

1+X 职业技术·职业资格培训教材

维修电工

维修电工

WEIXIU DIANGONG

维修电工

劳动和社会保障部教材办公室
上海市职业技术培训教研室 组织编写

维修电工

(高级)上册

 中国劳动社会保障出版社

TM07
12



维修电工

职业技术·职业资格培训教材

维修电工（初级）

维修电工（中级）

维修电工（高级）上册

维修电工（高级）下册

责任编辑：高俊卿

责任校对：袁学琦

封面设计：邱雅卓

版式设计：沈悦

ISBN 7-5045-3770-5



9 787504 537706 >

ISBN 7-5045-3770-5/TM · 196

定价：39.00 元

1+X

职业技术·职业资格培训教材

维修电工

WEIXIU DIANGONG

主 编 柴敬镛 王照清

编写人员 沈倪勇 仲葆文 杨德林

张毓麟

审 稿 徐坤泉 姚樵耕

(高级)上册

 中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

维修电工：高级·上册 / 柴敬镛，王照清主编. —北京：中国劳动社会保障出版社，
2003.9

职业技术·职业资格培训教材

ISBN 7-5045-3770-5

I. 维… II. ①柴…②王… III. 电工-维修-技术培训-教材 IV. TM07

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 019148 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

*

外文印刷厂印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 24 印张 506 千字

2003 年 9 月第 1 版 2004 年 4 月第 2 次印刷

印数：5000 册

定价：39.00 元

读者服务部电话：010-64929211

发行部电话：010-64911190

出版社网址：<http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话：010-64911344



内 容 简 介

本教材由劳动和社会保障部教材办公室、上海市职业技术培训教研室依据上海 1+X 职业技能鉴定考核细目——维修电工（高级）组织编写。本教材从强化培养操作技能，掌握一门实用技术的角度出发，较好地体现了本职业当前最新的实用知识与操作技术，对于提高从业人员基本素质，掌握高级维修电工的核心内容与技能有直接的帮助和指导作用。

本教材分上、下两册，主要内容包括：电子技术、电力电子技术、电气控制技术、微机与可编程序控制器应用技术四篇。每篇又分成若干个单元。本套教材除了必要的理论知识外，还将部分应用实例及操作技能实例作为一个单元列入到每篇中，理论部分的每个单元后都编写了部分模拟测试题，操作实例部分的每个单元后都编写了部分技能模拟测试题。本套教材最后还编写了两套知识考核模拟试卷和技能考核模拟试卷。

参加本教材编写的具体分工为：柴敬镛（第一至四单元），沈倪勇（第五至八单元），仲葆文（第九至十二单元、第十九单元、第二十一单元、第二十二单元），王照清（第十三至十七单元），杨德林（第十八单元、第二十单元、第二十三单元），张毓麟（第二十四单元）。

本教材可作为上海地区维修电工（高级）职业技能培训与鉴定考核教材，也可供全国其他地区从业人员学习掌握先进维修电工技术，或进行岗位培训、就业培训使用。本教材还对维修电工技师及高级技师层次的培训有很好的学习使用价值，同时可作为高职及高级技校师生教学参考书。

目 录

绪 论

第一篇 电子技术

第一单元 负反馈放大器	(5)
第一节 反馈的基本概念	(5)
第二节 负反馈放大器反馈组态的判别	(9)
第三节 负反馈电路放大倍数的一般表达式	(12)
第四节 负反馈对放大电路性能的影响	(13)
第五节 深度负反馈放大器电压放大倍数的估算	(17)
第六节 负反馈放大器的自激振荡与消振	(22)
模拟测试题	(24)
模拟测试题答案	(27)
第二单元 运算放大器及其应用	(30)
第一节 运算放大器的结构及其主要技术指标	(30)
第二节 运算放大器的线性应用	(33)
第三节 运算放大器的非线性应用	(42)
模拟测试题	(51)
模拟测试题答案	(54)
第三单元 数字电子技术基础	(58)
第一节 数字电子技术的特点及分类	(58)
第二节 数制与码	(60)
第三节 基本逻辑门电路	(64)
第四节 逻辑函数的基本概念	(72)
第五节 逻辑函数的化简	(78)
模拟测试题	(84)
模拟测试题答案	(86)

