

单相串激电动机

· 原理及在家用电器上的应用 ·

徐文宪 编著

华南理工大学出版社

内 容 提 要

本书系统地叙述了单相串激电动机的基本原理、结构、绕组及其计算、运行特性及维修方法。此外，本书还详尽地介绍了单相串激电动机在家用电器中的应用，并在附录中提供了有关参考资料和技术数据，供读者选用。

本书通俗易懂、深入浅出、图文并茂、理论密切联系实际，可供电气技术工作者和广大家用电器爱好者阅读，也可供有关学校师生参考，或选作培训教材。

单 相 串 激 电 动 机

• 原理及在家用电器上的应用 •

徐文宪 编著

责任编辑 林素华

•
华南理工大学出版社出版发行

(广州 五山)

各地新华书店经销

华南理工大学印刷厂印装

•
开本 787×1092 1/32 印张 6.5 字数 145 千

1990 年 2 月第 1 版 1990 年 2 月第 1 次印刷

印数 1—5 000

ISBN 7—5623—0126—3/TM·1

定价：2.90 元

目 录

第一章 单相串激电动机的基本原理…………… (1)

第一节 常用的基本电磁定律…………… (1)

一、右手螺旋定则…………… (1)

二、右手定则(发电机定则)…………… (2)

三、左手定则(电动机定则)…………… (3)

第二节 直流串激电动机…………… (5)

一、直流电动机的工作原理和分类…………… (5)

二、直流串激电动机的主要性能…………… (8)

第三节 单相串激电动机的原理与结构…………… (11)

一、单相串激电动机的工作原理…………… (11)

二、单相串激电动机的结构…………… (13)

第四节 单相串激电动机的容量等级和额定值 …………… (16)

一、容量等级…………… (16)

二、额定值…………… (17)

第二章 单相串激电动机的绕组及其计算…………… (19)

第一节 单相串激电动机绕组的基本知识…………… (19)

一、单相串激电动机常用的电枢绕组型式…………… (19)

二、单相串激电动机绕组的常用术语…………… (20)

第二节 单叠绕组…………… (23)

第三节 单相串激电动机绕组的重绕计算…………… (33)

一、重绕计算方法之一…………… (34)

二、重绕计算方法之二	(44)
三、改变电压时的重绕计算	(46)

第三章 单相串激电动机的运行

第一节 单相串激电动机的运行条件和性能

一、单相串激电动机的运行条件	(50)
二、单相串激电动机的主要性能	(51)

第二节 单相串激电动机的电磁转矩和电势

一、单相串激电动机的电磁转矩	(57)
二、单相串激电动机的电势和电势方程式	(60)

第三节 单相串激电动机的运行特性

一、单相串激电动机的速度特性曲线	(63)
二、单相串激电动机的转矩特性曲线	(64)
三、单相串激电动机的机械特性曲线	(65)

第四节 单相串激电动机的调速和反转

一、单相串激电动机的调速	(66)
二、单相串激电动机的反转	(69)

第五节 单相串激电动机的电枢反应和换向

一、单相串激电动机的电枢反应	(70)
二、单相串激电动机的换向	(75)

第六节 单相串激电动机的噪音及无线电干扰

一、单相串激电动机的噪音	(85)
二、单相串激电动机的无线电干扰及抑制干扰的措施	(89)

第四章 单相串激电动机在家用电器中的应用

第一节 手电钻

一、概述	(91)
------------	--------

二、单相串激式手电钻的基本结构·····	(94)
三、单相串激式手电钻的性能·····	(98)
四、单相串激式手电钻的常见故障及其排除方法·····	(103)
第二节 电动吸尘器·····	(110)
一、概述·····	(110)
二、电动吸尘器的基本结构·····	(111)
三、电动吸尘器的性能·····	(115)
四、电动吸尘器的类型与特点·····	(121)
五、电动吸尘器的选购与使用方法·····	(126)
六、电动吸尘器的常见故障及排除方法·····	(127)
第三节 电吹风·····	(129)
一、概述·····	(129)
二、电吹风的基本结构·····	(131)
三、电吹风的性能·····	(134)
四、电吹风的常见故障及排除方法·····	(136)
第四节 其它几种以单相串激电动机为动力的家用 用电器·····	(141)
一、电动按摩器·····	(141)
二、电动搅拌器·····	(146)
三、电动缝纫机·····	(157)
第五章 单相串激电动机的修理·····	(160)
第一节 一般故障的原因及排除方法·····	(160)
第二节 转子绕组的检修及重绕·····	(163)
一、转子绕组故障的检查方法·····	(163)
二、转子绕组的检修·····	(167)
三、转子绕组的重绕·····	(168)
第三节 定子绕组的检修及重绕·····	(179)
一、定子绕组的检修·····	(179)

