



第 7 章

晶闸管及其应用电路



第7章 晶闸管及其应用电路



【学习目标】

- ◆理解晶闸管的基本结构、工作原理和特性。
- ◆掌握可控整流电路的工作原理、控制角的概念，能够分析并绘制出输出电压波形，计算输出电压平均值。
- ◆了解单晶体管构成的振荡电路的工作原理。
- ◆掌握可控交流调压电路的工作原理，能够分析并绘制出输出电压波形。
- ◆了解双向晶闸管交流调压电路的工作原理。



主要内容

7-1 晶闸管

7-3 触发电路

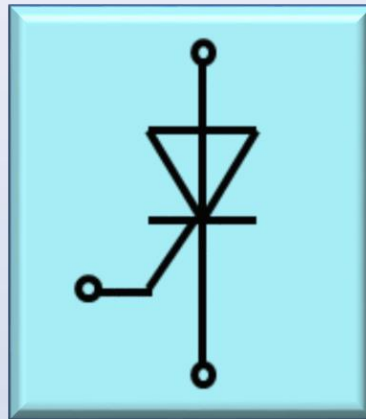
7-2 可控整流电路

7-4 交流调压电路



7-1 晶闸管

Silicon Controlled **R**ectifier





7-1 晶闸管 (Silicon Controlled Rectifier)

晶闸管是在晶体管基础上发展起来的一种大功率半导体器件。它的出现使半导体器件由弱电领域扩展到强电领域。

晶闸管也像半导体二极管那样具有单向导电性，但它的导通时间是可控的，主要用于整流、逆变、调压及开关等方面。

优点：

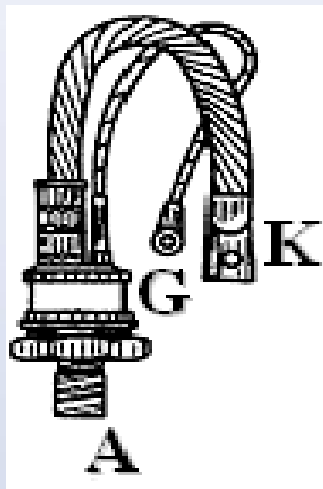
体积小、重量轻、效率高、动作迅速、维修简单、操作方便、寿命长、容量大（正向平均电流达千安、正向耐压达数千伏）。



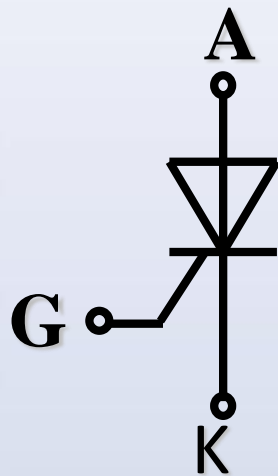
7-1 晶闸管 (Silicon Controlled Rectifier)

一、晶闸管的结构

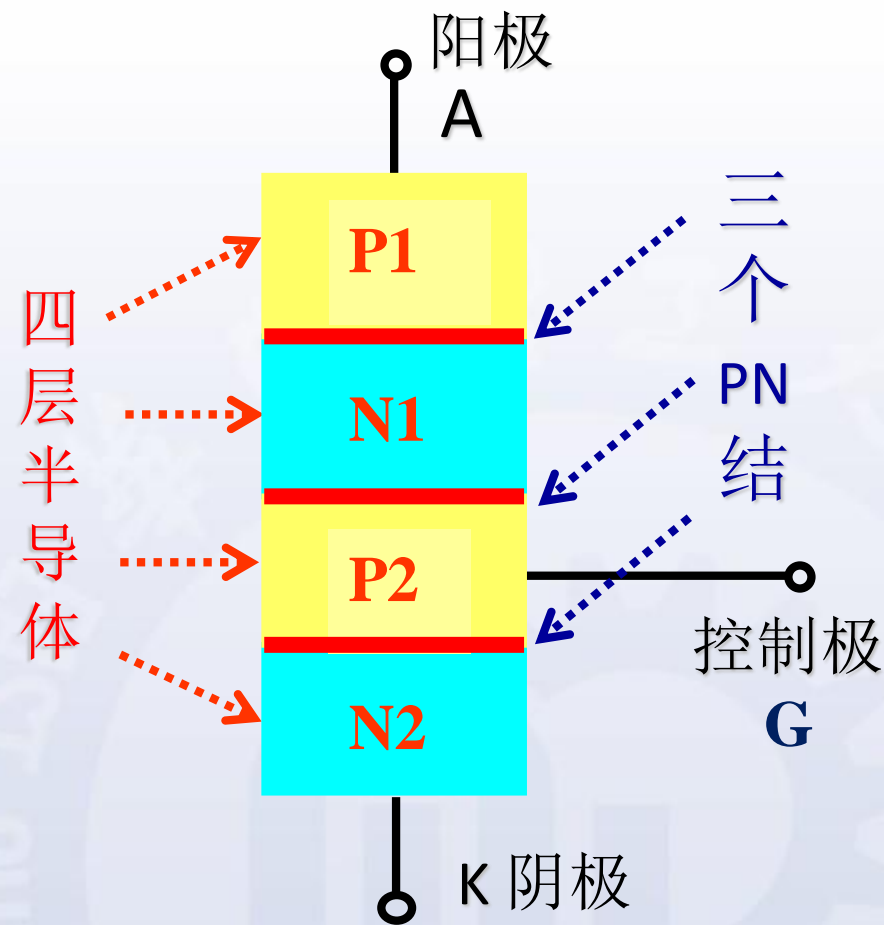
晶闸管是具有三个PN结的四层结构，其外形、结构及符号如图。



(a) 外形



(b) 符号



(c) 结构

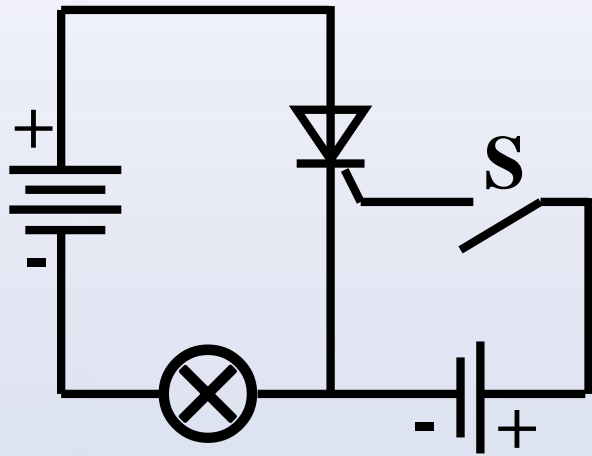
晶闸管的外形、结构及符号



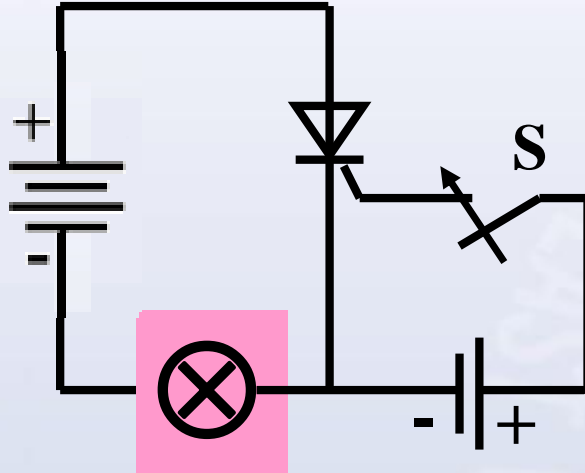
7-1 晶闸管 (Silicon Controlled Rectifier)

二、晶闸管的工作原理

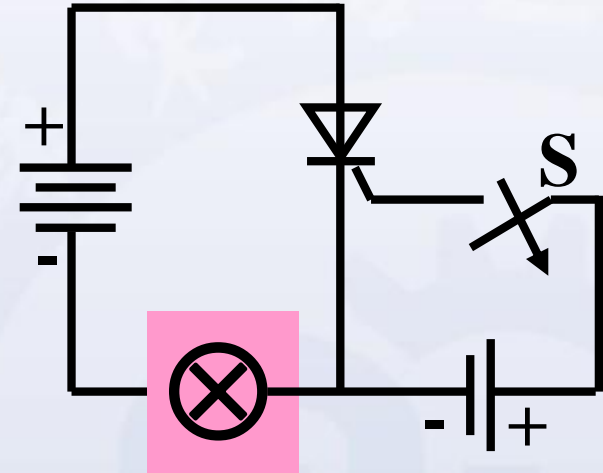
实 验



灯不亮



灯 亮



灯 亮



7-1 晶闸管 (Silicon Controlled Rectifier)



总结

1) 晶闸管导通必须同时具备两个条件:

阳极与阴极之间加正向电压

控制极与阴极之间加正向电压

2) 晶闸管的控制极只有使晶闸管导通的作用, 一旦导通, 就不再有控制作用, 无论控制极对阴极有无电压或反向电压, 管子始终导通

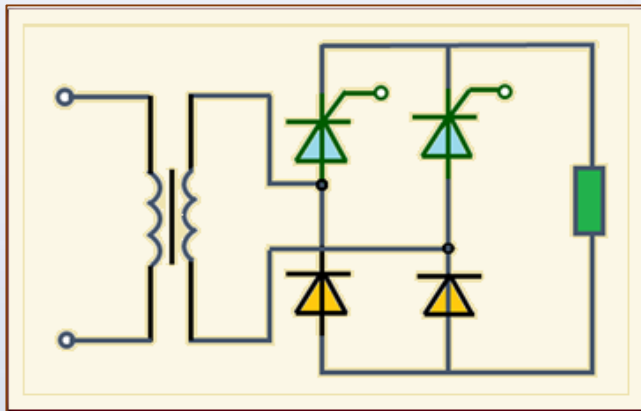
3) 要使晶闸管阻断(截止), 必须具备下列三个条件之一:

将阳极电流减小到某一数值以下

切断阳极电源

阳极电压反向

7-2 可控整流电路





7-2 可控整流电路

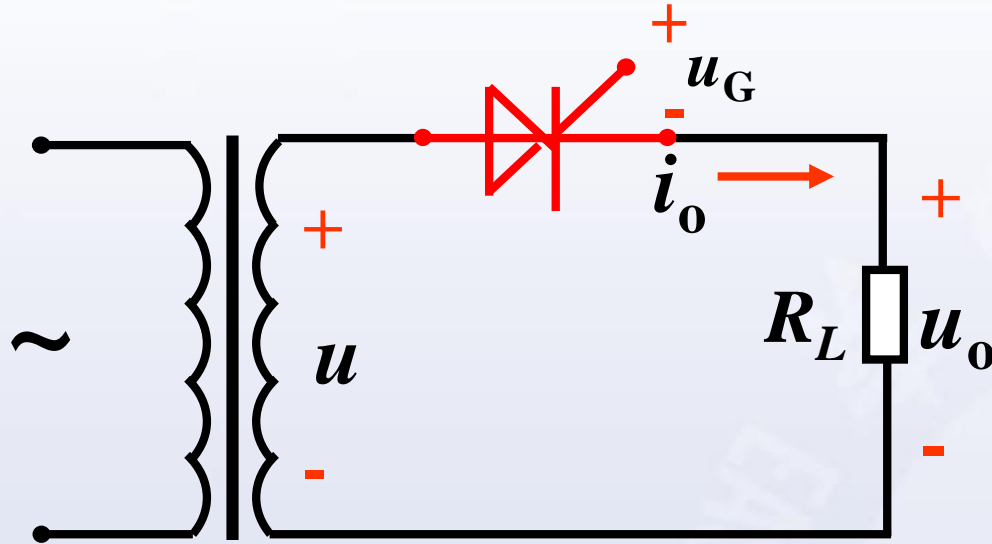
- ❖ **半导体二极管**只有通断两种状态，用该元件组成的整流电路，输出电流和电压的大小不能通过元件本身来调节，称为**不可控整流**。
- ❖ **晶闸管**具有控制电极，通过控制该电极可以控制晶闸管的导通时间，调节输出电压电流的大小，称为**可控整流**。



