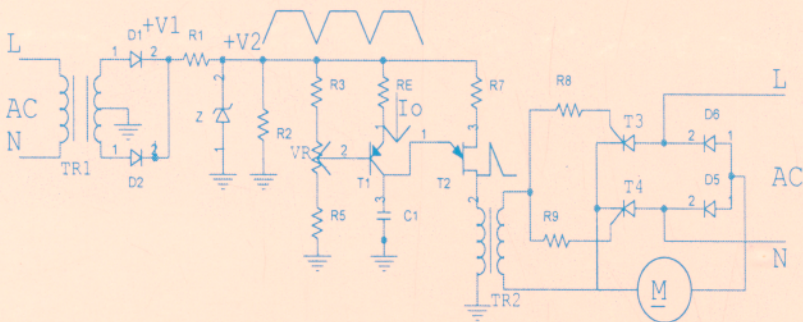
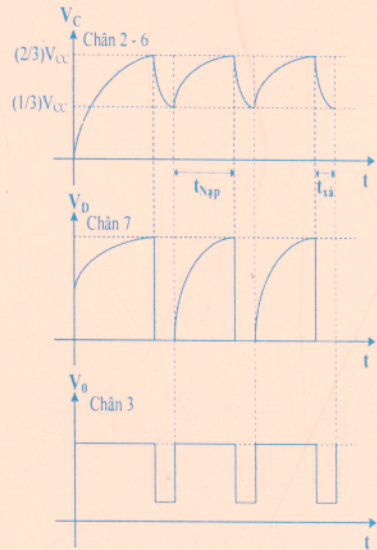
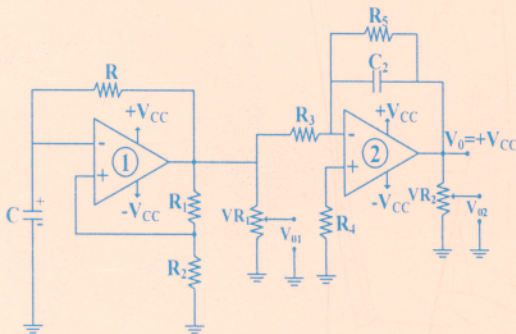




TỦ SÁCH KỸ THUẬT ĐIỆN - ĐIỆN TỬ
TS NGUYỄN TẤN PHƯỚC

KỸ THUẬT XUNG

CĂN BẢN VÀ NÂNG CAO



NHÀ XUẤT BẢN HỒNG ĐỨC

TỦ SÁCH KỸ THUẬT ĐIỆN - ĐIỆN TỬ
TS NGUYỄN TẤN PHƯỚC

KỸ THUẬT XUNG

CĂN BẢN VÀ NÂNG CAO

NHÀ XUẤT BẢN HỒNG ĐỨC

LỜI NÓI ĐẦU

Giáo trình “*Kỹ thuật xung căn bản và nâng cao*” là tập hai trong bộ giáo trình “Điện tử công nghiệp” gồm năm tập:

- 1) Linh kiện điều khiển - Điện một chiều công nghiệp
- 2) Kỹ thuật xung căn bản và nâng cao
- 3) Điện tử ứng dụng trong công nghiệp - tập 1
- 4) Điện tử ứng dụng trong công nghiệp - tập 2
- 5) Điện tử công suất

Kỹ thuật xung là môn học kỹ thuật cơ sở của ngành Điện tử và Điện tử công nghiệp trong các trường Đại học, Cao đẳng và Trung học chuyên nghiệp, có vị trí khá quan trọng trong toàn bộ chương trình học của sinh viên, học sinh các ngành học nói trên.

Tuy nhiên, nhiều năm qua giáo trình “*Kỹ thuật xung*” thiếu vắng trong các Thư viện, Thư quán và thị trường sách Kỹ thuật Điện - Điện tử của thành phố. Điều này gây khó khăn rất lớn cho sinh viên, học sinh khi học tập hay muốn nghiên cứu tìm hiểu thêm về lĩnh vực này.

Được sự động viên của nhiều giáo viên, sinh viên, học sinh đang theo học ngành Điện - Điện tử - Điện tử công nghiệp, chúng tôi soạn giáo trình này nhằm mục đích hỗ trợ cho việc dạy và học môn Kỹ thuật xung trong nhà trường, đồng thời giúp cho các cán bộ kỹ thuật, công nhân kỹ thuật Điện - Điện tử trong các xí nghiệp công nghiệp có điều kiện củng cố và nâng cao kiến thức ngành nghề.

Lần tái bản này có nhiều sửa đổi những sai sót trong khâu đánh máy và vẽ mạch của lần phát hành trước. Rất mong được sự góp ý thêm của bạn đọc để sách ngày càng hoàn thiện hơn.

Tp HCM, tháng 10 năm 2008

Tác giả

MỤC LỤC

	Trang
Lời nói đầu	3
Mục lục	4
Chương 1: Khái niệm cơ bản về kỹ thuật xung	7
1.1- Đại cương	
1.2- Các thông số của tín hiệu xung	
1.3- Trạng thái ngưng và bão hoà của transistor	
1.4- Hai trạng thái bão hoà của OP-AMP	
Chương 2: Các phương pháp biến đổi dạng xung	17
2.1- Đại cương	
2.2- Mạch tích phân	
2.3- Mạch vi phân	
2.4- Giới hạn biên độ xung	
Chương 3: Mạch dao động đa hài lưỡng ổn	31
3.1- Mạch đảo	
3.2- Mạch Flip-Flop cơ bản	
3.3- Các phương pháp kích đổi trạng thái của Flip-Flop	
3.4- Các điểm cần lưu ý khi thiết kế	
Chương 4: Mạch dao động đa hài đơn ổn	42
4.1- Đại cương	
4.2- Mạch đơn ổn cơ bản	
4.3- Các mạch đơn ổn cải tiến	
4.4- Bài tập áp dụng	

Chương 5: Mạch dao động đa hài phi ổn	56
5.1- Đại cương	
5.2- Mạch đa hài phi ổn cơ bản	
5.3- Mạch đa hài phi ổn thay đổi tần số	
5.4- Mạch đa hài phi ổn thay đổi chu trình làm việc	
5.5- Các dạng khác của mạch đa hài phi ổn	
Chương 6: Mạch tạo xung dùng OP-AMP	76
6.1- Mạch Flip-Flop dùng OP-AMP	
6.2- Mạch Flip-Flop hồi tiếp dùng điốt	
6.3- Mạch dao động tích thoát	
6.4- Mạch tạo xung vuông và tam giác	
Chương 7: Vi mạch định thời 555	87
7.1- Đại cương	
7.2- Sơ đồ chân và cấu trúc bên trong	
7.3- Mạch đa hài phi ổn dùng IC 555	
7.4- Mạch đa hài đơn ổn dùng IC 555	
7.5- IC 555 giao tiếp ở ngõ ra	
Chương 8: Mạch dao động tích thoát dùng UJT	108
8.1- Đại cương	
8.2- Mạch dao động tích thoát cơ bản	
8.3- Áp dụng	
8.4- Mạch dao động tích thoát nạp bằng nguồn dòng	
8.5- Mạch tạo tín hiệu hình nấc thang	
8.6- Mạch dao động tích thoát tạo xung đồng bộ	

Chương 9: Mạch tạo xung dùng cổng logic	129
9.1- Đại cương	
9.2- Mạch đa hài lưỡng ổn	
9.3- Mạch đa hài đơn ổn	
9.4- Mạch đa hài phi ổn	
Chương 10: Mạch Schmitt Trigger	139
10.1- Đại cương	
10.2- Mạch Schmitt – Trigger cơ bản	
10.3- Bài toán phân tích mạch	
10.4- Bài toán thiết kế mạch	
10.5- Mạch Schmitt Trigger dùng OP-AMP	
10.6- Mạch Schmitt Trigger dùng cổng logic	
10.7- Mạch Schmitt Trigger chính xác	
Chương 11: Mạch dao động VCO và CCO	157
11.1- Đại cương	
11.2- Mạch dao động VCO dùng IC 566	
11.3- Mạch dao động CCO dùng IC 567	
Tài liệu tham khảo	170

CHƯƠNG 1

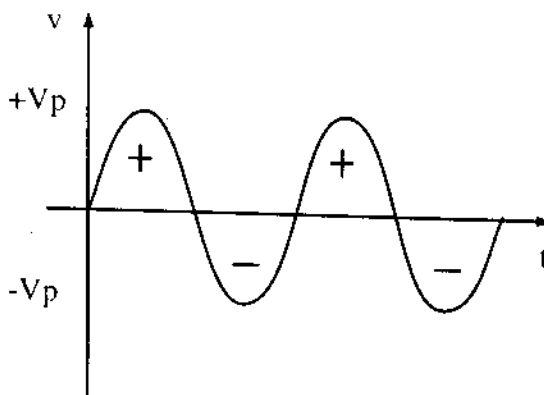
KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ KỸ THUẬT XUNG

§1.1. ĐẠI CƯƠNG

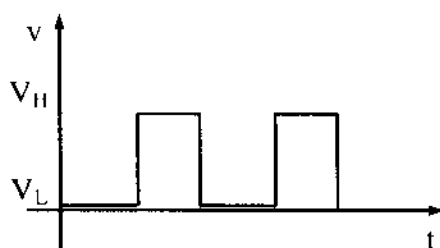
Các tín hiệu điện có biên độ thay đổi theo thời gian được chia ra hai loại cơ bản là tín hiệu liên tục và tín hiệu gián đoạn. Tín hiệu liên tục còn được gọi là tín hiệu tuyến tính hay tương tự, tín hiệu gián đoạn còn được gọi là tín hiệu xung hay số.

Tín hiệu hình sin được xem như là một tín hiệu tiêu biểu cho loại tín hiệu liên tục. Với tín hiệu hình sin, đường biểu diễn như hình 1-1, ta có thể tính được biên độ của nó ở từng thời điểm.

Ngược lại, tín hiệu hình vuông được xem là một tín hiệu tiêu biểu cho loại tín hiệu gián đoạn. Với tín hiệu vuông, đường biểu diễn như hình 1-2, biên độ của nó chỉ có 2 giá trị là mức cao và mức thấp, thời gian để chuyển từ mức biên độ thấp lên cao hay biên độ cao xuống thấp rất ngắn và được xem như tức thời.

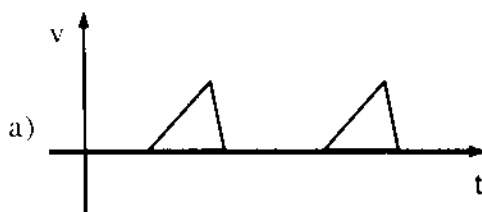


Hình. 1-1: Tín hiệu hình sin

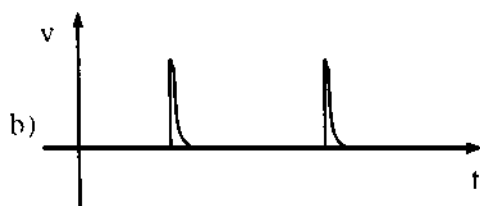


Hình.1-2 : Tín hiệu hình vuông

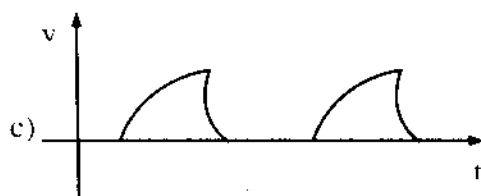
Thật ra tín hiệu xung (tín hiệu gián đoạn) không chỉ có loại tín hiệu hình vuông, mà còn có các dạng khác như xung tam giác, xung răng cưa, xung nhọn, xung nấc thang ...



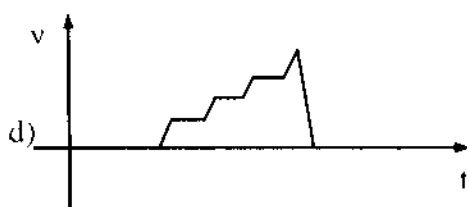
a) Xung tam giác



b) Xung nhọn



c) Xung răng cưa



d) Xung nấc thang

Hình.1-3 : Các dạng tín hiệu xung

Trong nhiều trường hợp, xung tam giác có thể gọi là xung răng cưa và ngược lại.

Các dạng xung cơ bản, như trong hình 1.3, rất khác nhau về dạng sóng, nhưng có điểm chung là thời gian tồn tại xung rất ngắn hay sự biến thiên biên độ từ thấp lên cao (như xung nhọn) hay từ cao xuống thấp (như xung tam giác) xảy ra rất nhanh.

Tín hiệu xung được 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”.

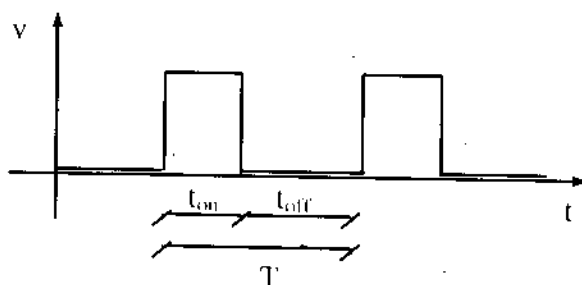
§1.2. CÁC THÔNG SỐ CỦA TÍN HIỆU XUNG

Tín hiệu xung vuông trong hình 1-2 là một tín hiệu vuông lý tưởng. Trong thực tế, khó có một tín hiệu vuông mà đường biên độ tăng và đường biên độ giảm thẳng đứng (ứng với thời gian tăng hay giảm là $t = 0$).

Khi phân tích hay khảo sát các tín hiệu xung người ta xét các thông số cơ bản như sau:

1) Chu kỳ xung - Tần số xung

Độ rộng của xung là thời gian ứng với mức điện áp cao gọi là t_{on} (hay t_x). Thời gian không có xung ứng với mức điện áp thấp gọi là t_{off} (hay thời gian nghỉ t_{ng}).



Hình.1-4: Chu kỳ xung

Chu kỳ xung: $T = t_{on} + t_{off}$

Tần số xung là số lần xung xuất hiện trong một đơn vị thời gian cũng được tính theo công thức:

$$f = \frac{1}{T}$$

2) Độ rộng và hệ số đầy của xung

Trong một chu kỳ của xung, thời gian có xung (t_{on}) thường rất ngắn so với chu kỳ T . Người ta định nghĩa, độ rộng của xung là tỉ số giữa chu kỳ T và độ rộng xung t_{on} :

Độ rộng: $Q = \frac{T}{t_{on}}$

Nghịch đảo của độ rộng Q được gọi là hệ số đầy của xung.

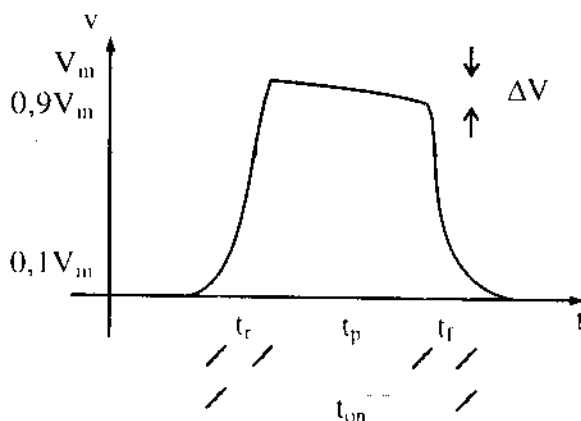
Hệ số đầy: $n = \frac{t_{on}}{T}$

3) Độ rộng sườn trước, độ rộng sườn sau

Trong thực tế, các xung vuông không có dạng lý tưởng, hình 1.4, mà lại có dạng như hình 1.5. Theo dạng xung hình 1.5, khi tăng điện áp sẽ có thời gian trễ t_r (r: rise) gọi là độ rộng sườn trước, ngược lại, khi giảm điện áp cũng sẽ có thời gian trễ t_f (f: fall) gọi là độ rộng sườn sau.

Độ rộng sườn trước, độ rộng sườn sau là thời gian biên độ xung tăng hay giảm trong khoảng $0,1V_m$ đến $0,9V_m$.

Thời gian xung có biên độ từ $0,9V_m$ đến V_m ứng với đoạn đỉnh của xung gọi là t_p (p: peak).



Hình 1.5: Dạng xung thực tế

Độ rộng xung thực tế:

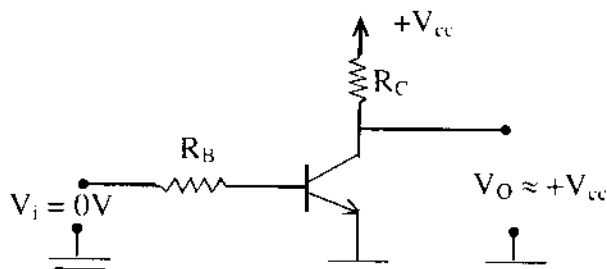
$$t_{on} = t_r + t_p + t_f$$

Độ sụt đỉnh xung ΔV là độ giảm biên độ ở phần đỉnh xung.

§1.3. TRẠNG THÁI NGỪNG VÀ DẪN CỦA TRANSISTOR

1) Trạng thái ngưng

Một transistor có thể làm việc như một khóa điện tử để đóng và ngắt mạch điện. Trạng thái đóng hay ngắt mạch của transistor tùy thuộc vào mức điện áp phân cực cho cực B của nó.



Hình 1-6: Transistor ngưng

Trong hình 1.6, transistor có điện áp $V_i = 0V$ nên $V_B = 0V$, transistor không được phân cực nên ngưng dẫn. Trạng thái này transistor có $I_B = 0$ và $I_C = 0$.

Điện áp ngõ ra ở cực C của transistor:

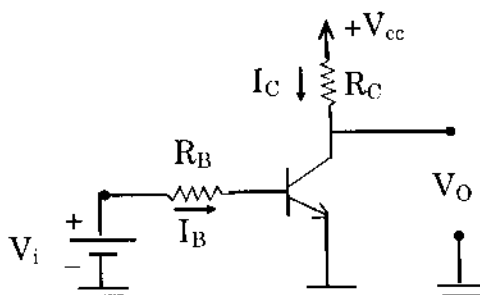
$$V_O = V_C = V_{CC} - I_C \cdot R_C \quad (\text{với } I_C = 0)$$

Suy ra : $V_O = V_{CC}$

Như vậy, ngõ vào V_i có mức thấp, ngõ ra V_O có mức cao.

2) Trạng thái dẫn bão hòa

Để transistor chuyển từ trạng thái ngắt, như hình 1.6, sang trạng thái dẫn bão hòa thì ngõ vào phải được cấp một điện áp đủ lớn sao cho điện áp V_B lớn hơn một mức ngưỡng để transistor được phân cực bão hòa. Điện áp này được gọi là V_{BEsat} có trị số tùy thuộc chất bán dẫn chế tạo transistor.



Hình 1-7: Transistor bão hòa

Ta có: $V_{BEsat} \approx 0,7V \div 0,8V$ (transistor chất silicium)

$V_{BEsat} \approx 0,3V$ (transistor chất germanium)

Trong mạch điện hình 1.7, điện trở R_C được coi là điện trở tải để xác định dòng điện I_C qua transistor. Như đã biết, khi transistor chạy ở trạng thái bão hòa thì cực C có điện áp ra:

$$V_C = V_{CEsat} \approx 0,1V \div 0,2V$$

Như vậy, dòng điện I_C được tính theo công thức:

$$I_{Csat} = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_C}$$

Khi có dòng điện tải I_C , phải tính dòng điện cần thiết cung cấp cho cực B để chọn trị số điện trở R_B thích hợp. Thông thường ta có :

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} \quad (\beta: \text{độ khuếch đại dòng điện})$$

Trường hợp cần cho transistor chạy bão hòa vững (bão hòa sâu) thì có thể tính dòng điện I_B theo công thức:

$$I_B = k \frac{I_C}{\beta} \quad (k \text{ là hệ số bão hòa sâu, } k \approx 2 \div 5)$$

Điện trở R_B được chọn theo công thức:

$$R_B = \frac{V_i - V_{BEsat}}{I_B}$$

Thí dụ: Mạch điện hình 1.7 có các thông số: $+V_{CC} = 12V$, $R_C = 1,2k\Omega$, transistor chất si và $\beta = 100$, điện áp vào $V_i = 1,5V$.

Trước hết phải tính dòng điện tải I_C .

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_C} = \frac{12 - 0,2}{1,2 \cdot 10^3} \approx 10mA$$

Chọn hệ số bão hòa sâu $k = 3$, ta có:

$$I_B = k \frac{I_C}{\beta} = 3 \frac{10 \cdot 10^{-3}}{100} = 0,3mA$$

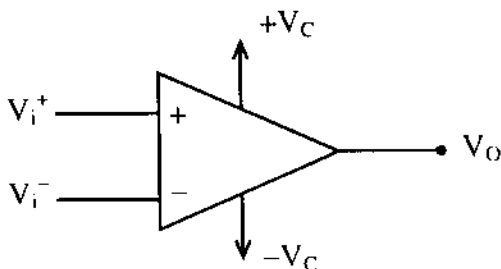
Điện trở R_B được chọn có trị số:

$$R_B = \frac{V_i - V_{BEsat}}{I_B} = \frac{1,5 - 0,8}{0,3 \cdot 10^{-3}} = 2,33 \text{ k}\Omega$$

Chọn điện trở theo tiêu chuẩn là $R_B = 2,4 \text{ k}\Omega$.

§1.4. HAI TRẠNG THÁI BẢO HÒA CỦA OP-AMP

Để thực hiện chức năng chuyển đổi trạng thái của mạch, ngoài transistor, có thể dùng OP-AMP (bộ khuếch đại thuật toán), nhờ vào hai trạng thái bão hòa của nó trong mạch khuếch đại so sánh.



Hình 1-8 : Mạch khuếch đại so sánh

Sơ đồ hình 1-8 là mạch khuếch đại so sánh cơ bản dùng hai nguồn đối xứng $\pm V_{CC}$. Điện áp đặt vào ngõ không đảo (ngõ +) gọi là V_i^+ và điện áp đặt vào ngõ đảo (ngõ -) gọi là V_i^- .

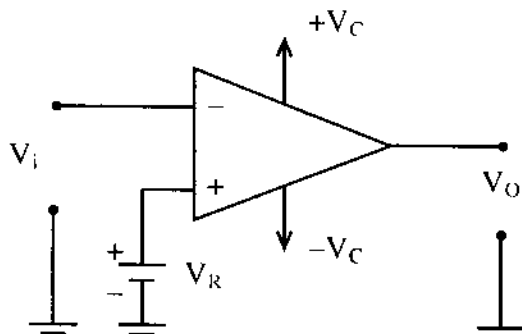
Tùy thuộc điện áp ở hai ngõ này so với nhau mà OP-AMP sẽ chạy ở một trong hai trạng thái sau:

- nếu: $V_i^+ > V_i^- \Rightarrow V_o = +V_{CC}$, là trạng thái bão hòa dương
- nếu: $V_i^- > V_i^+ \Rightarrow V_o = -V_{CC}$, là trạng thái bão hòa âm.

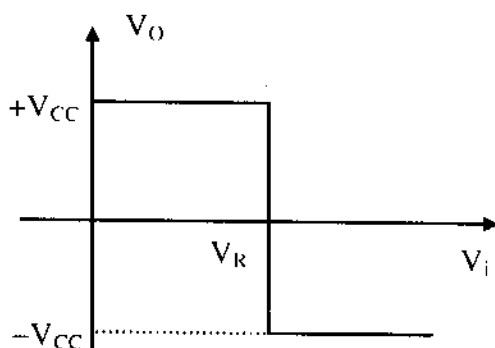
Trong thực tế, mạch khuếch đại so sánh sẽ nhận một điện áp ở ngõ vào là V_i để so với điện áp chuẩn là V_R . Tùy theo yêu cầu

của mỗi mạch mà ta cho điện áp ngõ vào V_i vào ngõ đảo hay ngõ không đảo và điện áp chuẩn V_R vào ngõ còn lại.

1) Điện áp V_i vào ngõ đảo, V_R vào ngõ không đảo



Hình 1-9a : Mạch so sánh V_i vào ngõ đảo



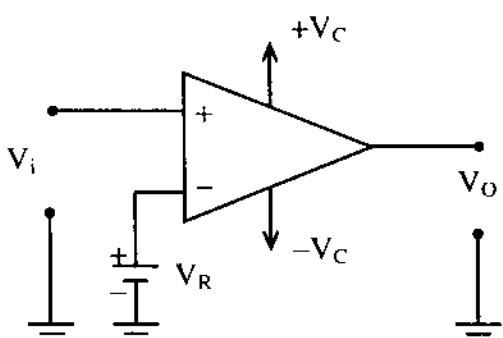
Hình 1-9b : Điện áp ra V_O theo điện áp vào V_i

Theo sơ đồ mạch so sánh hình 1-9a, điện áp ngõ vào V_i đưa đến ngõ đảo để so với điện áp chuẩn V_R ở ngõ không đảo.

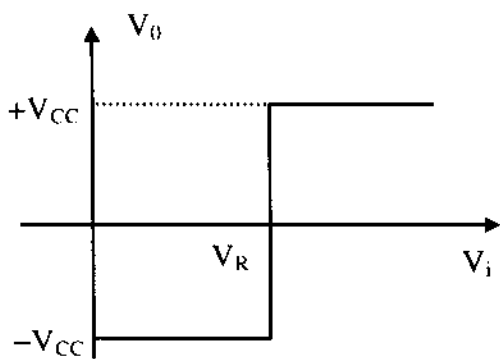
Hàm truyền đạt của mạch biểu diễn như hình 1-9b.

Nếu $V_i < V_R$ (hay $V_i^- < V_i^+$) thì $V_O = +V_{CC}$, và ngược lại, nếu $V_i > V_R$ (hay $V_i^- > V_i^+$) thì $V_O = -V_{CC}$.

2) Điện áp V_i vào ngõ không đảo, V_R vào ngõ đảo



Hình 1-10a: Mạch so sánh V_i vào ngõ không đảo



Hình 1-10b : Điện áp ra V_O theo điện áp vào V_i

Mạch so sánh hình 1-10a có điện áp vào V_i ngược lại với mạch so sánh hình 1-9a, nên có hàm truyền đạt ngược lại và được biểu diễn như hình 1-10b. Theo đó, nếu $V_i < V_R$ (hay $V_i^+ < V_i^-$) thì $V_O = -V_{CC}$, và ngược lại, nếu $V_i > V_R$ (hay $V_i^+ > V_i^-$) thì $V_O = +V_{CC}$.

Hai trạng thái ngưng và dẫn bão hòa của transistor hay hai trạng thái bão hòa dương và bão hòa âm của OP-AMP được dùng để cho ra hai điện áp mức cao và mức thấp, tạo ra các tín hiệu xung điện.

CHƯƠNG 2

CÁC PHƯƠNG PHÁP BIẾN ĐỔI DẠNG XUNG

§2.1. ĐẠI CƯƠNG

Trong lý thuyết về mạch lọc, chia ra mạch lọc thụ động và mạch lọc tích cực. Các mạch lọc thụ động dùng R-L-C còn được chia ra nhiều loại mạch khác nhau gồm:

- Theo loại linh kiện có: mạch lọc RC, mạch lọc RL, mạch lọc LC
- Theo tần số chọn lọc có: mạch lọc tần số thấp qua, mạch lọc tần số cao qua, mạch lọc dải qua, mạch lọc dải chặn. Tùy theo cách sắp xếp các linh kiện R-L-C trong mạch mà mỗi loại mạch sẽ có tác dụng chọn lọc tần số khác nhau.

Trong các loại mạch lọc trên, mạch lọc thấp qua và mạch lọc cao qua dùng RC, RL được ứng dụng trong kỹ thuật xung gọi là mạch tích phân và vi phân, để biến đổi dạng xung.

§2.2. MẠCH TÍCH PHÂN (INTEGRATOR)

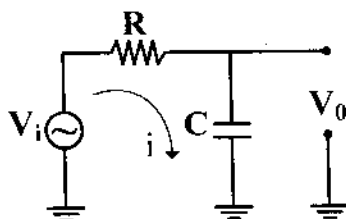
Theo định nghĩa, mạch tích phân là mạch mà điện áp ra $v_o(t)$ tỉ lệ với tích phân theo thời gian của điện áp vào $v_i(t)$.

Ta có: $v_o(t) = k \int v_i(t) dt$ (k là hệ số tỉ lệ)

1) Mạch tích phân RC

Mạch tích phân hình 2.1 chính là mạch lọc thấp qua dùng RC. Tần số cắt của mạch lọc:

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$



Hình 2.1 : Mạch tích phân RC

Do điện áp vào v_i là hàm biến thiên theo thời gian nên điện áp trên điện trở R và trên tụ C cũng là hàm biến thiên theo thời gian.

Ta có: $v_i(t) = v_R(t) + v_C(t)$

Xét mạch điện ở trường hợp nguồn điện áp vào v_i có tần số f_i rất cao so với tần số cắt f_c . Lúc đó, dung kháng X_C sẽ có trị số rất nhỏ (do $X_C = \frac{1}{2\pi f_i C}$).

Như vậy: nếu $f \gg f_c = \frac{1}{2\pi RC}$

thì $R \gg X_C = \frac{1}{2\pi f_i C}$

Suy ra: $v_R(t) \gg v_C(t)$ (vì i_R và i_C bằng nhau)

Đối với tụ C , điện áp trên tụ được tính theo công thức:

$$v_C(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt$$

Điện áp trên tụ C cũng là điện áp ra nên:

$$v_o(t) = v_C(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt$$

trong đó: $i(t) = \frac{v_i(t)}{R}$ (vì $R \gg X_C$ nên bỏ qua X_C)

Suy ra:
$$v_o(t) = \frac{1}{C} \int \frac{v_i(t)}{R} dt$$

$$v_o(t) = \frac{1}{RC} \int v_i(t) dt$$

Như vậy, điện áp ra $v_o(t)$ là tích phân của điện áp vào $v_i(t)$ với hệ số tỉ lệ k :

$$k = \frac{1}{RC} \quad (\text{khi tần số } f_i \text{ rất lớn so với } f_C)$$

Điều kiện của mạch: $f_i \gg f_C$

Hay:
$$f_i \gg \frac{1}{2\pi RC}$$

Nói cách khác là:
$$RC \gg \frac{1}{2\pi f_i}$$

Hay:
$$\tau \gg \frac{1}{2\pi f_i} = \frac{T_i}{2\pi}$$

trong đó: $\tau = RC$ là hằng số thời gian, T_i là chu kỳ.

Trường hợp điện áp vào v_i là tín hiệu hình sin thì:

$$v_i(t) = V_m \sin \omega t$$

Điện áp ra:

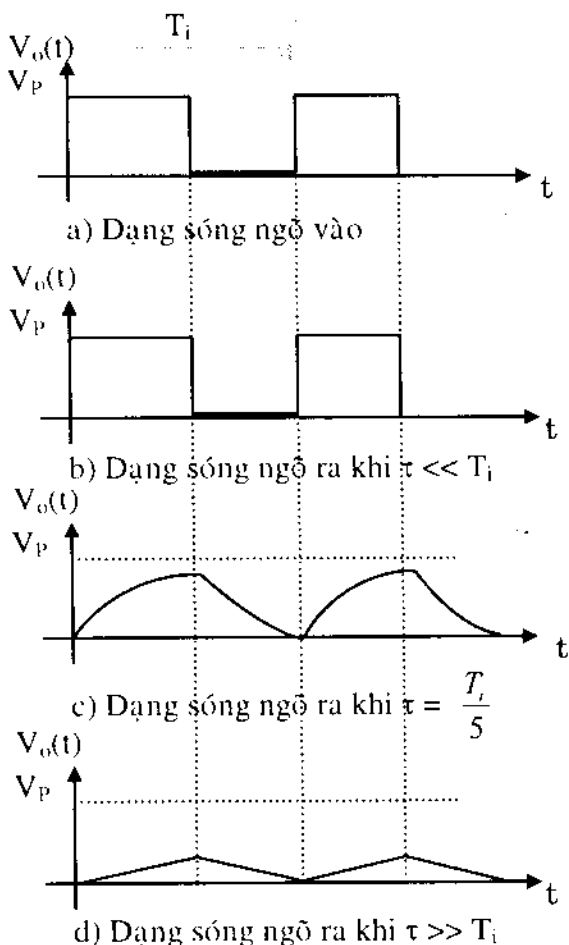
$$v_o(t) = \frac{1}{RC} \int V_m \sin \omega t dt = -\frac{V_m}{\omega RC} \cos \omega t$$

$$v_o(t) = \frac{V_m}{\omega RC} \sin(\omega t - 90^\circ)$$

Như vậy, nếu thỏa mãn điều kiện của mạch tích phân như trên thì điện áp ra bị trễ pha 90° và biên độ bị giảm xuống với hệ số tỉ lệ là $\frac{1}{\omega RC}$.

2) Điện áp vào là tín hiệu xung vuông

Khi điện áp vào là tín hiệu xung vuông có chu kỳ là T_i thì có thể xét tỷ lệ hằng số thời gian $\tau = RC$ so với T_i , để giải thích các dạng sóng ra theo hiện tượng nạp xả của tụ.



Hình 2.2 : Dạng sóng vào và ra của mạch tích phân nhận xung vuông.

Giả thiết điện áp ngõ vào là tín hiệu xung vuông đối xứng có chu kỳ T_i (hình 2.2a).

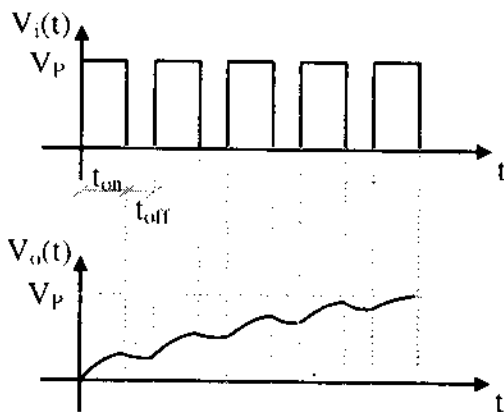
Nếu mạch tích phân có hằng số thời gian $\tau = RC$ rất nhỏ so với T_i , tụ nạp và xả rất nhanh nên điện áp ngõ ra $v_o(t)$ có dạng giống như dạng điện áp vào $v_i(t)$ (hình 2.2b).

Nếu mạch tích phân có hằng số thời gian $\tau = \frac{T_i}{5}$, tụ nạp và xả điện áp theo dạng hàm số mũ, biên độ đỉnh của điện áp ra thấp hơn V_p (hình 2.2c).

Nếu mạch tích phân có hằng số thời gian τ rất lớn so với T_i , thì tụ C nạp rất chậm nên điện áp ra có biên độ rất thấp (hình 2.2d), nhưng đường tăng giảm điện áp gần như đường thẳng.

Như vậy, mạch tích phân nếu chọn trị số RC thích hợp thì có thể sửa dạng xung vuông ở ngõ vào thành dạng sóng răng cưa hay tam giác ở ngõ ra. Nếu xung vuông đối xứng thì xung tam giác ra là tam giác cân.

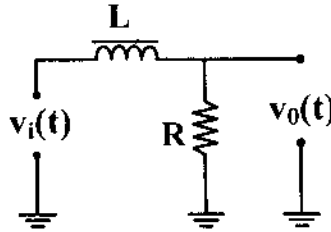
Trường hợp tín hiệu ngõ vào là một chuỗi xung vuông không đối xứng với $t_{on} > t_{off}$. Trong thời gian t_{on} ngõ vào có điện áp cao, tụ C nạp điện. Trong thời gian t_{off} ngõ vào có điện áp 0V, tụ C xả điện, nhưng do thời gian t_{off} nhỏ hơn t_{on} nên tụ chưa xả điện hết thì lại nạp điện tiếp làm cho điện áp trên tụ tăng dần (hình 2.3).



Hình 2.3: Chuỗi xung vuông vào

3) Mạch tích phân RL

Mạch lọc thấp qua dùng RL cũng có thể dùng làm mạch tích phân như hình 2.4.



Hình 2.4: Mạch tích phân dùng RL

Chứng minh tương tự như mạch tích phân dùng RC ta có điện áp ra $v_o(t)$ tỉ lệ tích phân với điện áp vào $v_i(t)$ theo thời gian.

$$\text{Ta có : } v_o(t) = \frac{R}{L} \int v_i(t) dt$$

$$\text{Trong đó hệ số tỉ lệ } K = \frac{R}{L}$$

4) Mạch tích phân dùng OP-AMP

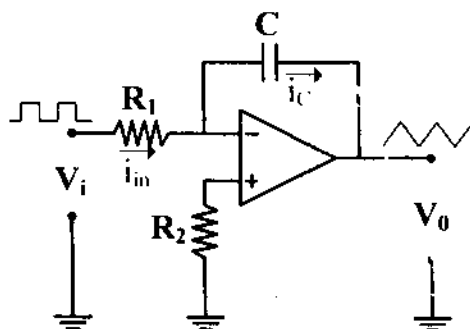
Mạch điện hình 2.10 là mạch tích phân dùng OP-AMP, trong đó hai linh kiện R_1 và C để tạo hằng số thời gian $\tau = R_1 C$. Điện trở R_1 còn là điện trở vào, điện trở R_2 để bù nhiệt cho OP-AMP, thường chọn $R_2 = R_1$.

Do điện áp vào ngõ đảo, điện áp ra được tính theo công thức:

$$v_o(t) = -\frac{1}{R_1 C} \int v_i(t) dt$$

$$\text{trong đó, hệ số tỉ lệ } K = -\frac{1}{R_1 C}$$

Nếu ngõ vào nhận xung vuông thì qua điện trở R_1 ở ngõ vào đảo sẽ có xung tam giác và ở ngõ ra cũng có xung tam giác (hình 2.5).



Hình 2-5: Mạch tích phân dùng OP-AMP

§2.3. MẠCH VI PHÂN (Differentiator)

Theo định nghĩa, mạch vi phân là mạch có điện áp ra $v_o(t)$ tỉ lệ với đạo hàm theo thời gian của điện áp vào $v_i(t)$.

$$\text{Ta có :} \quad v_o(t) = K \frac{d}{dt} v_i(t) \quad (\text{k là hệ số tỉ lệ,})$$

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

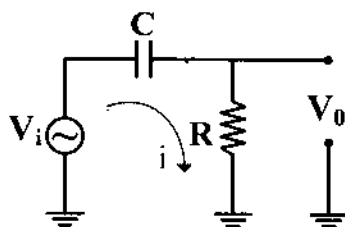
1) Mạch vi phân dùng RC

Mạch điện hình 2.6 chính là mạch lọc cao qua dùng RC. Tần số cắt của mạch lọc:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Dòng điện $i(t)$ qua mạch cho ra sự phân áp như sau:

$$v_i(t) = v_c(t) + v_R(t)$$



Hình 2.6: Mạch vi phân RC

Xét mạch điện ở trường hợp nguồn điện áp vào $v_i(t)$ có tần số f_i rất thấp so với tần số cắt f_c .

Lúc đó: $f_i \ll f_c = \frac{1}{2\pi RC}$ và ở tần số này thì dung kháng X_C sẽ có trị số rất lớn (vì $X_C = \frac{1}{2\pi f_i C}$).

Như vậy: $R \ll X_C = \frac{1}{2\pi f_i C}$

Suy ra: $v_R(t) \ll v_C(t)$ (vì $i_R(t) = i_C(t)$)

hay: $v_i(t) \approx v_C(t)$

Đối với tụ C, điện áp trên tụ còn được tính theo công thức:

$$v_C(t) = \frac{q(t)}{C} \quad (q(t) \text{ là điện tích nạp vào tụ}).$$

Từ đó, ta có:

$$\frac{dv_i(t)}{dt} = \frac{dv_C(t)}{dt} = \frac{1}{C} \frac{dq(t)}{dt} = \frac{1}{C} i(t)$$

hay là:
$$i(t) = C \frac{dv_i(t)}{dt}$$

Điện áp trên điện trở cũng là điện áp ra:

$$v_o(t) = v_R(t) = R.i(t)$$

$$v_o(t) = RC \cdot \frac{dv_i(t)}{dt}$$

Điện áp ra chính là vi phân (đạo hàm) theo thời gian của điện áp vào, với hệ số tỉ lệ k là $k = RC$, khi tần số f_i rất thấp so với f_C .

Điều kiện của mạch vi phân:

$$f_i \ll f_C \quad \text{hay} \quad f_i \ll \frac{1}{2\pi RC}$$

Nói cách khác:

$$RC \ll \frac{1}{2\pi f_i} \quad \text{hay} \quad \tau \ll \frac{1}{2\pi f_i} = \frac{T_i}{2\pi}$$

trong đó: $\tau = RC$ là hằng số thời gian, T_i là chu kỳ.

Trường hợp điện áp vào $v_i(t)$ là tín hiệu hình sin thì:

$$v_i(t) = V_m \sin \omega(t)$$

$$\text{điện áp ra là:} \quad v_o(t) = RC \frac{d}{dt} V_m \sin \omega t$$

$$= \omega RC V_m \cos \omega t$$

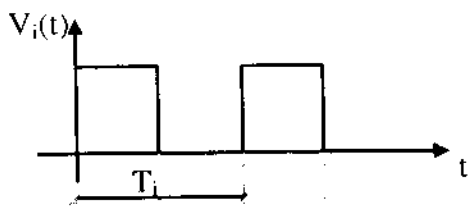
$$= \omega RC V_m \sin(\omega t + 90^\circ)$$

Như vậy, nếu thỏa điều kiện của mạch vi phân như trên thì điện áp ra bị sớm pha 90° và biên độ nhân với hệ số tỉ lệ là ωRC .

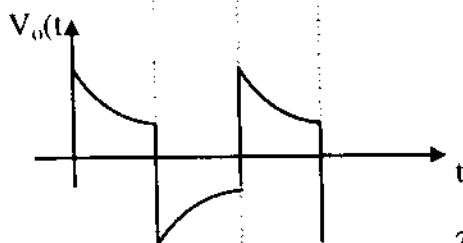
2) Điện áp vào là tín hiệu xung vuông

Khi điện áp vào là tín hiệu xung vuông, có chu kỳ T_i thì có thể xét tỉ lệ hằng số thời gian $\tau = RC$ so với T_i để giải thích các dạng sóng ra theo hiện tượng nạp xả của tụ.

