

班级\_\_\_\_\_姓名\_\_\_\_\_学号\_\_\_\_\_

## 第 2/9 章 电力电子器件 课后复习题

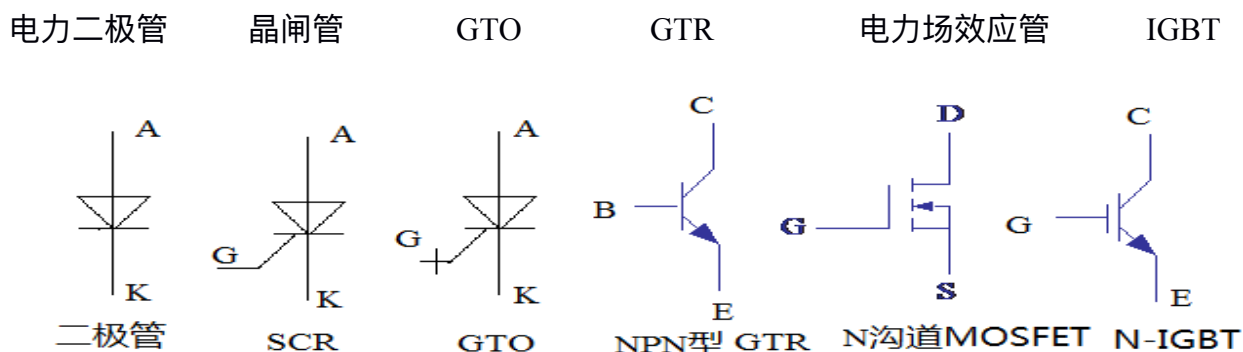
### 第 1 部分：填空题

1. 电力电子器件是直接用于\_\_主\_\_电路中，实现电能的变换或控制的电子器件。
2. 主电路是在电气设备或电力系统中，直接承担\_\_电能变换或控制任务\_\_的电路。
3. 电力电子器件一般工作在\_\_开关\_\_状态。
4. 电力电子器件组成的系统，一般由\_\_控制电路\_\_、\_\_驱动电路\_\_、\_\_主电路\_\_三部分组成，由于电路中存在电压和电流的过冲，往往需添加\_\_保护电路\_\_。
5. 按照器件能够被控制的程度，电力电子器件可分为以下三类：\_\_不可控器件\_\_、\_\_半控型器件\_\_和\_\_全控型器件\_\_。
6. 按照驱动电路信号的性质，电力电子器件可分为以下分为两类：\_\_电流驱动型\_\_和\_\_电压驱动型\_\_。
7. 电力二极管的工作特性可概括为\_\_单向导电性\_\_。
8. 电力二极管的主要类型有\_\_普通二极管\_\_、\_\_快恢复二极管\_\_、\_\_肖特基二极管\_\_。
9. 普通二极管又称整流二极管多用于开关频率不高,一般为\_\_1K\_\_Hz 以下的整流电路。其反向恢复时间较长，一般在\_\_5 $\mu$ s\_\_以上。
- 10.快恢复二极管简称快速二极管，其反向恢复时间较短，一般在\_\_5 $\mu$ s\_\_以下。
- 11.肖特基二极管的反向恢复时间很短,其范围一般在\_\_10~40ns\_\_之间。
- 12.晶闸管的基本工作特性可概括为：承受反向电压时，不论\_\_是否触发\_\_，晶闸管都不会导通；承受正向电压时，仅在\_\_门极正确触发\_\_情况下，晶闸管才能导通；晶闸管一旦导通，\_\_门极\_\_就失去控制作用。要使晶闸管关断，只能使晶闸管的电流\_\_降至维持电流以下\_\_。
- 13.通常取晶闸管的  $U_{DRM}$  和  $U_{RRM}$  中\_\_较小\_\_的标值作为该器件的额定电压。选用时，一般取为正常工作时晶闸管所承受峰值电压\_\_2~3\_\_倍。
- 14.使晶闸管维持导通所必需的最小电流称为\_\_维持电流\_\_。晶闸管刚从断态转入通态并移除触发信号后，能维持导通所需的最小电流称为\_\_擎住电流\_\_。对同一晶闸管来说，通常  $I_L$  约为  $I_H$  的称为\_\_2~4\_\_倍。
- 15.晶闸管的派生器件有：\_\_快速晶闸管\_\_、\_\_双向晶闸管\_\_、\_\_逆导晶闸管\_\_、\_\_光控晶闸管\_\_。
16. 普通晶闸管关断时间\_\_数百微秒\_\_，快速晶闸管\_\_数十微秒\_\_，高频晶闸管\_\_10 微秒\_\_左右。高频晶闸管的不足在于其\_\_电压和电流定额\_\_不易做高。
- 17.\_\_双向\_\_晶闸管可认为是一对反并联联接的普通晶闸管的集成。

