

电工师傅的秘密

电工师傅的秘密

之经典电路详解

杨清德◎主编



快速掌握
实用电工技术



 中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

电工师傅的秘密

电工师傅的秘密之经典电路详解

杨清德 主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书通过师傅、徒弟、师兄三人的对话，详细介绍了维修电工在实际工作中经常遇到的经典电路，主要包括交流电动机及直流电动机控制电路、软启动器变频器和 PLC 等自动化控制应用电路、照明电路及智能照明控制系统、工矿企业及建筑工地常用机电设备电气控制电路、楼宇电气设备控制电路、农牧业电气自动化控制电路、电力保护与二次回路控制电路等内容。

本书内容丰富，涵盖面广且分门别类，结构清晰，层次分明，具有很强的实用性，适合电工初学者阅读，可作为电工培训班教材，也可作为职业院校学生的课外读物。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工师傅的秘密之经典电路详解/杨清德主编. —北京：电子工业出版社，2015.8

(电工师傅的秘密)

ISBN 978-7-121-26791-8

I. ①电… II. ①杨… III. ①电路—基本知识 IV. ①TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 172693 号

策划编辑：王敬栋

责任编辑：李 蕊

印 刷：北京京科印刷有限公司

装 订：北京京科印刷有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1 092 1/16 印张：18 字数：460.8 千字

版 次：2015 年 8 月第 1 版

印 次：2015 年 8 月第 1 次印刷

印 数：3 000 册 定价：48.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：(010) 88258888。

前言

《《《《 PREFACE

不知从什么时候起就有了师傅和徒弟的称呼，大概与我国古代的学徒制有关。由于电工知识的学习和操作技能的熟练掌握是一个漫长的过程，职业学校的学生在学校学习一般需要3年左右，毕业后进入工作岗位通常还得跟师傅学习一段时间才能独立操作。岁岁年年，朝夕相处，传道、授业、解惑，便产生了以技术为纽带的师傅、徒弟、师兄、师弟等人际关系。几年后，之前的徒弟又有了徒弟，成为师傅，且超越了之前的师傅。

电工师傅的秘密系列图书包括以下书籍：

《电工师傅的秘密之电工入门》——主要介绍直流电路及应用、电与磁及应用、交流电路及其应用、常用电工工具和材料及应用、电工仪表与电能测量及应用、电工基本操作技能速成、电工安全用电等内容。

《电工师傅的秘密之电工识图》——主要介绍电气符号及连接线、几个基本电气图、电工测量图、照明工程图、弱电工程图、供电系统图、常用机电设备控制电气图等内容。

《电工师傅的秘密之电动机应用与检修》——主要介绍电动机安装及检修专用工具、电动机应用基础、单相电动机应用与检修、三相异步电动机应用与检修、直流电动机应用与检修等内容。

《电工师傅的秘密之变频器应用与维护》——主要介绍变频器入门基础、变频器的选用与维护、三菱FR-A740变频器的应用与维护、西门子MM440系列变频器的应用与维护、变频器节能改造应用等内容。

《电工师傅的秘密之家居布线》——主要介绍家装电工师傅的条条框框、家装电工师傅的吃饭家伙、线材选用和综合布线系统设计的秘密、室内线路安装技能、室内配电装置及其安装、灯具及用电器安装等内容。

《电工师傅的秘密之经典电路详解》——主要介绍实用电动机控制电路、变频器与PLC控制电路、照明灯与应急照明电路、机电设备电气控制电路、LED照明驱动电路等内容。

书中共有三个主人翁——“师傅”、“徒弟”和“师兄”。师傅名符其实，他是特级教师、高级讲师、维修电工高级技师、高级考评员、高级双师型教师，曾被评为重庆市优秀技能人才，其教学成果分别获得重庆市二等奖、三等奖，受到重庆市人民政府表彰；担任第一主编的教材《音响设备与维修技术》被教育部评为中等职业教育改革创新示范教材。书中的“徒弟”、“师兄”则是成千上万个初学电工技术人士的代表，可能是你，也可能是他。

“授之以鱼”不如“授之以渔”。本书通过师徒三人平等交流，有的放矢，各抒己见，娓娓道来，情真意切，解人以困，助“徒弟”较好地掌握中级电工的应知应会。

本书贴近实际、可读性强，方便电工初学者自学，可作为电工短训班技能培训教材，也可作为职业院校学生的课外读物。

本书由杨清德主编，参加编写工作的有杨兰云、杨卓荣、先力、胡萍、黎平、康娅、余明飞、谭海波、兰晓军、杨丽萍、刘华光、成世兵、李春玲、乐发明、杨松、李建芬、龚万梅、古春艳、沈坤华、赵顺洪等同志。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在缺点和错误，敬请各位读者批评指正，多提意见，盼赐教至 yqd611@163.com，以期再版时修改。

