

高等学校教学用书

电信企业动力设备

原编者：北京邮电学院企业动力教研组

审校者：邮电学院电信企业动力设备选编组



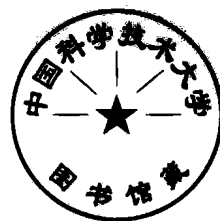
人民邮电出版社

高等学校教学用书

电信企业动力设备

原编者：北京邮电学院企业动力教研组

审校者：邮电学院电信企业动力设备选编组



人民邮电出版社

1962

內 容 提 要

本书包括原“电机学”及“电源设备”两课程所应讲述的内容，全书共分九章，分别讲述直流电机、变压器、感应电动机、同步电动机及特殊电机、整流及滤波、稳压器、磁放大器、蓄电池及配电系统等，书后并附有电机、电源设备计算参考资料等。本书为邮电高等院校电报电话通信专业及无线电通信及广播专业教学用书，亦可供一般邮电企业技术人员参考之用。

电 信 企 业 动 力 设 备

原编者：北京邮电学院企业动力教研组

审校者：邮电学院电信企业动力设备选编组

出版者：人 民 邮 电 出 版 社

北京东四六条13号

(北京市书刊出版业营业登记证出字第0四八号)

印刷者：邮 电 部 北 京 邮 票 厂

发 行 者：经 售 处 各 书 店

统一书号：1511·1033-336

定价：(10) 1.70 元

目 录

序 言 緒 論

第一章 直流电机

- § 1—1 概述 (1)
- § 1—2 直流电机的工作原理 (1)
- § 1—3 直流电机的可逆原理及功能关系 (4)
- § 1—4 直流电机的结构 (6)
- § 1—5 电枢绕组的概念 (8)
- § 1—6 直流电机的电枢电动势 (12)
- § 1—7 直流电机的电磁转矩及电磁功率 (13)
- § 1—8 电枢反应及其对电机性能的影响 (15)
- § 1—9 引起火花换向的其他原因及改善换向的方法 (17)
- § 1—10 直流发电机按激磁方法分类 (19)
- § 1—11 他激发电机 (22)
- § 1—12 并激发电机 (25)
- § 1—13 复激发电机 (29)
- § 1—14 直流发电机的并联运用 (31)
- § 1—15 直流电动机的工作分析 (33)
- § 1—16 直流电动机的特性 (35)
- § 1—17 直流电动机的启动 (41)
- § 1—18 直流电动机的调速 (43)
- § 1—19 直流伺服电动机 (44)
- § 1—20 直流电机的损耗与效率 (47)

第二章 变压器

- § 2—1 概述 (49)
- § 2—2 变压器的空载情况 (52)
- § 2—3 变压器的负载情况 (56)

§ 2-4	变压器的电压变化、损失和效率	(63)
§ 2-5	变压器的空载与短路试验	(66)
§ 2-6	特殊变压器简介	(68)
§ 2-7	三相变压器	(74)
§ 2-8	变压器的相数变换	(80)
§ 2-9	变压器的并联运用	(82)
§ 2-10	小容量电源变压器设计	(84)

第三章 感应电动机

§ 3-1	概述	(91)
§ 3-2	感应电动机工作原理及构造	(92)
§ 3-3	定子绕组与旋转磁场	(95)
§ 3-4	转子绕组	(101)
§ 3-5	定子与转子电路的分析	(102)
§ 3-6	感应电动机的转矩	(108)
§ 3-7	感应电动机转矩—转差率曲线分析	(110)
§ 3-8	感应电动机的启动及调速	(114)
§ 3-9	感应电动机的功率因数、损耗和效率	(119)
§ 3-10	感应调压器及移相器	(121)
§ 3-11	单相感应电动机	(122)
§ 3-12	交流伺服电动机	(127)
§ 3-13	自整角电机	(129)

第四章 同步电机及特殊电机

§ 4-1	概述	(131)
§ 4-2	同步电机的作用原理及构造	(131)
§ 4-3	同步电机的电枢反应	(135)
§ 4-4	同步发电机的特性曲线	(137)
§ 4-5	同步电动机	(139)
§ 4-6	特殊电机概述	(143)
§ 4-7	电机的选择与维护	(145)
§ 4-8	电机的一般故障的鉴别和处理方法	(150)

