

高等学校教学用书

电机电派

(只供学校内部使用)

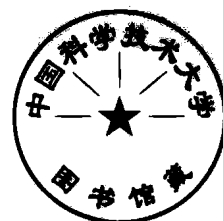
铁道部教材編輯組选編

人民铁道出版社

高等学校教学用书

电 机 电 源

铁道部教材編輯組选編



人 民 鐵 道 出 版 社

一九六一年·北京

本書系鐵道部教材編輯組選編，推荐作为高等学校教学用書，供学校内部使用。适用于铁路有线通信、无线通信、铁路自动化与远动化等专业。内容包括电机及电源两部分。电机部分叙述直流电机、变压器、交流电机的原理、构造及应用方法。电源部分叙述电池、整流设备、稳压设备的原理及应用，以及电源室的一般设计方法和配电线路的计算方法。

主編单位：北京铁道学院机电系电工教研组

主編人：田成文、夏清海、潘恂如

高等学校教学用书

电 机 电 源

鐵道部教材編輯組選編

人民鐵道出版社出版

(北京市霞公府17号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第010号

新华书店科技发行所发行

各地新华书店經售

人民鐵道出版社印刷厂印

书号1817 开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张 $16 \frac{1}{8}$ 字数455千

1961年9月第1版

1961年9月第1版第1次印刷

印数0,001—1,150册 定价(10)2.15元

目 录

緒 論.....	1
第一章 概述.....	1
第二章 我国电机、电源的发展概况及其在铁路上的作用.....	1

一 电机部分

第一篇 直 流 电 机

第三章 直流电机的基本原理和构造.....	2
§3—1 概述.....	2
§3—2 直流电机的工作原理.....	2
§3—3 直流电机结构的主要組成部份.....	3
§3—4 直流电机的激磁方式.....	5
第四章 直流电机的电枢繞組.....	7
§4—1 概述.....	7
§4—2 环型繞組及其特点.....	7
§4—3 鼓型繞組及其特点.....	11
§4—4 鼓型电樞的单叠繞組.....	13
§4—5 鼓型电樞的单波繞組.....	14
§4—6 电樞繞組的感应电势.....	15
第五章 直流电机的磁路.....	15
§5—1 概述.....	15
§5—2 磁路与电路的比較.....	16
§5—3 直流电机的磁路.....	17
第六章 直流电机的电枢反应.....	23
§6—1 概述.....	23
§6—2 电樞磁势的計算方法.....	24
§6—3 电樞的交軸和順軸磁势.....	25
§6—4 发电机的电樞反应.....	26
§6—5 电动机的电樞反应.....	27
第七章 換向.....	28
§7—1 概述.....	28
§7—2 电樞旋轉速度很小时的換向情况.....	29
§7—3 換向器表面有一定速度时的換向.....	31
§7—4 电势 e_s 和 e_x 的决定.....	33
§7—5 改善換向的方法.....	34
§7—6 环火和补偿繞組.....	38
§7—7 电刷的选择和換向情况的辨别.....	39
第八章 直流发电机.....	39
§8—1 直流发电机的电压方程式和力矩方程式.....	39

§8—2	直流发电机的特性曲线	41
§8—3	发电机的并联运用	45
第九章	直流电动机	47
§9—1	电机的可逆性	47
§9—2	直流电动机的电势和力矩	47
§9—3	直流电动机特性的概述	49
§9—4	直流并激电动机的特性	51
§9—5	直流串激电动机的特性	53
§9—6	直流复激电动机的特性	55
§9—7	直流电动机的调速方法	56
第十章	直流电机的损耗和效率, 发热和冷却	59
§10—1	直流电机的损耗	59
§10—2	直流电机的效率	61
§10—3	发热, 冷却和额定容量	62
第十一章	特种直流电机和我国制造的直流电机	65
§11—1	交轴磁场电机放大机	65
§11—2	伺服电动机	66
第二篇 变 压 器		
第十二章	变压器的种类和构造	70
§12—1	变压器的用途和使用范围	70
§12—2	变压器的构造	71
第十三章	变压器的基本原理	77
§13—1	变压器空载状态下的分析	77
§13—2	变压器短路时的分析	83
§13—3	变压器有载时的分析	89
§13—4	变压器的电压调整	97
§13—5	漏电抗 x_k 的计算	98
第十四章	三相变压器和三相变压器组	100
§14—1	变压器的三相联接	100
§14—2	各种联接组的分析	105
§14—3	三相变压器不对称负载时的情况	106
§14—4	变压器的V形联接法	109
§14—5	变压器的并联运行	111
第十五章	特种变压器	114
§15—1	自耦变压器	114
§15—2	仪表用互感器	115
§15—3	电焊变压器	117
第十六章	小容量单相变压器的设计	117
§16—1	铁心的设计	117
§16—2	线圈的设计	118
§16—3	损失的计算	119
§16—4	设计实例	120
附录1	小型变压器的简便算法	122
附录2	小电力的自耦变压器	123