编 者

目录

<<<< CONTENTS

第 1 章 精选实用电动机控制电路	(1)
1.1 交流异步电动机的基本控制电路	(1)
1.1.1 单相异步电动机的基本控制电路	(1)
1.1.2 三相异步电动机的基本控制电路	(5)
1.2 三相异步电动机启动控制电路	(9)
1.2.1 三相异步电动机全压启动控制电路	(9)
1.2.2 三相异步电动机降压启动控制电路	(11)
1.3 三相异步电动机制动控制电路	(16)
1.3.1 电磁机械制动控制电路	(16)
1.3.2 电气制动控制电路	(18)
1.4 三相异步电动机保护控制电路	(21)
1.4.1 电动机短路保护和过电流保护电路	(21)
1.4.2 电动机断相保护电路	(23)
1.4.3 电动机失压保护和欠压保护电路	(24)
1.5 三相异步电动机运行控制电路	(24)
1.5.1 三相异步电动机正、反转控制电路	(24)
1.5.2 两台电动机运行控制电路	(35)
1.5.3 电动机调速控制电路	(37)
1.6 直流电动机控制电路	(40)
1.6.1 直流电动机启动控制电路	(40)
1.6.2 直流电动机正、反转控制电路	(44)
1.6.3 直流电动机制动控制电路	(47)
第 2 章 软启动器变频器和 PLC 应用电路	(51)
2.1 电动机软启动应用电路	(51)
2.1.1 软启动及其电路	(51)
2.1.2 软启动器典型控制电路	(55)
2.2 PLC 控制电动机应用电路	(65)
2.2.1 PLC 控制电动机正、反转电路	(65)
2.2.2 PLC 控制电动机降压启动电路	(70)
2.2.3 PLC 改造普通机床电气控制电路	(74)
2.3 变频器控制电动机应用电路	(81)



2.3.1	变频器正转控制电路	(81)
2.3.2	变频器正、反转控制电路	(83)
2.3.3	变频-工频切换控制电路	(86)
2.3.4	变频器并联运行控制电路	(88)
2.3.5	变频器调速电动机运行控制电路	(89)
2.3.6	一台变频器控制多台电动机电路	(90)
2.4	变频器和 PLC 联机应用电路	(91)
2.4.1	变频器外接 PLC 控制电动机正转电路	(91)
2.4.2	变频器与 PLC 控制电动机工频-变频切换运行电路	(93)

第3章 实用照明线路及其控制系统 (98)

3.1	普通照明灯控制电路	(98)
3.1.1	用一只开关控制的照明灯电路	(98)
3.1.2	两只或多只开关控制一盏灯的电路	(100)
3.2	智能照明控制电路	(102)
3.2.1	声控光控照明电路	(102)
3.2.2	触摸控制照明电路	(108)
3.2.3	红外移动探测照明灯控制电路	(111)
3.3	室内装饰照明灯控制电路	(113)
3.3.1	彩灯串控制电路	(113)
3.3.2	LED 彩灯控制电路	(118)
3.4	镇流器及荧光灯控制电路	(121)
3.4.1	电感镇流器式荧光灯电路	(121)
3.4.2	电子镇流器式荧光灯电路	(123)
3.4.3	荧光灯调光控制电路	(125)
3.5	应急照明电路	(129)
3.5.1	手动应急照明电路	(129)
3.5.2	自动应急照明电路	(130)
3.6	智能照明控制系统	(132)
3.6.1	智能照明的典型控制方式	(132)
3.6.2	智能照明控制系统及设备的选择	(134)

第4章 企业常用机电设备电气控制电路 (139)

4.1	常用机床电气设备控制电路	(139)
4.1.1	机床电气控制电路分析方法	(139)
4.1.2	摇臂钻床电气控制电路	(140)
4.1.3	车床电气控制电路	(145)
4.1.4	镗床电气控制电路	(147)
4.1.5	铣床电气控制电路	(151)
4.1.6	平面磨床电气控制电路	(159)



