

中等专业学校教学用书

电机学习题解答

· 宫淑华 主编

煤炭工业出版社

内 容 简 介

《电机学习题解答》是与煤炭工业出版社出版的中等专业学校教材《电机学》配套使用的教学用书。全书共分五篇，即直流电机、变压器、异步电机、同步电机和其它用途电机。每篇后有附录，列有实际应用题和综合题。

本书可作为中等专业学校讲授《电机学》课程的教学用书，也可供有关专业的师生和工程技术人员、工人参考。

责任编辑：周 亮 一

中 等 专 业 学 校 教 学 用 书 电 机 学 习 题 解 答

宫 淑 华 主 编

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外大街北口21号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本787×1092mm¹/₁₆ 印张11⁵/₈

字数275千字 印数1—3,780

1989年5月第1版 1989年5月第1次印刷

ISBN 7-5020-0252-9/TD·241

书号 3092

定价 2.25元

前 言

本书是与煤炭工业出版社出版的中等专业学校教材《电机学》配套使用的教学用书。书中的章节顺序与该教材完全一致。为了使习题解比较完善,对于教材中重复的或相近似的内容,作了删减或调整,对于欠缺的内容作了适当的增补。在编写中考虑到以下几点:

1. 各章开始编有内容提要(包括基本内容和基本公式),便于读者自学;
2. 对于较复杂的题,解题步骤较为详细,有的题有几种解法,供读者开阔思路,学会解题技巧;
3. 列有复习对比题,把前后知识贯穿在一起,便于读者分清容易混淆的问题,以培养其概括总结能力;
4. 附录中列有一些实际应用题和综合计算题,作为教材的补充,这些题有的较复杂,有的概念性较强,有的与实际紧密结合,可以加深读者对理论的理解,培养其分析解决问题的能力。

本书由陕西煤炭工业学校宫淑华主编,蔡斌和杨健康参加编写。清华大学电机系严烈通副教授审阅了全书,提出了宝贵的意见。此外,在编写过程中,还得到本校普电教研组同志们的关心和支持,在此表示衷心的感谢。由于我们的水平有限,解答错误之处,欢迎读者批评指正。

编 者

1987年5月

目 录

第一篇 直流电机

第一章 直流电机的基本原理与基本结构	1
第二章 直流电机的电枢绕组	5
第三章 直流电机的电枢反应与换向	15
第四章 直流发电机	19
第五章 直流电动机	29
附录一	46

第二篇 变 压 器

第六章 变压器的用途、分类与基本结构	53
第七章 变压器的基本原理	55
第八章 变压器运行状态的分析	58
第九章 变压器的工作特性	75
第十章 三相变压器	80
第十一章 特种变压器	88
附录二	93

第三篇 异步电机

第十二章 异步电机的用途、分类与基本结构	97
第十三章 异步电动机的基本原理	99
第十四章 三相交流绕组	103
第十五章 异步电动机运行状态的分析	108
第十六章 异步电动机的功率、转矩平衡关系	117
第十七章 异步电动机的 $M-s$ 曲线与机械特性曲线	122
第十八章 异步电动机的工作特性与圆图	133
第十九章 异步电动机的起动、调速与反转	135
附录三	148

第四篇 同 步 电 机

第二十章 同步电机的基本结构原理	157
第二十一章 同步电动机的运行特性与起动	162
附录四	169

第五篇 其它用途的电机

第二十二章 单相异步电动机	174
第二十三章 控制电机	176
附录五	178
附录六	180

第一篇 直流电机

第一章 直流电机的基本原理与基本结构

内 容 提 要

直流电机分发电机和电动机两种运行状态，它们都是根据电磁感应原理和电磁力的原理而工作的，具有可逆性。

直流电机的结构分为定子和转子两大部分。定子的主要部件是主磁极，它是由磁极钢芯和激磁绕组组成，作用是产生主磁通；转子主要由电枢和换向器组成，它们同装在一个轴上。电枢由电枢钢芯和电枢绕组组成，换向器主要是由许多彼此绝缘的换向铜片组成，电枢绕组的作用是产生感应电势和电磁转矩，传递电磁功率，进行能量转换。换向器的作用是变换交直流，也是直流电机的特有部件。此外，还有固定不动的电刷装置，靠电刷将电枢电路与外电路接通，电枢绕组内部感应电势是交变的，电刷与换向器接触，电刷之间的电压是直流电。

直流电机可按激磁方式的不同分为他激磁和自激磁，自激磁的电机又可分为串激、并激、复激三种。各种直流电机均有铭牌，铭牌上标有型号、额定数据，有的额定数据对于发电机和电动机具有不同的意义，运行时应当注意，如：电动机的额定功率是指额定输出机械功率，额定电压是指加在电动机两端的电源电压，额定电流是指输入电流；发电机的额定功率是指额定输出电功率，额定电压是指供给负载的电压，额定电流是指输出电流。

