

东南大学

# 电力电子技术

## 第 09 讲

主讲教师：王念春

[380419124@qq.com](mailto:380419124@qq.com)





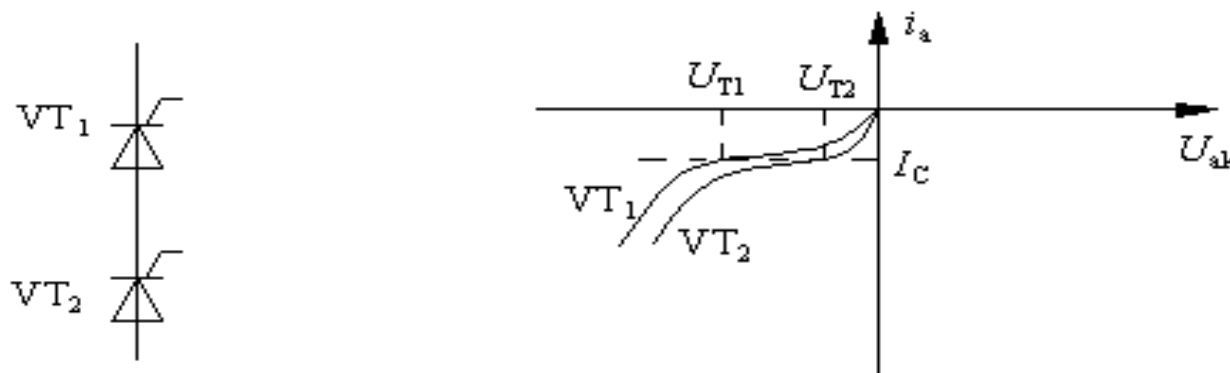
# 晶闸管的串、并联与保护

---

## 2、晶闸管的串、并联与保护

### (1) 晶闸管的串联

元件电压等级不满足实际要求



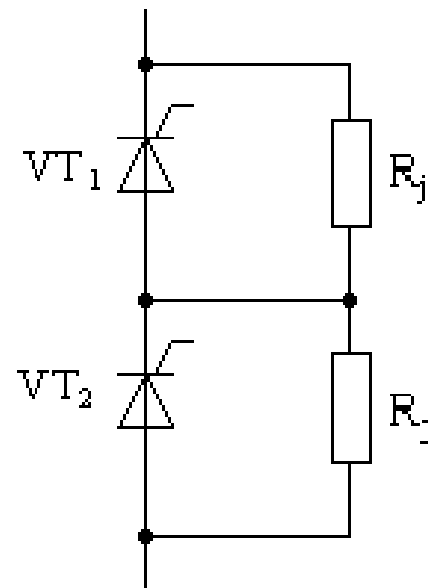
正反向阻断特性不同时，通过相同电流，各元件受压大不相同

均压措施:

- (1) 选择特性较一致的元器件
- (2) 并电阻,  $R_j \ll \text{阻断电阻}$

$$R_j \leq (0.1 \sim 0.25) \frac{U_R}{I_{DRM}}$$

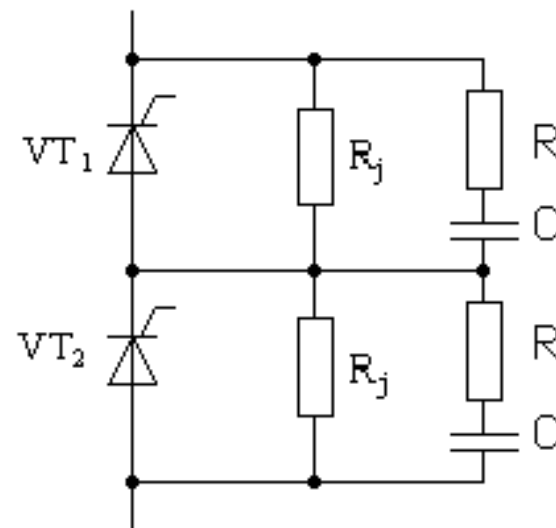
$$P_{Rj} = 3 K_{Rj} \frac{U_m^2}{n_s R_j} \frac{1}{\dots}$$



### 瞬态均压:

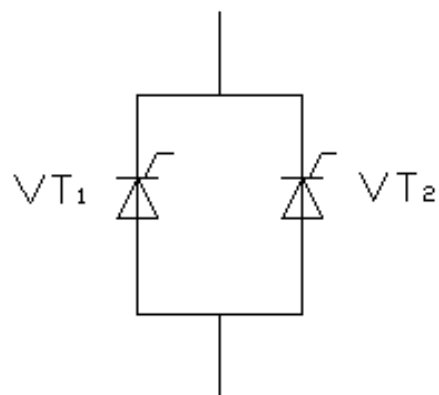
考虑结电容, 触发特性, 导通、关断时间,  
加RC阻容(R防止 $di/dt$ 过大)

$$U_R = \frac{(2 \sim 3)U_m}{(0.8 \sim 0.9)n_s} = (2.2 \sim 3.8)\frac{U_m}{n_s}$$