4.1.7 立式车床电气控制电路	(164)
4.2 建筑工地机电设备电气控制电路	(174)
4.2.1 电动葫芦电气控制电路	(174)
4.2.2 塔式起重机电气控制电路	(176)
4.2.3 混凝土搅拌机电气控制电路	(180)
4.2.4 空气压缩机电气控制电路	(181)
4.2.5 卷扬机电气控制电路	(183)
4.2.6 水磨石机电气控制电路	(184)
第5章 精选楼宇电气设备控制电路	(186)
5.1 楼宇空调系统电气控制电路	(186)
5.1.1 分散式空调系统电气控制电路	(186)
5.1.2 集中式空调系统电气控制电路	(189)
5.2 楼宇消防泵电气控制电路	(193)
5.2.1 消火栓泵电气控制电路	(193)
5.2.2 消防喷淋泵电气控制电路	(197)
5.3 生活水泵电气控制电路	(200)
5.3.1 采用磁力启动器的生活水泵控制电路	(200)
5.3.2 采用备用泵的生活给水电气控制电路	(201)
5.3.3 气压给水自动控制电路	(204)
5.3.4 变频调速恒压供水泵控制电路	(205)
5.3.5 排污水泵电气控制电路	(207)
第6章 农牧业电气自动化控制电路	(211)
6.1 养殖种植业自动控制电路	(211)
6.1.1 电子围栏控制电路	(211)
6.1.2 鱼类养殖自动管理控制电路	(216)
6.1.3 养鸡场自动管理控制电路	(221)
6.1.4 种植业管理自动控制电路	(229)
6.1.5 农业防害自动控制电路	(232)
6.2 农田灌溉控制电路	(237)
6.2.1 农田排灌自动控制电路	(237)
6.2.2 农田喷灌自动控制电路	(242)
第7章 电力保护与二次回路控制电路	(246)
7.1 电力变压器保护控制电路	(246)
7.1.1 变压器差动保护控制电路	(246)
7.1.2 变压器气体保护控制电路	(248)
7.1.3 变压器零序电流保护控制电路	(249)
7.1.4 变压器零序保护和间隙保护控制电路	(250)



7.2	隔离开关的控制电路	(251)
7.2.1	隔离开关操作控制电路	(251)
7.2.2	隔离开关电气闭锁控制电路	(254)
7.3	弱电回路的控制电路	(257)
7.3.1	断路器弱电选线控制电路	(257)
7.3.2	弱电中央信号系统控制电路	(259)
7.4	断路器的控制电路	(261)
7.4.1	最简单的断路器控制电路	(261)
7.4.2	断路器位置监视控制电路	(263)
7.4.3	监视断路器的常用控制电路	(264)
7.4.4	电磁操作机构断路器控制电路	(267)
7.4.5	断路器故障跳闸控制电路	(269)
7.5	二次回路的保护控制电路	(270)
7.5.1	线路定时限流保护控制电路	(270)
7.5.2	线路过电流保护控制电路	(271)
7.5.3	三段式电流保护控制电路	(272)
7.5.4	三段式零序电流保护控制电路	(273)
7.5.5	双回线电流平衡保护控制电路	(274)
7.6	信号系统的控制电路	(275)
7.6.1	预告信号装置控制电路	(275)
7.6.2	闪光装置控制电路	(277)
7.6.3	事故信号音响装置控制电路	(278)

第 1 章

精选实用电动机控制电路

1.1 交流异步电动机的基本控制电路

1.1.1 单相异步电动机的基本控制电路



徒弟 单相异步电动机有何特点



师傅 单相异步电动机是利用单相交流电源供电的一种小容量交流电动机，是一种将电能转化为机械能的装置。

单相异步电动机的功率设计较小，通常在 8~750W 之间，一般不会大于 2kW。具有结构简单、成本低廉、维修方便等特点，被广泛应用于如冰箱、电扇、洗衣机等家用电器及医疗器械中。



师兄 单相异步电动机与同容量的三相异步电动机相比，体积较大、运行性能较差、效率较低。



徒弟 单相异步电动机有哪些类型，有何结构特点



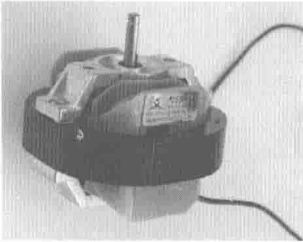
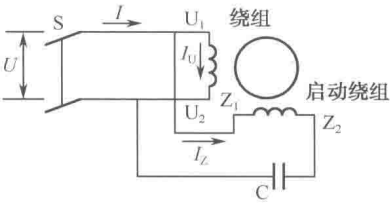
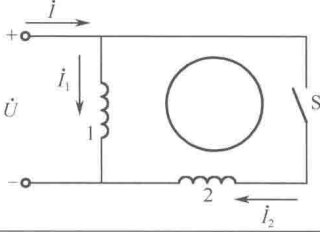
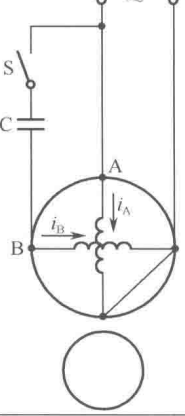
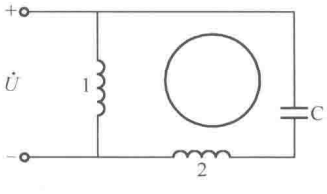
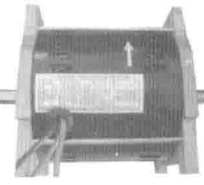
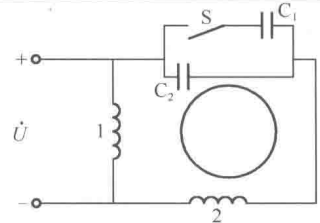
师傅 单相异步电动机种类很多，按照启动和运行方式可分为两大类六种，见表 1-1。这些电动机的结构虽有差别，但是其基本工作原理是相同的。

