

Lời mở đầu

Cùng với môn học kỹ thuật điện tử, môn học KỸ THUẬT XUNG SỐ là một môn học kỹ thuật cơ sở quan trọng của Bộ môn Tin học, hiện nay môn học được ứng dụng trong hầu hết các ngành kỹ thuật và các lĩnh vực điều khiển khác.

Môn học được ứng dụng cho sinh viên tất cả các ngành trong trường đặc biệt là ngành Điện tử và Tin học của trường ta. Bởi vậy để tạo điều kiện cho việc học tập và nghiên cứu môn học của học viên được thuận lợi. Bộ môn Tin học trường trung cấp nghề số 20 tổ chức biên soạn giáo trình KỸ THUẬT XUNG SỐ làm bài giảng lưu hành nội bộ. Trong quá trình biên soạn chắc chắn sẽ không tránh khỏi những thiếu sót, bởi vậy tôi mong được sự thông cảm và sự góp ý của các bạn đồng nghiệp.

Chương 1:

CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ KỸ THUẬT XUNG SỐ

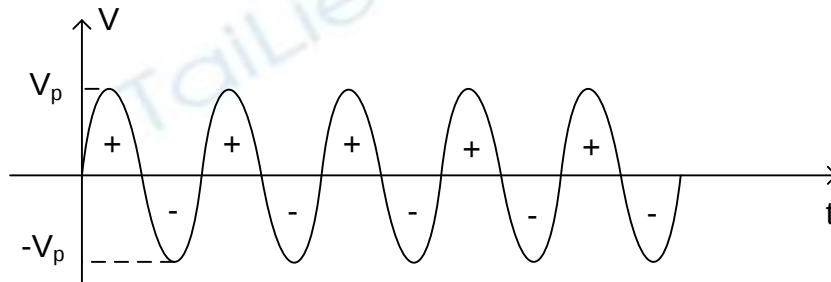
1. Khái niệm chung

1.1. Tín hiệu xung

Các tín hiệu điện áp hay dòng điện biến đổi theo thời gian được chia thành 2 loại cơ bản là tín hiệu liên tục và tín hiệu rời rạc (gián đoạn).

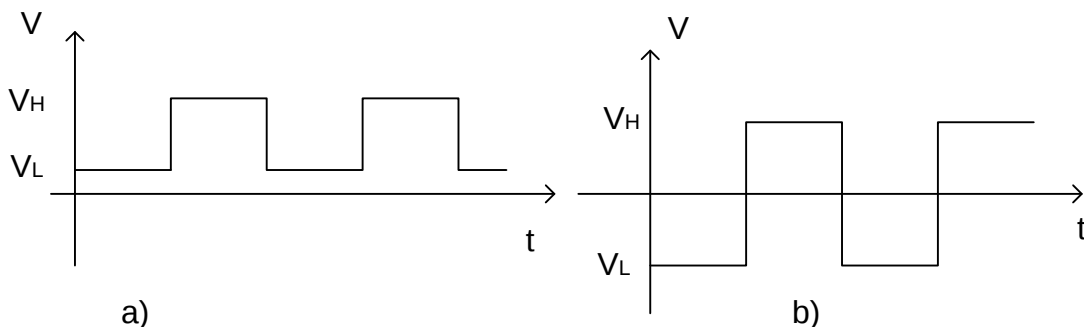
Tín hiệu liên tục còn gọi là tín hiệu tuyến tính hay tương tự. Tín hiệu rời rạc gọi là tín hiệu xung hay số.

Tiêu biểu cho tín hiệu liên tục là tín hiệu Sin như hình 1.1, với tín hiệu Sin ta có thể tính được biên độ của tín hiệu tại từng thời điểm khác nhau.



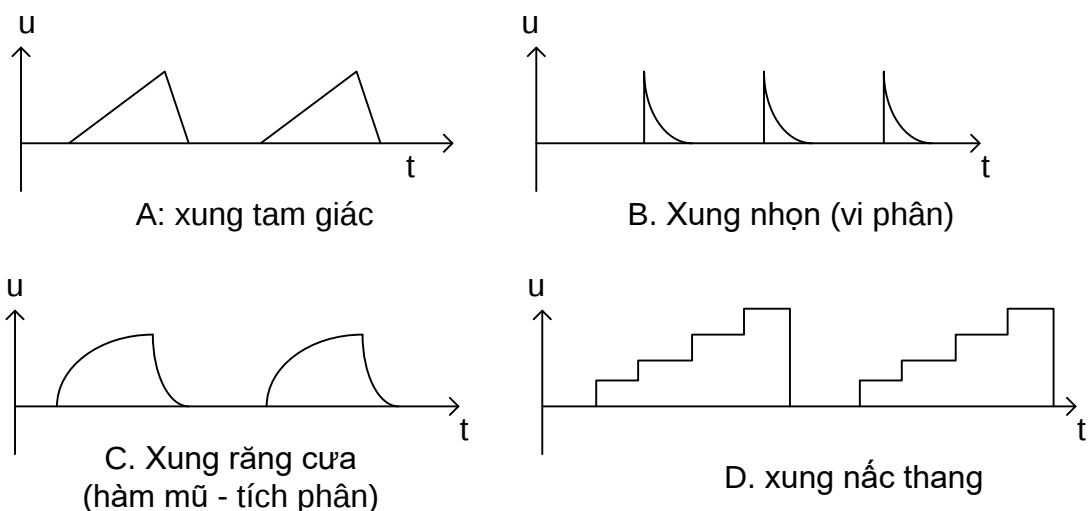
Hình 1.1: Tín hiệu hình Sin

Ngược lại tiêu biểu cho tín hiệu rời rạc là tín hiệu vuông, dạng tín hiệu như hình 1.2, biên độ của tín hiệu chỉ có 2 giá trị mức cao V_H và mức thấp V_L , thời gian chuyển mức tín hiệu từ mức cao sang mức thấp và ngược lại là rất ngắn coi như bằng 0.



Hình 1.2: a, Xung vuông điện áp > 0 . b, Xung vuông điện áp đều nhau

Tín hiệu xung không chỉ có tín hiệu xung vuông mà còn có một số dạng tín hiệu khác như: xung tam giác, răng cưa, xung nhọn, xung nấc thang có chu kỳ tuần hoàn theo thời gian với chu kỳ lặp lại T .



Hình 1.3: Các dạng tín hiệu xung

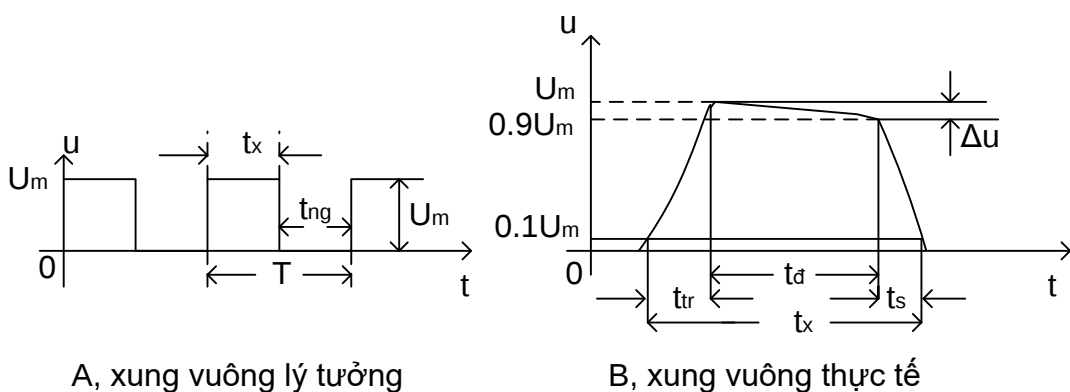
Trong nhiều trường hợp xung tam giác có thể coi là xung răng cưa.

Các dạng xung cơ bản trên rất khác nhau về dạng sóng, nhưng có điểm chung là thời gian tồn tại xung rất ngắn, sự biến thiên biên độ từ thấp lên cao (xung nhọn) và từ cao xuống thấp (nấc thang, tam giác) xảy ra rất nhanh.

Định nghĩa: Tín hiệu xung điện áp hay xung dòng điện là những tín hiệu có thời gian tồn tại rất ngắn, có thể so sánh với quá trình quá độ trong mạch điện mà chúng tác dụng.

1.2. Các thông số cơ bản của tín hiệu xung

Tín hiệu xung vuông như hình 1.4 là một tín hiệu xung vuông lý tưởng, thực tế khó có 1 xung vuông nào có biên độ tăng và giảm thẳng đứng như vậy:



Hình 1.4 Dạng xung

Xung vuông thực tế với các đoạn đặc trưng như: sườn trước, đỉnh, sườn sau. Các tham số cơ bản là biên độ U_m , độ rộng xung t_x , độ rộng sườn trước t_{tr} và sườn sau t_s , độ sụt đỉnh Δu .