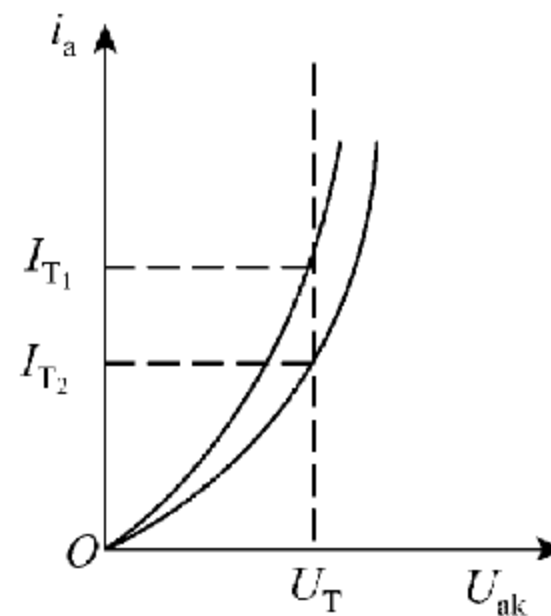


0.8~0.9: 考虑电压分配不均, 降压(10~20)%使用

## (2) 晶闸管的并联



均流问题



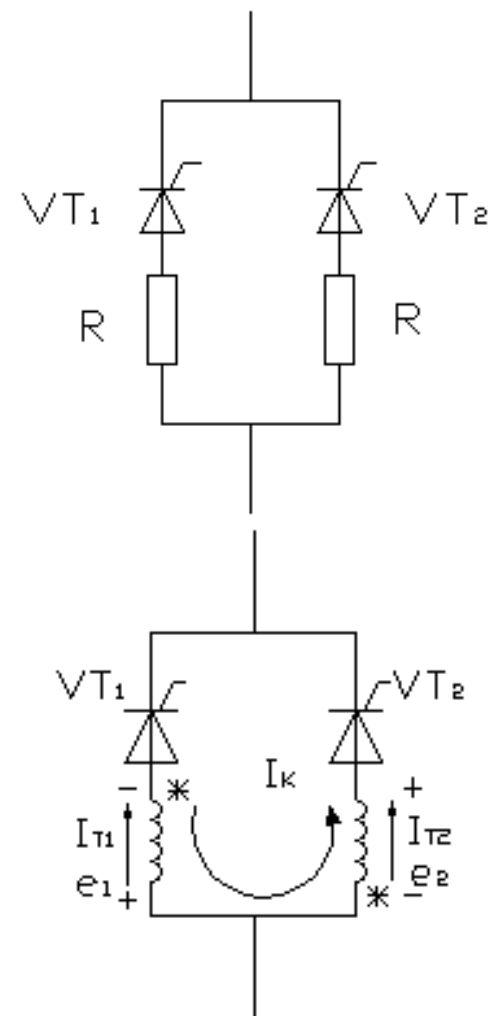
## 1) 电阻均流

适用小容量元件并联，不能动态均流

## 2) 电感均流                      动态均流作用

特点：损耗小，适合大容量元件并联，有动态均流作用；体积大，绕制困难

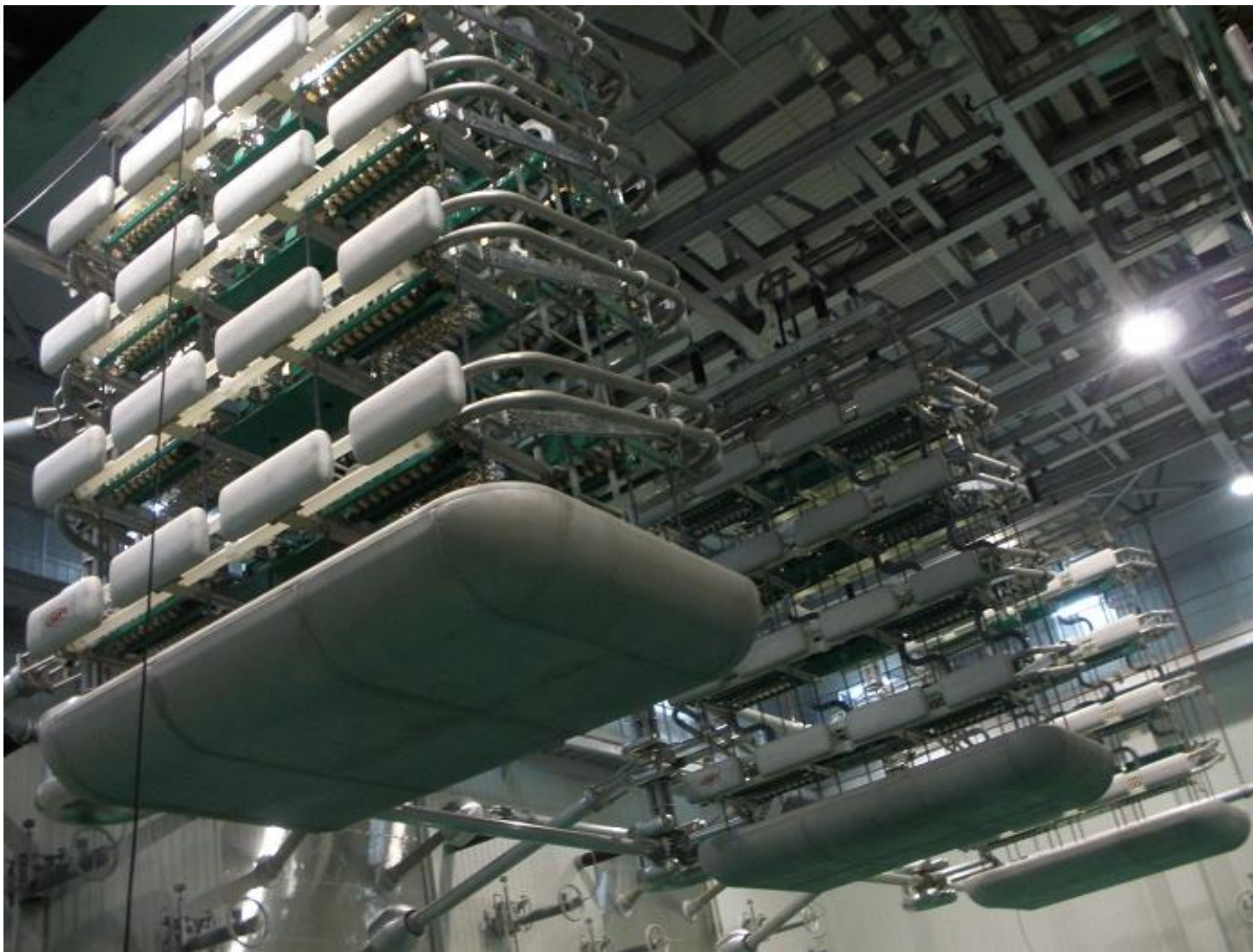
$$I_{T(AV)} = \frac{(1.5 \sim 2) I_T}{1.57(0.8 \sim 0.9) n_p} \gg (1.7 \sim 2.5) \frac{I_T}{n_p}$$





