

电机学要点 及典型问题解析

● 王铁军 高 嵬 饶 翔 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

014012929

TM3-42
09

电机学要点 及典型问题解析

● 王铁军 高 崑 饶 翔 编



TP3-42
09

中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



北航

C1699832

958510410

内 容 提 要

本书参考了国内机电类专业主要教材,提炼出最基本、最重要的内容,以典型问题及解答的形式编写而成,本书所选问题突出电机的基本结构、运行理论和特性。

参照主要教材体系,分为6章,主要内容包括磁路、直流电机、变压器、交流电机的共同性问题、异步电机、同步电机。每章分主要知识点、思考题及参考答案、计算题及参考答案三部分,主要知识点后面有知识点自测题。

本书可作为高等学校机电类专业的教材,也可供相关专业工作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电机学要点及典型问题解析/王铁军,高崑,饶翔编. —北京:中国电力出版社,2013.10

ISBN 978-7-5123-4694-9

I. ①电… II. ①王…②高…③饶… III. ①电机学—高等学校—教学参考资料 IV. ①TM3

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第158678号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013年10月第一版 2013年10月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 12印张 282千字

定价 24.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

电机学、电机与拖动课程知识点繁多,部分概念较抽象,不容易理解,为此,编写了本书,以帮助学生掌握教材知识的要点。本书参考了国内主要教材,提炼出最基本、最重要的内容,以典型问题及解答的形式编写。希望本书能帮助学员梳理课程的核心要点,并形成基础的知识体系,同时具备对基本和典型问题分析的能力。

本书总体有以下特点。

在选题中,剔除了计算量大、概念性不强的问题,突出电机的基本结构、运行理论和特性方面的主要问题和经典问题,不追求全和难,但不失知识的完整性。

参照主要教材体系,分为6章。每章分主要知识点、思考题及参考答案、计算题及参考答案三部分。

在每一部分的主要知识点后面,按照问题的衔接关系和知识的递进关系编写了知识点自测题,以便对知识点进行巩固。

思考题和计算题除给予一般形式的解答外,还采用图形的方式,如特性曲线、相量图、等效电路等,以使学员重视分析电机问题时的图形手段。

在本书的编写过程中,海军工程大学电气工程系戚连锁主任给予了大力支持,方芳副教授、赵镜红副教授提出了很多宝贵建议,硕士研究生李兵对部分题目进行了解答,并帮助进行校正工作,在此深表感谢。

由于编者水平有限,难免有不足和疏漏之处,恳请读者指正。

编者

2013年3月

2.1.6 直流发电机与直流电动机	17
2.1.7 直流电机的换向	20
2.1.8 直流电机的常用公式	21
2.2 思考题及参考答案	21
2.3 计算题及参考答案	32
第3章 变压器	50
3.1 主要知识点	50
3.1.1 变压器的结构和额定值	50
3.1.2 变压器的电磁关系	51
3.1.3 变压器的等效电路	53
3.1.4 变压器的工作特性	55
3.1.5 三相变压器	56
3.1.6 自耦变压器和仪用互感器	58

目 录

前言

第1章 磁路	1
1.1 主要知识点	1
1.1.1 基本物理量和电磁定律	1
1.1.2 铁磁材料特性与交流磁路	3
1.1.3 磁路定律	4
1.1.4 主要公式	6
1.2 思考题及参考答案	6
1.3 分析计算题及参考答案	8
第2章 直流电机	11
2.1 主要知识点	11
2.1.1 直流电机的工作原理	11
2.1.2 直流电机的结构	12
2.1.3 直流电机的电枢绕组	13
2.1.4 直流电机的磁场及电枢反应	15
2.1.5 电枢电动势与电磁转矩	16
2.1.6 直流发电机与直流电动机	17
2.1.7 直流电机的换向	20
2.1.8 直流电机的常用公式	21
2.2 思考题及参考答案	21
2.3 计算题及参考答案	32
第3章 变压器	50
3.1 主要知识点	50
3.1.1 变压器的结构和额定值	50
3.1.2 变压器的电磁关系	51
3.1.3 变压器的等效电路	53
3.1.4 变压器的工作特性	55
3.1.5 三相变压器	56
3.1.6 自耦变压器和仪用互感器	58

