

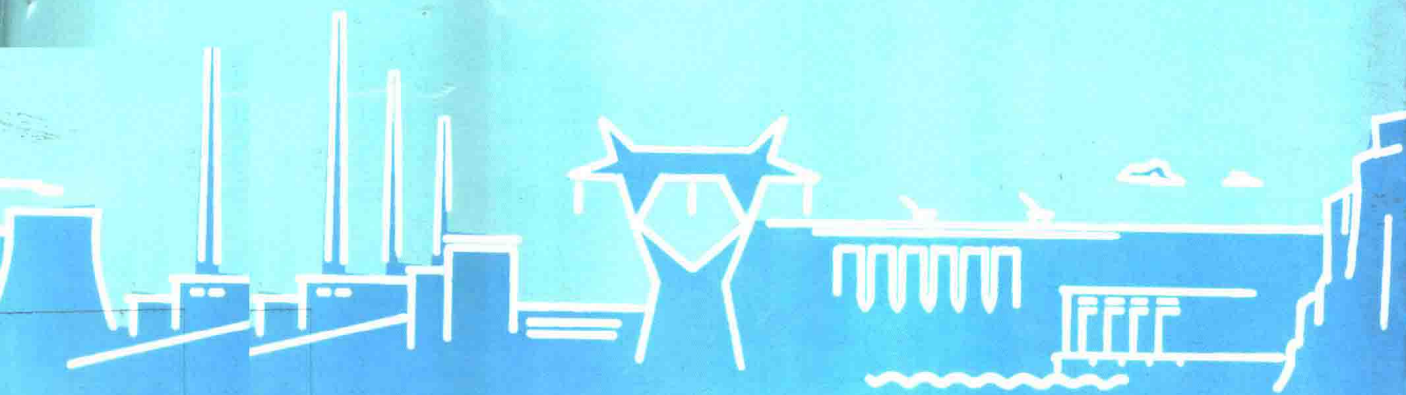


普通高等学校电力工程类专业教学指导委员会推荐使用教材

高等学校教材

控制电机及应用

东北电力学院 李鹏 编



中国电力出版社

普通高等学校电力工程类专业教学指导委员会推荐使用教材

高等学校教材

控制电机及应用

东北电力学院 李鹏 编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书主要介绍自动控制系统中常用的各种控制电机的基本结构、工作原理、工作特性、应用选择和使用方法。全书共分十章,包括交、直流测速发电机、交直流伺服电动机、旋转变压器、自整角机、低速同步电动机和步进电动机。

本书可作为本科自动控制专业和自动化专业及有关专业控制电机及应用课程的教材或教学参考书,也可供从事自动化控制等方面工作的科技人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

控制电机及应用/李鹏主编.-北京:中国电力出版社,
1998

高等学校教材

ISBN 7-80125-473-2

I. 控… II. 李… III. 自动控制-电动机-高等学校-
教材 IV. TM32

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 19196 号

中国电力出版社出版

(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)

北京市梨园彩印厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1998 年 5 月第一版 1998 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 10.25 印张 227 千字

印数 0001—2910 册 定价 10.50 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前 言

本书系全国普通高等学校电力工程类专业教学指导委员会评选审定推荐教材，可作为自动控制专业和自动化专业等本科课程教材。本书参考学时数为 40 学时，共分十章，主要内容包括：控制电机的分类和特点、直流测速发电机、直流伺服电动机、小容量变压器、交流伺服电动机、旋转变压器、自整角电机、交流测速发电机、小功率同步电动机和步进电动机。这里应指出，小容量变压器是不属于控制电机范围。鉴于变压器的工作原理是许多控制电机原理的理论基础，对本课的学习极为重要，同时它在自动控制系统中得到广泛的应用，而且在实际工作中又经常使用，故也列为本教材的内容。

为了便于理解和学习，本书是按照由浅入深、循序渐进的原则安排章节的，教材不是按控制电机的性质进行分类，而是把电磁关系比较接近的放在一起；二、三章是分析具有恒定磁场的直流机，四至九章是分析具有脉振磁场和旋转磁场的交流机，最后第十章是分析具有脉冲信号或连续频率的步进电动机。

