

普通高等教育“十五”国家级规划教材配套教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI PEITAO JIAOCAI

DIANJIXUE XITI JIEXI

电机学 习题解析

胡虔生 主编



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

中国电力出版社

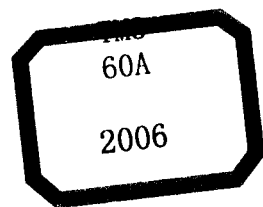
中国电力出版社

电机学 习题解析

王守志 主编

中国电力出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材配套教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI PEITAO JIAOCAI



DIANJIXUE XITI JIEXI

电机学 习题解析

主 编 胡虔生
编 写 杜炎森 缪嘉鸿
黄允凯 周建华
主 审 胡敏强



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十五”国家级规划教材《电机学》的配套教材，通过解析变压器、异步电机、同步电机、直流电机的计算题和概念题，帮助读者加深对电机学基本理论的理解，掌握解题的方法，提高计算能力和解决实际问题的能力。本书精选 660 个题目，大部分为例题，并有解题思路，留有少量习题，均有答案或提示。计算机解题是本书的重要组成部分，各章都有计算机解题例题，用 Matlab 或 C++ 两种语言求解，提供了计算机程序。此外，本书还提供大量攻读硕士学位研究生电机学入学试题和试卷分析。

本书内容丰富，每章前有内容提要，可作为高等院校电机学课程习题课教学用书，也可作为报考电机学研究生的复习资料；另外，本书还可以供与电机专业有关的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电机学习题解析/胡虔生主编. —北京: 中国电力出版社, 2006.

普通高等教育“十五”国家级规划教材配套教材

ISBN 7-5083-4654-8

I. 电… II. 胡… III. 电机学—高等学校—习题
IV. TM3—44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 107347 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 11 月第一版 2006 年 11 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 22.5 印张 546 千字

印数 0001—3000 册 定价 33.80 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

电机学是电气工程类专业的主干课，习题是其重要环节。本书通过解析变压器、异步电机、同步电机、直流电机的概念题和计算题，帮助学生加深对电机基本理论的理解，掌握解题方法，提高计算能力和解决实际问题的能力。与以前版本相比，本书有一些较大改动，主要包括以下几方面。

1. 本书为普通高等教育“十五”国家级规划教材《电机学》（胡虔生、胡敏强编著）的配套教材，符号和术语与《电机学》教材一致，对掌握基本概念和求解《电机学》中习题有很大帮助。本书内容丰富、涉及面较宽，适当扩大了知识面，个别习题超出了《电机学》教材的基本要求。例题中有历年电机学研究生入学试题（书中前标有“*”号），还有近几年研究生入学试卷，以供参考。

2. 新版计算机解题中引入了 Matlab 语言，提供了应用 Matlab 的例题 30 题，增加了 Matlab 常用功能介绍。Matlab 集计算、图形显示和编程于一体，可以使用户用熟悉的数学符号来解决实际问题，特别是用于矩阵和向量领域的科学计算问题，对电机学计算中的解方程组、复数代数运算、绘制曲线等很有帮助。与此同时，对本书中用 C++ 语言解题，本版仍保留一定数量题目，这也是一种有效方法，且对部分例题用两种语言同时求解，进行分析比较。

3. 新版对计算机解题，按内容分散在各章中，列在每一章的相关习题中，不再单独设章，拟将计算机解题作为解答问题的一种方法，渗透到各章节中去。学习之后，在教学中有有的习题也可以提倡用计算机解题。

4. 本书内容完整、篇幅大，本次新版充实了主要章节的内容，增加了部分习题解析。每章有内容提要，介绍本章基本概念和解析计算题所用的主要公式。全书共精选了 660 个题目，有概念题、计算题和计算机解题，以例题为主，并有解题思路，留有少量习题，均有答案或提示。

