第9章 电力电子器件应用

- 9.1 电力电子器件的驱动
- 9.2 电力电子器件的保护
- 9.3 电力电子器件的串联使用和并联使用本章小结

9.1 电力电子器件的驱动

- 9.1.1 电力电子器件驱动电路概述
- 9.1.2 晶闸管的触发电路
- 9.1.3 典型全控型器件的驱动电路

9.1.1 电力电子器件驱动电路概述

■驱动电路

- ◆是电力电子主电路与控制电路之间的接口。
- ◆良好的驱动电路使电力电子器件工作在较理想的开关状态,缩短开关时间,减小开关损耗。
- ◆对装置的运行效率、可靠性和安全性都有重要的意义。
- →一些保护措施也往往设在驱动电路中,或通过驱动电路实现。

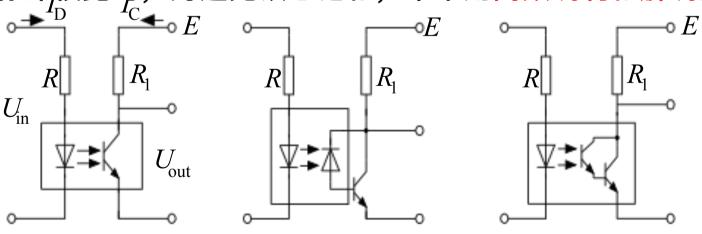
■驱动电路的基本任务

- ◆按控制目标的要求给器件施加开通或关断的信号。
- ◆对半控型器件只需提供开通控制信号;对全控型器件则 既要提供开通控制信号,又要提供关断控制信号。

9.1.1 电力电子器件驱动电路概述

- ■驱动电路还要提供控制电路与主电路之间的电气隔离环节,一般采用 光隔离或磁隔离。
 - ◆光隔离一般采用光耦合器
 - ☞光耦合器由发光二极管和光敏晶体管组成,封装在一个外壳内。
 - ☞有普通、高速和高传输比三种类型。
 - ◆磁隔离的元件通常是脉冲变压器
 - ☞当脉冲较宽时,为避免铁心饱和,常采用高频调制和解调的方

法。



a) b) 89-1 光耦合器的类型及接法 a) 普通型 b) 高速型 c) 高传输比型

c)

0/26

9.1.1 电力电子器件驱动电路概述

- ■驱动电路的分类
- ◆按照驱动电路加在电力电子器件控制端和公共端之间信号的性质,可以将电力电子器件分为电流驱动型和电压驱动型两类。
 - ◆晶闸管的驱动电路常称为触发电路。
- ■驱动电路具体形式可为<mark>分立元件</mark>的,但目前的趋势是采用 专用集成驱动电路。
 - ◆双列直插式集成电路及将光耦隔离电路也集成在内的混合集成电路。
 - ◆为达到参数最佳配合,首选所用器件生产厂家专门开发的集成驱动电路。

9.1.2 晶闸管的触发电路

■晶闸管的触发电路

- ◆作用:产生符合要求的门极触发脉冲,保证晶闸管在需要的时刻由阻断转为导通。
- ◆晶闸管触发电路往往还包括对其触发时刻 进行控制的相位控制电路。
- ◆触发电路应满足下列要求
 - ◎触发脉冲的宽度应保证晶闸管可靠导通,比如对感性和反电动势负载的变流器应采用宽脉冲或脉冲列触发。
 - ☞触发脉冲应有足够的幅度,对户外寒冷场合,脉冲电流的幅度应增大为器件最大触发电流的3~5倍,脉冲前沿的陡度也需增加,一般需达1~2A/□s。
 - 触发脉冲应不超过晶闸管门极的电压、 电流和功率定额,且在门极伏安特性的可 靠触发区域之内。

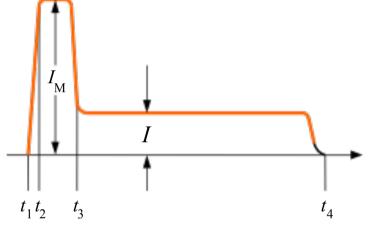


图9-2 理想的晶闸管触发脉冲电流波形 t1~t2□脉冲前沿上升时间(<1□s) t1~t3□强脉冲宽度 IM□强脉冲幅值(3IGT~5IGT) t1~t4□脉冲宽度 I□脉冲平顶幅值(1.5IGT~2IGT)

