

高等学校教材

家用电器原理与维修

主 编 杨伦铭 卢源陵
主 审 黄庆元

JD

四川科学技术出版社

TM9-5
34

高等师范电子系列教材

家用电器原理与维修

主 编：杨伦铭 卢源陵

副主编：刘文龙 郭德轩 冯乃光

编 委：蒋宏斌 胡正明 林乐生 凌在东

李绍安 李雪彬 顾德涛 何斯林

主 审：黄庆元

顾 问：徐克服

(川)新登字004号

书 名/家用电器原理与维修

编著者/ 杨伦铭 卢源陵

责任编辑·侯硃楠 谢增桓

责任校对·刘文龙

出版发行 四川科学技术出版社

成都盐道街3号 邮政编码 610012

印 刷 成都市彭州国有印刷厂

版 次 1996年3月成都第一版

1996年3月第一次印刷

规 格 787×1092毫米1/16

印张18 4000千字

印 数 1—40000册

定 价 18.80元

ISBN7—5364—3238—O/TN·105

前 言

高等师范电子系列教材是由中国高等师范电子学会组织全国师大、师院、师专、教育学院及部份军事院校等系统中富有教学和编写经验的教师，根据现代高等师范人才培养特点、电子科学技术的飞速发展和高等师范电子类教材的需要协同编写的。该系列教材包括《模拟电子技术基础》、《数字电子技术基础》、《黑白电视接收机原理与维修》、《彩色电视接收机原理与维修》、《微机原理及应用》、《收录机与立体声系统》、《共用天线系统与卫星接收》、《录像机原理与维修》、《家用电器原理与维修》、《电工学及其应用》等10种书及与此配套的实验指导书和学习指导书。为保证系列教材的质量，成立了由中国电子学会高等师范教学研究会，中国物理学会教育学院分会和高等教育出版社组成的“高师电子系列教材编审委员会”，负责系列教材从编写大纲到内容的全部审订工作。该系列教材的全部编写大纲分别于1991年4月在陕西咸阳和1993年6月在四川成都召开的有40余所高师院校参加的审订会上审订通过。各种教材已经和即将陆续由高等教育出版社、陕西师范大学出版社出版、四川科学技术出版社发行。

本书可作为高等师范院校（含教育学院及有关院校）理科教材，也可作为电大、函大、夜大、职大等成人教育的同类课程教材或教学参考书。

电子技术日新月异，教育改革不断深化，我们的水平和能力很难跟上科学技术的发展和教育改革的要求，本书稿虽几经修改，但错漏之处亦在所难免，再次恳请广大师生、同行、读者一如既往，不吝赐教，以即时修正错误，将这套系列教材搞得更好。顺表最诚挚的谢意。

编 者

1996年2月于成都

第一章 家用电器电动基础	(1)	一、结构	(26)
第一节 家用电动机的类型	(1)	二、定子绕组	(27)
一、家用电动机的分类	(1)	三、正弦绕组	(29)
二、家用电动机的型号	(1)	四、电动机绕组的计算	(34)
第二节 直流电动机的类型与结构	(1)	第十节 电风扇、洗衣机、电冰箱、电动机 ...	(35)
一、永磁式直流电动机	(3)	一、电风扇电动机	(35)
二、电磁式直流电动机	(3)	二、洗衣机电动机	(39)
三、无刷直流电动机	(4)	三、电冰箱电动机	(40)
第三节 直流电动机工作原理	(4)	第十一节 单相电动机的调速	(45)
一、直流电动机的转动原理	(4)	一、速度与电压的关系	(45)
二、直流电动机的工作特性和机械特性	(6)	二、调速方式	(46)
第四节 直流电动机的电枢绕组	(9)	第十二节 单相交流电动机的维修技术	(48)
一、电枢绕组分类	(9)	一、嵌线工作艺	(48)
二、电枢绕组的有关参数	(9)	二、电动机的检测	(51)
三、绕组的嵌线与绕制	(10)	三、单相电动机常见故障分析及排除方法 ...	(52)
第五节 直流电动机的起动、反转与调速 ...	(12)	思考题	(54)
一、直流电动机的起动	(12)	实验与操作	(54)
二、直流电动机的反转	(13)	第二章 电风扇	(58)
三、直流电动机的调速	(13)	第一节 电风扇的分类及规格型号	(58)
第六节 直流电动机的维修技术	(13)	一、电风扇的分类	(58)
一、测试前一般性检查	(14)	二、电风扇的规格与型号	(60)
二、电气性能的测试	(14)	三、电风扇的主要技术指标	(62)
三、直流电动机的常见故障及产生原因的分析	(15)	第二节 电风扇的基本结构	(63)
四、常用的几种检验故障的方法	(16)	一、台风扇	(64)
五、直流电动机电枢绕组的重绕	(17)	二、吊扇	(66)
第七节 单相交流电动机的类型	(18)	第三节 电风扇的摇头系统	(67)
一、单相异步电动机	(18)	一、杠杆式摇头系统	(67)
二、单相串激电动机	(19)	二、滑板式摇头系统	(70)
三、单相同步电动机	(19)	三、掀拔式摇头控制系统	(70)
第八节 单相交流电动机的工作原理	(19)	第四节 电风扇的扇叶与机座	(71)
一、单相串激电动机的工作原理	(19)	一、扇叶	(71)
二、单相异步电动机的工作原理	(21)	二、机座	(74)
三、罩极式电动机的工作原理	(25)	第五节 电风扇的控制系统	(76)
第九节 单相异步电动机的结构和定子绕组	(25)	一、定时器	(76)
		二、调速方法与琴键开关	(78)
		三、模拟自然风控制电路	(79)

