

图 10.4.18 石英晶体的电抗频率特性和符号

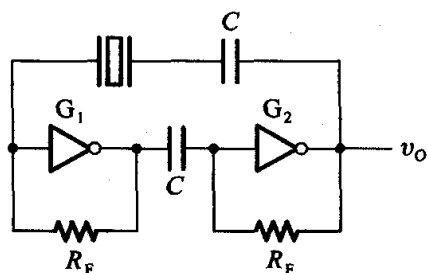


图 10.4.19 石英晶体多谐振荡器

足以满足大多数数字系统对频率稳定度的要求。具有各种谐振频率的石英晶体已被制成标准化和系列化的产品出售。

在图 10.4.19 所示电路中,若取 TTL 电路 7404 用作 G_1 和 G_2 两个反相器, $R_F = 1 \text{ k}\Omega$, $C = 0.05 \text{ }\mu\text{F}$, 则其工作频率可达几十兆赫。

在非对称式多谐振荡器电路中,也可以接入石英晶体构成石英晶体多谐振荡器,以达到稳定频率的目的。电路的振荡频率同样也等于石英晶体的谐振频率,与外接电阻和电容的参数无关。

复习思考题

R10.4.1 在什么条件下电路中的正反馈会使电路产生振荡? 在什么条件下电路中的负反馈会使电路产生振荡?

R10.4.2 这一节所介绍的振荡器电路当中哪几种是利用正反馈作用产生振荡的? 哪几种是利用延迟负反馈产生振荡的?

R10.4.3 为什么石英晶体能稳定振荡器的振荡频率?

R10.4.4 你能总结出画充、放电等效电路时处理 TTL 和 CMOS 门电路输入端等效电路的原则吗?

10.5 555 定时器及其应用

10.5.1 555 定时器的电路结构与功能

555 定时器是一种多用途的数字 - 模拟混合集成电路,利用它能极方便地

构成施密特触发器、单稳态触发器和多谐振荡器。由于使用灵活、方便,所以 555 定时器在波形的产生与变换、测量与控制、家用电器、电子玩具等许多领域中都得到了应用。

正因为如此,自从 Signetics 公司于 1972 年推出这种产品以后,国际上各主要的电子器件公司也都相继地生产了各自的 555 定时器产品。尽管产品型号繁多,但所有双极型产品型号最后的 3 位数码都是 555,所有 CMOS 产品型号最后的 4 位数码都是 7555。而且,它们的功能和外部引脚的排列完全相同。为了提高集成度,随后又生产了双定时器产品 556(双极型)和 7556(CMOS 型)。

图 10.5.1 是国产双极型定时器 CB555 的电路结构图。它由比较器 C_1 和 C_2 、SR 锁存器和集电极开路的放电三极管 T_D 三部分组成。

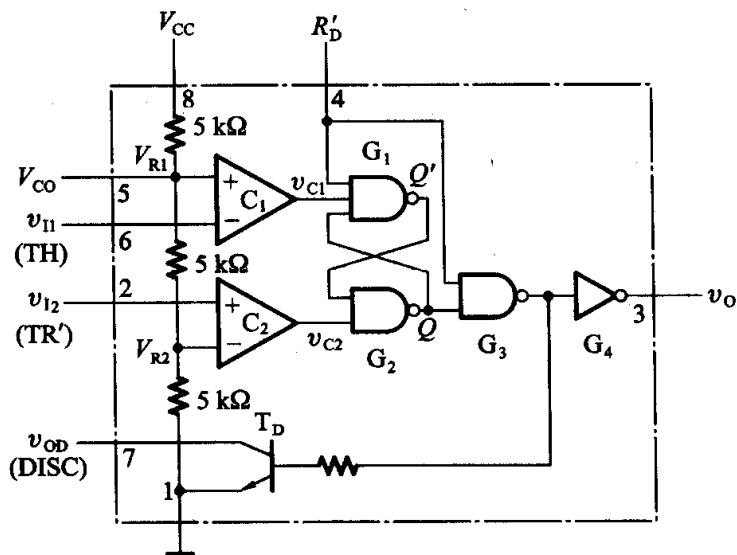


图 10.5.1 CB555 的电路结构图

v_{I1} 是比较器 C_1 的输入端(也称阈值端,用 TH 标注), v_{I2} 是比较器 C_2 的输入端(也称触发端,用 TR' 标注)。 C_1 和 C_2 的参考电压(电压比较的基准) V_{R1} 和 V_{R2} 由 V_{CC} 经三个 $5\text{ k}\Omega$ 电阻分压给出。在控制电压输入端 V_{CO} 悬空时, $V_{R1} = \frac{2}{3}V_{CC}$, $V_{R2} = \frac{1}{3}V_{CC}$ 。如果 V_{CO} 外接固定电压,则 $V_{R1} = V_{CO}$, $V_{R2} = \frac{1}{2}V_{CO}$ 。