第三篇 交 流 电 机

第十七章 交流电机的一般問題	130
§17—1 交流电机繞組的电势.....	130
§17—2 諧波电势.....	134
§17—3 交流电机繞組的联接.....	136
§17—4 旋轉磁場的產生.....	136
第十八章 異步电机作用原理及构造	138
§18—1 异步电机的作用原理.....	138
§18—2 三相异步电动机的基本构造.....	140
第十九章 轉子不动时的异步电动机	141
§19—1 异步电动机的空載状态.....	141
§19—2 异步电动机的短路状态.....	143
第二十章 異步电动机在轉子轉动时的情况	144
§20—1 空載状态.....	144
§20—2 有載时的状态.....	146
§20—3 异步电动机的轉矩.....	147
§20—4 异步电动机的运用特性.....	152
§20—5 异步电动机的起動.....	154
§20—6 异步电动机的調速和反轉.....	157
§20—7 具有优良起動特性的深槽式和双鼠籠式电动机.....	160
§20—8 单相异步电动机.....	162
第二十一章 交流換向器式电动机	164
§21—1 概述.....	164
§21—2 单相串激电动机.....	164
§21—3 推斥式电动机.....	165
第二十二章 異步电动机的圓图	166
§22—1 概述.....	166
§22—2 簡化圓图的討論.....	166
§22—3 异步电动机的圓图.....	167
§22—4 空載試驗和短路試驗.....	168
§22—5 圓图的作法.....	169
附录自整角电动机.....	173
第二十三章 有关同步电机的基本知識	174
§23—1 同步电机的基本定义和作用原理、同步电机的型式和有关同步发电机的某些数据.....	174
§23—2 定子繞組的电势.....	175
§23—3 同步发电机的繞組磁势.....	176
§23—4 同步发电机的电樞反应.....	180
§23—5 同步发电机的特性曲綫.....	183
§23—6 同步发电机的并联运用.....	183
§23—7 同步电动机.....	186

二 电源部分

第四篇 电池、整流设备、电源设计及配电线路计算

第二十四章 电池	190
§24—1 电池的电势、内阻、电压和容量.....	190
§24—2 原电池的正确使用和維護方法.....	191
§24—3 酸蓄电池.....	193
§24—4 碱蓄电池.....	219
第二十五章 整流设备	225
§25—1 二极管.....	225
§25—2 整流线路.....	225
§25—3 滤波器.....	226
§25—4 其他整流管.....	227
§25—5 半导体整流器.....	228
§25—6 整流器的电压調整.....	230
第二十六章 铁路通信段、电务段的电源	231
§26—1 磁石式交换机的电源.....	231
§26—2 市内共电式交换机及长途共电式电话交换机电源.....	232
§26—3 载波机及增音机的电源.....	235
§26—4 电报机电源.....	235
§26—5 电源设计（自动电话总机用）.....	236
第二十七章 配电线路计算	244
§27—1 配电线路的范围、方式及要求.....	244
§27—2 架空配电线路的主要材料.....	245
§27—3 导线的电阻及电感抗.....	245
§27—4 根据温升和电压损失选择导线.....	246

緒 論

第一章 概 述

电能是能量的一种形式，电的发现很早，但电能工业上的应用开始于实用电机的诞生，这仅是最近一百年间的事，和其他各种形式的能量相比，电能显示着无比的优越性，这是由于它适宜于大量生产，集中管理，远距离传输和自动控制，如果没有电能，现代工农业和交通运输事业的发展是不可想象的。在我国社会主义建设总路线的光辉照耀下，在工农业和交通运输事业高速发展的大跃进年代里，以电力为先行，由此可见在社会主义建设事业中发展电力的重要性，而电力的发展和工农业以及交通运输业走向电气化自动化的道路又必须发展电机制造工业为基础。

第二章 我国电机、电源的发展概况及其在铁路上的作用

我国在解放以前，长期处于半封建半殖民地的地位，近百年来，饱受帝国主义的侵略和剥削，经济落后、工农业和交通运输业电气化的基础十分薄弱，由解放前所遗留下来的电力事业是微不足道的。在1949年解放时，全国仅有发电设备容量185万千瓦，每年发电量仅达43亿度。解放后，在党和政府的正确领导下，首先修复残旧设备，恢复发电能力，接着就进入第一个五年计划，大力建立新电站，到1957年末，全国的发电设备容量已增加到464万千瓦，发电量增加到193亿度。

在第一个五年计划的基础上，中国共产党第八次全国代表大会提出了关于发展国民经济的第二个五年计划（1958~1962年）的建议，其中规定到1962年发电设备的年产量将达到或超过150万千瓦，年发电量将达到或超过430亿度。

电机和变压器除了作为电站和变电所的主要设备外，在各种工业企业中都有广泛的应用。在机械制造工业中，各种工作母机都需由不同型式和容量的电动机来拖动。在冶金工业中，高炉和平炉都需由电机来控制。在化学工业中，电解等过程需要用直流发电机。在交通运输事业中，随着铁道干线的电气化，需用各种类型的牵引电动机、用作通信和信号电源设备的直流发电机以及自动信号和转辙机中的电动机等等。各种容量微小的电机，又为自动系统的主要元件。

几年来，我国电机制造工业的发展速度是很快的，除了容量的提高以外，产品的质量也在不断的改进。本书电机部份就是讨论电机的构造原理和特性。

为了提高铁路的运输能力，进一步满足工农业高速发展的需要，必须合理地运用运输设备。合理的工作组织以及铁路通信、信号、集中、闭塞的自动化是达到上述目的的必要手段，而供给这些电气设备的电源的可靠与否会直接影响着这些电气设备的正常工作。由此可见提供可靠的电源设备的重要性了。

铁路通信、信号设备除了直接从电力网取得交流电能以外，为了防止在万一电网发生故障时失去电源，一般还需要备有自备发电站。为了取得直流电源，一般要备有蓄电池，附带要备有整流设备。这些设备必须互相适应，配套成龙，通过适当的线路和通信、信号等设备连接起来。

本书主要讨论这些设备的构造、原理、应用，以及电源室的一般设计方法和配电线路的计算方法。

一 电机部分

第一篇 直流电机

第三章 直流电机的基本原理和构造

§ 3-1. 概 述

将机械能变换为直流电能的电机称为直流发电机；将直流电能变换为机械能的电机称为直流电动机。直流发电机除了供给照明和电力、电热的电源外，还可作为化工厂、冶炼厂的直流电源。直流电动机在工业和运输各部门应用也很广，如电力机车的牵引、自动信号设备中，以及起重等设备中均作为动力或控制的元件。

直流电机可区分为一般类型和特殊类型，但其基本构成部份及产生在电机本身的现象，相同的地方很多，将其基本组成部份和作用原理的相同处可以概括起来研究，本章根据这个原则来讨论直流电机的结构和原理。