第四单元 集成逻辑门电路和组合逻辑电路	(90)
第一节 TTL 电路	(90)
第二节 MOS 电路	(96)
第三节 组合逻辑电路的分析和设计方法	(102)
第四节 常用中规模集成组合逻辑电路	(105)
第五节 数字集成电路使用时的注意事项	(121)
模拟测试题	(126)
模拟测试题答案	(127)
第五单元 触发器和时序逻辑电路	(130)
第一节 触发器	(130)
第二节 寄存器	(142)
第三节 计数器	(146)
模拟测试题	(159)
模拟测试题答案	(160)
第六单元 脉冲电路	(161)
第一节 555 定时器及其应用	(161)
第二节 用门电路组成的脉冲电路	(167)
模拟测试题	(170)
模拟测试题答案	(171)
第七单元 电子电路应用实例及其分析	(172)
第一节 半导体管音频前置放大器电路	(172)
第二节 用运放构成的电压/频率-频率/电压转换电路	(175)
第三节 异步 BCD 加法计数器	(177)
模拟测试题	(180)
模拟测试题答案	(180)
第八单元 电子技术操作技能实例	(181)
第一节 一般调试及常见故障	(181)
第二节 分立元件电子电路分析、安装与调试 (4 kHz 谐波发生器)	(184)
第三节 集成运算放大器应用电路分析与调试 (方波—三角波发生器)	(187)
第四节 数字电路分析与调试实例 (脉冲顺序控制器)	(189)
技能模拟测试题 (一)	(190)
技能模拟测试题 (一) 答案 (部分)	(191)
技能模拟测试题 (二)	(192)
技能模拟测试题 (二) 答案 (部分)	(194)

第二篇 电力电子技术

第九单元 三相可控整流电路	(197)
第一节 三相半波可控整流电路.....	(197)
第二节 三相桥式全控整流电路.....	(205)
第三节 三相桥式半控整流电路.....	(210)
第四节 带平衡电抗器的双反星形可控整流电路.....	(212)
第五节 整流电路的换相压降与外特性.....	(216)
第六节 晶闸管整流主电路的计算及保护.....	(219)
模拟测试题.....	(231)
模拟测试题答案.....	(233)
第十单元 晶闸管触发电路	(236)
第一节 概述.....	(236)
第二节 正弦波同步触发电路.....	(238)
第三节 锯齿波同步触发电路.....	(244)
第四节 集成触发器.....	(249)
第五节 触发电路与主电路电压的同步.....	(256)
模拟测试题.....	(261)
模拟测试题答案.....	(263)
第十一单元 晶闸管有源逆变电路	(266)
第一节 有源逆变的基本工作原理.....	(266)
第二节 常用的晶闸管有源逆变电路.....	(269)
第三节 逆变失败与最小逆变角的确定.....	(272)
第四节 绕线式转子异步电动机的串级调速.....	(275)
第五节 晶闸管直流可逆拖动电路的工作原理.....	(278)
模拟测试题.....	(284)
模拟测试题答案.....	(285)
第十二单元 变频电路与直流斩波电路	(287)
第一节 变频电路的基本概念.....	(287)
第二节 变频电路中的逆变器.....	(291)
第三节 直流斩波电路.....	(297)
第四节 全控型电力电子器件.....	(301)
模拟测试题.....	(307)
模拟测试题答案.....	(310)

第十三单元 晶闸管交流开关与交流调压	(311)
第一节 双向晶闸管	(311)
第二节 晶闸管交流开关	(315)
第三节 交流调压电路	(318)
模拟测试题	(330)
模拟测试题答案	(330)
第十四单元 晶闸管可控整流装置应用实例及其分析	(332)
第一节 同步电动机晶闸管励磁装置	(332)
第二节 同步电动机晶闸管励磁装置电路分析	(333)
第三节 同步电动机晶闸管励磁装置调试及试车	(346)
模拟测试题	(347)
模拟测试题答案	(348)
第十五单元 电力电子技术技能操作实例	(349)
第一节 集成化六脉冲触发电路调试与分析	(349)
第二节 三相桥式全控整流电路接线、调试与分析	(354)
第三节 三相桥式半控整流电路接线、调试与分析	(362)
技能模拟测试题 (一)	(367)
技能模拟测试题 (二)	(369)
技能模拟测试题 (一) 答案	(371)
技能模拟测试题 (二) 答案	(372)



