

第5章

数字信号的生成与变换及模数之间的转换

中央处理器(CPU)需要按照一定的时钟节拍才能有序地工作,一般的时序电路也离不开作为时序基准的时钟信号(CP)。获取时钟信号的方法通常有两种:直接产生或利用其他信号变换得到。使用脉冲振荡器,可以直接产生一定频率的脉冲数字信号;将模拟信号通过整形或模数转换(A/D)的方法,也能得到脉冲数字信号。源自生产实践的原始信号通常为模拟信号,由于数字信号的处理方法多,误差较小,所以我们常常将模拟信号转换成数字信号,在数字系统中完成信号处理,然后将数字信号转换成模拟信号,加以放大后推动终端运行,如屏幕的显示、LED灯的点亮、数字仪表指针的转动等均在数字系统中处理信号。本章先介绍脉冲数字信号的生成与变换技术,然后介绍模拟信号与数字信号之间的转换技术。

5.1 555 多谐振荡器

5.1.1 时基电路 555 的功能



555 芯片属于模拟与数字混合型的集成电路,按其工艺分为 TTL 型和 CMOS 型两类,其应用非常广泛。

555 芯片有 8 个引脚,如图 5.1 所示,电路主要由两个高精度电压比较器 A_1 与 A_2 、一个 RS 触发器、一个放电晶体管和 3 个 $5k\Omega$ 电阻组成,芯片由此得名。555 芯片的 6 脚为高触发输入端 $U_{11}=U_{TH}$,2 脚为低触发输入端 $U_{12}=U_{TL}$,4 脚为异步复位端 $\bar{R}_D$,8 脚与 1 脚分别为电源与接地端,3 脚为输出端。555 芯片内部 3 个 $5k\Omega$ 电阻构成了串联分压电路,在 5 脚未外接信号时,这 3 个电阻产生两个比较器 A_1 和 A_2 的基准电压, A_1 的基准电压为 A_1 正端输入电压 $U_{V1+}=2/3V_{CC}$, A_2 的基准电压为 A_2 负端输入电压 $U_{V2-}=1/3V_{CC}$ 。

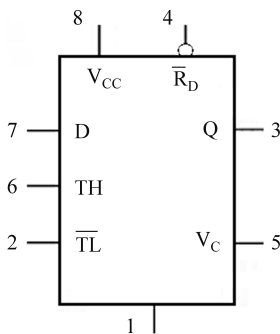


图 5.1 555 芯片引脚

555 芯片的电路结构及比较器的基准电压如图 5.2 所示。

555 时基电路的功能如表 5.1 所示。当异步复位端 $\bar{R}_D=0$ 时,不论其他输入端电平如何,输出无条件复位 $U_O=0$;当高触发输入端 $U_{TH}>2/3V_{CC}$,低触发输入端 $U_{TL}>1/3V_{CC}$,输出低电平 $U_O=0$,NPN 晶体管基极高电平,晶体管导通,7 脚低电平;当高触发输入端 $U_{TH}<2/3V_{CC}$,低触发输入端 $U_{TL}<1/3V_{CC}$,输出高电平 $U_O=1$,NPN 晶体管截止,7 脚高电平;当高触发输入端 $U_{TH}<2/3V_{CC}$,低触发输入端 $U_{TL}>1/3V_{CC}$ 时,输出 U_O 保持不变,晶体管状态保持不变。

表 5.1 555 时基电路的功能

复位端 $\bar{R}_D$	高触发输入端 TH (U_{11})	高触发输入端 TL (U_{12})	输出 Q (U_O)	放电晶体管 (T)	功 能
0	X	X	0	导通	清零
1	$>2/3V_{CC}$	$>1/3V_{CC}$	0	导通	置 0