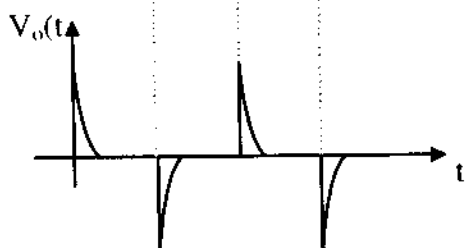
Giả thiết điện áp ngõ vào là tín hiệu xung vuông đối xứng có chu kỳ T_i (hình 2.7a).



a) Dạng sóng ngõ vào



b) Dạng sóng ngõ ra khi $\tau = \frac{T_i}{5}$



c) Dạng sóng ngõ ra khi $\tau \ll T_i$

Hình 2.7: Dạng sóng vào và ra của mạch vi phân

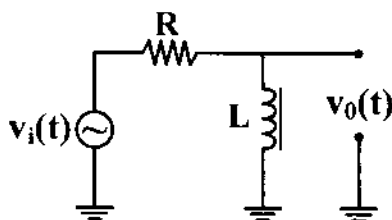
Nếu mạch vi phân có hằng số thời gian $\tau = \frac{T_i}{5}$, tụ nạp và xả điện tạo dòng $i(t)$ qua điện trở R , tạo ra điện áp giảm theo hàm số mũ. Khi điện áp ngõ vào bằng 0V thì đầu dương của tụ nối mass và tụ sẽ xả điện thế âm trên điện trở R . Ở ngõ ra sẽ có hai xung ngược đầu nhau có biên độ giảm dần (hình 2.7b).

Nếu mạch vi phân có hằng số thời gian τ rất nhỏ so với T_i , tụ sẽ nạp và xả điện rất nhanh cho ra hai xung ngược dấu nhưng có độ rộng xung rất hẹp được gọi là xung nhọn.

Như vậy, nếu thỏa điều kiện của mạch vi phân thì mạch RC sẽ đổi tín hiệu từ xung vuông đơn cực ra hai xung nhọn lưỡng cực (hình 2.7c).

3) Mạch vi phân dùng RL

Mạch lọc cao qua dùng RL cũng có thể làm mạch vi phân như hình 2.8.



Hình 2.8: Mạch vi phân RL

Chứng minh tương tự như mạch vi phân dùng RC, ta có điện áp ra $v_o(t)$ tỉ lệ vi phân với điện áp vào $v_i(t)$ theo thời gian.

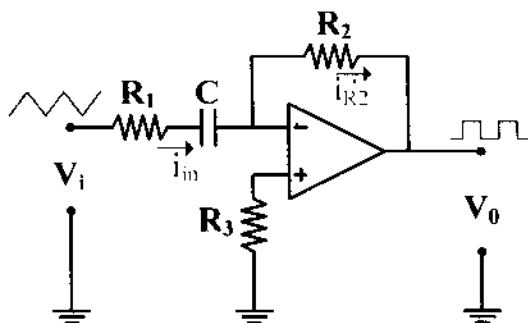
$$\text{Ta có : } v_o(t) = \frac{L}{R} \frac{d.v_i(t)}{dt}$$

trong đó hệ số tỉ lệ là: $k = \frac{L}{R}$

4) Mạch vi phân dùng OP-AMP

Mạch vi phân sơ đồ hình 2.9 có cách mắc theo kiểu mạch đảo với mạch phân áp là tụ C và điện trở R_2 .

Tụ C là tụ đưa tín hiệu vào, R_2 là điện trở hồi tiếp từ ngõ ra về ngõ vào. Điện trở R_1 để ổn định tổng trở ngõ vào. Điện trở R_3 thường chọn có trị số bằng điện trở R_2 có tác dụng bù trừ nhiệt.



Hình 2.9: Mạch vi phân dùng OP-AMP

Dòng điện vào cũng chính là dòng điện nạp vào tụ được tính theo công thức:

$$i_{in} = C \frac{d(V_i)}{dt}$$

Do tính chất của OP-AMP nên dòng điện vào nạp qua tụ cũng chính là dòng qua điện trở hồi tiếp R_2 và được tính theo công thức:

$$I_{R2} = - \frac{V_o}{R_2} = i_{in} = C \frac{d(V_i)}{dt}$$

Suy ra: $V_o = -i_{in} R_2$

hay $V_o = - R_2 C \frac{d(V_i)}{dt}$

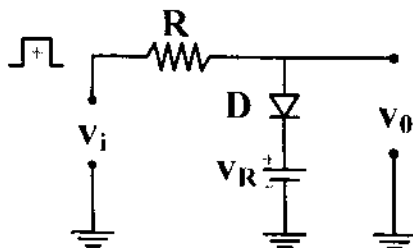
Nếu cho tín hiệu vào là xung vuông, dòng qua tụ sẽ cho ra hai xung nhọn. Đối với OP-AMP, khi cho xung tam giác đặt ở ngõ vào thì sẽ cho xung vuông ở ngõ ra.

§2.4. GIỚI HẠN BIÊN ĐỘ XUNG

Tùy theo yêu cầu của mạch cần điều khiển, đối với các tín hiệu xung có biên độ lớn người ta lại cần phải giới hạn ở một mức điện áp tối đa gọi là điện áp chuẩn V_R (Reference).

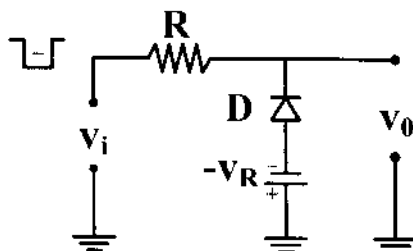
1) Mạch giới hạn dùng diod và nguồn chuẩn

Mạch điện hình 2-10a có tác dụng giới hạn biên độ của các xung dương. Nếu $V_i < V_R$ thì diod D ngưng và $V_0 \approx V_i$. Ngược lại, nếu $V_i > V_R$ thì diod D dẫn coi như nối tắt và $V_0 \approx V_R$.

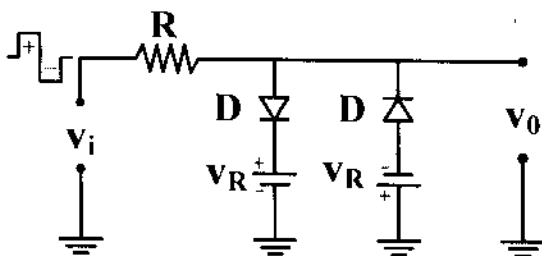


Hình 2.10a: Giới hạn xung dương

Mạch điện hình 2.10b có tác dụng giới hạn biên độ của các xung âm. Nếu $V_i > -V_R$ thì diod D ngưng và $V_0 \approx V_i$. Ngược lại, nếu $V_i < -V_R$ thì diod dẫn coi như nối tắt và $V_0 \approx -V_R$.



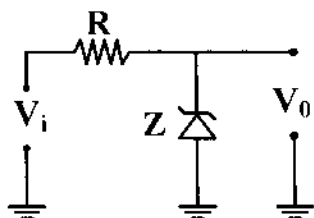
Hình 2-10b: Giới hạn xung âm



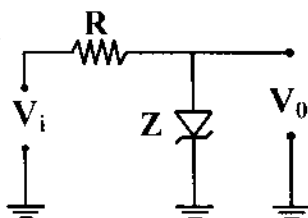
Hình 2.10c: Giới hạn xung dương và xung âm

Mạch điện hình 2.10c có tác dụng giới hạn biên độ của cả hai loại xung, xung âm và xung dương.

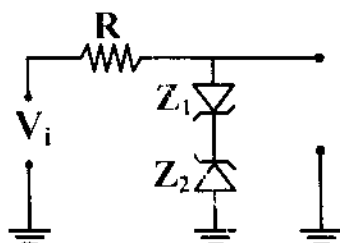
2) Mạch giới hạn dùng diod Zener



a) Giới hạn xung dương



b) Giới hạn xung âm



c) Giới hạn xung dương và xung âm

Hình 2.11 : Giới hạn biên độ xung dùng diod Zener

Để giới hạn biên độ xung người ta còn dùng Zener thay cho diod D và nguồn chuẩn V_R . Điện áp V_Z do hiệu ứng Zener sẽ là điện áp giới hạn biên độ xung.

Trong hình 2.11a, nếu $V_i < V_Z$ thì Zener ngưng và $V_o \approx V_i$. Ngược lại, nếu $V_i > V_Z$ thì Zener dẫn có tác dụng ghim áp và $V_o = V_Z$. Mạch này dùng để giới hạn biên độ của các xung dương.

Giải thích tương tự cho mạch giới hạn hình 2.11b dùng để giới hạn biên độ xung âm, và hình 2.11c để giới hạn biên độ xung dương và xung âm.

CHƯƠNG 3

MẠCH DAO ĐỘNG ĐA HÀI LƯỢNG ỔN

Mạch tạo xung cơ bản nhất là các mạch tạo xung vuông được gọi chung là mạch dao động đa hài. Mạch dao động đa hài dựa vào sự nạp điện và xả điện của tụ điện kết hợp với đặc tính chuyển mạch của transistor.

Có ba loại mạch dao động đa hài:

- Dao động đa hài lưỡng ổn (Bistable Multivibrator) còn gọi là Flip-Flop (mạch lật hay bấp bênh)
- Dao động đa hài đơn ổn (Monostable Multivibrator)
- Dao động đa hài phi ổn (Astable Multivibrator)

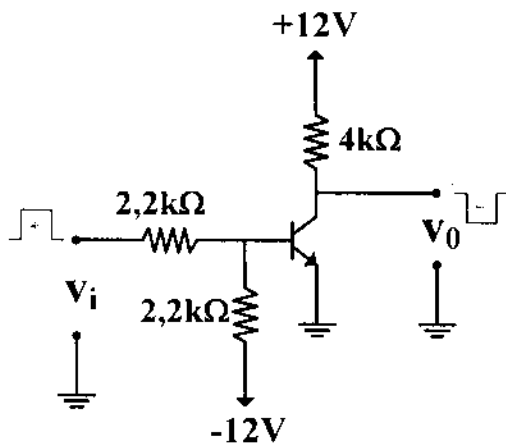
Chúng ta sẽ lần lượt phân tích ba mạch dao động đa hài trên trong ba chương 3-4-5.

§3.1. MẠCH ĐẢO

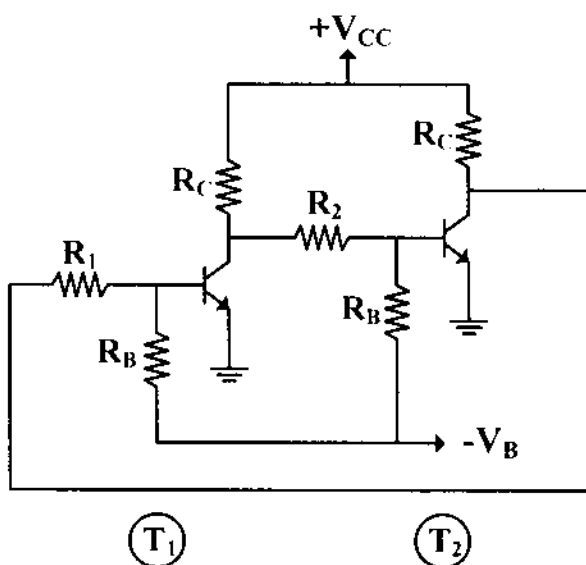
Một transistor có thể làm chức năng của mạch đảo như sơ đồ hình 3.1.

Khi V_i ở mức điện áp cao, transistor chạy bão hòa, dòng I_C qua R_C tạo sụt áp, $V_0 \approx 0,2V$ (V_{CEsat}) ứng với mức điện áp ra thấp.

Khi V_i ở mức điện áp thấp, transistor bị phân cực ngược ở ngõ vào nên ngừng dẫn, dòng $I_C = 0$, nên không giảm áp qua R_C . Lúc đó, $V_0 \approx V_{CC}$ ứng với mức điện áp cao ra.



Hình 3.1: Transistor làm mạch đảo

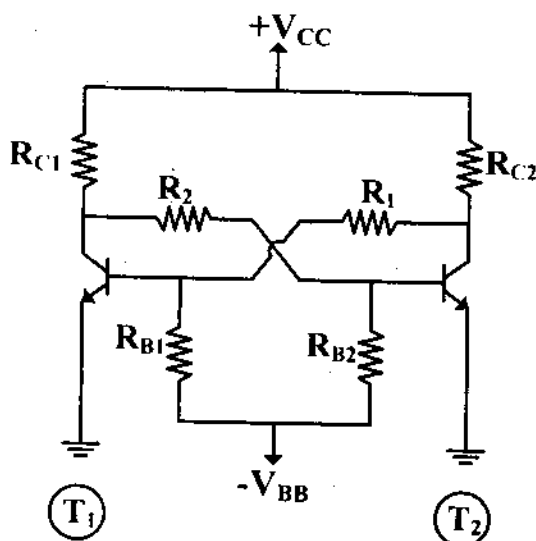


Hình 3.2: Ghép hai mạch đảo

Có thể ghép hai mạch đảo dùng transistor để tạo thành mạch Flip-Flop (sơ đồ hình 3.2). Theo cách ghép này, điện áp ra V_{01} sẽ là điện áp vào V_{12} và ngược lại điện áp ra V_{02} sẽ là điện áp vào V_{11} .

§3.2. MẠCH FLIP-FLOP CƠ BẢN

1) Sơ đồ



Hình 3.3: Mạch Flip-Flop cơ bản

Từ cách ghép hai mạch đảo dùng hai transistor như hình 3.2, thường vẽ lại mạch Flip-Flop theo kiểu đối xứng (hình 3.3).

Trong sơ đồ dùng hai nguồn, nguồn $+V_{CC}$ để cấp dòng I_B , I_C cho transistor dẫn bão hòa và nguồn $-V_{BB}$ để phân cực ngược cho cực B của transistor ngưng dẫn.

2) Nguyên lý

Giả thiết có mạch Flip-Flop đối xứng (T_1 và T_2 cùng tên, các điện trở phân cực cho hai transistor cùng trị số), nhưng hai transistor không thể cân bằng một cách tuyệt đối nên sẽ có một transistor chạy mạnh hơn và một transistor chạy yếu hơn.

Giả thiết transistor T_1 chạy mạnh hơn T_2 , dòng điện I_{C1} lớn hơn qua R_{C1} làm điện áp V_{C1} giảm. Điện áp V_{C1} qua điện trở R_2 phân cực cho T_2 sẽ làm V_{B2} giảm và điều này làm cho T_2 chạy yếu

hơn. Khi T_2 chạy yếu, dòng điện I_{C2} nhỏ hơn qua R_{C2} làm điện áp V_{C2} tăng. Điện áp V_{C2} qua điện trở R_1 phân cực cho T_1 sẽ làm V_{B1} tăng làm T_1 chạy mạnh hơn nữa. Cuối cùng, T_1 sẽ tiến đến trạng thái bão hòa, T_2 tiến đến ngưng dẫn. Nếu không có một tác động nào khác thì mạch điện sẽ ở mãi trạng thái này. Đây là một trạng thái của mạch Flip-Flop.

Ngược lại, nếu transistor T_2 chạy mạnh hơn T_1 và lý luận tương tự thì cuối cùng sẽ có T_2 tiến đến trạng thái bão hòa và T_1 tiến đến ngưng dẫn. Mạch điện cũng sẽ ở mãi trạng thái này, nếu không có một tác động nào khác. Đây là trạng thái thứ hai của Flip-Flop.

Mạch Flip-Flop sẽ ở một trong hai trạng thái trên nên được gọi là mạch lưỡng ổn. Tuy nhiên, phải chọn các điện trở và nguồn điện thích hợp thì mới đạt được nguyên lý trên.

3) Phân tích điện áp và dòng điện trong mạch

Để thấy rõ hơn nguyên lý của mạch Flip-Flop, ta có thể phân tích dòng điện và điện áp trong mạch Flip-Flop tiêu biểu, như trong mạch điện hình 3.4, với các trị số điện trở và nguồn cụ thể.

Theo giả thiết, khi T_1 bão hòa ta có:

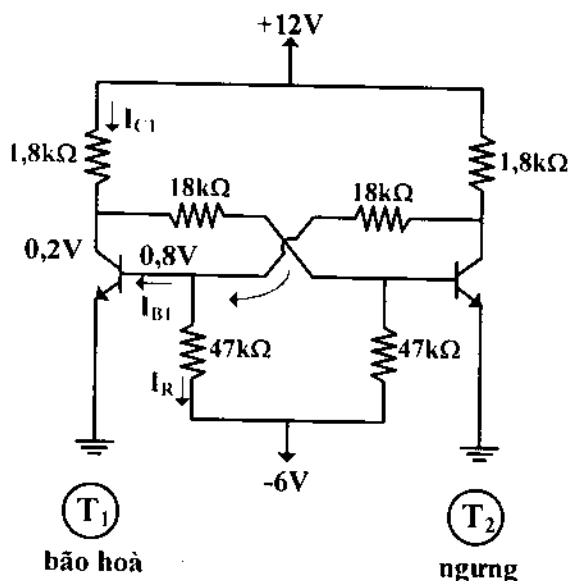
$$V_{C1} = V_{CCsat} \approx 0,2V$$

$$V_{B1} = V_{BEsat} \approx 0,8V$$

Suy ra dòng điện I_{C1} và I_{B1} theo công thức:

$$I_{C1} = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_{C1}} = \frac{12 - 0,2}{1,8 \cdot 10^3} \approx 6,5mA$$

$$\begin{aligned} I_{B1} &= \frac{V_{CC} - V_{BEsat}}{R_{C2} + R_1} - \frac{V_{BEsat} + V_{BB}}{R_{B1}} = \frac{12 - 0,8}{1,8 \cdot 10^3 + 18 \cdot 10^3} - \frac{0,8 + 6}{47 \cdot 10^3} \\ &= 0,41mA \end{aligned}$$



Hình 3.4: Mạch Flip-Flop tiêu biểu

Ở trạng thái bão hòa, transistor thường có β nhỏ, chọn $\beta = 50$. Ta có thể nghiệm lại điều kiện bão hòa của T_1 như sau:

$$\text{Thông thường: } I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{6,5 \cdot 10^{-3}}{50} = 0,13 \text{ mA}$$

$$\text{Mạch điện có: } I_{B1} = 0,41 \text{ mA} \quad (I_{B1} > I_B)$$

Như vậy: T_1 đủ điều kiện để bão hòa vì $I_{B1} > \frac{I_{C1}}{\beta}$

Xét T_2 lúc đó ở trạng thái ngưng ta có:

$$V_{C2} = V_{CC} - (I_{B1} + I_R) R_{C2}$$

$$V_{C2} = V_{CC} - \left(\frac{V_{CC} - V_{BE_{sat}}}{R_{C2} + R_1} \right) R_{C2}$$

$$= 12 - \left(\frac{12 - 0,8}{1,8 \cdot 10^3 + 18 \cdot 10^3} \right) \cdot 1,8 \cdot 10^3 \approx 11 \text{ V}$$

$$\begin{aligned}
 V_{B2} &= (V_{C1} + V_{BB}) \frac{R_{B2}}{R_2 + R_{B2}} - V_{BB} \\
 &= (0,2 + 6) \frac{47}{18.10^3 + 47.10^3} - 6 \approx -1,5V
 \end{aligned}$$

T_2 là loại transistor NPN có $V_{B2} = -1,5V$ ($V_{B2} < 0V$) nên T_2 phải ngưng dẫn.

Nếu ở trạng thái ngược lại thì hai transistor sẽ có dòng điện và điện áp ở các chân ngược lại với phân tích trên.

Điện áp nguồn âm $-V_{BB}$ có tác dụng phân cực cho T_2 để T_2 ổn định ở trạng thái ngưng, tránh tác động của nhiễu có thể làm T_2 đổi trạng thái.

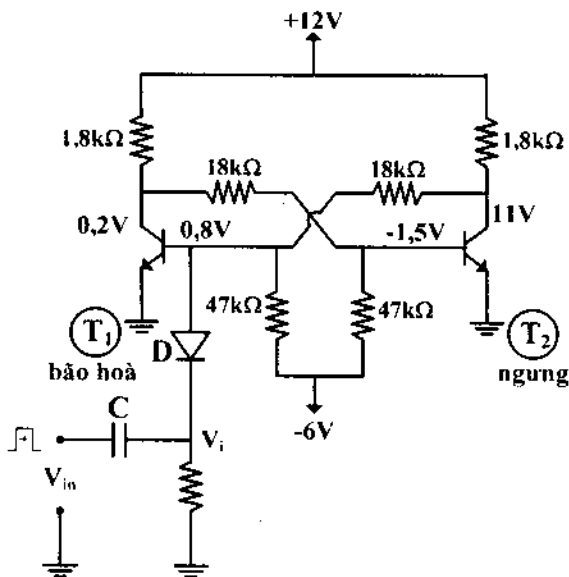
Trường hợp không cần thiết chống nhiễu thì có thể không cần dùng nguồn $-V_{BB}$. Lúc đó, hai điện trở $R_{B1} - R_{B2}$ được nối mass hay có thể không cần dùng cũng được.

§3.3. PHƯƠNG PHÁP KÍCH ĐỔI TRẠNG THÁI CỦA FLIP-FLOP

Trường hợp T_1 đang bão hòa, T_2 đang ngưng dẫn, như mạch hình 3.4, muốn đổi trạng thái của Flip-Flop, ta có thể cho một xung âm vào cực B_1 (hoặc là cho một xung dương vào cực B_2). Muốn đổi trở lại trạng thái cũ, phải cho một xung dương vào cực B_1 (hoặc là cho một xung âm vào cực B_2). Để đơn giản thường chỉ dùng một loại xung.

1) Mạch kích một bên

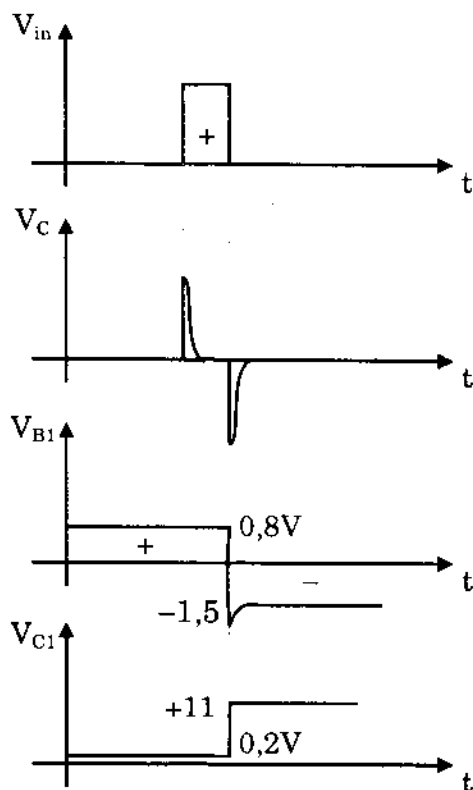
Sơ đồ hình 3.5 là mạch Flip-Flop với mạch kích một bên. Xung kích điều khiển là xung vuông qua mạch vi phân RC để đổi từ xung vuông ra hai xung nhọn (xung nhọn dương ứng với cạnh lên và xung nhọn âm ứng với cạnh xuống). Diod D có tác dụng loại bỏ xung nhọn dương và chỉ đưa xung nhọn âm vào cực B_1 để đổi trạng thái T_1 từ bão hòa sang ngưng dẫn.



Hình 3.5: Mạch kích một bên

Giả thiết mạch có trạng thái như hình 3.5 là T_1 đang bão hòa và T_2 đang ngưng dẫn.

Khi ngõ vào nhận xung vuông (V_{in}) qua mạch vi phân RC tạo điện áp V_i trên điện trở R là hai xung nhọn. Khi có xung nhọn dương thì diod D bị phân cực ngược nên ngưng dẫn, mạch Flip-Flop vẫn giữ nguyên trạng thái đang có. Khi có xung nhọn âm thì diod D được phân cực thuận (coi như nối tắt) làm điện áp V_{B1} giảm xuống dưới 0V. Lúc đó, T_1 ngưng dẫn nên $I_{B1} = 0$, $I_{C1} = 0$ nên V_{C1} tăng cao sẽ tạo phân cực đủ mạnh cho cực B₂ và T_2 chạy bão hòa. Khi T_2 đã bão hòa, $V_{C2} \approx 0,2V$ nên T_1 không được phân cực sẽ tiếp tục ngưng dẫn, mặc dầu đã hết xung âm.

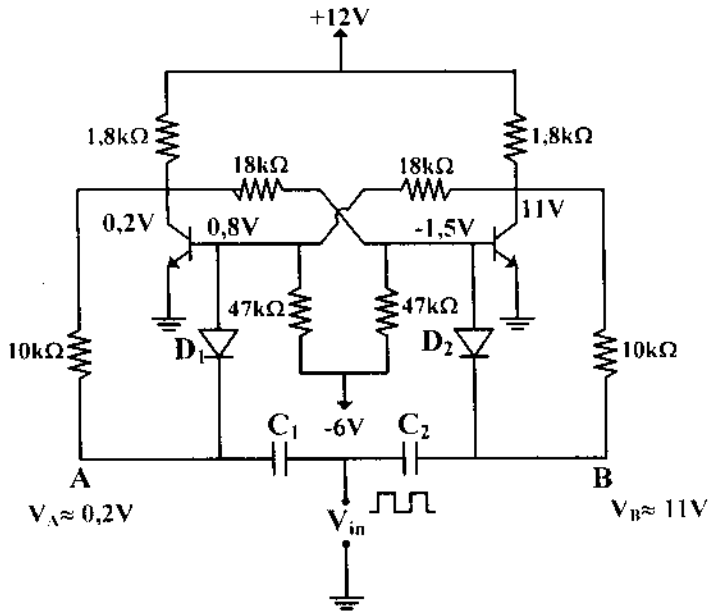


Hình 3.6: Dạng sóng ở các chân

Như vậy, mạch Flip-Flop đã chuyển từ trạng thái T_1 bão hòa- T_2 ngưng, sang trạng thái T_1 ngưng- T_2 bão hòa. Khi mạch đã ổn định ở trạng thái này thì mạch sẽ không bị tác động đổi trạng thái bởi xung kích vào cực B_1 nữa. Bây giờ, muốn đổi trạng thái của mạch trở lại trạng thái cũ thì phải cho xung vuông tiếp theo qua mạch vi phân và diod D vào cực B_2 (vì T_2 đang ở trạng thái bão hòa).

2) Mạch kích đếm

Đối với mạch kích một bên thì mạch Flip-Flop phải được kích lần lượt, luân phiên vào cực B_1 và B_2 thông qua hai mạch vi phân và hai diod.



Hình 3.7: Mạch F-F có ngõ kích đếm

Để đổi trạng thái mạch Flip-Flop bằng một thứ xung kích vào một ngõ chung ta có thể dùng mạch kích đếm.

Mạch điện hình 3.7 là sơ đồ mạch Flip-Flop có ngõ kích đếm nhận xung kích là xung vuông.

Theo sơ đồ này, mạch đang ở trạng thái T_1 bão hòa, T_2 ngưng dẫn. Hai điện trở $10k\Omega$ thêm vào ở mạch ra hai điểm A và B và hai điểm này có điện áp gần giống như điện áp của hai cực C_1 và C_2 .

Ta có: $V_A \approx V_{C1} = 0,2V$ (T_1 đang bão hòa)

$V_B \approx V_{C2} = 11V$ (T_2 đang ngưng dẫn)

Khi có xung vuông ở ngõ vào (V_{in}) thì qua hai tụ C_1 – C_2 sẽ có hai xung nhọn dương ứng với cạnh lên của xung vuông và có hai xung nhọn âm ứng với cạnh xuống của xung vuông tại hai điểm A và B. Thời điểm có xung nhọn dương, cả hai diod D_1 – D_2 đều bị

phân cực ngược nên không có tác dụng với mạch Flip-Flop. Khi có xung nhọn âm tại hai điểm A và B thì tại hai điểm này sẽ có hai mức biến đổi khác nhau.

Do $V_A \approx 0,2V$ nên khi có xung nhọn âm thì xung âm sẽ làm giảm điện áp V_A và diod D_1 được phân cực thuận. Điều này, sẽ làm đổi trạng thái T_1 từ bão hòa sang ngưng dẫn và đổi trạng thái T_2 từ ngưng dẫn sang bão hòa. Lúc đó, do $V_B = 11V$ rất cao so với xung âm, nên khi có xung nhọn âm thì điện áp V_B vẫn ở mức dương cao nên D_2 vẫn bị phân cực ngược và xung âm không có tác dụng đổi với T_2 .

Khi có xung vuông thứ hai đến ngõ vào, lần này xung nhọn âm chỉ có tác dụng đổi với T_2 là transistor đang bão hòa nên mạch Flip-Flop lại trở về trạng thái cũ.

Như vậy, mỗi xung vuông cho vào ngõ V_{in} thì mạch Flip-Flop đổi trạng thái một lần nên mạch này được gọi là mạch kích đếm.

§3.4.CÁC ĐIỂM CẦN LƯU Ý TRONG THIẾT KẾ

1) Mạch vi phân ở ngõ vào phải được chọn trị số sao cho thỏa các yêu cầu sau:

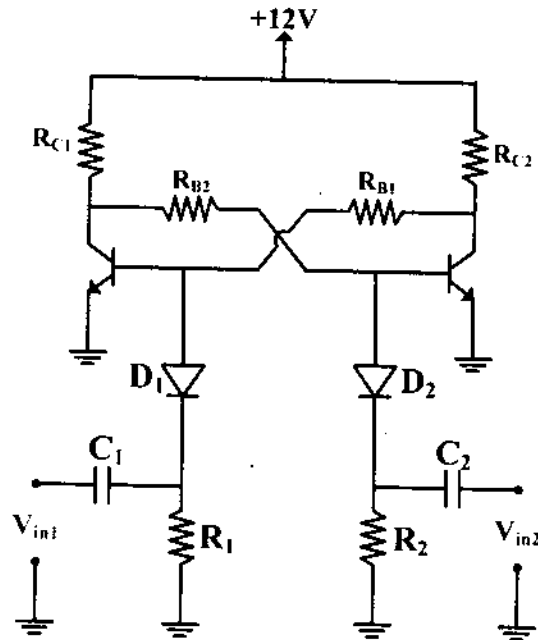
- xung âm phải có biên độ đủ cao và độ rộng đủ lớn để đủ kích đổi trạng thái của transistor đang bão hòa sang ngưng dẫn

- nếu hằng số thời gian $\tau = RC$ lớn sẽ làm giới hạn tần số xung kích (theo điều kiện của mạch vi phân trong chương 2)

- nếu hằng số thời gian $\tau = RC$ nhỏ sẽ làm giảm độ rộng xung và có thể không đủ đổi trạng thái của transistor.

2) Để mạch chuyển trạng thái tốt, tốc độ làm việc nhanh, nên chọn mức điện áp nguồn thấp. Điều này còn tùy thuộc vào yêu cầu của tải nếu tải là R_C .

3) Trong các mạch đơn giản, người ta có thể không cần dùng nguồn âm $-V_{BB}$. Tuy nhiên, khi không có nguồn âm thì tính ngưng dẫn của transistor không tốt và khả năng chống nhiễu của mạch kém.



Hình 3.18: Mạch Flip-Flop dùng 1 nguồn với mạch kích 1 bên

CHƯƠNG 4

MẠCH DAO ĐỘNG ĐA HÀI ĐƠN ỔN

§4.1. ĐẠI CƯƠNG

Mạch dao động đa hài đơn ổn cũng có hai trạng thái (T_1 bão hòa- T_2 ngưng hay T_1 ngưng- T_2 bão hòa), nhưng trong hai trạng thái đó có một trạng thái ổn định và một trạng thái không ổn định gọi là trạng thái tạo xung.

Bình thường, khi mạch đơn ổn được cấp nguồn sẽ ở trạng thái ổn định và ở mãi trạng thái này nếu không có tác động gì từ ngoài vào. Khi ngõ vào nhận một xung kích thì mạch đơn ổn sẽ đổi trạng thái, tạo một xung ở ngõ ra và độ rộng xung ra sẽ tùy thuộc các thông số RC thiết kế trong mạch. Sau thời gian có xung ra mạch đơn ổn sẽ tự trở về trạng thái ổn định ban đầu.

Mạch dao động đa hài đơn ổn còn được gọi là mạch định thì, vì thời gian có xung ra có thể định trước nhờ các thông số trong mạch. Mạch đơn ổn rất thông dụng trong lĩnh vực tự động điều khiển, trong các thiết bị điện tử và điện tử công nghiệp.

Mạch đơn ổn có thể thực hiện bằng nhiều cách: dùng transistor, OP-AMP, vi mạch định thì hay các cổng logic. Chương này chỉ giới thiệu và phân tích mạch đơn ổn dùng transistor, các loại mạch khác sẽ được giới thiệu trong các chương sau.

§4.2. MẠCH ĐƠN ỔN CƠ BẢN

1) Sơ đồ mạch ở hai trạng thái

Mạch đơn ổn cơ bản có hai trạng thái được minh họa như sơ đồ hình 4.1 và hình 4.2, với dòng điện ở các cực có đường liền nét

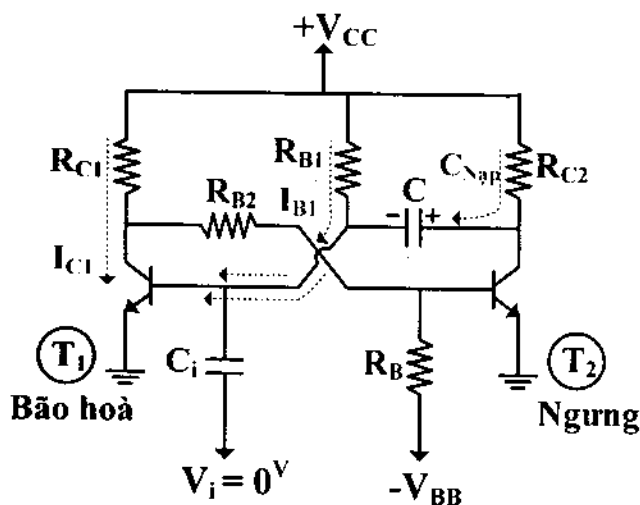
là dòng điện phân cực một chiều, dòng điện có đường rời nét là dòng nạp xả của tụ C.

2) Nguyên lý

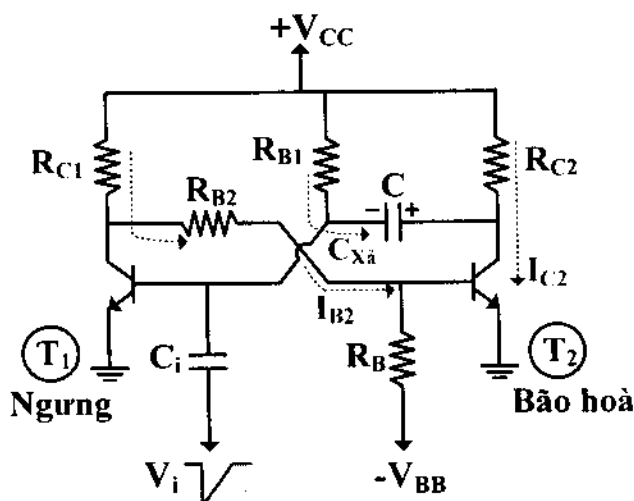
a) Trạng thái ổn định của mạch đơn ổn

Khi mở điện, tụ C tức thời nạp điện qua điện trở R_{C2} , tạo dòng điện đủ lớn cấp cho cực B₁, T₁ sẽ chạy ở trạng thái bão hòa. Lúc đó, dòng I_{C1} qua R_{C1} đủ lớn để tạo sụt áp và $V_{C1} = V_{CEsat} \approx 0,2V$. Cầu phân áp R_{B2} và R_B tạo ra điện áp phân cực cho T₂ ngưng dẫn vì $V_{B2} < 0V$. Sau khi tụ nạp đầy sẽ có điện áp như hình vẽ (hình 4.1).

Điện áp nạp trên tụ có trị số: $V_C = V_{CC} - V_{BEsat} \approx V_{CC}$.



Hình 4.1: Trạng thái ổn định: T₁ bão hòa, T₂ ngưng dẫn



Hình 4.2: Trạng thái tạo xung: T_1 ngưng, T_2 bão hòa.

Khi tụ nạp đầy thì dòng nạp qua tụ bằng 0, nhưng T_1 vẫn chạy ở trạng thái bão hòa vì vẫn còn dòng I_{B1} qua R_{B1} cấp phân cực cho cực B_1 .

Hai transistor sẽ chạy ổn định ở trạng thái này nếu không có tác động gì từ bên ngoài.

b) Trạng thái tạo xung của mạch đơn ổn (hình 4.2)

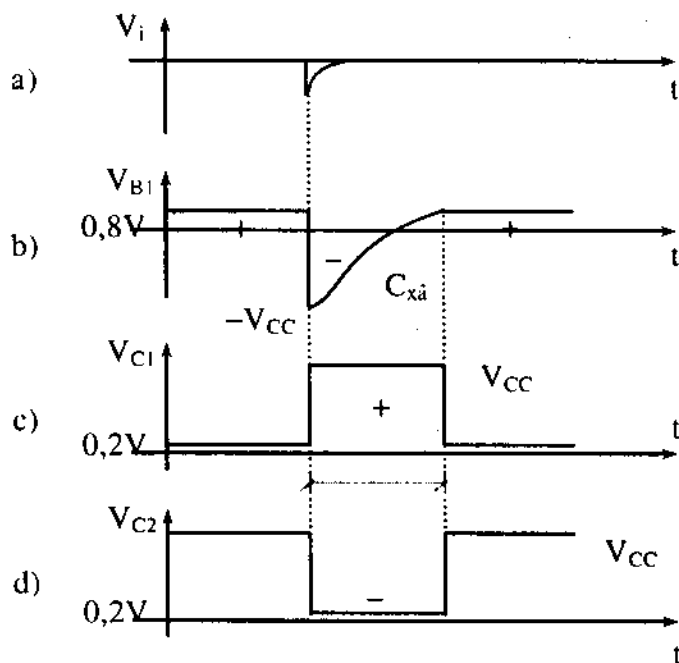
Khi ngõ vào V_i nhận xung kích âm, qua tụ C_i sẽ làm điện áp V_{B1} giảm và T_1 đang chạy bão hòa chuyển sang trạng thái ngưng dẫn. Lúc đó, $I_{C1} = 0$, điện áp V_{C1} tăng cao qua cầu phân áp $R_{B2}-R_B$ sẽ phân cực cho T_2 chạy bão hòa. Khi T_2 chạy bão hòa $V_{C2} = V_{CEsat} \approx 0,2V$. Điều này làm cho tụ C có chân mang điện áp dương coi như nối mass và chân kia sẽ có điện áp âm so với mass, điện áp âm này sẽ phân cực ngược cho cực B_1 làm T_1 tiếp tục ngưng mặc dầu đã hết xung kích. Lúc đó, tụ C xả điện qua điện trở R_{B1} và transistor T_2 từ C xuống E . Trong thời gian này T_1 ngưng dẫn và T_2 bão hòa nên điện áp ở các chân C và B của hai transistor đổi ngược lại chính là xung điện ở ngõ ra.

Sau khi tụ xả xong làm mất điện áp âm đặt vào cực B_1 và T_1 sẽ hết trạng thái ngưng dẫn và chuyển sang trạng thái bão hòa như lúc ban đầu. Khi T_1 trở lại trạng thái bão hòa thì $V_{C1}=V_{CEsat}=0,2V$ nên T_2 lại mất phân cực, sẽ ngưng dẫn như lúc đầu.

Thời gian tạo xung của mạch đơn ổn chính là thời gian xả điện của tụ C qua R_{B1} . Sau thời gian này, mạch tự trở lại trạng thái ban đầu là trạng thái ổn định.

3) Dạng sóng ở các chân

Hình 4-3 cho thấy dạng sóng ở các chân của mạch đơn ổn, trong đó, hình 4-3a biểu diễn điện áp ngõ vào V_i , trước thời điểm có xung kích là trạng thái ổn định. Khi có xung nhọn âm thì mạch đơn ổn bắt đầu chuyển sang trạng thái tạo xung.



Hình 4.3: Dạng sóng vào và ra của mạch đơn ổn

Hình 4-3b là dạng điện áp V_{B1} , khi có xung kích làm T_1 ngưng, tụ C xả điện áp âm nên V_{B1} có điện áp âm $\approx -V_{CC}$ và tụ C xả điện qua R_{B1} làm điện áp âm giảm dần theo hàm số mũ. Thời gian xả của tụ C chính là thời gian tạo xung ở ngõ ra.

Ở trạng thái ổn định $V_{C1}=0,2V$ (bão hòa), ở trạng thái tạo xung $V_{C1}=V_{CC}$ (ngưng dẫn) nên T_1 có xung vuông dương ra. Ngược lại, T_2 có xung vuông âm ra, độ rộng xung là t_x .