本书着重分析各种控制电机的结构特点、工作原理、电磁关系和工作特性，对于工作原理和电磁关系力求讲清物理本质，不作更深入严格的分析，同时侧重介绍了各种控制电机的选择范围、应用实例，以及使用方法和注意事项，力求达到理论与实践相结合，为学生在实际工作中能灵活应用、合理选择、正确使用打下良好基础。

本书由东北电力学院李鹏编写，全书由武汉水利电力大学陆汝常教授主审。编审者均依据电力工程类专业教学指导委员会教材审定的编写大纲进行编写和审阅。在编写过程中特别得到电力工程类教学指导委员会电机学教学组全体委员的大力支持和帮助，对本书提出了许多宝贵意见，对此谨向他们表示诚挚的感谢。

编 者

1997 年 6 月

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 控制电机在自动控制系统中的应用	1
第二节 控制电机的分类和特点	2
第三节 学习目的和学习要求	3
第二章 直流测速发电机	4
第一节 直流测速发电机的结构和工作原理	4
第二节 直流测速发电机电动势和电枢反应	6
第三节 直流测速发电机的输出特性	8
第四节 直流测速发电机的性能指标	11
第五节 直流测速发电机的应用选择和使用	12
本章小结	13
习题与思考题	14
第三章 直流伺服电动机	15
第一节 概述	15
第二节 直流伺服电动机的结构和工作原理	15
第三节 直流伺服电动机的反电动势和电磁转矩	17
第四节 直流伺服电动机的机械特性和控制特性	22
第五节 直流伺服电动机的过渡过程	26
第六节 直流伺服电动机的性能指标	33
第七节 直流伺服电动机的应用选择和使用	34
本章小结	37
习题与思考题	38
第四章 小容量变压器	40
第一节 概述	40
第二节 变压器的结构和工作原理	40
第三节 变压器空载时的情况	42
第四节 变压器负载时的情况	45
第五节 变压器的技术数据和额定值	50
第六节 变压器的应用选择和使用	51
本章小结	52
习题与思考题	53
第五章 交流伺服电动机	55
第一节 概述	55

第二节	交流伺服电动机的结构和工作原理	55
第三节	两相交流绕组产生的旋转磁场	58
第四节	交流伺服电动机的运行	62
第五节	交流伺服电动机的椭圆形磁场下的运行	70
第六节	幅值控制的特性	76
第七节	交流伺服电动机的性能指标	78
第八节	交流伺服电动机应用选择和使用	79
本章小结		83
习题与思考题		84
第六章	旋转变压器	86
第一节	概述	86
第二节	正余弦旋转变压器的结构和工作原理	86
第三节	线性旋转变压器	93
第四节	旋转变压器的性能指标	95
第五节	旋转变压器的应用选择和使用	96
本章小结		98
习题与思考题		98
第七章	自整角电机	100
第一节	概述	100
第二节	自整角机的结构	101
第三节	控制式自整角机的工作原理	102
第四节	力矩式自整角机的工作原理	107
第五节	自整角机的性能指标	111
第六节	自整角机的应用选择和使用	113
本章小结		114
习题与思考题		115
第八章	交流异步测速发电机	116
第一节	概述	116
第二节	交流异步测速发电机的结构和工作原理	116
第三节	交流异步测速发电机的性能指标	120
第四节	交流异步测速发电机的应用选择和使用	122
本章小结		124
习题与思考题		124
第九章	微型同步电动机	125
第一节	概述	125
第二节	单相绕组产生旋转磁场	125
第三节	永磁式微型同步电动机	127
第四节	反应式微型同步电动机	128
第五节	磁滞同步电动机	130
第六节	电磁式低速同步电动机	132

第七节 小功率同步电动机的性能指标	136
第八节 小功率同步电动机的应用选择和使用	136
本章小结	138
习题与思考题	138
第十章 步进电动机	140
第一节 概述	140
第二节 反应式步进电动机的结构及工作原理	140
第三节 反应式步进电动机的特性	146
第四节 步进电动机的性能指标	149
第五节 步进电动机的应用选择和使用	149
本章小结	152
习题与思考题	153
《控制电机及应用》习题答案	154
附录 微型控制电机产品名称及代号	155
主要参考文献	156

