

# 第二讲 电力电子器件

2.1 电力电子器件概述

2.2 不可控器件——二极管

# 电力电子器件 · 引言

- 电子技术的基础

———— 电子器件：晶体管 and 集成电路

- 电力电子电路的基础

———— 电力电子器件

- 本章主要内容：

- ⊕ 概述电力电子器件的**概念**、**特点**和**分类**等问题。

- ⊕ 介绍常用电力电子器件的**工作原理**、**基本特性**、**主要参数**以及选择和使用中应注意问题。



## 2 电力电子器件概述

2.1 电力电子器件的概念和特征

2.2 应用电力电子器件的系统组成

2.3 电力电子器件的分类

2.4 本章内容和学习要点



# 2.1 电力电子器件的概念和特征

## 电力电子器件

### 1) 概念:

- 电力电子器件 ( Power Electronic Device )  
——可直接用于主电路中，实现电能的变换或控制的电子器件。
- 主电路 ( **Main Power Circuit** )  
——电气设备或电力系统中，直接承担电能的变换或控制任务的电路。

### 2) 分类:

- { 电真空器件 ( 汞弧整流器、闸流管 )
- { 半导体器件 ( 采用的主要材料硅 )



## 2.1 电力电子器件的概念和特征

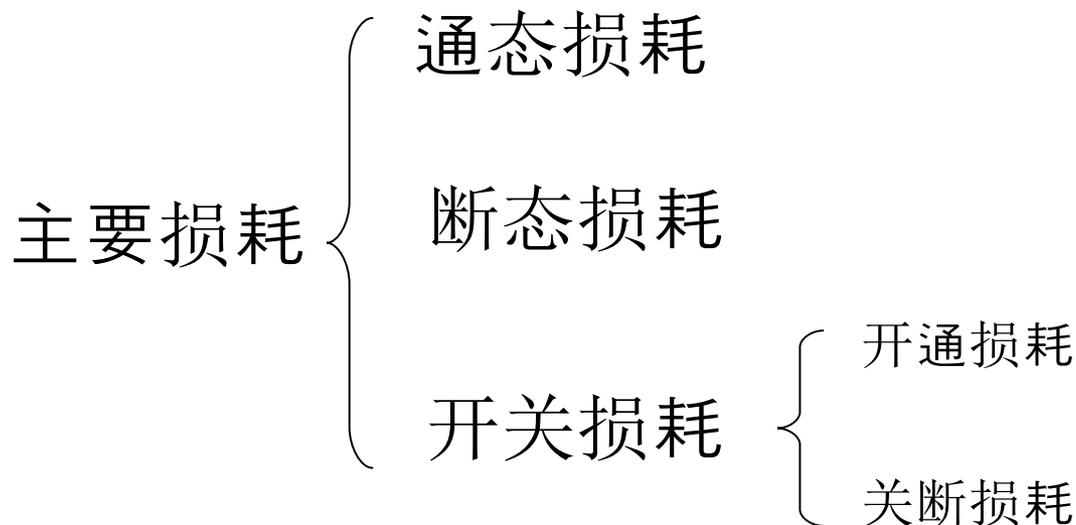
### 3 ) 同处理信息的电子器件相比的一般特征：

- 能处理电功率的能力，一般远大于处理信息的电子器件。
- 电力电子器件一般都工作在开关状态。
- 电力电子器件往往需要由信息电子电路来控制。
- 电力电子器件自身的功率损耗远大于信息电子器件，一般都要安装散热器。



