

第6章 波形产生和变换

6.1 正弦波振荡电路

6.2 多谐振荡器

6.3 单稳态触发器和施密特触发器

6.4 单片集成函数信号发生器





6.1 正弦波振荡电路

6.1.1 正弦波振荡电路的基本原理

6.1.2 RC正弦波振荡电路

*6.1.3 LC正弦波振荡电路



- **波形产生电路分类**

正弦和非正弦(如矩形波、三角波)波形产生电路。

- **波形产生电路的公同特点**

自激（不需要任何输入信号）；

必须在电路中引入足够强的正反馈。



6.1.1 正弦波振荡电路的基本原理

1. 自激振荡的条件

放大器输入端输入信号 \dot{U}_s

其输出为 \dot{U}_o

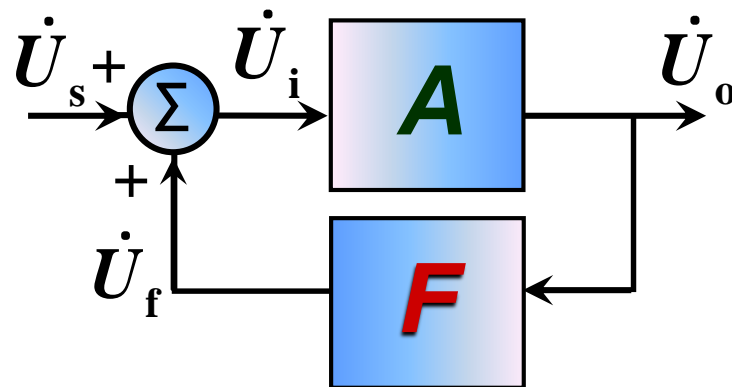
经反馈网络反馈的电压为 \dot{U}_f

由于是正反馈，故有 $\dot{U}_i = \dot{U}_s + \dot{U}_f$

$$\dot{U}_f \uparrow, \dot{U}_s \downarrow, \rightarrow \dot{U}_s = 0, \dot{U}_f = \dot{U}_i$$

要维持自激振荡，须 $F\dot{U}_o = \dot{U}_f = \dot{U}_i = \frac{\dot{U}_o}{A}$

所以维持振荡的平衡条件为 $AF = 1$



$$A = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i}$$

$$F = \frac{\dot{U}_f}{\dot{U}_o}$$



6.1.1 正弦波振荡电路的基本原理

由 $A = |A| \angle \varphi_A$ $F = |F| \angle \varphi_F$

可得两个平衡条件：

- 幅度平衡条件 $|AF| = 1$

反馈信号与输入信号的大小相等,并有足够强度。

- 相位平衡条件 $\varphi_A + \varphi_F = 2n\pi (n = 0, 1, 2 \cdots)$

反馈信号与输入信号同相, 即引入正反馈。

这是必要条件, 但不充分



6.1.1 正弦波振荡电路的基本原理

若要使振荡从小到大建立起来还应满足：

起振条件： $|AF| > 1$ 相位条件不变

2. 振荡的建立与稳定

接通电源瞬间，由于瞬时的扰动、电路的噪声含有丰富的频谱成分。由**选频电路**选择某一频率的正弦信号，满足起振条件，此时为增幅振荡。

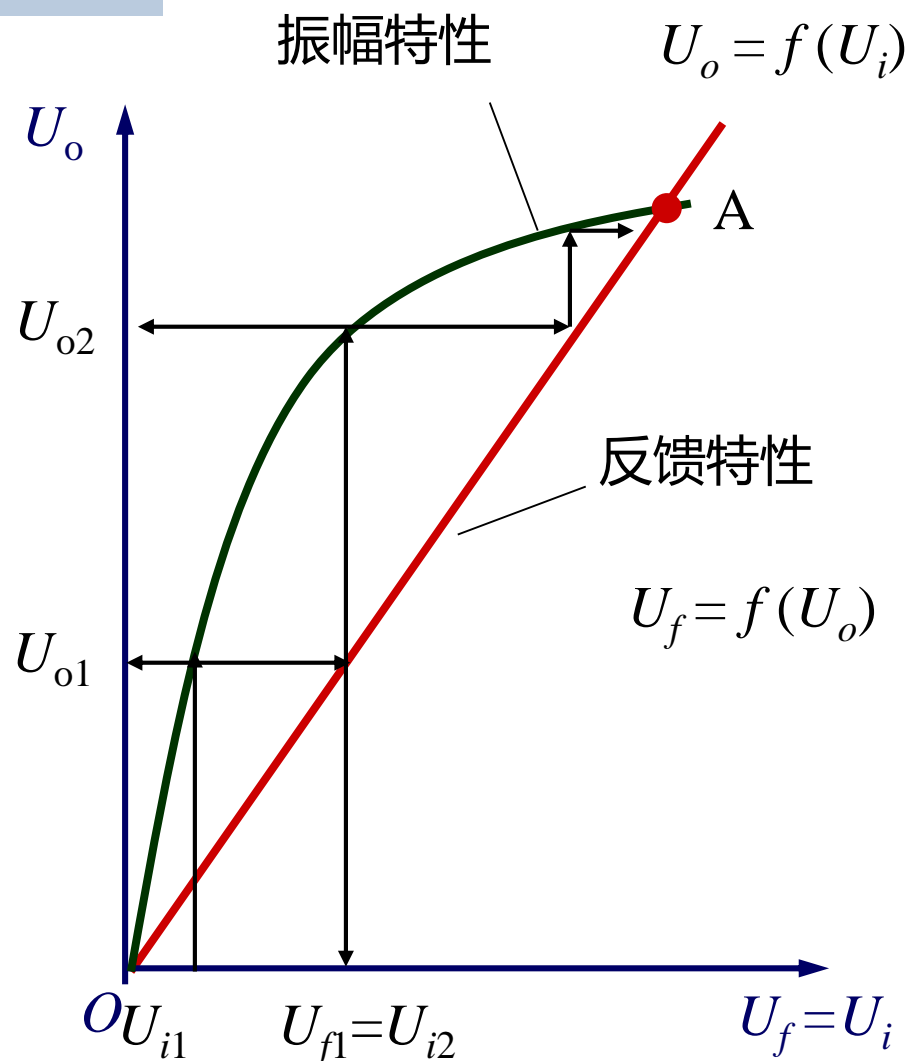
在增幅振荡过程中，若减小 A ，当 $|AF| > 1 \rightarrow |AF| = 1$ 时，电路呈稳定的等幅振荡。



6.1.1 正弦波振荡电路的基本原理

自激振荡的建立过程

通过不断地放大→正反馈→再放大→再反馈，使 U_o 不断增大，一直到达A点时，才稳定下来。





6.1.1 正弦波振荡电路的基本原理

由上述分析可知：

正弦波振荡电路应包含以下四个环节

- 放大
- 反馈
- 选频
- 稳幅



6.1.2 RC正弦波振荡电路

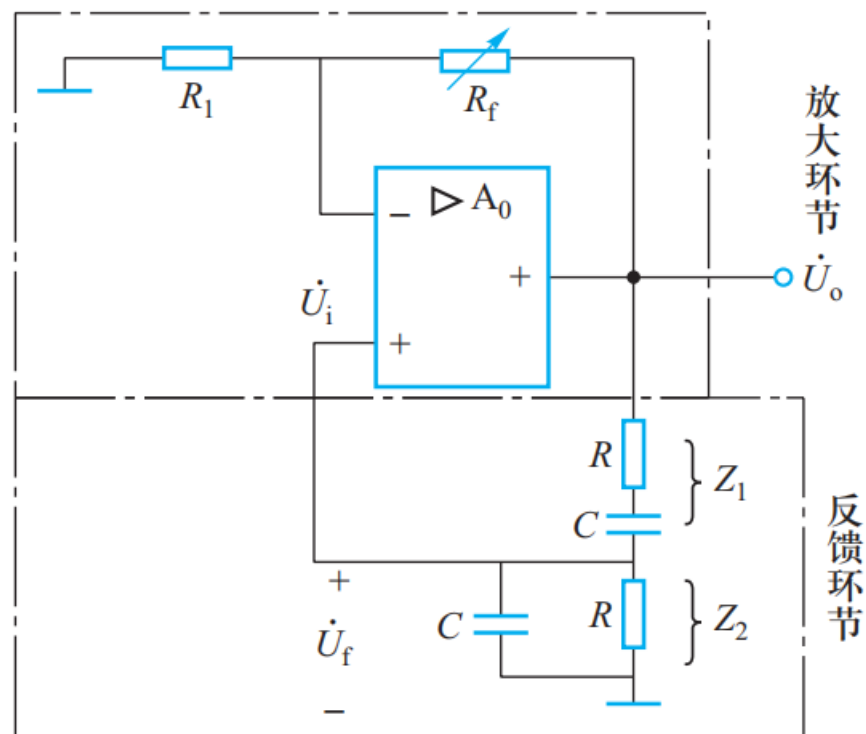
- 电路组成

放大环节： A_0 ， R_1 ， R_f

构成同相输入比例运算

反馈环节： Z_1 ， Z_2

选频且控制正反馈量



6.1.2 RC正弦波振荡电路

RC 串并联网络的选频特性

习题2.3.12
$$\frac{\dot{U}_f}{\dot{U}_o} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{1}{3 + j(\omega RC - \frac{1}{\omega RC})}$$

当信号频率 $\omega_o = \frac{1}{RC}$ 即 $f_o = \frac{1}{2\pi RC}$ 时

$$U_f = \frac{1}{3}U_o \quad \dot{U}_f \text{ 与 } \dot{U}_o \text{ 同相} \quad F = \frac{U_f}{U_o} = \frac{1}{3}$$

放大特性
$$A = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$



6.1.2 RC正弦波振荡电路

自激振荡条件

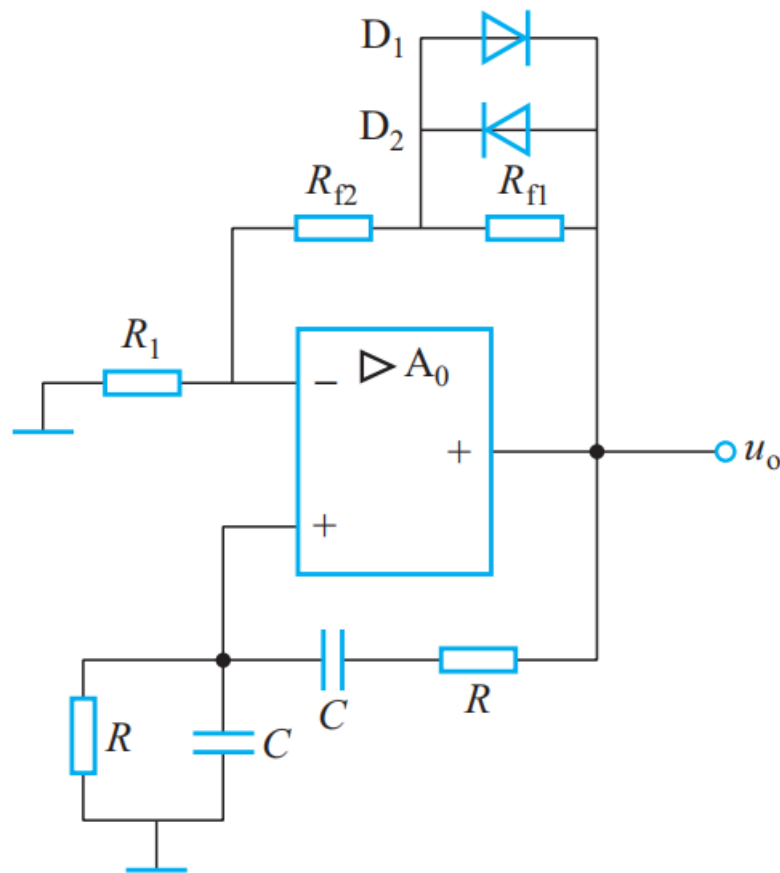
- 起振 $|AF| > 1$ $R_f > 2R_1$
- 平衡 $|AF| = 1$ $R_f = 2R_1$
- 稳幅 该电路采用负温度系数热敏电阻

$U_o \uparrow \rightarrow T \uparrow \rightarrow R_f \downarrow \rightarrow U_- \uparrow \rightarrow |A| \downarrow \rightarrow |AF| = 1$ 等幅振荡



