



北京市高等教育精品教材立项项目

电力电子 技术实验

栗书贤 等编著



北京市高等教育精品教材立项项目

电力电子技术实验

栗书贤 等编著

谢运祥 主审



机械工业出版社

本书内容包括单、三相整流电路、有源逆变电路实验、绕线转子异步电动机串级调速实验,单结晶体管、正弦波、锯齿波、KJ004、TC787 触发电路实验,单、三相双向晶闸管电阻负载及普通晶闸管反并联阻感负载交流调压实验, KJ008 过零触发电路实验,单相并联逆变器实验, IGBT、CTO 斩波电路、MOSFT 升降压斩波电路实验,单相 PWM 逆变电路实验, 4752 三相变频调速实验,半桥开关电路、Topswitch-II 开关电源实验,单、双闭环调速系统实验,单片微机控制的三相桥式全控整流电路及变频器使用实验,同时还附有实验装置介绍、电力电子器件的简易测量及电源相序和变压器极性测定等。

本书为北京市高等教育精品教材。

本书适用于电气工程及其自动化、自动化及其相关本科专业电力电子技术实验用书,并可供大专、职业技术学院相近专业选用,同时也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子技术实验/栗书贤等编著. —北京:机械工业出版社, 2004.8

北京市高等教育精品教材立项项目

ISBN 7-111-14704-9

I. 电… II. 栗… III. 电力电子学-实验-高等学校-教材 IV. TM1-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 057490 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:贡克勤 版式设计:冉晓华 责任校对:吴美英

封面设计:鞠 杨 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·12 印张·1 插页·237 字

定价:18.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010) 68993821、88379646
封面无防伪标均为盗版

前 言

《电力电子技术实验》一书是“电力电子技术”课程的配套教材,是该课程教学内容的重要组成部分。

由于电力电子技术迅速发展,教材不断更新,新器件、新型集成电路不断涌现,实验内容也要不断更新。为适应电力电子技术教学改革和实践能力培养的需要,我们在原教材的基础上,结合北京机械工业学院电子厂新近开发研制的 BL-I 型电力电子技术实验装置重新编写此教材。本教材涵盖了器件、整流、逆变、斩波、交流调压、PWM 变频电路等方面,增加了 TC 787 集成触发电路、普通晶闸管反并联单、三相交流调压电路、MOSFET 升降压斩波电路、GTO 斩波电路、开关电源电路、单相 PWM 变频电路、单片微机控制的三相桥式全控整流电路及 HEF 4752 三相变频电路和 ABB 变频器的应用电路。本教材内容丰富、全面,每个实验均包含了实验电路、实验原理、实验步骤、实验中应注意的问题等内容,有些实验还预留了学生自己设计和调整的空间,目的是通过实验使学生能运用所学理论知识来分析研究实践中出现的各种问题,从而培养学生分析问题和解决问题的能力,掌握实验的基本技能和方法,为培养学生创新、科研和开发产品的能力打下基础。

此外,还在附录中介绍了电力电子器件的简单测试等内容。为兼顾各院校设备不同,本教材还保留了“电力电子变流技术实验”的内容,为选用本教材提供方便。

本教材由栗书贤教授主编并统稿,实验 1~实验 25 及附录 D 由栗书贤编写,实验 26~实验 31 由侯晚霞编写,实验 32 由周建国编写,实验 33 由高宁编写,附录 A 由李沛编写,附录 B 由张景荣编写,附录 C 由邱东编写。侯晚霞负责计算机绘图和书稿整理工作。参加绘图的还有李沛、毕万全、杨莉。参加实验开发、调试的有宋合志、白雪峰、杨龙祥、宋耀武。

本书由华南理工大学谢运祥教授主审,参加审稿的还有黄耀先、王文郁、梁森、贡克勤、颜世刚、宋德俊、王廷才、李全利、张学武、刘振霞等同志。

在编写过程中,北京椿树整流器厂总工程师黄耀先、西安交大王兆安教授、杨旭副教授、北京机械工业学院赵刚副教授、寻宪生高级工程师和石家庄瑞特电器有限公司给予了大力帮助,在此表示衷心感谢。

IV 前 言

本教材已列入北京市高等教育精品教材立项，主要面向自动化、电气工程及自动化以及其他相关本科专业师生，也可供高职、高专及其他相关学校相关专业使用，还可供相关工程技术人员参考。