R'_D 是置零输入端。只要在 R'_D 端加上低电平,输出端 v_o 便立即被置成低电平,不受其他输入端状态的影响。正常工作时必须使 R_D 处于高电平。图中的数码 1~8 为器件引脚的编号。

由图 10.5.1 可知,当 $v_{I1} > V_{R1}$ 、 $v_{I2} > V_{R2}$ 时,比较器 C_1 的输出 $v_{C1} = 0$ 、比较器 C_2 的输出 $v_{C2} = 1$,SR 锁存器被置 0, T_D 导通,同时 v_o 为低电平。

当 $v_{I1} < V_{R1}$ 、 $v_{I2} > V_{R2}$ 时, $v_{C1} = 1$ 、 $v_{C2} = 1$,锁存器的状态保持不变,因而 T_D 和

输出的状态也维持不变。

当 $v_{I1} < V_{R1}$ 、 $v_{I2} < V_{R2}$ 时, $v_{C1} = 1$ 、 $v_{C2} = 0$, 故锁存器被置 1, v_o 为高电平, 同时 T_D 截止。

当 $v_{I1} > V_{R1}$ 、 $v_{I2} < V_{R2}$ 时, $v_{C1} = 0$ 、 $v_{C2} = 0$, 锁存器处于 $Q = Q' = 1$ 的状态, v_o 处于高电平, 同时 T_D 截止。

这样我们就得到了表 10.5.1 所示的 CB555 的功能表。

表 10.5.1 CB555 的功能表

| 输 入 | | | 输 出 | |
|--------|-----------------------|-----------------------|-------|----------|
| R'_D | v_{I1} | v_{I2} | v_o | T_D 状态 |
| 0 | x | x | 低 | 导通 |
| 1 | $> \frac{2}{3}V_{CC}$ | $> \frac{1}{3}V_{CC}$ | 低 | 导通 |
| 1 | $< \frac{2}{3}V_{CC}$ | $> \frac{1}{3}V_{CC}$ | 不变 | 不变 |
| 1 | $< \frac{2}{3}V_{CC}$ | $< \frac{1}{3}V_{CC}$ | 高 | 截止 |
| 1 | $> \frac{2}{3}V_{CC}$ | $< \frac{1}{3}V_{CC}$ | 高 | 截止 |

为了提高电路的带负载能力, 还在输出端设置了缓冲器 G_4 。如果将 v_{OD} 端经过电阻接到电源上, 那么只要这个电阻的阻值足够大, v_o 为高电平时 v_{OD} 也一定为高电平, v_o 为低电平时 v_{OD} 也一定为低电平。555 定时器能在很宽的电源电压范围内工作, 并可承受较大的负载电流。双极型 555 定时器的电源电压范围为 5 ~ 16 V, 最大的负载电流达 200 mA。CMOS 型 7555 定时器的电源电压范围为 3 ~ 18 V, 但最大负载电流在 4 mA 以下。

可以设想, 如果使 v_{C1} 和 v_{C2} 的低电平信号发生在输入电压信号的不同电平, 那么输出与输入之间的关系将为施密特触发特性; 如果在 v_{I2} 加入一个低电平触发信号以后, 经过一定的时间能在 v_{C1} 输入端自动产生一个低电平信号, 就可以得到单稳态触发器; 如果能使 v_{C1} 和 v_{C2} 的低电平信号交替地反复出现, 就可以得到多谐振荡器。

下面将具体说明如何实现以上这些设想。

10.5.2 用 555 定时器接成的施密特触发器

将 555 定时器的 v_{I1} 和 v_{I2} 两个输入端连在一起作为信号输入端, 如图 10.5.2 所示, 即可得到施密特触发器。

由于比较器 C_1 和 C_2 的参考电压不同, 因而 SR 锁存器的置 0 信号 ($v_{C1} = 0$) 和置 1 信号 ($v_{C2} = 0$) 必然发生在输入信号 v_i 的不同电平。因此, 输出电压 v_o 由