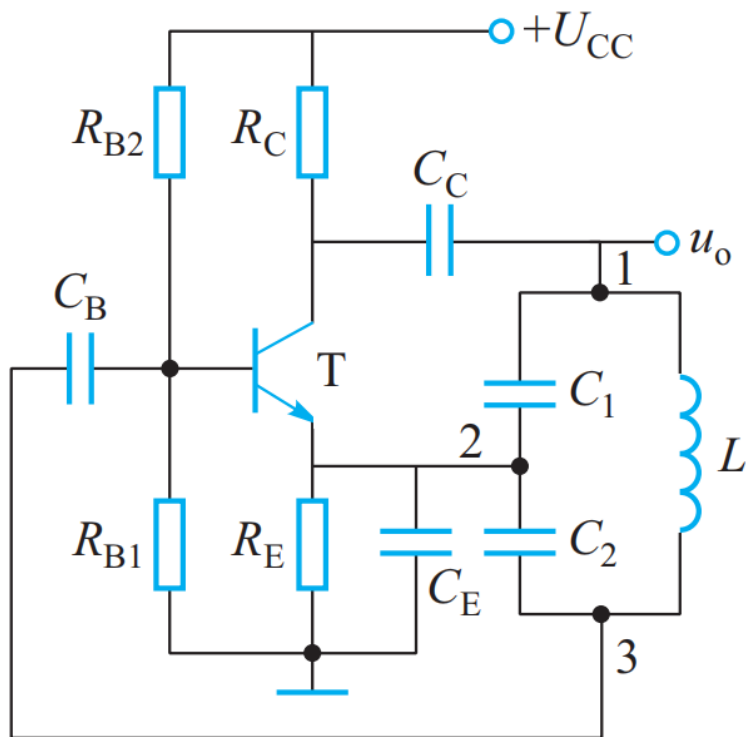
6.1.2 RC正弦波振荡电路

用二极管稳幅的振荡电路

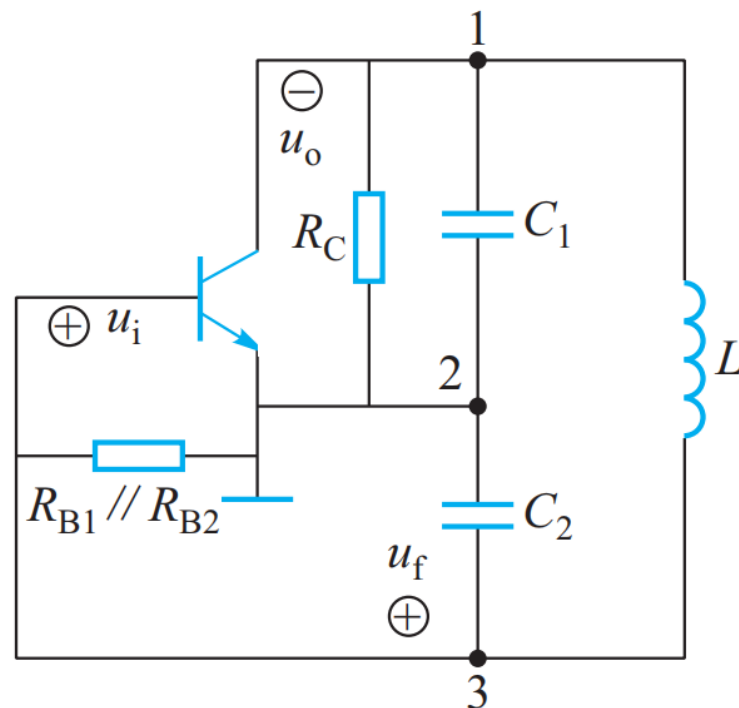


*6.1.3 LC正弦波振荡电路

电容三点式振荡电路 (Colpitts)



(a) 基本电路



(b) 交流通路



*6.1.3 LC正弦波振荡电路

电路及工作原理介绍

电感 L 和电容 C_1 、 C_2 构成的谐振回路成为放大电路的负载，电容 C_2 两端的电压作为反馈信号，瞬时极性法判断相位平衡条件。谐振时， u_0 与 u_i 反相， u_f 与 u_0 反相， u_f 与 u_i 同相。

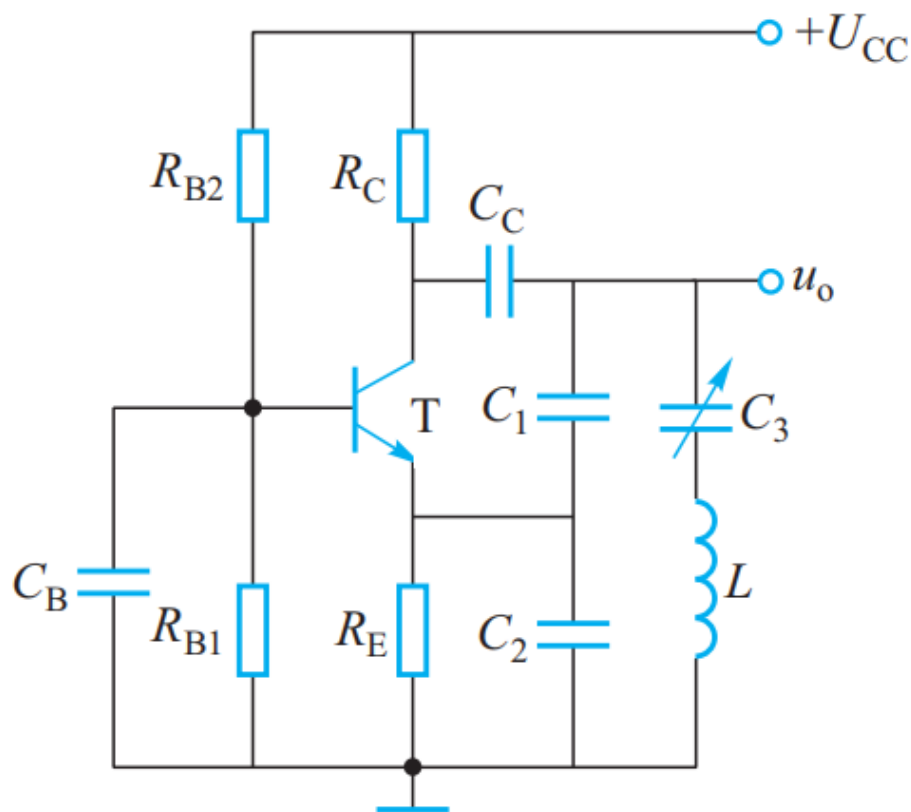
选取适当的静态值和元件参数，使得谐振回路谐振时， $|AF| \geq 1$ 。电路自激振荡 $|AF| = 1$ 时，振荡稳定。振荡频率近似等于 LC 谐振回路的振荡频率：

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}}$$



*6.1.3 LC正弦波振荡电路

1. 改进型电容三点式振荡电路(Clapp)



在电感支路中串联一个电容 C_3 ，且取 C_3 远小于 C_1 和 C_2 。故谐振回路的振荡频率主要由 L 和 C_3 来决定：

$$f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_3}}$$

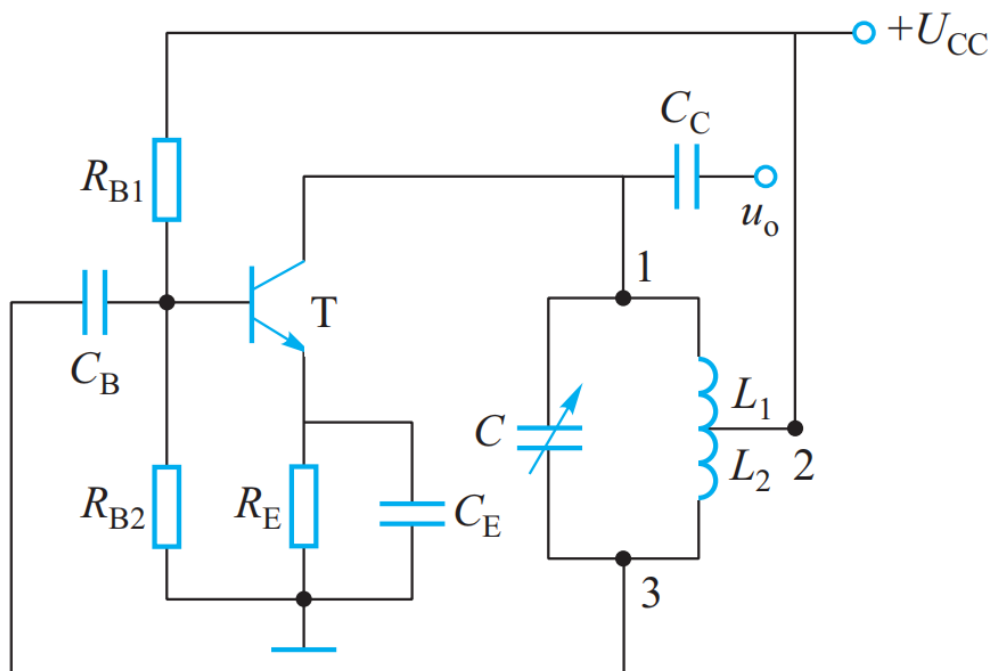
改变 C_3 ，即可改变 f_0

共基接法，频率远高于共射

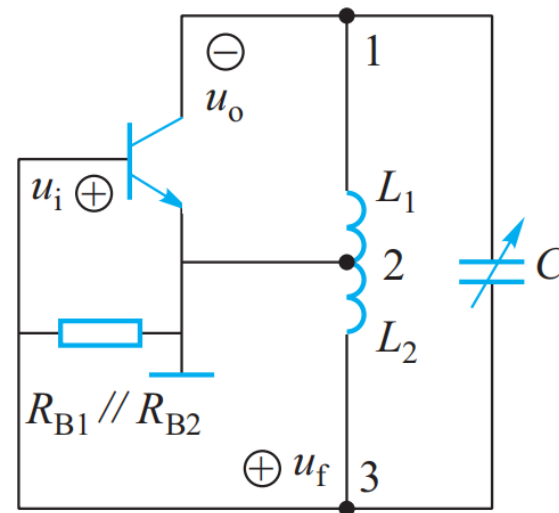


*6.1.3 LC正弦波振荡电路

2. 电感三点式振荡电路



(a) 基本电路



(b) 交流通路





*6.1.3 LC正弦波振荡电路

电感 L_1 、 L_2 和电容 C 构成了谐振回路， $+U_{CC}$ 通过 L_1 到集电极形成集电极电流的直流通路，故可省略 R_C 。电感 L_2 两端的电压作为反馈信号，在放大器的输入端引入了正反馈。

若 L_1 、 L_2 线圈之间的互感为 M ，则线圈的总电感为： $L = L_1 + L_2 + 2M$ 。电路的振荡频率近似等于LC谐振回路的振荡频率：

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_1 + L_2 + 2M)C}}$$



*6.1.3 LC正弦波振荡电路

三点式LC正弦波振荡电路的振荡条件

- (1) 幅值条件：通过提供合适的直流通路和选取恰当的电抗参数而得到。
- (2) 相位条件：电路构成必须遵守以下原则，
- 发射极两侧支路的电抗应为同一性质（同为容抗或感抗）。
 - 基极与集电极支路的电抗应与发射极两侧支路的电抗异性。





