

中小型直流电机可控硅调速

丁元杰 编

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书是技工读物。力求深入浅出地阐明可控硅直流电机调速的基本原理与具体应用;分析一些特殊环节;并针对不同的拖动类型,通过典型实例作详细介绍。

本书的编写目的是提高有关电工在可控硅直流调速装置方面的理论水平与维修、调试能力,可供从事电力拖动的机电工人和技术人员参考。

中小型直流电机可控硅调速

丁元杰 编

上海科学技术出版社

(上海瑞金二路450号)

本书由上海发行所发行 无锡县人民印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 10 插页 6 字数 216,000

1980年8月第1版 1980年8月第1次印刷

印数 1—17,000

书号: 15119·2033 定价:(科四) 1.05 元

目 录

第一章 直流电力拖动	1
第一节 直流电动机概述	1
一、直流电动机的应用	1
二、直流电动机的分类	2
三、直流电动机的构造	8
第二节 直流电动机的机械特性	12
一、直流并激电动机的机械特性方程式	13
二、直流并激电动机电枢电路串接 R_{ad} 时的人为特性	15
三、直流并激电动机改变磁通时的人为特性	16
四、直流并激电动机改变电枢电压时的人为特性	17
第三节 直流电动机的调速方法	18
一、电动机转速调节的几个指标	18
二、直流并激电动机的调速方法	21
三、直流并激电动机改变磁通的调速	22
四、直流并激电动机改变电枢电压的调速	24
第四节 直流电动机的制动	26
一、能耗制动	26
二、反接制动	29
三、再生制动	33
第二章 转速自动调节	36
第一节 转速自动调节的实现	36
一、可控整流直流电动机调速系统	36
二、扩大调速范围的途径	37
三、转速反馈的采用	38

四、电压反馈与电流反馈的采用	41
第二节 转速自动调节的质量	44
一、自动调节的基本要求	44
二、放大器的采用	46
三、微分反馈的采用	47
四、校正环节的采用	48
第三节 转速自动调节系统的起、制动	51
一、给定积分的采用	51
二、电流截止负反馈的采用	54
第三章 单相可控整流拖动系统的调速	57
第一节 主电路	57
一、单相桥式可控整流	57
二、只用一只可控硅的电路	61
三、电流连续问题	62
第二节 电子控制电路	64
一、单晶体管的工作原理	64
二、单晶体管组成的弛张振荡器	67
三、同步与移相控制	72
四、放大电路	75
五、给定与反馈电路	77
六、采用单晶体管的触发电路的利弊	79
第三节 电路实例	80
一、总电路	80
二、继接电路	82
三、器件制作	83
第四节 调试	83
一、调试的步骤	83
二、调试的点滴经验	85

第四章 三相可控整流拖动系统的调速	88
第一节 主电路	88
一、三相半波可控整流	88
二、三相桥式半控整流	93
第二节 电子控制电路	96
一、晶体管触发电路	96
二、同步与移相控制	99
三、有附加环节的触发电路	103
1. 宽脉冲	103
2. 双脉冲	104
3. 脉冲封锁	105
4. 同步电压迭加尖脉冲	105
5. 安全脉冲	108
四、晶体管触发电路实例	108
五、放大电路	113
1. 深度负反馈直流放大器	114
2. 运算放大器	116
六、FC52 集成电路放大器	122
七、给定与反馈电路	124
1. 给定积分电路	125
2. 反馈电路	126
3. 双 T 电路	128
4. 直流电流互感器	128
第三节 电路实例	131
一、电路方案	131
二、电路	133
三、主电路计算	139
1. 硅管的计算	139
2. 主变压器的计算	140
3. 电抗器的计算	144
四、其他电路元件的制作	145