编写分工如下：第一章至第五章由杜炎森教授编写，第六章、第七章、第十二章至第十五章由缪嘉鸿副教授编写，第八章至第十一章、第十六章至第十九章由胡虔生教授编写，全书的计算机解题和附录由黄允凯讲师编写，周建华副教授对全书习题解析进行了增补和完善。本书由胡虔生教授主编，并负责全书统稿。胡敏强教授担任本书的主审，对书稿做了认真仔细的审阅，在此表示衷心的感谢。

本书是东南大学电机学科几代人教学实践的积累，东南大学和兄弟院校许多热心同志，在使用和修订本书的过程中给予了大力帮助和支持，深表谢意。

鉴于编者水平有限，书中不妥之处难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

2006 年 5 月于南京

目 录

前言

第一章 电机的电磁基本定律和磁路	1
内容提要	1
概念题	2
计算题	4

第一篇 变压器

第二章 变压器的基本作用原理和特性	12
内容提要	12
概念题	13
计算题	19
第三章 三相变压器及运行	40
内容提要	40
概念题	41
计算题	47
第四章 三相变压器的不对称运行及瞬态过程	60
内容提要	60
概念题	60
计算题	66
第五章 三绕组变压器和自耦变压器	79
内容提要	79
概念题	79
计算题	83

第二篇 交流电机的共同问题

第六章 交流电机绕组及其感应电动势	99
内容提要	99
概念题	100
计算题	105

第七章 交流绕组的磁动势	120
内容提要	120
概念题	120
计算题	128

第三篇 异步电机

第八章 异步电机的基本作用原理	141
内容提要	141
概念题	142
计算题	146
第九章 异步电动机的特性	159
内容提要	159
概念题	160
计算题	165
第十章 异步电动机的启动和调速	179
内容提要	179
概念题	180
计算题	182
第十一章 单相异步电动机和异步发电机	197
内容提要	197
概念题	198
计算题	200

第四篇 同步电机

第十二章 同步电机的基本理论和特性	216
内容提要	216
概念题	218
计算题	223
第十三章 同步发电机的并联运行和同步电动机	245
内容提要	245
概念题	246
计算题	251

第十四章 同步发电机的不对称运行·····	269
内容提要·····	269
概念题·····	269
计算题·····	271
第十五章 同步电机的突然短路与瞬态过程·····	274
内容提要·····	274
概念题·····	274
计算题·····	276

第五篇 直流电机

第十六章 直流电机的基本作用原理·····	279
内容提要·····	279
概念题·····	280
计算题·····	283
第十七章 直流发电机·····	298
内容提要·····	298
概念题·····	299
计算题·····	300
第十八章 直流电动机·····	316
内容提要·····	316
概念题·····	316
计算题·····	318
第十九章 攻读硕士学位研究生电机学入学试卷及其分析·····	333
附录 MATLAB 常用功能介绍·····	341
参考文献·····	349

第一章 电机的电磁基本定律和磁路

内 容 提 要

电机是能量转换装置，并且至少有一方为电能。电机是通过电磁感应作用来实现能量转换的，因此电机的工作原理就是建立在电磁感应定律、全电流定律、磁路定律、电路定律和电磁力定律等基础上的。这些定律在前面的电工等有关课程中均已学过，这里结合电机的具体情况进行简要的讨论。