6.2 多谐振荡器

6.2.1 用集成运放构成的多谐振荡器

6.2.2 用石英晶体构成的多谐振荡器

6.2.3 用555集成定时器构成的多谐振荡器

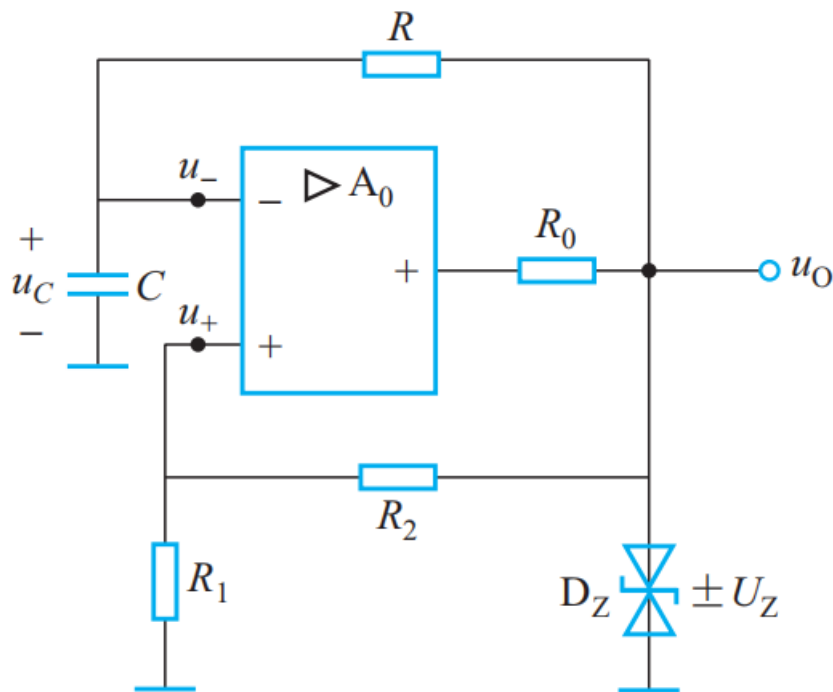


6.2.1 用集成运放构成的多谐振荡器

多谐振荡器也称矩形波（含方波）发生器。

1. 电路的组成

RC 引入了具有延迟特性的负反馈电路。 u_+ 为 u_0 经 R_1 和 R_2 , 在 R_1 上的分压, 并作为比较器的参考电压, u_- 即 u_C 作为比较器的输入电压。



6.2.1 用集成运放构成的多谐振荡器

$$u_{+H} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_Z$$

$$u_{+L} = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} U_Z$$

2. 电路的工作过程

- $t_0 \leq t \leq t_1$ 时:

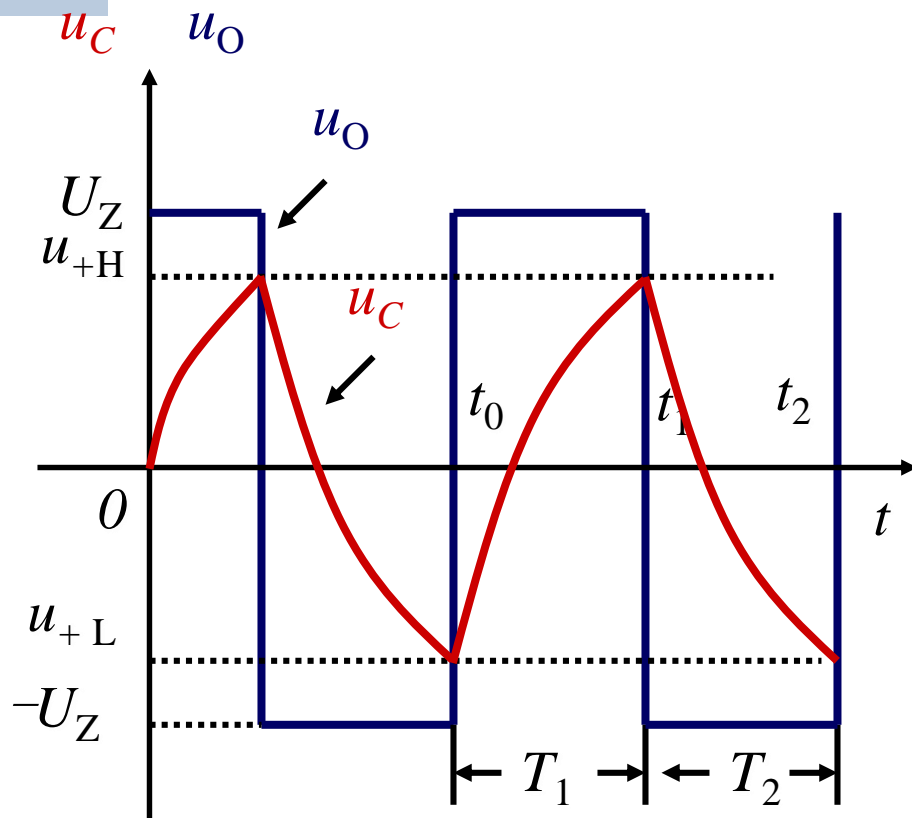
$$u_C = U_Z - \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} U_Z + U_Z \right) e^{-\frac{t-t_0}{RC}}$$

- $t = t_1$ 时: $u_C = u_{+H} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_Z$

可得: $T_1 = t_1 - t_0 = RC \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)$

且 $T_2 = t_2 - t_1 = RC \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)$

该电路是方波发生电路



$$T = T_2 + T_1 = 2RC \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)$$

$$f = 1/T$$

6.2.1 用集成运放构成的多谐振荡器

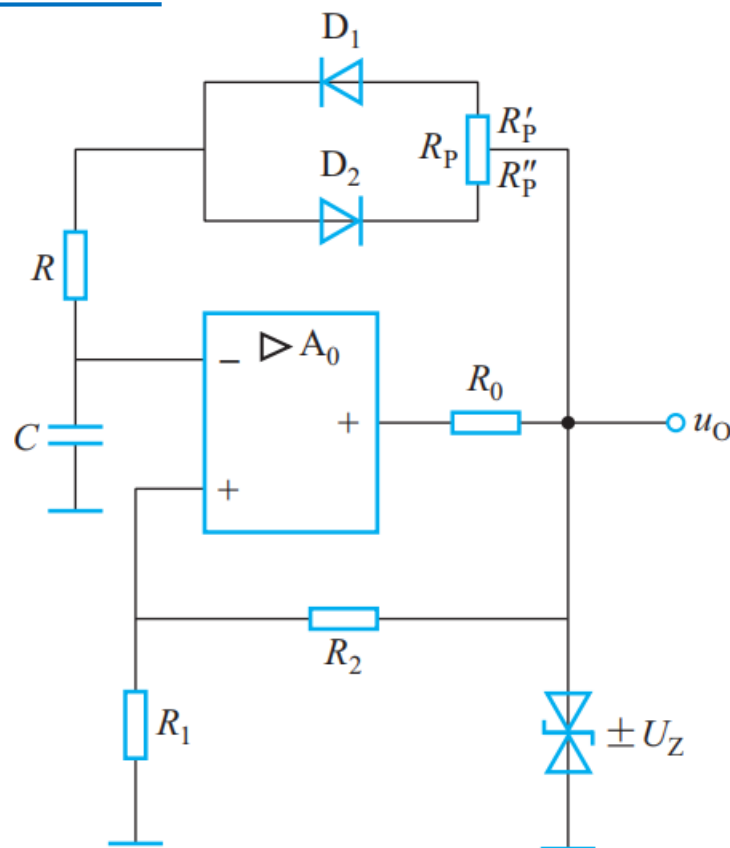
3. 占空比可调的多谐振荡器

调节 R_P , 使电容充电和放电的时间常数不相等

$$T_1 = R_P' C \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)$$

$$T_2 = R_P'' C \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)$$

$$T = R_P C \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)$$

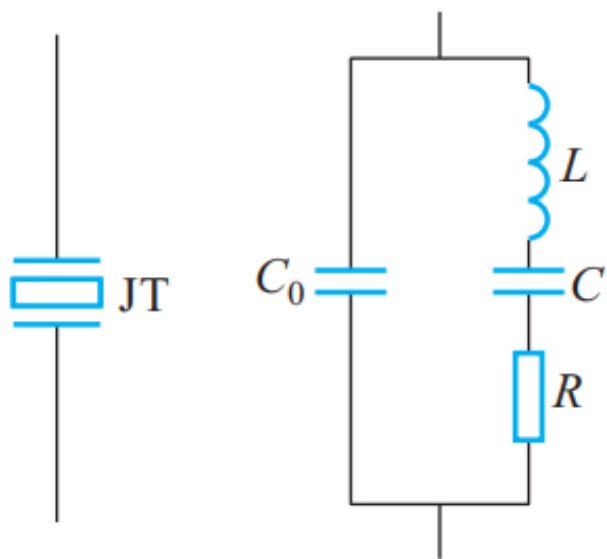


即输出矩形波占空比可调，而周期不变。



6.2.2 用石英晶体构成的多谐振荡器

1. 石英晶体



(a) 符号

(b) 等效电路

石英晶体具有压电效应、
压电谐振特点，并呈现固有谐
振频率。

谐振频率有两个， LCR 支
路的串联谐振频率 f_s 和 LCR
支路与电容 C_0 的并联谐振频率
 f_P ， $f_P > f_s$ ，且很接近。



6.2.2 用石英晶体构成的多谐振荡器

石英晶体的电抗频率特性曲线

- $f = f_s$ 时: ($X = 0$)

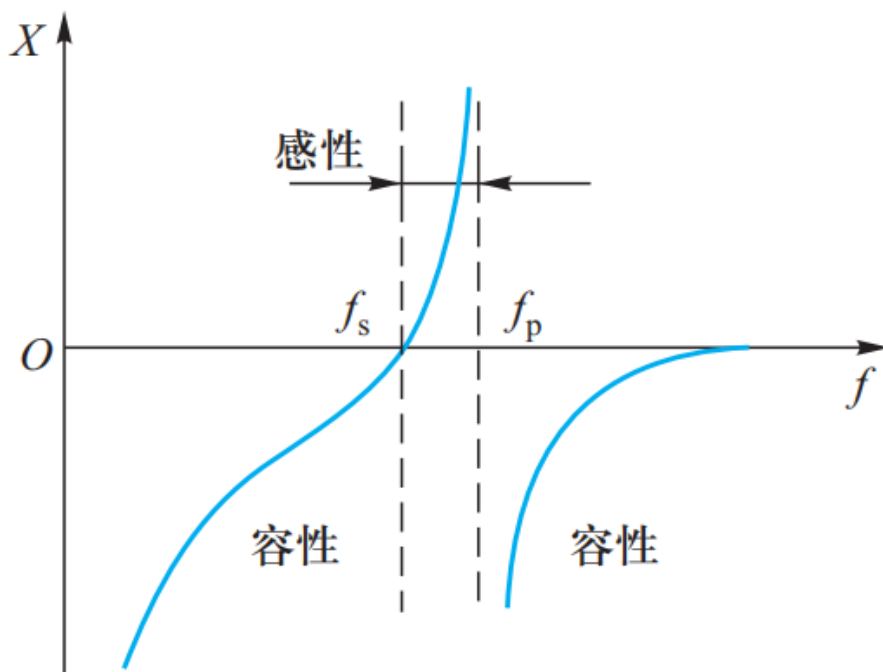
石英晶体呈近阻性

- $f < f_s$ 或 $f > f_p$ 时:

石英晶体呈容性

- $f_s < f < f_p$ 时:

石英晶体呈感性

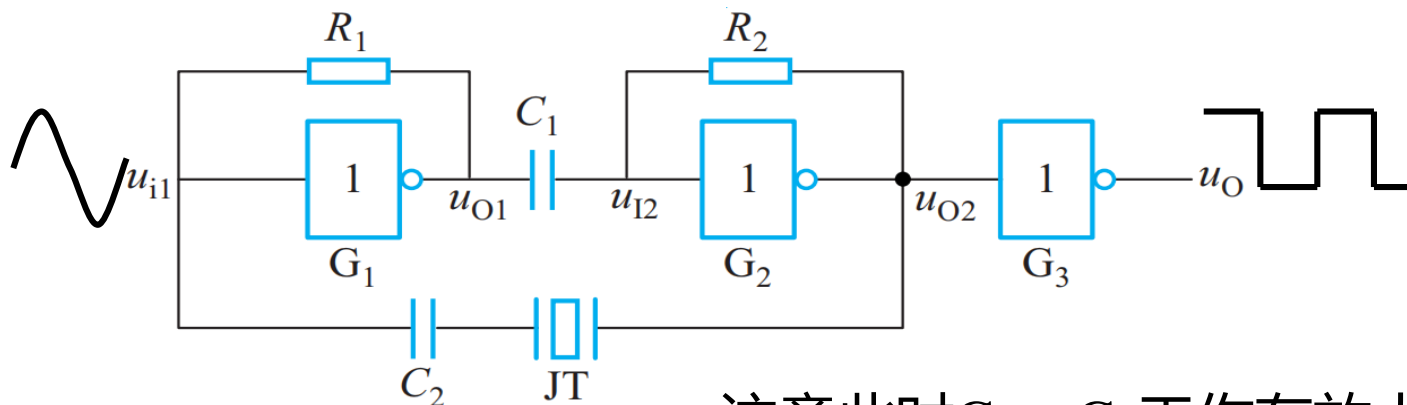


电抗频率特性曲线

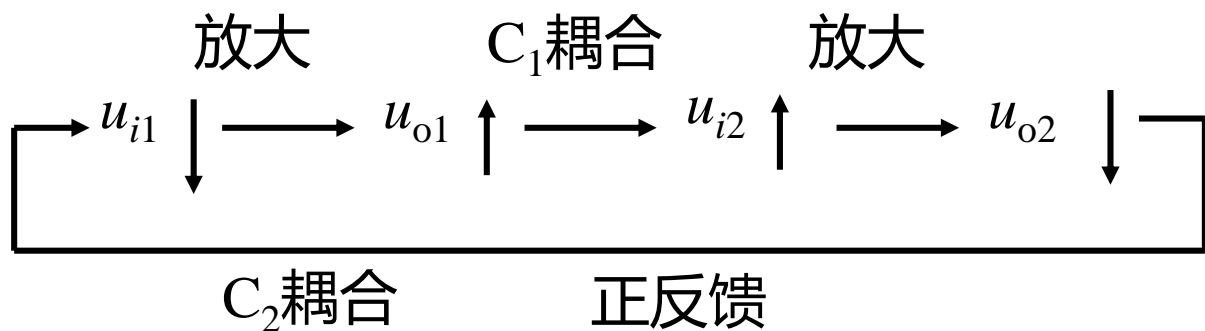


6.2.2 用石英晶体构成的多谐振荡器

2. 串联型石英晶体多谐振荡器



注意此时 G_1 、 G_2 工作在放大状态！



JT 相当于短路
工作频率 f_s



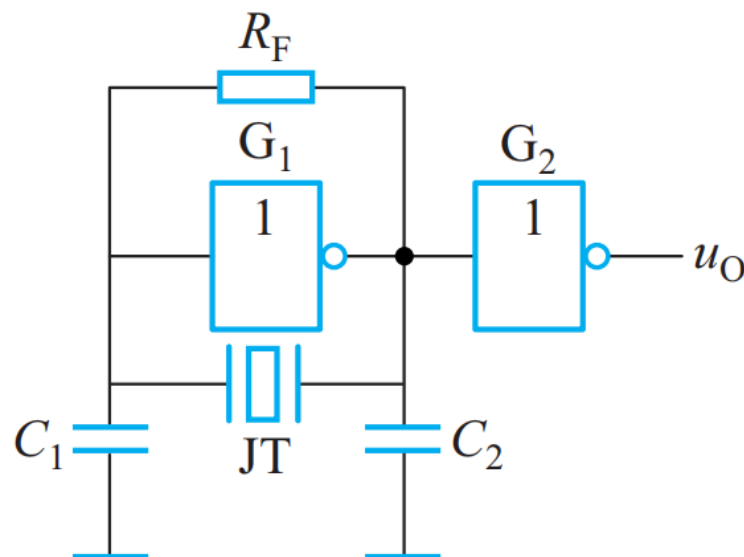
6.2.2 用石英晶体构成的多谐振荡器

3. 并联型多谐振荡器

R_F , G_1 构成反相放大器

JT 等效为电感, 与 C_1 , C_2 , 反相放大器构成电容三点式振荡电路。

G_2 起缓冲、隔离、整形作用。





6.2.3 用555集成定时器构成的多谐振荡器

1、555集成定时器

555集成定时器是一种模拟电路和数字电路结合的中规模集成电路。

常用的555定时器有：

双极型定时器——5G1555

CMOS定时器——CB7555



[illegible]

6.2.3 用555集成定时器构成的多谐振荡器

CB7555定时器功能表

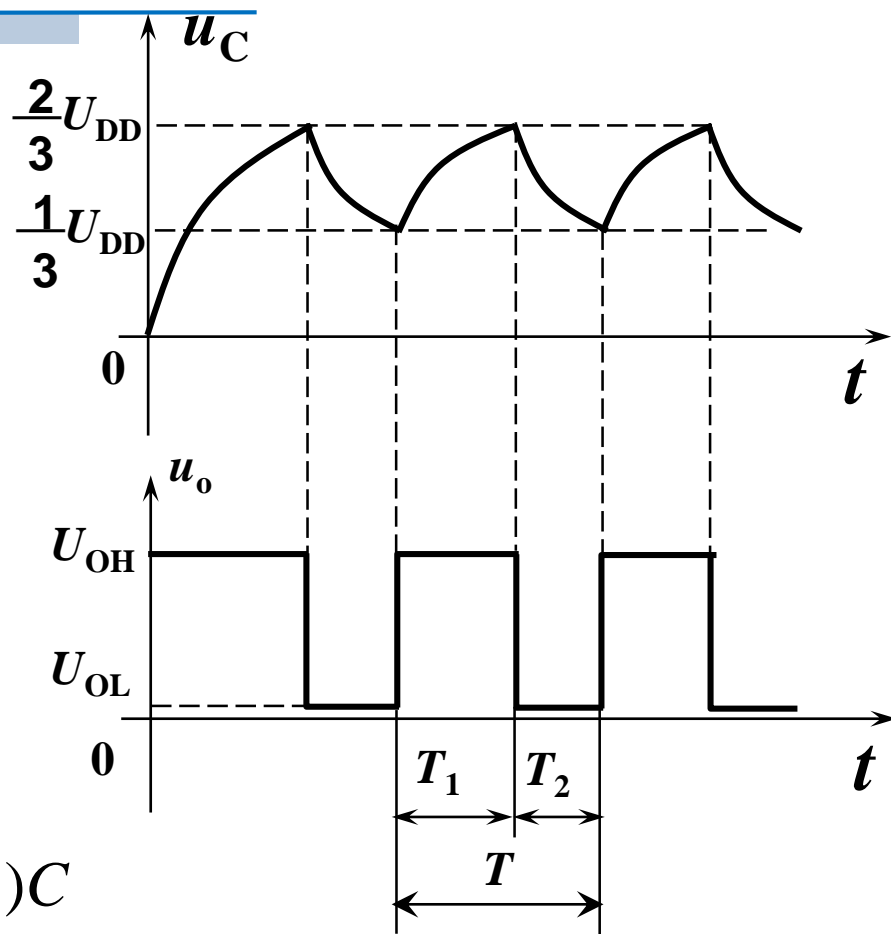
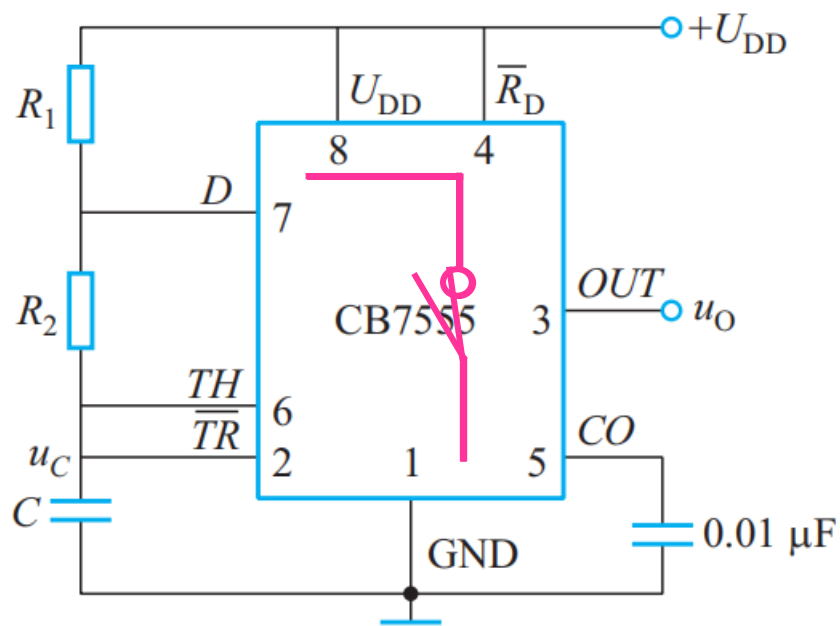
输入			输出	
$\overline{R_D}$	TH	\overline{TR}	OUT	T_N
低电平	\times	\times	低电平	导通
高电平	$> \frac{2}{3}U_{DD}$	$> \frac{1}{3}U_{DD}$	低电平	导通
高电平	$< \frac{2}{3}U_{DD}$	$> \frac{1}{3}U_{DD}$	原状态	原状态
高电平	$< \frac{2}{3}U_{DD}$	$< \frac{1}{3}U_{DD}$	高电平	截止

若CO端外加电压 U_{CO} , U_{TH} 与 U_{CO} 比较, $\overline{U_{TR}}$ 与 $1/2U_{CO}$ 比较



6.2.3 用555集成定时器构成的多谐振荡器

2、用555定时器构成的多谐振荡器



$$T_1 = (R_1 + R_2)C \ln 2 \approx 0.693(R_1 + R_2)C$$

$$T_2 = R_2 C \ln 2 \approx 0.693 R_2 C$$

$$T = T_1 + T_2 \approx 0.693(R_1 + 2R_2)C$$

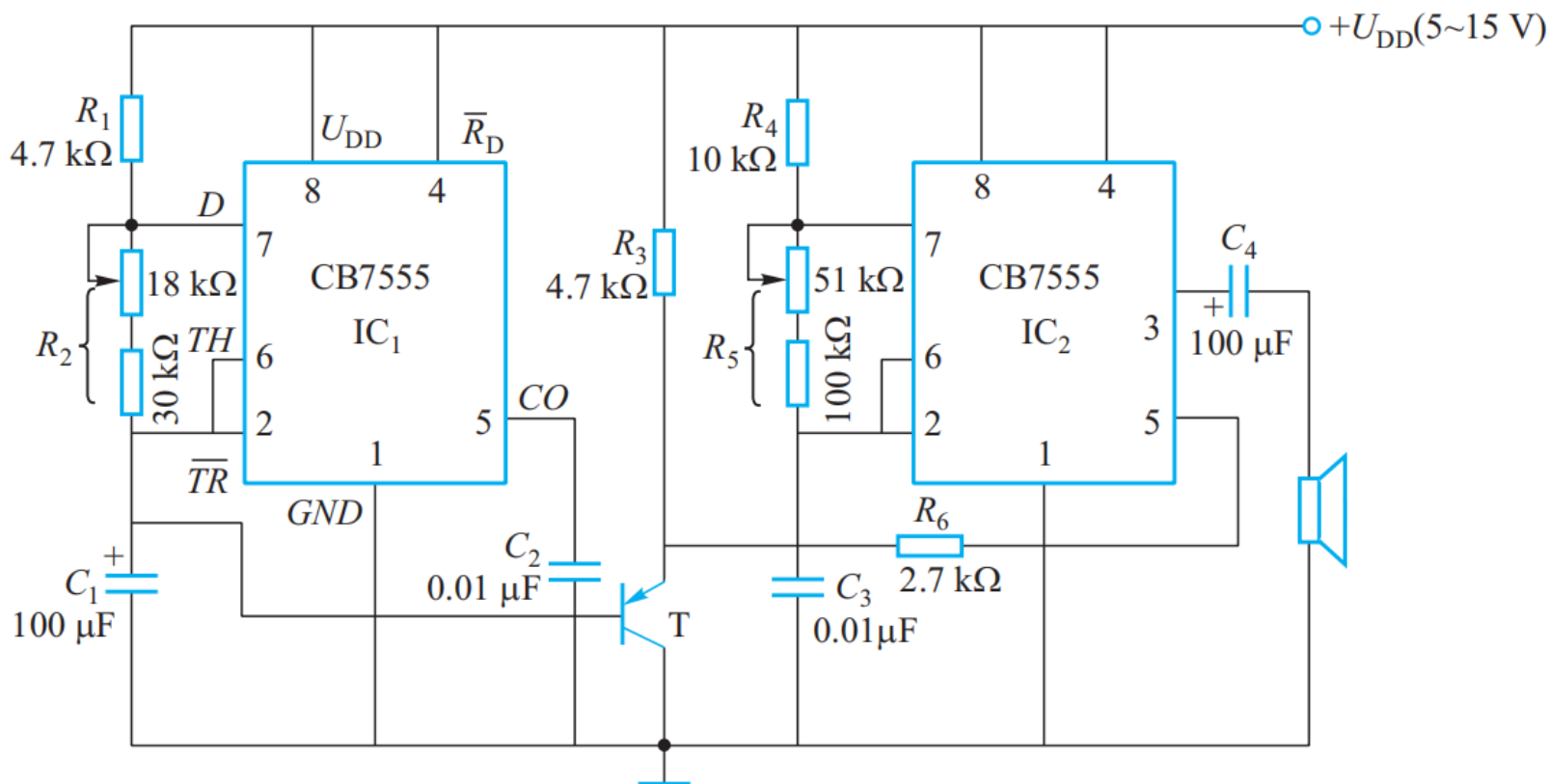
$$f_0 = \frac{1}{T} \approx \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C}$$