9.1.2 晶闸管的触发电路

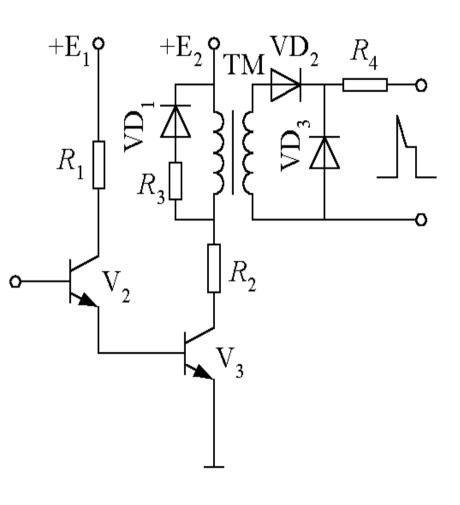
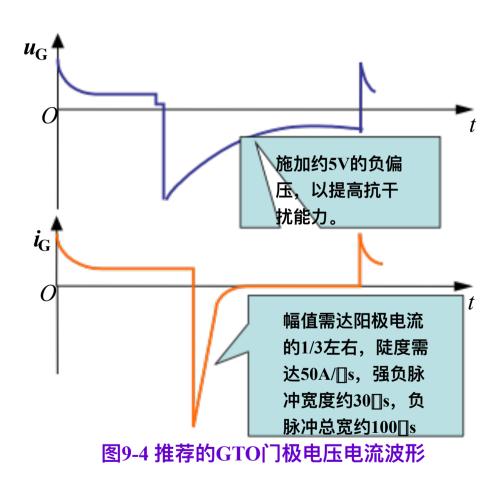


图9-3 常见的晶闸管触发电路

- ■常见的晶闸管触发电路
- ◆由V1、V2构成的脉冲放大环 节和脉冲变压器TM和附属电路构 成的脉冲输出环节两部分组成。
- ◆当V1、V2导通时,通过脉冲 变压器向晶闸管的门极和阴极之 间输出触发脉冲。
- ◆VD1和R3是为了V1、V2由导通变为截止时脉冲变压器TM释放 其储存的能量而设的。
- ◆为了获得触发脉冲波形中的强脉冲部分,还需适当附加其它电0/26

- ■电流驱动型器件的驱动电路
- ◆GTO和GTR是电流驱动型器 件。
 - **♦**GTO
- ☞开通控制与普通晶闸管相似,但对触发脉冲前沿的幅值和 陡度要求高,且一般需在整个导通期间施加正门极电流,使GTO 关断需施加负门极电流,对其幅值和陡度的要求更高。
- ☞GTO一般用于大容量电路的场合,其驱动电路通常包括开通驱动电路、关断驱动电路和门极反偏电路三部分,可分为脉冲变压器耦合式和直接耦合式两种



☞直接耦合式驱动电路

√可避免电路内部的相互干扰 和寄生振荡,可得到较陡的脉 冲前沿;缺点是功耗大,效率 较低。

√电路的电源由高频电源经二 极管整流后提供, VD1和*C1*提 供+5V电

压, VD2、VD3、*C2、C3*构成 倍压整流电路提供+15V电 压, VD4和*C4*提供-15V电压。

√V1开通时,输出正强脉 冲; V2开通时,输出正脉冲平 顶部分;

√V2关断而V3开通时输出负脉

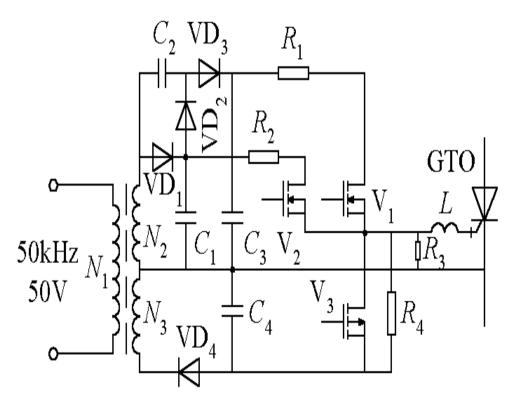


图9-5 典型的直接耦合式GTO驱动电路

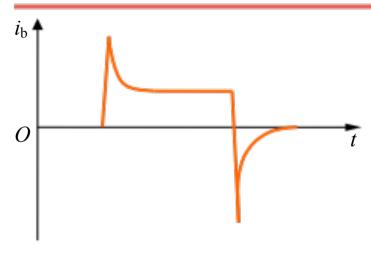
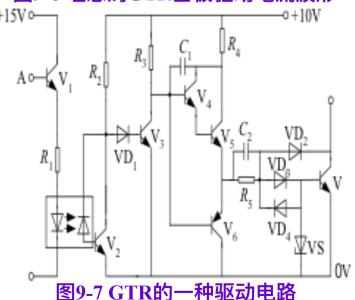