表 1-1 家用电器中使用的单相异步电动机分类

种 类		实 物 图	结构图或原理图	结 构 特 点
单相罩极式电动机	凸极式罩极单相电动机			单相罩极式电动机的转子仍为笼型，定子有凸极式和隐极式两种，原理完全相同。一般采用结构简单的凸极式



续表

种 类	实 物 图	结构图或原理图	结 构 特 点
单相罩极式电动机			单相罩极式电动机的转子仍为笼型，定子有凸极式和隐极式两种，原理完全相同。一般采用结构简单的凸极式
单相分相式异步电动机			单相分相式异步电动机在定子上除了装有单相主绕组外，还装了一个启动绕组，这两个绕组在空间成90°电角度。启动时两绕组虽然接到同一个单相电源上，但可设法使两绕组电流不同相，这样两个空间位置正交的交流绕组通以时间上不同相的电流，在气隙中就能产生一个合成旋转磁场。启动结束，使启动绕组断开即可
			
			
			



师兄

由于单相异步电动机的输出功率不大，其转子都采用鼠笼型转子，它的定子都有一套工作绕组，称为主绕组。主绕组在电动机的气隙中只能产生正、负交变的脉振磁场，不能产生旋转磁场，因此也就不能产生启动转矩。



为了使单相异步电动机在气隙中能产生旋转磁场，还需要有一套辅助绕组，称为副绕组。副绕组产生的磁场与主绕组的磁场在电动机气隙中合成而产生旋转磁场，这样电动机的转子才能够自行转动起来。



徒弟 单相罩极式异步电动机如何接线



师傅 单相罩极式异步电动机无论是凸极式还是隐极式，其接线规律都符合“罩极由主转向副”。如图 1-1 所示为 12 槽 2 极单相罩极式异步电动机的接线方法（属于隐极式电动机）。主绕组为 1 进 4 出，10 进 7 出。即首进尾出，尾进首出，采用了尾接尾的反串法。副绕组各自形成短路环，只有 2 匝。图中 AB 为主绕组中性线，CD 为副绕组中性线。这样接线，转向总是由主绕组中性线向副绕组中性线旋转。

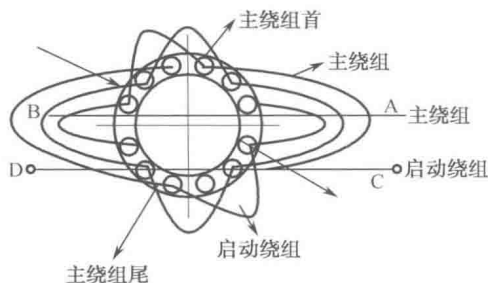


图 1-1 单相罩极式异步电动机的接线



师兄 接线时要以负载的实际转向为准，选定接线端的位置，使理论转向与实际转向一致。师傅告诉我这种接线规律是“引出线端看转向，罩极由主转向副”。

要使单相罩极式电动机由正转改为反转，只有将它的定子调头再装配好，才能达到运转换向的目的。



徒弟 分相式单相异步电动机如何接线



师傅 分相式单相异步电动机有 4 组（或 8 组）线，2 组（或 4 组）为主绕组，2 组（或 4 组）为副绕组，其中性线互成 90° （2 极）或 45° （4 极），接线方法有以下 2 种。

（1）主副绕组对称

接线时主、副绕组之首各引出一根线，线尾共接一根引出线，作为公共线（零线）。在进行线路接线时，将公共线接电源的任意一根导线， U_1 与 Z_1 之间接电容器，然后插上电源插头，将另一根导线触碰电容器的任意一端，直到转向与实际要求一致为止，然后拔下电源插头，将导线包好即可，如图 1-2 所示。

（2）绕组不对称

这种电动机一般容量较大，从几百瓦到几千瓦不等，如水泵、砂轮机、粉碎机、压粉机、压面机等，均为电容运行式或电容启动式，主绕组线经粗，匝数少；副绕组线经细，匝数多。例如，一台 YL100L-4 型电动机，它为双值电容式电动机， U_1-U_2 为主绕组， Z_1-Z_2 为副绕组，接线时，将 U_2 和 Z_2 相连为公共引出线（零线），根据口诀，它的转向为“分相由副转向主”。即



从 Z_1 转向 U_1 ，转向为顺时针， U_1-U_2 为主绕组， Z_1-Z_2 为副绕组，接线时将 U_2 和 Z_2 相连为公共引出线（零线）。根据口诀“分相由副转向主”，则从 Z_1 转向 U_1 ，转向为逆时针。



