

第七章 脉冲信号的产生与整形

在数字技术的各种应用中,经常要用到矩形波、方波、尖顶波和锯齿波等脉冲形波。其中矩形波和方波是较重工的信号波形,它们经常用来作为电路的开关信号和控制信号。许多其它形状的脉冲波形也可以由它们变换而得到。本章将介绍多谐振荡器、施密特触发器和单稳态触发器。其中,多谐振荡器能直接产生脉冲信号,施密特触发器能对已有的信号进行变换、整形,单稳态触发器可用于脉冲信号的定时、延时等。

7.1 555 集成定时器

555 集成定时器是一种将模拟和数字电路集成于一体的电子器件,使用十分灵活方便,只要外加少量的阻容元件,就能构成多种用途的电路,如施密特触发器、单稳态触发器、多谐振荡器、等,使其在电子技术中得到了非常广泛的应用。

555 集成定时器的型号较多,常用的有 5G555 (双极型) 和 CC7555 (CMOS 型) 两种。555 定时器型号虽多,但其内部电路结构相似,片脚排列及功能完全相同。下面以国产双极型定时器的典型产品 5G555 为例,介绍其电路结构及功能。

7.1.1 5G555 定时器的电路结构

图 7.1 所示是国产双极型定时器 5G555 的逻辑图和管脚排列图。它由以下几部分构成。

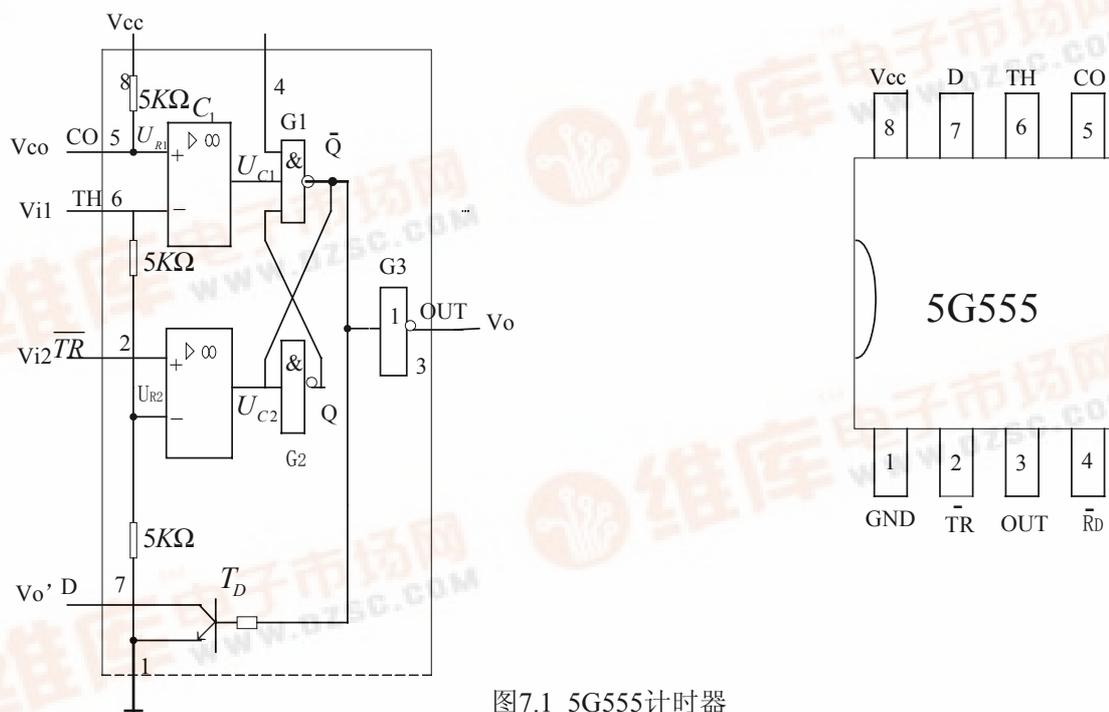


图7.1 5G555计时器

1. 分压器



由三个阻值均为 $5\text{ k}\Omega$ 的电阻串联构成分压器，为电压比较器 C_1 和 C_2 提供参考电压。若控制电压输入端（CO端，引脚5）外加控制电压 V_{CO} ，则比较器 C_1 、 C_2 的参考电压分别为 $U_{R1} = V_{CO}$ ， $U_{R2} = 1/2 V_{CO}$ ；不加控制电压时，该引出端不可悬空，一般要通过一个小电容（如 $0.01\ \mu\text{F}$ ）接地，以旁路高频干扰。这时两参考电压分别为 $U_{R1} = 2/3 V_{CC}$ ， $U_{R2} = 1/3 V_{CC}$ 。

2. 比较器

C_1 和 C_2 是两个结构完全相同的高精度电压比较器，分别由高增益运算放大器构成。比较器 C_1 的信号输入端为运放的反相输入端（TH端，引脚6）， C_1 的同相端接参考电压 U_{R1} ；比较器 C_2 的信号输入端为运放的同相输入端（ \overline{TR} 端，引脚2）， C_2 的反相输入端接参考电压 U_{R2} 。两比较器的输出分别为 U_{C1} 和 U_{C2} 。

3. RS锁存器

两个与非门 G_1 、 G_2 构成RS锁存器，低电平触发。比较器 C_1 、 C_2 的输出 U_{C1} 、 U_{C2} 控制锁存器的状态。也即决定了电路的输出状态。 \overline{R}_D 是锁存器的外部复位端，低电平有效。当 $\overline{R}_D = 0$ 时， $\overline{Q} = 1$ 。使电路输出（OUT端，引脚3）为0。正常工作时， \overline{R}_D 端应接高电平。

4. 三极管放电开关

三极管 T_D 构成放电开关，其状态受RS锁存器的 \overline{Q} 端控制。当 $\overline{Q} = 0$ 时， T_D 截止；当 $\overline{Q} = 1$ 时， T_D 饱和导通。此时，放电端（D端，引脚T）如有外接电容，则通过 T_D 放电。由于放电端的逻辑状态与输出 V_O 是相同的，故放电端也可以作为集电极开路输出 V_O' 。

5. 输出缓冲器

由反相器 G_3 构成，其作用是提高定时器的带负载能力，并隔离负载对定时器的影响。

7.1.2 定时器的逻辑功能

当CO端不外接控制电压时，5G555集成定时器的功能表如表7.1所示。现说明如下：

表 7.1 5G555 定时器功能表

\overline{R}_D	$V_{i2}(\text{TH})$	$V_{i2}(\overline{\text{TR}})$	$V_O(\text{OUT})$	T_D (放电管)
0	×	×	0	导通
1	$> \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{1}{3} V_{CC}$	0	导通
1	$< \frac{2}{3} V_{CC}$	$< \frac{1}{3} V_{CC}$	1	截止
1	$< \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{1}{3} V_{CC}$	不变	不变

① 只要外部复位端 $\overline{R}_D = 0$ ，不管 V_{i1} 、 V_{i2} 为何值，使 $\overline{Q} = 1$ ，因此电路输出 $V_O =$



0，放电管 T_D 导能。正常工作时 $\overline{R_D}=1$ 。

- ② 当 $\overline{R_D}=1$ ，且 $V_{i1} > 2/3 V_{CC}$ ， $V_{i2} > 1/3 V_{CC}$ 时，比较器 C_1 输出 $U_{C1}=0$ ，比较器 C_2 输出 $U_{C2}=1$ ，比而使 RS 触发器的 $\overline{Q}=1$ ， $V_0=0$ ， T_D 导通。
- ③ 当 $\overline{R_D}=1$ 且 $V_{i1} < 2/3 V_{CC}$ ， $V_{i2} < 1/3 V_{CC}$ 时， $U_{C1}=1$ ， $U_{C2}=0$ ， $\overline{Q}=0$ ， $V_0=1$ ， T_D 截止。
- ④ 当 $\overline{R_D}=1$ ，且 $V_{i1} < 2/3 V_{CC}$ ， $V_{i2} > 1/3 V_{CC}$ 时，两个比较器输出均为 1，根据与非门 RS 锁存器的特性，其状态保持不变，所以 V_0 和 T_D 的状态也保持不变。

由上说明可知，当 $\overline{R_D}=1$ 时，只要 TH 端（即 V_{i1} 输入端）加高电平（大于 $2/3 V_{CC}$ ）， \overline{Q} 总为 1， $V_0=0$ ，所以称 TH 为高电平触发端。同样，只有当 \overline{TR} 为低电平（小于 $1/3 V_{CC}$ ）时，才能使 $Q=1$ ， $V_0=1$ ，所以称 \overline{TR} 为低电平触发端。

5G555 定时器为双极型定时器，其特点为：电源电压范围较宽，可在 $4.5 \sim 18V$ 内正常工作；其输出电平能与 TTL、CMOS 电路兼容，且驱动电流大，灌、拉电流可达 $200mA$ 。

7.2 施密特触发器

施密特触发器又称为电平触发的双稳态触发器，其逻辑符号及电压传输特性如图 7.2 所示。其中图 7.2 (a) 为不带反相器的施密特触发器，而图 7.2 (b) 是带反相器的施密特触发器。

