thành phần rõ ràng là phải tỷ lệ thuận với trọng số. Từ công thức trên, dễ nhận thấy rằng, phần tử thực hiện phép biến đổi trong mỗi nhánh đơn giản chỉ là một điện trở R. Theo định luật Ôm công thức trên có thể được viết lại như sau:

$$I_{T\text{ổng}} = \frac{V_3}{R_3} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_0}{R_0}$$

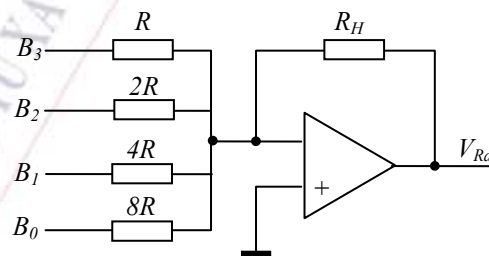
Vì  $V_3, V_2, V_1, V_0$  là tác động ngoài và bằng không khi bit lấy logic “0”, bằng  $V_{Hi}$  khi bit lấy logic “1”. Do đó, các R phải được chọn tỷ lệ nghịch với trọng số. Nếu lấy điện trở trong nhánh  $I_3$  là R thì các nhánh  $I_2, I_1, I_0$  phải là  $2R, 4R, 8R$  tương ứng. Thay các giá trị điện trở này vào ta có:

$$I_{T\text{ổng}} = \frac{V_3}{R} + \frac{V_2}{2R} + \frac{V_1}{4R} + \frac{V_0}{8R} = V_{Hi} \left( \frac{b_3}{R} + \frac{b_2}{2^1 R} + \frac{b_1}{2^2 R} + \frac{b_0}{2^3 R} \right)$$

trong đó,  $b_0, b_1, b_2, b_3$  là giá trị logic của số nhị phân cần biến đổi ( chỉ lấy “0” hoặc “1”). Mạch điện thực hiện được trình bày ở hình 6-37.



Hình 6-37.



Hình 6-38.

Việc chuyển đại lượng đã biến đổi từ dòng sang điện thế được thực hiện như chỉ ở hình 6-38. Biểu thức điện thế ra sẽ là :

$$V_{Ra} = -R_H V_{Hi} \left( \frac{b_3}{R} + \frac{b_2}{2^1 R} + \frac{b_1}{2^2 R} + \frac{b_0}{2^3 R} \right)$$

Một cách tổng quát, đối với bộ biến đổi D/A N bit, ta có:

$$V_{Ra} = -R_H V_{Hi} \left( \frac{b_{N-1}}{R} + \frac{b_{N-2}}{2^1 R} + \dots + \frac{b_1}{2^{N-2} R} + \frac{b_0}{2^{N-1} R} \right)$$

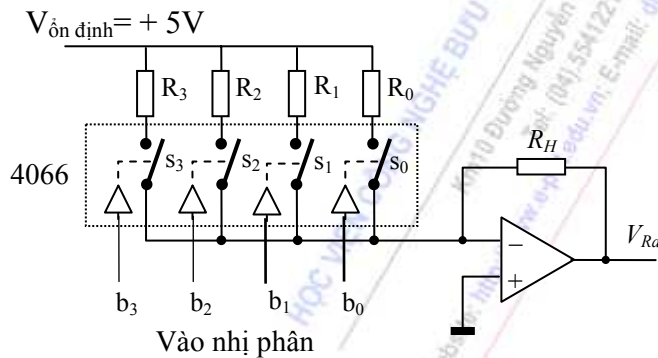
Muốn có  $V_{Ra}$ , ta mắc nối tiếp thêm một tầng khuếch đại đảo ở lối ra.



Mặc dù bộ D/A loại này có mạch điện hết sức đơn giản, nhưng nó lại có hai nhược điểm chính, đó là:

- Độ chính xác của phép biến đổi phụ thuộc nhiều vào sự thẳng giăng của các mức logic vào.
- Khi số bit tăng lên, khó có thể chế tạo các điện trở có cùng một độ chính xác như nhau. Ví dụ, một bộ D/A có 11 bit nếu chọn điện trở ứng với bit có trọng số lớn nhất là  $R_{10} = 1000 \Omega$ , thì điện trở ứng với bit có trọng số thấp nhất  $R_0 = 2^{10} \times 1000 \Omega$ , nghĩa là trị số hai điện trở này cách nhau đến 1024 lần.

Nhược điểm thứ nhất có thể được khắc phục bằng cách ổn định mức vào theo mạch điện như chỉ ở ví dụ hình 6-39.



Hình 6-39.

Trong sơ đồ hình 6-39, tín hiệu nhị phân chỉ đóng vai trò điều khiển sự đóng mở của các chuyển mạch S mà không ảnh hưởng gì tới điện thế ra. Các chuyển mạch S thường là các cổng logic, chẳng hạn trong sơ đồ dùng cổng truyền dẫn 4066.

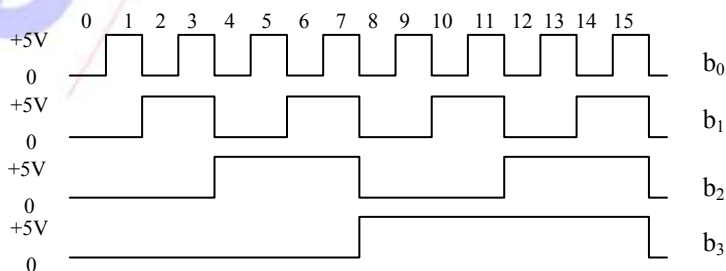
Có thể tính  $V_{Ra}$  khi biết điện trở của nhánh có trọng số cao nhất  $R$ ,  $R_H$  và  $V_{\text{ôn}}$  theo công thức:

$$V_{Ra} = -\frac{R_H}{R} V_{\text{ôn}} \left( b_{N-1} + \frac{b_{N-2}}{2^1} + \dots + \frac{b_1}{2^{N-2}} + \frac{b_0}{2^{N-1}} \right)$$

Tuy nhiên, nên hiểu rằng, trong mạch  $2^i R$  là một giá trị điện trở, không thể rút  $R$  ra thừa số chung được.

**Ví dụ:**

Hãy xác định điện thế trên đầu ra của bộ D/A hình 6-39, nếu lấy điện trở trong nhánh có trọng số cao nhất là  $R_3 = 25 \text{ K}\Omega$ ,  $R_H = 10 \text{ K}\Omega$ . Tín hiệu tác động tới đầu vào có dạng như chỉ ở hình 6-40.



Hình 6-40.

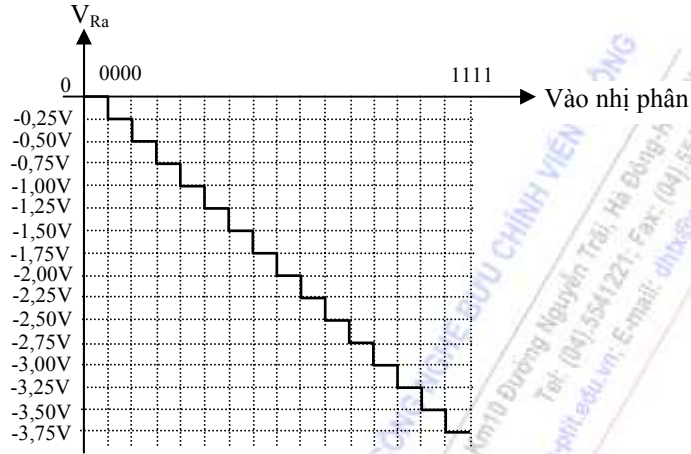


Ứng với số nhị phân vào 0000  $\rightarrow V_{Ra} = 0$  V;

- Ứng với số nhị phân vào 0001  $\rightarrow V_{Ra} = -0,25$  V, đây chính là bước biến đổi nhỏ nhất;

- Ứng với số nhị phân vào 1111  $\rightarrow V_{Ra} = -3,75$  V;

Kết quả tính toán được trình bày bằng đồ thị hình 6-41.



Hình 6-41.

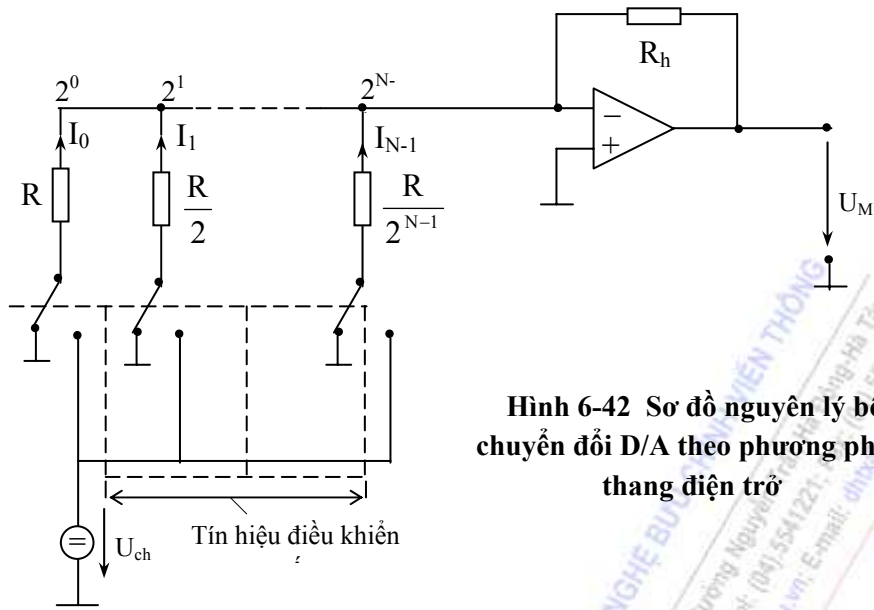
**\* Chuyển đổi D/A bằng phương pháp thang điện trở.**

Sơ đồ 6-42 minh họa nguyên lý làm việc của bộ chuyển đổi D/A theo phương pháp thang điện trở. Đầu vào bộ khuếch đại thuật toán là một thang điện trở. Mà trị số của chúng phân bố theo mã nhị phân, các điện trở lân cận nhau hơn kém nhau 2 lần. Tín hiệu điều khiển là tín hiệu số cần chuyển đổi. Bit có nghĩa nhỏ nhất (LSB) được đưa đến điều khiển khóa nối với điện trở lớn nhất R, bit có nghĩa lớn hơn tiếp đó được đưa đến điều khiển khóa nối với điện trở nhỏ hơn  $R/2...$  và MSB điều khiển khóa nối với điện trở nhỏ nhất ( $\frac{R}{2^{N-1}}$ ). Nếu một bit có giá trị "0" thì khóa

tương ứng nối đất và nếu một bit có giá trị "1" thì khóa K tương ứng nối với nguồn điện áp chuẩn  $U_{ch}$  để tạo nên một dòng điện tỷ lệ nghịch với trị số điện trở của nhánh đó, nghĩa là  $I_0$  có giá trị bé nhất,  $I_{N-1}$  có giá trị lớn nhất. Dòng sinh ra trong các nhánh điện trở được đưa đến đầu vào bộ khuếch đại, đầu ra bộ khuếch đại thuật toán có điện áp:

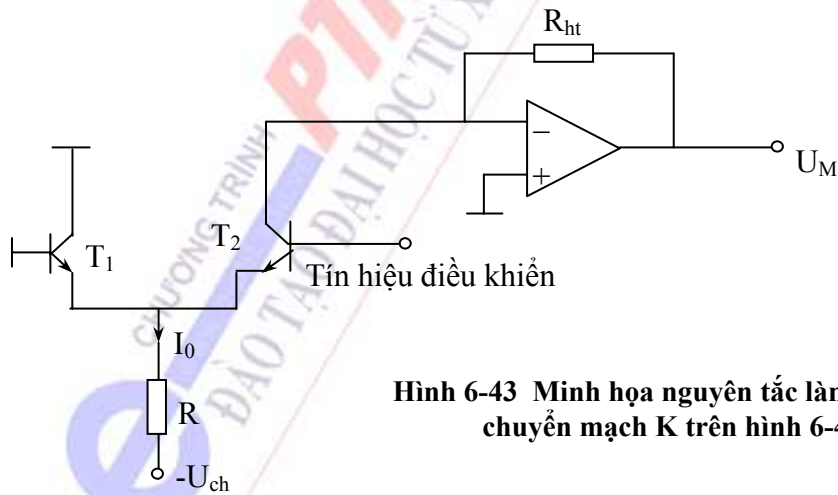
$$U_M = -R_{ht} \sum_{n=0}^{N-1} I_n$$

Để thực hiện chuyển mạch K trong sơ đồ 6-42 có thể dùng sơ đồ 6-43. Đây là một mạch khuếch đại vi sai làm việc ở trạng thái bão hòa. Khi tín hiệu điều khiển có giá trị "0" thì  $I_0$  qua  $T_1$  xuống đất, khi tín hiệu điều khiển có giá trị "1" thì  $I_0$  được dẫn qua  $T_2$  đến đầu vào bộ khuếch đại thuật toán.



**Hình 6-42** Sơ đồ nguyên lý bộ chuyển đổi D/A theo phương pháp thang điện trở

Chuyển đổi D/A theo phương pháp này yêu cầu trị số của các điện trở phải rất chính xác. Ví dụ điện trở nhỏ nhất  $\frac{R}{2^{N-1}}$  phải chính xác đến mức sai số dòng điện qua đó không vượt quá 1 LSB, với  $N=16$  thì sai số này khoảng 0,5%.



**Hình 6-43** Minh họa nguyên tắc làm việc của chuyển mạch K trên hình 6-42.

## TÓM TẮT NỘI DUNG

**Các vấn đề chính của chương này bao gồm:**

- + Các mạch điều chế biên độ:

- Khái niệm về điều chế biên độ, là quá trình tác động tín tức vào biên độ của sóng mang, làm cho biên độ sóng mang biến đổi theo dạng của tín tức.
- Phổ của tín hiệu điều biên, quan hệ năng lượng của các tín hiệu điều biên.
- Các mạch điều biên: Điều biên cân bằng, điều chế vòng, điều chế đơn biên.

+ Điều tần, điều pha:

- Điều tần làm thay đổi tần số của sóng mang theo quy luật của tín tức.
- Các mạch điều tần thường sử dụng các phần tử như diốt biến dung, hoặc tranzito điện kháng, tức là các phần tử có khả năng thay đổi điện kháng khi thay đổi điện áp đặt lên nó.

+ Các mạch tách sóng: Để thực hiện lấy lại tín tức ban đầu từ tín hiệu đã điều chế, quá trình này còn được biết là quá trình giải điều chế.

+ Các mạch trộn tần, nhân tần. Thực chất là các mạch biến đổi phổ tần số của tín hiệu. Nhờ tính chất phi tuyến của các linh kiện bán dẫn để thực hiện việc biến đổi tần số.

+ Phần cuối cùng là các vấn đề về mạch biến đổi A/D và D/A.

## CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP

**Câu 1:** Khái niệm về điều chế? Phân biệt các tín hiệu khi điều chế?

**Câu 2:** Thế nào là tín hiệu điều biên? Phổ của tín hiệu điều biên?

**Câu 3:** Thế nào là độ sâu điều chế? Ảnh hưởng của độ sâu điều chế đến chất lượng tín hiệu sau khi tách sóng?

**Câu 4:** Để thực hiện các mạch điều tần người ta thường dùng các linh kiện nào? Tại sao?

**Câu 5:** Phân biệt méo phi tuyến và méo tần số của mạch điều biên?

**Câu 6:** So sánh phổ của tín hiệu điều biên cân bằng và điều chế vòng?

**Câu 7:** Khái niệm về điều chế đơn biên? Ưu điểm của điều chế đơn biên?

**Câu 8:** Khái niệm về điều tần và điều pha? Quan hệ giữa điều tần và điều pha?

**Câu 9:** Để thực hiện mạch điều tần người ta thường dùng mạch gì hoặc linh kiện gì?

**Câu 10:** Tách sóng là gì? Các thông số cơ bản của bộ tách sóng biên độ?

**Câu 11:** Ảnh hưởng của tụ điện trong mạch tách sóng biên độ đến tín hiệu sau tách sóng như thế nào?

**Câu 12:** Có thể dùng mạch tách sóng biên độ để thực hiện tách sóng điều tần không? Tại sao?

**Câu 13:** Thế nào là trộn tần? Nguyên lý trộn tần là gì?

**Câu 14:** So sánh giữa trộn tần và điều chế?

**Câu 15:** So sánh giữa mạch trộn tần dùng diốt và mạch trộn tần dùng tranzito?

**Câu 16:** Thế nào là nhân tần? Để thực hiện nhân tần thường sử dụng linh kiện gì?

**Câu 17:** Chuyển đổi A/D là quá trình gì? Các bước cơ bản thực hiện chuyển đổi A/D?

**Câu 18:** Cho tín hiệu điều biên với hệ số điều chế  $m = 50\%$ . Tần số tín tức  $f_s = 10\text{kHz}$ . Sóng mang có biên độ  $5\text{mV}$  và tần số  $f_t = 10\text{MHz}$ .

- Viết biểu thức biểu diễn tín hiệu điều biên đó.
- Tính phổ tín hiệu
- Tín hiệu trên qua mạch khuếch đại điện áp 1000 lần và trộn tần cho ra tín hiệu có  $f_{tg} = 1\text{MHz}$ :
  - Viết biểu thức tín hiệu ra sau trộn tần.
  - Vẽ sơ đồ tách sóng tín hiệu đó.



## CHƯƠNG 7: MẠCH CUNG CẤP NGUỒN

### GIỚI THIỆU

Chương này trình bày các vấn đề về nguồn cung cấp cho các thiết bị điện tử. Các mạch điện biến đổi từ nguồn điện xoay chiều công nghiệp (ac) 50Hz thành nguồn một chiều (dc) ổn định. Để làm được như thế người ta dùng các linh kiện bán dẫn như diốt, tranzito, thyristor. Việc ổn định các nguồn có công suất nhỏ thường được thực hiện bằng các IC ổn áp, chế tạo sẵn với các mức điện áp ra tùy ý từ vài vôn đến vài chục vôn.

Ngoài phương pháp biến đổi trực tiếp nguồn xoay chiều thành một chiều theo kiểu chỉnh lưu và lọc, thì ngày nay người ta thường dùng các bộ nguồn chuyển mạch. Nguồn chuyển mạch có cấu tạo phức tạp hơn tuy nhiên nó có công suất lớn, hiệu suất cao hơn và ổn định hơn so với nguồn kiểu chỉnh lưu lọc thông thường.

### NỘI DUNG

#### 7.1 KHÁI NIỆM

Các thiết bị điện tử- viễn thông được nuôi trực tiếp bằng nguồn điện 1 chiều, mà nguồn điện phổ biến nhất, thuận lợi nhất, và kinh tế nhất với công suất lớn lại là nguồn điện lưới - nguồn điện xoay chiều có tần số 50Hz. Để sử dụng được nguồn điện xoay chiều cung cấp cho các thiết bị tiêu thụ điện 1 chiều, ta phải biến đổi dòng xoay chiều thành dòng điện 1 chiều.

Sự biến đổi điện áp, dòng điện xoay chiều thành điện áp, dòng điện 1 chiều được gọi là chỉnh lưu.

Ngày nay để thực hiện việc chỉnh lưu này người ta dùng các linh kiện bán dẫn silic là diốt và thyristor.

Trong chỉnh lưu, các diốt còn được gọi là các van không điều khiển. Các thyristor còn được gọi là các van có điều khiển. Các van chỉnh lưu bán dẫn có ưu điểm:

- Hiệu suất cao
- Nhiệt độ làm việc thấp
- Thể tích và trọng lượng nhỏ
- Làm việc được tức thời

Tuy nhiên, nó có 1 số nhược điểm điểm:

- Các tham số phụ thuộc nhiệt độ
- Chịu nhiệt độ thấp  $< 150^{\circ}\text{C}$
- Chịu quá dòng, quá áp kém

Các tham số kỹ thuật:

- Dòng điện định mức  $I_{dm}$  (A)

- Điện áp ngược cực đại  $U_{ng\ max}$  (V)
- Sụt áp thuận  $\Delta U$  (V)
- Điện áp điều khiển  $U_G$  (V)
- Dòng điện điều khiển  $I_{GK}$  (mA)
- Dòng điện rò  $I_o$  (mA)

## 7.2. CHỈNH LƯU MỘT PHA KHÔNG ĐIỀU KHIỂN

Các bộ chỉnh lưu 1 pha là các bộ chỉnh lưu dùng một pha của nguồn điện lưới.

Chỉnh lưu không có điều khiển là các bộ chỉnh lưu dùng van chỉnh lưu là điốt và điện áp một chiều của bộ chỉnh lưu không điều chỉnh được.

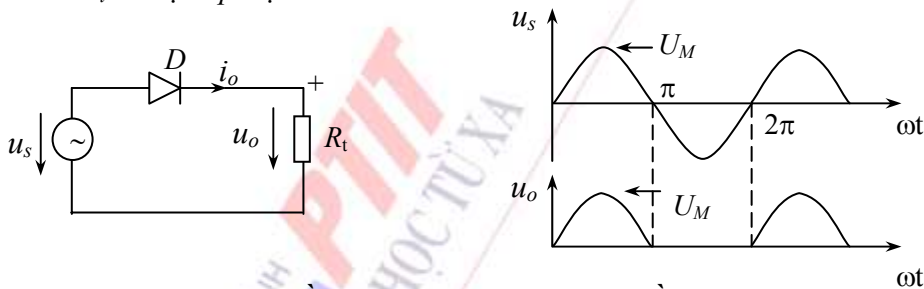
Các bộ chỉnh lưu một pha có công suất nhỏ và vừa (< 3 kW), những bộ chỉnh lưu có công suất lớn hơn thường là chỉnh lưu 3 pha để không làm mất cân bằng các pha điện lưới.

### 7.2.1. Chỉnh lưu một pha nửa chu kỳ (chỉnh lưu nửa sóng)

Với bộ chỉnh lưu loại này thì điện áp xoay chiều đầu vào bộ chỉnh lưu có thể lấy thẳng từ lưới điện hay thông qua biến áp, nếu mạch tải cần cách ly với điện mạng và mức điện áp một chiều khác xa điện áp mạng thì phải dùng biến áp.

#### a- Với tải thuần trở

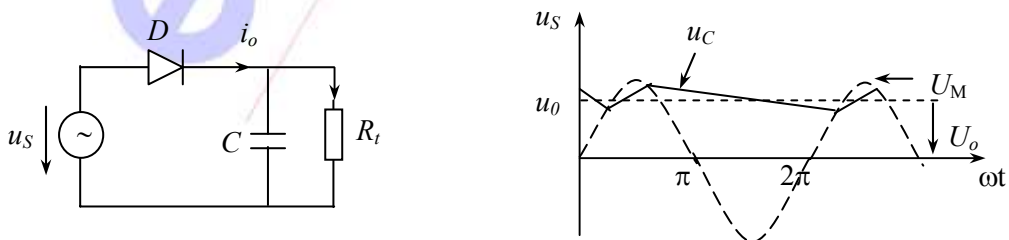
Điốt thông trong nửa chu kỳ dương của điện áp nguồn  $u_s$  và ngắt trong nửa chu kỳ âm, như vậy điện áp trên tải  $R_t$  là điện áp một chiều.



Hình 7-1 Sơ đồ chỉnh 1 pha nửa sóng và đồ thị thời gian.

#### b- Với tải dung tính

Khi đầu ra bộ chỉnh lưu mắc 1 tụ  $C$  song song với tải, với điều kiện  $X_C = \frac{1}{m\omega C} \ll R_t$  thì tải của bộ chỉnh lưu được coi là mang tính dung.



Hình 7-2 Sơ đồ chỉnh lưu 1 pha nửa sóng tải tính dung và dạng sóng trên



Khi mắc thêm tụ điện thì điện áp đầu ra phẳng hơn so với khi không có tụ, các tụ điện này thường được gọi là các tụ lọc.