西北—华中联网背靠背工程晶闸管换流阀





西北-华中联网背靠背灵宝站阀塔



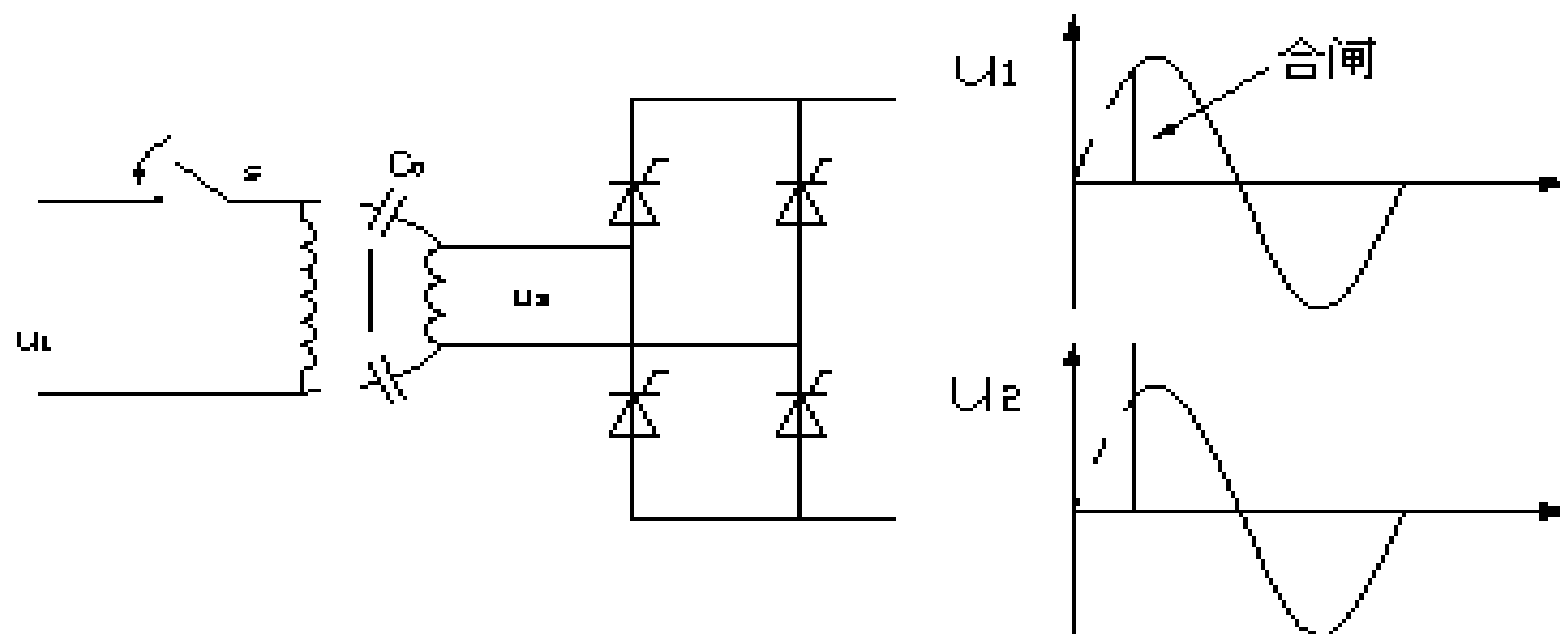
高岭换流站冷却系统外景

### (3) 过电压保护

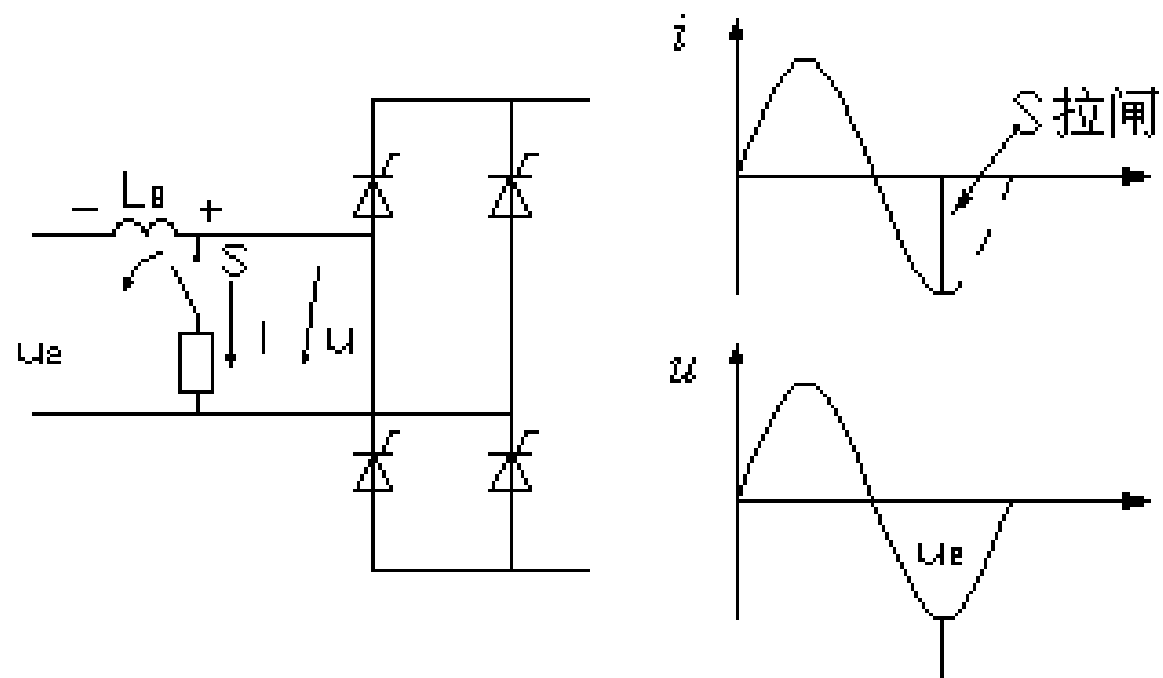