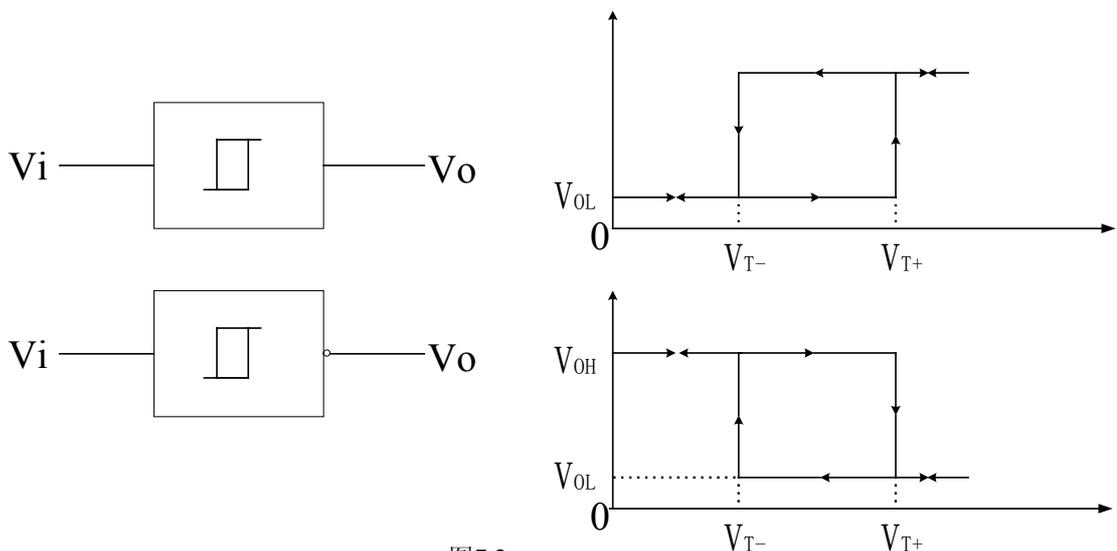


图7.2
施密特触发器逻辑符号
及电压传输特性



由施密特触发器的电压传输特性可以看出，它具有如下特点：

- (1) 有两个稳定状态。一个稳态输出为高电平 V_{OH} ，另一个稳态输出为低电平 V_{OL} 。但是这两个稳态要靠输入信号电平来维持。
- (2) 具有滞回电压传输特性。当输入信号高于 V_{T+} 时，电路处于一个稳定状态， V_{T+} 称作上触发电平或正向阈值电压；当输入信号低于 V_{T-} 时，电路处于另一稳定状态， V_{T-} 称作下触发电平或负向阈值电压；而当输入信号处于两触发电平之间时，其输出保持原状态不变。

施密特触发器可由多种方法构成，下面介绍由 555 定时器构成的施密特触发器和集成施密特触发器

7.2.1 用 555 定时器构成施密特触发器

1. 电路组成

只要把 555 的 TH 端（引脚 2）连在一起作为信号输入端，即可构成施密特触发器，如图 7.3 (a) 所示。

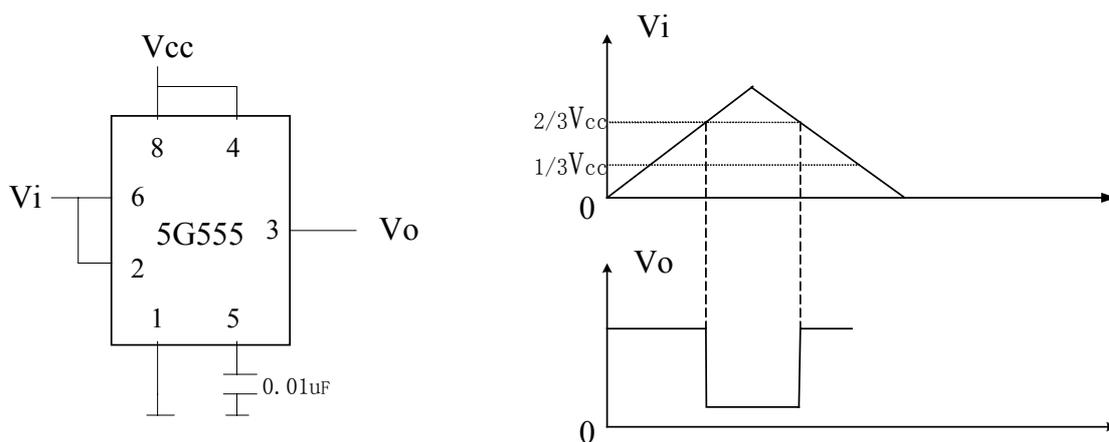


图7.3
用555定时器构成的
施密特触发器

1. 工作原理

设输入信号如图 7.3 (b) 所示。

首先分析输入电压 V_i 由 0 逐渐升高的工作过程：

当 $V_i < 1/3 V_{CC}$ 时， $U_{C1} = 1$ ， $U_{C2} = 0$ ，故 $V_o = V_{OH}$ 。

当 $1/3 V_{CC} < V_i < 2/3 V_{CC}$ 时， $U_{C1} = U_{C2} = 1$ ，故 $V_o = V_{OH}$ 不变。

当 $V_i > 2/3 V_{CC}$ 以后， $U_{C1} = 0$ ， $U_{C2} = 1$ ，故 $V_o = V_{OL}$ 。

其次分析输入电压 V_i 从高于 $2/3 V_{CC}$ 开始下降的工作过程：

当 $1/3 V_{CC} < V_i < 2/3 V_{CC}$ ， $U_{C1} = U_{C2} = 1$ ，故 $V_o = V_{OL}$ 不变。

当 $V_i < 1/3 V_{CC}$ 以后， $U_{C1} = 1$ ， $U_{C2} = 0$ ，故 $V_o = V_{OH}$ 。

根据以上分析，可以画出输入、输出波形，如图 7.3 (b) 所示。由此可得该施密特触发器的 $V_{T+} = 2/3 V_{CC}$ ， $V_{T-} = 1/3 V_{CC}$ ，回差电压为：

$$\Delta V_T = V_{T+} - V_{T-} = 1/3 V_{CC}$$



如果在定时器的控制电压输入端（C O端，引脚5），外接直流电压 V_{CO} ，则电路的 $V_{T+}=V_{CO}$ 、 $V_{T-}=1/2 V_{CO}$ ，回差电压 $\Delta V_T=1/2 V_{CO}$ ，可见改变 V_{CO} 数值，就能调节电路的回差电压。

如果在放电端（D端，引脚7）经一电阻接到另一个电源 V_{CC}' ，则该端输出电压 V_{O}' 的波形与 V_O 相同，但 V_{O}' 的幅度可随 V_{CC}' 而变，因此可作电平转换。并有较大的驱动能力。

7.2.2 集成施密特触发器

集成施密特触发器产品的种类较多，属TTL电路的有7413、7414、74132等，属CMOS电路的有CC40106、CC4583等。

TTL集成施密特触发器的上触发电平大约在1.7V左右，下触发电平 V_{T-} 大约在0.8V左右，其回差电压大约在0.9V左右。

CMOS集成施密特触发器具有CMOS电路电压范围宽的特点，所以工作在不同的电源电压情况下，所得 V_{T+} 、 V_{T-} 和 ΔV_T 皆有一定的分散性。例如，CC40106当电源电压 $V_{CC}=15V$

时， $V_{T+}=6.8V\sim 10.8V$ ， $V_{T-}=4\sim 7.4V$ ， $\Delta V_T=1.6\sim 5V$ 。当 $V_{CC}=5V$ 时， $V_{T+}=2.2\sim 3.6$ ，

$V_{T-}=0.9\sim 2.8V$ ， $\Delta V_T=0.3\sim 1.6V$ 。

7.2.3 施密特触发器的应用

施密特触发器的主要应用是把缓慢变化的不规则信号变成良好的矩形波。

1. 波形变换

利用施密特触发器状态转换过程中的正反馈作用，可以把边沿化缓慢的周期性信号变换为同频率的矩形脉冲。图7.4是把规则的正弦波变换成矩形波的例子。

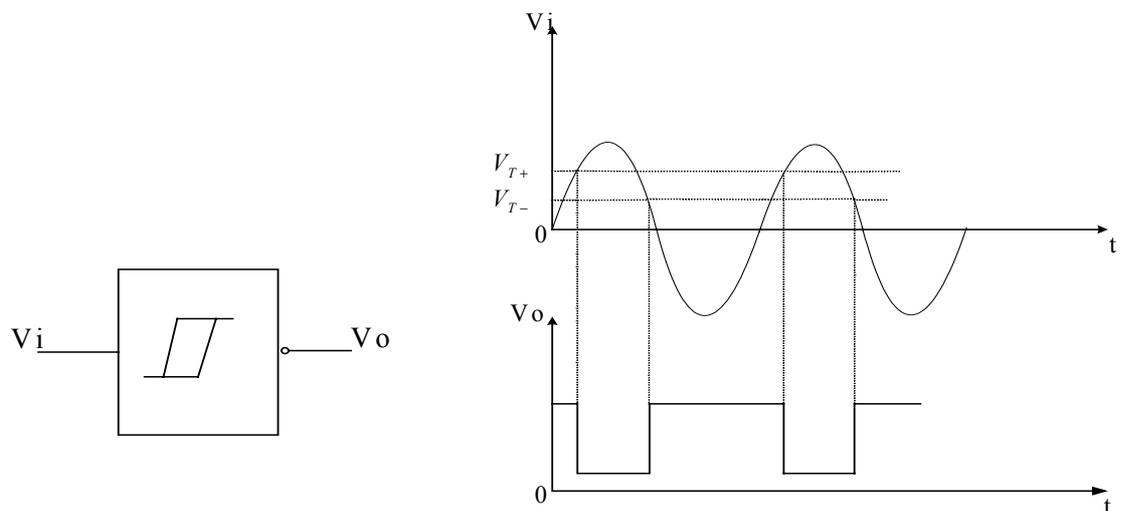


图7.4 用施密特触发器实现波形变换



2. 脉冲整形

若输入信号是一个顶部和前后沿受干扰而发生畸变的不规则波形,我们可以适当调节施密特触发器的回差电压,得到整齐的矩形脉冲,如图7.5所示。需要注意的是,将施密特触发器作整形运用时,应当适当提高回差电压,才能收到较好的整形效果。如果回差电压较小,例如 ΔV_T 小于顶部干扰信号的幅度,不但整形效果较差,而且可能产生错误输出。但回差电压过大,又会降低触发灵敏度,所以应当根据具体情况灵活运用。