续表

复位端 $\bar{R}_D$	高触发输入端 TH (U_{H1})	高触发输入端 $\overline{TL}$ (U_{H2})	输出 Q (U_O)	放电晶体管 (T)	功 能
1	$<2/3V_{CC}$	$<1/3V_{CC}$	1	截止	置 1
1	$<2/3V_{CC}$	$>1/3V_{CC}$	Q^n	不变	保持

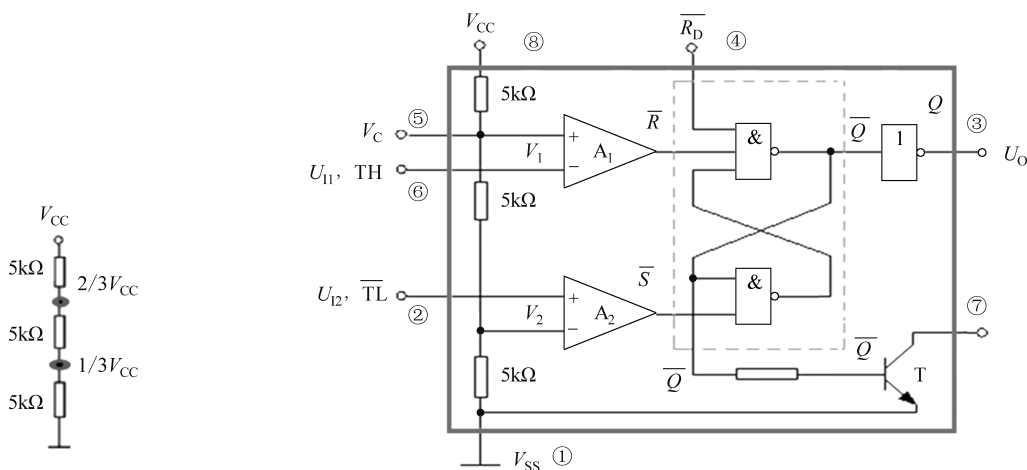


图 5.2 555 芯片的电路结构及比较器的基准电压

例 5.1 图 5.3 所示 555 时基电路中,电源 $V_{CC}=5V$,①若高触发端输入 $U_{H1}=3V$,低触发端输入 $U_{H2}=1.5V$ 时,输出 U_O 是高电平还是低电平?
②若输入 $U_{H1}=3V, U_{H2}=2V$ 时, $U_O=?$ ③若输入 $U_{H1}=4V, U_{H2}=2V$ 时, $U_O=?$

解: $V_{CC}=5V$, 比较器 A_1 基准电压 $2/3V_{CC+}=(2/3)\times 5\approx 3.33V$, 比较器 A_2 基准电压 $1/3V_{CC+}\approx 1.67V$, ①高触发输入 $U_{H1}=3V<3.33V$, 低触发输入 $U_{H2}=1.5V<1.67V$, 输出 U_O 为逻辑高电平。②高触发输入 $U_{H1}=3V<2/3V_{CC+}(3.33V)$, 低触发输入 $U_{H2}=2V>1/3V_{CC+}(1.67V)$, 此时, 输出 U_O 维持原状, 继续保持逻辑高电平。③高触发输入 $U_{H1}=4V>2/3V_{CC+}(3.33V)$, 低触发输入 $U_{H2}=2V>1/3V_{CC+}(1.67V)$, 输出 U_O 转为逻辑低电平。

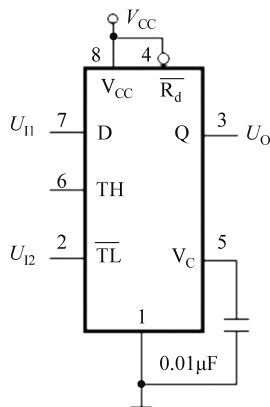


图 5.3 555 时基电路

5.1.2 用 555 电路构成多谐振荡器

图 5.4 所示为 555 电路构成的多谐振荡器, 555 时基电路的高触发输入端 U_{H1} (U_{TH})、低触发输入端 U_{H2} (U_{TL}) 与电容 C 相连, $U_{H1}=U_{H2}=U_C$, 电容 C 另一端接地。加电后, 电源通过 R_1, R_2 对电容 C 充电, 电容电压 U_C 升高, 充电时常数为 $(R_1+R_2)C$, 当

