



“十三五”普通高等教育本科规划教材

电力电子技术 实验指导书

(第二版)

DIANLI DIANZI JISHU
SHIYAN ZHIDAOSHU

王鲁杨 王禾兴 等 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育本科规划教材

电力电子技术 实验指导书

(第二版)

王鲁杨 王禾兴 王育飞 袁淑娟 编著
高小飞 汤波 舒筠佳 吴承天
王萍 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是根据电力电子技术课程的要求,以及电力电子技术的发展和教学改革不断深入,结合作者多年来电力电子技术实践性教学环节的改革经验,针对加强学生实践能力和创新能力培养的教学目的而编写。

全书共6章,主要内容包括电力电子技术实验装置,电力电子技术实验的基本要求和安全操作说明,电力电子技术实验,综合性、设计性实验, MATLAB 仿真实例, OrCAD PSpice 仿真实例。书后有两个附录,分别为 PWM 控制芯片 SG3525 功能简介和 SDS1102CNL 型数字示波器使用说明。

本书可作为高等院校电气类专业及相近专业研究生和本科生的实验教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力电子技术实验指导书/王鲁杨等编著. —2 版. —北京:中国电力出版社,2017.5
“十三五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-5198-0524-1

I. ①电… II. ①王… III. ①电力电子学-实验-高等学校-教材 IV. ①TM1-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 058328 号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:陈 硕 (010-63412532)

责任校对:常燕昆

装帧设计:郝晓燕 张 娟

责任印制:吴 迪

印 刷:北京天宇星印刷厂

版 次:2011 年 3 月第一版 2017 年 5 月第二版

印 次:2017 年 5 月北京第五次印刷

开 本:787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张:9.5

字 数:227 千字

定 价:22.00 元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

前 言

随着电力电子技术的发展及其应用的日益广泛，电力电子技术课程在电气类专业学生知识体系中的地位越来越重要。本书第一版自 2011 年出版以来，在电力电子技术实验教学中发挥了重要的作用。随着相关学科技术的发展，以及对电力电子实验要求的提高，相关内容持续更新，为此进行了改版。

第二版中增加和更新了以下内容：

(1) 对 1.1 节“概述”中实验装置的介绍内容进行了充实，并增加了电力电子实验装置中三种连接导线、实验挂件上三种插孔的介绍。

根据更新的实验设备，在 1.4 节“三相晶闸管触发电路”中增加了对 DJK02-2 挂件的介绍。

(2) 在 2.4 节“实验安全操作规程”中增加了拆除连接导线的方法的介绍，增加了自耦变压器的原理及使用注意事项的介绍，并着重增加了双踪示波器的原理及使用注意事项的介绍。

根据实验过程中学生的需求，增加了 2.6 节“相控变流电路触发角 α 大小的判断方法”，详细介绍了在各种相控变流电路的实验中，如何通过示波器显示的波形判断触发角 α 的大小。

对 2.5 节“实验报告的书写要求”做了进一步的补充说明。

(3) 仿真实验在电力电子技术的学习过程中有着非常重要的作用，基于仿真软件 MATLAB 版本的不断更新，在第五章的“MATLAB 仿真实例”中以 MATLAB 2014a 版本取代第一版中的 MATLAB 2009a 版本，介绍了 MATLAB 2014a 版本的使用方法，并将仿真实例由简单的单相半波可控整流改为较复杂的三相半波可控整流，仿真内容较第一版更为丰富。

(4) 附录 B 中示波器的内容根据更为先进的 SDS1102CNL 型数字示波器的情况进行了整体更新。

第一版的全体编写人员参加了第二版的编写。此外，汤波、舒筠佳两位老师提出了大量的修改意见和建议并参与了部分章节的编写；研究生吴承天完成了第 5 章 MATLAB 仿真软件的内容更新以及相应的仿真实验，并完成了附录 B 数字示波器的介绍及使用方法的更新。

再次恳请读者在使用的过程中提出宝贵意见，以便本书的进一步完善。

编 者

2017 年 3 月于上海电力学院

第一版前言

电力电子技术是利用电力电子器件对电能进行控制和变换的技术。在用户终端使用的电能中，将有 90% 以上至少经过一次电力电子变流装置的变换和处理，电力电子技术已经渗透到电能生产、传输、使用的各个环节。

电力电子技术在电气类专业及其他相近专业研究生和本科学生知识结构中占据重要位置，是一门重要的专业基础课，电力电子技术实验是电力电子技术课程教学的重要组成部分。

通过电力电子技术实验课程的训练，可使学生充分理解并掌握电力电子变流装置的组成、各组成部分的作用、变流电路正常工作的条件，充分理解并掌握控制电路与主电路之间的同步问题；掌握电力电子变流装置主电路、控制驱动电路的连接方法，巩固常用电子测量仪器仪表的使用方法，掌握电路测量、故障分析与排除的方法。通过各种实验的操作和观察，可以培养学生严肃认真的科学态度、踏实细致的实验作风，培养学生利用基本理论独立分析问题、解决问题的能力。

《电力电子技术实验指导书》编写了 17 个实验，其中包括 9 个基本变流实验、1 个器件特性及其驱动与保护电路实验、2 个软开关技术和开关稳压电源的性能研究实验、5 个综合性、设计性实验。这些实验涵盖了四种基本变流形式，反映了 PWM 控制技术的应用，也反映了电力电子新技术，以及电力电子技术的应用。

综合性、设计性实验具有一定的深度和难度，需要学生对实验装置的性能、特点做充分的测试、研究，对电力电子变流装置的各个部分做深入的研究，反复试验，才可以得出一定的实验结果。这些实验特别适合于作为研究生的课内实验，也适合于作为本科生和专科生的实训课程项目。在做综合性实验的过程中会出现许多问题，有的问题非常典型，它们反映了电力电子技术及实验技术中的重要概念。

本书第 5 章、第 6 章的仿真实例，分别以单相和三相半波可控整流电路为载体，说明基于 MATLAB 以及 OrCAD PSpice 的图形化的电力电子仿真技术的基本步骤和基本方法，使学生尽快地入门，做电力电子技术的仿真实验。