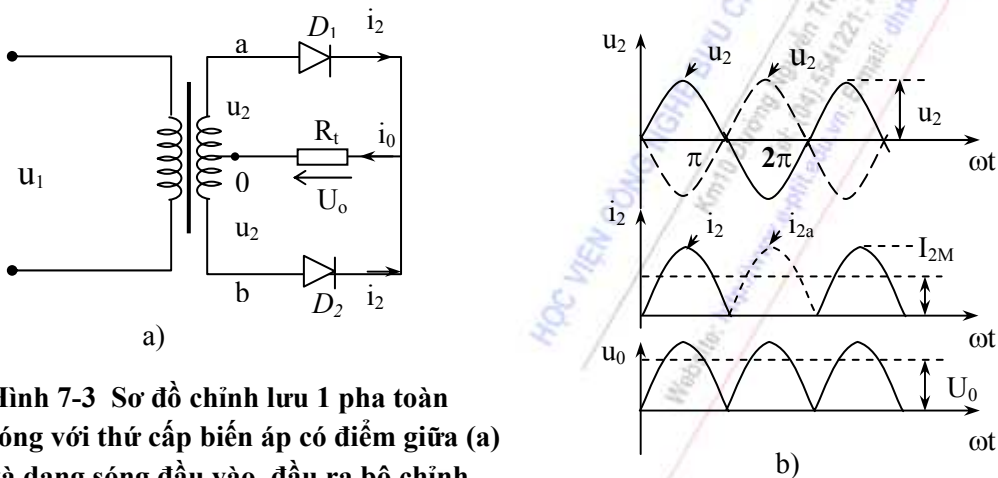
### 7.2.2. Chỉnh lưu một pha toàn sóng

#### a. Chỉnh lưu 1 pha toàn sóng dùng biến áp thứ cấp có điểm giữa.

##### \* Với tải thuần trở

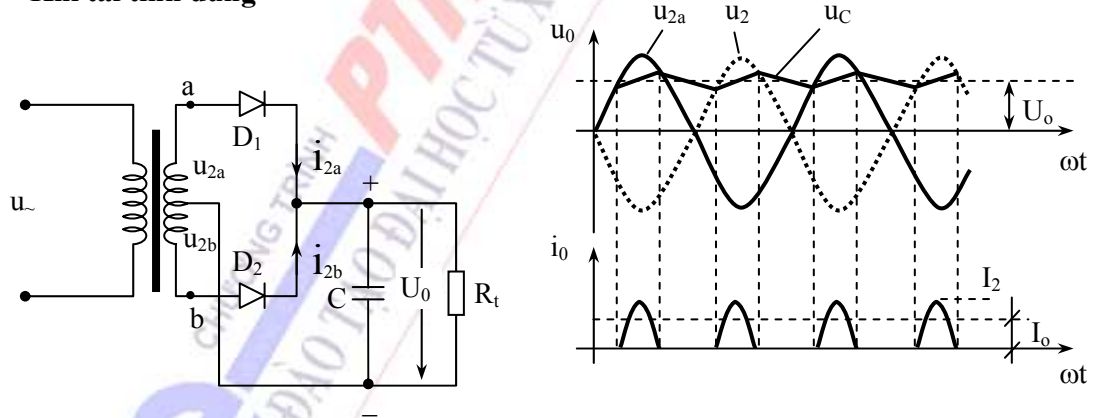
Trên sơ đồ hình 7-3a: biến áp 1 pha có cuộn thứ cấp ra điểm giữa, tạo thành 2 điện áp  $u_{2a}$ ,  $u_{2b}$  có biên độ bằng nhau và lệch pha nhau  $180^\circ$  đặt vào 2 điốt, khiến chúng thay nhau làm việc trong cả chu kỳ.

Hai điốt  $D_1$  và  $D_2$  thay nhau thông và ngắt tạo dạng điện áp ra như hình 7-3b.



Hình 7-3 Sơ đồ chỉnh lưu 1 pha toàn sóng với thứ cấp biến áp có điểm giữa (a) và dạng sóng đầu vào, đầu ra bộ chỉnh lưu và điện áp ngược trên điốt (b)

##### \* Khi tải tính dung



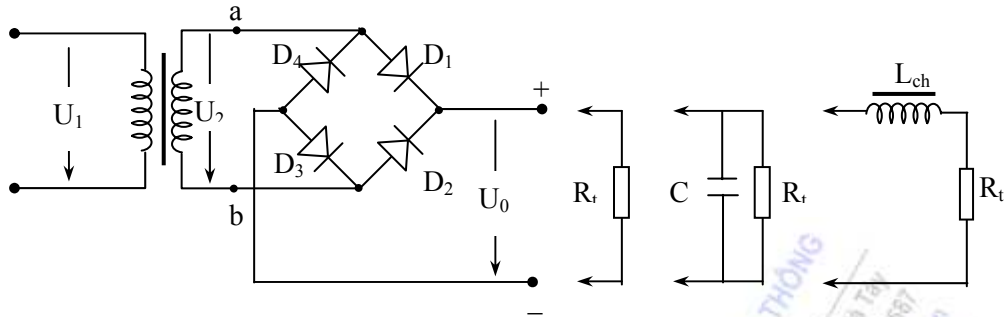
Hình 7-4 Chỉnh lưu toàn sóng biến áp điểm giữa tải dung tính và dạng

#### b. Chỉnh lưu cầu một pha

Sơ đồ chỉnh lưu cầu một pha: gồm nguồn xoay chiều vào (có thể có biến áp hoặc không), 4 điốt mắc theo sơ đồ cầu, và tải.

Khi nửa chu kỳ ứng với a+, b- thì  $D_1$  và  $D_3$  thông, thì có dòng  $i_{2a}$  từ a  $\rightarrow D_1 \rightarrow$  tải  $\rightarrow D_3 \rightarrow$  b. Nửa chu kỳ ứng với b+, a- thì  $D_2$  và  $D_4$  thông, có dòng  $i_{2a}$  từ b  $\rightarrow D_2 \rightarrow$  tải  $\rightarrow D_4 \rightarrow$  a.

Trong một chu kỳ của điện áp mạng, sơ đồ làm việc hai lần với tải, có 2 xung dòng qua tải nên  $f_d = 2f = 100\text{Hz}$ .



Hình 7-5 Sơ đồ chỉnh lưu cầu 1 pha với các tải khác nhau

Đối với tải điện trở, điện cảm, điện dung các dạng sóng và trị số giống như sơ đồ chỉnh lưu toàn sóng 1 pha với biến áp điểm giữa.

- Với tải thuần trở:  $U_0 \approx 0,9 U_2$

- Với tải dung tính: 
$$\begin{cases} U_0 = \sqrt{2}U_2 \cos \theta \\ U_{ohm} = \sqrt{2}U_2 \end{cases}$$

- Với tải cảm tính:  $U_0 \approx 0,9 U_2$

còn điện áp ngược lớn nhất đặt lên diốt  $U_{Dng\ max} = U_{2M} = \sqrt{2}U_2$

- Ưu điểm của sơ đồ cầu so với sơ đồ có biến áp thứ cấp ra điểm giữa .

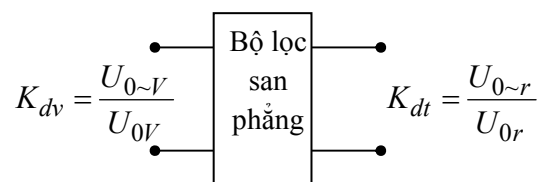
+ Có thể dùng biến áp hoặc không.

+ Nếu dùng biến áp và nếu cùng điện áp thì số vòng cuộn thứ cấp giảm một nửa.

### 7.3. BỘ LỌC SAN BẰNG

#### 7.3.1. Khái niệm chung

Điện áp và dòng điện chỉnh lưu bao gồm thành phần 1 chiều ( $U_0, I_0$ ) và vô số các thành phần xoay chiều, tải của bộ chỉnh lưu chỉ tác dụng đối với thành phần 1 chiều, còn các thành phần xoay chiều gây lên độ nhấp nhô (độ gợn sóng hay là độ không bằng phẳng) của điện áp và dòng điện 1 chiều trên tải, điều này gọi là độ đập mạch.



Hình 7-6.

Vì vậy sau chỉnh lưu, nhất thiết phải có bộ lọc để san bằng độ đập mạch (hay lọc loại bỏ thành phần xoay chiều) của điện áp chỉnh lưu đến mức cần thiết mà tải yêu cầu.

Để đánh giá tác dụng lọc của bộ lọc, ta coi bộ lọc như một mạng 4 đầu mà lối vào của nó được cung cấp một điện áp 1 chiều với độ đập mạch:

$$K_{dv} = U_{0\sim r} / U_{0v}$$

Tại đầu ra bộ lọc ta nhận được điện áp với độ đập mạch:  $K_{dr} = U_{0\sim r} / U_{0r}$

$U_{0-v}$ ;  $U_{0-r}$  là biên độ của thành phần xoay chiều của điện áp đập mạch đầu vào và đầu ra được tính với hài bậc 1

$U_{0v}$ ,  $U_{0r}$  điện áp 1 chiều đầu vào, ra của bộ lọc. Hệ số lọc (hay hệ số san bằng) của bộ lọc là:

$$q = \frac{K_{dv}}{K_{dr}} = \frac{U_{0r}}{U_{0r}} \cdot \frac{U_{0r}}{U_{0v}}$$

Nếu coi bộ lọc không tổn hao thành phần 1 chiều thì  $q \approx U_{0-v}/U_{0-r} \rightarrow q > 1$

Hệ số lọc nói lên chất lượng của bộ lọc đã làm giảm độ đập mạch đi bao nhiêu lần so với đầu vào.

### 7.3.2. Bộ lọc LC

Bộ lọc LC là bộ lọc được dùng thông dụng nhất trong các bộ chỉnh lưu công suất vừa và lớn.

Để lọc tốt các thành phần xoay chiều của điện áp đập mạch, ta chọn giá trị  $L_{Ch}$  sao cho:

$$X_{L_{Ch}} = m\omega L_{Ch} \gg R_t$$

$$\text{Và } r_{L_{Ch}} \ll R_t$$

- Trị số điện dung sao cho:

$$X_C = 1/m\omega C \ll R_t$$

Trong đó:  $m$  là số xung dòng qua tải, phụ thuộc vào sơ đồ chỉnh lưu.

$\omega$  tần số điện mạng

$r_{L_{Ch}}$  điện trở thuần tổn hao trên cuộn chặn, ta có:

Hệ số đập mạch của điện áp tại đầu ra bộ chỉnh lưu được xác định phụ thuộc vào sơ đồ bộ chỉnh lưu và đặc tính tải của nó, còn hệ số đập mạch tại đầu ra bộ lọc do tải yêu cầu, nên  $q$  luôn có thể xác định được trước nên

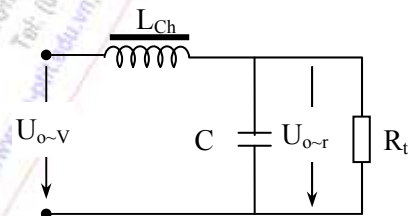
$$L_{ch} C = \frac{q}{m^2 \omega^2} \text{ vậy giá trị tụ lọc: } C = \frac{q}{m^2 \omega^2 L_{ch}}$$

$$\text{với } f = 50\text{Hz; } C \approx 10 \frac{q}{m^2 L_{ch}} \text{ (}\mu\text{F)}$$

$$\text{Hiệu suất của bộ lọc: } \eta_L = \frac{R_t}{r_{L_{ch}} + R_t} = \frac{1}{1 + r_{L_{ch}} / R_t}$$

Thường thì  $r_{L_{ch}} \ll R_t$  nên hiệu suất của bộ lọc LC khá cao và  $q$  tỷ lệ với  $m^2$ ,  $\omega^2$  nên hệ số lọc của bộ lọc LC rất lớn.

Những cuộn chặn có thể tích trọng lượng lớn, công kênh, giá thành đắt.



Hình 7-7 Bộ lọc LC.

### 7.3.3. Bộ lọc RC

Khi hiệu suất bộ lọc là thứ yếu để đơn giản cấu trúc bộ lọc người ta dùng bộ lọc RC, trong đó 1 phần tử của mạch lọc là điện trở thuần R mắc nối tiếp với  $R_t$ . Tính q của bộ lọc RC tương tự như tính q của bộ lọc LC

Ta có:  $q = m\omega CR_{td}$

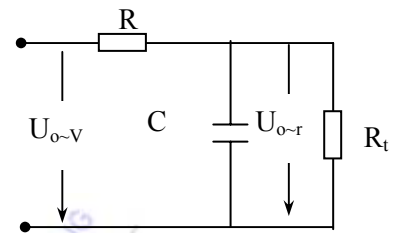
Với  $R_{td} = \frac{RR_t}{R + R_t}$

Khi biết trước q; f = 50Hz; C (μF);  $R_{td}$  (Ω) ta có:

$$CR_{td} = 3200 \frac{q}{m} \rightarrow c = 3200 \frac{q}{mR_{td}} \quad (\mu F)$$

- Cho biết sụt áp  $\Delta U_R$  trên điện trở lọc R và dòng tải, ta tính được  $R = \Delta U_R / I_{Rt}$

Muốn lọc tốt (q lớn) thì điện trở lọc lớn do đó tổn hao trên bộ lọc sẽ lớn và hiệu suất của bộ lọc sẽ thấp.



Hình 7-8 Bộ lọc RC.

## 7.4. ỔN ĐỊNH ĐIỆN ÁP NGUỒN

### 7.4.1. Khái niệm chung

Các thiết bị tiêu thụ năng lượng điện (xoay chiều và 1 chiều) nhiều khi cần thiết phải thay đổi mức điện áp cung cấp cho nó, phù hợp với từng tác động.

Ví dụ: các động cơ điện xoay chiều, để giảm nhỏ dòng khởi động, khi khởi động ta giảm điện áp cung cấp so với điện áp danh định khi động cơ đã quay đều.

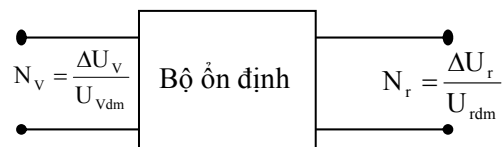
- Các accu axit yêu cầu có các mức điện áp nạp khác nhau phù hợp với các trạng thái nạp. Trong khi vận hành, các thiết bị tiêu thụ điện cần điện áp cung cấp ổn định (nhất là đối với các thiết bị điện tử). Sự ổn định của nguồn cung cấp quyết định sự an toàn cho thiết bị, và tăng tính ổn định, tính chính xác trong sự hoạt động. Sự ổn định của nguồn làm tăng độ bền và kéo dài tuổi thọ của thiết bị. Trong khi đó các loại nguồn cung cấp hiện có như nguồn điện lưới, nguồn accu, nguồn pin mặt trời... luôn luôn không ổn định.

Vì vậy sự điều chỉnh và ổn định các loại nguồn cung cấp là nhu cầu không thể thiếu được trong vận hành, khai thác các thiết bị điện và điện tử chuyên dụng và dân dụng.

Sự điều chỉnh điện áp có thể thực hiện bằng nhân công hay tự động. Ngày nay do sự tiến bộ về công nghệ điện tử các thiết bị cung cấp điện (nhất là cho viễn thông) việc điều chỉnh bằng nhân công đã được dần thay thế bằng hệ điều hành vi xử lý. Việc ổn định điện áp hay ổn định dòng điện được thực hiện một cách tự động.

Các tham số cơ bản của bộ ổn định là hệ số ổn định, dải ổn định, hiệu suất và thời gian xác lập.

Hệ số ổn định điện áp  $K_u$  nói lên tác dụng của bộ ổn định đã làm giảm độ không ổn định điện áp ra trên tải đi bao nhiêu lần so với đầu vào.



Hình 7-9. Tác dụng của bộ ổn định

Độ không ổn định đầu vào :

$$N_V = \frac{\Delta U_V}{U_{Vdm}}$$

Độ không ổn định điện áp đầu ra:  $N_r = \frac{\Delta U_r}{U_{rdm}}$

Vậy độ ổn định điện áp của bộ ổn áp  $K_u = \frac{N_V}{N_r} = \frac{\Delta U_V}{\Delta U_r} \frac{U_{rdm}}{U_{Vdm}}$

- Dải ổn định  $D_u, D_i$  nói nên độ rộng của khoảng làm việc của bộ ổn áp, ổn dòng.

- Hiệu suất: khi làm việc các bộ ổn định cũng tiêu hao năng lượng điện trên chúng, do đó hiệu suất của bộ ổn định:

$$\eta = \frac{P_r}{P_V} = \frac{P_r}{P_r + P_{th}}$$

$P_r$  công suất có ích trên tải của bộ ổn định

$P_V$  công suất mà bộ ổn định yêu cầu từ đầu vào

$P_{th}$  công suất tổn hao trên bộ ổn định

- Thời gian xác lập  $T_{xl}$  của bộ ổn định là khoảng thời gian cần thiết để đưa đại lượng không ổn định trên tải về giá trị định mức của nó kể từ thời điểm bắt đầu xảy ra sự mất ổn định, ngày nay các bộ ổn định dùng linh kiện bán dẫn và IC, nên  $T_{xl}$  cực nhỏ và được coi là không có quán tính. Phần tử cơ bản của bộ ổn định là phần tử hiệu chỉnh PTHC.

+ Dựa theo cách mắc phần tử hiệu chỉnh với tải ta có các bộ ổn định song song, các bộ ổn định kiểu nối tiếp.

+ Nếu dựa theo dòng điện mà bộ ổn định làm việc, ta có bộ ổn định xoay chiều, bộ ổn định một chiều.

+ Nếu dựa theo đặc tính làm việc của PTHC ta có bộ ổn định kiểu liên tục và bộ ổn định kiểu ngắt quãng.

#### 7.4.2. Ổn áp dùng điốt (điốt zener).

Điốt zener có đặc điểm là:

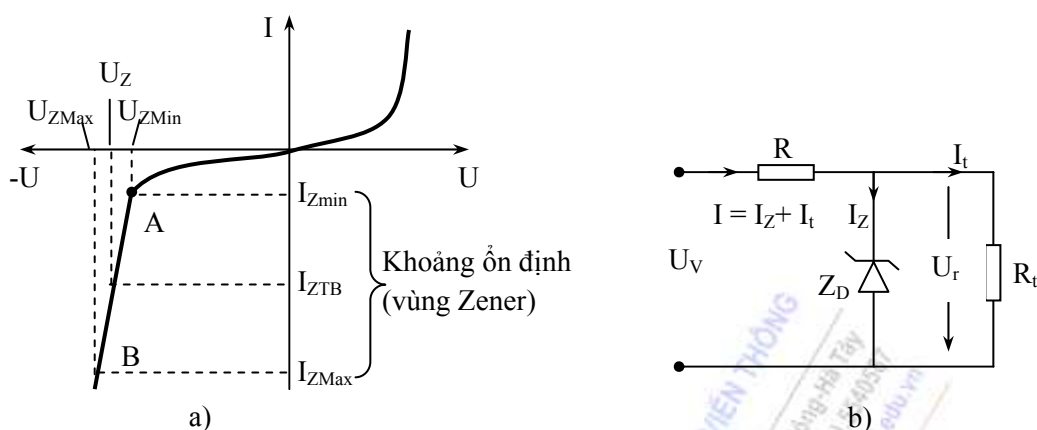
- Nếu đặt điện áp thuận trên điốt zener thì đặc tính của nó giống các điốt thường.

- Nếu đặt điện áp ngược thì nó có thể làm việc được sau điểm đánh thủng A trên đặc tuyến V-A (hình 7-11a), tức là trong khoảng AB, chừng vào dòng điện ngược thông qua nó chưa vượt quá 1 giá trị cho phép  $I_{ngmax}$  nào đó ( $I_{Zmax}$ ).

Trên đoạn AB của đặc tuyến V-A của điốt zener:  $\Delta I = I_{Zmax} - I_{Zmin}$  là rất lớn, nhưng điện áp ngược trên nó biến đổi rất ít  $\Delta U_Z = U_{Zmax} - U_{Zmin}$  rất nhỏ.

Người ta lợi dụng đoạn AB trên đặc tuyến V-A để sử dụng điốt zener làm phần tử hiệu chỉnh để ổn định điện áp 1 chiều.





**Hình 7-10** Đặc tính V-A của điốt zener và sơ đồ ổn áp một chiều dùng điốt zener.

Nếu dòng ngược qua nó nhỏ hơn  $I_{Zmin}$  thì điốt zener không có tác dụng ổn áp.

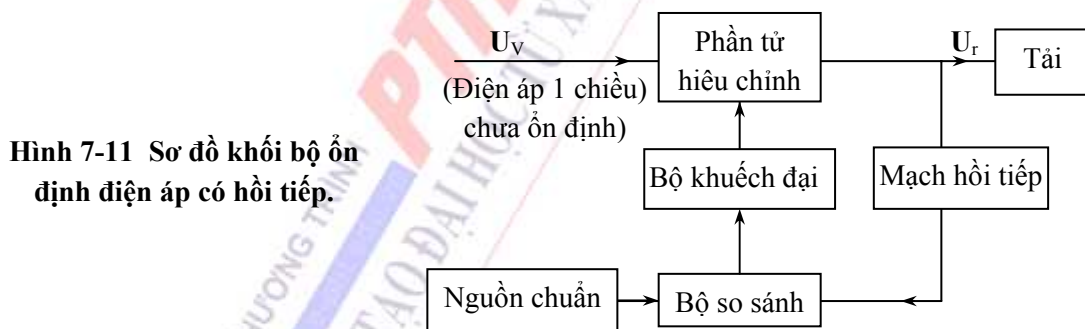
Nếu dòng ngược qua nó lớn hơn  $I_{Zmax}$  thì điốt zener sẽ bị đánh thủng hoàn toàn (bị ngắn mạch) khoảng làm việc (khoảng ổn định) của điốt zener được chọn trong khoảng AB còn điểm làm việc tĩnh thường được chọn ở chính giữa khoảng làm việc.

### 7.4.3. Ổn định điện áp một chiều với hiệu chỉnh nối tiếp kiểu liên tục

#### a. Sơ đồ khối

Các bộ ổn định điện áp với hiệu chỉnh nối tiếp kiểu liên tục còn gọi là bộ ổn áp có hồi tiếp có sơ đồ khối như hình 7-11.

Bộ ổn định có hồi tiếp có hệ số ổn định lớn cũng như cho công suất lớn.



**Hình 7-11** Sơ đồ khối bộ ổn định điện áp có hồi tiếp.

Trong sơ đồ PTHC được điều khiển bằng tín hiệu 1 chiều từ bộ khuếch đại, phần tử hiệu chỉnh là các transistor công suất lưỡng cực hay tranzitor công suất trường, làm việc ở chế độ khuếch đại ở chế độ đờ điện trở tiếp giáp (CE hoặc DS) biến đổi theo điện áp đầu ra.

Điện áp ra qua mạch hồi tiếp đưa về bộ so sánh, mạch hồi tiếp đưa điện áp ra hay một phần điện áp ra trở về bộ so sánh, mạch hồi tiếp phần lớn là 1 bộ phân áp hay phân dòng

Bộ so sánh thực hiện việc so sánh giữa điện áp ra trên tải (qua mạch hồi tiếp) với nguồn điện áp chuẩn, kết quả so sánh ta được 1 tín hiệu  $U_S$  cũng là điện áp 1 chiều. Tín hiệu 1 chiều  $U_S$  có thể đưa thẳng đến điều khiển PTHC hoặc thông qua bộ khuếch đại để tăng hiệu quả điều khiển.



Bộ khuếch đại: là bộ khuếch đại 1 chiều để khuếch đại điện áp so sánh (còn gọi là điện áp sai lệch) trước khi đưa đến điều khiển PTHC để tăng hệ số ổn định của sơ đồ. Như vậy bộ khuếch đại có thể có, có thể không tùy theo yêu cầu của hệ số ổn định.

Nguồn chuẩn là nơi tạo ra điện áp ổn định không phụ thuộc vào sự biến đổi của  $U_V$  và  $U_r$  để cung cấp cho bộ so sánh, thường dùng diốt zener để tạo nguồn chuẩn.