绪 论

随着科学技术的进步与发展,尤其是大规模集成电路与微型计算机技术的发展与应用,企业自动化水平日益提高,电气设备及控制系统越来越复杂,采用了许多新设备、新技术、新材料、新工艺。目前,在电厂、高炉、轧钢、化工、汽车、机械制造等各种生产过程自动控制系统以及各种单机设备控制系统中广泛采用了可编程序控制器,可编程序控制器已成为当今社会中不可缺少的自动控制装置。与此同时,电气传动控制技术发展迅速,传统的模拟式直流调速系统已逐步被带微处理器的全数字直流调速系统所取代。随着电力电子技术发展,尤其是全控型电力电子器件(自关断器件)以及脉宽调制(PWM)技术的发展与应用,带微处理器的全数字交流变频调速系统已经得到普遍应用,而且还在日新月异地发展。

对于承担电气设备及控制系统的安装、调试与维修任务的维修电工,随着电气设备及控制系统复杂程度的提高,所需要掌握与了解的知识及技能要求也越来越高,牵涉到的知识和技能的内容也越来越广。本教材从高级维修电工的职业标准与要求出发,根据高级维修电工专业知识和技能实际要求将全书分为“电子技术”“电力电子技术”“电气控制技术”“微机与可编程序控制器应用技术”四篇。本教材在内容上力求实用、实效,理论与生产实践紧密结合,因而在每篇内容中除了理论知识方面力求实用性,对所必需的理论知识进行重点叙述分析外,还特地设置了应用实例分析和技能操作实例两部分内容,其目的是使学员在学习掌握理论知识基础上通过应用实例分析和技能操作实例的训练,进一步加深对理论知识的理解和应用,提高实际分析能力和实际操作技能。

下面对本教材四篇主要内容做一概括性介绍:

上册:

第一篇 电子技术

电子技术可分为模拟电子技术和数字电子技术。本篇主要对负反馈放大器、集成运算放大器、数字电子技术基础、集成逻辑门电路和组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、脉冲电路等工作原理及典型电路进行讲解与分析。与此同时,对分立元件、集成运算放大器、数字电路等应用实例和技能操作实例分别进行讲解与分析。

第二篇 电力电子技术

电力电子技术包括电力电子器件、变流技术及控制技术等三大部分。本篇主要以晶闸管为主,对三相可控整流电路、触发电路、晶闸管有源逆变电路、变频电路与直流斩波电路、交流开关与交流调压等电路的工作原理及应用进行讲解与分析,与此同时对晶闸管可控整流装置应用实例和技能操作实例进行讲解与分析。本篇还对全控型电力电子器件(自关断器件)进行了简要介绍。

下册:

第三篇 电气控制技术

电气控制系统内容和种类很多。本篇对自动控制的基本概念、晶闸管-电动机直流调速系统、电机扩大机-发电机-电动机直流调速系统、交流变频调速系统、继电控制电路分析与设计进行讲解和分析。为了适应新技术应用的需要,书中还对带微处理器的全数字直流调速系统和全数字通用变频器及其应用进行了介绍。与此同时,与上述两篇相同,对晶闸管-电动机直流调速系统实例和技能操作实例进行了讲解与分析。

第四篇 微机与可编程序控制器应用技术

本篇仅对微型计算机的基本概念做一介绍,重点对可编程序控制器基本指令、步进指令、常用功能指令及其编程方法,编程器及其使用,可编程序控制器组成的控制系统设计方法进行讲解与分析,并且通过应用实例与技能操作实例对可编程序控制器应用设计方法进行讲解与分析。

