



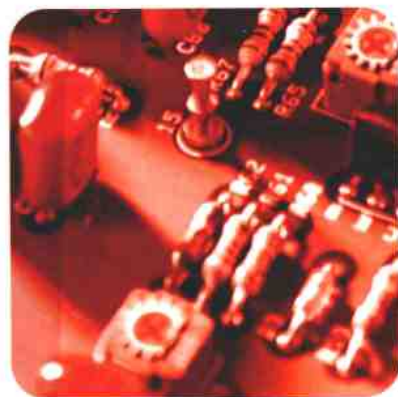
人力资源和社会保障部职业能力建设司推荐

■ 电气维修专业预备技师职业功能模块教材

典型直流调速系统 调试与维护



中国就业培训技术指导中心 组织编写



 中国劳动社会保障出版社

人力资源和社会保障部职业能力建设司推荐
电气维修专业预备技师职业功能模块教材

典型直流调速系统 调试与维护

徐国强 主编
刘进峰 主审

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

典型直流调速系统调试与维护/中国就业培训技术指导中心组织编写. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2010

电气维修专业预备技师职业功能模块教材

ISBN 978-7-5045-8569-1

I. ①典… II. ①中… III. ①直流电机-调速-技术培训-教材 IV. ①TM330.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 187582 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

中国铁道出版社印刷厂印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.25 印张 357 千字

2010 年 10 月第 1 版 2010 年 10 月第 1 次印刷

定价: 26.00 元

读者服务部电话: 010-64929211/64921644/84643933

发行部电话: 010-64961894

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64954652

如有印装差错, 请与本社联系调换: 010-80497374

序

实现国家高技能人才队伍建设中长期战略目标，造就数以千万计的高技能人才，搞好培养和培训是基础。为了更多更好更快地培养技师和高级技师，我们在技工院校培养高级工的基础上试点探索培养预备技师，创新培养模式，在提升高技能培训质量的基础上，大力扩展高技能人才后备资源。预备技师职业功能模块课程体系四个专业的教材正是在此背景下，按照试点的指导思想编写出版的。可谓适逢其时，应运而生。

党和国家高度重视高技能人才队伍建设，近日下发的《国家中长期人才发展规划纲要（2010—2020）》，从适应新型工业化和产业结构优化升级的需要出发，明确提出到2020年高技能人才队伍总量要达到3900万人，其中技师和高级技师要达到1000万人左右。从现有的培养基础和培养能力来看，要实现这个目标，创新培养模式是不二选择。预备技师职业功能模块课程体系教材的出版，正是创新培养理念和培养模式的产物。它的实施必将成为实现国家中长期高技能人才培养目标的助推力。近几年来，我国的高技能人才队伍建设在规模和质量上都取得了可喜成效。但与我国经济发展的要求相比仍然存在着数量短缺、结构不合理的矛盾。特别是经历国际金融危机的冲击后，加快转变经济发展方式，必将带来对高技能人才的新一轮更大需求。预备技师职业功能模块课程体系教材，必将为我国高技能人才培养提供有力的技术支撑服务。

预备技师职业功能模块课程体系的开发与研究，是人力资源社会保障部高技能培训联合委员会汇聚全国行业（企业）专家、课程开发专家及全国技工教育培训的高端资源，历时两年，坚持理论与实践相结合，历史与现实及未来发展相结合，国内经验与国外借鉴相结合的原则，组织研究和开发的，终成正果，这也是推进校企合作培养模式迈进深层次的一个重要标志。

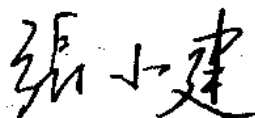
预备技师职业功能模块课程体系的创新性，一方面在于它坚持以职业活动为导向，以国家职业标准和岗位需求为依据，以培养职业能力为核心，把实际工作任务作为教学主线，把岗位工作项目作为教学内容，构建了一套具有现代技工教育特色的课程体系，既可服务于学生终身职业生涯的发展，又可服务于为生产与服务一线培养应用型技能人才。另一方面，还在于它对学科体系的弃粗取精，并与构建新的职业能力培养体系相结合。该体系将课程结构从原来的文化基础课、专业基础课、专业课三段模式，转变为由职业能力课程和能力拓展模

