

内 容 提 要

单相串激电动机主要作为电动工具和家用电器的动力,不仅各行各业广泛使用,而且深入到家庭。

本书分原理、设计和制造三部分。着重概念和实用,由浅入深,内容充实,知识面广。

原理篇包括运转原理、电气特性和换向原理。对噪声、调速和无线电干扰的原理也有较详细的介绍。

设计篇除叙述电磁参数的选取原则外,对设计方法和设计程序进行了分析,并提供计算实例。最后又介绍电子计算机的有关概念和在电磁设计中的应用。

制造篇介绍单相串激电机结构及制造工艺,除传统工艺外,还介绍自动化生产,并对双重绝缘结构、绝缘处理工艺和动平衡作专门介绍。本篇中大多内容也适用于其他类型电机。

本书供从事设计制造单相串激电动机的工程技术人员及使用维修人员阅读参考。也可供大中专院校师生参考。

序

单相串激电动机由于起动转矩大、转速高和体积小等一系列特点,除一部分用作驱动电机外,大量的用于电动工具,还广泛的用于吸尘器等多种家用电器中。当前国内外介绍单相串激电动机的书籍很少,尤其是全面介绍原理、设计和制造的专著,更未见到,因此,本书是会受到读者欢迎的。

汪镇国总工程师长期从事电机和电动工具的科研工作,对单相串激电动机的设计研究,更有丰富的实践经验,现以简明扼要和通俗易懂的文字编写了本书——单相串激电动机的原理设计制造,其中不少内容是作者实践经验的总结。全书表达概念清楚,实用性强。除文字说明外,作者又善于用图解的方法来说明概念,其中有些图原是作者首先使用的,有的尚为他书所无,这在介绍运转原理、交直流二用概念以及换向的章节中都可见到。

除介绍设计方法与设计程序外,附有经过验证的设计实例,是一本设计参考好书。

单相串激电机也存在着不少在设计制造上需要注意的问题,如电气安全问题、换向(火花)问题、对无线电干扰问题、动平衡问题等,本书也辟有专章阐述,介绍来源及相应措施。

电动工具用单相串激电机的设计现正全面更新,定子改用深槽并采用计算机技术,书中虽未及具体介绍,但设计原理还是一致的。

作者编写完稿后,我曾有幸通读了一遍。以上是我的读后感。是为序。

沈越昭

目 录

绪 论

第一篇 原 理 篇

第一章 单相串激电动机的运转原理	4
1-1 运转原理及交直流两用的基本概念	4
1-2 高速运转原理及软特性	9
1-3 调速原理	12
第二章 单相串激电动机的基本特性	19
2-1 电压向量图和电势平衡方程式	19
2-2 损耗分布和能量平衡	22
2-3 单相串激电动机的特性	25
第三章 单相串激电动机的转子绕组	28
3-1 直流电机转子绕组的两种基本型式——迭绕组和 波绕组	28
3-2 单相串激电动机实用的单迭绕组	32
3-3 绕组图	36
第四章 换 向	39
4-1 直流电机的电阻换向	40
4-2 延迟换向与超前换向	46
4-3 单相串激电动机的换向	49
4-4 产生换向火花的原因	52

4-5	换向火花等级	57
4-6	改善换向的措施	58
第五章	单相串激电动机的噪声及抑制	66
5-1	噪声的基本概念和量值	67
5-2	单相串激电动机的噪声源及抑制措施	68
第六章	单相串激电动机对无线电电视的干扰及抑制的措施	73
6-1	概述	73
6-2	单相串激电动机产生无线电电视干扰的原理	75
6-3	抑制无线电电视干扰的措施	76

第二篇 设 计 篇

第七章	概 述	79
7-1	单相串激电动机的设计进展	79
7-2	单相串激电动机的设计要求	83
第八章	主要尺寸及电磁参数的选取	85
8-1	主要尺寸及电磁负荷	85
8-2	磁路参数的选取	88
8-3	绕组温升的控制	92
第九章	单相串激电动机的电磁设计程序	94
9-1	校算分析程序、设计综合程序和优化设计程序	95
9-2	单相串激电动机电磁设计程序	97
9-3	计算实例	120
第十章	电子计算机在电磁设计中的应用	147
10-1	电子计算机的发展与功能简介	148
10-2	计算机语言的发展	149