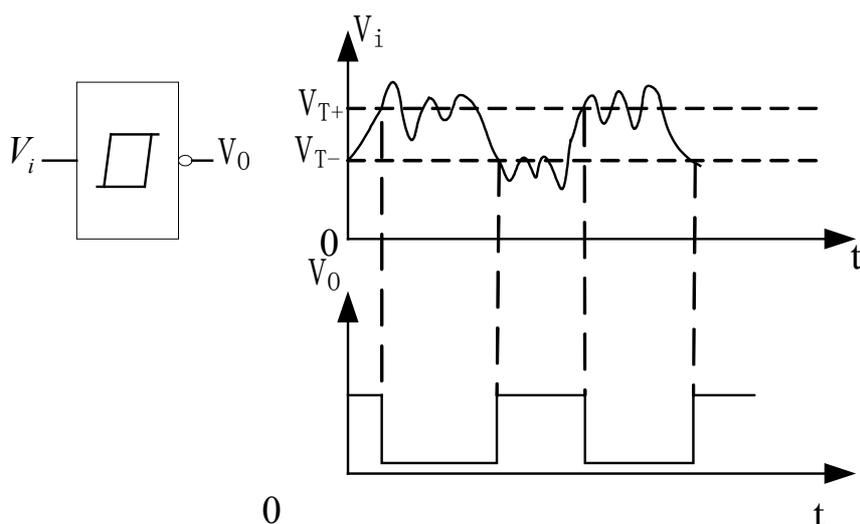


图7.5 用施密特触发器实现脉冲整形

3. 幅度鉴别

当施密特触发器的输入信号是一串幅度不等的脉冲时,可以通过高速电路的 V_{T+} 和 V_{T-} ,使只有当输入信号中幅度超过 V_{T+} 的脉冲才能使施密特触发器翻转,从而得到所需要的矩形脉冲。即将输入信号中幅度超过 V_{T+} 的脉冲选出,幅度较小的脉冲消除,所以具有幅度鉴别能力。图7.6是用施密特触发器实现幅度鉴别的例子。

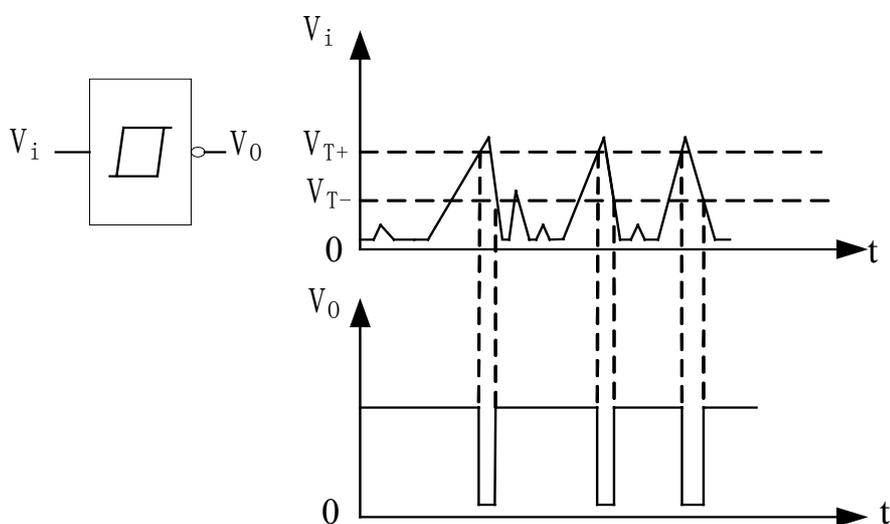


图7.6 用施密特触发器实现幅度鉴别



此外，用施密特触发器还能构成单稳态触发器和多谐振荡器具体内容在下面两节中介绍。

7.3 单稳态触发器

单稳态触发器的特点是：电路有两个工作状态——一个稳态，一个暂。在没有外界触发信号作用时，电路牌稳态，并且能一直保持下去。在外界信号作用下，电路由稳态转换为暂稳态。暂稳态是一个不能长久保持的状态，经过一段时间后，电路会自动返回到稳态。。暂稳态的持续时间，就是电路输出脉冲的宽度，它仅取决于电路本身的参数，而与触发脉冲无关。

单稳态触发器常用于脉冲的整形、定时和延迟

7.3.1 用 555 定时器构成单稳态触发器

1. 电路组成

用 5G555 定时器构成的痴，如图 7.7 所示。输入负触发脉冲加在低电平触发端（TR 端，引脚 2）。R、C 是外接的定时元件。该电路用输入脉冲的下降沿触发。

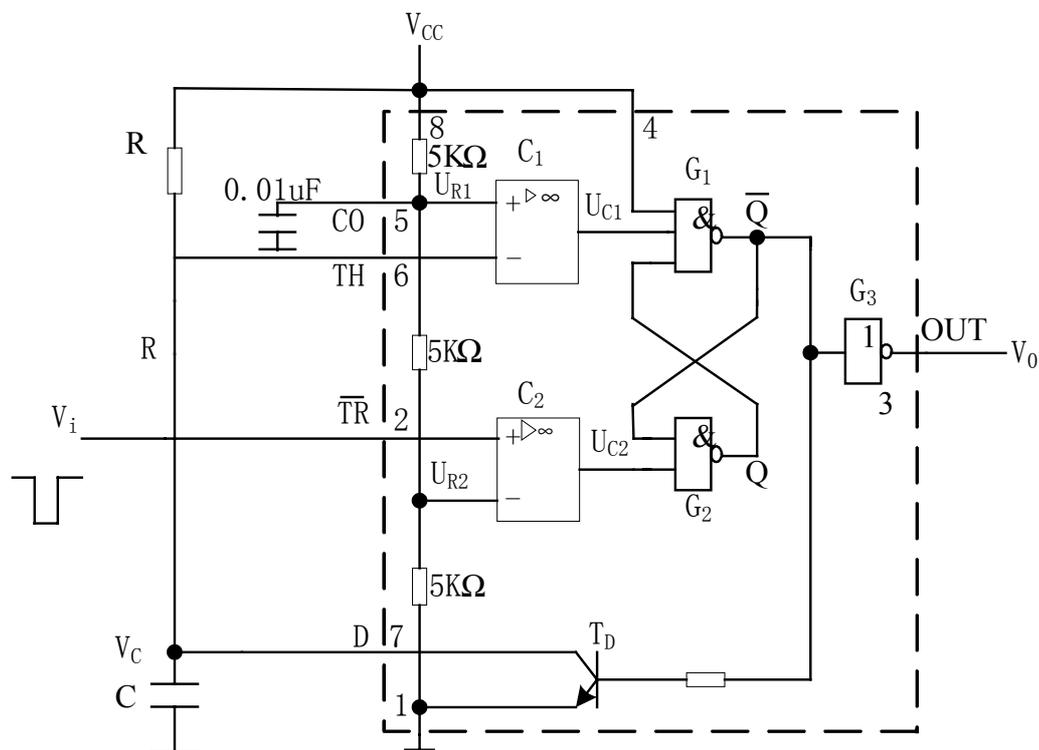


图7.7 由555定时器构成的单稳态触发器

2. 工作原理

(1) 稳态

未加入负触发脉冲时， V_i 为高电平（大于 $1/3V_{CC}$ ）则 $U_{C2}=1$ ，下面讨论 TH 端的电平。



不妨假设接通电源后定时器的输出 $V_o = V_{OH}$ ，若 $V_o = V_{OH}$ ，则门 G_3 的输入必然为低电平，放电管 T_D 必然截止，D 端对外如同开路。这样， V_{CC} 通过 R 对电容 C 充电，使 V_C 点电位升高当 $V_C \geq 2/3 V_{CC}$ 时，将使比较器 C_1 的输出 U_{C1} 为低电平，即 $U_{C1} = 0$ ，使 $\bar{Q} = 1$ ， $V_o = V_{OL}$ 。 $\bar{Q} = 1$ 将使放电管 T_D ，电容 C 通过 T_D 迅速放电，使 V_C 回到低电平上，这时 $U_{C1} = U_{C2} = 1$ ，RS 锁存器保持 0 状态不变，因而输出 V_o 也保持 $V_o = V_{OL}$ 的稳定状态。