第一章 绪 论

本章介绍控制电机在现代工业自动化系统、现代科学技术的作用，同时还介绍在控制系统中常用的控制电机的种类、特点和应用范围以及介绍学习控制电机的目的和要求。

第一节 控制电机在自动控制系统中的应用

随着现代科学技术的发展，控制电机已经成为现代工业自动化系统、现代技术和现代军事装备中必不可少的重要元件。控制电机是在普通旋转电机的基础上产生的多种具有特殊性能的小功率电机，它们在自动控制系统和计算装置中分别作为执行元件、检测元件和解算元件，这类电机统称为控制电机。从电磁感应原理来讲，控制电机和普通电机并没有本质的差别，但普通电机着重于对运行状态和起动能力指标的要求，而控制电机则侧重于特性的快速响应和高精度的要求。

控制电机应用在自动控制系统中是一个很重要的元件，它的使用范围也非常广泛。例如雷达的自动定位、飞机的自动驾驶、舰船方向舵的自动操纵、发电厂的阀门和断路器的遥控、机床加工过程的自动控制，以及电子计算机、自动记录仪表、医疗设备、录像、录音、摄影等方面的自动控制系统。下面仅以电厂阀门的遥控的随动检测系统以及简要介绍一些控制电机在自动控制系统中的基本应用。

为了准确的控制汽轮机给汽阀门，在现场中采用控制自整角机和伺服机所构成随动系统，如图 1-1 所示，当控制室发出指令驱动步进电动机带动自整角发送机转过一个 α 角，自整角变压器与发送机之间出现相应的 α 角差，此角差使自整角变压器的输出绕组产生相应的输出电压，经比较和功率放大器放大后，作为控制电压加到伺服电动机的控制绕组中，从而使电动机转动。此时伺服电动机既带动阀门偏转又带动自整角变压器的转子，自整角变压器的转子转动后，它与发送机之间的角差逐渐减小，输出电压也随之变小，直到自整角

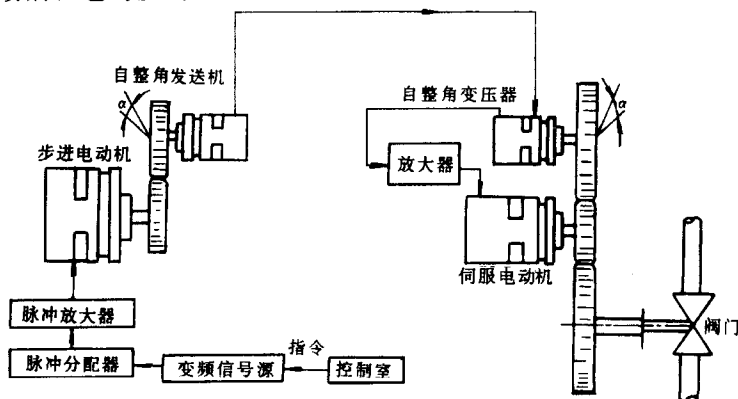


图 1-1 控制室和阀门转轴遥控随动系统装置图

变压器转子转过 α 角后,自整角变压器与发送机又处于新的协调位置。此时角差 α 为零,相应的输出电压也为零,伺服电动机则因控制电压为零而停转。这时阀门也随之转过了指令的角度,起到了阀门开启调节作用,从而实现了远距离遥控。

上述例子可以看到,自整角发送机和自整角变压器组成了检测装置,它是将发送机转动的角度位置变换成电压信号,这种检测角位移并使之变换成电压信号的元件,又称为传感元件。伺服电动机和交流放大器组成了执行机构,它仅在控制电压信号加入时才能旋转,当控制电压为零时,电动机立即停转,伺服电动机在系统中作为执行元件。

第二节 控制电机的分类和特点

一、控制电机的分类

控制电机主要分为两大类,凡是用来转换信号的都为信号元件,凡是把信号转换成输出功率或把电能转换为机械能的都为功率元件。下面简要介绍一些常用的控制电机的分类及用途。

(一) 信号元件

作信号元件用的有:

1. 直流和交流测速发电机

测速发电机的输出电压与转速成正比,在系统中用来检测转速,也可以作为微分、积分的计算元件。

2. 旋转变压器

普通的旋转变压器都制成一对极,其输出电压是转子转角度的正弦、余弦函数,称为正、余弦旋转变压器,主要用作三角运算,坐标变换。

3. 自整角机

一般是成对使用或两个以上的元件对接使用,控制式自整角机属于信号元件,力矩式自整角机属于功率元件。用作信号元件的输出电压是转子角度的正弦函数。用作功率元件的输出转矩也近似为转子角度的正弦函数。