四、典型控制电路举例	(81)	一、洗涤与脱水定时器	(149)
第六节 遥控电风扇	(84)	二、波轮轴组件	(150)
一、红外线遥控	(84)	三、脱水系统	(150)
二、声波遥控	(86)	四、排水系统	(150)
三、光波遥控	(87)	五、循环与过滤系统	(151)
四、无线电遥控	(87)	思考题	(152)
第七节 电风扇拆装技术	(87)	实验与操作	(152)
一、台扇的拆装技术	(87)	第四章 电冰箱	(155)
二、吊扇的拆装	(89)	第一节 基础知识	(155)
第八节 电风扇的故障检查与维修	(90)	一、热力学制冷原理	(155)
一、典型机种的故障检查与排除	(91)	二、制冷及其状态参量	(155)
二、电风扇的常见故障分析及检修方法	(101)	三、压缩式制冷循环—压焓图	(157)
思考题	(105)	四、其它常见的制冷方法	(159)
实验操作	(105)	第二节 电冰箱的结构与分类	(160)
第三章 洗衣机	(108)	一、电冰箱的分类与规格型号	(160)
第一节 洗衣机的分类与规格	(108)	二、电冰箱的基本构造	(161)
第二节 洗衣机的工作原理	(110)	三、电冰柜	(163)
一、洗涤去污原理	(110)	第三节 电冰箱压缩机	(164)
二、洗衣机的工作原理	(111)	一、压缩机的种类与性能要求	(164)
第三节 半自动波轮式双桶洗衣机	(112)	二、往复式活塞式压缩机	(165)
一、洗涤系统	(112)	三、旋转式压缩机	(166)
二、进排和循环系统	(115)	四、电磁振动式压缩机	(168)
三、控制系统	(118)	第四节 制冷系统	(169)
第四节 全自动波轮式洗衣机	(124)	一、冷凝器	(170)
一、全自动波轮式洗衣机的基本结构和工作原理	(125)	二、蒸发器	(171)
二、主要自动控制装置	(125)	三、毛细管	(171)
三、控制电路	(130)	四、吸气管	(172)
第五节 其它类型洗衣机	(133)	五、干燥过滤器	(172)
一、滚筒式洗衣机	(133)	第五节 电冰箱的箱体结构	(172)
二、其它类型洗衣机简介	(137)	第六节 电冰箱的控制系统	(173)
三、新型洗衣机	(138)	一、启动继电器	(173)
第六节 洗衣机维修技术	(140)	二、保护继电器	(174)
一、洗衣机主要技术指标	(140)	三、温度控制器	(175)
二、洗衣机故障检查程序	(142)	四、化霜装置	(177)
三、洗衣机常见故障分析与排除	(144)	五、箱体上的防露防冻装置	(180)
第七节 洗衣机主要零部件的拆卸与安装	(149)	六、电冰箱常用控制电路	(180)
		第七节 电冰箱制冷系统维修技术	(182)
		一、维修工具和材料	(182)
		二、铜管加工工艺	(182)

三、焊接与检漏技术.....	(183)	二、空调器的安装.....	(234)
四、抽空与充灌技术.....	(185)	思考题	(236)
五、制冷剂中水分的排除.....	(189)	实验与操作	(237)
六、压缩机维修技术.....	(189)	第六章 电热器具	(238)
第八节 电冰箱的使用和故障分析与维修.....	(191)	第一节 基础知识	(238)
一、电冰箱使用注意事项.....	(191)	一、电热器具的基本理论.....	(238)
二、电冰箱的正常工作状态.....	(193)	二、电热元件.....	(242)
三、电冰箱故障检查程序.....	(193)	三、控制器件.....	(249)
四、电冰箱的常见故障的排除.....	(197)	第二节 电烤箱	(250)
思考题	(199)	一、电烤箱的分类.....	(250)
实验与操作	(200)	二、家用普通电烤箱.....	(250)
第五章 空调器	(203)	三、家用高级电烤箱.....	(251)
第一节 空调器的分类与主要技术指标.....	(203)	第三节 电饭锅	(253)
一、空调器的分类.....	(203)	一、家用电饭锅的分类.....	(253)
二、空调器的主要技术指标.....	(203)	二、双层整体保温式电饭锅.....	(253)
第二节 空调器的基本构造	(205)	三、电脑控制式电饭锅.....	(254)
一、制冷系统.....	(205)	四、保温式电饭锅常见故障分析及维修方法.....	(257)
二、空气循环系统.....	(210)	第四节 电磁灶	(258)
三、电气系统.....	(211)	一、电磁灶的分类.....	(258)
四、箱体.....	(213)	二、工频电磁灶.....	(258)
第三节 空调器工作原理	(213)	三、高频电磁灶.....	(258)
一、调温原理.....	(213)	第五节 微波炉	(264)
二、除湿原理.....	(216)	一、微波炉的分类.....	(264)
三、空气调节的热力学计算.....	(221)	二、微波炉的基本结构.....	(264)
第四节 空调器控制系统	(221)	三、微波炉的工作原理.....	(268)
一、基本控制电路单元.....	(221)	四、微波炉常见故障的维修.....	(268)
二、控制电路分析.....	(222)	五、电脑控制式微波炉简介.....	(269)
第五节 空调器维修技术	(227)	第六节 其它电热器具	(270)
一、空调器常见故障的检查.....	(227)	一、电取暖器.....	(270)
二、故障分析与维修.....	(229)	二、电吹风.....	(274)
第六节 空调器的选购与安装	(232)	思考题	(275)
一、空调器的选购.....	(232)	实验与操作	(276)

第一章 家用电器电动基础

电动机是将电能转换成机械能的电气设备。由于电动机结构简单、性能稳定、能源方便,早已成为一种优越的动力工具。家用电器中使用的电动机,品种繁多,结构各异。电动机作为许多家用电器的核心,对家电产品的性能质量和使用效果,影响很大。因此,较系统的掌握各种家用电动机的结构特点、工作原理和使用维修方面的知识,是学习家用电器的重要基础。

第一节 家用电动机的类型

一、家用电动机的分类

家用电动机大多是小功率的,也叫分马力电动机,其品种规格繁多,分类方法也不尽相同。按照工作原理及特性可以分成下面四类。

(一)直流电动机 家用直流电动机多为小功率直流电动机。小功率直流电动机一般用永久磁钢做定子,功率较大的用电激磁,定子作成一对磁极或多对磁极。直流电动机的转速可以根据实际需要进行设计,并可以在宽阔的范围内调速。它广泛用于计算机、自动化仪表,家用小电器,电动玩具等。