- Biên độ xung U_m xác định bằng giá trị lớn nhất của điện áp tín hiệu xung có được trong thời gian tồn tại của nó.
- Độ rộng sườn trước t_{tr} , sườn sau t_s là xác định bởi khoảng thời gian tăng và thời gian giảm của biên độ xung trong khoảng giá trị $0.1U_m$ đến $0.9U_m$
- Độ rộng xung T_x xác định bằng khoảng thời gian có xung với biên độ trên mức $0.1U_m$ (hoặc $0.5U_m$).
- Độ sụt đỉnh xung Δu thể hiện mức giảm biên độ xung tương ứng từ $0.9U_m$ đến U_m .

Với dãy xung tuần hoàn ta có các tham số đặc trưng như sau :

- Chu kỳ lặp lại xung T là khoảng thời gian giữa các điểm tương ứng của 2 xung kế tiếp, hay là thời gian tương ứng với mức điện áp cao t_x và mức điện áp thấp t_{ng}

$$T = t_x + t_{ng} \quad (1)$$

- Tần số xung là số lần xung xuất hiện trong một đơn vị thời gian.

$$F = \frac{1}{T} \quad (2)$$

- Thời gian nghỉ t_{ng} là khoảng thời gian trống giữa 2 xung liên tiếp có điện nhỏ hơn $0.1U_m$ (hoặc $0.5U_m$).
- Hệ số lấp đầy γ là tỷ số giữa độ rộng xung t_x và chu kỳ xung T

$$\gamma = \frac{t_x}{T} \quad (3)$$

Do $T = t_x + t_{ng}$ vậy ta luôn có $\gamma < 1$

- Độ rộng của xung Q là tỷ số giữa chu kỳ xung T và độ rộng xung t_x

$$Q = \frac{T}{t_x} \quad (4)$$

* Trong kỹ thuật xung - số người ta sử dụng phương pháp số đối với tín hiệu xung với quy ước chỉ có 2 trạng thái phân biệt .

- Trạng thái có xung (t_x) với biên độ lớn hơn một ngưỡng U_H gọi là trạng thái cao hay mức “1”, mức U_H thường chọn cỡ từ $1/2V_{cc}$ đến V_{cc} .
- Trạng thái không có xung (t_{ng}) với biên độ nhỏ hơn 1 ngưỡng U_L gọi là trạng thái thấp hay mức “0”, U_L được chọn tùy theo phần tử khóa (tranzito hay IC)
- Các mức điện áp ra trong dải $U_L < U < U_H$ được gọi là trạng thái cấm.

2. Các phương pháp biến đổi dạng xung

2.1. Mạch vi phân

* Định nghĩa:

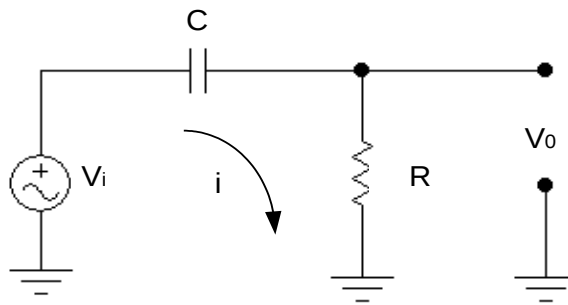
Mạch vi phân là mạch mà điện áp ra $u_0(t)$ tỷ lệ với đạo hàm theo thời gian của điện áp đầu vào $u_i(t)$

$$\text{Ta có } u_0(t) = k \frac{d}{dt} u_i(t)$$

Trong đó k là hệ số tỷ lệ phụ thuộc vào các hệ số của mạch vi phân

Trong kỹ thuật xung mạch vi phân có tác dụng thu hẹp độ rộng xung lối vào và tạo ra các xung nhọn để kích các linh kiện điều khiển hay linh kiện công suất như triac.

a. Mạch vi phân dùng RC



Hình 2.1: Mạch vi phân dùng RC

Tín hiệu lối vào là $v_i(t)$ tuần hoàn với chu kỳ T , tần số góc là $\omega = 2\pi/T$, tín hiệu lối ra là $v_0(t)$

$$\text{Trở kháng của mạch là } Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} = R \sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega RC}\right)^2}$$

Khi đó đặt $F_C = \frac{1}{2\pi RC}$ là tần số cắt của mạch

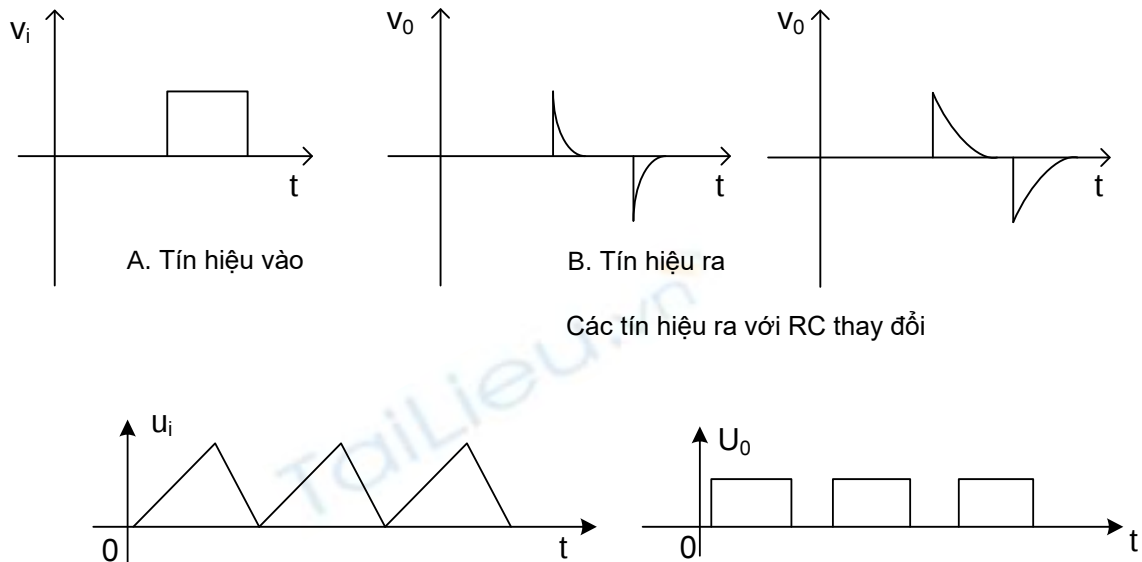
$$\text{Dòng điện trong mạch là } i(t) = \frac{v_i(t)}{Z}$$

$$v_R(t) = R.i(t) = \frac{v_i(t)}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega RC}\right)^2}}$$

Điện áp lối ra sau khoảng thời gian Δt là từ t_0 đến t_1 là

$$\Delta v_0(t) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega RC}\right)^2}} \frac{dv_i(t)}{dt}$$

Khi đó ta có lỗi vào là tín hiệu xung vuông thì lỗi ra là tín hiệu xung vi phân



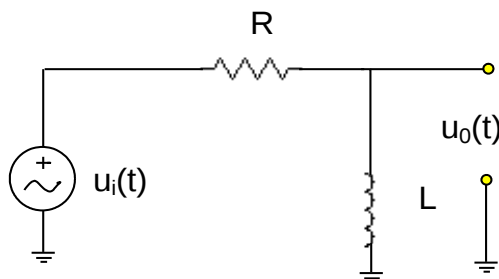
Hình 2.2: Tín hiệu lỗi ra trên mạch vi phân RC

Tín hiệu lỗi vào là **Sin** thì tín hiệu lỗi ra là **Sin** sớm pha 90°

$v_i(t) = A\sin(\omega t)$ thì tín hiệu lỗi ra là.

$$v_0(t) = \omega \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega RC}\right)^2}} A \cos(\omega t) = \omega \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega RC}\right)^2}} A \sin(\omega t + 90^\circ)$$

b. Mạch vi phân dùng RL



Hình 2.3 Mạch vi phân dùng RL

Tín hiệu lỗi vào là tín hiệu xoay chiều có tần số góc là ω

Tổng trở của mạch là $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = R\sqrt{1 + \left(\omega \frac{L}{R}\right)^2}$ trong đó ωL là trở kháng của cuộn cảm.