18. 逆导晶闸管是将 晶闸管 反并联一个 二极管 制作在同一管芯上的功率集成器件。
19. 光控晶闸管又称光触发晶闸管, 是利用 一定波长的光照信号 触发导通的晶闸管。光触发保证了主电路与控制电路之间的 绝缘, 且可避免电磁干扰的影响。
20. GTO 的 多元 结构是为了便于实现门极控制关断而设计的。
21. GTO 的开通控制方式与晶闸管相似, 但是可以通过在门极 施加负的脉冲电流 使其关断。
22. GTO 导通过程与普通晶闸管一样, 只是导通时饱和程度 较浅, 导通时管压降 较高。
23. GTO 最大可关断阳极电流与门极负脉冲电流最大值  $I_{GM}$  之比称为 电流关断增益, 该值一般很小, 只有 5 左右, 这是 GTO 的一个主要缺点。
24. GTR 导通的条件是: 集电结正向偏置 且 基极施加驱动电流。
25. 在电力电子电路中 GTR 工作在开关状态, 在开关过程中, 在 饱和 区和 截止 区之间过渡时, 要经过放大区。
26. 电力 MOSFET 导通的条件是: 漏源极间加正电 且 栅源极间加大于开启电压的正电压。
27. 电力 MOSFET 的漏极伏安特性中的三个区域与 GTR 共发射极接法时的输出特性中的三个区域有对应关系, 其中前者的截止区对应后者的 截止区、前者的饱和区对应后者的 放大区、前者的非饱和区对应后者的 放大区。
28. 电力 MOSFET 的通态电阻具有 正 温度系数。
29. IGBT 是由 MOSFET 和 GTR 两类器件取长补短结合而成的复合器件。
30. IGBT 导通的条件是: 集、射极间加正电 且 栅、射极间加大于开启电压的正电压。
31. IGBT 的输出特性分为三个区域, 分别是: 正向阻断 区, 有源 区和 饱和 区。IGBT 的开关过程, 是在 正向阻断 区和 饱和 区之间切换。
32. IGCT 由 IGBT 和 GTO 两类器件结合而成的复合器件, 目前正在与 IGBT 等新型器件激烈竞争, 试图最终取代 GTO 在大功率场合的位置。
33. 将多个电力电子器件封装在一个模块中, 称为 功率模块。
34. 与单管器件相比, 功率模块的优点是: 体积小、成本低、可靠性高。
35. 功率集成电路将功率器件与 逻辑、控制、保护、传感、检测、自诊断 等信息电子电路制作在同一芯片上。
36. 功率集成电路实现了 电能 和 信息 的集成, 成为机电一体化的理想接口。
37. 按照载流子参与导电的情况, 可将电力电子器件分为: 单极型、双极型 和 混合型 (复合型) 三类。
38. 在如下器件: 电力二极管 (Power Diode)、晶闸管 (SCR)、门极可关断晶闸管 (GTO)、电力晶体管 (GTR)、电力场效应管 (电力 MOSFET)、绝缘栅双极型晶体管 (IGBT) 中,  
属于不可控器件的是 电力二极管,  
属于半控型器件的是 SCR,  
属于全控型器件的是 GTO, GTR, 电力 MOSFET, IGBT。

属于单极型电力电子器件的有 电力 MOSFET，  
 属于双极型器件的有 电力二极管, SCR, GTO, GTR，  
 属于复合型电力电子器件得有 IGBT，  
 在可控的器件中，容量最大的是 IGBT，  
 工作频率最高的是 电力 MOSFET，  
 属于电压驱动的是 电力 MOSFET, IGBT，  
 属于电流驱动的是 SCR, GTO, GTR。

39.画出下面电力电子器件的电气符号。



## 第 2 部分：简答题

1.电力电子器件是如何定义和分类的？同处理信息的电子器件相比，它的特点是什么？

答：电力电子器件是直接用于主电路中，实现电能的变换或控制的电子器件。它分为电真空器件和半导体器件（主要是硅半导体）。电力半导体器件按照控制程度可分为不控型器件，半控型器件，全控型器件。按驱动电路：电流驱动型，电压驱动型。