(2) 暂稳态

当输入负触发脉冲的下降沿到达时，首先使比较器 C_2 的输出 $U_{C2} = 0$ ，由于触发器 $U_{C1} = 1$ ，则 RS 锁存被放置 1，即 $Q = 1$ ， $\bar{Q} = 0$ ，输出 V_o 由 V_{OL} 跳变为 V_{OH} ，电路进入暂稳态。

在暂稳态期间，由于 $\bar{Q} = 0$ ， T_D 截止， V_{CC} 经过 R 向 C 充电。当 C 充电到 V_C 略高于 $2/3 V_{CC}$ 时，使 $U_{C1} = 0$ 。（要注意的是：输入负向触发脉冲必须是窄脉冲，在 C 充电到 $2/3 V_{CC}$ 之前，输入要提前回到高电平，使 $U_{C2} = 1$ ）。这样，RS 锁存器被放置 0，输出 V_o 又返回到 $V_o = V_{OL}$ 的起始状态。同时，由于 $\bar{Q} = 1$ ， T_D 导通，C 经过 T_D 放电，直到 $V_C \approx 0$ ，电路恢复到原来的稳态。电路和工作波形如图 7.8 所示。

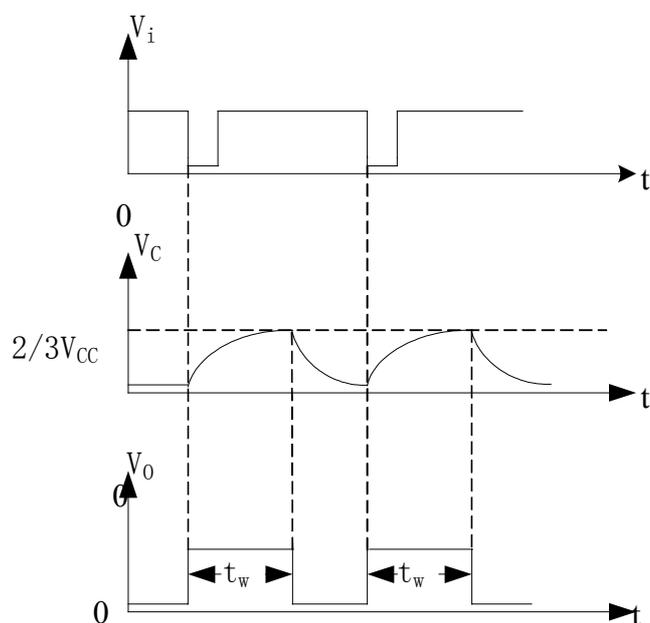


图7.8 由555定时器构成的单稳态触发器的工作波形



输出脉冲宽度 t_w 即为暂稳期的持续时间，它等于电容电压 V_C 从 0 上升到 $2/3V_{CC}$ 所需

$$\text{时间, 故 } t_w \approx RC \ln \frac{V_{CC}}{V_{CC} - \frac{2}{3}V_{CC}} = RC \ln 3 = 1.1RC$$

上式说明，该电路输出脉冲宽度仅取决于外接定时元件 R 和 C 的数值，而与电源电压无关。通常外接电阻 R 的取值范围为几百欧到几兆欧，外接电容 C 的取值范围为几百皮法到几百微法，相应 t_w 为几微秒到几分钟。精度可达 0.1%。这种单稳态触发器要求输入触发负脉冲的宽度小于输出脉冲的宽度 t_w ，否则应在 V_i 和触发器输入端 (\overline{TR} 端) 之间加接 RC 微分电路。

7.3.2 用施密特触发器构成单稳态触发器

图 7.9 (a) 所示是用 CMOS 集成施密特触发器构成的单稳态触发器。图中，触发脉冲经 RC 微分电路加到施密特触发器的输入端，在输入脉冲作用下，使得施密特触发器的输入电压依次经过 V_{T+} 和 V_{T-} 两个转换电平，从而在输出端得到一定宽度的矩形脉冲。具体工作过程如下：

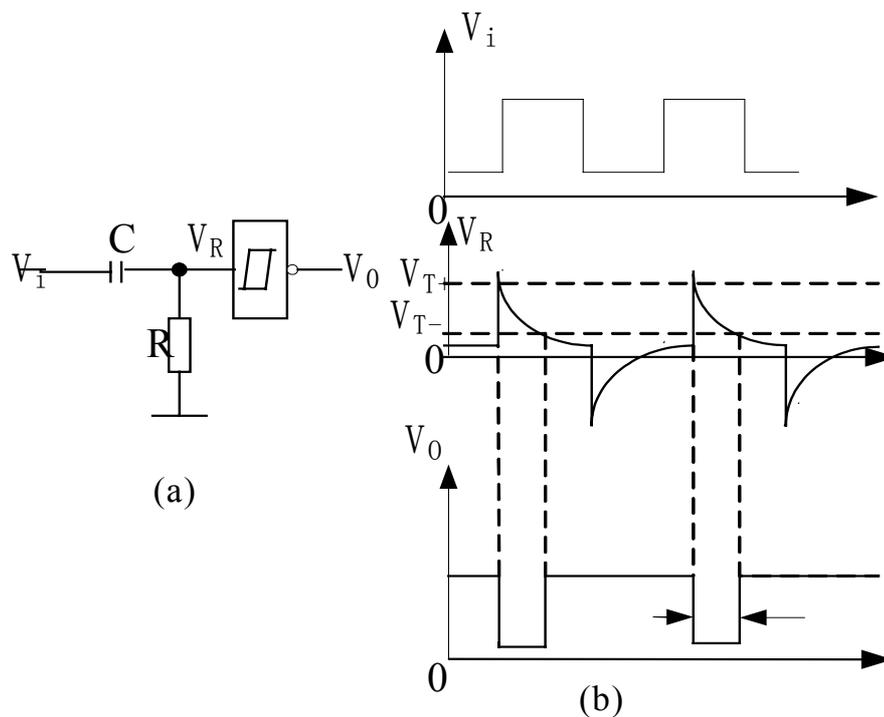


图7.9 用施密特触发器构成的单稳态触发器

稳态时，输入 $V_i=0, V_R=0$, 输出 $V_0=V_{OH}$ 。当幅度为 V_{DD} 的正触发脉冲加到电路输入端时， V_R 跳变到 V_{DD} 。由于 $V_{DD} > V_{T+}$ ，所以电路状态翻转， $V_0=V_{OL}$ ，进入暂稳态。在稳态期间，随着电容 C 的充电， V_R 按指数规律下降，当 V_R 下降到略低于 V_{T-} 时，电路状态再次



翻转，返回到原来的稳态，输出 $V_O = V_{OH}$ 。

电路各点的波形如图 7.9 (b) 所示。输出脉冲的宽度 t_w 取决于 RC 微分电路中电阻 R 上的电压 V_R 从初始值 V_{DD} 下降到 V_{T-} 所需的时间。根据简单 RC 电路过渡过程分析的三要素法，可得：

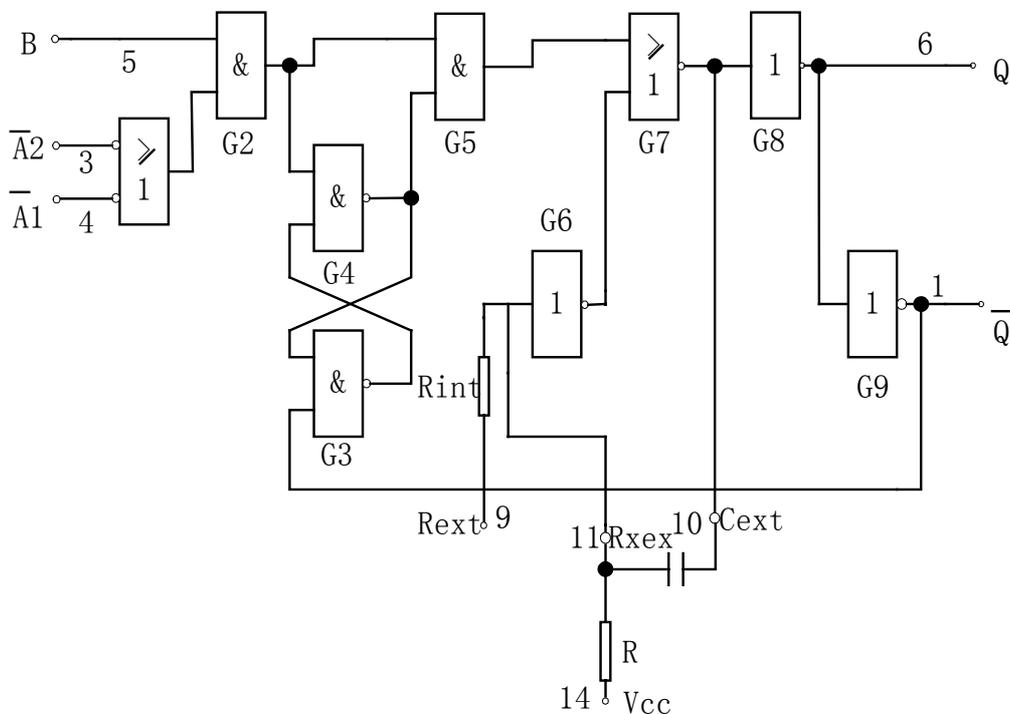
$$t_w = RC \ln \frac{V_R(\infty) - V_R(0^+)}{V_R(\infty) - V_R(t_w)} = RC \ln \frac{V_{DD}}{V_{T-}}$$

