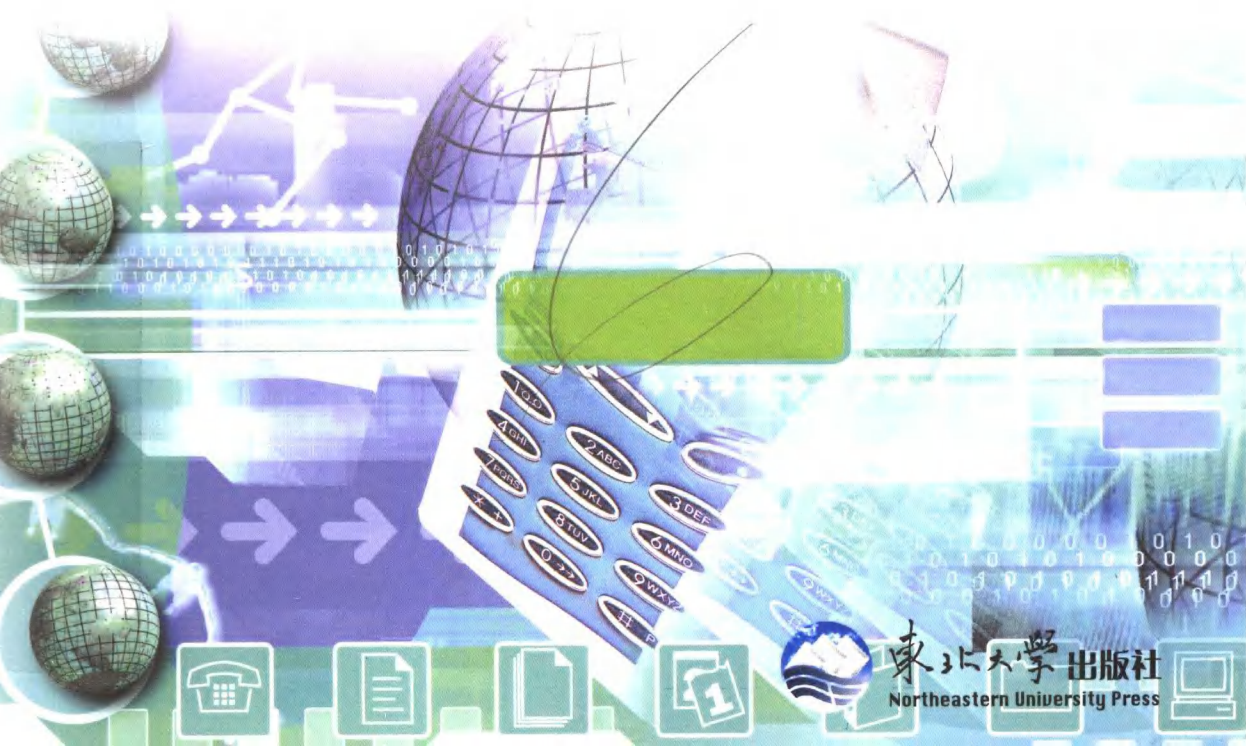


电力电子技术习题解答、 实验与课程设计指导

陈 哲 编



东北大学出版社
Northeastern University Press

TM1/168

2007

电力电子技术习题解答、 实验与课程设计指导

陈 哲 编

东北大学出版社

• 沈 阳 •

© 陈哲 2007

图书在版编目 (CIP) 数据

电力电子技术习题解答、实验与课程设计指导 / 陈哲编. — 沈阳 : 东北
大学出版社, 2007.10

ISBN 978-7-81102-448-7

I. 电… II. 陈… III. 电力电子学—高等学校: 技术学校—教学参考资料 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 126596 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress.com