师兄

接线时以主绕组首为中心，若副绕组首在主之右，转向为顺时针，若在左则转向为逆时针。



徒弟

请师傅介绍几种单相异步电动机调速电路



师傅

单相异步电动机的调速方法较多，下面简单介绍目前较多采用的调速电路。

(1) 串电抗器调速电路

在电动机的电源线路中串联起分压作用的电抗器，通过调速开关选择电抗器绕组的匝数来调节电抗值，从而改变电动机两端的电压，达到调速的目的，如图 1-3 所示。

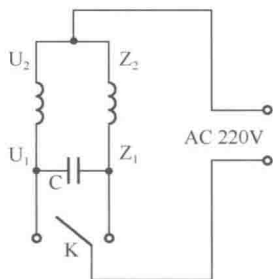


图 1-2 分相式单相异步电动机的接线

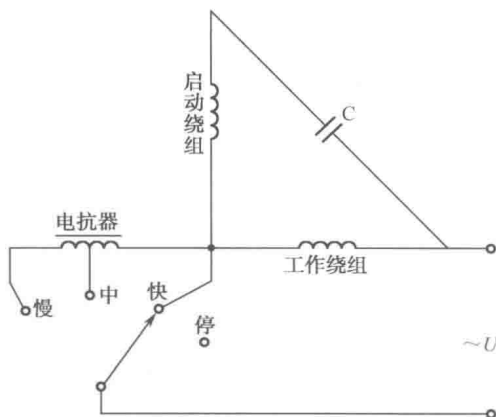


图 1-3 串电抗器调速接线电路

串电抗器调速，其优点是结构简单，容易调整调速比，但消耗的材料多，调速器体积大。

(2) 抽头法调速电路

如果将电抗器和电动机结合在一起，在电动机定子铁芯上嵌入一个中间绕组（或称调速绕组），通过调速开关改变电动机气隙磁场的大小及椭圆度，可达到调速的目的。根据中间绕组与工作绕组和启动绕组的接线不同，常用的有 T 形接法和 L 形接法。L 形绕组的抽头调速有 3 种方式，如图 1-4 所示。

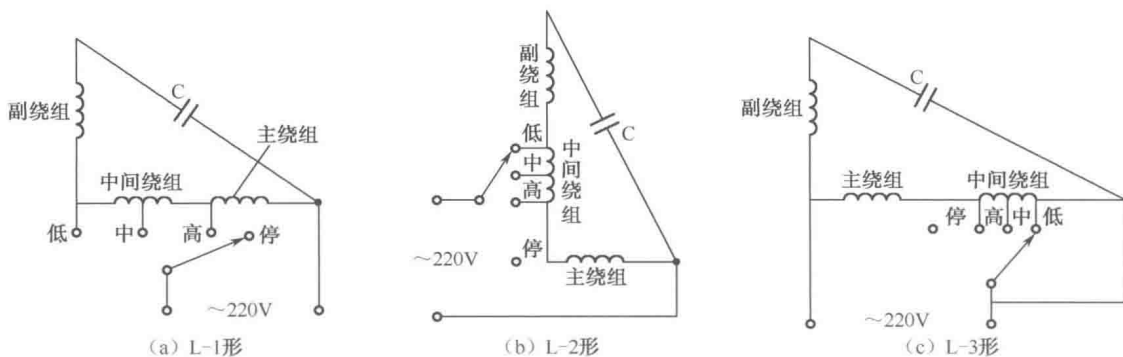


图 1-4 L 形绕组的抽头调速电路



T 形绕组的抽头调速电路如图 1-5 所示。

抽头法调速与串电抗器调速相比较，抽头法调速用料省，耗电少，但是绕组嵌线和接线比较复杂。

(3) 晶闸管调速电路

利用改变晶闸管的导通角，来实现加在单相异步电动机上的交流电压的大小，从而达到调节电动机转速的目的。如图 1-6 所示，调节电位器 RP 即可调节晶闸管的导通角，改变输出电压，从而达到无级调节电动机转速的目的。RP 阻值小，晶闸管导通角度大，输出电压高，电动机转速高；反之，RP 阻值大，电动机转速低。