(二)异步电动机 异步电动机又称为感应式电动机,其转子是铸铝制成的,这类电动机结构简单,运转稳定。异步电动机分为三相异步电动机和单相异步电动机两种。家用电器家族中的电风扇、洗衣机和电冰箱等都采用单相异步电动机。

(三)同步电动机 同步电动机的定子与异步电动机相同,小功率的同步电动机转子不设励磁绕组,结构简单。这种电动机的特点是在一定范围内可保持转速稳定,性能可靠,要求恒定转速的情况下都采用同步电动机,如收录机、电唱机、电动仪表等均用同步电动机。

(四)交直两用电动机 这种电机又称为串激式电动机。它的转子和直流电动机的转子一样,转子线圈的引线与换向器的换向片相连,通过电刷接通外电源。这种电动机的优点一是可以交直两用,二是转速很高且过载能力强,常使用在手电钻、吸尘器等家用电器上。

二、家用电动机的型号

由于家用电器的迅猛发展,近年来家用小功率电动机的生产规模、产品规格品种有了空前的发展,从小于 750W 逐步发展到几个千瓦,其中单相电容起动电运转电动机发展最快,许多产品已形成标准的系列产品。电机的性能更加完善,但重量和体积却不断减少。为了适应国民经济发展的需要和便于同国外进行技术交流,我国八十年代对微型交流异步电动机的技术指标、外形及安装尺寸与国外的标准对应起来,命名为 AO₂、BO₂、CO₂、DO₂ 四个系列。

电动机的型号是表示电动机的种类、技术指标及外形尺寸的技术标准。型号的规范化给产品的生产和使用带来了方便。电动机型号标记由系列代号、设计代号、机座代号、特征代号

和特殊环境代号五部分构成。小功率异步电动机型号组成如下：

1. 系列代号——小功率异步电动机基本系列代号如表 1-1-1。

基本系列产品名称	代 号	老 代 号
微型三相异步电动机	AO ₂	JW, AO
微型单相电阻起动异步电动机	B ₀₂	JZ, BO
微型单相电容起动异步电动机	CO ₂	JY, CO
微型单相电容运转异步电动机	DO ₂	JX, CO
微型单相电容起动和运转异步电动机	E	
微型单相罩极异步电动机	F	

2. 设计代号——在系列代号右下方，用数字表示设计代号，右下方无系列设计代号者，表示该产品为第一次系列设计。

3. 机座代号——表示电动机转轴中心的高度以毫米的单位，中心高度的标准有：45, 50, 56, 63, 71, 80, 90, 100mm。

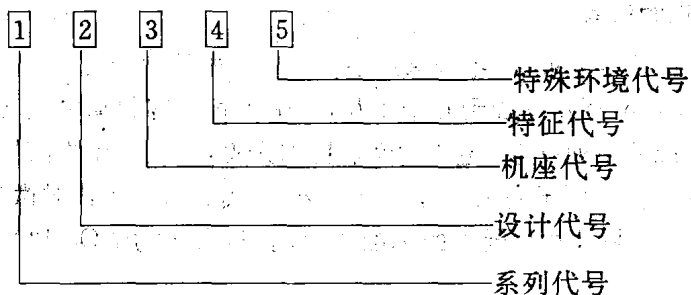
4. 特征代号——表示电动机铁芯长度和极数。

5. 特殊环境代号——表示该产品适应的环境。见表 1-1-2。

表 1-1-2

汉 字 代 号	汉字拼音代号
热带用	T
湿热带用	TH
干热带用	A
高原用	G
船(海)用	H
化工用(防腐蚀)	F

型号具体表示为：



例如 CO₂ 8022 表示单相电容起动电动机，右下方的小 2 表示是 CO 系列第二次设计的。80 表示机座尺寸为 80mm，22 是 2 号铁芯和两极。

第二节 直流电动机的类型与结构

直流电动机按其结构不同可分为：永磁式直流电动机和电磁式直流电动机。

小功率直流电动机定子是永久磁铁制成的。转子由铁芯和绕组构成，绕组与换向器连接，由电刷导通电源。大功率直流电动机多采用电激磁，由于激磁线圈与电枢绕组的连接方法不同，又分为串激式直流电动机与并激（他激）式直流电动机。

一、永磁式直流电动机

永磁式直流电动机的结构如图 1-2-1 所示。

所示。

(一) 定子 由永磁磁极、座、端盖、轴承、电刷等装置组成。

(二) 转子 由电枢铁芯、电枢绕组、换向器、风扇和转轴等组成。

二、电磁式直流电动机

电磁式直流电动机如图 1-2-2 所示。

(一) 定子

1. 主磁极 铁芯由 0.5~1.5mm 厚的低碳钢板冲片叠成，铁芯上套有激磁绕组。主磁极的主要作用是产生气隙磁场并使电枢表面的气隙磁通密度按一定波形沿空间分布。通常在极靴下的气隙是不均匀的，在极尖处气隙密度大而中部小，为了改善换向，减小噪声，应当使气隙磁密度有较好的波形分布。

2. 换向极 是用以改善电机的换向性能的，它包括换向极铁芯和换向绕组。小型直流电动机的换向极铁芯用整块钢制成，换向极绕组与电枢绕组相串联，其极数与主磁极极数相同。每个换向极装在两相邻主磁极之间，用螺丝固定在机壳上。一般微型电机没有换向极。

3. 机座 机座用来固定主磁极，换向极和前后端盖，同时还可作为磁轭成为主磁路回路一部分。机座通常用导磁效果好的铸钢或钢板焊接而成。

4. 电刷装置 电刷装置由电刷、刷握、刷杆和刷杆座（总体叫电刷盒）等组成，如图 1-2-2 所示。电刷握上的刷盒内，用弹簧将它压紧在换向器上，刷握固定在刷杆座上，它们之间必须绝缘，小型直流电机的刷杆座装在端盖或轴承内盖上，而大型电机的刷杆座则装在机座上。