五、调试	146
第五章 分部拖动的调速	152
第一节 分部拖动的调速方案	152
一、分部拖动的特点	152
二、造纸机的分部拖动	155
1. 电压反馈的方案	156
2. 转速反馈的方案	157
3. 串级调节的方案	160
三、印染机械的分部拖动	161
1. 用公共电枢电源的方案	163
2. 用单独电枢电源的方案	163
第二节 造纸机电路实例	164
一、电压反馈的电路	164
二、附加无差环节的电路	165
三、转速反馈的电路	171
四、自制测速发电机	173
五、JF-12 调制型直流放大器	173
第三节 大型高速纸机的调速	182
一、概述	182
二、采用转速调节器与电流调节器	183
三、串级调节和给定链环节实例	185
第四节 印染机械电路实例	188
一、用公共电枢电源的电路	188
二、用单独电枢电源的电路	189
第六章 往复拖动的调速	196
第一节 往复拖动的特点和调速方案	196
一、往复拖动的特点	196
二、倒磁场正反转的方案	199
三、倒电枢电路正反转的方案	202
四、可逆可控整流的方案	204

第二节 可控硅有源逆变	204
一、工作原理	204
二、电路	213
三、颠覆	215
四、环流	216
第三节 有环流电路实例	223
一、电路	223
二、器件制作	224
三、继接电路	228
第四节 无环流电路实例	228
一、总电路	228
二、逻辑电路	230
三、器件制作	236
四、继接电路	238
第五节 介绍一种简化电路	241
一、电路	241
二、器件制作	243
三、继接电路	245
四、调试	245
第七章 车辆拖动的调速——脉冲调速	253
第一节 主电路	253
一、车辆拖动的特点	253
二、脉冲调速的原理	254
三、脉冲调速的主电路	255
四、可控硅的关断问题	260
第二节 电子控制电路	263
一、基本电路	263
二、差动变压器的采用	267
第三节 调宽制脉冲调速电路实例	269

一、实例一——两吨电动平板车调速装置	269
二、实例二——一吨电动铲车调速装置	278
第四节 调频制脉冲调速电路实例	288
附录一 三相桥式整流变压器(100 千伏安以下) 的计算	295
附录二 电枢电路电抗器的计算	299
附录三 电源进线电抗器	302
附录四 几种成品主变压器与电抗器系列数据	302

直流电力拖动

第一节 直流电动机概述

一、直流电动机的应用

电力拖动用的电动机,常用的是交流异步电动机、特别是鼠笼式电动机,具有电源容易得到,构造简单,维护方便,工作可靠,价格低廉等显著优点,但是调速比较困难。直流电动机的调速性能比较优越,在调速要求较高的场合,就要采用直流电机拖动。

解放后我国电机的产量、品种都有了很大的增长;直流电动机也有了很大发展,已有多种系列产品。可控硅技术的成熟使用,更扩大了直流电力拖动的领域。它与陈旧的交流电动机直流发电机组供电的直流拖动方式比较,机组的设置容量大大下降,从而使电气装备的价格也大幅度下降,并减轻了生产机械的重量,相应减小了占用面积。因此,直流拖动愈来愈普及,原来很多限于条件而未能采用直流拖动的场合,现在已可能采用可控整流直流电动机系统。

目前,可控整流直流电动机调速差不多已成为直流电动机应用的同义语了。在冶金、机械制造、交通运输等部门,这种拖动系统已成功地使用在大型轧机、电弧炉电极升降机构、龙门刨床、电车、起重机等生产机械上;在轻工业部门,它在造纸机、超级轧光机、旋木机、印刷机、胶片涂布机、涂搪窑传送带、小型龙刨、电动车辆等很多方面有较普遍的应用。

二、直流电动机的分类

直流电动机有不同的种类，应根据具体使用条件选用合适的电机。

直流电动机根据它的激磁方式，有并激、他激、串激、复激等区别。并激电动机的应用最为广泛，它的激磁绕组与电枢绕组是并联接到电源的，如图 1-1(a)。电气列车、无轨电车、电动铲车等的拖动，由于需要提供大的起动转矩等原因，往往采用串激电动机；这种电机的激磁绕组是与电枢绕组串联接到电源的，如图 1-1(b)。复激电动机既有并激绕组，又有串激绕组。以并激绕组的激磁作用为主，电机的特性因而接近于并激电动机的称为并串激电动机；相反，以串激绕组的激磁作用为主，电机的特性接近于串激电动机的称为串并激电动机。