7-2 可控整流电路

一、单相半波可控整流电路

1. 电路结构



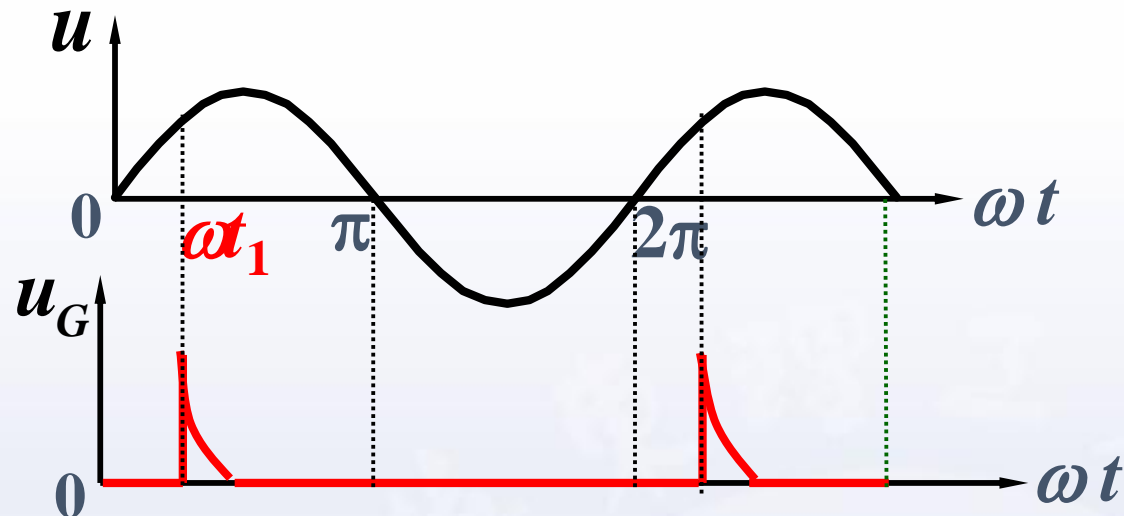
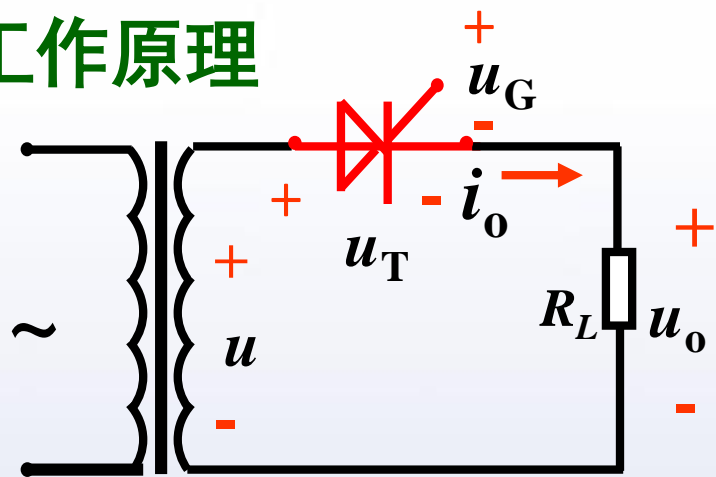
特 点:

- 1) 以晶闸管代替半波整流电路中的二极管
- 2) 晶闸管与 R_L 串联，电路电流为 i_o ，控制极施加周期性正向脉冲电压 u_G



7-2 可控整流电路 一、单相半波可控整流电路

2. 工作原理



$u > 0$ 时: $0 \sim \omega t_1$, $u_G = 0$, 晶闸管不导通

$$u_o = 0, u_T = u$$

ωt_1 : 加触发信号, 晶闸管承受正向电压导通

$$u_o = u, u_T \approx 0$$

$\omega t_1 \sim \pi$: 无触发信号, 晶闸管承受正向电压导通

$$u_o = u, u_T \approx 0$$

$u < 0$ 时: 可控硅承受反向电压不导通, 晶闸管反向阻断

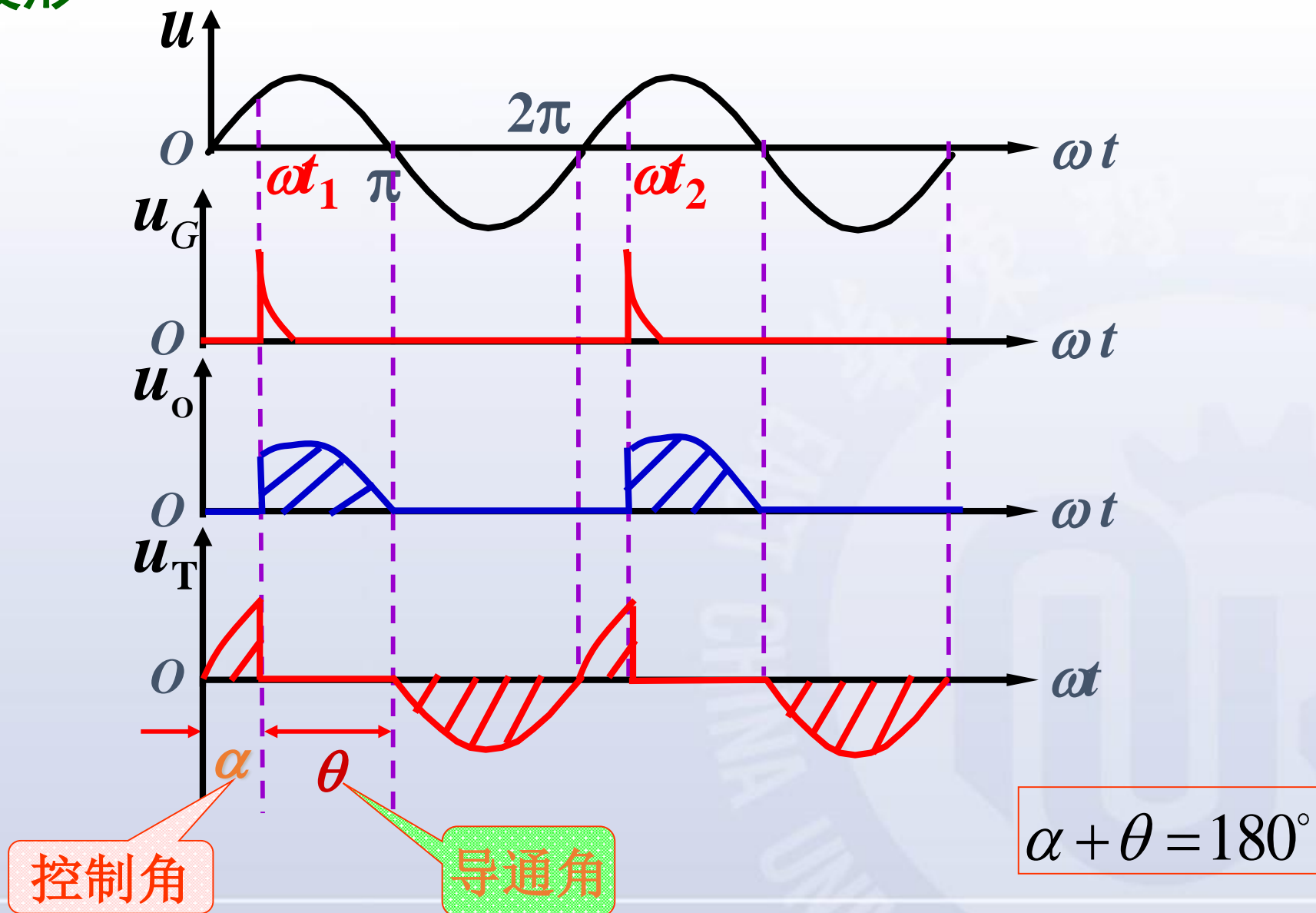
$$u_o = 0, u_T = u$$



7-2 可控整流电路

一、单相半波可控整流电路

3. 工作波形

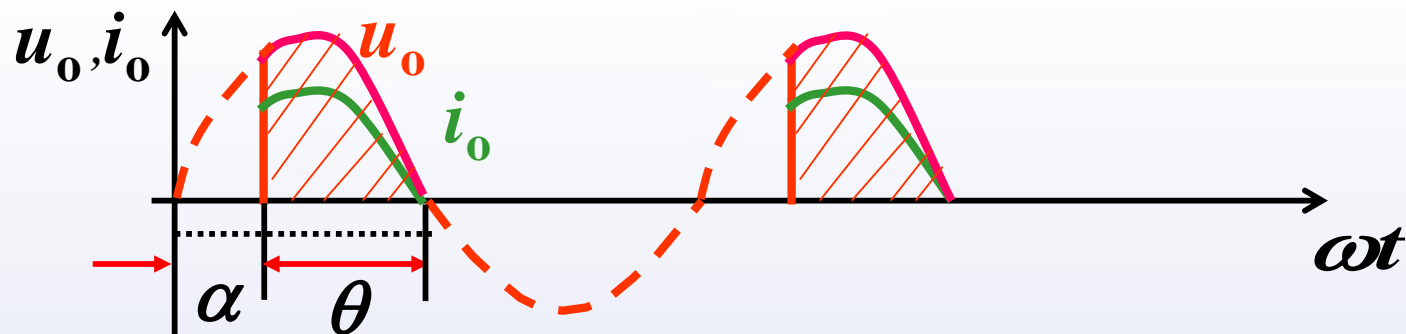




7-2 可控整流电路

一、单相半波可控整流电路

◆ 输出电压及电流的平均值



改变控制角 α ,
可改变输出电压 U_o 。

$$U_o = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2}U \sin \omega t d\omega t = \frac{\sqrt{2}}{2\pi} U (1 + \cos \alpha)$$
$$= 0.45U \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

$$U_o = 0.45U \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = 0.45 \frac{U}{R_L} \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

$$\alpha = 0 (\theta = 180^\circ), \quad U_o = 0.45U$$

晶闸管全导通

$$\alpha = 180^\circ (\theta = 0), \quad U_o = 0$$

晶闸管全阻断

7-2 可控整流电路

二、单相全波桥式可控整流电路

1. 电路结构

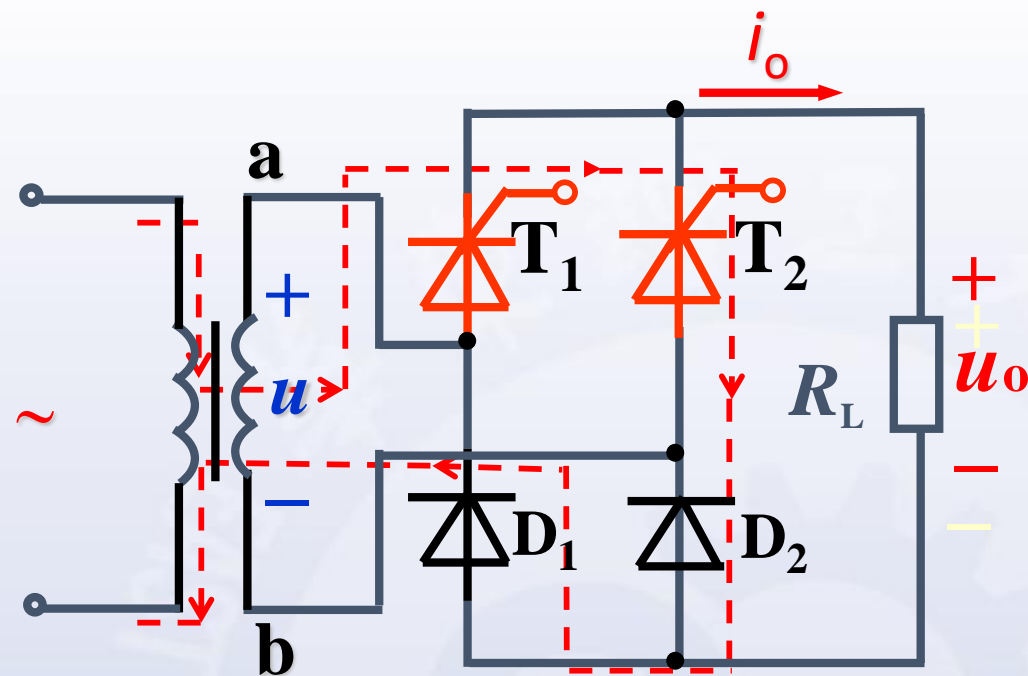
2. 工作原理

(1) 电压 u 为正半周时

T_1 和 D_2 承受正向电压。 T_1 控制极加触发电压,则 T_1 和 D_2 导通, 电流的通路为

$a \longrightarrow T_1 \longrightarrow R_L \longrightarrow D_2 \longrightarrow b$

