

# 第六讲 电力电子器件的保护 和串并联使用

曲阜师范大学  
电气信息与自动化工程学院

# 一、电力电子器件器件的保护

1. 过电压的产生及过电压保护

2. 过电流保护

3. 缓冲电路



# 1. 过电压的产生及过电压保护

## ● 电力电子装置可能的过电压——外因过电压和内因过电压

- ⊕ 外因过电压：主要来自雷击和系统操作过程等外因
  - 操作过电压：由分闸、合闸等开关操作引起
  - 雷击过电压：由雷击引起
- ⊕ 内因过电压：主要来自电力电子装置内部器件的开关过程
  - 换相过电压：晶闸管或与全控型器件反并联的二极管在换相结束后，反向电流急剧减小，会由线路电感在器件两端感应出过电压。
  - 关断过电压：全控型器件关断时，正向电流迅速降低而由线路电感在器件两端感应出的过电压。



# 1. 过电压的产生及过电压保护

## ● 过电压保护措施

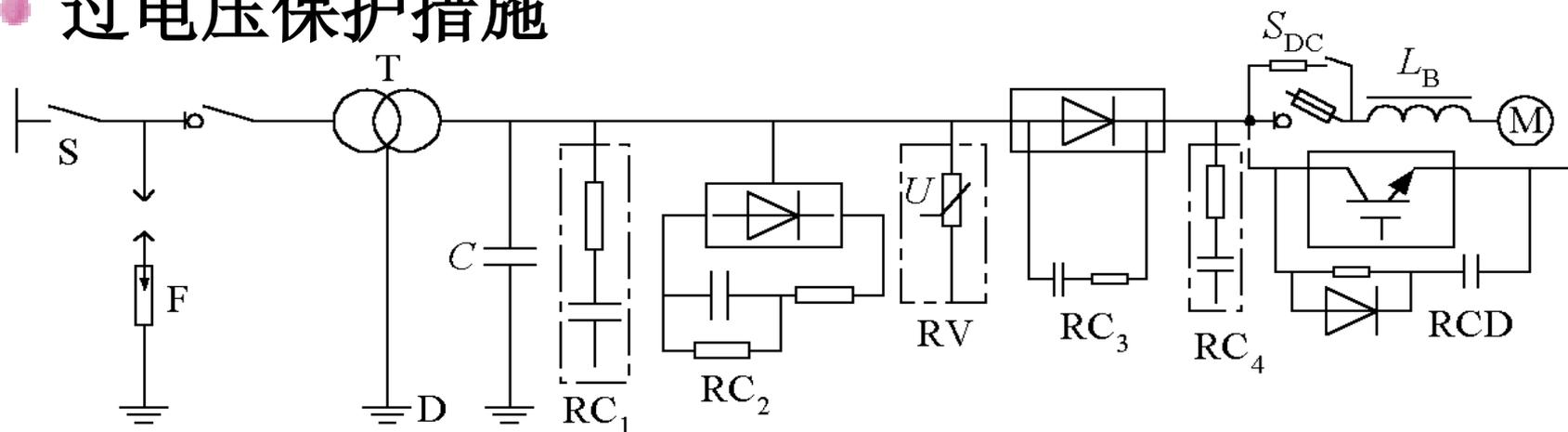


图 1 过电压抑制措施及配置位置

F— 避雷器    D— 变压器静电屏蔽层    G— 静电感应过电压抑制电容

$RC_1$ — 阀侧浪涌过电压抑制用 RC 电路     $RC_2$ — 阀侧浪涌过电压抑制用反向阻断式 RC 电路

RV— 压敏电阻过电压抑制器     $RC_3$ — 阀器件换相过电压抑制用 RC 电路

$RC_4$ — 直流侧 RC 抑制电路    RCD— 阀器件关断过电压抑制用 RCD 电路

⊕ 电力电子装置可视具体情况只采用其中的几种。

⊕ 其中  $RC_3$  和 RCD 为抑制内因过电压的措施，属于缓冲电路范畴。



## 2. 过电流保护

- 过电流——**过载**和**短路**两种情况