6.2.3 用555集成定时器构成的多谐振荡器

3、555定时器应用举例

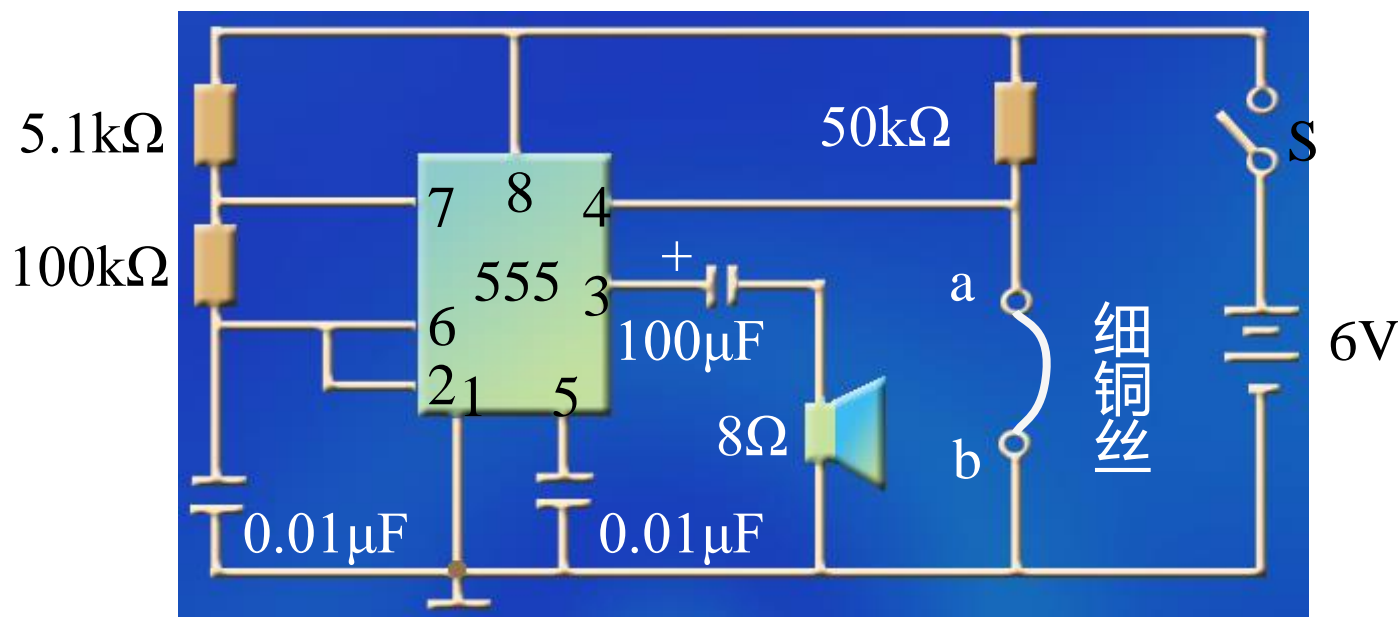
[例题6.2.1] 如图为一模拟公安警车音响的电路，试说明其工作原理



6.2.3 用555集成定时器构成的多谐振荡器

3、555定时器应用举例

[例6.2.2] 如图为一防盗报警电路，试说明其工作原理。

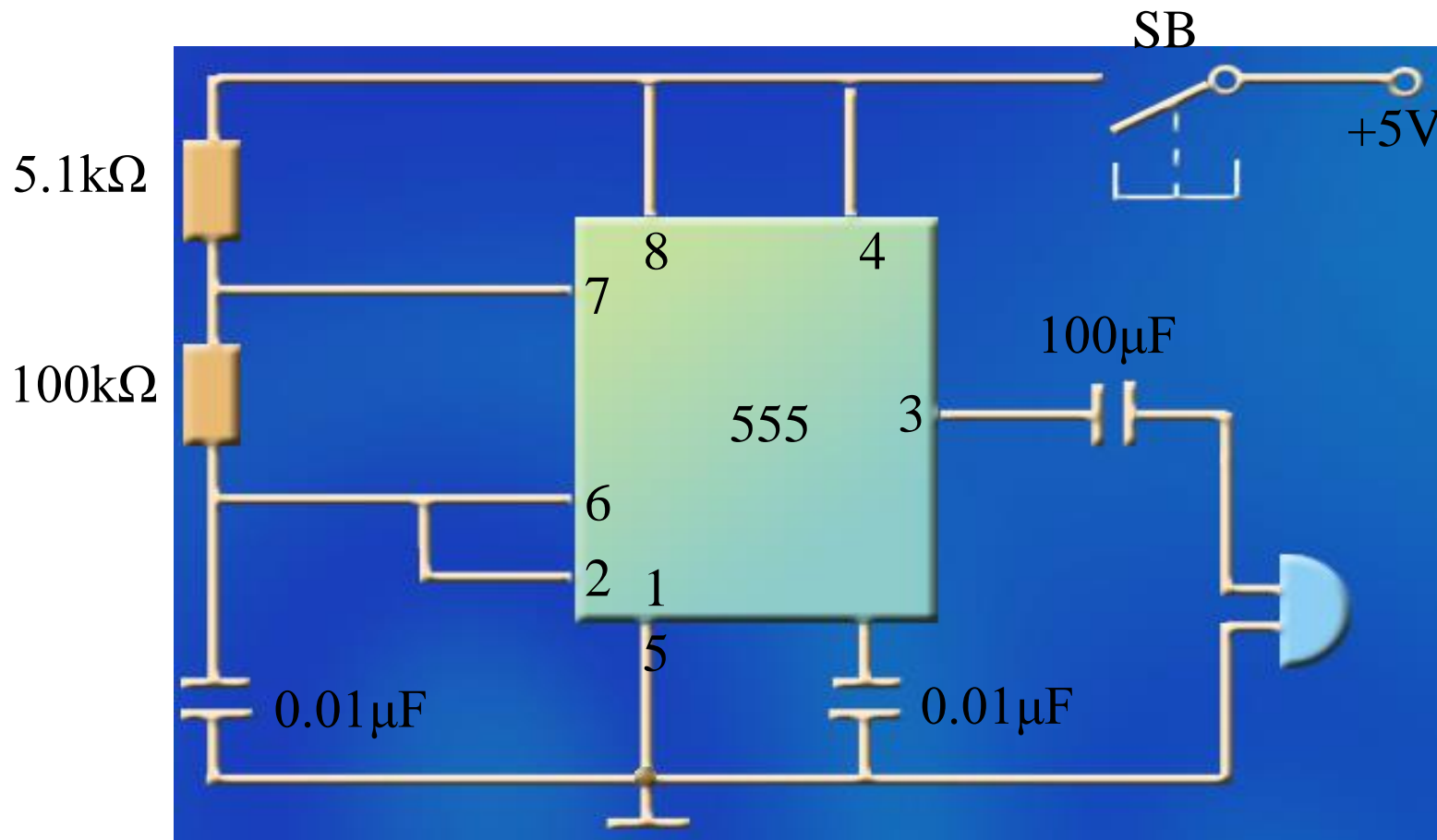


- ① 由555构成何种电路？
- ② 铜丝不断时，输出为何种状态？
- ③ 铜丝被碰断后，输出为何种波形？



6.2.3 用555集成定时器构成的多谐振荡器

[例6.2.3] 如图为一门铃电路，试说明其工作原理。





6.3 单稳态触发器和施密特触发器

6.3.1 用555集成定时器构成的单稳态触发器

6.3.2 用555集成定时器构成的施密特触发器





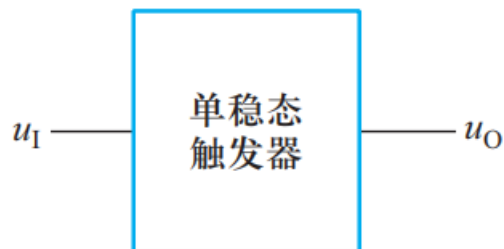
6.3.1 用555集成定时器构成的单稳态触发器

- 多谐振荡器没有稳定状态，属无稳触发器
- 双稳态触发器，有两个稳定状态，从一个稳态翻转为另一个稳态必须靠脉冲信号触发，脉冲消失后，稳态一直保持。
- 单稳态触发器在脉冲信号未加之前，处于稳定状态，经信号触发后，触发器翻转到新的状态，经过一定延时后触发器又自动翻转到原来的稳定状态。所以只有一种稳定状态。



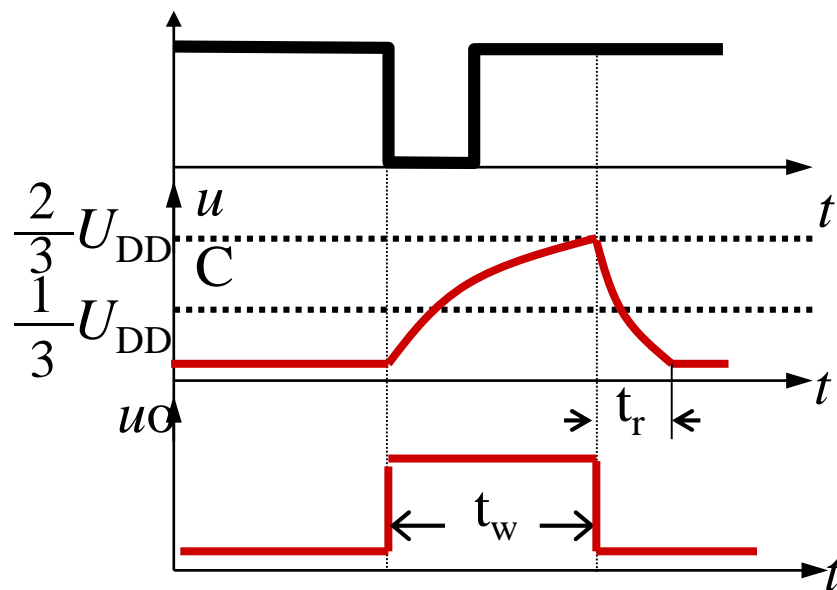
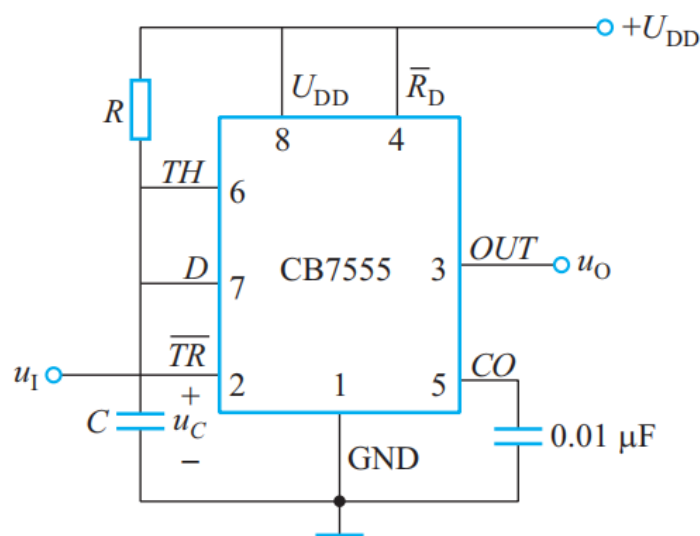
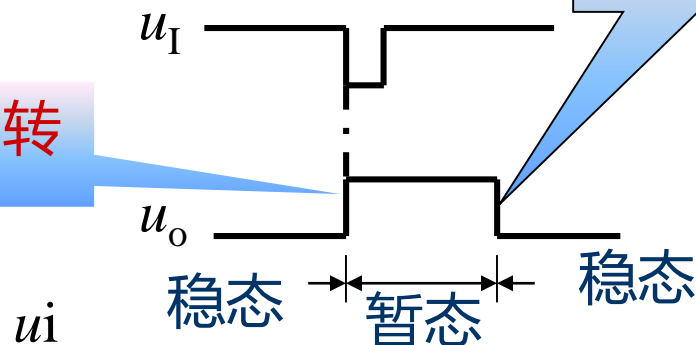
6.3.1 用555集成定时器构成的单稳态触发器