http: // www. neupress. com

印 刷 者: 沈阳市政二公司印刷厂

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 170mm × 228mm

字 数: 265 千字

印 张: 11.5

出版时间: 2007 年 10 月第 1 版

印刷时间: 2007 年 10 月第 1 次印刷

责任编辑: 张德喜

责任校对: 何 云

封面设计: 唐敏智

责任出版: 杨华宁

ISBN 978-7-81102-448-7

定 价: 30.00 元

前 言

随着科学技术的发展,电气自动化技术已被广泛地应用于国民经济发展中的各个领域。随着电气自动化技术的广泛应用,电力电子技术发展异常迅速,新型器件层出不穷,应用领域不断扩大,电力电子技术在生产自动化、节能降耗、日用电器等多方面越来越产生着举足轻重的影响。电力电子技术包括:电力电子器件、电力电子电路和控制技术三个部分。重点研究的电力电子电路有:①直流变换电路(开关型DC/DC变换电路或称直流斩波器);②逆变电路(有源逆变、无源逆变);③整流电路;④交流变换电路。从1956年第一支普通晶闸管诞生之日起,半个世纪以来,电力电子技术得到了迅猛的发展。目前,电力电子技术已经广泛地应用于工业部门及生活领域。电力电子技术将电子技术和控制技术引入传统的电力技术领域,利用半导体电力开关器件组成各种电力变换电路,实现电能的变换和控制,构成了一门完整的学科,被国际电工委员会命名为电力电子学(Power Electronics)或称为电力电子技术。作为电力电子技术的基础器件,晶闸管及其应用已成为十分普及的实用技术。

《电力电子技术习题解答、实验与课程设计指导》是针对广大学生在电力电子技术实际应用中遇到的各种问题编写而成。编写时,考虑到社会需求的广泛性和实用性,力求简单明确、通俗易懂。为拓宽学生思路,书中提供了部分更深层次的学习参考资料,同时有利于指导学生综合运用课程中所学的知识和技能去独立完成某个设计项目,以激发和提高学生独立思考问题和解决问题的能力。书中编写了大量习题并给出答案,供学生参考和自学之用。通过本书,可以巩固学生所学过的知识,提高他们分析问题和实际应用的能力。

在大学本科、专科电气自动化专业以及电大、职大、业大等各类成人学校的相关专业中,“电力电子技术”已成为一门实践性很强的专业课程。各校普遍安排了实验和课程设计等综合实践环节,在教学中占有相当比重。本书的编写旨在进一步促进理论联系实际,有效培养学生灵活运用基础知识的能力,提高分析、设计能力。全书主要内容分为三大部分:第一部分为电力电子技术习题解答;第二部分为电力电子技术实验指导;第三部分为电力电子技术课程设计指导。本书的习题解答部分,依据《电力电子技术》(第4版)(西安交通大学王兆安、黄俊主编,机械工业出版社2000年出版)的章节顺序,编写了填

空题、判断题、选择题、问答题及应用设计等5种题型共计195道。题例以紧密联系基础知识为主,精选了各类大中专教材典型题目,部分题例和练习选自国外教材。各种题型中的题目有易有难,有一般概念题,也有提高分析题和应用设计题。本书中还选用了上述教材以外的部分习题,以加强培养学生的读图能力和分析问题的能力。本书的实验指导部分给出了十一个常用的实验。按一般设计步骤的顺序,本书的课程设计指导部分介绍了设计原则、要求和方法。为便于读者理论联系实际,还举出了两个设计实例。

本书的编写意图在于为任课教师提供一份补充性的教学参考资料;为大中专有关专业的学生提供一本较实用的参考书;本书也可供广大维修电工、电气技师和工程技术人员参考。

本书由沈阳大学陈哲主编,省新闻出版学校白春奎任副主编。在编写本书的过程中,除了得到沈阳大学信息学院领导和老师的热心帮助外,还得到了各兄弟学校相关专业的领导和老师的大力支持。这里,谨向上述同志的热情支持与帮助表示衷心的感谢。同时,编者也特别要向关心本书出版、热心提供资料的单位及个人表示衷心的感谢。

本书中的习题都是在《电力电子技术》的教学过程中长期使用的,并经精心整理而成。尽管在编写中我们做了很大努力,但囿于编者水平,书中难免存在着差错和不妥之处,诚恳欢迎使用本书的师生与其他读者批评指正。