- 保护措施

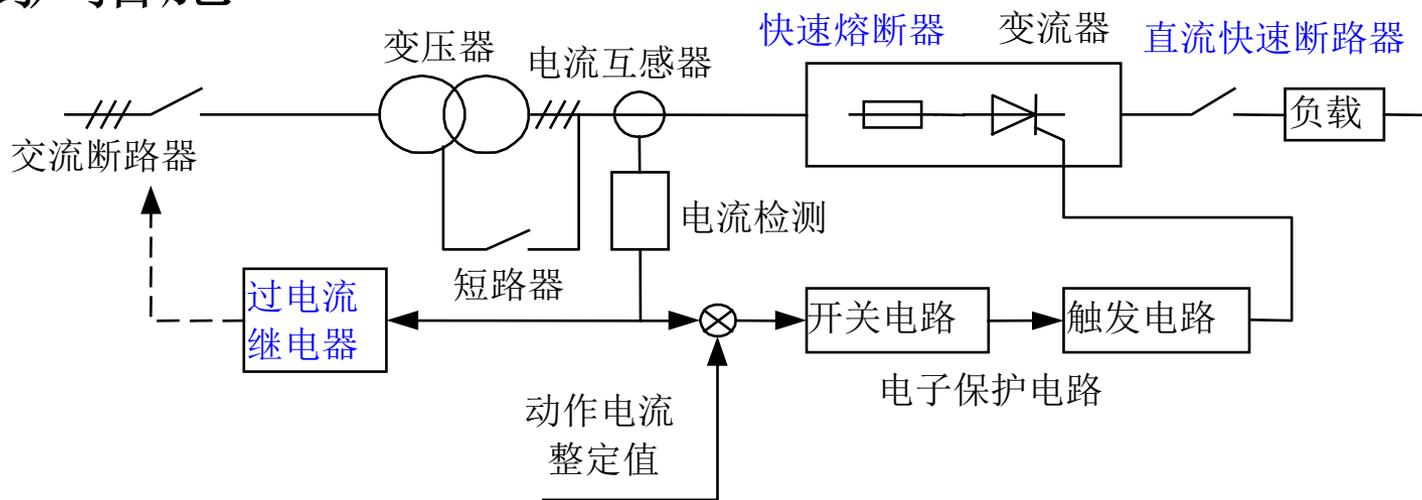


图2 过电流保护措施及配置位置

- 同时采用几种过电流保护措施，提高可靠性和合理性。
- 电子电路作为第一保护措施，快熔仅作为短路时的部分区段的保护，直流快速断路器整定在电子电路动作之后实现保护，过电流继电器整定在过载时动作。



## 2. 过电流保护

- 快熔对器件的保护方式：**全保护**和**短路保护**两种
  - ⊕ 全保护：过载、短路均由快熔进行保护，适用于小功率装置或器件裕度较大的场合。
  - ⊕ 短路保护：快熔只在短路电流较大的区域起保护作用。
- 对重要的且易发生短路的晶闸管设备，或全控型器件，需采用电子电路进行过电流保护。
- 常在全控型器件的驱动电路中设置过电流保护环节，响应最快。



# 3. 缓冲电路

- **缓冲电路 (Snubber Circuit)** : 又称**吸收电路**, 抑制器件的内因过电压、 $du/dt$ 、过电流和  $di/dt$ , 减小器件的开关损耗。
- ◆ **关断缓冲电路** ( $du/dt$  抑制电路) ——吸收器件的关断过电压和换相过电压, 抑制  $du/dt$ , 减小关断损耗。
- ◆ **开通缓冲电路** ( $di/dt$  抑制电路) ——抑制器件开通时的电流过冲和  $di/dt$ , 减小器件的开通损耗。
- ◆ **复合缓冲电路** ——关断缓冲电路和开通缓冲电路的结合。
- ◆ 按能量的去向分类法: **耗能式缓冲电路**和**馈能式缓冲电路** (无损吸收电路)。
- ◆ 通常将缓冲电路专指关断缓冲电路, 将开通缓冲电路叫做  $di/dt$  抑制电路。