此时, T_2 和 D_1 均承受反向电压而截止。



T_1 、 T_2 —晶闸管
 D_1 、 D_2 —二极管



7-2 可控整流电路

二、单相全波桥式可控整流电路

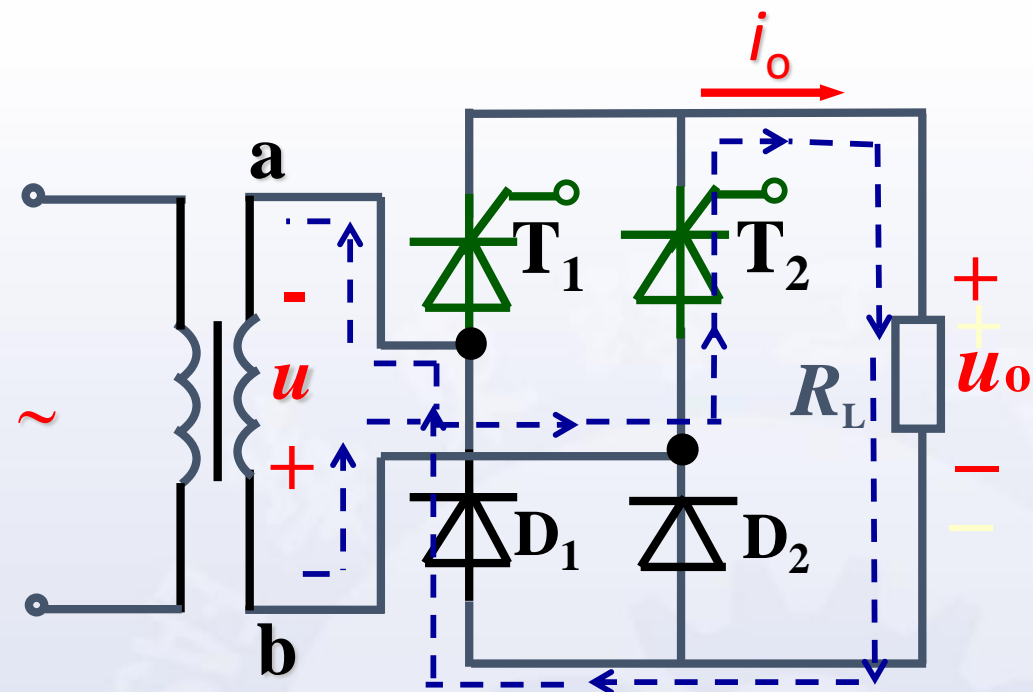
2. 工作原理

(2) 电压 u 为负半周时

T_2 和 D_1 承受正向电压。 T_2 控制极加触发电压, 则 T_2 和 D_1 导通, 电流的通路为

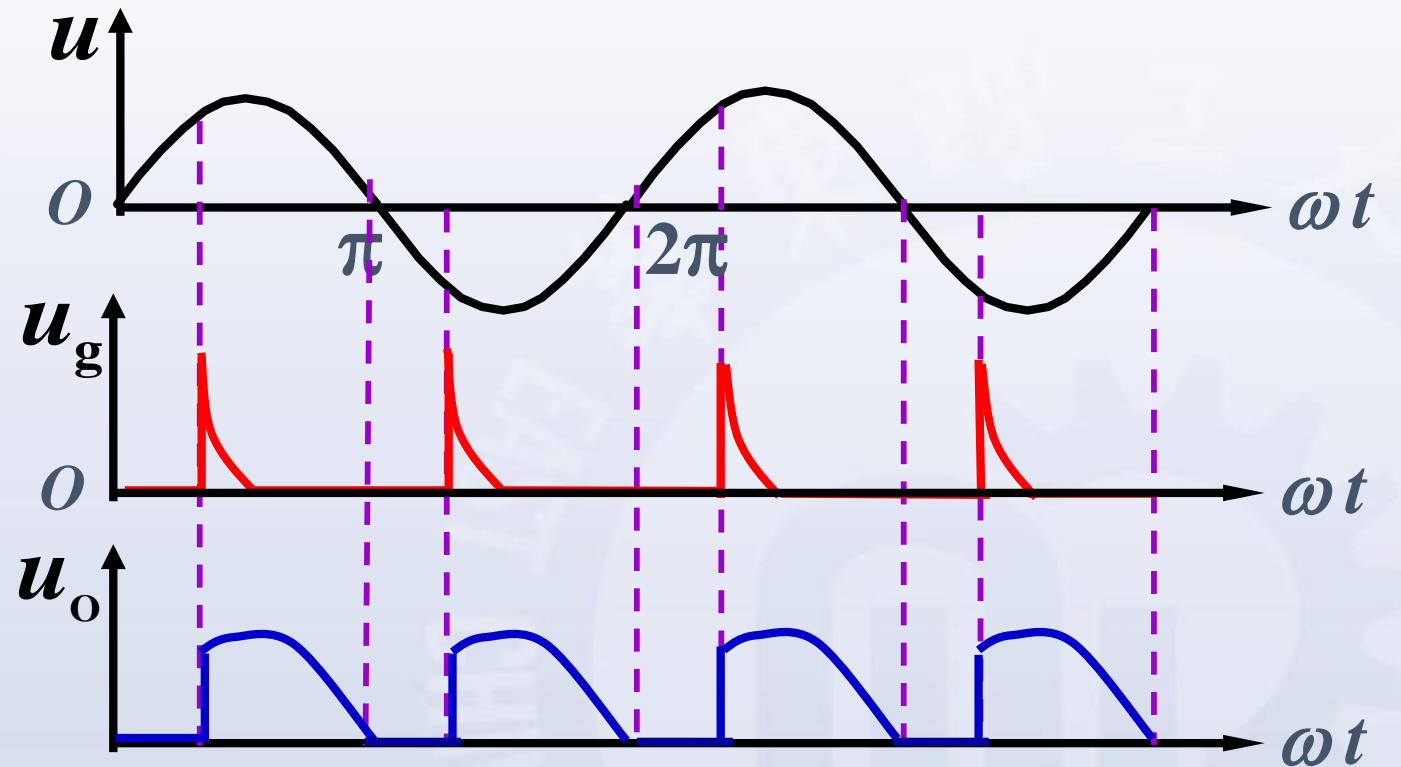
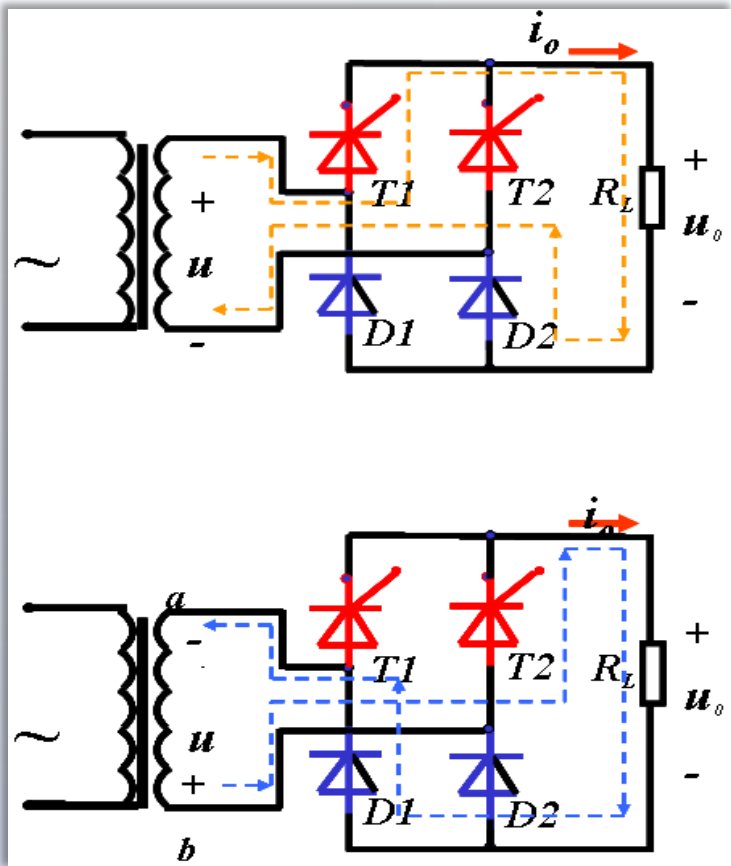
$b \longrightarrow T_2 \longrightarrow R_L \longrightarrow D_1 \longrightarrow a$

此时, T_1 和 D_2 均承受反向电压而截止。



二、单相全波桥式可控整流电路

3. 工作波形





7-2 可控整流电路

二、单相全波桥式可控整流电路

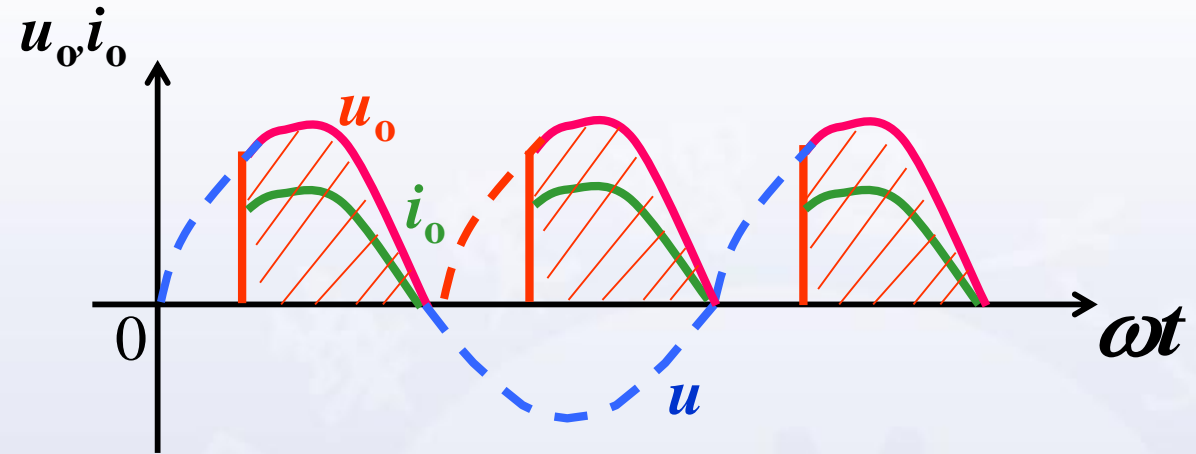
4. 输出电压及电流的平均值

$$U_o = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} u \, d\omega t$$

$$U_o = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2}U \sin \omega t \, d(\omega t)$$

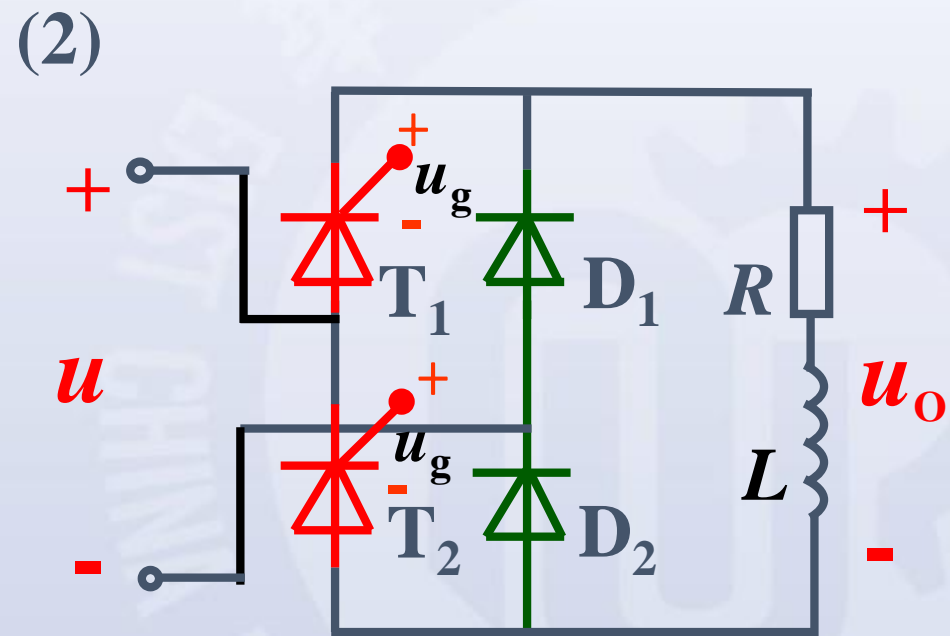
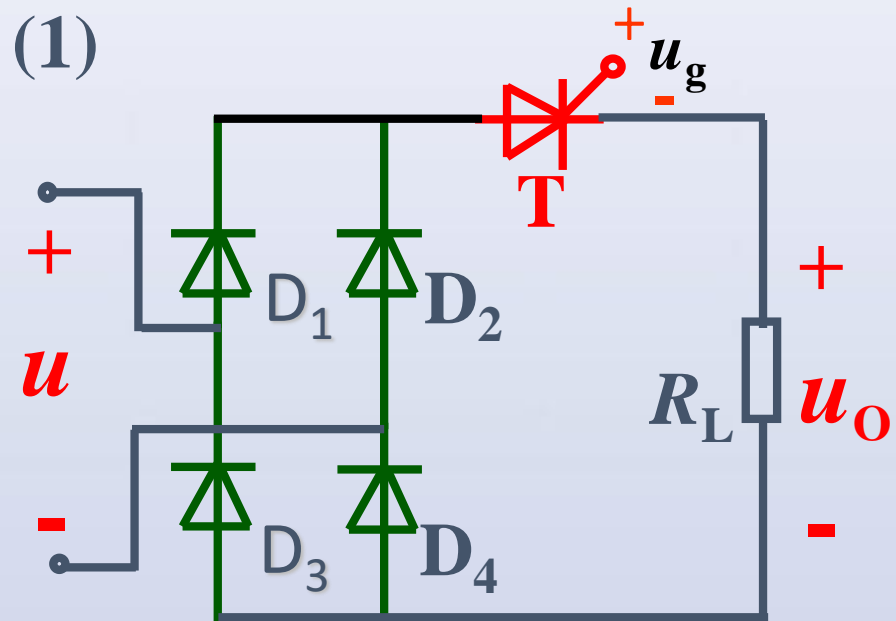
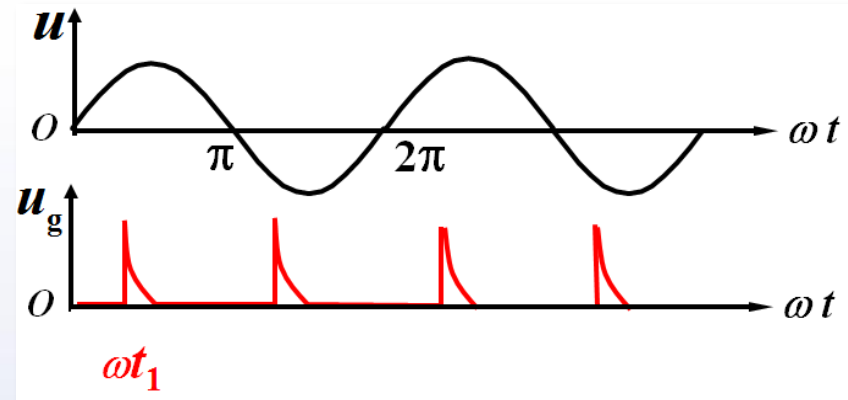
$$= 0.9U \times \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

$$I_o = \frac{U}{R_o} = 0.9 \frac{U}{R_L} \times \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