## 2.1 电力电子器件的概念和特征

### ● 电力电子器件的损耗



- ⊕ **通态损耗**是器件功率损耗的主要成因。
- ⊕ 器件开关频率较高时，**开关损耗**可能成为器件功率损耗的主要因素。



## 2.2 应用电力电子器件系统组成

- 电力电子系统：由**控制电路**、**驱动电路**、**保护电路**和以电力电子器件为核心的**主电路**组成。

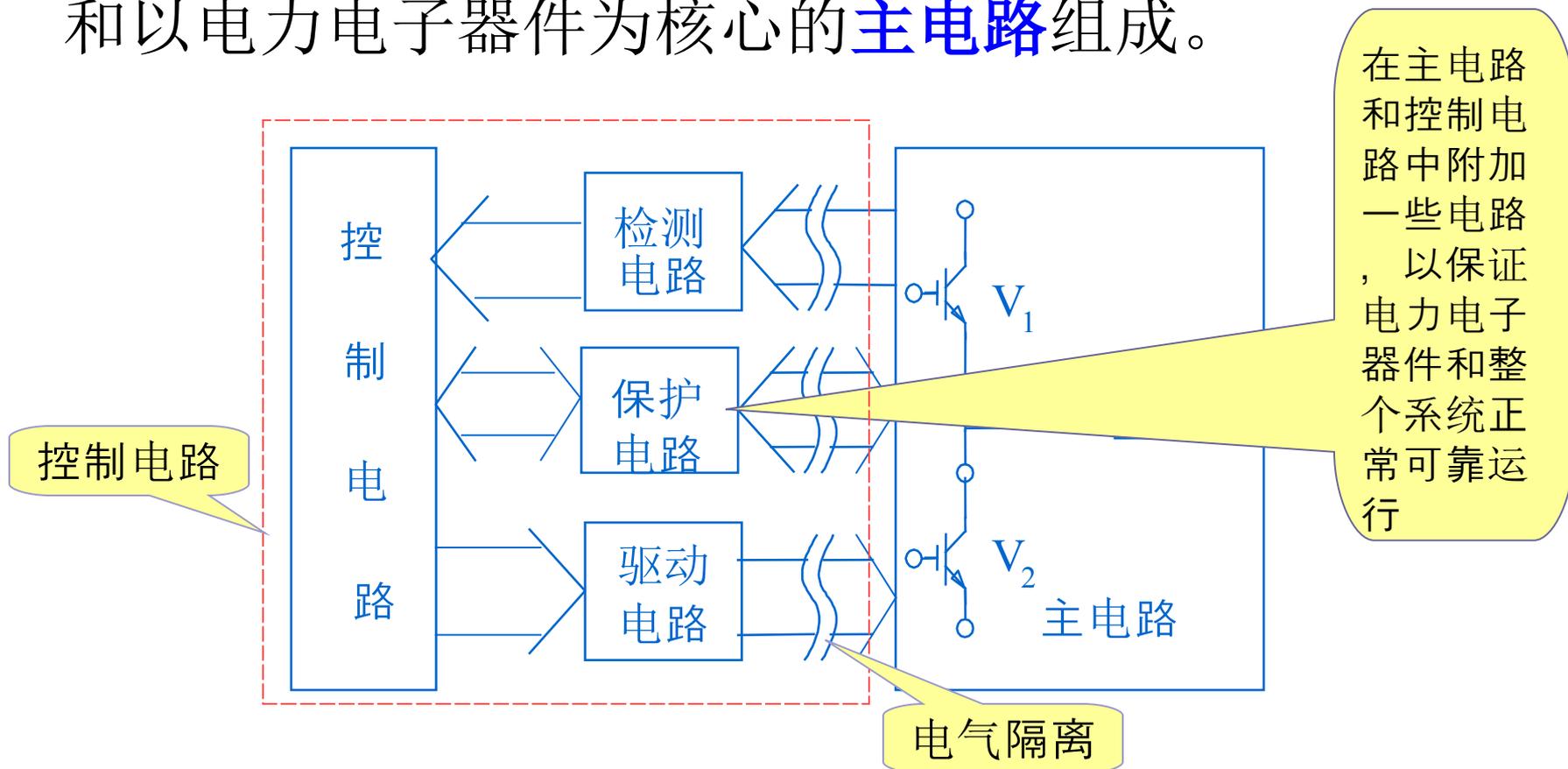


图 1-1 电力电子器件在实际应用中的系统组成



## 2.3 电力电子器件的分类

### 按照器件能够被控制的程度，分为以下三类

：

#### 半控型器件（Thyristor）

——通过控制信号可以控制其导通而不能控制其关断。

#### 全控型器件（IGBT, MOSFET）

——通过控制信号既可控制其导通又可控制其关断，又称自关断器件。

#### 不可控器件（Power Diode）

——不能用控制信号来控制其通断，因此也就不需要驱动电路。



## 2.3 电力电子器件的分类

按照驱动电路信号的性质，分为两类：

### ⊕ 电流驱动型

—— 通过从控制端注入或者抽出电流来实现导通或者关断的控制。

### ⊕ 电压驱动型

—— 仅通过在控制端和公共端之间施加一定的电压信号就可实现导通或者关断的控制。



## 2.4 本章学习与学习要点

### ● 本章内容：

- ⊕ 介绍各种器件的**工作原理**、**基本特性**、**主要参数**以及选择和使用中应注意的一些问题。
- ⊕ 集中讲述电力电子器件的**驱动**、**保护和串、并联使用**这三个问题。