作 者

目 录

前言

实验 1 晶闸管的简易测试及 导通关断条件实验	1	串级调速实验	53
实验 2 单相半波可控整流 电路的研究	4	实验 15 单相交流调压电路 的研究	56
实验 3 单相桥式半控整流 电路的研究	8	实验 16 普通晶闸管反并联 单相交流调压电路 的研究	59
实验 4 正弦波同步触发电路 的研究	11	实验 17 双向晶闸管三相交流 调压电路的研究	62
实验 5 锯齿波同步触发电路 的研究	14	实验 18 反并联晶闸管三相 交流调压电路的 研究	64
实验 6 单相桥式全控整流 电路的研究	16	实验 19 过零触发电路的研究	67
实验 7 三相半波可控整流电路 的研究	21	实验 20 晶闸管单相并联逆 变器的研究	70
实验 8 三相桥式半控整流 电路的研究	27	实验 21 GTR 单相并联逆变 器的研究	73
实验 9 三相桥式全控整流 电路的研究	30	实验 22 IGBT 斩波电路的 研究	75
实验 10 用 KC04 触发的三相桥式 全控整流电路的研究	35	实验 23 GTO 斩波电路的 研究	78
实验 11 TC787 触发的三相桥式 全控整流电路的研究	41	实验 24 升降压直流斩波 电路的性能研究	80
实验 12 单相桥式有源逆变 电路的研究	46	实验 25 单相交-直-交变频 电路的性能研究	84
实验 13 三相桥式有源逆变 电路的研究	49	实验 26 半桥型开关稳压电 源的性能研究	89
实验 14 绕线转子异步电动机		实验 27 三端单片开关电源 的研究	92

VI 目 录

实验 28	HEF4752 变频调速 系统实验	98	实验 33	变频器使用实验	128
实验 29	晶闸管直流调速 系统参数的测定	104	附录		133
实验 30	转速单闭环调速 系统的研究	112	附录 A	介绍几种实验装置	133
实验 31	双闭环调速系统 的研究	117	附录 B	常用电力电子器件的 简易测量	160
实验 32	单片微机控制的三相 桥式全控整流 电路的研究	122	附录 C	电力电子器件的技术 数据	170
			附录 D	电源相序和变压器 极性的测定	181
			参考文献		184

实验 1 晶闸管的简易测试及 导通关断条件实验

一、实验目的

1. 掌握晶闸管的简易测试方法。
2. 验证晶闸管的导通条件及关断方法。

二、实验电路

实验电路见图 1-1。

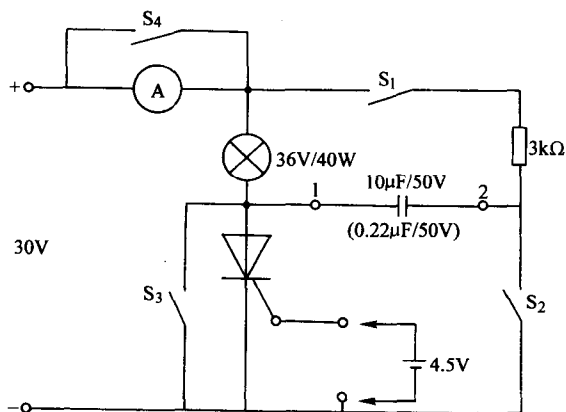


图 1-1 晶闸管导通与关断条件实验电路

三、实验设备

- | | |
|------------------|-------|
| 1. 自制晶闸管导通与关断实验板 | 1 块 |
| 2. 0~30V 直流稳压电源 | 1 台 |
| 3. 万用表 | 1 块 |
| 4. 1.5V×3 干电池 | 1 组 |
| 5. 好、坏晶闸管 | 各 1 只 |

四、实验内容及步骤

1. 鉴别晶闸管好坏

具体操作顺序如图 1-2 所示。将万用表置于 $R \times 1$ 位置，用表笔测量 G、K 之间的正

反向电阻,阻值应为几欧~几十欧欧。一般黑表笔接G,红表笔接K时阻值较小。由于晶闸管芯片一般采用短路发射极结构(即相当在门极与阴极间并联了一个小电阻),所以正反向阻值差别不大,即使测出正反向阻值相等也是正常的。接着将万用表调至 $R \times 10k$ 档,测量G、A与K、A之间的阻值,无论黑红表笔怎样调换测量,阻值均应为无穷大。否则,说明晶闸管已经损坏。

2. 检测晶闸管的触发能力

检测电路如图1-3所示。外接一个4.5V电池组,将电压提高到6~7.5V(万用表内装电池不同)。将万用表置于0.25A档,为保护表头,可串入一只 $R = 4.5V/I_{\text{档}} \Omega$ 的电阻(其中: $I_{\text{档}}$ 为所选万用表量程的电流值)。