§ 3-2. 直流电机的工作原理

直流电机的作用原理是建立在电磁感应定律和电磁力定律的基础上的，按电磁感应定律，我们可以计算导线在磁场中运动时感应的电势，每一导体中的感应电势为：

$$e = Blv \quad (3-1)$$

直流电机实质上是一台装有换向器的交流电机，依靠换向器的作用，在一定条件下使交流电流变为直流电流。故首先讨论一下一个简单交流电机的工作情况。

如图3—1所示，两个静止的磁极 N 和 S ，其磁通方向是从 N 极到 S 极，一个绕有线匝的电枢在两极间迴转，线匝的两端和固定于轴上的两个铜环连接，环上放置着两个接通外电路的静止电刷 $A-B$ 。若电机被原动机带动，以定速 n 按反时针方向迴转，则每一导体所感应的瞬时电势，可用公式(3—1)计算出，其中：

v ——导体和磁场的相对速度；

l ——有效导体长度，即切割磁力线的部份；

B ——导体所在位置的磁通密度。

因 v 和 l 为一定值，故式(3—1)可写成如下：

$$e = \text{常数} \cdot B。$$

亦即导体中感应电势的变化特性，完全决定于磁极下磁通密度的分布情况。

通过电枢中心且在两极中间的直线称为几何中性线，而与一磁极相对应的电枢圆周长度 τ 称为极距，如图3—1所示。

为简便计，假设 B 的分布是正弦的(图3—2)，则电枢迴转时，导体中所感应的电势也依时间作正弦变化。

导体 ab 或 cd 随电枢在磁场内转动时，导体内即依公式 $e = Blv$ 感应电势，

a) 电势方向的决定，应用右手法则。

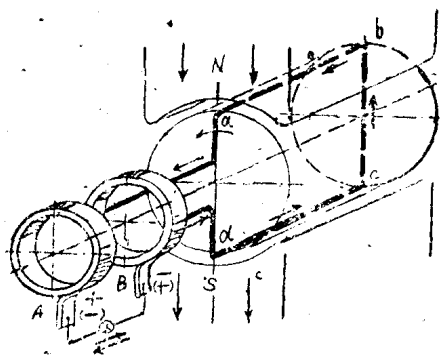


图3-1 交流电机的工作原理图

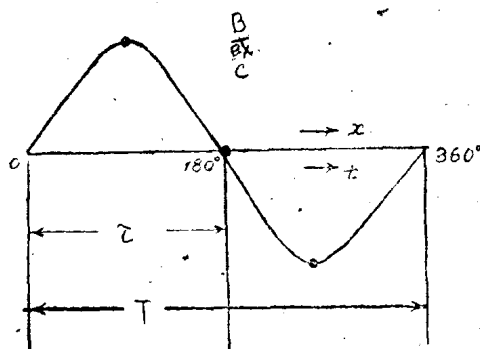


图3-2 正弦的B或e。

δ) 电势数值的决定 (瞬时值), 为

$$e = Blv,$$

式中如 v ——厘米/秒, B ——高斯, l ——厘米时, $e = Blv \times 10^{-8}$ 伏特;

如 v ——米/秒, B ——韦/米², l ——米时, $e = Blv$ 伏特。

由于导体随电枢旋转, 在导体内感应的电势是交流的, 滑环随着电枢旋转, 而电刷是固定不动的, 故流入外电路的电流也是交流的, 如图3-1所示。

电势 (或电流) 变化一周所需的时间 T 称为电势 (或电流) 的周期, 一秒鐘内所具有的周期数称为频率 f , 若电机有 P 对磁极, 每分鐘轉数为 n , 则綫圈中电势的频率为:

$$f = \frac{Pn}{60} \quad (3-2)$$

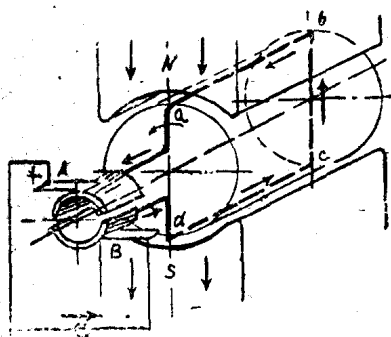


图3-3 直流电机的工作原理图

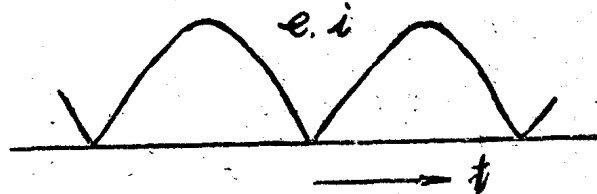


图3-4 换向后的电势和电流

为使此交流电流换向, 可将滑环换装换向器, 则在外綫路中流通的是换向后的电流 (即直流), 如图3-3所示。其工作原理如下: 綫圈 $ab-cd$ 的末端連于互相絕緣并和轉軸絕緣的, 而与电枢同一角速度迴轉的两换向片上, 在换向片上置有靜止于空間的电刷 $A-B$ 与外路連接。当电枢迴轉时, 在綫圈 $ab-cd$ 中仍感应交流电势, 但是由于每一个电刷仅和一定磁极下的导綫相对应的换向片接触, 例如, 电刷 A 永远和与位于 N 极的导綫相連接的换向片接触, 相反地, 电刷 B 所接触的换向片和它相連的导体是处在 S 极下的。由此, 外綫路的电流永远依着一个方向移动, 即自电刷 A 流出从电刷 B 流入。

图3-4表示一个脉动电势在最大值与零之間的变化, 为了减小这个波动, 在电枢上繞有几个相等距离的綫匝, 如图3-5a, 表示四个相隔 90° 連在换向片上的綫匝, 因各差 90° , 故换向后的电势如图3-5b所示, 其合成电势为粗綫所示。由此看来波动已显著的減小了。