(二) 功率元件

作功率元件用的有:

1. 直流和交流伺服电动机

伺服电动机是受输入电信号控制,并作快速响应的电动机。一般在实际使用时经常在减速装置后带动负载,在自动控制系统中主要作为执行元件。

2. 步进电动机

步进电动机又称为脉冲电机,由专用驱动电源供给电脉冲。它的角位移或步距角与所提供电脉冲数成正比,其转速与每秒的电脉冲频率成正比。通常用在开环系统中作为执行元件。

3. 低速同步电动机

在系统中通常作为直接驱动负载的执行元件,它的转速可达每分钟几转到数十转的特

殊的低速微型同步电动机，其特点是转动惯量小，启动和停车迅速。

二、控制电机的主要特点

普通电动机都作为动力来使用，其主要功能是进行能量转换，关键是如何提高能量转换的效率，但是控制电机在自动控制系统中确担负着某些特定的任务，一般是进行控制信号的转换和传送，而能量转换是极其次要的，因此这种电机的效率通常在55%以下。根据使用要求和完成任务的特点，它们具有快速响应、高可靠性和高精度等特点。

第三节 学习目的和学习要求

控制电机及应用这门课程，对自动控制专业、工业电子自动化专业、生产过程自动化等专业是一门重要的专业课。由于小功率控制电机是自动控制系统、自动控制伺服遥控系统以及电子计算机、自动记录仪表和大型绘图机中主要用作信号传递和执行元件，这就提出如何保证它们在系统中正常、稳定、可靠地运行。这正是本课要解决的问题。

控制电机是一门理论性和实践性都很强的课程，由于各种控制电机的原理都是建立在基本的电磁规律基础上，因而它们之间不是孤立的，电机之间在电磁关系上有很多相同之处，但它们各自具有不同的特性。因此在学习时，具体分析一种电机时，首先要掌握物理本质，搞清最基本原理，然后根据电磁基本定律，分析它的各种性能。

在控制电机及应用这门课程中，着重阐明分析了直流伺服电动机、小容量变压器和交流伺服电动机这三种在电磁理论上是最有代表性的、最基本的电磁关系和最典型的电机，详细介绍和分析其中的电磁关系和它们的基本原理及特性。通过对这三种类型电机的解剖和分析，对控制电机中普遍存在的电磁规律及其分析方法有所掌握和了解。在了解典型电机的基本原理、特性的同时，还要对各种电机的基本结构应有充分认识，不了解电机的具体结构，不但在使用时会遇到困难，也会影响对电机理论的深入掌握。对于学习自动控制专业的学生来说，在今后的工作中还要遇到选择和使用控制电机的问题，因此通过本门课的学习还应了解如何选择和使用控制电机。

第二章 直流测速发电机

本章主要介绍直流测速发电机的结构、基本工作原理及输出特性。从基本结构来讲，直流测速发电机种类很多，本章主要阐述永磁式和电磁式测速发电机的结构，同时还介绍测速发电机电枢铁心、电枢绕组和换向器等结构。

本章主要掌握直流测速发电机的结构、基本工作原理和输出特性及使用方法。

第一节 直流测速发电机的结构和工作原理

一、直流测速发电机的结构

直流测速发电机的结构形式主要是由四部分：定子、转子（电枢）、电刷和换向器组成，下面分别介绍它们的结构和作用。

1. 定子

定子结构可分为永磁式和电磁式两种。永磁式直流测速发电机是在定子上装置由永磁磁铁做成的磁极，目前我国生产的CY系列直流测速发电机就属这种结构。电磁式直流测速发电机的定子通常是由硅钢片冲制叠装而成，磁极和磁轭整体相连如图2-1所示，在磁极铁心上套有励磁绕组。目前我国生产的CD系列直流测速发电机就属这种结构。