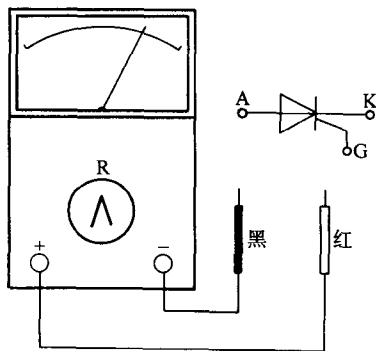


图 1-2 判别晶闸管好坏

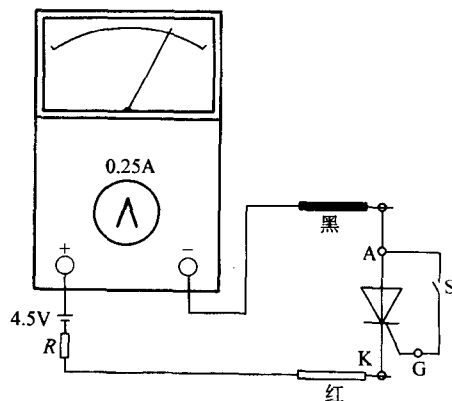


图 1-3 检测晶闸管触发能力电路

电路接好后,在S处于断开位置时,万用表指针不动。然后闭合S(S可用导线代替),使门极加上正向触发电压,此时,万用表应明显向右摆,并停在某一电流位置,表明晶闸管已经导通。接着断开开关S,万用表指针应不动,说明晶闸管触发性能良好。

3. 检测晶闸管的导通条件(见图1-1)

- 1) 首先将 $S_1 \sim S_3$ 断开,闭合 S_4 ,加30V正向阳极电压。然后让门极开路或接一4.5V电压,观看晶闸管是否导通,灯泡是否亮。
- 2) 加30V反向阳极电压,门极开路、接-4.5V或接+4.5V电压,观察晶闸管是否导通,灯泡是否亮。
- 3) 阳极、门极都加正向电压,观看晶闸管是否导通,灯泡是否亮。
- 4) 灯亮后去掉门极电压,看灯泡是否亮;再加-4.5V反向门极电压,看灯泡是否继续亮,为什么?

4. 晶闸管关断条件实验（见图 1-1）

1) 接通正 30V 电源，再接通 4.5V 正向门极电压使晶闸管导通，灯泡亮，然后断开门极电压。

2) 去掉 30V 阳极电压，观察灯泡是否亮。

3) 接通 30V 正向阳极电压及正向门极电压使灯点燃，而后闭合 S_1 ，断开门极电压。然后接通 S_2 ，看灯泡是否熄灭。

4) 在 1、2 端换接上 $0.22\mu\text{F}/50\text{V}$ 的电容再重复步骤 3) 的实验，观察灯泡是否熄灭，为什么？

5) 再把晶闸管导通，断开门极电压，然后闭合 S_3 ，再立即打开 S_3 ，观察灯泡是否熄灭，为什么？

6) 断开 S_4 ，再使晶闸管导通，断开门极电压。逐渐减小阳极电压，当电流表指针由某值突降到零时该值就是被测晶闸管的维持电流。此时若再升高阳极电源电压，灯泡也不再发亮，说明晶闸管已经关断。

五、实验报告要求

1. 总结导通条件及关断法，回答实验中提出的问题。

2. 总结简易判断晶闸管好坏的方法。

实验2 单相半波可控整流电路的研究

一、实验目的

1. 熟悉单结晶体管触发电路的工作原理、接线及电路中各元件的作用。
2. 熟悉各元器件及简易测试方法，增强实践能力。
3. 观察单结晶体管触发电路各点的波形，掌握调试步骤和方法。
4. 对单相半波可控整流电路在电阻负载及电阻电感负载时的工作情况作全面分析。
5. 了解续流二极管的作用
6. 熟悉双踪示波器的使用方法。