### b. Bộ ổn định điện áp có khuếch đại, so sánh

Khi  $U_r$  giảm thì qua bộ phân áp  $R_2, R_3$  điện áp hồi tiếp  $U_{ht}$  giảm chính là  $U_{B2}$  giảm  $U_{BE2} = U_{B2} - U_{ch}$  cũng giảm (vì  $U_{ch}$  không đổi) làm cho  $U_{CE2}$  tăng thì  $U_{B1} = U_{CE2} + U_{ch}$  cũng tăng,  $T_1$  thông nhiều hơn  $\rightarrow U_{CE1}$  giảm nên  $U_r$  tăng trở lại. Khi  $U_r$  tăng lớn hơn trị số định mức thì quá trình diễn biến ngược lại.

Như vậy nhờ có vòng hồi tiếp mà điện áp ra  $U_r$  luôn được điều chỉnh để ổn.

Ngoài mạch ổn áp này còn có các bộ ổn áp hồi tiếp có khuếch đại so sánh với nguồn dòng, và bộ ổn áp dùng IC khuếch đại thuật toán, bộ ổn áp dùng PTHC là sơ đồ Darlington...

### c. Ổn định điện áp bằng vi mạch tích hợp

Sự ra đời của các vi mạch tích hợp đã khiến cho việc thực hiện cấu trúc các bộ ổn áp 1 chiều trở nên đơn giản và thuận lợi hơn rất nhiều, cấu trúc bên trong của các vi mạch ổn áp bao gồm đầy đủ các thành phần của một sơ đồ ổn áp có hồi tiếp có cả mạch hạn chế dòng và bảo vệ quá áp.

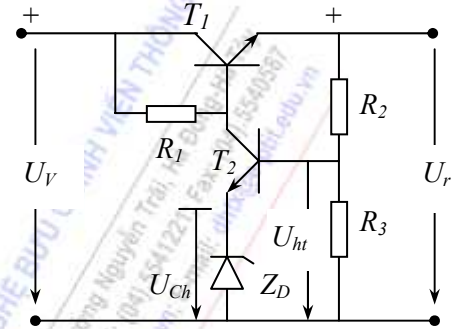
Ngày nay sử dụng thông thường các vi mạch có 3 cực: cực vào, cực ra và cực chung. Mỗi loại vi mạch như vậy được chế tạo theo các mức điện áp ra tiêu chuẩn dương hoặc âm.

Ví dụ các vi mạch xx78xx có mức điện ra tiêu chuẩn *dương* từ +5V ÷ +24V.

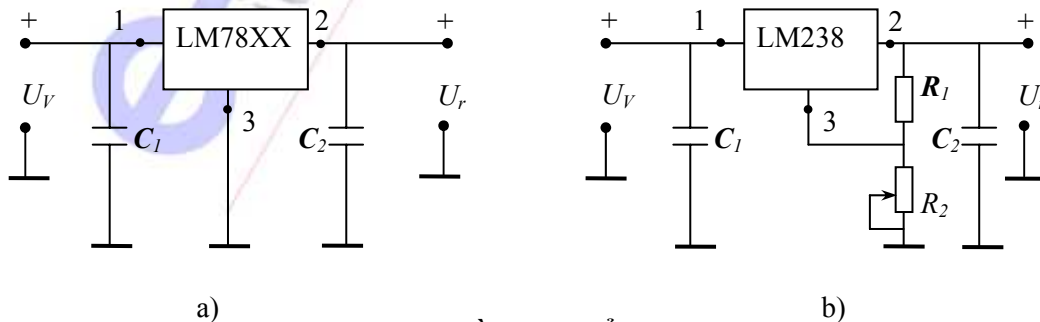
*Ví dụ:* LM 7805 ổn áp dương điện áp ra +5V ; LM 7812 ổn áp dương điện áp +12V

Các vi mạch xx79xx được có các mức điện áp ra tiêu chuẩn *âm*, từ -5V ÷ -15V.

Ví dụ AN 7915 ổn áp âm điện áp ra là -15V.



Hình 7-12 Bộ ổn định hồi tiếp có khuếch đại.



Hình 7-13 Sơ đồ vi mạch ổn áp dương.

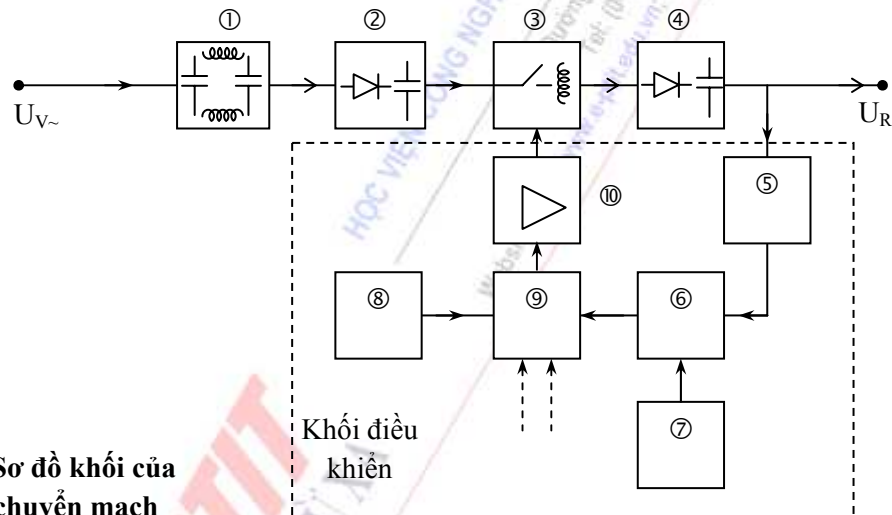
## 7.5. NGUỒN CẤP ĐIỆN KIỂU CHUYỂN MẠCH.

### 7.5.1. Khái niệm về nguồn cấp điện kiểu chuyển mạch

Như phần trên ta đã xét về bộ nguồn ổn áp liên tục nối tiếp, ta thấy PTHC nối tiếp với tải, vai trò của PTHC như là một điện trở biến đổi tự động theo điện áp vào và tải. Dòng qua PTHC là dòng liên tục và bằng dòng tải, vì vậy PTHC luôn luôn tiêu thụ 1 năng lượng, dòng tải càng lớn hoặc dải ổn định càng rộng, thì PTHC tiêu thụ 1 công suất càng lớn, do đó hiệu suất của bộ nguồn loại này khá thấp  $\eta \leq 65\%$  và PTHC phải được toả nhiệt tốt vì nó tiêu thụ 1 năng lượng khá lớn.

Vào giữa những năm 70 của thập kỷ 20 đã ra đời 1 loại nguồn ổn áp mới đó là nguồn chuyển mạch (Switching Power) hay còn gọi là nguồn xung, nguồn ngắt quãng. Nguồn cấp điện kiểu chuyển mạch làm việc với hiệu suất cao ( $\eta = 80\div 90\%$ ), dải ổn định rộng, kích thước gọn nhẹ... nên nguồn chuyển mạch ngày nay đã dần thay thế các loại nguồn ổn áp thông thường.

### 7.5.2. Sơ đồ khối của bộ nguồn cấp điện kiểu chuyển mạch



Hình 7-14 Sơ đồ khối của bộ nguồn chuyển mạch

- (1) Bộ lọc nhiễu tần số cao
- (2) Bộ chỉnh lưu và lọc sơ cấp (Nếu  $U_{VDC}$  thì không có phần này)
- (3) Phần chuyển mạch chính
- (4) Phần chỉnh lưu lọc thứ cấp
- (5) Phần hồi tiếp (lấy mẫu)
- (6) Phần khuếch đại sai lệch
- (7) Tạo áp chuẩn
- (8) Tạo dao động sóng tam giác
- (9) Điều chế độ rộng xung
- (10) Bộ khuếch đại kích thích và đảo pha

Đầu vào (9) có thể còn các tín hiệu khống chế khác (P) để ngắt bộ nguồn

Tần số công tác (tần số chuyển mạch) của bộ nguồn xung thường trong khoảng 10kHz đến 100kHz, nếu tần số thấp thì khó lọc san bằng (lọc thứ cấp), các linh kiện lọc phải lớn (cuộn chặn, tụ lọc) do đó kích thước, trọng lượng bộ nguồn lớn, giá thành cao.

Tần số chuyển mạch thấp thì hiệu quả điều chỉnh hạn chế (dải điều chỉnh hẹp). Tần số cao quá thì hiệu suất của bộ nguồn thấp, vì tần số cao (tần số vô tuyến) thì năng lượng điện sẽ phát xạ tại chỗ, năng lượng điện sẽ biến thành năng lượng từ trường, điện trường và nhiệt.

Các bộ nguồn chuyển mạch trong viễn thông thường làm việc trong khoảng tần số từ 30kHz ÷ 65kHz. Với dải tần làm việc trong khoảng 10kHz ÷ 100kHz thì các biến áp dùng lõi ferit có từ  $\mu$  lớn do đó số vòng dây giảm đi rất nhiều, kích thước cũng như trọng lượng của các biến áp, cuộn chặn rất nhỏ và do đó kích thước, trọng lượng của bộ nguồn chuyển mạch cũng rất nhỏ so với bộ nguồn thông thường có cùng công suất.

Phần chuyển mạch chính sử dụng các tranzito và MOSFET công suất lớn, có tốc độ chuyển mạch cao, làm việc ở 2 trạng thái: bão hoà và ngắt nên có tổn hao tranzito chuyển mạch rất nhỏ, nên sự toả nhiệt cho chúng đơn giản.

Với những đặc điểm đó làm cho bộ nguồn chuyển mạch có các ưu điểm hơn hẳn các bộ nguồn ổn áp thông thường như:

- Hiệu suất cao từ 80% ÷ 90%, trong khi các bộ nguồn ổn áp thông thường có  $\eta < 65\%$
- Dải ổn định rộng
- Độ bền, tuổi thọ cao
- Kích thước trọng lượng nhỏ
- Giá thành rẻ.

### 7.5.3. Các khối trong bộ nguồn chuyển mạch

#### a. Khối lọc nhiễu đầu vào

Để lọc bỏ các nhiễu cao tần vì nguồn xung nên có rất nhiều các thành phần tần số cao tần sẽ gây nhiễu cho các thiết bị điện tử khác trong vùng, nên bộ lọc sẽ chặn lại các tín hiệu nhiễu đó không đưa ra đường dây dẫn gây nhiễu. Đồng thời nó cũng chặn các xung nhiễu cao tần từ ngoài không cho vào bộ nguồn khỏi ảnh hưởng đến sự làm việc của hệ thống chuyển mạch.

Biến áp cao tần, có rất ít vòng dây và cách bố trí như hình 7-15 sẽ chặn lại các nhiễu cao tần đối xứng từ đầu vào và đầu ra. Còn đối với dòng cung cấp ngược chiều và tần số 50/60Hz thì biến áp lọc có trở kháng coi như bằng 0. Các tụ lọc  $C_1, C_2$  là các tụ cao tần (khoảng vài chục nF) để lọc các nhiễu cao tần đầu vào, đầu ra không đối xứng, đối với tần số điện mạng 50/60Hz thì  $Z_{C1,2} \approx \infty$

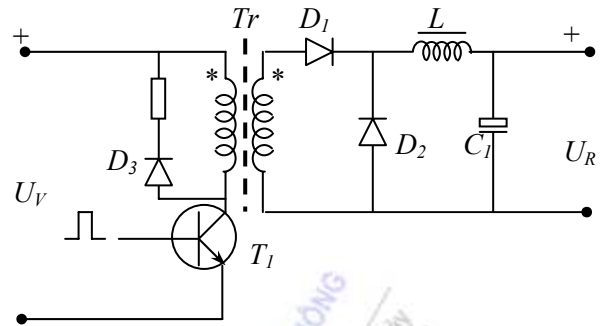
#### b. Phần chỉnh lưu và lọc sơ cấp

Nếu bộ nguồn mà đầu vào là nguồn AC thì phải có phần này trước khi vào phần chuyển mạch chính. Nguồn AC vào có thể là 1 pha nếu bộ nguồn công suất vừa và nhỏ, hoặc 3 pha nếu bộ nguồn công suất lớn, thường dùng là các bộ chỉnh lưu cầu 1 pha và cầu 3 pha.

#### c. Phần chuyển mạch tần số cao và chỉnh lưu, lọc thứ cấp

Phần này còn thường gọi là bộ biến đổi 1 chiều thành 1 chiều (DC to DC)

Converter) vì đầu vào là 1 chiều và đầu ra cũng là 1 chiều. Nếu bộ nguồn công suất nhỏ và  $U_V$  thấp thì chuyển mạch dùng 1 tranzito như hình 7-15.



Hình 7-15 Phần chuyển mạch và chỉnh lưu lọc thứ cấp của bộ nguồn chuyển mạch công suất nhỏ.

#### d. Khối điều khiển

Khối điều khiển gồm các khối (5,6,7,8,9,10) của hình 7-15. Khối điều khiển làm các nhiệm vụ sau:

- Tạo ra các xung vuông có tần số cố định nhưng độ rộng biến đổi ngược với điện áp trên tải để điều khiển các tranzito chuyển mạch
- Đủ công suất kích thích cho các chuyển mạch chính.

Ngoài ra khối này còn làm các nhiệm vụ:

- Bảo vệ quá dòng, quá áp trên tải
- Bảo vệ mạch khử điện áp vào quá thấp, quá cao

#### 7.5.4. Ví dụ bộ nguồn chuyển mạch với điện áp vào dải rộng

Tác dụng của các linh kiện trong hình 7-16.

- IC STR50115B : chuyển mạch điều chế ĐXR.
- $C_1, C_2, L_1$  lọc nhiễu đầu vào.
- $R_1$  hạn chế dòng nạp cho  $C_3$  khi mở nguồn.
- Cầu chỉnh lưu  $C_3$  chỉnh lưu, lọc sơ cấp nguồn  $U_V$
- $R_2$  tạo thiên áp ban đầu cho  $T_1$  dao động
- Cuộn 6-7,  $C_5, R_3$  hồi tiếp duy trì dao động  $D_1$  nâng biên độ xung dao động, ngăn  $C_5$  phóng qua đường  $U_{r1}$
- Cuộn 5-6,  $D_2, C_8$  cấp nguồn +115V
- Cuộn 3-4  $C_7, D_3$  cấp nguồn +14V
- $C_4, C_5$  lọc nhiễu đầu bộ dao động, bộ khuếch đại sai lệch
- $Z_{D2}$  bảo vệ quá áp cho tải khi  $T_1$  ngắn mạch.
- IC STR50115B:
- $T_1$ : chuyển mạch, dao động điều chế ĐXR.
- $T_3, T_2$  khuếch đại sai lệch
- $R_5, R_6$  phân áp hồi tiếp

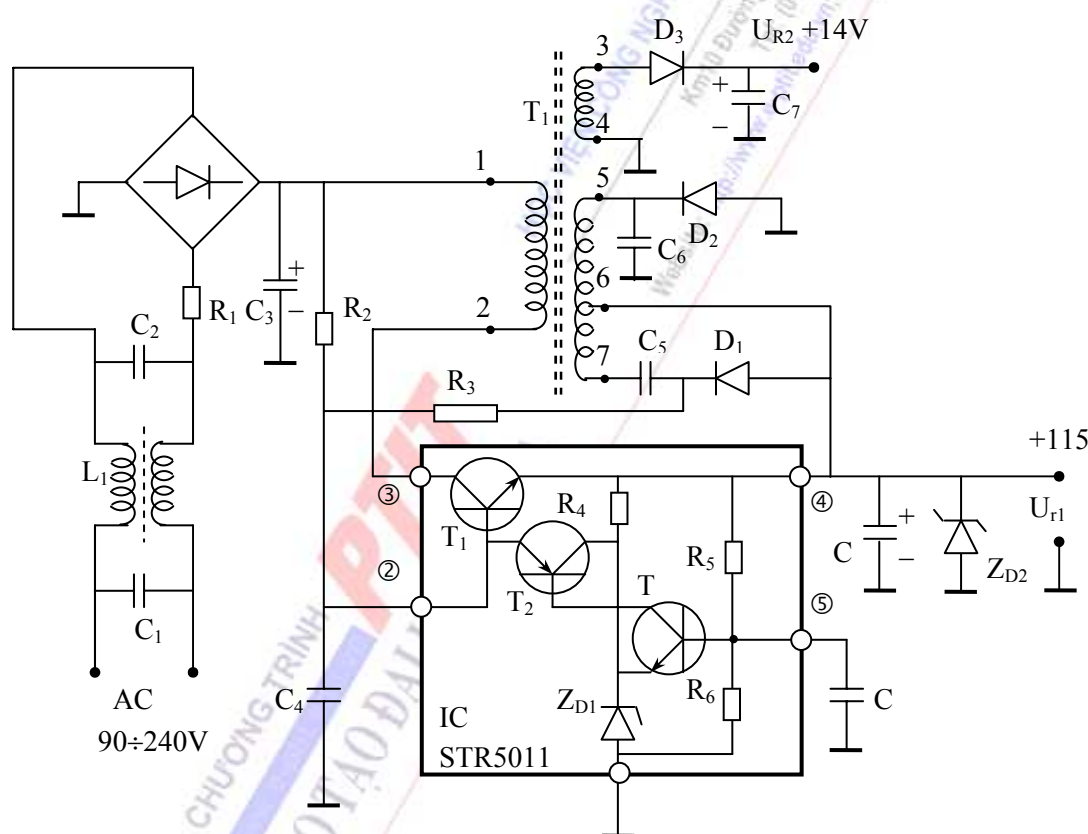
- $R_4, Z_{D1}$  tạo áp chuẩn cho bộ khuếch đại sai lệch
- $C_6$  suy giảm xung ngược trên cuộn 5-6, bảo vệ  $D_2$ .

Điện áp AC trong dải từ  $90 \div 240V$  qua bộ lọc nhiễu đầu vào, vào cầu chỉnh lưu rồi được  $C_3$  lọc san bằng.

Điện áp 1 chiều trên  $C_3$  (danh định khoảng 300Vdc). Điện áp  $U_{r1}$  trên chân 4 của IC qua phân áp đưa về cực  $B_3$  để so sánh với  $U_{ch}$  trên cực  $E$  (do  $Z_{D1}$ ), điện áp sai lệch ra ở cực  $C_{T3}$  được  $T_2$  khuếch đại rồi đưa vào không chế  $T_1$

$T_1$  vừa là chuyển mạch dao động tạo sóng tam giác vừa là mạch điều chế ĐRX.

Điện áp hồi tiếp từ cuộn 6-7 qua  $C_5, R_3$  đưa về chân 2 vào cực  $B_1$ , điện áp 1 chiều biến đổi theo  $U_{r1}$  tại cực  $E_2$  cùng đưa vào  $B_1$ , kết quả là điện áp các đầu ra ổn định. Tại chân 4 của IC có điện áp ra  $U_1 = 115V$  là kết quả của sự hiệu chỉnh của  $T_1$ : khi  $T_1$  thông và khi  $T_1$  ngắt thì được bổ sung bởi  $D_2$  chỉnh lưu xung ngược trên cuộn 5-6.



Hình 7-16 Một bộ nguồn mạch dải rộng công suất nhỏ.

## TÓM TẮT NỘI DUNG

Chương này cung cấp các kiến thức về các mạch tạo nguồn và ổn định nguồn. Phương pháp thứ nhất là chỉnh lưu và lọc. Tức là dùng các điốt chỉnh lưu điện áp xoay chiều thành điện áp một chiều và sau đó là lọc và ổn định điện áp, hoặc dòng điện.

Các mạch chỉnh lưu bao gồm:

- Chỉnh lưu 1 pha nửa sóng.
- Chỉnh lưu 1 pha toàn sóng: dùng biến áp có điểm giữa và chỉnh lưu cầu.



Các mạch lọc dùng LC và RC. Các mạch ổn định dùng điốt zener, hoặc hiệu chỉnh nối tiếp liên tục... Các mạch ổn định điện áp thường có khâu hồi tiếp về so sánh với một điện áp chuẩn và từ đó mạch sẽ điều chỉnh để điện áp hoặc dòng điện đầu ra giữ cố định. Với các mạch điện yêu cầu công suất nhỏ thì người ta chế tạo sẵn các IC ổn áp như: Các IC họ 78, 79, với điện áp ra là dương hoặc âm có giá trị từ vài vôn đến vài chục vôn.

Phương pháp tạo nguồn cung cấp thứ hai mà hiện nay đang sử dụng rất phổ biến đó là nguồn kiểu chuyển mạch. Nguồn cấp điện kiểu chuyển mạch làm việc với hiệu suất rất cao ( $\eta = 80\div 90\%$ ), giải ổn định rộng, kích thước gọn nhẹ.

## CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP

**Câu 1:** Cho một điện áp xoay chiều  $u(t) = 16 \cos(100\pi t)$  qua một bộ chỉnh lưu một pha nửa chu kỳ tải thuần trở. Tính  $U_0; f_d$ , điện áp ngược cực đại đặt lên điốt  $U_{Dng.max}$  ?

**Câu 2:** Cho một điện áp xoay chiều  $u(t) = 10 \cos(100\pi t)$  qua một bộ chỉnh lưu một pha nửa chu kỳ tải thuần dung. Tính  $U_0; f_d$ , điện áp ngược cực đại đặt lên điốt  $U_{Dng.max}$  ?

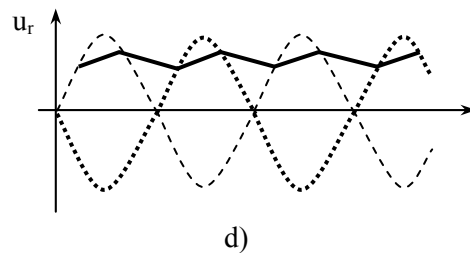
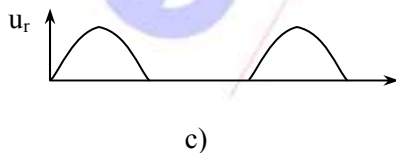
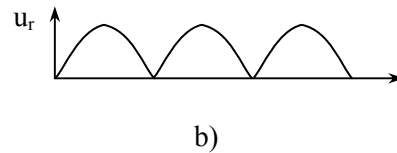
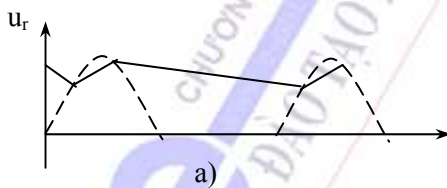
**Câu 3:** Cho mạch chỉnh lưu 1 pha toàn sóng dùng biến áp thứ cấp có điểm giữa, tải thuần trở, điện áp hiệu dụng trên mỗi cuộn thứ cấp là 12V. Tính  $U_0; f_d$  ?

**Câu 4:** Cho mạch chỉnh lưu 1 pha toàn sóng dùng biến áp thứ cấp có điểm giữa, tải thuần dung, điện áp hiệu dụng trên mỗi cuộn thứ cấp là 6V. Tính  $U_0; f_d; U_{Dng.max}$  ?

**Câu 5:** Cho mạch chỉnh lưu cầu 1 pha, tải thuần trở điện áp thứ cấp có  $U_{2M} = 10V$ . Tính  $U_0; f_d; U_{Dng.max}$  ?

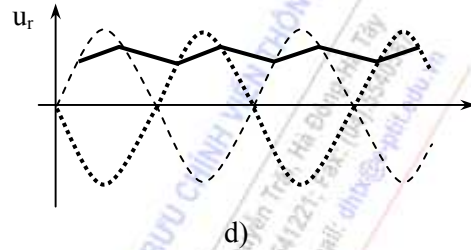
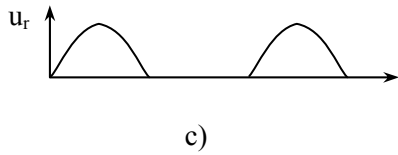
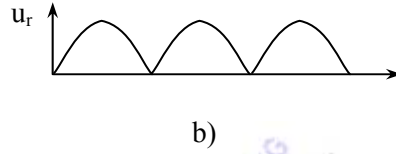
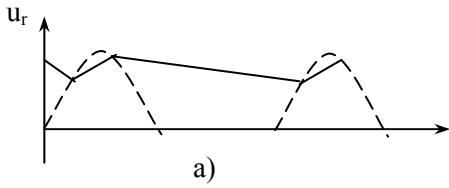
**Câu 6:** Cho mạch chỉnh lưu cầu 1 pha, tải thuần dung, điện áp thứ cấp có  $U_{2M} = 9V$ . Tính  $U_0; f_d; U_{Dng.max}$  ?