以上额定数据之间的关系是：

发电机

$$P_N = U_N I_N$$

电动机

$$P_N = U_N I_N \eta_N$$

式中 η_N ——额定效率。

例 题

例1 有一台Z₂型直流发电机，其额定功率 $P_N = 145\text{kW}$ ，额定电压 $U_N = 230\text{V}$ ，额定效率 $\eta_N = 89\%$ ，试求发电机的额定电流和额定输入功率。

解：发电机的额定电流

$$I_N = \frac{P_N}{U_N} = \frac{145 \times 10^3}{230} = 630.4\text{A}$$

发电机的额定输入功率

$$P_1 = \frac{P_N}{\eta_N} = \frac{145}{0.89} = 162.9\text{kW}$$

例2 有一台Z₂型直流电动机，其额定功率 $P_N = 7.5\text{kW}$ ，额定电压 $U_N = 110\text{V}$ ，额定效率 $\eta_N = 82.9\%$ ，求电动机的额定电流。

解：电动机的额定输入功率

$$P_1 = \frac{P_N}{\eta_N} = \frac{7.5 \times 10^3}{0.829} = 9.04\text{kW}$$

电动机的额定电流

$$I_N = \frac{P_1}{U_N} = \frac{9.04 \times 10^3}{110} = 82.2 \text{ A}$$

思考题

1. 直流发电机与交流发电机相比, 有哪些相同之处与不同之处?

答: 在结构方面, 直流发电机与交流发电机的相同之处是: 它们都有固定的磁极、旋转的电枢、轴、电刷; 不同之处是: 直流发电机的电枢绕组接在换向器上, 换向器与电刷接触将电枢绕组与外电路接通。而交流发电机的电枢绕组接在彼此绝缘的铜环上, 铜环与电刷接触, 将电流引至外电路。从原理上讲, 以上两种发电机都是根据电磁原理工作的, 在电枢绕组内部感应电势都是交变的, 但电刷引出的电压, 则一个是交流电, 另一个是直流电。

2. 直流发电机中脉动电势是怎样产生的?

答: 如图1-1所示, 设N极在右, S极在左(图中未出现), 当电枢反时针旋转时, 电刷A始终和经过N极面下的导线相连, 电刷B始终和经过S极面下的导线相连, 因此, 电刷A、B间的电势方向不变(从B→A), 仅大小改变, 是一个脉动电势。

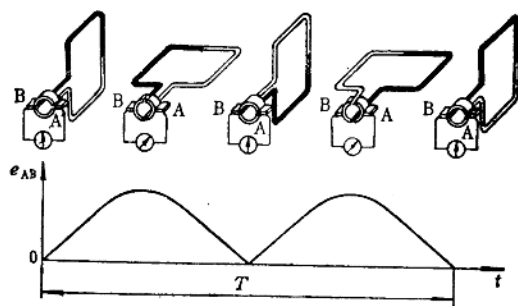


图 1-1 一个线圈中的脉动电势

3. 直流电动机中的换向器与直流发电机中的换向器所起的作用有何不同?

答: 直流发电机中的换向器是将电枢绕组中的交流电变为直流电, 而直流电动机中的换向器是把电源供给的直流电变为交流电流入电枢绕组, 使电枢绕组中产生一个方向不变的电磁转矩。

4. 直流电动机为什么能够产生一个恒定方向的电磁转矩?

答: 要使直流电动机的电枢上产生一个恒定方向的电磁转矩, 必须使任何时刻电枢导体上所受的电磁力产生的电磁力矩的方向一致。为此, 电枢每根导体经过N极面下所流过的电流, 与经过S极面下所流过的电流方向应当相反, 每根导体受力所产生的电磁力矩的方向才能一致。电动机中的换向器将外电路的直流电变为交流电, 就能够保证电枢导体中电流方向的改变。

5. 默想一台直流电机各主要部件的形状和作用。

答: 直流电机的主要部件有定子和转子两大部分, 定子由机座(磁轭)、主磁极、换

向极、端盖、轴承等组成，其作用是用来产生主磁场和作为电机的机械支撑。转子由电枢和换向器组成，装在同一个轴上，电枢包括电枢绕组和电枢铁芯，电枢的作用是产生感应电势和电磁转矩；换向器是由许多换向片组成，作用是变换交直流电。在定子端盖的一端装有电刷，将电枢绕组与外电路接通。直流电机各主要部件的形状如图1-2所示。