二、实验电路

实验电路见图 2-1。

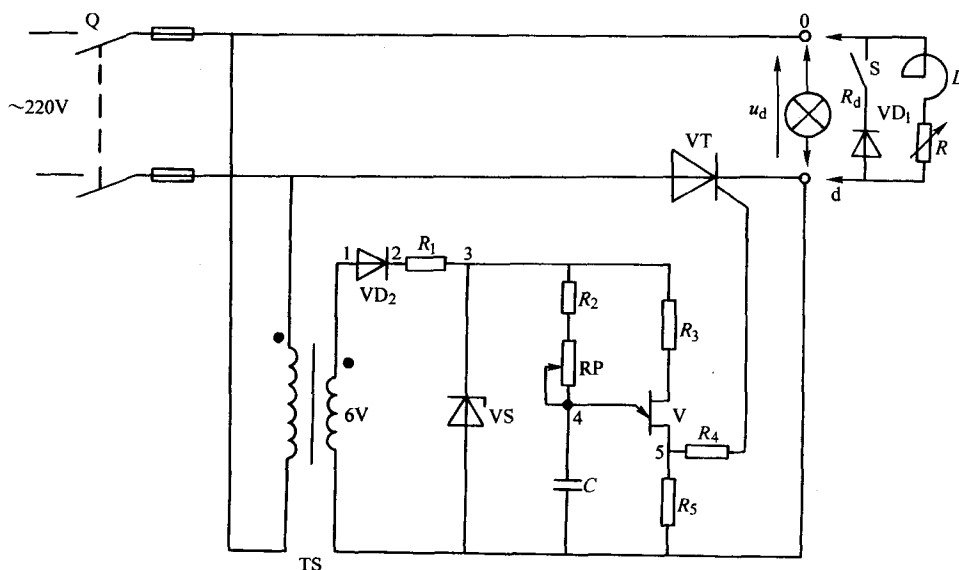


图 2-1 单结晶体管触发的单相半波可控整流电路

VT KP10-8 VD₁ ZPI0-8 VD₂ 2CP14 VS 2CW21K V BT33F R₁ 620Ω/8W R₂ 2kΩ
R₃ 240Ω R₄ 20Ω R₅ 51Ω RP 100kΩ C 0.1~0.22μF

三、实验设备

图 2-1 中各元件及焊接板	1 套
同步变压器 220V/60V	1 台
灯板	1 块
滑线变阻器	1 台
电抗器	1 台
双踪示波器	1 台
万用表	1 块
单结晶体管分压比测试板（自制公用）	1 块

四、实验内容及步骤

1. 元器件测试

1) 用万用表 $R \times 100\Omega$ 电阻档粗测二极管、稳压管是否良好，电位器是否连续可调，用适当电阻档检查各电阻阻值是否合适。

2) 参照附录 D 测定同步变压器 TS 的极性。

3) 判断单结晶体管的好坏（常见单结晶体管的管脚排列见图 2-2）。首先用万用表 $R \times 10\Omega$ 电阻档测试单结晶体管各极间电阻，再用单结晶体管分压比测试板来测定单结晶体管的 η 值，其测试电路见图 2-3，并将所测数据记录于下表中。

测量项目	η	r_{eb1}	r_{b1e}	r_{eb2}	r_{b2e}	r_{b1b2}	r_{b2b1}	结论
测量值								

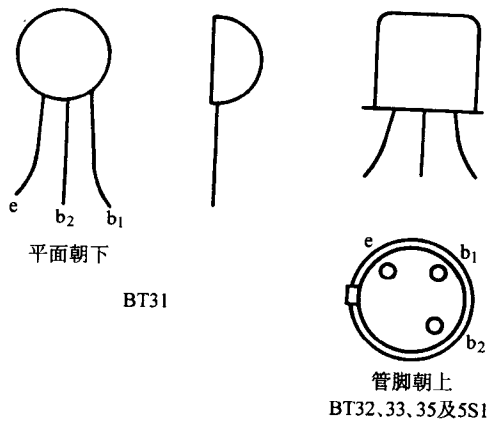


图 2-2 常用单结晶体管管脚排列

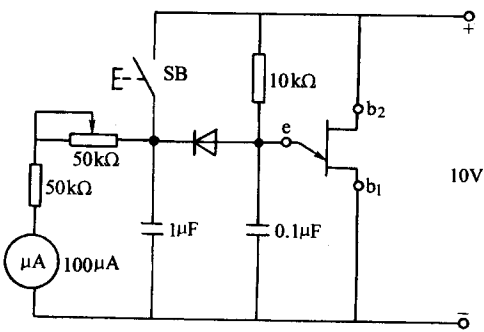


图 2-3 单结晶体管分压比测量电路

6 电力电子技术实验

2. 按图 2-1 将电路焊接好, 负载暂不接。

3. 检查电路无误后, 闭合 Q, 触发电路接通电源, 用示波器逐一观察触发电路中同步电压 u_1 、整流输出电压 u_2 、削波电压 u_3 、锯齿波电压 u_4 以及单结晶体管输出电压 u_5 的波形。