§ 3-3. 直流电机結構的主要組成部份

直流电机的結構, 主要是由靜止和轉动两部分組成, 靜止部

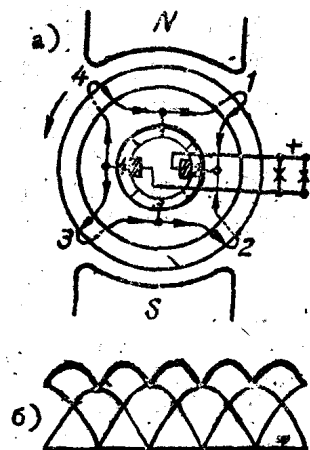


图3-5 换向后的电势和电流。

a—电机图; b—电势曲线图。

分具有下列各部件：

- (1) 主磁极——产生主磁通；
- (2) 换向极——位于两个主磁极间，用来改善换向情况；
- (3) 磁轭和机座——在磁轭上安装磁极（主磁极和换向极）与电枢铁心和空隙构成闭合的磁路；机座则用来支持整个电机。

转动部分是一个旋转的电枢，它在磁场中旋转，起转换能量的作用。当它作发电机运转时，电枢发出电能；作电动机运转时它产生电磁力矩，拖动工作机械。

静止的磁极和转动的电枢之间是空隙，它也是磁路的一部分，空隙的大小对电机性能有着很大的影响。

首先，我们对实际的直流电机结构来进行一般的了解，图3—6所示为直流电机的横剖面图，各部件均已标注在图上，图3—7是直流电机的定子和转子的外形，它的主要部件分别概述于后。

(1) **主磁极**。主磁极是由0.5或1毫米厚的硅钢片叠合组成的铁心和套在铁心上的激磁绕组构成。它的端部为极掌，极掌的两端微有倾斜，这样可使空隙中磁通分布较为匀称，极掌的另一作用是支持激磁绕组，使它稳固的套在铁心上，如图3—8。

(2) **换向极**。换向极也是由铁心及绕于其上的绕组构成，它安装在几何中线的位罝，它的改善换向作用，在以后的章节中讨论。

(3) **磁轭和机座**。磁轭和机座是电机的静止部分，换向极和主磁极都固定在它的上面，磁轭和机座通常用铸铁或合金钢制成。

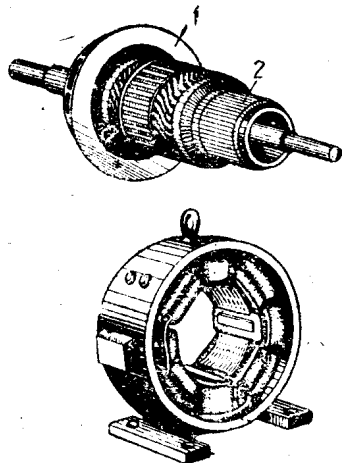


图3—7 直流电机的定子和转子，
1—风扇；2—换向器

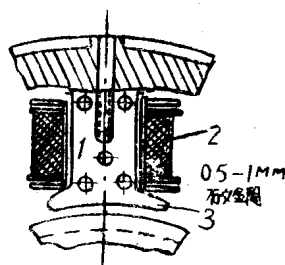


图3—8 主磁极，
1——铁心；2——绕组；3——极掌。

(4) **电枢**。直流电机的电枢是由铁心、绕组和换向器三部分组成。铁心是采用鼓型有齿铁心，用硅钢片叠成，每个硅钢片的形状如图3—6所示，整个电枢构造则如图3—9所示，

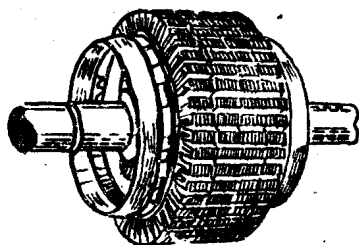


图3—9 直流电机的电枢铁心

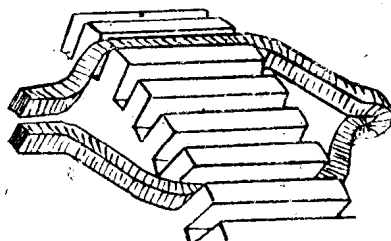


图3—10 电枢绕组元件

一般用0.5毫米厚的硅鋼片迭成，为了减小渦流損耗，在片間塗有絕緣漆。

为使电机冷却，在电樞軸上常裝有風扇。繞在电樞上的电樞繞組的形狀如图3—10所示。很多繞組元件是依着一定的方式联接起来。

換向器如图3—11所示，是由一些彼此絕緣的銅片組成，呈圓筒狀，各換向片分別与电樞繞組的各个元件相联接，換向器的片間絕緣以及整个換向器与軸的絕緣均用云母板。

为了使电樞繞組与外部电路接通，在換向器上安裝靜止不动的电刷，电刷是由碳或黃銅—石墨做成。裝在刷握內（图3—12）并以彈簧压复之。刷握固定在刷架上，刷架固定在端蓋或机座上。

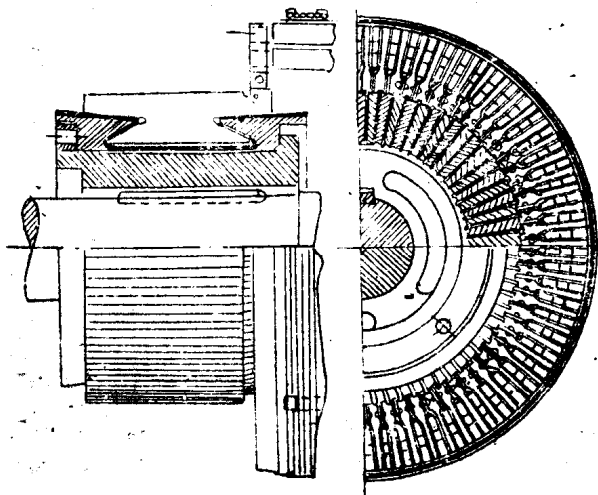


图3—11 換向器縱橫剖面图

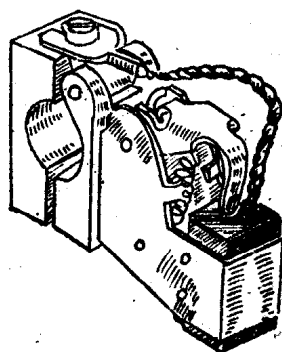


图3—12 电刷和刷握

(5) 空气隙。小型直流电机的空隙寬度 $\delta=0.5\sim 3$ 毫米；大型直流电机的 $\delta=10\sim 12$ 毫米，它的絕對值虽小，但对电机特性的影响很大。