块组成的课程结构，将能力培养与综合素质培养有机地结合起来，充分体现“课程结构模块化、教学手段一体化、组织教学项目化、培养能力综合化”。

首批出版的预备技师职业功能模块课程体系，包括汽车维修、数控机床加工（数控车工）、电气维修和电脑动画设计制作四个专业。教材的编写出版，凝聚着全国行业（企业）专家、课程开发专家及广大技工院校教师的心血，也是实施课程体系和教学实践的重要保证。当然，按照新出版的课程体系教材组织实施教学，还有一个不断完善的过程，仍然需要相关专家和技工院校广大教师继续进行新的探索和努力。

借此机会，我代表人力资源社会保障部向所有参与教材编写的专家和技工院校教师表示衷心感谢！希望大家再接再厉，在深化校企合作、探索有中国特色职业培训课程体系的征程上再创佳绩。

人力资源和社会保障部副部长



2010年6月

前言

为了贯彻《中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于进一步加强高技能人才工作的意见》的通知》（中办发〔2006〕15号）、《关于做好预备技师考核试点工作的通知》（劳社厅发〔2007〕15号）和《关于印发汽车维修等4个专业预备技师职业功能模块课程体系培养方案及大纲（试行）的通知》（人社职司函〔2009〕33号）文件精神，我部高技能培训联合委员会组织开展了预备技师职业功能模块课程体系（以下简称“职业功能模块课程体系”）研究。由深圳技师学院、西安技师学院、江苏盐城技师学院和北京新媒体技师学院牵头，开发了汽车维修、数控机床加工（数控车工）、电气维修和电脑动画设计制作4个专业职业功能模块课程体系培养方案、课程大纲及系列教材。

预备技师职业功能模块课程体系以职业活动为导向，以国家职业技能标准技师（国家职业资格二级）为基础，按照预备技师可持续发展需求和高技能人才培养特点，将职业岗位群的工作技能要求（工作项目）转化为院校的专业培养教学项目。以校企合作开放性办学模式取代传统封闭式办学模式，以任务引领型的一体化情境教学方式取代传统的理论与实训分离的课堂教学方式，构建将社会终结性考核转变为过程化评价的现代技工教育课程体系。

职业功能模块系列教材，准确体现了培养方案及课程大纲的要求，对教学项目包含的工作任务进行了详尽描述，提供了工作过程导向的项目教学案例。教材以学生获得工作体验，形成良好的职业技能为核心，以操作性学习为特征，可指导学生按工作过程开展学习活动，并注重学生的社会能力、交往能力、协作能力、终身学习能力的培养。课程的教学核心内容形成对职业岗位群技能的支撑，构成全新的教材模式，是实施职业功能模块教学的重要保证。既便于实践性教学，同时也便于指导学生自主学习。

职业功能模块系列教材之《典型直流调速系统调试与维护》，共分8个学习项目。主要内容包括主电路调试与维护、电源电路调试与维护、触发电路调试与维护、保护电路调试与维护、隔离电路调试与维护、反馈电路调试与维护、调节电路调试与维护及系统调试与维护等。本书根据《电气维修专业预备技师职业功能模块课程体系培养方案及课程大纲（试行）》的要求，以职业标准为依据，以职业能力为核心，以职业活动为导向，以项目任务为载体，以提高从业人员的核心技能、核心素质为目标。每个学习项目包括项目引入、项目要求、项目内容、项目实施、项目总结等环节，由浅入深、循序渐进，充分体现“做中学”“学中做”

的职业教学特色。

本书主要作为技工院校电气维修专业（预备技师）培训教材，可作为高等职业技术学院、成人职业学校、广播电视大学的技能项目培训教材，也可作为社会培训用书或电气爱好者的辅助用书。