单稳态触发器功能及电路



触发翻转

自动翻转

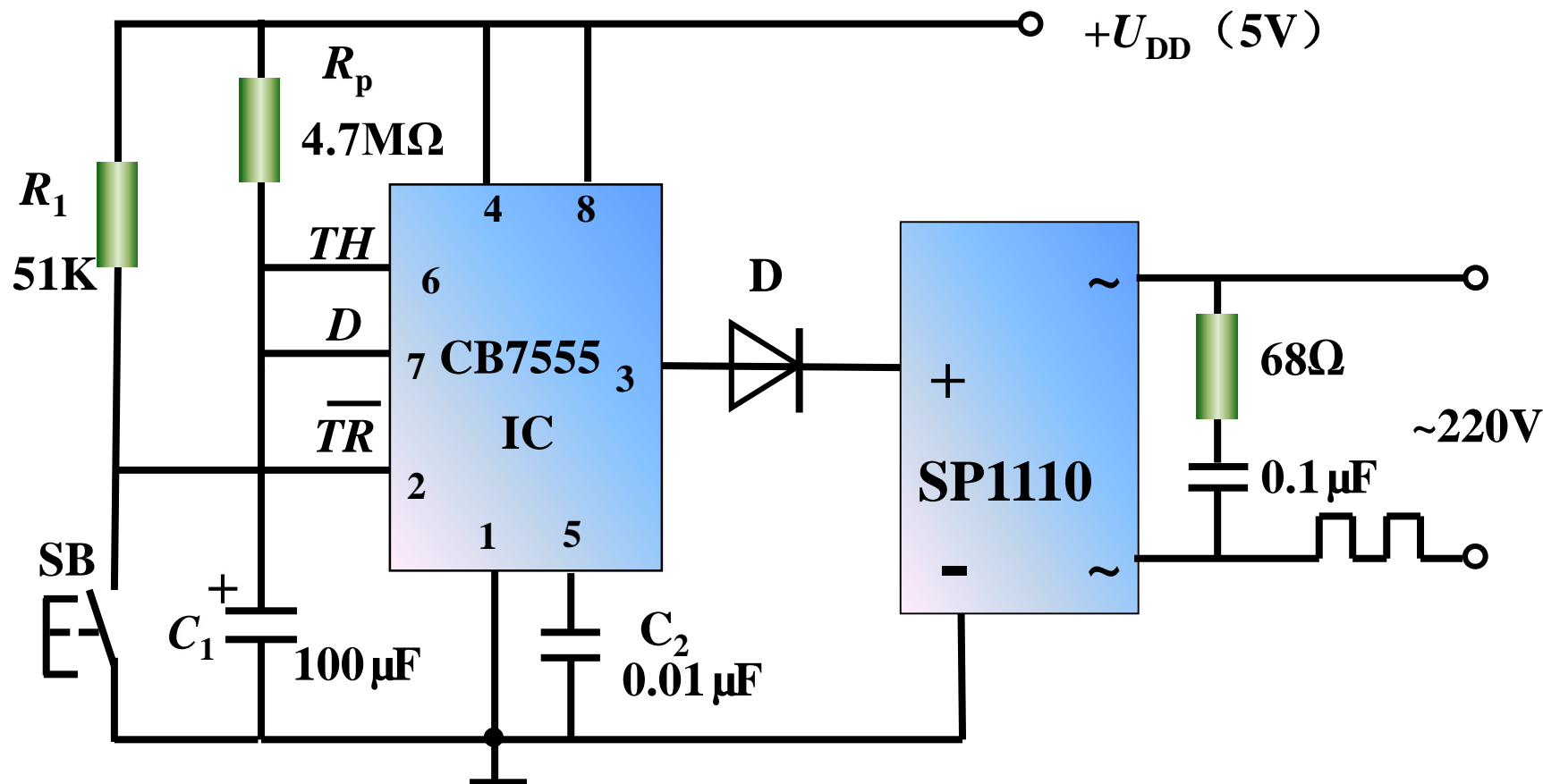


$$t_w = RC \ln 3 \approx 1.1RC$$



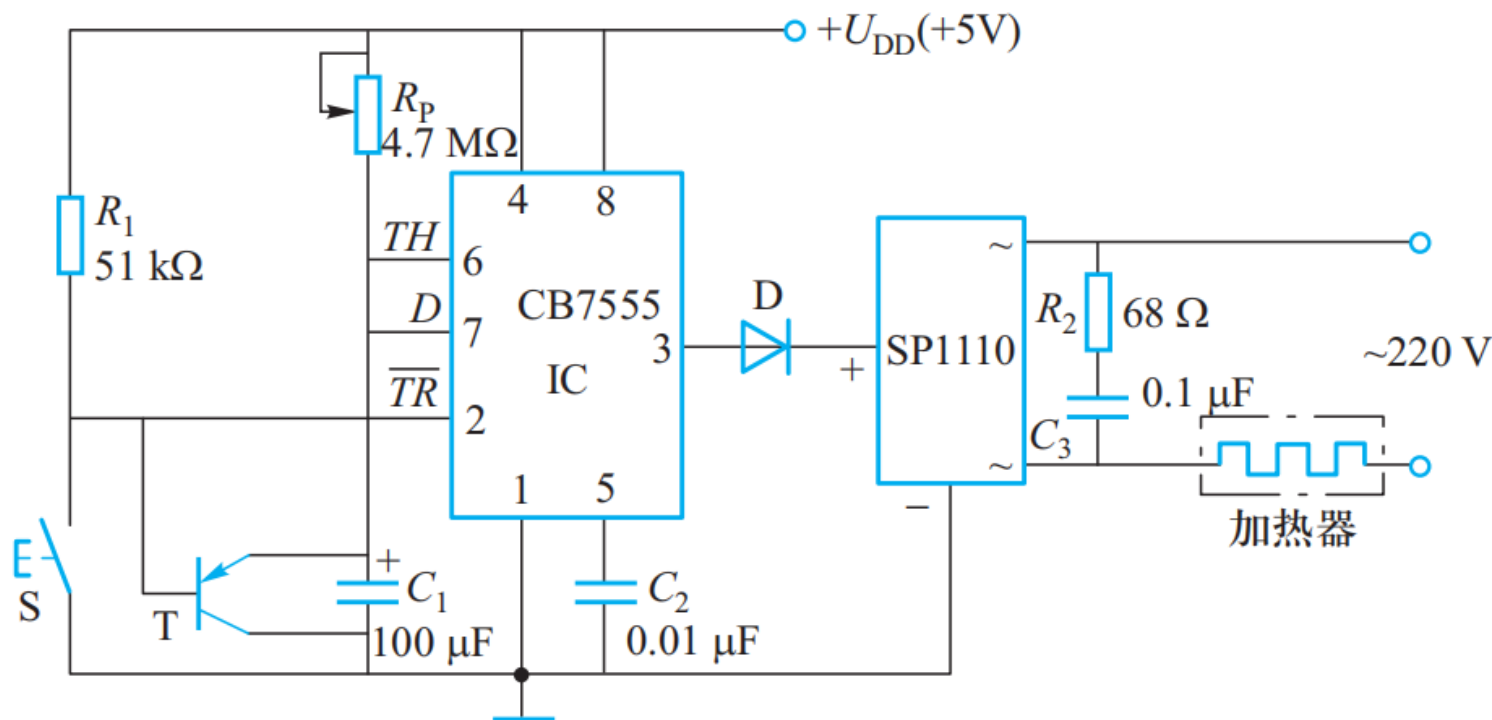
例题

[例6.3.1] 下图是一个定时加热器控制电路，试说明工作原理。



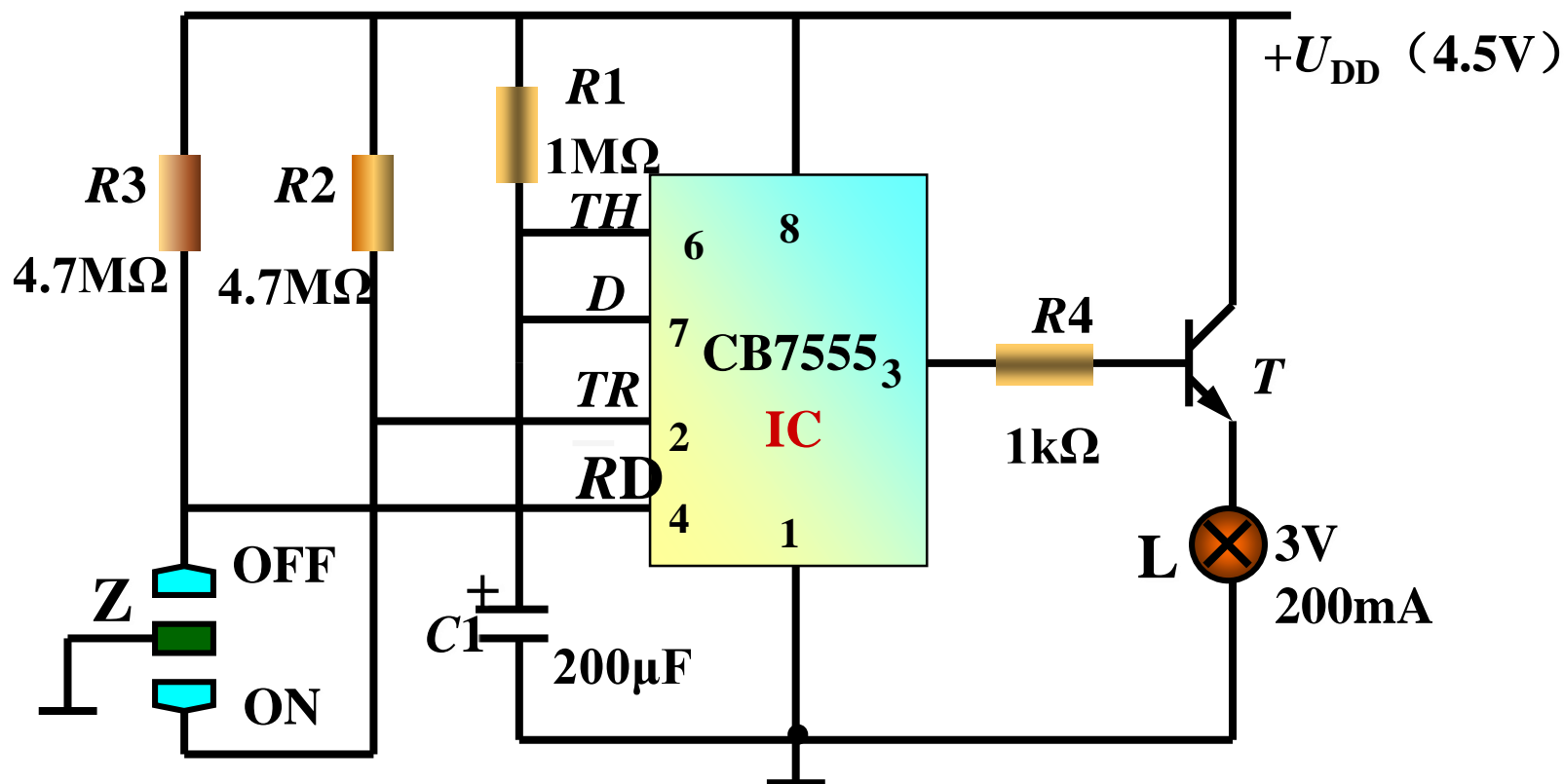
例 题

[例6.3.2] 下图是一个时间可加长调整的定时加热器控制电路，试说明工作原理。



例 题

[例6.3.3]如图为一简单的具有自动关断功能的照明灯电路，试说明其工作原理。





6.3.2 用555集成定时器构成的施密特触发器

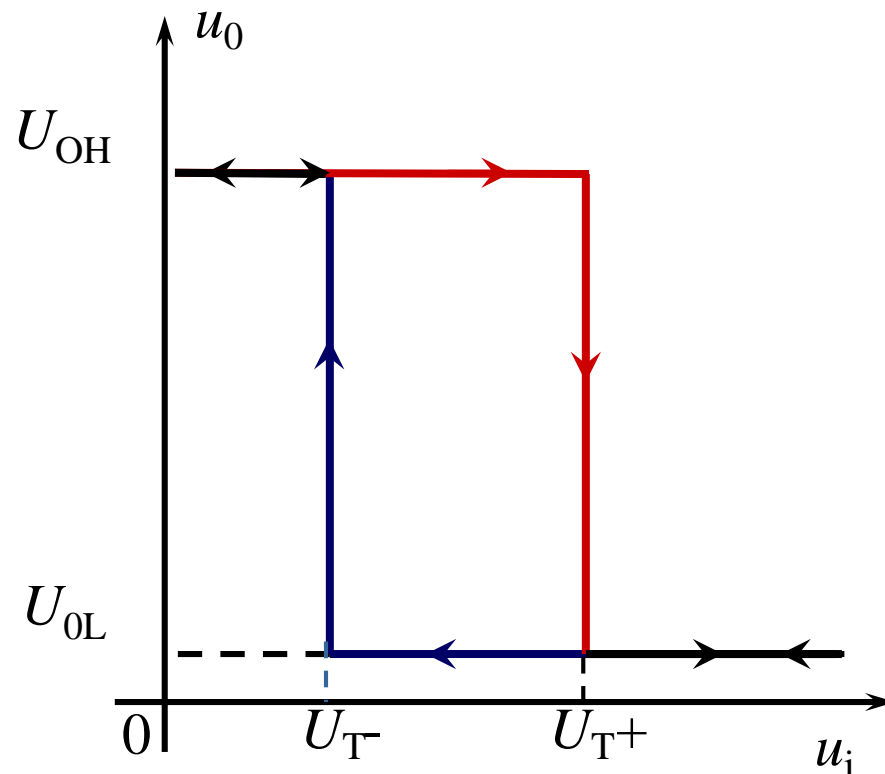
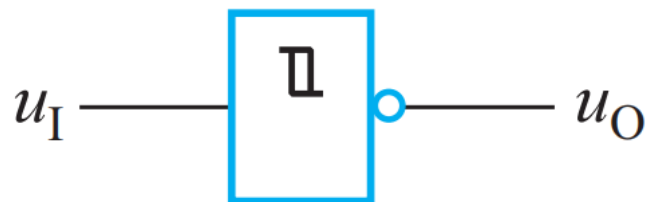