附录 B 的 DS1062E - EDU 数字示波器使用说明，则为实验者尽快掌握数字示波器的使用方法提供了条件。

本书是我校在多年的电力电子技术实验教学中逐渐积累形成的，吸收了多项实验教改的成果。由王鲁杨任主编并负责全书的统稿，王禾兴任副主编，王育飞、袁淑娟、高小飞参加了编写。研究生张峰、刘露分别编写了附录 B 和第 6 章的初稿。天津大学的王萍教授为本书的主审，在此特别表示感谢。

限于编者水平，书中可能存在疏漏和错误，恳请读者提出宝贵意见，以便修改。

编者

2010 年 12 月于上海电力学院

目 录

前言

第一版前言

第 1 章 电力电子技术实验装置简介	1
1.1 概述	1
1.2 电源控制屏介绍及操作说明	3
1.3 DJK02 挂件 (三相变流桥路)	4
1.4 DJK02-2、DJK02-3 挂件 (三相晶闸管触发电路、三相数字晶闸管触发电路)	6
1.5 DJK03-1 挂件 (晶闸管触发电路)	8
1.6 DJK06 挂件 (给定及实验器件)	12
1.7 DJK07A 挂件 (IGBT 特性及驱动保护电路)	13
1.8 DJK09 挂件 (单相调压与可调负载)	14
1.9 DJK10-1 挂件 (变压器实验)	14
1.10 DJK14 挂件 (单相交直交变频原理)	15
1.11 DJK19 挂件 (半桥型开关稳压电源)	16
1.12 DJK20 挂件 (直流斩波实验)	16
1.13 DJK17 挂件 (双闭环 H 桥 DC/DC 变换直流调速)	17
1.14 DJK21 挂件 (斩控式交流调压电路)	18
1.15 DJK22 挂件 (单相交流调压/调功电路)	18
1.16 DJK24 挂件 (PS-ZVS-PWM 软开关技术)	19
1.17 DJK25 挂件 (整流电路有源功率因数校正)	19
第 2 章 电力电子技术实验的基本要求和安全操作说明	21
2.1 实验的特点和要求	21
2.2 实验前的准备	21
2.3 实验实施	22
2.4 实验安全操作规程	22
2.5 实验报告书写要求	24
2.6 相控变流电路触发角 α 大小的判断方法	25
第 3 章 电力电子技术实验	28
实验 1 单相半波可控整流	28
实验 2 单相桥式全控整流及有源逆变	34
实验 3 三相半波可控整流及有源逆变	38

实验 4	三相桥式全控整流及有源逆变	43
实验 5	单相交流调压	48
实验 6	单相斩控式交流调压	53
实验 7	三相交流调压	57
实验 8	IGBT 特性及其驱动与保护电路	60
实验 9	直流斩波电路的性能研究 (六种典型线路)	63
实验 10	单相正弦波脉宽调制 (SPWM) 逆变	68
实验 11	PS-ZVS-PWM 软开关技术实验	73
实验 12	半桥型开关稳压电源的性能研究	79
第 4 章	综合性、设计性实验	83
实验 1	整流电路功率因数校正电路研究	83
实验 2	多重化整流电路	91
实验 3	电力电子变流实验输出异常分析	98
实验 4	DJK02-3 为单相桥式变流电路提供触发脉冲的可行性研究	101
实验 5	带电流双象限电路的在线式 UPS 系统设计	104
第 5 章	MATLAB 仿真实例	106
5.1	建立仿真模型	106
5.2	设置模型参数	112
5.3	模型仿真	114
5.4	谐波分析	117
5.5	MATLAB 兼容问题	118
第 6 章	OrCAD PSpice 仿真实例	120
6.1	建立仿真模型	120
6.2	电路模型仿真	124
6.3	谐波分析	126
附录 A	PWM 控制芯片 SG3525 功能简介	128
附录 B	SDS1102CNL 型数字示波器使用说明	131
参考文献	143

第 1 章 电力电子技术实验装置简介

1.1 概 述

DJK-1 型电力电子技术实验装置的外形，如图 1-1 所示。该实验装置配合示波器、万用表等电子仪器，可完成本实验指导书安排的所有基本实验、综合性实验和设计性实验。

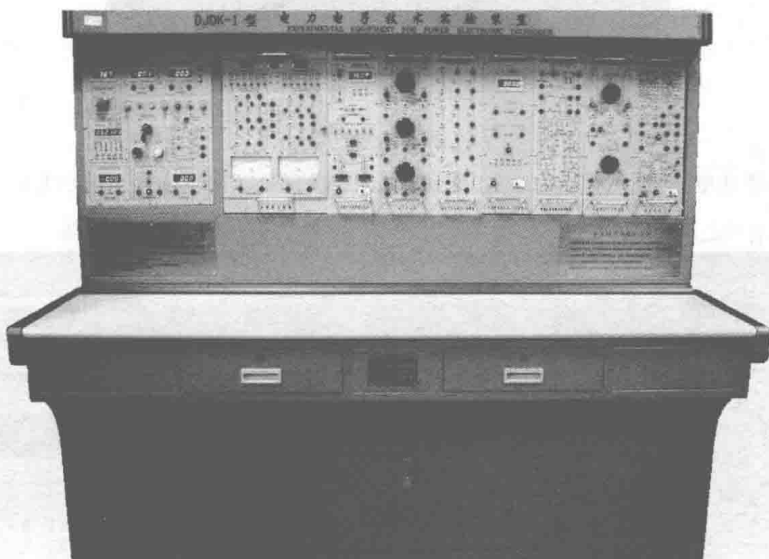


图 1-1 DJK-1 型电力电子技术实验装置外形图

一、装置特点

(1) 实验装置采用挂件结构，可根据不同实验内容进行自由组合。

(2) 实验连接线采用强、弱电分开的手枪式插头，两者不能互插，避免强电接入弱电设备，造成弱电设备损坏。三种导线的插头如图 1-2 所示。电路连接方式安全、可靠、迅速、简便。除电源控制屏和挂件外，还设置有实验桌，桌面上可放置示波器、万用表等实验仪器，操作舒适、方便。实验台底部安装有轮子和不锈钢固定调节机构，便于移动和固定。