(二) 转子

1. 电枢铁芯和绕组 电枢铁芯是直流电机主磁路的一部分，由 0.5mm 厚的硅钢片冲

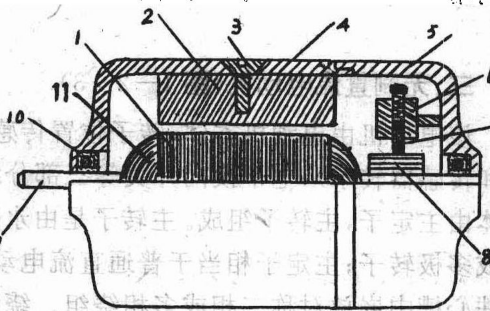


图 1-2-1

1. 电枢铁芯 2. 永久磁钢 3. 磁钢紧固螺钉
4. 机壳 5. 端盖 6. 电刷盒 7. 碳刷
8. 换向器 9. 机轴 10. 轴承 11. 电枢绕组

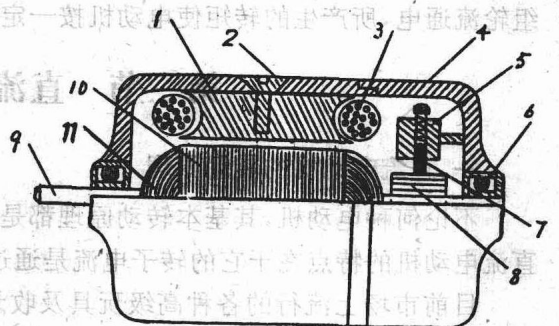


图 1-2-2

1. 定子铁芯 2. 紧固螺钉 3. 激磁绕组
4. 外壳 5. 电刷盒 6. 轴承 7. 碳刷
8. 换向器 9. 机轴 10. 电枢铁芯 11. 电枢绕组

叠而成,冲片上开有嵌线用的槽和一些通风孔。嵌入槽孔中的线圈按一定规律分布与换向器的换向片连接形成闭合回路。

2. 换向器 是直流电动机中最重要的部件之一。其工作状态正常与否基本上决定了直流电机运行的可靠程度。它是由许多彼此互相绝缘的楔形铜质换向片构成的圆柱体,换向片之间用 0.4~1.2mm 的云母片作绝缘垫。小功率的直流电机多采用热压成型的塑料换向器。

三、无刷直流电动机(图 1-2-3)

该电动机由电动机本体、转子位置传感器(传感器定子和传感器转子)、电子换向开关等三部分组成。电动机本体由主定子、主转子组成。主转子是由永磁体构成的二极或多极转子;主定子相当于普通直流电动机的电枢,叠片铁心槽中嵌放对称二相或多相绕组。绕组按星形或三角形接法,其每一相都与电子换向开关的功率元件联接。转子位置传感器检测转子磁场相对于定子绕组的位置,并在确定的位置上传感出信号,控制开关电路的功率元件,按一定的逻辑关系进行绕组电流切换。通电绕组电枢磁势与转子磁场相作用产生转矩,而由传感器控制使绕组轮流通电,所产生的转矩使电动机按一定的方向旋转。

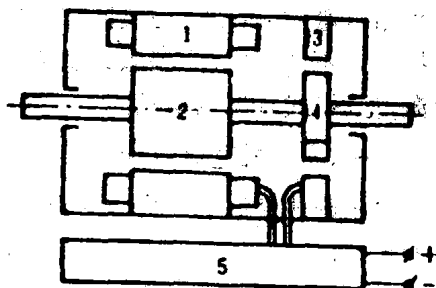


图 1-2-3 无刷直流电动机结构原理图

1. 主定子 2. 主转子 3. 传感器定子
4. 传感器转子 5. 电子换向开关电路

第三节 直流电动机工作原理

一、直流电动机的转动原理

不论何种电动机,其基本转动原理都是转子电流受到定子产生的磁场的作用而旋转的。直流电动机的特点在于它的转子电流是通过电刷与换向器流进转子电枢绕组的。

目前市场上流行的各种高级玩具及收录机,各种家用小电器采用的直流电动机均为由三个槽孔铁心绕制的三极电枢电动机。下面就以这种电动机为例说明直流电动机的工作原理。用四种图示方法对电枢运转一个周期(360°)的全过程进行分析,四种图形是:

(一)圆形图 图 1-3-1a 表明电枢绕组与换向器换向片的连接方式。

(二)支路图 图 1-3-1b 在任何情况下电刷总是将电枢绕组分为两条支路,并且在运行过程不断变换单元绕组的位置。

(三)展开图 图 1-3-1c 各单元绕组随着在支路中位置的变换其中电流的流向也有规律地变化。

(四)磁极图 图 1-3-1d 说明电动机运行过程磁极的产生和位置的变化。

用电机电枢转子运转一个周期转过不同机械角度的瞬时位置进行分析。说明问题引用的符号:电流由首端流入,表示为 $\otimes$;由首端流出为 $\odot$;打黑色点的线圈边为首端。

$\alpha=0^\circ$ (电枢绕组运转的起始位置)图-(1)a 所示,由圆形图看出正电刷与 1 号换向片接触,负电刷与 2 号换向片接触;两条支路(图-(1)b 所示):1 号绕组在正电刷的左侧(沿电枢换向器径向看,支路图中画在上方),3 号、2 号绕组在右侧(支路图中画在下方);不同支路中的单元绕组电流流向不同(图-(1)c 所示),1 号绕组中心电流是首入尾出,2 号绕组尾入

