

### 0.3 电力电子开关

电力电子器件或功率半导体与其驱动电路一起(如果该器件具备可主动开通与关断的特性)共同构成了电力电子开关。开关内部各功能的联系及其交互影响决定了它作为开关的特性。

图0.5显示了一个电力电子开关系统。系统与外部电路(一般来说处于高电位)及控制系统(信息处理、辅助电源)之间的接口也被示于图中。必要的电位隔离可由光耦或感性变换器来实现。

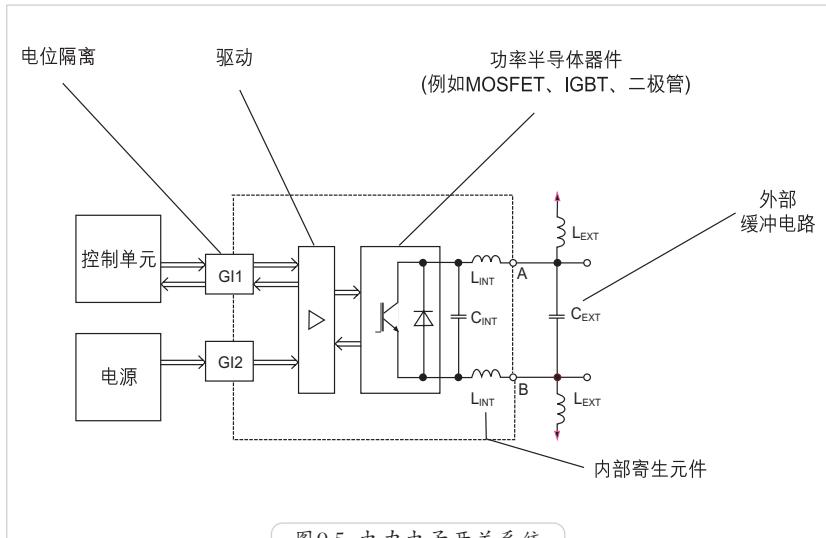


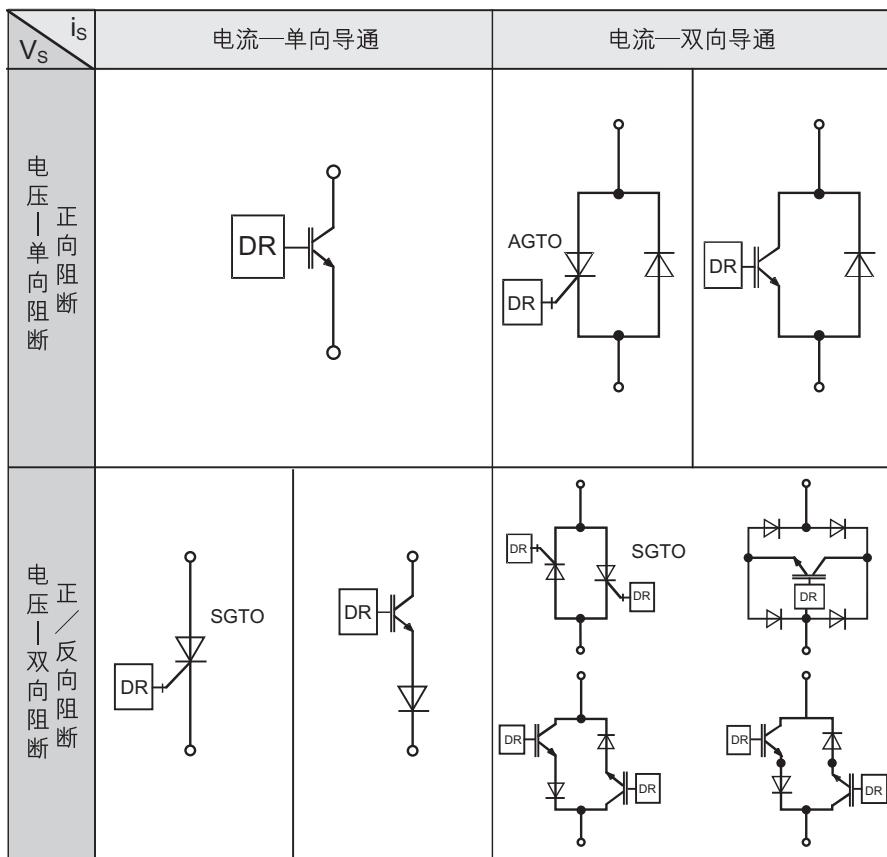
图0.5 电力电子开关系统

在图0.6中，我们将半导体元件按其电流和电压的方向作了一个分类。

一方面，一个完整开关的特性依赖于功率半导体的特性。通过调整半导体芯片的设计，可使之适应整个开关的运行方式。另一方面，开关的整体特性则由驱动电路所赋予。驱动电路同时还提供了主要的保护功能。

#### 电力电子开关的基本类型

可以认为，电力电子开关的工作方式决定了其所在电路的特性。从这一点出发，我们可以将电力电子开关做如下的基本分类。显而易见，插图中电流和电压的方向可以根据实际的电路来确定。