编 者

2007年3月

目 录

前 言

第一部分 习题解答	1
第1章 电力电子器件	3
第2章 整流电路	7
第3章 直流斩波电路	30
第4章 交流电力控制电路和交交变频电路	36
第5章 逆变电路	41
第6章 PWM 控制技术	44
第7章 软开关技术	47
第8章 组合变流电路	50
第二部分 实 验	53
第1章 电力电子技术实验教学大纲	55
第2章 电力电子技术实验指导书	58
第3章 电力电子技术实验装置	97
第4章 万用表的使用与测量	108
第三部分 课程设计	111
第1章 电力电子技术课程设计大纲	113
第2章 电力电子技术课程设计指导书	115
第3章 电力电子技术课程设计实例	123
附录 A 电力电子技术模拟试卷 (1)	156
附录 B 电力电子技术模拟试卷 (2)	160
附录 C 电力电子技术模拟试卷 (3)	165
附录 D 电力电子技术课程教学大纲	169
参考文献	175

第一部分 习题解答

- 第 1 章 电力电子器件
- 第 2 章 整流电路
- 第 3 章 直流斩波电路
- 第 4 章 交流电力控制电路和交交变频电路
- 第 5 章 逆变电路
- 第 6 章 PWM 控制技术
- 第 7 章 软开关技术
- 第 8 章 组合变流电路

第 1 章 电力电子器件

1-1 晶闸管导通的条件是什么？

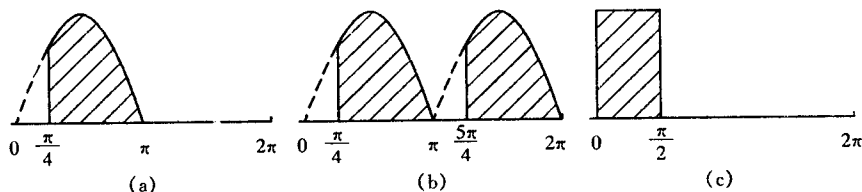
答：晶闸管导通条件：①阳极与阴极之间加正向电压；②门极与阴极之间也同时加上足够大的正向电压。

1-2 维持导通的条件是什么？怎样才能使晶闸管由导通变关断？

答：维持导通条件：阳极电流大于维持电流 I_H 。

使其由导通变关断：通过减小阳极电压或增大回路电阻的方式，使其阳极电流小于维持电流，使阳极电流 I_A 下降到维持电流 I_H 以下时，晶闸管内部建立的正反馈无法进行。晶闸管即关断。导通后流过晶闸管的电流由负载阻抗决定，负载上电压由输入阳极电压 U_A 决定。

1-3 图题 1-3 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 。



图题 1-3 晶闸管导电波形

$$\begin{aligned} \text{答: (a) 图: } I_{d1} &= \frac{1}{2\pi} \int_{\pi/4}^{\pi} I_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{I_m}{2\pi} [-\cos \omega t]_{\pi/4}^{\pi} \\ &= \frac{2 + \sqrt{2}}{4\pi} \cdot I_m \approx 0.2717 I_m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_1 &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\pi/4}^{\pi} I_m^2 \sin^2 \omega t d(\omega t)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \int_{\pi/4}^{\pi} \left(\frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \right) d(\omega t)} \\ &= \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \left[\frac{1}{2} \left(\pi - \frac{\pi}{4} \right) - \frac{1}{4} \int_{\pi/4}^{\pi} \cos 2\omega t d(2\omega t) \right]} \\ &= \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \left[\frac{3\pi}{8} - \frac{1}{4} \left(\sin 2\pi - \sin \frac{\pi}{2} \right) \right]} = \sqrt{\frac{3}{16} + \frac{1}{8\pi}} \cdot I_m \approx 0.4767 I_m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(b) 图: } I_{d_2} &= \frac{1}{\pi} \int_{\frac{\pi}{4}}^{\pi} I_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{I_m}{\pi} [-\cos \omega t]_{\frac{\pi}{4}}^{\pi} \\ &= \frac{2 + \sqrt{2}}{2\pi} \cdot I_m \approx 0.5434 I_m \end{aligned}$$

$$I_2 = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\frac{\pi}{4}}^{\pi} I_m^2 \sin^2 \omega t d(\omega t)} = \sqrt{\frac{3}{8} + \frac{1}{4\pi}} \cdot I_m \approx 0.6741 I_m$$

$$\text{(c) 图: } I_{d_3} = \frac{I_m \times \frac{\pi}{2}}{2\pi} = \frac{I_m}{4}, \quad I_3 = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \times I_m^2 \times \frac{\pi}{2}} = \frac{I_m}{2}$$

1-4 上题中如果不考虑安全裕量, 问 100A 的晶闸管能送出的平均电流 I_{d_1} , I_{d_2} , I_{d_3} 各为多少? 这时, 相应的电流最大值 I_{m_1} , I_{m_2} , I_{m_3} 各为多少?