### ● 学习要点：

- ⊕ 最重要的是掌握其**基本特性**。
- ⊕ 掌握电力电子器件的型号**命名法**，以及其**参数和特性曲线的使用方法**。
- ⊕ 可能会主电路的其它电路元件有**特殊的要求**。



## 2.5 不可控器件—电力二极管

2.5.1 PN结与电力二极管的工作原理

2.5.2 电力二极管的基本特性

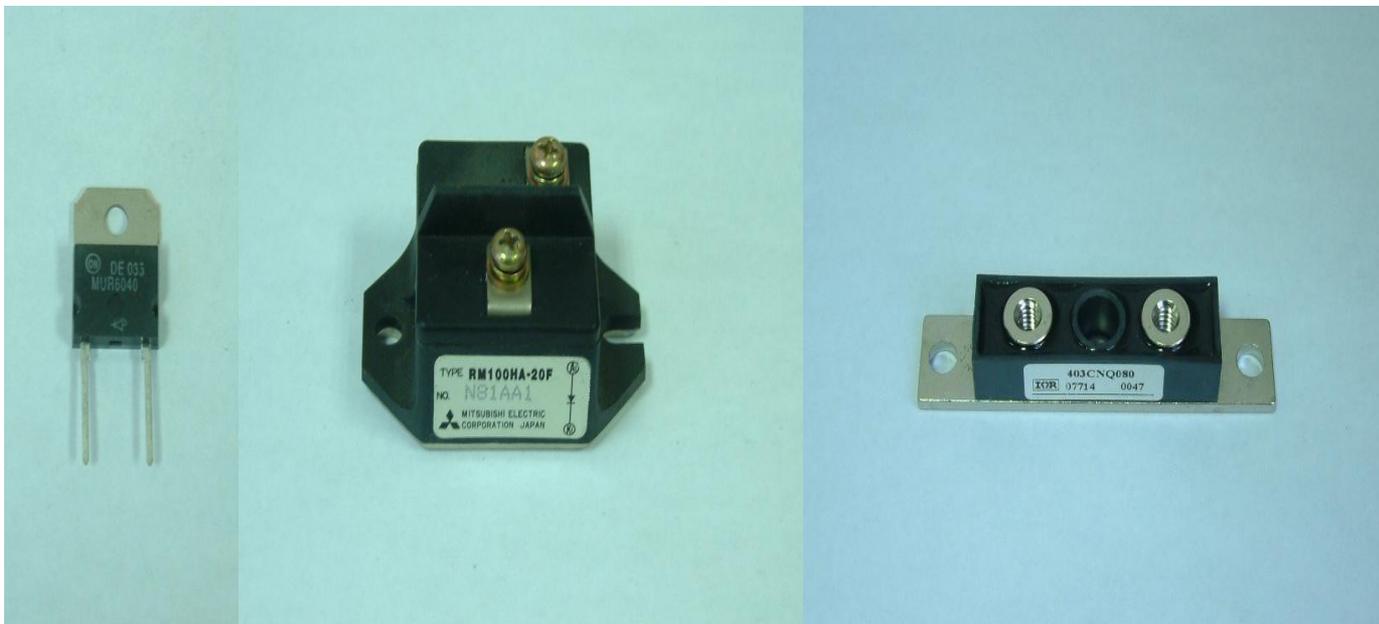
2.5.3 电力二极管的主要参数

2.5.4 电力二极管的主要类型



## 2.5 不可控器件—电力二极管 · 引言

- Power Diode 结构和原理简单，工作可靠，自 20 世纪 50 年代初期就获得应用。
- 快恢复二极管和肖特基二极管，分别在中、高频整流和逆变，以及低压高频整流の場合，具有不可替代的地位。