3.1.7 主要公式	59
3.2 思考题及参考答案	60
3.3 计算题及参考答案	67
第4章 交流电机的共同性问题	78
4.1 主要知识点	78
4.1.1 交流电机的工作原理	78
4.1.2 交流电机的绕组	79
4.1.3 交流绕组的电动势	80
4.1.4 交流绕组的磁动势	82
4.1.5 主要公式	83
4.2 思考题及参考答案	84
4.3 计算题及参考答案	94
第5章 异步电机	104
5.1 主要知识点	104
5.1.1 异步电机的结构和基本工作原理	104
5.1.2 异步电机的运行理论	106
5.1.3 异步电动机的功率、转矩和工作特性	107
5.1.4 异步电动机的机械特性	109
5.1.5 三相异步电动机的起动	110
5.1.6 三相异步电动机的调速	112
5.1.7 三相异步电动机单相运行及单相异步电动机	114
5.1.8 常用基本公式	115
5.2 思考题及参考答案	116
5.3 计算题及参考答案	130
第6章 同步电机	148
6.1 主要知识点	148
6.1.1 同步电机的结构和基本工作原理	148
6.1.2 同步发电机的运行分析	150
6.1.3 同步发电机的运行特性	153
6.1.4 同步发电机的并联运行	154
6.1.5 同步电动机	156
6.1.6 常用基本公式	158
6.2 思考题及参考答案	159
6.3 计算题及参考答案	168
参考文献	185

第1章

磁 路

1.1 主要知识点

1.1.1 基本物理量和电磁定律

电机的原理结构包括：磁路、电路、旋转机械。电路中电量关系遵从电路定律，磁路中磁场量之间的关系遵从磁场定律，电路对磁路的作用遵从安培环流定律，磁路对电路的作用遵从电磁感应定律，磁路和电路共同作用向外输出电磁力或电磁转矩，遵从电磁力定律。牛顿运动定律决定旋转机械的状态。简而言之，这一系列物理定律奠定了电机学的理论基础。

电机学课程涉及的主要磁场量：磁场强度 $H(\text{A/m})$ 、磁感应强度 $B(\text{Wb/m}^2)$ 、磁通量 $\Phi(\text{Wb})$ 、磁动势 $F(\text{A})$ 、磁阻 $R_m(\text{A/Wb})$ 、磁导率 $\mu(\text{H/m})$ 。其中，磁场强度 H 是为建立电流与由其产生的磁场之间的关系而引入的物理量，电机学中，其方向与 B 相同，与 B 大小之比由介质磁导率 μ 表示，即 $B = \mu H$ 。而磁感应强度 B 也叫磁通密度，在均匀磁路中， $B = \Phi/S$ ， S 为磁路的截面积，电流与由其产生的磁场之间的关系宏观上可以用磁路欧姆定律表示。因而引入了磁通量、磁动势和磁阻。

电机学课程涉及的基本电磁定律：安培环路定律、磁通连续性原理、电磁感应定律、电磁力定律。



知识点自测题

- 关于磁感应强度 B 与磁场强度 H 的关系，以下说法正确的是 ()。
 - 磁场强度 H 大的位置，其磁感应强度 B 也一定大；
 - 磁场强度 H 建立了磁感应强度 B ，是电生磁的结果；
 - 磁感应强度与磁场强度是同一个概念，叫法不同而已；
 - 磁感应强度 B 与磁场强度 H 之间存在线性关系，比值称为磁导率 μ 。
- 由磁通连续性原理可得到正确结论的是 ()。
 - 在某特定条件下，进入闭合曲面的磁通量可以不等于穿出闭合曲面的磁通量；
 - 与电场中的独立正负电荷对应，磁场中也存在独立的 N、S 磁荷，磁力线把它们联系起来；
 - 在任何条件下，磁力线总是连续闭合的。

3. 由安培环流定律可得到以下结论 ()。

- A. 在已知的闭合曲线上, 如果各点的磁场强度已知, 则穿过该闭合曲线的电流即可确定;
- B. 螺线管中电流方向和磁场的方向关系、长直导体中电流和磁场的方向关系都符合右手螺旋法则;
- C. 安培环流定律仅适合于均匀媒质中, 例如, 闭合曲线由铁和空气构成, 则安培环流定律不再成立。

4. 一通直流电流 I 的长导线旁有一矩形线圈, 如图 1-1 所示, 在下列 () 情况下线圈中会产生感应电流。

- A. 矩形线圈垂直落下;
- B. 矩形线圈向右平移;
- C. 矩形线圈绕自身轴线旋转;
- D. 矩形线圈平面绕直导线旋转。

5. 图 1-2 中, 磁路中 l_g 、 l_1 、 l_2 各段磁场强度的大小关系是 ()。

- A. $H_g > H_1 > H_2$;
- B. $H_g > H_2 > H_1$;
- C. $H_2 > H_1 > H_g$ 。

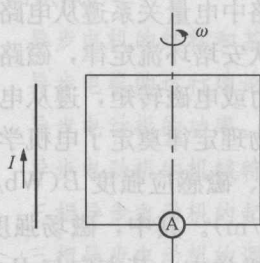


图 1-1

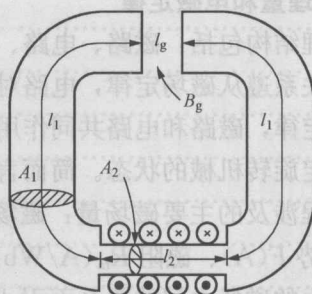


图 1-2

6. 图 1-2 中, 各段磁场感应强度的大小关系是 ()。

- A. $B_g > B_1 > B_2$;
- B. $B_g > B_2 > B_1$;
- C. $B_2 > B_1 > B_g$ 。

7. 图 1-2 中, 各段磁通的大小关系是 ()。

- A. $\Phi_g > \Phi_1 > \Phi_2$;
- B. $\Phi_g > \Phi_2 > \Phi_1$;
- C. $\Phi_g = \Phi_2 = \Phi_1$ 。