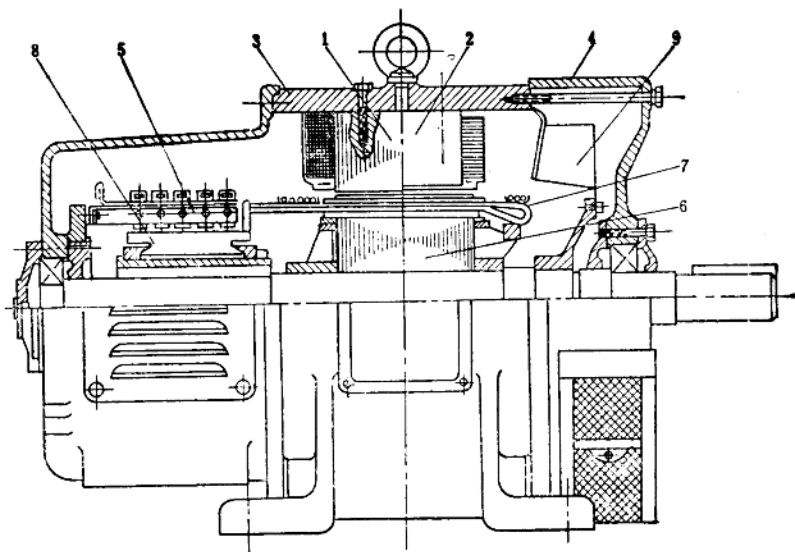


图 1-2 直流电机主要部件

1—主磁极；2—换向极；3—机座；4—端盖；5—电刷装置；6—电枢铁芯；7—电枢绕组；
8—换向器；9—风扇

6. 为什么电枢铁芯用硅钢片叠成，而磁极铁芯用整块铸钢？

答：直流电机的气隙磁通是由主磁极磁势和电枢磁势二者的合成磁势建立的，当电枢铁芯在此磁场中旋转时，穿过铁芯的磁通将不断变化，于是在电枢铁芯中产生磁滞涡流损耗，为了减少这种损耗，故电枢铁芯用0.5mm厚的硅钢片叠成。在主磁极的铁芯中主要通过的是恒定不变的磁通，故可用0.5~1.5mm厚的低碳钢板冲成一定的形状叠在一起，小型电机也有的用整块铸钢。

7. 铭牌上的额定功率指的是什么功率？

答：直流电机铭牌上标的功率是额定输出功率，对于发电机是额定输出电功率，对于电动机则是额定输出机械功率。

8. 直流电机在改变运行方式时，为什么需要对调串激绕组的出线端？

答：在复激电机中，主磁极上装有串激绕组和并激绕组，如图1-3所示，不论作为发电机还是作为电动机运行，这两个激磁绕组产生的磁通方向应当相同，且都与剩磁通的方向一致。也就是说电机在改变运行方式时，两个激磁绕组中的电流方向都不应当改变，在图中，并激绕组中的电流方向从 F_2 流向 F_1 ，串激绕组中的电流方向从 C_2 流向 C_1 。

9. 直流电机由哪几部分组成？基本部分的材料与作用是什么？

答：见题5和题6。

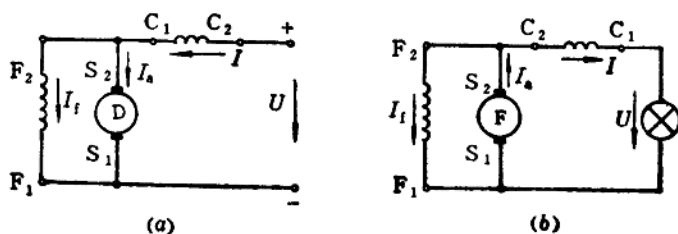


图 1-3 复激直流电机的接线

a—电动机, b—发电机

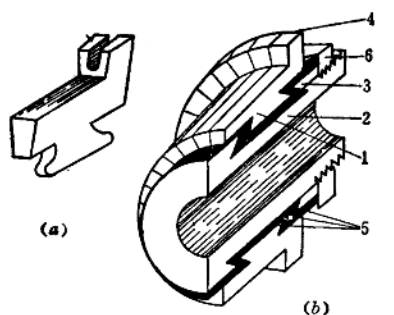


图 1-4 换向器结构

1—换向片; 2—套筒; 3—V形环; 4—片间云母;
5—云母; 6—螺帽

10. 直流电机中换向器的结构和作用?

答: 直流电机中换向器的作用见题 3。

换向器是由许多带燕尾形的换向片叠成, 相邻的两个换向片之间用云母绝缘。所有换向片都被嵌入金属套筒后压紧, 换向片与套筒之间也用云母绝缘。每个换向片的尾端凸起部分有一个小槽, 电枢绕组元件的出线端就焊接在这个小槽内, 如图1-4a所示。图1-4b为拱形换向器, 结构较复杂, 用铜量较多, 现在小型直流电机采用塑料压制的换向器, 可节省金属材料, 并简化制造工艺。

11. 直流电机铭牌数据的含意是什么? 直流电机有哪些主要系列?

答: 根据国家标准, 直流电机铭牌上的额定数据有:

额定功率 指发电机的额定输出电功率, 或电动机的额定输出机械功率。

额定电压 指发电机供给负载的额定电压, 或电动机的额定电源电压。

额定电流 指发电机带额定负载时的输出电流, 或电动机带额定机械负载时的输入电流。

额定转速 指电机在额定条件下运行的转速。

国产直流电机的种类很多, 主要的产品系列有: Z_2 系列是普通用途的中、小型直流电机; ZD 、 ZF 系列属于大、中型直流电机; 此外还有特殊用途的直流电机如 ZZ 、 ZZK 、 ZZY 系列用于起重、冶金工业中; ZC 系列是充电用的发电机; ZLC 系列作励磁机用等。

12. 直流电机按激磁方式分类有哪几种?