整流二极管及模块

## 2.5.1 PN 结与电力二极管的工作原理

- 基本结构和工作原理与信息电子电路中的二极管一样。
- 由一个面积较大的 PN 结和两端引线以及封装组成的。
- 从外形上看，主要有螺栓型和平板型两种封装。

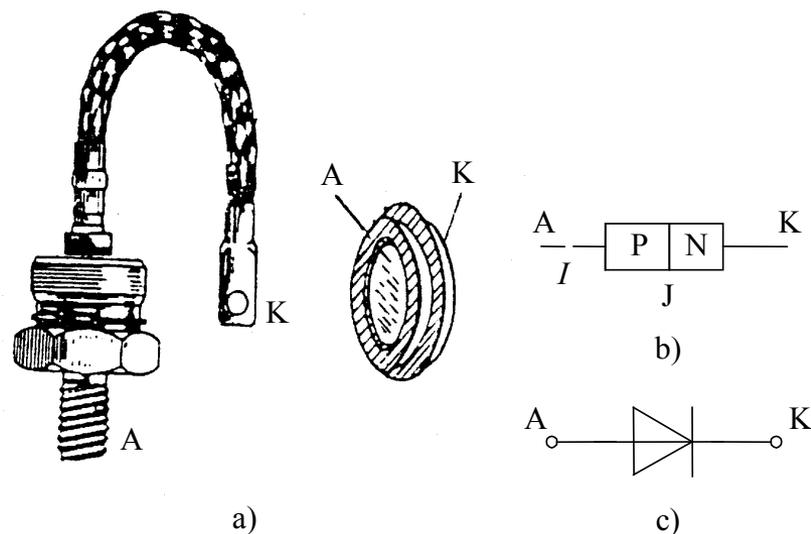


图 1-2 电力二极管的外形、结构和电气图形符号

a) 外形 b) 结构 c) 电气图形符号

## 2.5.1 PN 结与电力二极管的工作原理

### PN 结的状态

状态参数	正向导通	反向截止	反向击穿
电流	正向大	几乎为零	反向大
电压	维持 1V	反向大	反向大
阻态	低阻态	高阻态	——

二极管的基本原理就在于 PN 结的单向导电性这一主要特征。

### PN 结的反向击穿（两种形式）

- ❖ 雪崩击穿
- ❖ 齐纳击穿
- ❖ 均可能导致热击穿



## 2.5.1 PN 结与电力二极管的工作原理

### ● PN 结的电容效应：

- ⊕ PN 结的电荷量随外加电压而变化，呈现**电容效应**，称为**结电容  $C_J$** ，又称为**微分电容**。
- ⊕ 结电容按其产生机制和作用的差别分为**势垒电容  $C_B$** 和**扩散电容  $C_D$** 。
- ⊕ 电容影响 PN 结的工作频率，尤其是高速的开关状态。



## 2.5.2 电力二极管的基本特性

### 1) 静态特性

- 主要指其**伏安特性**

- ⊕ **门槛电压  $U_{TO}$** ，正向电流  $I_F$  开始明显增加所对应的电压。
- ⊕ 与  $I_F$  对应的电力二极管两端的电压即为其**正向电压降  $U_F$** 。
- ⊕ 承受反向电压时，只有微小而数值恒定的反向漏电流。