8. 普通电机内的最大磁感应强度的范围是 ()。

- A. 1~2T;
- B. 0.001~0.01T;
- C. 4~10T。

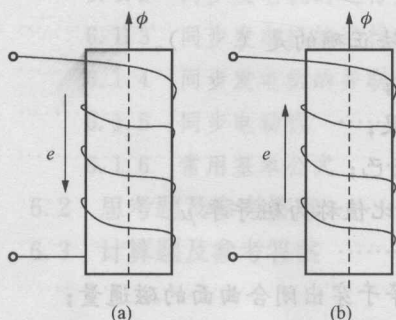


图 1-3

9. 楞次定律进一步确定了感应电动势的方向, 法拉第电磁感应定律的数学形式为 $e = -N \frac{d\phi}{dt}$, 公式中的

负号 ()。

- A. 与图 1-3 (a) 的 ϕ 、 e 方向设定一致;
- B. 与图 1-3 (b) 的 ϕ 、 e 方向设定一致;
- C. 这是通用公式, 与 ϕ 、 e 方向设定无关。

10. 关于感应定律公式 $e = -N \frac{d\phi}{dt}$ 与公式 $e = Blv$ 的

关系, 下列说法正确的是 ()。

A. $e = -N \frac{d\phi}{dt}$ 对于长电导体在均匀磁场中运动时产生感应电动势的情况不成立, 为此

又提出了 $e = Blv$;

B. $e = Blv$ 是 $e = -N \frac{d\phi}{dt}$ 的特殊形式, 并可由其推导得到;

C. 两个公式中的 e 代表不同的物理量, 所以毫无关系。



自测答案

1. B; 2. C; 3. A; 4. BC; 5. B; 6. C; 7. C; 8. A; 9. A; 10. B。

1.1.2 铁磁材料特性与交流磁路

1. 高磁导率

当磁路由铁磁材料构成时, 从微观上说, 相同的磁场强度 H 在磁路中某点产生的场感应强度, 比在非磁性材料中产生的场感应强度要大得多。从宏观上说, 相同通电线圈在磁路中建立的磁通量比在非磁性材料为媒质时建立的磁通量要大得多。

2. 磁饱和特性

微观上, 由铁磁材料构成的媒质中, 某一点 B 在一定范围内, B 、 H 之间的关系为线性, 超出该范围, B 随 H 增加不再明显, 为非线性。宏观磁路中, 磁通量 Φ 和磁动势 F 之间也呈现相似特性。推而广之, 在旋转电机中, 励磁电流 I_f 和空载电动势 E_0 之间也呈现相似特性。

3. 磁滞现象

由铁磁材料构成的媒质中, 某一点 H 交变时, 该点 B 的变化相对 H 呈现一种滞后现象。磁饱和特性与磁滞现象可用特性曲线表示并用磁畴模型进行物理解释。

4. 铁芯损耗

铁芯损耗 (简称铁耗) 包括涡流损耗 p_e 和磁滞损耗 p_h 。涡流损耗的电磁原理如图 1-4 (a) 所示, 磁滞损耗由磁畴模型解释。

5. 降低铁芯损耗的两种途径

(1) 针对磁滞损耗选择合适的铁磁材料, 例如硅钢。

(2) 针对涡流损耗选择叠片方式的铁芯构成形式, 如图 1-4 (b) 所示。

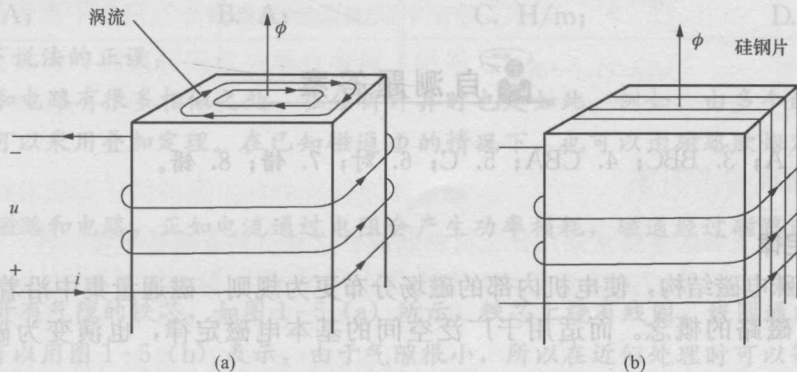


图 1-4

6. 交流磁路

所谓交流磁路,就是由交流电流励磁,磁场发生交变的磁路,实际上和带铁芯的绕组是同一装置。因此其电路和磁路结构与直流磁路相同,只是电量和磁场量的性质不同。但这也决定了交流磁路的特殊问题和现象,包括:铁芯损耗、感应电动势、励磁电流的畸变。