答: 直流电机按激磁方式不同分为他激和自激两大类, 如图1-5所示。他激电机的激磁电流由另外一个电源供给; 自激电机的激磁绕组与电枢绕组连接在一起, 作为发电机, 激磁电流由发电机自己供给, 作为电动机, 激磁电流和电枢电流来自同一个电源。自激电机按激磁绕组的连接方式又可分为串激、并激和复激三种, 接线图见图1-5, 串激电机的激磁绕组与电枢绕组串联; 并激电机的激磁绕组与电枢绕组并联; 复激电机的激磁绕组有两个, 一个与电枢绕组串联, 另一个与电枢绕组并联。

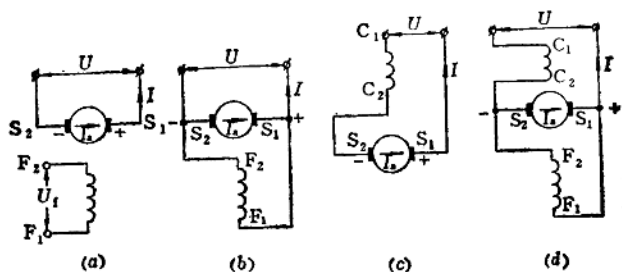


图 1-5 直流电机分类
a—他激；b—并激；c—串激；d—复激

第二章 直流电机的电枢绕组

内 容 提 要

电枢绕组是产生感应电势和电磁转矩实现机-电能量转换的关键部件之一。

直流电机的电枢绕组是用许多线圈(称为绕组元件)按照一定的规律连接而成,绕组元件的两个有效边嵌放在电枢钢芯的两个槽内,每槽分上下两层,层间绝缘,称为双层绕组。电枢绕组的种类很多,按照绕组元件的连接规律不同,有双层单叠绕组和双层单波绕组。不论哪一种绕组,它们的绕组元件都是通过换向器连成一个闭合回路,然后由电刷将它们又分成若干条并联支路的。从图2-1中a和b可以看出单叠和单波绕组的节距和特点。

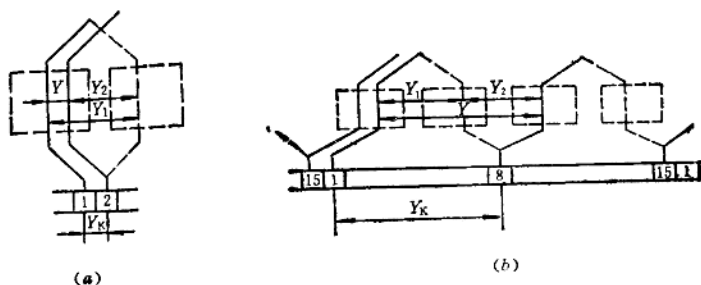


图 2-1 单叠绕组和单波绕组的元件
a—单叠绕组；b—单波绕组

单叠绕组:

第一节距

$$Y_1 = \frac{Z_u}{2p} \mp \varepsilon$$

式中 ε ——使 Y_1 凑为整数的常数;

$\frac{Z_u}{2p}$ ——极距 τ 。

第二节距

$$Y_2 = Y_1 \mp Y$$

式中 Y ——合成节距, 在单叠绕组中 $Y = 1$ 。

换向器节距 $Y_k = Y = 1$

特点: (1) 磁极数等于并联支路数 (即 $2p = 2a$)。

(2) 电刷数等于磁极数 (即 $2b = 2p$)。

单波绕组:

第一节距 $Y_1 = \frac{Z_u}{2p} \mp e$

第二节距 $Y_2 = Y - Y_1$

换向节距 $Y_k = \frac{K \mp 1}{p}$

合成节距 $Y = Y_k$

特点: (1) 不论磁极数有多少, 并联支路数始终等于2 (即 $2a = 2$)。

(2) 电刷数与并联支路数相等, 但为了减少换向器的轴向长度, 电刷数仍与极数相等。

电枢绕组中的感应电势和电磁转矩:

$$E_a = \frac{pN}{60a} \phi n = C_e \phi n$$

$$M = \frac{pN}{2\pi a} \phi I_a = C_m \phi I_a$$

式中 N ——电枢绕组导线根数;

ϕ ——每极主磁通;

n ——转速;

I_a ——电枢电流;

a ——电枢绕组的并联支路对数;

p ——磁极对数;

C_e ——电势常数;

C_m ——转矩常数。

例 题

例1 有一台两极直流电机, 电枢绕组共有312根导线, 电刷之间组成两条并联支路, 每极磁通为0.018Wb。求电枢电流为10A时, 电磁转矩是多少?

解: 已知 $N = 312$, $a = 1$, $p = 1$, $I_a = 10\text{A}$, $\phi = 0.018\text{Wb}$

电磁转矩

$$M = \frac{pN}{2\pi a} \phi I_a = \frac{312 \times 1}{2\pi \times 1} \times 0.018 \times 10 = 8.94\text{N}\cdot\text{m}$$

例2 在例1中, 又知电机的转速为1200r/min, 求电枢电势是多少?