1. 全电流定律

全电流定律的数学表达式为

$$\oint_1 \vec{H} \, d\vec{l} = \sum I \quad (1-1)$$

把全电流定律用于电机和变压器的多耦磁路时，可简化为

$$\sum_1^n H_i l_i = NI \quad (1-2)$$

式中 H_i ——第 i 段磁路磁场强度 (A/m)；

l_i ——第 i 段磁路的平均长度 (m)；

NI ——磁动势 (A)。

2. 磁路欧姆定律

磁路欧姆定律的数学表达式为

$$F = \Phi \sum_1^n R_{mi} \quad (1-3)$$

或

$$\Phi = \frac{F}{\sum_1^n R_{mi}}$$

其中

$$R_{mi} = \frac{1}{\mu_i} \times \frac{l_i}{S_i} \quad (1-4)$$

式中 F ——磁动势 (A)；

Φ ——磁通 (Wb)；

R_{mi} ——第 i 段磁路磁阻 (1/H)；

μ_i ——第 i 段磁路的导磁系数 (H/m)；

S_i ——第 i 段磁路的截面积 (m^2)。

3. 电磁感应定律

电磁感应定律的数学表达式为

$$e = -\frac{d\psi}{dt} = -N \frac{d\phi}{dt} = -L \frac{di}{dt} \quad (1-5)$$

或

$$e = Blv \quad (1-6)$$

式中 e ——线圈中的感应电动势 (V);
 ψ ——线圈所匝链的磁链, $\psi = N\Phi$;
 B ——导体所处位置的磁通密度 (Wb/m^2 或 T);
 v ——导体相对磁场运动的线速度 (m/s);
 l ——导体切割磁力线的有效长度 (m)。

感应电动势的方向由右手定则确定。

4. 电磁力定律

电磁力定律的数学表达式为

$$F_e = Bli \quad (1-7)$$

式中 F_e ——电磁力 (N);
 l ——导体位于磁场中的有效长度 (m);
 i ——导体中的电流 (A)。

电磁力的方向由左手定则确定。

概念题

1-1 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】 电机和变压器的铁芯常采用硅钢片制成, 磁路的其他部分常用导磁性能较好的钢板和铸钢制成。这些材料的主要特性是导磁性能好、铁芯损耗小。

1-2 公式 $e = -\frac{d\psi}{dt}$, $e = -N\frac{d\phi}{dt}$, $e = -L\frac{di}{dt}$, 都是电磁感应定律的不同写法, 它们之间有什么差别? 哪一种写法最有普遍性? 从一种写法改为另一种写法需要什么附加条件?

【答】 $e = -\frac{d\psi}{dt}$ 是电磁感应定律的普遍表达式, 另两种写法都需有一定的附加条件。当所有磁通匝链全部匝数时, 便可简化为 $e = -N\frac{d\phi}{dt}$ 。当为线性电感时 (即非铁磁材料线圈时), 电磁感应定律可进一步简化为 $e = -L\frac{di}{dt}$ 。

1-3 如何把 $e = -\frac{d\psi}{dt}$ 和 $e = Blv$ 两个外表不同的式子统一起来?

【答】 电磁感应定律是指线圈中的感应电动势的数值与线圈所交链的磁链的变化率成正比, 而线圈中磁链的变化有两种不同的方式。其中: ①磁通本来就是由交流电流所产生, 也就是说磁通本身在变化着。②磁通本身虽不变化, 但由于线圈与磁场间有相对运动, 线圈中的磁链在变化。若用数学式表示, 则有

$$d\psi = \frac{\partial \psi}{\partial t} dt + \frac{\partial \psi}{\partial x} dx$$

代入 $e = -\frac{d\psi}{dt}$ 式中, 则

$$\begin{aligned} e &= -\frac{d\psi}{dt} = -\frac{\partial \psi}{\partial t} - \frac{\partial \psi}{\partial x} \times \frac{dx}{dt} \\ &= -\frac{\partial \psi}{\partial t} - v \frac{\partial \psi}{\partial x} = e_T + e_R \end{aligned}$$

式中 e_T ——变压器电动势, $e_T = -\frac{\partial \psi}{\partial t}$;

e_R ——速度电动势 (或运动电动势), $e_R = -v \frac{\partial \psi}{\partial x}$ 。

当一根导体位于恒定磁场中运动时 (如图 1-1 所示), 这时导体中的感应电动势为 (因恒定磁场 $e_T = 0$)

$$\begin{aligned} e &= -\frac{d\psi}{dt} = -\frac{d\psi}{dx} \times \frac{dx}{dt} \\ &= -\frac{-Bl dx}{dx} v \\ &= Blv \end{aligned}$$