$U_{11}=U_{12}=U_C<1/3V_{CC}$ 时,555 芯片输出 $U_O=1, \bar{Q}=0=U_{BE}$,NPN 晶体管截止;电容 C 继续充电, U_C 进一步增大,当 $1/3V_{CC}<U_{11}=U_{12}=U_C<2/3V_{CC}$ 时, $U_O=1, \bar{Q}=U_{BE}=0$,输出 U_O 保持高电平,NPN 晶体管仍然截止;当 U_C 增大至 $U_{11}=U_{12}=U_C>2/3V_{CC}$ 时,输出电压发生跳变, $U_O=0, \bar{Q}=U_{BE}=1$,NPN 晶体管导通,电容 C 上电荷通过 R_2 、NPN 晶体管回路放电,放电时常数为 R_2C ,放电致使电容电压 U_C 下降,当下降至 $1/3V_{CC}<U_{11}=U_{12}=U_C<2/3V_{CC}$ 时,输出 U_O 不变,维持 $U_O=0, \bar{Q}=1$,NPN 晶体管继续导通,电容 C 继续放电, U_C 进一步下降,当降至 $U_{11}=U_{12}=U_C<1/3V_{CC}$ 时,输出电压再次发生跳变 $U_O=1$ 。随着电容充放电的转换,电路如此循环往复,输出 $U_O=1\rightarrow 0\rightarrow 1\rightarrow 0\rightarrow \dots$ U_O 在逻辑 0 和 1 之间无限循环下去,于是就生成了多谐信号:矩形脉冲信号 U_O ,如图 5.5 所示。

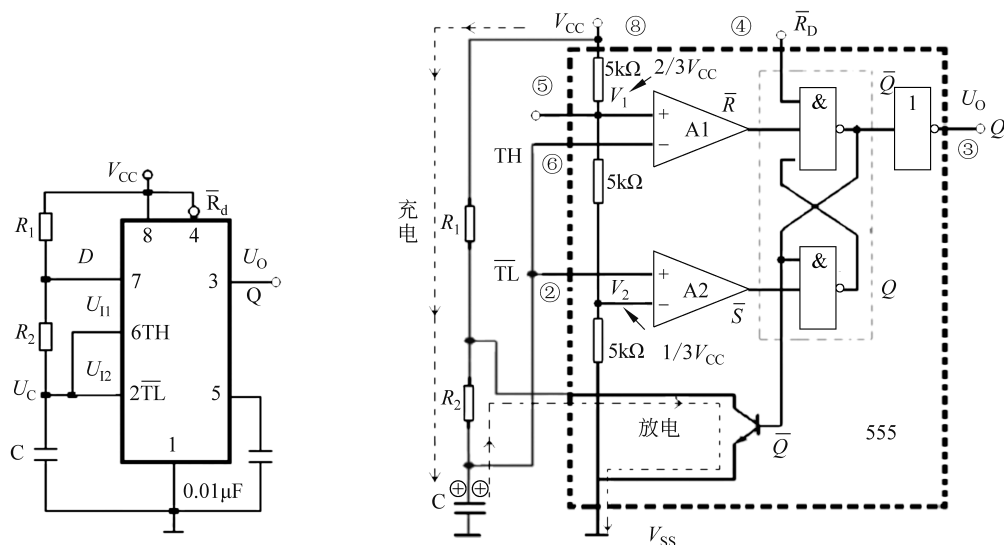


图 5.4 555 电路构成多谐振荡器

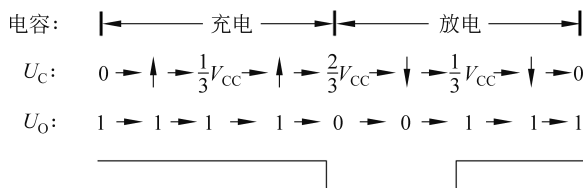


图 5.5 555 多谐振荡器电容充放电过程

例 5.2 图 5.6 所示为 555 芯片构成的多谐振荡器电路,求输出脉冲 V_O 的高电平宽度、低电平宽度、振荡周期和占空比。

解: (1) 输出脉冲高电平宽度为电容 C 由零电位充电至 $2/3V_{CC}$ 的时间:

$$T_{PH} = 0.7(R_1 + R_2)C = 0.7 \times 11 \times 10^3 \times 0.1 \times 10^{-6} = 0.77 \text{ ms}.$$

(2) 输出脉冲低电平宽度为电容 C 由电压 $2/3V_{CC}$ 放电至 $1/3V_{CC}$ 的时间:

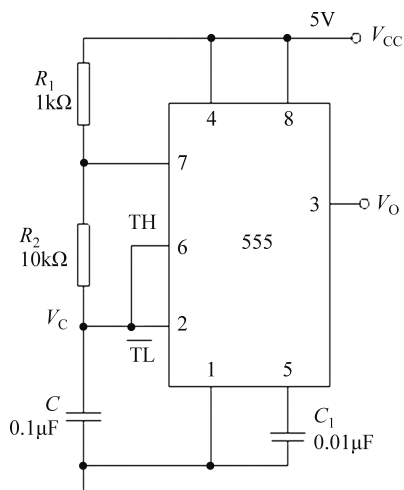


图 5.6 多谐振荡器电路

$$T_{PL} = 0.7 \times R_2 C = 0.7 \times 10 \times 10^3 \times 0.1 \times 10^{-6} = 0.7 \text{ ms}.$$

(3) 振荡周期: $T = 0.7(R_1 + 2R_2)C = 0.77 \text{ ms} + 0.7 \text{ ms} = 1.47 \text{ ms}$ 。

(4) 输出脉冲占空比为 $D = T_{PH}/T = (R_1 + R_2)/(R_1 + 2R_2) \approx 50\%$ 。

5.2 施密特触发器



施密特触发器是具有滞后特性的数字传输门, 触发器输入具有两个阈值电压, 分别称为正向阈值电压 V_{TH}^+ 和反向阈值电压 V_{TH}^- 。当输入电压大于正向阈值电压 V_{TH}^+ 时, 输出电平跳变; 当输入电压小于反向阈值电压 V_{TH}^- 时, 输出电平也跳变; 当输入电压处于阈值电压 $[V_{TH}^-, V_{TH}^+]$ 之间时, 施密特触发器状态保持不变。正向阈值电压 V_{TH}^+ 与反向阈值电压 V_{TH}^- 二者的差值称为回差电压 $\Delta V = V_{TH}^+ - V_{TH}^-$ 。图 5.7 所示是同相施密特触发器的传输特性, 除回差期间, 输出与输入电平变化一致, 输入低电平, 输出低电平; 输入高电平, 输出高电平。图 5.8 所示是反相施密特触发器的传输特性, 除回差期间, 输出与输入电平相反。施密特触发器具有电压滞回特性, 所以具有较强的抗干扰能力, 同相与反相施密特触发器的符号如图 5.9 和图 5.10 所示。