解: 又知转速 $n = 1200\text{r/min}$

电枢电势

$$E_a = \frac{pN}{60a} \phi n = \frac{312 \times 1}{60 \times 1} \times 0.018 \times 1200 = 112\text{V}$$

思 考 题

1. 为什么直流电机的电枢绕组必须采用闭合绕组?

答：直流电机的电枢电流存在换向问题，电枢绕组元件通过换向器连成一个闭合电路后，再通过电刷与外电路接通。如果将电枢绕组的出线端不通过换向器直接引至外电路，电流将不能换向，直流电机也就不能工作。

2. 为什么直流电机的电枢绕组至少要有两条并联支路？

答：因为电枢绕组自成闭合电路，且闭合电路内电势总和为零。为了与外电路构成一个回路，至少应装配一对电刷，从电刷看进去，电枢绕组至少应有两条并联支路。不同型式电枢绕组，其主要差别就是并联支路数不同，并且并联支路数一定是双数。

3. 单叠绕组在绕法上有什么特点？

答：单叠绕组的绕制特点是将一个绕组元件的首端和末端分别接到相邻的两个换向片上，第一号元件的末端与第二号元件的首端接在同一个换向片上，依此类推。如图2-1a所示，最后一个元件的末端与第一号元件的首端通过一号换向片连接在一起，使电枢绕组构成一个闭合电路。

4. 为什么单叠绕组的并联支路数等于磁极数？

答：因为单叠绕组是将同一磁极下相邻的元件依次串联起来构成一条支路，对应一个磁极就有一个支路，所以并联支路数等于磁极数。

5. 单波绕组在绕法上有什么特点？

答：单波绕组的绕制特点是将一个绕组元件的首端和末端接到相隔近两倍极距的两个换向片上（即 $Y_K \approx 2\tau$ ），为了使支路电势达到最大，两个相连接的绕组元件必须处于相同极性的极面下，这两个元件的上层有效边之间也应相隔近两倍极距。这样连接起来的绕组元件依次串联绕电枢一周以后应接到相邻的换向片上，若仍接到起始的换向片上，则元件绕完一周就闭合，其余的元件就无法连接下去，因此，必须错开一个换向片，待所有N极面下的元件连接完毕，再接着连接所有S极面下的元件，最后接到起始的换向片上，构成一个闭合回路。见图2-1b。

6. 为什么单波绕组的并联支路数只有两条？

答：因为单波绕组中所有N极面下的绕组元件的电势方向一致，串联后构成一条支路，所有S极面下的绕组元件的电势方向一致，串联后构成另一条支路，并联支路数 $2a = 2$ ，与磁极对数无关。

7. 比较单叠绕组与单波绕组的主要区别？

答：从图2-1可以看出，单叠绕组的绕组元件是绕成重叠状的绕组，单波绕组的绕组元件是绕成波浪形的绕组。它们的原理比较见表2-1。

8. 直流发电机中的电磁转矩如何产生？它与电动机中的电磁转矩有无本质区别？其大小与哪些因素有关？方向与电枢旋转方向的关系如何？

答：当直流发电机的电枢绕组中有电流通过时，磁场对带电流的电枢导体产生电磁力作用，此力产生电磁转矩。它与电动机中的电磁转矩无本质区别，只是电动机中的电磁转矩与转动方向一致，是驱动转矩，而发电机中的电磁转矩与转动方向相反，是制动转矩。不论发电机还是电动机，其电磁转矩都与主磁通和电枢电流成正比，即

$$M = \frac{Np}{2\pi a} \phi I_a = C_m \phi I_a$$

表 2-1

项 目	叠 绕 组	波 绕 组
节 距	$Y_1 = \frac{Z_u}{2p} \mp \varepsilon = \text{整数}$ $Y_k = Y = 1$ $Y_2 = Y_1 \mp Y$	$Y_1 = \frac{Z_u}{2p} \mp \varepsilon = \text{整数}$ $Y_k = Y = \frac{K \mp 1}{p} = \text{整数}$ $Y_2 = Y - Y_1$
并联支路数	$2a = 2p$	$2a = 2$
感应电势	各支路之间的感应电势不均衡, 需要用均压线	各支路之间的感应电势大致相等, 不需要用均压线
用 途	低电压、大电流的电机	高电压、小电流的电机

式中 $C_m = \frac{Np}{2\pi a}$ ——转矩常数。

9. 直流电动机中的感应电势如何产生? 它与发电机中的感应电势有无本质区别? 其大小与哪些因素有关? 方向与电枢电流的方向有何关系?