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

$$\text{(a) } I_{m_1} \approx \frac{I}{0.4767} \approx 329.35 A, \quad I_{d_1} \approx 0.2717 I_{m_1} \approx 89.48 A$$

$$\text{(b) } I_{m_2} \approx \frac{I}{0.6741} \approx 232.90 A, \quad I_{d_2} \approx 0.5434 I_{m_2} \approx 126.56 A$$

$$\text{(c) } I_{m_3} = 2I = 314 A, \quad I_{d_3} = \frac{1}{4} I_{m_3} = 78.5 A$$

1-5 请简述晶闸管的关断时间定义。

答: 晶闸管从正向阳极电流下降为零到它恢复正向阻断能力所需的这段时间称为关断时间。即 $t_q = t_r + t_{gr}$ 。

1-6 如何防止电力 MOSFET 因静电感应引起的损坏?

答: 避免栅、源极间开路。

1-7 缓冲电路的作用是什么? 关断缓冲与开通缓冲在电路形式上有何区别, 各自的功能是什么?

答: 缓冲电路的作用是抑制电力电子器件的内因过电压 du/dt 或者过电流 di/dt , 减少器件的开关损耗。缓冲电路分为关断缓冲电路和开通缓冲电路。关断缓冲电路是对 du/dt 抑制的电路, 用于抑制器件的关断过电压和换相过电压, 抑制 du/dt , 减小关断损耗。开通缓冲电路是对 di/dt 抑制的电路, 用于抑制器件开通时的电流过冲和 di/dt , 减小器件的开通损耗。

1-8 试分析 RCD 缓冲电路中各元件的作用?

答: 电路中各元件的作用: 在管子开通时, C_s 通过 R_s 向管子放电, 使电流先上个台阶, 减小 di/dt 。 R_s 可限制 C_s 的放电电流。在管子关断时, VD_s 将 R_s 短路, 可进一步减小 du/dt 。

1-9 试说明 IGBT, GTR, GTO 和电力 MOSFET 各自的优缺点。

答：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

1-10 温度升高时，晶闸管的触发电流、正反向漏电流、维持电流以及正向转折电压和反向击穿电压如何变化？

答：温度升高时，晶闸管的触发电流随温度升高而减小，正反向漏电流随温度升高而增大，维持电流 I_H 会减小，正向转折电压和反向击穿电压随温度升高而减小。

1-11 晶闸管的非正常导通方式有几种？

答：非正常导通方式有：① $I_g = 0$ ，阳极电压升高至相当高的数值；② 阳极电压上升率 du/dt 过高；③ 结温过高。

1-12 试说明晶闸管有哪些派生器件？

答：快速晶闸管、双向晶闸管、逆导晶闸管、光控晶闸管等。

1-13 请简述光控晶闸管的有关特征。

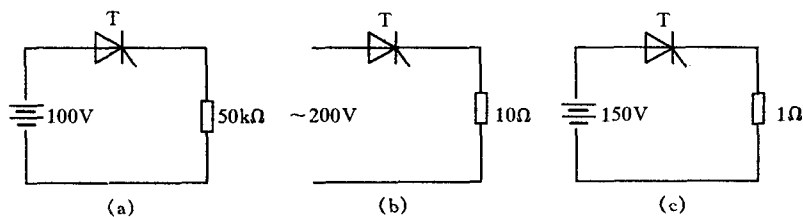
答：光控晶闸管是在普通晶闸管的门极区集成了一个光电二极管，在光的照射下，光电二极管电流增加，此电流便可作为门极电触发电流使晶闸管开通。主要用于高压大功率场合。

1-14 型号为 KP100-3，维持电流 $I_H = 4\text{mA}$ 的晶闸管，使用在图题 1-14 所示电路中是否合理，为什么？（暂不考虑电压电流裕量）

