

工科课程**提高与应试**丛书

- 涵盖课程重点及难点
- 精设典型题详解及评注
- 选配课程考试模拟及全真试卷

吴小华 李玉忍 杨 军 编

电力电子技术

典型题解析及自测试题



西北工业大学出版社

工科课程提高与应试丛书

电力电子技术 典型题解析及自测试题

编者 吴小华 李玉忍 杨军

西北工业大学出版社

【内容提要】 本书共分两部分,第一部分共有四章,分别介绍了开关管、可控整流电路、逆变电路和直流-直流变换器,各章分为内容提要 and 典型题解析;第二部分为自测题。附录中给出了习题和自测题答案及部分电路公式。

本书可作理工类院校有关专业师生的参考书,对报考硕士学位研究生的考生也具有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子技术典型题解析及自测试题/吴小华,李玉忍,杨军编. —西安:西北工业大学出版社,2001.11

(工科课程提高与应试丛书)

ISBN 7-5612-1420-0

I. 电… II. ①吴… ②李… ③杨… III. 电力电子学-高等学校-教学参考资料 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 078351 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072 电话:029-8493844

网 址: <http://www.nwpup.com>

印刷者:西北工业大学出版社印刷厂

开 本:850 mm×1168 mm 1/32

印 张:5.625

字 数:138 千字

版 次:2002 年 3 月第 1 版 2002 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1~8 000 册

定 价:8.00 元

前 言

电力电子技术是一种应用大功率半导体器件实现对工业电能的变换和控制技术。近年来电力电子技术发展异常迅速,新型元器件层出不穷,新的控制技术不断涌现,应用领域也不断扩大。电力电子技术在自动化生产、节能、生物医学工程、信息技术和家用电器等多方面的应用日益广泛。

在大专院校电气自动化专业中,“电力电子技术”已成为一门重要的专业课程和研究方向,但学生在学习本课程的过程中,普遍反映该课程的练习题求解较困难,因此特编此习题集,以帮助学生牢固掌握基础知识,同时提高分析问题能力。书中内容第一部分为电力电子技术典型题解析,包括内容提要、例题和习题;第二部分为四套自测题;书后附录为习题和自测题答案及部分电路公式。

本书为大中专院校、成人学校相关专业学生提供一本较为实用的学习参考书;为任课老师提供一份较为实用的教学参考资料;为电大、函大、夜大等自修性学员提供自我考评的方便工具;特别是对报考硕士学位研究生的考生,本书具有一定的参考价值。

本书第一部分第一、二、三章由吴小华编写,第四章和第二部分由李玉忍编写,附录由杨军编写,林辉教授担任主审。编者感谢王谦、魏佳、石俊斌、陆小洁等研究生,他们参与了本书大量的文字和校对工作,为本书顺利出版付出了辛勤的劳动。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,恳切希望广大师生批评指正,编者将不胜感谢。

编 者

2001年8月于西北工业大学

目 录

第一部分 典型题解析

第一章 电力开关器件.....	1
一、内容提要.....	1
二、典型题解析.....	3
三、习题	10
第二章 整流电路	12
一、内容提要	12
二、典型题解析	13
三、习题	93
第三章 逆变电路	95
一、内容提要	95
二、典型题解析	97
三、习题.....	128
第四章 直流-直流变换电路	130
一、内容提要.....	130
二、典型题解析.....	132
三、习题.....	147

第二部分 自测试题

自测试题一.....	149
自测试题二.....	150
自测试题三.....	152
自测试题四.....	155

附 录

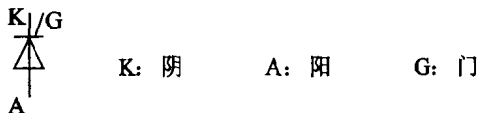
附录 I 习题与自测试题答案.....	159
习题答案.....	159
自测试题答案.....	161
附录 II	163
表一 单相可控整流电路.....	163
表二 三相可控整流电路.....	169
参考文献.....	174

第一部分 典型题解析

第一章 电力开关器件

一、内 容 提 要

1. 普通晶闸管结构是四层(PNPN)三端(A. G. K)半导体器件,属半控型开关管,外形有螺栓形和平板形,符号为



2. 普通晶闸管导通和关断条件:

晶闸管导通必须同时具备以下两个条件:一是晶闸管的阳极、阴极之间加正向阳极电压;二是晶闸管的门极、阴极之间加适当正向门极电压和电流。

晶闸管由导通变为关断的条件是使流过晶闸管的阳极电流降至其维持电流以下,具体方法是使晶闸管阳极与阴极之间承受反向电压。

3. 晶闸管的工作原理(略)。

4. 晶闸管的主要参数:

晶闸管的通态平均电流 $I_{T(AV)}$ 的定义:在环境温度为 $+40^{\circ}\text{C}$ 和规定的冷却条件下,晶闸管在导通角不小于 170° 的电阻性负载

电路中,在额定结温下,所允许通过的工频正弦半波电流的平均值。将该电流按晶闸管标准电流系列取整数值,即为该晶闸管的通态平均电流。在实际电路中,流过晶闸管的电流可能是任意的非正弦波,应根据电流有效值相等即发热相同的原则,将非正弦半波电流的有效值 I_T 折合成等效的正弦半波电流平均值去选择晶闸管额定值,即

$$I_T = K_f I_d = 1.57 I_{T(AV)}$$

式中, K_f 为非正弦波的波形系数。

其他参数有额定电压、维持电流、擎住电流等。

5. 如何计算任意波形的电压或电流的平均值和有效值:

可根据平均值、有效值的定义来求出。设 $f(\theta)$ 为表示电压或电流的周期函数,则它在 $\theta_1 - \theta_2$ 期间的平均值和有效值用下式表示:

$$\begin{aligned} \text{平均值为} \quad & \frac{1}{\theta_2 - \theta_1} \int_{\theta_1}^{\theta_2} f(\theta) d\theta \\ \text{有效值为} \quad & \sqrt{\frac{1}{\theta_2 - \theta_1} \int_{\theta_1}^{\theta_2} f^2(\theta) d\theta} \end{aligned}$$

6. 晶闸管的选取:

主要包括额定电压、额定电流参数两部分。额定电压参数的选取主要是根据晶闸管所承受的最大电压,再根据要求乘以电压安全裕量系数;额定电流参数的选取主要是根据晶闸管电流的通态平均值,再根据要求乘以电流安全裕量系数即可。根据计算的电压和电流的数值,及生产厂家提供的晶闸管的参数表,就可确定所选晶闸管的型号。

7. 全控型器件包括双极型晶体管(GTR)、功率场效应管(MOSFET)、绝缘栅极双极型晶体管(IGBT)、MOS 控制晶闸管(MCT)等,要求掌握它们的工作原理、开关特性及对驱动电路的要求。

8. 各开关管保护电路的工作原理。

二、典型题解析

例 1.1 晶闸管导通的条件是什么? 怎样使晶闸管由导通变为关断?

答 晶闸管导通条件是:

(1) 晶闸管阳极和阴极之间施加正向阳极电压。

(2) 晶闸管门极和阴极之间必须加上适当的正向脉冲电压和电流。

在晶闸管导通后, 门极就失去控制作用, 欲使之关断, 只需将流过晶闸管的电流减小到其维持电流以下, 可采用阳极电压反向、减小阳极电压或增大回路阻抗等方式。

例 1.2 单向正弦交流电源, 其电压有效值为 220 V, 晶闸管和电阻串联相接, 试计算晶闸管实际承受的正、反向电压最大值是多少? 考虑晶闸管的安全裕量, 其额定电压如何选取?

解 晶闸管所承受的正、反向电压最大值为输入正弦交流电源电压的峰值: $\sqrt{2} \times 220 \approx 311.13 \text{ V}$; 取晶闸管的安全裕量为 2, 则晶闸管额定电压不低于 $2 \times 311.13 \approx 622 \text{ V}$ 。

例 1.3 如图 1-1 所示电路中, $E=50 \text{ V}$, $R=0.5 \Omega$, $L=0.5 \text{ H}$, 晶闸管的擎住电流为 15 mA, 要使晶闸管导通, 门极触发电流脉冲宽度至少应为多少?

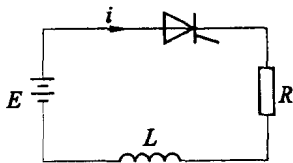


图 1-1 例 1.3 电路图

解 当晶闸管门极有触发信号时, 则晶闸管导通, 回路方程为

$$L \frac{di}{dt} + Ri = E$$

$$i = \frac{E}{R} (1 - e^{-\frac{t}{T_i}})$$

晶闸管要维持导通状态, i 需达到其擎住电流以上, 在此之前必须, 一直给门极施加触发电流信号, 因此

$$\frac{50}{0.5} (1 - e^{-t}) \geq 15 \times 10^{-3}$$

$$t > 150 \times 10^{-6} \text{ s} = 150 \mu\text{s}$$

所以门极触发电流脉冲宽度最小也要大于 $150 \mu\text{s}$

例 1.4 图 1-2 为晶闸管调试试电路, 在断开 R_d 测量输出电压 U_d 是否正确可调时, 发现电压表读数不正常, 接上 R_d 后一切正常, 为什么?