# 3. 缓冲电路

## 缓冲电路作用分析

- 无缓冲电路:
- 有缓冲电路:

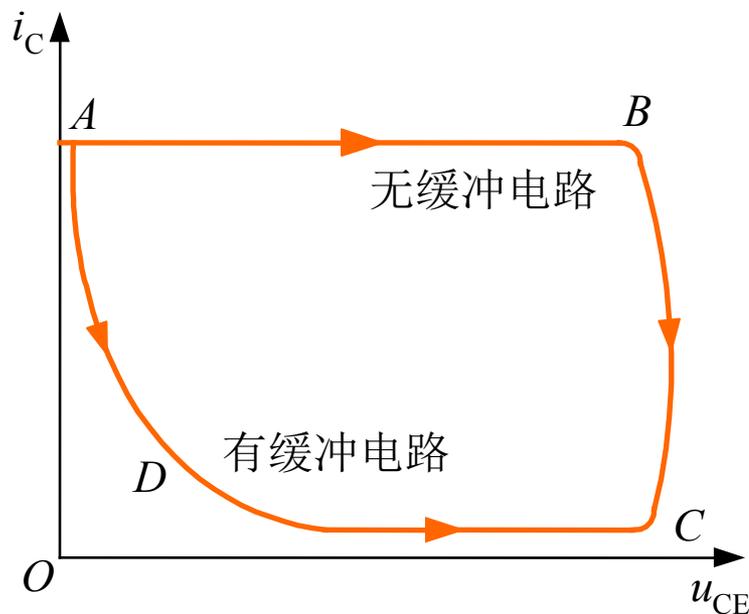


图 3 关断时的负载线

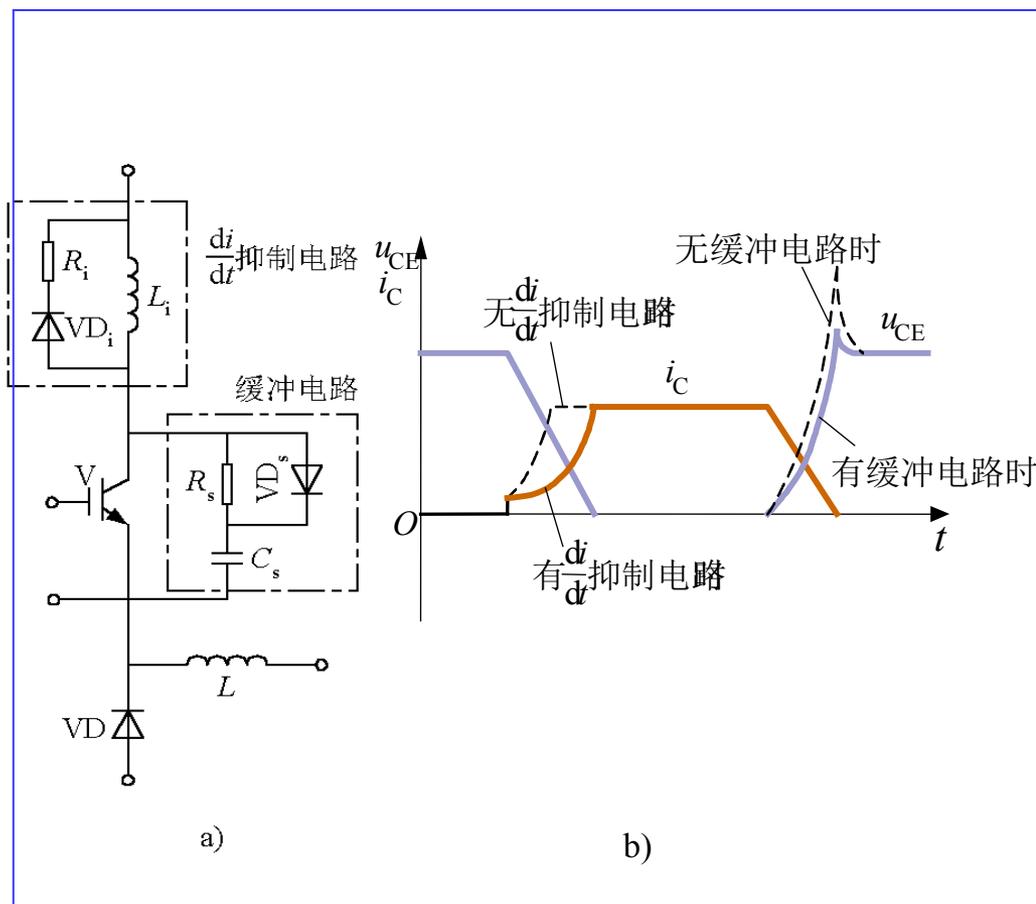


图 4  $di/dt$  抑制电路和  
充放电型 RCD 缓冲电路及波形  
a) 电路 b) 波形



# 3. 缓冲电路

- 充放电型 RCD 缓冲电路，适用于中等容量的场合

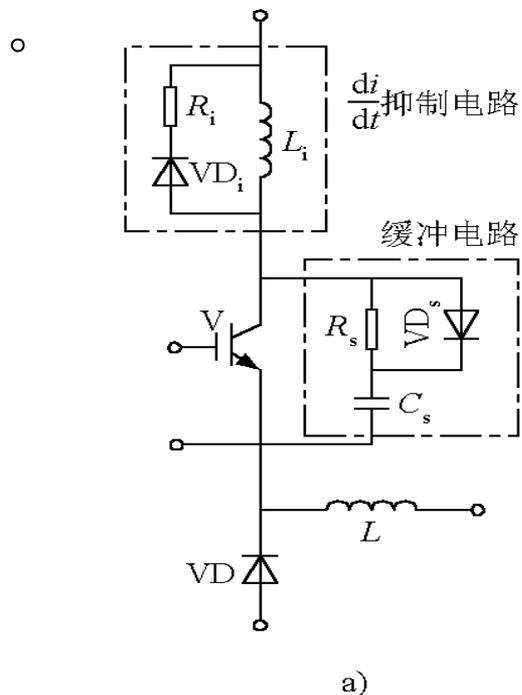


图 5  $di/dt$  抑制电路和充放电型 RCD 缓冲电路及波形

a) 电路

- 其中 RC 缓冲电路主要用于小容量器件，而放电阻止型 RCD 缓冲电路用于中或大容量器件