第五章 整流和滤波

- § 5-1 概述 (157)
- § 5-2 容性负载整流器的分析和计算 (162)
- § 5-3 电感性负载整流器的分析和计算 (181)
- § 5-4 平滑滤波器的计算 (195)
- § 5-5 小功率整流器的设计 (209)
- § 5-6 可控整流器概念 (216)

第六章 稳压器

- § 6-1 概述 (220)
- § 6-2 参数式稳压器 (222)
- § 6-3 补偿式稳压器 (233)

第七章 磁放大器

- § 7-1 概述 (254)
- § 7-2 无反馈的磁放大器 (258)
- § 7-3 带有偏移线圈的磁放大器 (267)
- § 7-4 推挽式磁放大器 (268)
- § 7-5 带有反馈线圈的磁放大器 (273)
- § 7-6 当作继电器用的磁放大器 (284)
- § 7-7 磁放大器的一些应用 (286)

第八章 蓄电池

- § 8-1 概述 (287)
- § 8-2 铅蓄电池双硫酸化理论 (288)
- § 8-3 铅蓄电池的构造 (290)
- § 8-4 铅蓄电池的特性 (296)
- § 8-5 铅蓄电池的各种充放电方式 (303)
- § 8-6 蓄电池的运行方式 (306)
- § 8-7 蓄电池组端电压之调整 (308)
- § 8-8 蓄电池及换流设备的容量计算 (310)
- § 8-9 蓄电池室 (314)
- § 8-10 关于蓄电池经常维护的一般性规定 (317)
- § 8-11 铅蓄电池的主要故障及处理方法 (318)

第九章 配电系統

- § 9-1 概述 (323)
- § 9-2 有綫通信企业之供电系統 (331)
- § 9-3 无綫通信企业之供电系統 (333)
- § 9-4 控制、閉鎖与信号系統 (335)

附 录

- 附表1. 几种壳式鉄心主要参考数据表 (346)
- 附表2. 中国綫規 (347)
- 附表3. 二极整流管及双二极整流管的主要电气参数 (348)
- 附表4. 充气整流管的主要电气参数 (349)
- 附表5. 閘流管的主要电气参数 (350)
- 附表6. 国产硒整流片規格 (351)
- 附表7. 鍺二极管的主要电气参数 (352)
- 附表8. 充气稳压管的主要数据 (353)
- 附表9. 稳流管的主要数据 (353)
- 附表10. 整流电路計算簡化公式表 (354)
- 附表11. 我国邮电企业、电报、市内电话、长途电话、无綫通信等专用电源设备要求的一般数据 (356)
- 附表12. KQ型蓄电池規格表 (357)
- 附表13. 1K, 2K, 4K型蓄电池規格表 (358)
- 常用符号表 (361)
- 参考书目 (364)

第一章 直流电机

§ 1—1 概 述

电机是工业企业电气化中的主要环节之一。早在1838年B.C.耶可比創造和发明了世界上第一台雛形直流电动机,用以驅动小舟,此为电机运用的开始。自从1889年M.O.多里沃—多勃罗沃利斯基发明了三相电流电机和異步电动机,为工业电气化奠定了可靠的基础。在电信技术中、某些工业(如电化工业)及运输、电力曳引等方面仍然需要直流发电机作为电信设备及化工、动力机械等工作的直流电源。直流电动机虽然較感应电动机結構复杂且价格昂貴,然而它有良好的調速特性和起动特性,这是感应电动机所不及的。所以在我们学习电信企业动力設備課程时,首先仍有学习直流电机的必要。

解放前,我国的电机制造工业基础十分薄弱,主要是修理和仿造一些小型电机,直流电机仅能制造40千瓦以下的。解放后,在党和政府的正确领导下,电机制造工业和其他工业一样获得了飞跃的发展,在第一个五年計劃內,电机方面完成的新产品达数千种。現在已經制成4650千瓦的軋鋼机用的直流电动机,小型的一般直流电机,从0.25—200千瓦也都能生产,基本上滿足了国家需要。其他特种直流电机,如功率放大机(9MJ),电解用直流发电机,起重及冶金用直流电动机,曳引直流电动机等,均已生产,供应建設需要。第二个五年計劃期間,电机制造工业和其他机器制造工业一样将获得更大的发展,可以基本上滿足冶炼,軋鋼,化工,矿井提升,交通运输及邮电等方面的要求。