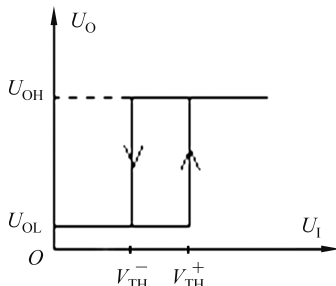


图 5.7 同相施密特触发器的传输特性

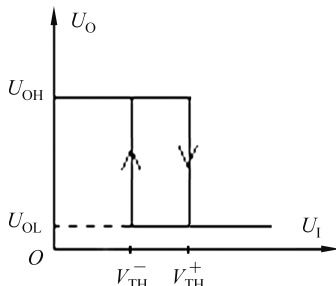


图 5.8 反相施密特触发器的传输特性

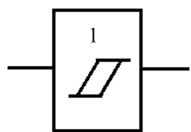


图 5.9 同相传输施密特触发器的符号

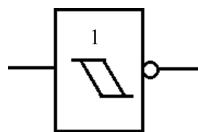


图 5.10 反相传输施密特触发器的符号

施密特触发器虽然没有自激振荡的功能,无输入不能产生矩形脉冲,但是,利用它的回差特性,可以把其他形状的信号变换成为矩形波,为数字系统提供标准的脉冲数字信号。施密特触发器芯片 7414 拥有 6 个反相的施密特触发器,如图 5.11 所示。

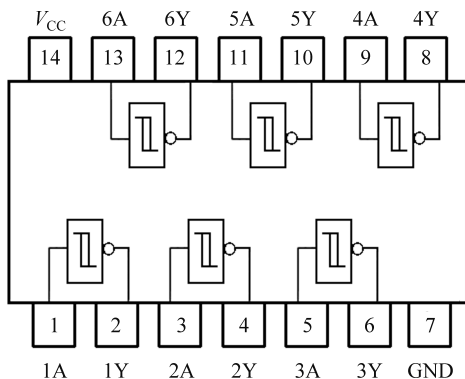


图 5.11 六反相施密特触发器 7414

例 5.3 试用施密特触发器将三角波信号整形为矩形脉冲信号。

解：若将三角波信号输入至同相施密特触发器,当输入电压 $U_I < V_{TH}^-$ 时,同相施密特触发器输出低电平 $U_O = 0$;当 U_I 上升至区间 $V_{TH}^- < U_I < V_{TH}^+$,输出保持不变 $U_O = 0$;当 U_I 上升至 $U_I > V_{TH}^+$ 时,输出跳变至高电平 $U_O = 1$;当 U_I 由最高点 U_{MAX} 开始下降,在区间 $V_{TH}^- < U_I < V_{TH}^+$ 时,输出保持不变 $U_O = 1$;当 U_I 下降至 $U_I < V_{TH}^-$ 后,输出跳变至低电平 $U_O = 0$,如此循环往复,同相施密特触发器输出 U_O 就是矩形脉冲信号。

若将三角波信号输入反相施密特触发器,当输入电压 $U_I < V_{TH}^-$ 时,反相施密特触发器输出高电平 $U_O = 1$;当 U_I 上升至区间 $V_{TH}^- < U_I < V_{TH}^+$,输出保持不变 $U_O = 1$;当 U_I 上升至 $U_I > V_{TH}^+$ 时,输出跳变至低电平 $U_O = 0$;当 U_I 由最高点 U_{MAX} 开始下降,在区间 $V_{TH}^- < U_I < V_{TH}^+$ 时,输出保持不变 $U_O = 0$;当 U_I 下降至 $U_I < V_{TH}^-$ 后,输出跳变至高电平 $U_O = 1$,如此循环往复,反相施密特触发器也获得矩形脉冲信号的输出。同相、反相传输的施密特触发器输入、输出波形如图 5.12 所示。

例 5.4 试用反相施密特触发器将输入正弦波信号整形为矩形脉冲信号。

解：根据反相施密特触发器的特性: $U_I < U_{T-}, U_O = 1; U_{T-} < U_I < U_{T+}, U_O = 1; U_I > U_{T+}, U_O = 0$ 。设置阈值电压 $U_{T+} < U_{IMAX}$ 与 $U_{T-} > U_{IMIN}$,将正弦波信号输入反相施密特触发器,可以输出矩形脉冲信号 U_O ,如图 5.13 所示。