Dòng điện trong mạch là $i = \frac{u_i}{Z}$, và điện áp lỗi ra trên cuộn cảm là

$$u_0 = L \frac{di}{dt} = \frac{L}{R\sqrt{1 + \left(\omega \frac{L}{R}\right)^2}} \frac{du_i(t)}{dt}, \text{ coi } \frac{L}{R}\omega \text{ rất nhỏ so với 1 khi đó}$$

$$R\sqrt{1 + \left(\omega \frac{L}{R}\right)^2} \approx R$$

Tính toán ta được điện áp lỗi ra tỷ lệ vi phân với điện áp lỗi vào $u_i(t)$

$$u_0(t) = \frac{L}{R} \frac{d}{dt} u_i(t). \text{ Trong đó k hệ số tỷ lệ } k = \frac{L}{R}$$

Dạng tín hiệu ra như hình 2.2

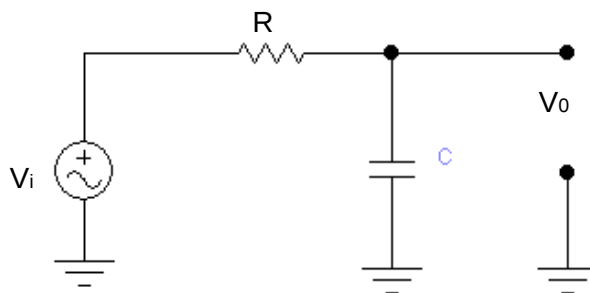
2.2. Mạch tích phân

* Định nghĩa:

Mạch tích phân là mạch mà điện áp ra $u_0(t)$ tỷ lệ với tích phân của điện áp vào $u_i(t)$

$$u_0 = k \int u_i(t) dt \text{ trong đó k là hệ số tỷ lệ phụ thuộc vào mạch}$$

a. Mạch tích phân dùng RC



Hình 2.4: Mạch RC lỗi ra trên C

Tín hiệu lỗi vào là $v_i(t)$ tuần hoàn với chu kỳ T, tần số góc là $\omega = 2\pi/T$, tín hiệu lỗi ra là $v_0(t)$

$$\text{Trở kháng của mạch là } Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} = R\sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega RC}\right)^2}$$

Khi đó đặt $F_C = \frac{1}{2\pi RC}$ là tần số cắt của mạch

Dòng điện trong mạch là $i(t) = \frac{u_i(t)}{Z}$

Điện áp lỗi ra trên tụ là $u_0(t) = \frac{q(t)}{C} = \frac{1}{C} \int i(t) dt = \frac{1}{RC \sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega RC}\right)^2}} u_i(t) dt$

Điện áp lỗi ra thay đổi khoảng thời gian Δt là :

$$u_0(t) = \frac{1}{RC \sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega RC}\right)^2}} \int u_i(t) dt$$

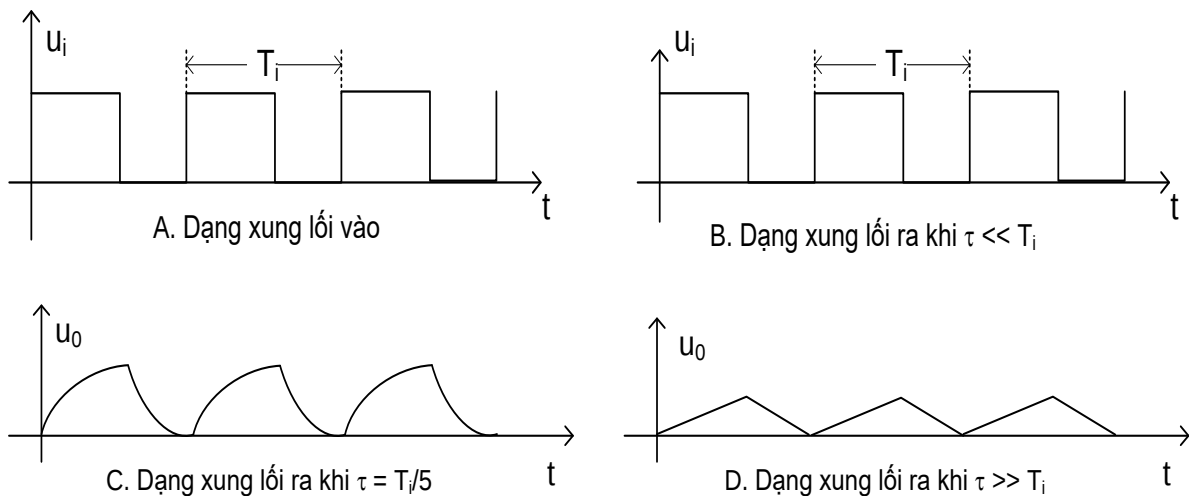
Khi tần số lỗi vào $f_i \gg f_C$ hay $f_i \gg \frac{1}{2\pi RC} \Rightarrow RC \gg \frac{1}{2\pi f_i}$

$\tau = 2\pi RC$ là hằng số thời gian của mạch khi đó $\tau \gg \frac{1}{f_i} = T_i$ trong đó T_i là chu kỳ tín hiệu lỗi vào. Với điều kiện như trên thì tổng trở của mạch $Z \approx R$ khi đó tín hiệu lỗi ra của mạch là

$$u_0(t) = \frac{1}{RC} \int u_i(t) dt \text{ với } k = \frac{1}{RC}$$

Khi tín hiệu lỗi vào là xung sin thì tín hiệu lỗi ra cũng là xung sin và bị trễ pha đi 90° .

Khi tín hiệu lỗi vào là xung vuông thì tín hiệu lỗi ra là xung tích phân của tín hiệu lỗi vào tương ứng với dạng xung phóng nạp cho tụ



Hình 2.5: Dạng tín hiệu vào và ra của mạch tích phân

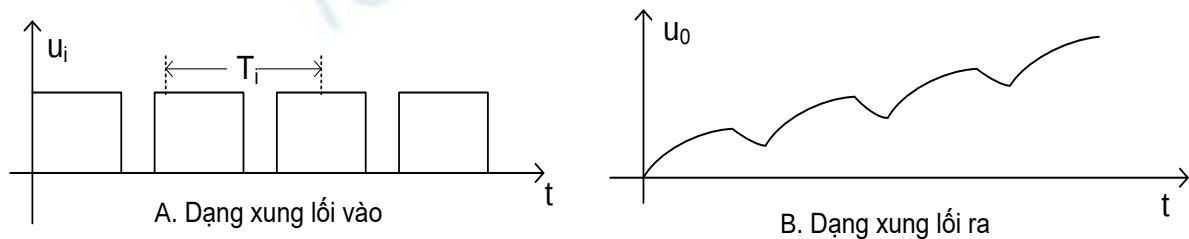
Trường hợp 1: khi $\tau \ll T_i$ khi đó thời gian phóng nạp cho tụ C là rất nhanh coi như tức thì dẫn tới tín hiệu lỗi ra như hình B.

Trường hợp 2: khi $\tau = \frac{T_i}{5}$ khi đó tụ C nạp và phóng điện theo hàm exp với biên độ đỉnh thấp hơn mức bão hòa tín hiệu lỗi ra như hình C.

Trường hợp 2: khi $\tau \gg T_i$ khi đó tụ C nạp và phóng điện rất chậm điện áp lỗi ra thấp theo hàm exp khi đó điện áp tăng dần theo hàm mũ, do thời gian phóng nạp rất chậm nên hàm exp gần như dạng tuyến tính do đó tín hiệu lỗi ra như hình D.

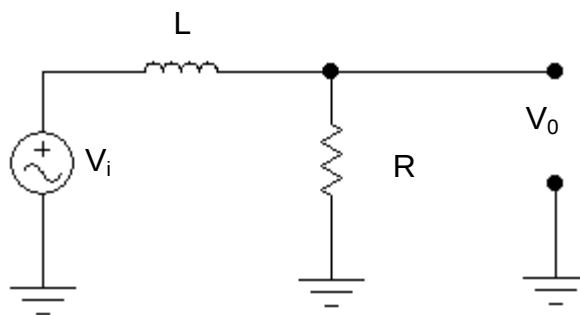
Do đó với mạch tích phân dùng RC khi chọn các giá trị RC phù hợp ta sẽ được các dạng xung lỗi ra khác nhau khi dạng xung lỗi vào là xung vuông.

Trường hợp khi xung vuông lỗi vào có độ rộng khác nhau thì khi tín hiệu lỗi ra trên tụ thực hiện với thời gian nạp lớn hơn thời gian phóng và ngược lại gây ra hiện tượng điện áp rơi trên tụ tăng hoặc giảm dần.



Hình 2.6: Dạng tín hiệu vào và ra của xung vuông có độ rộng xung khác nhau.

b. Mạch tích phân dùng RL



Hình 2.7: Mạch tích phân dùng RL

Đáp ứng tần số như mạch lọc RC. Tần số cắt của mạch lọc là $F_C = \frac{R}{2\pi L}$

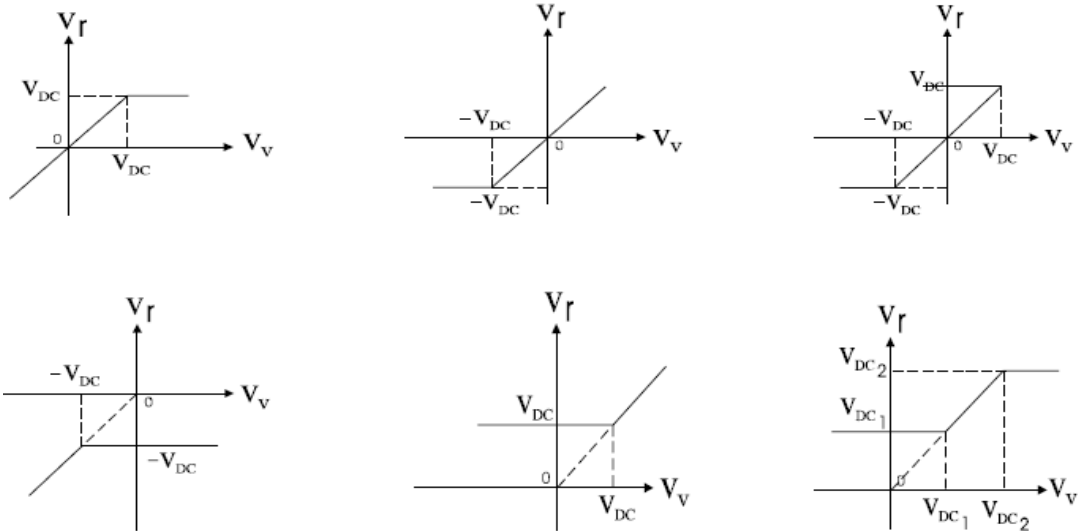
Điện áp lỗi ra của mạch lọc thông thấp là $u_o(t) = \frac{R}{L} \int u_i(t) dt$