SGTO = 对称 GTO    AGTO = 不对称 GTO

图 0.6 功率半导体的几种形式

### 硬开关 (HS, 图 0.7)

撇开理论上的纯阻性负载不谈，我们首先来观察一个含最小被动储能元件 ( $C_{Kmin}$ ;  $L_{Kmin}$ ) 的换流回路。一个单开关在交替式硬导通和硬关断时，只能与一个中性半导体开关同时应用。由于中性开关不受控，所以硬开关可以具有两个控制自由度，即可调的开通和关断时刻。图 0.7 显示了几种常见的电路。对于图中的对称电路来说，两个开关总是交替式地承载电流。因此，任何时候总是只有一个开关处于主动工作状态，并具备两个控制自由度。另外一个则属于中性开关。

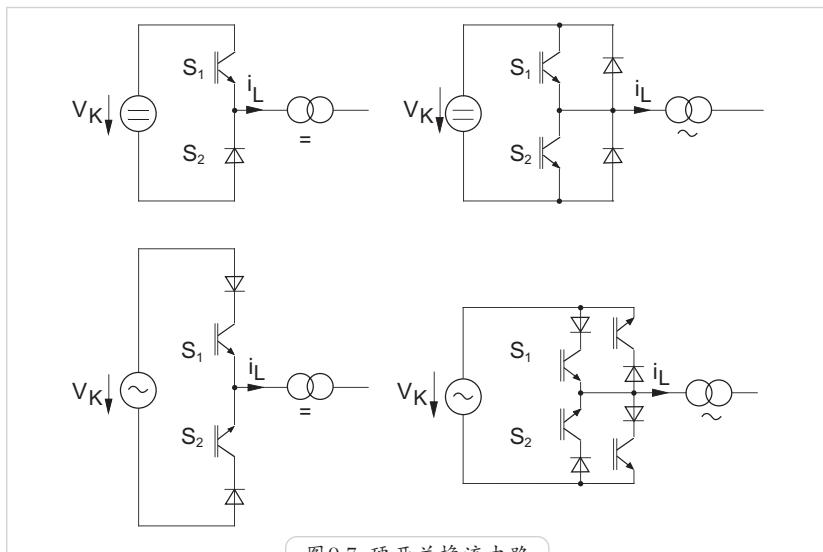


图0.7 硬开关换流电路

### 零电流开关 (ZCS, 图 0.8)

在零电流开关中，半导体器件只工作于主动开通与被动关断的状态下。与硬开关相比，通过放弃了一个控制自由度及利用一个足够大的串联电感，主动开通过程的损耗大为降低。图 0.8 列举了几种含零电流开关的等效换流电路。它们也可以用于只含循环开关过程而无换流过程的电路中，其特征是换流过程为感性的，即主动开通与被动关断交替发生。