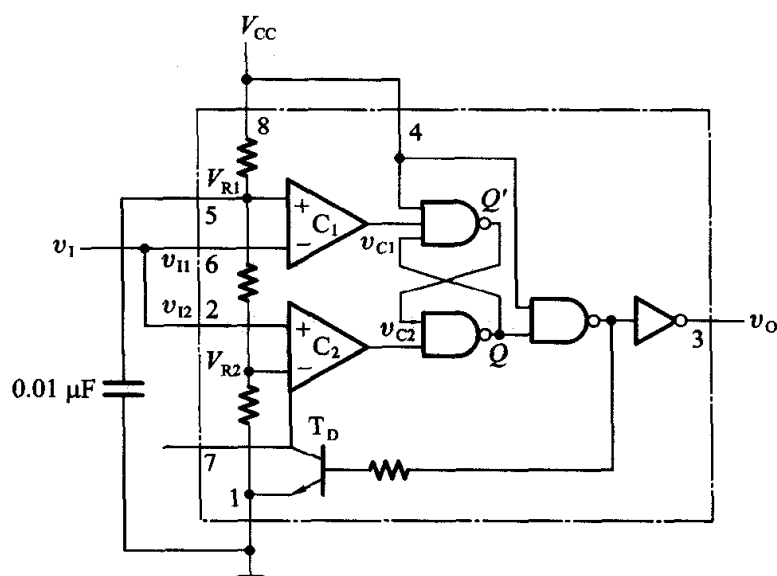


图 10.5.2 用 555 定时器接成的施密特触发器

高电平变为低电平和由低电平变为高电平所对应的 v_1 值也不相同,这样就形成了施密特触发特性。

为提高比较器参考电压 V_{R1} 和 V_{R2} 的稳定性,通常在 V_{CC} 端接有 $0.01 \mu\text{F}$ 左右的滤波电容。

首先我们来分析 v_1 从 0 逐渐升高的过程:

当 $v_1 < \frac{1}{3}V_{CC}$ 时, $v_{C1} = 1$ 、 $v_{C2} = 0$, $Q = 1$, 故 $v_o = V_{OH}$;

当 $\frac{1}{3}V_{CC} < v_1 < \frac{2}{3}V_{CC}$ 时, $v_{C1} = v_{C2} = 1$, 故 $v_o = V_{OH}$ 保持不变;

当 $v_1 > \frac{2}{3}V_{CC}$ 以后, $v_{C1} = 0$ 、 $v_{C2} = 1$, $Q = 0$, 故

$v_o = V_{OL}$ 。因此, $V_{T+} = \frac{2}{3}V_{CC}$ 。

其次,再看 v_1 从高于 $\frac{2}{3}V_{CC}$ 开始下降的过程:

当 $\frac{1}{3}V_{CC} < v_1 < \frac{2}{3}V_{CC}$ 时, $v_{C1} = v_{C2} = 1$, 故 $v_o = V_{OL}$ 不变;

当 $v_1 < \frac{1}{3}V_{CC}$ 以后, $v_{C1} = 1$ 、 $v_{C2} = 0$, $Q = 1$, 故

$v_o = V_{OH}$ 。因此, $V_{T-} = \frac{1}{3}V_{CC}$ 。

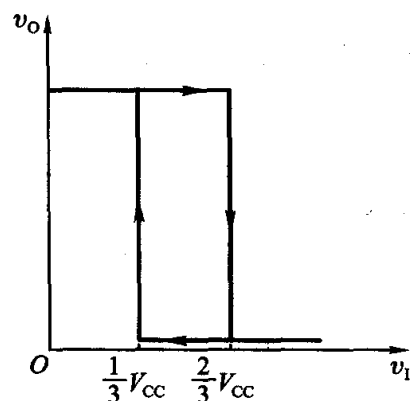


图 10.5.3 图 10.5.2 电路的电压传输特性

由此得到电路的回差电压为

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

图 10.5.3 是图 10.5.2 电路的电压传输特性,它是一个典型的反相输出施密特触发特性。

如果参考电压由外接的电压 V_{CO} 供给,则不难看出这时 $V_{T+} = V_{CO}$, $V_{T-} = \frac{1}{2} V_{CO}$, $\Delta V_T = \frac{1}{2} V_{CO}$ 。通过改变 V_{CO} 值可以调节回差电压的大小。