施密特触发器有两个稳定状态，是一种双稳态触发器，但它与第4章介绍的触发器不同。有如下特点：

- (1) 不具有记忆保持功能，其稳定状态依赖输入信号来维持；
- (2) 它属于电平触发，而不是脉冲触发；
- (3) 两种状态翻转时的输入电压（称阈值电压）不同。



6.3.2 用555集成定时器构成的施密特触发器

施密特触发器图形符号和电压传输特性曲线

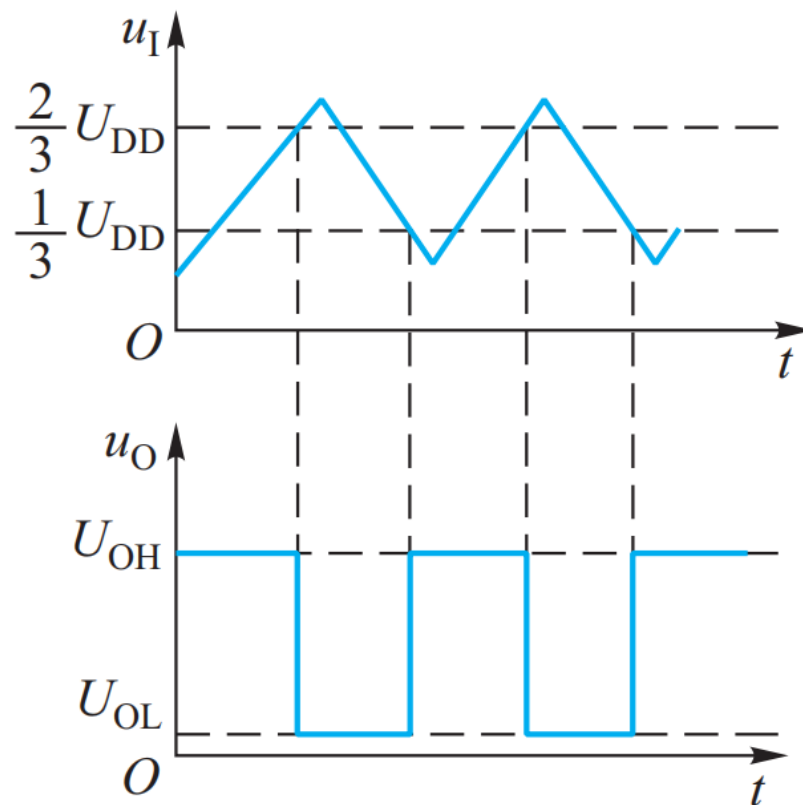
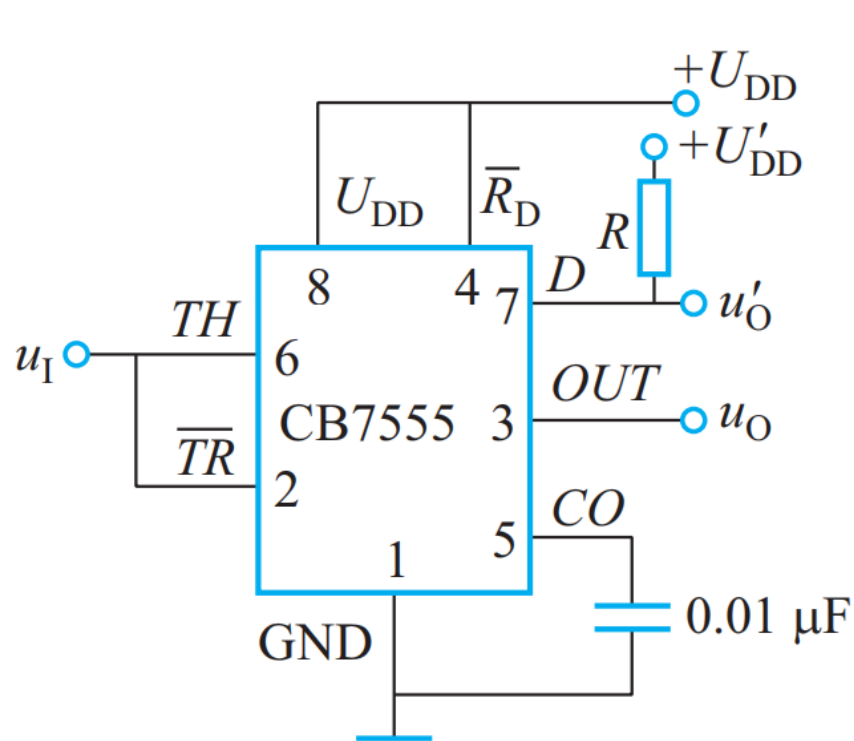


回差电压 $\Delta U_T = U_{T+} - U_{T-}$



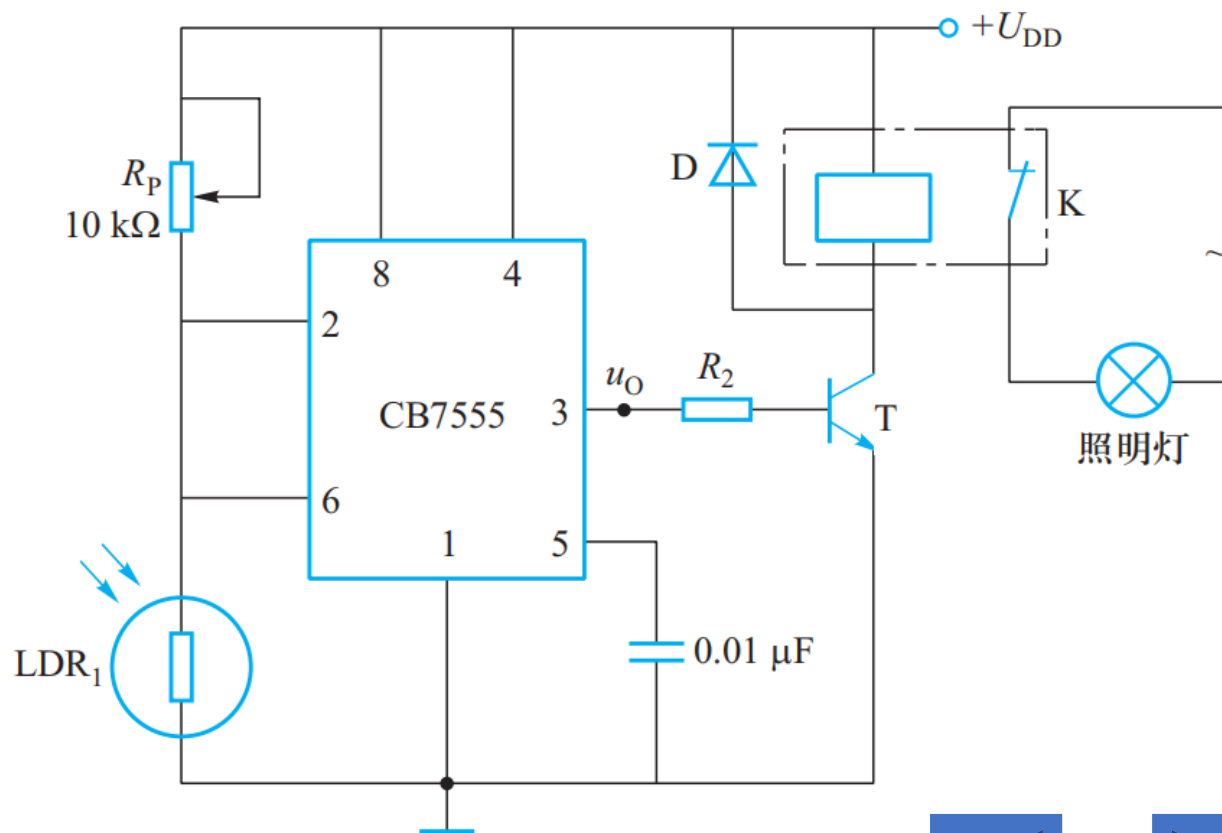
6.3.2 用555集成定时器构成的施密特触发器

用555集成定时器构成的施密特触发器电路



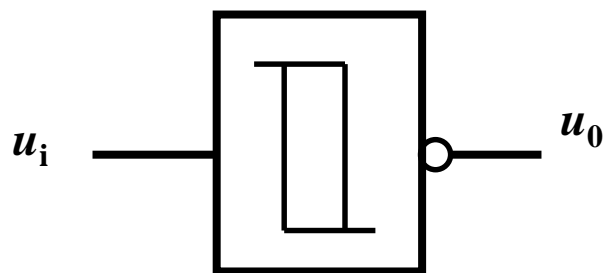
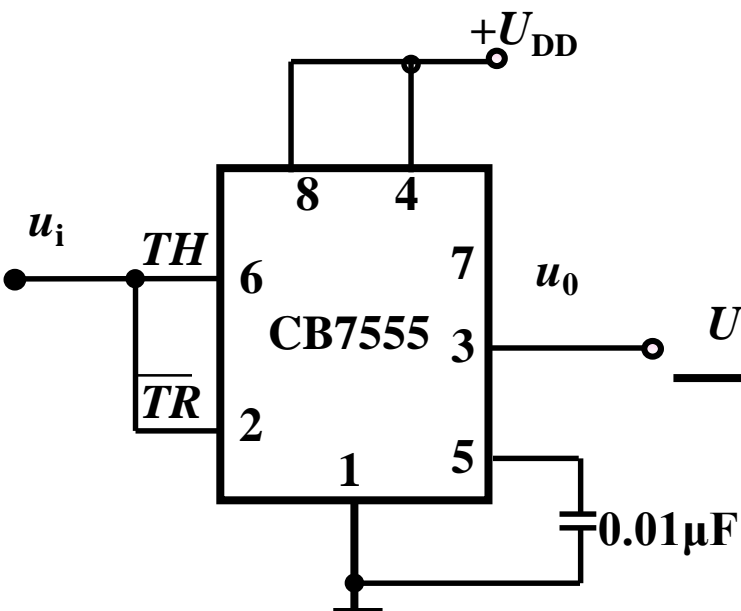
例题