4) Điều kiện và thông số kỹ thuật của mạch đơn ổn

Để cho mạch đơn ổn hoạt động đúng theo nguyên lý phải thỏa điều kiện là T_1 bão hòa với:

$$I_{C1} = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_{C1}} \approx \frac{V_{CC}}{R_{C1}} \quad (1) \text{ (với } V_{CEsat} \approx 0,2V)$$

$$I_{B1} = \frac{V_{CC} - V_{BEsat}}{R_{B1}} \approx \frac{V_{CC}}{R_{B1}} \quad (2) \text{ (với } V_{BEsat} \approx 0,8V)$$

Muốn T_1 bão hòa phải có:

$$I_{B1} > \frac{I_{C1}}{\beta_{sat}} \quad (3)$$

Thường chọn:

$$I_{B1} = k \frac{I_{C1}}{\beta_{sat}} \quad (k \text{ là hệ số bão hòa sâu và } k=2\div 4)$$

a) Cách tính độ rộng xung:

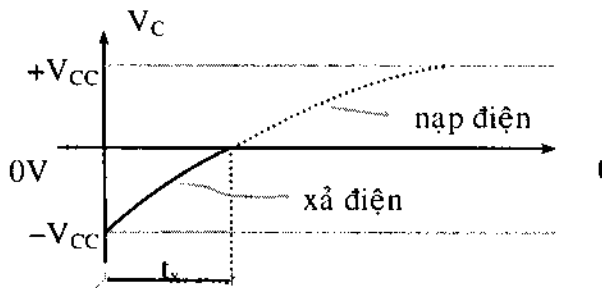
Trong thời gian ổn định, tụ C nạp điện qua R_{C1} với hằng số thời gian nạp:

$$\tau_{nạp} = R_{C1}C$$

Điện áp nạp trên tụ tăng theo hàm số mũ bởi công thức:

$$v_C(t) = V_{CC} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

Suy ra:
$$v_C(t) = V_{CC} - V_{CC} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$



Hình 4-4: Đường xả và nạp điện của tụ C

Điện áp trên tụ tăng từ 0V lên V_{CC} . Khi có xung âm vào cực B_1 thì tụ C xả điện qua R_{B1} với hằng số thời gian xả:

$$\tau_{xả} = R_{B1} \cdot C$$

Điện áp trên tụ khi xả giảm theo hàm số mũ bởi công thức:

$$v_C(t) = V_{CC} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Do chân dương của tụ C coi như nối mass qua chân C_2 , khi T_2 bão hòa, nên tụ sẽ xả điện áp âm $-V_{CC}$ và điện áp trên tụ tăng từ $-V_{CC}$ lên 0V, rồi sau đó sẽ nạp tiếp tục từ 0V lên $+V_{CC}$. Như vậy, đường xả điện và nạp điện của tụ sẽ biến thiên như hình 4-4, được giới hạn từ $-V_{CC}$ lên $+V_{CC}$. Đường biểu diễn điện áp trên tụ sẽ được tính theo công thức:

$$v_C(t) = V_{CC} - 2V_{CC} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Khi $v_C(t) = 0V$ là hết thời gian xả của tụ và mạch trở lại trạng thái ổn định. Thời gian này chính là thời gian tạo xung ở ngõ ra, còn gọi là độ rộng xung t_x :

$$\text{Ta có: } V_{CC} = 2V_{CC} \cdot e^{-\frac{t_x}{\tau}}$$

$$\Rightarrow e^{-\frac{t_x}{\tau}} = \frac{1}{2}$$

$$\text{Suy ra: } \frac{t_x}{\tau} = \ln 2 \quad \Rightarrow \quad t_x = \tau \cdot \ln 2$$

$$\text{Thay } \tau = R_{B1}C \quad \text{và} \quad \ln 2 = 0,69$$

$$\text{Suy ra: } t_x = 0,69 R_{B1} \cdot C$$

Muốn thay đổi độ rộng xung t_x , ta có thể thay đổi R_{B1} hay trị số tụ C , trong đó R_{B1} bị giới hạn bởi điều kiện bão hòa của T_1 nên thường người ta chỉ thay đổi tụ C .

b) Biên độ xung ra

Ở trạng thái ổn định, T_1 bão hòa- T_2 ngưng, ta có:

$$V_{C1} = V_{CEsat} \approx 0,2V \quad \text{và} \quad V_{C2} \approx V_{CC}$$

Ở trạng thái tạo xung, T_1 ngưng- T_2 bão hòa, ta có:

$$V_{C1} \approx V_{CC} \frac{R_{B2}}{R_{C1} + R_{B2}} = V_x \quad (\text{do mạch phân áp})$$

$$V_{C2} = V_{CEsat} = 0,2V$$

Như vậy, biên độ xung vuông dương cho T_1 tạo ra:

$$V_{O1} = V_x - 0,2V \approx V_x$$

Biên độ xung vuông âm do T_2 cho ra là:

$$V_{O2} = V_{CC} - 0,2V \approx V_{CC}$$

c) Thời gian hồi phục

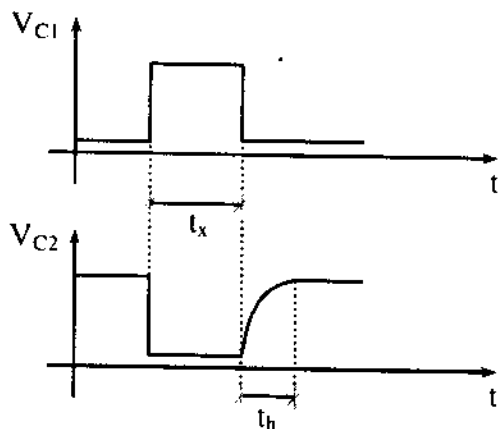
Theo sơ đồ mạch đơn ổn cơ bản, trạng thái ổn định là trạng thái T_1 bão hòa- T_2 ngưng dẫn; trạng thái tạo xung là trạng thái T_1 ngưng- T_2 bão hòa. Sau khi xong thời gian tạo xung t_x thì T_2 sẽ trở lại trạng thái ngưng dẫn. Trong thực tế, mạch chưa trở lại trạng thái ổn định ngay, vì lúc đó tụ C lại nạp điện qua R_{C2} làm V_{C2} tăng lên theo hàm số mũ chứ không tăng tức thời như hình vuông. Thời gian này được gọi là thời gian hồi phục t_h .

Hằng số thời gian nạp của tụ:

$$\tau_{\text{nạp}} = R_{C2}C$$

Tụ nạp đầy trong thời gian 5τ , nhưng thường chỉ tính:

$$t_h \approx 4 \tau_{\text{nạp}} = 4R_{C2}.C$$



Hình 4-5: Thời gian hồi phục

d) Thời gian phân cách

Do có thời gian hồi phục t_h để mạch đơn ổn trở lại trạng thái ổn định, nếu tín hiệu xung kích ở ngõ vào là những tín hiệu liên tiếp nhau có tần số xung kích f_i , chu kỳ xung kích T_i , thì chu kỳ T_i phải thỏa điều kiện:

$$T_i > t_x + t_h$$

Điều kiện này có nghĩa là khoảng cách ngắn nhất giữa 2 xung kích phải lớn hơn độ rộng xung t_x và thời gian hồi phục t_h . Thời gian $t_x + t_h$ gọi là thời gian phân cách t_f .

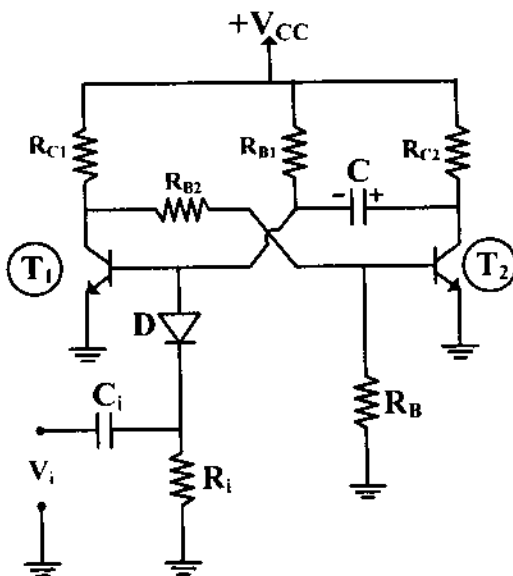
Ta có: $T_i > t_f$ với $t_f = t_x + t_h$

§4.3. CÁC MẠCH ĐƠN ỔN CẢI TIẾN

1) Mạch đơn ổn dùng 1 nguồn

Trong các mạch đơn giản, người ta có thể không dùng nguồn $-V_{BB}$ và điện trở R_B được nối mass - lúc đó R_B được chọn lại với trị số khác. Trường hợp này mạch có khả năng chống nhiễu kém.

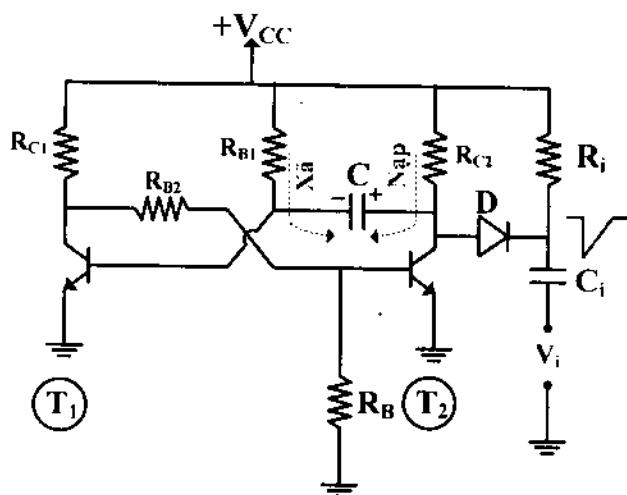
Sơ đồ mạch đơn ổn hình 4-6, ngõ vào là mạch vi phân Ri-Ci để đổi xung vuông ra hai xung nhọn và diod D chỉ nhận xung nhọn âm đưa vào cực B_1 .



Hình 4.6: Mạch đơn ổn dùng 1 nguồn

2) Mạch đơn ổn có xung kích vào cực C_2

Ở trạng thái ổn định T_1 bão hòa T_2 ngưng, tụ C nạp điện có điện áp như hình vẽ (hình 4.7). Khi có xung nhọn âm làm diod D được phân cực thuận, tụ C có chân nạp điện áp dương nối mass nên chân nạp điện áp âm sẽ làm phân cực ngược cực B_1 và T_1 ngưng dẫn. Lúc đó, V_{C1} tăng cao làm T_2 được phân cực bão hòa và $V_{C2} \approx 0,2V$ nên tụ C tiếp tục xả điện qua R_{B1} và mạch sẽ duy trì trạng thái T_1 ngưng, T_2 bão hòa cho đến khi tụ xả xong. Sau thời gian tạo xung t_x thì mạch lại trở về trạng thái ổn định.

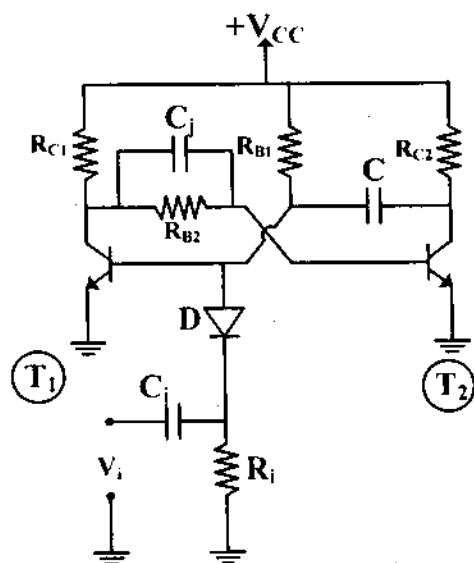


Hình 4.7: Mạch đơn ổn có xung kích vào cực C_2

3) Mạch đơn ổn dùng tụ gia tốc

Để chuyển nhanh trạng thái của T_2 từ ngưng dẫn sang bão hòa, khi có xung kích âm vào cực B_1 , ta có thể dùng tụ gia tốc C_j ghép song song R_{B2} . Khi có xung kích âm vào cực B_1 , transistor T_1 đang bão hòa chuyển sang ngưng làm V_{C1} tăng. Ở trạng thái chuyển tiếp, tụ C_j coi như nối tắt nên đem điện áp V_{C1} phân cực nhanh cho cực B_2 làm T_2 bão hòa nhanh, V_{C2} giảm nhanh. Điều này

có tác dụng làm xung vuông ra ở cực C_2 có cạnh xuống được thẳng đứng, sửa lại độ dốc trước của xung ra.



Hình 4.8: Dùng tụ gia tốc C_j

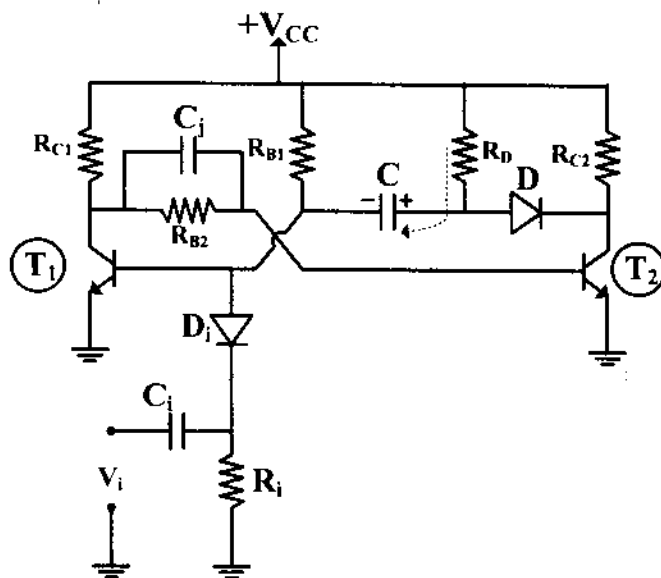
4) Dùng diod cách ly sửa độ dốc sau

Trong phần các thông số của mạch đơn ổn, có xét đến thời gian hồi phục t_h của xung ra trên cực C_2 là do tụ C nạp điện qua điện trở R_{C2} làm điện áp V_{C2} tăng chậm, độ dốc sau của xung bị kéo dài ra.

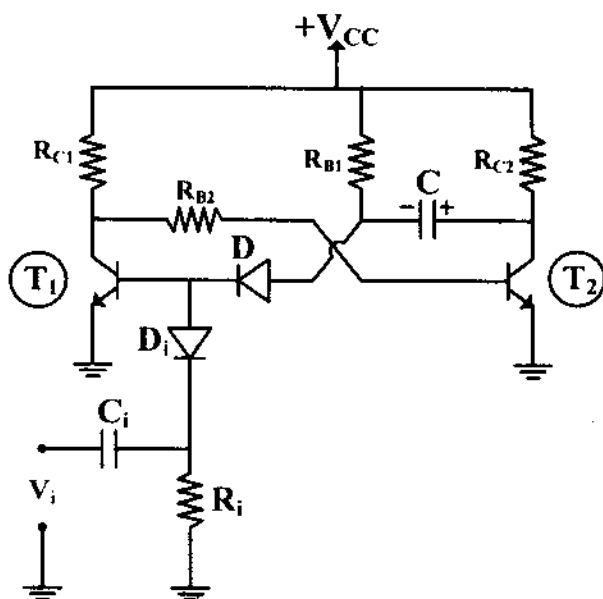
Để làm giảm thời gian hồi phục ở ngõ ra, làm độ dốc sau được thẳng, người ta dùng thêm diốt D và điện trở R_D (hình 4-9). Khi T_2 ngưng, điện áp V_{C2} làm phân cực ngược diod D và tụ C chỉ nạp điện qua R_D nên điện áp V_{C2} tăng nhanh.

Điều cần lưu ý trong mạch này là khi T_2 bão hòa, V_{C2} giảm nên diod D được phân cực thuận, điện trở ở cực C_2 là R_{C2} song song R_D .

Thường chọn: $R_{C2} = R_D = 2R_{C1}$.



Hình 4.9: Dùng diod cách ly D

5) Dùng diod cách ly bảo vệ mối nối BE_1 Hình 4.10: Diod D bảo vệ mối nối BE_1

Khi mạch vi phân cho ra xung nhọn âm làm phân cực thuận diod D_1 đưa đến T_1 ngưng dẫn, T_2 bão hòa. Lúc đó, tụ C sẽ xả điện và điện áp đang nạp trên tụ đưa vào cực B_1 với trị số khoảng V_{CC} , điện áp này có thể làm hư mối nối BE_1 , vì điện áp đánh thủng mối nối BE (V_{EBO}) thường có trị số không cao (khoảng vài volt).

Để tránh hiện tượng trên người ta đặt thêm 1 diod D giữa tụ C và cực B_1 . Khi tụ xả điện thì diod D sẽ chịu điện áp ngược thay cho mối nối BE , mà điện áp ngược của diod thường cao nên diod không bị hư.

§4.4. BÀI TẬP ÁP DỤNG

Thiết kế mạch đa hài đơn ổn theo các yêu cầu và thông số kỹ thuật sau:

- Nguồn $V_{CC} = 12V$, transistor có $\beta = 100$, dòng tải $I_C = 10mA$, độ rộng xung là $t_x = 2$ giây.

1) Tính điện trở tải $R_{C1} = R_{C2}$

Khi transistor dẫn bão hòa, ta có $V_{CEsat} \approx 0,2V$.

Suy ra:

$$R_{C1} = R_{C2} = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{I_C} = \frac{12 - 0,2}{10 \cdot 10^{-3}} \approx 1,2k\Omega$$

2) Tính điện trở phân cực $R_{B1} = R_{B2}$

Để cho transistor dẫn bão hòa, thường chọn hệ số bão hòa sâu là: $k = 3$.

$$\text{Ta có: } I_B = k \frac{I_C}{\beta} = 3 \frac{10 \cdot 10^{-3}}{100} = 0,3mA$$

Điện trở R_B được tính với mức điện áp phân cực bão hòa $V_{BEsat} = 0,8V$.

$$R_{B1} = R_{B2} = \frac{V_{CC} - V_{BE,sat}}{I_H} = \frac{12 - 0,8}{0,3 \cdot 10^{-3}} \approx 37k\Omega$$

Chọn trị số tiêu chuẩn: $R_B = 39k\Omega$

3) Tính trị số tụ C

Theo yêu cầu độ rộng xung là $t_x = 2$ giây.

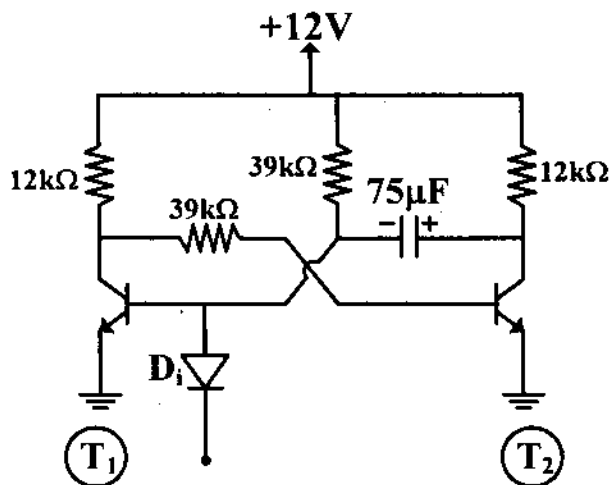
Ta có: $t_x = 0,69 R_B C$

$$\text{Suy ra: } C = \frac{t_x}{0,69 R_B} = \frac{2}{0,69 \cdot 39 \cdot 10^3} \approx 75\mu F$$

Trong mạch này không yêu cầu thiết kế mạch vi phân. Muốn tính trị số R và C của mạch vi phân phải biết tần số hay độ rộng của xung vuông f_i .

Điều kiện của mạch vi phân:

$$RC \ll \frac{1}{2\pi f_i} \quad (\text{xem lại chương 2})$$



Hình 4.11: Mạch thiết kế

CHƯƠNG 5

MẠCH DAO ĐỘNG ĐA HÀI PHI ỔN

§5.1. ĐẠI CƯƠNG

Mạch đa hài lưỡng ổn có hai trạng thái ổn định, muốn đổi trạng thái của mạch từ trạng thái ổn định này sang trạng thái ổn định khác thì phải có xung kích từ bên ngoài.

Mạch đa hài đơn ổn có một trạng thái ổn định và một trạng thái không ổn định - trạng thái không ổn định chính là trạng thái tạo xung. Bình thường, mạch đơn ổn sẽ ở trạng thái ổn định, muốn tạo xung thì phải có xung kích từ bên ngoài.

Mạch đa hài phi ổn khác với hai mạch trên, mạch đơn ổn sẽ tạo ra sóng vuông liên tục mà không cần xung kích bên ngoài. Mạch đa hài phi ổn hoạt động theo đúng nguyên lý của mạch dao động là loại mạch tự phát sinh tín hiệu mà không cần tín hiệu điều khiển ở ngõ vào.

§5.2. MẠCH ĐA HÀI PHI ỔN CƠ BẢN

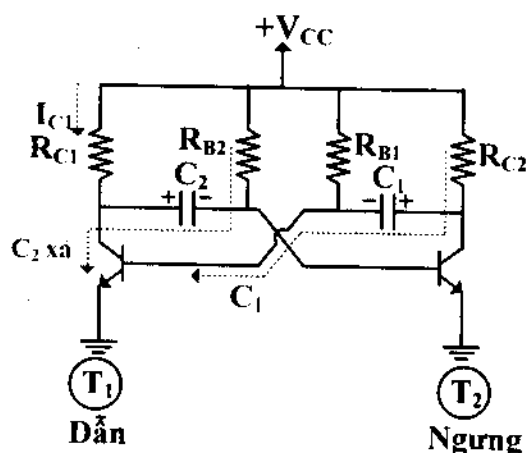
1) Sơ đồ mạch (hình 5.1 và 5.2)

2) Nguyên lý hoạt động

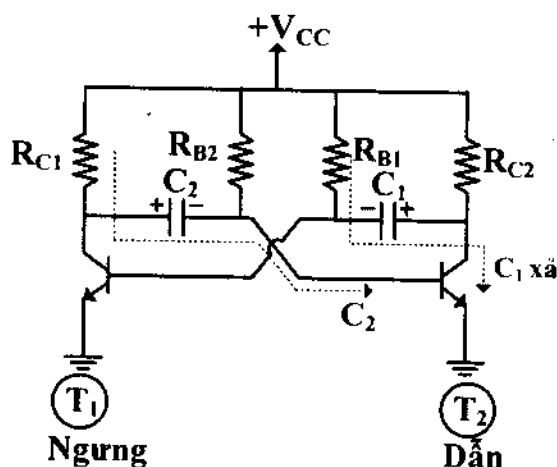
Thông thường, mạch đa hài phi ổn là mạch đối xứng nên hai transistor có cùng tên, các linh kiện điện trở, tụ điện có cùng trị số.

Tuy là hai transistor cùng tên, các linh kiện cùng trị số nhưng không thể giống nhau một cách tuyệt đối. Điều này sẽ làm cho hai transistor trong mạch dẫn điện không bằng nhau. Khi mở điện sẽ có một transistor dẫn điện mạnh hơn và một transistor dẫn điện yếu hơn. Nhờ tác dụng của mạch hồi tiếp dương từ cực C_2 về cực B_1 và từ cực C_1 về cực B_2 sẽ làm cho transistor dẫn mạnh hơn tiến

dẫn đến bão hòa, transistor dẫn điện yếu hơn tiến dần đến ngưng dẫn.



Hình 5.1: Trạng thái T_1 dẫn bão hòa - T_2 ngưng



Hình 5.2: Trạng thái T_1 ngưng - T_2 dẫn bão hòa

Giả thiết T_1 dẫn điện mạnh hơn, tụ C_1 nạp điện qua R_{C2} làm cho dòng I_{B1} tăng cao nên T_2 tiến đến bão hòa. Khi T_1 bão hòa, dòng I_{C1} tăng cao và $V_{C1} \approx V_{CPSat} \approx 0,2V$, tụ C_2 xả điện qua

R_{B2} và qua T_1 . Khi tụ C_2 xả điện, điện áp âm trên tụ C_2 đưa vào cực B_2 làm T_2 ngưng (hình 5.1).

Thời gian ngưng dẫn của T_2 chính là thời gian tụ C_2 xả điện qua R_{B2} . Sau khi tụ C_2 xả xong, cực B_2 lại được phân cực nhờ R_{B2} nên T_2 dẫn bão hòa làm $V_{C2} = V_{CEsat} \approx 0,2V$. Điều này làm tụ C_1 xả điện qua R_{B1} và điện áp âm trên tụ C_1 đưa vào cực B_1 làm cho T_1 ngưng. Lúc đó, tụ C_2 lại nạp điện qua R_{C1} làm cho dòng I_{B2} tăng cao và T_2 bão hòa nhanh.

Thời gian ngưng dẫn của T_1 chính là thời gian tụ C_1 xả điện qua R_{B1} . Sau khi tụ C_1 xả điện xong, cực B_1 lại được phân cực nhờ R_{B1} nên T_1 trở lại trạng thái dẫn bão hòa, như trạng thái giả thiết ban đầu. Hiện tượng này được lặp đi lặp lại tuần hoàn.

3) Dạng sóng ở các chân

Xét cực B_1 khi T_1 bão hòa $V_B \approx 0,8V$. Khi T_1 ngưng cho tụ C_1 xả điện làm cực B_1 có điện áp âm (khoảng $-V_{CC}$) và điện áp âm này giảm dần theo hàm số mũ.

Xét cực C_1 : khi T_1 bão hòa $V_{C1} \approx 0,2V$, khi T_1 ngưng $V_{C1} \approx +V_{CC}$. Dạng sóng ra ở cực C là dạng sóng vuông.

Tương tự khi xét cực B_2 và cực C_2 . Dạng sóng ở hai cực này cùng dạng với dạng sóng ở cực B_1 và C_1 nhưng đảo pha nhau.

Chu kỳ của tín hiệu hình vuông:

$$T = t_1 + t_2$$

trong đó, t_1 là thời gian tụ C_1 xả điện qua R_{B1} từ điện áp $-V_{CC}$ lên $\approx 0V$, t_2 là thời gian tụ C_2 xả điện qua R_{B2} từ điện áp $-V_{CC}$ lên $\approx 0V$. Vì tụ C_1 xả điện từ $-V_{CC}$ lên nguồn $+V_{CC}$ nên điện áp tức thời của tụ (lấy mức $-V_{CC}$ làm gốc) là:

$$V_{C1}(t) = 2V_{CC} \cdot e^{-\frac{t}{R_{B1}C_1}}$$

Thời gian t_1 để tụ C_1 xả qua R_{B1} từ $-V_{CC}$ lên 0V cho bởi công thức:

$$V_{CC} = 2V_{CC} \cdot e^{-\frac{t_1}{R_{B1} \cdot C_1}}$$

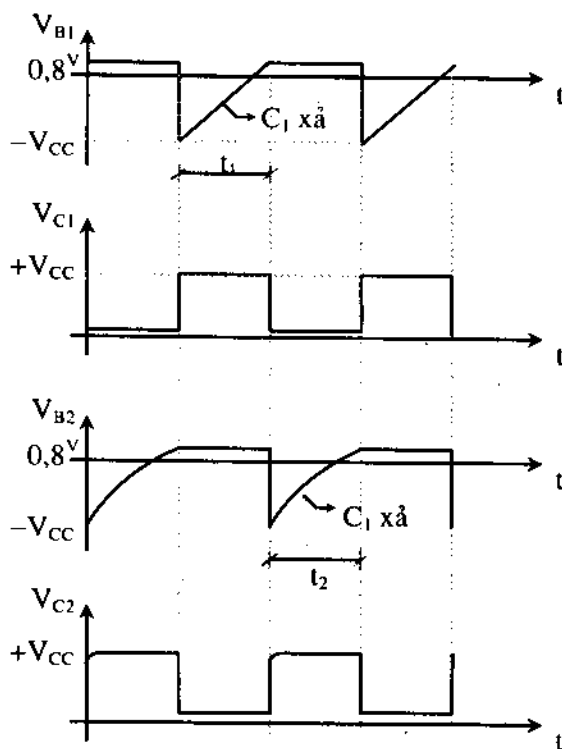
Suy ra:
$$e^{\frac{t_1}{R_{B1} \cdot C_1}} = 2$$

$$\Rightarrow \frac{t_1}{R_{B1} \cdot C_1} = \ln 2$$

$$\Rightarrow t_1 = R_{B1} \cdot C_1 \cdot \ln 2 \approx 0,69 R_{B1} \cdot C_1$$

Tương tự, thời gian t_2 để tụ C_2 xả điện qua R_{B2} từ $-V_{CC}$ lên 0V là:

$$t_2 \approx 0,69 R_{B2} \cdot C_2$$



Hình 5-3: Dạng sóng ở các chân

Chu kỳ dao động:

$$T = t_1 + t_2 = 0,69 (R_{B1}.C_1 + R_{B2}.C_2)$$

Trong mạch đa hài phi ổn đối xứng ta có:

$$R_{B1} = R_{B2} = R_B \quad \text{và} \quad C_1 = C_2 = C$$

Chu kỳ dao động:

$$T = 2.0,69 R_B C = 1,4 R_B.C$$

Tần số của xung vuông:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,69(R_{B1}.C_1 + R_{B2}.C_2)}$$

Nếu là mạch đa hài phi ổn đối xứng, ta có:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,4R_B.C}$$

4) Thiết kế mạch

Thiết kế mạch đa hài phi ổn theo các thông số kỹ thuật sau:
 $V_{CC} = 12V$, dòng điện tải ở cực là $I_L = 10mA$, transistor có $\beta = 100$,
 tần số dao động $f = 1000Hz$.

Bài giải:

Mạch đa hài phi ổn là loại đối xứng có sơ đồ như mạch đa hài cơ bản (hình 5-1, hình 5-2).

– Tính điện trở tải R_C :

Khi transistor chạy bão hòa sẽ có:

$$V_C = V_{CEsat} \approx 0,2V$$

$$I_C = I_L = 10mA$$

Điện trở R_C được tính theo công thức:

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{I_C} = \frac{12 - 0,2}{10 \cdot 10^{-3}} \approx 1,2 k\Omega$$

– Tính điện trở phân cực R_B :

Để transistor bão hòa sâu, thường chọn hệ số bão hòa $k = 3$.

Ta có:
$$I_B = k \cdot \frac{I_C}{\beta} = 3 \cdot \frac{10^{-3}}{100} = 0,3 mA$$

Điện áp phân cực cho transistor dẫn bão hòa:

$$V_B = V_{BEsat} \approx 0,8V$$

Điện trở R_B được tính theo công thức:

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BEsat}}{I_B} = \frac{12 - 0,8}{0,3 \cdot 10^{-3}} \approx 37 k\Omega$$

Chọn điện trở R_B theo trị số tiêu chuẩn là $39 k\Omega$.

– Tính trị số tụ điện C :

Từ công thức tính tần số của mạch đa hài phi ổn đối xứng:

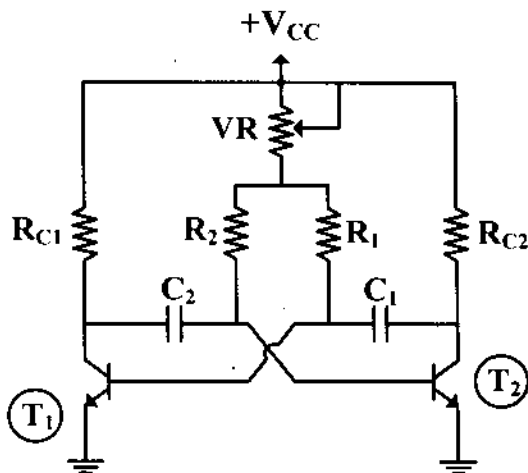
$$f = \frac{1}{1,4 R_B \cdot C}$$

Suy ra:
$$C = \frac{1}{1,4 R_B \cdot f} = \frac{1}{1,4 \cdot 39 \cdot 10^3 \cdot 10^3} = 0,018 \mu F$$

§5.3. MẠCH PHI ỔN THAY ĐỔI TẦN SỐ

1) Sơ đồ mạch

Từ công thức tính tần số của mạch đa hài phi ổn cho thấy tần số dao động có thể thay đổi bằng cách thay đổi trị số điện trở R_B hay thay đổi trị số tụ điện C . Thông thường người ta dùng biến trở VR để thay đổi trị số R_B như hình 5.4.



Hình 5.4: Mạch đổi tần số

2) Nguyên lý - Thiết kế

Biến trở VR là phần điện trở phân cực chung cho hai cực B của hai transistor. Điều kiện của mạch là khi điều chỉnh biến trở VR sẽ không làm thay đổi nguyên lý hoạt động của mạch, khi dẫn điện transistor vẫn phải ở trạng thái bão hòa.

Khi điều chỉnh biến trở VR sẽ làm thay đổi trị số điện trở R_{B1} và R_{B2} trong khoảng:

$$R_{B1\max} = R_1 + VR \quad \text{hay} \quad R_{B2\max} = R_2 + VR$$

$$R_{B1\min} = R_1 \quad \text{hay} \quad R_{B2\min} = R_2$$

Giới hạn trên sẽ cho ra khoảng tần số mà mạch dao động có thể tạo ra được.

Giả thiết mạch đa hài phi ổn được thiết kế trong phần trên có tần số điều chỉnh được từ $f_{\min} = 500\text{Hz}$ đến $f_{\max} = 1500\text{Hz}$ thì phân tích toán được giải theo trình tự sau:

a) Đầu tiên ta giả thiết mạch dao động đa hài phi ổn có tần số dao động không đổi là tần số trung bình của $f_{\min}$ và $f_{\max}$:

$$f_{tb} = \frac{f_{\min} + f_{\max}}{2} = \frac{500 + 1500}{2} = 1000 \text{ Hz}$$

b) Với tần số không đổi là $f_{tb} = 1000 \text{ Hz}$ bài toán đã trở về dạng thiết kế mạch đa hài phi ổn cơ bản như trên và ta đã có kết quả:

$$R_C = R_{C1} = R_{C2} = 1,2 \text{ k}\Omega$$

$$R_B = R_{B1} = R_{B2} = 39 \text{ k}\Omega$$

$$C = C_1 = C_2 = 0,018 \mu\text{F}$$

c) Sau khi có kết quả trên ta giữ trị số tụ C không đổi và thay đổi trị số điện trở R_B để thay đổi tần số f .

Ta có:
$$f = \frac{1}{1,4 R_B \cdot C}$$

Suy ra:
$$R_B = \frac{1}{1,4 f \cdot C}$$

Trị số R_B tỉ lệ nghịch với tần số f nên ta có hai trường hợp :

- Tần số là $f_{\min}$ khi $R_{B\max}$
- Tần số là $f_{\max}$ khi $R_{B\min}$

d) Tính trị số điện trở R_B :

$$R_{B\max} = \frac{1}{1,4 f_{\min} \cdot C} = \frac{1}{1,4 \cdot 500 \cdot 0,018 \cdot 10^{-6}} = 80 \text{ k}\Omega$$

$$R_{B\min} = \frac{1}{1,4 f_{\max} \cdot C} = \frac{1}{1,4 \cdot 1500 \cdot 0,018 \cdot 10^{-6}} = 27 \text{ k}\Omega$$

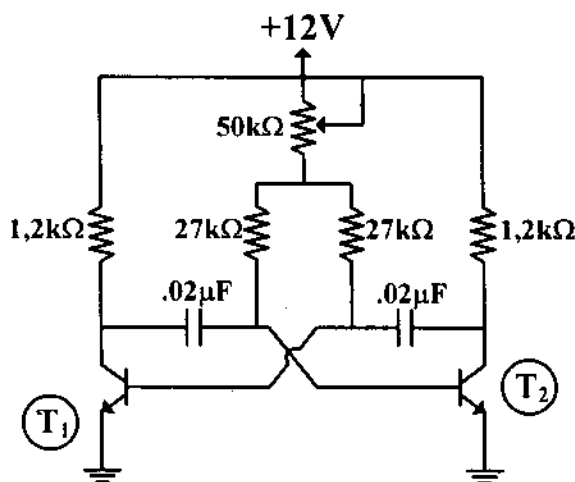
Trong phần nguyên lý, ta đã có:

$$R_{B\min} = R_1 = R_2 = 27 \text{ k}\Omega$$

$$R_{B\max} = R_1 + VR = R_2 + VR = 80 \text{ k}\Omega$$

Suy ra: $V_R = R_{B_{\max}} - R_{B_{\min}} = 80k\Omega - 27k\Omega = 53k\Omega$

Chọn biến trở $V_R = 50k\Omega$ theo tiêu chuẩn.



Hình 5.5: Mạch đa hài đổi tần số được thiết kế

e) Kiểm tra điều kiện bão hòa:

Điều kiện của mạch đa hài phi ổn là khi dẫn điện phải ở trạng thái bão hòa. Khi thay đổi biến trở V_R sẽ làm thay đổi R_B và dòng điện I_B nên cần kiểm tra lại trạng thái dẫn của transistor khi có $R_{B_{\max}}$.

$$\text{Ta có: } I_{B_{\max}} = \frac{V_{CC} - V_{BE_{\max}}}{R_{B_{\max}}} = \frac{12 - 0,8}{80 \cdot 10^3} = 0,14mA$$

Do dòng điện $I_C = 10mA$, với $\beta = 100$ thì ở trạng thái khuếch đại ta có:

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{100} = 0,1mA$$

Dòng điện $I_{Bmin} = 0,14mA$ vẫn lớn hơn $I_B = 0,1mA$, nên vẫn đảm bảo transistor dẫn điện bão hòa. Trường hợp không đạt điều kiện này thì phải chọn transistor có β lớn hơn, hay dùng hai transistor ráp kiểu Darlington.

§5.4. MẠCH PHI ỔN THAY ĐỔI CHU TRÌNH LÀM VIỆC

Trong chương 1 “Khái niệm cơ bản về kỹ thuật xung”, phần các thông số của tín hiệu xung có khái niệm về chu kỳ T của tín hiệu xung là:

$$T = t_{on} + t_{off}$$

Trong đó, t_{on} là thời gian tín hiệu xung có điện áp cao và t_{off} là thời gian tín hiệu xung có điện áp thấp.

Từ khái niệm trên người ta đưa ra hai khái niệm khác là độ rỗng Q và hệ số đầy η của xung.

Độ rỗng của xung được tính theo công thức:

$$Q = \frac{T}{t_{ON}}$$

Nghịch đảo của độ rỗng là hệ số đầy được tính theo công thức:

$$\eta = \frac{t_{ON}}{T}$$

Hệ số đầy còn được gọi tên bằng một khái niệm kỹ thuật khác là chu trình làm việc D (Duty Cycle).

Như vậy:
$$D = \frac{t_{on}}{T} 100\%$$

D là tỉ lệ phần trăm của thời gian có xung t_{on} so với chu kỳ T .

Trong mạch dao động đa hài phi ổn đối xứng ta có thời gian xả của tụ C_1 bằng thời gian xả của tụ C_2 nên:

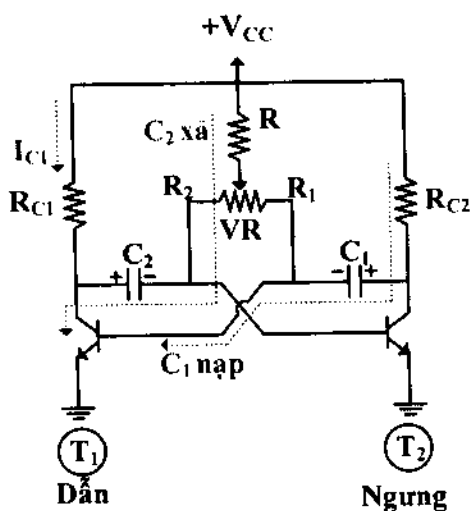
$$t_1 = t_2 \Rightarrow t_{ON} = t_{OFF} = \frac{1}{2}T$$

Chu trình làm việc của mạch đa hài đối xứng:

$$D = \frac{t_{ON}}{T} 100\% = 50\%$$

Để thay đổi chu trình làm việc D, người ta phải thay đổi t_{on} hoặc t_{off} , nhưng phải giữ nguyên chu kỳ T.

1) Sơ đồ thay đổi chu trình làm việc



Hình 5.6: Mạch thay đổi chu trình

Mạch điện hình 5.6 có biến trở VR để thay đổi chu trình làm việc.

$$VR = R_1 + R_2$$

Điện trở R là một phần điện trở R_B dùng chung cho cả hai transistor.

$$\text{Ta có: } R_{B1} = R + R_1 \quad \text{và} \quad R_{B2} = R + R_2$$

Khi điều chỉnh biến trở theo hướng tăng trị số R_1 , sẽ làm giảm trị số R_2 và ngược lại. Điều này có nghĩa là khi R_{B1} tăng thì sẽ giảm trị số R_{B2} và ngược lại.

Ta vẫn có thời gian xả của hai tụ C_1 và C_2 tính theo công thức sau:

$$t_1 = 0,69 R_{B1}.C_1 = 0,69 (R + R_1).C_1$$

$$t_2 = 0,69 R_{B2}.C_2 = 0,69 (R + R_2).C_2$$

Giả thiết $C_1 = C_2 = C$, ta có chu kỳ T của tín hiệu xung vuông:

$$T = t_1 + t_2 = 0,69 (R + R_1) C_1 + 0,69 (R + R_2) C_2$$

$$T = 0,69 [(R + R_1) + (R + R_2)] C$$

$$T = 0,69 (2R + R_1 + R_2) C$$

$$T = 0,69 (2R + VR) C$$

Như vậy, khi điều chỉnh biến trở VR sẽ không làm thay đổi chu kỳ T - tức là giữ nguyên tần số f - mà chỉ làm thay đổi thời gian t_1, t_2 - tức là thời gian t_{on}, t_{off} - sẽ làm thay đổi chu trình làm việc D .

2) Nguyên lý thiết kế

Biến trở VR là phần điện trở phân cực chung cho hai cực B của hai transistor. Khi điều chỉnh biến trở đúng vị trí giữa thì điện trở phân cực cho hai transistor bằng nhau là:

$$R_{B1 \text{ tb}} = R = R + R_1 = R + R_2 = R + \frac{1}{2} VR$$

Khi thay đổi vị trí biến trở sang phải hay trái sẽ làm tăng điện trở phân cực R_{B1} , giảm điện trở phân cực R_{B2} và ngược lại. Khi R_{B1} cực tiểu thì R_{B2} cực đại và ngược lại.

Ta có: $R_{B1 \min} = R_{B2 \min} = R$

$$R_{B1max} = R_{B2max} = R + VR$$

Giả thiết mạch đa hài phi ổn được thiết kế trong phần trên có tần số dao động là $f = 1000\text{Hz}$ nhưng chu trình làm việc thay đổi được từ 40% đến 60% thì phần tính toán được giải theo trình tự sau:

a) Đầu tiên ta giả thiết mạch dao động đa hài phi ổn có tần số là $f = 1000\text{Hz}$ và chu trình làm việc không đổi là 50% (mạch phi ổn đối xứng).

b) Với giả thiết này bài toán đã trở về dạng thiết kế mạch cơ bản như trên và đã có kết quả:

$$R_C = R_{C1} = R_{C2} = 1,2\text{k}\Omega$$

$$R_{Bth} = R_{B1} = R_{B2} = 39\text{k}\Omega$$

(trị số R_B trung bình ứng với biến trở VR ở vị trí giữa).

$$C = C_1 = C_2 = 0,018 \mu\text{F}$$

c) Sau khi có kết quả trên, ta giữ trị số tụ C không đổi và thay đổi trị số điện trở R_{B1} - R_{B2} để thay đổi t_1 , t_2 , tức là thay đổi chu trình làm việc.