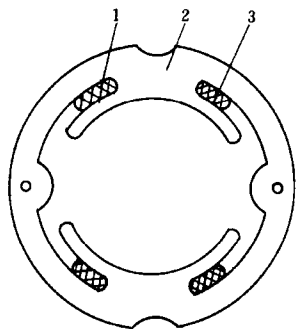


图 2-1 电磁式直流测速发电机定子冲片

1—磁极；2—磁轭；3—励磁线圈

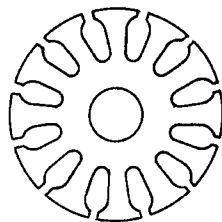


图 2-2 直流测速发电机电枢冲片

2. 电枢

直流发电机的转子通常称为电枢。由电枢铁心、电枢绕组和换向器组成。以上两种发电机的转子（电枢）铁心，均由硅钢片冲制叠压而成，在转子冲片的外圆周上开有均匀分布的齿槽，如图2-2所示。在转子槽中放置电枢绕组，并经换向器电刷引出，如图2-3所示的直流测速发电机的模型图中线圈abcd一根导体（线圈一个边）ab与开口环形铜片的一半换向片a焊接在一起，而另一根导体cd（线圈另一个边）则与另一个换向片b焊接在一起

(换向片组合装成整体称为换向器)。

3. 电刷

电刷 A 与 B 是发电机定子的一部分。它以适当的压力紧紧地压在换向片上(即换向器)。电刷固定不动,当电枢在外力的拖动转动时,每一个电刷都交替地与两个换向片接触。电刷通常是用石墨做成,电机为了减小电刷与换向片的接触电阻,一般采用含有银粉的石墨电刷。

4. 换向器

换向器是改变电流方向的装置,直流发电机绕组感应的电动势实际上是交流,由电刷引出的电流是经过换向器才变成直流电。换向器的作用是把导体交流电变成直流电的装置,所以又称为“换流装置”。

换向器的结构是由若干铜制的换向片组成,图 2-3 只是两个换向片实际由若干换向片组成,换向片与换向片之间用云母薄片绝缘,并用绝缘套筒固定成圆筒状,微型直流机采用酚醛玻璃纤维热压胶固。

以上四个部分组成了一个完整的电机,下面讨论直流测速发电机的工作原理。

二、直流测速发电机的工作原理

为了说明直流测速发电机的工作原理,我们仍用两极发电机的模型来说明,如图 2-3 所示。磁极 N、S 是发电机的定子,可由永久磁铁构成,也可以由绕在磁极上的励磁绕组构成。一个单匝线圈 abcd 在电机磁场中,线圈两端的引线分别接到 a、b 两个换向片上。电刷 A 与 B 紧紧的压在换向片上。当线圈 abcd 在外力的作用下顺时针方向旋转时,线圈的两个圈边 ab 和 cd,在磁场中切割磁力线,根据电磁感应定律,两个圈边将产生感应电动势,导线感应电动势的方向可由右手定则判断,如图 2-3 所示,圈边 ab 处在 N 极下感应电动势的方向是由 a 至向 b,而圈边 cd 处在 S 极下感应电动势的方向是由 c 至向 d,所以线圈感应电动势的方向是由 a 至向 d, d 端为正极,由于 d 端与换向片 b 联接,通过电刷 B 引到外电路为正极; a 端为负极,并与换向片 a 连接,通过电刷 A 与外电路连接为负极,故从外电路来看通过负载的电流由 B 流向 A。

当线圈(通常称元件)旋转 180° ,圈边 ab 由 N 极下转到 S 极下,则导线感应电动势的方向,由 a 至 b 变为由 b 至 a;同理导线 cd 由 S 极下转到 N 极下,感应电动势的方向也由 c 至 d 变为由 d 至 c,因此,线圈感应电动势的方向由 d 至向 a。由于直流发电机电流引出是经过电刷与换向片引出,而且电刷固定在一个磁极下,电刷始终和一个极性下导线的换向片接触,所以由它引出的电动势的极性不变,如电刷 A 固定在 N 极下它所接触的换向片都处在 N 极下导线的电动势即负极位置,反之, B 刷处在 S 极下它所接触换向片都处在 S 极下导线电动势即为正极位置。通过以上的分析可知,电枢绕组(线圈)导线的电动势是交变的,而电刷引出的电动势为单方向电动势,虽然电刷电动势大小有波动,但是由于直流电机电枢上有许多均匀分布的线圈(元件)串联,因此两个电刷间的电动势平均值不变,波动也不大,所以经电刷输出的电流为直流。