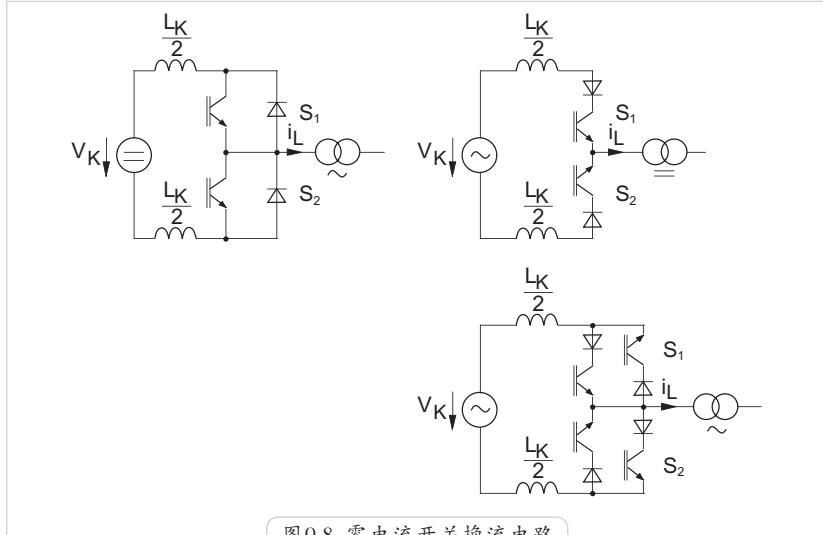


图0.8 零电流开关换流电路

### 零电压开关 (ZVS, 图 0.9)

零电压开关被设计成可以主动关断以及在零电压点被动打开。当并联的电容足够大时，主动关断过程中的损耗可以降到很低。与硬开关相比，损耗的降低是通过放弃一个控制自由度而得到的。图 0.9 显示了几种含零电压开关的容性换流电路。当然，零电压开关也可以用在无换流过程的场合。此时，主动关断过程与同一个开关的被动开通过程交替出现。

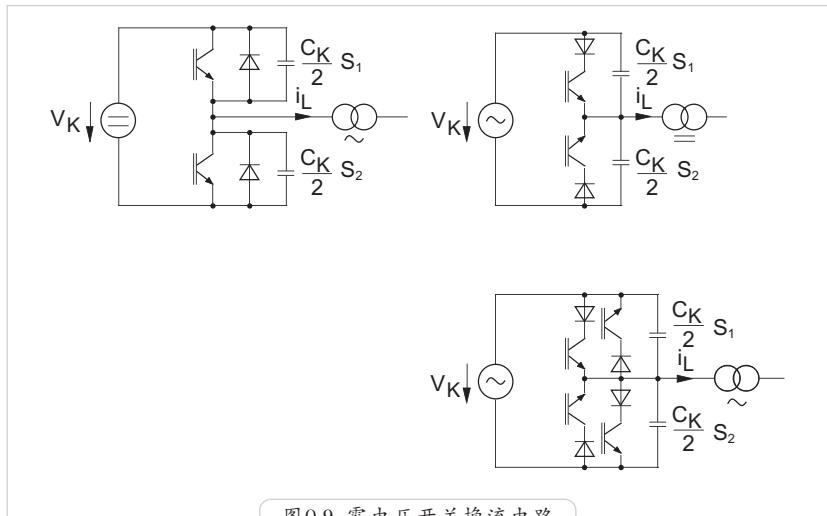


图 0.9 零电压开关换流电路

### 零电流谐振开关 (ZCRS, 图 0.10)

如果控制一个零电流开关，使得主动开通过程正好在电流通过零点时发生，此时则没有实际的电流换流过程。因此，即使电路中存在一个最小的换流电感，开通损耗仍然比零电流开关还要小。此时，只是由于半导体结电容需要被反向充电，才产生了少量的损耗。和零电流开关相比，损耗的降低是通过放弃另一个控制自由度而得到的，原因是开通时刻也不再可以被自由选择，而是由外电路所引导的电流过零过程所决定。使用零电流谐振开关时，能量流动的控制只能用间接的方式，例如通过控制开关被开通或关断的周期数来实现。