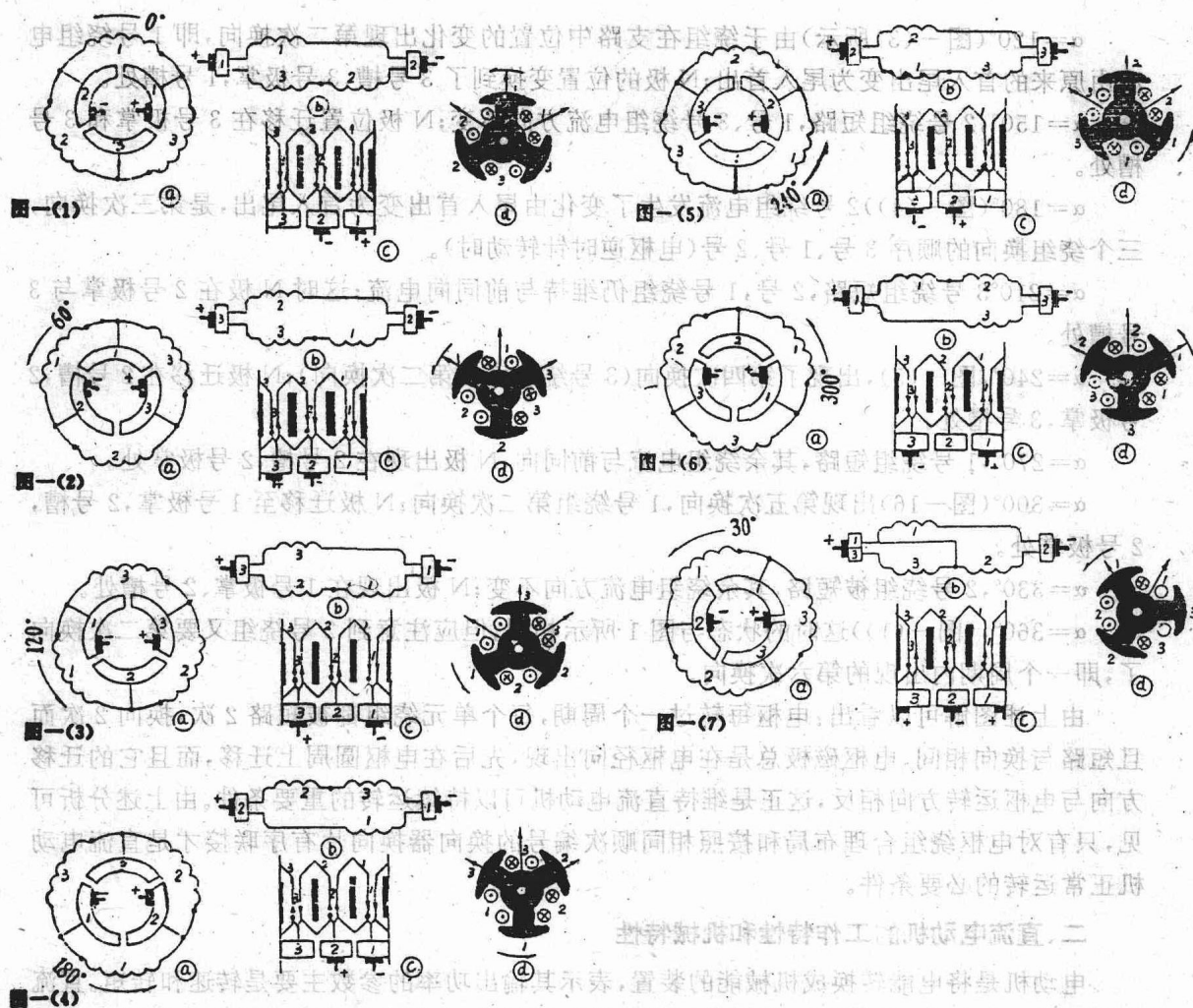


图 1-3-1

首出, 3 号绕组尾入首出; 磁极 N 极出现的位置是(图 1-33d 所示)N 出现在 1 号槽、1 号极掌, 2 号槽处。

$\alpha = 30^\circ$ 电枢转过 30° 角(图一(7)a 所示); 正电刷同时与 1 号、3 号换向片接触, 负电刷与 2 号换向片接触; 两条支路是: 1 号在上, 2 号 3 号在下, 但与前不同的是 3 号绕组被短路, 除 3 号绕组无电流流过外, 其余 1 号 2 号绕组电流与前相同; N 极出现在 1 号槽与 1 号极掌处。

$\alpha = 60^\circ$ (图(2)所示)当电枢转过 60° 时, 正电刷与 3 号换向片接触, 负电刷与 2 号换向片接触; 由电刷分为的两条支路是: 2 号在上, 3 号 1 号在下; 这时 3 号绕组中的电流改变了方向, 由原来的尾入首出变为首入尾出, 是第一次电流换向, 其余两单元绕组电流方向仍然不变, N 极出现在 1 号槽、1 号极掌、3 号极掌处。

$\alpha = 90^\circ$ (图略, 读者可由图 1-1(2)变换自己画出新的瞬时图); 由于电刷与换向器换向片接触位置的变动两条支路, 绕组相对位置发生了新的变化, 3 号, 1 号在上, 2 号在下; 除 1 号被短路外其余 2 号、3 号绕组仍维持着与前相同方向的电流; N 极在 3 号极掌与 1 号槽处出现。

$\alpha=120^\circ$ (图-(3)所示)由于绕组在支路中位置的变化出现第二次换向,即1号绕组电流由原来的首入尾出变为尾入首出,N极的位置变换到了3号槽,3号极掌,1号槽处。

$\alpha=150^\circ$,2号绕组短路,1号、3号绕组电流方向不变,N极位置迁移在3号极掌和3号槽处。

$\alpha=180^\circ$ (图-(4))2号绕组电流发生了变化由尾入首出变为首入尾出,是第三次换向,三个绕组换向的顺序3号、1号、2号(电枢逆时针转动时)。