图9-6 理想的GTR基极驱动电流波形



◆GTR

- 一一开通的基极驱动电流应使其处于<mark>准饱和导通状态</mark>,使之不进入放大区和深饱和区。
- ☞关断时,施加一定的负基极电流有利于减小 关断时间和关断损耗,关断后同样应在基射极 之间施加一定幅值(6V左右)的负偏压。
 - ☞GTR的一种驱动电路
 - √包括电气隔离和晶体管放大电路两部分。
- √VD2和VD3构成贝克箝位电路,是一种抗饱和电路,可使GTR导通时处于临界饱和状态;
- $\sqrt{C2}$ 为加速开通过程的电容,开通时R5被C2 短路,这样可以实现驱动电流的过冲,并增加前沿的陡度,加快开通。
- ☞驱动GTR的集成驱动电路中,THOMSON公司的UAA4002和三菱公司的M57215BL较为常_{0/26}见。

- ■电压驱动型器件的驱动电路
- ◆电力MOSFET和IGBT是电压驱动型器 件。
- ◆为快速建立驱动电压,要求驱动电路具有 较小的输出电阻。
- ◆使电力MOSFET开通的栅源极间驱动电压一般取10~15V,使IGBT开通的栅射极间驱动电压一般取15~20V。
- ◆关断时施加一定幅值的负驱动电压(一般取 -5~-15V)有利于减小关断时间和关断损耗。
- ◆在栅极串入一只低值电阻(数十欧左右) 可以减小寄生振荡,该电阻阻值应随被驱动器 件电流额定值的增大而减小。
 - ◆电力MOSFET
 - ☞包括电气隔离和晶体管放大电路两部

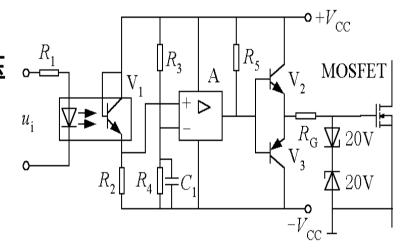


图9-8 电力MOSFET的一种驱动电路

☞专为驱动电力MOSFET而设计的混合集成电路有三菱公司的M57918L, 其输入信号电流幅值为16mA,输出最大脉冲电流为+2A和-3A,输出驱动电压 +15V和-10V。

♦IGBT

☞多采用专用的混合集成驱动器,常用的有三菱公司的M579系列(如 M57962L和M57959L)和富士公司的EXB系列(如

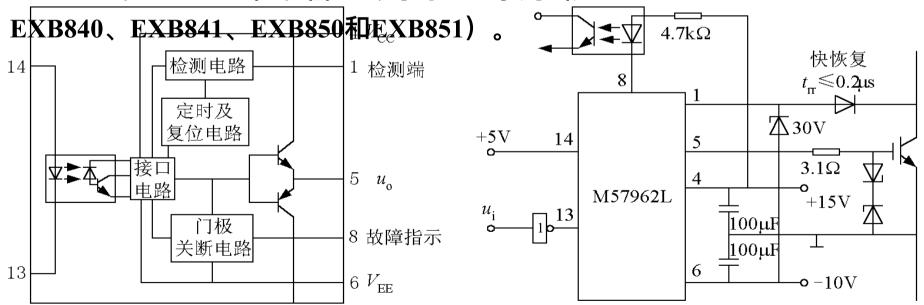


图9-9 M57962L型IGBT驱动器的原理和接线图

9.2 电力电子器件的保护

- 9.2.1 过电压的产生及过电压保护
- 9.2.2 过电流保护
- 9.2.3 缓冲电路

9.2.1 过电压的产生及过电压保护

- ■过电压分为外因过电压和内因过电压两类。
- ■外因过电压主要来自雷击和系统中的操作过程等外部原 因,包括
 - ◆操作过电压:由分闸、合闸等开关操作引起的过电压。
 - ◆雷击过电压:由雷击引起的过电压。
- ■内因过电压主要来自电力电子装置内部器件的开关过 程,包括
 - ◆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:全控型器件在较高频率下工作,当器件关断时,因正向电流的迅速降低而由线路电感在器件两端感应出的过电压。