答：(a) 因为 $I_A = \frac{100\text{V}}{50\text{k}\Omega} = 2\text{mA} < I_H$ ，所以不合理。

(b) $I_A = \frac{200\text{V}}{10\Omega} = 20\text{A}$ ，KP100 的电流额定值为 100A，裕量达 5 倍，太大了。

(c) $I_A = \frac{150\text{V}}{1\Omega} = 150\text{A}$ ，小于额定值的 1.57 倍，所以合理。



图题 1-14

1-15 什么叫 GTR 的一次击穿？什么叫 GTR 的二次击穿？

答：处于工作状态的 GTR，当其集电极反偏电压 U_{CE} 渐增大电压定额 BU_{CE0} 时，集电极电流 I_C 急剧增大(雪崩击穿)，但此时集电极的电压基本保持不变，这叫一次击穿。

发生一次击穿时，如果继续增大 U_{CE} ，又不限制 I_C ， I_C 上升到临界值时， U_{CE} 突然下降，而 I_C 继续增大(负载效应)，这个现象称为二次击穿。

1-16 在大功率 GTR 组成的开关电路中为什么要加缓冲电路？

答：缓冲电路可以使 GTR 在开通中的集电极电流缓升，关断中的集电极电压缓升，避免了 GTR 同时承受高电压、大电流。另一方面，缓冲电路也可以使 GTR 的集电极电压变化率 $\frac{du}{dt}$ 和集电极电流变化率 $\frac{di}{dt}$ 得到有效抑制，减小开关损耗和防止高压击穿和硅片局部过热熔断而损坏 GTR。

第2章 整流电路

2-1 单相半波可控整流电路对电感负载供电, $L = 20\text{mH}$, $U_2 = 100\text{V}$, 求当 $\alpha = 0^\circ$ 和 60° 时的负载电流 I_d , 并画出 u_d 和 i_d 波形。

解:

$$i_d = -\frac{\sqrt{2}U_2}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}[\sin(\alpha - \varphi)e^{-\frac{R}{\omega L}(\omega t - \alpha)} - \sin(\omega t - \varphi)],$$

当 $R = 0$, $L = 20\text{mH}$ 的情况, 有 $e^{-\frac{R}{\omega L}(\omega t - \alpha)} = 1$, $\varphi = \arctan \frac{\omega L}{k} = \frac{\pi}{2}$, 所以

$$\begin{aligned} i_d &= -\frac{\sqrt{2}U_2}{\omega L}\left[\sin\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right) - \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)\right] \\ &= \frac{\sqrt{2}U_2}{\omega L}\left[-\cos\omega t + \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)\right], \end{aligned}$$

当控制角为 α 时, $\theta = 2\pi - 2\alpha$, 导通区间为 $\alpha \rightarrow (2\pi - \alpha)$, 有:

$$\begin{aligned} I_d &= \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{2\pi - \alpha} \frac{\sqrt{2}U_2}{\omega L} \left[-\cos\omega t + \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)\right] d\omega t \\ &= \frac{\sqrt{2}U_2}{2\pi\omega L} \left[-\sin(2\pi - \alpha) + \sin\alpha + \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)(2\pi - 2\alpha)\right] \end{aligned}$$

$$\text{当 } \alpha = 0^\circ \text{ 时, } I_d = \frac{\sqrt{2} \times 100}{2\pi f \times 20 \times 10^{-3}} \times \frac{2\pi}{2\pi} = 22.5 \text{ A}$$

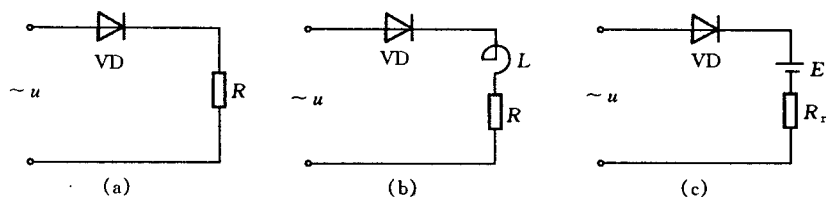
$$\text{当 } \alpha = 60^\circ \text{ 时, } I_d = 22.5 \times \frac{1}{2\pi} \left[-\sin \frac{5\pi}{3} + \sin \frac{\pi}{3} + \sin \frac{\pi}{6} \times \frac{4\pi}{3}\right] = 13.7 \text{ A}$$