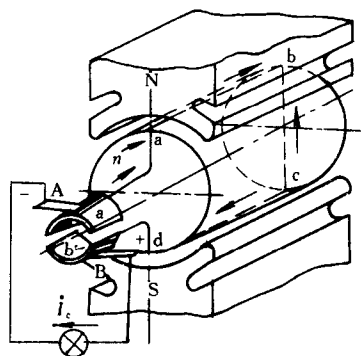


图 2-3 直流测速发电机模型图

第二节 直流测速发电机电动势和电枢反应

一、电枢绕组电动势

图 2-3 中用一个元件(线圈)说明电枢绕组,实际直流电机电枢绕组是由若干个元件和换向片相连接,通过换向片把各元件串联成一个闭合回路。假设一电枢槽数为 12 槽,1 对极的电枢绕组其换向器与元件的连接,如图 2-4 所示。从图中可看出一个元件接在相邻的两个换向片上,每个换向片可连接两个线圈边,可见换向片数和元件数相等。当电刷 A 与 B 对称的放在换向器上,将联成闭合回路的电枢绕组分成两条支路,元件 2 至元件 6 在 N 极磁场的作用下,感应电动势的方向都是由元件的首端指向末端,则支路电动势的方向由元件 2 指向元件 6;元件 8 至元件 12 在 S 极磁场作用下,感应电动势的方向,都是由元件的末端指向首端,则支路电动势的方向由元件 12 指向元件 8。由此可见,两条支路的电动势方向都是由 A 刷指向 B 刷,从外电路来看 B 刷为正极, A 刷为负极,元件 1 被电刷 A 短接,元件 7 被电刷 B 短接,而且使两条支路电动势的大小也是相等的,因为两条支路串联的元件数量相同,位置又相对应,故两个支路对称,如图 2-5 所示。

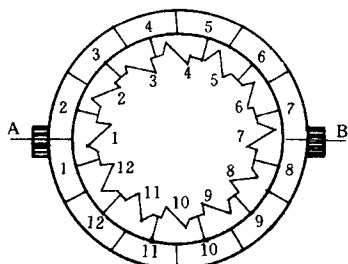


图 2-4 换向器与电枢绕组的连接

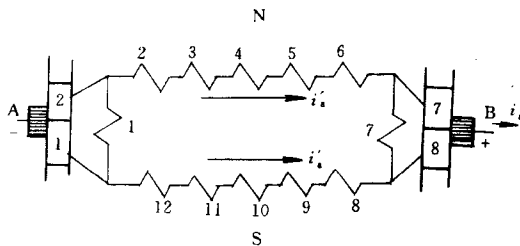


图 2-5 1 对极电枢绕组的电路图

综上所述我们可以总结出直流发电机电枢绕组的特点:每极下的元件形成一条支路;电刷数最少是两个,一个正极,一个负极,一般电刷数等于极数,从图 2-5 可见,直流电机电枢电动势都是正负电刷间的电动势,即等于每个支路的电动势。因此电枢电动势 E_a 等于一个支路内所串联导体的电动势总和,电刷所引出的电枢总电流 i_a 等于各支路电流 i'_a 之和,电刷间的并联支路数为 $2a$ (a 为支路对数),则电枢总电流 $i_a = 2i'_a$ 。

当元件与换向器在磁极下顺时针方向旋转时,根据电磁感应定律,每根导体将产生感应电动势,即

$$e = B_x l V \quad (2-1)$$

式中 B_x ——导线所在位置的磁通密度, T;

l ——导线(线圈边)的有效长度,即电枢铁心长度, m;