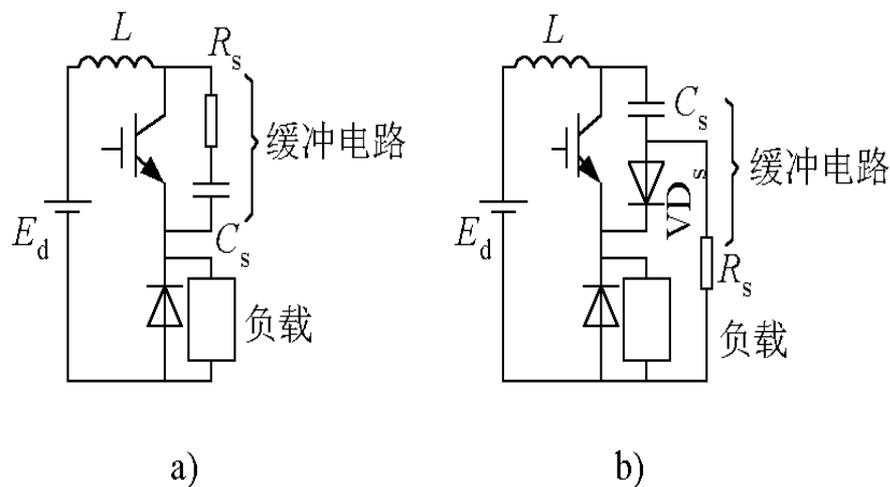


图 6 另外两种常用的缓冲电路

a) RC 吸收电路

b) 放电阻止型 RCD 吸收电路



## 2 电力电子器件器件的串联和并联使用

1. 晶闸管的串联

2. 晶闸管的并联

3. 电力MOSFET和IGBT并联运行的特点



# 1. 晶闸管的串联

- **目的**：当晶闸管额定电压小于要求时，可以串联。
- **问题**：理想串联希望器件分压相等，但因特性差异，使器件电压分配不均匀。
  - ✦ **静态不均压**：串联的器件流过的漏电流相同，但因静态伏安特性的分散性，各器件分压不等。
  - ✦ **动态不均压**：由于器件动态参数和特性的差异造成的不均压。