例 5.5 如何使用正相传输的施密特触发器,将受干扰的矩形脉冲信号进行整形,形

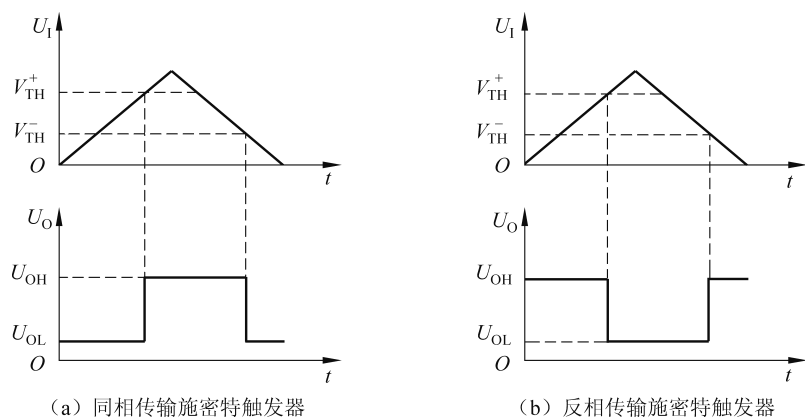


图 5.12 同相、反相传输的施密特触发器的输入输出波形

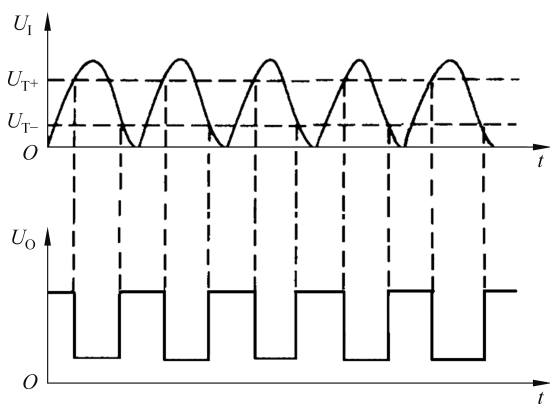


图 5.13 正弦波输入后,施密特触发器的输出波形

成规则的矩形脉冲信号?

解: 因为施密特触发器在阈值电压处,输出电平才可能跳变,所以令正向阈值电压 V_{T+} 取值小于受干扰后的脉冲高电平,负向阈值电压 U_{T-} 取值大于受干扰后的脉冲低电平,这样就能将脉冲干扰去除,形成规则的矩形脉冲信号。

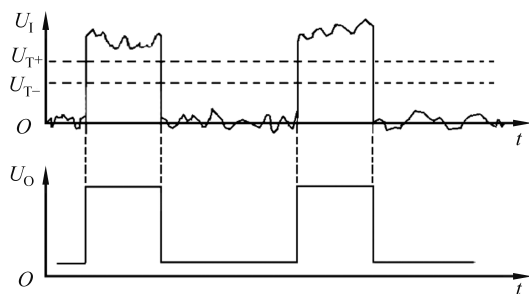


图 5.14 将叠加干扰的脉冲信号整形为规则的矩形脉冲信号

5.3 单稳态触发器

脉冲数字信号可能受到干扰,导致波形不够规则,也可能脉冲宽度不符合需求,这时需要对脉冲数字信号的宽度进行处理。使用单稳态触发器,不仅可以对不规则矩形脉冲波形进行整形,而且还可以控制矩形波的脉冲宽度。

单稳态触发器具有稳态和暂稳态两个不同的工作状态: 在外界触发脉冲作用下,从稳态翻转到暂稳态,维持一定时间后又回到稳态。维持时间取决电路参数(R 、 C),与触发脉冲的宽度和幅度无关。图 5.15 所示是下降沿触发的单稳态触发器,每当检测到输入信号 U_I 的下降沿,触发器输出 U_O 跳变至低电平 $U_O=0$,进入暂稳态,然后维持一段时间 T_w ,再回到稳态高电平 $U_O=1$ 。