改变移相电位器 RP 的阻值, 观察 4 点锯齿波的变化及输出脉冲波形的移相范围, 看能否满足要求, 如不能满足要求, 可通过调整 R_2 、RP、C 的数值来达到移相范围的要求。

4. 电路调好后, 可用双踪示波器的两个探头分别观察波形间相位关系, 验证是否与理论分析的一致。

注意使用双踪示波器时必须将两探头的地线端接在电路的同一点上, 以防因两探头的地线造成被测量电路短路事故。

在有条件情况下可用四踪示波器同时观察四个波形的相位关系, 熟悉四踪示波器的使用。

5. 电阻负载。触发电路调试正常后, 断开 Q, 接上电阻负载 (灯泡) 后, 再闭合 Q, 使电路接通电源。用示波器观察负载电压 u_d 、晶闸管两端电压 u_{VT} 的波形。调节移相电位器 RP, 观察 $\alpha = 60^\circ$ 、 90° 、 120° 时 u_d 、 u_{VT} 的波形, 同时测量 U_d 及电源电压 U_2 的值, 并将观察测量结果记录于下表中。

$\alpha / (^\circ)$	60	90	120
u_d 波形			
u_{VT} 波形			
U_d/V			
U_2/V			

6. 电阻电感负载

1) 打开 Q, 换接上 L 和 R, 接好后, 再闭合 Q。

2) 不接续流二极管, 把 R 调到中间值观察 $\alpha = 60^\circ$ 、 90° 、 120° 时 u_d 、 i_d (实际是 R 两端电压 u_R)、 u_{VT} 波形。把 R 调到最小及最大时, 观察 i_d 波形, 分析不同阻抗角对电流波形的影响。

3) 闭合 S, 接上续流二极管 VD_1 , 重复上述实验, 观察续流二极管的作用。

4) 把上述观察到的波形记录于下表中。

类 别	$\alpha/(^{\circ})$	u_d 波形	u_{VT} 波形	i_d 波形		
				R 中	R 最小	R 最大
不接 VD_1	60					
	90				—	—
	120				—	—
接 VD_1	60					
	90				—	—
	120				—	—

五、实验报告要求

1. 整理实验中记录的波形，回答实验中提出的问题。
2. 画出两种负载当 $\alpha = 90^{\circ}$ 时，触发电路的各点波形和 u_d 、 i_d 、 u_{VT} 波形。
3. 作出电阻负载时 $U_d/U_2 = f(\alpha)$ 曲线，并与