Ta chỉ cần tính cho t_1 sẽ suy ra tương tự cho t_2 .

Từ tần số $f = 1000\text{Hz}$, suy ra chu kỳ T là:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1000} = 1\text{ms}$$

Khi chu trình làm việc là $D = 40\%$ thì thời gian t_1 là:

$$t_1 = \frac{40}{100} T = 0,4\text{ms}$$

$$\text{và } t_1 = 0,69 R_{B1min} \cdot C = 0,4 \text{ ms}$$

$$\text{Suy ra: } R_{B1min} = \frac{0,4 \cdot 10^{-3}}{0,69 \cdot 0,018 \cdot 10^{-6}} = 32,2\text{k}\Omega$$

$$\Rightarrow R = R_{B1min} = 32,2k\Omega \quad (\text{chọn } R = 33k\Omega)$$

Khi chu trình làm việc là $D = 60\%$ thì thời gian t_1 là:

$$t_1 = \frac{60}{100} T = 0,6ms$$

$$\text{và} \quad t_1 = 0,69 R_{B1max} \cdot C = 0,6 \text{ ms}$$

$$\text{Suy ra:} \quad R_{B1max} = \frac{0,6 \cdot 10^{-3}}{0,69 \cdot 0,018 \cdot 10^{-6}} = 48,3 \text{ k}\Omega$$

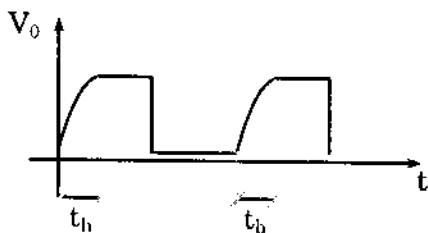
$$\Rightarrow R_{B1max} = R + VR$$

$$\text{Như vậy:} \quad VR = R_{B1max} - R = 48,3k\Omega - 33k\Omega = 15,3 \text{ k}\Omega$$

Chọn biến trở $VR = 15 \text{ k}\Omega$.

§5.5. MẠCH ĐA HÀI PHI ỔN Ở CÁC DẠNG KHÁC

1) Mạch đa hài phi ổn dùng diod sửa dạng sóng

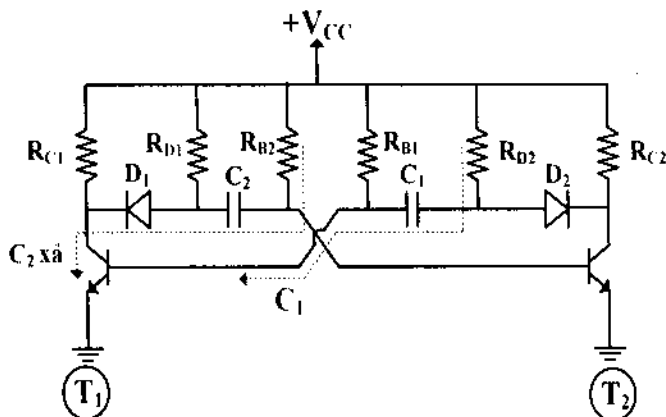


Hình 5.7: Dạng sóng vuông do thời gian hồi phục

Khi transistor trong mạch phi ổn đổi trạng thái từ bão hòa ($V_C = V_{CEsat} \approx 0,2V$) sang ngưng dẫn ($V_C \approx V_{CC}$), thì điện áp ra không tăng lên tức thời theo dạng sóng vuông được vì lúc đó tụ C nạp qua R_C làm điện áp ra tăng lên theo hàm số mũ. Thời gian điện áp ra tăng lên theo hàm số mũ gọi là thời gian hồi phục t_h . Thời

gian này tụ thuộc hằng số thời gian nạp của tụ C và điện trở R_C , t_h được tính theo công thức:

$$t_h = 3 \tau_{\text{nạp}} = 3 R_C \cdot C$$



Hình 5-8 : Dùng diod sửa dạng sóng

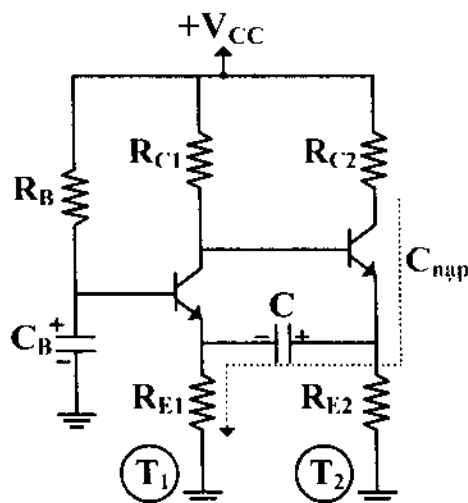
Để sửa dạng sóng của xung ra người ta dùng hai diod D_1 – D_2 để cách ly tụ C_1 – C_2 với hai cực C của hai transistor. Khi T_2 ngưng dẫn tụ C_1 sẽ không nạp điện qua R_{C2} vì D_2 bị phân cực ngược, do đó, tụ C_1 sẽ nạp điện qua R_{D2} . Như vậy, điện áp V_{C2} sẽ tăng nhanh cho ra dạng sóng vuông. Suy luận tương tự cho tụ C_2 và điện áp V_{C1} khi T_1 ngưng dẫn.

2) Mạch đa hài phi ổn hồi tiếp về cực E

Mạch điện hình 5.9 có tụ điện hồi tiếp C nối giữa hai cực E, trong khi tụ C_B loại tụ hóa có trị số lớn sẽ có tác dụng lọc bỏ thành phần xoay chiều xuống masse. Transistor T_1 được ráp như kiểu cực B chung nên tín hiệu vào cực E_2 và ra ở cực C_1 . Mạch điện hình 5.9 chạy theo nguyên lý sau:

- Khi mới mở điện, tụ C_B nạp nên $V_{B1} = 0V$ làm T_1 ngưng và V_{C1} tăng cao làm cho T_2 bão hòa, dòng I_{C2} tăng cao.

- Dòng I_{E2} sẽ qua R_{E2} làm V_{E2} tăng, tụ C nạp điện qua R_{C2} và R_{E1} . Dòng nạp vào tụ C làm V_{E1} tăng nên transistor T_1 càng dễ ngưng dẫn.



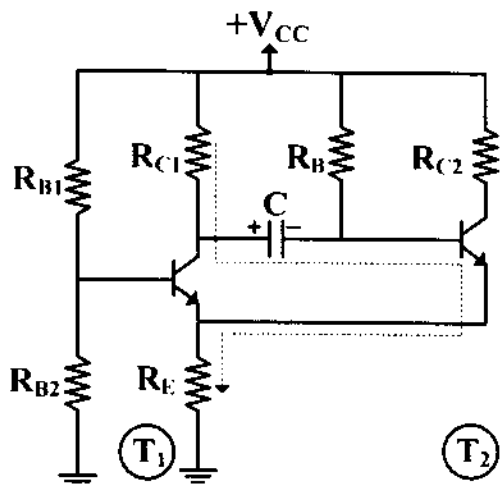
Hình 5.9: Mạch phi ổn hồi tiếp về cực E

- Khi tụ C nạp đầy thì $I_{E1} \approx 0$ làm V_{E2} giảm trong khi đó tụ C_B đã nạp đầy nên V_{B1} cao làm T_1 bão hòa. Khi T_1 bão hòa, có dòng I_{C1} qua R_{C1} nên V_{C1} giảm làm V_{B2} giảm và T_2 ngưng.

- Khi T_1 bão hòa, T_2 ngưng thì điện áp trên tụ C sẽ nối tiếp với điện áp nguồn và tụ C sẽ xả qua R_{C1} và R_{E2} . Khi tụ C_2 xả điện qua R_{E2} sẽ làm V_{E2} giảm dần đến mức đủ nhỏ thì T_2 lại dẫn điện, tạo dòng điện nạp vào tụ C nên V_{E1} lại tăng cao làm T_1 ngưng dẫn. Mạch đã trở lại trạng thái ban đầu. Hiện tượng trên lại tiếp diễn liên tục và tuần hoàn.

Mạch điện hình 5.10 có tụ C ghép giữa cực C_1 và cực B_2 , mạch hồi tiếp được thực hiện nhờ hai transistor có chung điện trở R_E . Khi mở điện, tụ C nạp nhanh qua R_{C1} - T_2 - R_E làm T_2 dẫn, cho ra I_{E2} qua R_E nên $V_{E1} = V_{E2}$ tăng cao và T_1 ngưng. Khi tụ C nạp đầy làm mất dòng I_{B2} nên T_2 ngưng dẫn, $I_{E2} = 0$ làm cho T_1 dẫn bão hòa

nhờ có cầu phân áp R_{B1} và R_{B2} . Lúc đó, điện áp trên tụ C nối tiếp với điện áp nguồn sẽ xả qua R_B và T_1-R_E . Sau khi tụ xả xong làm mất điện áp âm đặt vào cực B_2 nên T_2 dẫn điện trở lại như trạng thái ban đầu.



Hình 5.10: Mạch phi ổn dùng chung R_E

Trong mạch điện hình 5.9, tụ C nạp điện qua $R_{C2}-R_{E1}$ và xả điện qua R_{C1} và R_{E2} .

Ta có: $\tau_{\text{nạp}} = (R_{C2} + R_{E1}).C$ và $\tau_{\text{xả}} = (R_{C1} + R_{E2}).C$

Nếu mạch được thiết kế có $R_{C1} = R_{C2}$ và $R_{E1} = R_{E2}$ thì xung vuông ở ngõ ra là tín hiệu vuông đối xứng.

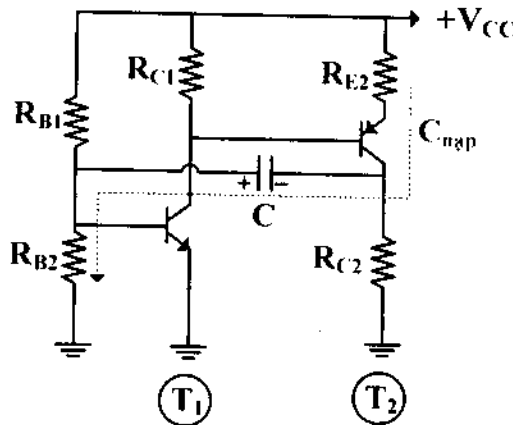
Trong mạch điện hình 5.10, tụ C nạp qua $R_{C1}-R_E$, xả điện qua R_B-R_E .

Ta có: $\tau_{\text{nạp}} = (R_{C1} + R_E).C$ và $\tau_{\text{xả}} = (R_B + R_E).C$

Do điện trở R_B thường rất lớn so với R_{C1} nên xung ra là một tín hiệu vuông không đối xứng.

3) Mạch đa hài phi ổn dùng hai transistor khác loại

Trong mạch điện hình 5.14 dùng hai transistor khác loại để tạo mạch đa hài phi ổn, gồm T_1 loại NPN và T_2 loại PNP. Mạch có nguyên lý làm việc như sau:



Hình 5.11: Mạch phi ổn dùng transistor NPN-PNP

Khi mở điện, T_1 dẫn do được phân cực cầu phân thế $R_{B1}-R_{B2}$. Lúc đó, dòng I_{C1} làm giảm điện áp V_{C1} nên cũng làm giảm V_{B2} . Hiện tượng này sẽ làm cho T_2 cũng được phân cực nên dẫn điện (vì T_2 là loại PNP).

Khi T_2 dẫn có dòng I_{C2} qua R_{C2} làm V_{C2} tăng và tụ C nạp điện qua $R_{E2}-T_2$ và R_{B2} xuống mass. Dòng nạp này qua R_{B2} làm V_{B1} tăng và T_1 chạy bão hòa, kéo T_2 bão hòa theo.

Khi tụ C nạp đầy làm mất dòng qua R_{B2} , nên V_{B2} giảm làm T_1 chạy yếu dần theo T_2 chạy yếu. Lúc đó, V_{C2} giảm nhỏ do T_2 dẫn yếu làm điện áp trên tụ C ghép nối tiếp với điện áp nguồn, tụ C xả điện qua R_{B1} và R_{C2} . Lúc đó, điện áp âm trên tụ C sẽ làm V_{B1} âm nên T_1 ngừng, kéo T_2 ngừng theo.

Khi tụ C xả điện xong thì mạch trở lại trạng thái ban đầu và hiện tượng trên được tiếp diễn liên tục, tuần hoàn. Thời gian nạp của tụ qua R_{E2} và R_{B2} có trị số nhỏ, nên ngắn hơn so với thời gian xả của tụ qua R_{B1} và R_{C2} . Do đó, tín hiệu xung ra có dạng xung vuông không đối xứng.

4) Mạch đa hài phi ổn cho ra tần số rất thấp

Mạch đa hài phi ổn cơ bản có công thức tính tần số dao động:

$$f = \frac{1}{1,4 R_B \cdot C}$$

Trong công nghiệp, có những trường hợp cần tạo ra tín hiệu xung có tần số f rất thấp ($f < 1\text{Hz}$). Thí dụ: $f = 0,01\text{Hz}$. Nói cách khác, xung vuông có chu kỳ T rất dài ($T \gg 1\text{gy}$).

Theo công thức trên, để có f rất thấp thì trị số R_B và tụ C phải rất lớn. Trong thực tế, trị số tụ C loại tụ hóa cũng có mức giới hạn không thể quá lớn, điện trở R_B nếu quá lớn sẽ không thỏa điều kiện bão hòa sâu, vì lúc đó, dòng I_B sẽ nhỏ theo công thức:

$$I_B \approx \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

Và:
$$I_B = k \frac{I_C}{\beta}$$

Để giải quyết cho trường hợp trên, ta có thể dùng hai transistor ráp kiểu Darlington để có độ khuếch đại dòng lớn. Trong mạch điện hình 5.12, hai transistor $T_{1A}-T_{1B}$ ráp kiểu Darlington, hai transistor $T_{2A}-T_{2B}$ ghép Darlington để tạo ra mạch đa hài đối xứng. Với cách ráp kiểu Darlington thì độ khuếch đại dòng chung cho hai transistor:

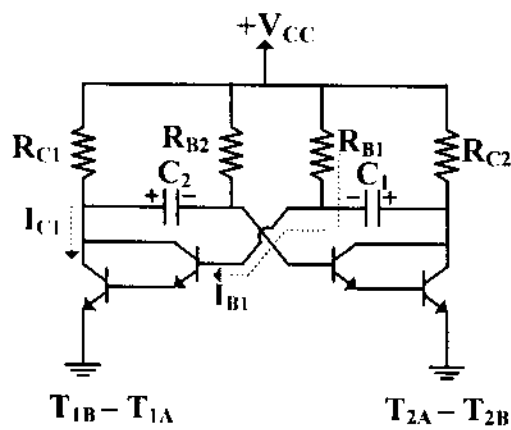
$$\beta_{\text{chung}} = \beta_A \cdot \beta_B \quad (\text{vài ngàn} \div \text{vài chục ngàn})$$

Điều kiện bão hòa sâu bây giờ sẽ là:

$$I_H = k \frac{I_C}{\beta_A \cdot \beta_B}$$

Với β chung rất lớn thì dòng điện I_B sẽ có trị số rất nhỏ và điều này giúp cho việc chọn trị số R_B có thể lớn theo công thức:

$$R_B = \frac{V_{CC} - 2V_{BE}}{I_H}$$



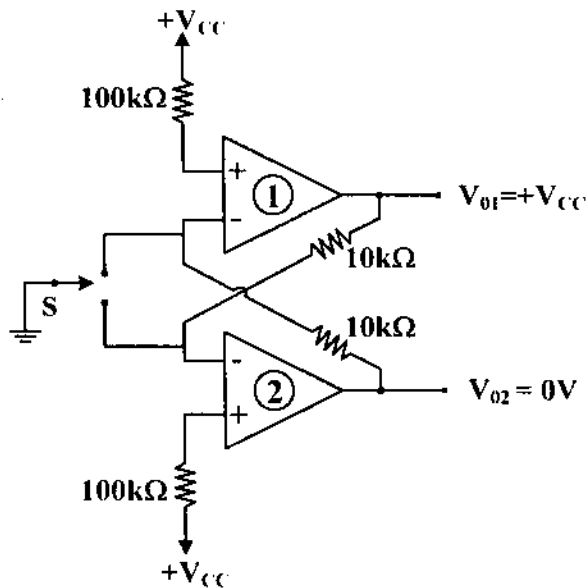
Hình 5.12: Mạch phi ổn có tần số rất thấp

CHƯƠNG 6

MẠCH TẠO XUNG DÙNG OP-AMP

Trong các chương 3-4-5, chúng ta đã khảo sát các mạch tạo xung dùng transistor rồi, trong chương này chúng ta sẽ khảo sát các ứng dụng của OP-AMP trong kỹ thuật xung.

§6.1. MẠCH FLIP - FLOP DÙNG OP-AMP



Hình 6-1: Mạch F/F dùng OP-AMP
kích đổi trạng thái bằng xung âm

Mạch F/F dùng OP-AMP như sơ đồ hình 6.1 có hai OP-AMP làm việc như hai mạch khuếch đại so sánh. Hai OP-AMP sẽ ở trạng thái bão hòa dương nếu có:

$$V_i^+ > V_i^- \Rightarrow V_O = +V_{CC}$$

hay ở trạng thái bão hòa âm nếu có:

$$V_i^- > V_i^+ \Rightarrow V_O = 0V$$

Giả thiết, mạch có trạng thái như hình vẽ, với $V_{O1} = +V_{CC}$ và $V_{O2} = 0V$.

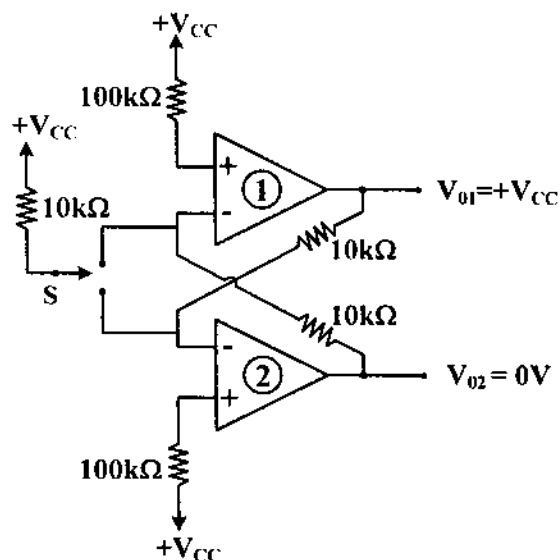
OP-AMP ① được hồi tiếp từ $V_{O2} = 0V$ về ngõ In^- qua điện trở $10k\Omega$ nên vẫn có $V_i^+ > V_i^-$ và $V_{O1} = +V_{CC}$ ổn định.

OP-AMP ② được hồi tiếp từ $V_{O1} = +V_{CC}$ về ngõ In^- qua điện trở $10k\Omega$ ($10k\Omega \ll 100k\Omega$), nên vẫn có $V_i^- > V_i^+$ và $V_{O1} = 0V$ ổn định.

Đây là trạng thái ổn định thứ nhất của mạch F/F, OP-AMP ① ở trạng thái bão hòa dương và OP-AMP ② ở trạng thái bão hòa âm. Để đổi trạng thái của F/F, cho công tắc S nối vào ngõ In^- của OP-AMP ② đang bão hòa âm. Lúc đó, $V_i^- = 0V$ và $V_i^+ > V_i^-$ nên OP-AMP ② chuyển sang bão hòa dương, $V_{O2} = +V_{CC}$ qua điện trở hồi tiếp $10k\Omega$ sẽ làm đổi trạng thái của OP-AMP ① từ bão hòa dương sang bão hòa âm vì lúc đó OP-AMP ① có $V_i^- > V_i^+$.

Lưu ý: Điện trở hồi tiếp phải có trị số khá nhỏ so với điện trở nối ngõ In^+ lên nguồn $+V_{CC}$.

Công tắc S có điểm chung nối masse xem như xung âm kích điều khiển F/F. Công tắc S có thể nối lên nguồn $+V_{CC}$ qua điện trở để kích đổi trạng thái của F/F như xung dương kích điều khiển F/F. Trường hợp này, xung dương phải được đưa vào OP-AMP ① đang bão hòa dương. Sơ đồ hình 6.2 là mạch F/F đổi trạng thái bằng xung dương.



Hình 6.2: Mạch F/F dùng OP-AMP
kích đổi trạng thái bằng xung dương

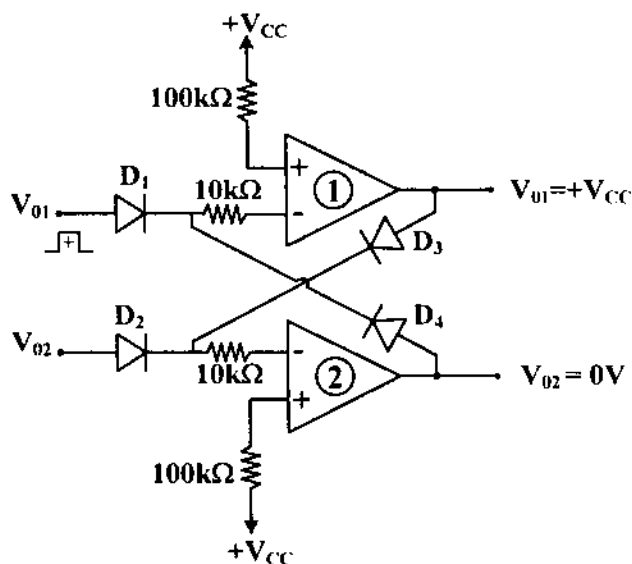
Như vậy, để đổi trạng thái của F/F có thể dùng một trong hai phương pháp sau:

- Cho xung âm (hay mức điện áp thấp) vào ngõ In^- của OP-AMP đang bão hòa âm.
- Cho xung dương (hay mức điện áp cao) vào ngõ In^- của OP-AMP đang bão hòa dương.

§6.2. MẠCH FLIP-FLOP HỒI TIẾP BẰNG DIOD

Mạch Flip-Flop hình 6.3 dùng hai diod D_1 - D_2 để nhận xung kích ở ngõ vào và hai diod D_3 - D_4 để lấy điện áp hồi tiếp.

Giả sử mạch đang có trạng thái ổn định như hình vẽ, OP-AMP ① đang bão hòa dương, $V_{O1} = +V_{CC}$; OP-AMP ② đang bão hòa âm, $V_{O2} = 0V$.



Hình 6-3: Mạch Flip-Flop hồi tiếp bằng diod

Trường hợp này, nếu cho xung âm vào ngõ V_{i2} của OP-AMP đang bão hòa âm thì diod D_2 bị phân cực ngược nên xung âm không tác động được vào mạch F/F và mạch không đổi trạng thái. Muốn đổi trạng thái của mạch F/F phải cho xung dương vào ngõ V_{i1} của OP-AMP đang bão hòa dương. Lúc đó, diod D_1 được phân cực thuận sẽ cho xung dương vào mạch F/F và làm mạch đổi trạng thái.

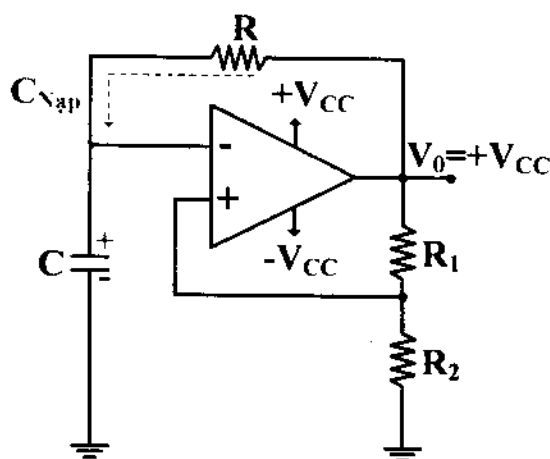
Như vậy, khi sử dụng diod như hình 6.3, hai mạch F/F chỉ còn một cách kích đổi trạng thái là cho xung dương (hay mức điện áp cao) vào ngõ In^- của OP-AMP ① đang bão hòa dương.

§6.3. MẠCH DAO ĐỘNG TÍCH THOÁT

1) Nguyên lý

Mạch điện hình 6.4 là sơ đồ mạch dao động tích thoát dùng OP-AMP để cho ra tín hiệu vuông.

Sơ đồ có hai mạch hồi tiếp từ ngõ ra về hai ngõ vào. Cầu phân áp RC hồi tiếp về ngõ In^- , cầu phân áp R_1-R_2 hồi tiếp về ngõ In^+ .



Hình 6-4: Mạch dao động tích thoát

Để giải thích nguyên lý mạch, ta giả sử tụ C chưa nạp điện và OP-AMP đang ở trạng thái bão hòa dương, $V_0 = +V_{CC}$. Lúc này, cầu phân áp R_1-R_2 đưa điện áp dương về ngõ In^+ với mức điện áp:

$$V_{in}^+ = +V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = V_d \quad (V_{in}^+ > 0V)$$

Trong khi đó, ở ngõ In^- có điện áp tăng dần lên từ $0V$, điện áp tăng do tụ C nạp qua R theo qui luật hàm mũ với hằng số thời gian là $\tau = RC$.

Khi tụ nạp và có $V_{in}^- < V_{in}^+$, OP-AMP vẫn ở trạng thái bão hòa dương. Khi tụ C nạp đến mức điện áp $V_{in}^- > V_{in}^+$ thì OP-AMP đổi thành trạng thái bão hòa âm, ngõ ra có $V_0 = -V_{CC}$. Lúc này, cầu phân áp R_1-R_2 đưa điện áp âm về ngõ In^+ với mức điện áp:

$$V_m^+ = -V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = V_B \quad (V_{in}^+ < 0V)$$

Trong khi đó, ở ngõ In⁻ vẫn còn đang ở mức điện áp dương với trị số $V_m^+ > V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$, do tụ C đang còn nạp điện. Như vậy, OP-AMP sẽ chuyển sang trạng thái bão hòa âm nhanh, cho cạnh xuống thẳng đứng. Tụ C bây giờ sẽ xả điện áp dương đang nạp trên tụ qua R₁ và tải ở ngõ ra xuống mass.

Khi tụ C xả điện áp dương đang có thì V_{in}⁺ vẫn ở mức điện áp âm nên OP-AMP vẫn ở trạng thái bão hòa âm. Khi tụ C đã xả hết điện áp dương sẽ nạp điện qua R để có điện áp âm đang có, do ngõ ra đang ở trạng thái bão hòa âm. Chiều nạp điện bây giờ ngược với chiều dòng điện nạp trên hình vẽ.

Khi tụ C nạp điện áp âm đến mức V_{in}⁻ < V_{in}⁺ (ngõ In⁻ nhỏ hơn ngõ In⁺) thì OP-AMP lại đổi thành trạng thái bão hòa dương và ngõ ra có V_O = +V_{CC}.

Mạch đã trở lại trạng thái giả thiết ban đầu và hiện tượng trên cứ tiếp diễn liên tục, tuần hoàn.

2) Dạng sóng ở các chân

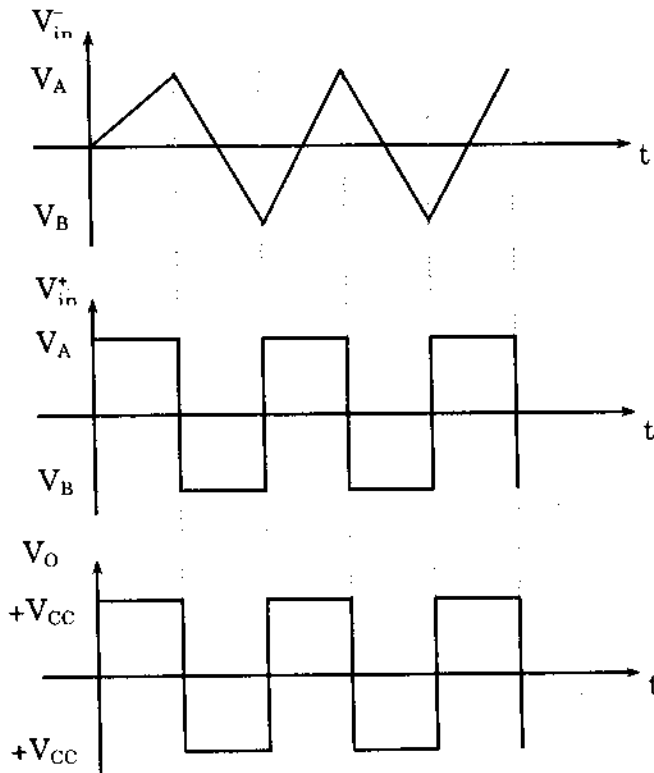
Mức giới hạn điện áp ngõ ra:

$$V_{Omax} \approx +V_{CC} \quad V_{Omin} \approx -V_{CC}$$

Mức giới hạn điện áp ở hai ngõ vào:

$$V_A = +V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_B = -V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$



Hình 6-5: Dạng sóng ngõ vào và ngõ ra

Dạng điện áp ở ngõ In^- là dạng tam giác. Thời gian điện áp ở ngõ vào In^- tăng từ V_B lên V_A là OP-AMP ở trạng thái bão hòa dương, thời gian điện áp ngõ vào In^- giảm từ V_A xuống V_B là OP-AMP ở trạng thái bão hòa âm. Dạng điện áp ở ngõ In^+ và ngõ ra là trạng thái xung vuông đối xứng. Chu kỳ của tín hiệu được tính theo công thức:

$$T = 2RC \ln \frac{R_1 + 2R_2}{R_1}$$

Suy ra, tần số của tín hiệu được tính theo công thức:

$$f = \frac{1}{T}$$

Trường hợp đặc biệt :

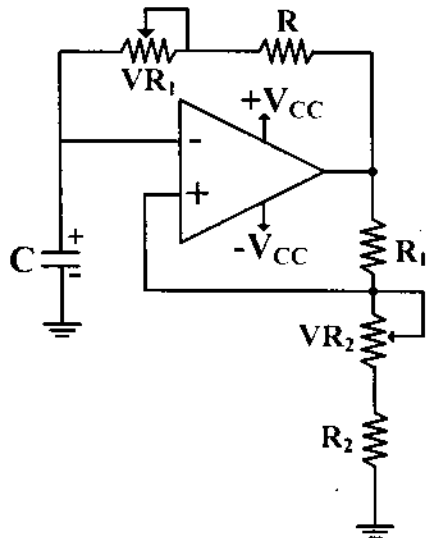
$$\begin{aligned} \bullet R_1 = 2R_2 &\Rightarrow T = 2.RC.\ln 2 & (\ln 2 = 0,69) \\ &= 2RC.0,69 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow f = \frac{1}{2.0,69RC} = \frac{1}{1,4RC}$$

$$\begin{aligned} \bullet R_1 = R_2 &\Rightarrow T = 2.R.C.\ln 3 & (\ln 3 = 1,1) \\ &= 2.R.C.1,1 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow f = \frac{1}{2,2RC}$$

3) Mạch đổi tần số



Hình 6-6: Mạch dao động tích thoát đổi tần số

Theo công thức tính chu kỳ và tần số dao động như trên ta có thể đổi tần số dao động bằng các phương pháp sau:

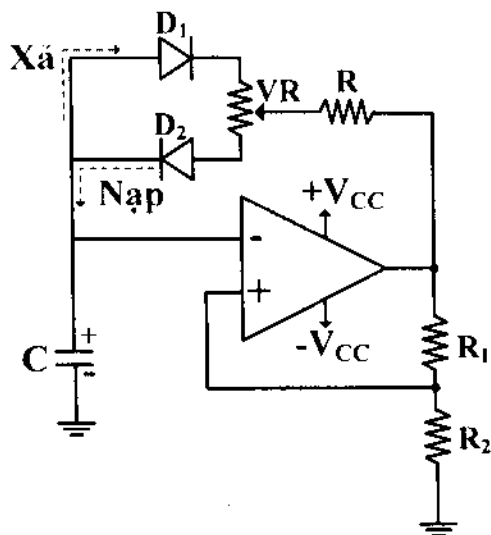
- Thay đổi tỉ số của cầu phân áp trong mạch hồi tiếp dương (R_1 và R_2)

- Thay đổi trị số điện trở R hay tụ C trong mạch hồi tiếp âm.

Tần số của mạch dao động tích thoát (hình 6-6) được tính theo công thức:

$$T = 2(R + VR_1)C \ln \frac{R_1 + 2(R_2 + VR_2)}{R_1}$$

4) Mạch đổi chu trình làm việc



Hình 6-7: Mạch dao động tích thoát đổi chu trình làm việc

Trong sơ đồ mạch dao động tích thoát cơ bản dùng OP-AMP, tụ C nạp điện và xả điện đều qua điện trở R , nên hằng số thời gian nạp và xả bằng nhau. Điều này có nghĩa là thời gian xung vuông có điện áp cao và thời gian xung vuông có điện áp thấp dài bằng nhau. Xung vuông ra là xung không đối xứng có chu trình làm việc là $D = 50\%$.

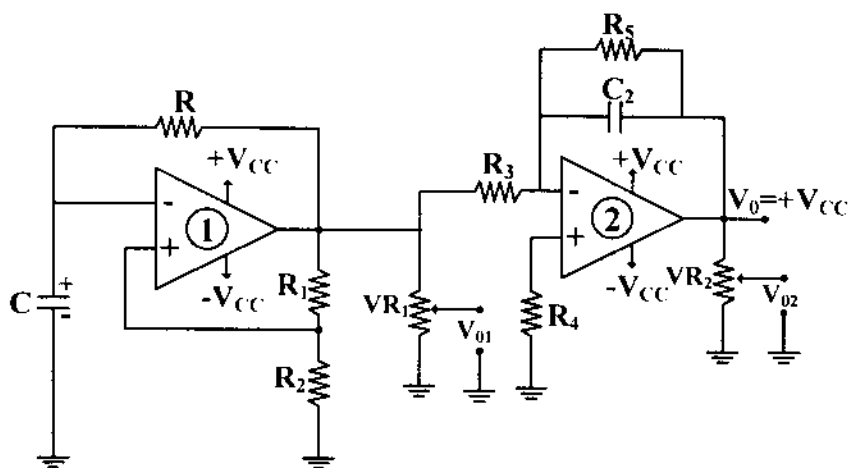
Để thay đổi chu trình làm việc, mạch dao động tích thoát có sơ đồ như hình 6.7, biến trở VR sẽ làm thay đổi thời gian nạp và thời gian xả của tụ theo hai hướng ngược nhau, nên tăng thời gian nạp sẽ làm giảm thời gian xả và ngược lại.

Khi tụ C nạp điện áp dương từ ngõ ra sẽ nạp qua điện trở R, biến trở VR (phần dưới) và qua diod D_2 . Khi tụ C xả điện áp dương và sau đó nạp điện áp âm sẽ xả qua R, biến trở VR (phần trên) và qua diod D_1 .

Khi điều chỉnh biến trở VR chỉ làm thay đổi chu trình làm việc mà vẫn giữ nguyên tần số dao động.

§6.4. MẠCH TẠO XUNG VUÔNG VÀ TAM GIÁC

Mạch dao động tích thoát cơ bản tạo xung vuông đối xứng ở ngõ ra. Nếu kết hợp mạch tích phân tích cực dùng OP-AMP mạch có thể cho ra xung tam giác.



Hình 6-8: Mạch tạo xung vuông và tam giác

OP-AMP ① là mạch dao động tích thoát để tạo xung vuông theo nguyên lý trên. Xung vuông được lấy trên biến trở VR_1 để thay đổi biên độ ngõ ra. OP-AMP ② là mạch tích phân tích cực, nhận xung vuông từ ngõ ra của OP-AMP ① đổi thành dạng xung tam giác. Xung tam giác được lấy trên biến trở VR_2 để thay đổi biên độ ngõ ra.

CHƯƠNG 7

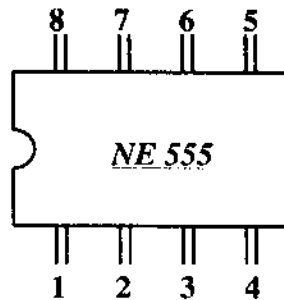
VI MẠCH ĐỊNH THÌ 555

§7.1. ĐẠI CƯƠNG

Vi mạch định thì 555 và họ của nó được ứng dụng rất rộng rãi trong lĩnh vực điện tử dân dụng cũng như điện tử công nghiệp, vì nếu kết hợp với các linh kiện RC rời bên ngoài một cách thích hợp thì nó có thể thực hiện nhiều chức năng như định thì, tạo xung chuẩn, tạo tín hiệu kích hay điều khiển các linh kiện bán dẫn công suất như transistor, SCR, Triac ...

Trong chương này sẽ giới thiệu cấu trúc, nguyên lý của IC 555 và các ứng dụng cơ bản của nó, đồng thời giới thiệu các kiểu giao tiếp với tải ở ngõ ra.

§7.2. SƠ ĐỒ CHÂN VÀ CẤU TRÚC



Hình 7.1: Cách ra chân
của IC 555

Vi mạch 555 được chế tạo thông dụng nhất là dạng vỏ plastic như hình vẽ 7.1.

Chân 1: GND (nối đất)

Chân 2: Trigger Input (ngõ vào xung nẩy)

Chân 3: Output (ngõ ra)

Chân 4: Reset (hồi phục)

Chân 5: Control Voltage (điện áp điều khiển)

Chân 6: Threshold (thềm - ngưỡng)

Chân 7: Discharge (xả điện)

Chân 8: $+V_{CC}$ (nguồn dương)

Bên trong vi mạch 555 có hơn 20 transistor và nhiều điện trở thực hiện các chức năng như trong hình 7.2 gồm có:

1) Cầu phân áp gồm ba điện trở $5k\Omega$ nối từ nguồn $+V_{CC}$ xuống mass cho ra hai điện áp chuẩn là $1/3V_{CC}$ và $2/3V_{CC}$.

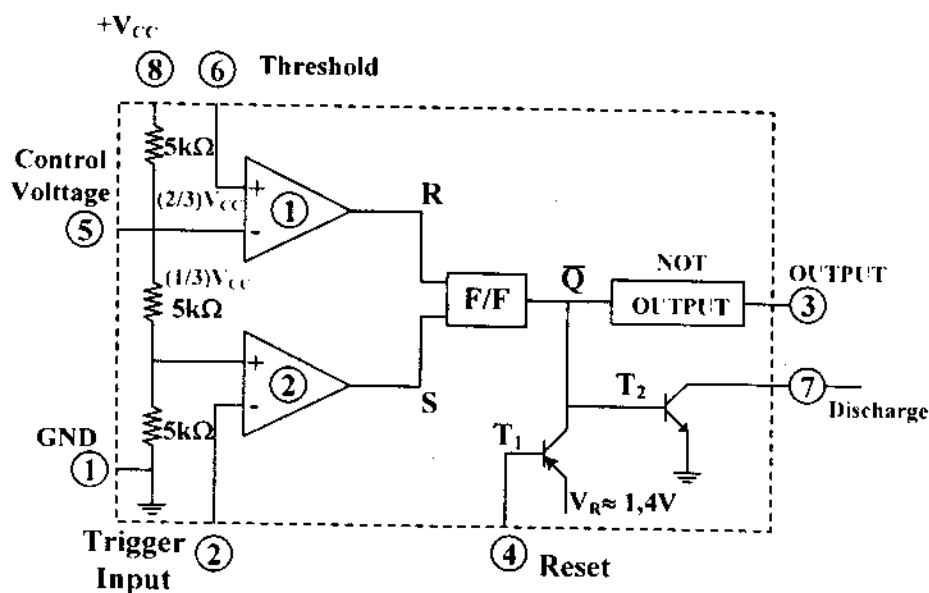
2) OP-AMP (1) là mạch khuếch đại so sánh có ngõ I_n^- nhận điện áp chuẩn $2/3V_{CC}$ còn ngõ I_n^+ thì nối ra ngoài chân 6. Tùy thuộc điện áp của chân 6 so với điện áp chuẩn $2/3V_{CC}$ mà OP-AMP (1) có điện áp ra mức cao hay thấp để làm tín hiệu R (Reset) điều khiển Flip-Flop (F/F).

3) OP-AMP (2) là mạch khuếch đại so sánh ngõ I_B^+ nhận điện áp chuẩn $1/3 V_{CC}$ còn ngõ I_n^- thì nối ra ngoài chân 2. Tùy thuộc điện áp chân 2 so với điện áp chuẩn $1/3V_{CC}$ mà OP-AMP (2) có điện áp ra mức cao hay thấp để làm tín hiệu S (Set) điều khiển Flip-Flop (F/F).

4) Mạch Flip -Flop (F/F) là loại mạch lưỡng ổn kích một bên. Khi chân Set (S) có điện áp cao thì điện áp này kích đổi trạng thái F/F làm ngõ Q lên mức cao và ngõ $\overline{Q}$ xuống mức thấp. Khi ngõ Set đang ở mức cao xuống thấp thì mạch F/F không đổi trạng thái. Khi chân Reset (R) có điện áp cao thì điện áp này kích đổi trạng thái của F/F làm ngõ $\overline{Q}$ lên mức cao và ngõ Q xuống mức thấp. Khi ngõ Reset đang ở mức cao xuống thấp thì mạch F/F không đổi trạng thái.

5) Mạch OUTPUT là mạch khuếch đại ngõ ra để tăng độ khuếch đại dòng cấp cho tải. Đây là mạch khuếch đại đảo có ngõ vào là chân $\bar{Q}$ của F/F nên khi $\bar{Q}$ ở mức cao thì ngõ ra chân 3 của IC sẽ có điện áp thấp ($\cong 0V$) và ngược lại khi $\bar{Q}$ ở mức thấp thì ngõ ra chân 3 của IC sẽ có điện áp cao ($\cong V_{CC}$).

6) Transistor T_1 có chân E nối vào một điện áp chuẩn khoảng 1,4V và loại PNP nên khi cực B nối ra ngoài bởi chân 4 có điện áp cao hơn 1,4V thì T_1 ngưng dẫn, T_1 không ảnh hưởng đến hoạt động của mạch, khi chân 4 có điện trở trị số nhỏ thích hợp nối mass thì T_1 dẫn bão hòa đồng thời làm mạch OUTPUT cũng dẫn bão hòa, ngõ ra xuống thấp. Chân 4 được gọi là chân Reset nghĩa là nó Reset IC bất chấp tình trạng ở các ngõ vào khác, do đó, chân Reset dùng để kết thúc xung ra sớm khi cần. Nếu không dùng chức năng Reset thì nối chân 4 lên V_{CC} để tránh mạch bị Reset do nhiễu.