**Câu 7:** Dạng điện áp đầu ra của mạch chỉnh lưu 1 pha nửa sóng tải thuần trở như hình nào?

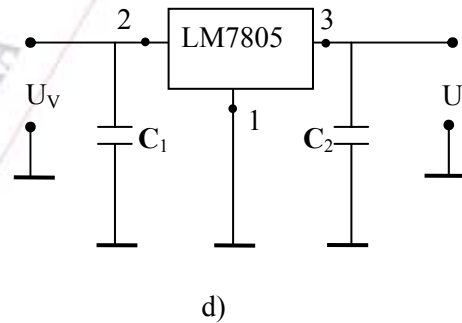
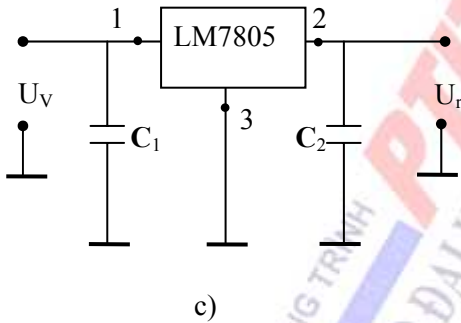
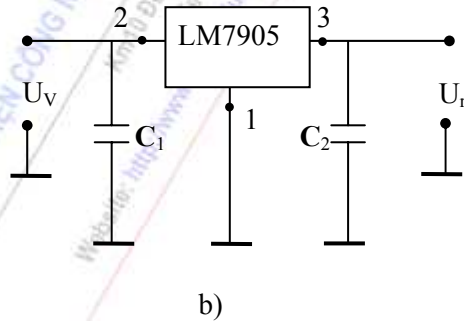
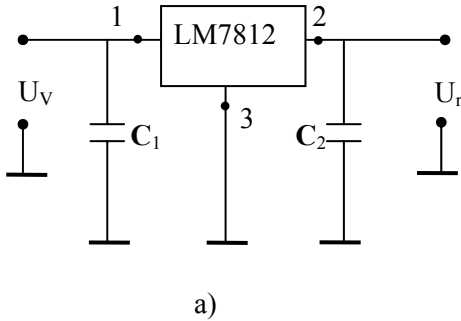




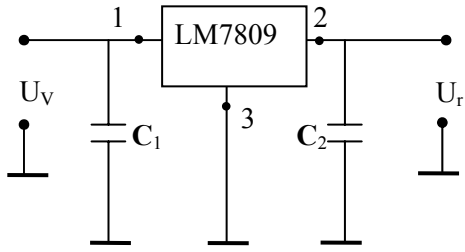
**Câu 8:** Dạng điện áp đầu ra của mạch chỉnh lưu 1 pha toàn sóng tải dung tính như hình nào?



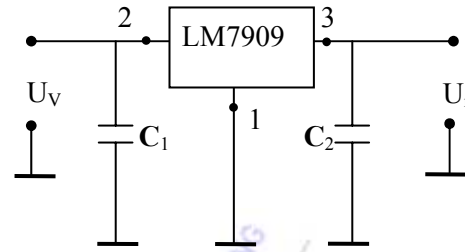
**Câu 9:** Sơ đồ mạch điện nào là sơ đồ ổn áp dùng IC có điện áp ra +5V ?



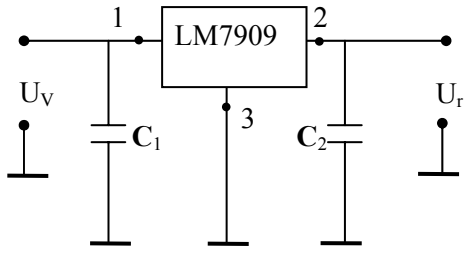
**Câu 10:** Sơ đồ mạch điện nào là sơ đồ ổn áp dùng IC có điện áp ra -9V ?



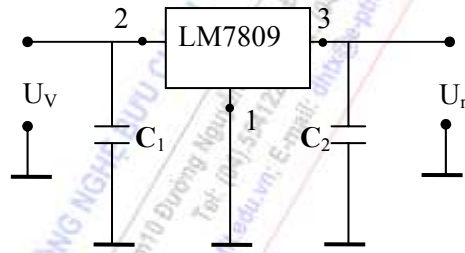
a)



b)



c)



d)

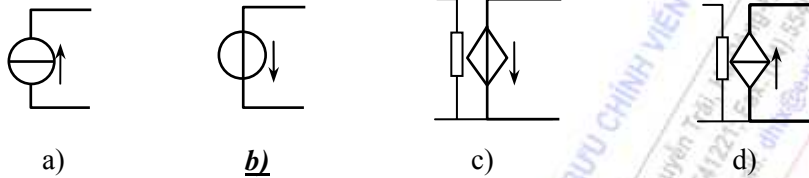
CHƯƠNG TRÌNH **PTIT**  
ĐÀO TẠO ĐẠI HỌC TỪ XA

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ LƯU CHI VIỄN HỒNG  
Km10 Đường Nguyễn Văn Linh, Phường Bình Hòa Tây, Quận Bình Thuận, TP. Hồ Chí Minh  
Tel: (091) 5547124  
Email: [dh@ptit.edu.vn](mailto:dh@ptit.edu.vn); [dh@ptit.edu.vn](mailto:dh@ptit.edu.vn)  
Website: <http://www.ptit.edu.vn>

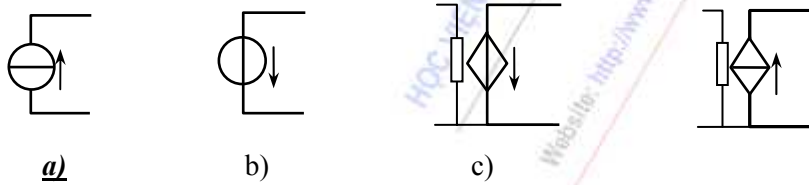
## HƯỚNG DẪN TRẢ LỜI

### CHƯƠNG 1

**Câu 2:** Ký hiệu nguồn điện áp độc lập là **b**:



**Câu 3** Ký hiệu nguồn dòng điện độc lập là **a**:



**Câu 4:** Trở kháng của phần tử thuần dung là:

a)  $Z_c = \frac{1}{j\omega C} = -jX_c$                       b)  $Z_C = j\omega C = jX_C$   
c)  $Z_C = j \frac{1}{\omega C} = jX_C$                       d)  $Z_C = -j\omega C$

**Câu 5:** Dẫn nạp của phần tử thuần cảm là:

a)  $Y_L = j \frac{1}{\omega L} = jB_L$                       b)  $Y_L = j\omega L = jB_L$   
c)  $Y_L = \frac{1}{j\omega L} = -jB_L$                       d)  $Y_L = -j\omega L = jB_L$   
c)  $Y_L = \frac{1}{j\omega L} = -jB_L$

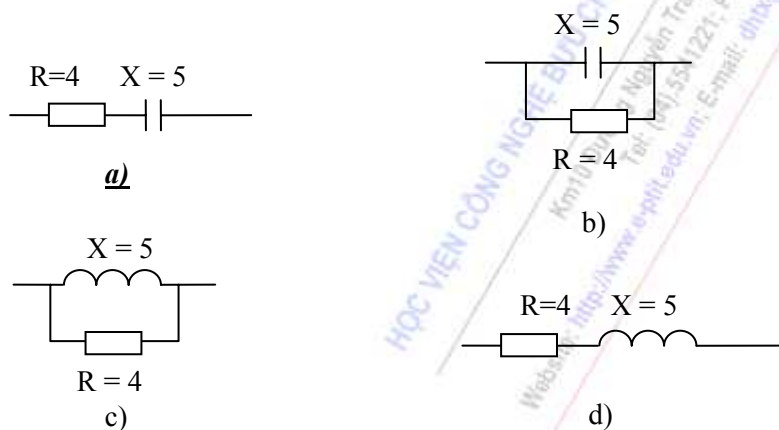
**Câu 6:** Một tụ điện có điện dung là  $C = 50\mu F$  ; với tần số  $\omega = 100(\text{rad} / \text{s})$  thì trở kháng của tụ là:

a)  $Z_C = j200$                       b)  $Z_C = -j200$   
c)  $Z_C = j5.10^{-3}$                       d)  $Z_C = -j5.10^{-3}$

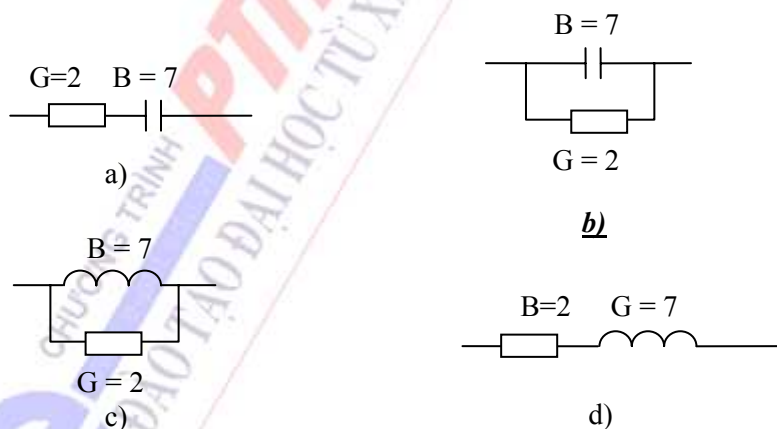
**Câu 7:** Một cuộn dây có điện cảm là  $L = 20\mu H$ ; với tần số  $\omega = 1000(\text{rad}/s)$  thì dẫn nạp của cuộn dây là:

- a)  $Y_L = j50$                       b)  $Y_L = -j2.10^{-2}$   
 c)  $Y_L = j2.10^{-2}$                   d)  $Y_L = -j50$

**Câu 8:** Sơ đồ tương đương chi tiết của mạch có  $Z = 4 - 5j$  là sơ đồ **a**:

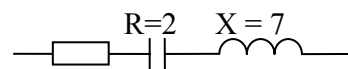


**Câu 9:** Sơ đồ tương đương chi tiết của mạch có  $Y = 2 + 7j$  là sơ đồ **b**:



**Câu 10:** Trở kháng tương đương của mạch hình I-1 là:

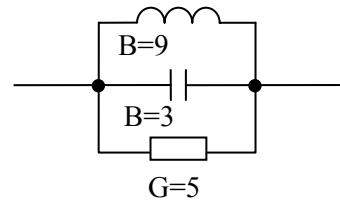
- a)  $Z = 2 + j12$                       b)  $Z = 2 - j2$   
 c)  $Z = 2 + j2$                       d)  $Z = 2 - j12$



**Hình I-1**

**Câu 11:** Dẫn nạp tương đương của mạch hình I-2 là:

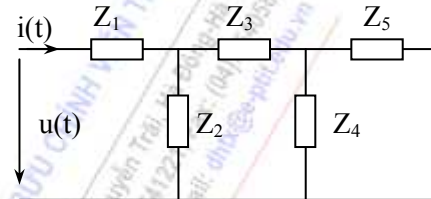
- a)  $Y = 5 + j12$                       b)  $Y = 5 + j6$   
 c)  $Y = 5 - j6$                          d)  $Z = 5 - j12$



**Hình I-2**

**Câu 12:** Cho sơ đồ mạch như hình I-3.

- Với:  $Z_1 = 1,025j$ ;  
 $Z_2 = 1,25 - j$ ;  $Z_3 = j$   
 $Z_4 = 2 - j$ ;  $Z_5 = 2 + j$



**Hình I-3.**

- a) Vẽ sơ đồ tương đương chi tiết theo các linh kiện.  
 b) Tính  $i(t)$  khi đặt một điện áp có biên độ hiệu dụng là 5V lên hai đầu đoạn mạch?

**Giải:**

a) Dựa vào từng trở kháng  $Z = R + jX$  vẽ sơ đồ tương đương chi tiết, chú ý: với  $X > 0$  là cuộn cảm,  $X < 0$  là tụ điện, và các linh kiện là mắc nối tiếp.

$$b) \quad Z_{45} = Z_4 // Z_5 = \frac{Z_4 Z_5}{Z_4 + Z_5} = 1,25$$

$$Z_{345} = Z_3 + Z_{45} = 1,25 + j$$

$$Z_{2345} = \frac{Z_2 \cdot Z_{345}}{Z_2 + Z_{345}} = 1,025$$

$$\Rightarrow Z_{td} = Z_{12345} = 1,025 + 1,025j$$

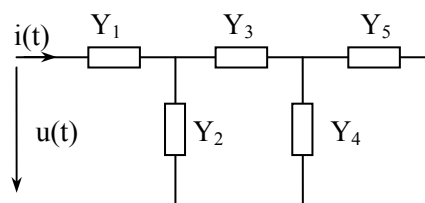
$$\text{Hay } Z_{td} = \sqrt{2} \cdot 1,025 e^{j\frac{\pi}{4}}$$

$$\text{Vậy: } \bar{I} = \frac{\bar{U}}{Z} = \frac{5 \cdot e^{j\omega t}}{\sqrt{2} \cdot 1,025 e^{j\frac{\pi}{4}}} = \sqrt{2} \cdot 2,44 e^{j\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right)}$$

$$i(t) = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2} \cdot 2,44 \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right) = 4,88 \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right) (A)$$

**Câu 13:** Cho sơ đồ mạch như hình I-4.

- Với:  $Y_1 = 1 + 2j$ ;  
 $Y_2 = -5j$ ;  $Y_3 = 2 + 4j$   
 $Y_4 = 1 - 5j$ ;  $Y_5 = 1 + j$



**Hình I-4.**

a) Vẽ sơ đồ tương đương chi tiết theo các linh kiện.

b) Tính dẫn nạp tương đương của toàn bộ mạch điện  $Y_{td}$  và  $i(t)$  khi đặt một điện áp có biên độ hiệu dụng là 9V lên hai đầu đoạn mạch?

**Giải:**

a) Dựa vào từng dẫn nạp  $Y = G + jB$  vẽ sơ đồ tương đương chi tiết, chú ý: với  $Y < 0$  là cuộn cảm,  $Y > 0$  là tụ điện, và các linh kiện là mắc song song.

b)  $Y_{45} = Y_4 + Y_5 = 2 - 4j$

$$Y_{345} = \frac{Y_3 \cdot Y_{45}}{Y_3 + Y_{45}} = 5$$

$$Y_{2345} = Y_2 + Y_{345} = 5 - 5j$$

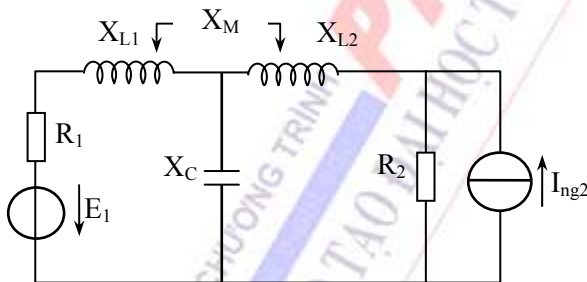
$$\Rightarrow Y_{td} = Y_{12345} = \frac{Y_1 Y_{2345}}{Y_1 + Y_{2345}} = \frac{(1 + 2j)(5 - 5j)}{(1 + 2j) + (5 - 5j)} = \frac{15 + 5j}{6 - 3j}$$

$$\Rightarrow Y_{td} = \frac{5 + 5j}{3} = \sqrt{2} \cdot \frac{5}{3} \cdot e^{j\frac{\pi}{4}}$$

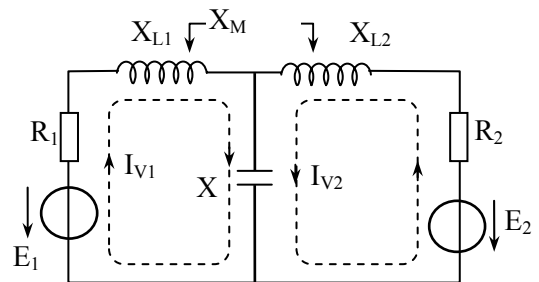
Vậy:  $\bar{I} = \bar{U} \cdot Y = 9e^{j\omega t} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{5}{3} \cdot e^{j\frac{\pi}{4}} = \sqrt{2} \cdot 15 \cdot e^{j\left(\omega t + \frac{\pi}{4}\right)}$

$$\Rightarrow i(t) = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2} \cdot 15 \cdot \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{4}\right) = 30 \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{4}\right) (A)$$

**Câu 14:** Hãy tính các dòng điện nhánh của mạch điện hình I-5.



**Hình I-5.**



**Hình I-6.**

**Giải:**

Trước hết ta phải chuyển nguồn dòng  $I_{ng2}$  về dạng nguồn áp:

$$E_2 = I_{ng2} \cdot R_2$$

Và mạch điện được vẽ lại như hình I-6. Bây giờ viết hệ phương trình dòng điện vòng:

$$\begin{cases} (R_1 + jX_{L1} - jX_C) \cdot I_{v1} + (-jX_C \pm jX_M) \cdot I_{v2} = E_1 \\ (-jX_C \pm jX_M) \cdot I_{v1} + (R_2 + jX_{L2} - jX_C) \cdot I_{v2} = E_2 \end{cases}$$

Theo quy tắc Cramer ta có:



$$I_{v1} = \frac{\begin{bmatrix} E_1 & -j(X_c \pm X_M) \\ E_2 & R_2 + j(X_{L2} - X_c) \end{bmatrix}}{\Delta Z_v}$$

$$I_{v2} = \frac{\begin{bmatrix} R_1 + j(X_{L1} - X_c) & E_1 \\ -j(X_c \pm X_M) & E_2 \end{bmatrix}}{\Delta Z_v}$$

Các công thức biến đổi vòng của mạch điện:

$$i_{R1} = I_{v1}$$

$$i_{R2} = I_{v2}$$

$$i_{Xc} = i_{v1} + i_{v2}$$

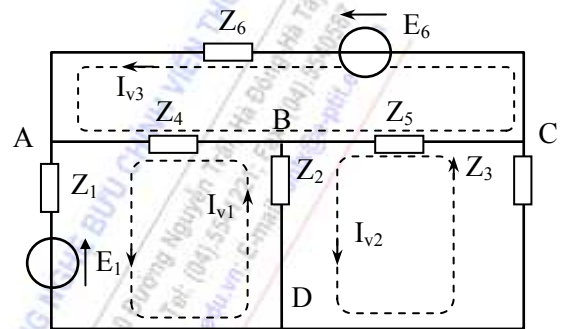
**Câu 15:** Tính dòng các điện nhánh của mạch điện hình I-7 với các số liệu dưới dạng phức:

$$E_1 = 1V; E_6 = jV$$

$$Z_1 = 1\Omega; Z_2 = -j\Omega$$

$$Z_3 = j\Omega; Z_4 = 1\Omega$$

$$Z_5 = j\Omega; Z_6 = 1\Omega$$



Hình I-7.

**Giải:** Sử dụng phương pháp dòng điện vòng:

$$\begin{cases} (Z_1 + Z_2 + Z_4)I_{v1} - Z_2I_{v2} - Z_4I_{v3} = E_1 \\ -Z_2I_{v1} + (Z_2 + Z_3 + Z_5)I_{v2} - Z_5I_{v3} = 0 \\ -Z_4I_{v1} - Z_5I_{v2} + (Z_4 + Z_5 + Z_6)I_{v3} = -E_6 \end{cases}$$

Thay số: 
$$\begin{cases} (2 - j)I_{v1} + jI_{v2} - I_{v3} = 1 \\ jI_{v1} + jI_{v2} - jI_{v3} = 0 \\ -I_{v1} - jI_{v2} + (2 + j)I_{v3} = -j \end{cases}$$

$$\Delta Z_v = \begin{vmatrix} 2-j & j & -1 \\ j & j & -j \\ -1 & -j & 2+j \end{vmatrix} = 2 + 4j$$

Tính được:

$$\begin{cases} I_{v1} = \frac{\begin{vmatrix} 1 & j & -1 \\ 0 & j & -j \\ -j & -j & 2+j \end{vmatrix}}{2+4j} = \frac{3-j}{10} \\ I_{v2} = \frac{\begin{vmatrix} 2-j & 1 & -1 \\ j & 0 & -j \\ -1 & -j & 2+j \end{vmatrix}}{2+4j} = -\frac{1+3j}{5} \\ I_{v3} = \frac{\begin{vmatrix} 2-j & j & 1 \\ j & j & 0 \\ -1 & -j & -j \end{vmatrix}}{2+4j} = \frac{1-7j}{10} \end{cases}$$

Theo các công thức biến đổi vòng của mạch điện ta tính được:

$$i_1 = I_{v1} = \frac{3-j}{10} = \frac{1}{\sqrt{10}} \angle -18^\circ 5'$$

$$i_2 = I_{v1} - I_{v2} = \frac{1+j}{2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \angle 45^\circ$$

$$i_3 = I_{V2} = -\frac{1+3j}{5} = \frac{2}{\sqrt{10}} \angle -108^\circ 5'$$

$$i_4 = I_{V3} - I_{V1} = -\frac{1+3j}{5} = \frac{2}{\sqrt{10}} \angle -108^\circ 5'$$

$$i_5 = I_{V3} - I_{V2} = \frac{3-j}{10} = \frac{1}{\sqrt{10}} \angle 18^\circ 0'$$

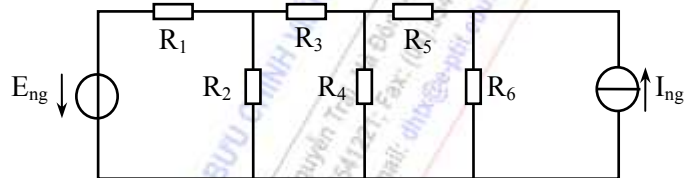
$$i_6 = I_{V3} = \frac{1-7j}{10} = \frac{1}{\sqrt{2}} \angle 82^\circ 0'$$

**Câu 16:** Cho mạch điện như hình vẽ I-8, hãy tính dòng điện  $i_{R4}$  bằng phương pháp nguồn tương đương, với các số liệu:

**Giải:**

Trước hết ta chuyển sơ đồ mạch điện về sơ đồ mới hình I-9, Trong đó:

$E_{ng}$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  được thay bằng  $E_1$ ,  $Z_1$ :

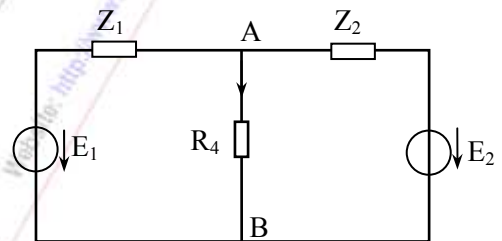


**Hình I-8.**

$$\begin{cases} E_1 = \frac{E_{ng} \cdot R_1 R_2}{R_1 + R_2} = E_{ng} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 3V \\ Z_1 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3 = 3\Omega \end{cases}$$

và  $I_{ng}$ ,  $R_5$ ,  $R_6$ , được thay bằng  $E_2$ ,  $Z_2$ :

$$\begin{cases} E_2 = I_{ng} R_6 = 8V \\ Z_2 = R_5 + R_6 = 4\Omega \end{cases}$$



**Hình I-9.**

-Nếu tính theo thevenine khi đó:

$$\begin{cases} U_{hmAB} = E_2 - Z_2 \frac{E_2 - E_1}{Z_1 + Z_2} = 8 - 4 \frac{8 - 3}{3 + 4} = 8 - \frac{20}{7} = \frac{36}{7} V \\ Z_{tdAB} = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{3 \cdot 4}{3 + 4} = \frac{12}{7} \Omega \end{cases}$$

Vậy theo sơ đồ tương đương Thevenine ta có:

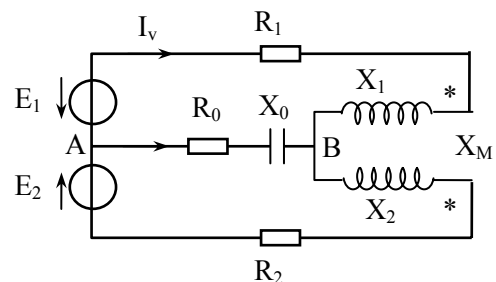
$$i_{R4} = \frac{U_{hmAB}}{Z_{tdAB} + R_4} = \frac{36}{7(\frac{12}{7} + 2)} = \frac{18}{13} A$$

**Câu 17:** Cho mạch điện hình I-10, hãy tính dòng  $i_0$  bằng phương pháp nguồn tương đương

**Giải:**

- Ngắt  $R_0$  và  $X_0$  ra khỏi mạch.