10-3	曲线图表用于计算机时的数学处理	153
10-4	单相串激电动机的程序框图	162

第三篇 制 造 篇

第十一章	单相串激电动机的结构和制造概述	167
11-1	电机结构和主要零部件	167
11-2	定转子绕组绕制	174
第十二章	双重绝缘结构	179
12-1	电气产品防止触电的安全防护	180
12-2	单相串激电动机双重绝缘结构的构成	182
12-3	双重绝缘的介电强度、爬电距离、电气间隙和绝缘 穿通距离的要求	184
第十三章	定转子制造及自动化生产线	186
13-1	定转子冲片制备	187
13-2	定转子的自动化生产	192
第十四章	转子的动平衡原理及动平衡工艺	217
14-1	动平衡的基本原理	218
14-2	平衡质量的量值——不平衡力矩、重心偏移距、平 衡精度	222
14-3	动平衡机及动平衡工艺	227
第十五章	单相串激电动机的绝缘结构和绝缘处理工艺	240
15-1	绝缘结构和温升限值	241
15-2	沉浸绝缘漆工艺	244
15-3	滴浸绝缘漆工艺	248
附表		255
附表 1	本书所用的单位符号与名称对照	255

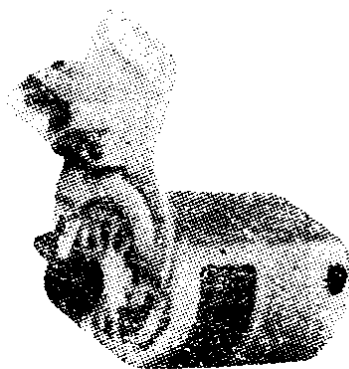
附表 2	DT 系列电动工具用单相串激电动机技术数据	256
附表 3	DT2 系列电动工具用单相串激电动机技术数据	258
附表 4	U 系列串激电动机技术数据	259
附表 5	G 系列单相串激电动机技术数据	260

绪 论

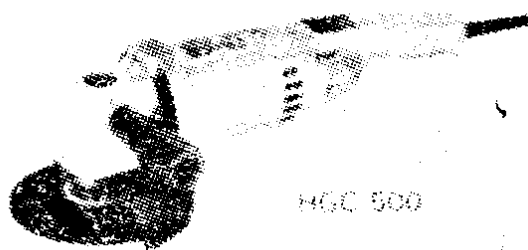
1200W 以下的单相串激电动机主要用于吸尘器、电吹风、搅拌器、地板打蜡机、电动缝纫机等家用电器以及电钻、冲击电钻、电磨、电刨、电锤、电锯、电剪刀、电扳手、羊毛剪、电链锯等各种电动工具中。也有制成通用电机型式，作驱动及伺服电机使用。因此使用面很广，遍及家庭、宾馆、车间、工地、牧场和林区，是世界上用量最多的一种电动机，年产量超过一亿台。下列图片是应用串激电动机的一些产品。



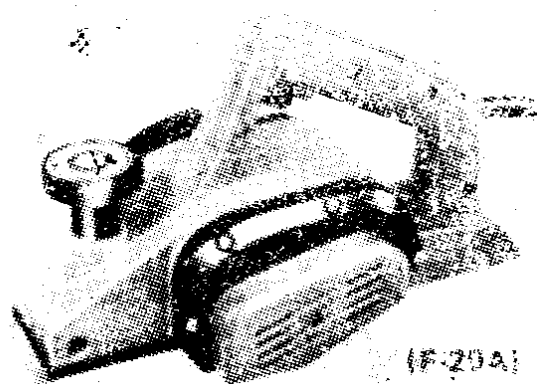
家用吸尘器



缝纫机电机



角向电磨



电刨

这种电机能得到广泛应用的原因，主要在于它具有以下一些优点。

(1) 使用方便 这种电机虽具有直流电机的结构，但能在交流单相电源下使用，因此使用电源方便。改变输入电压大小，可以改变转速，因此调速也很方便。

(2) 转速高、体积小、重量轻 其它交流电机的转速，都与电源频率有关，当电源频率为 50Hz 时，转速不能超过 3000 r/min，但单相串激电机的转速却不受电源频率的限止，大多设计在 4000~20000 r/min 之间。电机转速越高，电机中铁磁材料的用量越小，因此电机的体积重量相应减少。8000 r/min 单相串激电动机的重量只有相同功率的 2800 r/min 单相异步电动机的二分之一。