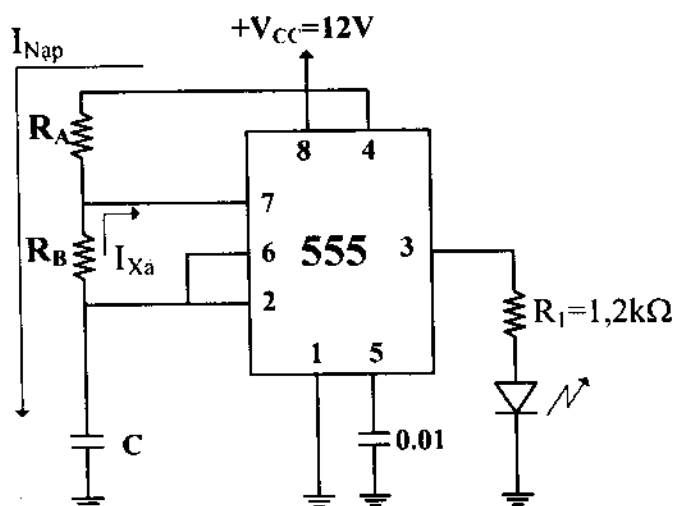


Hình 7.2: Cấu trúc của IC 555

7) Transistor T_2 có cực C để hở nối ra chân 7 (Discharge = xả). Do cực B được phân cực bởi mức điện áp ra $\overline{Q}$ của F/F nên khi $\overline{Q}$ ở mức cao T_2 bão hòa và cực C_2 coi như nối mass, lúc đó ngõ ra chân 3 cũng ở mức thấp; khi $\overline{Q}$ ở mức thấp thì T_2 ngưng dẫn cực C_2 bị hở, lúc đó, ngõ ra chân 3 có điện áp cao. Theo nguyên lý trên cực C_2 ra chân 7 có thể làm ngõ ra phụ có mức điện áp giống mức điện áp của ngõ ra chân 3.

§7.3. MẠCH ĐA HÀI PHI ỔN DÙNG 555

1. Mạch phi ổn cơ bản



Hình 7.3: Mạch đa hài phi ổn

Sơ đồ mạch hình 7.3 là ứng dụng của IC 555 làm mạch đa hài phi ổn để tạo xung vuông.

Trong mạch, chân ngưỡng (Threshold) số 6 được nối với chân nẩy (Trigger) số 2 nên hai chân này có chung điện áp là điện áp trên tụ C để so với điện áp chuẩn $2/3V_{CC}$ và $1/3V_{CC}$ bởi OP-

AMP (1) và OP-AMP (2). Chân 5 có tụ nhỏ .01 nối mass lọc nhiễu tần số cao có thể làm ảnh hưởng điện áp chuẩn $2/3V_{CC}$. Chân 4 nối nguồn $+V_{CC}$ nên không dùng chức năng Reset, chân 7 xả điện được nối vào giữa hai điện trở R_A và R_B tạo đường xả điện cho tụ. Ngõ ra chân 3 có điện trở giới hạn dòng $1,2k\Omega$ và Led để biểu thị mức điện áp ra (chỉ có thể dùng trong trường hợp tần số dao động thấp từ 20Hz trở xuống vì ở tần số cao hơn 40Hz trạng thái sáng và tắt của Led khó có thể nhận biết bằng mắt thường).

Để phân tích nguyên lý của mạch cần kết hợp mạch ứng dụng hình 7.3 và sơ đồ cấu trúc hình 7.2.

Khi mới đóng điện tụ C bắt đầu nạp từ 0V lên nên:

- OP-AMP (1) có $V_i^+ < V_i^-$, ngõ ra V_{O1} = mức thấp, ngõ R = 0 (mức thấp).

- OP-AMP (2) có $V_i^+ > V_i^-$, ngõ ra V_{O2} = mức cao, ngõ S=1 (mức cao).

- Mạch F/F có ngõ S = 1 nên $Q = 1$ và $\bar{Q} = 0$. Lúc đó, ngõ ra chân 3 có $V_O \equiv V_{CC}$ (do qua mạch đảo) làm Led sáng.

- Transistor T_2 có $V_{B2} = 0$ do $\bar{Q} = 0$, T_2 ngưng dẫn và để tụ C được nạp điện.

Tụ C nạp điện qua R_A và R_B với hằng số thời gian khi nạp:

$$\tau_{\text{nạp}} = (R_A + R_B) C$$

Khi điện áp trên tụ tăng đến $1/3V_{CC}$ thì OP-AMP (2) đổi trạng thái, ngõ ra có V_{O2} = mức thấp, ngõ S= 0 (mức thấp). Khi S xuống mức thấp thì F/F không đổi trạng thái nên điện áp ngõ ra vẫn ở mức cao, Led vẫn sáng.

Khi điện áp trên tụ tăng đến mức $2/3V_{CC}$ thì OP-AMP (1) đổi trạng thái, ngõ ra có V_{O1} = mức cao, ngõ R=1.

- Mạch F/F có ngõ $R=1$ nên $\overline{Q}=1$, lúc đó chân 3 có $V_O \cong 0V$ làm Led tắt. Khi ngõ $\overline{Q}=1$ sẽ làm T_2 dẫn bão hòa và chân 7 nối mass làm tụ C không nạp tiếp điện áp được mà phải xả điện qua R_B và transistor T_2 xuống mass.

Tụ C xả điện qua R_B với hằng số thời gian:

$$\tau_{x\bar{a}} = R_B.C$$

Khi điện áp trên tụ (tức là điện áp chân 2 và chân 6) giảm xuống dưới $2/3V_{CC}$ thì OP-AMP (1) đổi trở lại trạng thái cũ là $V_{O1} =$ mức thấp, ngõ $R = 0$. Khi R xuống mức thấp thì F/F không đổi trạng thái nên điện áp ngõ ra vẫn ở mức thấp, Led vẫn tắt. Khi điện áp trên tụ giảm xuống đến mức $1/3V_{CC}$ thì OP-AMP (2) lại có $V_i^+ > V_i^-$ nên ngõ ra $V_{O2} =$ mức cao, ngõ $S = 1$. Mạch F/F có ngõ $S = 1$ nên $Q = 1$ và $\overline{Q} = 0$, ngõ ra chân 3 qua mạch đảo có $V_O \cong +V_{CC}$ làm Led lại sáng, đồng thời lúc đó T_2 mất phân cực do $\overline{Q} = 0$ nên ngưng dẫn đồng thời chấm dứt giai đoạn xả điện của tụ. Như vậy, mạch đã trở lại trạng thái ban đầu và tụ lại nạp điện từ mức $1/3V_{CC}$ lên mức $2/3V_{CC}$, hiện tượng này sẽ tiếp diễn liên tục và tuần hoàn.

Lưu ý: Khi mở điện tụ C sẽ nạp điện từ $0V$ lên $2/3V_{CC}$ rồi sau đó tụ xả điện từ $2/3V_{CC}$ xuống $1/3V_{CC}$ chứ không xả xuống $0V$. Những chu kỳ sau tụ nạp từ $1/3V_{CC}$ lên $2/3V_{CC}$ chứ không nạp từ $0V$ nữa.

Thời gian tụ nạp là thời gian $V_O \cong +V_{CC}$, Led sáng. Thời gian tụ xả là thời gian $V_O \cong 0V$, Led tắt.

Thời gian nạp và xả của tụ được tính theo công thức:

* Thời gian nạp: $t_{n\bar{a}p} = 0,69\tau_{n\bar{a}p}$

$$t_{n\bar{a}p} = 0,69(R_A + R_B) C$$

* Thời gian xả: $t_{x\bar{a}} = 0,69\tau_{x\bar{a}}$

$$t_{x\bar{a}} = 0,69R_B.C$$

Điện áp ở ngõ ra chân 3 có dạng hình vuông với chu kỳ:

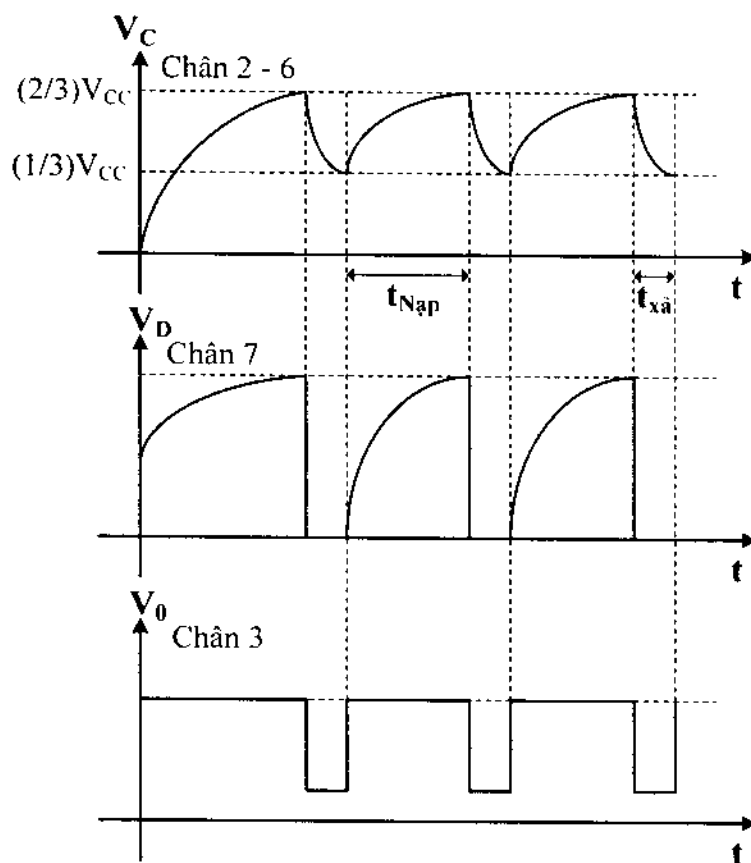
$$T = t_{\text{nạp}} + t_{\text{xả}}$$

$$T = 0,69(R_A + 2R_B) C$$

Do thời gian nạp và thời gian xả không bằng nhau ($t_{\text{nạp}} > t_{\text{xả}}$) nên tín hiệu hình vuông ra không đối xứng. Tần số của tín hiệu hình

vuông:
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,69(R_A + 2R_B) C}$$

2. Dạng sóng ra tại các chân



Hình 7.4: Dạng điện áp tại các chân

Hình 7.4 là dạng điện áp tại các chân 2-6, chân 7 và chân 3 trong đó khoảng thời gian điện áp tăng là thời gian tụ nạp, khoảng thời gian điện áp giảm là thời gian tụ xả.

Khi khảo sát dạng điện áp tại các chân cần lưu ý khi mở điện thì tụ C sẽ nạp điện từ 0V lên đến $2/3V_{CC}$ nhưng khi xả chỉ xả đến $1/3V_{CC}$, do đó, những lần nạp sau tụ chỉ nạp từ $1/3$ đến $2/3V_{CC}$. Để tính chu kỳ của tín hiệu người ta chỉ tính các lần nạp sau chứ không xét lần nạp đầu tiên.

Khi tụ nạp thì chân 7 có điện áp cao hơn chân 2-6, nhưng khi tụ xả thì chân 7 giảm nhanh xuống 0V (do I_2 trong IC chạy bão hòa) chứ không giảm theo hàm số mũ trên tụ C.

2. Mạch phi ổn đối xứng

Trong mạch phi ổn, do thời gian nạp và thời gian xả của tụ không bằng nhau nên dạng điện áp vuông ở ngõ ra không đối xứng.

$$\text{Ta có:} \quad t_{\text{nạp}} = 0,69(R_A + R_B)C$$

$$t_{\text{xả}} = 0,69 R_B \cdot C$$

Để cho dạng sóng vuông ở ngõ ra đối xứng người ta có thể thực hiện bằng nhiều cách.

Cách thứ 1: Chọn điện trở R_A có trị số rất nhỏ so với R_B thì lúc đó sai số giữa $t_{\text{nạp}}$ và $t_{\text{xả}}$ coi như không đáng kể. Điều này khó thực hiện nếu làm việc ở tần số cao. Điện trở R_A có trị số tối thiểu khoảng vài $k\Omega$ thì R_B phải có trị số rất lớn khoảng vài trăm $k\Omega$. Với các trị số điện trở này thì tần số dao động không thể cao được.

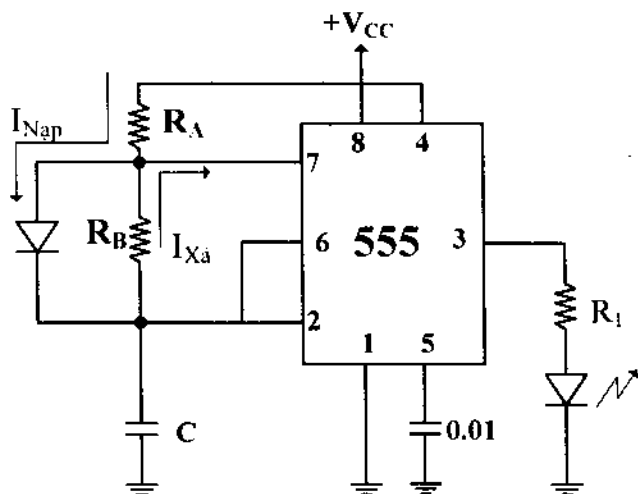
Cách thứ 2: Dùng diod D ghép song song R_B theo chiều hướng xuống (hình 7.5a). Khi có diod D, thời gian tụ C nạp làm diod D được phân cực thuận có điện trở rất nhỏ nên coi như nối tắt R_B . Thời gian nạp điện của tụ C được tính theo công thức:

$$t_{\text{nạp}} \cong 0,69R_A \cdot C$$

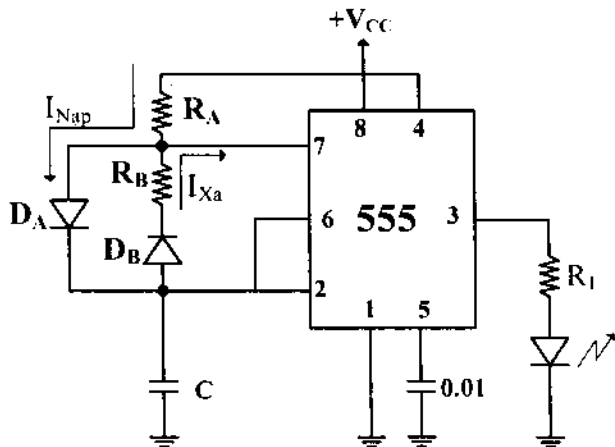
Khi tụ C xả điện thì diod được phân cực ngược nên tụ vẫn xả điện qua R_B . Thời gian xả điện của tụ được tính theo công thức:

$$t_{xả} \cong 0,69R_B.C$$

Nếu chọn trị số $R_A = R_B$ thì mạch tạo ra tín hiệu hình vuông đối xứng.



Hình 7.5a



Hình 7.5b

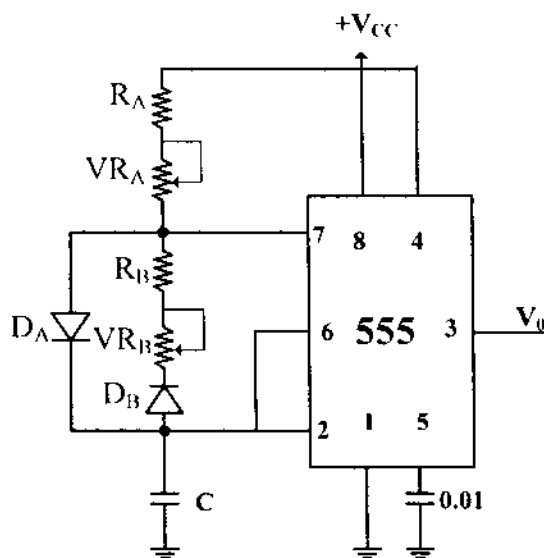
Thật ra trong mạch điện hình 7.5a, khi tụ nạp dòng điện phải qua R_A và điện trở thuận của diod nên thời gian nạp vẫn lớn hơn thời gian xả một ít. Để cho tín hiệu thật đối xứng thì ghép thêm diod nối tiếp với điện trở R_B như hình 7.5b. Như vậy, cả hai trường hợp nạp và xả đều có diod. Điều kiện của hai mạch trên là R_B phải có trị số khá lớn so với điện trở thuận của diod.

4. Mạch phi ổn điều chỉnh tần số và chu trình làm việc

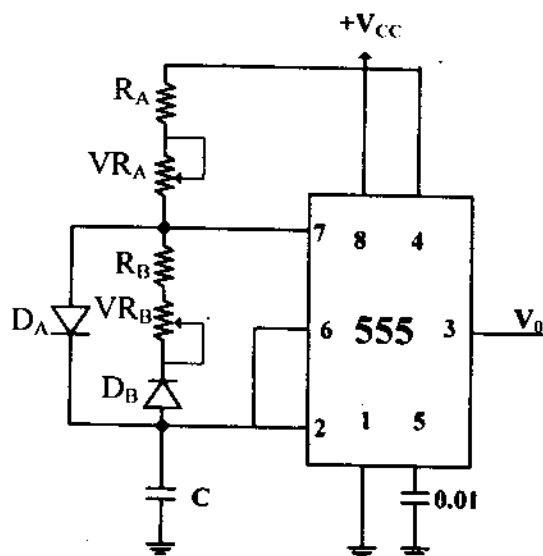
Hai yêu cầu thường có trong thiết kế mạch đa hài phi ổn:

- Thay đổi tần số f mà vẫn giữ nguyên chu trình làm việc (đối xứng)
- Thay đổi chu trình làm việc mà vẫn giữ nguyên tần số f .

Để có thể thay đổi tín hiệu hình vuông ra mà vẫn có tín hiệu đối xứng thì hai điện trở R_A và R_B phải được điều chỉnh sao cho cùng tăng hay giảm trị số. Lúc đó trong mạch điện có hai điện trở VR_A và VR_B ghép nối tiếp như trong sơ đồ hình 7.6a.



Hình 7.6a: $VR_A - VR_B$ chung trục, chỉnh đồng hướng
Mạch thay đổi tần số



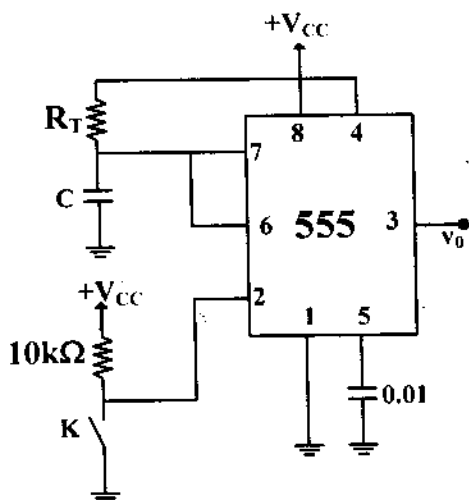
Hình 7.6b: VR_A - VR_B chung trục, chỉnh ngược hướng
Mạch thay đổi chu trình

Để thay đổi chu trình làm việc tức là thay đổi tỉ lệ thời gian tín hiệu có điện áp cao và thời gian tín hiệu có điện áp thấp (hay là thời gian nạp và thời gian xả của tụ) nhưng vẫn giữ nguyên tần số nghĩa là chu kỳ T bằng hằng số, hai điện trở R_A và R_B phải được điều chỉnh sao cho khi R_A tăng thì R_B giảm cùng một giá trị thay đổi. Lúc đó, trong mạch có hai biến trở VR_A và VR_B ghép nối tiếp như sơ đồ 7.6b nhưng hai biến trở được điều chỉnh ngược hướng.

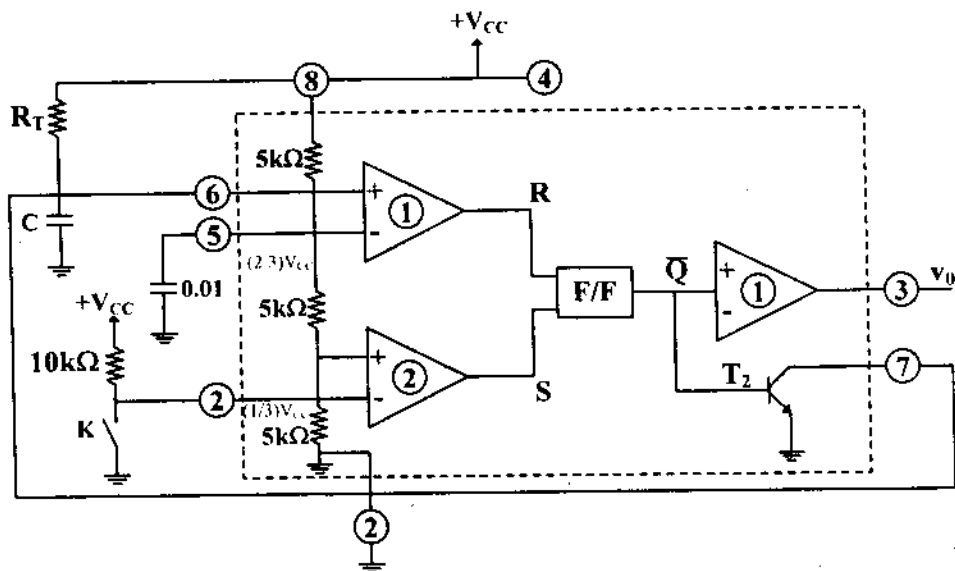
§7.4. MẠCH ĐA HÀI ĐƠN ỔN DÙNG 555

1. Mạch đa hài đơn ổn cơ bản

Để có thể phân tích nguyên lý của mạch đơn ổn một cách dễ hiểu, cần sử dụng hai sơ đồ hình 7.7 và 7.8. Sơ đồ hình 7.7 vẽ mạch áp dụng IC 555 làm mạch đơn ổn, sơ đồ hình 7.8 kết hợp với sơ đồ cấu trúc bên trong IC.



Hình 7.7: Mạch đơn ổn dùng IC 555



Hình 7.8: Mạch đơn ổn và sơ đồ cấu trúc của IC 555

Trong mạch này chân ngưỡng số 6 và chân xả điện số 7 được nối vào điểm chung của mạch định thì $R_T C$. Chân 2 nhận xung

kích được nối lên nguồn $+V_{CC}$ qua điện trở $10k\Omega$ sao cho chân này có điện áp lớn hơn $1/3V_{CC}$.

Đặc điểm của mạch đơn ổn là khi có xung âm hẹp tác động tức thời ở ngõ vào Trigger chân 2 mạch sẽ đổi trạng thái và tại ngõ ra chân 3 sẽ có xung dương ra. Độ rộng xung ở ngõ ra có thời gian ngắn tùy thuộc mạch định thì $R_T C$, sau đó mạch sẽ trở lại trạng thái ban đầu.

Nguyên lý mạch đơn ổn được giải thích như sau:

Khi mở điện, tụ C nối chân 7 và chân 7 xuống mass làm OP-AMP (1) có ngõ I_n^+ nhỏ hơn ngõ I_n^- nên ngõ ra $V_{O1} = 0V$, ngõ R ở mức thấp. Lúc đó, OP-AMP (2) có ngõ I_n^+ cũng nhỏ hơn ngõ I_n^- nên ngõ ra $V_{O2} = 0V$, ngõ S cũng ở mức thấp. Mạch F/F có hai ngõ R và S đều ở mức thấp và nhờ cấu trúc của mạch chi tiết nên F/F có ngõ ra $\overline{Q}$ ở mức cao, qua mạch đảo ngõ ra chân 3 sẽ có mức thấp gần $0V$. Khi $\overline{Q}$ ở mức cao tạo phân cực bão hòa cho T_2 , T_2 dẫn nối chân 7 xuống mass chân 6 cũng bị nối mass nên tụ C không nạp điện được mạch sẽ ổn định ở trạng thái này nếu không có tác động khác từ bên ngoài.

Khi đóng khóa K sẽ có xung âm kích vào chân Trigger số 2 làm OP-AMP (2) đổi trạng thái của ngõ S lên mức cao. Ngõ S cao điều khiển F/F đổi trạng thái làm ngõ $\overline{Q}$ xuống mức thấp, ngõ ra qua mạch đảo sẽ tăng lên mức cao và xung dương ra. Lúc đó, $\overline{Q}$ ở mức thấp nên T_2 ngưng dẫn để tụ C nạp điện qua R_T . Trong thời gian tụ C nạp điện mạch vẫn giữ trạng thái này nên ngõ ra tiếp tục ở mức cao.

Điện áp nạp trên tụ có trị số tăng theo hàm số mũ và khi điện áp đạt $2/3V_{CC}$ thì OP-AMP (1) đổi trạng thái, ngõ R tăng lên mức cao. Ngõ R có mức cao sẽ điều khiển F/F trở lại trạng thái cũ, ngõ $\overline{Q}$ lên mức cao sẽ làm ngõ ra mạch đảo sẽ xuống mức thấp chấm dứt xung dương ra. Đồng thời, lúc đó T_2 được phân cực bão hòa nên

chân 7 nối mass làm tụ C xả điện. Mạch sẽ ổn định ở trạng thái này cho đến khi có xung âm khác tác động vào chân Trigger (số 2).

Thời gian xung dương ra tức là thời gian nạp điện từ 0V lên $2/3 V_{CC}$ được tính như sau:

Điện áp nạp trên tụ tăng theo hàm số mũ:

$$V_C = V_{CC}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (\text{trong đó } \tau = R_T C)$$

Thời gian tụ nạp điện áp từ 0V nên $2/3 V_{CC}$ là t_x được tính:

$$V_C = V_{CC}(1 - e^{-\frac{t_x}{\tau}}) = \frac{2}{3} V_{CC}$$

$$\text{Suy ra:} \quad 1 - e^{-\frac{t_x}{\tau}} = \frac{2}{3} \quad \text{hay} \quad 1 - \frac{2}{3} = e^{-\frac{t_x}{\tau}}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{1}{3} = e^{-\frac{t_x}{\tau}} = \frac{1}{e^{\frac{t_x}{\tau}}}$$

$$\Rightarrow \quad e^{\frac{t_x}{\tau}} = 3$$

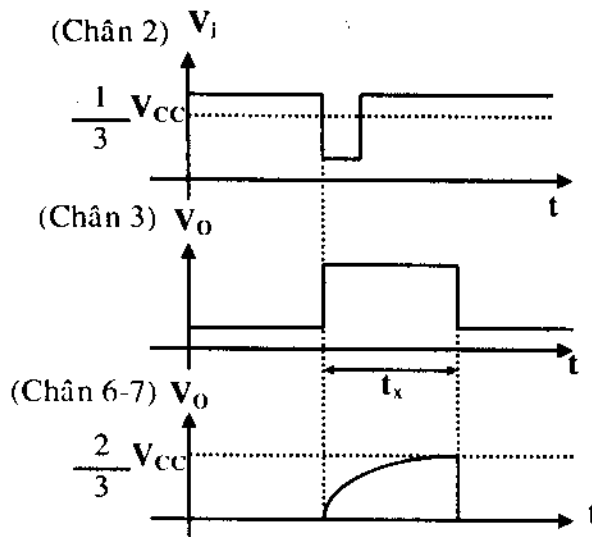
Cuối cùng ta có hàm số ngược của hàm số mũ là ln.

$$\text{Như vậy:} \quad t_x = \tau \cdot \ln 3 \quad (\ln 3 = 1,1)$$

$$t_x = 1,1 R_T C$$

2. Dạng sóng ra tại các chân

Hình 7.9 là dạng sóng tại các chân 2 (Trigger), chân 3 (Output) và chân 6-7 (Threshold - Discharge).



Hình 7.9: Dạng sóng ra

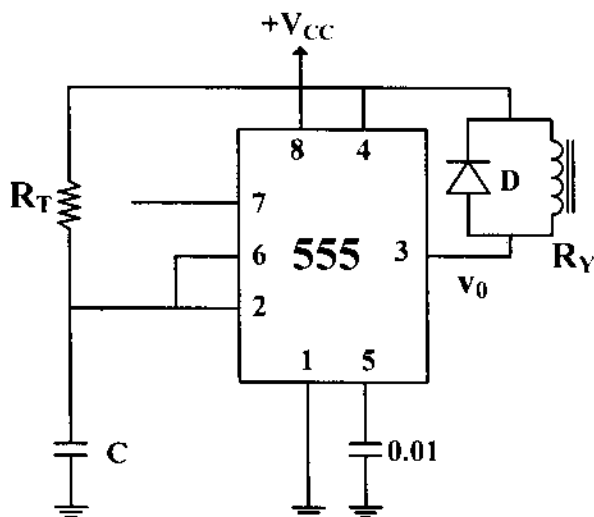
Bình thường chân 2 phải có điện áp lớn hơn $\frac{1}{3}V_{CC}$, khi có xung âm thì biên độ xung phải làm điện áp chân 2 nhỏ hơn $\frac{1}{3}V_{CC}$.

Khi vừa có xung âm ở chân 2 thì ngõ ra bắt đầu có xung dương và tụ C bắt đầu nạp điện. Thời gian xung dương ra t_x không tùy thuộc độ rộng xung âm ở ngõ vào mà chỉ phụ thuộc hằng số thời gian τ của mạch định thì. Nếu dùng biến trở V_R thay cho R_T ta có thể thay đổi độ rộng xung ra, cách khác thay đổi tụ C bằng các điện dung có trị số khác nhau.

3. Mạch trì hoãn dùng kiểu đơn ổn

Mạch đơn ổn được ứng dụng rất rộng rãi trong lĩnh vực tự động điều khiển và đặc biệt là mạch trì hoãn. Trong thực tế người ta không cần tạo xung điều khiển cho vào chân số 2 (Trigger) mà mạch tự tạo xung khi có điện. Như vậy, khi mới mở điện ở ngõ ra cũng bắt đầu có xung ra.

Mạch điện hình 7.10 là sơ đồ mạch tự tạo xung khi mở điện. Trong sơ đồ chân số 2 (Trigger) được nối đến chân số 6 (Threshold = thêm) nên sẽ có chung điện áp giữa các mạch nạp $R_T C$ để so với hai điện áp chuẩn trong IC là $1/3V_{CC}$ và $2/3V_{CC}$.



Hình 7.10: Mạch trì hoãn đơn ổn

Khi mở điện tụ C bắt đầu nạp từ $0V$ lên nên OP-AMP (2) có ngõ I_n^+ lớn hơn ngõ I_n^- nên ngõ ra V_{O2} ở mức cao, ngõ S cũng ở mức cao, mạch F/F có ngõ $\overline{Q}$ ở mức thấp và ngõ ra của IC có $V_O \equiv V_{CC}$ có nghĩa là tức thời có xung ra. Lúc đó OP-AMP (1) có ngõ I_n^+ nhỏ hơn ngõ I_n^- nên ngõ ra V_{O1} ở mức thấp, ngõ R cũng ở mức thấp.

Khi tụ điện nạp điện áp đến mức $1/3V_{CC}$ thì OP-AMP (2) đổi trạng thái, ngõ S xuống mức thấp nhưng mạch F/F vẫn giữ nguyên trạng thái và xung vẫn đang còn ở ngõ ra.

Khi tụ điện nạp điện áp đến $2/3V_{CC}$ thì OP-AMP (1) đổi trạng thái, ngõ R lên mức cao làm mạch F/F cũng đổi trạng thái ngõ $\overline{Q}$ tăng lên mức cao làm ngõ ra của IC giảm xuống mức thấp $V_O = 0V$ và chấm dứt xung ở ngõ ra.

Thời gian có xung ra hay độ rộng xung chính là tụ C nạp từ 0V lên đến $2/3V_{CC}$ và cũng được tính theo công thức:

$$t_x = 1,1R_TC$$

Trong mạch này chân 7 (Discharge = xả điện) để trống, không nối vào mạch nạp R_TC nên tụ không xả điện và mạch sẽ giữ mãi trạng thái này. Muốn có xung ra tiếp thì phải tắt điện rồi mở lại.

Trị số điện trở R_T và tụ C được giới hạn trong khoảng:

$$R_T = 10k\Omega \div 14M\Omega$$

$$C = 100\text{ pF} \div 1000\mu\text{F}$$

Với các trị số trên của R_T và tụ C, mạch có thể cho ra các xung có độ rộng ngắn nhất khoảng vài micro giây đến vài giờ.

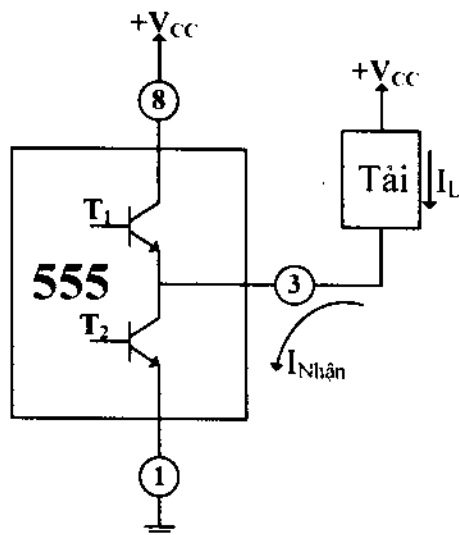
Như vậy, khi mở điện rơ-le RY không có điện do $V_O \cong V_{CC}$, sau khi chấm dứt xung tức là sau thời gian t_x thì rơ-le RY có điện vì $V_O \cong 0V$. Khi rơ-le có điện sẽ đóng hay mở các tiếp điểm để điều khiển mạch khác thường là mạch công suất.

Thật ra IC 555 và họ IC định thì của nó có ứng dụng rất đa dạng, trong chương này chỉ giới thiệu hai ứng dụng cơ bản nhất của nó là mạch đa hài phi ổn và đa hài đơn ổn.

§7.5. IC 555 GIAO TIẾP VỚI CÁC LOẠI TẢI

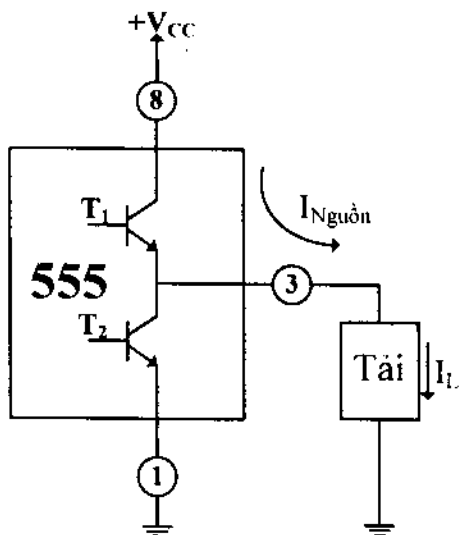
IC 555 có thể giao tiếp với nhiều loại tải khác nhau và tùy trường hợp mỗi loại tải đều có thể mắc theo hai cách:

- Tải được cấp điện khi ngõ ra có điện áp thấp. Lúc đó IC sẽ nhận dòng điện tải theo chiều từ nguồn qua tải rồi vào IC. Dòng điện tải trường hợp này gọi là I nhận.



Hình 7.11a: Điện áp ra mức thấp

- Tải được cấp điện khi ngõ ra có điện áp cao. Lúc đó IC sẽ cấp dòng điện cho tải theo chiều từ nguồn qua IC rồi qua tải. Dòng điện tải trường hợp này gọi là $I_{\text{nguồn}}$.



Hình 7.11b: Điện áp ra mức cao

Khả năng cấp dòng điện và điện áp của IC 555 như sau:

1) Điện áp ra ở mức thấp

Với $V_{CC} = 15V$. Điện áp V_O chính là V_{CE2} khi T_2 bão hòa:

$$I_L = 10mA \quad \Rightarrow \quad V_O = 0,1V$$

$$I_L = 50mA \quad \Rightarrow \quad V_O = 0,4V$$

$$I_L = 100mA \quad \Rightarrow \quad V_O = 2V$$

$$I_L = 200mA \quad \Rightarrow \quad V_O = 2,5V$$

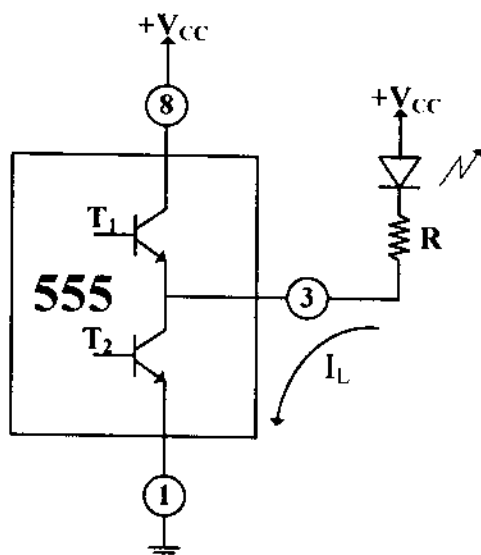
2) Điện áp ra ở mức cao

Với $V_{CC} = 15V$. Điện áp V_O chính là $V_{CC} - V_{CE1}$ khi T_1 bão hòa:

$$I_L = 100mA \quad \Rightarrow \quad V_O = 13,3V \quad \Rightarrow \quad V_{CE1} = 1,7V$$

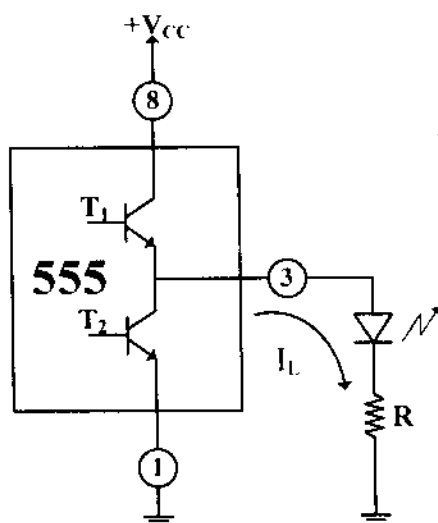
$$I_L = 200mA \quad \Rightarrow \quad V_O = 12,5V \quad \Rightarrow \quad V_{CE1} = 2,5V$$

3) Tải là Led



Hình 7.12a: Điện áp ra mức thấp, $I_L = \frac{V_{CC} - (V_{Led} + V_{CE2})}{R}$

Nếu tải là Led thì phải dùng điện trở ghép nối tiếp với Led để giới hạn dòng qua Led. Tùy theo cách mắc tải mà dòng điện qua Led có công thức tính khác nhau.

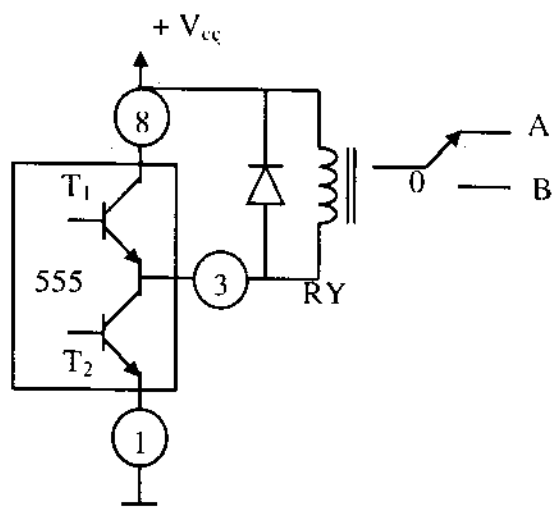


Hình 7.12b :Điện áp ra mức cao, $I_L = \frac{V_{CC} - (V_{Led} + V_{CE1})}{R}$

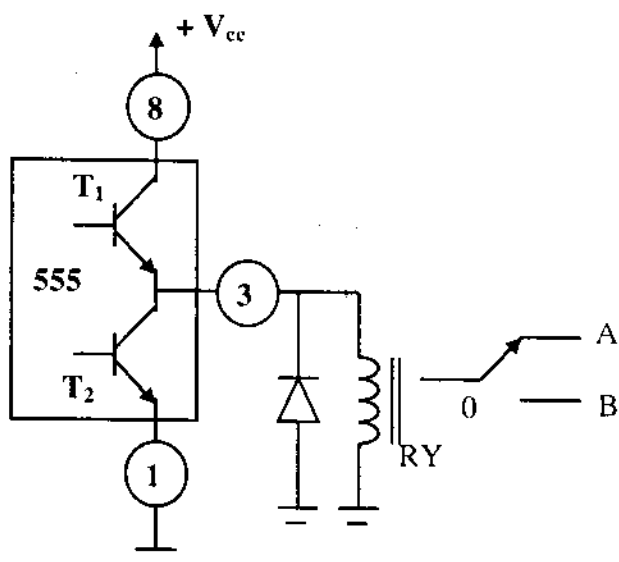
4) Tải là rơ-le

IC 555 có thể giao tiếp với các loại rơ-le điều khiển. Các loại rơ-le này có dòng thường nhỏ dưới 100mA và điện áp cũng thường ở mức thấp như 6V - 12V - 24V.

Trong mạch tải rơ-le có diod D ghép song song để nối tắt điện áp ngược do cuộn dây của rơ-le tạo ra khi bị mất điện đột ngột. Tiếp điểm OA hay OB của rơ-le dùng để điều khiển các mạch công suất lớn.



Hình 7.13a: Điện áp ra mức thấp



Hình 7.13b: Điện áp ra mức cao

CHƯƠNG 8

MẠCH DAO ĐỘNG TÍCH THOÁT DÙNG UJT

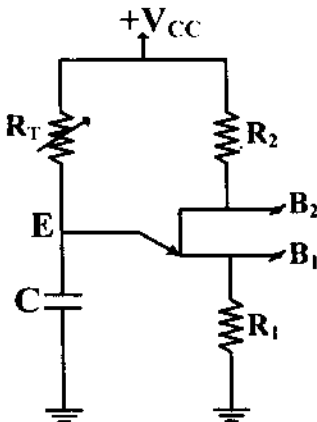
§8.1. ĐẠI CƯƠNG

Trong lĩnh vực điện tử công nghiệp và đặc biệt trong các mạch điều khiển động cơ, transistor đơn nối được sử dụng rộng rãi vì nó có tính chất đặc biệt ở vùng điện trở âm. Nhờ đặc tính này, UJT thường được dùng làm mạch tạo xung kích cho các linh kiện bán dẫn công suất như SCR hay triac. Mạch tạo xung dùng UJT cơ bản là mạch dao động tích thoát.