V ——导线旋转的线速度, m/s。

直流测速发电机的电枢在磁场中旋转时,由于气隙中各点的磁通密度不同,所以绕组各导体的感应电动势大小也不同,通常计算电动势时,一般按平均磁通密度 B_{av} 计算,即

$$e_{av} = B_{av} l V \quad (2-2)$$

式中 B_{av} ——平均磁通密度, T。

这里讨论的导线旋转速度, 即为电枢绕组的旋转线速度, 通常在发电机里用电枢的转速来表示, 设电枢的直径为 D (m), 则电枢圆周长为 πD , 电枢转速为 n (r/min), 则线速度 V 表示为

$$V = \frac{\pi D n}{60} \quad (2-3)$$

通常磁通密度用每极的磁通来表示, 则每极下的极弧长 $\tau = D\pi/2p$, p 为磁极对数, 每极下的面积为 $l\tau$, 每极磁通可表示为

$$\Phi = B_{av} l \tau \quad (2-4)$$

或

$$B_{av} = \frac{\Phi 2p}{l D \pi} \quad (2-5)$$

把式 (2-3) 和式 (2-5) 代入式 (2-2) 可得

$$e_{av} = \frac{2p}{60} \Phi n \quad (2-6)$$

直流发电机电枢电动势是指正负刷间的电动势, 即每条支路串联导体的电动势之和, 设电枢绕组总导线数为 N , 则每条支路的导线数为 $N/2a$, 其中 a 为支路对数, 因此电枢电动势表示为

$$E_a = \frac{N}{2a} e_{av} = \frac{Np}{60a} \Phi n \quad (2-7)$$

对已经制造好发电机而言, 发电机的极对数 p , 支路对数 a 和发电机电枢绕组总导线数都是常数, 通常把 $Np/60a$ 用电动势常数 C_e 来表示, 故式 (2-7) 可表示为

$$E_a = C_e \Phi n \quad (2-8)$$

式中 E_a ——电枢电动势, V;

Φ ——每极磁通, Wb;

n ——电枢转速, r/min。

由此可见, 直流测速发电机的电枢电动势与每极磁通 Φ 和转速 n 成正比, 当直流测速发电机的磁通恒定不变时, 电枢电动势与转速成正比。即

$$E_a = C_e \Phi n = K_e n \quad (2-9)$$

其中 $K_e = C_e \Phi$

二、电枢反应

当电磁式直流测速发电机磁极上的励磁线圈流过励磁电流时 (或永磁式直流测速发电机), 在电机定子与转子的空气隙中就有磁通, 这叫做气隙主磁通, 图 2-6 为电枢绕组无电流时情况。当测速发电机带上负载, 电枢绕组中有电流通过, 这个电流也会建立一个磁场即电枢磁场, 发电机在实际工作中的磁场是由磁极产生的主磁场与电枢磁场共同合成的, 而合成后的实际磁场与主磁场是不相同的。电枢磁场对主磁场的影响, 称为电枢反应, 图 2-7 是电枢磁场在气隙中的分布情况。从图中可以看出一个极下导体中电流的方向总是不变的, 所以电枢磁场的方向并不因电枢的转动而有所变化。同时, 电枢磁场的轴线恰好与磁极磁场的轴线相垂直, 从电枢磁场的磁力回线看到使主磁场一半去磁, 一半加磁。由于磁

路饱和的关系,对加强的一半来讲,使磁路更加饱和,而去磁的一半来讲,磁路饱和程度减少。结果使磁通增加的少,而减少的多,使总磁通有去磁效应,因此,电枢磁场对主磁场总是起去磁作用。电枢电流越大,电枢磁场越强,对主磁场的去磁越多。通过以上的分析可知若使直流测速发电机的感应电动势与转速成正比,一般发电机所带的负载不能超过所规定的范围。

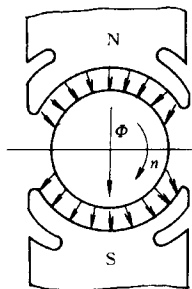


图 2-6 磁极主磁场在气隙中的分布

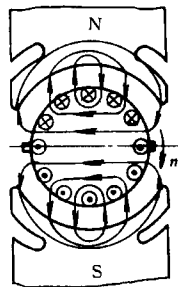


图 2-7 电枢磁场在气隙中的分布

第三节 直流测速发电机的输出特性

一、直流测速发电机的电路图

在前节介绍直流测速发电机的结构时,已经交代了直流测速发电机按励磁方式不同,可分为电磁式和永磁式两种型式,电磁式定子励磁绕组由外部电源供电,通电时产生磁场。图 2-8 (a) 为电磁式直流测速发电机的原理电路图。永磁式定子磁极由永久磁钢做成,没有励磁绕组,图 2-8 (b) 为永磁式直流测速发电机的原理电路图。