- Để tính  $U_{hmAB}$ , thì trước hết ta tính dòng điện vòng  $I_v$  chạy trong mạch theo công thức:



**Hình I-10.**

$$I_v = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2 + j(X_1 + X_2 - 2X_M)}$$

Mặt khác:

$$(R_1 + jX_1 - jX_M)I_v - U_{hmAB} = E_1$$

Vậy:  $U_{hmAB} = -E_1 + (R_1 + jX_1 - jX_M)I_v$

- Bây giờ ta phải tính  $Z_{tdAB}$ . Sau khi ngắn mạch hai nguồn sđđ, nhìn từ cặp điểm AB có hai nhánh mạch như hình I-11a. Do có tính đến ghép hồ cảm nên ta không thể tính  $Z_{tdAB}$  theo quan niệm hai nhánh mạch ghép song song với nhau mà phải áp dụng phương pháp dòng điện vòng, đặt:

$$\begin{cases} Z_1 = R_1 + jX_1 \\ Z_2 = R_2 + jX_2 \\ Z_M = jX_M \end{cases}$$

khi đó hình I-7a có thể vẽ lại như hình I-11b:

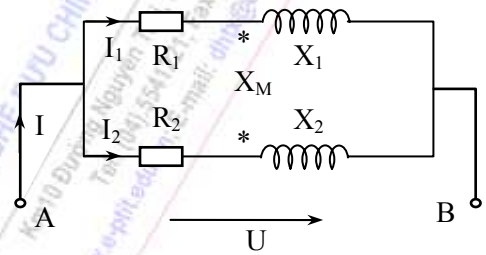
$$Z_{tdAB} = \frac{\vec{U}}{\vec{I}}$$

theo kết quả của thí dụ 1.4, áp dụng trong trường hợp cụ thể này ta có:

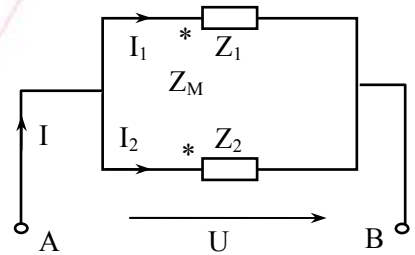
$$Z_{tdAB} = \frac{Z_1 Z_2 - Z_M^2}{Z_1 + Z_2 - 2Z_M}$$

Như vậy theo sơ đồ tương đương Thevenine ở hình I-12 ta tính được kết quả cuối cùng:

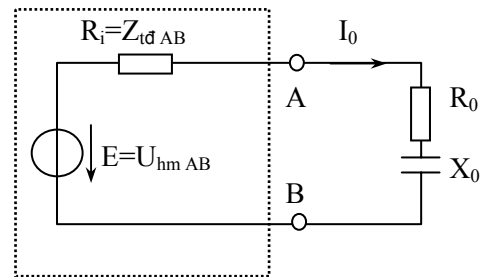
$$i_0 = \frac{U_{hmAB}}{Z_{tdAB} + R_0 - jX_0}$$



Hình I-11a



Hình I-11b.

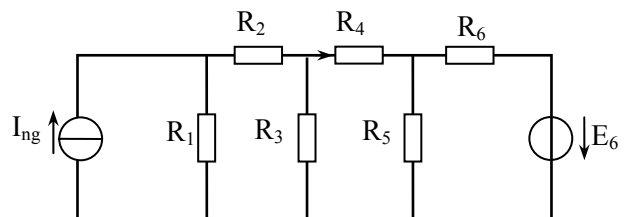


Hình I-12.

**Câu 18:** Cho mạch điện hình I-13, hãy tính dòng điện chạy qua  $R_4$  bằng cách áp dụng nguyên lý xếp chồng.

**Giải:**

Theo nguyên lý xếp chồng, nếu nguồn dòng  $I_{ng}$  gây nên trong  $R_4$  một dòng điện  $i_a$  và nguồn  $E_6$  gây nên trong  $R_4$  một dòng điện  $i_b$  thì dòng tổng qua  $R_4$  sẽ là:



Hình I-13.

$$i_4 = i_a + i_b$$

Để tính dòng  $i_a$  trước hết ta phải loại bỏ nguồn  $E_6$  khi đó:

$$i_2 = \frac{I_{ng} R_1}{R_1 + R_{23456}}$$

và ta tính được:

$$i_a = i_2 \frac{R_3}{R_3 + R_{456}}$$

Để tính dòng  $i_b$  trước hết ta phải loại bỏ nguồn dòng  $I_{ng}$  khi đó:

$$i_6 = \frac{E_6}{R_6 + R_{12345}}$$

và ta cũng tính được:

$$i_b = i_6 \frac{R_5}{R_5 + R_{1234}}$$

Như vậy nếu tính đến chiều dòng điện ta sẽ có:

$$i_4 = |i_a| - |i_b|$$

## CHƯƠNG 2

**Câu 1.** Độ rộng vùng cấm  $E_G$  của chất cách điện là  $E_G > 2eV$  phương án **c**.

- a)  $E_G < 2eV$ .
- b)  $E_G = -2eV$
- c)  $E_G > 2eV$ .
- d)  $E_G > -2eV$ .

**Câu 2.** Độ rộng vùng cấm  $E_G$  của chất bán dẫn là  $0 < E_G < 2eV$  - phương án **a**.

- a)  $0 < E_G < 2eV$
- b)  $E_G = 1eV$
- c)  $E_G > 2eV$ .
- d)  $E_G > -2eV$ .

**Câu 4:** Lớp tiếp xúc P-N phân cực thuận khi điện áp đặt lên tiếp xúc P-N có chiều sao cho  $V_P - V_N > 0$  - phương án **c**:

- a)  $V_P - V_N < 0$ .
- b)  $V_P - V_N = 0$

c)  $V_P - V_N > 0$

d) Không phải các đáp án trên.

**Câu 5:** Lớp tiếp xúc P-N phân cực ngược khi điện áp đặt lên tiếp xúc P-N có chiều sao cho  $V_P - V_N < 0$  - phương án **a**:

a)  $V_P - V_N < 0$

b)  $V_P - V_N = 0$

c)  $V_P - V_N > 0$

d) Không phải các đáp án trên.

**Câu 6:** Một tranzito được gọi là tranzito thuận nếu nó là loại P-N-P, phương án **b**:

a) N-P-N.

b) **P-N-P**

c) N-N-P

d) P-P-N

**Câu 7:** Một tranzito được gọi là tranzito ngược nếu nó là loại N-P-N, phương án **a**:

a) **N-P-N**

b) P-N-P

c) N-N-P

d) P-P-N

**Câu 8:** Một tranzito hoạt động ở chế độ tích cực khi:

a) Tiếp xúc  $T_E$  phân cực ngược và  $T_C$  phân cực ngược.

b) **Tiếp xúc  $T_E$  phân cực thuận và  $T_C$  phân cực ngược.**

c) Tiếp xúc  $T_E$  phân cực thuận và  $T_C$  phân cực thuận.

d) Tiếp xúc  $T_E$  phân cực ngược và  $T_C$  phân cực thuận.

**Câu 9:** Một tranzito hoạt động ở chế độ ngắt khi:

a) **Tiếp xúc  $T_E$  phân cực ngược và  $T_C$  phân cực ngược.**

b) Tiếp xúc  $T_E$  phân cực thuận và  $T_C$  phân cực ngược.

c) Tiếp xúc  $T_E$  phân cực thuận và  $T_C$  phân cực thuận.

d) Tiếp xúc  $T_E$  phân cực ngược và  $T_C$  phân cực thuận.

**Câu 10:** Một tranzito hoạt động ở chế độ thông bão hòa khi:

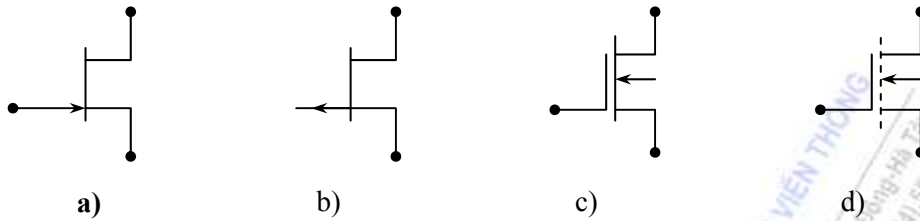
a) Tiếp xúc  $T_E$  phân cực ngược và  $T_C$  phân cực ngược.

b) Tiếp xúc  $T_E$  phân cực thuận và  $T_C$  phân cực ngược.

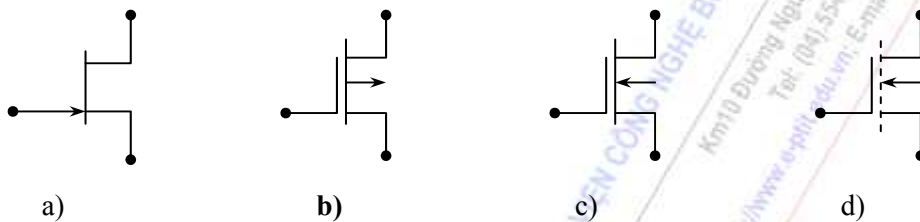
c) **Tiếp xúc  $T_E$  phân cực thuận và  $T_C$  phân cực thuận.**

d) Tiếp xúc  $T_E$  phân cực ngược và  $T_C$  phân cực thuận

**Câu 11:** Ký hiệu của JFET kênh N trong sơ đồ mạch là hình **a**.



**Câu 12:** Ký hiệu của MOSFET kênh có sẵn loại P trong sơ đồ mạch là hình **b**:



### CHƯƠNG 3

**Câu 1:** Trong các mạch khuếch đại, tranzito hoạt động ở chế độ tích cực (**c**):

- a) Thông báo hòa      b) Ngắt      **c) Tích cực**      d) cả phương án a và b.

**Câu 2:** Arguymen của hệ số khuếch đại điện áp  $K_u$  cho biết (**c**):

- a) Lệch pha giữa điện áp vào và dòng điện đầu vào.  
 b) Lệch pha giữa điện áp ra và dòng điện đầu ra.  
**c) Lệch pha giữa điện áp ra và điện áp vào.**  
 d) Lệch pha giữa điện áp vào và dòng điện ra.

**Câu 3:** Hiệu suất của một tầng khuếch đại được tính bằng:

a)  $\eta = \frac{P_r}{P_v}$       b)  $\eta = \frac{P_r}{P_0}$       c)  $\eta = \frac{P_v}{P_0}$       d)  $\eta = \frac{P_0}{P_r}$

**Câu 4:** Hồi tiếp là hồi tiếp âm khi:

- a) Điện áp hồi tiếp về ngược pha với điện áp vào.**  
 b) Điện áp hồi tiếp về cùng pha với điện áp vào.  
 c) Điện áp hồi tiếp về tỷ lệ với dòng điện đầu ra.  
 d) Không phải các trường hợp trên.

**Câu 5:** Hồi tiếp là hồi tiếp dương khi:

- a) Điện áp hồi tiếp về ngược pha với điện áp vào.



b) **Điện áp hồi tiếp về cùng pha với điện áp vào.**

c) Điện áp hồi tiếp về tỷ lệ với điện áp đầu ra.

d) Điện áp hồi tiếp về tỷ lệ với dòng điện đầu ra.

**Câu 6:** Hồi tiếp âm làm

a) Tăng hệ số khuếch đại chung của mạch.

b) Giảm hệ số khuếch đại chung của mạch.

c) Ổn định điểm làm việc tĩnh và mở rộng dải tần làm việc.

d) **Cả b) và c).**

**Câu 7:** Hồi tiếp dương làm

a) Tăng hệ số khuếch đại chung của mạch.

b) Giảm hệ số khuếch đại chung của mạch.

c) Thường dùng trong các mạch tạo dao động.

d) **Cả a) và c).**

**Câu 8:** Tầng khuếch đại EC có

a) Điện trở vào lớn.

b) Hệ số khuếch đại điện áp và dòng điện lớn.

c) Điện áp ra đảo pha so với điện áp vào

d) **Cả b) và c)**

**Câu 9:** Tầng khuếch đại CC có

a) **Điện trở vào lớn.**

b) Điện trở vào nhỏ.

c) Điện áp ra đảo pha so với điện áp vào

d) Cả a) và c)

**Câu 10:** Tầng khuếch đại BC có

a) Điện trở vào lớn.

b) **Điện trở vào nhỏ.**

c) Điện áp ra đảo pha so với điện áp vào

d) Cả b) và c)

**Câu 11:** Hệ số khuếch đại điện áp của mạch khuếch đại được tính bằng công thức **b:**

a)  $\vec{K}_U = \frac{\vec{U}_v}{\vec{U}_r}$     b)  $\vec{K}_U = \frac{\vec{U}_r}{\vec{U}_v}$     c)  $K_U = \frac{U_r}{I_v}$     d)  $\vec{K}_U = \frac{\vec{I}_r}{\vec{U}_v}$

**Câu 12:** Trở kháng đầu ra của tầng khuếch đại là công thức **c**:

a)  $Z_r = \frac{U_v}{I_v}$  ;    b)  $Z_r = \frac{U_r}{I_v}$     **c)  $Z_r = \frac{U_r}{I_r}$**     d)  $Z_r = \frac{U_v}{I_r}$

**Câu 13:** Góc cắt  $\theta$  của mạch khuếch đại công suất làm việc ở chế độ AB là:

a)  $\theta = 90^0$     b)  $\theta = 180^0$     c)  $\theta = 360^0$     **c)  $90^0 < \theta < 180^0$**

**Câu 14:** Méo tần số thấp của bộ khuếch đại được tính bằng công thức **a**.

**a)  $M_t = \frac{K_0}{K_t}$**     b)  $M_t = \frac{K_0}{K_c}$     c)  $M_t = \frac{K_c}{K_t}$     d)  $M_t = \frac{K_t}{K_0}$

**Câu 15:** Cho mạch điện như hình III-1;

$R_C = 400\Omega; R_E = 600\Omega; R_B = 20k\Omega; U_B = 0,6V$  ;

$U_{BC} = 0,7; \beta = 90$  . Hãy tính các đặc tính của mạch.

**Giải:**

$U_{R_B} = U_B - U_{BC} - U_{R_E}$  ;

$U_{R_E} = I_B(\beta + 1).R_E$  ;

$U_{R_B} = U_B - U_{BC} - I_B(\beta + 1).R_E$

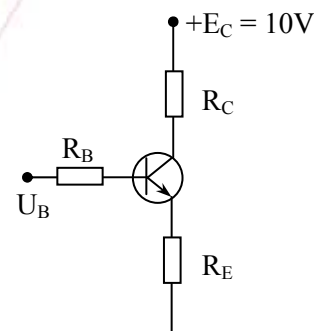
Và  $I_B = \frac{U_{R_B}}{R_B}$

$I_B = \frac{6 - 0,7 - 91 \times 600.I_B}{20.10^3} \rightarrow I_B = \frac{5,3 - 91 \times 600.I_B}{20.10^3} \Rightarrow I_B = 0,071(mA)$  ;

$\Rightarrow I_C = \beta I_B = 90.0,071 = 6,39(mA)$  ;

$\Rightarrow I_E = I_B + I_C = 6,46(mA)$  .

$U_{CE} = E_C - U_{R_C} - U_{R_E} = 10 - I_C R_C - I_E R_E = 10 - 400.6,39.10^{-3} - 6,46.600.10^{-3} = 3,57(V)$



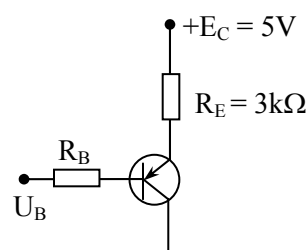
**Hình III-1.**

**Câu 16:** Cho mạch điện như hình III-2.

Với:

$U_{EB} = 0,6V; \beta = 80; U_{EC0} = 2,5V$  ;

$E_C = 5V; U_B = -2V$



**Hình III-2.**

Tính các đặc tính của mạch?

**Giải**

$$U_{R_E} = E_C - U_{ce0} = 5 - 2,5 = 2,5V ;$$

$$\Rightarrow I_E = \frac{U_{R_E}}{R_E} = \frac{2,5}{3k\Omega} = 0,833(mA)$$

$$\Rightarrow I_B = \frac{I_E}{(\beta + 1)} = \frac{0,833(mA)}{81} \approx 0,01(mA);$$

$$U_{R_B} = E_C - U_{R_E} - U_{eb} - U_B = 5 - 2,5 - 0,6 + 2 = 3,9V ;$$

$$R_B = \frac{U_{R_B}}{I_B} = \frac{3,9}{0,01mA} = 390k\Omega ;$$

$$I_C = \beta I_B = 80 \cdot 0,01mA = 0,8mA$$

**Câu 17:**

Cho mạch như hình III-3. Với các số liệu:

$$E_C = 5V; R_C = 1k\Omega; U_{be0} = 0,7V; \beta = 100;$$

Hãy tính  $R_1, R_2$  để mạch ổn định biên áp với  $U_{CE0} = 3V$ . Biết  $U_{Re} = 0,673V$ .

**Giải**

$$U_B = U_{R_2} = U_{BE0} + U_{R_E} = 0,7 + 0,673 = 1,373V ;$$

$$I_C = \frac{U_{R_C}}{R_C} = \frac{E_C - U_{ce0} - U_{R_E}}{R_C} = \frac{5 - 3 - 0,673}{1k\Omega} = 1,327(mA) ;$$

$$\Rightarrow I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{1,327mA}{100} = 13,27\mu A$$

$$\text{Chọn } I_1 = 5 \cdot I_B = 5 \times 13,27(\mu A) = 66,35(\mu A).$$

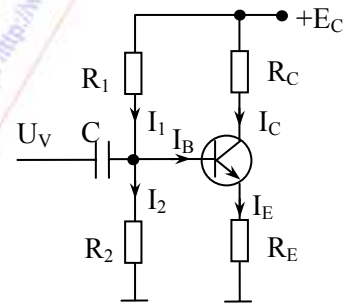
$$\text{Vậy } R_1 = \frac{U_{R_1}}{I_1} = \frac{E_C - U_B}{I_1} = \frac{5 - 1,373}{66,35(\mu A)} \approx 54,67k\Omega ;$$

$$I_2 = I_1 - I_B = 66,35 - 13,27 = 53,08(\mu A);$$

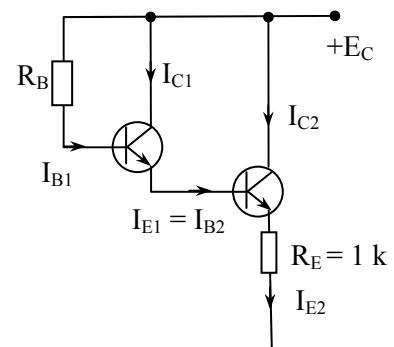
$$R_2 = \frac{U_{R_2}}{I_2} = \frac{1,373}{53,08(\mu A)} \approx 25,87k\Omega$$

**Câu 18:**

Cho mạch như hình III-4.



**Hình III-3.**



**Hình III-4.**

Với  $\beta_1 = \beta_2 = 65$ ;  $E_C = 10V$ .

Hãy xác định  $R_B$  và  $U_{CE1}$  để  $U_{CE2} = 6V$

**Giải:**

Đây là mạch mắc theo kiểu Darlington.

Để  $U_{ce2} = 6V$  thì:

$$U_{E2} = U_{Re} = +E_C - U_{ce2} = 10 - 6 = 4V$$

$$\Rightarrow I_{E2} = \frac{U_E}{R_E} = \frac{4V}{1k\Omega} = 4mA \Rightarrow I_{B2} = I_{E1} = \frac{I_{E2}}{(1 + \beta_2)} = \frac{4mA}{66} = 0,06mA.$$

$$\Rightarrow I_{B1} = \frac{I_{E1}}{(1 + \beta_1)} = \frac{0,06}{66} \approx 0,91\mu A.$$

Chọn  $U_{be1} = U_{be2} = 0,7V$ , thì:

$$U_{R_B} = +E_C - U_{be1} - U_{be2} - U_{R_E} = 10 - 0,7 - 0,7 - 4 = 4,6V.$$

$$\text{Vậy: } R_B = \frac{U_{R_B}}{I_{B1}} = \frac{4,6}{0,91\mu A} \approx 5,05M\Omega.$$

**Câu 19:**

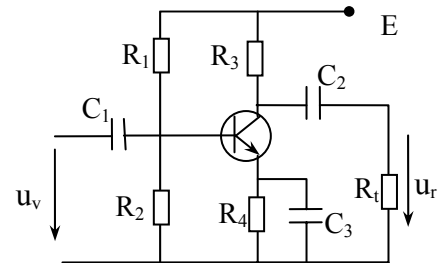
Cho mạch điện như hình III-5.

Với  $E = 12V$ ;

$R_1 = 20k\Omega$ ;  $R_2 = 4k\Omega$

$R_3 = 4k\Omega$ ;  $R_4 = 1k\Omega$

$\beta = 99$ ;  $U_{BE} = +0,6V$



**Hình III-5.**

- Xác định  $I$  một chiều và  $U$  một chiều trên các cực.
- Biết  $R_l = 8k\Omega$ , xác định tải một chiều và tải xoay chiều của tầng khuếch đại. Vẽ đường tải một chiều tại vị trí điểm làm việc Q đầu ra của tầng khuếch đại.
- Vẽ dạng tín hiệu vào, ra của mạch.

**Giải:**

Mạch này để ổn định điện áp cực B được chọn:  $I_{R_1} = I_{R_2}$  (để dòng phân áp  $\gg I_B$ ) nên:

$$U_B = \frac{E}{R_1 + R_2} \cdot R_2 = \frac{12}{20 + 4} \cdot 4 = 2V.$$

Để tranzito làm việc ở chế độ khuếch đại thì  $U_{BE} = 0,6V$  nên từ mạch điện ta có:

$$U_B = U_{BE} + U_E \Rightarrow U_E = U_B - U_{BE} \Rightarrow U_E = 1,4V$$

$$\text{Vậy: } I_E = \frac{U_E}{R_E} = 1,4mA$$

$$I_E = (\beta + 1)I_B \Rightarrow I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} = 14\mu A$$

$$I_C = I_E - I_B = 1,386mA \Rightarrow U_C = E - I_C \cdot R_3 = 6,456V$$

b) Tính tải  $R_{t=}$ ,  $R_{t\sim}$

- Tải một chiều là tải mà dòng một chiều đầu ra đi qua. Từ mạch điện ta có:

$$R_{t=} = R_3 \text{ nt } R_4 \Rightarrow R_{t=} = R_3 + R_4 = 5k\Omega$$

- Tải xoay chiều là tải mà dòng xoay chiều đầu ra đi qua. Từ mạch điện ta có (do dòng qua các tụ là dòng xoay chiều nên các tụ C coi như đầu tắt):

$$R_{t\sim} = R_3 // R_t \Rightarrow R_{t\sim} = \frac{R_3 \cdot R_t}{R_3 + R_t} = 2,67k\Omega$$

Xác định đường tải một chiều vẽ và xác định điểm l/v Q:

$$\text{Phương trình đường tải một chiều: } E = U_{CE} + U_C + U_E = U_{CE} + I_C (R_3 + R_4)$$

$$\text{Cho: } U_{CE} = 0 \Rightarrow I_C = \frac{E}{R_3 + R_4} = \frac{12}{(4+1) \cdot 10^3} = 2,4mA$$

$$\text{Cho: } I_C = 0 \Rightarrow U_{CE} = E = 12V$$

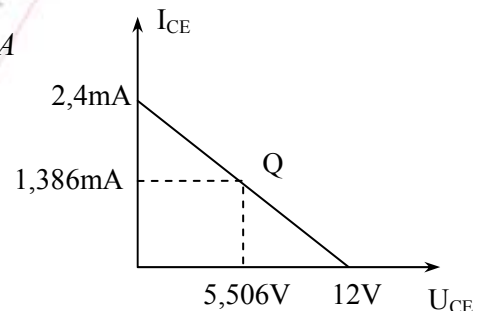
Đường tải một chiều:

Khi  $I_C$  tăng thì  $U_{CE}$  giảm (và ngược lại) một cách tuyến tính. Điểm làm việc Q tại:

$$I_{CE} = 1,386mA; U_{CE} = U_C - U_E = 5,056V$$

c) Dạng tín hiệu vào, ra:

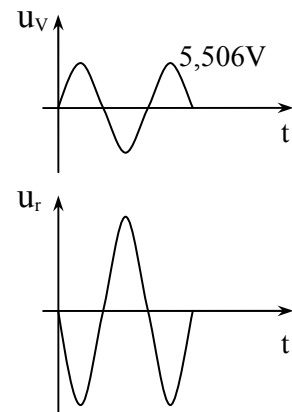
Mạch mắc E chung nên tín hiệu ra ngược pha với tín hiệu vào.