答: 当直流电动机的电枢在磁场中旋转时, 电枢导体将切割磁力线产生感应电动势。它与发电机中的感应电势无本质区别, 只是发电机中的感应电势与电枢电流的方向相同, 而电动机中的感应电势与电枢电流的方向相反, 为反电动势。其大小与主磁通和转速成正比, 即

$$E_a = \frac{Np}{60a} \phi n = C_e \phi n$$

式中 $C_e = \frac{Np}{60a}$ ——电势常数。

10. 试默画出发电机和电动机的原理图, 并标出感应电势、电枢电流、电磁力、电磁转矩和转速的方向。

答: 图2-2为直流发电机的原理图, 图2-3为直流电动机的原理图。

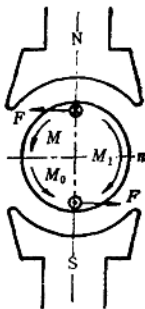


图 2-2 直流发电机的原理图

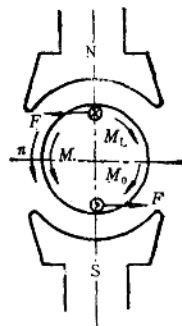


图 2-3 直流电动机的原理图

11. 电枢绕组在直流电机中起何作用？对它有哪些要求？

答：电枢绕组是直流电机的重要部件，用来产生感应电势和电磁转矩，起着转换机电能量的作用，也可称为功率绕组。

电枢绕组的制造工艺复杂，在运行中容易发生故障，因此，在设计和制造时有以下要求：（1）结构简单便于检修；（2）运行安全可靠；（3）电枢导体能够通过一定的电流和产生较大的感应电势，所用的有色金属和绝缘材料最节省；（4）保证换向良好。

12. 单叠绕组和单波绕组中的元件是按照什么规律连接的？元件数与换向片数有什么关系？

答：电枢绕组的连接规律通常用展开图表示，在绘制展开图时，首先依次将电枢槽编上号，并假定每槽放置一个上层有效边（用实线表示）和一个下层有效边（用虚线表示）。并规定绕组元件及换向片的编号均与元件上层边所在的槽号相同。且槽数 Z_u 、元件数 S 和换向片数 K 三者相等。

单叠绕组的展开图如图2-4所示，该图的各项数据如下：

$$Z_u = S = K = 16 \quad 2p = 4$$

$$Y_1 = \frac{Z_u}{2p} \mp \varepsilon = \frac{16}{4} = 4 \quad Y_k = Y = 1$$

$$Y_2 = Y_1 - Y = 3$$

单波绕组的展开图如图2-5所示，该图的各项数据如下：

$$Z_u = S = K = 15 \quad 2p = 4$$

$$Y_1 = \frac{Z_u}{2p} - \varepsilon = \frac{15}{4} - \frac{3}{4} = 3 \quad Y_k = \frac{K-1}{p} = \frac{15-1}{2} = 7$$

$$Y = Y_k = 7 \quad Y_2 = Y - Y_1 = 7 - 3 = 4$$

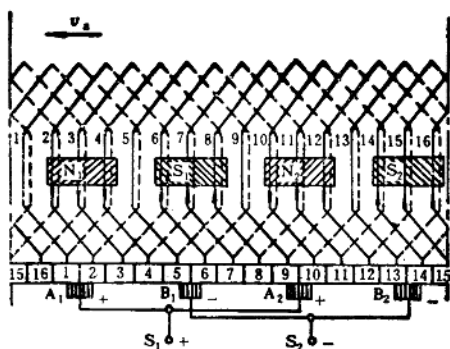


图 2-4 单叠绕组的展开图

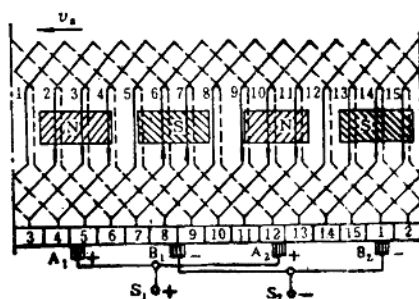


图 2-5 单波绕组的展开图

13. 何谓换向节距、第一节距、第二节距、合成节距？怎样计算各节距？

答：换向节距 Y_k 为一个绕组元件首末两端所接的换向片的距离，用换向片数目表示。

第一节距 Y_1 为一个绕组元件的两个有效边之间的距离，用虚槽数表示。

第二节距 Y_2 为前一元件的下层有效边与相连接的后一元件的上层边之间的距离，用虚

槽数表示。

合成节距 Y 为两个相连接的绕组元件上层有效边之间的距离，用虚槽数表示。

上述各节距在图2-1中已有明确表示，各节距的计算见题7中的表2-1。

14. 何谓支路？在单叠和单波绕组中的支路是如何形成的？

答：支路指的是电路中的分支，如两电刷间的分支电路。

在单叠绕组中，每极面下的绕组元件串联组成一个支路，故其并联支路数等于磁极数。

在单波绕组中，所有N极面下的绕组元件串联组成一个支路，所有S极面下的绕组元件串联组成另一个支路，所以不论磁极数有多少，其并联支路数总等于2。

15. 电刷在直流电机中起何作用？应放置在什么位置？如果放置的位置有偏差，对感应电势会有什么影响？

答：直流电机中的电刷与换向器直接接触，它可将电枢内部电路与外电路接通，正是由于电刷与换向器的配合，此电机才能够成为直流电机，可见电刷是直流电机的重要装置。

电刷不可随意放置，为了在正负电刷之间得到的电势最大，电刷应当放在处于几何中性线上的元件所连接的换向片上，也就是说，电刷的位置应放在磁极的轴线上。如果电刷的位置偏离了磁极轴线，对感应电势将有两个不良的影响：（1）使每条支路中有一部分元件的电势方向相反而相互抵消，使电枢电势降低；（2）被电刷短接的元件并不在几何中性线上，因而产生感应电势，形成短路电流。