并串激电动机又有积复激电动机与差复激电动机的区别；前者串激绕组与并激绕组的激磁效果是迭加的，后者串激

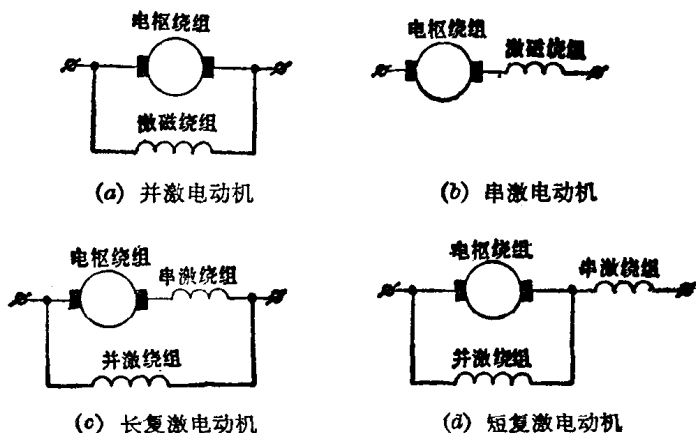


图 1-1 直流电动机按激磁方式的分类

绕组削弱了并激绕组的激磁效果。

按复激电动机的接法分,凡电枢绕组先与串激绕组串联,再与并激绕组并联的电动机称为长复激电动机(图 1-1(c));而电枢绕组先与并激绕组并联,再与串激绕组串联的电动机,称为短复激电动机(图 1-1(d))。

他激电动机的激磁绕组与并激电动机的激磁绕组是同一类型的,通过的电流都比电枢电流小得多,又都承受电源电压。如激磁绕组与电枢绕组设计得承受不同的额定电压数值,激磁绕组必须使用另一直流电源,这样的直流电动机便是他激电动机。真正的他激电动机生产得不多。我们平时最常用的 Z2 型小型直流电机,一般都是并激的*,但实际上,可控整流直流电动机调速系统常因激磁电路不需调节或调节的要求不同,而将并激电动机接成了他激电动机。

为了适应生产机械的工作环境,电动机做成开启式、防护式、封闭式、防水式、水密式、防爆式等不同保护型式,其中防护式又分网罩式、防滴式和防溅式三种。Z2 系列小型直流电机制成为与铅垂线成 45° 防滴角的防护式。ZO2 型直流电机为封闭式。

根据通风方式,直流电动机可分自通风式和外通风式两种。外通风式用另附的鼓风机或管道通风冷却;自通风式自带风扇,但在电机低速时,风扇的转速也低,通风冷却效果将下降,会影响到电机的出力。容量较大的 7 号至 11 号机座的 Z2 电机,有制成外通风式的。

按电机的结构类型,有卧式、立式,机座带底脚、不带底

* 电机制造厂为了使并激电动机在削弱磁通运行时其转速比较稳定,都加有少量串激绕组,因此严格地说,所谓并激电机实质上大多是并串激电动机及积复激电动机。

脚，端盖有凸缘、无凸缘等等区别。Z2 直流电动机的结构类型见表 1-3。

按用途分，我国生产有冶金、起重、船舶、龙刨、升降机等负载专用的直流电动机，并生产大型直流电动机。

本书只介绍一般工业常用容量范围的直流电动机调速。表 1-1 列出了 Z2 电机的型号和额定功率、额定电压、额定转速。Z2 的容量范围由 0.4 千瓦至 200 千瓦，额定电压为 220 伏或 110 伏，额定转速有 3000 转/分、1500 转/分、1000 转/分、750 转/分、600 转/分等五种。Z2 型号中横线后的末位数字表示铁心长度的代号，数字愈大，电机的长度愈长；前面的数字表示机座号数，数字愈大，电机的体积愈大。

从表 1-1 还可看出：相同容量的电机，额定转速愈高，电机的机座号愈小，体积就小，因此占地少、重量轻，价格也便宜。正因为这样，一般电力拖动都选用高额定转速的电机，即使减速箱稍许大些，仍是合算的。但需要电机经常作正、反转的负载，考虑到起、制动的快速性与能量损耗等问题，以选用中等额定转速（如 1000 转/分或 750 转/分）为宜。