**Câu 20:** Cho mạch điện hình III-6.

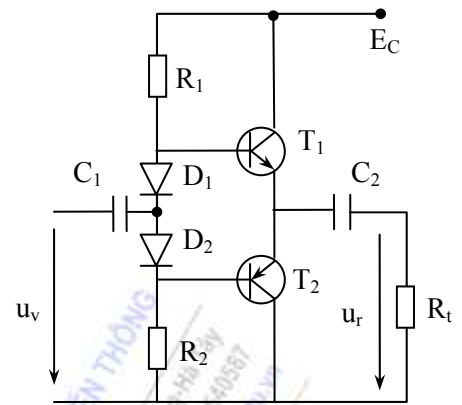
$$\text{Biết: } E = 20V; U_D = I_{BE} = 0,5V$$

Xem  $T_1, T_2$  là lý tưởng để khuếch đại cho biên độ cực đại.  $I_{phân cực} = 1mA$ . Tìm  $R_1; R_2; P_r; \eta = ?$  khi  $R_6 = 100\Omega$ .



**Giải:**

Khi có nửa tín hiệu vào cùng đưa vào  $T_1, T_2$  khuếch đại. Ở nửa chu kỳ (+)  $T_1$  khuếch đại,  $T_2$  tắt vì  $U_{BE1} > 0$  còn  $U_{BE2} < 0$  ( $T_2$  thuận).  $T_1$  khuếch đại hơn nửa sin. Trong nửa chu kỳ sau  $U_{BE1} < 0$ ,  $T_1$  tắt;  $U_{BE2} < 0$ ,  $T_2$  khuếch đại hơn nửa sin. Xét về một chiều, mạch này đối xứng nên điện áp một chiều tại chân E của hai tranzito là  $E/2 = 10V$  và  $R_1 = R_2$



Hình III-6.

Coi  $I_{phân cực} \gg I_B \Rightarrow I \cdot R_1 + 0,5 = 10V$

$$R_1 = R_2 = \frac{10 - 0,5}{10^{-3}} = 9,5k\Omega$$

Tính công suất ra khi  $R_t = 100\Omega$

Do hai tranzito việc ở chế độ lý tưởng, biên độ ra cực đại nên  $U_{r\max} = 10V$

$$P_{r\sim} = \frac{U_{hd}^2}{R_t} = 0,5W$$

Tìm  $P_0$ : Nguồn cung cấp công suất ra tải chỉ có nửa (+) của tín hiệu vào vì lúc này  $T_1$  thông do đó dòng mới qua nguồn:  $P_0 = E \cdot I_{tb}$  ( nửa chu kỳ ). Khi  $T_1$  làm việc dòng qua tải cực đại

là  $I_{C\max} = I_{t\max} = \frac{E/2}{R_t} = \frac{10}{100} = 0,1A$

$$I_{tb} \text{ (nửa chu kỳ)} = \frac{I_{t\max}}{\pi} = \frac{1,0}{3,14} = 0,318$$

$$P_0 = 20 \times 0,318 = 0,636W$$

Hiệu suất của mạch:  $\eta = \frac{P_r}{P_o} = \frac{0,5}{2/3,14} = \frac{0,5 \times 3,14}{2} \approx 78\%$

**CHƯƠNG 4**

**Câu 1:** Một bộ khuếch đại thuật toán lý tưởng có tính chất:

- a)  $Z_V = \infty; Z_r = 0; K_0 = \infty$
- b)  $Z_V = 0; Z_r = 0; K_0 = \infty$
- c)  $Z_V = \infty; Z_r = \infty; K_0 = \infty$
- d)  $Z_V = 0; Z_r = \infty; K_0 = \infty$

**Câu 2:** Hệ số khuếch đại của mạch khuếch đại đảo dùng Op-Amp là:

a)  $K_u = -\frac{R_{ht}}{R_1}$     b)  $K_u = -\frac{R_1}{R_{ht}}$



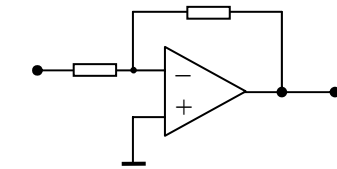
c)  $K_u = 1 + \frac{R_{ht}}{R_1}$  d)  $K_u = \frac{R_{ht}}{R_1}$

**Câu 3:** Hệ số khuếch đại của mạch khuếch đại không đảo dùng Op-Amp là:

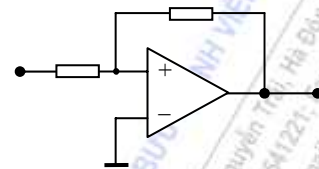
a)  $K_u = -\frac{R_{ht}}{R_1}$  b)  $K_u = -\frac{R_1}{R_{ht}}$

c)  $K_u = 1 + \frac{R_{ht}}{R_1}$  d)  $K_u = \frac{R_{ht}}{R_1}$

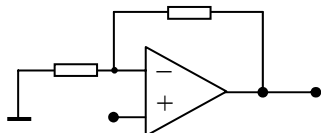
**Câu 4:** Sơ đồ mạch khuếch đại đảo dùng Op-Amp là **a**:



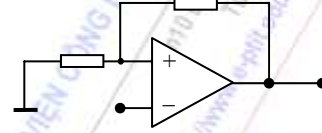
a)



b)

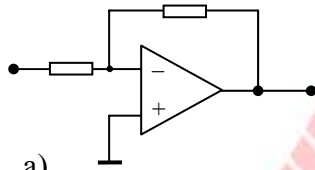


c)

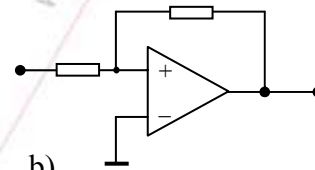


d)

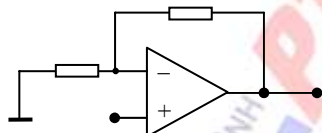
**Câu 5:** Sơ đồ mạch khuếch đại không đảo dùng Op-Amp là **c**:



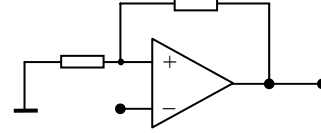
a)



b)

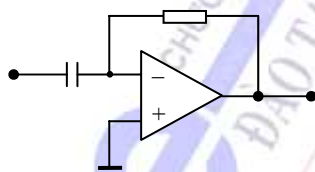


c)

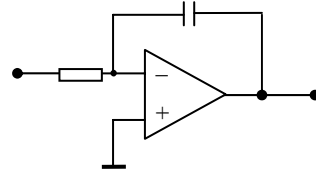


d)

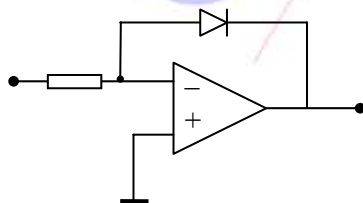
**Câu 6:** Sơ đồ mạch vi phân dùng Op-Amp là sơ đồ **a**:



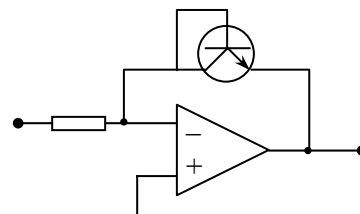
a)



b)

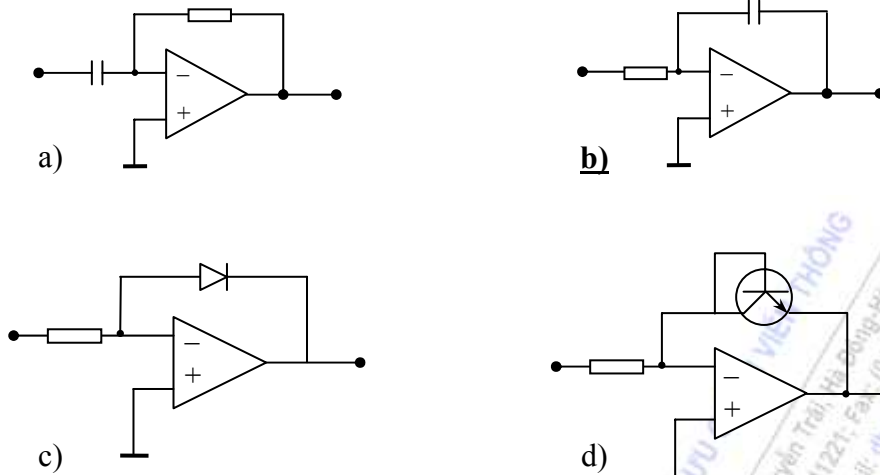


c)

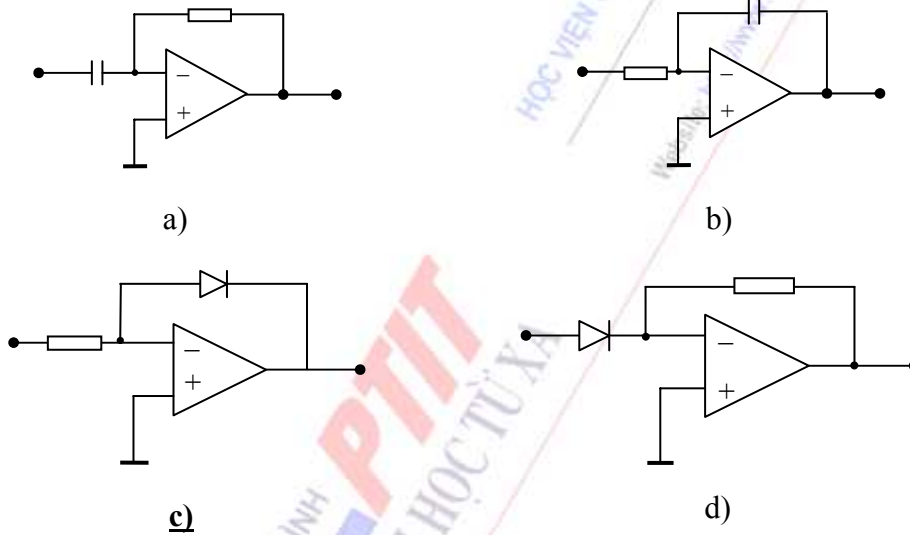


d)

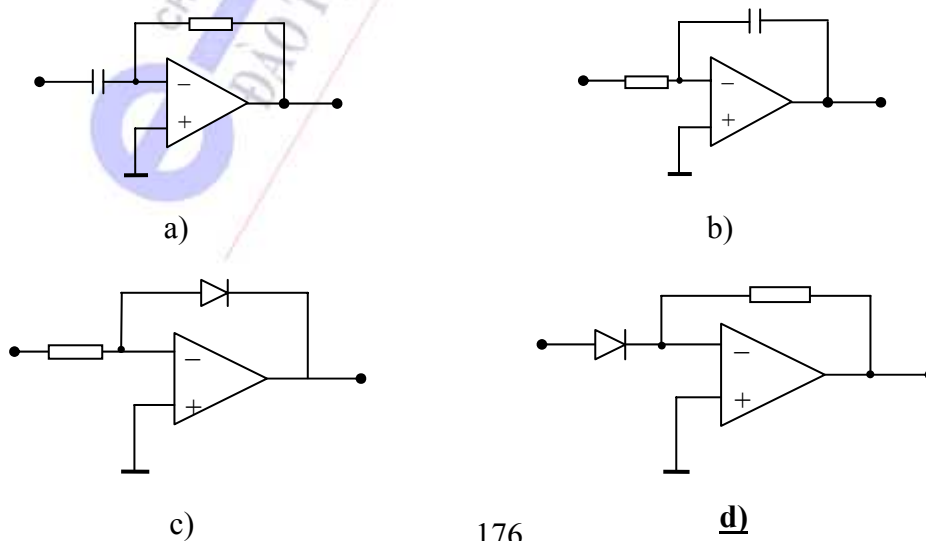
**Câu 7:** Sơ đồ mạch tích phân dùng Op-Amp là sơ đồ **b**:



**Câu 8:** Sơ đồ mạch tạo hàm logarit dùng Op-Amp là sơ đồ **c**:



**Câu 9:** Sơ đồ mạch tạo hàm đối logarit dùng Op-Amp là **d**:



**Câu 10:** Sơ đồ mạch như hình IV-1.

Biết IC là lý tưởng, nguồn cung cấp cho IC là  $E_C = \pm 12V$ .

Vẽ dạng điện áp vào và điện áp ra khi điện áp vào là:

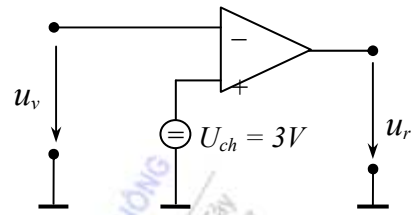
$$u_v = 6 \cdot \sin(100\pi t) (V)$$

Đây là mạch so sánh điện áp điện áp vào được so sánh với điện áp chuẩn  $U_{ch} = 3V$ .

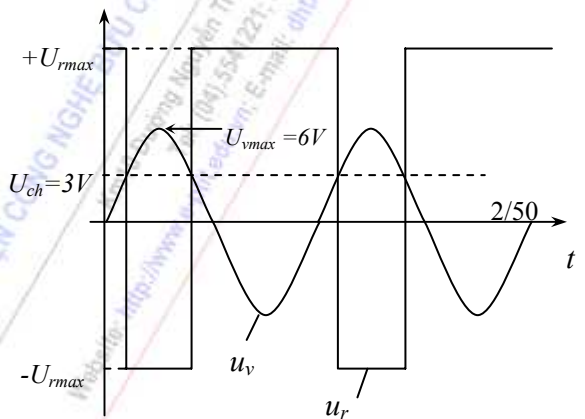
Khi  $u_v > U_{ch}$  điện áp ra bão hòa âm.

Khi  $u_v < U_{ch}$  điện áp ra bão hòa dương.

Điện áp ra lật trạng thái tại  $u_v = U_{ch}$



**Hình IV-1.**



**Câu 11:** Sơ đồ mạch như hình IV-2.

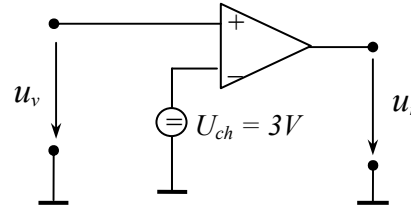
Biết IC là lý tưởng, điện áp ra cực đại là:

$$U_{r \max} = \pm 9V; U_{ch} = 2V$$

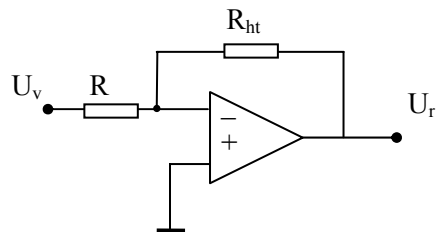
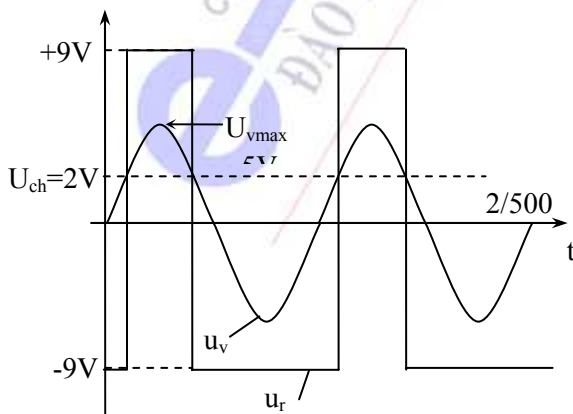
Vẽ dạng điện áp vào và điện áp ra khi điện áp vào là:

$$u_v = 5 \cdot \sin(1000\pi t) (V)$$

Tương tự như câu 10, chỉ khác một điểm là điện áp vào đưa vào chân P của IC còn nguồn chuẩn đưa vào chân N.



**Hình IV-2.**



**Hình IV-3.**

**Câu 12:** Cho mạch điện hình IV-3.

$$R_1 = 10k\Omega; R_{ht} = 50k\Omega$$

$$E = 15V$$

- Xác định hệ số khuếch đại của mạch
- Xác định trở kháng vào của mạch  $Z_v$
- Xác định trở kháng ra lý tưởng của mạch.
- Xác định điện áp vào đỉnh-đỉnh mà mạch hoạt động tuyến tính.
- Xác định điện áp ra với mỗi giá trị điện áp vào:  $U_v = 0,2V; -1V; 2V; -3V; 4V$

**Giải**

$$a) \text{ Hệ số khuếch đại } K_u = -\frac{R_{ht}}{R_1} \Rightarrow K_u = -\frac{50}{10} = -5.$$

$$b) \text{ Trở kháng vào của mạch: } Z_v = R_1 = 10k\Omega$$

c) Trở kháng ra lý tưởng của mạch:

$$\text{Do } Z_{rIC} \text{ của IC rất nhỏ } \approx 0 \text{ nên } Z_r = Z_{rIC} // R_{ht} = 0.$$

$$d) \text{ Ta biết } |\pm U_{r\max}| = E - 1V \text{ nên } U_{v\max} = \frac{|\pm U_{r\max}|}{K_u} = \frac{15-1}{-5} = \mp 2,8V$$

e) Mạch có  $K_u = -5$  nên khi:

$$U_v = 0,2V \Rightarrow U_r = -5 \times 0,2 = -1V;$$

$$U_v = 1V \Rightarrow U_r = -5 \times 1 = -5V;$$

$$U_v = 2V \Rightarrow U_r = -5 \times 2 = -10V;$$

$$U_v = -3V \Rightarrow U_r = -5 \times (-3) = 15V \text{ nhưng do } 15 > U_{r\max} = 14V$$

$$\text{cho nên } U_r = U_{r\max} = 14V$$

$$U_v = 4V \Rightarrow U_r = -5 \times 4 = 20V$$

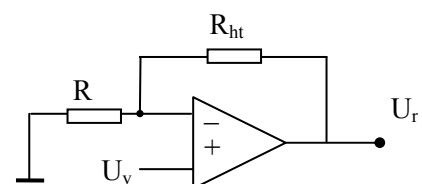
$$|-20| > |-U_{r\max}| = 14V, \text{ cho nên } U_r = -U_{r\max} = -14V.$$

**Câu 13:** Cho mạch điện hình IV-4.

$$R_1 = 12k\Omega; R_{ht} = 180k\Omega$$

$$E = 15V$$

a) Xác định hệ số khuếch đại của mạch



**Hình IV-4.**

- b) Xác định trở kháng vào của mạch  $Z_v$
- c) Xác định trở kháng ra lý tưởng của mạch.
- d) Xác định điện áp vào đỉnh-đỉnh mà mạch hoạt động tuyến tính.
- e) Xác định điện áp ra với mỗi giá trị điện áp vào  $-0,4V$ ;  $0,8V$ ;  $1,2V$ ;  $-1,4V$

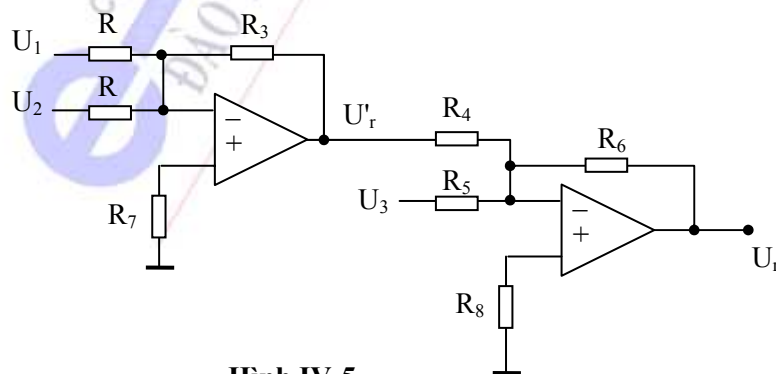
**Giải**

Tương tự như câu 12 ta tính được:

- a)  $K_u = 16$
- b)  $Z_{vIC} \approx \infty$  nên  $Z_v = Z_{vIC} = \infty$
- c)  $Z_r \approx 0$
- d)  $U_{vmax} = \pm 0,875$
- e)  $U_v = -0,4V \Rightarrow U_r = -6,4V$   
 $U_v = 0,8V \Rightarrow U_r = 12,8V$   
 $U_v = 1,2V \Rightarrow U_r = U_{rmax} = 14V$   
 $U_v = -1,4V \Rightarrow U_r = -U_{rmax} = -14V$

**Câu 14:** Cho mạch điện hình IV-5.

- a) Tìm biểu thức  $U_r$  theo các  $U_v$  và  $R$  ?
- b) Tính  $U_r$  khi:  
 $R_1 = 25k\Omega; R_2 = 10k\Omega; R_3 = 50k\Omega$   
 $R_4 = R_6 = 100k\Omega; R_5 = 10k\Omega;$   
 $U_1 = 0,2V; U_2 = 0,3V; U_3 = 0,5V$
- c) Nêu tác dụng của  $R_7, R_8$ . Tìm giá trị của nó để mạch làm việc tốt nhất?



**Hình IV-5.**

**Giải**

a) Từ mạch điện ta có:

$$U'_r = -\left(\frac{R_3}{R_1}U_1 + \frac{R_3}{R_2}U_2\right)$$

$$U_r = -\left(\frac{R_6}{R_4}U'_r + \frac{R_6}{R_5}U_3\right) = \frac{R_6}{R_4}\left(\frac{R_3}{R_1}U_1 + \frac{R_3}{R_2}U_2\right) - \frac{R_6}{R_5}U_3$$

b) Xác định  $U_r$ :

$$\text{Thay số: } \frac{100}{100}\left(\frac{50}{25}\times 0,2 - \frac{50}{10}\times 0,3\right) - \frac{100}{10}\times 0,5 = -6,1V$$

c) Nêu tác dụng của  $R_7, R_8$ .