(3) 启动转矩大、过载能力强 单相串激电动机的启动转矩很大，12000 r/min 电机的启动转矩高达额定转矩的 4~6 倍，而其他单相交流电机大多为 1 倍以下，所以既很适用于电动工具，不易被卡住、制动，有大的过载能力，也适宜于作重负载启动用的伺服电机。

由于使用上的需要，以及电机性能上的特点，对单相串激电动机的设计、制造，也提出了下列要求。

(1) 适用的运行工作点 单相串激电动机具有软的机械特性，转速随负载改变而改变。负载越大转速越低，反之则越高。因此在一个负载数值上就有一个相应的转速值，有一个运行工作点的问题。在设计制造时，就要保证达到规定的工作点要求。选定工作点时，既考虑到转速越高，相同功率下的电机的重量体积越小，但又要考虑高转速必然带来更高的制造要求。所以一般都从使用需要、工艺条件、技术上的可能性、成本与利润的核算等方面，来决定电机的运行工作点。

(2) 防止触电的防护要求 由于串激电机大多用于电动工具和家用电器上,而这些器具又大多是手持操作的,因此对这些器具都有规定的防止触电的防护要求,从而对其电机尤其在绝缘结构上也提出了一系列的安全防护要求。这比在一般设备上使用的电动机严格得多。

(3) 抑制无线电干扰的要求 由于单相串激电动机的使用面广,遍及各个角落,而高转速的单相串激电动机又容易产生高的无线电干扰功率和干扰电压,因此会对电视、通讯、广播产生无线电干扰。目前国内外都对家用电器、电动工具提出抑制无线电干扰的要求。合理的电机设计及加装抑制电容和电感,可以达到抑制无线电干扰的要求。

随着四化建设的发展、人民生活水平的提高,电动工具和家用电器的用量都在大量增加,近年来我国电动工具产量已超过200万台,其中采用单相串激电动机的占94%。家用吸尘器的需求也大幅度上升,具有一条半自动电机生产线的吸尘器厂,已能日产吸尘器的单相串激电动机2000台。提高单相串激电动机的设计制造水平,普及使用维护知识,已引起各方面的兴趣和重视。

第一篇 原 理 篇

第一章 单相串激电动机的运转原理

本章通过对单相串激电动机的运转原理、交直流两用的基本概念、高速运转及软特性和调速电路等方面的叙述,比较全面的阐明单相串激电动机的运转原理。

1-1 运转原理及交直流两用的基本概念

单相串激电动机的结构虽与直流电动机相同,但可交直流两用。在交流电源供电时,产生旋转力矩的原理,仍可用直流电

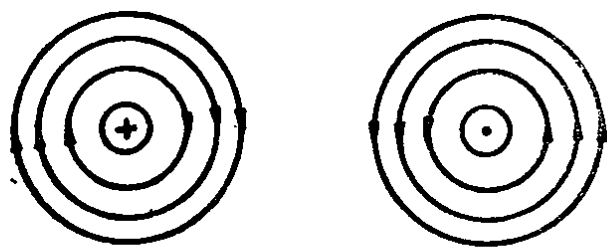


图 1-1 通电导体周围产生的磁力线
⊙表示电流流出纸面,⊕表示电流流入纸面

动机的运转原理来解释,因此本节先介绍直流电动机的运转原理,然后再说明能够交直流两用的基本概念。

当导体中通有电流时,在导体周围产生磁场,其磁力线的方向取决于电流方向,如图 1-1 所示。

如将此通电的导体放入一磁场中,这一磁场与通电导体所产生的磁场相互作用,将使此导体受到一个作用力 F ,并因此而产生运动,导体会从磁力线密的地方向磁力线稀的地方移动。而磁力线的稀密,则由二个磁场的磁力线方向来决定,磁场磁力线的方向是从 N 极走向 S 极,而通电导体产生的磁力线走向如图