进行过压、过流保护的必要性

过电压类型：操作过电压：拉合闸、器件关断引起

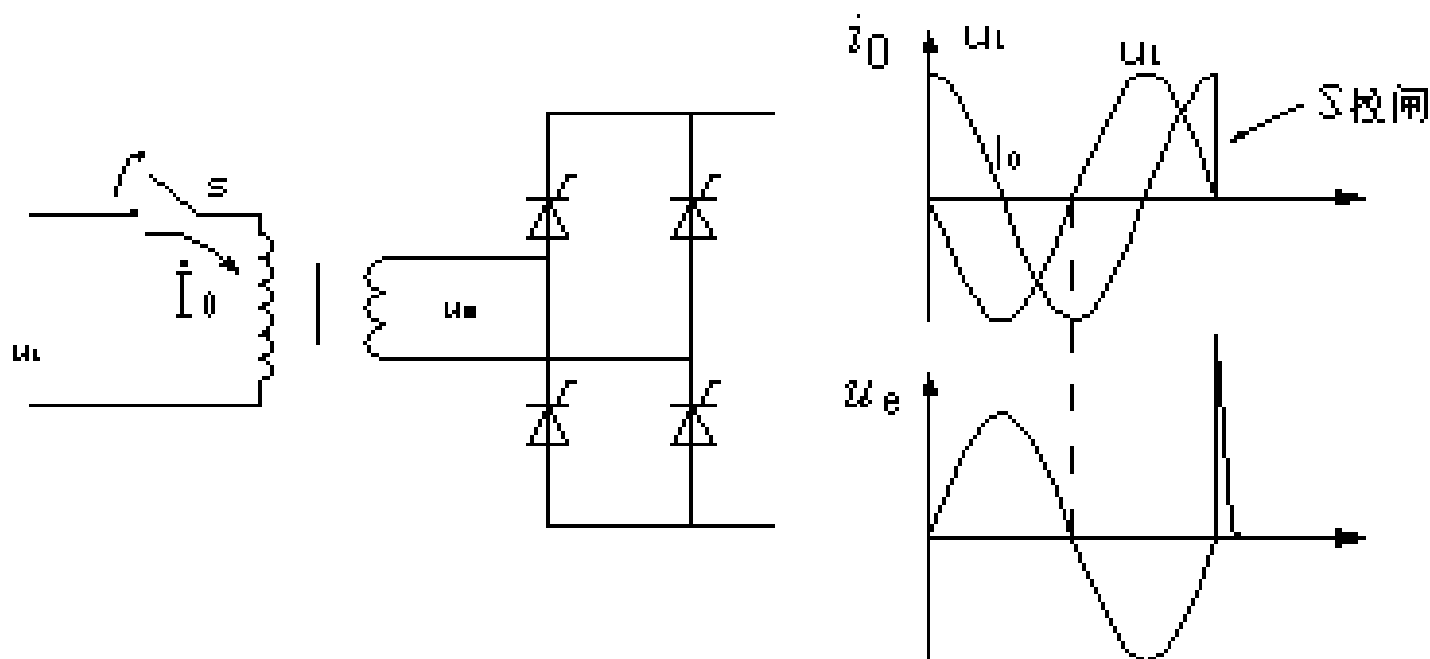
浪涌电压：雷击等引起，由电网进入装置



(1) 由分布电容 $C_0$ 耦合至副边