$\alpha=210^\circ$ 3号绕组短路,2号、1号绕组仍维持与前同向电流;这时N极在2号极掌与3号槽处。

$\alpha=240^\circ$,图-(5),出现了第四次换向(3号绕组已是第二次换向);N极迁移在2号槽,2号极掌,3号槽处。

$\alpha=270^\circ$,1号绕组短路,其余绕组电流与前同向,N极出现在2号槽,2号极掌处。

$\alpha=300^\circ$ (图-16)出现第五次换向,1号绕组第二次换向;N极迁移至1号极掌,2号槽,2号极掌处。

$\alpha=330^\circ$,2号绕组被短路,其余绕组电流方向不变;N极出现在1号极掌、2号槽处。

$\alpha=360^\circ$,图-(1))这时的状态与图1所示相同,但应注意到2号绕组又要第二次换向了,即一个周期内出现的第六次换向。

由上述图解可以看出:电枢每转过一个周期,每个单元绕组都被短路2次,换向2次而且短路与换向相间,电枢磁极总是在电枢径向出现,先后在电枢圆周上迁移,而且它的迁移方向与电枢运转方向相反,这正是维持直流电动机可以持续运转的重要条件。由上述分析可见,只有对电枢绕组合理布局和按照相同顺次编号的换向器换向片有序联接才是直流电动机正常运转的必要条件。

二、直流电动机的工作特性和机械特性

电动机是将电能转换成机械能的装置,表示其输出功率的参数主要是转速和转矩。直流电动机的工作特性,是描述在其端电压和励磁电流恒定,电枢电路不串入外加电阻的条件下电机的转速 n 、电磁转矩 M_m 、效率 η 等与输出功率 P_2 之间的关系。这种关系的数学表达式为 n 、 M_m 、 $\eta=f(P_2)$ 。电动机的转速与转矩间的关系称做电动机的机械特性。其数表示式为 $n=f(M_m)$ 。

了解直流电动机的这两种特性有助于掌握它的工作性能。下面分别介绍工作特性和机械特性:

(一)并激直流电动机的工作特性

并激直流电动机的工作特性测定如图1-3-2电路,动机输出功率为额定值 P_N 时对应的转速为 n_N ,此时励磁电流为 I_{fN} ,整个实验过程保持 $I_f=I_{fN}$ 为常量。改变负载,测定并记录相应的转速 n ,负载转矩 M_2 ,电流 I 和输出功率 P_2 ,将记录结果描绘出曲线如图1-3-3所示。

1. 速率特性 由图1-3-3可看出,速率特性曲线是向下倾斜的曲线,当负载增大即 P_2 增加,输入功率 $P_1=UI$ 也随之增加,考虑到 U 保持不变时,励磁电流恒定, I 增加,由转速计算公式

$$n = \frac{U - I_a R_a}{C_E \Phi} \quad (1-1)$$

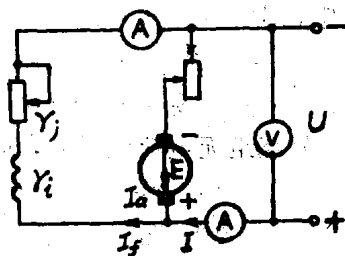


图 1-3-2

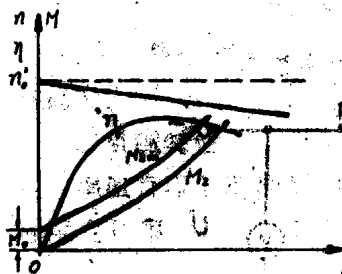


图 1-3-3

(C_E —电动势系数, ϕ —电刷间磁极合磁通)可知,转速趋于下降,但又考虑到电枢反应的去磁效应, ϕ 趋于下降,同时又欲使转速趋于上升,两种相反趋势的影响致使转速下降很少,速率特性曲线稍稍下斜,这这特性叫做硬特性。

2. 转矩特性 $M_{em}=f(P_2)$

当电机匀速转动时,电磁转矩 M_{em} 应与负载制动转矩 M_2 和空载转矩相平衡,即 $M_{em}=M_0+M_2$ ($\because P_2=F \cdot v=F \cdot \omega \cdot \gamma$

$$=F \cdot \gamma \cdot \omega, \therefore F\gamma=M, \therefore M_2=P_2/\omega=\frac{P_2}{2\pi n/60})$$

若 n 不变时, $M_2=f(P_2)$ 为通过原点的一条直线。实际上 P_2 增加时, n 略下降,因此曲线略微向上弯曲,而由空载损耗所引起的制动转矩 M_0 基本上不随 P_2 变化可以看做常量,因此在 M_2 曲线上加一段纵坐标 M_0 , 即得 $M_{em}=f(P_2)$ 的关系曲线。

3. 效率特性 $\eta=f(P_2)$, 电动机的效率 $\eta=\frac{P_2}{P_1} \times 100\%$, 通常效率特性曲线在空载至半额定负载时上升很快,以后几乎保持不变,而在额定负载附近达到最高,随后当负载再增加时效率又下降。

直流电动机的效率通常在下述范围: 10kw 以下的 $\eta=75\% \sim 85\%$; 10~100kw 的 $\eta=80\% \sim 91\%$; 100kw 以上的 $\eta=86\% \sim 96\%$ 。

(二) 并激直流电动机的机械特性

并励直流电动机的机械特性 $n=f(M_{em})$ 曲线是在 $U=U_N=$ 常量, $I_f=I_{fN}=$ 常量, 电枢回路电阻 $R_a+R_l=$ 常量的情况下作出的, 其中 R_a 为电枢电阻, R_l 为并激回路串入电阻。由《电工学》知, 电磁转矩 $M_{em}=NBL_a(D_a/2)$, 式中 $D_a=2P\tau/\pi$ (P 为电枢表面的磁极对数, τ 为极距), $i_a=I_a/2a$ (a 为电刷间的支路数, I_a 为电枢总电流, i_a 为某一根导线中的电流), $B=\phi/L\tau$ (L 为导体有效长度), 这样可知

$$M_{em} = \frac{1}{\pi} (n_a) (P\phi) = (PN/2\pi a) \phi I_a = C_m \phi I_a$$

$$C_m = PN/2\pi a - \text{转矩常数。} \quad (1-2)$$

可见电磁转矩每极磁通和电枢电流的乘积成正比。将 (1-2) 式变换为 $I_a = M_{em}/C_m \phi$ 代入式 (1-1), 可得

$$n = \frac{U}{C_E \phi} - \frac{R_a}{C_E C_m \phi^2} M_{em} \quad (1-3)$$

当忽略电枢反应的影响时, ϕ 为常量, 则机械特性曲线为一直线 (如图 1-3-4), 在纵轴上的截距 $n_0 = U/C_E \phi$, 称为理想空载转速 (即额定电压、额定电流和空载制动转矩为零时的转速)。

$$\text{直线的斜率为 } -\frac{R_a}{C_E C_m \phi^2}, \text{ 令 } K = \frac{R_a}{C_E C_m \phi^2}, \text{ 则}$$