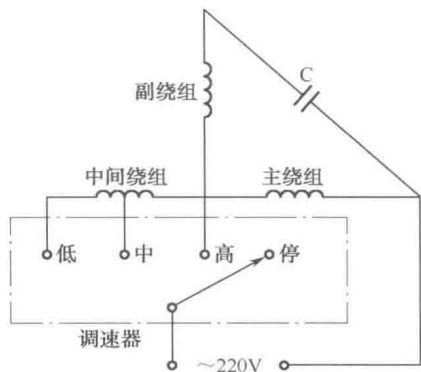


图 1-5 T 形绕组的抽头调速电路

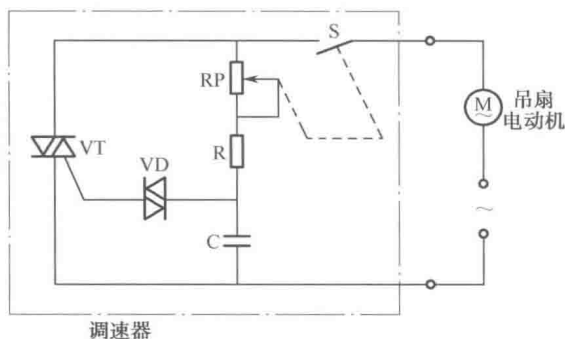


图 1-6 晶闸管调速电路

晶闸管调速电路能实现无级调速，缺点是会产生一些电磁干扰。目前常用于吊式风扇的调速上。

(4) PTC 调速电路

如图 1-7 所示为具有微风挡的电风扇调速电路。微风风扇能够在 500r/min 以下送出风，若采用一般的调速方法，电动机在这样低的转速下很难启动。电路利用常温下 PTC 电阻很小的特性，使电动机在微风挡直接启动，启动后，PTC 阻值增大，使电动机进入微风挡运行。

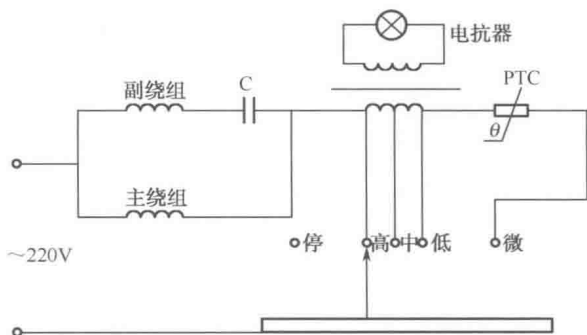


图 1-7 具有微风挡的电风扇调速电路

1.1.2 三相异步电动机的基本控制电路



徒弟 电动机控制电路的基本环节有哪些



师傅

在电动机控制电路中，能实现某项功能的若干电气元件的组合，称为一个控制环节，整个控制电路就是由这些控制环节有机地组合而成的。控制电路一般包括电源、启动、保护、运行、停止、制动、联锁、手动工作和点动、信号等基本环节，见表 1-2。

表 1-2 电动机控制电路的基本环节

基本环节	说明
电源环节	包括主电路供电电源和辅助电路工作电源，由电源开关、电源变压器、整流装置、稳压装置、控制变压器、照明变压器等组成
启动环节	包括直接启动和减压启动，由接触器和各种开关组成
保护环节	由对设备和线路进行保护的装置组成。如短路保护由熔断器完成，过载保护由热继电器完成，失压、欠压保护由失压线圈（接触器）完成。有时还使用各种保护继电器来完成各种专门的保护功能
运行环节	运行环节是电路的最基本环节，其作用是使电路在需要的状态下运行，包括电动机的正反转、调速等
停止环节	由控制按钮、开关等组成。其作用是切断控制电路供电电源，使设备由运转变为停止
制动环节	一般由制动电磁铁、能耗电阻等组成。其作用是使电动机在切断电源以后迅速停止运转
联锁环节	实际上也是一种保护环节。由工艺过程所决定的设备工作程序不能同时或颠倒执行，通过联锁环节限制设备运行的先后顺序。联锁环节一般通过对继电器触点和辅助开关的逻辑组合来完成
手动工作环节	电气控制电路一般都能实现自动控制，但为了提高线路工作的应用范围，适应设备安装完毕及事故处理后试车的需要，在控制电路中往往还设有手动工作环节。手动工作环节一般由转换开关和组合开关等组成
点动环节	是控制电动机瞬时启动或停止的环节，通过控制按钮完成
信号环节	是显示设备和线路工作状态是否正常的环节，一般由蜂鸣器、信号灯、音响设备等组成

上述控制环节并不是每一种控制电路中全都具备，复杂控制电路的基本环节多一些。这 10 个环节中最基本的是电源环节、保护环节、启动环节、运行环节、联锁环节和停止环节。



师兄

“自锁控制”是“自己保持的控制”；“互锁控制”则是“相互制约的控制”，即“不能同时呈现为工作状态的”；“联锁控制”则可以理解为“联合动作”，其实质是“按一定顺序动作的控制”。要注意理解自锁、互锁、联锁这“三把锁”的含义，应该加以区别。