$$U_d = 0.45 U_2 \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

进行比较。

4. 总结分析实验中出现的现象。

实验3 单相桥式半控整流电路的研究

一、实验目的

1. 熟悉用三极管代替可变电阻的单结晶体管触发电路的工作原理及电路中各元件作用

2. 掌握对电阻负载、电阻电感负载、单相桥式半控整流电路的调试方法。

二、实验电路

实验电路见图 3-1。

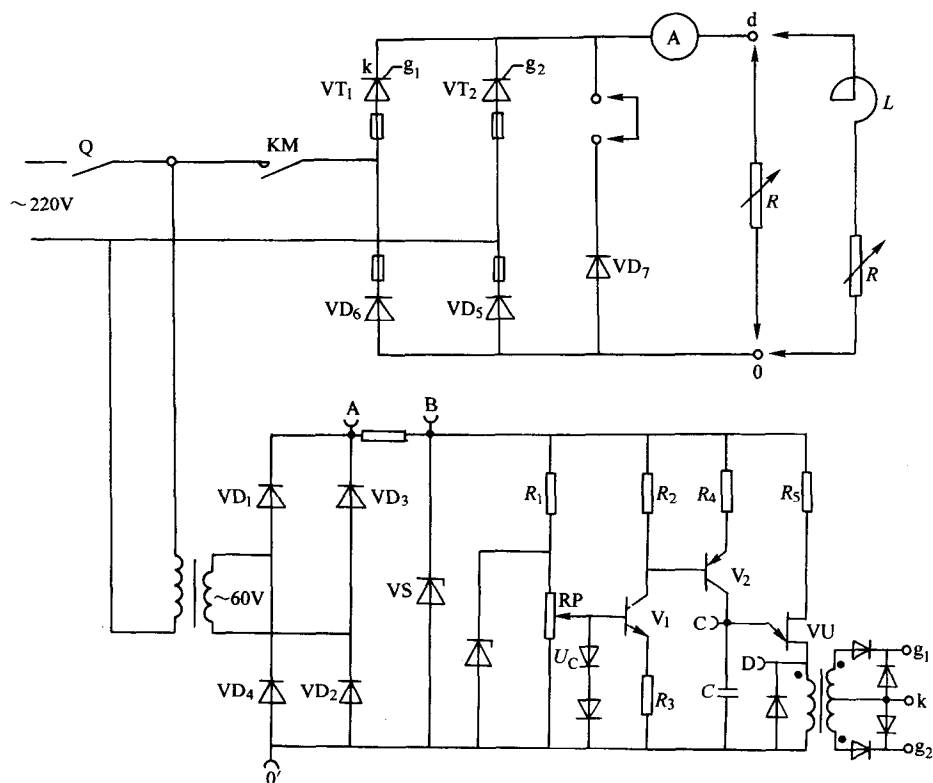


图 3-1 单相半控桥实验电路

三、实验设备

BL-I 型电力电子技术实验装置	1 台
滑线变阻器或灯板	2 个
电抗器	1 台
双踪示波器	1 台
万用表	1 块

四、实验内容及步骤

1. 实验准备

1) 熟悉电力电子技术实验装置, 找出单结晶体管触发电路所使用的晶闸管、整流二极管的位置, 找出需要接线的端子。

2) 根据实验电路(见图 3-1)把线接好, 并找出测试点与测量插孔之间的对应关系。

2. 单结晶体管触发电路的测试

闭合 Q, 触发电路接通电源。用示波器逐一观察触发电路中整流输出 A 点、削波 B 点、锯齿波 C 点、单结晶体管输出 D 点及脉冲变压器输出脉冲波形。

调节移相电位器 RP, 观察锯齿波电压 u_C 的变化及输出脉冲的移动情况。估计触发电路的移相范围。

3. 电阻负载

1) 单结晶体管触发电路调试正常后, 可在主电路 d、0 端接上电阻负载 R 做单相桥式半控整流电路电阻负载实验。

按起动按钮, 接触器 KM 吸合, 主电路接通电源。用示波器观察负载电压 u_d 、晶闸管两端电压 u_{VT} 及整流二极管两端电压 u_{VD} 的波形。调节移相电位器 RP, 用示波器观察并记录不同 α 角时的 u_d 、 u_{VT} 、 u_{VD} 波形、测量各电源电压 U_2 及负载 U_d 的数值, 验证 $U_d = 0.9U_2(1 + \cos\alpha)/2$ 的关系, 并将测量的结果记录于下表中。

负载性质	α	U_2	U_d	u_d 波形	i_d 波形	u_{VT} 波形
电阻						
电阻电感 (不带续流二极管)						
电阻电感 (带续流二极管)						

2) 用双踪示波器观察 u_d 与 u_g 之间的相位关系。

4. 电阻电感负载

按停止按钮, 主电路切断电源, 然后在 d、O 端换接上电阻电感负载 (即 R 与 L 串联, 见图 3-1)。

(1) 不接续流二极管

1) 按起动按钮, 主电路接通电源, 然后用示波器观察不同导通角时 u_d 、 i_d 、 u_{VT} 的波形, 同时将测量 U_2 、 U_d 的数值记入表中。作出 $U_d/U_2 = f(\alpha)$ 曲线, 并与 $U_d = 0.9U_2(1 + \cos\alpha)/2$ 进行比较分析。

2) 调节 R 的大小, 观察 i_d 波形的变化。

3) 当 u_g 突然消失时, 观察失控现象并记录 u_d 波形。

(2) 接续流二极管

在用电力电子技术实验装置时, 续流二极管可在主电路单元 6 个二极管中选用。重复上述步骤, 并观察脉冲消失时有无失控现象。

五、实验说明及应注意的问题

1. 双踪示波器在同时使用两个探头测量时, 必须将两探头的地线端接在电路的同一电位点上, 否则会因两探头地线造成被测量电路短路事故。

2. 有条件的学校, 老师可用四踪示波器让同学观察 u_B 、 u_C 、 u_g 、 u_d 的波形及相位关系, 进一步了解四踪示波器的使用方法。

六、实验报告要求

1. 整理实验中记录的数据和波形, 验证电阻和电阻电感负载时 $U_d = 0.9U_2(1 + \cos\alpha)/2$ 的关系。

2. 讨论和分析其他实验结果。