# 1. 晶闸管的串联

## ● 静态均压措施:

- ⊕ 选用参数和特性尽量一致的器件。
- ⊕ 采用电阻均压， $R_p$  的阻值应比器件阻断时的正、反向电阻小得多。

## ● 动态均压措施:

- ⊕ 选择动态参数和特性尽量一致的器件。
- ⊕ 用 RC 并联支路作动态均压。
- ⊕ 采用门极强脉冲触发可以显著减小器件开通时间的差异。

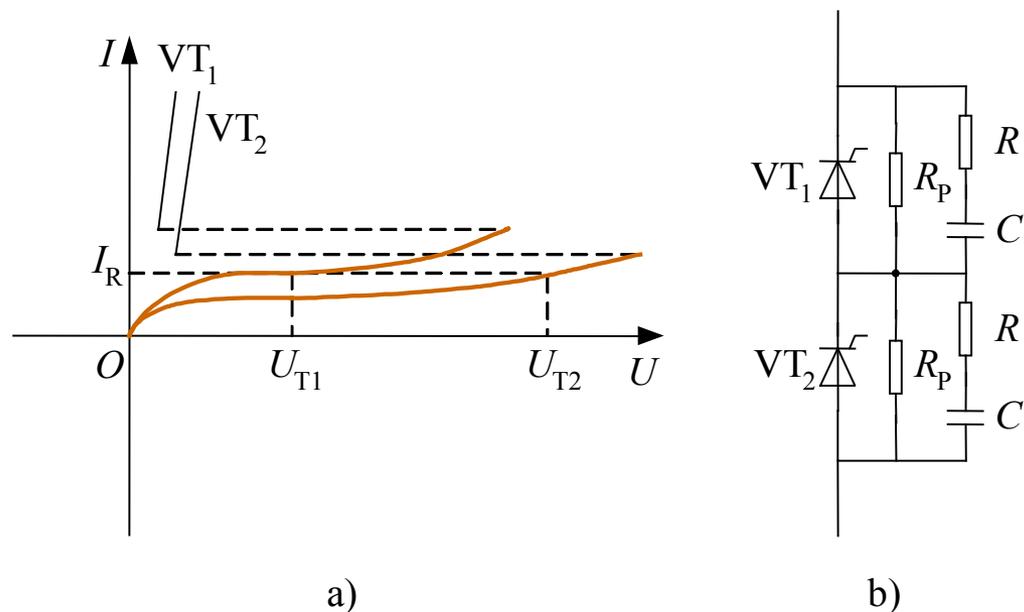


图 7 晶闸管的串联

a) 伏安特性差异    b) 串联均压措施



## 2. 晶闸管的并联

- **目的**：多个器件并联来承担较大的电流
- **问题**：会分别因静态和动态特性参数的差异而电流分配不均匀。
- **均流措施**：
  - ⊕ 挑选特性参数尽量一致的器件。
  - ⊕ 采用均流电抗器。
  - ⊕ 用门极强脉冲触发也有助于动态均流。
  - ⊕ 当需要同时串联和并联晶闸管时，通常采用先串后并的方法联接。



# 3. 电力 MOSFET 和 IGBT 并联运行的特点

点

## ● 电力 MOSFET 并联运行的特点

- ⊕  $R_{on}$  具有正温度系数，具有电流自动均衡的能力，容易并联。
- ⊕ 注意选用  $R_{on}$ 、 $U_T$ 、 $G_{fs}$  和  $C_{iss}$  尽量相近的器件并联。
- ⊕ 电路走线和布局应尽量对称。
- ⊕ 可在源极电路中串入小电感，起到均流电抗器的作用。