3. Các mạch xén – mạch ghim

3.1. Mạch hạn biên – Mạch xén (Clipping circuit)

3.1.1. Khái niệm

- Xén biên (clipper) là cắt đi 1 phần của tín hiệu vào ở trên hay ở dưới 1 mức chuẩn nào đó.
- Mạch xén còn gọi là mạch hạn chế biên độ (limiter), nó thường có đặc tuyến truyền đạt như sau:



3.1.2. Mạch hạn biên dùng Diode

* Theo cách mắc của Diode có 2 loại hạn biên:

- **Mạch hạn chế nối tiếp** : có Diode mắc nối tiếp với tải.
- **Mạch hạn chế song song** : có Diode mắc song song với tải.

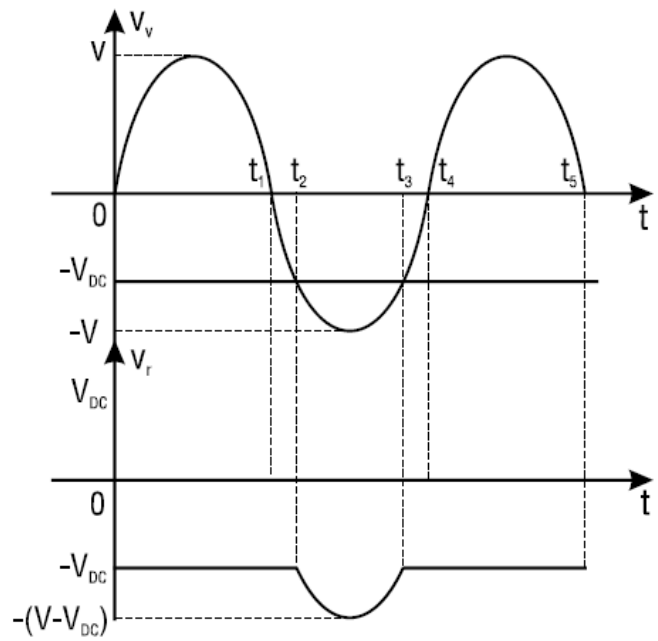
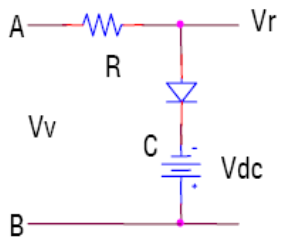
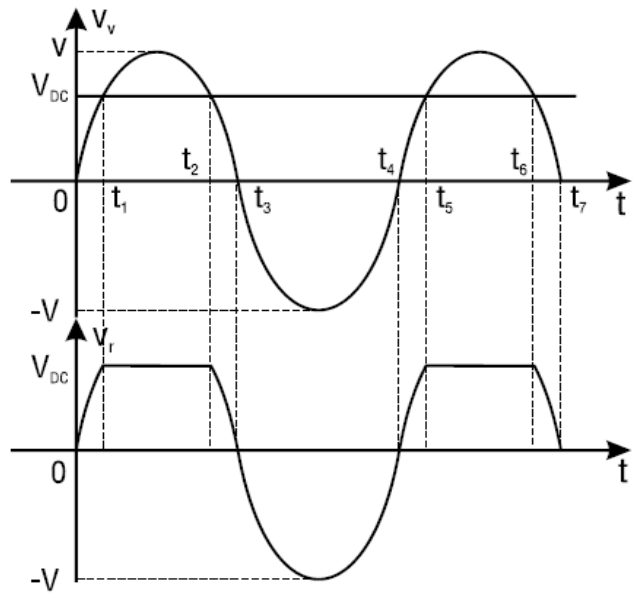
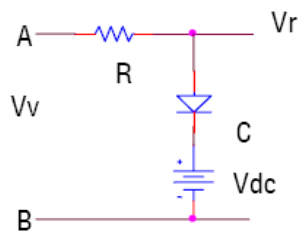
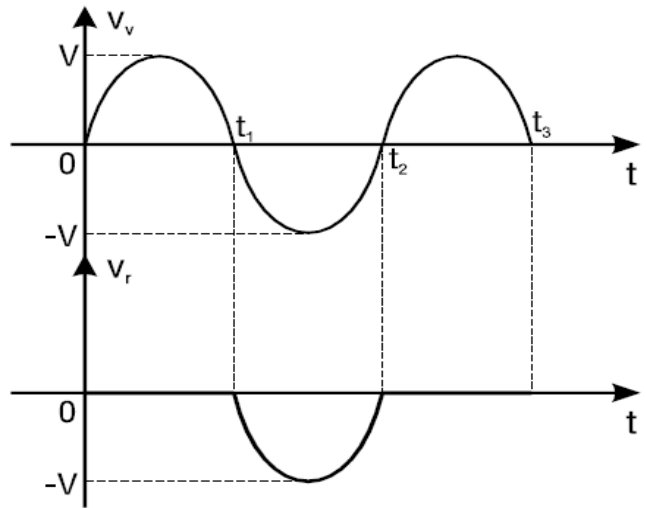
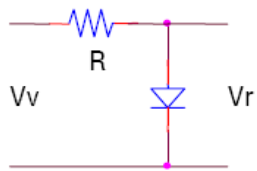
* Theo chức năng của Diode có 3 loại xén: xén âm, xén dương và mạch xén hai phía.

- **Xén âm** : là cắt bỏ thành phần âm của dạng sóng tín hiệu vào và chỉ giữ lại thành phần dương.
- **Xén dương** : là cắt bỏ thành phần dương của dạng sóng tín hiệu vào và chỉ giữ lại thành phần âm.
- **Xén hai phía** : là cắt bỏ cả thành phần âm và thành phần dương của tín hiệu vào với một mức nào đó.

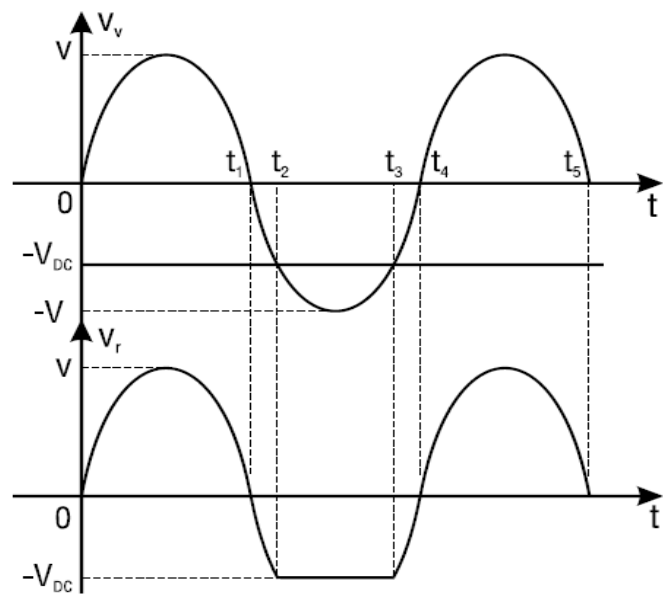
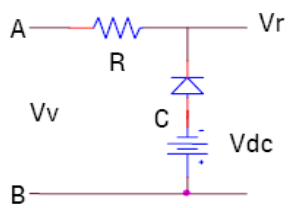
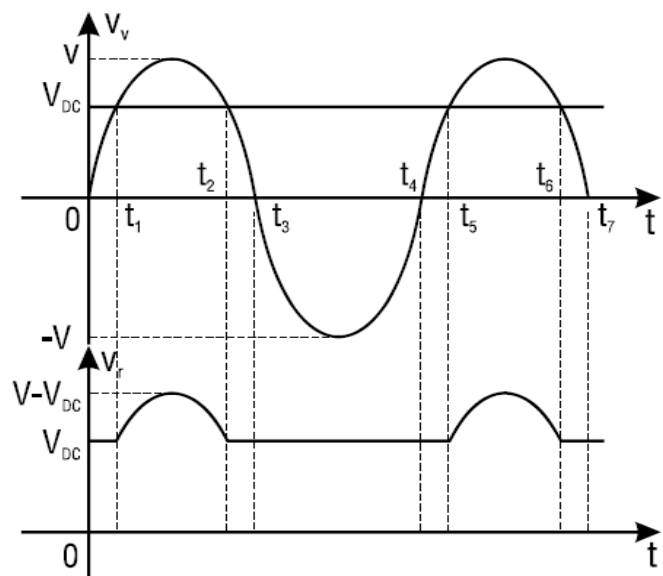
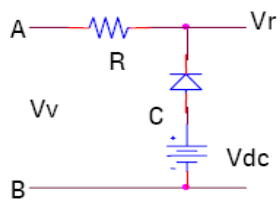
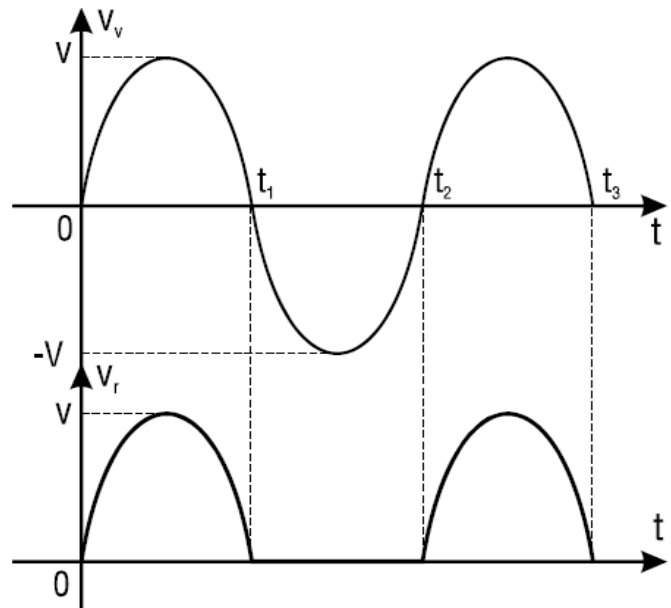
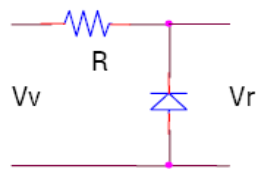
3.1.2.1 Mạch xén song song