在电机学中,为了简化分析,可以将交流磁路等效为等效电路,从而将复杂的电磁问题转化为相对简单的电阻和电抗串联或并联的电路问题。



知识点自测题

1. 为了降低铁芯损耗,铁芯选用叠片方式,叠片越厚,其损耗_____。
A. 越大; B. 越小; C. 不变。
 2. 在电机和变压器铁芯材料周围的气隙中_____磁场。
A. 存在; B. 不存在; C. 不好确定。
 3. 恒压直流铁芯磁路中,如果增大空气气隙,则磁通_____,电感_____,电流_____。
A. 增加; B. 减小; C. 基本不变。
 4. 如果是恒压交流铁芯磁路,则空气气隙增大时,磁通_____,电感_____,电流_____。
A. 增加; B. 减小; C. 基本不变。
 5. 一个有铁芯的线圈,线圈电阻 2Ω ,当将其接入 110V 的工频交流电源时,测得电流的有效值为 2.5A ,则输入功率为_____。
A. 275W ; B. 12.5W ; C. 90W 。
- 判断以下说法的正误:
6. 理论表明,交流损耗随交流绕组的频率增加而增大,也随磁通密度的最大值增加而增大。 ()
 7. 电工钢片中加入适量的硅,目的是为了增加铁芯涡流损耗的导电率,从而降低铁芯损耗。 ()
 8. 由于铁芯中的磁通跟随励磁电流变化,因此,当电流随时间作正弦变化时,磁通也作正弦变化。 ()



自测题答案

1. A; 2. A; 3. BBC; 4. CBA; 5. C; 6. 对; 7. 错; 8. 错。

1.1.3 磁路定律

电机的特殊电磁结构,使电机内部的磁场分布更为规则,磁通量集中沿着一定路径闭合,故而引入磁路的概念。而适用于广泛空间的基本电磁定律,也演变为磁路的定律。例如:

- (1) 磁感应强度 B 与磁场强度 H 的关系→磁路的欧姆定律;

(2) 磁通连续性原理→磁路的基尔霍夫第一定律或磁路的并联定律；

(3) 安培环路定律→磁路的基尔霍夫第二定律或磁路的串联定律。

为了便于记忆，可以将磁路定律和电路定律进行对比，如表 1-1 所示。

表 1-1

磁路	电路
磁通 Φ	电流 i
磁动势 F	电动势 e
磁阻 R_m	电阻 R
磁压降 HI	电压降 u
磁导 Λ_m	电导 G
欧姆定律 $\Phi=F_m/R_m$	欧姆定律 $i=u/R$
基尔霍夫第一定律 $\sum\Phi=0$	基尔霍夫第一定律 $\sum i=0$
基尔霍夫第二定律 $\sum F=\sum HI=\sum\Phi R_m$	基尔霍夫第二定律 $\sum e=\sum u=\sum iR$

知识点自测题

1. 如果把磁路和电路对比，磁动势比作电动势，磁阻比作电阻，那么应该把_____比作电流。

- A. 磁感应强度；
- B. 磁通量；
- C. 磁力线。

2. 磁路计算时如果存在多个磁动势，则对_____磁路可应用叠加原理。

- A. 线形；
- B. 非线性；
- C. 所有的。

3. 若硅钢片的叠片接缝增大，则其磁阻_____。

- A. 增加；
- B. 减小；
- C. 基本不变。

4. 恒压直流铁芯磁路中，如果增大空气气隙，则磁通_____。

- A. 增加；
- B. 减小；
- C. 基本不变。

5. 以下各物理量的单位是：磁动势 F _____；磁导 Λ_m _____；磁场强度 H _____；磁导率 μ _____。

- A. Wb/A；
- B. A；
- C. H/m；
- D. A/m。

判断以下说法的正误：

6. 磁路和电路有很多相似之处，在分析计算时也是如此。例如，由多个线圈电流计算磁通 Φ 时，可以采用叠加定理。在已知磁通 Φ 的情况下，也可以由磁路欧姆定律计算磁动势。()

7. 比较磁路和电路，正如电流通过电阻会产生功率损耗，磁通经过磁路时也一定会有功率损耗。()