电力电子器件同处理信息的电子器件相比，它的特点是：

- 1) 处理电功率的能力一般远大于处理信息的电子器件。
- 2) 电力电子器件一般都工作在开关状态。
- 3) 电力电子器件往往需要由信息电子电路来控制。
- 4) 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.使晶闸管导通的条件是什么？

答：晶闸管导通的条件有 2 个，缺一不可，即：

- 1) 阳极与阴极之间加上正向电压；
- 2) 门极与阴极之间加上适当的正向电压。

3.维持晶闸管导通的条件是什么？怎样才能使晶闸管由导通变为关断？

答：晶闸管导通的条件是阳极电流大于维持电流。使阳极电流小于维持电流才能使晶闸管由导通变为关断

#### 4.GTO 和普通晶闸管同为 PNP 结构，为什么 GTO 能够自关断，而普通晶闸管不能？

答：GTO 和普通晶闸管同为 PNP 结构，由  $P_1N_1P_2$  和  $N_1P_2N_2$  构成两个晶体管  $V_1$ 、 $V_2$ ，分别具有共基极电流增益  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$ ，由普通晶闸管的分析可得， $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$  是器件临界导通的条件。 $\alpha_1 + \alpha_2 > 1$ ，两个等效晶体管过饱和而导通； $\alpha_1 + \alpha_2 < 1$ ，不能维持饱和导通而关断。

GTO 之所以能够自行关断，而普通晶闸管不能，是因为 GTO 与普通晶闸管在设计和工艺方面有以下几点不同：

- 1) GTO 在设计时  $\alpha_2$  较大，这样晶体管  $V_2$  控制灵敏，易于 GTO 关断；
- 2) GTO 导通时的  $\alpha_1 + \alpha_2$  更接近于 1，普通晶闸管  $\alpha_1 + \alpha_2 \geq 1.15$ ，而 GTO 则为  $\alpha_1 + \alpha_2 \approx 1.05$ ，GTO 的饱和程度不深，接近于临界饱和，这样为门极控制关断提供了有利条件；
- 3) 多元集成结构使每个 GTO 元阴极面积很小，门极和阴极间的距离大为缩短，使得  $P_2$  极区所谓的横向电阻很小，从而使从门极抽出较大的电流成为可能。

#### 5.试说明 IGBT、GTR、GTO 和电力 MOSFET 各自的优缺点。

解：对 IGBT、GTR、GTO 和电力 MOSFET 的优缺点的比较如下表：

器 件	优 点	缺 点
IGBT	开关速度高，开关损耗小，具有耐脉冲电流冲击的能力，通态压降较低，输入阻抗高，为电压驱动，驱动功率小	开关速度低于电力 MOSFET，电压，电流容量不及 GTO
GTR	耐压高，电流大，开关特性好，通流能力强，饱和压降低	开关速度低，为电流驱动，所需驱动功率大，驱动电路复杂，存在二次击穿问题
GTO	电压、电流容量大，适用于大功率场合，具有电导调制效应，其通流能力很强	电流关断增益很小，关断时门极负脉冲电流大，开关速度低，驱动功率大，驱动电路复杂，开关频率低
电 力 MOSFET	开关速度快，输入阻抗高，热稳定性好，所需驱动功率小且驱动电路简单，工作频率高，不存在二次击穿问题	电流容量小，耐压低，一般只适用于功率不超过 10kW 的电力电子装置

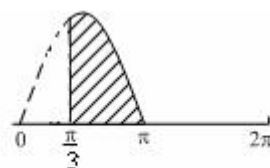
### 第 3 部分：计算题

#### 1.晶闸管在单相正弦有效值电压 220V 时工作,若考虑晶闸管的安全裕量,其电压定额应选多大？

答：考虑 2 倍安全裕量，有

$$U_{TM} = 2 \times \sqrt{2} \times 220 = 622V, \text{ 故选电压定额为 } 700V。$$

2. 流经晶闸管的电流波形如题图 1 所示, 其电流最大值为  $I_m$ 。试计算电流波形的平均值、有效值。若取安全裕量为 2, 问额定电流为 100A 的晶闸管, 其允许通过的电流平均值和最大值为多少?