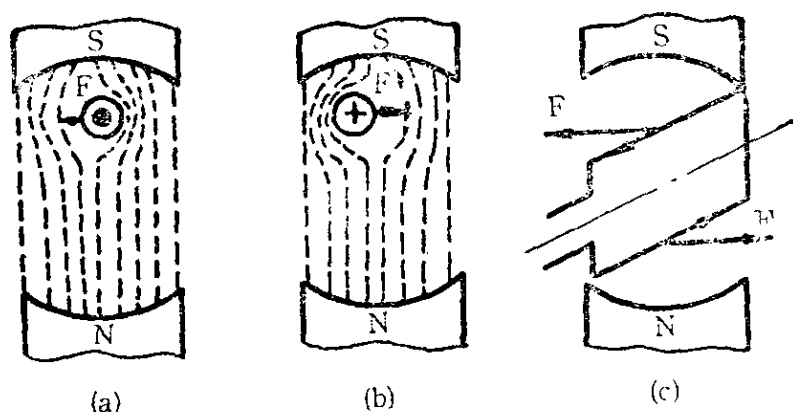


图 1-2 通电导体及线圈在磁场中受力情况

1-1 所示，二个磁场的磁力线方向一致则密，方向相反则稀，如图 1-2(a) 和 1-2(b)。

当将由二个互相相对的导体组成的线圈放入磁场时，线圈的二个边也受到了作用力，此二力方向相反，形成了力矩。如线圈中心线是一根转轴，则就形成绕转轴转动的转矩，如图 1-2(c) 所示。

当线圈在场磁中转动时，相应的二个线圈边，从一个磁极下转到另一磁极下时，此时由于磁场极性有了改变，将使导体受到的作用力的方向改变，也就是转矩的方向改变，从而使线圈向反方向转动，于是线圈只能绕中心轴来回摆动，而不能连续旋转。当线圈中的二个线圈边转到另一磁极下时，如能使线圈中的电流，也改变电流方向，则极性改变，电流也改变方向，结果使转矩方向保持不变，线圈就能连续旋转。

换向器和电刷的作用，就是使线圈从一个极转到另一磁极下时，相应的改变线圈中电流的方向。这也可理解为：在各个磁极下的线圈中的电流，始终保持着各自一定的电流方向。因此，从另一个磁极下转过来的线圈，就要改变线圈中电流的原来的方向。

换向器和电刷所起的这种换向作用，可通过图 1-3(a)、(b)、(c)、(d) 来解释。图中的二个电刷是固定的，实际的电机是固定在机壳上的。通过电刷使外接的电源电流通入到旋转的电枢绕组。线圈的组合称为绕组，在直流电机中，转子绕组被称为电枢绕组。在电刷外圈画成环形的是换向器上的换向片，图中表示以三片换向片组成了换向器，这仅仅是为了分析方便，实际上使用的换向器，换向片要多得多。每个换向片上联接着绕组线圈的线头，就是一个线圈的始端和另一个线圈的末端，图上表示 A、B、C 三个线圈的线头联接情况。换向器与电枢都固定在电机转轴上，是一起转动的。电源电流就是这样通过电刷经换向器上的换向片而流入电枢绕组的。