§ 1—2 直流电机的工作原理

直流电机的作用原理,象所有的电机一样,亦是建立在电磁感

应定律和载流导体同磁场相互作用的基础上的。将机械能转变为直流电能的电机，称为**直流发电机**，反之，将直流电能转变为机械能的电机，称为**直流电动机**。

首先，我们来讨论直流发电机的基本作用原理。图1—1表示直流发电机最简单的原理图。在两个固定磁极N、S之间，有一圆柱形铁心，其上装有绕组（线圈） $ab-cd$ ，线圈的两端分别与相互绝缘的两铜片相連，这种铜片称为**换向片**或**整流片**。于是，当铁心旋轉时，线圈和换向片能同时旋轉。两个在空间静止的电刷A与B，压紧在两个换向片上，它们分别与外电路连接（如图1—1所示）。

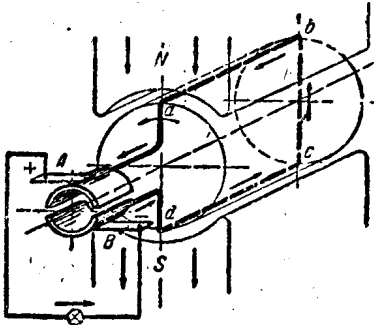


图 1—1 直流发电机的工作原理图

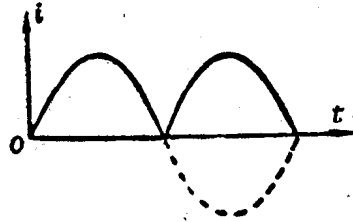


图 1—2 换向后的电流

当电机的线圈被原动机（例如汽轮机）带动，以等速 n 按反时针方向旋轉时，导体 $ab-cd$ 切割磁力线而产生感应电势，感应电势的方向可按右手定则决定。显然，当导体从N极轉入S极时（或从S极轉入N极时），其中感应电势的方向将改变，线圈旋轉一周，电势变换方向两次，所以在线圈 $ab-cd$ 中仍然感应交变电势。但是由于每一电刷仅和与一定磁极下的导体相连接的换向片接触，而轉至一定磁极下的导体的电势方向永远是不变的，因之外电路中的电流永远向一个方向流动，即自电刷A通过负载，流入电刷B。这样，在线圈 $ab-cd$ 中感应的交流电流，在外电路中已换向为**脉动电流**（图1—2）。

在发电机情况下，电刷A向外电路引出电流，是为**正极(+)**，

由刷 B 則向电机引入电流，是为**负极(-)**(图1-1)。

图1-2所示脉动电势在最大值与零之間变化，具有显著的波动性，不能滿足生产的要求。若在图1-1的基础上，另加一在空間位置上与原綫圈相差 90° 的另一綫圈，則电势的脉动程度将大为减小(如图1-3所示的包絡綫)。

在实际用的电机中，是将綫圈及相应的换向片数加多，如此則电势的脉动情况将进一步获得改善。計算表明，若每极下有八片换向片时，电刷間电压的脉动程度将不超过平均电压的1%，因此，流經外电路的电流实际上可以認為是一恒定直流。

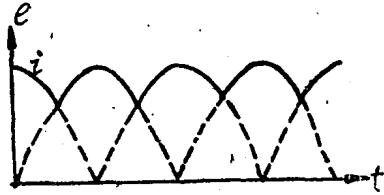


图 1-3 电势脉动的改善

上面讲的是直流发电机的工作原理，这是直流电机将机械能变为电能的一种运行情况。其次，我們来研究直流电动机的工作原理。电动机的原理是基于磁場和电流間的相互作用。仍如图1-1所示的电机結構，如果現在作用于电机的不是使綫圈旋轉的机械能，