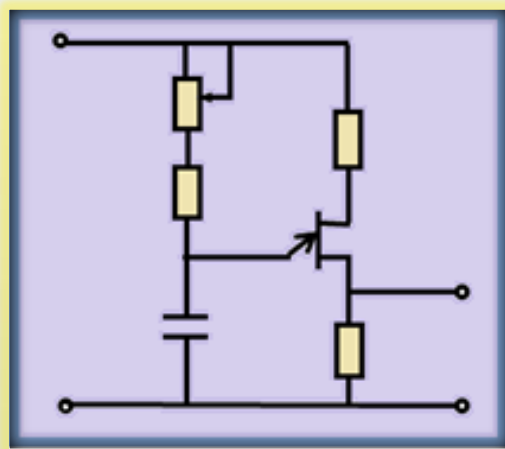


7-2 可控整流电路

两种常用可控整流电路



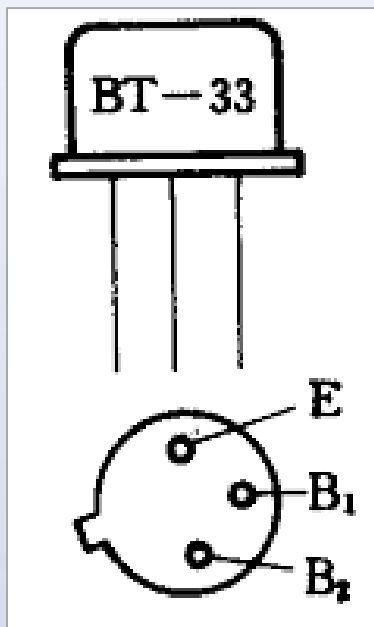
7-3 触发电路



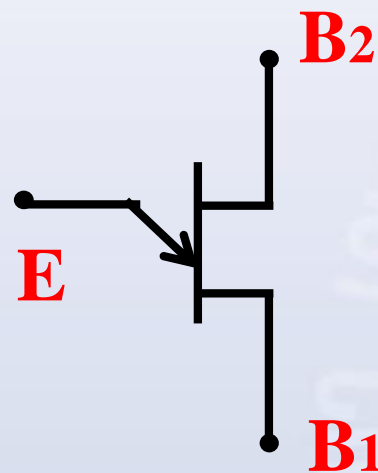
7-3 触发电路

一. 单结晶体管

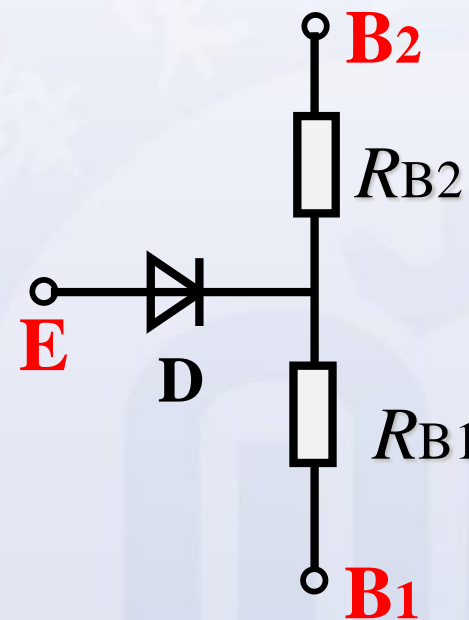
要使晶闸管导通，除在阳极和阴极之间加正向电压，还要在控制极和阴极之间加正向触发电压。产生触发电压的电路称为触发电路。目前常用的是单结晶体管触发电路。



(a) 外形



(b) 符号



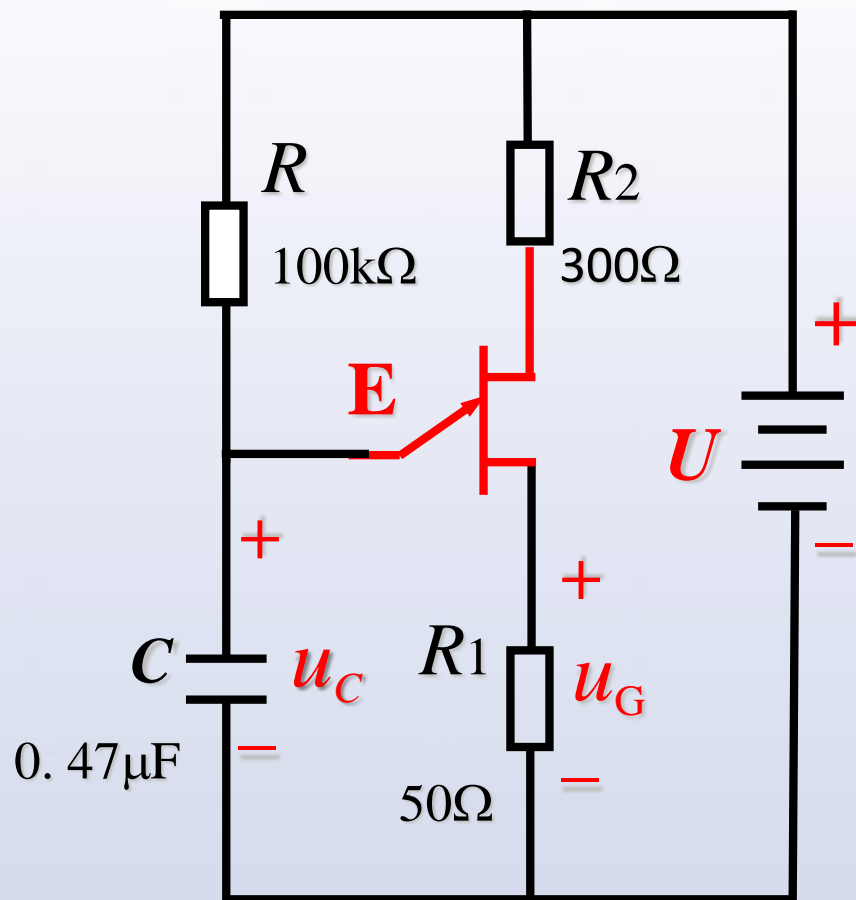
(c) 等效电路

单结晶体管有三个极，外型类似普通小功率三极管。



7-3 触发电路

二、单结晶体管振荡电路



单结晶体管振荡电路利用单结管的负阻特性及 RC 电路的充放电特性组成频率可调的振荡电路。

R, R_1, R_2 为外接电阻

C 为外接电容



7-3 触发电路

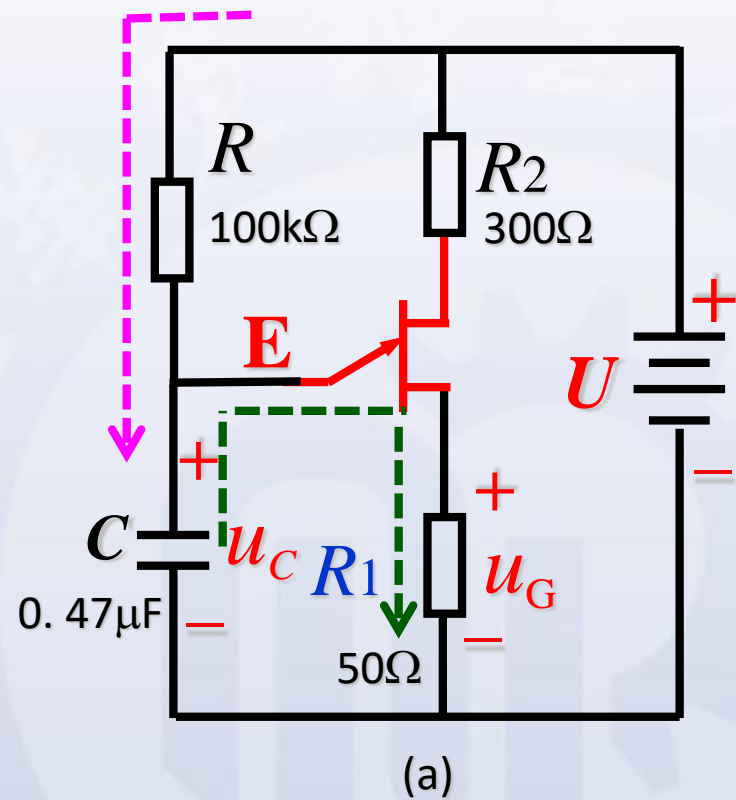
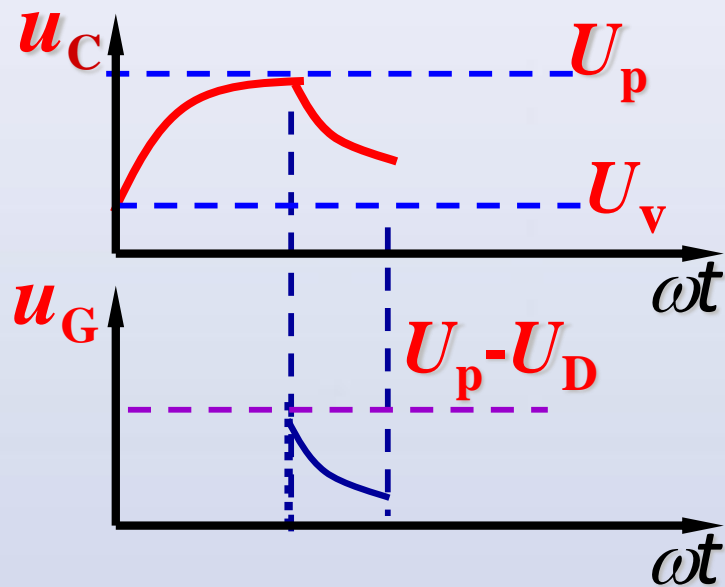
二、单结晶体管振荡电路