10.5.3 用 555 定时器接成的单稳态触发器

若以 555 定时器的 v_{I2} 端作为触发信号的输入端,并将由 T_D 和 R 组成的反相器输出电压 v_{OD} 接至 v_{I1} 端,同时在 v_{I1} 对地接入电容 C ,就构成了如图 10.5.4 所示的单稳态触发器。

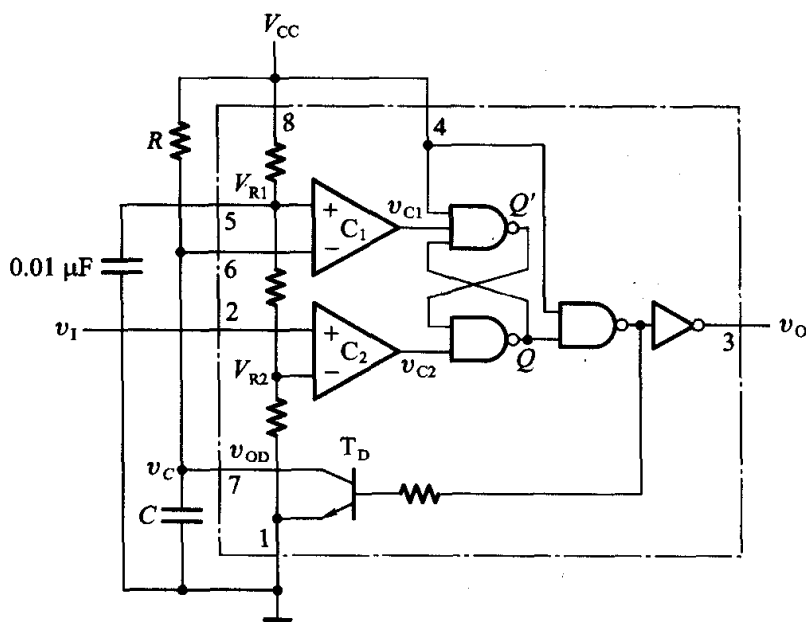


图 10.5.4 用 555 定时器接成的单稳态触发器

如果没有触发信号时 v_I 处于高电平,那么稳态时这个电路一定处于 $v_{C1} = v_{C2} = 1$ 、 $Q = 0$ 、 $v_O = 0$ 的状态。假定接通电源后锁存器停在 $Q = 0$ 的状态,则 T_D 导通 $v_C \approx 0$ 。故 $v_{C1} = v_{C2} = 1$ 、 $Q = 0$ 及 $v_O = 0$ 的状态将稳定地维持不变。

如果接通电源后锁存器停在 $Q = 1$ 的状态了,这时 T_D 一定截止, V_{CC} 便经 R 向 C 充电。当充到 $v_C = \frac{2}{3} V_{CC}$ 时, v_{C1} 变为 0,于是将锁存器置 0。同时, T_D 导通,电容 C 经 T_D 迅速放电,使 $v_C \approx 0$ 。此后由于 $v_{C1} = v_{C2} = 1$,锁存器保持 0 状态不

变,输出也相应地稳定在 $v_o = 0$ 的状态。

因此,通电后电路便自动地停在 $v_o = 0$ 的稳态。

当触发脉冲的下降沿到达,使 v_{i2} 跳变到 $\frac{1}{3}V_{CC}$ 以下时,使 $v_{c2} = 0$ (此时 $v_{c1} = 1$),锁存器被置 1, v_o 跳变为高电平,电路进入暂稳态。与此同时 T_D 截止, V_{CC} 经 R 开始向电容 C 充电。

当充至 $v_c = \frac{2}{3}V_{CC}$ 时, v_{c1} 变成 0。如果此时输入端的触发脉冲已消失, v_{i1} 回到了高电平,则锁存器将被置 0,于是输出返回 $v_o = 0$ 的状态。同时 T_D 又变为导通状态,电容 C 经 T_D 迅速放电,直至 $v_c \approx 0$,电路恢复到稳态。图 10.5.5 画出了在触发信号作用下 v_c 和 v_o 相应的波形。