答 当 Q 断开时, 由于电压表内阻很大, 即使晶闸管门极加触发电号, 此时流过晶闸管阳极电流仍

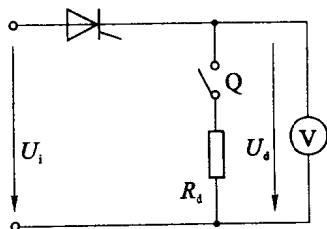


图 1-2 例 1.4 电路图

小于擎住电流, 晶闸管无法导通, 电压表上显示的读数只是管子漏电流形成的电阻与电压表内阻的分压值, 所以此读数不准。在 Q 合上以后, R_d 接入电路, 晶闸管能正常导通, 电压表的读数才能正确显示。

例 1.5 用万用表怎样区分晶闸管阳极(A)、阴极(K)和门极(G)? 判断晶闸管的好坏有哪些简单实用的方法?

答 可用万用表测量晶闸管三个极间的电阻。管子阳、阴极间的正反向电阻接近无穷大, 门极与阴极间电阻值约为几百欧, 并且 G-K 间阻值略小于 K-G 间阻值。

判断晶闸管好坏的方法有

(1) 用万用表可以初步判断好坏, 如上面讲的各极间的阻值状况。

(2) 用 6 V 电源(干电池或直流稳压电源)作为阳极电源,接成如图 1-3 所示线路,如果按下开关 Q 后,灯亮,说明管子是好的。

(3) 用晶闸管测试仪测量管子正反向伏安特性。

例 1.6 螺栓式与平板式晶闸管拧紧在散热器上,是否拧得越紧越好?

答 元件拧在散热器上,拧得越紧,散热效果越好。但是,螺栓式元件在螺栓的六角上加力旋紧时,底座与硅片之间将产生应力,应力大时会引起硅片损坏,所以拧紧时,不可加力太大。

例 1.7 图 1-4 中阴影部分分别表示流过晶闸管的电流波形,其最大值为 I_m 。

(1) 试计算晶闸管的电流平均值 I_d ,有效值 I_T 及波形系数 K_f ;

(2) 选用 KP-100 型晶闸管,不考虑安全裕量。试计算上述 4 种电流波形下晶闸管能承受的平均电流是多少? 对应的电流最大值 I_m 各是多少?

$$\text{解 (1) (a) } I_d = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi I_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{I_m}{\pi} \approx 0.32 I_m$$

$$I_T = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^\pi (I_m \sin \omega t)^2 d(\omega t)} = \frac{I_m}{2}$$

$$K_f = \frac{0.5 I_m}{0.32 I_m} = 1.57$$

根据通态平均电流的定义,此处求出的 I_d 即为通态平均电流 $I_{T(AV)}$ 。

$$(b) \quad I_d = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi I_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2}{\pi} I_m \approx 0.64 I_m$$

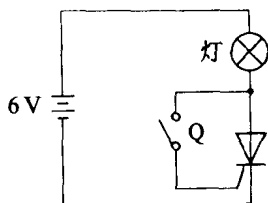


图 1-3 例 1.5 电路图

$$I_T = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} (I_m \sin \omega t)^2 d(\omega t)} = I_m / \sqrt{2} = 0.71 I_m$$

$$K_f = \frac{I_T}{I_d} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1.11$$

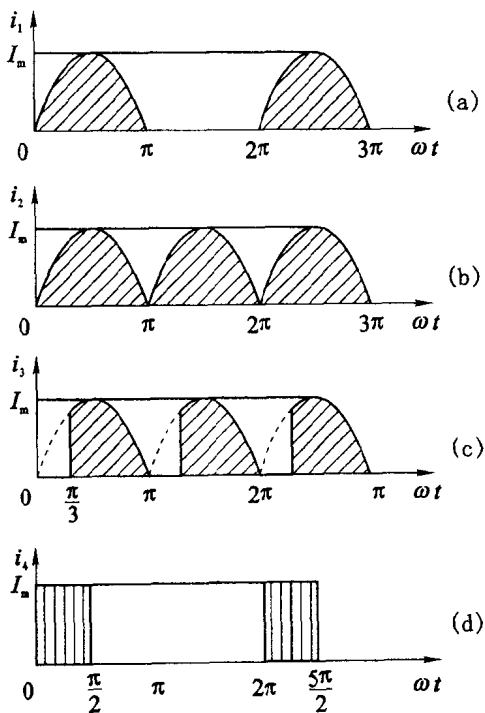


图 1-4 例 1.7 波形图

$$(c) \quad I_d = \frac{1}{\pi} \int_{\pi/3}^{\pi} \sin \omega t d(\omega t) = \frac{3}{2\pi} I_m \approx 0.48 I_m$$