题图 1 流经晶闸管的电流波形

2. 解: 设电流波形最大值为  $I_m$

$$\text{平均值为: } I_d = \frac{1}{T} \int_0^T I(t) dt = \frac{I_m}{2\pi} \int_{\pi/3}^{\pi} \sin \theta d\theta = (\cos \frac{\pi}{3} - \cos \pi) \frac{I_m}{2\pi} = \frac{3}{4\pi} I_m = 0.24 I_m$$

$$\text{有效值为: } I_{\text{有效}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [I(t)]^2 dt} = I_m \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\pi/3}^{\pi} [\sin \theta]^2 d\theta} = \sqrt{\frac{1}{16} + \frac{\sqrt{3}}{16\pi}} I_m = 0.45 I_m$$

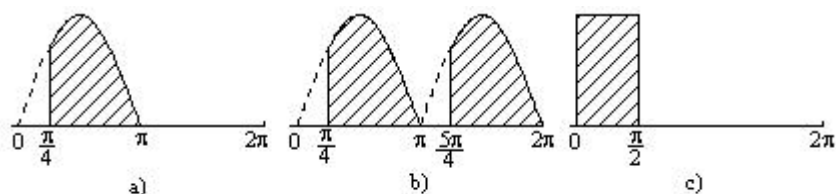
若安全裕量 2, 则  $I_{T(AV)} = 100/2 = 50 \text{ A}$

$$I_{\text{有效}} = 1.57 I_{T(AV)} = 1.57 \times 50 = 78.5 \text{ A}$$

$$\text{允许通过的电流最大值: } I_m = \frac{I_{\text{有效}}}{0.45} = 175 \text{ A}$$

$$\text{允许通过的电流平均值: } I_d = 0.24 \times 175 = 42 \text{ A}$$

3. 题图 2 中阴影部分为晶闸管处于通态区间的电流波形, 各波形的电流最大值均为  $I_m$ , 试计算各图波形的电流平均值  $I_{d1}$ 、 $I_{d2}$ 、 $I_{d3}$  与电流有效值  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ 。如果不考虑安全裕量, 问 100A 的晶闸管能送出的最大平均电流  $I_{d1}$ 、 $I_{d2}$ 、 $I_{d3}$  为多少? 这时, 相应的电流最大值  $I_{m1}$ 、 $I_{m2}$ 、 $I_{m3}$  为多少?



题图 2 晶闸管导电波形

$$\text{解: a) } I_{d1} = \frac{1}{2\pi} \int_{\pi/4}^{\pi} I_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{I_m}{2\pi} \left( \frac{\sqrt{2}}{2} + 1 \right) \approx 0.2717 I_m$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\pi/4}^{\pi} (I_m \sin \omega t)^2 d(\omega t)} = \frac{I_m}{2} \sqrt{\frac{3}{4} + \frac{1}{2\pi}} \approx 0.4767 I_m$$

$$\begin{aligned}
\text{b)} \quad I_{d2} &= \frac{1}{\pi} \int_{\frac{\pi}{4}}^{\pi} I_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{I_m}{\pi} \left( \frac{\sqrt{2}}{2} + 1 \right) \approx 0.5434 I_m \\
I_2 &= \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\frac{\pi}{4}}^{\pi} (I_m \sin \omega t)^2 d(\omega t)} = \frac{\sqrt{2} I_m}{2} \sqrt{\frac{3}{4} + \frac{1}{2\pi}} \approx 0.6741 I_m \\
\text{c)} \quad I_{d3} &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} I_m d(\omega t) = \frac{1}{4} I_m \\
I_3 &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} I_m^2 d(\omega t)} = \frac{1}{2} I_m
\end{aligned}$$

额定电流  $I_{T(AV)}=100\text{A}$  的晶闸管，允许的电流有效值  $I=157\text{A}$ ，由上题计算结果知

$$\begin{aligned}
\text{a)} \quad I_{m1} &\approx \frac{I}{0.4767} \approx 329.35, & I_{d1} &\approx 0.2717 I_{m1} \approx 89.48 \\
\text{b)} \quad I_{m2} &\approx \frac{I}{0.6741} \approx 232.90, & I_{d2} &\approx 0.5434 I_{m2} \approx 126.56 \\
\text{c)} \quad I_{m3} &= 2 I = 314, & I_{d3} &= \frac{1}{4} I_{m3} = 78.5
\end{aligned}$$