(3) 控制屏供电采用三相隔离变压器隔离，设有电压型漏电保护装置和电流型漏电保护装置，切实有效地保护操作者的人身安全。

(4) 挂件面板分为三种接线孔，强电、弱电及波形观测孔，如图 1-3 所示。图 1-3 方框中的接线孔用于主电路，三角框中的接线孔用于驱动电路，椭圆框中的接线孔用于控制电路。三者有明显的区别，不能互插。

二、技术参数

(1) 输入电压：三相四线制 $380\text{V} \pm 10\%$ ， $50 \pm 1\text{Hz}$ 。

(2) 工作环境温度范围： $5 \sim 40^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $< 75\%$ ，海拔 1000m 。

(3) 装置容量： $\leq 1.5\text{kVA}$ 。

(4) 外形尺寸: 长×宽×高 = 1870mm×730mm×1600mm。

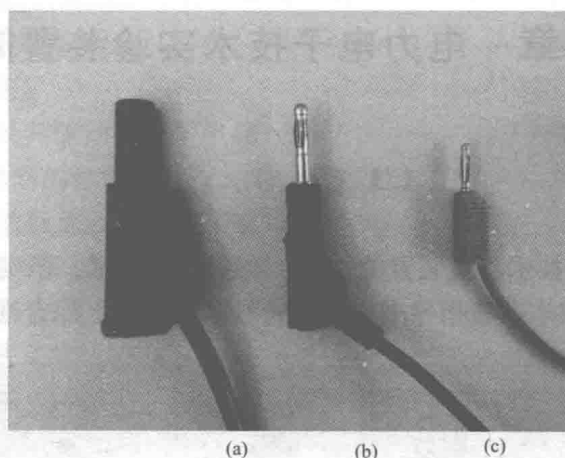


图 1-2 三种导线的插头

(a) 主电路用导线及插头; (b) 驱动电路用导线插头; (c) 控制电路用导线插头

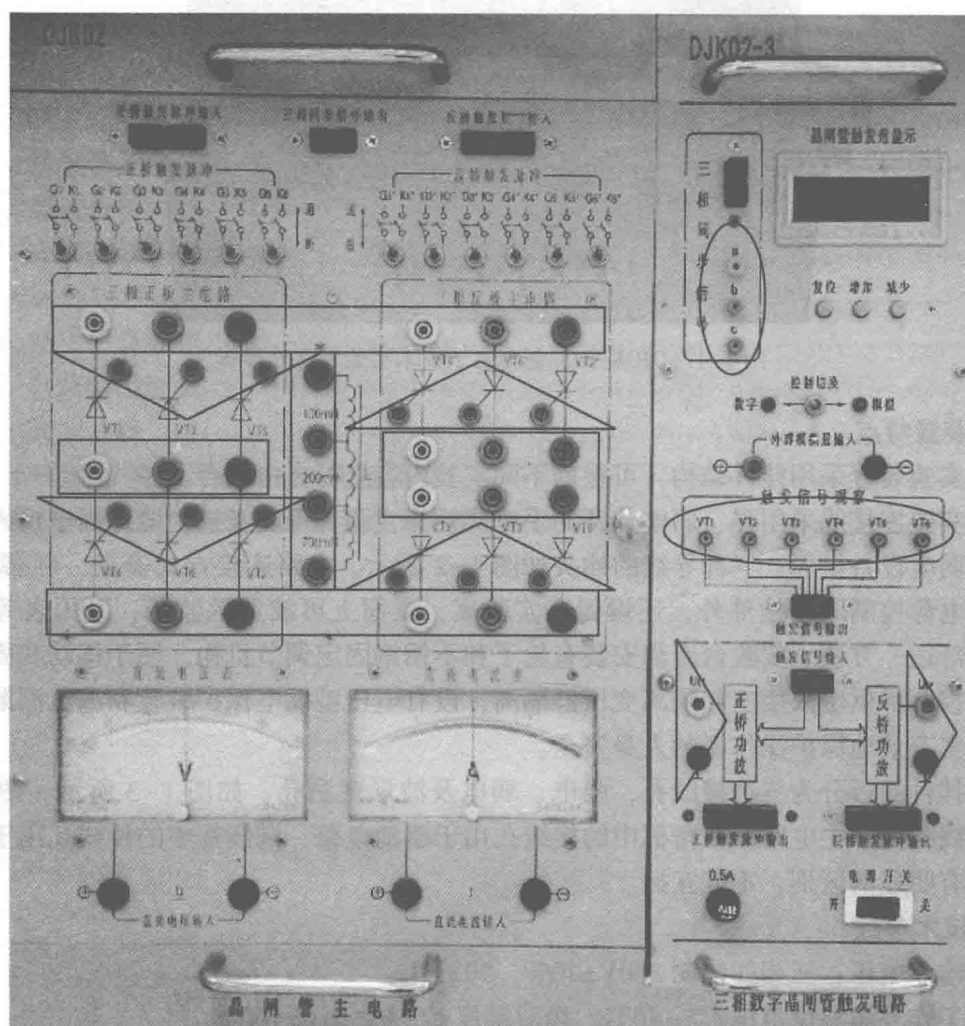


图 1-3 DJDK-1 型电力电子技术实验装置的三种接线孔

1.2 电源控制屏介绍及操作说明

电源控制屏 DJK01 的面板如图 1-4 所示。它主要为电力电子技术实验提供各种电源,如三相交流电源、直流励磁电源等;同时为实验提供所需的仪表,如直流电压、电流表,交流电压、电流表;屏上设有定时器兼报警记录仪,供教师考核学生实验之用。在控制屏正面的大凹槽内,设有两根不锈钢管,可挂置实验所需挂件,凹槽底部设有 12、10、4、3 芯等插座,从这些插座提供有源挂件的电源;在控制屏两侧设有单相三极 220V 电源插座及三相四极 380V 电源插座,此外还设有供实验台照明用的 40W 日光灯。