8. 一个开有气隙的铁芯，如图 1-5 (a) 所示，铁芯上绕有线圈，线圈通以电流，此时的等效磁路可以用图 1-5 (b) 表示，由于气隙很小，所以在近似处理时可以等效地把气隙磁阻 R_0 忽略掉。()

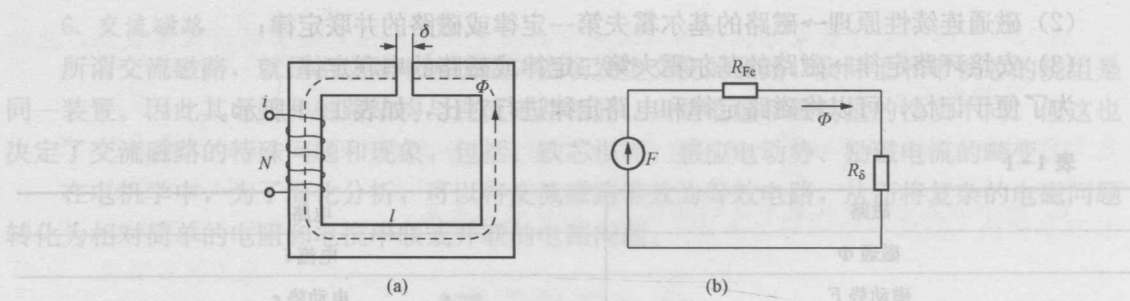


图 1-5

自测题答案

1. B; 2. A; 3. A; 4. B; 5. BADC; 6. 错; 7. 错; 8. 错。

1.1.4 主要公式

磁路主要公式见表 1-2。

表 1-2

磁通连续性原理	$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$	磁路的基尔霍夫第一定律	$\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \dots = 0$
安培环路定律	$\oint_L \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \sum i$	磁路的基尔霍夫第二定律	$H_1 l_1 + H_2 l_2 + \dots = i_1 + i_2 + \dots$
磁路欧姆定律	$\Phi = \frac{F_m}{R_m}$	磁阻公式	$R_m = \frac{l}{\mu A}$
线圈自感	$L = N^2 \Lambda_m$	磁导	$\Lambda_m = \frac{\mu A}{l}$
直导体电磁力	$f = BIl$	直导体电动势	$e = Blv$
一般情况的电磁感应电动势	$e = -\frac{d\psi}{dt} = -N \frac{d\phi}{dt}$	正弦量的电磁感应电动势	$\dot{E} \approx -j4.44fN\dot{\Phi}_m$
铁芯损耗	$p_{Fe} \approx C_{Fe} f^{1.3} B_m^2 G$		

1.2 思考题及参考答案

1. 电机和变压器的磁路常采用什么材料制成，这种材料有哪些主要特性？

答：电机和变压器的磁路常采用硅钢片制成。它的磁导率高、损耗小，有饱和现象存在。

2. 磁滞损耗和涡流损耗是什么原因引起的？它们的大小与哪些因素有关？

答：磁滞损耗是由于 B 交变时铁磁物质磁化不可逆，磁畴之间反复摩擦，消耗能量而产生的。它与交变频率 f 成正比，与磁密幅值 B_m 的 α 次方成正比。磁滞损耗公式： $p_h=C_hfB_m^\alpha V$ 。

涡流损耗是由于通过铁芯的磁通 Φ 发生变化时，在铁芯中产生感应电动势，由这个感应电动势引起电流（涡流）而产生的电损耗。它与交变频率 f 的平方和 B_m 的二次方成正比。涡流损耗公式： $p_e=C_e\Delta^2f^2B_m^2V$ 。

3. 什么是软磁材料？什么是硬磁材料？

答：铁磁材料按其磁滞回线的宽窄可分为两大类：软磁材料和硬磁材料。

磁滞回线较宽，即矫顽力大、剩磁也大的铁磁材料称为硬磁材料，也称为永磁材料。这类材料一经磁化就很难退磁，能长期保持磁性。常用的硬磁材料有铁氧体、钕铁硼等，这些材料可用来制造永磁电机。

磁滞回线较窄，即矫顽力小、剩磁也小的铁磁材料称为软磁材料。电机铁芯常用的硅钢片、铸钢、铸铁等都是软磁材料。

4. 磁路的磁阻如何计算？磁阻的单位是什么？

答：磁路的磁阻公式为 $R_m=\frac{l}{\mu A}$ ，其中： μ 为材料的磁导率； l 为材料的导磁长度； A 为材料的导磁面积。磁阻的单位为 A/Wb 。