上海直流电机厂的新产品 Z3 系列小型直流电机，具有体积小、重量轻、安装尺寸与国际电工委员会 (IEC) 推荐的标准相同、转动惯量小、最高允许转速高等优点，其他性能也普遍高于旧系列，表 1-2 列出了 Z3 系列电机的型号和额定功率、额定电压、额定转速。

表 1-1 和表 1-2 中，粗线框内电动机的电压有 110 伏及 220 伏两种，粗线框外电动机的电压只有 220 伏一种。用箭头标出的数字为削弱磁场恒功率运行的最高允许转速。

电动机的额定电压为 110 伏或 220 伏，与采用可控硅的可控整流电路的输出电压匹配得不够理想。原 Z2 系列有部

表 1-1 Z2 直流电动机的额定功率、额定电压、额定转速

电 机 型 号	额 定 转 速 [转/分]				
	3000	1500	1000	750	600
额 定 功 率 [千瓦]					
Z2-11	0.8	0.4			
Z2-12	1.1	0.6			
Z2-21	1.5	0.8	0.4		
Z2-22	2.2	1.1	0.6		
Z2-31	3	1.5	0.8	0.6	
Z2-32	4	2.2	1.1	0.8	
Z2-41	5.5	3	1.5	1.1	
Z2-42	7.5	4	2.2	1.5	
Z2-51	10	5.5	3	2.2	
Z2-52	13	7.5	4	3	
Z2-61	17	10	5.5	4	
Z2-62	22	13	7.5	5.5	
Z2-71	30	17	10	7.5	
Z2-72	40	22	13	10	
Z2-81		30	17	13	
Z2-82		40	22	17	
Z2-91		55	30	22	17
Z2-92		75	40	30	22
Z2-101		100	55	40	30
Z2-102		125	75	55	40
Z2-111		160	100	75	55
Z2-112		200	125		

表 1-2 Z3 直流电动机的额定功率、额定电压、额定转速

电 机	额 定 转 速 [转/分]				
	3000	1500	1000	750	600
型 号	额 定 功 率 [千瓦]				
11	0.55	0.25			
Z3-12	0.75	0.37			
21	1.1	0.55			
Z3-22	1.5	0.75	0.37		
31	2.2	1.1	0.55		
Z3-32	3	1.5	0.75	0.55	
33	4	2.2	1.1	0.75	
41	5.5	3	1.5	1.1	
Z3-42	7.5	4	2.2	1.5	
51	10	5.5	3	2.2	
Z3-52	13	7.5	4	3	2.2
61	17	10	5.5	4	3
Z3-62	22	13	7.5	5.5	4
71		17	10	7.5	5.5
Z3-72		22	13	10	7.5
73		30	17	13	10
81		40	22	17	13
Z3-82		55	30	22	17
83		75	40	30	22
91		100	55	40	30
Z3-92		125	75	55	40
101		160	100	75	55
Z3-102		200	125		

分电动机根据用户要求设计成了 180 伏、340 伏、440 伏等特殊额定电压值,使分别与 220 伏单相可控整流电路、380 伏单相可控整流电路、三相可控整流电路相适应。新的 Z3 系列,则凡功率在 7.5 千瓦以下的电动机,都增设了 180 伏电压级,功率在 7.5 千瓦以上的部分电动机,也增设了 440 伏电压级;这些电动机的激磁绕组,一般采用单相不可控整流电路供电,故他激激磁的额定电压设计为 190 伏。

Z2 与 Z3 直流电动机的结构类型见表 1-3 和表 1-4。

表 1-3 Z2 直流电动机的结构类型

结 构 类 型	电 机 型 号
卧式,机座带有底脚	Z2-11 至 Z2-11 $\frac{1}{2}$
卧式,机座带有底脚,端盖有凸缘	Z2-11 至 Z2-8 $\frac{1}{2}$
卧式,机座不带有底脚,端盖有凸缘	Z2-11 至 Z2-6 $\frac{1}{2}$
立式,机座不带有底脚,端盖有凸缘 (轴伸向下)	Z2-11 至 Z2-11 $\frac{1}{2}$
立式,机座带有底脚,端盖有凸缘 (轴伸向下)	Z2-11 至 Z2-8 $\frac{1}{2}$