§ 3-4. 直流电机的激磁方式

直流电机磁場中的有效磁通是由主磁极产生的，激磁繞組中的电流可以取之于自己的电樞，也可取之于其他直流电源。凡电机由电樞供电給自己激磁繞組的叫做自激式；由其他直流电源激磁的叫他激式。

直流发电机和直流电动机都有这两种激磁方式，其中自激式还由于激磁繞組与电樞繞組的连接不同可分为串激、并激和复激三种。激磁方式不同，电机的工作特性也不同，因此，这是我們在選擇使用直流电机时應該考虑的問題。在以后的章节中討論直流发电机和直流电动机的工作特性时，将按照不同的激磁方式来说明其不同点。

现在先将直流电机的几种激磁方式的电路连接，激磁繞組匝数的多少和导线的粗细等，分别叙述。

图3—13至图3—16四图中，(a)为激磁繞組与电樞的四种电路连接；(b)为对应于(a)的激磁方式的示意图。

他激式直流电机（图3—13）的激磁电流由其他直流电源供給，与电樞的电压及負載无关，激磁电流的大小仅决定于电源的端电压 u_a 和激磁电路的电阻。激磁繞組所消耗的功率 P_a 通常仅为发电机額定功率 P_n 的2~3%。

并激直流电机（图3—14）的磁場电路与电樞电路并联，它的激磁电流 i_a 与电樞电压 u_a 有关，当它作发电机运行时，电樞电流 I_a 等于負載电流 I 和激磁电流 i_a 两者之和。即

$$I_a = I + i_a.$$

中型和大型直流电机的激磁电流 i_a 在正常运行情况下，仅为額定負載电流 I_n 的2~3%，小型直流电机为5~10%，激磁电流的大小在并激电机中决定于端电压和激磁电路的电阻，激磁电流很小，因而激磁繞組的匝数应相当的多，才能产生所需的激磁磁势。因激磁电流

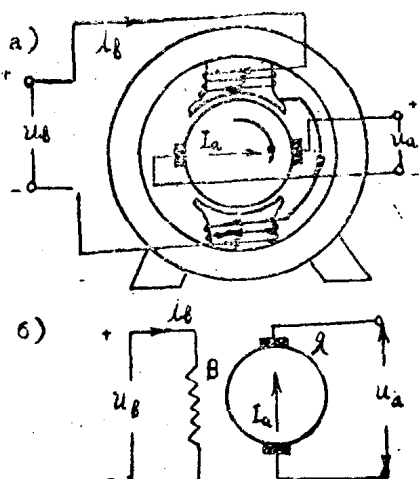


图3-13 他激式直流电机

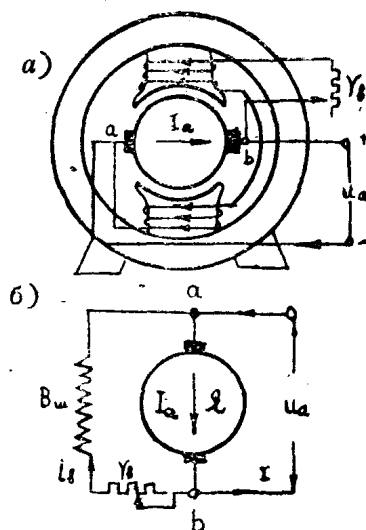


图3-14 并激直流电机

小，故所用绕组导线的截面积也应该小些。

串激直流电机的磁场电路是与电枢串联的（图3-15）。它的激磁电流 i_f 等于电枢电流 I_a 也等于负载电流 I ($i_f = I_a = I$)，所以激磁电流大，绕组匝数少，导线截面大。

复激直流电机具有并激磁场和串激磁场两个绕组，它的电路连接如图3-16所示。通常以并激绕组的磁场为主，约占总磁势的75~80%。以串激磁场为辅，它的磁势只占总磁势的20~25%。

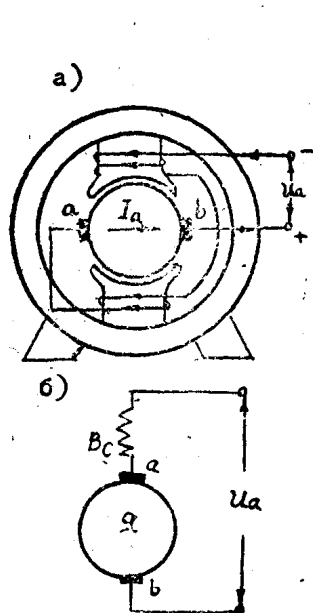


图3-15 串激直流电机

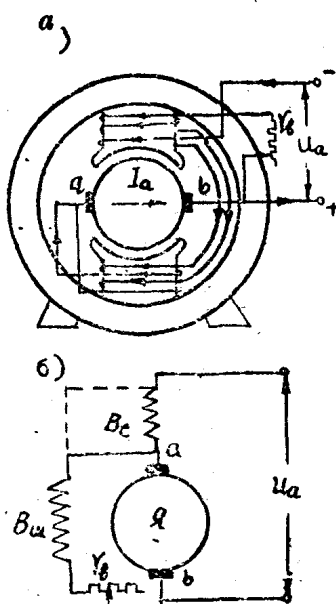


图3-16 复激直流电机

复激电机按并激磁场的联接方法还可分为短并联和长并联两种，并激磁场仅与电枢并联者为短并联，如图3-16实线所示。并激磁场如果联接在串激磁场的外端者为长并联，如图3-16虚线所示。在这两种联接方法下的工作特性区别不大。