a) Mạch xén dương

Mạch gồm các phần tử như điện trở R, nguồn V_{DC} , Diode. Giả sử tín hiệu vào là dạng sóng Sin, có biên độ $\max \pm V$. Khảo sát một số dạng mạch xén cơ bản như sau :

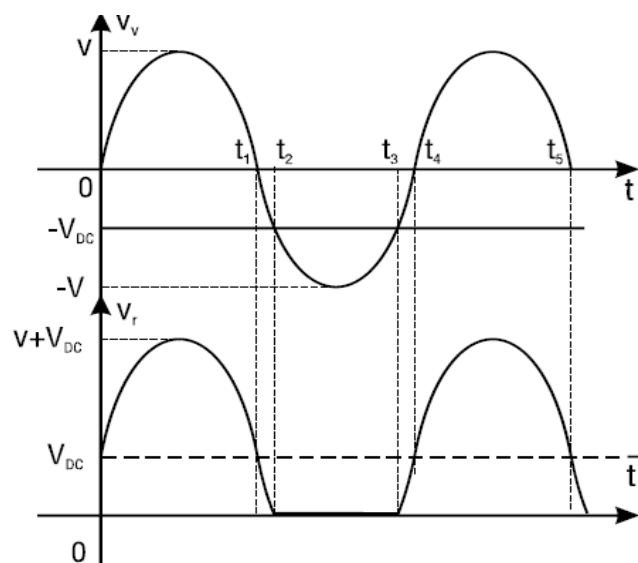
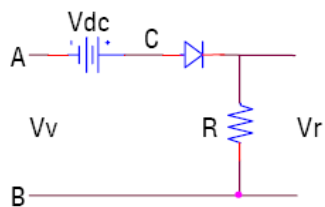
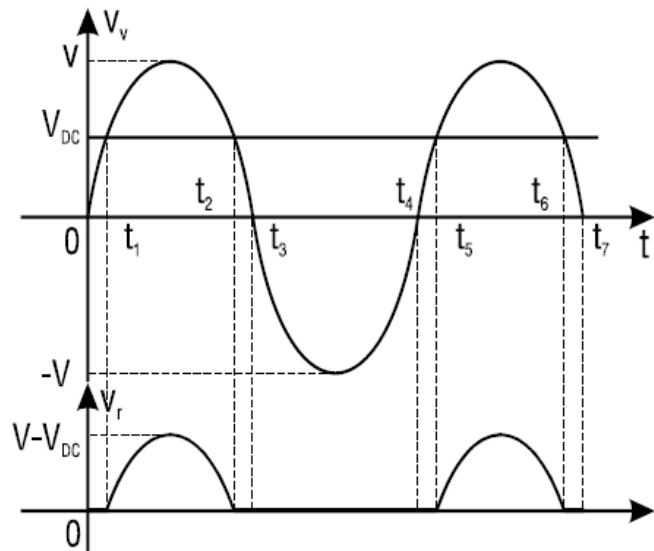
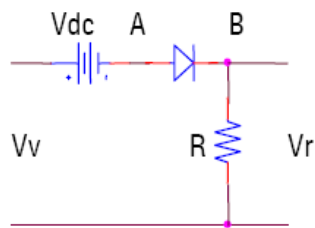
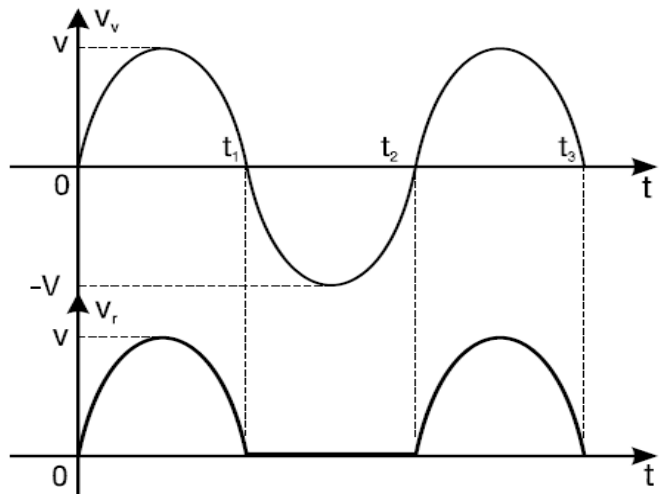
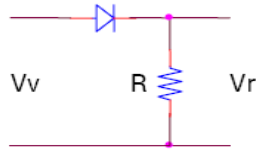


b) Mạch xén âm

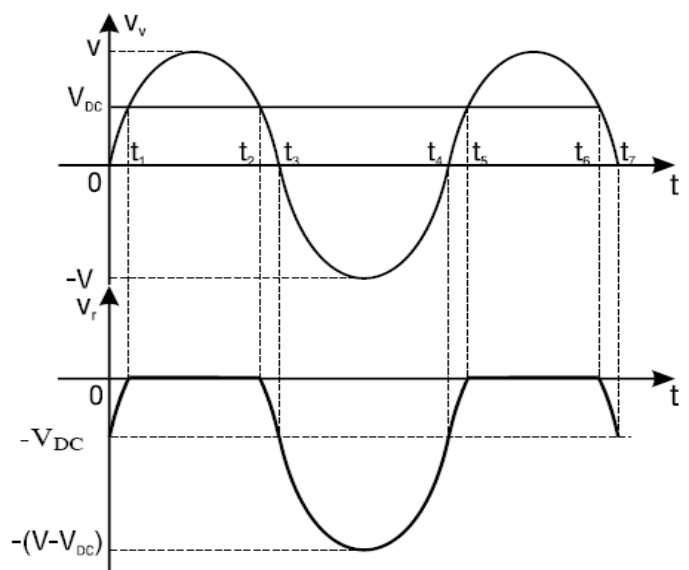
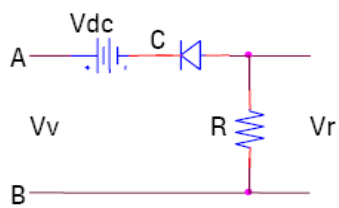
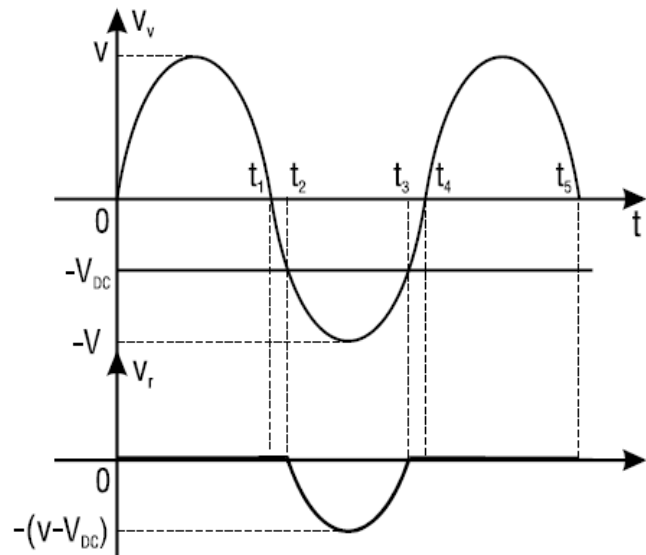
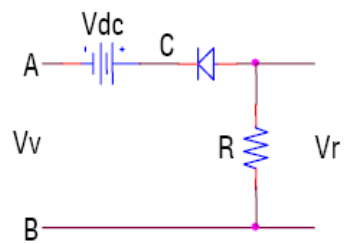
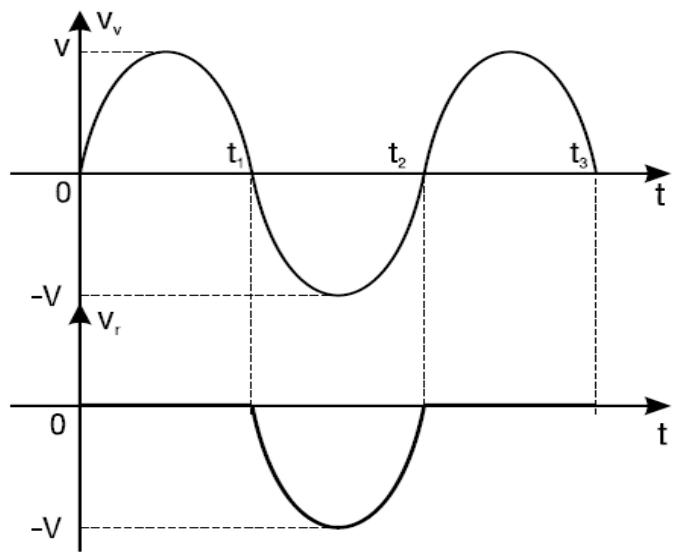
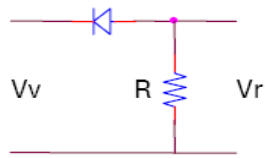