工作原理

设通电前 $u_C = 0$

接通电源 U , 电容 C 经电阻 R 充电。电容电压 u_C 逐渐升高。

当 $u_C \geq U_p$ (峰值电压) 时, 单结管导通, 电容 C 放电, R_1 上得到一脉冲电压。

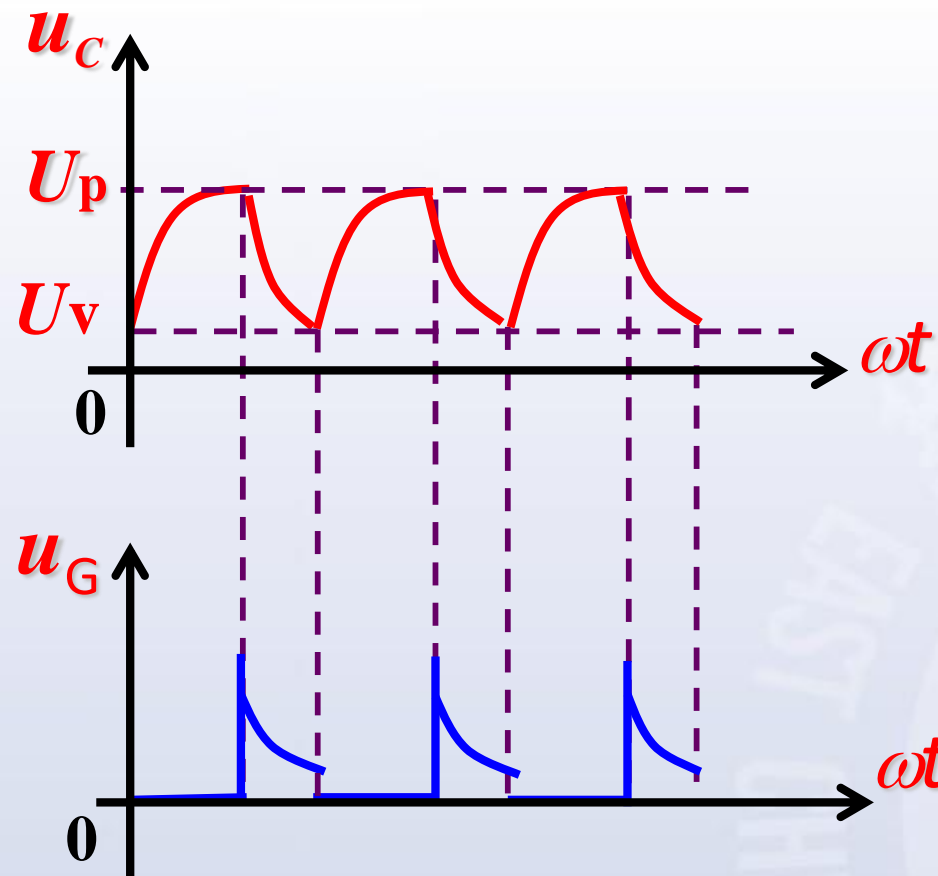


电容放电至 $u_C \leq U_v$ (谷点电压) 时, 单结管重新关断, 使 $u_G \approx 0$ 。



7-3 触发电路 二、单结晶体管振荡电路

重复上述过程，在 R_1 上形成一系列尖脉冲



电容上的电荷通过 R_1 放电，放电速度取决于 R_1C ，因为 $R_1 \ll R$ ，放电迅速，放电电流在 R_1 上形成尖脉冲。

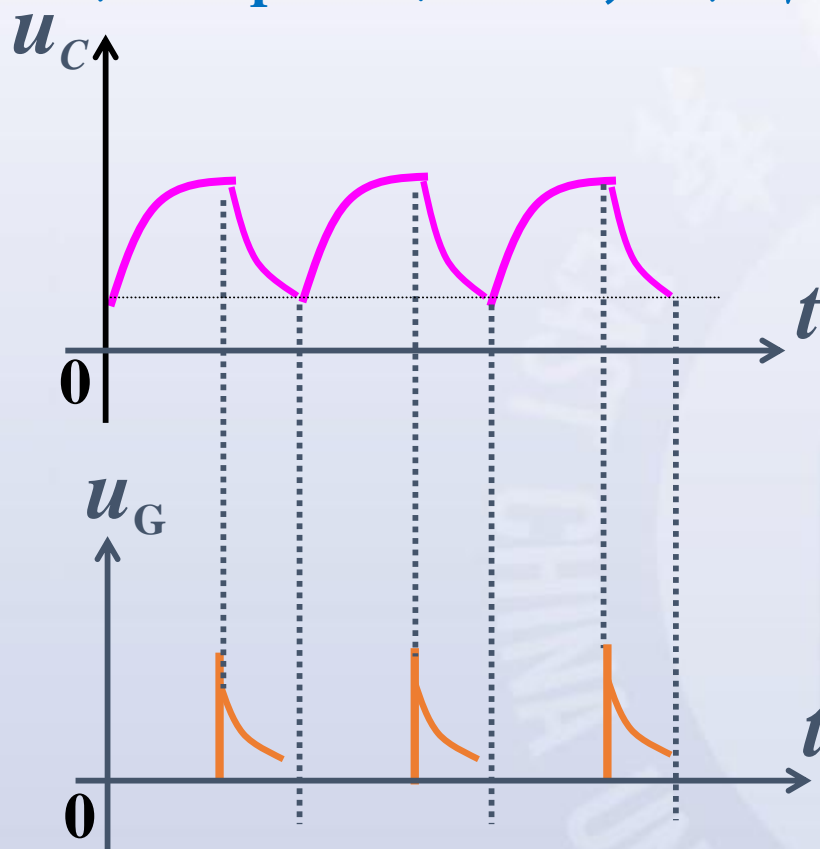
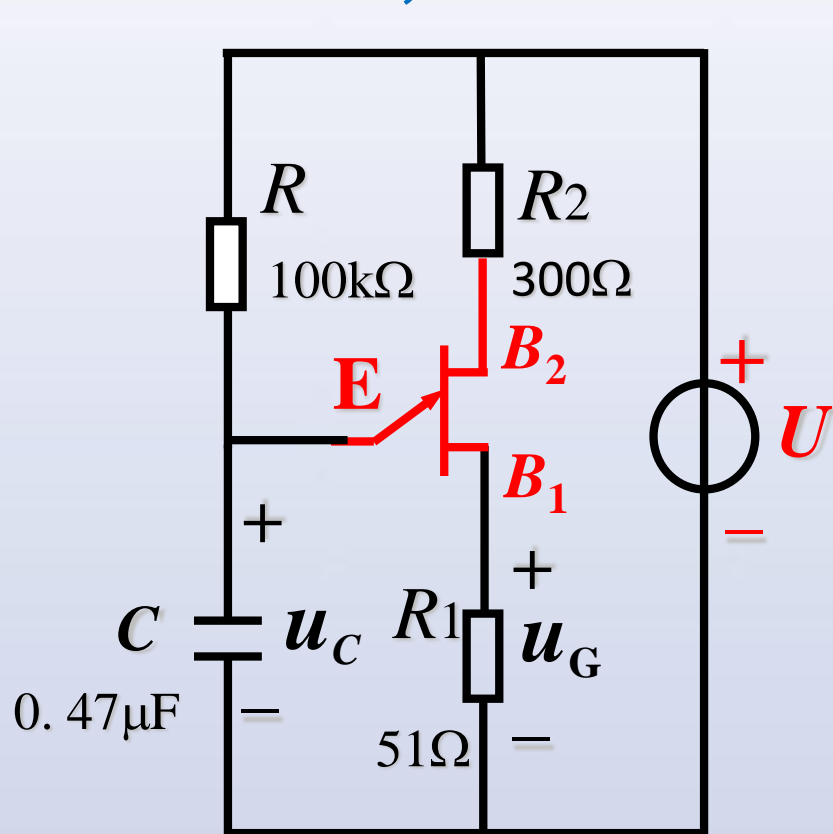


7-3 触发电路

二、单结晶体管振荡电路

这种周而复始的自动充放电过程称为振荡

通过电路振荡在电容器上形成锯齿波，在 R_1 上形成尖脉冲；
 R 大，电容充电慢，到达 u_P 的时间长，脉冲出现时间晚；
 R 小，电容充电快，到达 u_P 的时间短，脉冲出现时间早。



尖脉冲出现的时间可通过改变 R 的值来调节

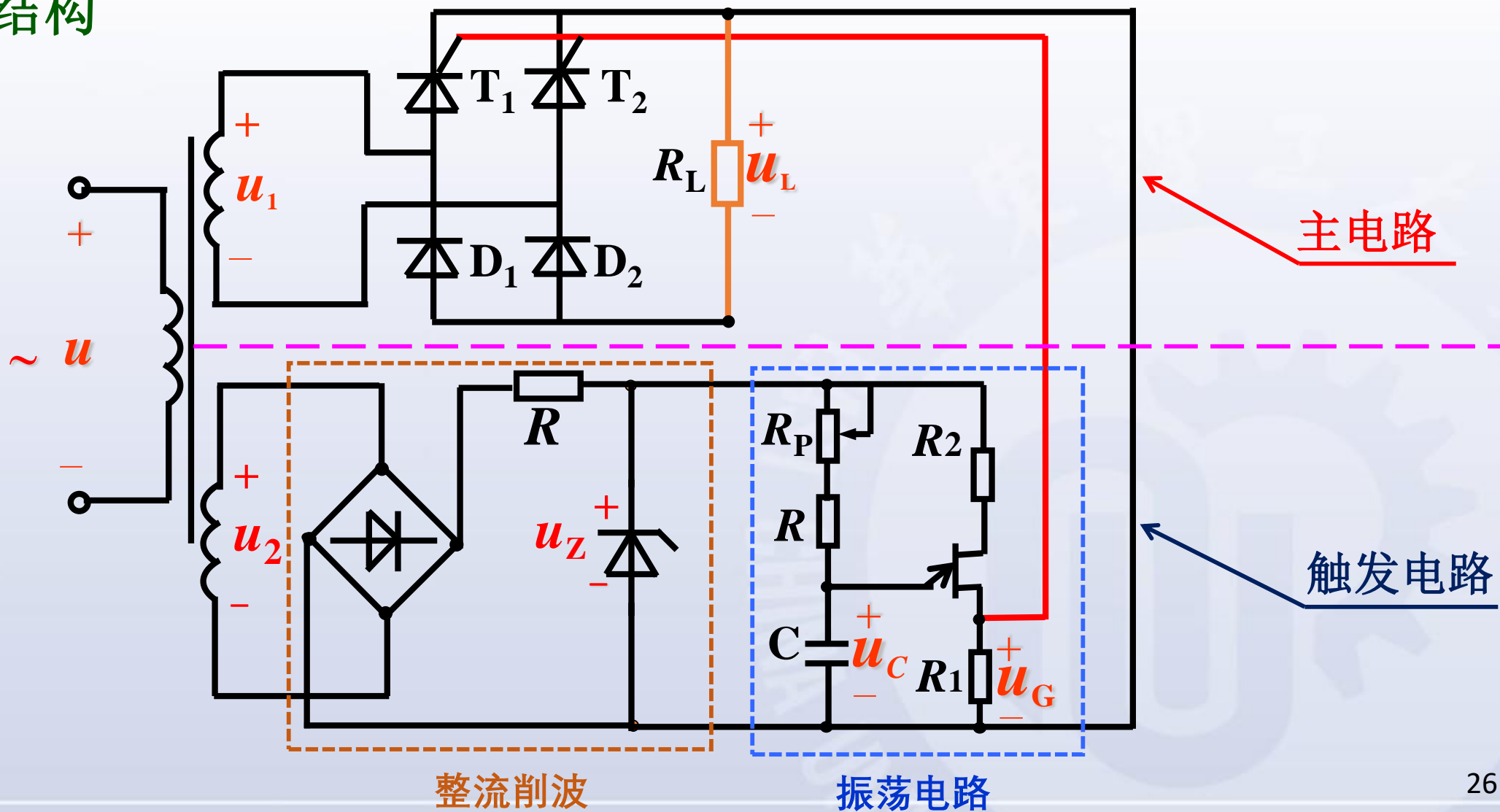
移相
触发



7-3 触发电路

三、 单结管触发的可控整流电路

1. 电路结构



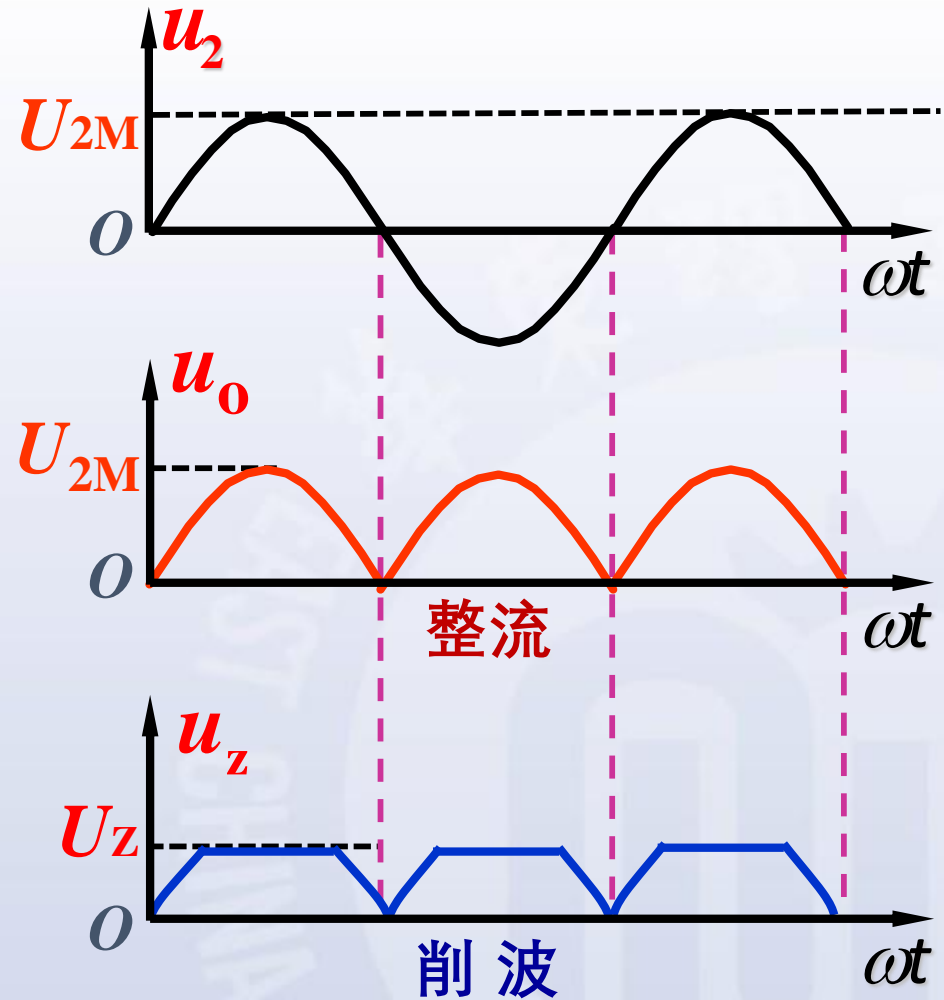
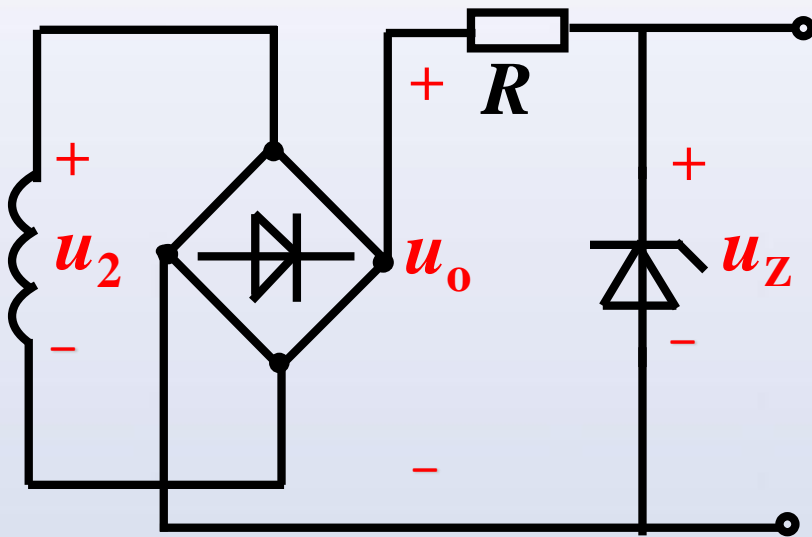