复激电机按串激磁场和并激磁场的相对方向可分为积复激电机和差复激电机两种。并激磁场的磁势方向与串激磁场的磁势方向相同时为积复激，相反时为差复激。同一复激电机可以联接成差复激或积复激，两种接法工作特性是截然不同的，在使用时应依所需的电机特性来选择决定。

第四章 直流电机的电枢绕组

§4-1. 概 述

电枢绕组的构造形式，与激磁绕组不同。激磁绕组为集中绕组，每一匝的磁轴都互相重叠。电枢绕组则为分布绕组，沿着电枢圆周均匀分布，将元件的各边安放在电枢的槽内，其元件的两端依着一定的规律连接在不同的换向片上。

最早应用的电枢绕组为环型绕组，如图4—1所示，电枢铁心为由叠片组成的空心圆筒。绕组的各元件沿着圆筒的内外表面环绕前进，构成一闭合回路。这种型式现已不采用，因为（1）这种绕组绕制不便，通常需人工绕制，修理时也有困难；（2）位于圆筒里面的导体并不割切磁通，仅作为联接导线，故导体的利用率不够充分。目前的直流电机均用鼓型绕组，但在解释电机的某些理论时，为了作图简便起见，有时也用环型绕组来表示，这是因为环型绕组在本质上与鼓型绕组相同。

对电枢绕组的基本要求为：

1. 在电的方面——运用时要可靠，
 - （1）满足电压的必要数值；
 - （2）达到一定的稳定波形；
 - （3）绕组通过一定量的电流而不过热（导线够粗）；
 - （4）导线间、导线与电枢钢片间绝缘良好。
2. 机械方面——坚固耐用。
3. 经济方面——成本低（绕组省铜，制造工序简单）。

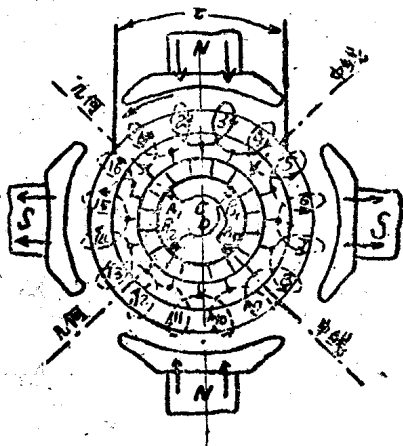


图4—1 环型绕组

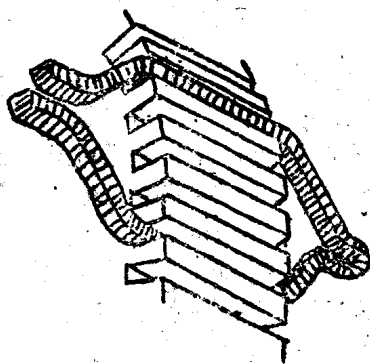


图4—2 鼓型电枢

电枢绕组的分类：

- （1）按着电枢型式分：环型绕组和鼓型绕组；
- （2）按着绕组接法分：单叠绕组、单波绕组、复叠绕组和复波绕组。

鼓型绕组是把在机器上预先绕好的元件，依次放在电枢槽内，使元件的两个边，都可以割切磁通如图4—2所示。因为通用的直流电机的电枢绕组都系双层绕组，在每一槽中有上下两元件边，如绕组元件的主边放置在某一槽的上层而其另一边（辅边）则放置在另一槽的下层。元件的跨距约等于一个极距，元件的有效部分为放在槽内的部分，用以割切磁通而产生感应电势。

§ 4-2. 环型绕组及其特点

绕组由绕组元件组成，第一元件的末端与第二元件的首端相串联，绕组元件一般由数匝组成，以后为了讨论方便起见，可认为绕组元件仅有一匝组成。

繞組電勢相加的兩種聯結方法，如圖4—3為單疊繞組的基本來源；圖4—4為單波繞組的基本來源。

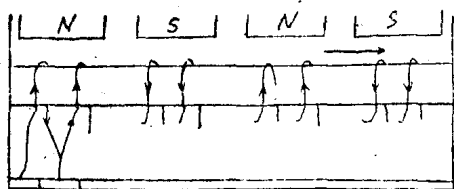


圖4—3 單疊繞組原理

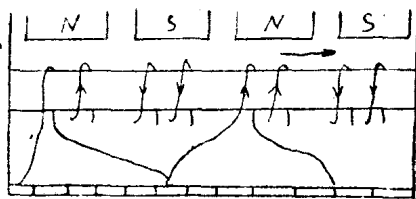


圖4—4 單波繞組原理

首先討論環型單疊繞組的情況，如圖4—5所示。在電樞上均勻分布着8個元件，這許多元件和彼此相鄰的一個互相串聯起來成為一個閉封的回路，每個繞組元件有兩個端部（首端，末端），它們接到兩個相鄰的換向片上，並且第一元件末端與第二元件的首端通過換向片相串聯着。

這裡我們應當注意的是，電刷和磁極是固定不動的，而電樞和換向器是一起在旋轉的，因而電樞雖旋轉，而電刷間包括的導體與極的相對位置可以看作是不變的，即兩電刷的右邊總是包括S極下的導體，兩電刷的左邊包括N極下的導體，當電樞旋轉的時候，