7.3.3 集成单稳态触发器

单稳态触发器应用很广泛因而被制成集成器件。集成单稳态触发器产品有多种，属于 TTL 系列的有 74121、74122、74123 等，属于 CMOS 系列的有 CC4528、CC4098 等。这些器件使用时只需外接少量定时元件即可。集成单稳态触发器一般都具有上升沿触发输入端和下降沿触发输入端，使用时可以任意选取，并有互补输出端 Q（输出正脉冲）和 \bar{Q} （输出负脉冲），使用极为方便。

图 7.10 (a) 是 74121 集成单稳态触发器的电路原理图。G₁、G₂ 构成触发输入电路 G₃~G₅ 构成窄脉冲形成电路，G₆、G₇ 以及虚线框中所示的外接电阻、电容组成单稳态触发器，G₈、G₉ 构成输出电路。 \bar{A}_1 、 \bar{A}_2 、B 是触发输入，Q、 \bar{Q} 是互补输出。

图 7.10 (b) 是 74121 的逻辑符号。



(a) 逻辑电路



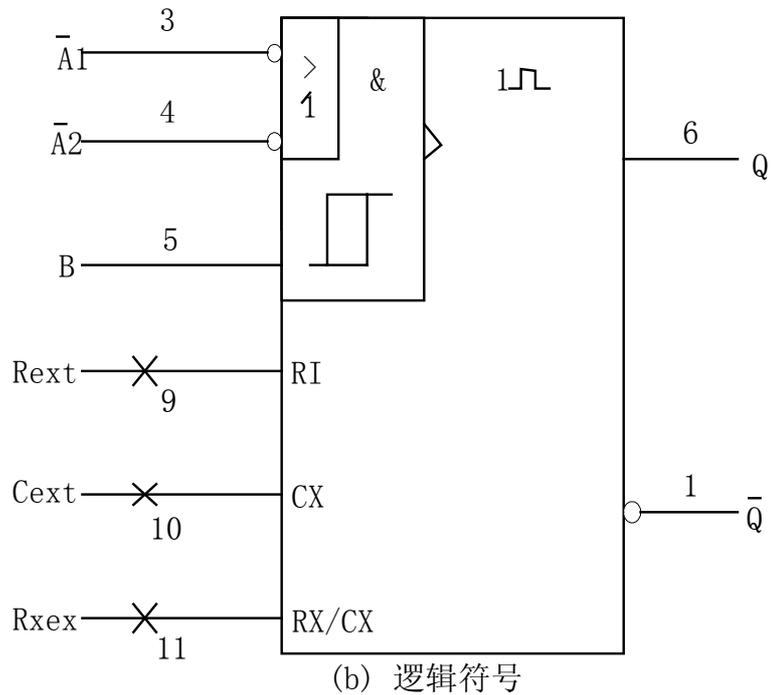


图7.10 74121集成单稳态触发器

符号中打×的输入（管脚9,10,11）表示“非逻辑连接”，用以表示没有任何逻辑信息的连接，如外接电阻、电容或基准电压等。符号中的限定符“1

⌋”非重复触发单稳“，单稳一旦被触发后，不管在此期间触发器输入有什么变化，输出脉宽不变。若符”⌋”则表示“可重复触发单稳”。单稳被触发后，如果尚未回到稳态又有触发信号输入，则输出固定脉宽要从最后一次触发输入算起。CC4098就是可重复触发单稳态触发器。

74121的 \overline{A}_1 和 \overline{A}_2 为两个下降沿触发输入端，B为上升沿触发输入端。74121稳态时处于 $Q=0$ 和 $\overline{Q}=1$ 的状态，一旦被触发，Q端和 \overline{Q} 端能分别输出一正脉冲和一个负脉冲。74121功能表如表7.2所示。表的左侧是单稳不受触发（稳态）的情况，右侧是受触发的情况。

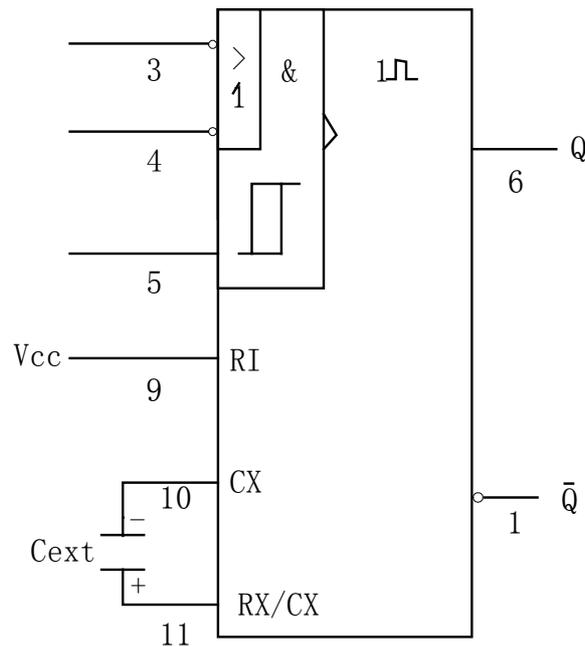


表 7.2 74121 功能表

$\overline{A_1}$	$\overline{A_2}$	B	Q	\overline{Q}	$\overline{A_1}$	$\overline{A_2}$	B	Q	\overline{Q}
0	×	1	0	1	1	↓	1		
×	0	1	0	1	↓	1	1		
×	×	0	0	1	↓	↓	1		
1	1	×	0	1	0	×	↑		
					×	0	↑		

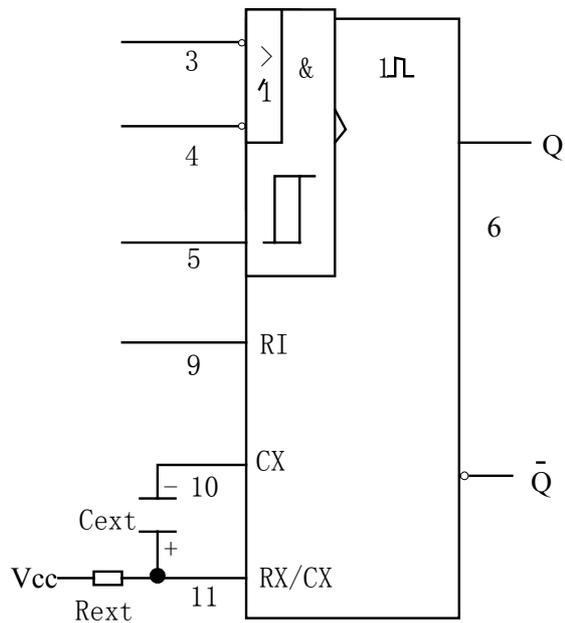
74121 电路内部有一个电阻 R_{int} ，约 2K 左右。如果 R_{int} 作定时电阻，则只需外接定时电容 C_{ext} 即可，电路连接如图 7.11 (a) 所示。通常的接法是外接电阻 R_{ext} 和电容 C_{ext} 作定时元件，如图 7.11(b)所示。这时 Q 和 \overline{Q} 端输出脉冲宽度 t_w 可由下式确定：