7-3 触发电路

三、 单结管触发的可控整流电路

2. 工作原理

(1) 整流削波



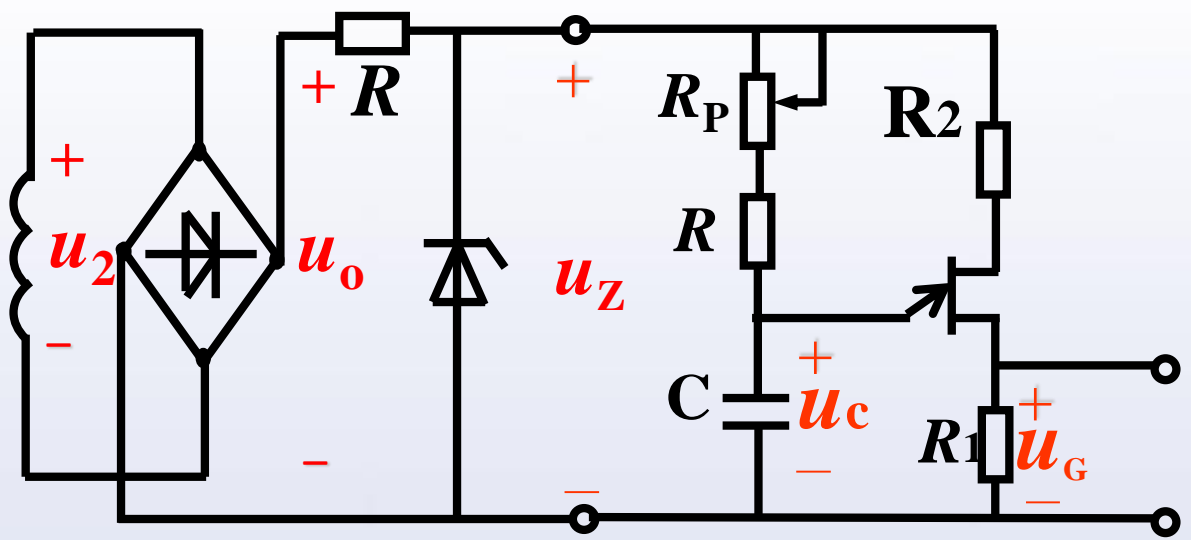


7-3 触发电路

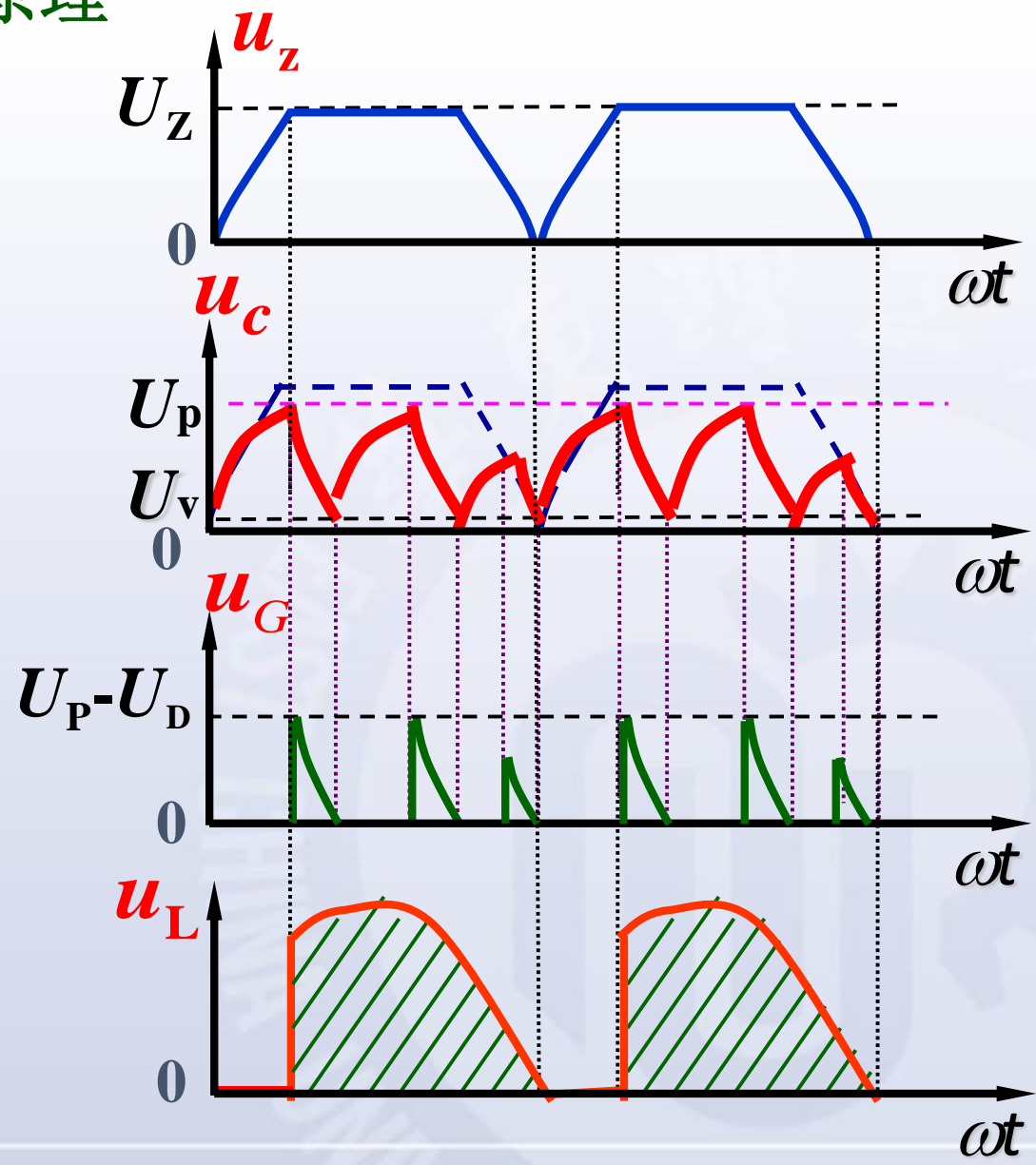
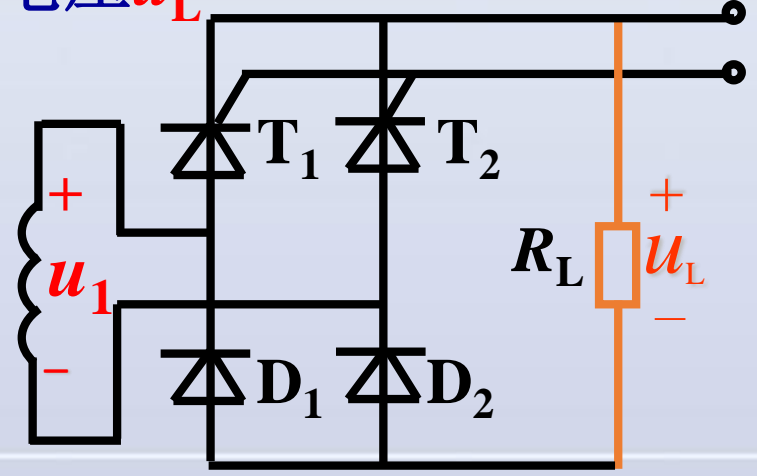
三、单结管触发的可控整流电路