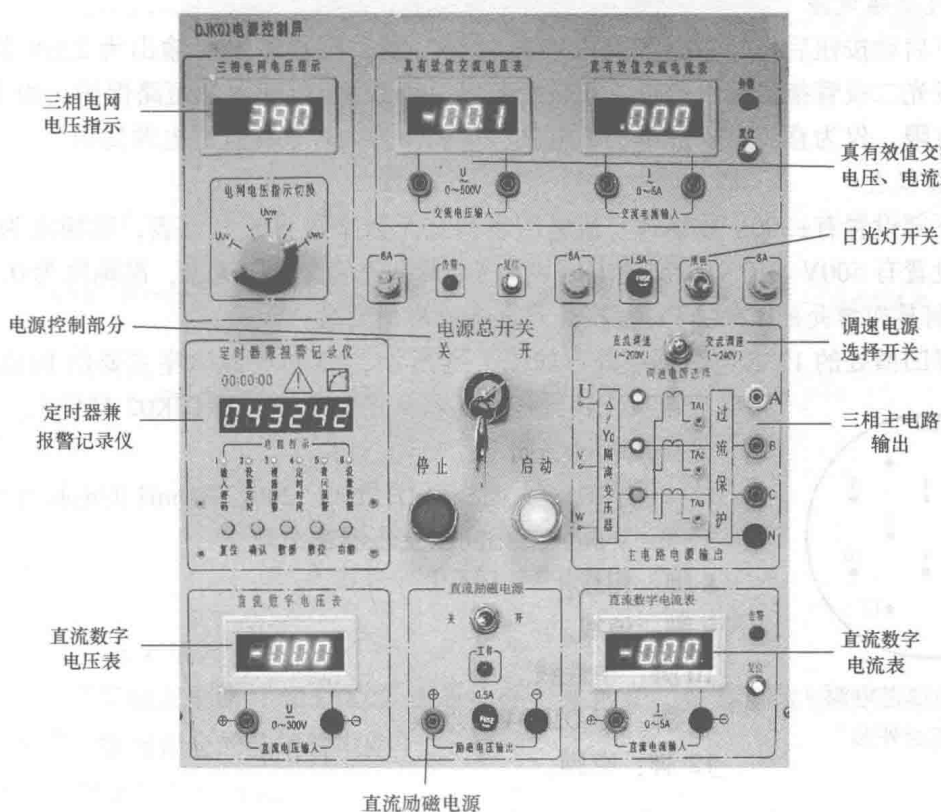


图 1-4 电源控制屏 DJK01 的面板

1. 三相电网电压指示

三相电网电压指示主要用于检测输入的电网电压是否有缺相的情况。操作三相电网电压指示下面的切换开关,可观测三相电网各线间电压是否平衡。

2. 定时器兼报警记录仪

定时器兼报警记录仪平时作为时钟使用,具有设定实验时间、定时报警和切断电源等功能;它还可以自动记录由于接线操作错误所导致的告警次数。

3. 电源控制部分

电源控制部分用于控制电源控制屏的各项功能,它由电源总开关、启动按钮及停止按钮组成。当打开电源总开关时,红灯亮;当按下启动按钮后,红灯灭,绿灯亮,此时控制屏的

三相主电路及励磁电源都有电压输出。

4. 三相主电路输出

三相主电路输出可提供三相交流 200V/3A 或 240V/3A 电源。输出的电压大小由“调速电源选择开关”控制,当开关置于“直流调速”侧时,A、B、C 输出线电压为 200V,可完成电力电子实验以及直流调速实验;当开关置于“交流调速”侧时,A、B、C 输出线电压为 240V,可完成交流电机调压调速及串级调速等实验。在 A、B、C 三相电源输出附近装有黄、绿、红发光二极管,用以指示输出电压。同时在主电源输出回路中还装有电流互感器,可测定主电源输出电流的大小,供电流反馈和过流保护使用。面板上的 TA1、TA2、TA3 三处观测点用于观测三路电流互感器输出电流信号。

5. 直流励磁电源

在按下启动按钮后将励磁电源开关拨向“开”侧,则励磁电源输出为 220V 的直流电压,并有发光二极管指示输出是否正常,励磁电源由 0.5A 熔断器做短路保护。由于励磁电源的容量有限,仅为直流电机提供励磁电流,不能作为大容量的直流电源使用。

6. 面板仪表

面板下部设置有 $\pm 300\text{V}$ 数字式直流电压表和 $\pm 5\text{A}$ 数字式直流电流表,准确度为 0.5 级;面板上部设置有 500V 真有效值交流电压表和 5A 真有效值交流电流表,准确度为 0.5 级。

7. 控制屏凹槽处的 12 芯电源插座外形及各针脚的定义

控制屏凹槽处的 12 芯电源插座外形如图 1-5 所示。12 芯电源插座主要供 DJK02 使用,将电抗器及三相同步变压器从控制屏输出到 DJK02 挂件上。

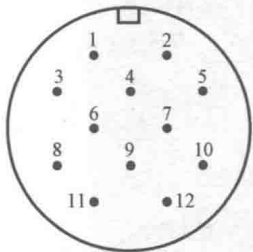


图 1-5 12 芯电源插座正面外形

各脚接线说明如下:

1~4 脚: DJK02 面板上 0、100、200、700mH 的电抗器引出端。

5、6、7 脚: 三相同步变压器输出端。

8 脚: 相线。

9 脚: 地线。

10 脚: 中性线。

11 脚: 与 DJK04 共地线。

12 脚: 空脚。

1.3 DJK02 挂件 (三相变流桥路)

DJK02 挂件装有 12 只晶闸管、直流电压表、直流电流表等,其面板如图 1-6 所示。其中有三相同步信号输出端、正反桥触发脉冲输入端、正反桥触发信号开关、正反桥主电路、电抗器、直流电压表及直流电流表等,介绍如下。

1. 三相同步信号输出端

同步信号是从电源控制屏内获得,屏内装有 Δ/Y 接法的三相同步变压器,与主电源输出保持同相,其输出相电压幅度为 15V 左右,供三相晶闸管触发电路(如 DJK02-3 等挂件)使用,从而产生移相触发脉冲。只要将本挂件的 12 芯插头与屏相连接,则三相同步信号输出端输出相位与主电源输出一一对应的三相同步电压信号。