3.1.2.2 Mạch xén nối tiếp

a) Mạch xén âm

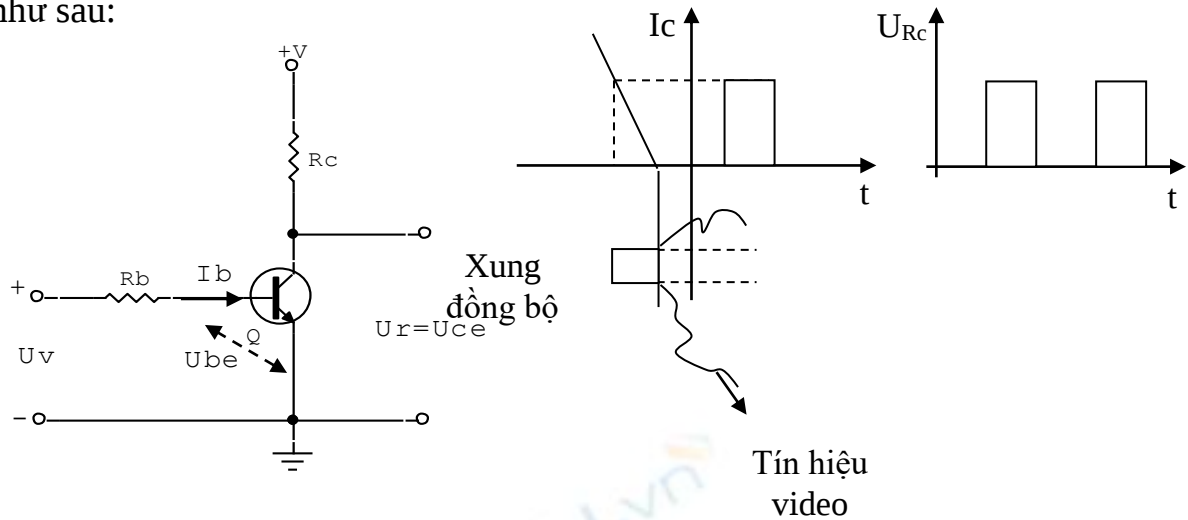


b) Mạch xén dương



3.1.3. Mạch hạn biên dùng Transistor

Dựa vào đặc tuyến truyền đạt của TZZ ta cũng xây dựng được mạch xén biên như sau:



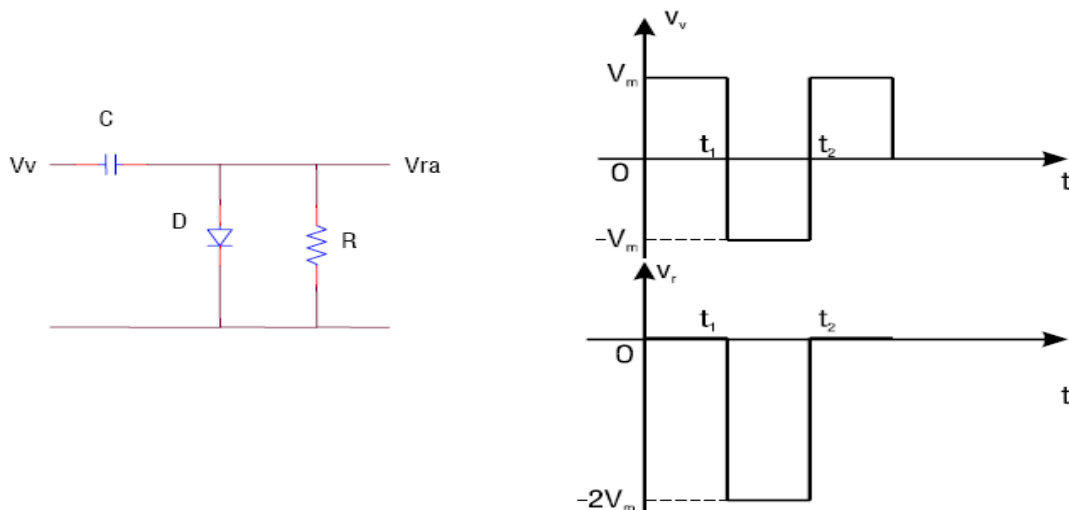
3.2. Mạch ghim áp – Mạch kẹp (Clamping circuit)

* **Khái niệm:** Mạch kẹp còn gọi là mạch ghim điện áp hay còn gọi là mạch định mức (level shifting) hay mạch phục hồi mức DC “DC level restorers”.

- Như vậy mạch sẽ kẹp tín hiệu ở những mức khác nhau. Mạch cần có tụ C đóng vai trò phân tử tích năng lượng. Diode đóng vai trò khoá và điện trở R cùng nguồn DC tạo mức.

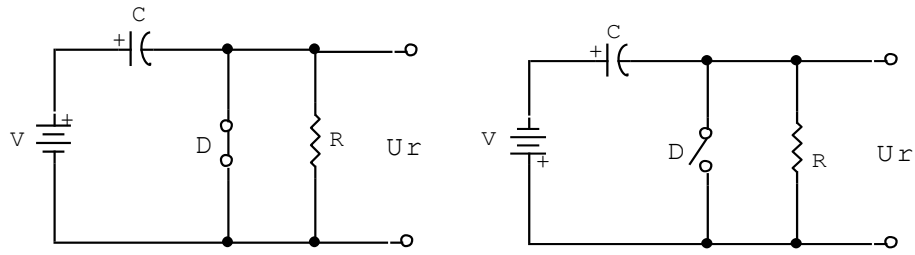
- Các giá trị R và C phải được chọn để hằng số thời gian $\tau = RC$ đủ lớn để sụt áp qua tụ không quá lớn (hay tụ C không được phóng điện nhanh).

3.2.1. Mạch ghim áp dùng Diode



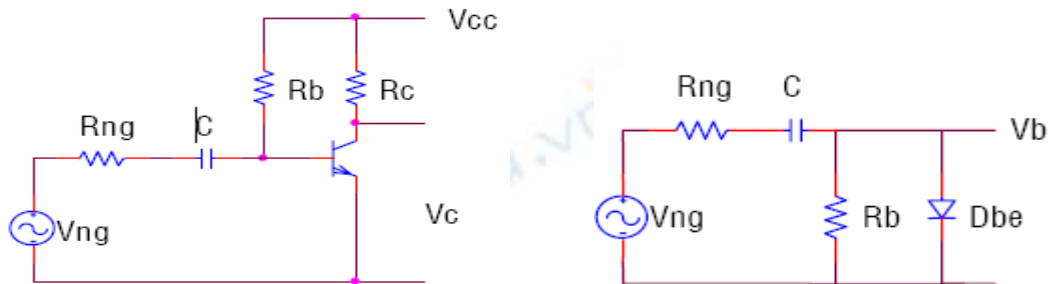
- Trong thời gian từ $t_0 \div t_1$ D thông, tụ C nạp cho đến mức $U_c = +V_m \rightarrow U_{ra} = 0$

- Thời gian từ $t_1 \div t_2$, D ngắt, U_v đổi dấu tụ C phóng điện $\rightarrow U_{ra} = -2V_m$