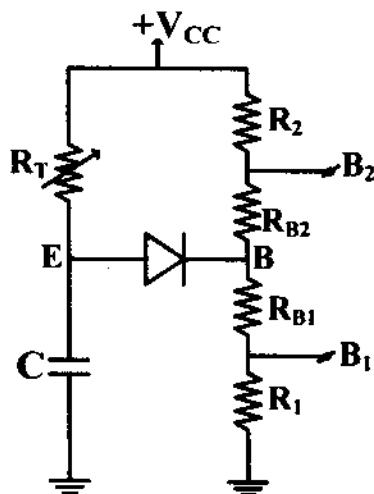
Giáo trình này chỉ giới thiệu UJT trong kỹ thuật xung, không nói về cấu tạo, nguyên lý, đặc tính kỹ thuật của UJT. Các phần này đã được giới thiệu trong giáo trình “Linh kiện điện tử” của cùng tác giả. Độc giả cần xem lại giáo trình trên trước khi xem chương này.

§8.2. MẠCH DAO ĐỘNG TÍCH THOÁT CƠ BẢN

1) Sơ đồ, mạch tương đương



Hình 8.1: Mạch dao động tích thoát



Hình 8.2: Mạch tương đương

Mạch điện hình 8.1 là sơ đồ mạch dao động tích thoát cơ bản, trong đó điện trở R_1 - R_2 để nhận tín hiệu xung ra (R_2 còn có tác dụng ổn định nhiệt cho điện áp đỉnh V_P). Tụ điện C và điện trở R_T là mạch nạp để tạo điện áp tăng dần cho cực E. Khi thay đổi điện trở R_T là thay đổi hằng số thời gian nạp xả của tụ. Sơ đồ hình 8.2 là mạch tương đương của mạch dao động tích thoát, trong đó, UJT được đổi ra mạch tương đương gồm ba linh kiện cơ bản là R_{B1} - R_{B2} và diod EB.

2) Nguyên lý

UJT có thông số kỹ thuật đặc trưng:

- Điện trở liên nền $R_{BB} = R_{B1} + R_{B2} = \text{vài k}\Omega \div 10 \text{ k}\Omega$

- Tỷ số điện trở $\eta = \frac{R_{B1}}{R_{BB}} = 0,5 \div 0,8$

Điện trở R_1 - R_2 được chọn có trị số rất nhỏ sao cho:

$$R_1 \text{ và } R_2 \ll R_{BB}$$

Như vậy, điện trở R_1 và R_2 sẽ không làm ảnh hưởng đến dòng điện liên nền I_{BB} .

Dòng điện liên nền được tính theo công thức:

$$I_{BB} \approx \frac{V_{CC}}{R_{BB}}$$

Điện áp điểm B trong UJT được tính theo công thức:

$$V_B \approx V_{CC} \frac{R_{B1}}{R_{BB}} = \eta \cdot V_{CC}$$

Khi mới mở điện thì tụ C coi như nối tắt nên $V_E = 0V$. Lúc đó, diod EB bị phân cực ngược nên không dẫn. Trong UJT chỉ có dòng điện liên nền I_{BB} .

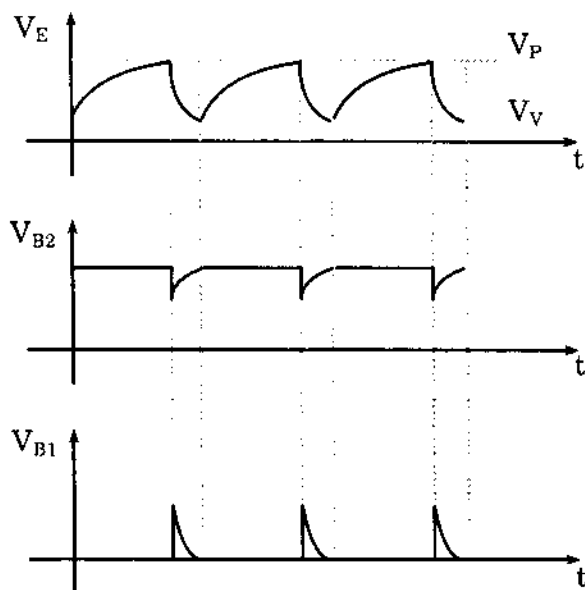
Khi tụ C nạp qua điện trở R_T , làm điện áp V_E tăng lên đến trị số điện áp đỉnh V_P thì diod EB sẽ dẫn điện, với trị số điện áp đỉnh:

$$V_P = V_B + V_{EB} = V_B + 0,6V = \eta \cdot V_{CC} + 0,6V$$

Khi diod EB dẫn điện, lỗ trống từ cực E đổ sang thanh bán dẫn làm R_{B1} giảm trị số nên điện áp V_B giảm. Như vậy, điện áp phân cực cho diod EB tăng cao, diod dẫn mạnh và tụ C xả điện qua diod EB, qua điện trở R_{B1} và R_1 xuống mass.

Khi điện trở R_{B1} giảm trị số, dòng điện qua R_2 tăng lên nên tạo sụt áp và cực B_2 có xung âm ra. Đồng thời, dòng điện qua R_{B1} và R_1 là I_{BB} và I_E do tụ xả có trị số lớn nên điện áp cực B_1 tăng cao cho ra xung dương.

Hình 8.3 cho thấy dạng sóng ở các cực E, B_2 và B_1 .



Hình 8.3: Dạng sóng ở các chân

Khi tụ xả điện từ điện áp V_P xuống trị số V_V thì diod EB ngưng dẫn và ở hai cực B không còn xung ra. Xung ra ở hai cực B có dạng xung nhọn âm và dương.

Sau khi tụ xả xong thì điện áp các chân trở lại bình thường và tụ C lại nạp điện qua R. Hiện tượng trên lại được tiếp diễn.

3) Tần số của mạch dao động tích thoát

Khi vừa mới đóng điện, tụ sẽ nạp điện từ 0V lên đến V_P , rồi sau đó tụ xả điện đến mức V_V . Những lần nạp sau tụ đều nạp từ điện áp V_V lên đến V_P rồi lại xả từ điện áp V_P giảm đến V_V . Thời gian nạp và xả điện của tụ được tính giữa hai điện áp này.

Tụ C nạp điện làm điện áp tăng theo công thức:

$$V_C = V_{CC} + (V_{CC} - V_V)(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

$$V_C = V_{CC} - (V_{CC} - V_V) e^{-\frac{t_1}{RC}}$$

Thời gian để tụ nạp từ V_V lên V_P là t_1 : (khi đó $V_C = V_P$)

$$V_P = V_{CC} - (V_{CC} - V_V) e^{-\frac{t_1}{RC}}$$

$$(V_{CC} - V_V) e^{-\frac{t_1}{RC}} = V_{CC} - V_P$$

$$e^{-\frac{t_1}{RC}} = \frac{V_{CC} - V_P}{V_{CC} - V_V}$$

Suy ra:
$$e^{-\frac{t_1}{RC}} = \frac{V_{CC} - V_V}{V_{CC} - V_P}$$

Do hàm số ngược của hàm số mũ là hàm logarit nên ta có:

$$t_1 = RC \ln \frac{V_{CC} - V_V}{V_{CC} - V_P}$$

Tụ C xả điện làm điện áp giảm theo công thức:

$$V_C = V_P \cdot e^{-\frac{t}{(R_{B1} + R_1) \cdot C}}$$

Thời gian để tụ xả từ V_P xuống V_V là t_2 : (khi đó $V_C = V_V$)

$$V_V = V_P \cdot e^{-\frac{t_2}{(R_{B1} + R_1) \cdot C}}$$

Tương tự cách giải trên ta có:

$$t_2 = (R_{B1} + R_1) \cdot C \cdot \ln \frac{V_P}{V_V}$$

Lưu ý: điện trở R_{B1} trong công thức tính t_2 có trị số nhỏ, ứng với trạng thái UJT có dòng I_E đi qua diod EB, trị số này nhỏ hơn điện trở R_{B1} (khi $V_E = 0V$) khoảng vài chục đến một trăm lần.

Chu kỳ dao động:

$$T = t_{\text{nap}} + t_{\text{xả}} = t_1 + t_2$$

Trong trường hợp $(R_{B1} + R_1)$ có trị số nhỏ thì có thể coi như $T \approx t_1$, đồng thời do $V_V \ll V_{CC}$ và $V_P \approx \eta \cdot V_{CC}$ nên chu kỳ T có thể tính theo công thức gần đúng:

$$T = RC \ln \frac{1}{1 - \eta}$$

Tần số dao động:
$$f = \frac{1}{R_f C \ln \frac{1}{1 - \eta}}$$

4) Phương trình đường tải

Trong mạch dao động tích thoát, trị số điện trở R của mạch nạp RC có ý nghĩa quan trọng, nếu R quá lớn hay quá nhỏ mạch có thể không hoạt động đúng theo nguyên lý mạch tích thoát được.

Nếu điện trở R có trị số quá lớn, khi tụ nạp đến điện áp V_P , mà dòng điện qua R ở thời điểm này nhỏ hơn I_P thì mạch RC không kích UJT được.

Như vậy, phải có:
$$R < \frac{V_{CC} - V_P}{I_P}$$

Nếu điện trở R có trị số quá nhỏ, khi tụ xả xuống đến điện thế V_V , mà dòng điện đi qua R ở thời điểm này lớn hơn I_V thì UJT sẽ không ngưng được.

Như vậy, phải có:
$$R > \frac{V_{CC} - V_V}{I_V}$$

Phương trình đường tải:
$$\frac{V_{CC} - V_V}{I_V} < R < \frac{V_{CC} - V_P}{I_P}$$

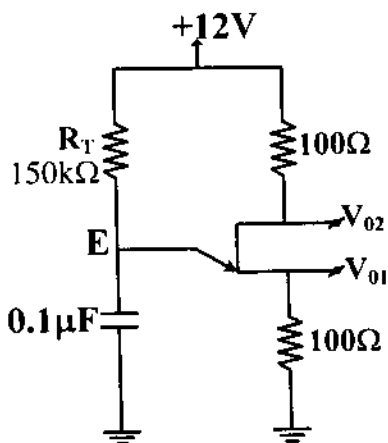
Thông thường: $R = 1k\Omega \div 1M\Omega$

$C = 100pF \div 100\mu F$

§8.3. ỨNG DỤNG

1) Thiết kế mạch dao động tích thoát dùng UJT theo các thông số sau: $V_{CC} = 12V$, $R_{BB} = 10k\Omega$, $\eta = 0,5$; $V_V = 2V$, $I_V = 2mA$, $I_P = 20\mu A$ và tần số dao động $f = 100Hz$.

Giải:



Hình 8.4: Mạch thiết kế

Đầu tiên chọn trị số điện trở $R_1 = 100\Omega$ để có:

$$R_1 = R_2 \ll R_{BB}$$

Tính điện áp điểm B trong UJT:

$$V_B = \eta \cdot V_{CC} = 0,5 \cdot 12V = 6V$$

Suy ra, điện áp đỉnh V_P :

$$V_P = V_B + 0,6V = 6V + 0,6V = 6,6V$$

Phương trình đường tải:

$$\frac{V_{CC} - V_V}{I_V} \leq R_T \leq \frac{V_{CC} - V_P}{I_P}$$

$$\Rightarrow \frac{12 - 2}{2 \cdot 10^{-3}} \leq R_T \leq \frac{12 - 0,6}{2 \cdot 10^{-6}}$$

$$\Rightarrow 3\text{k}\Omega < R_T < 270\text{ k}\Omega$$

Chọn trị số điện trở R_T ở khoảng giữa của giới hạn theo phương trình đường tải. Chọn $R_T = 150\text{ k}\Omega$.

Tính trị số tụ C theo công thức tính tần số dao động:

$$f = \frac{1}{R_T C' \ln \frac{1}{1-\eta}} \quad (\text{với } \eta = 0,5)$$

Suy ra:
$$f = \frac{1}{R_T C' \ln \frac{1}{1-0,5}}$$

$$f = \frac{1}{R_T C' \ln 2} = \frac{1}{0,69 \cdot R_T C'}$$

$$C' = \frac{1}{0,69 \cdot R_T \cdot f} = \frac{1}{0,69 \cdot 150 \cdot 10^3 \cdot 100} \cong 0,1\mu\text{F}$$

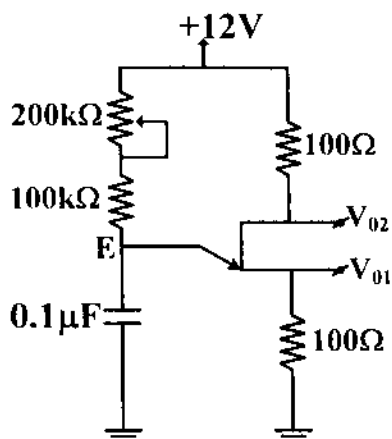
2) Thiết kế mạch dao động tích thoát dùng UJT theo các thông số trên, nhưng tần số f thay đổi được trong khoảng 50Hz đến 150 Hz.

Giải:

Ta có: $f_{\min} = 50\text{Hz}$ và $f_{\max} = 150\text{ Hz}$

Tần số trung bình:
$$\bar{f} = \frac{f_{\min} + f_{\max}}{2}$$

$$\bar{f} = \frac{50 + 150}{2} = 100\text{Hz}$$



Hình 8-5: Mạch tích thoát thay đổi tần số

Giả thiết mạch dao động có tần số không đổi là tần số trung bình $\bar{f} = 100\text{Hz}$. Như vậy, bài toán đã được đổi lại giống như bài áp dụng 1 và có cách giải tương tự.

Ta cũng sẽ có: $R_1 = R_2 = 100\Omega$

$$R_T = 150\text{k}\Omega$$

$$C = 0,1\mu\text{F}$$

Để có thể đổi tần số trong khoảng $f_{\min}$ đến $f_{\max}$, mạch thiết kế được chọn như hình 8.5. Trong mạch này điện trở R_T gồm có R và biến trở VR . Do R_T và f tỉ lệ nghịch nhau nên khi có $f_{\min}$ thì $R_{T\max}$ và ngược lại.

$$\text{Ta có: } f = \frac{1}{0,69 \cdot R_T \cdot C} \Rightarrow R_T = \frac{1}{0,69 \cdot f \cdot C}$$

$$\text{Suy ra: } R_{T\max} = \frac{1}{0,69 \cdot f_{\min} \cdot C}$$

$$= \frac{1}{0,69 \cdot 50 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}}$$

$$\Rightarrow R_{Tmax} = 300k\Omega$$

và $R_{Tmax} = V_R + R$

$$R_{Tmin} = \frac{1}{0,6 \cdot f_{max} \cdot C} = \frac{1}{0,69 \cdot 150 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}}$$

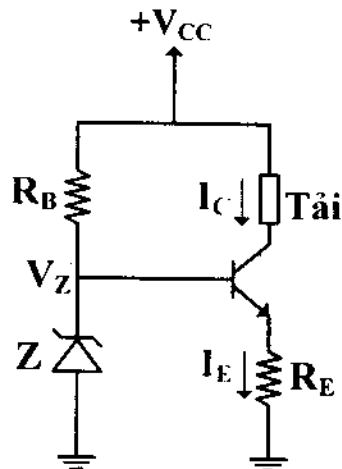
$$\Rightarrow R_{Tmin} = 100 k\Omega$$

và $R_{Tmin} = R = 100k\Omega$

Suy ra: $V_R = R_{Tmax} - R_{Tmin} = 300k\Omega - 100k\Omega = 200k\Omega$

§8.4. MẠCH DAO ĐỘNG TÍCH THOÁT NẠP BẰNG NGUỒN DÒNG

1) Mạch ổn dòng cơ bản



Hình 8-6: Mạch ổn dòng cơ bản

Trong sơ đồ hình 8.6, transistor được phân cực cho cực B nhờ cầu phân áp ổn định bởi diod Zener.

Ta có: $V_B = V_Z = \text{hằng số}$

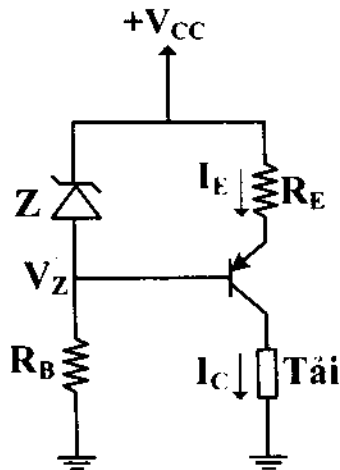
Suy ra: $V_E = V - V_{BE} = V_Z - 0,6V = \text{hằng số}$

Như vậy, với điện trở R_E có trị số cụ thể, dòng điện I_E :

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \text{hằng số}$$

Dòng điện qua tải là $I_C \simeq I_E$ nên dòng điện qua tải sẽ có trị số ổn định mà không tùy thuộc nguồn và không tùy thuộc trị số điện trở tải trong một giới hạn cho phép.

Muốn đổi trị số dòng điện tải, người ta chỉ cần thay đổi điện trở R_E hay thay đổi điện áp phân cực ổn định cho cực B.



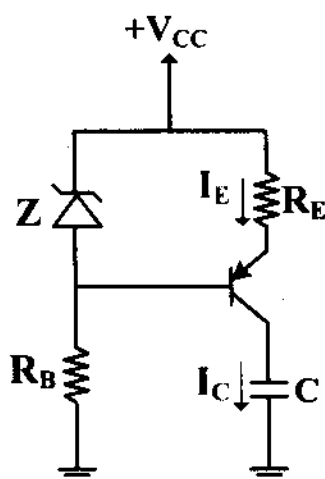
Hình 8-7: Mạch ổn dòng dùng transistor PNP

Trường hợp dùng transistor PNP, mạch dòng có thể thay đổi lại theo sơ đồ hình 8.7. Dòng điện tải I_C vẫn được giữ ổn định theo công thức:

$$I_E = \frac{V_{CC} - V_E}{R_E}$$

hay

$$I_E = \frac{V_Z - V_{BE}}{R_E} \quad (\text{hằng số})$$



Hình 8-8: Tải là tụ điện C

Trong nhiều trường hợp, để tạo dòng điện ổn định nạp vào các bộ nguồn hay nạp vào tụ C, người ta cũng có thể tạo dòng điện nạp vào tụ C chính là I_C và vẫn được tính theo công thức:

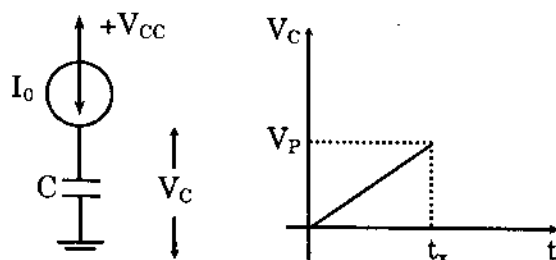
$$I_C = I_E = \frac{V_Z - V_{BE}}{R_E} = \text{hằng số}$$

Để thay đổi dòng nạp vào tụ C người ta có thể thay đổi điện trở R_E hay thay đổi điện áp phân cực cho cực B, nói cách khác là thay đổi điện áp V_Z .

2) Mạch tạo tín hiệu hình tam giác

Mạch dao động tích thoát UJT cho ra dạng sóng răng cưa, nhưng dốc lên không thẳng mà tăng theo hàm số mũ. Muốn dốc lên

thẳng, ta phải cho tụ C nạp bằng nguồn dòng điện ổn định. Sơ đồ hình 8-9 cho thấy nguyên lý mạch nạp cho tụ C bằng nguồn ổn dòng và điện áp trên tụ C theo thời gian.



Hình 8-9

Sự tăng trưởng điện áp trên tụ C được tính theo công thức:

$$v_c(t) = \frac{1}{C} \int_0^t I_0 dt$$

Suy ra:
$$v_o(t) = \frac{I_0}{C} t \Rightarrow v_o(t) \text{ là hàm bậc nhất}$$

Để đạt được điện áp V_P thì thời gian t_x sẽ được tính theo công thức:

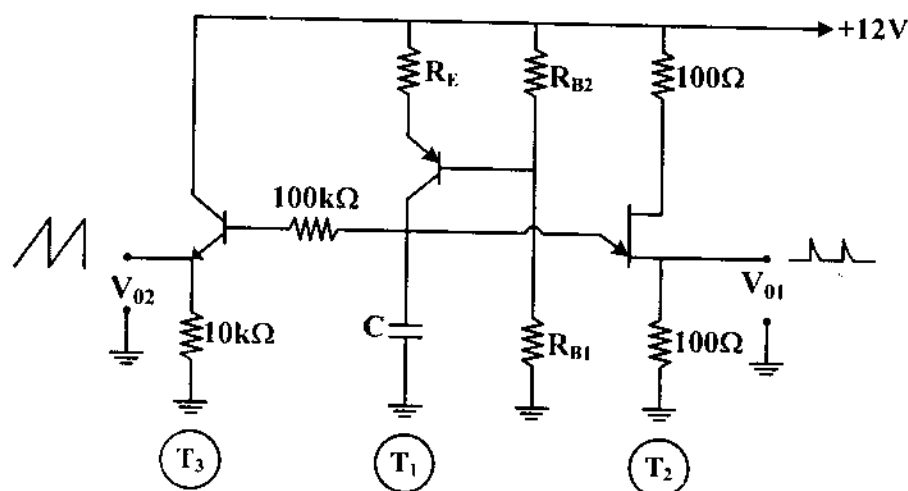
$$V_P = \frac{I_0}{C} t_x \quad \text{hay} \quad t_x = V_P \cdot \frac{C}{I_0}$$

Thời gian nạp t_x tỉ lệ nghịch với dòng I_0 .

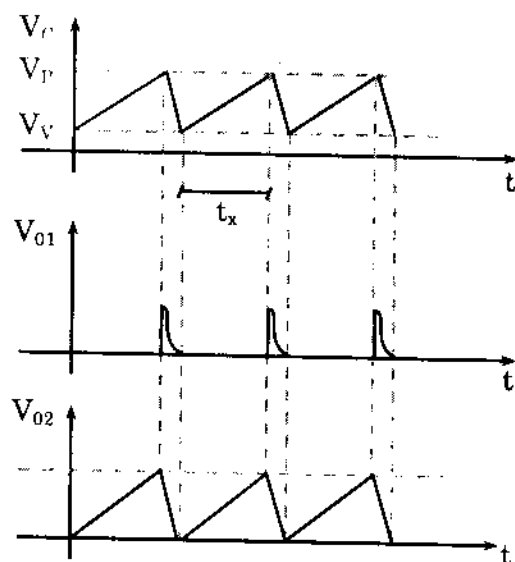
Mạch điện hình 8.10 là sơ đồ mạch tạo tín hiệu hình tam giác dùng mạch dao động tích thoát có tụ C được nạp bằng mạch ổn dòng.

Trong sơ đồ, transistor T_1 là mạch ổn dòng được phân cực ổn định nhờ cầu phân áp R_{B1} - R_{B2} (thay cho diod Zener Z). Dòng I_{E1} hay I_{C1} nạp vào tụ C làm điện áp V_C tăng theo hàm bậc nhất và

điện áp này dùng để phân cực cho cực E của T_2 . Transistor T_2 là mạch dao động tích thoát, nên khi V_E đạt trị số điện áp đỉnh V_P thì trong điện trở liên nên có hiện tượng tái hợp làm giảm nhỏ điện trở và tụ C xả nhanh cho ra xung nhọn ở ngõ ra 1 (V_{01}).



Hình 8-10: Mạch tạo tín hiệu hình tam giác



Hình 8.11: Dạng sóng ở các chân

Khi điện áp V_C giảm đến mức điện áp thung lũng V_V thì chấm dứt hiện tượng tái hợp và tụ C lại nạp tiếp từ V_V lên V_P .

Thời gian nạp t'_x bây giờ được tính theo công thức:

$$t'_x = (V_P - V_V) \frac{C}{I_0}$$

Transistor T_3 là mạch khuếch đại đệm để cách ly tổng trở giữa tải và tụ C , tránh trường hợp tải ghép song song tụ C sẽ làm dạng xung tam giác trên tụ C mất tuyến tính.

Trong mạch này, để thay đổi tần số xung nhọn hay xung tam giác, người ta có thể thay đổi trị số các điện trở R_{B1} - R_{B2} hay R_E đều có tác dụng thay đổi dòng nạp vào tụ C , sẽ làm thay đổi thời gian nạp t_x , tức là thay đổi chu kỳ T của tín hiệu.

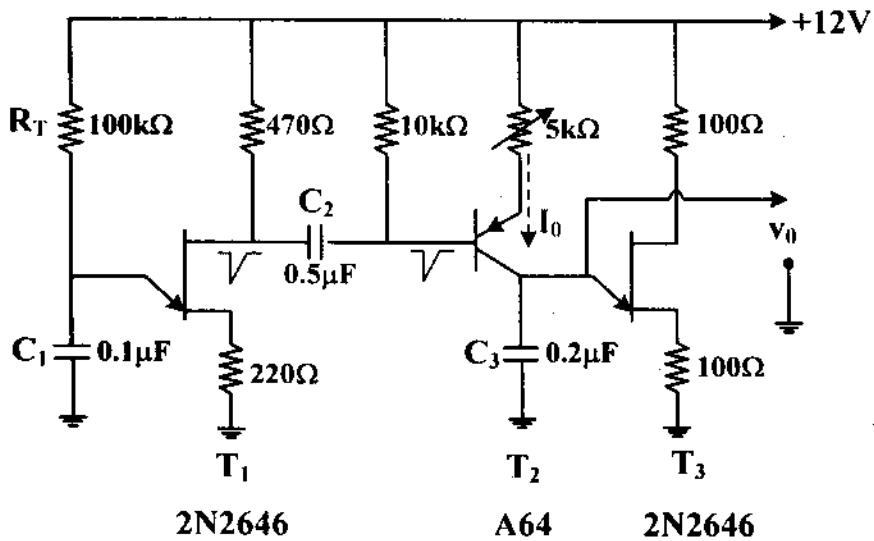
§8.5. MẠCH TẠO TÍN HIỆU HÌNH NẮC THANG

Tín hiệu hình nấc thang có dạng sóng như hình 8.13, là loại tín hiệu gồm các nấc điện áp lên cao dần, rồi sụp xuống mức thấp nhất để rồi từng nấc đi lên lại.

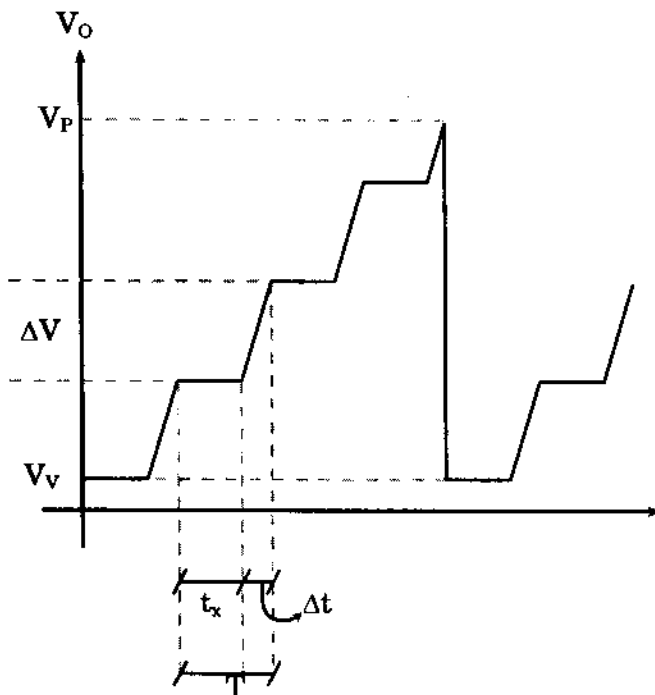
Mạch điện hình 8.12 là mạch tạo tín hiệu hình nấc thang gồm ba transistor trong đó T_1 là mạch dao động tích thoát tạo xung nhọn có chu kỳ $T \approx t_x$. Thời gian t_x là thời gian tụ C_1 nạp qua R_T để có điện áp tăng đến điện áp đỉnh V_P và cho ra xung nhọn âm ở ngõ ra.

Khi tụ C_1 nạp, T_2 ngưng dẫn nên tụ C_3 không nạp điện được. Khi có xung nhọn âm do T_1 cho ra, xung nhọn âm qua tụ C_2 làm V_{B2} giảm và T_2 được phân cực nên tụ C_3 nạp và tụ C_3 chỉ nạp được trong thời gian có xung âm Δt , nên điện áp trên C_3 chỉ tăng được mức ΔV với:

$$\Delta V = \frac{I_0}{C_3} \Delta t \quad (I_0 \text{ là dòng qua } T_2 \text{ nạp vào } C_3)$$



Hình 8-12: Mạch tạo tín hiệu hình nấc thang



Hình 8.13: Dạng sóng nấc thang

Mỗi lần có xung âm do T_1 cho ra thì tụ C_3 lại nạp thêm mức điện áp ΔV . Khi tụ C_3 nạp đến mức điện áp đỉnh V_P thì T_3 dẫn điện và tụ C_3 xả nhanh xuống mức điện áp thung lũng V_V .

Số nấc thang trong một xung được tính theo công thức:

$$n = \frac{V_P - V_V}{\Delta V}$$

Chu kỳ T_0 của tín hiệu hình nấc thang tùy thuộc transistor T_3 quyết định. Số nấc thang trong một chu kỳ do T_1 quyết định.

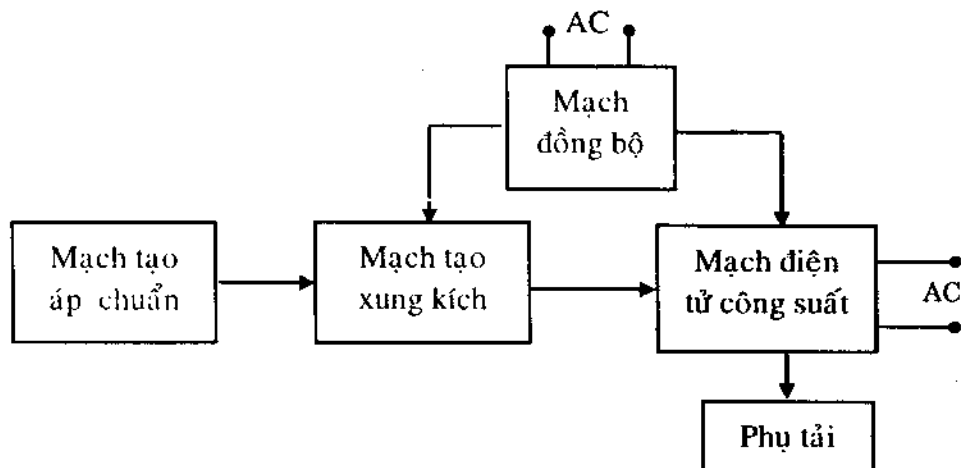
Ta có: $T \simeq t_x$ (chu kỳ do T_1 tạo ra)

$$T_0 = n.t_x$$

§8.6. DAO ĐỘNG TÍCH THOÁT TẠO XUNG ĐỒNG BỘ

1) Đại cương

Mạch dao động tích thoát cho ra xung nhọn để kích điều khiển SCR hay triac, làm thay đổi dòng điện xoay chiều cấp cho tải- dùng SCR khi cấp cho tải DC và dùng triac khi cấp cho tải AC.



Hình 8.14: Sơ đồ khối

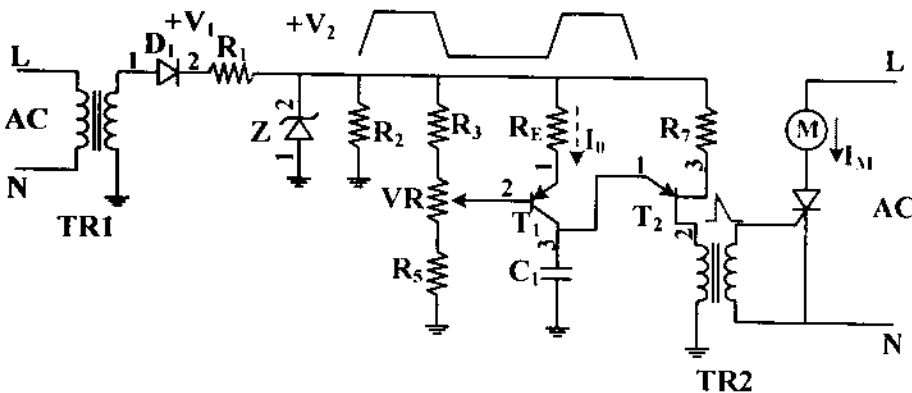
Để việc điều chỉnh dòng điện cấp cho tải tăng hay giảm theo xung kích điều khiển sớm hay trễ, đúng theo yêu cầu kỹ thuật, mạch tạo xung phải được điều khiển đồng bộ theo sơ đồ khối hình 8.14.

Trong sơ đồ 8.14, mạch tạo áp chuẩn điều khiển mạch tạo xung. Khi thay đổi mức điện áp chuẩn, sẽ làm thay đổi góc kích cho ra xung kích sớm hay trễ. Mạch tạo xung kích chính là mạch tạo dao động tích thoát dùng UJT, cho ra xung nhọn để kích cho cực G của SCR hay triac. Mạch điện tử công suất lấy nguồn AC của lưới điện qua các linh kiện điện tử công suất có điều khiển (SCR, triac) để cấp dòng cho phụ tải. Phụ tải có thể là điện trở (như lò sấy, đèn chiếu sáng...) hay là các loại động cơ DC, AC cần thay đổi tốc độ.

Mạch đồng bộ lấy nguồn AC của lưới, vừa cấp cho mạch tạo xung kích, vừa cấp cho mạch điện tử công suất, sao cho xung kích được tạo ra tương ứng với từng bán kỳ của dòng điện xoay chiều và có thời gian trễ giống nhau. Thời gian trễ được tính từ bắt đầu lúc bán kỳ cho tới lúc có xung kích.

2) Mạch đồng bộ điều khiển mạch nắn bán kỳ

a) Sơ đồ



Hình 8.15: Mạch dao động đồng bộ điều khiển mạch nắn bán kỳ

b) Nguyên lý

Biến áp TR1 giảm áp từ 220V ở sơ cấp xuống khoảng 48V ở thứ cấp. Điện áp ra ở thứ cấp thường phải khá cao so với điện áp của Zener Z. Thí dụ: Zener có $V_Z = 12V$ thì điện áp ra ở thứ cấp phải khoảng 48V trở lên.

Diod D là mạch nắn điện bán kỳ không lọc điện. Điện áp ra sau diod là những bán kỳ dương gián đoạn và dợn sóng ($+V_1$). Hai điện trở R_1, R_2 là cầu phân áp kết hợp diod Zener Z để làm nhiệm vụ cắt ngọn và giới hạn điện áp $+V_2$ ở mức điện áp V_Z . Điện áp $+V_2$ được xem là nguồn một chiều ổn áp, gián đoạn theo từng bán kỳ dương của nguồn xoay chiều. Điện áp $+V_2$ chính là nguồn điện đồng bộ cấp cho mạch dao động tạo xung kích. Transistor T_1 và T_2 là mạch tạo xung kích kiểu dao động tích thoát nạp ổn dòng.

T_1, T_2 được cấp nguồn $+V_2$ nên sẽ làm việc gián đoạn theo từng bán kỳ. Khi nguồn AC có bán kỳ dương thì T_1 dẫn điện nạp vào tụ C và T_2 cho ra xung kích với thời gian trễ được tính kể từ khi bắt đầu bán kỳ:

$$t_r = V_p \cdot \frac{C}{I_0} -$$

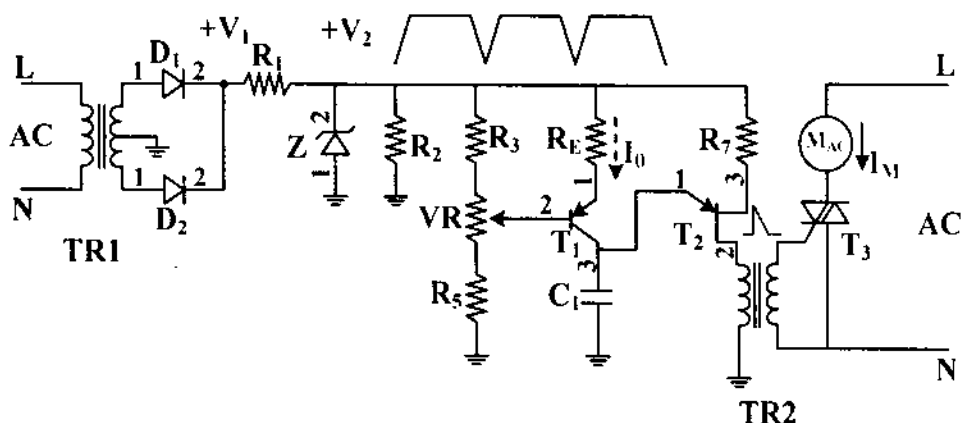
Biến áp TR2 là biến áp xung chuyển xung kích do T_2 tạo ra từ sơ cấp sang thứ cấp kích cho cực G của T_3 . T_3 là SCR công suất lớn để nắn điện điều khiển, cấp dòng một chiều qua động cơ DC.

Biến trở VR dùng để điều chỉnh phân cực cho T_1 , để thay đổi dòng I_0 nạp vào tụ C. Khi T_1 được tăng phân cực, dòng điện I_0 tăng sẽ làm tụ C nạp nhanh, cho ra xung kích sớm và ngược lại.

3) **Mạch động bộ điều khiển mạch nắn toàn kỳ**a) *Sơ đồ*

4) Mạch đồng bộ điều khiển triac

a) Sơ đồ



Hình 8.17: Mạch dao động đồng bộ điều khiển triac

b) Nguyên lý

Nếu tải là động cơ AC thì phải dùng triac để điều khiển dòng điện qua tải.

Xung kích do T_1 - T_2 tạo ra sẽ kích cho cực G của Triac có đặc tính dẫn điện được cả hai chiều nên mỗi bán kỳ dương hay âm của nguồn điện đều phải có xung kích cho cực G của triac. Xung kích cho ra sẽ đồng bộ với từng bán kỳ của lưới điện xoay chiều.

CHƯƠNG 9

MẠCH TẠO XUNG DÙNG CỔNG LOGIC

§9.1. ĐẠI CƯƠNG

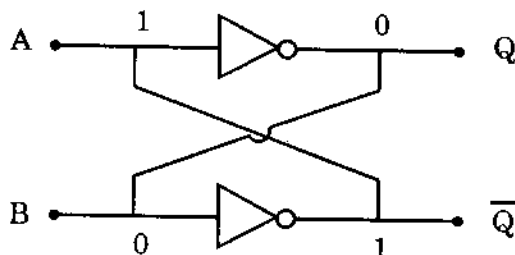
Sự ra đời của mạch tích hợp đánh dấu một bước ngoặt quan trọng trong sự phát triển của ngành chế tạo linh kiện điện tử. Đặc biệt, các mạch tích hợp số với chức năng đa dạng phong phú, chỉ với các cổng logic cơ bản như AND- OR- NAND- NOR - NOT, ... mạch tích hợp số được ứng dụng ngày càng rộng rãi trong các lĩnh vực ứng dụng của điện tử kỹ thuật, trong đó có kỹ thuật xung.

Rất nhiều mạch tạo xung trước đây dùng linh kiện bán dẫn rời như transistor, UJT ... đều có thể thay thế bằng các mạch tích hợp số.

Trong chương 7 đã giới thiệu IC định thời 555 ứng dụng trong kỹ thuật tạo xung. Trong chương này sẽ giới thiệu thêm các mạch tạo xung, chủ yếu là các mạch dao động đa hài, dùng các cổng logic cơ bản.

§9.2. MẠCH ĐA HÀI LƯƠNG ỔN

1) Mạch Flip-Flop



Hình 9.1: Flip-Flop cơ bản

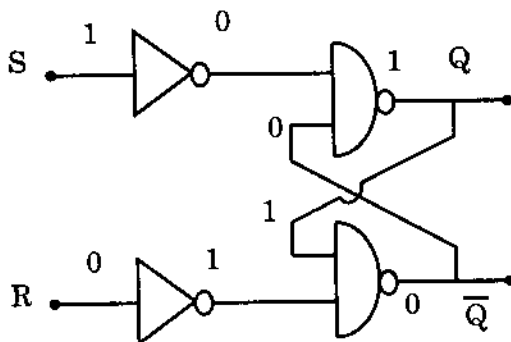
Để tạo mạch Flip-Flop cơ bản chỉ cần hai cổng NOT mắc chéo nhau như hình 9.1.

Khi được cấp điện, nếu ngõ ra $Q = 0$ thì ngõ vào $B = 0$ nên qua mạch đảo sẽ làm ngõ ra $\bar{Q} = 1$. Đường hồi tiếp của $\bar{Q}$ sẽ làm ngõ $Q = 1$ và $Q = 0$. Mạch sẽ ổn định ở trạng thái này. Mạch vẫn có thể ở trạng thái ngược lại là $Q = 1$ và $\bar{Q} = 0$ và cũng ổn định ở trạng thái đó.

Như vậy, mạch có hai trạng thái ổn định theo nguyên lý mạch đa hài lưỡng ổn.

Để có thể chọn trạng thái cho mạch, người ta có thể dùng các cổng NAND hay NOR và gọi là RS Flip-Flop.

2) Mạch RS Flip - Flop



Hình 9.2: RS Flip-Flop dùng cổng NAND

Để có thể điều khiển chọn trạng thái người ta dùng cổng NAND có hai ngõ vào, một ngõ nhận hồi tiếp và một ngõ để điều khiển.

Mạch F/F hình 9.2 dùng hai cổng NAND và hai cổng NOT (có thể dùng hai cổng NAND nối chung hai chân vào làm hai cổng NOT).

Hai ngõ vào được đặt tên là SET (S) và RESET (R). Ngõ S điều khiển cổng NAND có ngõ ra Q, ngõ R điều khiển cổng NAND có ngõ ra $\bar{Q}$.