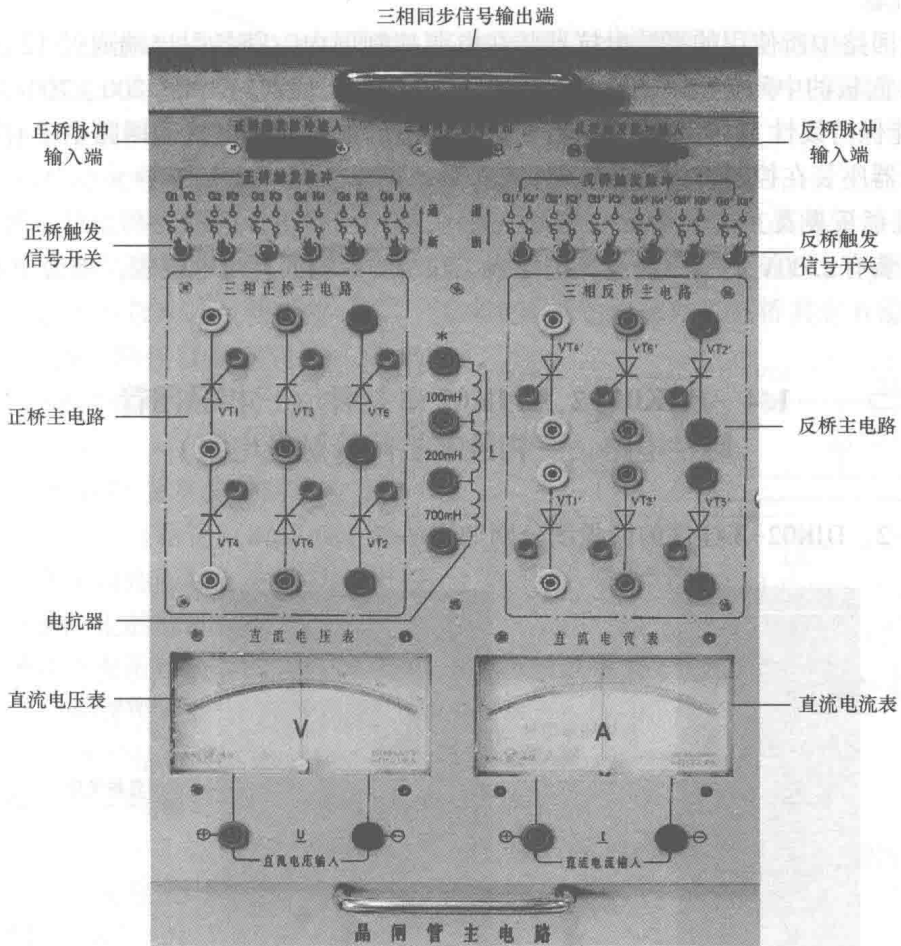


图 1-6 DJK02 挂件面板图

2. 正、反桥脉冲输入端

从三相晶闸管触发电路（如 DJK02-3 等挂件）来的正、反桥触发脉冲分别通过正、反桥脉冲输入端，加到相应的晶闸管电路上。

3. 正、反桥触发信号开关

从正、反桥脉冲输入端来的触发脉冲信号通过“正、反桥触发信号开关”接至相应晶闸管的门极和阴极。面板上共设有 12 个触发信号开关，分为正、反桥两组，分别控制对应的晶闸管的触发脉冲；开关打到“通”侧，触发脉冲接到晶闸管的门极和阴极；开关打到“断”侧，触发脉冲被切断。通过关闭某几个触发信号开关可以模拟晶闸管主电路失去触发脉冲的故障情况。

4. 正、反桥主电路

正桥主电路和反桥主电路分别由 6 只 5A/1000V 晶闸管组成，其中由 VT1~VT6 组成三相正桥元件（一般不可逆、可逆系统的正桥使用正桥元件），由 VT1'~VT6' 组成三相反桥元件（可逆系统的反桥以及需单个或几个晶闸管的实验可使用反桥元件）。所有这些晶闸管元件均配置有阻容吸收及快速熔断器保护，此外正桥主电路还设有压敏电阻，其内部已经接成三角形接法，起过压吸收作用。

5. 电抗器

实验主回路中所使用的平波电抗器装在电源控制屏内, 其各引出端通过 12 芯的插座连接到 DJK02 面板的中间位置, 有 3 挡电感量可供选择, 分别为 100、200、700mH (各挡在 1A 电流下能保持线性), 可根据实验需要选择合适的电感值。电抗器回路中串有 3A 熔断器保护, 熔断器座装在控制屏内的电抗器旁。