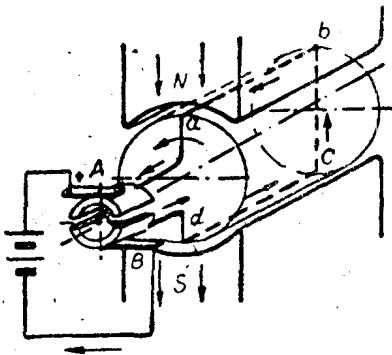


图 1-4 直流电动机的工作原理图

而是一直流电源(如蓄電池)的电能，若将蓄電池的正极接至A电刷，负极接至B电刷(图1-4)，于是在电机綫圈ab-cd中便有电流流过，其方向和上述发电机情况下的方向相反。此载流导体在磁場中将要受到磁力的作用，根据左手定則，此力所产生的轉矩(为反时针方向)，

它使綫圈通过轉軸带动其他机械負載而旋轉。

当綫圈旋轉时，各导体依次經過每一磁极。为使产生的力矩方向不变，必須使任何导体轉至某一定极性的磁极下具有恒定方向的

电流。这是直流电动机的换向片所起的作用，当每一导体从一磁极下转至另一磁极下时，与它相连接的换向片便与另一极性的电刷相接触，这样保证了转至一定极性的磁极下的导体恒具有某一定方向的电流。因而线圈将沿某一方向以一定速率而旋转。此时直流电机即作为一电动机工作，将作用于电机的电能转变为机械能。

§ 1—3 直流电机的可逆原理及功能关系

当导体受到外加机械力的作用在磁场中运动而切割磁力线时，导体中便产生感应电势，若将此导体和外电路接成闭合回路，那末在导体中将产生感应电流。而且由于磁场与载流导体的相互作用，在该导体上除机械力外，还将受到电磁力的作用。

或者当导体受到外加电压的作用，导体中便有电流流过，此载流导体在磁场内受到电磁力的作用而运动时，由于导体切割磁力线的结果，因而在导体内也产生感应电势。

俄国学者楞次综合了电磁现象，指出电磁感应定律与电磁力效应间的密切关系，确定了电机本质上的可逆原理。

根据电机的可逆原理，正象§ 1—2所述同一直流电机可以作为发电机运用，也可以作为电动机运用。现在我们用功率的形式来进行分析。

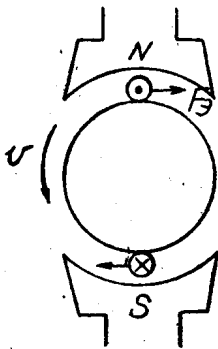


图 1—5 发电机的作用原理图

(一)发电机运用情况：当电机线圈被原动机带动，它的圆周速度为 v ，在磁感应强度为 B 的磁场中等速旋转时，那末在线圈导体中将产生一感应电势 E ，

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

式中 l 为导体的有效长度。

若将线圈和外电路接通，那末导体中便有电流流过，如图 1—5 所示（图 1—5 是图 1—1 的垂直于转轴的纵切面图）。于是电流和磁场作用而产生电磁力 F ，

$$F_s = BIl \quad (1-2)$$

电磁力 F_s 的方向(左手定则决定)与原动机的机械力的方向(线圈的旋转方向)相反,所以此电磁力 F_s 有制动的作用。

如果要使发电机的电枢能继续以等圆周速度旋转,以保证电功率的不断输出,那末原动机的机械力 F 就必须和这个电磁力大小相等而方向相反,即 $F_s = F$,于是输入发电机的机械功率便转换为等量的电功率,即

$$Fv = F_s v = (BIl)v = (Blv)I = EI, \quad (1-3)$$

式中 EI 为由机械功率 Fv 转换成的电磁功率,它消耗在外电路的负载电阻(R)和线圈的内电阻(r_a)上,即

$$EI = I^2 R + I^2 r_a = UI + I^2 r_a. \quad (1-4)$$

将方程式两边除以 I ,可得发电机运用情况下的电势平衡方程式

$$E = U + Ir_a, \quad (1-5)$$

式中 E 为发电机的感应电势; EI 为发电机的电磁功率; U 为发电机的端电压; UI 是从发电机电刷两端得到的电功率; Ir_a 为内电阻上的电压降落; $I^2 r_a$ 为发电机内电阻上消耗之电功率。

