

2. 开通速度, 由允许的电流峰值 (负载电流+续流二极管依赖于  $di/dt$  的反向恢复电流) 所限制。

另外, 特别是对于大功率范围内的晶体管来说, 过于陡峭的  $dv/dt$  和  $di/dt$  值可能会引起电磁干扰, 或在某些特定的负载 (机器) 中引发  $dv/dt$  问题。

因此, 在决定开关频率和开关时间时, 无论如何都要从尽可能满足各方面的要求之中寻找一个最佳的平衡点。例如, 应用方面的考虑 (如开关频率在听力范围之外)、开关时间与开关损耗、散热条件以及抗电磁干扰的能力等。

以下为标准模块所能够采用的开关频率的推荐值, 前提是模块的性能能够被充分地利用:

|             |           |          |           |
|-------------|-----------|----------|-----------|
| <b>硬开关:</b> | MOSFET 模块 | 低截止电压    | 至 250 kHz |
|             |           | 高截止电压    | 至 100kHz  |
|             | IGBT 模块   | 600 V    | 至 30 kHz  |
|             |           | 1200 V   | 至 20 kHz  |
| 1700 V      |           | 至 10 kHz |           |
| <b>软开关:</b> | MOSFET 模块 | 3300 V   | 至 3 kHz   |
|             |           | 低截止电压    | 至 500 kHz |
|             | IGBT 模块   | 高截止电压    | 至 250 kHz |
|             |           |          | 至 150 kHz |

对于为快速开关而特别设计的模块来说, 它们可以达到更高的开关频率。

## 3.2 传热性能

### 3.2.1 功耗的平衡

#### 3.2.1.1 单项功耗和总功耗

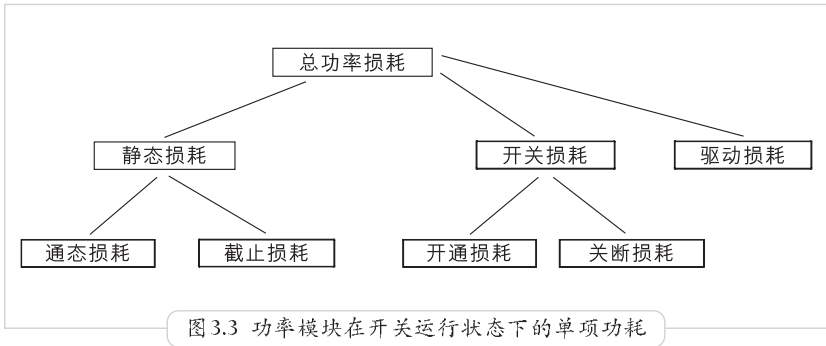
##### 导论

在 3.2 章中, 所有的讲述都是有关 IGBT 模块的。但所有的讨论和计算也同样适用于 MOSFET 模块, 前提是将所有的下标符号做相应的代换。

本章将重点讨论电压型的硬开关变流器。

在电力电子应用中, IGBT 和二极管主要工作在开关状态, 并周期性地经历各种静态和动态的状态。而在这每一个状态中, 都会产生一部分功率损耗或能量损耗。这些功率损耗相加, 即为开关器件的总功耗。它使器件发热。因此, 在应用半导体器件时, 应使变流器在任一运行状态下均不得超过由制造商所给出的最大允许结温 (对于硅元件来说  $T_j = 150^\circ\text{C}$ )。

图 3.3 列出了器件在开关运行状态下各项可能发生的功耗。



## IGBT

一般来说, IGBT 的正向截止损耗和驱动回路的损耗在总损耗中所占的比例较小, 可以忽略不计。

通态损耗 ( $P_{f_w/T}$ ) 和下列因素有关:

1. 负载电流 (由输出特性  $V_{CEsat} = f(i_C, V_{GE})$  所给定);
2. 结温;
3. 占空比。

在驱动参数一定的情况下, 开通和关断损耗 ( $P_{on/T}$ 、 $P_{off/T}$ ) 和下列因素有关:

1. 负载电流;
2. 直流母线电压;
3. 结温;
4. 开关频率。

**IGBT 的总功耗:**  $P_{tot/T} = P_{f_w/T} + P_{on/T} + P_{off/T}$

## 续流二极管:

一般来说, 二极管的截止损耗在总功耗中所占的比例较小, 可以忽略不计。唯一的例外是肖特基二极管, 它的热态截止电流较高。

开通损耗产生于正向恢复过程之中。对于快速二极管来说, 这一部分功耗通常也可以忽略不计。

通态损耗 ( $P_{f_w/D}$ ) 和下列因素有关:

1. 负载电流 (由输出特性  $v_F = f(i_F)$  所给定);
2. 结温;
3. 占空比。

在与二极管换流的 IGBT 驱动参数一定的情况下, 关断损耗和下列因素有关:

1. 负载电流;
2. 直流母线电压;
3. 结温;
4. 开关频率。

**二极管总功耗:**  $P_{\text{tot}/D} = P_{\text{fw}/D} + P_{\text{off}/D}$

带有  $n$  个 IGBT 和  $m$  个二极管的混合功率模块

**模块总功耗:**  $P_{\text{tot}/M} = (n * P_{\text{tot}/T}) + (m * P_{\text{tot}/D})$

### 3.2.1.2 降压斩波器的功耗

图 3.4 显示了一个降压斩波器的电路图及其带阻感负载时的特性曲线。

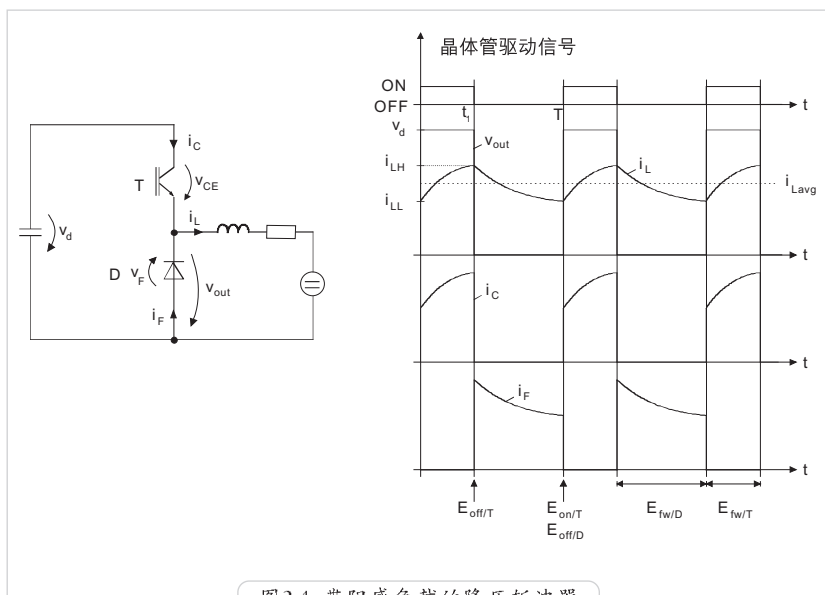


图 3.4 带阻感负载的降压斩波器