二、定子绕组的重绕.....	(181)
第四节 换向器与电刷的维修.....	(183)
一、换向器的检修.....	(183)
二、电刷的维修.....	(186)
附录 I G 型单相串激电动机技术数据.....	(189)
附录 II G 系列单相串激电动机技术数据	(190)
附录 III U 型单相串激电动机技术数据.....	(192)
附录 IV SU 型交直流两用串激电动机技术数据	(193)
附录 V 常用电磁线的牌号及数据.....	(194)
参考书目	(196)

第一章 单相串激电动机的基本原理

第一节 常用的基本电磁定律

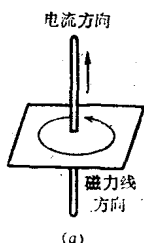
我们知道，电机是完成机—电能量转换的一种机械。发电机把机械能转换成电能，电动机把电能转换成机械能。它们的工作原理都是建立在电和磁相互的作用和相互转换的基础上，因此，掌握基本电磁规律是研究电机的基础。下面简要地叙述这些规律。

一、右手螺旋定则

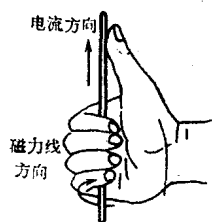
导线中有电流通过时，其周围就会产生磁场。若改变导线中电流的方向和大小，其磁场的方向和强弱也随之而改变。电流方向与磁场的方向可用右手螺旋定则来判断。

当电流通过单根直导体时，如图 1-1(a) 所示，它产生的磁场方向可以

这样来确定：用右手握住导体，大拇指表示电流的方向，则其余四指即表示磁力线的方向，如图



(a)



(b)

1-1(b) 所示。

图 1-1 直导体电流磁场

当电流通过螺管式线圈时，如图 1-2(a) 所示，它产生

的磁场方向可以这样来确定：用右手握住线圈，四指表示电流方向，则大拇指表示螺线管内磁力线的方向，大拇指所指的线圈端即为磁场的北极（ N ），另一端为南极（ S ），如图1-2(b)所示。

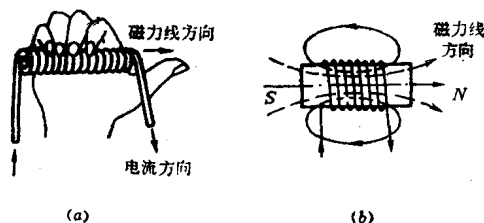


图 1-2 线圈电流磁场

为了清楚和方便起见，常采用截面图来表示电流和磁场的方向，如图1-3所示。导体中的电流垂直进入纸面，用符号 $\otimes$ 表示，电流离开纸面，用符号 $\odot$ 表示。

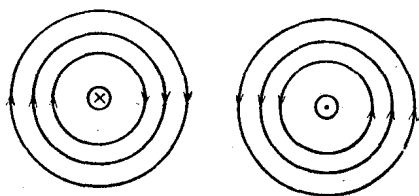


图 1-3 用截面法表示导线电流方向和磁场方向

导体周围的同心圆则表示磁力线，箭头代表磁力线的方向。

二、右手定则（发电机定则）

如图1-4所示，我们以外力 F 推动某一导体以速度 v 在磁场中运动而切割磁力线时，则在该导体中感应出电势。其大小为

$$e = Blv \quad (1-1)$$

式中 e ——感应电势 V ;

B ——磁通密度, 单位面积通过的磁通 Wb/m^2 (韦伯/米², 以下同);

l ——导体的有效长度, 即导体切割磁力线部分的长度 m ;

v ——导体在垂直于磁力线方向的速度 m/S 。

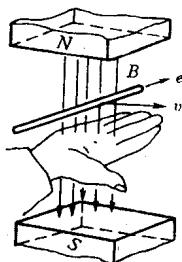


图 1-4 右手定则

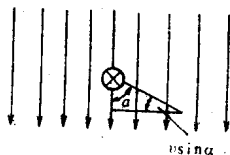


图 1-5 导线与磁力线成 α 角运动

感应电势 e 的计算公式(1-1)仅适用磁力线、电势和导体运动方向三者相互垂直的情况。如果导体运动方向与磁力线方向的夹角 α 为任意角度(如图1-5所示)时, 则

$$e = Blv \sin \alpha \quad (1-2)$$

感应电势 e 的方向, 通常形象地用右手定则来确定, 如图1-4中将右手掌伸开, 大拇指与其它四指垂直, 使磁力线指向手掌, 如大拇指指向导体的运动方向, 则其它四指指向导体中感应电势方向。