(二)电动机运用情况:若将电刷接至直流电源,例如蓄电池两端,从而有电流通过导体如图1-6。电机转子即带动机械负载以某圆周速度 v 旋转。此时线圈导体在电机磁场中运动,也和发电机情况相似,其中产生感应电势($E = Blv$),此电势方向(以右手定则决定)与外加电压方向相反,所以这个电势称为反电势。于是得电动机运用时的电势平衡方程式

$$U = E + Ir_a. \quad (1-6)$$

将方程式两边乘以 I ,可得:

$$UI = EI + I^2 r_a, \quad (1-7)$$

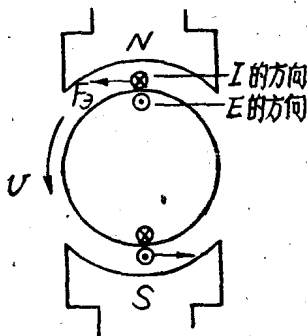


图 1-6 电动机的作用原理图

式中 UI 是供电线输入电动机的电功率； $I^2 r_a$ 是线圈内电阻上损耗的电功率； EI 是转换成机械功率的电功率。

这时， $EI = (Blv)I = (BI)Iv = F_a v$ 。 (1-8)

总结以上情况，一直流电机既可以输入机械功率（能量）而输出电功率（能量），作为发电机运用；也可以输入电功率（能量）而输出机械功率（能量），作为电动机运用。

§ 1-4 直流电机的结构

根据上面讲到的电机的工作原理，可以想见一台实际的直流电机应分为二个主要部分。一为用以产生磁场的静止部分，通称**定子**。一为用以转换能量的转动的绕组部分，通称为**电枢**。两部分之间具有一定大小的空气隙。图1-7是直流电机的主要部件拆散后的形状。

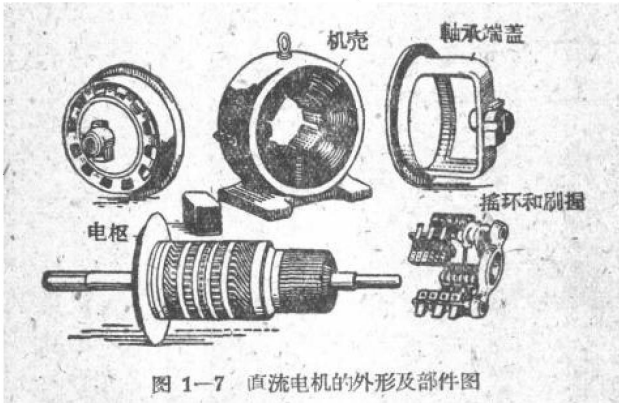


图 1-7 直流电机的外形及部件图

直流电机的静止部分由下列部件组成：

(1) **主磁极**：用以产生磁通。由具有一定形状的**铁心**—普通用 0.5—1 毫米的**硅钢片**迭成和套于其上的**激磁线圈**组成。铁心靠近电枢一端有一**极掌**（图1-8）它使磁极下磁通分佈平滑，和用来支持激磁线圈。