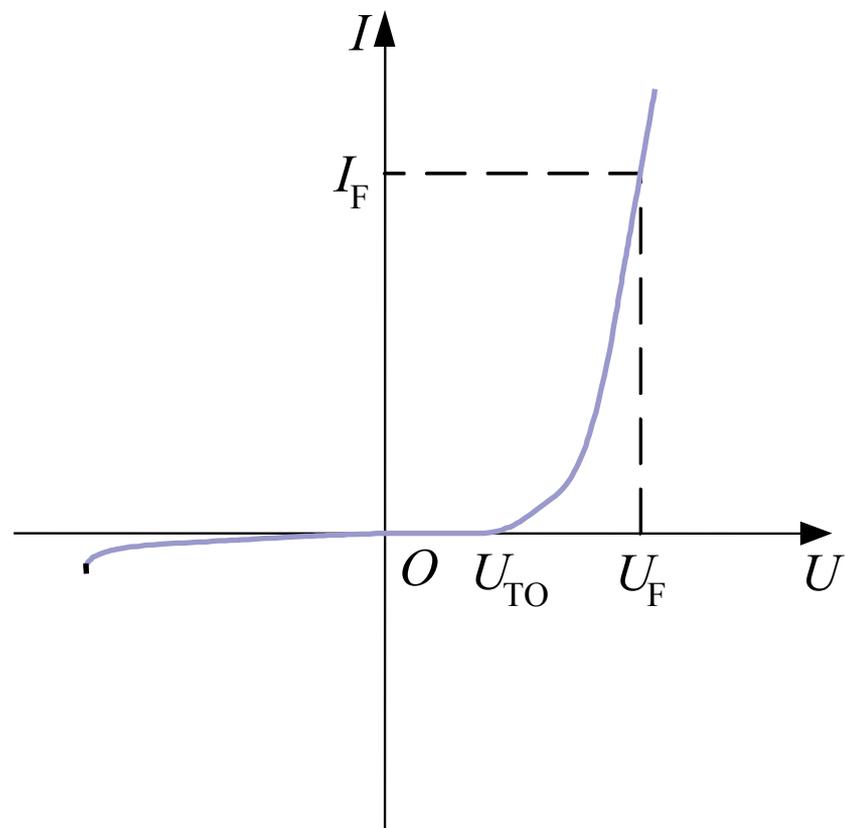


图 1-4 电力二极管的伏安特性



## 2.5.2 电力二极管的基本特性

### 2) 动态特性

—— 二极管的电压 - 电流  
特性随时间变化的  
—— 结电容的存在

延迟时间： $t_d = t_1 - t_0$ ,

电流下降时间： $t_f = t_2 - t_1$

反向恢复时间： $t_{rr} = t_d + t_f$

恢复特性的软度：下降时间与延迟时间的比值  $t_f/t_d$ ，或称恢复系数，用  $S_r$  表示。

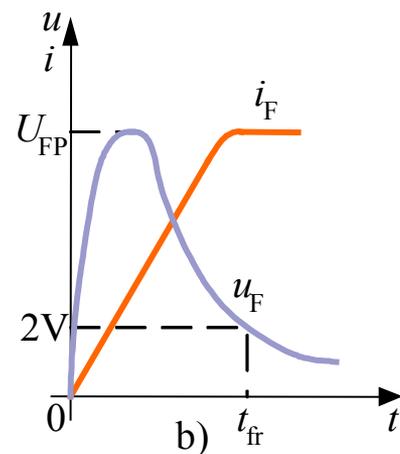
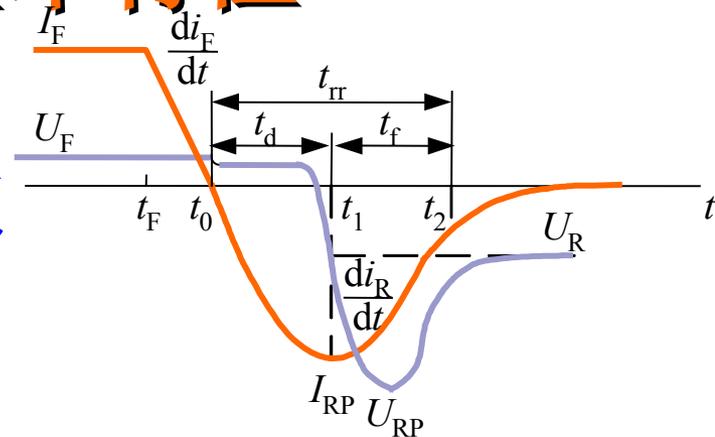


图 1-5 电力二极管的动态过程波形  
a) 正向偏置转换为反向偏置  
b) 零偏置转换为正向偏置



## 2.5.2 电力二极管的基本特性

### 关断过程

- ⊕ 须经过一段短暂的时间才能重新获得反向阻断能力，进入截止状态。
- ⊕ 关断之前有较大的反向电流出现，并伴随有明显的反向电压过冲。

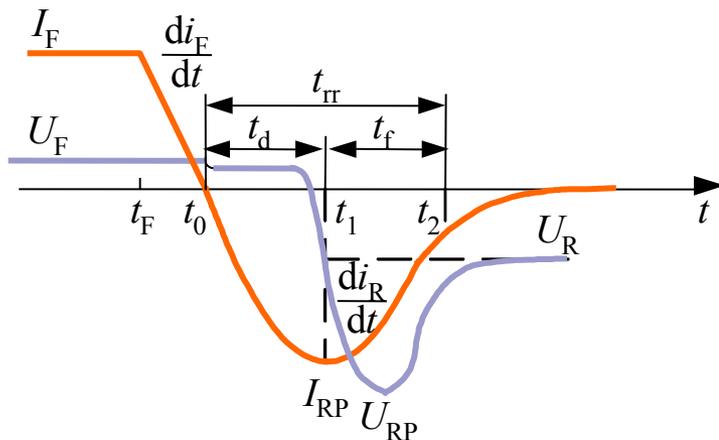


图 1-5(b) 关断过程

### 开通过程

- ⊕ 正向压降先出现一个过冲  $U_{FP}$ ，经过一段时间才趋于接近稳态压降的某个值（如  $2V$ ）。
- ⊕ 正向恢复时间  $t_{fr}$ 。
- ⊕ 电流上升率越大， $U_{FP}$  越高。