此时, 如果将导体接成闭合电路, 就会产生电流, 发生电功率。一般发电机就是根据这个原理制成的。

三、左手定则(电动机定则)

如图1-6所示, 将通入电流的导体置于磁场中, 就会产

生电磁力 F_{em} 推动导体运动，其大小为

$$F_{em} = BIl \quad (1-3)$$

式中 B ——磁场的磁通密度 Wb/m^2 ;

l ——导体的有效长度 m ;

I ——导体中的电流 A ;

F_{em} ——导体所受的电磁力 N (牛顿，以下同)。

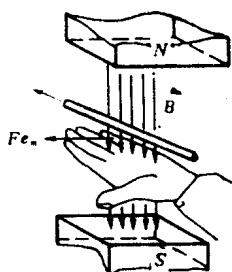


图 1-6 左手定则

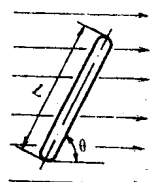


图 1-7 与磁场成 θ 角的
载流导线的运动

公式 (1-3) 仅适用于电流方向、磁力线方向和导体所受力的方向三者相互垂直的情况。如果载流导体与磁场的磁力线间的夹角为 θ 时，如图 1-7 所示，则

$$F_{em} = BIl \sin \theta \quad (1-4)$$

电磁力 F_{em} 的方向，通常形象地用左手定则来确定。如图 1-6，将左手掌伸开，大拇指与其它四指垂直，使磁力线指向手掌，令其他四指指向导体中电流的方向，则大拇指指向就是导体所受电磁力的方向。

电动机就是根据这个原理制成的。

第二节 直流串激电动机

本书是专门研究交流单相串激电动机的，但一般情况下同一台串激电动机既可在直流电源下工作，也可在交流电源下工作。而且直流串激电动机的工作情况分析起来比较简单，易于接受，是学习单相串激电动机的基础。因此我们先对直流串激电动机的基本工作原理及主要特性予以简要的介绍。

一、直流电动机的工作原理和分类

直流电动机的工作原理见图1-8所示，图中 N （北极）和 S （南极）是一对固定不动的磁极，用以产生所需要的主磁场。在 N 极和 S 极之间，有一个能转动的圆柱形铁心（称为电枢铁心）。电枢铁心与主磁极之间的间隙称为空气隙。图中两根导体 ab 和 cd 连接成为一匝线圈，并绕制在电枢铁心表面，这就是单匝线圈组成的电枢绕组。线圈的首、末端分别和两个圆弧形的铜片（称为换向片）相接，换向片固定于转轴上并和轴一起旋转，换向片之间以及换向片与转轴之间都是相互绝缘的。这种由换向片构成的整体称为换向器。整个转动部分称为电枢。为了使电枢绕组与外电路接通，换向片上压着在空间固定不动的电刷 A 和 B ，电刷和换向片之间可以相对滑动。

如果将电刷 A 、 B 两端接在直流电源上，如图1-8(a)所示，电流从直流电源的正极流出，经电刷 A 、换向片1、 N 极范围内的导体 ab ，再经过 S 极范围内的导体 cd ，到换向片2和电刷 B ，最后回到电源的负极。根据电磁力定律，

载流导体在磁场中会受到电磁力的作用，其方向可由左手定则决定。导体 ab 中的电流方向由 a 至 b ，所受电磁力方向向左；导体 cd 中的电流方向由 c 至 d ，所受电磁力方向向右。这样便产生了一个转矩（称为电磁转矩），使电枢逆时针方向旋转起来。