6. 直流电压表及直流电流表

面板上装有 $\pm 300\text{V}$ 的带镜面直流电压表、12A 的带镜面直流电流表, 均为中零式, 准确度为 1.0 级。

1.4 DJK02-2、DJK02-3 挂件 (三相晶闸管触发电路、三相数字晶闸管触发电路)

DJK02-2、DJK02-3 挂件的面板图分别如图 1-7 (a)、(b) 所示。

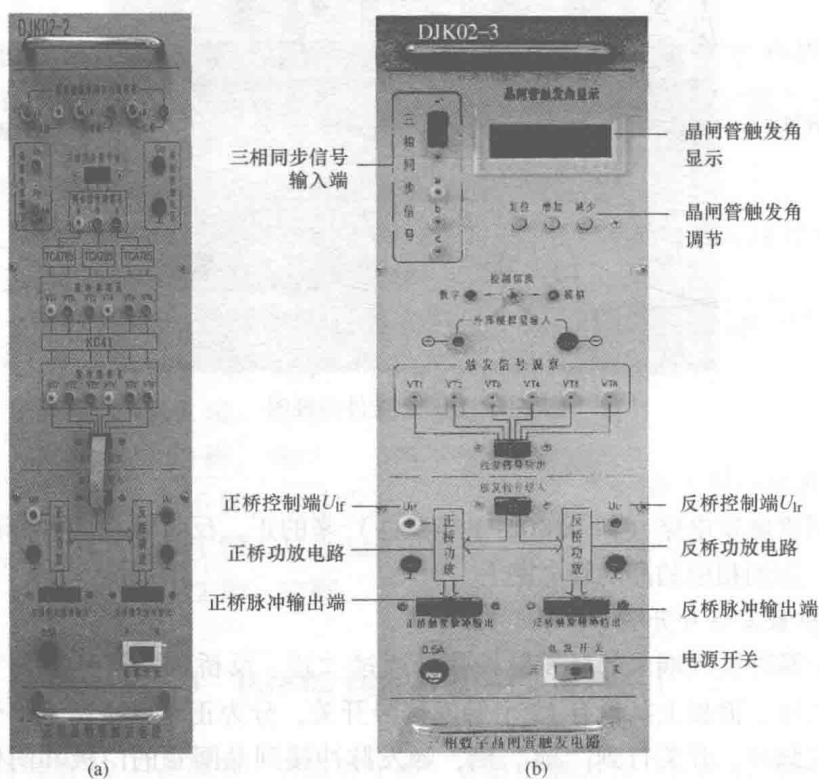


图 1-7 DJK02-2、DJK02-3 挂件面板图

(a) DJK02-2 挂件面板图; (b) DJK02-3 挂件面板图

DJK02-3 挂件有晶闸管触发角显示、晶闸管触发角调节按钮、三相同步信号输入端、正及反桥功放电路、正桥控制端及反桥控制端、正及反桥脉冲输出端等, 介绍如下。

1. 晶闸管触发角显示

DJK02-3 由液晶显示器显示晶闸管触发角的数值。按下晶闸管触发角调节按钮, 可调节触发角的大小, 每按一次调节量为 1° 。触发角的调节范围为 $0^\circ \sim 160^\circ$ 。

2. 三相同步信号输入端

通过专用的 10 芯扁平线将 DJK02 上的“三相同步信号输出端”与 DJK02-3 “三相同步信号输入端”连接，为其内部的触发电路提供同步信号；同步信号也可以从其他地方提供，但要注意同步信号的幅度和相序问题。

3. 正、反桥功放电路

正、反桥功放电路的原理以正桥的一路为例，如图 1-8 所示。由晶闸管触发电路输出的脉冲信号经功放电路中的 VT1、VT2 三极管放大后由脉冲变压器 T1 输出。 U_{ir} 即为 DJK02-3 面板上的 U_{ir} ，该点接地才可使 VT2 工作，脉冲变压器输出脉冲。正桥共有 6 路功放电路，6 路电路完全一致；除控制端不同外（将 U_{ir} 改为 U_{ir} ），反桥功放和正桥功放线路完全一致。

4. 正桥控制端 U_{ir} 及反桥控制端 U_{ir}

这两个端子用于控制正反桥功放电路的工作与否。当端子与地短接，表示功放电路工作，触发电路产生的脉冲经功放电路最终输出；当端子悬空表示功放不工作； U_{ir} 端子控制正桥功放， U_{ir} 端子控制反桥功放。

5. 正、反桥脉冲输出端

经功放电路放大的触发脉冲，通过专用的 20 芯扁平线将 DJK02-3 上的“正（反）桥脉冲输出端”连接至 DJK02 上的“正（反）桥脉冲输入端”，为晶闸管提供相应的触发脉冲。

6. 专用 10、8、20 芯扁平线插座使用说明

专用 10、8、20 芯扁平线插座正面接线示意图如图 1-9 所示。

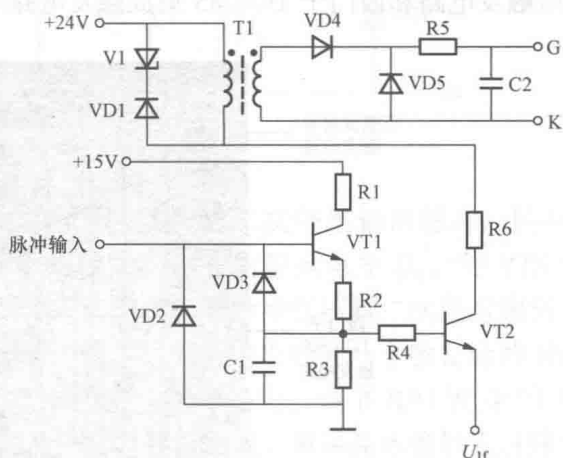


图 1-8 正桥功放电路原理图

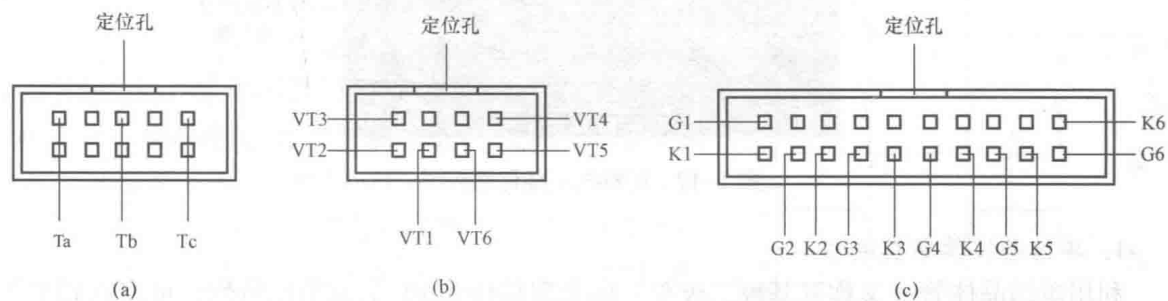


图 1-9 专用 10、8、20 芯扁平线插座正面接线示意图

(a) 10 芯；(b) 8 芯；(c) 20 芯

图 1-9 (a) 中的 Ta、Tb、Tc 为三相电源电压的同步信号，同步信号从 DJK02 的 12 芯航空插座得到，通过 10 芯插座在面板上输出。

DJK02-3 面板上的 10 芯插座为同步电压输入端，将三相同步信号输送到 DJK02-3 内部的触发电路。

图 1-9 (b) 中的 VT1~VT6 为触发电路产生的 6 路触发脉冲，通过 8 芯的插座传送到

功放电路的输入端。

图 1-9 (c) 中的 G1、K1~G6、K6 对应于 DJK02 挂件主电路晶闸管 VT1~VT6 的触发脉冲。

1.5 DJK03-1 挂件（晶闸管触发电路）

DJK03-1 挂件是晶闸管触发电路专用实验挂件，面板如图 1-10 所示。其中包括单结晶体管触发电路、正弦波同步移相触发电路、锯齿波同步移相触发电路 I 和 II，以及单相交流调压触发电路和西门子 TCA785 集成触发电路。