徒弟

电动机控制电路主要由哪些部分组成



师傅

三相异步电动机控制电路一般由电源电路、主电路和控制电路（也称为辅助电路）三部分组成，如图 1-8 所示。

电源电路的主要元件是电源总开关（如断路器或刀开关）。

主电路就是电源通过接触器主触点到电动机的这个回路，一般由主电源、断路器、接触器、热继电器、电动机等组成。

辅助电路一般包括控制主电路工作状态的电路（通过用启动按钮控制接触器线圈得电带动衔铁吸合，以控制接触器触点的闭合，电动机得电运转；通过停止按钮控制接触器线圈断电，接触器触点断开，电动机断电停止）、显示主电路工作状态的指示电路和提供机电设备局部照明的照明电路。辅助电路一般由控制电源、熔断器、动断按钮、动合按钮、接触器动合触点、接触器线圈、热继电器触点及信号灯等组成。

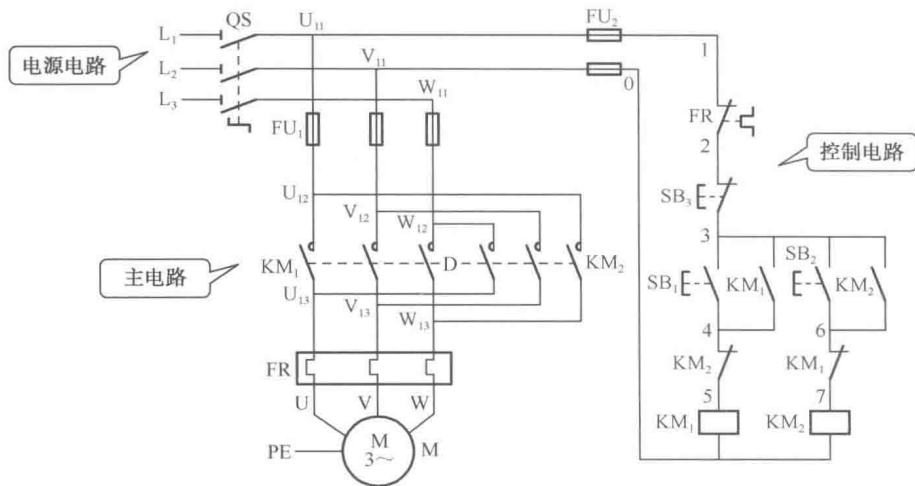


图 1-8 电动机控制电路举例



师兄 比较复杂的电动机控制电路，还包括信号控制和局部照明等电路。



徒弟 三相异步电动机主电路有哪些形式



师傅 三相异步电动机常见的主电路如图 1-9 所示。

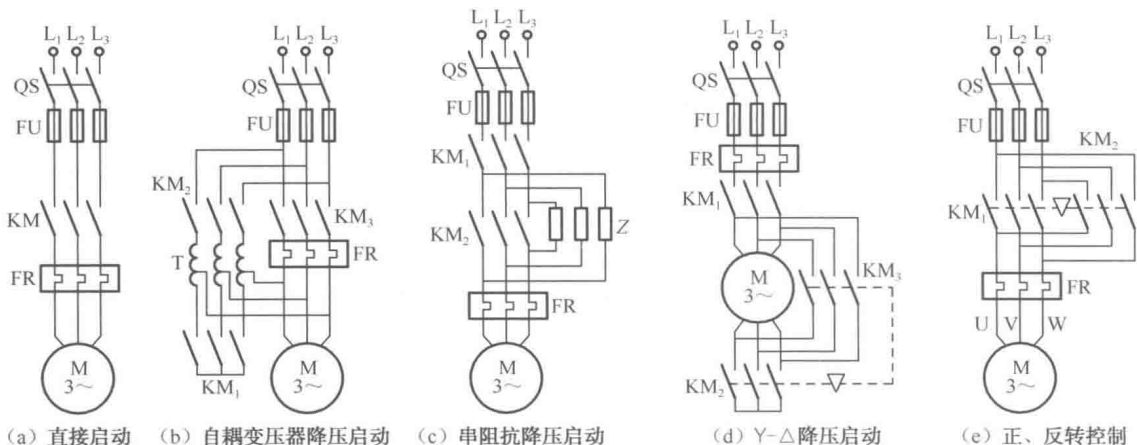


图 1-9 鼠笼型异步电动机的主电路

图 1-9 (a) 为直接启动 (又称为全电压直接启动) 的主电路; 图 1-9 (b) ~ (d) 是分别采用自耦变压器降压、串阻抗降压和 Y-Δ 降压启动的主电路; 图 1-9 (e) 是可正转也可反转的直接启动主电路。此外, 还有延边三角形降压启动主电路, 反接制动、能耗制动主电路, 多速电动机 (变极调速) 主电路和绕线式异步电动机主电路等。