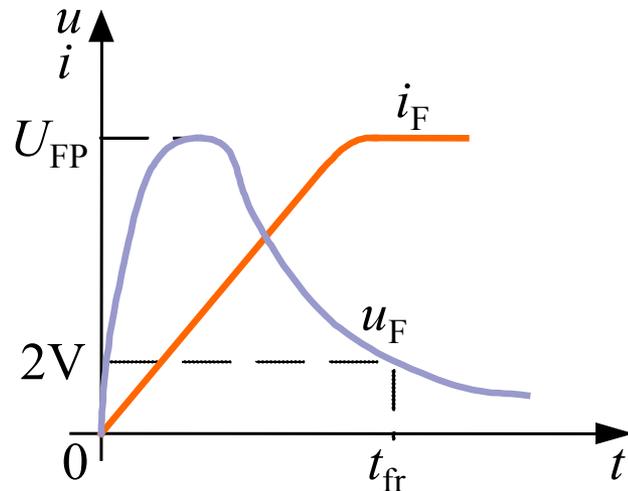


图 1-5(b) 开通过程



## 2.5.3 电力二极管的主要参数

### 1) 正向平均电流 $I_{F(AV)}$

- **额定电流**——在指定的管壳温度和散热条件下，其允许流过的最大**工频正弦半波电流**的平均值。
- $I_{F(AV)}$  是按照电流的发热效应来定义的，使用时应按**有效值相等的原则**来选取电流定额，并应留有一定的裕量。



## 2.5.3 电力二极管的主要参数

### 2 ) 正向压降 $U_F$

- 在指定温度下，流过某一指定的稳态正向电流时对应的正向压降。

### 3 ) 反向重复峰值电压 $U_{RRM}$

- 对电力二极管所能重复施加的反向最高峰值电压。
- 使用时，应当留有两倍的裕量。

### 4 ) 反向恢复时间 $t_{rr}$

- $t_{rr} = t_d + t_f$



## 2.5.3 电力二极管的主要参数

### 5) 最高工作结温 $T_{JM}$

- 结温是指管芯 PN 结的平均温度，用  $T_J$  表示。
- $T_{JM}$  是指在 PN 结不致损坏的前提下所能承受的最高平均温度。
- $T_{JM}$  通常在  $125\sim 175^\circ\text{C}$  范围之内。

### 6) 浪涌电流 $I_{FSM}$

- 指电力二极管所能承受最大的连续一个或几个工频周期的过电流。



## 2.5.4 电力二极管的主要类型

按照正向压降、反向耐压、反向漏电流等性能，特别是反向恢复特性的不同介绍。

### 1) 普通二极管（General Purpose Diode）

- 又称整流二极管（Rectifier Diode）
- 多用于开关频率不高（1kHz 以下）的整流电路
- 其反向恢复时间较长
- 正向电流定额和反向电压定额可以达到很高
- DATASHEET



## 2.5.4 电力二极管的主要类型

### 2) 快恢复二极管

( Fast Recovery Diode——FRD )

- ◆ 简称快速二极管

- ◆ 快恢复外延二极管

( Fast Recovery Epitaxial Diodes——FRED ) ,  
其  $t_{rr}$  更短 ( 可低于 50ns ) ,  $U_F$  也很低 ( 0.9V  
左右 ) , 但其反向耐压多在 1200V 以下。

- ◆ 从性能上可分为快速恢复和超快速恢复两个等级。  
前者  $t_{rr}$  为数百纳秒或更长, 后者则在 100ns 以下,  
甚至达到 20~30ns 。

- ◆ DATASHEET 1 2 3



## 2.5.4 电力二极管的主要类型

### 3. 肖特基二极管 (DATASHEET)

以金属和半导体接触形成的势垒为基础的二极管称为肖特基势垒二极管 ( Schottky Barrier Diode ——SBD )

#### ○ ● 肖特基二极管的弱点

- ✦ 反向耐压提高时正向压降会提高，多用于 200V 以下。
- ✦ 反向稳态损耗不能忽略，必须严格地限制其工作温度。

#### ● 肖特基二极管的优点

- ✦ 反向恢复时间很短 ( 10~40ns ) 。
- ✦ 正向恢复过程中也不会有明显的电压过冲。
- ✦ 反向耐压较低时其正向压降明显低于快恢复二极管。
- ✦ 效率高，其开关损耗和正向导通损耗都比快速二极管还小。