(2) **换向磁极**（图1-9）：用以改善换向。结构与主磁极相

似，由鉄心和繞于其上的綫圈組成，換向磁极裝于主磁极間中央。

(3)机座：用以固定主磁极及換向磁极，并借它构成閉合磁路，通常由鑄鉄或鋼作成。如果电机容量不很大时，則用以支持电樞的裝有軸承的端盖也裝于机座上。

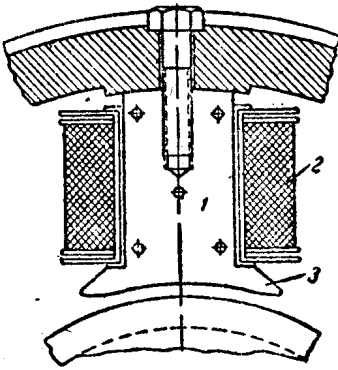


图 1-8 主磁极

1—鉄心，2—激磁綫圈，3—极掌

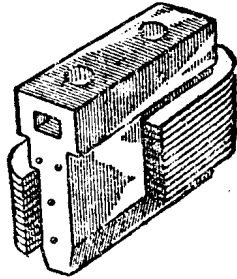


图 1-9 換向磁极

直流电机的旋轉部分由下列部件組成：

(1)电樞鉄心：用以嵌裝电樞繞組减低磁路的磁阻。通常由厚0.5毫米有槽的硅鋼片迭合組成（图1—10）。

(2)电樞繞組：用以变換能量。由許多导綫綫匝依一定方式繞成，裝于电樞槽內。具体繞制方式將于§ 1—5中讲述。

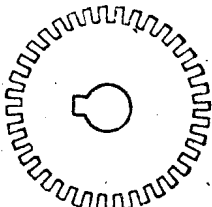


图 1-10 电樞冲片

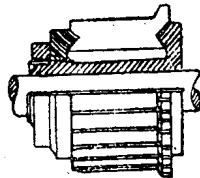


图 1-11 換向器

(3)換向器：換向器与电樞鉄心相連，由許多楔形銅片組成，片与片間用云母互相絕緣，銅片与电樞鋼軸間亦以云母相互絕緣

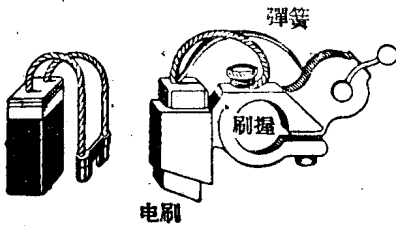


图 1-12 电刷及刷握

(图1-11)。

在换向器面上的适当位置放有电刷，电刷由石墨或金属石墨作成柱状体，装于刷握内，并用弹簧紧压在换向器上(图1-12)。刷握装在绝缘良好的摇环上。转动

摇环可调整电刷在换向器上的位置。

小容量电机的空气隙宽度为1—3毫米，大容量电机则达到10—12毫米。气隙的大小对电机性能和工作的影响甚大。

§ 1-5 电枢绕组的概念

为了获得一定大小的电势，电枢绕组总是由许多导线和相应数目的换向片以一定联接方式组成。通常绕组的绕制形式分为迭绕及波绕两种类型。

不论那一种形式的绕组，构成绕组的基本单元称为绕组元件。图1-13是迭绕组和波绕组的单匝元件和多匝元件的形状。

每一绕组元件的两端分别接至两个相邻的(迭绕)或不相邻的(波绕)换向片上。并且由于在绕制时各元件是相互串联的，所以构成电枢绕组的元件数等于换向片数。

每一绕组元件两侧的导线称为有效边，即每一绕组元件有两个有效边。为了使两个有效边的电势相加起见，两个有效边总是分

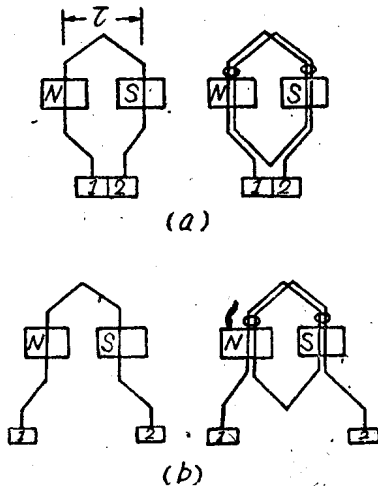


图 1-13 (a)迭绕组；(b)波绕组

别位于两异性磁极下，而且为了获得较大的感应电势，两有效边间

的距离总是大约等于一个极距（两个相邻磁极的轴綫沿电樞圆周的弧綫距离）。

$$\tau = \frac{\pi D}{2p}, \quad (1-9)$$

式中 τ 为极距；

D 为电樞的直径；

p 为磁极对数；

另外，由于制造上的原因，直流电机的繞組多作成双层繞組。每一电樞槽內放置两层，上层为一个繞組元件的一个有效边，下层为另一繞組元件的一个有效边。因此，可以想見，电樞鉄心的槽数等于繞組的元件数（某些大型电机，当一槽內放置数个元件的有效边时除外）。此外，因为各繞組元件彼此互相串接，所以直流电机的电樞繞組本身自成一閉合回路。