输出脉冲的宽度 t_w 等于暂稳态的持续时间,而暂稳态的持续时间取决于外接电阻 R 和电容 C 的大小。由图 10.5.5 可知, t_w 等于电容电压在充电过程中从 0 上升到 $\frac{2}{3}V_{CC}$ 所需要的时间,因此得到

$$\begin{aligned} t_w &= RC \ln \frac{V_{CC} - 0}{V_{CC} - \frac{2}{3}V_{CC}} \\ &= RC \ln 3 = 1.1 RC \end{aligned} \quad (10.5.1)$$

通常 R 的取值在几百欧姆到几兆欧姆之间,电容的取值范围为几百皮法到几百微法, t_w 的范围为几微秒到几分钟。但必须注意,随着 t_w 的宽度增加它的精度和稳定度也将下降。

10.5.4 用 555 定时器接成的多谐振荡器

既然用 555 定时器能很方便地接成施密特触发器,那么我们就可以先把它接成施密特触发器,然后利用前面 10.4.4 节讲过的方法,在施密特触发器的基础上改接成多谐振荡器。

在 10.4.4 节中曾经讲到,只要把施密特触发器的反相输出端经 RC 积分电路接回到它的输入端,就构成了多谐振荡器。因此,只要将 555 定时器的 v_{i1} 和 v_{i2} 连在一起接成施密特触发器,然后再将 v_o 经 RC 积分电路接回输入端就可以了。

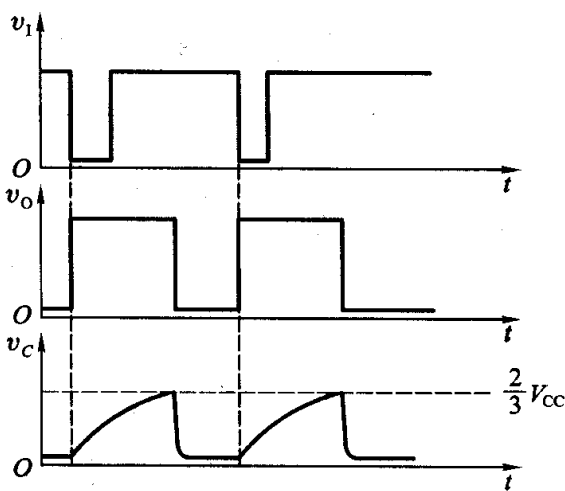


图 10.5.5 图 10.5.4 电路的电压波形图

为了减轻门 G_4 的负载,在电容 C 的容量较大时不宜直接由 G_4 提供电容的充、放电电流。为此,在图 10.5.6 电路中将 T_D 与 R_1 接成了一个反相器,它的输出 v_{OD} 与 v_O 在高、低电平状态上完全相同。将 v_{OD} 经 R_2 和 C 组成的积分电路接到施密特触发器的输入端同样也能构成多谐振荡器。

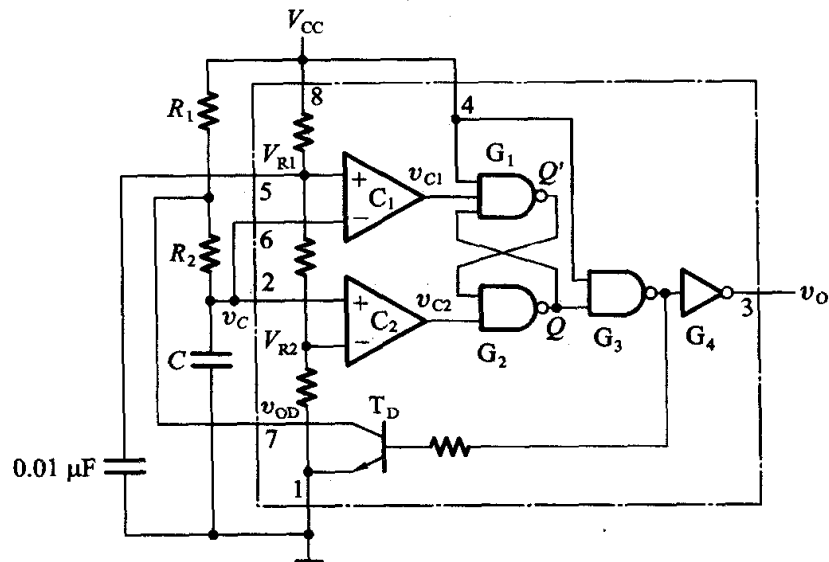


图 10.5.6 用 555 定时器接成的多谐振荡器

根据 10.4.4 节中的分析得知,电容上的电压 v_C 将在 V_{T+} 与 V_{T-} 之间往复振荡, v_C 和 v_O 的波形将如图 10.5.7 所示。