2. 工作原理

(2) 触发电路电压波形



(3) 输出电压 u_L





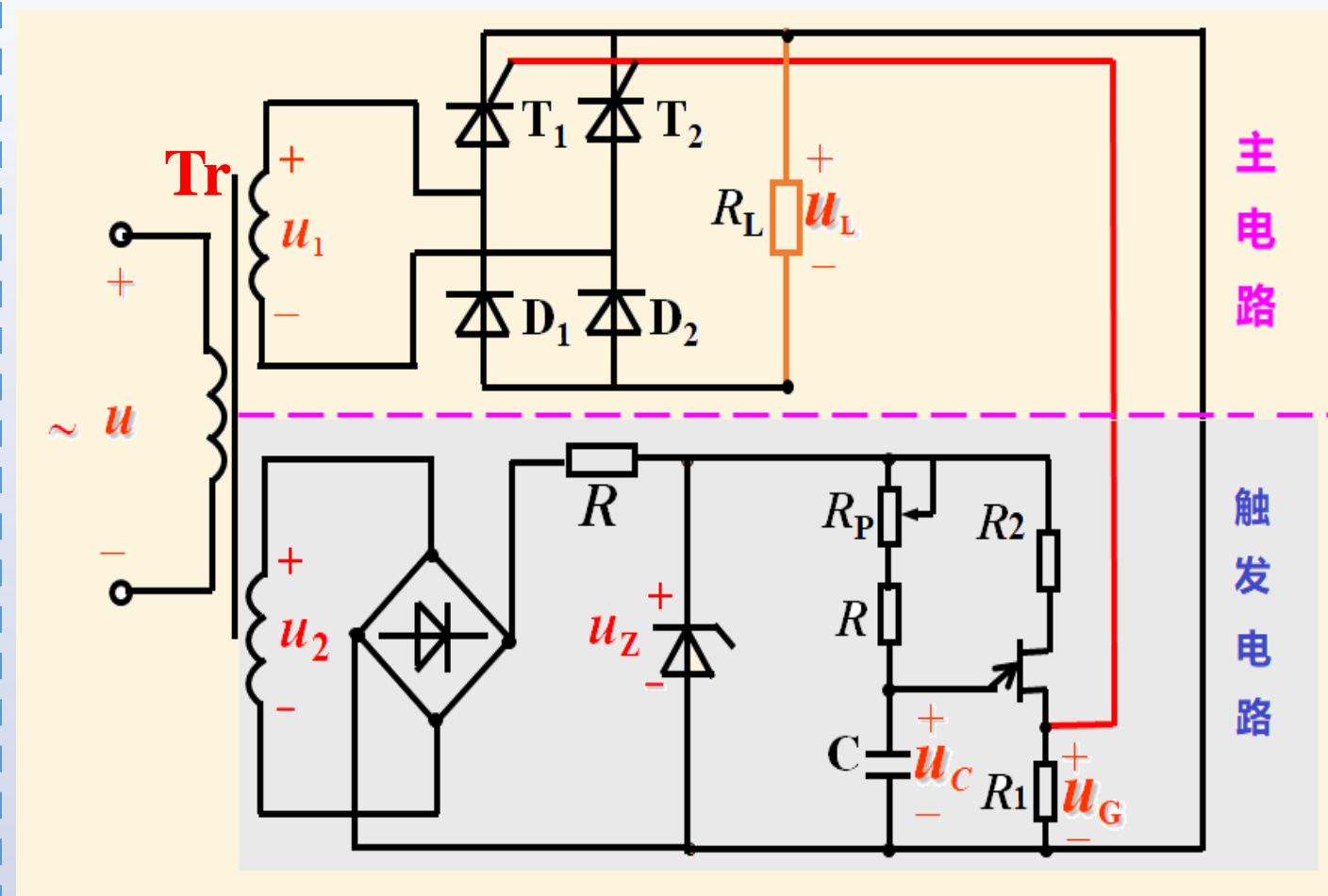
7-3 触发电路

四、触发电路与主电路的连接

主要元器件的作用

变压器Tr

1. 满足 u_1, u_2 不同的电压要求
2. 使 u_1, u_2 同相，即触发电路过零时刻与主电路过零时刻保持一致（“同步”）。

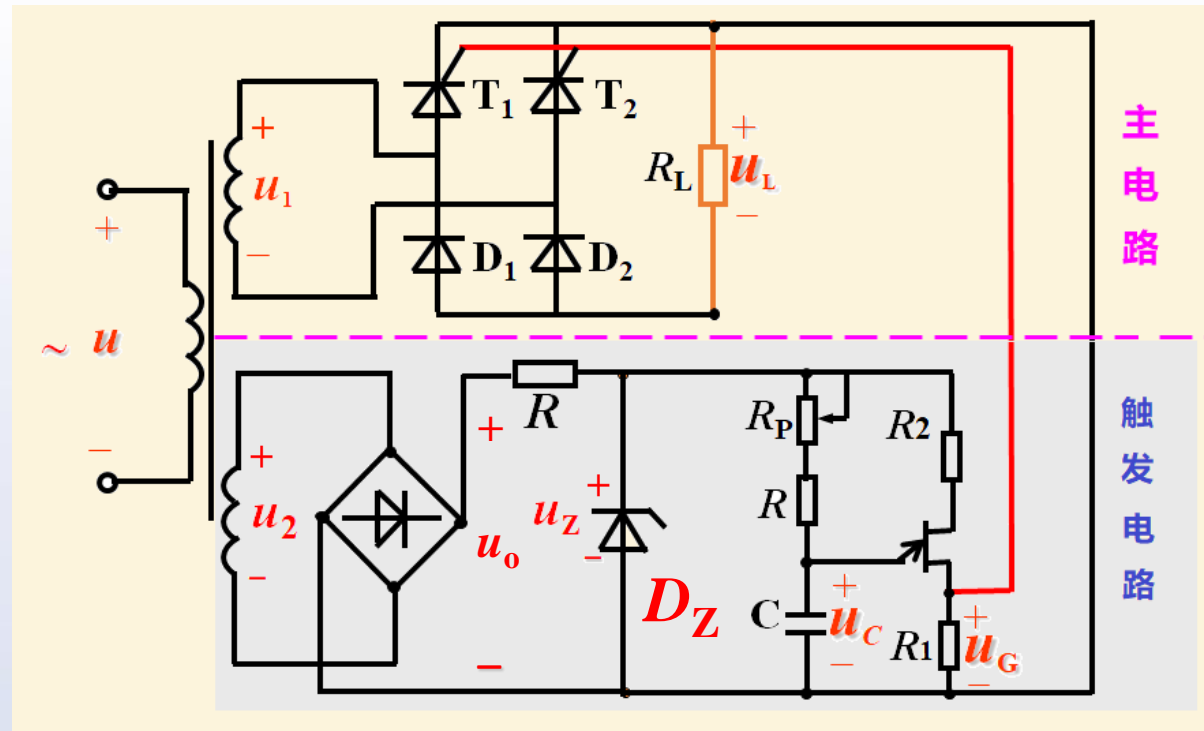




7-3 触发电路

四、触发电路与主电路的连接

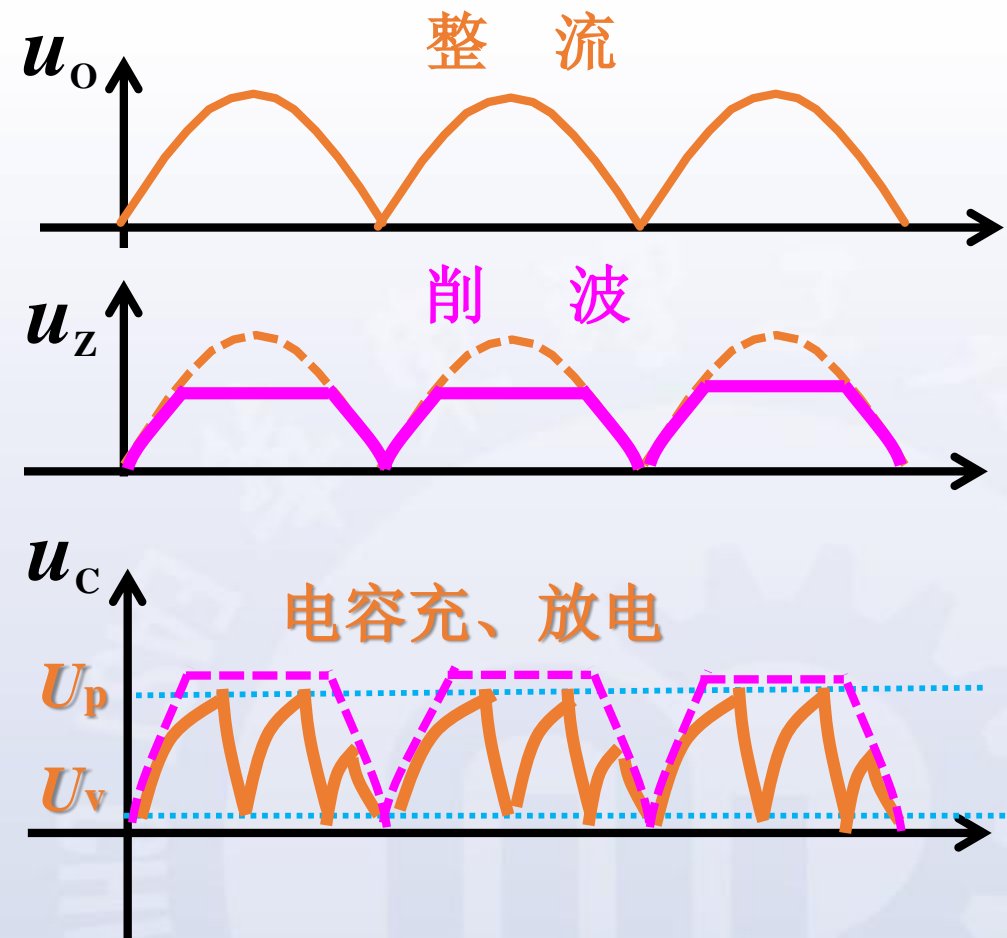
主要元器件的作用



稳压管 D_Z :

把电压 u_o 的顶部削掉，使 u_o 成为梯形波 U_z 。

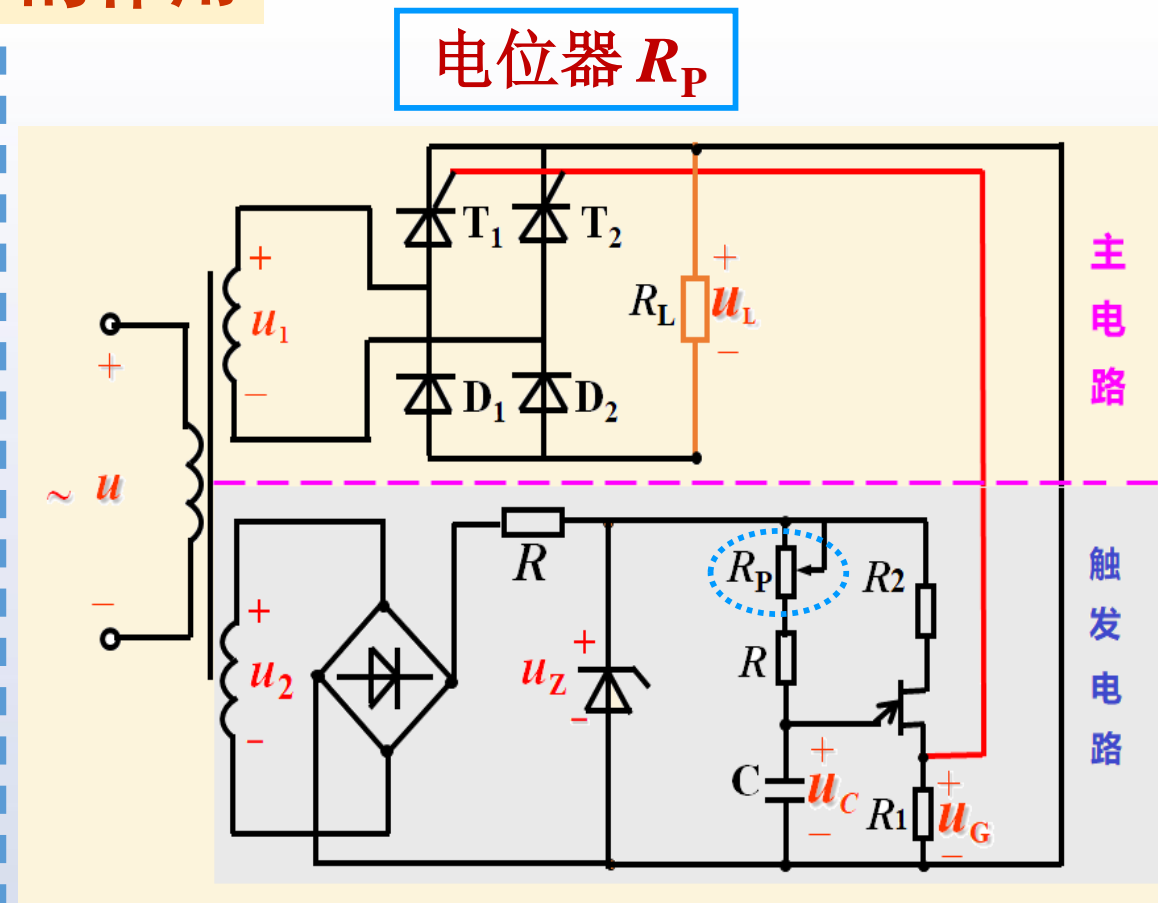
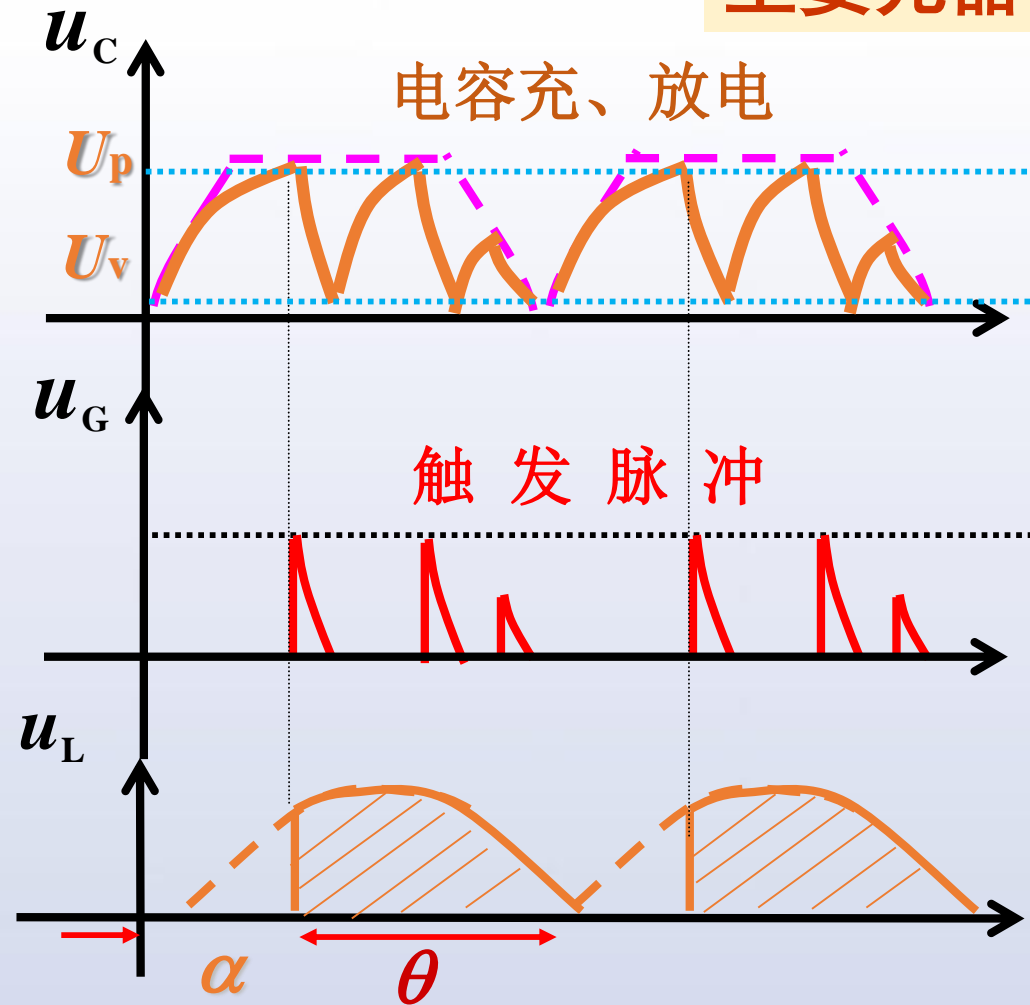
当电网电压波动时，单结晶体管输出脉冲的幅度以及每半周产生第一个脉冲的时间不受电网电压波动的影响。





7-3 触发电路 四、触发电路与主电路的连接

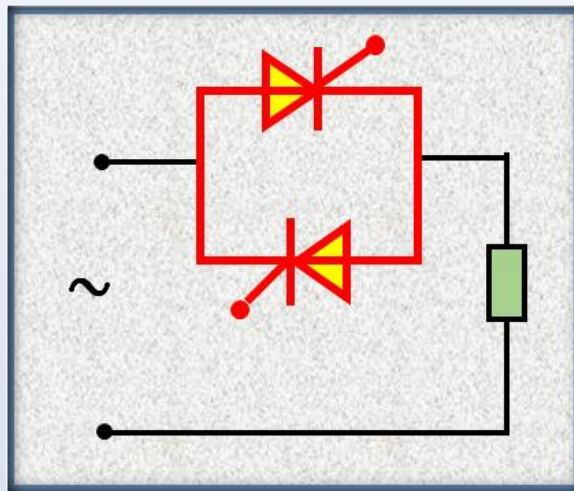
主要元器件的作用



$R_P C$ 是电容的充电时间常数, R_P 越大, 电容电压 u_C 上升慢, 第一个尖脉冲到来迟, 控制角 α 加大, 导通角 θ 减小, 电压 u_L 的平均值减小。



7-4 交流调压电路



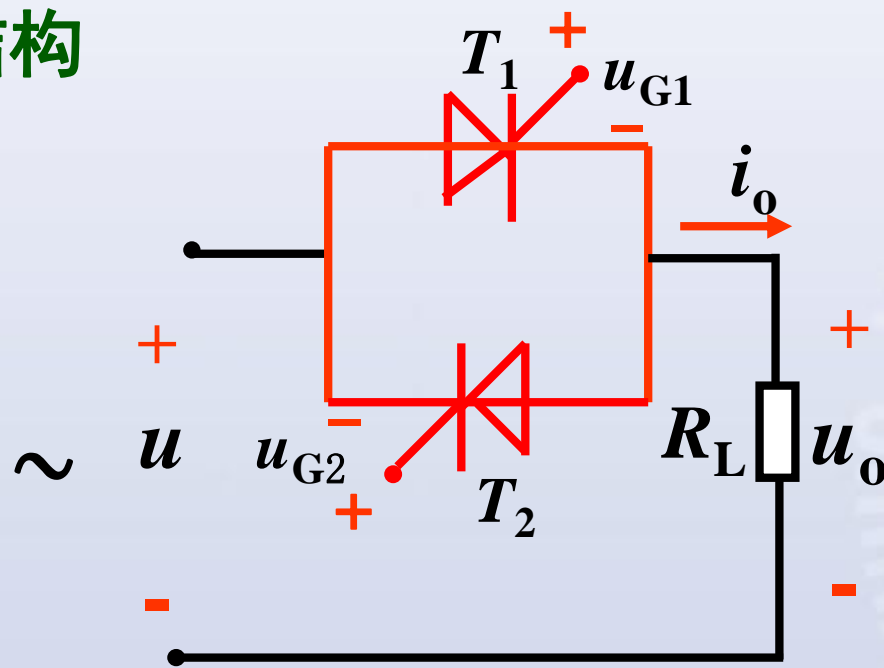


7-4 交流调压电路

一、晶闸管交流调压电路

晶闸管交流调压电路可代替调压变压器，广泛用于调节电阻炉温度，交流电机转速，舞台灯光调节。

1. 电路结构

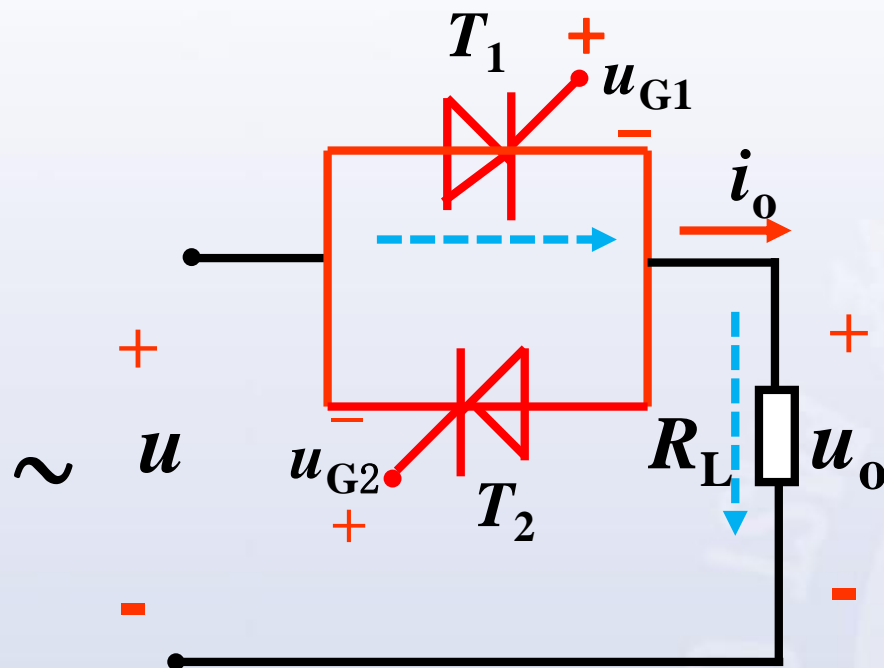




7-4 交流调压电路

一、晶闸管交流调压电路

2. 工作原理



在 u 的正半周:

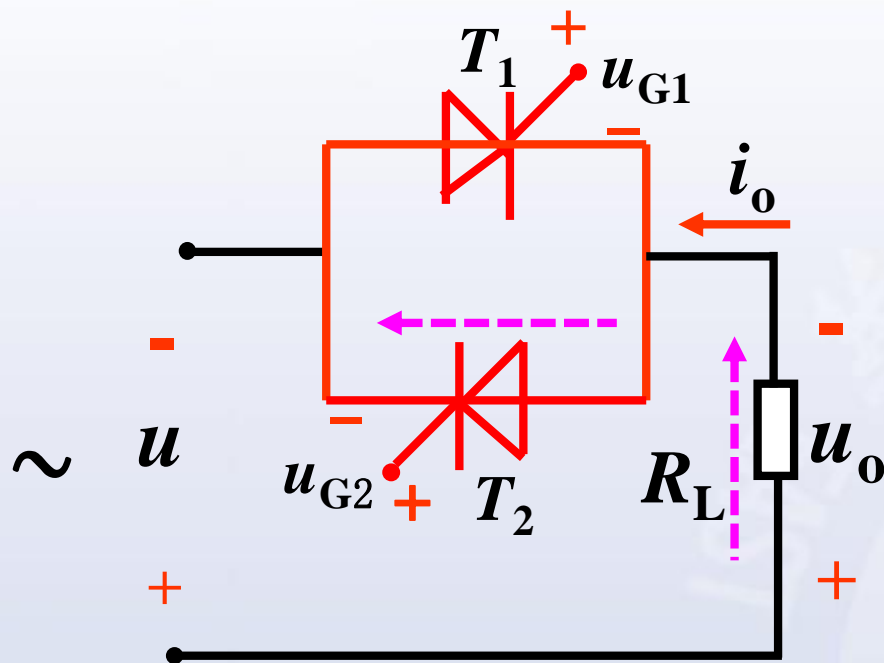
T_1 承受正向电压, T_2 承受反向电压。在 ωt_1 时刻(脉冲出现), T_1 导通。



7-4 交流调压电路

一、晶闸管交流调压电路

2. 工作原理



在 u 的负半周:

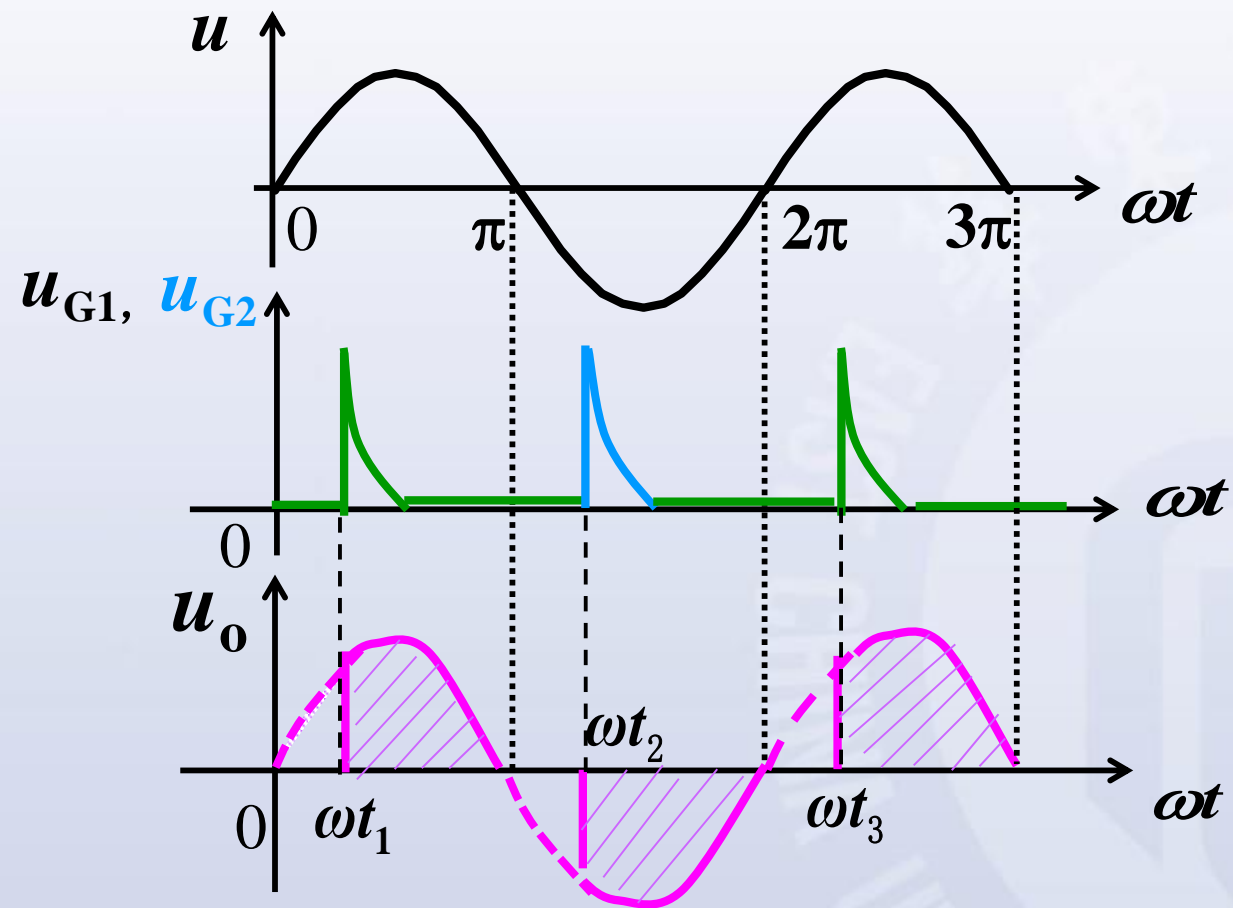
T_2 承受正向电压, T_1 承受反向电压。在 ωt_2 时刻(脉冲出现), T_2 导通。



7-4 交流调压电路

一、晶闸管交流调压电路

3. 波形



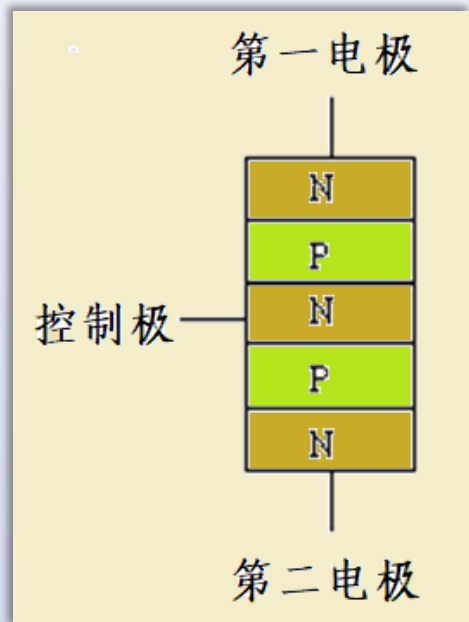
7-4 交流调压电路

二、双向晶闸管交流调压电路

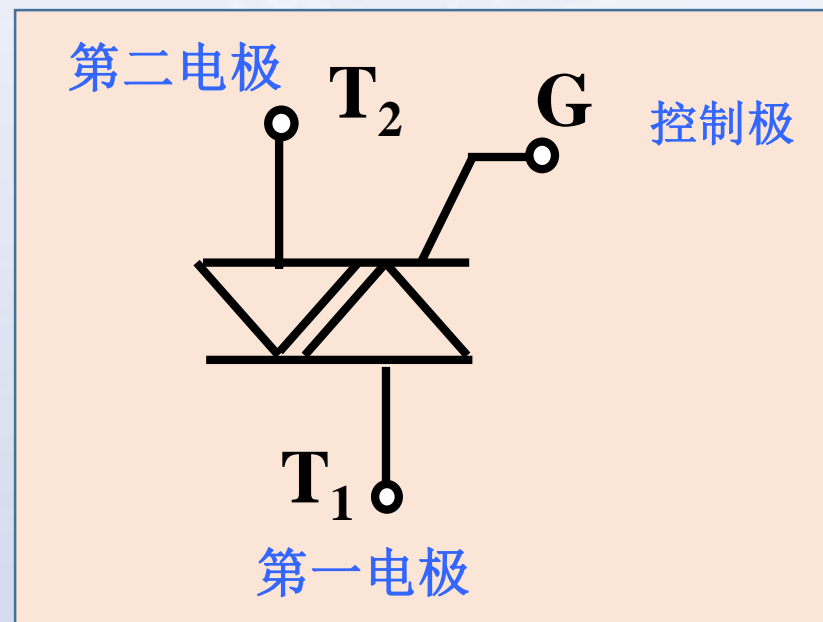
双向晶闸管

● 结构特点：

双向晶闸管由NPNPN五层半导体形成四个PN结构成，有三个电极。相当于两个单向晶闸管反向并联，两者共用一个控制极。



符号：

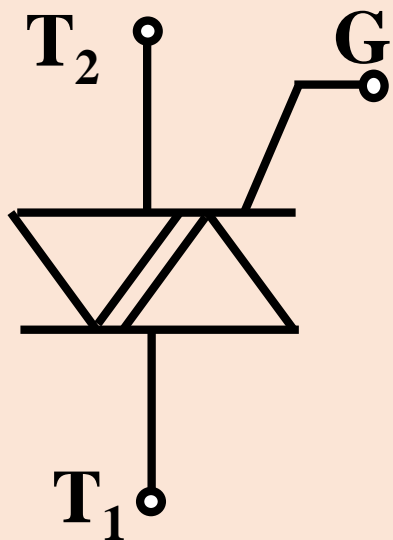


通过控制电压的控制可实现双向导通。

7-4 交流调压电路

二、双向晶闸管交流调压电路

双向晶闸管



★ 工作原理

- $U_{T1} > U_{T2}$ 时，控制极相对于 T_2 加脉冲，晶闸管正向导通，电流从 T_1 流向 T_2 。
- $U_{T2} > U_{T1}$ 时，控制极相对于 T_1 加脉冲，晶闸管反向导通，电流从 T_2 流向 T_1 。

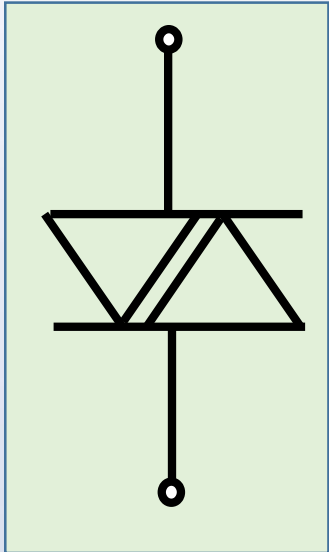
双向晶闸管在正、反两个方向上都能够控制导电。因此，双向晶闸管的正、反向伏安特性曲线具有对称性，所以给双向晶闸管的控制极加正的或负的触发脉冲，都能使管子触发导通，因此普遍用于交流控制开关场合。



7-4 交流调压电路

二、双向晶闸管交流调压电路

双向触发二极管



双向触发二极管是一种二端交流器件，与双向晶闸管同时问世，常用来触发双向晶闸管。双向触发二极管的正、反向伏安特性完全对称。在一般情况下，双向触发二极管呈高阻截止状态。

★ 工作原理

当外加电压(不分正负)的幅值大于双向触发二极管的转折电压时，它便会击穿导通，即只要在双向触发二极管两端加上正的或负的触发脉冲，都能使管子触发导通。

第7章

知识结构框图

晶闸管及其应用电路

应用实例—
可关断晶闸管构成的逆变器

基本特性

元器件结构

关断和导通
条件

基本元件及其电路

单向晶闸管

单向半波可控整流电路

输出电压与
电流的大小
和波形

单向桥式可控整流电路

输出电压与
电流的大小
和波形

单结晶体管

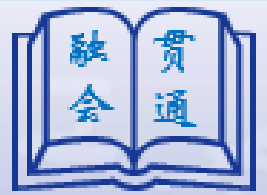
触发电路

输出电压
的波形

双向晶闸管 双向触发二极管

交流调压电路

输出电压和
电流的波形





7-1, 7-2