下面通过一个繞組实例来具体說明繞組的繞制方法。图 1—14 是一个具有六个元件的迭繞的电樞繞組接綫图。相应地，电樞鉄心共有六个槽和六片換向片。其繞制順序如下：若繞組由換向器片 1 起經槽 1 的上层（第一元件的第一有效边 1）至槽 4 的下层（第一元件的第二有效边 1'），然后回到相邻的換向片 2，此为第一元件。接着經槽 2 的上层（第二元件的第一有效边 2）至槽 5 的下层（第二元件的第二有效边 2'）回至下一換向片 3，此为第二元件。以此类推，直至最后由換向片 6 起，經槽 6 的上层（第六元件的第一有效边 6）至槽 3 的下层（第六元件的第二有效边 6'）而后回到开始时出发的換向片 1 上。繞組自成一閉合回路。

假如电樞以順时針方向旋轉，則在 N 极下导綫中的感应电势方向由外向里，以符号“ \times ”表示在 S 极下导綫中的感应电势是由里向外，以符号“ \cdot ”表示。

为了使电樞繞組电路看得清晰起見，图 1—15 画出了图 1—14 电路的簡示图。由該图中可清楚看到，与外电路連接的一对电刷 A 、 B ，在图示的瞬时正与換向片 1、4 相接触，这样就将电樞繞組所

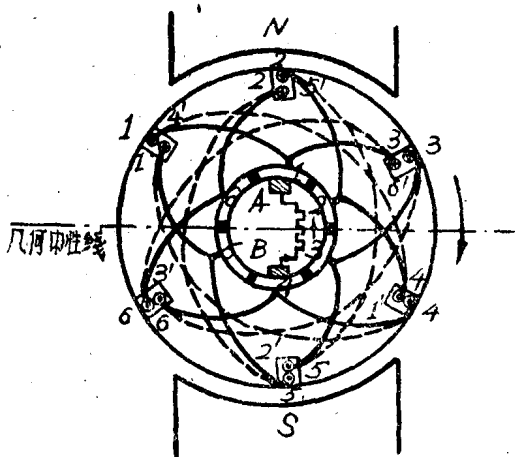


图 1-14 具有六个绕组元件的迭绕组接线图

此外从图中也可以看出，无论电枢旋转至任何位置，电刷 AB 间分支电路中的元件数（或导线数）总是相等而对称的，因此任何瞬间二分支电路中的电势大小是相等的，电机电刷间的电势就等于每一分支电路中各串联元件导体中感应电势的总和。

设电枢绕组每一支路电流为 i_a ，则电枢绕组输出的总电流 $I_a = 2i_a$ ，对于电枢绕组支路对数为 a 的电机而言，则输出总电流

$$I_a = 2ai_a \quad (1-11)$$

由于位于 N 极下面的导线感应电势方向总是不变的（由外向里），位于 S 极下面的导线感应电势方向亦总是不变的（由里向

外）有元件由电刷分接成一具有二个分支的并联电路，其中每一分支由 3 个元件串联组成。我们说此电枢支路对数为一对，即与磁极对数是相等的。对于具有 p 对磁极的电机来说，若设 a 为电枢绕组的支路对数，则

$$a = p \quad (1-10)$$

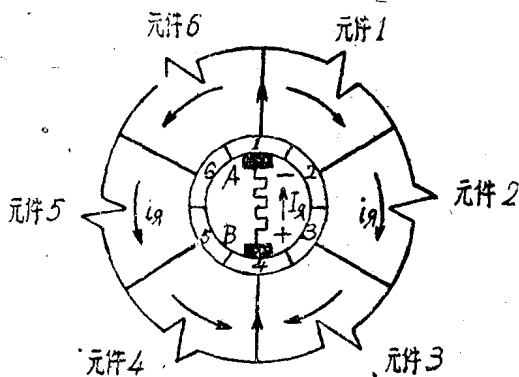


图 1-15 绕组简示图