9.2.1 过电压的产生及过电压保护

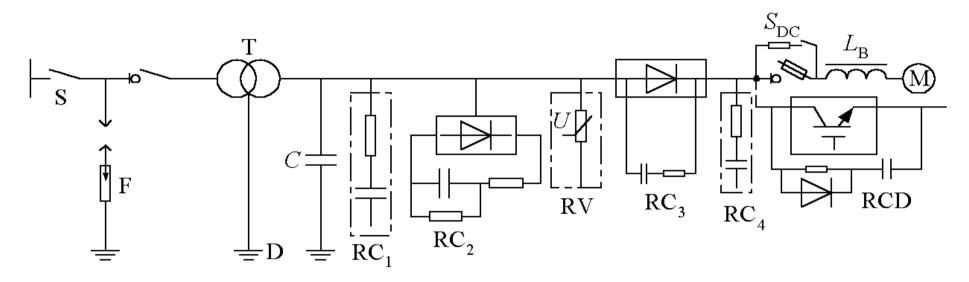


图9-10 过电压抑制措施及配置位置

F□避雷器 D□变压器静电屏蔽层 C□静电感应过电压抑制电容RC1□

阀侧浪涌过电压抑制用RC电路

RC2□阀侧浪涌过电压抑制用反向阻断式RC电路

RV L压敏电阻过电压抑制器 RC3 N 阀器件换相过电压抑制用RC电路

RC4□直流侧RC抑制电路 RCD□阀器件关断过电压抑制用RCD电路

- ■过电压抑制措施及配置位置
 - ◆各电力电子装置可视具体情况只采用其中的几种。
 - ◆RC3和RCD为抑制内因过电压的措施。

9.2.1 过电压的产生及过电压保护

- ◆抑制外因过电压来采用RC过电压抑制电路。
- ◆对大容量的电力电子装置,可采用图9-12所示的反向阻断式RC电路。
- ◆采用雪崩二极管、金属氧化物压敏电阻、硒堆和转折二极管(BOD)等非线性元器件来限制或吸收过电压也是较常用的措施。 ____