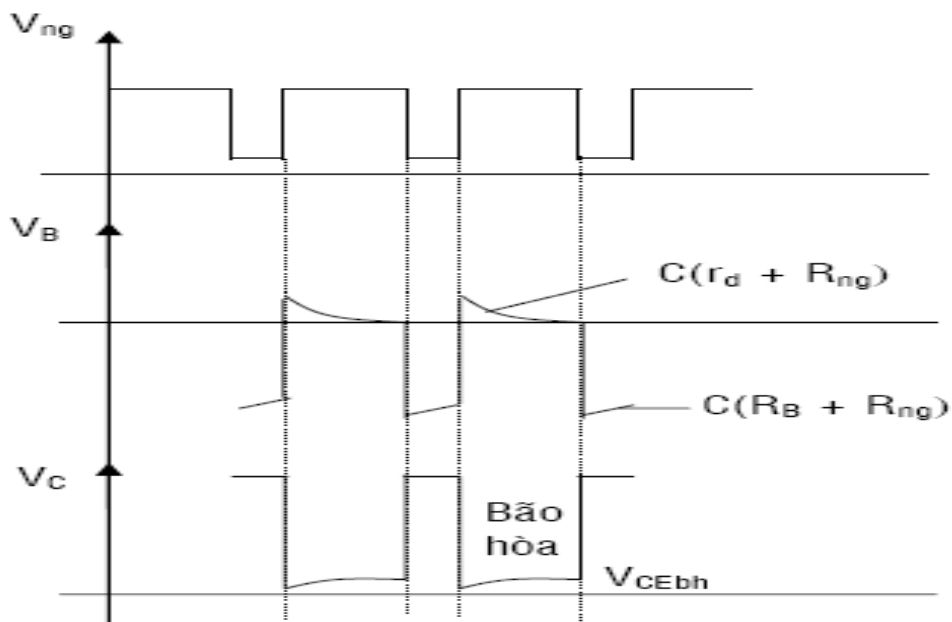


- Nhận xét :**
- U_{ra} bị kẹp ở mức âm.
 - Tần số của $U_{vào}$ và U_{ra} giống nhau
 - Biên độ của $U_{vào}$ và U_{ra} khác nhau

3.2.2. Mạch ghim áp dùng Transistor



Nếu biên độ tín hiệu đủ lớn để làm tắt mở diode BE, ta có mạch kẹp ở cực nền .
 Khi có tín hiệu vào ta có mạch tương đương như trên.
 Ta có dạng sóng tại các chân như sau:

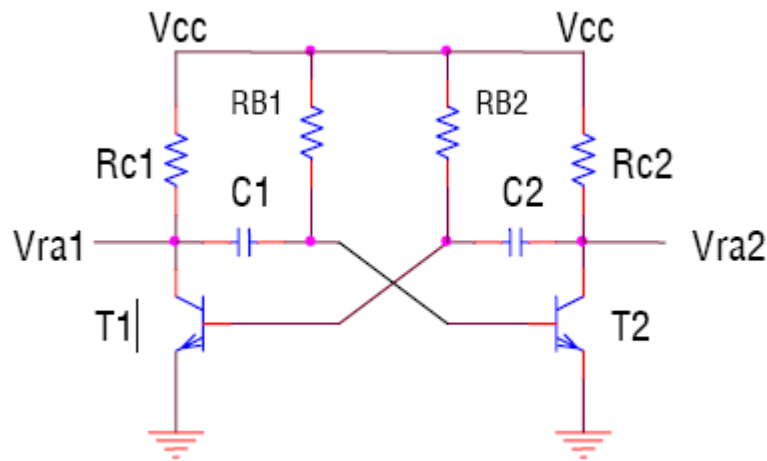


Chương 2:

CÁC MẠCH TẠO XUNG CƠ BẢN

1. Mạch dao động đa hài không trạng thái bền

a) Sơ đồ nguyên lý



b) Tác dụng linh kiện

R_{b1}, R_{b2} : Các điện trở định thiên cho T2, T1

R_{c1}, R_{c2} : Các điện trở tải T1, T2

C_1, C_2 : Các tụ tạo dao động và nối tầng.

T1, T2 : 2 Transistor tạo dao động.

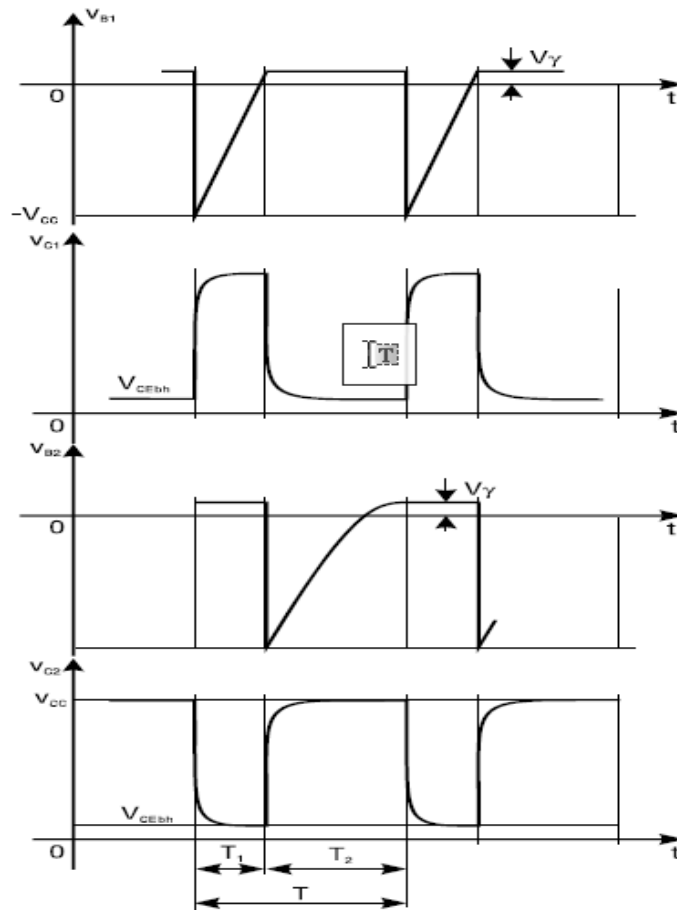
c) Nguyên lý làm việc

Thông thường mạch dao động đa hài không ổn là mạch dao động đối xứng nên 2 T2T có cùng họ và thông số. Các linh kiện điện trở $R_{b1} = R_{b2}$, $R_{c1} = R_{c2}$ và $C_1 = C_2$. Tuy hai T2T cùng loại, các linh kiện cùng trị số, nhưng không thể giống nhau một cách tuyệt đối. Điều này làm cho 2 T2T trong mạch dẫn điện không bằng nhau. Khi cung cấp điện sẽ có một T2T dẫn mạnh hơn và một transistor dẫn yếu hơn.

Giả sử rằng T₁ đang dẫn, T₂ khoá: lúc này tụ C₁ sẽ xả điện: $+C_1 \rightarrow R_{c1} \rightarrow \text{Mass}$; $-C_1 \rightarrow R_{b1} \rightarrow +V_{cc}$, tụ C₁ phóng tạo ra sự đột biến âm ở $R_{b1} \rightarrow$ làm cho T₂ khoá hẳn. Đồng thời tụ C₂ nạp điện ($+V_{cc} \rightarrow R_{c2} \rightarrow +C_2$; $\text{Mass} \rightarrow R_{e1} \rightarrow -C_2$). Khi C₂ nạp làm cho cực B_{T1} dương hơn cực E (có đột biến dương) $\rightarrow$ T₁ mở bão hoà $\rightarrow$ T₂ khoá hẳn. Nhưng khi dòng phóng của C₁ mất đi nên cực B_{T2} dương lên $\rightarrow$ T₂ dẫn, T₁ khoá, mạch lật trạng thái lúc này tụ C₂ sẽ xả điện: $+C_2 \rightarrow R_{c2} \rightarrow \text{Mass}$; $-C_2 \rightarrow R_{b2} \rightarrow +V_{cc}$, tụ C₂ phóng tạo ra sự đột biến âm ở $R_{b2} \rightarrow$ làm cho T₁ khoá hẳn. Đồng thời tụ C₁ nạp điện ($+V_{cc} \rightarrow R_{c1} \rightarrow +C_1$; $\text{Mass} \rightarrow R_{e2} \rightarrow -C_1$). Khi C₁ nạp làm cho cực B_{T2} dương hơn cực E (có đột biến dương) $\rightarrow$ T₂ mở bão hoà $\rightarrow$ T₁ khoá hẳn.