5. 说明磁路和电路的不同点。

答：(1) 电流通过电阻时有功率损耗，磁通通过磁阻时无功率损耗；

(2) 自然界中无对磁通绝缘的材料；

(3) 空气也是导磁的，磁路中存在漏磁现象；

(4) 含有铁磁材料的磁路几乎都是非线性的。

6. 说明直流磁路和交流磁路的不同点。

答：(1) 直流磁路中磁通恒定，而交流磁路中磁通随时间交变进而在励磁线圈内产生感应电动势；

(2) 直流磁路中无铁芯损耗，而交流磁路中有铁芯损耗；

(3) 交流磁路中磁饱和现象会导致电流、磁通和电动势波形畸变。

7. 基本磁化曲线与起始磁化曲线有何区别？磁路计算时用的是哪一种磁化曲线？

答：将一块从未磁化过的铁磁材料放入磁场中进行磁化，所得的 $B=f(H)$ 曲线即为起始磁化曲线。对同一铁磁材料，选择不同的磁场强度进行反复磁化，可得一系列大小不同的磁滞回线，再将各

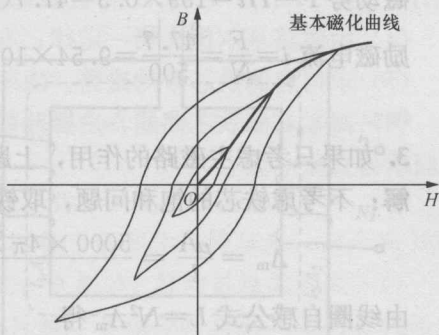


图 1-6

磁滞回线的顶点连接所得的曲线即为基本磁化曲线,如图 1-6 所示。二者区别不大。磁路计算时用的是基本磁化曲线。

8. 列举常用的磁路基本定律。

答:常用的磁路基本定律有安培环路定律、磁路的欧姆定律、磁路的串联定律和并联定律。

9. 当铁芯磁路上有几个磁动势同时作用时,磁路计算能否用叠加原理,为什么?

答:不能,因为磁路是非线性的,存在饱和现象。

1.3 分析计算题及参考答案

1. 请根据图 1-7 (a) 所示结构图画出磁路中由励磁电流建立的磁场的磁力线。

解:如图 1-7 (b) 所示。

2. 有一闭合铁芯磁路,磁路的平均长度 $l=0.3\text{m}$,铁芯的磁导率 $\mu_{\text{Fe}}=5000\mu_0$,套装在铁芯上的励磁绕组为 500 匝,如图 1-8 所示。试求在铁芯中产生 1T 的恒定磁通密度时,所需的励磁磁动势和励磁电流。

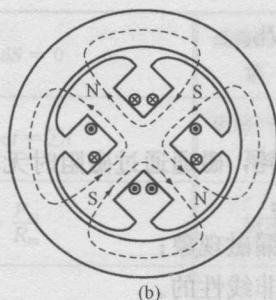
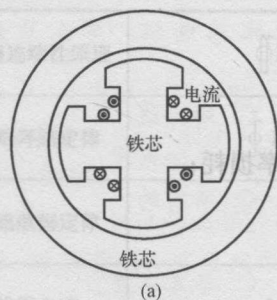


图 1-7

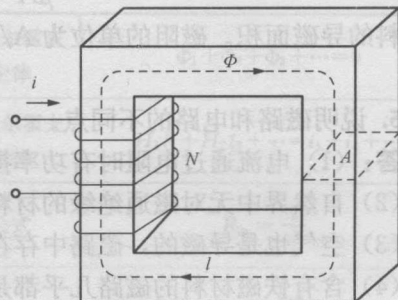


图 1-8

解:用安培环路定律来求解。

$$\text{磁场强度 } H = \frac{B}{\mu_{\text{Fe}}} = \frac{1}{5000 \times 4\pi \times 10^{-7}} = 159 (\text{A/m})$$

$$\text{磁动势 } F = Hl = 159 \times 0.3 = 47.7 (\text{A})$$

$$\text{励磁电流 } i = \frac{F}{N} = \frac{47.7}{500} = 9.54 \times 10^{-2} (\text{A})$$

3. 如果只考虑主磁路的作用,上题中带铁芯绕组的电感量是多少?

解:不考虑铁芯的饱和问题,取铁芯的磁导率 $\mu_{\text{Fe}}=5000\mu_0$,则

$$\Lambda_m = \frac{\mu A}{l} = \frac{5000 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 0.9 \times 10^{-4}}{0.3} = 1.88 \times 10^{-6} (\text{H})$$

由线圈自感公式 $L = N^2 \Lambda_m$ 得

$$L = 500^2 \times 1.88 \times 10^{-6} = 0.470 (\text{H})$$

4. 若在上题的磁路中, 开一个长度 $\delta=5\times 10^{-4}\text{m}$ 的气隙, 已知铁芯截面积 $A=9\times 10^{-4}\text{m}^2$, 如图 1-9 所示。问铁芯中激励 1T 的磁通密度时, 所需的励磁磁动势和励磁电流为多少?