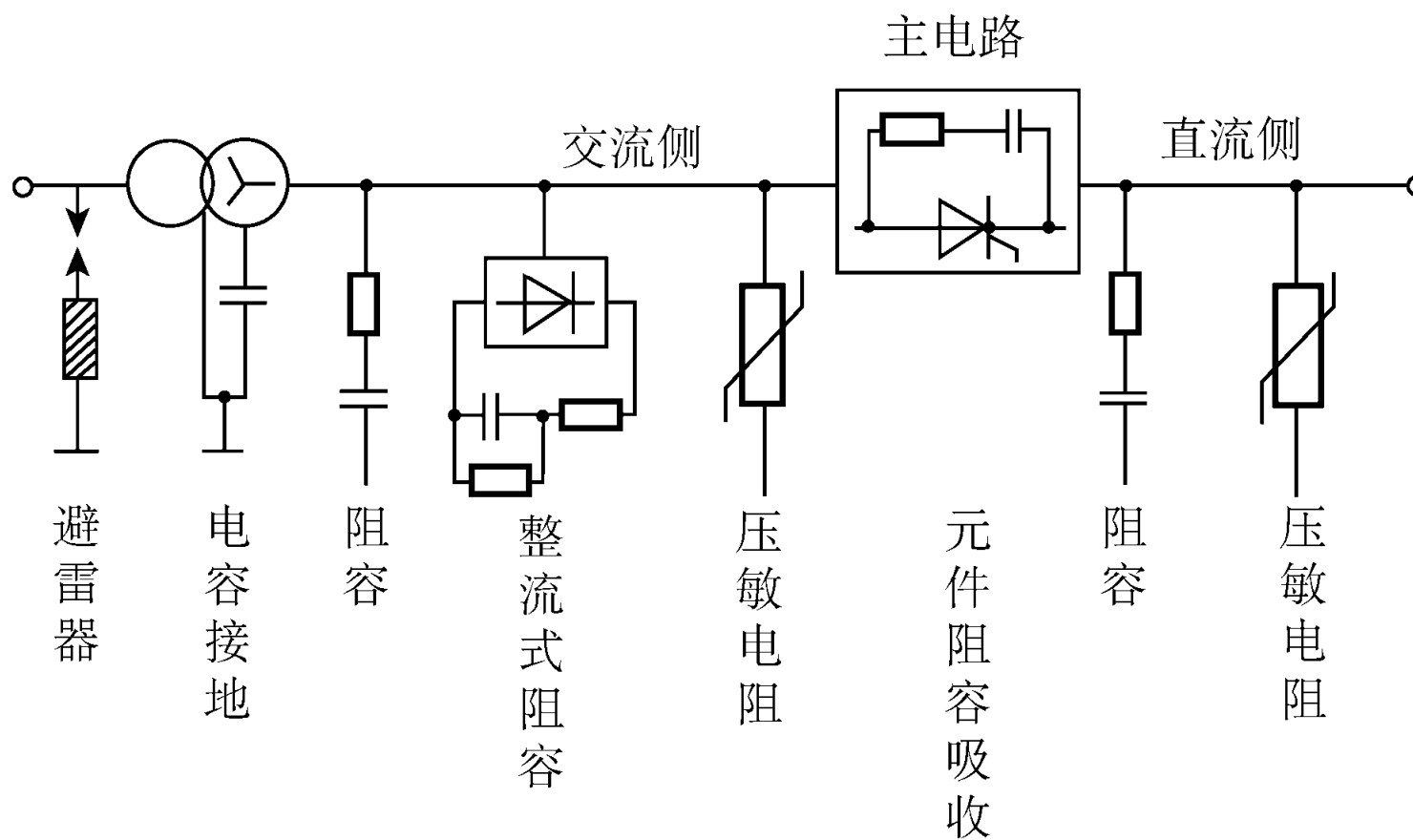


(2) 并联负载切断或桥端直流侧开关  
切断 $L_B$ 感应电势



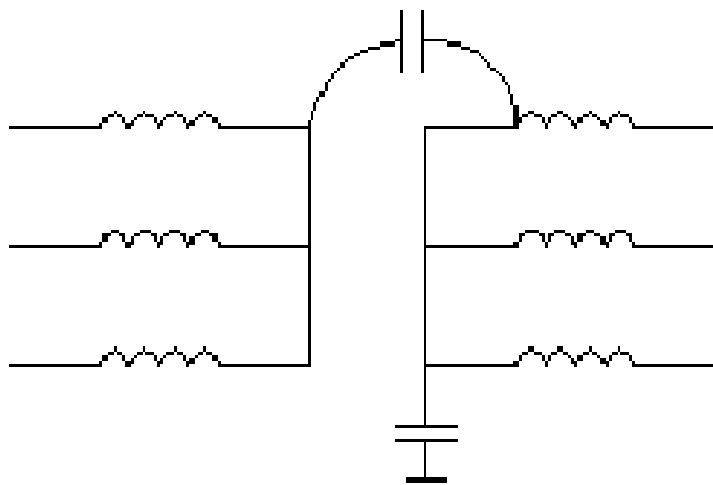
(3) 整流变压器空载且电源电压过零时，  
原边拉闸， $i_0$ 突变，副边感应瞬间过压