本教材是一门专业理论知识基础较深、技能要求较高且与生产实践紧密结合、涉及面广的技术课程。因而在学习本课程时,要着重弄清物理概念与基本分析方法,要强调理论联系生产实践,做到器件、电路、应用三方面结合,边学边实践。在学习理论知识基础上,要重视应用实例分析,提高读图与分析线路能力。由于本课程实践性很强,因而在学习过程中要特别重视技能实训,进一步加深理论知识的理解和应用,提高实际操作技能和系统分析、调试及故障分析处理的综合能力。

第一篇 电子技术



第一单元 负反馈放大器

第一节 反馈的基本概念

一、什么是反馈

实际的放大电路除了采用多级放大电路以外，还经常采用各种各样的反馈来改善放大电路的性能。放大电路加上反馈之后，在一定的条件下还可以把放大电路转换为振荡电路。所以，反馈不但在放大电路得到了广泛的应用，而且也是振荡电路中不可分割的一部分。那么，究竟什么是反馈呢？反馈就是把放大电路输出量的一部分或全部，通过一定的电路倒送回输入端的过程。图 1—1 所示就是一个典型的反馈电路的例子，后级的输出电压 $\dot{U}_o$ 经过反馈电阻 R_f 把一部分输出电压（在此称为“反馈电压”） $\dot{U}_f$ 反馈回到第一级的发射极，从而对第一级以至于对整个放大电路的工作产生影响。

二、反馈的种类

反馈电路的种类繁多，按照反馈的极性分可以分为“正反馈”与“负反馈”；按照反馈量的种类分可以分为“直流反馈”与“交流反馈”；按照交流反馈量是如何从输出端取出的则交流反馈又可以分为“电压反馈”与“电流反馈”；按照交流反馈量是如何引回输入端的又可以分为“串联反馈”与“并联反馈”等。

1. 反馈的极性

反馈的极性可以分为“正反馈”与“负反馈”两种。从图 1—1 所示的反馈电路来看，交流输出电压 $\dot{U}_o$ 经过反馈电阻 R_f 与第一级的发射极电阻 R_{E1} 组成的分压电路，把一部分电压 $\dot{U}_f$ 反馈引回输入端之后，电路真正的输入电压 $\dot{U}_{be1}$ （即第一级的发射结交流电压，

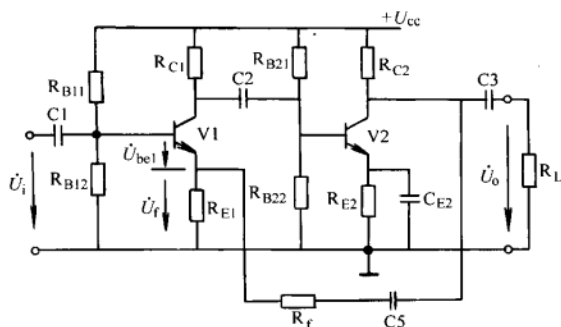


图 1—1 一个典型的反馈电路

反馈电路中称为“净输入”电压)就不再是输入电压 $\dot{U}_i$ ，而是输入电压 $\dot{U}_i$ 与反馈电压 $\dot{U}_f$ 之差，即 $\dot{U}_{be1} = \dot{U}_i - \dot{U}_f$ ，考虑到 $\dot{U}_i$ 与 $\dot{U}_f$ 都是正弦相量的情况下，如果两者同相，则净输入 $U_{be1} < U_i$ ，也就是说，引入了反馈之后，电路的净输入减小了，输出电压也会相应减小，或者说引入了反馈之后电路的放大倍数减小了，这种反馈称为“负反馈”。图 1—1 电路中输入电压经过二级共射电路放大之后，信号的极性倒相再倒相，因此， $\dot{U}_i$ 与 $\dot{U}_o$ ($\dot{U}_f$) 是同相的，净输入 $\dot{U}_i - \dot{U}_f$ 越减越小，是一个负反馈电路。另一种情况是如果 $\dot{U}_i$ 与 $\dot{U}_f$ 两者反相，则净输入 $U_{be1} > U_i$ ，也就是说，引入了反馈之后，电路的净输入增大了，输出电压也会相应地增大，或者说引入了反馈之后电路的放大倍数增大了，这种反馈就称为“正反馈”。例如把本例电路再增加一级共射电路使之成为三级放大电路，则 $\dot{U}_i$ 与 $\dot{U}_o$ ($\dot{U}_f$) 是反相的，相量 $\dot{U}_i - \dot{U}_f$ 反而使它的模增大了，电路就是一种正反馈电路了。