$n = n_0 - KM_{em}$ 。直流电动机的电枢电阻 R_a 很小, 即直线斜率很小, 因此直流电动机的机械特性曲线是一条稍下斜的直线, 与转速特性曲线相似, 也是一条硬特性曲线。

由式 (1-3) 看出, 端电压 U 、磁通 ϕ 及电枢回路电阻 R_a 不同, 则机械特性曲线不同。如果电枢回路中串入调节电阻后, 则有

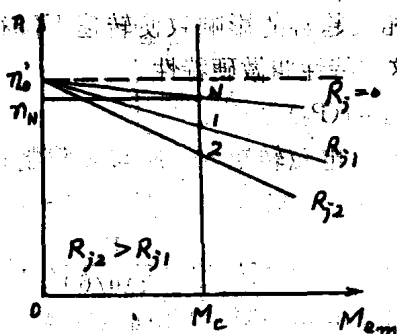


图 1-3-4

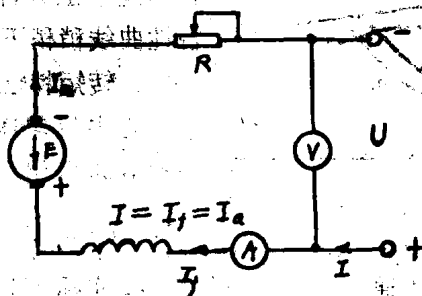


图 1-3-5

$$n = \frac{U}{C_E \phi} - \frac{R_a + R_f}{C_E C_m \phi^2} M_{em} \quad \text{及}$$

$$K = C R_a + R_f / C_E C_m \phi^2$$

可见,此时直线斜率变大,机械特性曲线随负载转矩增加而下降加骤。这种曲线称为软特性曲线。

公式(1-3)不仅表现了直流电动机转速与转矩的关系,而且告诉我们,当维持一定的电磁转矩时,电机的速度 n 还与 U 、 ϕ 和 R_f 有关,指出这一点是非常必要的。

(三)串激直流电动机的工作特性和机械特性

串激直流电动机测试电路如图 1-3-5 所示,当电枢电流 I_a 随着负载变化时 I_f 和气隙磁通也随之变化。所以它的速率特性,转矩特性和机械特性与并激直流电动机差别很大,但效率特性大都相同。

1. 工作特性

(1)速率特性 $n=f(P_2)$, 当 P_2 增加时, I_a 随之增加,引起气隙磁通 ϕ 增加,电枢回路电压降 $I_a R_a$ 随之增加,由(1-1)式可知转速降低,故随 P_2 的增加转速迅速下降,但当 P_2 增加到一定程度后,由于电机磁路趋于饱和, ϕ 不再随 I_a 的增加而正比地增加,这时转速下降变慢。如图 1-3-6。

当串激直流电动机轻载时 I_a 很小, ϕ 也很小,这时为了产生一定的反电动势 E 与电源电 U 相平衡,电动机转速将达到非常高,这时现象叫“飞速”。飞速会使转子遭破坏,甚至造成人身事故,因此串激电动机不允许空载,也不允许额定负载 20% 的轻载下运行,所以其转速变化为 $\Delta n\% = \frac{n_{0.25} - n_N}{n_N} \times 100\%$ ($n_{0.25}$ 为电动机 1/4 额定功率时的转速)。

(2)转矩特性 $M_{em}=f(P_2)$

$M_2 = P_2 / \omega$, M_2 随 P_2 的增加而迅速增大,由于 $M_{em} = M_0 + M_2$, 所以 $M_{em}=f(P_2)$ 关系曲线随 P_2 的增加而很快向上翘。如图 1-3-6。

当电机磁路未饱和时,磁通 ϕ 与 I_a 成正比,因此 $M_{em} \propto I_a^2$, 当磁路处于饱和状态时 ϕ 近似于常量,当电动机运行额定输出功率 P_2 时,可以认为 $M_{em} \propto I_a^2$, 而 $1 < \alpha < 2$, 由此可以认为串

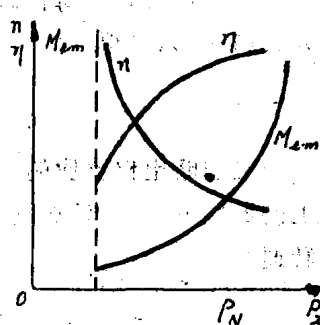


图 1-3-6

激直流电动机的电磁转矩以大于电枢电流一次方的比例而增加,这一特性使串激直流电动机具有较大的起动转矩和过载能力。

2. 机械特性

串激直流电动机 $I_f = I_a$, 并随负载变化, 电机磁路的饱和程度变化很大。当负载不大时, 可以认为 $\phi \propto I_a$, 即 $\phi = C_1 I_a$

$$(C_1 \text{ 为比例系数}), \therefore M_{em} = C_m I_a \phi = C_m C_1 I_a^2 \text{ 或 } I_a = \sqrt{\frac{M_{em}}{C_m C_1}} \quad (1-4)$$

$$\text{式和 } \phi = C_1 I_a \text{ 代入 1-1 式, 可得 } n = \frac{U}{C_E \sqrt{\frac{C_1}{C_m}} \cdot \sqrt{M_{em}}}$$