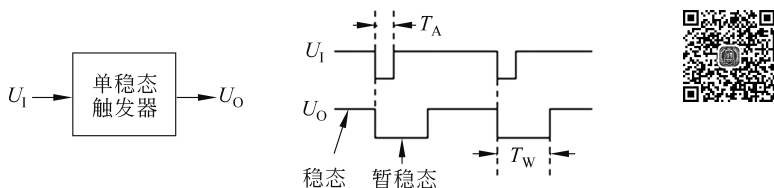


图 5.15 单稳态触发器输入输出波形

集成单稳态触发器分为两种: 可重触发和不可重触发的单稳态触发器。对于不可重触发型单稳态触发器,当暂稳态没有结束时,即使再来触发脉冲,触发器也不予响应,待暂稳态完成进入稳态后,方可响应新的触发信号。如图 5.16(a)所示,触发器稳态为低电平 $U_O=0$,在输入 U_I 第一个上升沿后,触发器进入暂稳态高电平 $U_O=1$,在暂稳态时间 T_w 未结束时,输入 U_I 出现第二个上升沿,触发器不予响应,继续执行暂稳态 $U_O=1$,直至暂稳态结束,重新开始检测触发信号,因为两个触发脉冲后, U_I 再无上升沿,最后,触发器便为稳态“0”。

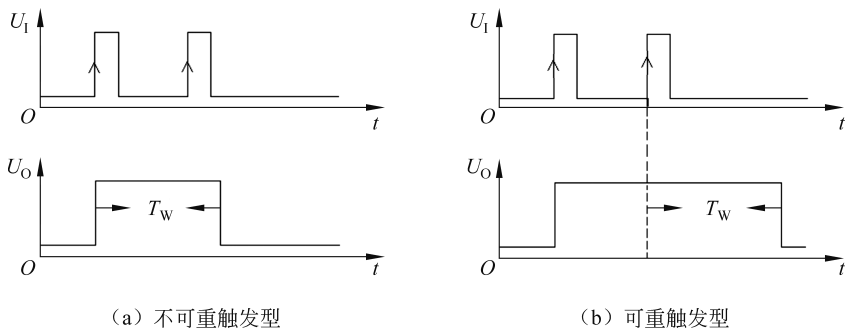


图 5.16 单稳态触发器输入输出波形

对于可重触发型单稳态触发器,当暂稳态没有结束时,又受到新触发,那么结束当前暂稳态,重新响应新触发信号,进入新一轮的暂稳态。如图 5.16(b)所示, U_I 第一个上升

沿触发后,进入暂稳态“1”,在暂稳态时间 T_w 未结束时,触发器再次受到 U_1 上升沿触发,此时,触发器重新开始进入暂稳态“1”,直至暂稳态时间 T_w 结束,才进入稳态“0”。

单稳态触发器 74221 和 74123 引脚类似,但 74221 是不可重触发型单稳态触发器,74123 是可重触发型单稳态触发器,如图 5.17 所示。

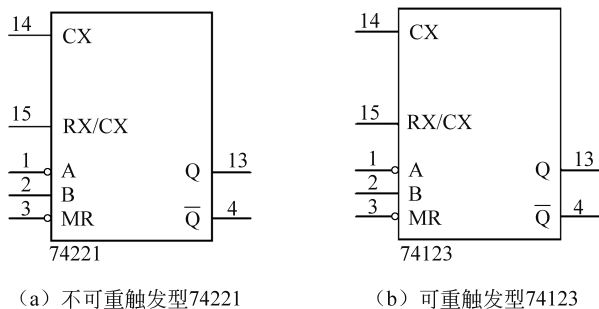
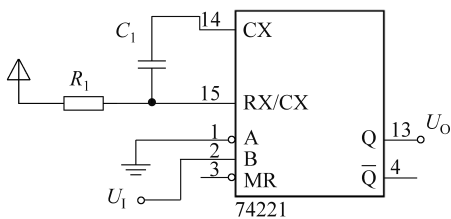