2-2 在图题 2-2 所示的单相半波整流电路中, $R = 10\Omega$, $L = 50\text{mH}$, $E = 100\text{V}$, $R_f = 1\Omega$, $u = (100\sqrt{2}\sin\omega t)\text{V}$, $f = 50\text{Hz}$, 在纯电阻负载、纯电感与电阻串联负载以及反电动势负载三种情况下, 试计算:

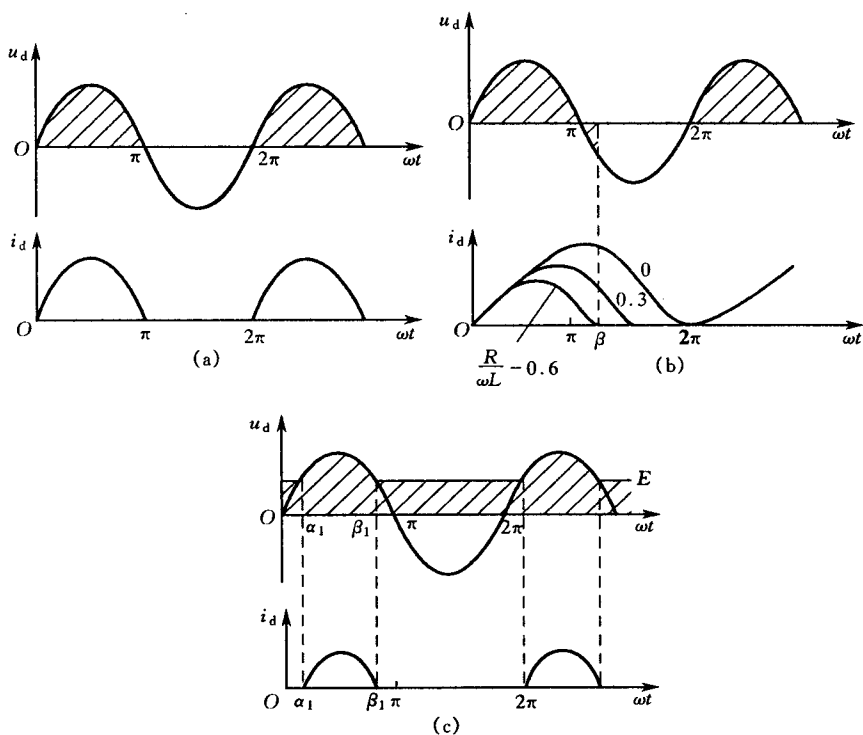
- ① 直流输出电压的平均值 U_d ;
- ② 直流输出电流的平均值 I_d ;
- ③ 加在二极管上的反向峰值电压。

解:

电阻性负载时输出波形如图解 2-2 (a) 所示。



图题 2-2



图解 2-2

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \sqrt{2} \sin \omega t d(\omega t) = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \times 100 \text{ V} = 45 \text{ V}$$

$$I_d = \frac{U_d}{R} = \frac{45}{10} = 4.5 \text{ A}$$

$$U_{RV} = \sqrt{2} \times 100 \text{ V} = 141.4 \text{ V}$$

感性负载时输出波形如图解 2-2(b) 所示。二极管一导通，下面电压方程式成立：

$$L \frac{di_d}{dt} + Ri_d = \sqrt{2} U \sin \omega t$$

当 $\omega t = 0$ 时, $i_d = 0$, 则:

$$i_d = I_m \sin(\omega t - \phi) + I_m \sin \phi e^{-\frac{Rt}{L}}$$

其中:
$$I_m = \frac{\sqrt{2} U}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}, \quad \phi = \arctan\left(\frac{\omega L}{R}\right)$$