解: 用磁路的基尔霍夫第二定律来求解。

$$\text{铁芯内的磁场强度 } H_{\text{Fe}} = \frac{B_{\text{Fe}}}{\mu_{\text{Fe}}} = \frac{1}{5000 \times 4\pi \times 10^{-7}} = 159(\text{A/m})$$

$$\text{气隙磁场强度 } H_{\delta} = \frac{B_{\delta}}{\mu_0} = \frac{1}{4\pi \times 10^{-7}} = 79.6 \times 10^4(\text{A/m})$$

$$\text{铁芯磁位降 } H_{\text{Fe}} l_{\text{Fe}} = 159 \times 0.2995 = 47.6(\text{A})$$

$$\text{气隙磁位降 } H_{\delta} l_{\delta} = 79.6 \times 10^4 \times 5 \times 10^{-4} = 398(\text{A})$$

$$\text{励磁磁动势 } F = H_{\text{Fe}} l_{\text{Fe}} + H_{\delta} l_{\delta} = 445.6(\text{A})$$

$$\text{励磁电流 } I = \frac{F}{N} = \frac{445.6}{500} = 0.891(\text{A})$$

5. 设上题的励磁绕组电阻为 110Ω , 接到 110V 的直流电源上, 问铁芯的磁通量 Φ 为多少? (只要求说明求取步骤)

解: 由磁动势求磁通量一般采用试探法, 由已知条件得实际磁动势为 500A 匝。

(1) 根据大致范围, 先假设磁通量 Φ_1 , 例如取 $\Phi' = 1\text{T} \times 0.9 \times 10^{-4}\text{m} = 0.9 \times 10^{-4}\text{Wb}$;

(2) 按上题方法求得励磁磁动势 $F' = 445\text{A}$, 小于真值 500A;

(3) 取 $\Phi' = 1 \times 10^{-4}\text{Wb}$, 重新计算, 与真值 500A 比较;

(4) 再修正 Φ' , 经数次迭代, 使 Φ' 与真值误差在允许范围。

6. 设上题的励磁绕组接到 50Hz、110V 的交流电源上, 问铁芯的磁通量 Φ 最大值为多少?

解: 根据电动势公式 $E = 4.44 f N \Phi_m$, 假设 $E \approx U = 110\text{V}$, 则可求得

$$\Phi_m = 9.91 \times 10^{-4}\text{Wb}$$

7. 矩形铁芯有两个线圈, 如图 1-10 所示, 匝数分别为 N_1 和 N_2 , 电流分别为 I_1 和 I_2 。

(1) 总磁势是多少?

(2) 若开一个空气隙, 总磁势是否改变?

(3) 开一个空气隙前后铁芯中的 B 、 H 如何变化?

(4) 对铁芯和气隙中的 B 、 H 的比较。

(5) 对铁芯中磁压降、气隙磁压降比较。

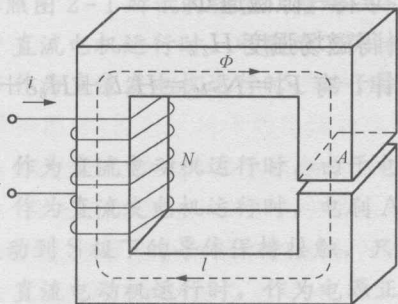


图 1-9

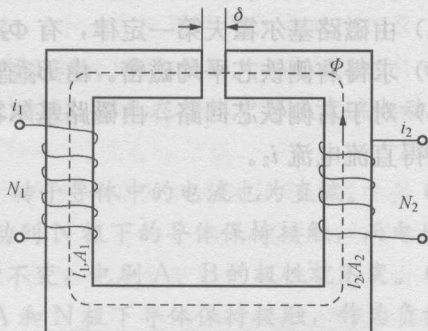


图 1-10

解: (1) 总磁势为 $N_1 I_1 \pm N_2 I_2$;

(2) 开空气隙总磁动势不变;

(3) 开气隙后铁芯中的 $\Phi \downarrow$ (磁路欧姆定律) $\rightarrow B \downarrow \rightarrow H \downarrow$;

(4) $\Phi_{Fe} = \Phi_{\delta} \rightarrow B_{Fe} \approx B_{\delta} \rightarrow H_{Fe} \ll H_{\delta}$;

(5) 通常铁芯中磁动势 $H_{Fe} L_{Fe}$ 小于气隙磁动势 $H_{\delta} L_{\delta}$ 。

8. 带铁芯线圈, 如果接直流电压源, 铁芯气隙增大时, 线圈内 Φ 及电流如何变化? 不计线圈内电阻, 接交流电压源, 铁芯气隙增大时, 线圈内 Φ 及电流如何变化?