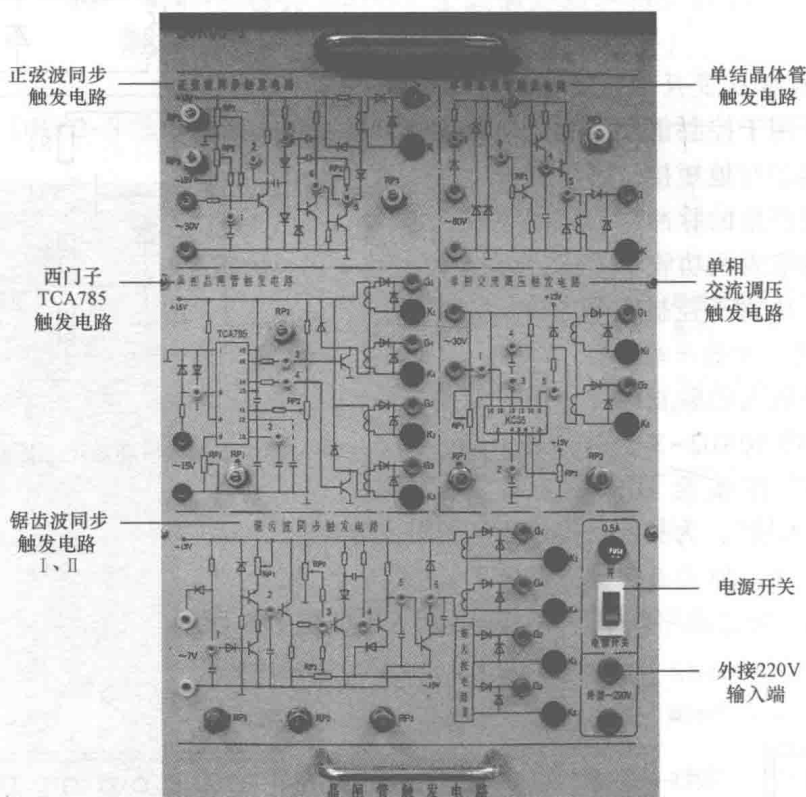


图 1-10 DJK03-1 挂件面板图

1. 单结晶体管触发电路

利用单结晶体管（又称双基极二极管）的负阻特性和 RC 的充放电特性，可组成频率可调的自激振荡电路，如图 1-11 所示。图中，VT3 为单结晶体管，其常用的型号有 BT33 和 BT35 两种；等效电阻 VT2 和 C1 组成 RC 充电回路；C1、VT3、脉冲变压器组成电容放电回路；调节电位器 RP1 即可改变 C1 充电回路中的等效电阻。

单结晶体管触发电路的工作原理简述如下：

由同步变压器二次侧输出 60V 的交流同步电压，经 VD1 半波整流，再由稳压管 V1、V2 进行削波，从而得到梯形波电压，其过零点与电源电压的过零点同步，梯形波通过 R7 及等效可变电阻 VT2 向电容 C1 充电，当充电电压达到单结晶体管的峰值电压 U_p 时，单结晶体

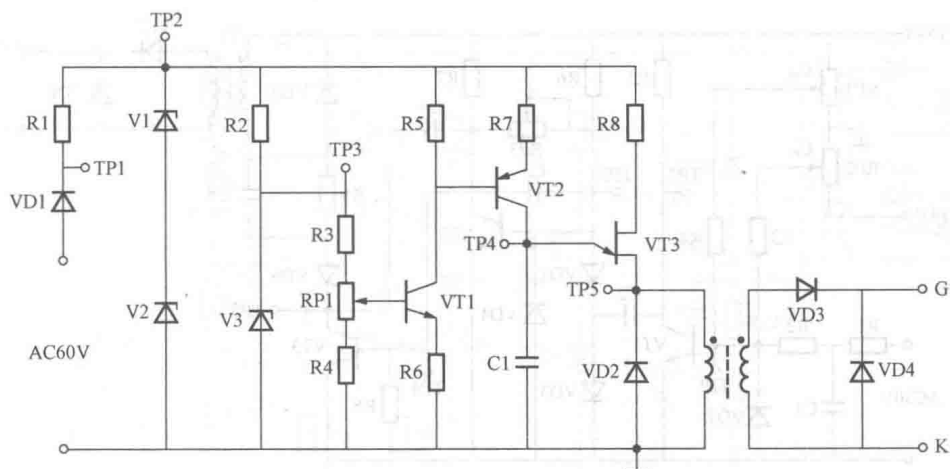


图 1-11 单结晶体管触发电路原理图

管 VT3 导通，电容通过脉冲变压器一次绕组放电，脉冲变压器二次绕组输出脉冲。同时，由于放电时间常数很小，C1 两端的电压很快下降到单结晶体管的谷点电压 U_V ，使 VT3 关断，C1 再次充电，周而复始，在电容 C1 两端呈现锯齿波形，在脉冲变压器二次绕组输出尖脉冲。在一个梯形波周期内，VT3 可能导通、关断多次，但只有输出的第一个触发脉冲对晶闸管的触发时刻起作用。充电时间常数由电容 C1 和等效电阻等决定，调节 RP1 改变 C1 的充电的时间，控制第一个尖脉冲的出现时刻，实现脉冲的移相控制。单结晶体管触发电路的各点波形如图 1-12 所示。

电位器 RP1 已装在面板上，同步信号已在内部接好，所有的测试信号都在面板上引出。

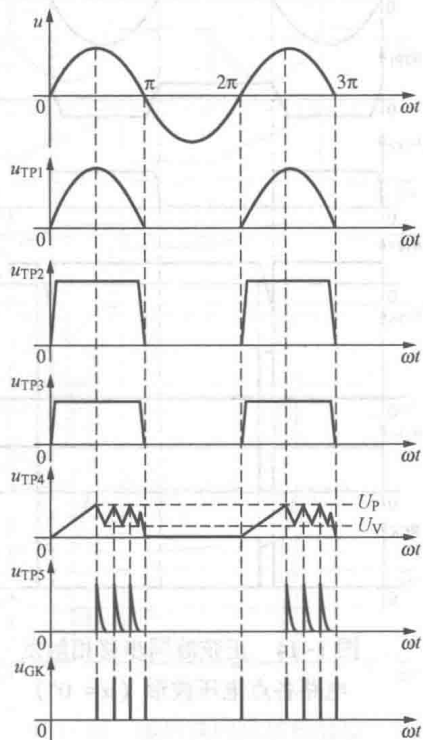
2. 正弦波同步移相触发电路

正弦波同步移相触发电路由同步移相、脉冲放大等环节组成，其原理图如图 1-13 所示。

同步信号由同步变压器二次绕组提供，三极管 VT1 左边部分为同步移相环节，在 VT1 的基极综合了同步信号电压 U_i ，偏移电压 U_b 及控制电压 U_{ct} (RP1 电位器调节 U_{ct} ，RP2 调节 U_b)。调节 RP1 及 RP2 均可改变 VT1 三极管的翻转时刻，从而控制触发角的位置。脉冲形成整形环节是一分立元件的集基耦合单稳态脉冲电路，VT2 的集电极耦合到 VT3 的基极，VT3 的集电极通过 C4、RP3 耦合到 VT2 的基极。正弦波同步移相触发电路的工作原理简述如下：