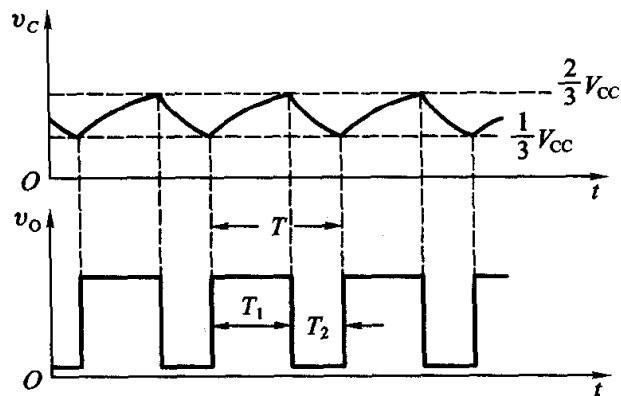


图 10.5.7 图 10.5.6 电路的电压波形图

由图 10.5.7 中 v_C 的波形求得电容 C 的充电时间 T_1 和放电时间 T_2 各为

$$\begin{aligned} T_1 &= (R_1 + R_2) C \ln \frac{V_{CC} - V_{T-}}{V_{CC} - V_{T+}} \\ &= (R_1 + R_2) C \ln 2 \end{aligned} \quad (10.5.2)$$

出电流下输出电压的典型值为 3.3 V, 所以取 $V_{CC} = 5\text{ V}$ 可以满足对输出脉冲幅度的要求。若采用图 10.5.6 电路, 则据式(10.5.6)可知

$$q = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2} = \frac{2}{3}$$

故得到 $R_1 = R_2$ 。

又由式(10.5.4)知

$$T = (R_1 + 2R_2)C \ln 2 = 1$$

若取 $C = 10\text{ }\mu\text{F}$, 则代入上式得到

$$3R_1 C \ln 2 = 1$$

$$R_1 = \frac{1}{3C \ln 2} \Omega$$

$$= \frac{1}{3 \times 10^{-5} \times 0.69} \Omega = 48\text{ k}\Omega$$

因 $R_1 = R_2$, 所以取两只 $47\text{ k}\Omega$ 的电阻与一个 $2\text{ k}\Omega$ 的电位器串联, 即得到图 10.5.9 所示的设计结果。

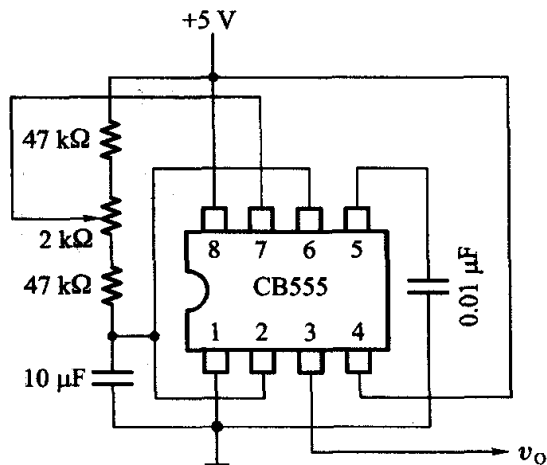


图 10.5.9 例 10.5.1 设计的多谐振荡器

复习思考题

R10.5.1 在图 10.5.2 用 555 定时器接成的施密特触发器电路中, 用什么方法能调节回差电压的大小?

R10.5.2 在图 10.5.4 用 555 定时器接成的单稳态触发器电路中, 若触发脉冲宽度大于单稳态持续时间, 电路能否正常工作? 如果不能, 则电路应做何修改?

R10.5.3 在图 10.5.4 用 555 定时器接成的单稳态电路中, 对触发脉冲的幅度有什么要求?

R10.5.4 在图 10.5.6 用 555 定时器接成的多谐振荡器电路中, 如果用 v_o 端代替 v_{OD} 端接到 R_2C 电路输入端, 去掉 R_1 , 电路能否正常工作?

* 10.6 用 Multisim 7 分析脉冲电路

Multisim 7 不仅具有分析组合逻辑电路和时序逻辑电路的功能, 还可以用于分析各种脉冲产生和整形电路。下面通过一个简单的例子, 说明如何使用 Multisim 7 分析脉冲发生器电路。