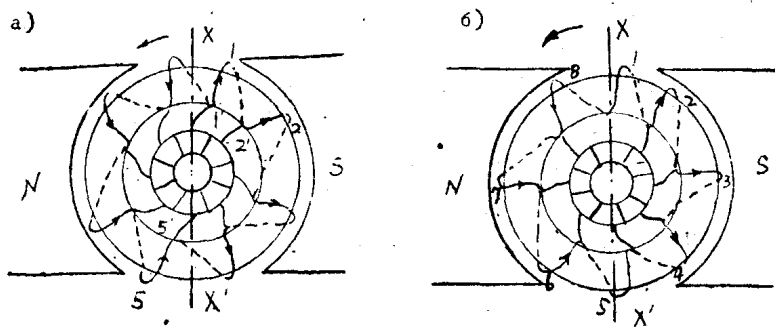


圖 4—5

導體1由S轉向N極，而導體2即來代替它的位置，因而由電刷兩端來看其間包括的導體并無變化。

由電刷B到A有兩個支路，將圖4—5繪成簡化電路圖（圖4—6），即能看的很清楚，其一是由電刷B經過元件1 2 3 4到電刷A，另一支路是由電刷B經過元件8 7 6 5到電刷A。第一個支路包括所有S極下的繞組元件，第二個支路包括所有N極下的繞組元件，每個支路的感應電勢等於該支路內各繞組元件感應電勢的總和，由繞組的對稱情況來看，這兩個支路的感應電勢是相等的。

由於兩電刷間包括的導體與磁極的相對位置總是不變的，故電刷B永遠是（-）而電刷A永遠是（+），也就是說我們從電刷兩端得到的是直流。

電刷放置的位置必須在兩極間的幾何中綫X—X'上，因為只有這樣放置，才能保證由電刷間得到的電勢為最大。這是因為電刷放置在幾何中綫時，每個支路內各繞組元件感應電勢的方向都是相同的，而沒有相反的感應電勢相對消，否則就產生對消的現象。

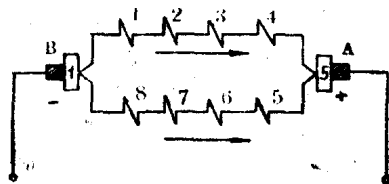


圖4—6 電樞繞組支路

從繞組的內部來看，整個的繞組成為一個封閉的回路，1—2'—2—3'—3—4'—4—5'—5—6'—6—7'—7—8'—8—1'—1，在這個封閉的回路內各元件的感應電勢彼此對消，如1和5相對消，2和6相對消等等，因而在這個封閉回路內總的電勢為零，故在此回路內沒有環流。

電刷兩端電勢的數值，等於各支路電勢的數值，亦即等於各支路內所有元件電勢相加的總和，在環型繞組中每個元件只有一個有效邊，如圖4—5a中之1—1'的1，也就是在環外面的導體能感應電勢，其電勢的大小依公式 $e = Blv$ 來決定， e 的大小是與該導體所在處的磁通密度 B 成正比的，故如圖4—6中（A）所示的位置，導體1 2 3 4的感應電勢的數值相當於各該導體所在處 B 的大小（換一下尺度），如圖4—7中（A）所示，當電樞旋轉到圖4—6中

(B) 的位置时 1 2 3 4 的感应电势将如图4—7中 (B) 所示。因此, 由电刷两端所得直流电势的数值是有些波动的如图4—8所示, 每支路的导体数愈多, 则此波动愈小, 一般实际电机的导体数是很的。

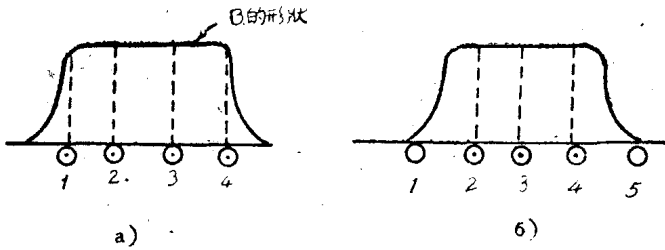


图 4—7

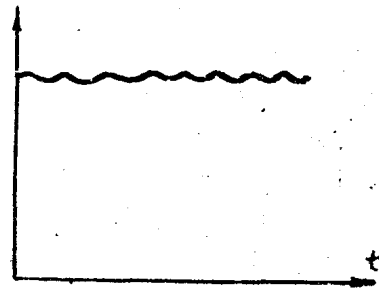


图4—8 电刷端电势

以上讨论的是两个磁极的电机, 下面讨论一下在四个磁极电机中的情况, 如图4—9和图4—10所示。

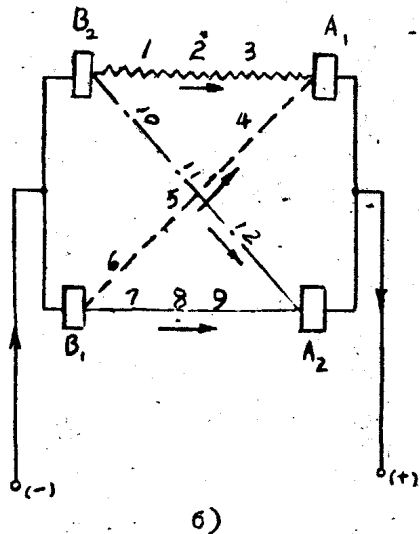
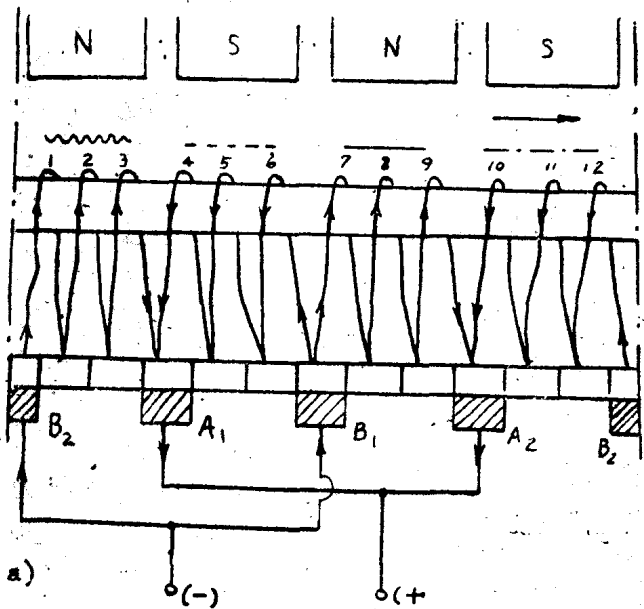
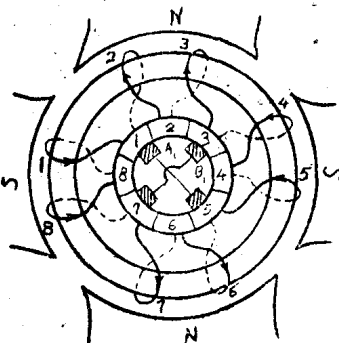
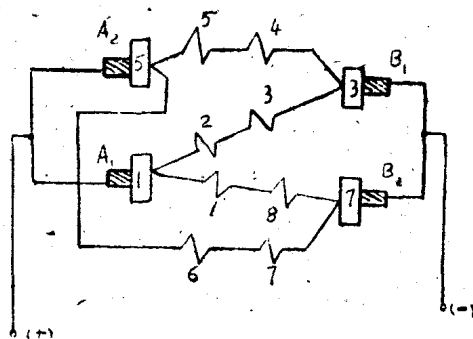