$$I_T = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\pi/3}^{\pi} (I_m \sin \omega t)^2 d(\omega t)} \approx 0.63 I_m$$

$$K_f = \frac{I_T}{I_d} = \frac{0.63 I_m}{0.48 I_m} \approx 1.3$$

$$(d) \quad I_d = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} I_m d(\omega t) = \frac{1}{4} I_m$$

$$I_T = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} I_m^2 d(\omega t)} \approx \frac{1}{2} I_m$$

$$K_f = \frac{I_T}{I_d} = 2$$

(2) 若选用 KP-100 型晶闸管, 则 $I_{T(AV)} = 100$ A, 其有效值

$$I_k = 1.57 I_{T(AV)} = 157$$
 A

(a) 由 $I_T = I_k$, 得 $\frac{1}{2} I_m = 157$ A, 则 $I_m = 314$ A, $I_d = 100$ A

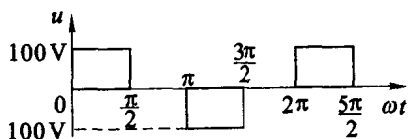
(b) $I_T = \frac{1}{\sqrt{2}} I_m$, 则 $\frac{1}{\sqrt{2}} I_m = 157$, $I_m \approx 222$ A, $I_d \approx 141$ A

(c) $I_T \approx 0.63 I_m$, 则 $0.63 I_m = 157$ A, $I_m \approx 250$ A, $I_d \approx 120$ A

(d) $I_T = \frac{1}{2} I_m$, 则 $\frac{1}{2} I_m = 157$ A, $I_m = 314$ A, $I_d = 78.5$ A

结论 晶闸管的电流波形不同(即使波形相同但导通角不同), 其允许通过的电流平均值及其峰值均不同。

例 1.8 试求图 1-5 中电压波形的平均值及其有效值。



(a)



(b)

图 1-5 例 1.8 波形图

$$\text{解 (a)} \quad U_d = \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{\frac{\pi}{2}} 100 d(\omega t) + \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}} (-100) d(\omega t) \right] = 0 \text{ V}$$

$$U = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{\frac{\pi}{2}} 100^2 d(\omega t) + \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}} (-100)^2 d(\omega t) \right]} = 70.7 \text{ V}$$

说明 此电压信号的平均值为零,表明它不含直流分量。

$$(b) \quad U_d = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} 100 d(\omega t) = 25 \text{ V}$$

$$U = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} 100^2 d(\omega t)} = 50 \text{ V}$$

例 1.9 试述双极型晶体管产生二次击穿的原因。

答 当 GTR 的 C、E 极间施加的电压高于晶体管的电压的额定值时, GTR 的电流雪崩式增加,称为一次击穿。如果对雪崩电流加以限制,击穿后引起的损耗使 GTR 的结温未超过最大允许结温,一般不会引起管子的损坏。如若击穿电流变大,使结温进一步升高,会产生二次击穿,结果是在纳秒或微秒时间内器件永久性损坏。

例 1.10 已知双极型晶体管 $U_{ce} = 200 \text{ V}$, $t_f = 0.2 \mu\text{s}$, $t_r = 0.05 \mu\text{s}$, 变换器工作频率 1000 kHz , 晶体管集电极电流 $I_c = 2 \text{ A}$, 求如图 1-6 所示的缓冲器 RC 的有关参数。

解 在关断时,根据经验公式,能量为

$$\frac{I_c U_{ce} (t_r + t_f)}{2} = \frac{1}{2} C U_{ce}^2$$

解得电容

$$C = \frac{I_c (t_r + t_f)}{U_{ce}} = \frac{2(0.05) + 0.2}{200} \approx 0.0025 \text{ F}$$