本书由成都技师学院徐国强、王涛、白玉钊、龙毓、薄海青编写。徐国强任主编并统稿，江苏盐城技师学院刘进峰主审。

编审委员会

主 任 刘 康

副 主 任 宋 建

委 员 黎德良 李木杰 周 佳 李长江 龚 朴
王风雷 林爱平 吕成鹰 李 康 何月平
卢义斋 梁 军 彭效润 田秀萍 黄锋章
崔秋立

丛 书 主 编 宋 建

丛书副主编 蔡 兵 蒋燕辰 陈志集

各分册主编、主审

王春阳 唐修波 刘根润 王观海 王 建

徐国强 李 虹 郝瑞生 吕国贤 陈为华

李春明 刘进峰 张瑞丰 徐 第

目 录

教学项目一	主电路调试与维护	(1)
任务 1	主电路调试	(2)
任务 2	主电路维护	(20)
教学项目二	电源电路调试与维护	(28)
任务 1	电源电路调试	(29)
任务 2	电源电路维护	(47)
教学项目三	触发电路调试与维护	(53)
任务 1	触发电路调试	(54)
任务 2	触发电路维护	(78)
教学项目四	保护电路调试与维护	(85)
任务 1	保护电路调试	(86)
任务 2	保护电路维护	(104)
教学项目五	隔离电路调试与维护	(110)
任务 1	隔离电路调试	(111)
任务 2	隔离电路维护	(129)
教学项目六	反馈电路调试与维护	(136)
任务 1	反馈电路调试	(137)
任务 2	反馈电路维护	(165)
教学项目七	调节电路调试与维护	(173)
任务 1	调节电路调试	(174)
任务 2	调节电路维护	(202)
教学项目八	系统调试与维护	(209)
任务 1	直流调速系统的安装与调试	(210)
任务 2	直流调速系统的维护	(227)

教学项目一 主电路调试与维护

项目引入

主电路是直流调速系统的功率放大部件，也是系统中执行环节的动力来源。在直流调速系统中，主电路的工作状态直接关系到生产设备的运行性能和安全性能。所以主电路调试与维护是直流调速控制系统设备维护的重要任务。

典型直流调速系统的主电路常采用三相桥式全控整流电路，作为直流电动机电枢回路驱动电源；独立的励磁电源向电动机提供励磁电流；利用交流电流互感器检测负载电流，并设有保护报警电路。

高精度金属切削机床（如龙门刨、龙门铣、轧辊磨床、立式车床等）、大型起重设备、轧钢机、矿井卷扬、城市电车等众多领域广泛采用着直流电动机驱动。因此，直流调速系统的主电路调试与维护技能可应用到直流电动机驱动生产机械的任何领域。

项目要求

1. 了解晶闸管的工作原理、特性和主要参数；
2. 能够读懂晶闸管直流调速系统的主电路原理图；
3. 能够测绘主电路，并绘出其原理图；
4. 能够正确使用仪器、仪表，对主电路进行调试与维护。

项目内容

1. 分析晶闸管直流调速系统的主电路工作原理；
2. 主电路调试和维护项目的实施。

项目实施

根据主电路调试与维护工作需要，将主电路调试与维护教学项目分为两个工作任务来实施：

- 任务1 主电路调试
- 任务2 主电路维护

任务1 主电路调试

任务目标

- (1) 能读懂主电路原理图。
- (2) 了解晶闸管的工作原理、特性和主要参数。
- (3) 掌握主电路的测绘方法，并绘出其原理图。
- (4) 掌握主电路的调试方法，实现主电路正常工作。
- (5) 能够正确使用测量仪器、仪表。

任务引入与分析

控制直流电动机单向运转，且对停车快速性无特殊要求的车床、镗床等生产机械，采用典型不可逆直流调速系统实现无级调速，可获得较高的加工精度。这种直流调速系统的主电路采用三相桥式全控整流电路，三相交流电源（ $\sim 380\text{V}$ ）经交流接触器 KM1 引至整流变压器 T1 的原边，经 T1 变压后，通过快速熔断器 FU 进入三相桥式全控整流电路，整流后输出可调直流电压，向直流电动机电枢供电。控制晶闸管的导通角，就可以调整整流电路输出的直流电压的大小，以实现电动机转速的调节。典型直流调速系统主电路，如图 1—1 所示。

根据电路结构，将主电路调试工作分成以下 4 个子任务：

- (1) 主电路工作原理分析。通过电路原理分析，描述三相桥式全控整流电路、整流变压器、励磁环节等电路的结构特点、功能及元器件作用。
- (2) 继电操作电路工作原理分析。描述系统启动操作顺序、停止运行操作顺序、各接触器与继电器的结构特点和功能。
- (3) 主电路测绘。正确使用测绘仪器、工具，绘制各个环节电路图，制作装配工艺图纸，会编制工艺文件。
- (4) 主电路调试。熟练使用调试仪器、仪表及工具，调整、测试各个环节的电路参数，记录与分析各测试点参数与波形。