如图 1-9 (a) 所示的异步电动机直接启动主电路是最简单也是最常用的主电路形式之一。图中的主要元件有: 三相鼠笼型异步电动机 M ; 热继电器的发热元件 FR ; 主接触器 KM ; 熔断器 FU ; 电源开关 QS 。电源由 L_1 、 L_2 和 L_3 引入, 将电源开关 QS 合上, 三相交流电就到达接触器 KM 主触点的上方。当控制电路使接触器的主触点闭合时, 三相交流电经过热继电器的发热



元件 FR 后到达三相交流异步电动机，使异步电动机通电启动运行。若控制电路使接触器的主触点断开，则异步电动机断电，停止运转。

在图 1-9 (a) 中，主要的保护元件有熔断器 FU、热继电器的发热元件 FR 及主接触器 KM。熔断器 FU 主要起短路保护作用。当主电路（包括异步电动机）发生短路时，主电路将出现很大的短路电流，使熔断器 FU 的熔丝瞬间熔断。异步电动机失去三相交流电源将很快减速并停止运转。热继电器的发热元件 FR 起过载检测作用。若异步电动机过载（或缺相运行），主电路的电流将超过额定电流值，过载电流将引起电动机发热增加，电动机的温升加大，达到一定数值后若不及时切断电动机的电源，电动机的绝缘将下降，很快烧毁。采用热继电器保护时，过载电流也通过其发热元件，达到一定温度后，热继电器动作，其动断辅助触点将断开接触器的线圈，使接触器复位。其主触点断开，切断电动机的电源，达到过载保护的功能。

所谓缺相，是指异步电动机三相电源由于某种原因少了一相（如熔断器 FU 烧断一个、接触器的主触点有一对未闭合或者三相线路出现一相断线故障等），此时根据电动机原理，带半载或半载以上负载运行的异步电动机，其通过的电流将超过额定电流。热继电器的发热元件将检测到这一电流，并最终形成保护。如果发热元件只采用一个，万一缺相发生在装有发热元件的相，则发热元件不能检测到另外两相线路的大电流，不能实现保护。因此，应该采用至少两个发热元件来检测，现在一般串接三个发热元件。

此外，在图 1-9 (a) 中，接触器 KM 还具有失压和欠压保护功能。

所谓降压启动，是指降低电动机启动时的电压，从而降低电动机的启动电流，以避免其对电网电压造成较大的影响。当电动机启动起来转速较高时，再使加在电动机的电压达到额定电压（即进行二次启动）。降压启动的常用方法有自耦变压器降压启动、串阻抗降压启动、Y-△降压启动，它们分别对应如图 1-9 (b) ~ (d) 所示的主电路。应该指出的是，电动机采用降压启动，其启动转矩也相应减小。为了满足启动转矩的要求，应该合理选择电动机启动时降压的幅度。

在如图 1-9 (b) 所示的主电路中，与图 1-9 (a) 相比多了自耦变压器 T 和两个接触器。其他元件的作用与图 1-9 (a) 一样。启动时由控制电路控制，首先使接触器 KM_1 动作，将自耦变压器 T 接成 Y 形。然后使接触器 KM_2 动作，异步电动机经过自耦变压器 T 的降压启动。经过一定的延时时间，电动机的转速升高到一定的数值后，控制电路使 KM_1 和 KM_2 断电复位（动合触点断开），同时使 KM_3 动作闭合，异步电动机端部接额定电压，进行二次启动，直到转速上升到稳定转速为止。

如图 1-9 (c) 所示的主电路与图 1-9 (a) 相比仅多了三相阻抗 Z 和一个接触器。启动时，控制电路首先使接触器 KM_1 动作，三相交流电源经过阻抗 Z 分压加到电动机的端部，电动机串阻抗 Z 降压启动。当转速升高到一定的数值后，控制电路使 KM_2 动作，其主触点闭合，短接三相阻抗 Z，异步电动机端部接额定电压进行二次启动，直到转速上升到稳定转速为止。

如图 1-9 (d) 所示的主电路为 Y-△降压启动电路。 KM_1 和 KM_2 闭合时，异步电动机为 Y 形连接，电动机一相绕组承受的电压为额定电压（线电压）的 $1/\sqrt{3}$ ；当 KM_2 断开、 KM_1 和 KM_3 闭合时，异步电动机为 △ 形连接，电动机一相绕组承受的电压为额定电压（线电压）。启动时，控制电路首先使接触器 KM_1 和 KM_2 动作，电动机 Y 形连接，降压启动。经过一定的延时时间，电动机的转速升高到一定的数值后，控制电路使 KM_2 断开，同时使 KM_3 闭合，电动机 △ 形连接，异步电动机接额定电压进行二次启动，直到转速上升到稳定转速为止。注意： KM_2 和 KM_3 之间有虚线连接，虚线上还有一个倒三角符号“▽”，表示 KM_2 和 KM_3 之间存在“互锁”关系。即 KM_2 和 KM_3 不能同时闭合，否则三相电源将出现短路。