# 过电压保护方法:



- 1) 用避雷器防止雷击过电压损坏元件
- 2) 三相变压器星形中点通过电容接地，或次级绕组并联电容，以防止原边合闸而将高压耦合至副边，也可在原副边间加屏蔽层（无电容）。

三相时的情况：



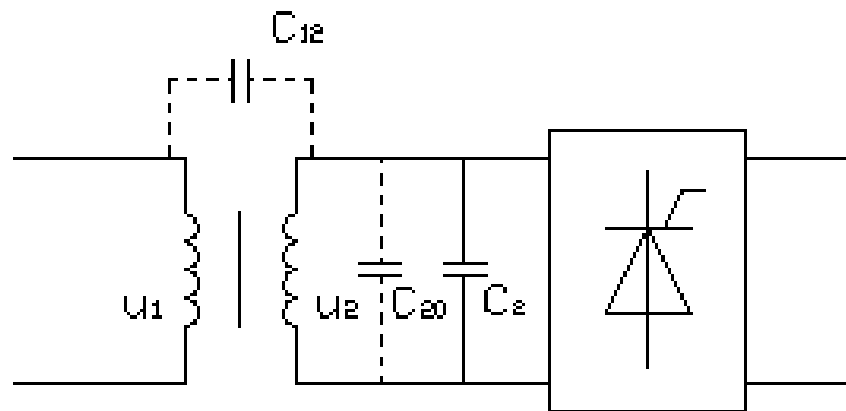


单相时的情况：

分布电容  $C_{12}$ 、 $C_{20}$

$$u_2 = u_1 \frac{C_{12}}{C_{12} + C_{20}}$$

如 10kV/0.4kV,  $C_{12}=C_{20}$

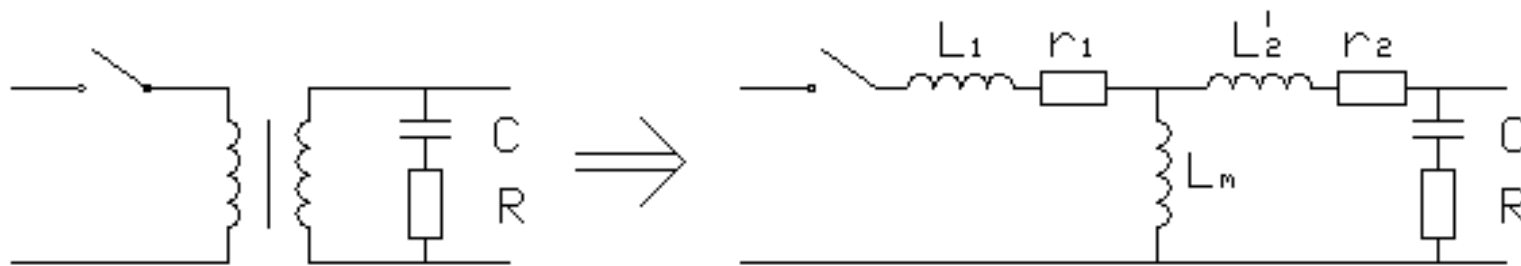


$$\text{则 } U_{2m} = U_{1m} \frac{C_{12}}{C_{12} + C_{20}} = \frac{1}{2} U_{1m} = 7KV$$

$$\text{并接 } C_2, \text{ 则 } u_2 = u_1 \frac{C_{12}}{C_{12} + C_{20} + C_2}$$

分布电容数值较小, 故  $C_2 \gg C_{12}, C_{20}$  过压得到限制。

### 3) RC抑制空载原边拉闸时的过电压

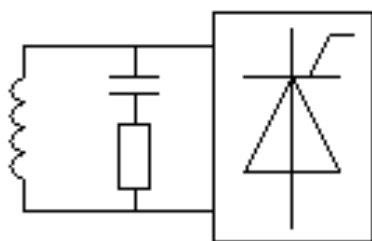


$i_0$ 最大时拉闸,  $L_m$ 储存能量为:  $W_m = \frac{1}{2} L_m (\sqrt{2} I_0)^2$

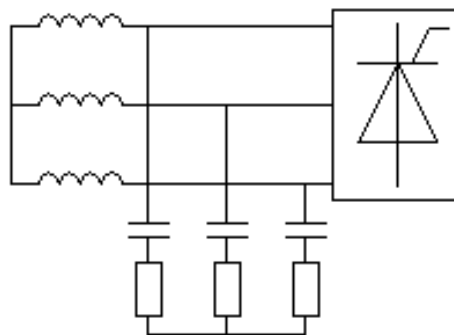
$L_m$ 储存能量全由 $C$ 吸收:  $W_m = \frac{1}{2} C U_{cm}^2$

## 4) 阻容保护与非线性电阻保护

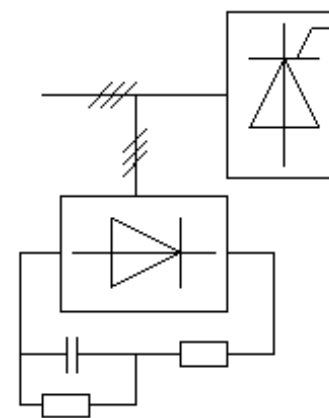
### (a) 阻容保护



单相



三相 (Y,  $\Delta$  均可)