表 1-4 Z3 直流电动机的结构类型

结 构 类 型	电 机 型 号
卧式,机座带有底脚	Z3-11 至 Z3-10 $\frac{1}{2}$
卧式,机座带有底脚,端盖有凸缘	Z3-11 至 Z3-7 $\frac{1}{2}$
卧式,机座不带有底脚,端盖有凸缘	Z3-11 至 Z3-6 $\frac{1}{2}$
立式,机座不带有底脚,端盖有凸缘 (轴伸向下)	Z3-11 至 Z3-10 $\frac{1}{2}$
立式,机座带有底脚,端盖有凸缘 (轴伸向下)	Z3-11 至 Z3-7 $\frac{1}{2}$
卧式,机座带有底脚,双轴伸	Z3-11 至 Z3-10 $\frac{1}{2}$
卧式,机座带有底脚,单轴伸,带测速发电机	Z3-11 至 Z3-10 $\frac{1}{2}$

三、直流电动机的构造

和常见的交流电动机一样，直流电动机也由定子和转子两个部分组成，如图 1-2 所示。

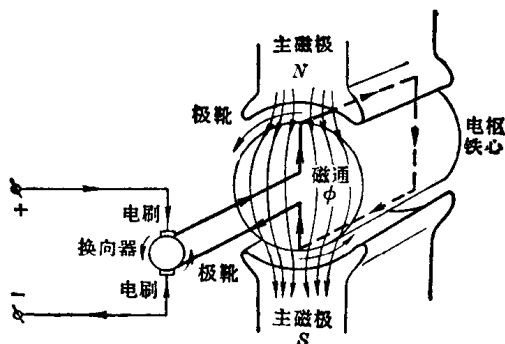


图 1-2 直流电动机的结构

(1) 定子——电机的静止部分。包括机座、磁轭、主磁极和换向极。定子的主要作用是产生磁通，这一任务由体形较大的主磁极完成。换向极体形较小，位于主磁极的中间，用以改善电机的换向情况。并激(或串激)的激磁绕组就绕在主磁极铁心上；在换向极的铁心上则绕有与电枢绕组串联的换向极绕组。

Z2 系列自 Z2-11 至 Z2-32，具有两个主磁极；自 Z2-41 至 Z2-112，具有四个主磁极。Z3 系列除 1 号、2 号机座具有两个主磁极外，其余均具有四个主磁极。

(2) 转子——电机的转动部分，又称为电枢。包括电枢铁心和换向器。电枢绕组就绕在电枢铁心上沿圆周分布的槽里。当定子上的激磁绕组通电产生磁通时，如电枢绕组流过电流，电枢便因电磁作用而旋转，从电枢电源吸取的电就能转换成机械能，通过转子的轴输出。

换向器是电枢的一部分，和电枢一起旋转。电枢电路电源接到换向器上位置固定的电刷，电流通过换向器流入电枢绕组。换向器的作用就是变换电流方向，因为在直流电机内部，电枢（转子）绕组的每一具体导线中的电流方向总是随所处圆周位置（也即相对于两磁极的位置）的不同而交变的。流向不变的直流电流，只有通过换向器换向，才能成为交变电流送入电枢绕组。

自通风的电机，转子上还附装风扇。

定子与转子之间留有空气隙。

(3) 接线盒——电动机的各个绕组的出线端接到接线盒中（实际上电枢绕组的线端是接在换向片上，从电刷上引出出线端），以便联接电源线。直流电动机接线盒中各绕组出线端的标志，根据《国标 GB 755-65 电机基本技术要求》如表 1-5 所示，其中换向极绕组，常已在电机内部与电枢绕组串接好，从而减少了引向接线盒的端子数。

表 1-5 直流电动机绕组出线端的标志

绕 组 名 称	出 线 端 标 志	
	始 端	末 端
电枢绕组	S_1	S_2
换向极绕组	H_1	H_2
串激绕组	C_1	C_2
并激绕组	B_1	B_2
他激绕组	T_1	T_2

(4) 转轴——在结构上是电枢的一部分，它是电机的输出部分。Z2 系列电动机拖动负载的轴伸，一般伸出在非换向器端。如制成两个轴伸时，Z2-11 至 Z2-62 的两个轴伸都能拖动额定转矩；而 Z2-71 至 Z2-112 在换向器端的轴伸，如无