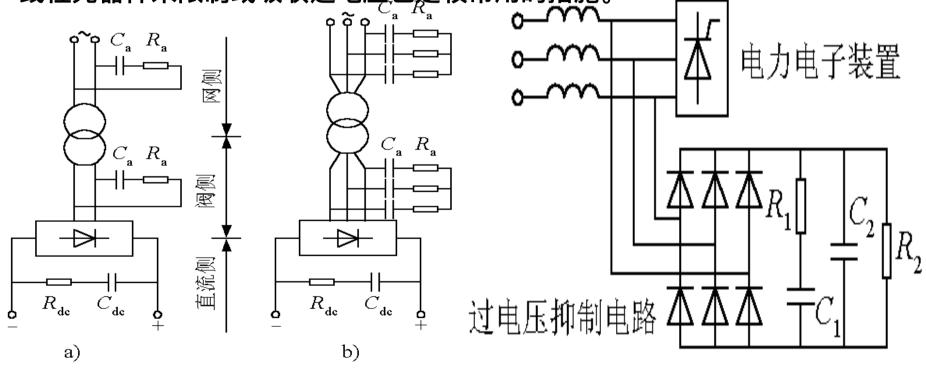


图9-11 RC过电压抑制电路联结方式 a)单相 b)三相

图9-12 反向阻断式过电压抑制用RC电路

9.2.2 过电流保护

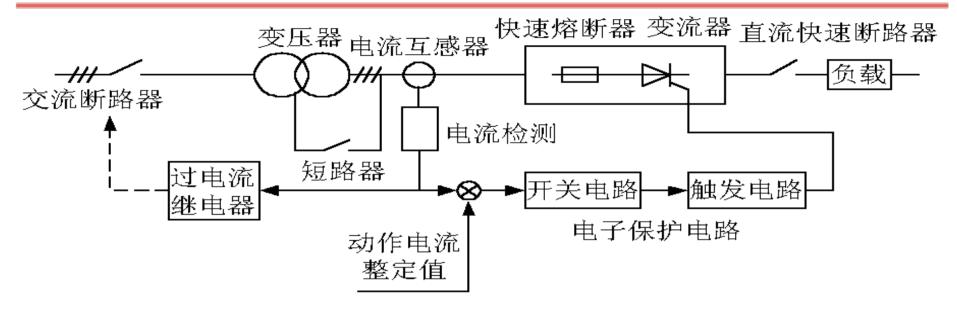


图9-13 过电流保护措施及配置位置

- ■过电流分过载和短路两种情况。
- ■过电流保护措施及其配置位置
- ◆快速熔断器、直流快速断路器和过电流继电器是较为常用的措施,一般电力电子装置均同时采用几种过电流保护措施,以提高保护的可靠性和合理性。
- ◆通常,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_{0/26}在过载时动作。

9.2.2 过电流保护

- ◆快速熔断器(简称快熔)
 - ☞是电力电子装置中最有效、应用最广的一种过电流保护措施。
 - ☞选择快熔时应考虑
 - √电压等级应根据熔断后快熔实际承受的电压来确定。
 - √电流容量应按其在主电路中的接入方式和主电路联结形式确定。
 - √快熔的 t值应小于被保护器件的允许 t值。
 - √为保证熔体在正常过载情况下不熔化,应考虑其时间□电流特性。
 - ☞ 快熔对器件的保护方式可分为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,器件对电流的 响应是最快的。

9.2.3 缓冲电路

■缓冲电路(Snubber Circuit)又称为吸收电路,其作用是抑制电力电子器件的内因过电压、du/dt或者过电流和di/dt,减小器件的开关损耗。

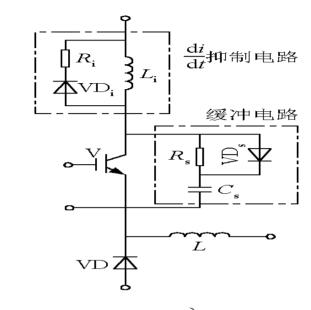
■分类

- ◆分为关断缓冲电路和开通缓冲电路
 - 一关断缓冲电路:又称为du/dt抑制电路,用于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。
 - 一种用通缓冲电路:又称为di/dt抑制电路,用于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结合在一起。
- ◆还可分为耗能式缓冲电路和馈能式缓冲电路
 - ☞耗能式缓冲电路: 缓冲电路中储能元件的能量消耗在其吸收电阻 上。
 - ☞ 馈能式缓冲电路: 缓冲电路能将其储能元件的能量回馈给负载或 电源,也称无损吸收电路。
- ◆通常将缓冲电路专指关断缓冲电路,而将开通缓冲电路区别叫 做di/dt抑制电路。

9.2.3 缓冲电路

■缓冲电路

- ◆图9-14a给出的是一种缓冲 电路和d*i*/d*t*抑制电路的电路 图。
- ◆在无缓冲电路的情况 下,d*i*/d*t*很大,关断时d*u*/d*t*很 大,并出现很高的过电压,如 图9-14b。
 - ◆在有缓冲电路的情况下
- \mathbf{v} V关断时,负载电流通过 \mathbf{v} Ds向 \mathbf{c} S分流,减轻了 \mathbf{v} 的负 担,抑制了 \mathbf{d} u/ \mathbf{d} t和过电压。



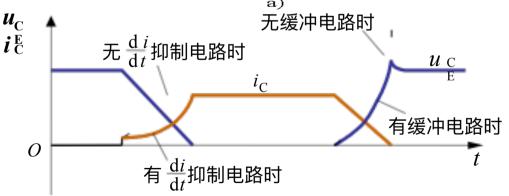


图9-14 di/dt抑制电路和充放电型RCD缓冲电路及波形 a) 电路 b) 波形

9.2.3 缓冲电路

◆关断过程

- 電光缓冲电路时,uCE迅速上升,负载线从A移动到B,之后iC才下降到漏电流的大小,负载线随之移动到C。
- 電子有缓冲电路时,由于Cs的分流使iC在uCE开始上升的同时就下降,因此负载线经过D到达C。
- ☞负载线在到达B时很可能超出安全区,使V受到损坏,而负载线ADC是很安全的,且损耗小。
- ◆另外两种常用的缓冲电路形式
- ☞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。
- ☞ 晶闸管在实际应用中一般只承受换 相过电压,没有关断过电压问题,关断