任务实施与评价

一、任务准备

知识与技能准备

1. 完成任务的步骤与要求

学生具体工作内容表，见表 1—1。

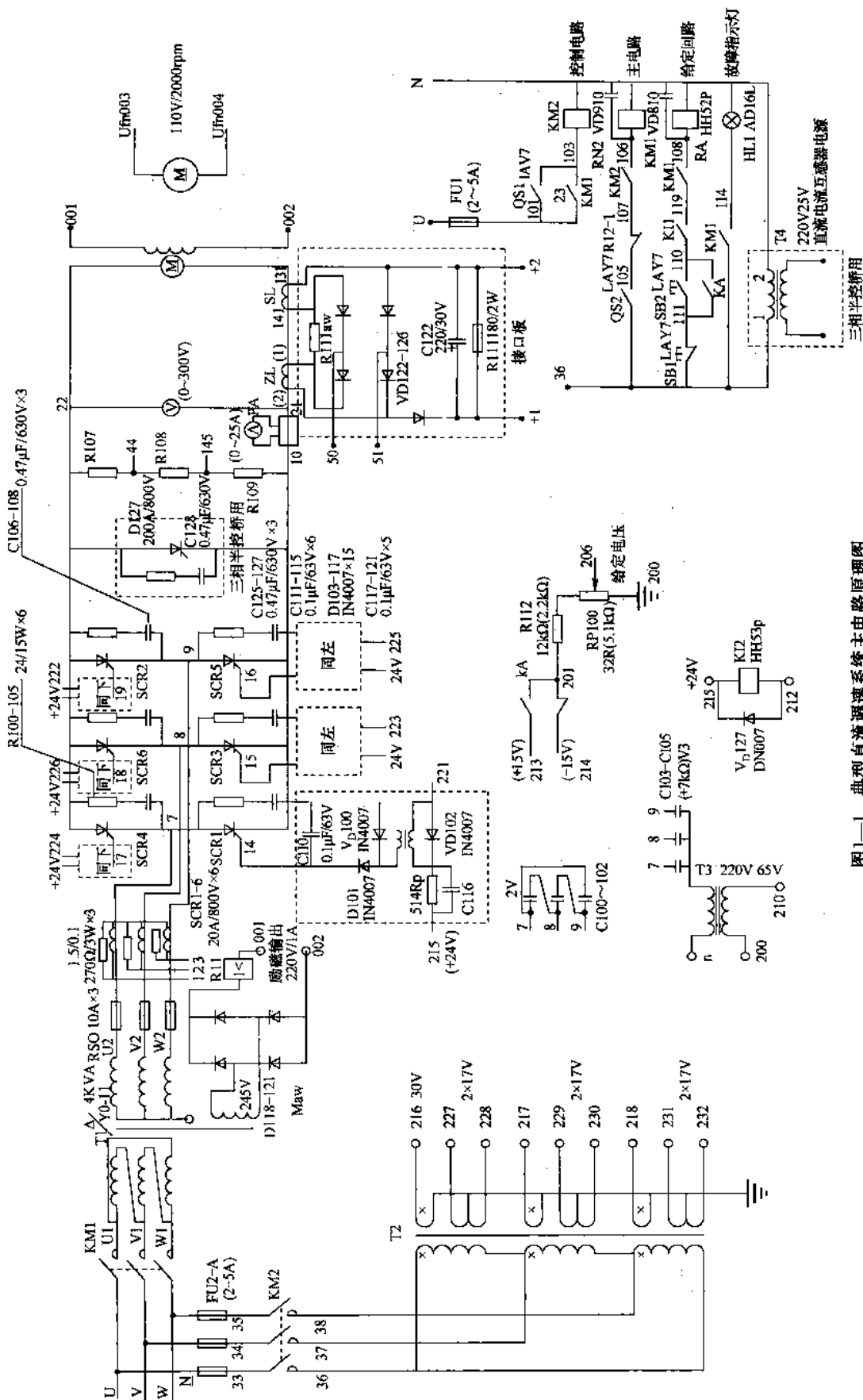


图1-1 典型直流调速系统主电路原理图

表 1—1

学生的具体工作内容

序号	工作内容	工作目标	工作要求	学生自评
1	描述主电路工作原理 描述继电器保护电路工作原理	掌握电路功能	写出主电路, 继电器保护电路工作过程	
2	三相桥式全控整流电路的测绘 继电器保护电路的测绘	弄清电路结构	画出元件布置图 画出印制电路图 画出电路原理图	
3	励磁环节电路的调试 继电器保护电路的调试 电阻性负载主电路的调试 电感性负载主电路的调试	实现电路正常工作	安全操作 实现电路的正常运行	