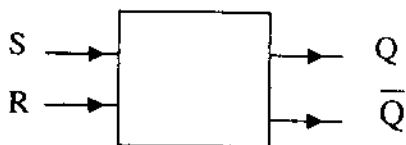
- Nếu $S = 1, R = 0$, ngõ ra $Q = 1, \bar{Q} = 0$ (như hình vẽ)

- Nếu $S = 0, R = 1$, ngõ ra $Q = 0, \bar{Q} = 1$ (ngược với hình vẽ)

Giả sử đang ở trạng thái $S = 1, R = 0$ và $Q = 1, \bar{Q} = 0$. Sau đó cho ngõ $S = 0$ thì mạch vẫn giữ nguyên trạng thái.

Tương tự cho trường hợp ngược lại, nếu đang ở trạng thái $S = 0, R = 1$ và $Q = 0, \bar{Q} = 1$, Sau đó, cho ngõ $R = 0$ thì mạch vẫn giữ nguyên trạng thái.

Tóm lại: khi ngõ SET có mức cao thì ngõ ra $Q = 1$ (mức cao) và khi ngõ RESET có mức cao thì ngõ ra $Q = 0$ (mức thấp). Hình 9.3a là ký hiệu, hình 9.3b là bảng sự thật của RS Flip-Flop.



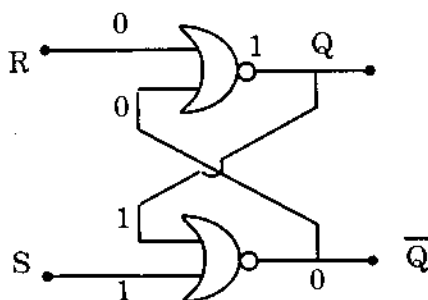
Hình 9.3a

S	R	Q	$\bar{Q}$
1	0	1	0
0	1	0	1
0	0	Không đổi	
1	1	Cấm	

Hình 9.3b

Mạch RS Flip-Flop có thể dùng 2 cổng NOR vẫn có nguyên lý như trên. Tuy nhiên, khi dùng cổng NOR thì ngõ S điều khiển

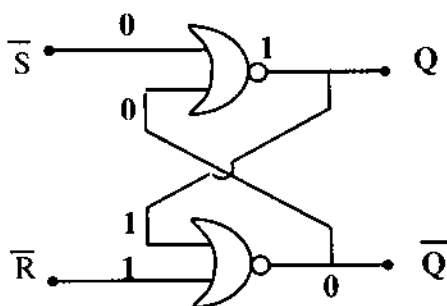
cổng NOR có ngõ ra $\bar{Q}$, ngõ R điều khiển cổng NOR có ngõ ra Q (hình 9.4a).



Hình 9.4a: Mạch RS Flip-Flop cổng NOR

Trong bảng sự thật hình 9.3b, trường hợp hai ngõ vào đều ở mức cao ($R = 1, S = 1$) thì cả hai ngõ ra cũng đều ở mức cao ($Q = 1, \bar{Q} = 1$). Vì mạch lưỡng ổn có hai ngõ ra phải ở trạng thái ngược nhau, trường hợp $Q = 1$ và $\bar{Q} = 1$ được gọi là trạng thái bất ổn hay là trạng thái cấm.

3) Mạch $\overline{RS}$ Flip - Flop



Hình 9.4b: Mạch RS Flip-Flop cổng NOR

Trong mạch RS Flip-Flop hình 9.2, nếu bỏ đi hai cổng NOT ở ngõ vào thì mạch vẫn có nguyên lý như mạch Flip-Flop nhưng

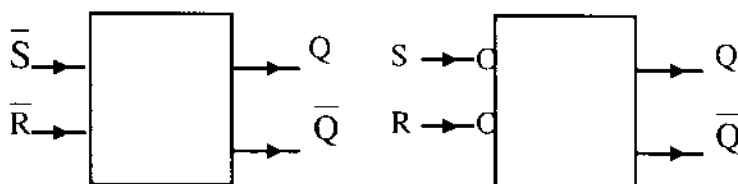
hoạt động ngược lại. Mạch điện hình 9.4b cho thấy nguyên lý của mạch Flip-Flop này.

Khi $\bar{S} = 0$ (hay $S = 1$) và $\bar{R} = 1$ (hay $R = 0$), ngõ ra $Q = 1$ và $\bar{Q} = 0$.

Khi $\bar{R} = 0$ (hay $R = 1$) và $\bar{S} = 1$ (hay $S = 0$), ngõ ra $Q = 0$ và $\bar{Q} = 1$.

Hai ngõ vào trong mạch này có trạng thái đảo với ngõ vào S và R trong mạch RS Flip-Flop, nên được gọi là $\bar{S}$ và $\bar{R}$. Mạch Flip-Flop này được gọi là mạch $\bar{R}\bar{S}$ Flip-Flop.

Hình 9.5a là ký hiệu, hình 9.5b là bảng sự thật của mạch $\bar{R}\bar{S}$ Flip-Flop.



Hình 9.5a: Hai ký hiệu của $\bar{R}\bar{S}$ Flip-Flop

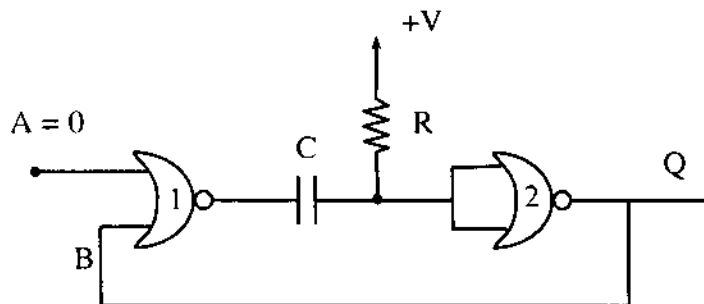
$\bar{S}$	$\bar{R}$	Q	$\bar{Q}$
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	Không đổi	
0	0	Cấm	

Hình 9.5b: Bảng sự thật

Theo bảng sự thật hình 9.5b, $\overline{RS}$ Flip-Flop cũng có trạng thái $\overline{S}=1$, $\overline{R}=1$, ngõ ra Q và $\overline{Q}$ có trạng thái không đổi. Trạng thái cấm trong mạch $\overline{RS}$ Flip-Flop là trạng thái $\overline{S}=0$, $\overline{R}=0$, vì theo lý luận logic thì lúc đó, hai ngõ ra đều ở mức cao $Q=1$, $\overline{Q}=1$. Trạng thái này ngược với nguyên lý mạch lưỡng ổn nên gọi là trạng thái cấm.

§9.3. MẠCH ĐA HÀI ĐƠN ỔN

Mạch đơn ổn dùng cổng NOR có sơ đồ như hình 9.6.



Hình 9.6: Đa hài đơn ổn

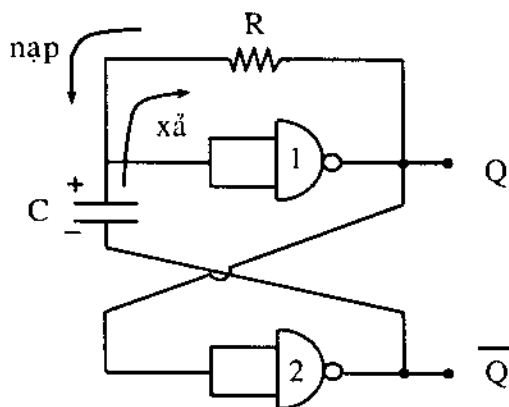
Khi mở điện, nếu ngõ $A = 0$, tức thời cổng NOR ② có ngõ vào cao nhờ điện trở R nối lên nguồn nên ngõ ra $Q = 0$. Ngõ Q đưa về cổng NOR ① mức thấp và nhờ ngõ $A = 0$ nên cổng NOR có ngõ ra $V_{O1} = 1$. Đây là trạng thái ổn định của mạch đơn ổn do tụ C không nạp điện được.

Khi có tín hiệu vào điều khiển ngõ A lên mức cao thì cổng NOR ① có $V_{O1} = 0$, làm cho tụ C nạp điện qua R , tức thời cổng NOR ② có $V_{O2} = Q = 1$ (do tụ bị nối tắt). Khi tụ nạp đầy (thực ra chỉ đến mức $V_{IH} \cong 2V$), cổng NOR ② có ngõ vào lên cao làm $V_{O2} = Q = 0$. Điện áp ra của Q đưa về cổng NOR ①. Lúc đó, ngõ A hết xung kích nên đã trở về 0, làm cổng NOR ① có ngõ ra $V_{O1} = 1$. Mạch trở lại trạng thái ổn định ban đầu.

§9.4. MẠCH ĐA HÀI PHI ỔN

Để thực hiện mạch đa hài phi ổn bằng cổng logic người ta có thể dùng nhiều cách khác nhau trên cơ sở hai mạch đảo mắc nối tiếp chéo nhau.

1) Dùng hai cổng NAND



Hình 9.7: Đa hài phi ổn

Hai cổng NAND, trong sơ đồ hình 9.7, có hai ngõ vào nối tắt nên có chức năng của mạch đảo. Việc chuyển đổi trạng thái của mạch được điều khiển nhờ tụ C nạp xả qua điện trở R.

Giả sử: cổng ① có $Q = 1$ và cổng ② có $\bar{Q} = 0$. Lúc đó, tụ C bắt đầu nạp qua điện trở R làm điện áp ngõ vào cổng ① tăng lên, và khi tăng lên đến ngưỡng cao ($\approx 1,6V + 2V$) thì cổng ① đổi trạng thái làm $Q = 0$ và cổng ② có $\bar{Q} = 1$.

Khi hai cổng đổi trạng thái thì tụ C vẫn đang còn nạp điện sẽ xả qua R, theo chiều như hình vẽ. Khi điện áp trên tụ giảm xuống dưới mức thấp (nhỏ hơn $0,8V$) thì hai cổng lại đổi trạng thái và $Q = 1$, $\bar{Q} = 0$.

Quá trình đổi trạng thái tiếp diễn liên tục. Chu kỳ của xung ra được tính theo công thức:

$$T = 2,3RC$$

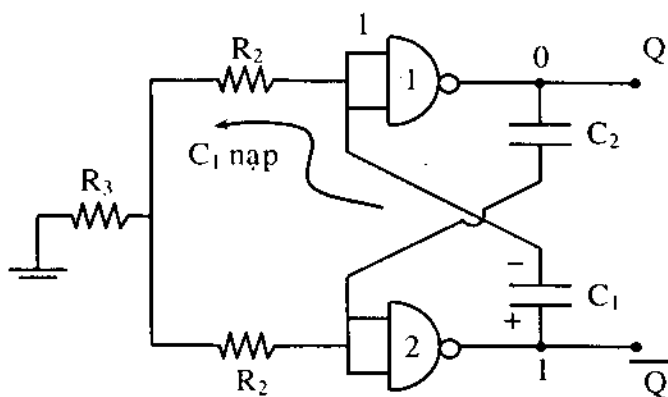
$$\text{Tần số xung ra: } f = \frac{1}{2,3.RC}$$

Điện trở R có trị số giới hạn trong khoảng $220\ \Omega$ đến $470\ \Omega$. Do điện trở R chỉ có trị số nhỏ nên mạch không thích hợp ở tần số thấp.

2) Mạch đa hài phi ổn đối xứng

Sơ đồ hình 9.8 là mạch đa hài phi ổn đối xứng dùng hai cổng NAND, nối hai ngõ vào như hai cổng NOT.

Hai tụ C là mạch hồi tiếp dương để tạo dao động.



Hình 9.8: Đa hài phi ổn đối xứng

Các điện trở $R_1 - R_2 - R_3$ được chọn để duy trì điện áp ở ngõ vào của hai cổng gần mức điện áp ngưỡng. Khi tụ điện nạp xả, điện áp ngõ vào dao động trên dưới mức điện áp ngưỡng làm điện áp ngõ ra dao động giữa hai mức 1 và 0.

Giả sử ngõ ra $Q = 0$, ngõ ra $\overline{Q} = 1$. Lúc đó, tụ C_1 nạp tạo dòng qua R_1 làm điện áp ngõ vào cổng 1 ở cao và mạch tạm ổn định ở trạng thái này. Khi tụ C_1 nạp đầy thì mất dòng qua R_1 nên ngõ vào cổng 1 ở mức 0 làm ngõ ra $Q = 1$. Lúc đó, tụ C_2 nạp điện qua R_2 , tạo dòng làm điện áp ngõ vào cổng 2 ở cao và ngõ ra $\overline{Q} = 0$. Khi $\overline{Q} = 0$ thì tụ C_1 sẽ xả điện qua R_1 theo chiều ngược lại, làm ngõ vào cổng 1 giữ ở mức thấp và mạch tạm ổn định ở trạng thái này.

Như vậy, khi tụ C_2 nạp qua R_2 làm $\overline{Q} = 0$ thì tụ C_1 xả qua R_1 làm $Q = 1$. Khi tụ C_2 nạp đầy và tụ C_1 xả xong thì mạch lại đổi trạng thái như cũ để C_1 nạp và C_2 xả.

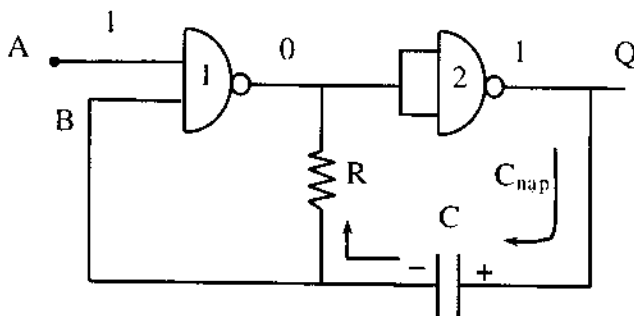
Điện trở R_1 thường chọn cùng trị số R_2 . Tần số dao động được tính theo công thức:

$$f = \frac{1}{2(R_1 + R_2)C}$$

Mạch chỉ thích hợp cho dao động tần số cao.

3) Mạch đa hài phi ổn có điều khiển

Trong hình 9.9, mạch phi ổn dùng hai cổng NAND với cổng (2) là cổng NOT và cổng (1) có chân A là chân nhận tín hiệu điều khiển.



Hình 9.9: Mạch phi ổn có điều khiển

Nếu ngõ A = 1 thì mạch dao động cho ra xung vuông, nếu ngõ A = 0 thì mạch ngừng dao động.

Giả sử cổng NAND (1) có A = 1, ngõ ra $V_{O1} = 0$ và cổng (2) có $V_{O2} = Q = 1$. Lúc đó, tụ C nạp điện qua R. Khi tụ C nạp đầy thì ngõ B ở mức thấp, nên cổng NAND (1) có $V_{O1} = 1$ và cổng NAND (2) có $V_{O2} = Q = 0$. Bây giờ tụ C xả điện qua R.

Khi tụ xả xong tụ sẽ nạp điện theo chiều ngược lại (như hình vẽ) làm cho ngõ B lại lên cao nên cổng NAND (1) có A = 1. Khi B = 1 thì $V_{O1} = 0$, $V_{O2} = Q = 1$. Mạch đã trở lại trạng thái ban đầu. Tụ sẽ nạp và xả điện liên tục cho ra dạng sóng vuông có tần số:

$$f = \frac{1}{1,4.RC}$$

Khi chân A = 0 sẽ làm cho cổng NAND có ngõ ra giữ nguyên ở mức cao, $V_{O1} = 1$ và mạch ngừng dao động. Như vậy, chân A là chân nhận tín hiệu điều khiển mạch dao động.

CHƯƠNG 10

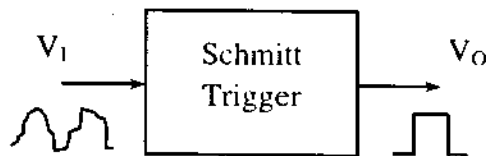
MẠCH SCHMITT TRIGGER

§10.1. ĐẠI CƯƠNG

Trong tự nhiên, các đại lượng vật lý như các tín hiệu điện (điện áp, dòng điện...) hay các tín hiệu không điện (nhiệt độ, ẩm độ, áp suất ...) thường là loại tín hiệu liên tục (còn gọi là tín hiệu tuyến tính hay tương tự).

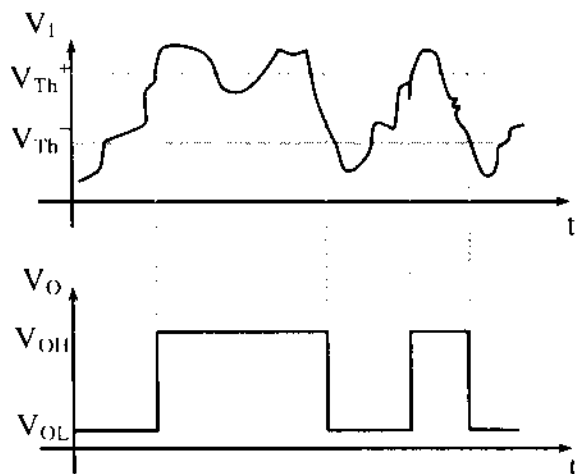
Trong lĩnh vực điều khiển, đặc biệt là điều khiển tự động trong công nghiệp, các thiết bị điện chỉ làm việc ở một trong hai trạng thái, có điện hay không có điện, tương trưng bởi hai mức “1” và “0” như trong kỹ thuật số.

Để các đại lượng vật lý (bao gồm cả tín hiệu điện và không điện) có thể điều khiển được những thiết bị điện công suất lớn, người ta dùng mạch Schmitt Trigger để đổi từ tín hiệu liên tục ra tín hiệu vuông với khả năng chống nhiễu cao.



Hình 10-1: Mạch Schmitt Trigger

Hình 10.1 và 10.2 mô tả nguyên lý của mạch Schmitt Trigger, trong đó điện áp ngõ vào V_I là dạng điện áp biến thiên liên tục theo thời gian, trong khi điện áp ngõ ra là dạng xung vuông có hai mức là V_{OH} (điện áp ra mức cao) và V_{OL} (điện áp ra mức thấp).



Hình 10.2: Dạng điện áp vào và điện áp ra

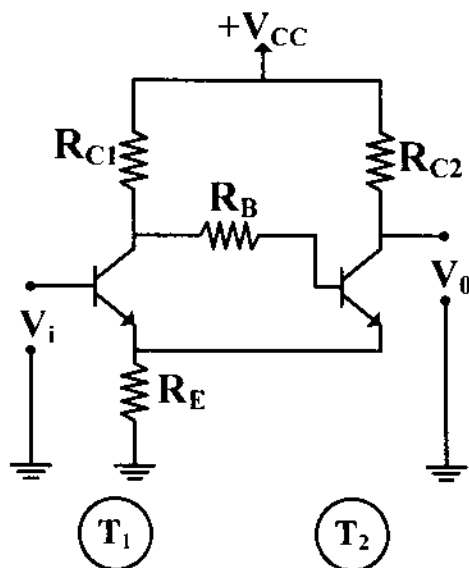
Khi điện áp vào V_I nhỏ hơn mức điện áp ngưỡng thấp V_{Th}^- thì ngõ ra có mức thấp V_{OL} , khi ngõ vào có V_I lớn hơn V_{Th}^+ thì ngõ ra tăng lên mức cao V_{OH} . Điện áp ngõ ra chỉ giảm trở lại mức thấp V_{OL} khi ngõ vào có V_I giảm nhỏ hơn mức điện áp ngưỡng thấp là V_{Th}^- và chỉ tăng lên lại mức cao V_{OH} khi ngõ vào V_I tăng hơn mức điện áp ngưỡng cao V_{Th}^+ .

§10.2. MẠCH SCHMITH TRIGGER CĂN BẢN

1) Sơ đồ

Trong sơ đồ mạch điện hình 10.3, hai transistor T_1 và T_2 được ghép trực tiếp và có chung R_E . Cực B_2 được phân cực nhờ điện áp V_{C1} qua điện trở R_B .

Để có điện áp ra là xung vuông thì hai transistor phải chạy ở chế độ bão hòa - ngưng dẫn. Khi T_1 ngưng dẫn sẽ điều khiển T_2 chạy bão hòa và ngược lại khi T_1 bão hòa sẽ điều khiển T_2 ngưng dẫn.



Hình 10-3: Mạch Schmitt Trigger cơ bản

2) Nguyên lý

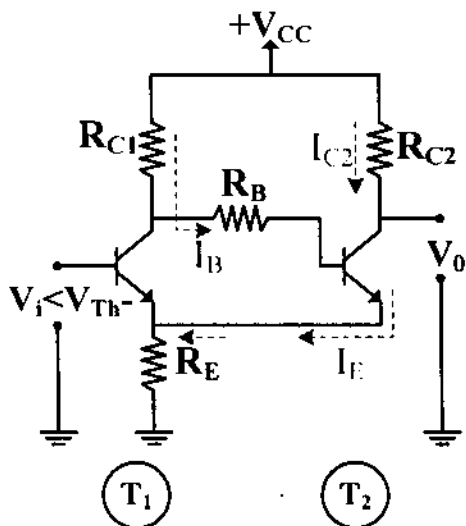
a) Xét trạng thái T_1 ngưng dẫn - T_2 bão hòa

Khi điện áp ngõ vào V_i ở mức thấp ($V_i < V_{TH}$) thì T_1 ngưng dẫn. Lúc đó $I_{C1} = 0$ nên T_1 coi như hở mạch. Transistor T_2 có dòng I_{B2} qua R_{C1} và R_B được tính sao cho có trị số đủ để T_2 chạy bão hòa. Dòng điện bão hòa I_{C2} sat được tính theo công thức:

$$I_{C2sat} = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_{C2} + R_E} \cong I_{E2}$$

Dòng I_{E2} qua R_E tạo ra điện áp chung cho hai cực E:

$$V_{E1} = V_{E2} = I_{E2} R_E = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_{C2} + R_E} R_E$$



Hình 10-4 : Trạng thái T_1 ngưng T_2 bão hòa

Trong đó, V_{CEsat} là điện áp bão hòa giữa hai chân C và E ($V_{CEsat} \cong 0,2V$).

Điều kiện để T_2 bão hòa là dòng điện I_{B2} phải có giá trị đủ lớn sao cho:

$$I_{B2} = k \cdot \frac{I_{C2sat}}{\beta} \quad (k = 2 \div 5)$$

(k là hệ số bão hòa sâu của transistor)

Trong mạch điện hình 10.4, dòng điện I_{B2} được tính theo công thức:
$$I_{B2} = \frac{V_{CC} - V_{B2}}{R_{C1} + R_B}$$

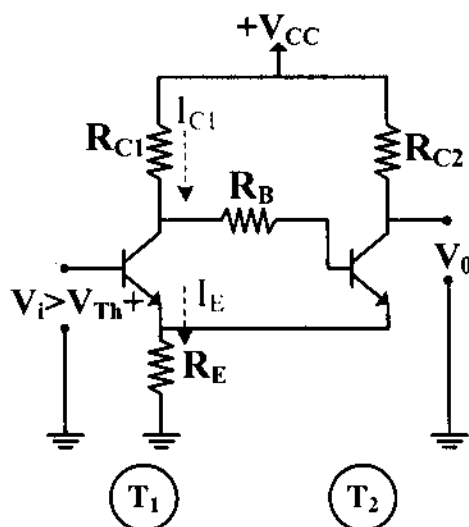
$$\text{Với: } V_{B2} = V_{E2} + V_{SEsat} = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_{C2} + R_E} R_E + 0,8V$$

Để hai transistor có thể đổi trạng thái thì điện áp V_I phải tăng đến mức ngưỡng cao là V_{TH}^+ :

$$V_1 \geq V_{TH}^+ = V_{E1} + V_{BEsat} = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_{C2} + R_E} R_E + 0,8V$$

b) Xét trạng thái T_1 bão hòa, T_2 ngưng dẫn:

Khi điện áp ngõ vào V_i ở mức cao ($V_i > V_{TH}^+$) thì T_1 bão hòa. Lúc đó, dòng I_{B1} tăng cao và I_{C1} bão hòa làm sụt áp trên R_{C1} nên mất phân cực cho B_2 và T_2 ngưng dẫn.



Hình 10-5 : Trạng thái T_1 bão hòa, T_2 ngưng dẫn

Dòng điện bão hòa I_{C1sat} được tính theo công thức:

$$I_{C1sat} = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_{C1} + R_E} \cong I_{E1}$$

Lúc đó, dòng I_{E1} qua R_E tạo ra điện áp chung cho hai cực E:

$$V_{E1} = V_{E2} = I_{E1} \cdot R_E = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_{C1} + R_E} R_E$$

Để hai transistor có thể đổi trở lại trạng thái cũ (T_1 ngưng dẫn, T_2 bão hòa), điện áp V_1 phải giảm đến dưới mức ngưỡng thấp là V_{TH}^- :

$$V_1 < V_{TH}^- = V_{E1} + V_{BEsat} = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_{C1} + R_E} R_E + 0,6V$$

c) *Xác định ngưỡng cao và ngưỡng thấp:*

Khi khảo sát một mạch Schmitt Trigger, cần xác định mức điện áp ngưỡng cao và ngưỡng thấp ở ngõ vào và ngõ ra.

Qua phân tích trên, điện áp vào ngưỡng cao V_{TH}^+ :

$$V_{TH}^+ = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_{C2} + R_E} R_E + 0,8V$$

Điện áp vào ngưỡng thấp:

$$V_{TH}^- = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_{C1} + R_E} R_E + 0,6V$$

Trạng thái T_1 ngưng dẫn, T_2 bão hòa, điện áp ngõ ra có mức thấp:

$$V_{OL} = V_{CC} - I_{C2sat} \cdot R_{C2}$$

$$V_{OL} = V_{CC} - \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_{C2} + R_E} R_{C2}$$

$$\text{Hay: } V_{OL} = V_{E2} + V_{CEsat}$$

$$V_{OL} = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_{C2} + R_E} R_E + 0,2V$$

Trạng thái T_1 bão hòa, T_2 ngưng dẫn, điện áp ra có mức cao:

$$V_{OH} \simeq V_{CC} \quad (\text{khi không tải})$$

Nếu tải R_L nối từ cực C_2 xuống mass thì điện áp ra mức cao:

$$V_{OH} = V_{CC} \frac{R_L}{R_{C2} + R_L} \quad (\text{khi có tải } R_L)$$

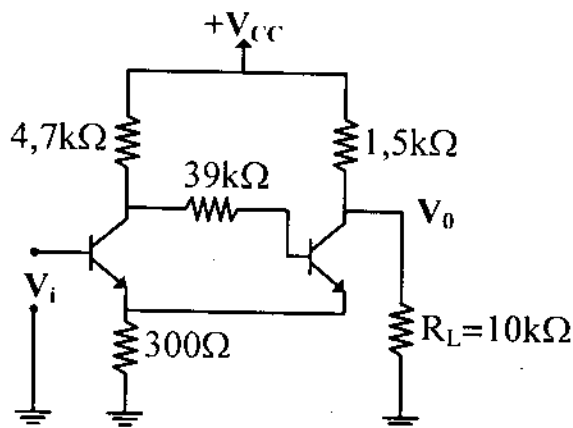
d) Tóm tắt:

- Khi điện áp vào mức thấp, T_1 ngưng, T_2 bão hòa và điện áp ra ở mức thấp V_{OL} .
- Khi điện áp vào tăng lên trên ngưỡng cao V_{TH}^+ , T_1 bão hòa, T_2 ngưng và điện áp ra ở mức cao V_{OH} .
- Khi điện áp vào giảm xuống dưới ngưỡng thấp V_{TH}^- , T_1 lại ngưng, T_2 bão hòa và điện áp ra lại xuống mức thấp V_{OL} .

Mức sai biệt giữa ngưỡng cao V_{TH}^+ và ngưỡng thấp V_{TH}^- được gọi là độ trễ (hysteresis: hiện tượng trễ) của mạch Schmitt Trigger. Trị số điện trở R_{C1} càng lớn so với R_{C2} thì độ trễ càng lớn. Độ trễ tăng làm tăng khả năng chống nhiễu của mạch Schmitt Trigger.

§10.3. BÀI TOÁN PHÂN TÍCH MẠCH

Cho mạch Schmitt Trigger có sơ đồ như hình 10.6, tính các thông số của mạch. Cho biết nguồn $+V_{CC} = 12V$.



Hình 10-6: Mạch Schmitt Trigger tiêu biểu

Trước hết tính điện áp ngõ vào:

Ngưỡng cao V_{TH}^+ :

$$\begin{aligned} V_{TH}^+ &= \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_{C2} + R_E} R_E + 0,8V \\ &= \frac{12 - 0,2}{1,5.10^3 + 300} .300 + 0,8V = 2,75V \end{aligned}$$

- Ngưỡng thấp V_{TH}^- :

$$\begin{aligned} V_{TH}^- &= \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_{C1} + R_E} R_E + 0,6V \\ &= \frac{12 - 0,2}{4,7.10^3 + 300} .300 + 0,6V = 1,3V \end{aligned}$$

Xác định mức điện áp ngõ ra:

- Mức thấp khi T_1 ngưng, T_2 bão hòa:

$$V_{OL} = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_{C2} + R_E} R_E + 0,2V = 2,15V$$

- Mức cao khi T_1 bão hòa, T_2 ngưng:

$$V_{OH} = V_{CC} \frac{R_L}{R_{C2} + R_L} = 12 \frac{10.10^3}{1,5.10^3 + 10.10^3} = 10,4V$$

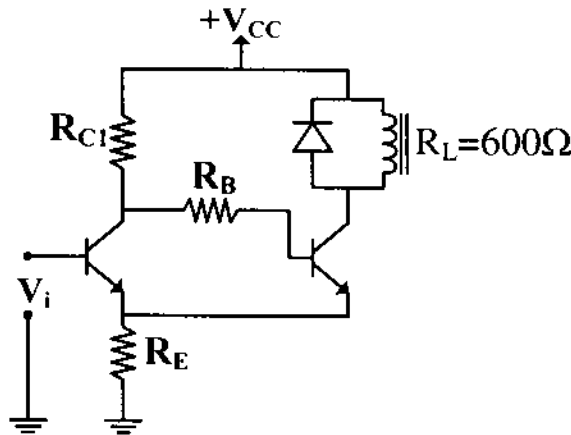
§10.4. BÀI TOÁN THIẾT KẾ MẠCH

Thiết kế mạch Schmitt Trigger theo các thông số kỹ thuật sau:

- Nguồn $V_{CC} = 15V$, tải R_{C2} chính là cuộn dây của rơ-le 12VDC có điện trở một chiều là 600Ω .

- Chọn transistor có độ khuếch đại $\beta = 100$

- Hãy tính điện áp vào ngưỡng cao V_{TH}^+ và ngưỡng thấp V_{TH}^- để mạch điều khiển được rơ-le.



Hình 10-7: Sơ đồ mạch Schmitt Trigger có tải rơ-le

Trong mạch điện hình 10.7, điện trở R_{C2} được thay bằng rơ-le 12VDC, điện trở một chiều là $R_L = 600\Omega$. Tính dòng điện một chiều qua rơ-le:

$$I_2 = I_{C2} = \frac{12}{600} = 20\text{mA}$$

Khi T_2 dẫn, rơ-le có điện và dòng $I_{C2} = 20\text{mA}$ sẽ qua R_E .

Điện trở R_E được chọn theo công thức:

$$V_E = I_{E2} \cdot R_E \simeq I_{C2} \cdot R_E$$

$$\text{Hay: } V_E = V_{CC} - V_L - V_{CEsat}$$

$$= 15 - 12 - 0,2 = 2,8\text{V}$$

$$\text{Suy ra: } R_E = \frac{V_E}{I_{C2}} = \frac{2,8}{20 \cdot 10^{-3}} = 140\Omega$$

Khi có trị số điện trở R_E ta có thể tính điện áp ngõ vào ngưỡng cao theo công thức:

$$\begin{aligned}
 V_{TH} &= \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_{C2} + R_{E2}} R_F + 0,8V \\
 &= \frac{15 - 0,2}{600 + 140} 140 + 0,8 = 3,6V
 \end{aligned}$$

Điện trở R_{C1} thường được chọn có trị số khoảng 2 đến 3 lần trị số của điện trở R_{C2} .

$$\text{Chọn: } R_{C1} = 3R_{C2} = 3 \times 600 \Omega = 1,8 \text{ k}\Omega$$

Điện áp ngõ vào ngưỡng thấp được tính theo công thức:

$$\begin{aligned}
 V_{TH} &= \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_{C1} + R_L} R_F + 0,6V \\
 &= \frac{15 - 0,2}{1,8.10^3 + 140} 140 + 0,6 = 1,66V
 \end{aligned}$$

Để T_2 điều khiển được rơle thì T_2 phải dẫn bão hòa, dòng điện I_{B2} phải đủ lớn và được tính theo công thức:

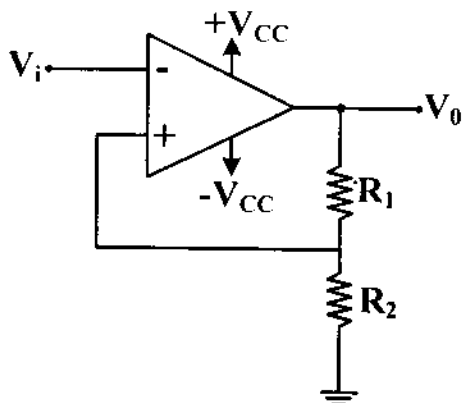
$$\begin{aligned}
 I_{B2} &= k \frac{I_{C2}}{\beta} && (\text{chọn } k = 3) \\
 &= 3 \frac{20.10^{-3}}{100} = 0,6 \text{mA}
 \end{aligned}$$

Điện trở R_B để phân cực cho T_2 được tính theo công thức:

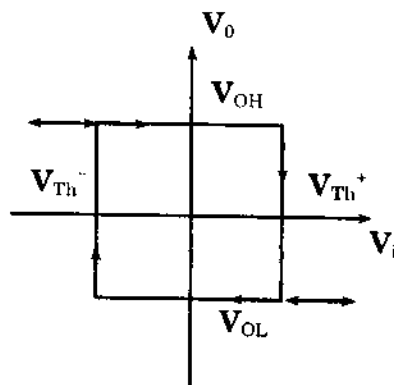
$$\begin{aligned}
 R_B &= \frac{V_{CC} - V_{BE} - V_{B2sat}}{I_{B2}} - R_{C1} \\
 R_B &= \frac{15 - 2,8 - 0,8}{0,6.10^{-3}} - 1,8 \text{k}\Omega = 7,2 \text{k}\Omega
 \end{aligned}$$

§10.5. MẠCH SCHMITT TRIGGER DÙNG OP-AMP

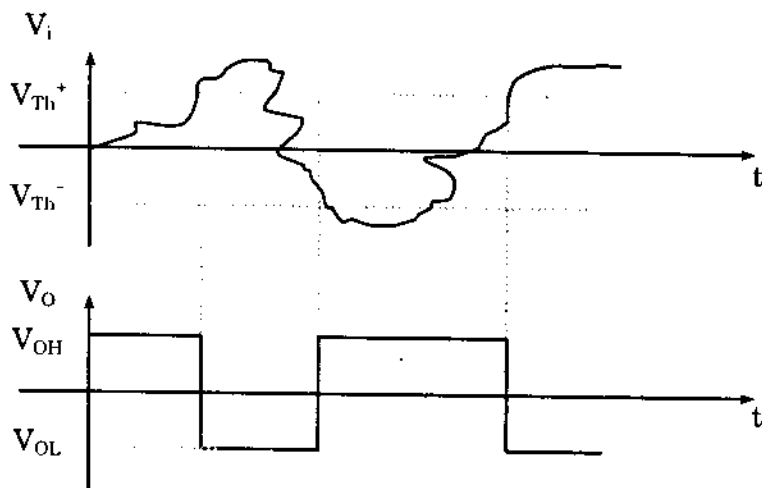
1) Mạch Schmitt Trigger đảo



Hình 10-8a: Mạch Schmitt Trigger dùng OP-AMP đảo



Hình 10-8c: Đặc tính truyền



Hình 10-8b: Quan hệ giữa ngõ ra theo ngõ vào

Mạch hồi tiếp R_1 - R_2 tạo điện áp ngưỡng đặt vào ngõ (+). Khi OP-AMP bão hòa dương, $V_O \simeq +V_{CC}$, ngõ (+) có điện áp ngưỡng cao:

$$V_{TH}^+ \simeq +V_{CC} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Nếu điện áp ngõ vào $V_i < V_{TH}^+$ thì OP-AMP vẫn ở trạng thái bão hòa dương và ngõ ra ở mức cao $V_O = V_{OH} \simeq +V_{CC}$.

Khi V_i tăng và $V_i > V_{TH}^+$ thì OP-AMP đổi trạng thái thành bão hòa âm. Lúc đó, ngõ ra có mức thấp là $V_O = V_{OL} \simeq -V_{CC}$.

Mạch hồi tiếp bây giờ đem điện áp âm về ngõ (+) là điện áp ngưỡng thấp V_{Th}^- theo công thức :

$$V_{Th}^- \simeq -V_{CC} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Khi V_i giảm trở lại xuống dưới mức ngưỡng thấp V_{Th}^- ($V_i < V_{Th}^-$) thì OP-AMP lại đổi trạng thái thành bão hòa dương, ngõ ra lại có điện áp cao

$$V_O \simeq V_{OH} \simeq +V_{CC}$$

Tóm lại :

- Khi $V_i < V_{TH}^+ \Rightarrow V_O = V_{OH} \cong +V_{CC}$
- Khi $V_i > V_{TH}^+ \Rightarrow V_O = V_{OL} \cong -V_{CC}$
- Khi $V_i < V_{TH}^- \Rightarrow V_O = V_{OH} \cong +V_{CC}$

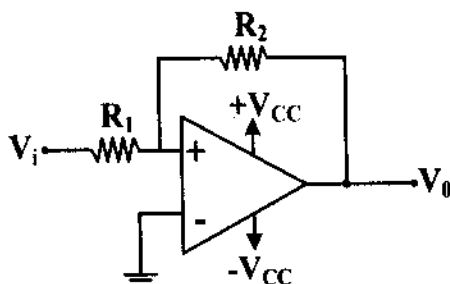
Như vậy: khi ngõ vào có điện áp mức thấp thì ngõ ra có điện áp mức cao, khi ngõ vào điện áp mức cao thì ngõ ra có điện áp mức thấp do tác dụng của mạch đảo.

Mạch hồi tiếp $R_1 - R_2$ về ngõ (+) là mạch hồi tiếp dương để tạo đáp ứng nhanh làm mạch đổi trạng thái tức thời, giảm nhiễu thời

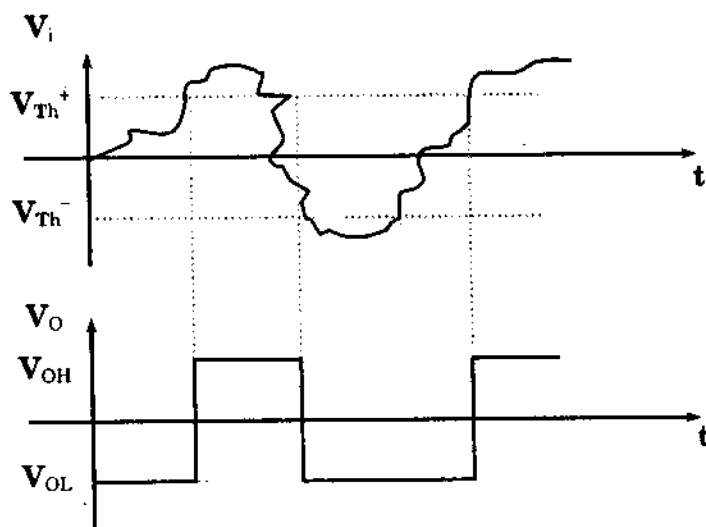
gian trễ khi chuyển mạch để có cạnh xung vuông ra được thẳng đứng.

2) Mạch Schmitt Trigger không đảo

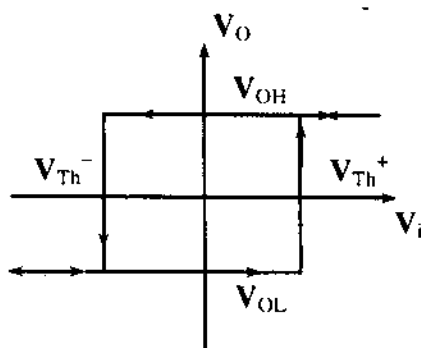
Mạch hồi tiếp đem điện áp ngõ ra về ngõ vào (+) qua R_2 . Khi điện áp ngõ vào đủ cao hơn ngưỡng cao V_{TH}^+ thì ngõ ra có mức cao $V_o \cong +V_{CC}$, OP-AMP ở trạng thái bão hòa dương.



Hình 10-9a: Mạch Schmitt Trigger dùng OP-AMP không đảo



Hình 10-9b: Quan hệ giữa ngõ ra theo ngõ vào



Hình 10-9c: Đặc tính truyền

Khi điện áp ngõ vào giảm xuống dưới mức ngưỡng thấp thì OP-AMP đổi trạng thái thành bão hòa âm.

Điện áp ngưỡng mức thấp được tính theo công thức:

$$V_{TH}^- = V_{OL} \cdot \frac{R_1}{R_2} \cong -V_{CC} \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

OP-AMP sẽ duy trì trạng thái bão hòa âm cho đến khi điện áp ngõ vào tăng cao hơn mức ngưỡng cao V_{TH}^+ thì OP-AMP lại đổi trạng thái thành bão hòa dương.

Điện áp ngưỡng mức cao được tính theo công thức:

$$V_{TH}^+ = V_{OH} \cdot \frac{R_1}{R_2} \cong +V_{CC} \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

Tóm lại :

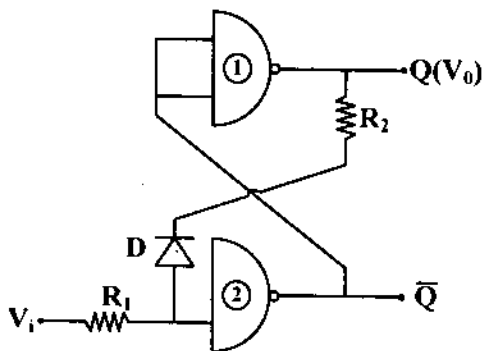
- Khi $V_i < V_{TH}^- \Rightarrow V_O = V_{OL} \cong -V_{CC}$
- Khi $V_i > V_{TH}^+ \Rightarrow V_O = V_{OH} \cong +V_{CC}$
- Khi $V_i < V_{TH}^- \Rightarrow V_O = V_{OL} \cong -V_{CC}$

Như vậy:

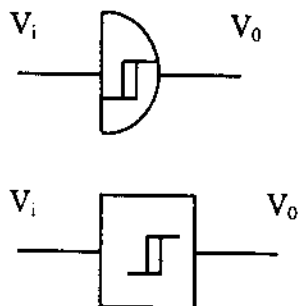
Khi ngõ vào có điện áp mức thấp thì ngõ ra có điện áp mức thấp, khi ngõ vào có điện áp mức cao thì ngõ ra có điện áp mức cao do tác dụng của mạch không đảo.