图 4—9

在四磁极电机中, 为了使感应电势不彼此抵消, 就需要有四个电刷, 电刷 B_2 和 A_1 间包括一个 N 极下所有的导体, 相当于 1 2 3, A_1 和 B_1 间包括一个 S 极下所有的导体, 相当于 4 5 6, B_1 和 A_2 间包括另一 N 极下所有的导体 7 8 9, A_2 和 B_2 间包括另一 S 极下所有导体



(A) 绕组放射图



(B) 绕组符号图

图 4—10

10 11 12, 因而每两电刷間的电势都相等, 而 $A_1 A_2$ 为正电刷, $B_1 B_2$ 为负电刷, 而 $A_1 A_2$ 可联接在一起, $B_1 B_2$ 可联接在一起, 这就成为一个四个支路的繞組3, 如图4-9 (d)。

下面再举一个例子来说明环型单叠繞組的特点, 設 $2P=4$, $S=K=8$, 其中 P 为极对数, S 为繞組元件数, K 为换向器片数。該繞組的放射图和符号图, 如图4-10所示。

由以上的討論, 对于环型叠繞組的主要特点可以得到以下的几个結論:

(一) 叠繞时一个元件的首端和末端联接在两个相邻的换向器片上, 亦即换向节距 $y_k=1$ (以换向器片数为单位)。第一元件和第二元件相串联的距离 (以槽数为单位) 称合成节距 y , 由上面討論知道在叠繞中 $y=y_k$;

(2) 两个串联相邻元件的首端末端通过换向器片互相串联着;

(3) 因为一个元件有两个端头, 而一个换向器片又接着两个元件端头; 故换向器片数等于元件总数; 即 $S=K$;

(4) 由上面討論可知, 二极机有二支路, 四极机有四条支路, 故支路数与磁极数相等。即

$$a=P,$$

式中 a ——支路对数;

P ——极对数。

且电刷的数目也和磁极数目相等;

(5) 正负电刷間的感应电势等于每一支路中串联元件感应电势的总和;

(6) 輸出电流等于各支路电流的总和, 設輸出电流为 I_a , 每一支路的电流为 i_a 则

$$I_a=2ai_a。$$

(7) 为了在电刷間得到最大的感应电势, 在近代装有换向极的直流电机中电刷的位置应尽可能准确的放在几何中綫上。

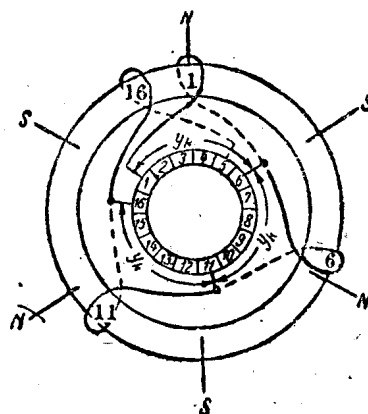


图4-11 环型单波繞組

下面再来討論环型单波繞組的特点。图4-4已表示出单波繞組的原理, 图4-11为三个单波繞組元件的具体联接情况, 其特点是繞組繞换向器一周后, 回到和起始的换向片相邻的或前或后的一片换向片上, 一般說来当电机有 P 对磁极和 K 片换向片时, 如繞成单波繞組, 則繞换向器一周需在电樞上放置 P 个元件, 每元件的换向节距均为 y_k , 并且最后必須連到 $K \pm 1$ 换向片上, 即 $P y_k = K \pm 1$ 由此得单波繞組的换向节距应为:

$$y_k = \frac{K \pm 1}{P}。$$

如图4-11所示的电机中: $P=3$; $K=16$, 則

$$y_k = \frac{K-1}{P} = \frac{16-1}{3} = 5。$$

設第一元件放在 N 极中心下, 其换向节距 $y_k=5$ 則元件应自1换向片接至 $1+5=6$ 片上; 第二元件应紧接着第一元件之后放在靠近第二个 N 极中心下, 繞組第二次向前跨进 $y_k=5$, 故应自换向片6接到 $6+5=11$ 片上, 然后第三元件接在第二元件之后放在第三个 N 极中心下, 繞組又第三次跨进 $y_k=5$ 即接到 $11+5=16$ 片上, 此16片与1号片相邻但后退一片。

比較单叠和单波繞組的换向节距我們可以看出在单叠繞組 $y_k=1$ 比极距要小很多, 而在单波繞組 $y_k \approx \frac{K}{P}$ 其值約等于二倍极距。

下面通过一个例子来说明环型单波繞組的特点。設 $2P=4$, $S=K=15$ 。