Điện trở  $R_7$  là điện trở cân bằng điện áp một chiều của IC<sub>1</sub> tại hai cửa vào để cho đầu ra IC<sub>1</sub> = 0 ở chế độ tĩnh (khi chưa có tín hiệu vào).

$$\text{Từ mạch điện ta có: } R_7 = R_1//R_2//R_3, \Rightarrow R_7 = 6,25k\Omega$$

Tương tự  $R_8$  là điện trở cân bằng điện áp một chiều của IC<sub>2</sub>

$$\text{và } R_8 = R_4//R_5//R_6 \Rightarrow R_8 = 8,33k\Omega$$

**Câu 15:** Cho mạch điện hình IV-6.

$$R_1 = 10k\Omega; R_2 = 50k\Omega; E = 15V$$

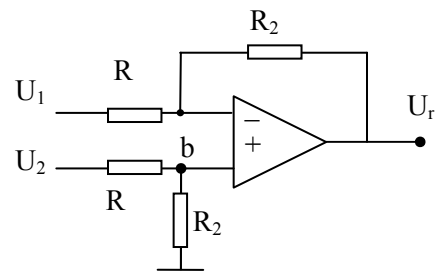
a) Viết biểu thức  $U_r$  theo  $U_v$

b) Xác định  $U_r$  khi

$$+ U_1 = 4V; U_2 = 2V;$$

$$+ U_1 = 1V; U_2 = 5V;$$

$$+ U_1 = 6V; U_2 = 1V$$



**Hình IV-6.**

**Giải**

a) Mạch có các tín hiệu đưa vào hai cửa của IC khuếch đại thuật toán, đây là mạch trừ hai điện áp. Điện áp ra tính theo nguyên lý xếp chồng:  $U_r = U_{r1} + U_{r2}$

$$+ \text{ Khi } U_1 \neq 0; U_2 = 0, \text{ mạch trở thành mạch khuếch đại đảo nên } U_{r1} = -\frac{R_2}{R_1}U_1$$

+ Khi  $U_1 = 0; U_2 \neq 0$ , mạch trở thành mạch khuếch đại thuận có phân áp tại  $b$  ta có:



$$U_b = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_2$$

$$U_{r2} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_2$$

+ Khi có cả  $U_1$  và  $U_2$  nên:

$$U_r = U_1 + U_2 = -\frac{R_2}{R_1} U_1 + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_2 = -\frac{R_2}{R_1} U_1 + \frac{R_2}{R_1} U_2$$

$$U_r = 5 \cdot (U_2 - U_1)$$

b) Xác định  $U_r$  khi:

$$+ U_1 = 4V; U_2 = 2V \Rightarrow U_r = -10V ;$$

$$+ U_1 = 1V; U_2 = 5V \Rightarrow U_r = U_{r\max} = 14V$$

$$+ U_1 = 6V; U_2 = 1V \Rightarrow U_r = -U_{r\max} = -14V$$

**Câu 16:** Cho mạch điện hình IV-7

$$R = 50k\Omega; R_1 = 10k\Omega$$

$$R_{ht} = 30k\Omega; E = 15V$$

a) Viết biểu thức  $U_r$  theo các  $U_v$ .

b) Xác định  $U_r$  khi  $U_1 = 0,3V; U_2 = 1V; U_3 = -2V$

**Giải**

a) Đây là mạch cộng thuận có nhiều điện áp vào.

Từ mạch điện và coi IC lý tưởng ta có:  $U_p = U_n = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_r$

Gọi  $I_1, I_2, I_3$  là dòng qua 3 đầu vào  $U_1, U_2, U_3$  và  $I_1 + I_2 + I_3 = 0$  hay:

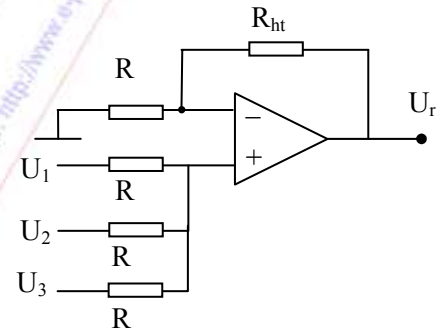
$$\frac{U_1 - U_N}{R} + \frac{U_2 - U_N}{R} + \frac{U_3 - U_N}{R} = 0$$

Hay:  $U_1 + U_2 + U_3 = 3U_N = \frac{3R_1}{R_1 + R_{ht}} U_r$

$$\Rightarrow U_r = \frac{R_1 + R_{ht}}{3R_1} (U_1 + U_2 + U_3)$$

b) Xác định  $U_r$

$$U_r = \frac{10 + 30}{3 \cdot 10} (0,3 + 1 - 2) = -0,93V$$



Hình IV-7.

**Câu 17:** Cho mạch điện như hình IV-8.

$$R_{ht} = 100k\Omega; R_1 = 100k\Omega;$$

$$R_2 = 50k\Omega; R_3 = 25k\Omega$$

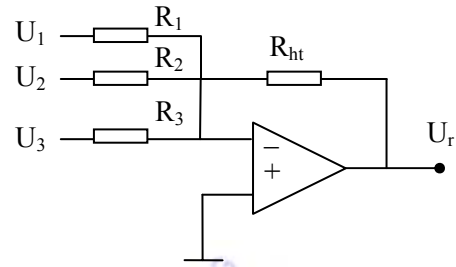
$$E = 15V$$

a) Viết biểu thức  $U_r$  theo  $U_v$

b) Xác định  $U_r$  khi:

$$U_1 = 3V; U_2 = -10V; U_3 = -7V$$

$$U_1 = 8V; U_2 = -4V; U_3 = 5V$$



**Hình IV-8.**

**Giải**

a) Mạch có các tín hiệu đưa vào cửa đảo của IC khuếch đại thuật toán là mạch mạch cộng đảo.

$$U_r = -\frac{R_{ht}}{R_1}U_1 - \frac{R_{ht}}{R_2}U_2 - \frac{R_{ht}}{R_3}U_3$$

$$U_r = -R_{ht} \left( \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3} \right)$$

b) Xác định  $U_r$  khi:

$$+ U_1 = 3V; U_2 = -10V; U_3 = -7V$$

$$U_r = -100 \left( \frac{3}{100} + \frac{10}{50} - \frac{7}{25} \right) = 5V$$

$$+ U_1 = 8V; U_2 = -4V; U_3 = 5V$$

$$U_r = -100 \left( \frac{8}{100} - \frac{4}{50} + \frac{5}{25} \right) = -20V$$

$$\text{do } |U_r| > |-U_{r\max}| = 14V \Rightarrow U_r = -U_{r\max} = -14V$$

**Câu 18:** Cho mạch điện hình IV-9.

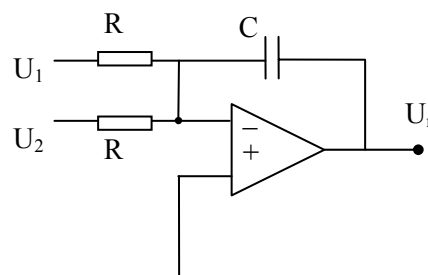
$$E = 15V$$

a) Tìm  $U_r$  theo  $U_v$

b) Xác định  $U_r$  khi

$$U_1 = (1 + 10 \sin 100t)V$$

$$U_2 = -1V; C = 1\mu F$$



**Hình IV-9.**

$$R_1 = R_2 = 100k\Omega$$

**Giải**

a) Do làm việc ở chế độ tuyến tính nên

$$U_r = -\frac{1}{R_1 C} \int_0^t U_1 dt - \frac{1}{R_2 C} \int_0^t U_2 dt = -\frac{1}{C} \int_0^t \left( \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} \right) dt$$

b) Do  $R_1 = R_2 = 100k\Omega$  nên:

$$U_r = -\frac{1}{10^5 \cdot 10^{-6}} \int_0^t (1 + 10 \sin 100t - 1) dt = -\cos 100t \Big|_0^t = 1 - \cos 100t$$

## CHƯƠNG 5

**Câu 1:** Điều kiện để mạch tạo dao động sử dụng hồi tiếp dương là:

- a)  $K \cdot \beta = 1$  và  $\varphi = \varphi_k + \varphi_\beta = 2n\pi$
- b)  $K \cdot \beta = 1$  và  $\varphi = \varphi_k + \varphi_\beta = (2n+1)\pi$
- c)  $K \cdot \beta < 1$  và  $\varphi = \varphi_k + \varphi_\beta = (2n+1)\pi$
- d)  $K \cdot \beta < 1$  và  $\varphi = \varphi_k + \varphi_\beta = 2n\pi$

**Câu 2:** Điều kiện để mạch tạo dao động sin 3 điểm làm việc được là:

- a)  $X_1 + X_2 - X_3 = 0$
- b)  $X_1 + X_2 + X_3 = 0$
- c)  $X_1 - X_2 + X_3 = 0$
- d)  $X_1 + X_2 + X_3 > 0$

**Câu 3:** Mạch dao động 3 điểm điện cảm có:

- a)  $X_1$  là điện cảm và  $X_2, X_3$  là tụ điện.
- b)  $X_1$  là tụ điện và  $X_2, X_3$  là điện cảm.
- c)  $X_2$  là điện cảm và  $X_1, X_3$  là tụ điện.
- d)  $X_2$  là tụ điện và  $X_1, X_3$  là điện cảm.

**Câu 4:** Mạch dao động 3 điểm dung cảm có:

- a)  $X_1$  là điện cảm và  $X_2, X_3$  là tụ điện.
- b)  $X_1$  là tụ điện và  $X_2, X_3$  là điện cảm.

- c)  $X_2$  là điện cảm và  $X_1, X_3$  là tụ điện.  
 d)  $X_2$  là tụ điện và  $X_1, X_3$  là điện cảm.

**Câu 5:** Cho mạch điện như hình V-1

- a) Giải thích nguyên lý làm việc của mạch trên.  
 b) Tìm điều kiện dao động

Cho  $R_1 = R_2 = R_3 = 1k\Omega$ ;

$Q = 100$ ;  $f_{dd} = f_{ch} = 100kHz$ ;

Tìm  $L, C$  ?

**Giải**

a) Đây là mạch tạo dao động sin có khung dao động LC nối ở cửa thuận. Khi có nguồn, mạch LC phát sinh dao động sin, điện áp đó đưa vào cửa thuận được khuếch đại ra tăng lên cùng pha qua  $R_3$  đưa hồi tiếp về cho khung dao động lại đưa vào mạch khuếch đại cho  $U_r$  lớn lên đến mức ổn định. IC và  $R_1, R_2$  tạo thành mạch khuếch đại thuận.

b) Gọi  $R_{td}$  là điện trở tương đương của mạch cộng hưởng tại  $f_c/h$  lúc này trở kháng của khung là lớn nhất nên có hệ số hồi tiếp  $\tilde{\alpha}_{max} = \beta_{max} = \frac{R_{td}}{R_{td} + R_3}$  còn hệ số khuếch đại của mạch

$$K = 1 + \frac{R_2}{R_1} \text{ nên điều kiện dao động của mạch là: } K \cdot \beta = 1 \Rightarrow \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{R_{td}}{R_{td} + R_3} = 1$$

c) tìm  $L, C$ :

Tìm  $R_{td}$ :

$$\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{R_{td}}{R_{td} + R_3} = 1 \Rightarrow \frac{(R_1 + R_2) R_{td}}{R_{td} R_1 + R_1 R_3} = 1 \Rightarrow R_{td} = 1k\Omega$$

Ta biết:  $R_{td} = Q \sqrt{\frac{L}{C}}$  và  $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

Ta có:  $\frac{R_{td}}{f_{dd}} = 2\pi L Q \Rightarrow L = \frac{R_{td}}{2\pi Q f_{dd}} \approx 1,6\mu H$

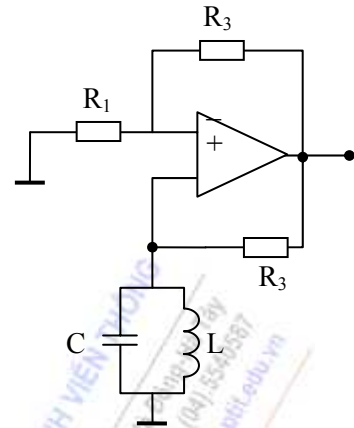
Ta có:  $R_{td} \cdot f_{dd} = \frac{Q}{2\pi C} \Rightarrow C = \frac{Q}{2\pi R_{td} f_{dd}} \approx 0,16\mu F$

**Câu 6:** Cho mạch điện hình V-2.

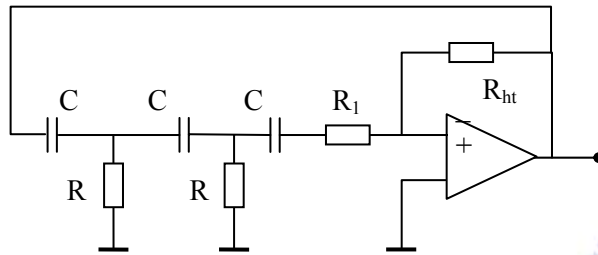
$E = 15V$

- a) Giải thích mạch điện, vẽ dạng tín hiệu ra theo  $t$ .  
 b) Cho  $f_{dd} = 1kHz$ ;  $R = 1k\Omega$ , tính các giá trị linh kiện còn lại.

Tìm khoảng  $f_{dd}$  khi các tụ  $C$  cùng biến đổi  $C_{min} \div C_{max}$ .



**Hình V-1.**

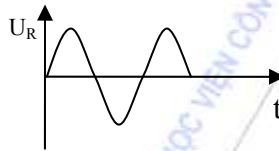


Hình V-2.

**Giải**

a) Đây là mạch tạo dao động sin có mạch hồi tiếp là 3 mắt RC trong đó  $R_1$  được coi như nối đất vì  $U_0 \approx 0$  nên cửa đảo của IC coi là điểm đất ảo đồng thời  $R_1, R_{ht}$ , và IC tạo thành mạch khuếch đại đảo, nên  $R_1 = R$ .

Vẽ dạng tín hiệu:



b) Khi  $f_{dd} = 1kHz$ ;  $R_1 = 1k\Omega$

$$R_1 = R = 1k\Omega$$

Ta có:  $\omega_{dd} = 2\pi f_{dd} = \frac{1}{\sqrt{6}RC} \Rightarrow C = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}f_{dd}R} = 65nF$

- Ta có:  $|K| = \frac{R_{ht}}{R_1} = 29 \Rightarrow R_{ht} = 29.R_1 = 29k\Omega$

- Tìm khoảng  $f_{dd}$  khi các C cùng biến đổi:

Ta biết  $f_{dd} = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC}$  với  $C_{min} \Rightarrow f_{max} = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}.10^3 C_{min}} = A$

với  $C_{max}$  thì  $f_{min} = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}.10^3 C_{max}} = B$

Vậy khi các C biến đổi thì  $f_{dd}$  biến đổi từ B đến A.

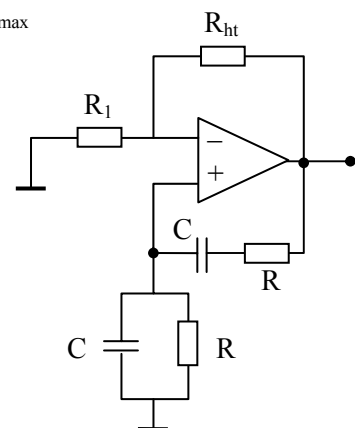
**Câu 7:** Cho mạch điện như hình V-3.

$R = 15k\Omega; C = 0,02\mu F$

$R_1 = 10k\Omega; E = 15V$

a) Vẽ dạng tín hiệu ra theo t.

b) Tìm tần số dao động của mạch.

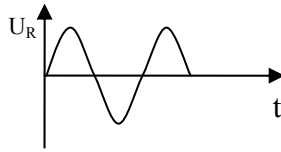


Hình V-3.

c) Tìm trị số của  $R_{ht}$  cần thiết.

**Giải**

a) Dạng tín hiệu ra:



b) Tần số của mạch:

$$\omega = 2\pi f_{dd} = \frac{1}{RC} \Rightarrow f_{dd} = \frac{1}{2\pi RC} \approx 0,53\text{kHz}$$

c) Tìm  $R_{ht}$ . Ta có

$$K = 1 + \frac{R_{ht}}{R_1} = 3 \Rightarrow \frac{R_{ht}}{R_1} = 2 \Rightarrow R_{ht} = 2.R_1 = 24\text{k}\Omega$$

**Câu 8:** Cho mạch điện như hình V-4.

$$R_1 = 22\text{k}\Omega; C = 0,01\mu\text{F}; E = 15\text{V}$$

$f_{đ\grave{a}}$  biến đổi từ 100Hz đến 1kHz.

a) Tìm trị số cần thiết của  $R_{ht}$ .

b) Tìm khoảng biến đổi cần thiết của  $R$ .

**Giải**

a) Tìm  $R_{ht}$ : Đây là mạch cầu Viên nên ta có:

$$K = 1 + \frac{R_{ht}}{R_1} = 3 \Rightarrow \frac{R_{ht}}{R_1} = 2$$

Vậy:  $R_{ht} = 44\text{k}\Omega$ .

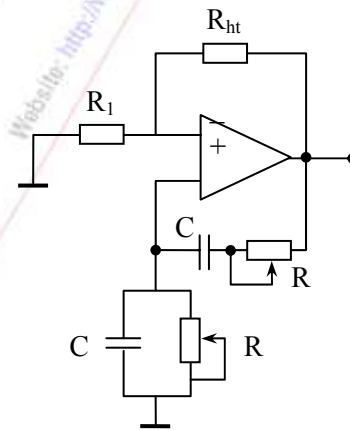
b) Khi con trở của  $R$  đến vị trí  $R_{min}$  lúc đó:  $f_{max} = \frac{1}{2\pi R_{min} \cdot C} \Rightarrow R_{min} = \frac{1}{2\pi f_{max} C}$

$$\Rightarrow R_{min} = 15,9\text{k}\Omega$$

Khi con trở của  $R$  đến vị trí  $R_{max}$  lúc đó:  $f_{min} = \frac{1}{2\pi \cdot R_{max} \cdot C} \Rightarrow R_{max} = \frac{1}{2\pi \cdot f_{min} \cdot C}$

$$\Rightarrow R_{max} = 159\text{k}\Omega$$

Như vậy  $R$  biến đổi từ  $15,9\text{k}\Omega$  đến  $159\text{k}\Omega$ .



**Hình V-4.**

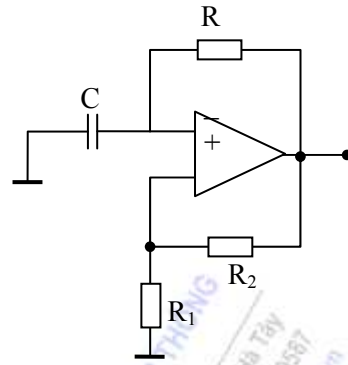


**Câu 9:** Cho mạch điện như hình V-5.

$$R_1 = R_2 = 15k\Omega; R = 18k\Omega$$

$$C = 0,068\mu F; E = 15V$$

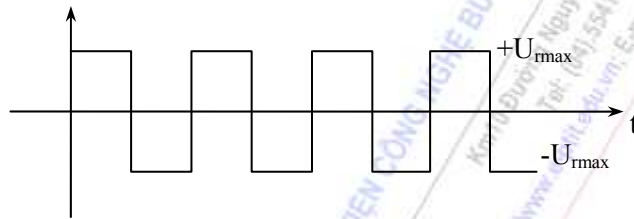
- Vẽ dạng tín hiệu ra theo  $t$ .
- Xác định biên độ  $U_{r\max}$
- Xác định  $T, f_{dd}$
- Xác định điện áp hồi tiếp.



Hình V-5.

**Giải**

a) Dạng tín hiệu ra:



b)  $U_{r\max} = \pm(E - 1V) = \pm(15 - 1) = 14V$

c) Xác định chu kỳ T: ta có:  $t_x = RC \ln\left(1 + \frac{2.R_1}{R_2}\right)$

$$R_1 = R_2 \Rightarrow t_x = RC \ln 3 = 1,1RC$$

$$\text{Chu kỳ: } T = 2t_x = 2,2RC = 2,693ms \Rightarrow f = \frac{1}{T} = 317,33Hz$$

d) Xác định điện áp hồi tiếp:

Khi bão hòa (+) có  $U_{ht(+)}$ , bão hòa (-) có  $U_{ht(-)}$ :

$$U_{ht(\pm)} = I.R_1 = \pm \frac{U_{r\max}}{R_1 + R_2} . R_1 = \pm 7V$$

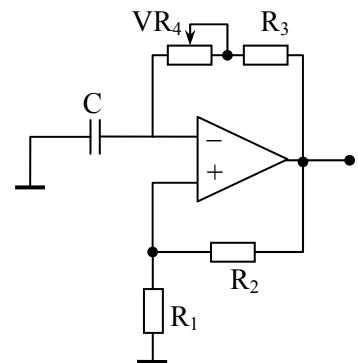
**Câu 10:** Cho mạch điện như hình V-6.

$$R_1 = R_2 = 20k\Omega; R_3 = 1,8k\Omega$$

$$VR_4 = 100k\Omega.$$

$$C = 0,024\mu F; E = 15V$$

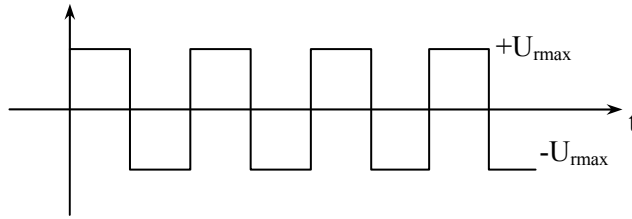
- Vẽ dạng tín hiệu ra theo  $t$
- Xác định biên độ  $U_{r\max}$
- Xác định khoảng  $f_{dd}$  khi điều chỉnh  $VR_4$



Hình V-6.

**Giải**

a) Dạng tín hiệu ra:



b)  $U_{r\max} = \pm(E - 1V) = \pm(15 - 1) = 14V$

c) Xác định tần số:

Tácó:  $t_x = (R_3 + R_4)C \cdot \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)$

Do  $R_1 = R_2 \Rightarrow t_x = (R_4 + R_3)C \cdot \ln 3 = 1,1(R_4 + R_3)C$

Chu kỳ  $T = 2t_x = 2,2(R_4 + R_3)C$

$f_{đđ} = \frac{1}{T} = \frac{1}{2,2(R_4 + R_3)C}$

Khi  $R_4 = 0\Omega \Rightarrow f_{\max} = 10,5kHz$

Khi  $R_4 = 100k\Omega \Rightarrow f_{\min} = 0,186kHz$

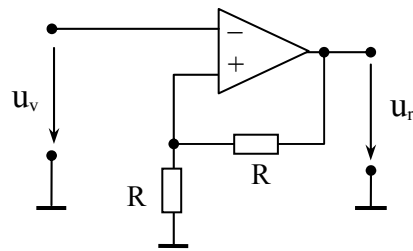
Khi  $R_4$  biến đổi từ  $0\Omega \div 100k\Omega$  thì  $f_{đđ} = 10,5kHz \div 0,186kHz$

**Câu 11:** Cho mạch điện như hình V-7.

Biết  $\pm U_{r\max} = \pm 11V$

Vẽ dạng điện áp vào vào ra điện áp ra, biết

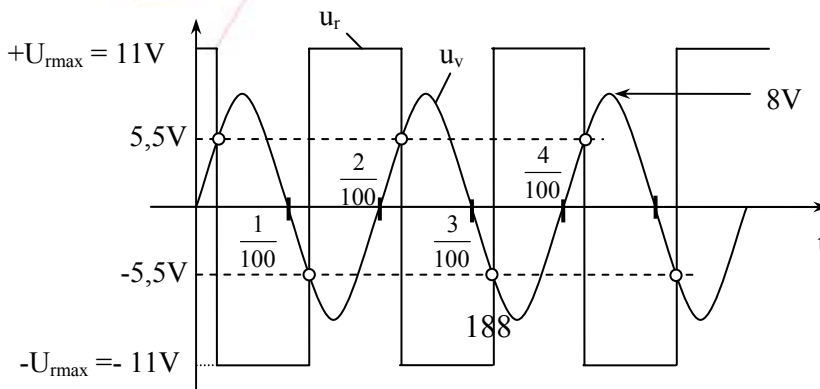
$u_v(t) = 8 \sin(100\pi t)V$



**Hình V-7.**

**Giải**

Đây là sơ đồ của một trigger Schmit, dạng điện áp vào và điện áp ra như hình vẽ.