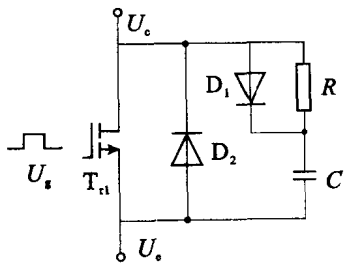


图 1-6 例 1.10 图

取 $C = 2.2 \text{ mF}$

假如 t_{ON} 是整个周期时间的 40%, 则

$$t_{\text{ON}} = \frac{1}{100 \times 10^3} \times 0.4 = 4 \mu\text{s}$$

在选择 RC 时, 使电容在每次导通时间 t_{ON} 中, 可放完电。

假如 3 倍时间参数可以放完, 则

$$3RC = t_{\text{ON}}, R = \frac{t_{\text{ON}}}{3C} = \frac{4 \times 10^{-6}}{3 \times 0.0022 \times 10^{-6}} = 606 \Omega$$

取 $R = 610 \Omega$, 此处所取的电阻值, 必须限制放电电流 I_{dis} 只是集电极电流 I_c 的 $\frac{1}{4}$, 则

$$I_{\text{dis}} = \frac{U_{\text{ce}}}{R} > 0.25 I_c$$

检查放电电流
$$I_{\text{dis}} = \frac{U_{\text{ce}}}{R} = \frac{200}{610} = 0.328 \text{ A}$$

此电流小于 $\frac{1}{4} I_c$, 取 $R = 610 \Omega$ 合理。

计算电阻功耗

$$P_R = \frac{1}{2} C U_{\text{ce}}^2 f = \frac{(0.0022 \times 10^{-6}) \times 200^2 \times 100 \times 10^3}{2} = 5 \text{ W}$$

最终所求参数为

$C = 2.2 \text{ mF}$ (耐压为 200 V), $R = 610 \Omega$ (功率为 5 W)

例 1.11 全控型开关器件: GTR, IGBT, MOSFET, 达林顿管中属于电流型驱动的开关管的是哪几种? 属于电压型驱动的是哪几种?

答 属于电流型驱动: GTR、达林极管。

属于电压型驱动: IGBT, MOSFET。

例 1.12 全控型开关器件的缓冲电路的主要作用是什么?

答 在开关器件关断时, 由于电路中有电感的存在, 会在器件

上产生很高的过电压和 $\frac{du}{dt}$, 对器件的安全运行带来很大的威胁, 特别是 GTR, 还可造成反向偏置二次击穿。为防止过电压和减小 $\frac{du}{dt}$, 常设置缓冲电路。

例 1.13 试说明 GTR, MOSFET 和 IGBT, MCT 各自优点和缺点。

答 GTR 的容量中等, 工作频率一般在 10 kHz 以下, 属电流控制型器件, 所需驱动功率较大。

MOSFET 器件容量较小, 工作频率最高, 可达 100 kHz 以上, 属电压控制型器件, 所需驱动功率最小, 但其通态压降大, 开通损耗相应较大。

IGBT 的容量和 GTR 的容量属同一等级, 但属电压控制型器件, 驱动功率小, 工作频率高, 有取代 GTR 之势。

MCT 阻断电压高, 通态压降小, 驱动功率低, 开关速度快, 在所有器件中最有发展前途。

三、习 题

1. 型号为 KP100-3, 维持电流 $I_H = 4 \text{ mA}$ 晶闸管使用在图 1-7 中的电路是否合理, 为什么? (暂不考虑电压、电流裕量)

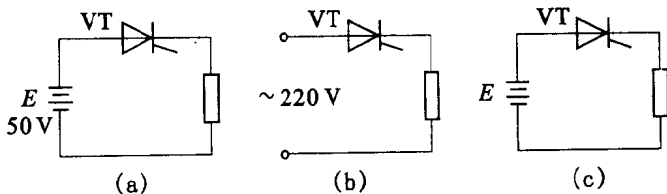


图 1-7 题 1 图

2. 有些晶闸管触发导通后, 触发脉冲结束时它又关断是什么原因?
3. 晶闸管在关断时突然损坏, 有哪些可能的原因?
4. 晶闸管导通时, 流过晶闸管的电流大小取决于什么? 晶闸管阻断时, 其承受的电压大小取决于什么?
5. 为什么要考虑断态电压上升率 du/dt 和通态电流上升率 di/dt ?
6. 如图 1-8 所示, U 为正弦交流电压的有效值, VD 为二极管, 忽略 VD 的正向压降及反向电流的情况下, 求交流电压表 V 和直流电流表 A 的读数。

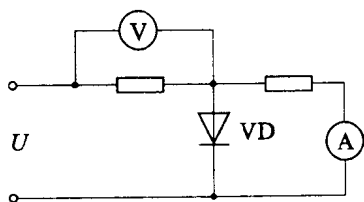


图 1-8 题 6 图

7. 什么信号可做晶闸管的门极控制信号?