2. 直流反馈和交流反馈

放大电路中的电压与电流存在静态的直流分量与动态的交流分量两种分量。在反馈电路中，按照反馈量是直流的还是交流的也可以分为直流反馈与交流反馈两种情况。在图 1—1 电路中，由于反馈量 $\dot{U}_f$ 取自交流输出量 $\dot{U}_o$ 。(直流量因为有耦合电容隔开无法输出)，因此这种反馈是交流反馈。可是，如果反馈量是如图 1—2 所示那样从直接耦合电路引出的，那么，输出量与反馈量中存在着直流与交流两个分量，这种反馈就同时存在交流反馈与直流反馈。再如果把第一级的发射极电阻并上一个旁路电容 C_{E1} ，那么，交流分量就被短路了，反馈量中就没有交流分量而只有直流分量，这种反馈就只是单一的直流反馈了。

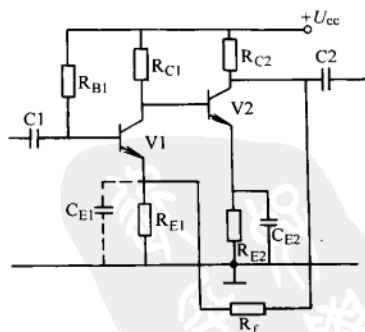


图 1—2 直流反馈与交流反馈

放大电路中直流反馈通常只采用负反馈，其目的是为了稳定电路的静态工作点。例

如，我们在中级工培训中学习过的分压式偏置电路，实际上就是一种直流负反馈电路。交流反馈的正反馈与负反馈都有应用，在振荡电路中通常采用正反馈，以使电路产生振荡；在放大电路中则通常采用负反馈，其目的是为了改善放大器的动态性能，放大器中用得最多的是交流负反馈。

3. 交流负反馈的组态

交流反馈按反馈量是取自输出电压还是取自输出电流来分，可以分为“电压反馈”与“电流反馈”两种。所谓电压反馈是指反馈量是取自输出电压的，或者说反馈量的大小是正比于输出电压的；而电流反馈是指反馈量是取自输出电流的，或者说反馈量的大小是正比于输出电流的。按反馈量在输入端的连接方法来分，又可以分为“串联反馈”与“并联反馈”两种。所谓串联反馈是指反馈量与电路的输入量是以电压加减的形式，也就是串联的形式相叠加的；而并联反馈是指反馈量与电路的输入量是以电流加减的形式，也就是并联的形式相叠加的。因为放大电路中的反馈一般总是用负反馈，因此完整地说，交流负反馈有电压串联负反馈、电压并联负反馈、电流串联负反馈和电流并联负反馈四种组态。下面我们对每一种组态的反馈电路各举一典型电路为例来作一个简要的说明。

(1) 电压串联负反馈。电压串联负反馈的典型电路就是前面介绍图 1—1 的电路。说这一电路是电压反馈的原因是因为它的反馈量 $\dot{U}_f$ 是取自输出电压 $\dot{U}_o$ ，或者说是正比于输出电压 $\dot{U}_o$ 的，因为在略去相对输出电压来说影响较为微小的第一级的射极电流的情况下，可以认为反馈电阻 R_f 与第一级的射极电阻 R_{E1} 是一个串联分压支路，反馈电压 $\dot{U}_f$ 是由该支路分压而得，即：

$$\dot{U}_f = \frac{R_{E1}}{R_f + R_{E1}} \dot{U}_o$$

从电路的输入端来看，电路的净输入 $\dot{U}_{be1}$ 是由输入电压 $\dot{U}_i$ 与反馈电压 $\dot{U}_f$ 相减得到，即：

$$\dot{U}_{be1} = \dot{U}_i - \dot{U}_f$$

由于是电压加减，因此是串联反馈，上式犹如串联电路中总电压减去一个分电压得到另一分电压，或者说电路的输入端是三极管的发射结与发射极电阻 R_{E1} （反馈电压）相串联的。