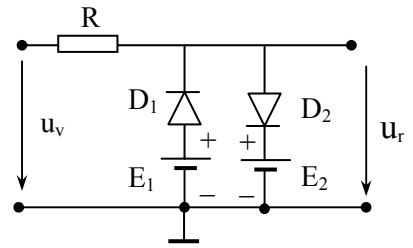


**Câu 12:** Cho mạch điện như hình V-8.

Biết  $E_1 = -5V; E_2 = 3V$

Vẽ hàm truyền đạt và dạng sóng  $u_r$  khi

$$u_v = 8\sin(100t)V$$



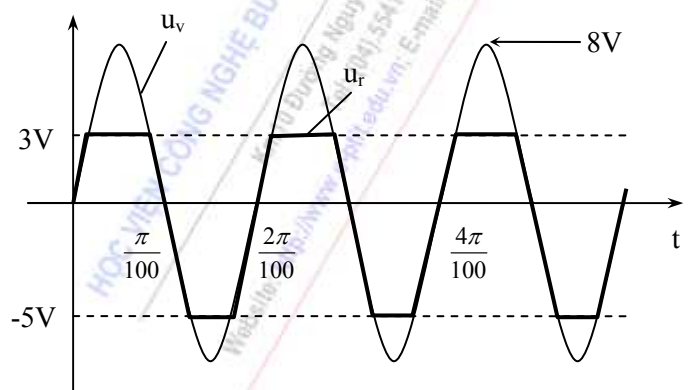
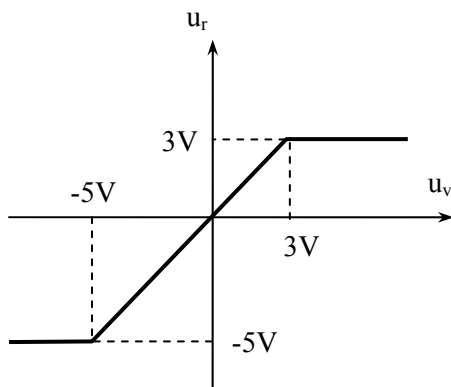
**Hình V-8.**

**Giải**

Đây là mạch hạn chế hai phía.

Khi  $u_v > E_2 \Rightarrow u_r = E_2 = 3V$

Khi  $u_v < E_1 \Rightarrow u_r = E_1 = -5V$



## CHƯƠNG 6

**Câu 18:** Cho tín hiệu điều biên với hệ số điều chế  $m = 50\%$ . Tần số tín tức  $f_s = 10kHz$ . Sóng mang có biên độ  $5mV$  và tần số  $f_t = 10MHz$ .

a) Viết biểu thức biểu diễn tín hiệu điều biên đó.

b) Tính phổ tín hiệu

c) Tín hiệu trên qua mạch khuếch đại điện áp 1000 lần và trộn tần cho ra tín hiệu có  $f_{tg} = 1MHz$ :

-Viết biểu thức tín hiệu ra sau trộn tần.

-Vẽ sơ đồ tách sóng tín hiệu đó.

**Giải**

a) Viết biểu thức:

$$U_{db} = \hat{U}_t (1 + m \cos \omega_s t) \cos \omega_t t$$

Thay số:  $U_{db} = 5.10^{-3} (1 + 0,5 \cos 2\pi 10^4 t) \cos 2\pi 10^7 t$

b) Tính phổ:

Tín hiệu trên có thể viết:

$$U_{db} = 5 \cdot 10^{-3} \cos 2\pi 10^7 t + \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5}{2} \cos 2\pi (10^7 - 10^4) t + \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5}{2} \cos 2\pi (10^7 + 10^4) t (V)$$

Như vậy: phổ của tín hiệu điều biên trên có 3 thành phần tại tần số sóng mang:

+  $f_t = 10 \text{ MHz}$  có biên độ:  $5 \cdot 10^{-3} \text{ V}$ .

+ 2 biên tần ở tần số:

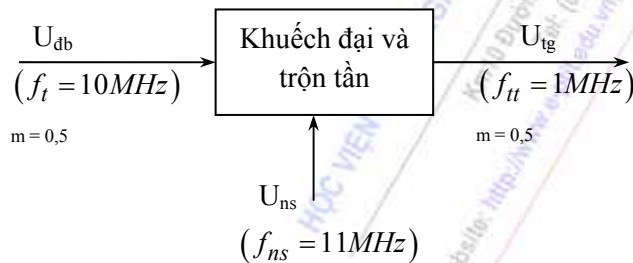
$1001 \cdot 10^4 \text{ Hz}$  có biên độ  $1,25 \cdot 10^{-3} \text{ V}$  và  $999 \cdot 10^4 \text{ Hz}$ , biên độ  $1,25 \cdot 10^{-3} \text{ V}$ .

c) Qua mạch khuếch đại điện áp 1000 lần và trộn tần cho ra

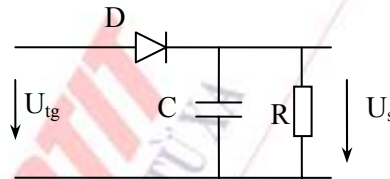
$$U_{tg} = K_u \cdot 5 \cdot 10^{-3} (1 + 0,5 \cos 2\pi 10^4 t) \cos 2\pi 10^6 t$$

$$U_{tg} = 5(1 + 0,5 \cos 2\pi 10^4 t) \cos 2\pi 10^6 t.$$

Sơ đồ:



Tín hiệu sau trộn tần là tín hiệu điều biên bên mạch tách sóng tín hiệu đó như sau:



Yêu cầu của mạch:

D: Điốt cao tần

$$R, C \text{ chọn phù hợp } \frac{1}{\omega_{tg}} \ll RC \ll \frac{1}{\omega_s}$$

$$\text{cụ thể: } \frac{1}{2\pi 10^6} \ll RC \ll \frac{1}{2\pi 10^4}$$

## CHƯƠNG 7

**Câu 1:** Cho một điện áp xoay chiều  $u(t) = 16 \cos(100\pi t)$  qua một bộ chỉnh lưu một pha nửa chu kỳ tải thuần trở. Tính  $U_0; f_d$ , điện áp ngược cực đại đặt lên điốt  $U_{Dng.max}$  ?

**Giải**

Ta có  $U_0 = 0,45U_{hd}$

$$\text{Với } U_{hd} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{16}{\sqrt{2}} \Rightarrow U_0 = 0,45 \cdot \frac{16}{\sqrt{2}} \approx 5,1V$$

Tần số đập mạch của điện áp trên tải:

$$f_d = m \cdot f = f = 50Hz$$

Điện áp ngược lớn nhất đặt trên diốt là:

$$U_{ng.\max} = U_M = 16$$

**Câu 2:** Cho một điện áp xoay chiều  $u(t) = 10 \cos(100\pi t)$  qua một bộ chỉnh lưu một pha nửa chu kỳ tải thuần dung. Tính  $U_0; f_d$ , điện áp ngược cực đại đặt lên diốt  $U_{Dng.\max}$  ?

**Giải**

$$\text{Với tải tính dung ta có: } U_0 = U_M = 10V$$

$$\text{Tần số đập mạch: } f_d = f = 50Hz$$

$$\text{Điện áp ngược cực đại đặt trên diốt là: } U_{ng.\max} = 2 \cdot U_M = 20V$$

**Câu 3:** Cho mạch chỉnh lưu 1 pha toàn sóng dùng biến áp thứ cấp có điểm giữa, tải thuần trở, điện áp hiệu dụng trên mỗi cuộn thứ cấp là 12V. Tính  $U_0; f_d$  ?

**Giải**

Nếu bỏ qua tổn hao biến áp và các chỉnh lưu thì

$$U_0 = \frac{2}{\pi} U_{2M} = 0,9U_2 = 0,9 \times 12 = 10,8V$$

$$f_d = 2 \cdot 50 = 100Hz$$

**Câu 4:** Cho mạch chỉnh lưu 1 pha toàn sóng dùng biến áp thứ cấp có điểm giữa, tải thuần dung, điện áp hiệu dụng trên mỗi cuộn thứ cấp là 6V. Tính  $U_0; f_d; U_{Dng.\max}$  ?

**Giải**

$$U_0 = U_{2M} = \sqrt{2}U_2 = \sqrt{2} \cdot 6 = 8,48V$$

Điện áp ngược đặt trên diốt:

$$U_{Dng.\max} = 2U_M = 2\sqrt{2}U_2 \approx 17V$$

$$f_d = 2 \cdot 50 = 100Hz$$

**Câu 5:** Cho mạch chỉnh lưu cầu 1 pha, tải thuần trở điện áp thứ cấp có  $U_{2M} = 10V$ . Tính  $U_0; f_d; U_{Dng.\max}$  ?

**Giải**

$$U_0 \approx 0,9U_2 = \frac{U_M}{\sqrt{2}} = \frac{10}{\sqrt{2}} = 7,07V$$

Điện áp ngược đặt trên diốt:  $U_{Dngmax} = U_{2M} = 10V$

$$f_d = 2.50 = 100Hz$$

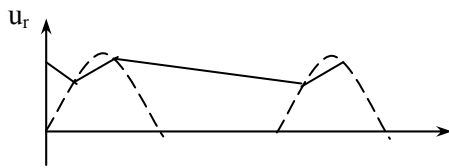
**Câu 6:** Cho mạch chỉnh lưu cầu 1 pha, tải thuần dung, điện áp thứ cấp có  $U_{2M} = 9V$ . Tính  $U_0; f_d; U_{Dng.max}$  ?

$$U_{0hm} = \sqrt{2}U_2 = \sqrt{2} \frac{9}{\sqrt{2}} = 9V$$

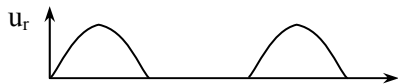
Điện áp ngược đặt trên diốt:  $U_{Dngmax} = U_{2M} = 9V$

$$f_d = 2.50 = 100Hz$$

**Câu 7:** Dạng điện áp đầu ra của mạch chỉnh lưu 1 pha nửa sóng tải thuần trở là hình c?



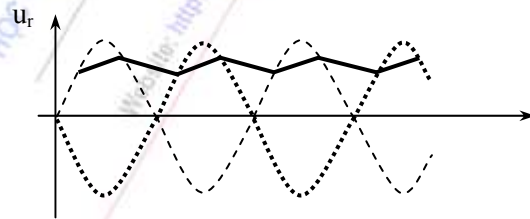
a)



c)

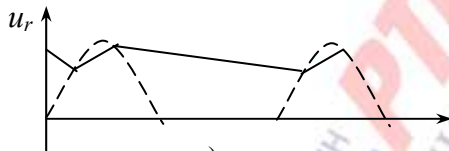


b)



d)

**Câu 8:** Dạng điện áp đầu ra của mạch chỉnh lưu 1 pha toàn sóng tải dung tính như hình d?



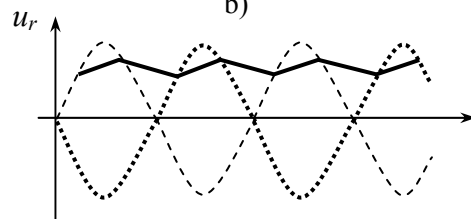
a)



c)



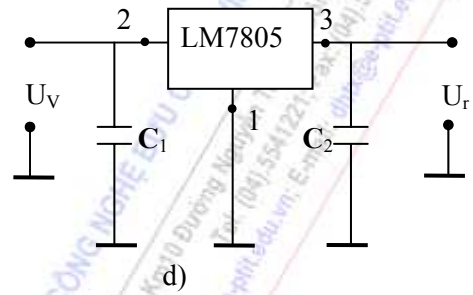
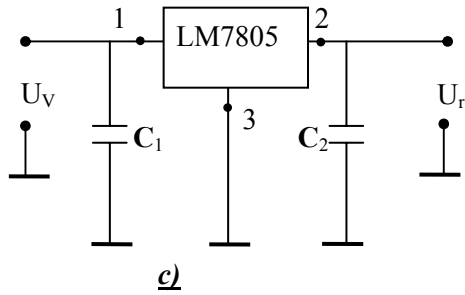
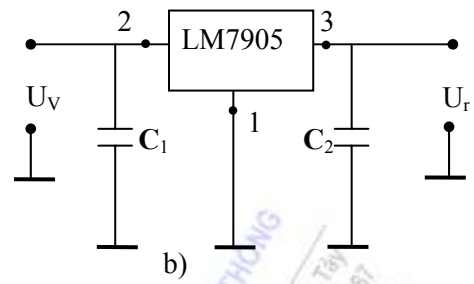
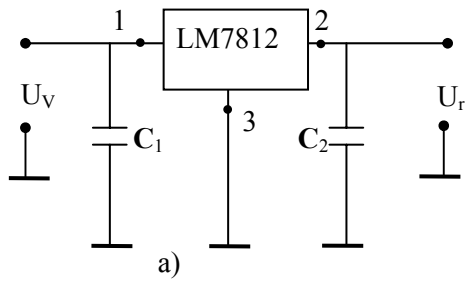
b)



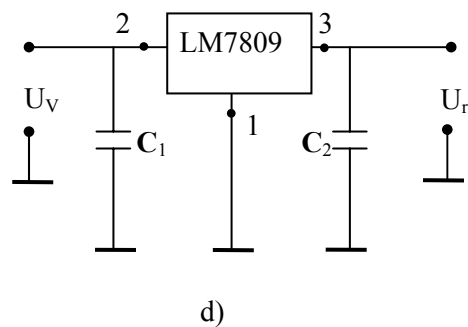
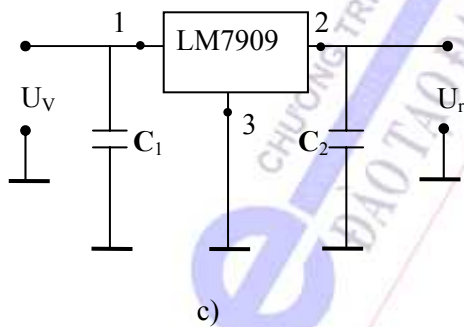
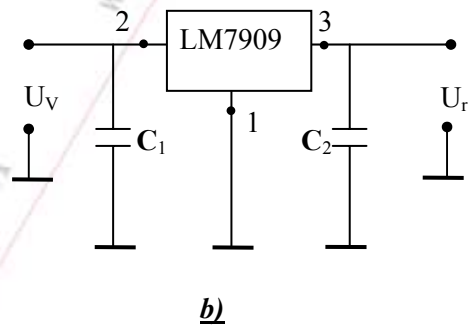
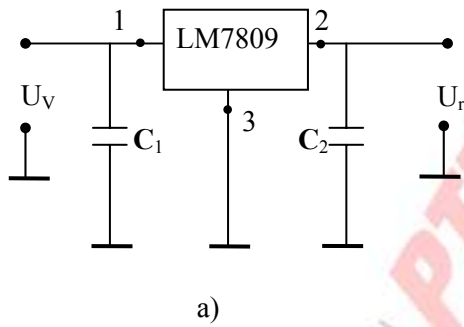
d)

**Câu 9:** Sơ đồ mạch điện nào là sơ đồ ổn áp dùng IC có điện áp ra +5V là sơ đồ c?





**Câu 10:** Sơ đồ mạch điện nào là sơ đồ ổn áp dùng IC có điện áp ra -9V là sơ đồ **b**?



## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] *Đỗ Xuân Thụ* - Kỹ thuật điện tử, NXB Giáo dục - 1999
- [2] *Phạm Minh Hà* - Kỹ thuật mạch điện tử, NXB Khoa học và Kỹ thuật - 1997
- [3] *Hồ Văn Sung* - Linh kiện bán dẫn và vi mạch, NXB Giáo dục - 2001
- [4] *Hồ Anh Túy* - Lý thuyết mạch (tập 1, 2), NXB Khoa học và Kỹ thuật - 1996
- [5] *Lê Sắc* - Tài liệu giảng dạy "Kỹ thuật mạch điện tử", Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông - 2000
- [6] *Trần Thị Cẩm* - Tài liệu giảng dạy "Cấu kiện Điện tử và Quang điện tử", Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông - 2000
- [7] *Nguyễn Xuân Hòa, Bùi Thanh Giang* - Tài liệu giảng dạy "Nguồn điện", Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông - 2000
- [8] *Lê Sắc, Nguyễn Quốc Dinh* - Tài liệu giảng dạy "Lý thuyết mạch", Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông - 1999
- [9] *HACHETTE Supérieur* - Điện tử Điện động học I, NXB Giáo dục - 2001
- [10] *HACHETTE Supérieur* - Điện tử học, NXB Giáo dục - 2001
- [11] *Mark N.Horenstein* - Microelectronic Circuits and Devices, Prentice Hall - 1996

## MỤC LỤC

<b>LỜI NÓI ĐẦU .....</b>	<b>2</b>
<b>CHƯƠNG 1: CÁC KHÁI NIỆM, ĐỊNH LUẬT VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP CƠ BẢN PHÂN TÍCH MẠCH ĐIỆN .....</b>	<b>3</b>
GIỚI THIỆU .....	3
NỘI DUNG.....	3
1.1. TỔNG QUAN.....	3
1.2. CÁC THÔNG SỐ TÁC ĐỘNG VÀ THU ĐỘNG CỦA MẠCH ĐIỆN .....	5
1.3. BIỂU DIỄN PHỨC CỦA CÁC TÁC ĐỘNG ĐIỀU HÒA, TRỞ KHÁNG VÀ DẪN NẠP.....	9
1.4. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN CỦA MẠCH ĐIỆN .....	11
1.5. CÁC ĐỊNH LUẬT KIRCHHOFF .....	12
1.6. CÁC PHƯƠNG PHÁP CƠ BẢN PHÂN TÍCH MẠCH ĐIỆN.....	13
1.7. MẠNG BỒN CỰC .....	18
TÓM TẮT NỘI DUNG .....	23
CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP .....	23
<b>CHƯƠNG 2: LINH KIỆN BÁN DẪN VÀ QUANG ĐIỆN TỬ .....</b>	<b>27</b>
GIỚI THIỆU .....	27
NỘI DUNG.....	27
2.1. CHẤT BÁN DẪN THUẦN VÀ CHẤT BÁN DẪN TẠP CHẤT.....	27
2.2. LỚP TIẾP XÚC P-N.....	29
2.3. ĐIỐT BÁN DẪN.....	30
2.4. TRANZITO LƯỖNG CỰC (BJT – Bipolar Junction Transistor) .....	34
2.5. TRANZITO HIỆU ỨNG TRƯỜNG (Field Effect Transistor - FET) .....	36
2.6. THYRISTOR.....	38
2.7. VI MẠCH TÍCH HỢP.....	39
2.8. LINH KIỆN QUANG ĐIỆN TỬ.....	40
TÓM TẮT NỘI DUNG .....	43
CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP.....	44
<b>CHƯƠNG 3: MẠCH KHUẾCH ĐẠI BÁN DẪN.....</b>	<b>47</b>
GIỚI THIỆU .....	47
NỘI DUNG.....	47
3.1. ĐỊNH NGHĨA, CÁC CHỈ TIÊU VÀ THAM SỐ CƠ BẢN CỦA MẠCH KHUẾCH ĐẠI.....	47
3.2. HỒI TIẾP TRONG CÁC TẦNG KHUẾCH ĐẠI .....	49
3.3. CÁC SƠ ĐỒ KHUẾCH ĐẠI CƠ BẢN DÙNG TRANZITO LƯỖNG CỰC.....	51
3.4. TẦNG KHUẾCH ĐẠI ĐẢO PHA .....	55
3.5. CÁC SƠ ĐỒ CƠ BẢN DÙNG TRANZITO TRƯỜNG (FET) .....	56

3.6. PHƯƠNG PHÁP GHÉP CÁC TẦNG KHUẾCH ĐẠI .....	57
3.7. MỘT SỐ MẠCH KHUẾCH ĐẠI KHÁC.....	58
3.8. TẦNG KHUẾCH ĐẠI CÔNG SUẤT .....	60
3.9. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG IC .....	65
TÓM TẮT NỘI DUNG .....	65
CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP.....	66
<b>CHƯƠNG 4: MẠCH KHUẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN.....</b>	<b>71</b>
GIỚI THIỆU .....	70
NỘI DUNG.....	70
4.1. CÁC TÍNH CHẤT CHUNG CỦA IC THUẬT TOÁN.....	70
4.2. CÁC MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG BỘ KHUẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN .....	71
4.3. CÁC PHƯƠNG PHÁP CHỐNG TRÔI VÀ BÙ ĐIỂM KHÔNG.....	72
4.4. MẠCH CỘNG .....	74
4.5. MẠCH TRỪ .....	75
4.6. MẠCH VI PHÂN, MẠCH TÍCH PHÂN .....	77
4.7. MẠCH TẠO HÀM LOGARIT VÀ LUYỆN THỪA .....	78
4.8. MẠCH NHÂN TƯƠNG TỰ .....	79
4.9. MẠCH SO SÁNH ĐIỆN ÁP .....	80
4.10. MẠCH LỌC TÍCH CỰC.....	82
TÓM TẮT NỘI DUNG .....	89
CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP.....	89
<b>CHƯƠNG 5: MẠCH TẠO DAO ĐỘNG.....</b>	<b>95</b>
GIỚI THIỆU .....	95
NỘI DUNG.....	95
5.1. KHÁI NIỆM .....	95
5.2. MẠCH TẠO DAO ĐỘNG SIN GHÉP BIẾN ÁP.....	96
5.3. MẠCH DAO ĐỘNG SIN BA ĐIỂM.....	96
5.4. MẠCH TẠO DAO ĐỘNG SIN GHÉP RC.....	97
5.5. MẠCH DAO ĐỘNG BẰNG THẠCH ANH.....	98
5.6. MẠCH TẠO XUNG VUÔNG .....	99
5.7. MẠCH HẠN CHẾ BIÊN ĐỘ.....	103
5.8. MẠCH TẠO XUNG RẮNG CỬA.....	104
5.9. MẠCH TẠO TÍN HIỆU HỖN HỢP .....	106
5.10. MẠCH TẠO DAO ĐỘNG CÓ TẦN SỐ ĐIỀU KHIỂN BẰNG ĐIỆN ÁP (VCO) .....	107
TÓM TẮT NỘI DUNG .....	107
CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP.....	108
<b>CHƯƠNG 6: CÁC MẠCH BIẾN ĐỔI TẦN SỐ.....</b>	<b>111</b>

GIỚI THIỆU .....	111
NỘI DUNG .....	111
6.1. KHÁI NIỆM VỀ ĐIỀU CHẾ .....	111
6.2. ĐIỀU BIÊN.....	112
6.3. ĐIỀU TẦN VÀ ĐIỀU PHA .....	116
6.4. MẠCH ĐIỀU TẦN VÀ ĐIỀU PHA .....	117
6.5. TÁCH SÓNG.....	120
6.6. TÁCH SÓNG ĐIỀU TẦN VÀ ĐIỀU PHA.....	122
6.7. MẠCH ĐIỀU CHẾ XUNG .....	125
6.8. TRỘN TẦN, NHÂN TẦN, CHIA TẦN.....	125
6.9. CHUYỂN ĐỔI TƯƠNG TỰ - SỐ (A/D) VÀ SỐ - TƯƠNG TỰ (D/A).....	129
TÓM TẮT NỘI DUNG .....	140
CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP.....	141
<b>CHƯƠNG 7: MẠCH CUNG CẤP NGUỒN.....</b>	<b>143</b>
GIỚI THIỆU .....	143
NỘI DUNG .....	143
7.1 KHÁI NIỆM .....	143
7.2. CHỈNH LƯU MỘT PHA KHÔNG ĐIỀU KHIỂN .....	144
7.3. BỘ LỌC SAN BẰNG.....	146
7.4. ỔN ĐỊNH ĐIỆN ÁP NGUỒN.....	148
7.5. NGUỒN CẤP ĐIỆN KIỂU CHUYỂN MẠCH.....	152
TÓM TẮT NỘI DUNG .....	155
CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP.....	156
<b>HƯỚNG DẪN TRẢ LỜI.....</b>	<b>159</b>
CHƯƠNG 1 .....	159
CHƯƠNG 2 .....	166
CHƯƠNG 3 .....	168
CHƯƠNG 4 .....	174
CHƯƠNG 5 .....	183
CHƯƠNG 6 .....	189
CHƯƠNG 7 .....	190
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO .....</b>	<b>194</b>
<b>MỤC LỤC.....</b>	<b>195</b>

# CƠ SỞ KỸ THUẬT ĐIỆN – ĐIỆN TỬ

Mã số : 497DDT212

Chịu trách nhiệm bản thảo

TRUNG TÂM ĐÀO TẠO BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG 1



TRUNG TÂM ĐÀO TẠO BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG  
Km10 Đường Nguyễn Trãi, Hà Đông-Hà Tây  
Tel: (04).5541221; Fax: (04).5540587  
Website: <http://www.c-ptt.edu.vn>; E-mail: [dhkc@ptt.edu.vn](mailto:dhkc@ptt.edu.vn)