$$\frac{(R_m R_f)}{C_E C_1} \quad \text{--- (1-5)}$$

(1-5)式作出的串激直流电动机的机械特性曲线为——双曲线, 随负载转矩的增大, 电动机转速迅速下降。如图 1-3-7

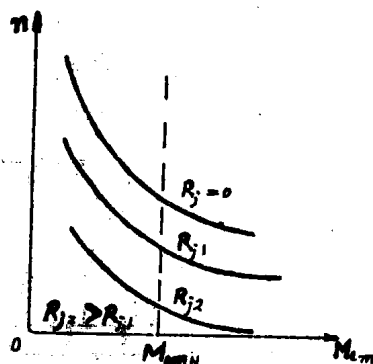


图 1-3-7

第四节 直流电动机的电枢绕组

电枢绕组在直流电动机中起能量转换的重要作用, 由于载流电枢绕组与磁场的相互作用使得转子转动, 将电能转化为机械能。

家用电器中常用的直流电动机, 电枢绕组都是用高强度漆包线绕制成的。整个绕组由若干单元绕组组成, 每个单元绕组也叫一个元件, 每个元件有两个边(首端边与尾端边)和两条引出线(首边引出线与尾边引出线)。将每个元件的两条引出线有规律地焊接到对应的换向片上, 则整个电枢绕组通过换向片连成一体, 形成闭合回路。因此直流电动机的电枢绕组也称为闭合式绕组。下面介绍绕组结构和基本形式。

一、电枢绕组分类

(一) 叠绕组 分为单叠和复叠两种

(二) 波绕组 分为单波和复波两种

(三) 混合绕组

(四) 叠绕式与对式绕组

家用电器中的直流电动机多采用单叠绕组、对绕式绕组和叠绕式绕组。

二、电枢绕组的有关参数

第一节距 Y_1 : 1 个单元绕组的首端边和尾端边的距离叫做第一节距。无论是叠绕组还是波绕组第一节距都接近于 1 个磁极的距离。如图 1-4-1。

第二节距 Y_2 : 第一单元绕组的尾端边与第二单元绕组的首端边之间的距离。由图 1-4-1(b) 看出波形绕组的第二节距 Y_2 也接近 1 个磁极的距离。

合成节距 Y : 第一单元绕组的首边与第二单元绕组首边之间的距离或第一单元绕组的尾边与第二单元绕组的尾边的距离为合成节距。

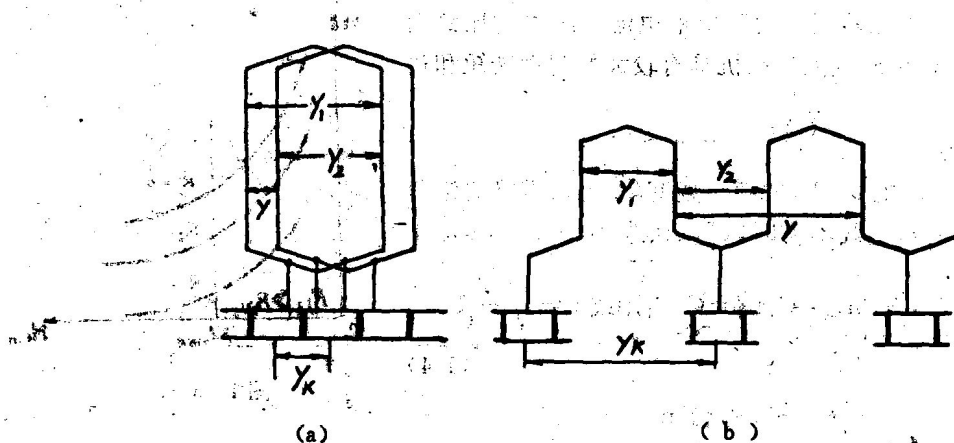


图 1-4-1

换向片节距 Y_1 与同一个单元绕组两条引出线相联接的两个换向片间的距离。由图 1-4-1 可知，波绕组中 Y_1 为一对磁极的距离。

三、绕组的嵌线与绕制

(一)单叠绕组展开图 以电枢铁芯 8 槽, 8 个换向片, 有两个磁极的直流电动机为例说明嵌线方法。

图 1-4-2 为单叠绕组展开图: 电刷位于磁极的中心线位置, $Y_1 = 4$ (用槽数表示) $Y_2 = 3$, $Y = Y_1 - Y_2 = 1$, $Y_k = Y = 1$, 下面归纳出单叠绕组的节距计算。

方法: $Y_1 = \frac{Z \pm \epsilon}{2P}$ 绕组第一节距: $Y_1 = \frac{Z \pm \epsilon}{2P}$

Z ——电枢铁芯总槽数

ϵ ——修正数(使 Y_1 为整数)

P ——磁极对数。

合成节距与换向器节距 $Y = Y_1 = 1$

第二节距 $Y_2 = Y_1 = Y$

(二)嵌线方法

1. 先用绕线模, 绕出 8 个单元绕组。
2. 将电枢铁芯上线槽编号 1—8 号, 第一号槽位置可任意确定, 其余按顺时针方向确定。
3. 将换向器的换向片编号: 1 号换向片必须正对 3 号槽的位置, 其余按顺时针方向编号如图 1-4-2。
4. 将第一号单元绕组首端边嵌入 1 号槽内, 尾端嵌入 5 号槽内(依据 $Y_1 = 4$), 再将首端引出线焊在 1 号换向片上, 尾端引出线焊于第二号换向片上。
5. 将第二单元的首端边嵌入 2 号槽, 其尾端边嵌入 6 号槽, 再将首端引出线焊在 2 号换向片上, 尾端引出线焊在 3 号换向片上。
6. 依次将 3 号单元绕组嵌入 3 号槽 7 号槽, 再将首边引出线焊在 3 号换向片上, 尾端引出线焊在 4 号换向片上。4 号单元绕组嵌入 4 号槽 8 号槽, 首端引出线接 4 号换向片, 尾端引出线接 5 号换向片。5 号单元绕组嵌入 5 号槽 1 号槽内, 首端引出线接 5 号换向片, 尾端接 6 号换向片。

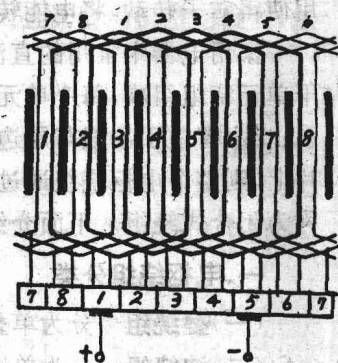


图 1-4-2