2. 相关的知识

(1) 自然换相点 (触发延迟角 $\alpha=0^\circ$)

为相邻相电压或线电压的交点, 它距相电压波形的原点 30° , 距对应线电压波形原点 60° 。

(2) 三相桥式全控整流电路

三相桥式全控整流电路如图 1—2 所示。该电路由 6 只晶闸管构成, 其中 VT1、VT3、VT5 组成共阴组, VT2、VT4、VT6 组成共阳组, VT1、VT4 接 U 相, VT3、VT6 接 V 相, VT5、VT2 接 W 相。6 只晶闸管按 VT1—VT2—VT3—VT4—VT5—VT6—VT1……的顺序触发导通。

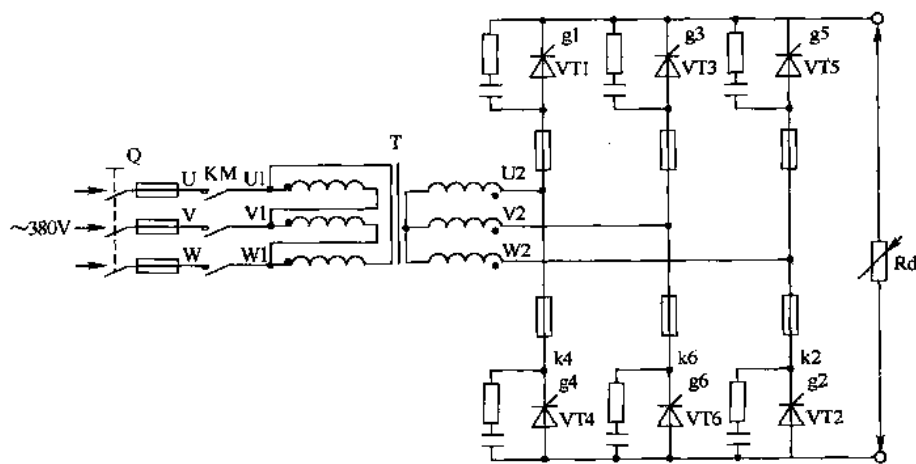


图 1—2 三相桥式全控整流电路图

$\alpha=0^\circ$ 时, 三相桥式全控整流电路输出电压波形是三相相电压正负包络线, 即六个线电压正向包络线。其输出直流电压最大, 即 $U_{d0}=2.34U_{\varphi}=290\text{ V}$ 。

1) 电阻性负载

$0^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$ 时, 输出电压平均值: $U_{d0}=2.34U_{2\varphi}\cos\alpha$, 负载电压和电流连续。

$60^\circ < \alpha \leq 120^\circ$ 时, 输出电压平均值: $U_{d0}=2.34U_{2\varphi}[1+\cos(60^\circ+\alpha)]$, 负载电压和电流断续。 $\alpha=120^\circ$ 时, $U_{d0}=0\text{ V}$ 。

所以, 移相范围为 $\alpha=0^{\circ} \sim 120^{\circ}$ 。

2) 电感性负载

输出电压平均值: $U_{d0}=2.34U_{2\phi}\cos\alpha$ 。当 $\alpha=90^{\circ}$ 时, $U_{d0}=0$ V。

所以, 移相范围为 $\alpha=0^{\circ} \sim 90^{\circ}$, 电流是连续的。

设备与材料准备

1. 设备准备

预装 Protel 2004 CAD 软件的计算机、打印机、双踪示波器、直流调速系统、函数发生器、直流稳压电源、直流调速系统等。

2. 材料准备

4 号图样、主电路相关元器件及导线等器材。

工具与场地准备

绘图工具、万用表、转速表、3 号绘图板、电工工具及电子产品装接工具、工业自动化控制实训装置等。

二、任务实施

1. 主电路工作原理分析

(1) 学生分组, 明确分工, 填写任务分工表

(2) 三相桥式全控整流电路原理分析

三相桥式全控整流电路如图 1-2 所示。

1) 电阻性负载

图 1-3 所示为三相桥式全控电阻性负载整流电路在触发角 $\alpha=0^{\circ}$ 时的输出电压波形和触发脉冲顺序。触发角 $\alpha=0^{\circ}$, 则共阴极组和共阳极组的每个晶闸管在各自的自然换相点触发换相。 $\alpha=0^{\circ}$ 的情况下, 共阴极组晶闸管只有阳极电位最高一相的晶闸管在有触发脉冲时才能导通; 而共阳极组晶闸管, 只有阴极电位最低一相的晶闸管在有触发脉冲时才能导通。