16. 推导出感应电势和电磁转矩的公式。

答：电磁转矩的公式推导如下：

设电枢直径为 D ，长度为 l ，则每极的面积为

$$S = \frac{\pi D}{2p} l$$

平均磁感应强度

$$B = \frac{\phi}{S} = \frac{\phi}{\frac{\pi D l}{2p}} = \frac{2p}{\pi D l} \phi$$

每根电枢导线中的电流为 $I = \frac{I_a}{2a}$ ，所受的电磁力为

$$F = BIl = \frac{2p\phi}{\pi D l} \cdot \frac{I_a}{2a} \cdot l = \frac{p}{\pi D a} \phi I_a$$

若电枢绕组共有 N 根导线，则电磁转矩

$$\begin{aligned} M &= NF \frac{D}{2} = \frac{Np}{\pi D a} \phi I_a \frac{D}{2} = \frac{Np}{2\pi a} \phi I_a \\ &= C_m \phi I_a \end{aligned}$$

式中 $C_m = \frac{Np}{2\pi a}$ —— 转矩常数。

感应电势的公式推导如下：

电枢的转速为 n ，则旋转速度为

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

每根导线中的感应电势为

$$e = Blv = \frac{2p\phi}{\pi D l} \cdot \frac{\pi D n}{60} \cdot l = \frac{2p}{60} \phi n$$

由于每条支路中的导线根数为 $\frac{N}{2a}$ ，故电枢电势为

$$E_a = \frac{N}{2a} \cdot e = \frac{N}{2a} \cdot \frac{2p}{60} \phi n = \frac{Np}{60a} \phi n = C_s \phi n$$

式中 $C_s = \frac{Np}{60a}$ ——电势常数。

习 题

1. 计算下列各绕组的节距 Y_1 、 Y_2 、 Y_k ，并绘出展开图，安放主磁极和电刷求出并联支路数。

1) 单叠绕组： $2p=4$ ， $S=K=18$ ；

2) 单波绕组： $2p=4$ ， $S=K=19$ 。

解：1) 单叠绕组

计算节距：绕组采用短节距右行。

虚槽数

$$Z_u = S = K = 18$$

第一节距

$$Y_1 = \frac{Z_u}{2p} \mp \varepsilon = \frac{18}{4} - \frac{2}{4} = \frac{16}{4} = 4$$

换向节距与合成节距

$$Y_k = Y = +1$$

第二节距

$$Y_2 = Y_1 - Y = 4 - 1 = 3$$

绘制展开图：

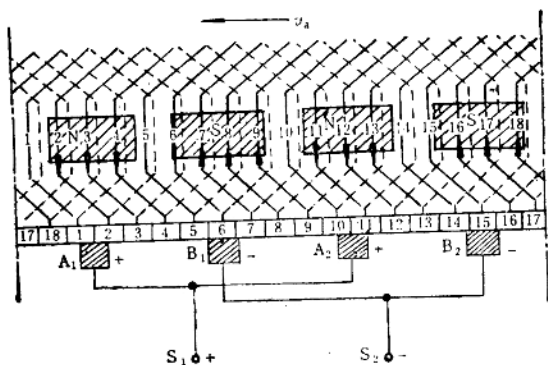


图 2-6 四极18槽单叠绕组的展开图

(1) 首先按虚槽数(即元件数)画出18根平行的实线与虚线,实线表示上层边,虚线表示下层边。并将上层边依次编号,也就是槽号。再画出18个换向片,注意将换向片的中心线与槽的中心线对齐。

(2) 按照计算的节距 Y_1 将相应的有效边连在一起组成18个元件,如1号槽的上层边与5号槽的下层边构成1号元件;2号槽的上层边与6号槽的下层边构成2号元件,依次类推,元件号与槽号一致。

(3) 将18个元件依次接在换向片上,换向片编号需考虑绕组端部对称,如1、2号换向片应在1号元件中线左右。然后将1号元件的上层边与1号换向片相连接,下层边与2号换向片相连接;2号元件的上层边与2号换向片相连接,下层边与3号换向片相连接;依此类推,最后一个元件的上层边与18号换向片相连接,下层边与1号换向片相连接构成一个闭合回路。