图 1-3 表示当从电刷通入直流电流时，电枢将以转速 n 顺时针方向转动，(a)、(b)、(c)、(d) 图则表示了在电枢转动过程中

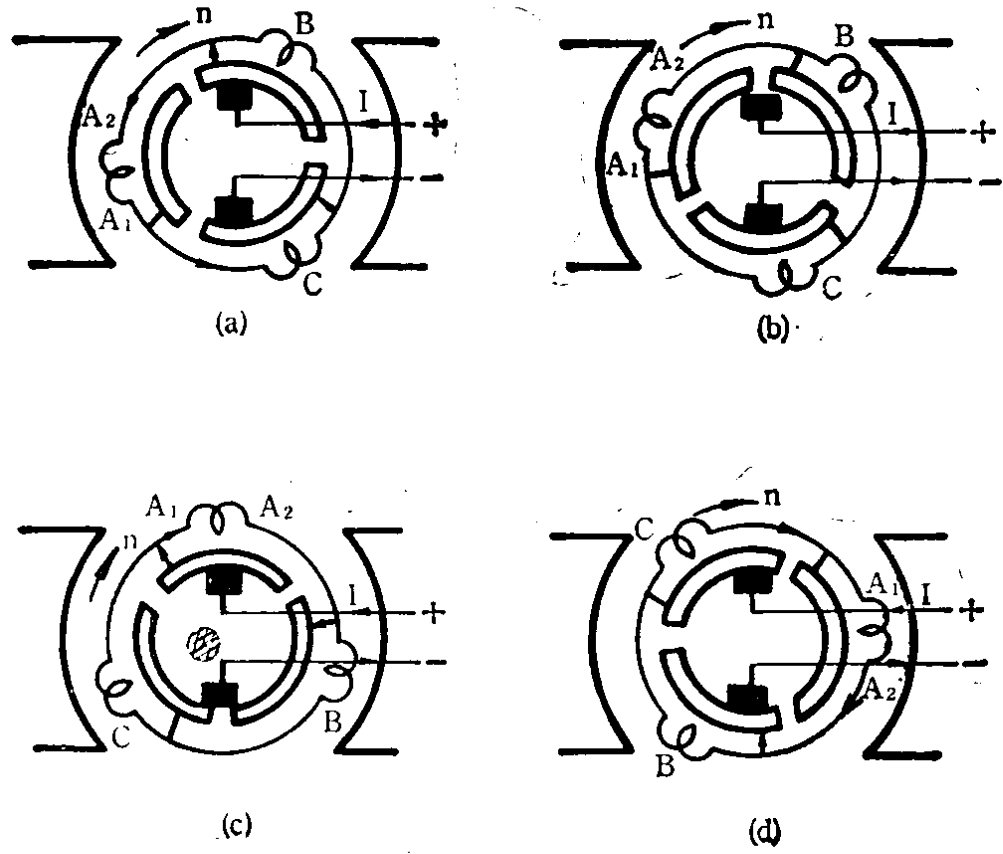


图 1-3 线圈中电流反向过程

的四个不同位置的情况，从而可看到线圈中的电流是如何改变方向的。

现以 A 线圈为分析对象来说明其中电流是如何改变方向的。在(a)图位置时，线圈 A 中的电流是从 A_2 端流向 A_1 端的。(b)图表示电枢转动一个角度后，线圈 A 被正电压端电刷短路。电枢继续转动，当处于图(c)位置时，线圈 A 已处于换向区，可看到线圈 A 中的电流已从 A_2 端流向 A_1 端改变为 A_1 端流向 A_2 端。此时线圈 B 处于短路状态。图(d)表示电枢已从图(a)位置转过了 180° 角度后的情况，此时线圈 A 中的电流方向与图(a)位置时相反。

现已初步说明了换向原理，但实际上换向过程是非常复杂的，尤其是高转速电机，要在极短的时间中，使线圈中的电流改变方向，这必然带来一系列的电磁问题。同时换向器和电刷又是一对摩擦付，所以还有机械上的问题，这都对电机的设计和制造带来了很多特殊要求，在后面的章节中将详加叙述。

以上就是直流电动机的基本运转原理，下面逐步说明单相串激电动机能交直流两用的基本概念。

直流电机的定子磁场除某些小功率电机由永久磁铁(硬磁材料)产生外，大多由缠绕在定子铁芯(软磁材料)上的激磁线圈通入激磁电流后产生的。而单相串激电动机则必须采用激磁方式。激磁的磁极极性决定于电流方向和线圈的缠绕方向，此二者中任一个方向改变，就可改变磁极极性。由于激磁线圈与电枢线圈联接方式的不同，可有并激和串激二种激磁方式如图 1-4。这二种激磁方式的直流电动机，在交流电源供电时，都能产生旋转转矩，因为激磁绕组与电枢绕组都接在同一电源上，当交流电的正负波在交变时，由激磁电流产生的磁场与通入电枢绕组的电流都同时改变极性和方向，由于二者都变，因而绕组线圈所受到

的作用力,仍能保持同一方向,也即转矩方向不变,所以仍能向一个方向持续旋转。

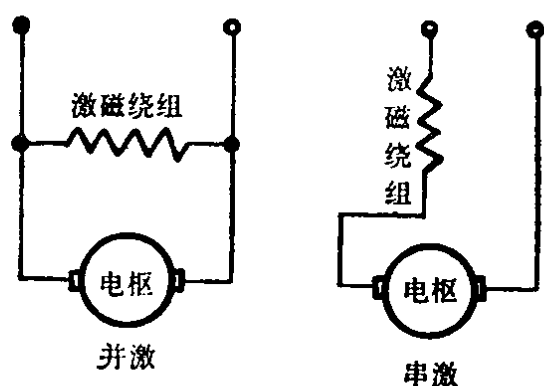


图 1-4 直流电动机的激磁方式

但如进一步考虑到在交流电源供电时电流和磁通的相位关系以及交流阻抗的影响后,串激方式和并激方式所产生的转矩大小是不相同的,串激的大,并激的小,因此实际上,只有串激方式才能在交流电源下使用。其原因详述于下。