当触发角 $\alpha=0^{\circ}$ 时, 电路的工作过程如下:

$\omega t_1 \sim \omega t_2$ 期间, U 相电压最高, V 相电压最低, 若在 VT1、VT6 控制极加上触发脉冲, 则 VT1、VT6 导通, 电流流经 U 相—VT1— R_d —VT6—V 相, 负载 R_d 上得到 U、V 相线电压, 即 $u_d=u_{uv}$ 。

$\omega t_2 \sim \omega t_3$ 期间, U 相电压仍保持最高, 所以 VT1 继续导通。此时 W 相电压较 V 相电压更低, 故触发 VT2, 则 VT2 导通。VT2 导通后, 使 VT6 承受反向电压而关断,

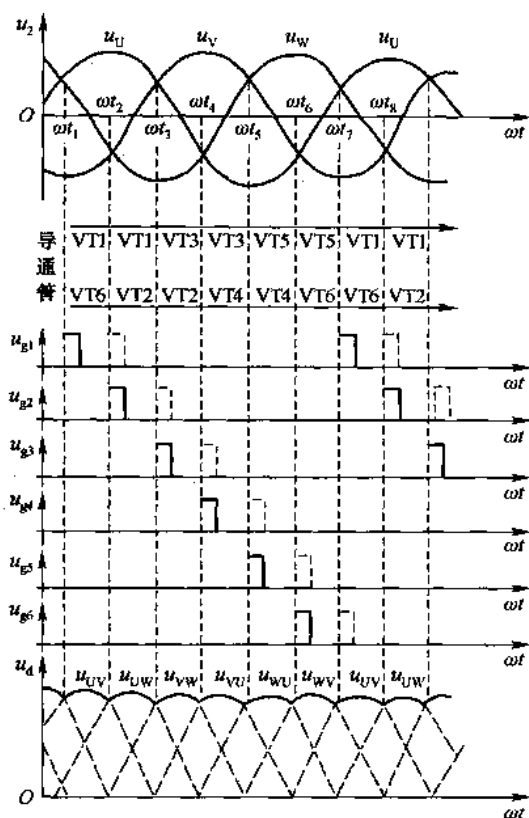


图 1-3 $\alpha=0^{\circ}$ 输出电压波形和触发脉冲顺序

电流从 VT6 换到 VT2。电流流经 U 相—VT1— R_d —VT2—W 相，负载 R_d 上得到 U、W 相线电压，即 $u_d = u_{uw}$ 。

类推可分析电路在 $\omega t3 \sim \omega t4$ 期间，VT2 与 VT3 导通，负载 R_d 上得到 V、W 相线电压，即 $u_d = u_{vw}$ 。 $\omega t4 \sim \omega t5$ 期间，VT3 与 VT4 导通； $\omega t5 \sim \omega t6$ 期间，VT4 与 VT5 导通； $\omega t6 \sim \omega t7$ 期间，VT5 与 VT6 导通。从 $\omega t7$ 以后重复上述过程。

由此可见，三相桥式全控整流电路中，晶闸管导通顺序为：

$$(VT6, VT1) \rightarrow (VT1, VT2) \rightarrow (VT2, VT3) \rightarrow (VT3, VT4) \rightarrow (VT4, VT5) \rightarrow (VT5, VT6)$$

由电阻性负载的输出电压波形图 1—4 所示，当触发移相控制角 $\alpha > 0^\circ$ 时，每只晶闸管的换相（换流）均不在自然换相点，而是从各自然换相点向后移一个 α 角进行换相，故整流输出电压 u_d 的波形与 $\alpha = 0^\circ$ 时不同。 $0^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$ 范围内， u_d 波形连续； $60^\circ < \alpha \leq 120^\circ$ 范围内， u_d 波形断续； $\alpha = 120^\circ$ 时， $U_{d0} = 0$ V。所以，移相范围为 $\alpha = 0^\circ \sim 120^\circ$ 。当改变 α 时，输出电压 u_d 的波形发生变化，其平均值 U_d 随之改变，从而实现可控整流。