整流式

$R$ 、 $C$  的计算:

单相: 见P.68

三相:

单相	三相, 次级Y连接		次级△连接	
	阻容Y	△	Y	△
C R	C R	C/3 3R	3C R/3	C R

$$R_D = 3R_Y$$

$$C_D = \frac{C_Y}{3}$$



### (b) 非线性电阻保护

压敏电阻:



压敏电阻的伏安特性:

正常工作: 漏电流小, 损耗小

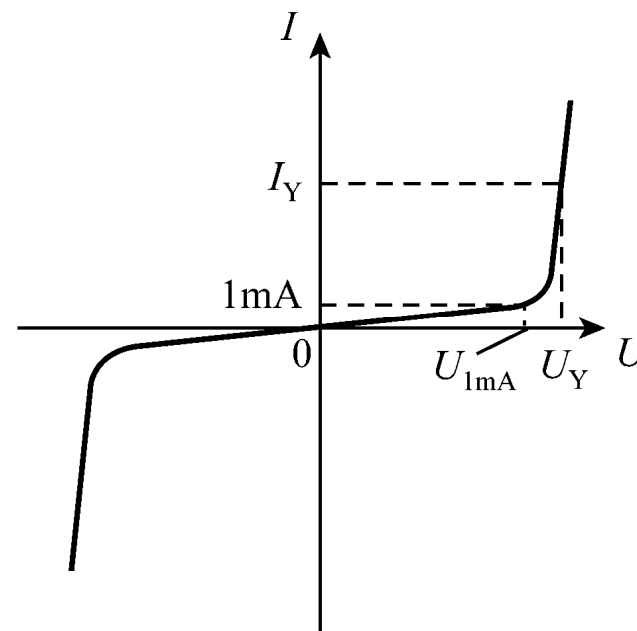
过压时:  $I_Y$  达数千安培, 击穿时动态电阻很小, 允许浪涌电流大, 抑制过压能力强, 时间短。

接法与阻容同

主要参数: ① 额定电压:  $U_{1mA}$

② 残压比:  $U_Y / U_{1mA}$  (小: 灵敏; 大: 不灵)