图(b)中, 在三种时间常数时, 电流波形曲线 β 角随 $\frac{R}{(\omega L)}$ 的减小而增大。负载为纯电感时:

$$\lim_{R \rightarrow 0} e^{-\frac{R\omega t}{\omega L}} = 1, \quad \lim_{R \rightarrow 0} \arctan\left(\frac{\omega L}{R}\right) = \frac{\pi}{2}$$

$$i_d = \frac{\sqrt{2} U}{\omega L} (1 - \cos \omega t)$$

β 变为 2π , 即 $\omega t = 2\pi, 4\pi, \dots$ 时, $i_d = 0$, 即二极管在此时刻才截止。

$$I_d = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\sqrt{2} U}{\omega L} (1 - \cos \omega t) d(\omega t) = \frac{\sqrt{2} U}{\omega L} = 9 \text{ A}, \quad U_{RV} = 0$$

反电动势负载时输出波形如图解 2-2(c) 所示。

设二极管导通时的角度为 α_1 , 截止时的角度为 β_1 , 则

$$\alpha_1 = \arcsin\left(\frac{E}{\sqrt{2} U}\right)$$

$$\beta_1 = \arcsin\left(\frac{E}{\sqrt{2} U}\right) = \pi - \alpha_1, \quad \frac{\pi}{2} \leq \beta_1 \leq \pi$$

$$\begin{aligned} U_d &= E + \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha_1}^{\beta_1} (\sqrt{2} \times 100 \sin \omega t - E) d(\omega t) \\ &= \left(1 - \frac{\beta_1 - \alpha_1}{2\pi}\right) E - \frac{\sqrt{2} \times 100}{2\pi} (\cos \beta_1 - \cos \alpha_1) = 106.8 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_d &= \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha_1}^{\beta_1} \frac{1}{R_r} (\sqrt{2} \times 100 \sin \omega t - E) d(\omega t) \\ &= \frac{1}{R_r} (U_d - E) = 6.8 \text{ A} \end{aligned}$$

$$U_{RV} = E + \sqrt{2} U = 241.4 \text{ V}$$

2-3 单相桥式全控整流电路, $U_2 = 100\text{V}$, 负载中 $R = 2\Omega$, L 值极大, 当 $\alpha = 30^\circ$ 时, 要求:

(1) 作出 u_d , i_d 和 i_2 的波形;

(2) 求整流输出平均电压 U_d , 电流 I_d , 变压器二次电流有效值 I_2 ;

(3) 考虑安全裕量, 确定晶闸管的额定电压和额定电流。

解: (1) u_d , i_d 和 i_2 的波形如图解 2-3 所示。

(2) 输出平均电压 U_d , 电流 I_d , 变压器二次电流有效值 I_2 分别为:

$$U_d = 0.9 U_2 \cos \alpha = 0.9 \times 100 \times \cos 30^\circ = 77.97 \text{ V}$$

$$I_d = U_d / R = 77.97 / 2 = 38.99 \text{ A}$$

$$I_2 = I_d = 38.99 \text{ A}$$

(3) 晶闸管承受的最大反向电压为:

$$\sqrt{2} U_2 = 100\sqrt{2} = 141.4 \text{ V}$$

考虑安全裕量, 晶闸管的额定电压为:

$$U_N = (2 \sim 3) \times 141.4 = 283 \sim 424 \text{ V}$$

具体数值可按晶闸管产品系列参数选取。

流过晶闸管的电流有效值为:

$$I_{VT} = \frac{I_d}{\sqrt{2}} = 27.57 \text{ A}$$

晶闸管的额定电流为:

$$I_N = (1.5 \sim 2) \times \frac{27.57}{1.57} = 26 \sim 35 \text{ A}$$

具体数值可按晶闸管产品系列参数选取。

2-4 单相桥式半控整流电路, 电阻性负载, 画出整流二极管在一周期内承受的电压波形。

解: 电压波形如图解 2-4 所示。

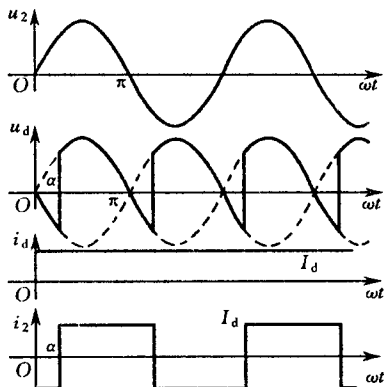
2-5 单相桥式全控整流电路, $U_2 = 100 \text{ V}$, 负载中 $R = 2 \Omega$, L 值极大, 反电势 $E = 60 \text{ V}$, 当 $\alpha = 30^\circ$ 时, 要求:

(1) 作出 u_d , i_d 和 i_2 的波形;

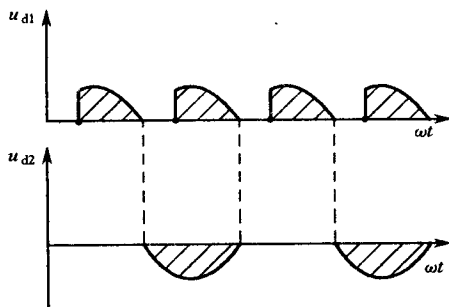
(2) 求整流输出平均电压 U_d , 电流 I_d , 变压器二次侧电流有效值 I_2 ;

(3) 考虑安全裕量, 确定晶闸管的额定电压和额定电流。

解: (1) u_d , i_d 和 i_2 的波形如图



图解 2-3



图解 2-4

解 2-5 所示。

(2) 整流输出平均电压 U_d , 电流 I_d , 变压器二次侧电流有效值 I_2 分别为:

$$U_d = 0.9 U_2 \cos \alpha = 0.9 \times 100 \times \cos 30^\circ \\ = 77.97 \text{ V}$$

$$I_d = \frac{U_d - E}{R} = \frac{77.97 - 60}{2} = 9 \text{ A}$$

$$I_2 = I_d = 9 \text{ A}$$

(3) 晶闸管承受的最大反向电压为:

$$\sqrt{2} U_2 = 100\sqrt{2} = 141.4 \text{ V}$$

流过每个晶闸管的电流的有效值为:

$$I_{VT} = \frac{I_d}{\sqrt{2}} = 6.36 \text{ A}$$

故晶闸管的额定电压为:

$$U_N = (2 \sim 3) \times 141.4 = 283 \sim 424 \text{ V}$$

晶闸管的额定电流为:

$$I_N = \frac{(1.5 \sim 2) \times 6.36}{1.57} = 6 \sim 8 \text{ A}$$

晶闸管额定电压和电流的具体数值可按晶闸管产品系列参数选取。

2-6 晶闸管串联的单相半控桥, $U_2 = 100 \text{ V}$, 电阻电感负载, $R = 2 \Omega$, L 值极大, 当 $\alpha = 60^\circ$ 时, 求流过器件电流的有效值, 并作 u_d , i_d , i_{VT} 和 i_{VD} 波形。

$$\text{解: } I_d = \frac{U_d}{R} = 0.9 \times \frac{100(1 + \cos 60^\circ)}{2 \times 2} = 33.75 \text{ A}$$

$$I_{VT} = \sqrt{\frac{120^\circ}{360^\circ}} \times I_d = \frac{I_d}{\sqrt{3}}$$

$$I_{VD} = \sqrt{\frac{\pi + \frac{\pi}{3}}{2\pi}} \times I_d = \sqrt{\frac{2}{3}} I_d$$

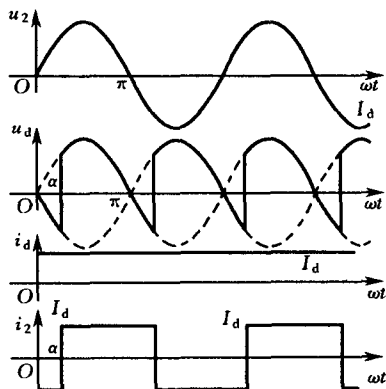
2-7 单相桥式整流电路, 试绘出在电阻电感负载下, $\alpha = 0^\circ$ 及 $\alpha = 60^\circ$ 时整流电压 u_d 和 i_d 的波形。

解: u_d , i_d 波形如图解 2-7 所示。

2-8 某电阻负载的单相桥式半控整流电路, 若其中一只晶闸管的阳极、阴极之间被烧断, 试画出整流二极管、晶闸管和负载电阻两端的电压波形。

解: 波形如图解 2-8 所示。

2-9 单相半波可控整流, 电感性负载接有续流二极管, 如图题 2-9 所示。



图解 2-5