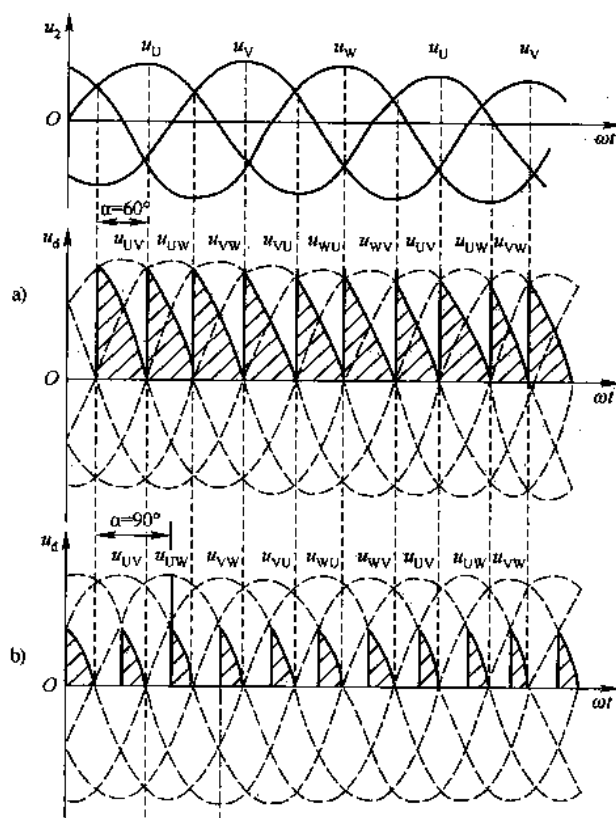


图 1—4 电阻性负载时的输出电压波形

a) $\alpha = 60^\circ$ b) $\alpha = 90^\circ$

电阻性负载的三相桥式全控整流电路正常工作时，不导通的晶闸管承受反向电压，其中一只晶闸管反向电压的波形如图 1—5 中粗实线所示。

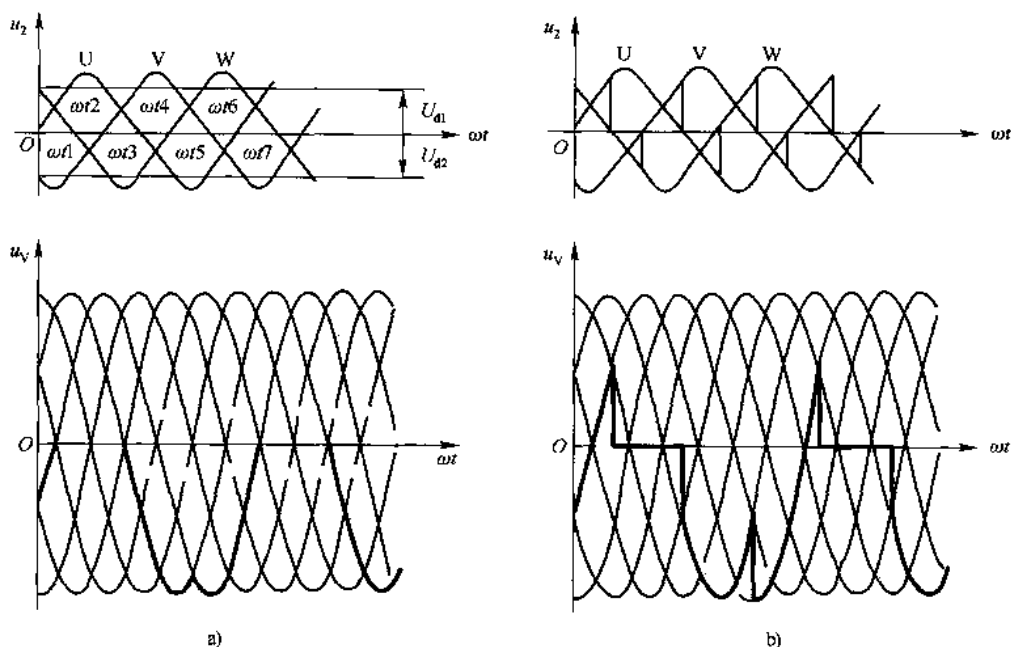


图 1-5 三相桥式全控整流电路晶闸管压降
a) $\alpha=0^\circ$ 时的晶闸管压降 b) $\alpha=30^\circ$ 时的晶闸管压降

2) 电感性负载

$0^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$ 时, 输出电压 u_d 的波形与电阻性负载时相同, u_d 波形均为正值; 当 $60^\circ < \alpha < 90^\circ$ 时, 因电感的自感电动势作用, 输出电压 u_d 的波形出现负值, 但 u_d 波形的正面积大于负面积, 则平均电压 U_d 仍为正值, 波形如图 1-6 所示。