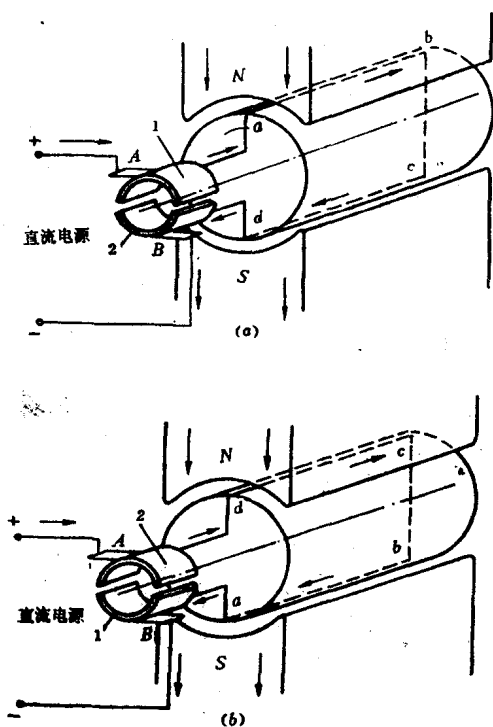


图 1-8 直流电动机的工作原理图

当电枢转过 180° 后，如图1-8(b)所示，此时导体 ab 进入 S 极范围， cd 进入 N 极范围内，与 a 端相连的换向片1与刷 B 相接触，与 d 端相连的换向片2与刷 A 相接触。

这时电流虽仍从刷 A 流入，刷 B 流出。但导体 ab 中的电流已改变方向，由 b 至 a ，所受电磁力的方向向右；导体 cd 中的电流也改变方向，由 d 至 c ，所受电磁力的方向向左。因此由电磁力产生的电磁转矩方向不变，使电枢仍按逆时针方向旋转下去，从而带动机械负载工作。

综上所述，直流电动机通过电刷和换向器的作用，使电枢导体从一个磁极转入另一个磁极时，导体中电流的方向也同时改变，从而保证了在 N 极范围内导体电流方向始终从刷 A 流入，在 S 极范围内导体电流方向始终从刷 B 流出。因此，线圈两个边（上方和下方两个边）的受力方向不变，电机的电磁转矩和旋转方向也不变。所以电机能按一个方向旋转下去。

实际生产的直流电机，电枢绕组由很多个线圈组成，换向片的数目也很多，因此在电枢绕组上产生大而平稳的电磁转矩 M 。 M 是由电枢绕组电流 I_a 和磁极主磁通 ϕ 相互作用而产生的，故

$$M = C_M \phi I_a \quad (1-5)$$

式中 C_M ——与电机结构有关的常数，称转矩常数；

ϕ ——每极磁通 Wb/m^2 ；

I_a ——电枢电流 A ；

M ——电磁转矩 $N \cdot m$ (牛顿·米)。

我们知道，直流电机（电动机和发电机）是按激磁绕组（通以激磁电流产生主磁通）的不同联接方法来分类的，有它激（图 1-9a）、并激（图 1-9b）、串激（图 1-9c）、复激（图 1-9d）。