## ● IGBT 并联运行的特点

- ⊕ 在 1/2 或 1/3 额定电流以下的区段，通态压降具有负温度系数。
- ⊕ 在以上的区段则具有正温度系数。
- ⊕ 并联使用时也具有电流的自动均衡能力，易于

# 本章小结

## 主要内容

- 全面介绍各种主要电力电子器件的基本结构、工作原理、基本特性和主要参数等。
- 集中讨论电力电子器件的驱动、保护和串、并联使用。

## 电力电子器件类型归纳

- 单极型**：电力 MOSFET 和 SIT
- 双极型**：电力二极管、晶闸管、GTO、GTR 和 SITH
- 复合型**：IGBT 和 MCT

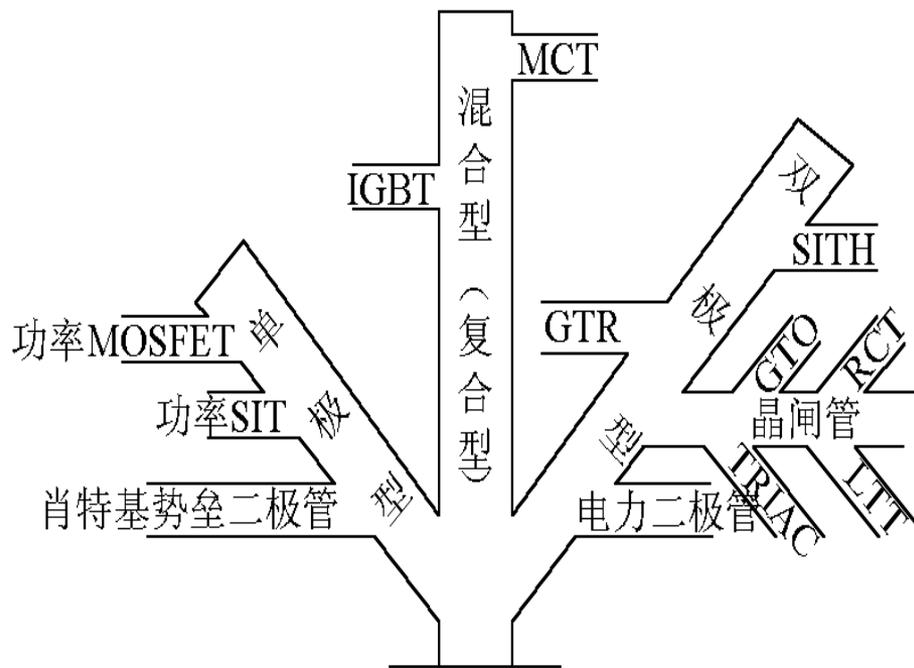


图 8 电力电子器件分类“树”



# 本章小结

- **电压驱动型**：单极型器件和复合型器件，双极型器件中的 SITH

**特点**：输入阻抗高，所需驱动功率小，驱动电路简单，工作频率高。

- **电流驱动型**：双极型器件中除 SITH 外

**特点**：具有电导调制效应，因而通态压降低，导通损耗小，但工作频率较低，所需驱动功率大，驱动电路较复杂。



# 本章小

## 当前的格局：

- ⊕ **IGBT** 为主体，第四代产品，制造水平  $2.5\text{kV} / 1.8\text{kA}$ ，兆瓦以下首选。仍在不断发展，与 IGCT 等新器件激烈竞争，试图在兆瓦以上取代 GTO。
- ⊕ **GTO**：兆瓦以上首选，制造水平  $6\text{kV} / 6\text{kA}$ 。
- ⊕ **光控晶闸管**：功率更大场合， $8\text{kV} / 3.5\text{kA}$ ，装置最高达  $300\text{MVA}$ ，容量最大。
- ⊕ **电力 MOSFET**：长足进步，中小功率领域特别是低压，地位牢固。
- ⊕ **功率模块和功率集成电路**是现在电力电子发展的一个共同趋势。