$U_Y$ : 放电电流达到  $I_Y$  时的电压



### ③ 通流容量

在规定波形下（ $10\mu\text{S}$ （前沿），波长 $20\mu\text{S}$ ）允许通过的浪涌 峰值电流

计算： $U_{1mA}^3 \frac{\epsilon}{0.8 \sim 0.9} \times (\text{压敏电阻承受的工作电压峰值})$

$\epsilon$ : 电压升高系数1.05~1.1

允许过压系数: 0.8~0.9

$U_Y$ 不超过元件允许电压最大值



### 5) 直流侧保护

方法与交流侧相同

### 6) 主电路元件保护

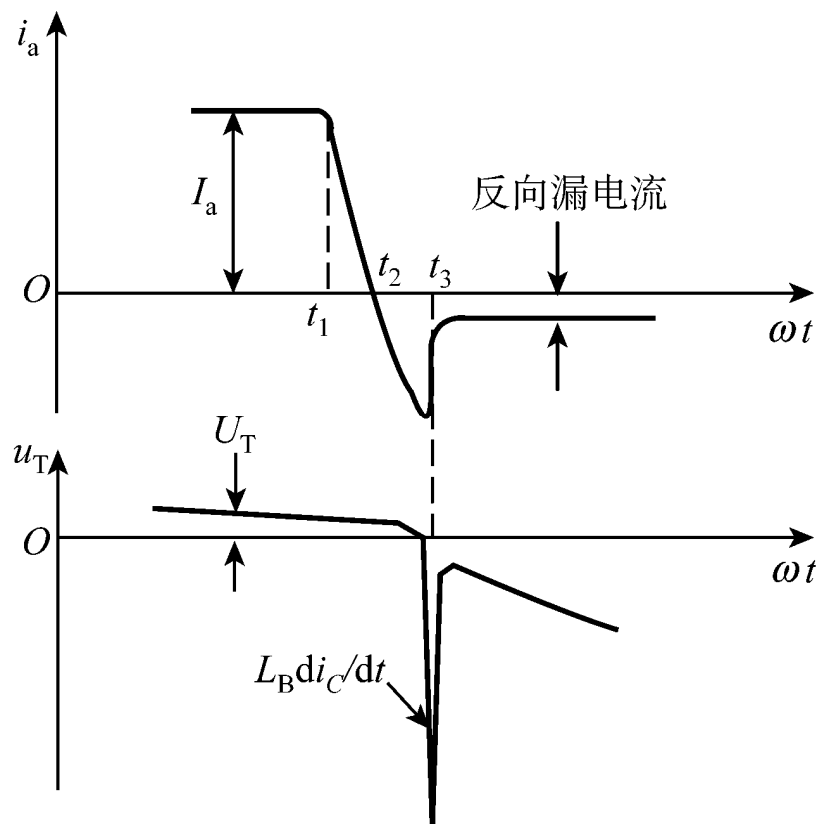
关断过电压

$t_1 \sim t_2$ : 关断时, 残存大量载流子

$t_2 \sim t_3$ : 反压作用, 形成反向电流

载流子很快消失,  $di_a/dt$  很大, 则  $L_B di_a/dt$  也很大, 与电源电压串联反向加在元件上。

元件两端并阻容



#### (4) 过电流保护

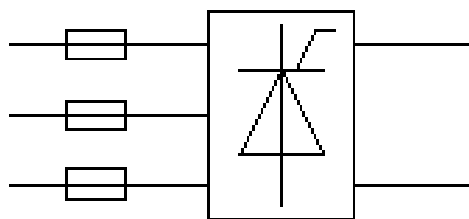
原因：过载，直流侧短路，触发，控制电路故障，环流，逆变失败

保护：1) 交流进线电抗器，限制短路电流

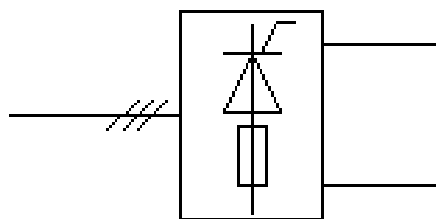
2) 电流检测，用过流信号控制触发电路或接触器

3) 直流快速开关

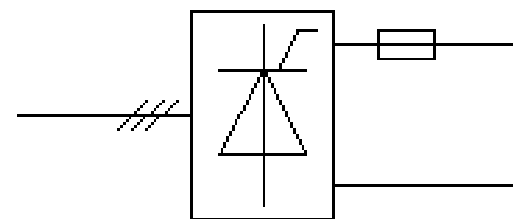
4) 快熔



①交流侧电流有效值 > 元件电流



②能保护元件



③仅对负载短路等起作用



选用原则:

- ① 额定电压大于线路正常工作电压
- ② 熔体额定电流（有效值）< 被保护元件对应电流有效值  
> 实际电流  $I_T$

$$1.57 I_{T(AV)}^3 I_{KR}^3 I_T$$

- ③ 熔断器 插入式，大容量；螺旋式，小容量

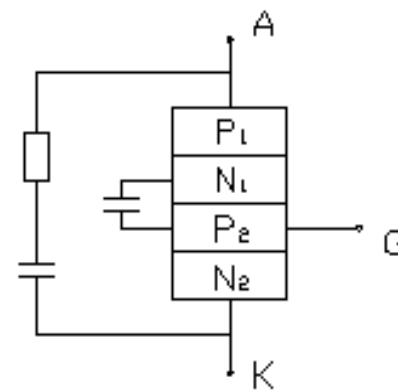


## (5) 电压及电流上升率限制

### 1) $du/dt$ 的限制

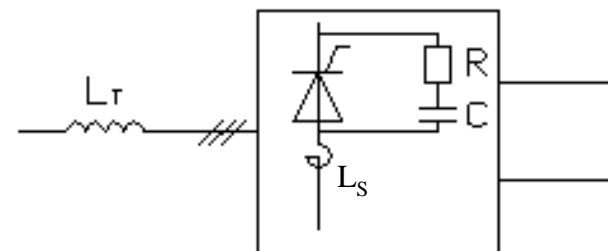
$u_{AK}$  增加，结电容中  $i$  增加,  $i = C \, du/dt$ ，产生误导通

需加阻容限制



(a) 交流侧 $du/dt$ 的限制

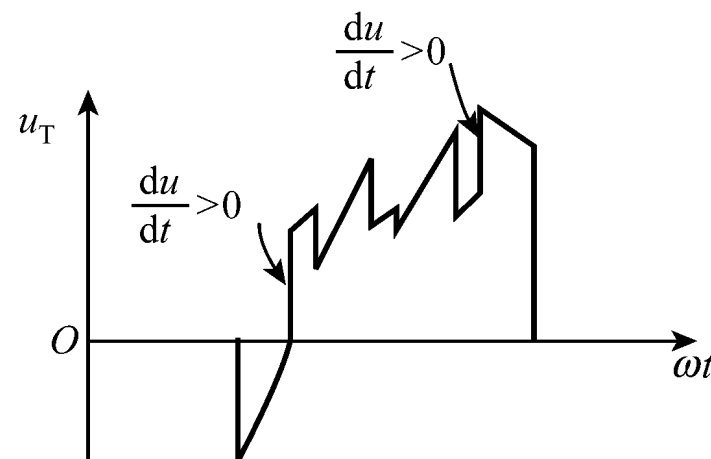
由整流变压器(或 $L_T$ 进线电抗)与阻容形成滤波环节, 使过压衰减。

(b) 元件换流时 $du/dt$ 的限制

换流重迭, 元件电压出现换相缺口

换流引起的 $du/dt > 0$ , 数值较大, 会引起误导通, 可能出现  $VT_1$ ,  $VT_4$  同时导通, 出现换流失败。

串空芯电抗 $L_S$ , 利用 $R$ 、 $C$ 、 $L_S$  串联谐振特性, 使元件电压波形缺口变平, 使 $du/dt$ 下降。



## 2) $di/dt$ 的限制

电流密度过大而烧毁

产生原因:

- ①换流电流增长过快
- ②直流侧阻容中电容过大, 电容充、放电电流
- ③元件并联的阻容在元件导通时的放电电流
- ④并联元件先通者 $di/dt$ 较大

限制方法:

- ①加进线电抗器
- ②桥臂串电感(可限制1、2、3引起的 $di/dt$ )
- ③采用整流式阻容保护

## 建议作业

P. 90 习题 14