我们要研究的串激电动机的激磁绕组，是和电枢串联的，称为串激绕组。因此激磁电流就是电枢电流，所以电机

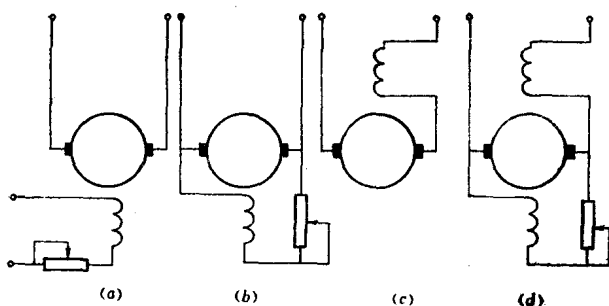


图 1-9 直流电机的励磁方式

中的磁通将随着电枢电流的变化而显著地变化。

二、直流串激电动机的主要性能

直流串激电动机的主要性能有：

1. 电势平衡方程式和反电势

图1-10是串激电动机的电路图，可见其电源电流 I 、电枢电流 I_a 和励磁电流 I_f 都是同一电流，即

$$I = I_a = I_f \quad (1-6)$$

由图1-10可知，外施电源电压

$$U = E + I_a (R_a + R_f) \quad (1-7)$$

式中 E ——电枢绕组反电势 V；

I_a ——电枢电流 A；

R_a ——电枢电阻 Ω ；

R_f ——串励绕组电阻 Ω ；

U ——外施电源电压 V。

我们知道电势是因导体切割磁力线产生的，故电刷间电势的大小，就同发电机的转速 n 和磁极磁通 ϕ 的乘积成正

比，即

$$E = C_E \phi n \quad (1-8)$$

式中 C_E ——与电机结构有关的常数，称为电势常数；

ϕ ——每极磁通 Wb/m^2 ；

n ——电机转速 r/min （转/分）。

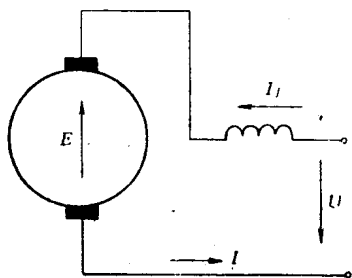


图1-10 串激电动机的电路图

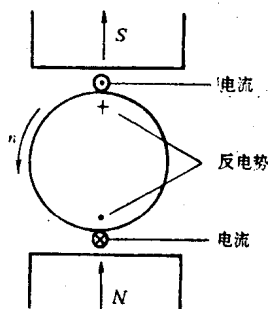


图1-11 串激电动机的反电势

当电机作电动机状态运行时，如图1-11所示，转子上的载流导体与定子磁场相互作用，产生电磁转矩使转子旋转。用左手定则判断此时转子应逆时针旋转。

转子旋转以后，导体将切割定子磁场而产生感应电势，在图1-11的情况下，用右手定则判断 S 极下转子导体的感应电势方向是垂直流入纸面，用 $\otimes$ 来表示； N 极下转子导体的感应电势方向是垂直流出纸面，用 $\odot$ 来表示，由图可见：转子导体通入电流与转子导体切割定子磁场而产生的感应电势，两者方向正好相反，感应电势有阻止电流流入电枢绕组的作用，称为反电势。

2. 直流串激电动机的转速

将式(1-8)代入式(1-7)中可得

$$U = C_E \Phi n + I_a (R_a + R_f) \quad (1-9)$$

或表示为

$$n = \frac{U - I_a (R_a + R_f)}{C_E \Phi} \quad (1-10)$$

式中，电源电压 U 、定子每极主磁通 Φ 、电枢绕组电阻 R_a 、励磁绕组电阻 R_f 等在一般情况下是基本不变的物理量。由电机学可知，电势常数 C_E 与结构有关，其值为：

$$C_E = \frac{PN}{60a} \quad (1-11)$$

式中 P ——极对数；

a ——电枢绕组并联支路对数；

N ——电枢绕组的总导体数。

从式 (1-11) 和式 (1-10) 可以看出，在设计时，如果转子电枢绕组导体数 N 取得大， C_E 值也大，电动机转速就低。反之，如 N 取得小， C_E 值也小，电动机转速就高。所以，串激电动机的转速是由转子电枢导体数决定的。

我们知道：异步电动机的转速不可能大于 3000r/min，但对于串激电动机，却可以用减少转子导体的方法，使它的转速高于 3000r/min，甚至可达 10000r/min 以上。这是它性能上的可贵之处，从而使它能在电动工具中得到广泛的应用。

3. 直流串激电动机的机械特性

直流电动机转速与转矩的关系曲线 $n = f(M)$ ，称为机械特性曲线，见图 1-12。

当转矩增加时，电枢电流相应增加，电阻压降 $I_a (R_a + R_f)$ 也增加，由式 (1-10) 可推见，转速 n 降低；同时，

在串激电动机的情况下，随着电枢电流的增加，主磁通 Φ 也增加，式（1-10）中的分母变大，导致转速更降低。因此，串激电动机机械特性是随着转矩的增加，电枢电流相应的增加，转速急剧下降，形成如图1-12所示形状的曲线，其特性曲线较软，称为软特性。

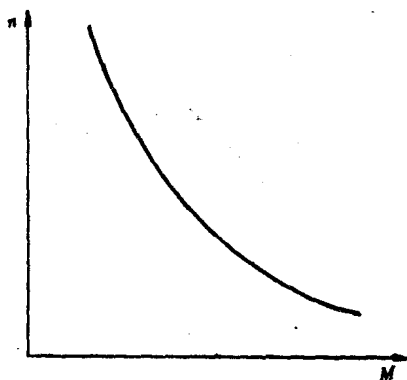


图 1-12 串激电动机的机械特性

第三节 单相串激电动机的原理与结构

一、单相串激电动机的工作原理

交流单相串激电动机工作原理的示意图见图1-13。如

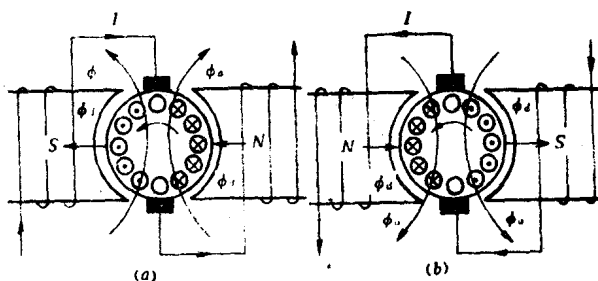


图 1-13 单相串激电动机工作原理示意图