解: 带铁芯线圈, 如果接直流电压源, 铁芯气隙增大时, 线圈内 Φ 减小, 电流不变。接交流电压源, 铁芯气隙增大时, 根据电动势平衡方程 $U \approx E = 4.44 f N \Phi$, Φ 不变。根据磁路欧姆定律, 维持 Φ 不变, 电流增大。

9. 如图 1-11 所示的含有气隙的分支铁芯磁路, 各段铁芯磁路的材料相同, 各段磁路的平均长度和截面积如图 1-11 所示, 不计漏磁通, 若已知气隙磁通 Φ_3 , 匝数 N_1 、 N_2 和直流电流 i_1 , 设铁芯的磁化曲线已知, 则应如何求得气隙磁通 Φ_1 、 Φ_2 和直流电流 i_2 ?

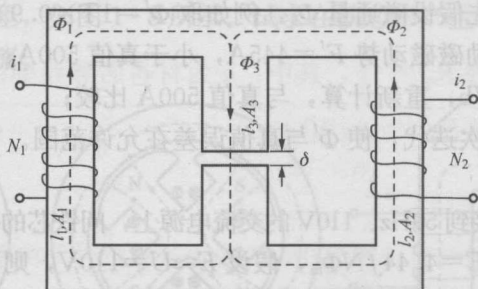


图 1-11

解: (1) 将磁路分为 4 段: 左侧铁芯段, 长度 l_1 ; 右侧铁芯段, 长度 l_2 ; 中间铁芯段, 长度 l_3 ; 气隙段 δ , 磁通方向如图 1-11 所示。

(2) 已知气隙磁通 Φ_3 , 求出中间段的平均磁密 $B_3 = \Phi_3 / A_3$; 由 B_3 查磁化曲线, 得磁场强度 H_3 ; 再求出气隙段的磁通密度 $B_{\delta} = B_3$ 和磁场强度 $H_{\delta} = B_{\delta} / \mu_0$ 。

(3) 对于左侧铁芯回路, 由磁路基尔霍夫第二定律 (安培环路定律), 有 $F_1 = N_1 i_1 = H_3 l_3 + H_{\delta} \delta + H_1 l_1$, 求得 H_1 , 查磁化曲线, 得 B_1 。

(4) 由磁路基尔霍夫第一定律, 有 $\Phi_3 = \Phi_1 + \Phi_2$, 求得气隙磁通 Φ_1 。

(5) 求得右侧铁芯平均磁密。由 B_2 查磁化曲线, 得磁场强度 H_2 。

(6) 对于右侧铁芯回路, 由磁路基尔霍夫第二定律, 有 $F_2 = N_2 i_2 = H_3 l_3 + H_{\delta} \delta + H_2 l_2$, 从而求得直流电流 i_2 。

直 流 电 机

2.1 主要知识点

2.1.1 直流电机的工作原理

对直流电机的认识一般都是从图 2-1 所示的模型开始,模型可以作为最简单的直流发电机或电动机。初学者必须明确直流发电机和电动机的基本功能,学会应用基本的电磁定律熟练解释模型的运行原理,掌握所出现的物理量方向的判断方法,尤其能正确认识模型中的关键部件——换向片和电刷的作用。

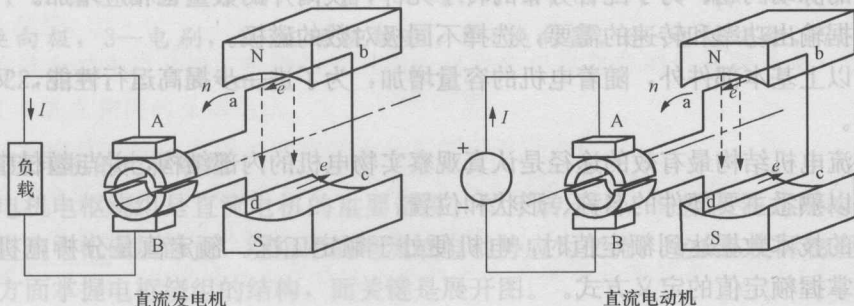


图 2-1

知识点自测题

参照图 2-1 所示的模型,判断以下说法的正误:

1. 直流电机运行时,电刷为了保持与换向片可靠接触,将与换向片一起旋转。()
2. 作为直流发电机运行时,转子导体切割静止磁场,因此在导体中产生直流电动势。()
3. 作为直流电动机运行时,由于电源为直流,转子导体中的电流也为直流。()
4. 作为直流发电机运行时,电刷 A 始终和运动到 N 极下的导体保持接触,而电刷 B 始终和运动到 S 极下的导体保持接触,只要旋转方向不变,电刷 A、B 的极性就不变。()
5. 直流电动机运行时,作为电源正极的电刷 A 和 N 极下导体保持接触,作为负极的电刷 B 和 S 极下的导体保持接触,结果电磁转矩的方向保持不变。()