(4) 安放磁极和电刷。由于电枢绕组和换向器是旋转的,而磁极和电刷是固定不动的。因此,在确定磁极和电刷位置时,只需把它们对称地分布在圆周上,而不必考虑它们和电枢之间的相对位置。事实上它们与电枢之间没有固定的位置关系。但是,应当注意电

刷与磁极之间有着正确的相对位置,如思考题15所述。本题的极距 $\tau = \frac{Z_u}{2p} = \frac{18}{4} = 4.5$

个虚槽数,极宽取 0.7τ 左右,将四个磁极均匀分布后,电刷安放的原则是被电刷短接的元件边应处在几何中性面。本题的四个电刷均匀分布,两个电刷之间的距离等于极距,即 $\tau_k =$

$$\frac{K}{2p} = \frac{Z_u}{2p} = \frac{18}{4} = 4.5。$$

本题的展开图如图2-6所示,其并联支路数为

$$2a = 2p = 4$$

2) 单波绕组

计算节距:绕组采用长节距左行。

虚槽数 $Z_u = S = K = 19$

$$\text{第一节距} \quad Y_1 = \frac{Z_u}{2p} \mp \varepsilon = \frac{19}{4} + \frac{1}{4} = \frac{20}{4} = 5$$

换向节距与合成节距

$$Y_k = Y = \frac{K-1}{p} = \frac{19-1}{2} = 9$$

$$\text{第二节距} \quad Y_2 = Y - Y_1 = 9 - 5 = 4$$

绘制展开图:

单波绕组展开图的绘制步骤基本上与单叠绕组相同,所不同的是绕组元件与换向片之间连接时,由于换向节距不同,元件的两个边应接在相距近 2τ 的两个换向片上,两个相串联的元件也相距近 2τ 。

如1号元件的上层边与1号换向片相连,下层边与10号换向片相连;与之相串联的10号元件的上层边与10号换向片相连,下层边与19号换向片相连;依此类推。

安放磁极和电刷的原则同上。本题 $\tau = \frac{Z_u}{2p} = \frac{19}{4} = 4.75 = \tau_k$ 。

展开图如图2-7所示, 其并联支路数为

$$2a = 2$$

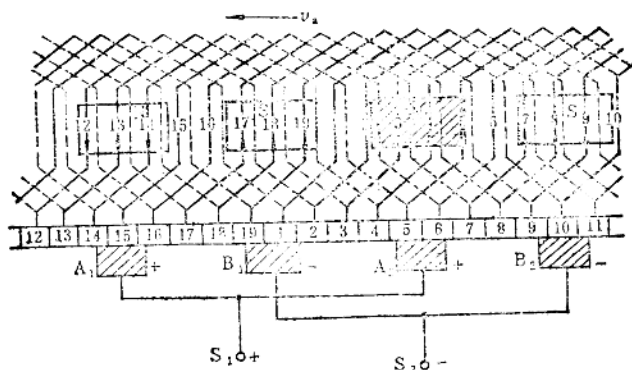


图 2-7 四极19槽单波绕组的展开图

2. 有一台四极直流电机, 电枢绕组采用单叠绕组, 试问:

1) 如果去掉相邻的两组电刷, 只用另外的相邻两组电刷是否可以? 对电机性能有何影响? 发电机能带多大负载, 端电压有何变化?

2) 如有一个元件断线, 电刷间的电压有无变化? 电流有何变化?

3) 若只用相对的两组电刷, 电机是否能运行?

4) 若有一个磁极失去磁性, 会产生什么后果?

答: 1) 单叠绕组共有四条并联支路, 去掉相邻的两组电刷, 电机只剩下两个支路, 于是电枢电流减半, 容量只有额定容量的50%, 但端电压不改变。

2) 如果一个元件断线, 将缺少一条支路, 电枢电流减少 $\frac{1}{4}$, 但端电压不改变。

3) 若只用对面的两组电刷, 将电枢绕组分为两条并联支路, 每条支路中所串联的元件, 有一半经过N极面下, 另一半经过S极面下, 电势互相抵消, 电机不能运行。

4) 若一个磁极失去磁性, 将使四个磁极下的磁通分布不均匀, 其中一个磁极下的磁通达到最大, 一个磁极下的磁通达到最小, 另外两个磁极的磁通值居中。由于单叠绕组支路的形成, 是每个极面下的元件串联起来的, 而电势与磁通成正比, 所以各支路电势不相等, 将在支路间形成很大的环流。

3. 同题2, 若电机采用单波绕组, 重新回答以上各题。

答: 1) 单波绕组只有两条并联支路, 去掉相邻的两组电刷, 影响不大, 不过剩下两组电刷通过全部电枢电流, 使电刷的电流密度增高, 不利于电机换向。

2) 如果一个元件断线, 只剩一条支路, 电枢电流减少 $\frac{1}{2}$, 但端电压不变。

3) 单波绕组若只用对面两组电刷, 原绕组内部的两条并联支路, 自行串联, 感应电势互相抵消, 所以对面两组电刷间电势为零, 电机不能运行。

4) 若一个磁极失去磁性, 对单波绕组来讲, 两条支路的电势仍然相等, 只是电势的