图 5.17 不可重触发型与可重触发型单稳态触发器

不可重触发型单稳态触发器 74221 的功能如图 5.18 所示,当 $A=0$ 时,输入信号 B 上升沿触发有效,触发器 Q 输出一个正脉冲 U_O ,脉冲宽度 $T_w \approx 0.7R_1C_1$ 。

输入			输出	
$\overline{CLR}$	A	B	Q	$\overline{Q}$
L	X	X	L	H
X	H	X	L	H
X	X	L	L	H
H	L	$\uparrow$	$\neg$	$\neg$
H	$\downarrow$	H	$\neg$	$\neg$
$\uparrow$	L	H	$\neg$	$\neg$

(a) 74221 功能



(b) 74221应用

图 5.18 单稳态触发器 74221 的功能

假设单稳态触发器输入信号 U_1 第 2、4 个脉冲受到严重干扰,如图 5.19 所示,使用图 5.18 所示的单稳态触发器,对输入信号 U_1 整形后,输出端 Q 的波形恢复了第 2、4 个脉冲,完成了对输入信号 U_1 的整形功能。

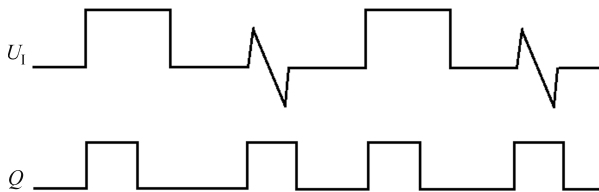


图 5.19 单稳态触发器 74221 的波形整形应用

5.4 A/D 与 D/A 转换概述

将模拟信号(analog signal)转换成数字信号(digital signal)或将数字信号转换成模拟信号,这是数字系统应用的必由之路,也是数字系统应用于实践的桥梁。图 5.20 列举了几种 A/D 与 D/A 的应用示例。

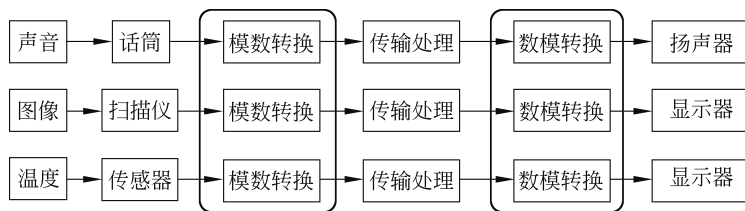


图 5.20 模数转换和数模转换的应用示例

5.5 A/D 转换

5.5.1 A/D 转换的步骤

A/D 转换的过程包括采样、保持、量化和编码四步。

1. 采样

首先对模拟信号按照采样时钟的节拍进行采样,每个采样时钟周期采样一次,如图 5.21 所示,采样时钟信号与原始模拟信号相与后,得到的离散信号幅值 U'_0 与正比于原始模拟信号 U_1 ,如图 5.21 所示。采样时钟必须满足奈奎斯特定理(采样定理)的要求,即采样信号的频率 f_s 应大于等于被采样的模拟信号最高频率 f_{IMAX} 的 2 倍($f_s \geq 2f_{\text{IMAX}}$),才能不失真地恢复原始模拟信号。

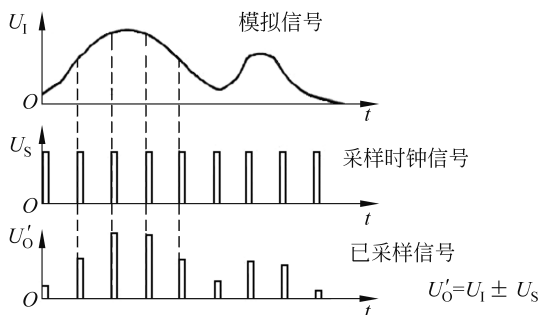


图 5.21 模拟信号采样

例 5.6 使用 A/D 转换器将 0~6MHz 的模拟视频信号转换成数字视频信号,A/D