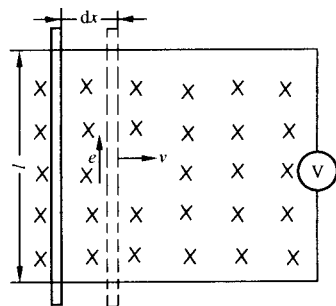


图 1-1 题 1-3 图

式中的 $d\psi = -Bl dx$ 表示导体与导线构成的回路中磁链的减少量。

电机中的感应电动势视电机类型的不同而不同, 有的电机中仅有 e_T , 有的电机中仅有 e_R , 也有的电机中 e_T 、 e_R 同时存在。

1-4 在什么情况下应把电磁感应定律写成 $e = +\frac{d\psi}{dt}$? 试举例说明之。

【答】 当假定感应电动势的正方向与磁通的正方向间符合右手螺旋关系时 [见图 1-2 (a)]

$$e = -\frac{d\psi}{dt}$$

若反之, 即假定成左手螺旋关系时 [见图 1-2 (b)]

$$e = +\frac{d\psi}{dt}$$

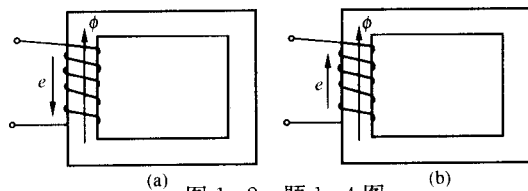


图 1-2 题 1-4 图

(a) $e = -\frac{d\psi}{dt}$; (b) $e = +\frac{d\psi}{dt}$

见图 1-2 (b), 当 ϕ 增加时, $d\psi > 0$, 由电磁感应定律, e 应倾向于产生一电流阻止 ϕ 的增加, e 与规定的正方向同向, e 为正。当 ϕ 减少时, $d\psi < 0$, 由电磁感应定律这时 e 为负。所以 e 与 $d\psi$ 始终同符号, 故有

$$e = +\frac{d\psi}{dt}$$

1-5 一台电机在同一时间决不能既是发电机又是电动机, 为什么说发电机作用和电动机作用同时存在于一台电机中?

【答】 任一台电机无论是发电机或是电动机, 在正常运行时, 其导体与磁场间总是存在相对运动, 这时导体中便将产生感应电动势, 这就是发电机作用。同时电机导体中总是有电流流过, 该载流导体与磁场作用便产生电磁力或电磁转矩, 这就是电动机作用。只要电机运行这两种作用总是同时存在, 而与电机的运行状态无关。

1-6 铁磁材料的磁滞损耗和涡流损耗是什么原因产生的? 其大小与哪些因素有关?

【答】 铁磁材料在交变磁场的作用下反复磁化过程中, 磁畴之间不停地互相摩擦消耗能量, 因而引起损耗。这种损耗称为磁滞损耗。电机中常用的硅钢片磁滞回线面积小 (软磁材料), 磁滞损耗小。磁滞损耗与磁通的交变频率成正比, 与磁通密度幅值的 α 次方成正比, 即磁滞损耗 $p_h \propto f B_m^\alpha$ 。在 $B_m = 1 \sim 1.6 T$ 时, $\alpha \approx 2$ 。

当交变磁通穿过铁芯或导体时,将在其中感应电动势和产生电流,这些电流围绕磁通呈涡流状流动,称为涡流。涡流引起的损耗称为涡流损耗。涡流损耗与磁通交变频率的平方成正比,与磁通幅值的平方成正比,与涡流回路的等效电阻成反比。对于硅钢片铁芯,涡流损耗还与硅钢片的厚度的平方成正比,即涡流损耗 $p_e \propto \frac{f^2 B_m^2 d^2}{r_w}$, 式中 d 为硅钢片的厚度, r_w 为涡流回路等效电阻。