转矩 M 的大小,决定于磁通 Φ 与电枢电流 I 的乘积。在交流供电时,要分析实际转矩的大小,还要分析 Φ 与 I 间的相角差大小。

在串激激磁方式时,产生磁通的激磁电流(定子电流)及与枢电流是同一电流,所以不存在这二个电流间有相角差的问题。而激磁电流与磁通之间的相角差本来就很小,在分析问题时可予忽略,因此可以认为,磁通与电枢电流之间也不存在相角差。于是,磁通大时,电枢电流也大,二者乘积也大,磁通在负值时,电枢电流也是负值,二者乘积仍然是正值,此说明其转矩没有改变方向。以上分析结果,正如图 1-5(a)所示, Φ 与 I 的乘积 M 很大。图中假定磁通 Φ 与电流 I 都是正弦波。

在并激激磁方式时,并激绕组与电枢绕组是并联的,都直接接到电源上。由于并激绕组直接接电源,所受的电压高,绕组的圈数必然很多,绕组的电感也就很大,这使激磁电流滞后于电源电压的相角接近 90° 。电枢绕组虽也直接接在电源上,但电枢绕组的圈数不多,因为电机有转矩输出,有旋转电势去平衡电源电压,所以电枢电流滞后电源电压的相角比较小,这样就造成磁通 Φ 与电枢电流 I 之间有了较大的相角差 ψ , 如图 1-5(b)所

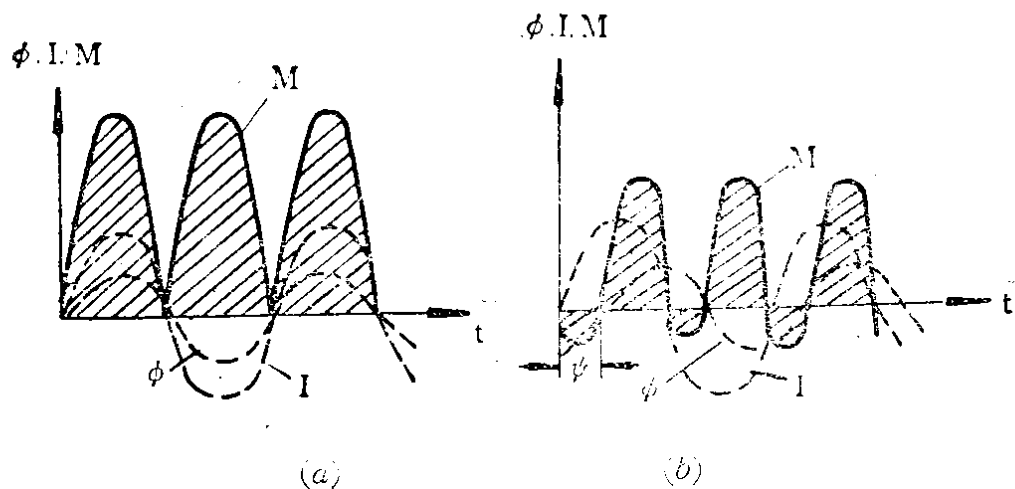


图 1-5 在交流电源供电时,串激电动机及并激电动机的电枢电流 I ,磁通 Φ 和转矩 M 的曲线

示。当磁通 Φ 在最大值时, 电流 I 却接近为零, 因此二者的乘积仍然很小, 甚至在每一周期中, 会有一小段时间, Φ 与 I 的方向相反, 其乘积是负值, 此说明是反转矩。总之, 在并激激磁方式下, 在交流电源供电时, 电机产生的转矩很小。