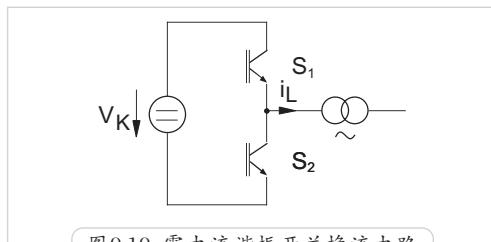


图 0.10 零电流谐振开关换流电路

### 零电压谐振开关 (ZVRS, 图 0.11)

该开关形式是零电压开关的一个极限情形。如果外加的交变换流电压刚好通过零时，零电压开关主动关断，则处于上升状态的开关电压将触发电流的换流过程。因此，即使电路中存在一个最小的换流电容，开关的损耗也还是被进一步地降低，但开关也同时失去了一个控制自由度。使用零电压谐振开关时，也可以采用开通或关断数个周期的换流电压来间接控制能量的流动。

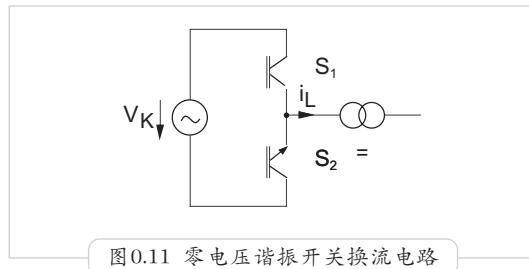


图 0.11 零电压谐振开关换流电路

### 中性开关 (NS, 图 0.12)

一个中性开关通过中性的开通和关断过程来结束换流过程，此时的电流和电压均为零。一般来说，一个二极管正好具备这样的特性。对一个含有主动开关元件的半导体开关来说，只能采用特殊的控制方式来获得这种特性。

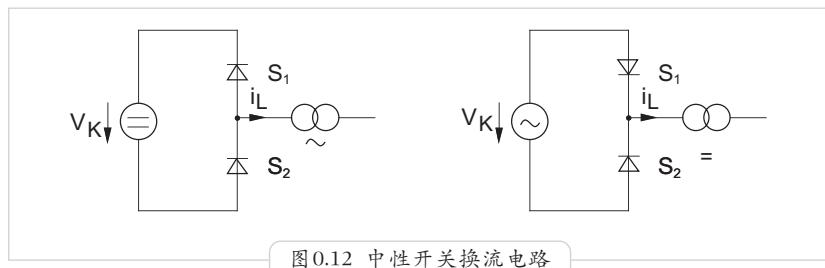


图 0.12 中性开关换流电路

图 0.13 汇总了电力电子开关的基本类型。在该表中，空白栏目为基本类型的变化，而这些变化几乎存在于所有的应用中。如果在含有软开关或谐振开关的电路中，某工作点的谐振条件被破坏，则开关必须能够偏离其基本特性而工作在硬开关状态下（改进的零电流开关 MZCS，改进的零电压开关 MZVS），从而使得整个系统仍然能够保持运行（参阅 3.8 章）。大多数情况下，偏离于正常运行的工作方式只是暂时性的。如果零电压开关的主动关断过程或零电流开关的主动开通过程是硬性的，则开关分别工作在 ZVHS 或 ZCHS 模式下。

开通 关断	硬	软 串联L <sub>K</sub>	谐振 $i_L = 0$	中性 $V_s = 0$
硬	HS	MZCS		ZVHS
软 并联C <sub>K</sub>	MZVS			ZVS
谐振 $V_K = 0$				ZVRS
中性 $i_s = 0$	ZCHS	ZCS	ZCRS	NS

图0.13 电力电子开关