§11.6- MẠCH SCHMITT TRIGGER DÙNG CỔNG LOGIC

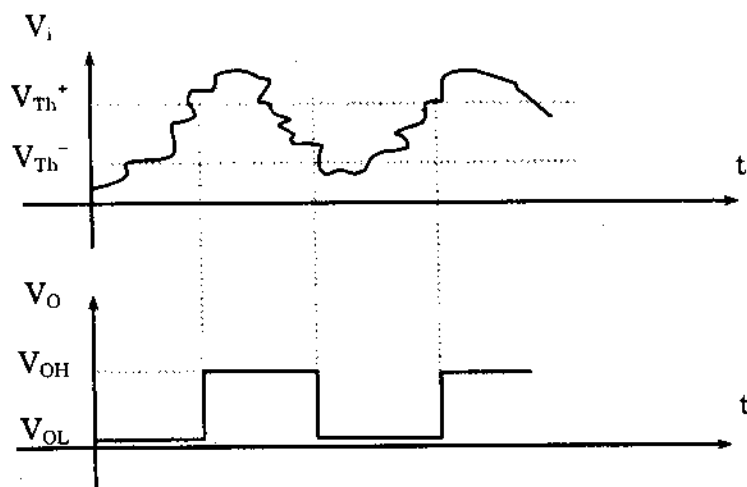
Mạch Schmitt Trigger có thể thực hiện bằng hai transistor hay một OP-AMP, ngoài ra còn có thể thực hiện bằng hai cổng logic NAND như mạch điện hình 10.10a.



Hình 10-10a: Mạch Schmitt Trigger dùng cổng NAND



Hình 10-10b: Ký hiệu mạch Schmitt Trigger



Hình 10-10c: Quan hệ giữa ngõ ra theo ngõ vào

Khi điện áp vào V_i ở mức thấp thì hai ngõ vào của cổng (2) ở mức thấp, nên cổng (2) có ngõ ra cao $\Rightarrow \bar{Q} = 1$ và qua cổng (1), có chức năng của cổng NOT, nên cổng (1) có ngõ ra thấp $\Rightarrow Q = 0$.

Khi điện áp ngõ vào V_i tăng lên trên mức cao V_{TH}^+ ($V_{TH}^+ \simeq 1,6V$) thì diod D dẫn và cổng 2 đổi trạng thái ngõ ra xuống mức thấp $\Rightarrow \bar{Q} = 0$, và qua cổng (1) đảo lại $Q = 1$. Điện áp mức cao đưa về làm diod D bị phân cực ngược nên cổng (2) được duy trì trạng thái này, mặc dầu ngõ vào V_i có thể giảm hơn V_{th}^+ .

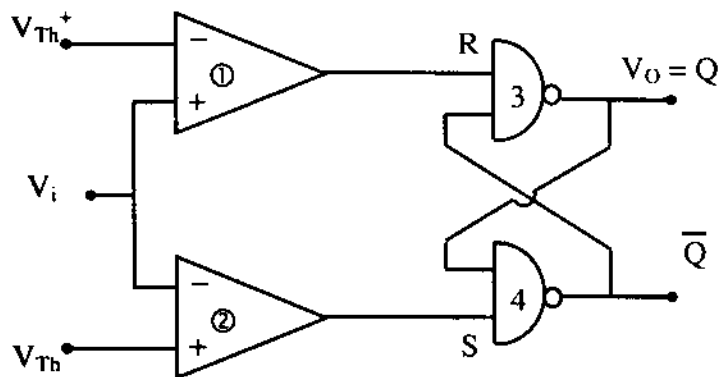
Khi điện áp ngõ vào giảm xuống dưới mức ngưỡng thấp V_{TH}^- thì cổng (2) lại đổi trạng thái và $\bar{Q} = 1$ và qua cổng đảo (1) thì $Q = 0$, mạch trở lại trạng thái ban đầu.

Điện áp ngõ vào mức thấp $V_{TH}^- \simeq 0,8V$, mức cao $V_{TH}^+ \simeq 1,6V$. Diod chọn loại Germanium.

Điện trở R_1 có trị số khoảng $3\text{ k}\Omega$ đến $5\text{ k}\Omega$, điện trở R_2 có trị số khoảng $1\text{ k}\Omega$.

Mạch có ưu điểm là thời gian trễ rất nhỏ, nên độ dốc ngõ ra thẳng đứng được dùng làm các bộ chuyển mạch chính xác.

§11.7- MẠCH SCHMITT - TRIGGER CHÍNH XÁC



Hình 10-11: Mạch Schmitt Trigger chính xác

Để có độ chuyển mạch chính xác cao, người ta ghép OP-AMP và cổng NAND như mạch điện hình 10.11.

Trong sơ đồ mạch hình 10.11, hai OP-AMP 1 và 2 là hai mạch khuếch đại so sánh để so điện áp ngõ vào V_i với hai điện áp ngưỡng mức cao V_{Th}^+ và mức thấp V_{Th}^- .

Khi V_i có trị số nhỏ hơn ngưỡng thấp ($V_i < V_{Th}^-$) thì OP-AMP 1 có ngõ ra $R = 1$ và OP-AMP 2 có ngõ ra $S = 0$. Cổng NAND 3 và 4 là mạch RS Flip-Flop, nên khi có $R = 1$, $S = 0$ thì ngõ ra có $Q = 0$ và $\bar{Q} = 1$.

Khi V_i tăng cao hơn V_{Th}^- , nhưng vẫn còn nhỏ hơn V_{Th}^+ ($V_{Th}^- < V_i < V_{Th}^+$) thì ngõ R vẫn ở mức cao $R = 1$, nên tuy ngõ S tăng lên 1, mạch F/F vẫn không đổi trạng thái.

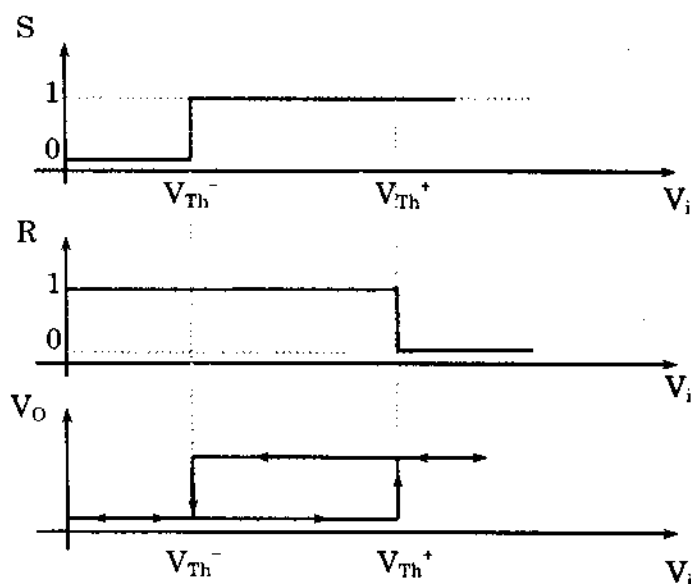
Khi V_i tăng cao hơn V_{TH}^+ , ngõ $R = 0$. Lúc đó, mức cao của ngõ S ($S = 1$) mới có tác dụng kích đổi trạng thái của F/F và ngõ ra có $Q \approx 1, \bar{Q} = 0$ ($V_O = Q = 1$).

Khi điện áp vào V_i giảm nhỏ hơn V_{TH}^+ nhưng vẫn lớn hơn V_{TH}^- thì ngõ $R = 1$, nhưng ngõ S vẫn còn ở mức cao nên F/F vẫn giữ nguyên trạng thái là: $Q = 1, \bar{Q} = 0$.

Khi điện áp vào V_i giảm nhỏ hơn mức ngưỡng thấp, ngõ $S = 0$ và ngõ $R = 1$ nên có tác dụng đổi trạng thái của F/F và ngõ ra có $Q = 0, \bar{Q} = 1$ ($V_O = Q = 0$).

Hình 10.12 cho thấy điện áp ở các ngõ $R - S - V_i - V_O$ để mô tả nguyên lý hoạt động của mạch Schmitt Trigger.

Điện áp ngưỡng V_{TH}^+ và V_{TH}^- có thể lấy từ các nguồn điện áp chuẩn và có thể điều chỉnh thay đổi mức điện áp ngưỡng theo yêu cầu của mạch điện.



Hình 10-12: Quan hệ giữa điện áp vào và ra

CHƯƠNG 11

MẠCH DAO ĐỘNG VCO VÀ CCO

§11.1. ĐẠI CƯƠNG

Hiện nay, người ta đã chế tạo được nhiều vi mạch thực hiện được chức năng dao động tạo tín hiệu xung vuông hay xung tam giác. Bằng cách lắp thêm các linh kiện rời bên ngoài và chọn lựa trị số thích hợp, mạch dao động có thể cho ra tín hiệu có tần số thay đổi theo ý muốn.

Hai loại vi mạch dao động được sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật tạo xung là IC 566 và IC 567. Ứng dụng phổ biến nhất là các mạch mã hoá và giải mã tia hồng ngoại trong các bộ thu phát quang điện.

§11.2. MÃ HÓA TIA HỒNG NGOẠI BẰNG MẠCH VCO

1- Mạch dao động VCO dùng IC 566

Mạch VCO do viết tắt bởi Voltage Control Oscillator (mạch dao động điều khiển bằng điện áp). IC 566 được xem là IC tiêu biểu cho họ VCO có hình dáng và cấu trúc bên ngoài như hình 11.1.

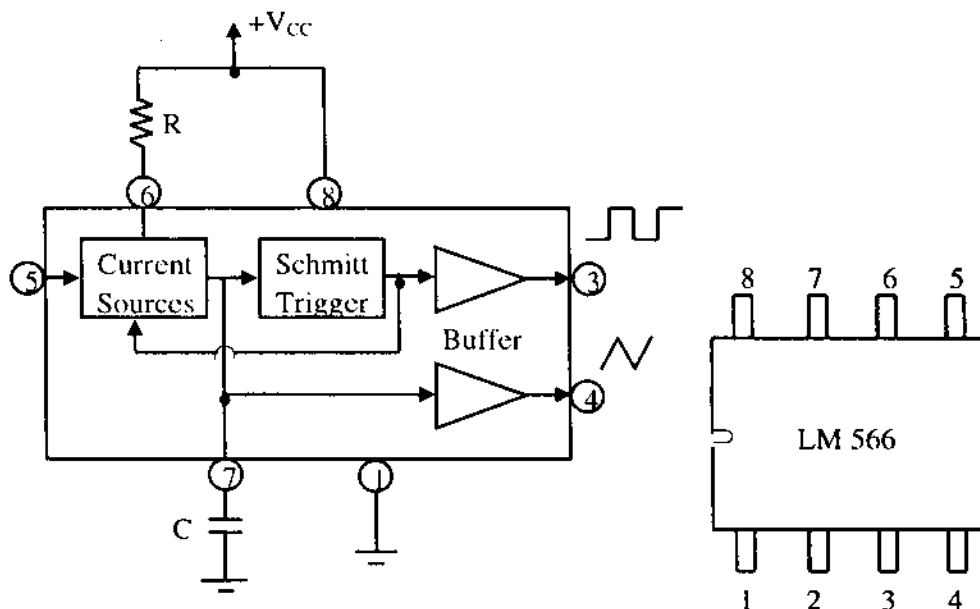
Các chân ra:

- (1) GND (ground): nối đất
- (2) NC (No-Connect): chân dư
- (3) Square Wave Output: ngõ ra của sóng vuông
- (4) Triangular Wave Output: ngõ ra của sóng tam giác
- (5) Modulation Input: ngõ vào biến điệu

(6) Current Sources: nguồn dòng điện

(7) Current Sources: nguồn dòng điện

(8) $+V_{CC}$: nguồn nuôi một chiều dương



Hình 11.1: Cấu trúc và hình dạng IC 566

Mạch nguồn dòng điện có tác dụng giữ cho dòng điện nạp vào tụ C qua điện trở R có trị số ổn định. Trị số của dòng điện nạp có thể thay đổi bằng cách điều chỉnh mức điện áp đặt vào chân 5.

Điện áp nạp được trên tụ tăng theo hàm bậc nhất (chứ không theo hàm số mũ như mạch nạp RC thông thường).

Mạch Schmitt Trigger nhờ có hai mức điện áp ngưỡng cao V_{Th}^+ và ngưỡng thấp V_{Th}^- nên có nhiệm vụ giới hạn mức điện áp trên tụ khi nạp và mức điện áp trên tụ khi xả, để tạo ra dạng điện

áp hình răng cưa ở chân 7, qua mạch Schmitt Trigger sẽ cho ra dạng điện áp hình vuông.

Mạch Buffer trong IC là hai mạch khuếch đại đệm để khuếch đại dòng điện cho hai dạng sóng vuông và tam giác, đồng thời còn có tác dụng đổi tổng trở từ tổng trở cao xuống thấp để dung hợp với tải ở ngõ ra.

Việc thay đổi điện áp đặt vào chân 5 sẽ làm thay đổi dòng nạp, đưa đến thay đổi tốc độ nạp của tụ nên sẽ làm thay đổi tần số của xung vuông và tam giác ra. Khi thay đổi trị số R và C bên ngoài cũng sẽ làm thay đổi tần số xung ra.

Các chỉ tiêu kỹ thuật của IC 566:

- điện áp nguồn nuôi: $V_{CC} = 10V \div 24V$

- tần số dao động tối đa $f_{Omax} = 1MHz$ tính theo công thức:

$$f_o = \frac{2}{RC} \left(\frac{V_{CC} - V_C}{V_{CC}} \right) \quad (V_C : \text{điện áp điều chế})$$

- điện áp điều chế ở chân 5 cho phép:

$$\frac{3}{4}V_{CC} \leq V_C \leq V_{CC}$$

- giới hạn trị số của điện trở: $2\text{ k}\Omega \leq R \leq 20\text{ k}\Omega$

2- Hai mạch áp dụng tiêu biểu

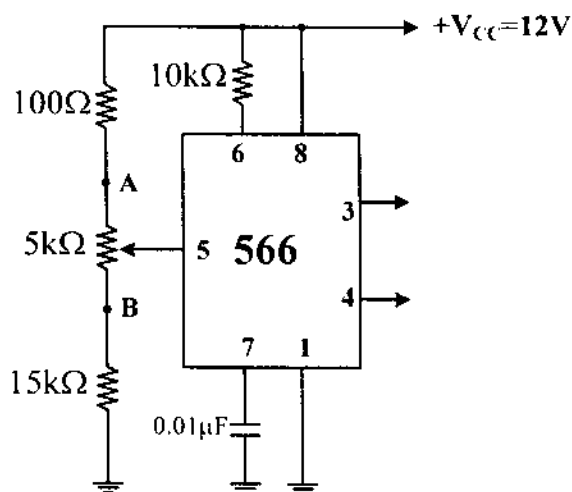
Trong sơ đồ hình 11.2a, biến trở $5k\Omega$ dùng để điều chỉnh mức điện áp V_C điều chế đặt vào chân 5.

Cầu phân áp cho ra điện áp ở hai điểm A và B:

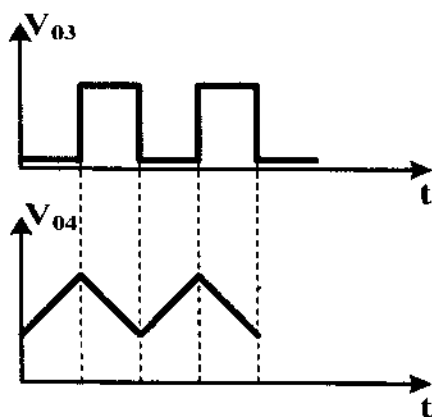
$$V_A \approx 11,9V, \quad V_B \approx 9V$$

Khoảng tần số xung vuông và tam giác có thể thay đổi được khi điều chỉnh biến trở $5k\Omega$:

- điểm A có: $f_{O_{\min}} = \frac{2}{10 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}} \left(\frac{12 - 11,9}{12} \right) \cong 17 \text{ Hz}$
- điểm B có: $f_{O_{\max}} = \frac{2}{10 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}} \left(\frac{12 - 9}{12} \right) \cong 500 \text{ Hz}$



Hình 11.2a: Điều chế bằng điện áp 1 chiều



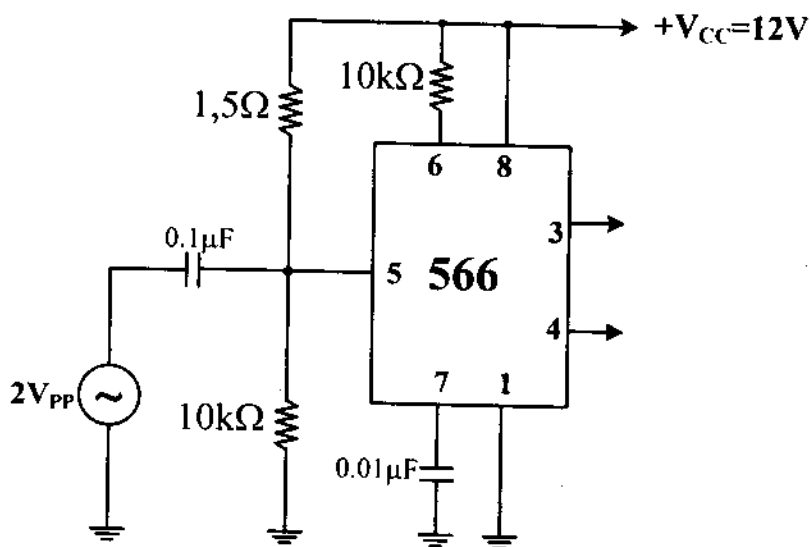
Hình 11.2b: Dạng sóng ở hai ngõ ra có tần số không đổi

Nếu chọn tụ C có trị số $0,01\mu\text{F}$ thì khoảng tần số có thể thay đổi được là: $f_{0\min} = 170\text{ Hz}$, $f_{0\max} = 5000\text{ Hz}$.

Trong sơ đồ hình 11.3a, điểm M có điện áp $V_M \approx 10,5\text{V}$ nhờ hai điện trở của cầu phân áp. Tín hiệu xoay chiều điều chế có điện áp đỉnh-đỉnh là $2V_{PP}$.

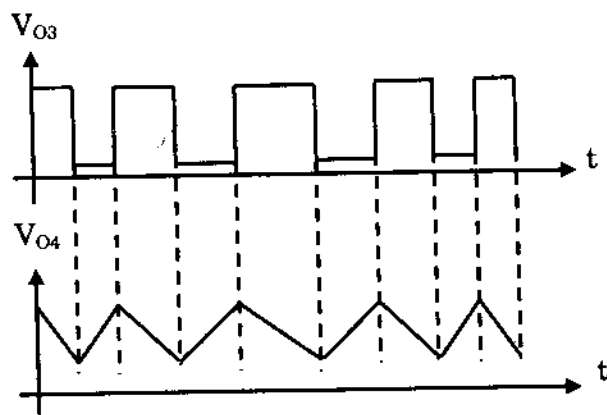
Như vậy, điện áp V_M sẽ dao động trong khoảng điện áp:

$$V_M = 10,5\text{V} \pm 1\text{V} = 9,5\text{V} \div 11,5\text{V}$$



Hình 11.3a: Điều chế bằng điện áp xoay chiều

Khi điện áp V_M thay đổi trong khoảng điện áp trên thì tần số của xung vuông và xung tam giác cũng sẽ thay đổi liên tục theo thời gian (như nguyên lý điều chế tần số FM).



Hình 11.3b: Xung ra có tần số thay đổi theo tín hiệu xoay chiều

Hình 11.3b cho thấy dạng xung ra có tần số thay đổi theo thời gian theo điện áp của tín hiệu xoay chiều điều chế đặt vào chân 5.

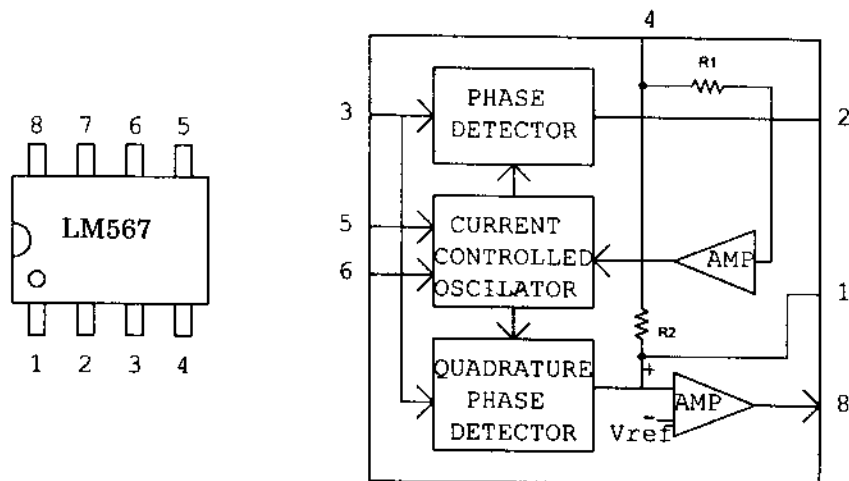
Xung vuông hay xung tam giác ra sẽ qua transistor công suất để điều khiển các led hồng ngoại sáng theo tần số xung đã được điều chế.

§11.3. MẠCH DAO ĐỘNG CCO

1) Đại cương

Mạch dao động CCO (Current Control Oscillator) là loại mạch dao động tạo xung được điều khiển bằng dòng điện. Trong IC 567 là loại IC vòng khoá pha có khối dao động CCO.

IC 567 có cách ra chân và sơ đồ khối nội bộ như hình 11.4.



Hình 11.4: Hình dáng và cấu trúc của IC 567

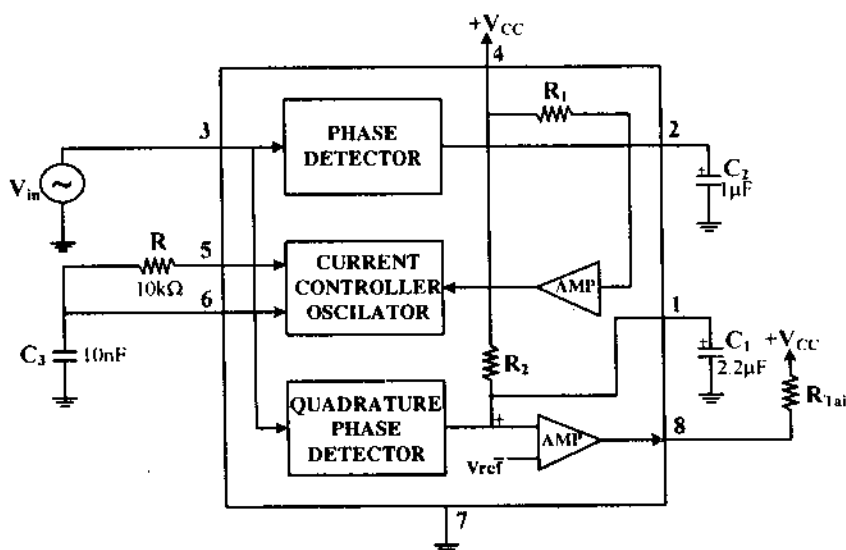
2) Các chân ra

- Output Filter (chân 1): có tụ lọc C_1 xuống mass để lọc tín hiệu ngõ ra của mạch so áp vuông pha.
- Low Pass Filter (chân 2): mắc tụ lọc C_2 xuống mass để lọc tín hiệu tần số thấp ở ngõ ra của mạch so pha.
- Input (chân 3): nhận tín hiệu ở ngõ vào.
- +Vcc (chân 4): nối nguồn nuôi Vcc, điện áp tối đa 10V.
- Timing R (chân 5): nối điện trở R giữa hai chân 5 và 6 để xác định hằng số thời gian và tần số cho mạch dao động CCO.
- Timing C-R (chân 6): có tụ lọc C từ chân 6 xuống mass, như một mạch lọc để chạy ổn định tần số do mạch CCO tạo ra. Tần số dao động có trị thay đổi như sau:
$$f_o = \frac{1,1}{RC} \text{ Hz}$$
- Ground (chân 7): Chân nối mass để lấy nguồn nuôi cho IC

- h. Output (chân 8): ngõ ra. Bình thường chân 8 hở mạch $V_O \approx V_{CC}$, khi tín hiệu ngõ vào có tần số bằng với tần số dao động f_0 do mạch CCO tạo ra thì transistor bên trong dẫn bão hoà, $V_O \approx 0V$.

3- Nguyên lý

Để giải thích nguyên lý vận chuyển trong IC 567, ta xét mạch ứng dụng cơ bản như trong hình 11.5.



Hình 11.5: Ứng dụng cơ bản của IC 567

Điện trở R_1 ở chân 5 và tụ C_1 ở chân 6 để xác định tần số dao động của IC 567. Tần số được xác định theo công thức:

$$f_0 = \frac{1,1}{R.C} \text{ Hz} = \frac{1,1}{10.10^3.0,01.10^{-6}} = 11 \text{ KHz}$$

Tín hiệu f_0 đồng thời được đưa vào hai khối so pha và so áp vuông pha cùng nhận tín hiệu ở ngõ vào chân 3 để so với tín hiệu f_0 do mạch dao động trong IC tạo ra.

Hai tụ điện C_1 và C_2 ở chân 1 và chân 2 có tác dụng lọc xoay chiều tần số thấp ở ngõ ra của mạch so pha và mạch so áp vuông pha. Điện trở R_1, R_2 trong IC được xem là hai điện trở tải cho hai mạch này.

Khi tần số ngõ vào f_i và tần số dao động f_o khác nhau thì không có dòng qua điện trở R_2 trong IC. Lúc đó, không có dòng qua R_2 trong IC, điện áp ngõ In^+ của OP-AMP so sánh sẽ cao hơn điện áp chuẩn V_{ref} ở ngõ In^- . Mạch so sánh sẽ cho ra điện áp cao ở chân 8 và không có dòng qua điện trở tải R_2 bên ngoài IC.

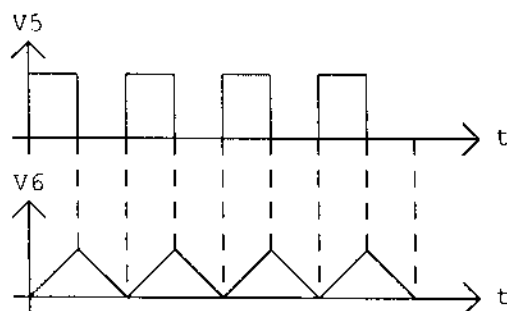
Khi tần số ngõ vào f_i và tần số f_o bằng nhau thì có dòng điện qua điện trở R_2 tạo sụt áp. Lúc đó, điện áp ngõ In^+ của OP-AMP so sánh sẽ thấp hơn điện áp chuẩn V_{ref} ở ngõ In^- . Mạch so sánh sẽ cho ra điện áp thấp ở chân 8. Bây giờ, có dòng điện qua điện trở tải vào IC ở chân 8.

Độ rộng băng thông của mạch được tính theo công thức:

$$B \approx 1070 \sqrt{\frac{V_{in}}{f_o C_2}} \quad (C_2: \text{tụ lọc ở chân 2})$$

4- Dạng sóng trên các chân

Mạch dao động CCO có dạng xung vuông ra ở chân 5 và xung tam giác ra ở chân 6. Khi chân 5 có điện áp mức cao thì tụ C nạp, chân 6 có điện áp tăng. Khi chân 5 có điện áp mức thấp thì tụ C xả, chân 6 có điện áp giảm (như hình 11.6).



Hình 11.6: Dạng sóng ở các chân

4- Ứng dụng của IC 567

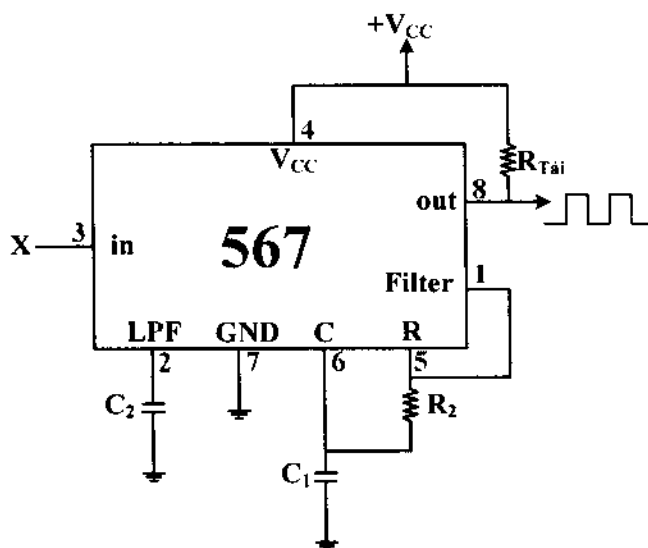
a) Mạch dao động tạo xung vuông đối xứng

Trong sơ đồ hình 11.7, chân 1 là ngõ vào In+ của mạch khuếch đại so sánh được nối với chân 5.

Do chân 5 có tín hiệu xung vuông (như hình 11.5) nên tín hiệu này được đưa vào chân 1 và mạch khuếch đại so sánh sẽ khuếch đại ra ở chân 8. Tín hiệu ra ở chân 8 cũng có dạng xung vuông, nhưng khả năng cấp dòng cho tải có thể lên đến 100mA.

Tần số xung vuông ra cũng được tính theo công thức:

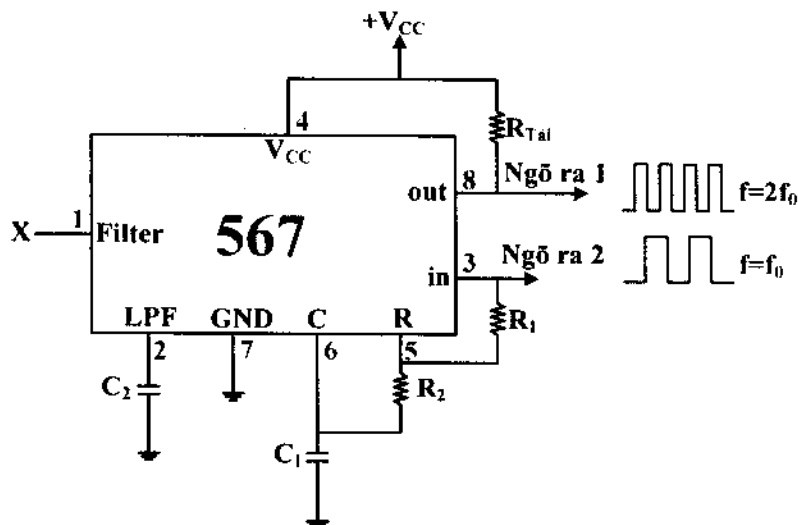
$$f_o = \frac{1,1}{RC} \text{ Hz}$$



Hình 11.7: Mạch tạo xung vuông đối xứng

Trường hợp này chân 3 ở ngõ vào không dùng nên để hở.

b) Mạch dao động cho ra hai xung vuông có tần số f_o và $2f_o$



Hình 11.8: Mạch tạo ra 2 xung vuông có f_0 và $2f_0$

Trong sơ đồ hình 11.8, tín hiệu xung vuông ở chân 5 được lấy đưa vào chân 3 nên ngõ vào cũng có tín hiệu cùng tần số f_0 do mạch dao động tạo ra.

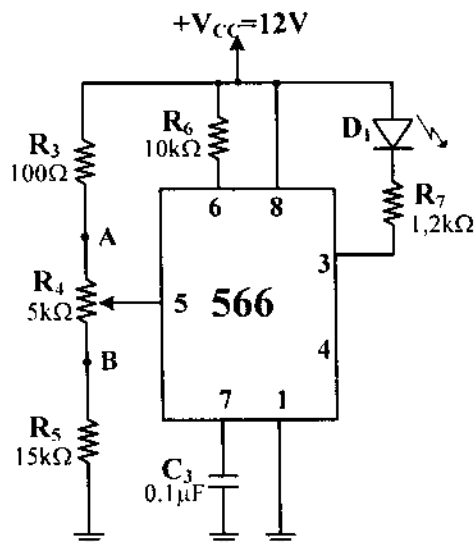
Chân 1 có tụ lọc để lọc bỏ xoay chiều ở ngõ ra mạch so áp vuông pha, bây giờ lại để hở, không có tụ lọc C_1 . Như vậy, chân 1 sẽ còn tín hiệu xoay chiều ra và tín hiệu này được đưa vào ngõ In⁺ của mạch khuếch đại so sánh. Ở ngõ ra chân 8 của IC sẽ có tín hiệu xung vuông ra với tần số $2f_0$.

Như vậy, ngõ ra chân 8 có tín hiệu xung vuông, tần số $2f_0 = 2 \frac{1}{RC}$; ngõ ra chân 3 có tín hiệu xung vuông, tần số $f_0 = \frac{1}{RC}$.

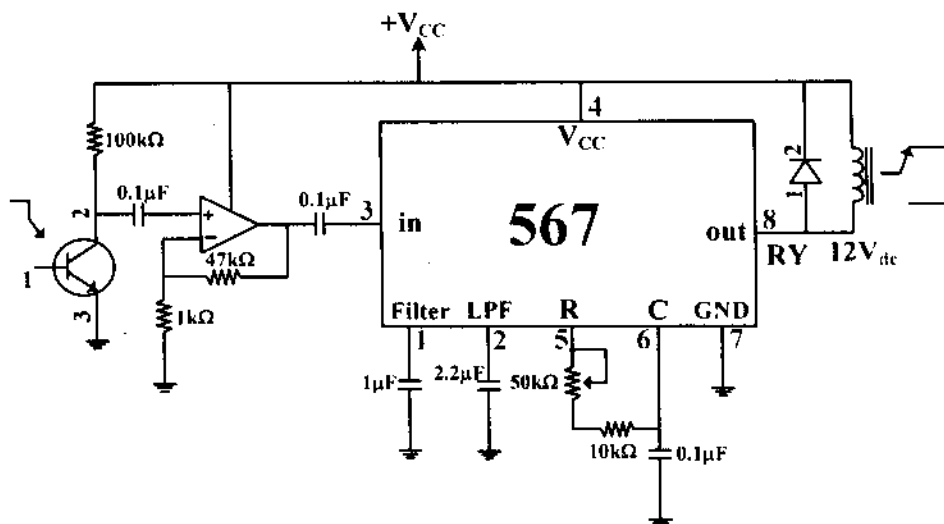
c) Bộ thu phát tia hồng ngoại được mã hoá

Hiện nay, các mạch tự động điều khiển bằng tia hồng ngoại có bộ phát thường được mã hoá thành tín hiệu xoay chiều dạng xung vuông. Để tránh bị tác động sai bởi các tín hiệu nhiễu không

phải là tín hiệu từ bộ phát, bộ thu chỉ cho ra tín hiệu điều khiển nên nhận đúng tín hiệu đã được mã hóa do bộ phát tạo ra.



Hình 11.9a: Bộ phát tia hồng ngoại dùng mạch VCO



Hình 11.9b: Bộ thu hồng ngoại dùng quang transistor và IC 567

Điều này được thực hiện đơn giản nếu bộ phát cho ra tia hồng ngoại mã hoá có tần số bằng tần số dao động của bộ thu.

Mạch thu phát dùng tia hồng ngoại trong hình 11.9 có bộ phát là IC 566 cho ra xung vuông điều khiển Led hồng ngoại IR-Led, bộ thu là IC 567 nhận tín hiệu hồng ngoại đổi ra tín hiệu điện để so với tần số do mạch CCO tạo ra.

Trong sơ đồ hình 11.9a, IC 567 là mạch dao động VCO được điều chế bằng điện áp một chiều để cho ra tín hiệu xung vuông ở chân 3. Tín hiệu ra ở chân 4 là xung tam giác nhưng không sử dụng. Biến trở $5k\Omega$ dùng để thay đổi mức điện áp một chiều điều chế cho mạch VCO, sẽ làm cho tần số xung ra thay đổi trong khoảng $f_{0min} = 170 \text{ Hz}$ và $f_{0max} \approx 5\text{kHz}$.

Dòng điện qua Led hồng ngoại IR Led là dòng ngắt khoảng theo tín hiệu xung vuông. Tia hồng ngoại do Led tạo ra được chiếu vào bộ thu có sơ đồ hình 11.9b.

Trong sơ đồ hình 11.9b, quang transistor là linh kiện cảm biến quang có tác dụng đổi tia hồng ngoại do bộ phát tạo ra thành tín hiệu xoay chiều. Tín hiệu xoay chiều sẽ được OP-AMP khuếch đại lên khoảng 50 lần trước khi được vào IC 567 để so pha với tín hiệu do mạch CCO tự tạo ra.

Biến trở $50k\Omega$ dùng để điều chỉnh tần số riêng của mạch CCO sao cho bằng với tần số do IC VCO tạo ra. Lúc đó, ngõ ra chân 8 sẽ có mức thấp ($\approx 0V$) nên sẽ có dòng qua rơ-le để đổi trạng thái của tiếp điểm. Tiếp điểm của rơ-le RY thường được dùng để điều khiển các mạch công suất khác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Linh kiện điện tử - Nguyễn Tấn Phước -1998 - NXB Tổng hợp TP HCM
2. Linh kiện điều khiển - Điện 1 chiều công nghiệp - Nguyễn Tấn Phước -1998 - NXB Tổng hợp TP HCM
3. Điện tử trung cấp - Nguyễn Hữu Phương – 1992 - NXB Tổng hợp TP HCM
4. Mạch số - Nguyễn Tấn Phước – 2004 - NXB Tổng hợp TP HCM
5. Fundamental of linear circuit - Tom Floyd – 1992
6. L'electronique de puissance - Guy Ségurier - 1985

TỦ SÁCH KỸ THUẬT ĐIỆN – ĐIỆN TỬ
TS NGUYỄN TẤN PHƯỚC

KỸ THUẬT XUNG

CĂN BẢN VÀ NÂNG CAO

Chịu trách nhiệm xuất bản: **HOÀNG CHÍ DŨNG**

Biên tập: **CHÍ DŨNG**

Trình bày: **NGUYỄN PHƯỚC TƯỜNG VÂN**

Bìa: **NGUYỄN TẤN PHƯỚC**

NHÀ XUẤT BẢN HỒNG ĐỨC

111 Lê Thánh Tôn - Q.1 – TP.HCM

Điện thoại: 08.8244534

☆☆☆☆☆

Thực hiện liên doanh: **NGUYỄN TẤN PHƯỚC**

In lần thứ : 01 Số lượng: 1000 cuốn, Khổ: 16x24cm

Tại nhà in: CT TNHH In Khuyến Học Phía Nam

GPXB số: 323-2008/CXB/42-24/HĐ ngày 09 - 10 - 2008

In xong và nộp lưu chiểu tháng 10 năm 2008



TỦ SÁCH KỸ THUẬT ĐIỆN - ĐIỆN TỬ CỦA TÁC GIẢ NGUYỄN TẤN PHƯỚC

* GIÁO TRÌNH ĐIỆN TỬ KỸ THUẬT

- | | |
|----------------------------------|----------------------|
| 1- Linh kiện điện tử (khổ 16x24) | (tái bản lần thứ 12) |
| 2- Mạch điện tử - Tập 1 | (tái bản lần thứ 6) |
| 3- Mạch điện tử - Tập 2 | (tái bản lần thứ 5) |
| 4- Mạch điện tử - Tập 3 | (sắp xuất bản) |
| 5- Mạch số - tập 1, 2 | (đã xuất bản) |
| 6- Mạch tương tự (khổ 16x24) | (tái bản lần thứ 3) |

* GIÁO TRÌNH ĐIỆN TỬ CÔNG NGHIỆP

- | | |
|--|---------------------|
| 1- Linh kiện điều khiển | (tái bản lần thứ 6) |
| 2- Kỹ thuật xung căn bản và nâng cao | (tái bản lần thứ 5) |
| 3- Điện tử ứng dụng trong công nghiệp- Tập 1 | (tái bản lần thứ 4) |
| 4- Điện tử ứng dụng trong công nghiệp- Tập 2 | (sắp xuất bản) |
| 5- Điện tử công suất | (tái bản lần thứ 2) |

* GIÁO TRÌNH ĐIỆN TỬ CÔNG NGHIỆP

- | | |
|---|---------------------|
| 1- Điện kỹ thuật | (sắp xuất bản) |
| 2- Đo lường điện và điện tử (khổ 16x24) | (tái bản lần thứ 1) |
| 3- Khí cụ điện – Truyền động điện | (sắp xuất bản) |
| 4-Trang bị điện | (sắp xuất bản) |

* GIÁO TRÌNH ĐIỆN TỬ TỰ ĐỘNG HÓA

- | | |
|--|---------------------|
| 1- Lập trình với PLC Logo, Easy và S7-200 | (tái bản lần thứ 6) |
| 2- Lập trình với PLC Zen, CPM2A và Inverter Omron | (tái bản lần thứ 4) |
| 3- Cảm biến -Đo lường và điều khiển (khổ 16x24) | (tái bản lần thứ 1) |
| 4 -Trang bị điện không tiếp điểm-Thang máy công nghiệp | (sắp xuất bản) |

* GIÁO TRÌNH DẠY NGHỀ – HƯỚNG NGHIỆP (khổ 14x20)

- | | |
|--|----------------|
| 1- Sửa chữa Thiết bị Điện - Điện tử gia dụng | (đã xuất bản) |
| 2- Điện và Điện tử căn bản | (đã xuất bản) |
| 3- Điện tử công nghiệp và Cảm biến – Tập 1 | (đã xuất bản) |
| 4- Điện tử công nghiệp và Cảm biến – Tập 2 | (sắp xuất bản) |
| 5- Ampli – Lý thuyết và Thực hành | (sắp xuất bản) |

Giá: 30.000 đồng