$$t_w \approx 0.7R_{ext}C_{ext}$$



(a) 利用内部 R_{int} 的连接图





(b) 外接R, C的连接图

1

图7.11

7.3.4 单稳态触发器的应用

单稳态触发器的应用很广，下面举几例说明其主要用途。

1. 脉冲的整形

把不规则的脉冲波形输入到单稳态触发器，只要能使单稳态触发器工作状态翻转，输出就成为具有一定宽度和一定幅度，而且边沿陡峭的矩形脉冲，从而起到脉冲整形作用。

图 7.12 为利用 74121 构成的脉冲整形电路及工作波形，调节 R_{ext} 和 C_{ext} ，可改变输出脉冲的宽度。



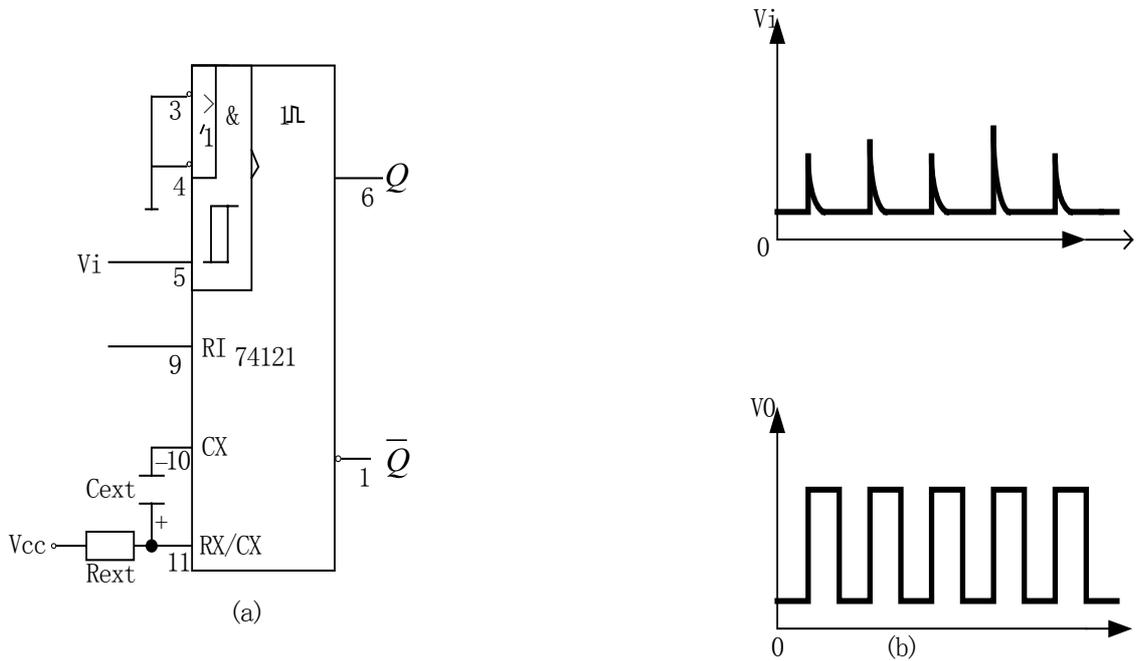
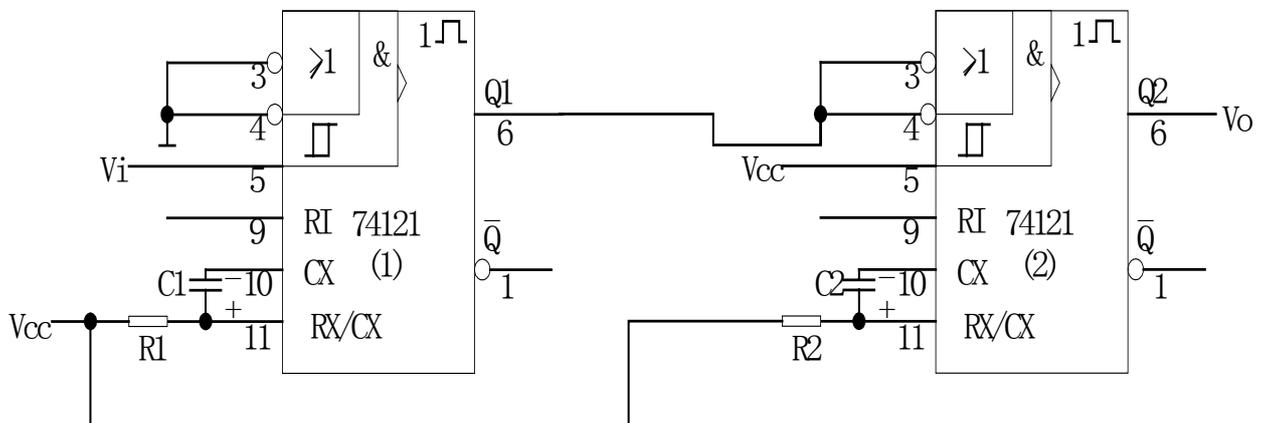


图7.12 用单稳态触发器实现脉冲整形

2. 脉冲的延时

在某些数字系统中，有时需要在—个脉冲信号到达后，延迟一段时间后再产生—个滞后的脉冲信号以控制两个相继进行的操作。图 7.13 (a) 为两个单稳态触发器组成的脉冲延时电路，图 7.13 (b) 为其工作波形。由工作波形可以看出，输出脉冲 V_o 滞后于输入脉冲 V_i 一段时间。延迟时间 t_d 恰好为由 74121(1) 的 C_1 和 R_1 所决定的暂稳时间 t_{w1} ，且 V_o 的脉冲宽度 t_{w2} 可由 74121 (2) 的 C_2 和 R_2 来调节。由于延时电路的延迟时间是从 V_i 的上升沿算起。故 V_i 应接在 74121 (1) 的 B 触发端。由于 74121 (1) Q 端信号触发 74121 (2)，故应将 Q_1 接在 74121 (2) 的下降沿触发端。



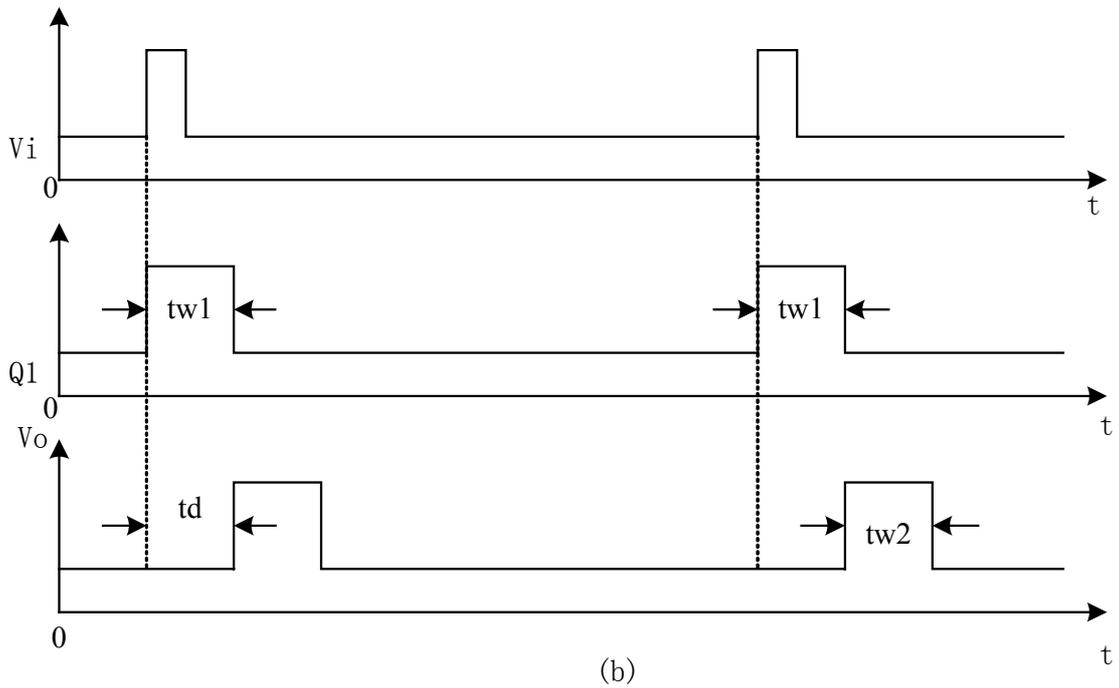
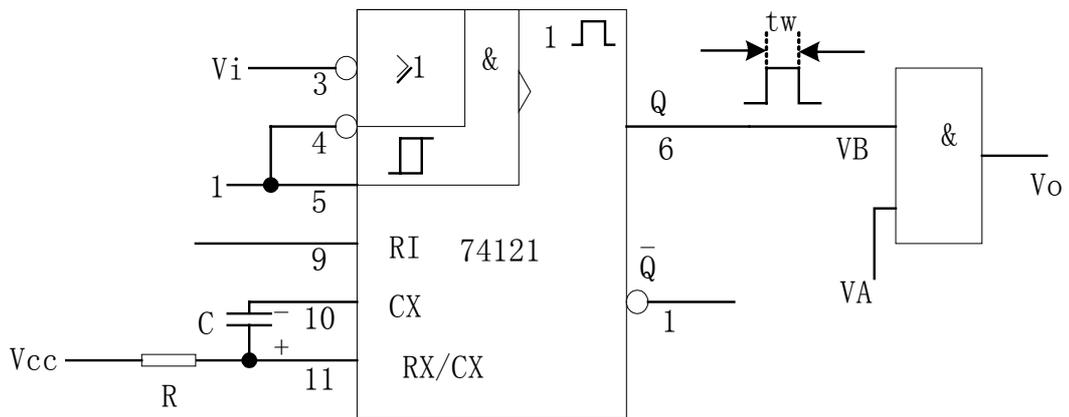
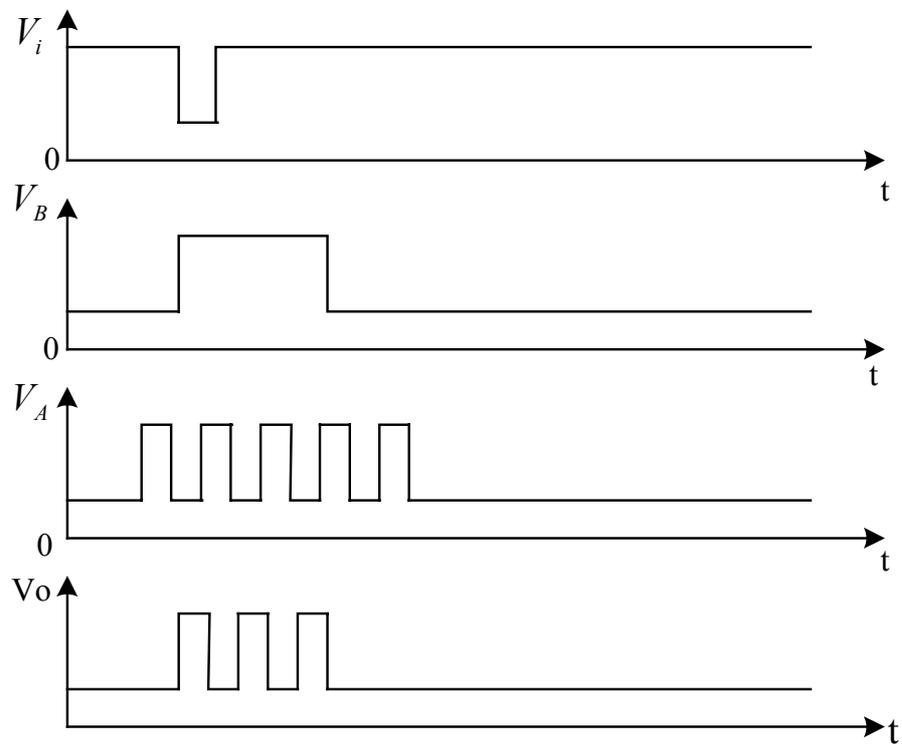