Nhưng khi dòng phóng của C_2 mất đi nên cực B_{T1} dương lên $\rightarrow T_1$ dẫn, T_2 khoá. Quá trình được lặp lại, cứ như vậy tại 2 cực C của T_1, T_2 có 2 điện áp ra trái dấu hay ta nhận được hai chuỗi xung vuông ngược pha nhau.

c) Dạng sóng tại các chân



Bằng phương pháp tính toán ta tìm được : $T_2 = 0,69 R_{B1} C_1$; $T_1 = 0,69 R_{B2} C_2$

Ta có chu kỳ xung: $T = T_1 + T_2 = 0,69.(R_{B1} C_1 + R_{B2} C_2)$ (s)

Suy ra tần số xung: $f = 1/T$ (Hz)

Đặc biệt nếu chọn: $R_{b1} = R_{b2} = R_b$, $C_1 = C_2 = C$

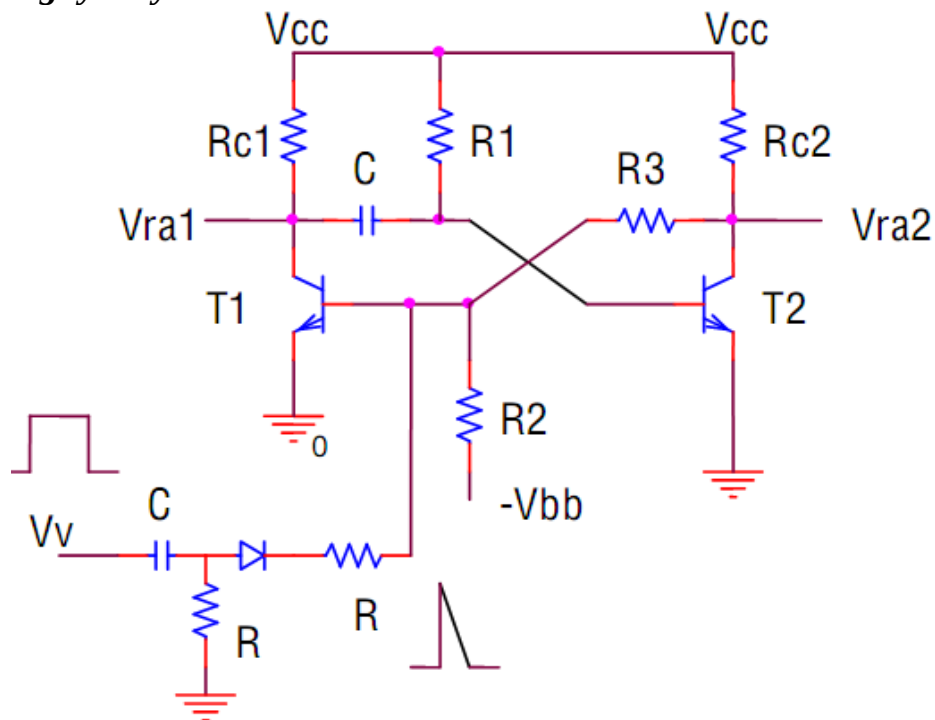
ta có: $T = 1,4 R_b C$ (s)

$$f = \frac{1}{1,4 R_b C}$$

Ví dụ: Thiết kế mạch đa hài tự dao động với các thông số kỹ thuật như sau: $E_{cc} = 12V$, dòng điện tải ở cực (dòng bão hòa của transistor) là $10mA$, transistor có hệ số khuếch đại $\beta = 100$ lần, tần số dao động của mạch là $1KHz$, tìm các thông số của mạch. Giả sử $U_{BE sat} = 0.6V$, $U_{CE sat} = 0.2V$.

2. Mạch dao động đa hài một trạng thái bền

a) Sơ đồ nguyên lý



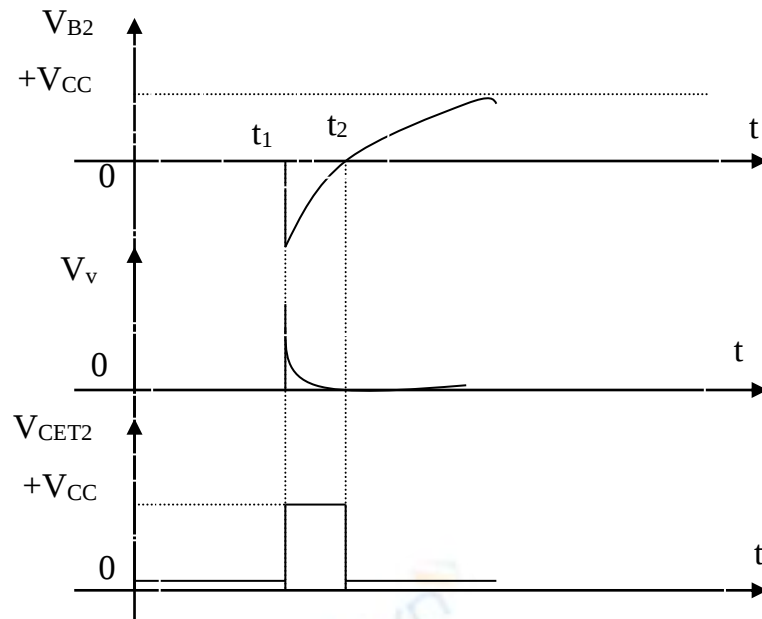
b) Nguyên lý làm việc

- Là dạng mạch: 1 ngắt, 1 dẫn ghép với nhau, ở chế độ xác lập (ổn định) thì T_1 khoá thì T_2 dẫn bão hoà.

- Tại thời điểm ban đầu khi chưa có xung kích thích thì nhờ T_2 dẫn bão hoà nên tụ C nạp điện qua $BE(T_2)$. Dòng nạp của tụ C ($+V_{cc} \rightarrow R_{c1} \rightarrow +C$; mass $\rightarrow R_{BE(T2)} \rightarrow -C$). Điện áp nạp trên tụ C có trị số $V_c = V_{cc} - V_{BEsat} \approx V_{cc}$. Khi tụ nạp đầy thì dòng nạp bằng 0 nhưng T_2 vẫn bão hoà vì vẫn còn dòng I_{b2} qua R_1 cấp cho cực B2. Hai T2T sẽ ổn định ở trạng thái này nếu không có tác động gì từ bên ngoài.

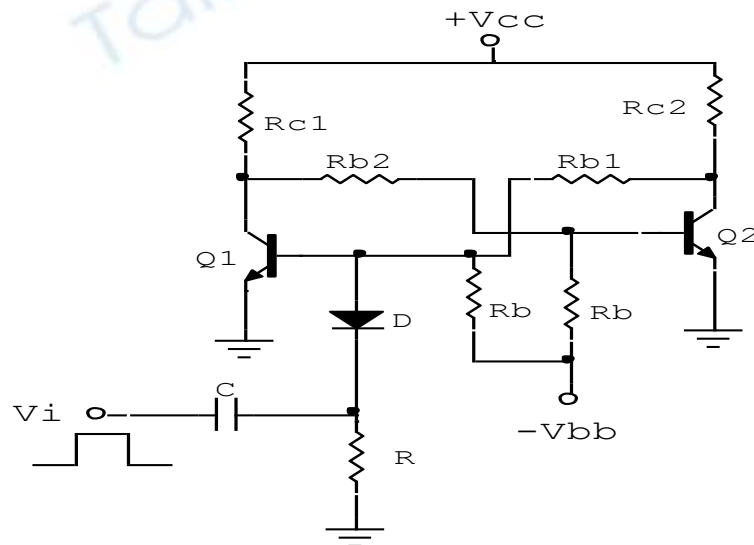
- Khi có xung dương kích thích vào cực B của T_1 làm T_1 đổi trạng thái từ khoá sang dẫn bão hoà làm tụ C phóng điện ($+C \rightarrow R_{CET1} \rightarrow$ mass; $-C \rightarrow R_1 \rightarrow V_{cc}$) tạo thành đột biến âm điện áp ở cực $B_{T2} \rightarrow T_2$ khoá lại, hình thành đỉnh xung ở đầu ra. Khi kết thúc xung ở đầu vào, nếu tụ C chưa phóng hết điện thì T_2 vẫn khoá và T_1 vẫn dẫn. Chỉ khi nào tụ C phóng hết điện thì mạch lại trở về trạng thái ban đầu tức T_1 khoá, T_2 dẫn.

c) Dạng sóng ngõ vào và ngõ ra



3. Mạch dao động đa hài hai trạng thái bền

a) Sơ đồ nguyên lý



b) Nguyên lý làm việc

Xung kích điều khiển là xung vuông qua mạch vi phân RC để đổi xung vuông ra hai xung nhọn (xung nhọn dương ứng với cạnh lên, xung nhọn âm ứng với cạnh xuống). Điốt D có tác dụng loại bỏ xung dương và chỉ đưa xung nhọn âm vào cực B₁ để đổi trạng thái Q₁ từ bão hoà sang khoá.

Giả thiết Q₁ đang dẫn bão hoà, Q₂ khoá. Khi ngõ vào V_i nhận xung vuông qua mạch vi phân RC tạo điện áp trên R là hai xung nhọn . Khi có xung nhọn dương thì điốt D bị phân cực ngược nên khoá và mạch vẫn giữ trạng thái đang có. Khi có xung nhọn âm thì D được phân cực thuận làm cho V_{b1} giảm xuống mức 0V. Lúc đó Q₁ khoá nên I_{b1} = 0, I_{c1} = 0 nên V_{c1} tăng cao sẽ tạo phân cực đủ mạnh cho cực B₂ và Q₂ dẫn bão hoà. Khi Q₂ đã bão hoà thì V_{c2} = 0,2V nên