应注意的是：射极跟随器电路实际上就是一种电压串联负反馈电路，它是把输出的全部电压都反馈到输入端的一种反馈深度很强的负反馈电路。

(2) 电压并联负反馈。图 1—3 所示是一种电压并联负反馈的典型电路。这是一个一级放大电路，反馈电阻 R_f 在这里既起到提供直流偏置电流的作用，又起到交流负反馈的作用。说它是电压反馈，是因为反馈量——反馈电流 I_f 的大小是近似正比于输出电压 $\dot{U}_o$ 的，反馈电流的大小可由下式决定：

$$I_f = \frac{\dot{U}_i - \dot{U}_o}{R_f}$$

由于输入电压 $\dot{U}_i$ 与输出电压 $\dot{U}_o$ 相比可以略去不计, 因此上式可以近似表示为:

$$\dot{I}_f = \frac{-\dot{U}_o}{R_f}$$

这就说明了反馈电流的大小是正比于输出电压的, 另外, 电路的输入端是三极管的基极与反馈支路并联, 电路的净输入电流——基极电流 $\dot{I}_b$ 是由输入电流 $\dot{I}_i$ 与反馈电流 $\dot{I}_f$ 相减而得, 因此称为并联反馈。

$$\dot{I}_b = \dot{I}_i - \dot{I}_f$$

(3) 电流串联负反馈。图 1—4 所示为一种电流串联负反馈的典型电路。说它是电流反馈, 是因为反馈量的大小不是正比于输出电压 $\dot{U}_o$, 而是正比于输出电流——集电极电流 $\dot{I}_c$, 即:

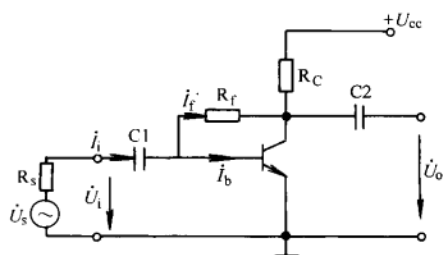


图 1—3 电压并联负反馈电路

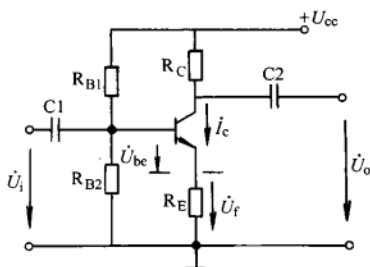


图 1—4 电流串联负反馈电路

$$\dot{U}_f = \dot{I}_c R_E$$

说它是串联反馈, 是因为输入端是与图 1—1 一样, 是电压加减形式的, 即:

$$\dot{U}_{be} = \dot{U}_i - \dot{U}_f$$

(4) 电流并联负反馈。图 1—5 是一种典型的电流并联负反馈电路, 这一电路的输入量、输出量、反馈量及净输入量都是电流, 反馈电路是由反馈电阻 R_f 与输出级的发射极电阻 R_{E2} 组成的分流电路。在略去第一级较为微小的输入电压时, 反馈电流 $\dot{I}_f$ 可由以下分流公式求得:

$$\dot{I}_f = -\frac{R_{E2}}{R_{E2} + R_f} \dot{I}_{c2}$$

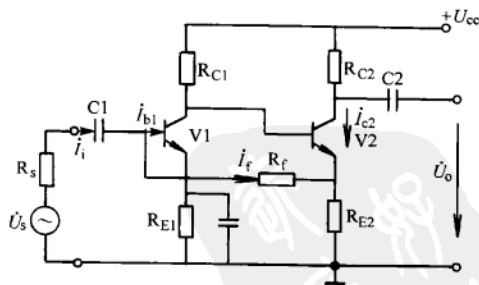


图 1—5 电流并联负反馈电路

说它是并联反馈, 是因为反馈支路是并联在输入端三极管的基极上, 输入端的电流关系与电压并联负反馈时相同:

$$\dot{I}_{b1} = \dot{I}_i - \dot{I}_f$$

综上所述, 对于四种典型的交流负反馈电路, 从输出端看似只要反馈是从输出电压