图7.13 用74121构成脉冲延时电路

3. 脉冲的定时

由于单稳态触发器能输出一定宽度的矩形脉冲，如果利用此脉冲去控制某一电路，使之在有脉冲期间动作，这就起到了定时作用。图 7.14 (a) 所示为一测量电路示意图。利用单稳态触发器产生的脉冲宽度为 t_w 的正矩形脉冲来控制一个与门，与门的另一输入端加有待测高频信号 V_A ，由于只有在这个矩形脉冲存在的时间 t_w 内，信号 V_A 才能通过与门。如果调节 $t_w = 1s$ ，则输出 V_o 脉冲的个数便是 V_A 的频率。





7.4 多谐振荡器

在数字系统中，经常有到矩形脉冲作为时钟信号来控制 and 协调整个系统的工作，能自行产生具有一定频率和一定脉宽的矩形波发生器。由于矩形波中包含有丰富的高级谐波，所以又称为多谐振荡器，和单稳态触发器或施密特触发器不同，多谐振荡器没有稳定状态，只有两个暂稳态，两暂稳态之间的相互转换都不需要外加触发信号，而是靠电路本身；来完成的。

7.4.1 用 555 定时器构成多谐振荡器

1. 电路组成

用 555 定时器构成的多谐振荡器如图 7.15 所示。图中 R_1, R_2 和 C 为外接定时元件。



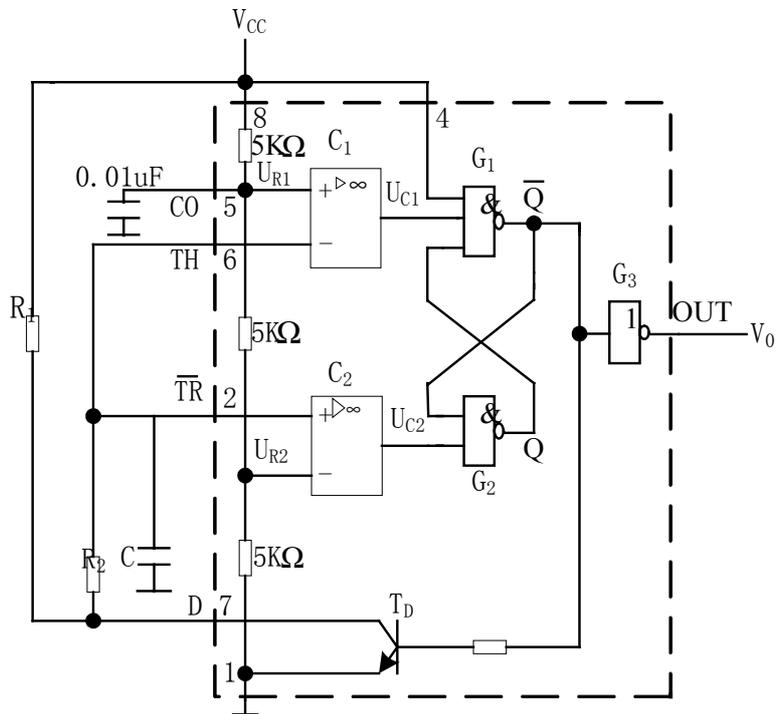


图7.15 用555定时器构成的多谐振荡器

2.工作原理

在电路没加电源电压之前,定时电容 C 上的电压 $V_c=0$.下面讨论电路接通电源后的情况.

在电路刚接通电源的瞬间,由于电容两端电压不能突变,故 V_c 仍保持为 0,这时两比较器的输出分别为 $U_{c1}=1, U_{c2}=0$,则 $\overline{Q}=0$,放电管 T_d 截止,电路输出 $V_o=Q=1$,继而,电源 V_{cc} 经电阻 R_1 和 R_2 向电容 C 充电,电容上电压 V_c 按指数规律上升,当 V_c 上升到略大于 $2/3V_{cc}$ 时,比较器 C_1 和 C_2 的输出分别为 $U_{c1}=0, U_{c2}=1$,RS 锁存器的状态翻转为 $Q=0, \overline{Q}=1$,放电管 T_d 导通,电路输出 V_o 由 1 转换为 0.

放电管 T_d 导通以后,电容 C 经电阻 R_2 和放电管 T_d 放电, V_c 由 $2/3V_{cc}$ 开始呈指数规律下降,当 V_c 下降到略低于 $1/3V_{cc}$ 时,比较器 C_1 和 C_2 的输出分别为 $U_{c1}=1, U_{c2}=0$,RS 锁存器的状态又翻转为 $Q=1, \overline{Q}=0, V_o=1, T_d$ 截止.随后, V_{cc} 又重新对 C 进行充电,如此周而复始形成振荡,从而在输出端可以得到周期性矩形脉冲,其稳定后的工作波形如图 7.16 所示.



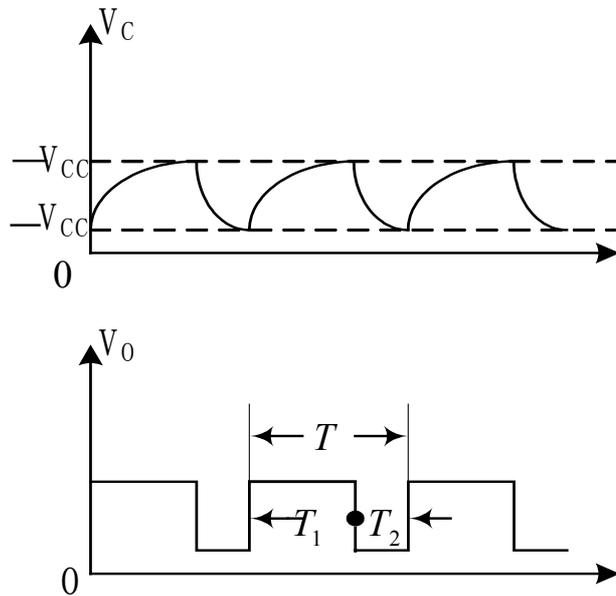


图7.16 由555构成的多谐振荡器的工作波形

3. 振荡周期估算

由图 7.16 所示的波形可知,电路的振荡周期为:

$$T = T_1 + T_2$$

式中的 T_1 为电容的电压 V_c 从 $1/3V_{cc}$ 上升到 $2/3V_{cc}$ 所需时间,充电时间常数

$\tau_1 = (R_1 + R_2)C$ 故:

$$T_1 = (R_1 + R_2)C \ln \frac{V_{cc} - \frac{1}{3}V_{cc}}{V_{cc} - \frac{2}{3}V_{cc}} = (R_1 + R_2)C \ln 2$$

T_2 为从 $2/3V_{cc}$ 下降到 $1/3V_{cc}$ 所需时间,放电时间常数 $\tau_2 = R_2C$,故:

$$T_2 = R_2C \ln \frac{0 - \frac{2}{3}V_{cc}}{0 - \frac{1}{3}V_{cc}} = R_2C \ln 2$$

因此, $T = T_1 + T_2 = (R_1 + 2R_2) \ln 2 \approx 0.7(R_1 + 2R_2)C$ 正脉宽 T_1 与周期 T 之比称作占空比,有 q 表示,则:

$$q = \frac{T_1}{T} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2}$$

555 定时器中用两个运算放大器作为电压比较器,灵敏度非常高,因此用这种器件构成的多谐振荡器频率较稳定,受电源电压及环境温度的影响很小,图 7.15 所示电路的缺点是占空比的调节不灵活.