当 VT1 未导通时，R6 供给 VT2 足够的基极电流使之饱和导通，VT3 截止。电源电压通过 T1、R9、VD6、VT2 对 C4 充电至 15V 左右，极性为左负右正。

当 VT1 导通的时候，VT1 的集电极从高电位翻转为低电位，VT2 截止，VT3 导通，脉冲变压器输出脉冲。

图 1-12 单结晶体管触发电路各点的电压波形 ($\alpha=90^\circ$)

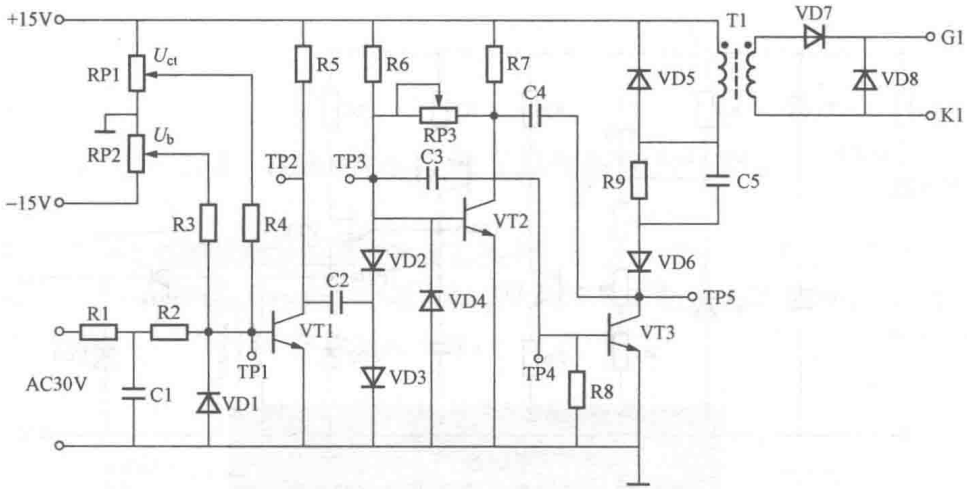
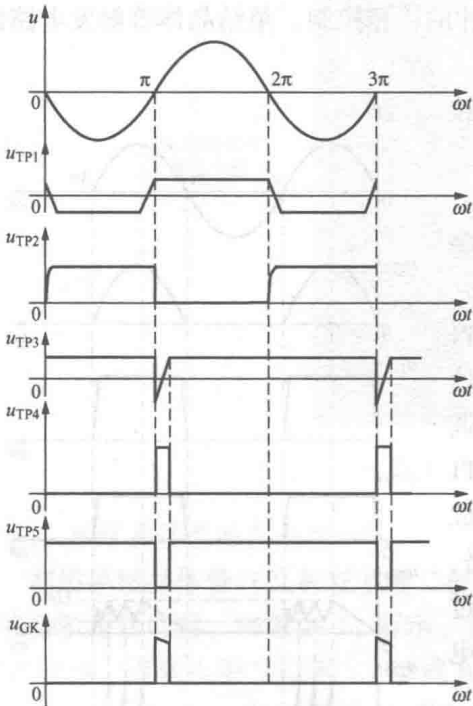


图 1-13 正弦波同步移相触发电路原理图

由于设置了 $C4$ 、 $RP3$ 阻容正反馈电路, 使 $VT3$ 加速导通, 提高输出脉冲的前沿陡度。同时 $VT3$ 导通经正反馈耦合, $VT2$ 的基极保持低电压, $VT2$ 维持截止状态, 电容通过 $RP3$ 、 $VT3$ 放电到零, 再反向上升 $0.7V$ 的时间由其充放电时间常数所决定, 改变 $RP3$ 的阻值就改变了其时间常数, 也就改变了输出脉冲的宽度。

图 1-14 正弦波同步移相触发电路各点电压波形 ($\alpha = 0^\circ$)

正弦波同步移相触发电路的各点电压波形如图 1-14 所示。电位器 $RP1$ 、 $RP2$ 、 $RP3$ 均已安装在面板上, 同步变压器二次绕组已在内部接好, 所有的测试信号都在面板上引出。

3. 锯齿波同步移相触发电路 I、II

锯齿波同步移相触发电路 I 由同步检测、锯齿波形成、移相控制、脉冲形成、脉冲放大等环节组成, 其原理图如图 1-15 所示。

由 $VT3$ 、 $VD1$ 、 $VD2$ 、 $C1$ 等元件组成同步检测环节, 其作用是利用同步电压 U_T 来控制锯齿波产生的时刻及锯齿波的宽度。由 $V1$ 、 $VT2$ 等元件组成的恒流源电路, 当 $VT3$ 截止时, 恒流源对 $C2$ 充电形成锯齿波; 当 $VT3$ 导通时, 电容 $C2$ 通过 $R4$ 、 $VT3$ 放电。调节电位器 $RP1$ 可以调节恒流源的电流大小, 从而改变了锯齿波的斜率。控制电压 U_{ct} 、偏移电压 U_b 和锯齿波电压在 $VT5$ 基极综合叠加, 从而构成移相控制环节, $RP2$ 、 $RP3$ 分别调节控制电压 U_{ct} 和偏移电压 U_b 的大小。 $VT6$ 、 $VT7$ 构成脉冲形成放大环节, $C5$ 为强触发电容改善脉冲的前沿,

由脉冲变压器输出触发脉冲, 电路的各点电压波形如图 1-16 所示。