[例6.3.4]如图为一个根据环境亮度变化能自动开启、关断功能的照明灯控制电路，试说明其工作原理。

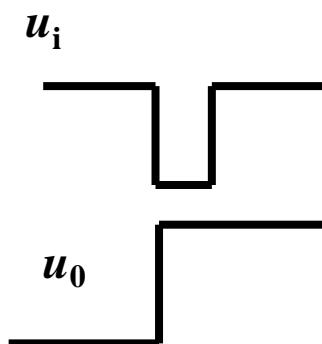
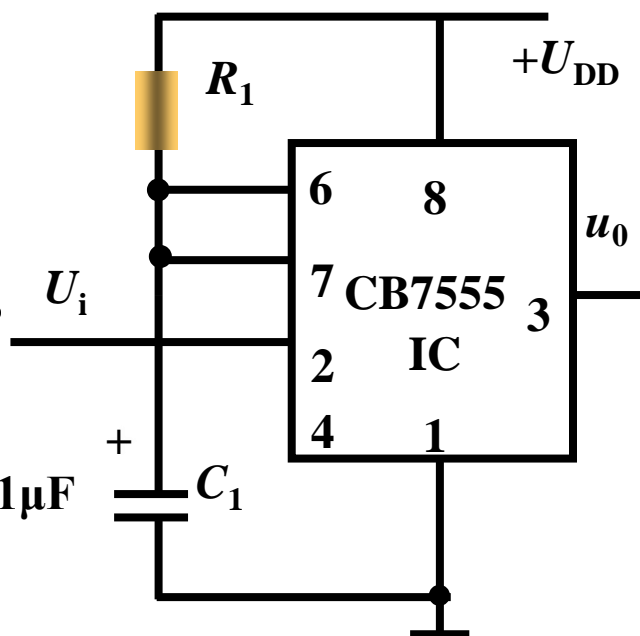


6.3.2 用555集成定时器构成的施密特触发器

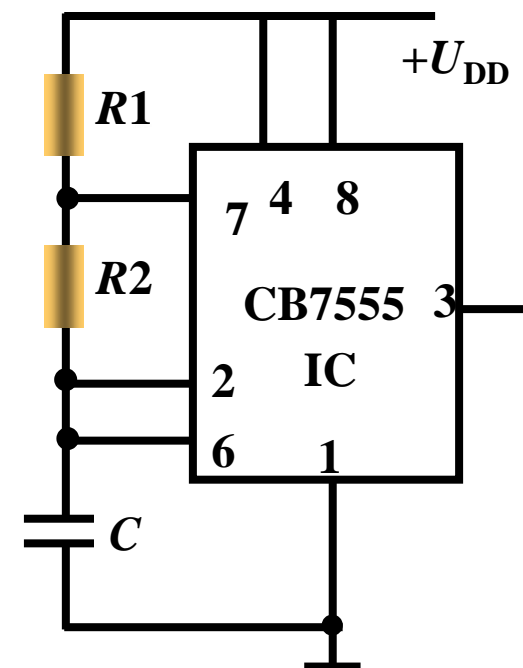
施密特触发器



单稳态触发器



无稳态触发器





6.4 单片集成函数信号发生器

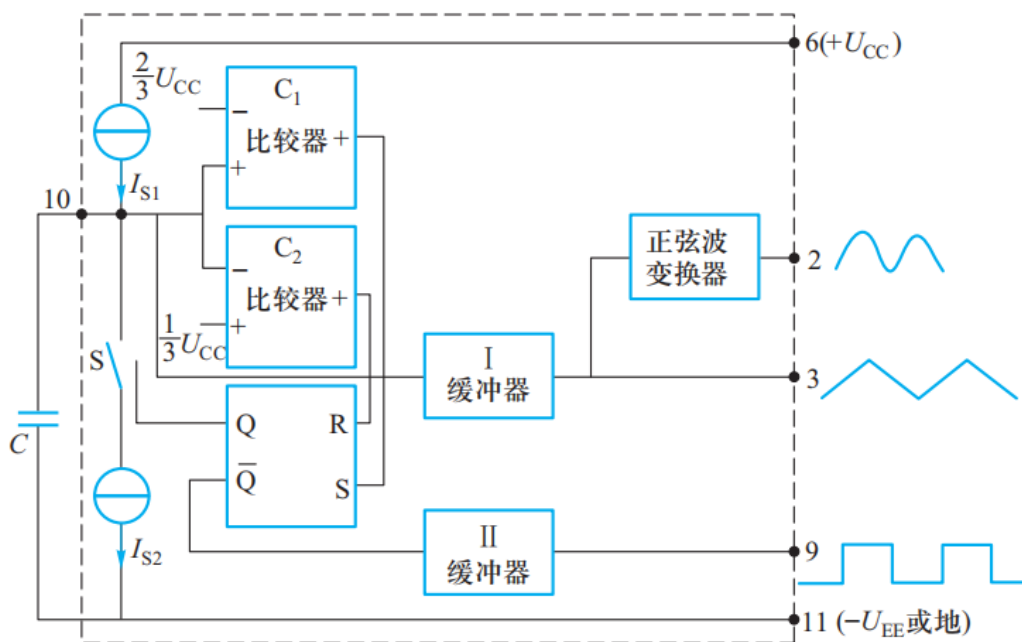
单片集成函数信号发生器是一种集波形产生与变换于一体的集成芯片。在外接少量元件的情况下，可实现矩形波、正弦波、三角波和锯齿波输出。

芯片种类：ICL8038、MAX038、XR-2206等。

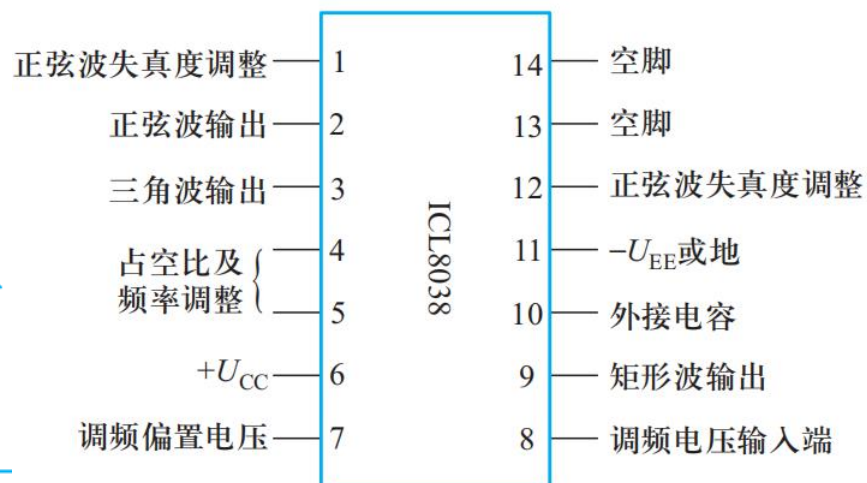


6.4 单片集成函数信号发生器

ICL8038集成函数信号发生器



电路结构

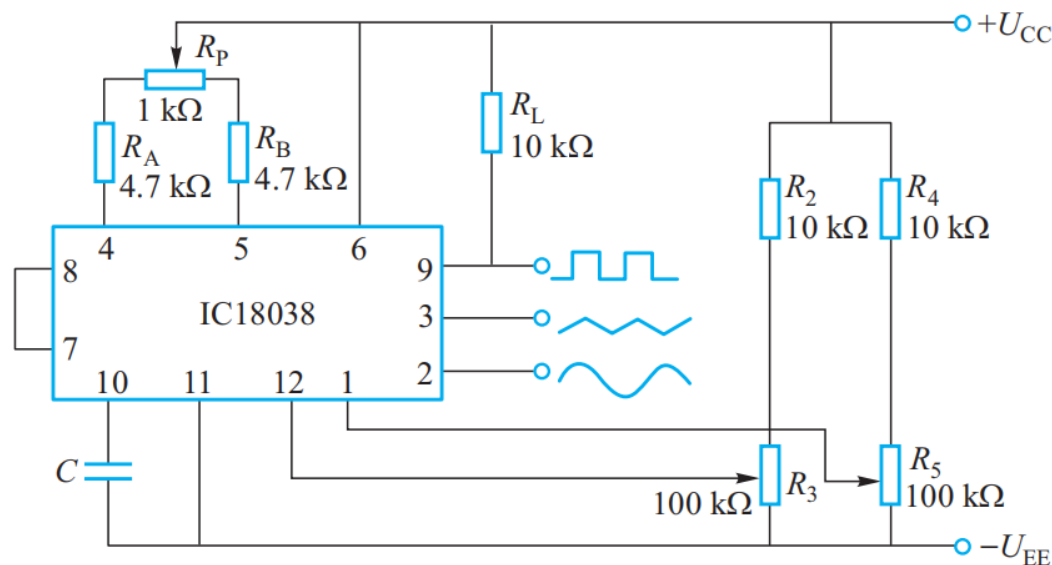


引脚排列



6.4 单片集成函数信号发生器

波形发生器基本原理电路



R_A R_B R_P : 恒流源调节, 改变占空比和频率

R_3 R_5 : 调节正弦波失真度

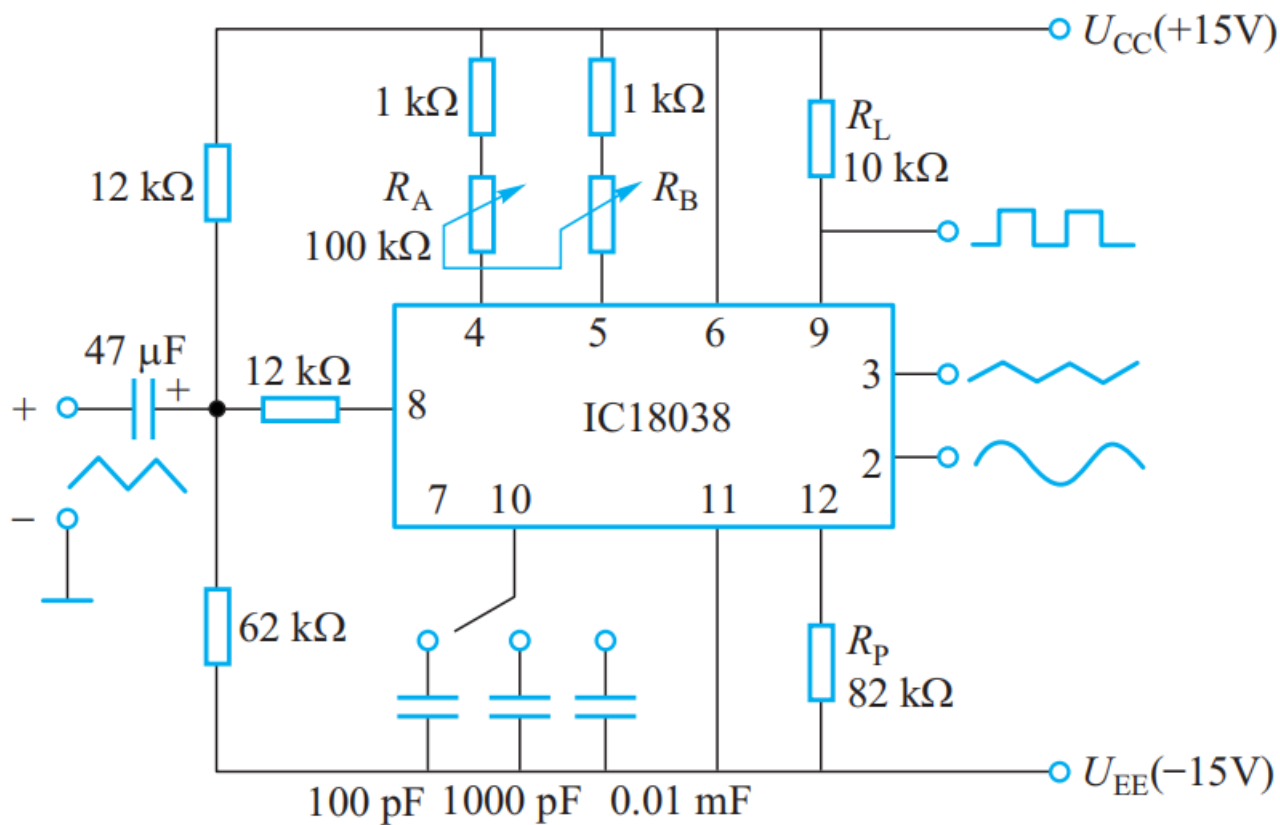
8脚: 调频电压输入 7脚: 内部频率调节偏置电压

7脚8脚相连: 输出频率仅由 R_A , R_B , R_P 及 C 决定



例题

[例6.4.1]如图是一个扫频信号发生器，试说明其工作原理。





本章结束 返回目录

第6章 波形产生和变换