4. 改进电路



在图 7.15 所示电路的基础上增加一个可调电位器 R_w ,再用 D_1, D_2 两个二极管把充电回路和放电回路完全分开,如图 7.17 所示,就构成了占空比可调的多谐振荡器,调节电位器 R_w ,就可改变输出矩形波的占空比。

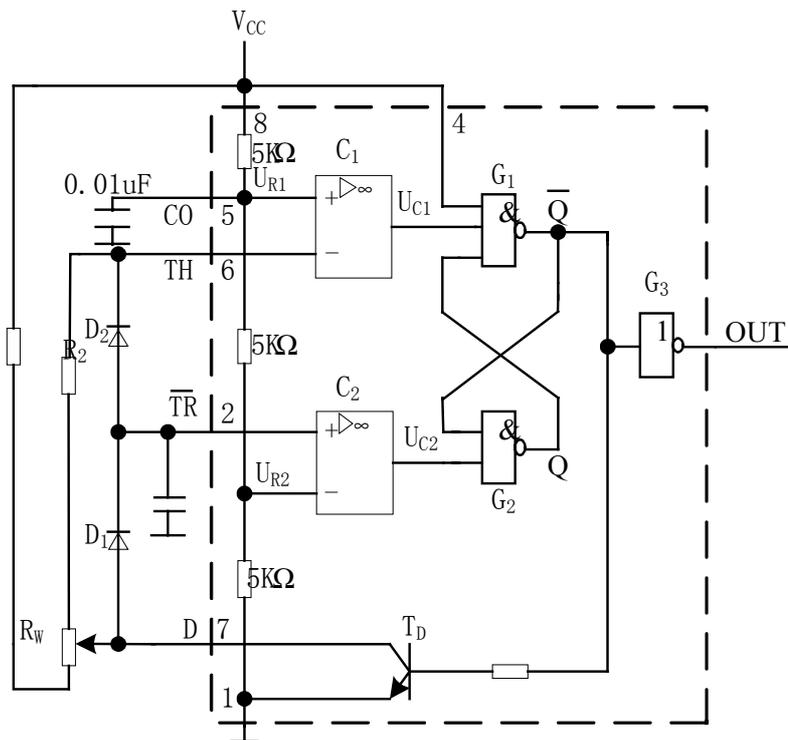


图7.17 多谐振荡器改进电路

如果把 R_w 分成两部分,把靠近 R_1 一侧的部分归并到 R_1 ,靠近 R_2 一侧的部分归并到 R_2 ,那其充电回路是 V_{cc} 经 R_1, D_1 对电容 C 充电,充电时间常数 $\tau_1 = R_1 \cdot C$;放电回路是电容通过 D_2, R_2 和放电管 T_d 放电,放电时间常数是 $\tau_2 = R_2 \cdot C$;因此:

$$T_1 \approx 0.7R_1 \cdot C$$

$$T_2 \approx 0.7R_2 \cdot C$$

$$q = \frac{T_1}{T_1 + T_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

由上式可知若 $R_1 \geq R_2, T_1 \geq T_2$,反之 $T_1 \leq T_2$ 。

7.4.2 用施密特触发器构成多谐振荡器

1. 电路组成和工作原理

图 7.18(a)所示电路是用施密特触发器构成的多谐振荡器。它是将施密特触发器的反相



输出端经 RC 积分电路回到输入端构成的。

接通电源的瞬间,由于电容 C 的初始电压为零,即施密特触发器的输入电压 V_i 为低电平,故电路输出 V_o 为高电平,电路进入第一个暂稳态,在此期间,输出高电平经电阻 R 向电容 C 充电,使 V_i 以指数规律增加。当电容 C 上的电压增加到略大于施密特触发器的上触发电平 V_{T+} 时,施密特触发器输出从高电平跳变到低电平,电路从第二暂稳态又返回到第一暂稳态。

电路如此周而复始地改变状态,产生自激振荡。电路的工作波形如图 7.18 (b) 所示。

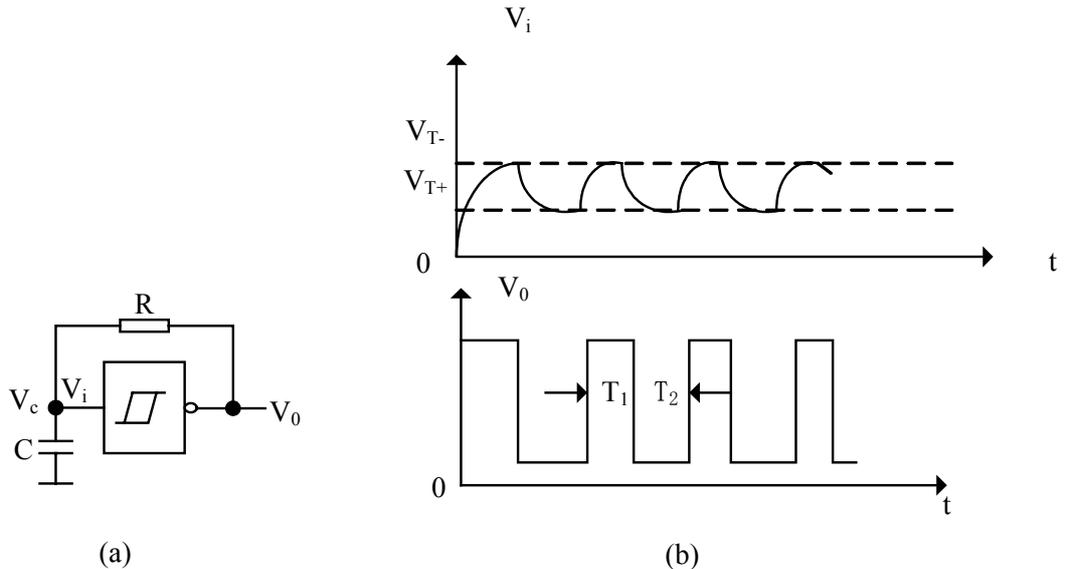


图7.18用施密特触发器构成的多谐振荡器

2. 振荡周期估算

若使用的是 CMOS 施密特触发器,而且 $V_{OH} \approx V_{DD}, V_{OL} \approx 0$,则由图 7.18 (b) 所示波形可得电路的振荡周期为:

$$T = T_1 + T_2 = RC \ln \frac{V_{DD} - V_{T-}}{V_{DD} - V_{T+}} + RC \ln \frac{0 - V_{T+}}{0 - V_{T-}} = RC \ln \left(\frac{V_{DD} - V_{T-}}{V_{DD} - V_{T+}} \cdot \frac{V_{T+}}{V_{T-}} \right)$$

7.4.3 石英晶体多谐振荡器

前面介绍的多谐振荡器具有工作可靠,电路简单,调节方便等优点。但缺点是振荡频率不能太高,一般不超过几百 kHz,另外,由于这些电路的振荡频率取决于时间常数 RC、转换电平及电源电压等参数。所以,当受环境温度变化、电源电压波动等外界条件影响时,决定振荡频率的参数的变化,将导致振荡频率的不稳定。所以,在频率要求高、对频率要求十分稳定的场合,常采用石英晶体多谐振荡器。

图 7.19 所示是石英晶体的符号和阻抗频率特性。由图可以看出,石英晶体对频率特别敏感,在石英晶体两端加不同频率的信号时,石英晶体呈不同的阻抗特性和不同的阻抗值。当信号频率为 f_0 时,石英晶体呈纯电阻特性,且阻抗值最小(接近于 0);当信号频率大于或小于 f_0 时石英晶体分别呈电感性和电容性,且阻抗值随偏离 f_0 的距离的增加而迅速增大。 f_0 称为石英晶体的固有频率或谐振频率,它只与石英晶体的切割方向、外形和尺寸有关,不



受外围电路参数的影响。石英晶体的固有频率的稳定度可达 10^{-7} ，足以满足数字系统对脉冲频率稳定度的要求。

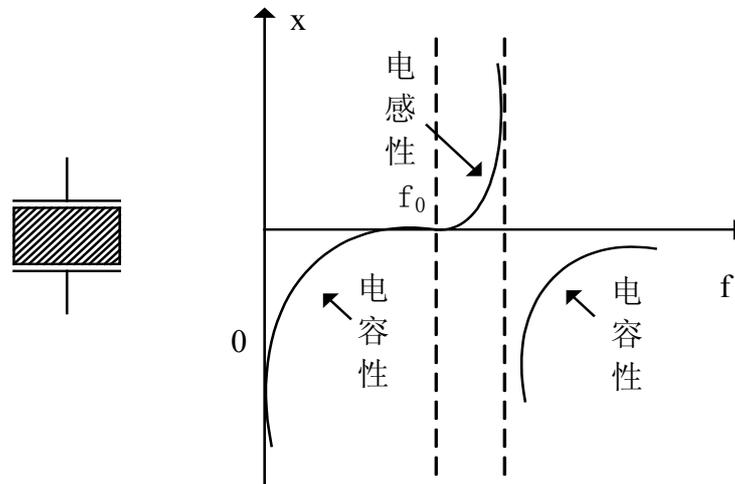


图7.19石英晶体的符号和阻抗频率特性

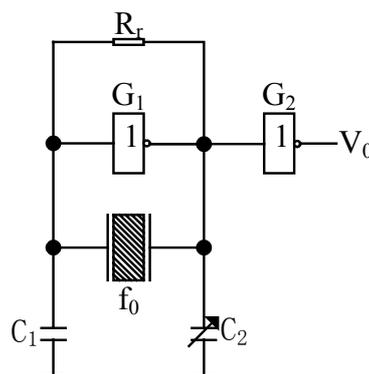


图7.20 CMOS石英晶体多谐振荡器

图 7.20 所示电路是用 CMOS 反相器和石英晶体构成的多谐振荡器。图中反相器 G_1 用于产生振荡； R_f 是反馈电阻（约为 $10\sim 100M\Omega$ ），其作用是给 G_1 提供适当的偏置，使之工作在放大区，以增强电路的稳定性和改善振荡器的输出波形；振荡器的振荡频率取决于石英晶体的固有频率 F_0 ； C_1 是温度特性校正电容（一般取 $20\sim 40pF$ ）； C_2 是频率微调电容（调节范围一般为 $5\sim 35pF$ ）。反相器 G_2 的作用是对输出信号整形和缓冲，以便得到较为理想的矩形波和增加电路的驱动能力。

石英晶体多谐振荡器的突出优点是有极高的频率稳定度，多用于要求高精度时基的数字系统中。