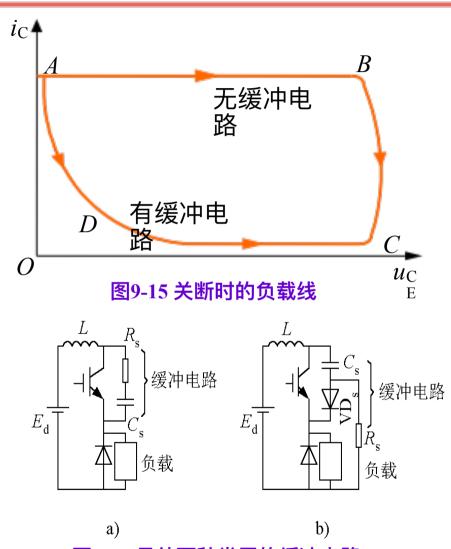


图9-16 另外两种常用的缓冲电路 a)RC吸收电路 b)放电阻止型RCD吸收电路

9.3 电力电子器件的串联使用和并联使用

- 9.3.1 晶闸管的串联
- 9.3.2 晶闸管的并联
- 9.3.3 电力MOSFET的并联和IGBT的并联

9.3.1 晶闸管的串联

- ■对较大型的电力电子装置,当单个电力电子器件的电压或电流定额不能满足要求时,往往需要将电力电子器件串联或并联起来工作,或者将电力电子装置串联或并联起来工作。
- ■晶闸管的串联
- ◆ 当晶闸管的额定电压小于实际要求时,可以 用两个以上同型号器件相串联。
 - ◆静态不均压问题
- ☞由于器件静态特性不同而造成的均压问题。
- ☞为达到静态均压,首先应选用参数和特性 尽量一致的器件,此外可以采用电阻均压。
 - ◆动态不均压问题
- □ 由于器件动态参数和特性的差异造成的不均压问题。
 - ☞为达到动态均压,同样首先应选择动态参

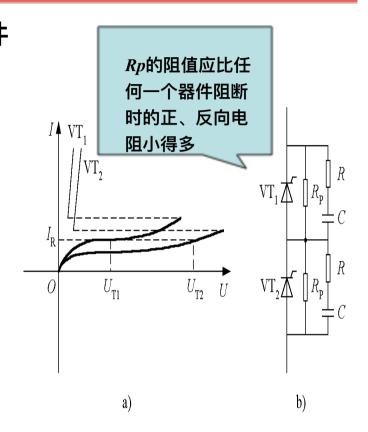


图9-17 晶闸管的串联 a)伏安特性差异 b)串联均压措施

9.3.2 晶闸管的并联

串联:

目的: 共同承担更高电压 - 超过单个晶闸管额定电压

问题:防止电压分配不均问题

并联:

目的: 共同承担更大电流 - 超过单个晶闸管额定电流

问题:防止电流分配不均问题

9.3.2 晶闸管的并联

■晶闸管的并联

- ◆大功率晶闸管装置中,常用多个器件并联来承担较大的电流。
- ◆晶闸管并联就会分别因静态和动态特性参数的 差异而存在电流分配不均匀的问题。
- ◆均流的首要措施是挑选特性参数尽量一致的器件, 此外还可以采用均流电抗器; 同样, 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。

9.3.3 电力MOSFET的并联和IGBT的并联

■电力MOSFET的并联

- ◆*Ron*具有正温度系数,具有电流自动均衡能力,容易并 联。
- ◆应选用Ron、UT、Gfs和输入电容Ciss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的并联

- ◆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;也具有一定的电流自动均衡能力,易于并联使用。
- ◆在器件参数和特性选择、电路布局和走线、散热条件等方面也应尽量一致。

本章小结

■本章要点

- ◆对电力电子器件驱动电路的基本要求。
- ◆在驱动电路中实现电力电子主电路和控制电路电气隔离的基本方 法和原理。
- ◆对晶闸管触发电路的基本要求以及典型触发电路的基本原理。
- ◆对电力MOSFET和IGBT等全控型器件驱动电路的基本要求以及典型驱动电路的基本原理。
- ◆电力电子器件过电压的产生原因和过电压保护的主要方法及原理。
- ◆电力电子器件过电流保护的主要方法及原理。
- ◆电力电子器件缓冲电路的概念、分类、典型电路及基本原理。
- ◆电力电子器件串联和并联使用的目的、基本要求以及具体注意事 项。