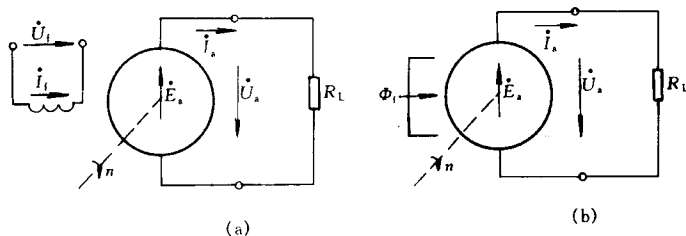


图 2-8 直流测速发电机原理电路图

(a) 电磁式直流测速发电机; (b) 永磁式直流测速发电机

永磁式直流测速发电机结构简单,不用励磁电源,具有使用方便,温度变化对励磁磁通的影响很小,线性误差小而且不受负载性质影响等特点,近年来得到较快发展。

二、直流测速发电机的输出特性

直流测速发电机的工作原理电路图可参看图 2-8。在恒定磁场中,旋转的电枢绕组切割磁通,并产生感应电动势。由电刷正负极引出的电枢感应电动势为

$$E_a = C_e \Phi n = K_e n \quad (2-10)$$

空载时, 即电枢电流 $I_a = 0$, 直流测速发电机的输出电压和电枢感应电动势相等, 因而输出电压与转速成正比。

负载时, 因电枢电流 $I_a \neq 0$, 直流测速发电机的输出电压应等于感应电动势减去它的电枢电阻压降, 即

$$U_a = E_a - I_a R_a \quad (2-11)$$

式 (2-11) 中 R_a 为电枢回路的总电阻。它包括电枢绕组电阻、电刷和换向器之间的接触电阻。在理想情况下, 若不计电刷和换向器之间的接触电阻, 则 R_a 为电枢绕组电阻。

显然, 接上负载后, 如图 2-8 所示测速发电机的输出电压应比空载时小, 这是电阻 R_a 的电压降造成的, I_a 为电枢总电流, 且有

$$I_a = \frac{U_a}{R_L} \quad (2-12)$$

式中 R_L ——测速发电机的负载电阻。

将式 (2-12) 代入式 (2-11), 可得

$$U_a = E_a - \frac{U_a}{R_L} R_a \quad (2-13)$$

此时测速发电机的输出电压为

$$U_a = \frac{C_e \Phi}{1 + \frac{R_a}{R_L}} n \quad (2-14)$$

如果式 (2-14) 中 Φ , R_a 和 R_L 都能保持为常数, 则上式 (2-14) 可表示为

$$U_a = C_a n \quad (2-15)$$

其中

$$C_a = \frac{C_e \Phi}{1 + \frac{R_a}{R_L}} \quad (2-16)$$

式 (2-16) C_a 亦为一常数, 由式 (2-15) 可以得出直流测速发电机在负载时 U_a 与 n 之间呈线性关系的输出特性, 如图 2-9 中实线所示。从式 (2-15) 和图 2-9 可以看出对于不同的负载电阻, 图中 $R_{L1} > R_{L2}$, 一般 R_L 为无穷大。测速发电机的输出特性的斜率也有所不同。它将随负载电阻增大直线的斜率也增大, 反之负载电阻减小直线的斜率也降低。

然而, 实际直流测速发电机的输出特性可能偏离式 (2-14) 和式 (2-15) 所确定的线性关系, 这是由于以下几个原因造成的:

(1) 测速发电机带负载时, 从本章第二节已知电枢反应产生的去磁作用, 使电机的气隙磁通不再保持常数, 要比空载时的磁通要小, 使得直流测速发电机的输出特性不再是线性关系了, 使得输出电压随转子速度的增大电压降低如图 2-9 中虚线所示。从图中可以看到转速越高输

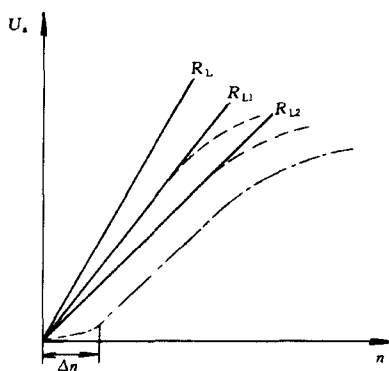


图 2-9 直流测速发电机输出特性