其输出电压平均值 $U_d = 2.34 U_{2\phi} \cos \alpha$; 当 $\alpha = 90^\circ$ 时, $U_d = 0V$ 。所以, 移相范围为 $\alpha = 0^\circ \sim 90^\circ$, 电流是连续的。

训练 1 按表 1-2 的要求描述三相桥式全控整流电路的元件作用及特点

表 1-2 三相桥式全控整流电路的元件作用及特点

序号	元件符号	元件名称	元件的作用	元件的特点
1				
2				
3				
⋮				

◇ 讨论: 各元件在三相桥式全控整流电路中的工作状态及功能。

- (1) 描述三相桥式全控电路的六只晶闸管的工作状态, 并说明其功能。
- (2) 描述续流二极管的作用。
- (3) 描述整流变压器 T1 的工作原理, 并说明其功能。
- (4) 描述交流互感器的工作原理, 并说明其功能。
- (5) 描述电阻器 R107~R109 的功能。

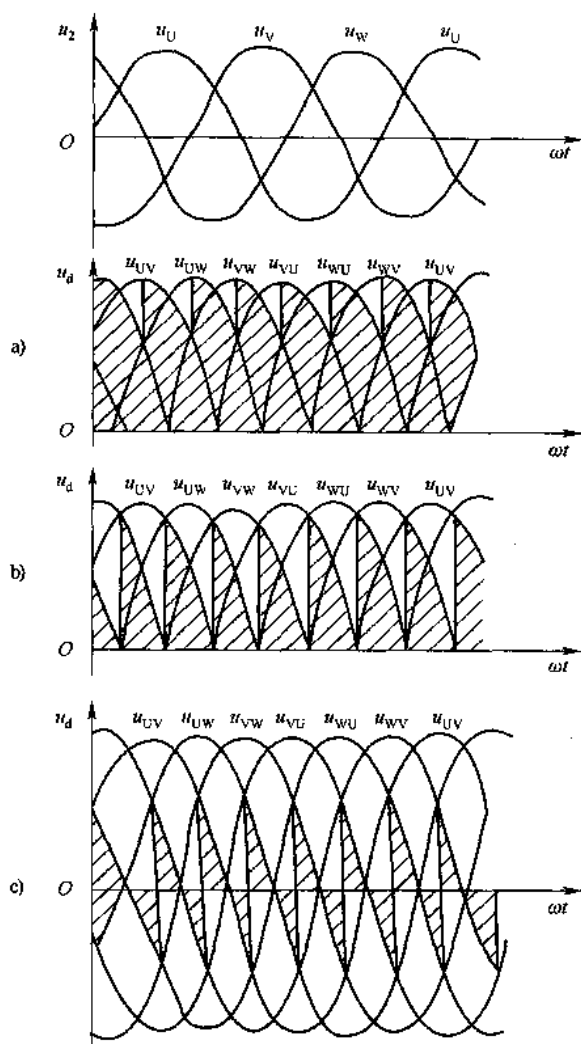


图 1—6 三相桥式全控整流电路电感性负载时的输出电压波形
a) $\alpha=30^\circ$ b) $\alpha=60^\circ$ c) $\alpha=90^\circ$

训练 2 分析三相桥式全控整流电路几个方面的工作原理

(1) 三相桥式全控整流电路六只晶闸管需要双窄脉冲或大于 60° 的宽脉冲触发，因而触发电路较复杂。分析其主要原因。

(2) 分析三相桥式全控整流电路可控整流的工作原理和逆变状态的工作原理。

(3) 分析三相桥式全控整流电路电阻性负载与电感性负载的移相范围为何不同，电阻性负载和电感性负载输出波形有何不同。

(4) 三相桥式全控整流电路控制滞后时间为 3.3 ms ，控制灵敏度高，动态响应快。分析其主要原因。

◇ 讨论：在三相桥式全控整流电路中，如果其中一只晶闸管的触发脉冲突然丢失，将会出现什么现象？如何判断有触发脉冲丢失的现象？