通过上述的分析介绍, 可看到单相串激电动机实际上是按直流电动机的原理运行的, 由于采用了串激方式, 因此能在交流电源下使用。实际上, 单相串激电动机主要也是使用于交流电源的。因此单相串激电动机的定子都采用叠片结构, 而不是整块的软铁, 以减少涡流损耗。又考虑电机的功率都不大, 但要求结构简单, 因此都只用一对磁极, 并且不装帮助换向的换向极, 电枢绕组采用最简便的叠绕组, 电刷只用一对, 放在与磁极中心表成 90° 的几何中心线上。

1-2 高速运转原理及软特性

一般的交流电动机, 如三相或单相异步电动机、同步电动机, 都是按照交流电动机的旋转磁场理论来运行的, 电动机的转速就是旋转磁场的转速, 又称同步转速, 异步电动机因有转差,

电机实际转速略低于同步转速。同步转速由下式决定:

$$n = \frac{60f}{p} \text{ (r/min)}$$

式中 f ——电源频率(Hz)

p ——极对数

可见这类电机转速决定于电源频率 f , 当 f 为 50 Hz 时, 最高转速为 3000 r/min, 此时极对数 p 为 1。

单相串激电动机, 虽也在交流电源下运行, 但如前所述, 是按直流电机原理运行的, 其转速与电源频率无关, 可直接按电磁

感应定律推导出转速公式。

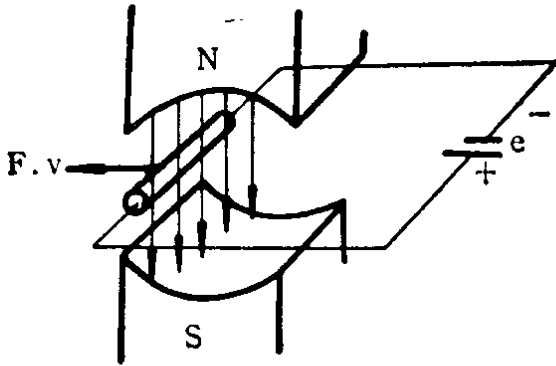


图 1-6 通电导体在磁场中

按电磁感应定律, 当长度为 l 的单根导体, 放在磁密为 B 的磁场中, 接上电势为 e 的电源后, 将使导体受到作用力 F 而以速度 v 运动, 如图1-6所示, 并符合以下关系式:

$$e = Blv$$

作为一台直流电动机的电枢转子, 则具有 N 根导体, 而不是单根导体, 而且接成 a 对并联支路, 而加上的电势则为 E (称为旋转电势), 因而可从上式转化成以下的通用式:

$$E = Bl \cdot \frac{N}{2a} \cdot v$$

如以旋转转速来表示速度, 因

$$v = \frac{\pi D n}{60}$$

其中 D ——转子外径

n ——转速(r/min)

代入上式后, 则得:

$$E = Bl \cdot \frac{N}{2a} \cdot \frac{\pi D n}{60}$$

再以 $2p\tau = \pi D$ 代入上式, 则得:

$$E = Bl \cdot \frac{N}{2a} \cdot \frac{2p\tau n}{60}$$

其中 p ——极对数

τ ——极弧长度

在交流电源供电的单相串激电机中, 并联支路对数 a 为 1, 极对数 p 为 1, 电势要以交流有效值表示, 再用磁通 ϕ 代入(因 $\phi = \tau l B$), 则上式就转化为单相串激电动机适用的关系式。

$$\sqrt{2} E = \frac{\phi N n 10^8}{60} \quad (1-1)$$

其中 E ——电枢电势有效值(V)

ϕ ——磁通(Wb)

N ——电枢导体数

上式为设计单相串激电动机的主要计算公式。由此即得转速 n 为:

$$n = \frac{60 \sqrt{2} E 10^{-8}}{\phi N} \quad (1-2)$$

分析上式可知, 转速与频率没有关系。改变电势 E , 可改变转速, 但在没有配装调速电路的情况下, 电势 E 已由电源电压决定, 难以改变。如要提高运转转速以缩小电机的重量体积, 则可在设计时减少磁通 ϕ 和导体数 N , 但应注意, 转速过高, 将使电机的噪声、振动剧增, 换向恶化, 电刷和换向器的磨损增大, 因此转速的提高, 受到一定的限止。目前单相串激电动机的额定负载转速一般不超过 18000 r/min, 在家用吸尘器中, 有的需要更高些。在电动工具中的单相串激电动机, 额定负载转速一般在