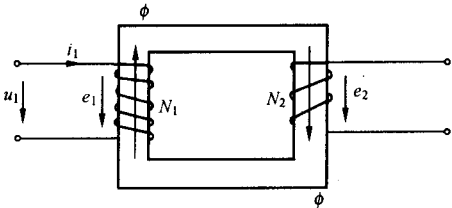


图 1-3 题 1-7 图

1-7 在图 1-3 中,如电流 i_1 在铁芯中建立的磁通是 $\phi = \Phi_m \sin \omega t$, 二次绕组的匝数是 N_2 , 试求二次绕组内感应电动势有效值的计算公式。

【答】 磁通 $\phi = \Phi_m \sin \omega t$

$$e = -N \frac{d\phi}{dt}$$

代入 N_2 和 ϕ 得二次绕组电动势为

$$e_2 = -N_2 \frac{d}{dt} (\Phi_m \sin \omega t) = -N_2 \Phi_m \omega \cos \omega t = E_{2m} \sin(\omega t - 90^\circ)$$

式中: E_{2m} 为二次绕组中感应电动势最大值。

二次绕组中感应电动势有效值为

$$E_2 = \frac{E_{2m}}{\sqrt{2}} = \frac{\omega N_2 \Phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f N_2 \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4.44 f N_2 \Phi_m$$

1-8 试比较磁路和电路的相似点和不同点?

【提示】 磁路与电路相似之处只是形式上的,如磁路中的磁通、磁动势、磁通密度、磁导等物理量,磁路欧姆定律、磁路基尔霍夫定律等基本定律均与电路中相应物理量、基本定律相似。但是,磁路与电路的本质是不同的,构成原理也不同。例如:①电流表示带电质点运动,它通过导体电阻产生功率损耗;而磁通不表示质点运动,交变磁通通过铁磁材料才会有铁芯损耗。②磁力线是无头无尾的,磁路中没有断路,非导磁材料(如空气等)中也有磁通存在,而电路中有良好的绝缘材料。③含有铁磁材料的磁路几乎都是非线性的(磁导率是非线性的),求解比较复杂,而电路大多是线性的,用欧姆定律求解比较方便。

计算题

1-9 有一矩形铁芯尺寸如图 1-4 所示,在铁芯上绕有线圈,当线圈中电流为 10A 时,在铁芯中产生的磁通为 0.005Wb,试求线圈应有的匝数。另已知铁芯截面积 $S=30\text{cm}^2$,铁芯所用材料的磁化曲线数据如表 1-1 所示。

表 1-1

题 1-9 表

H (A/cm)	5	10	20	30	40	50	60	80	110	140	180	250
B (T)	0.55	1.1	1.36	1.48	1.55	1.60	1.64	1.72	1.78	1.83	1.88	1.95

【解】 铁芯中的平均磁密为

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{0.005}{30 \times 10^{-4}} = 1.67(\text{T})$$

由表 1-1 给出的磁化曲线数据求出磁场强度为

$$H = 60 + \frac{1.67 - 1.64}{1.72 - 1.64}(80 - 60) = 67.5(\text{A/cm})$$

磁路平均长度为

$$l = 2 \times (10 + 6) = 32(\text{cm})$$

线圈匝数为

$$N = \frac{Hl}{I} = \frac{67.5 \times 32}{10} = 216(\text{匝})$$

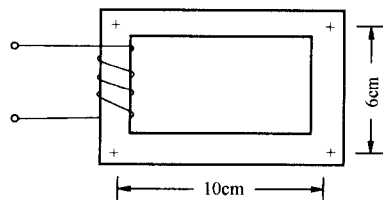


图 1-4 题 1-9 图 (一)

用计算机解题

按照全电流定律 $NI = \sum HL$ ，用 Matlab 进行求解。

程序如下：

```
function re=chapl_1
%*****
% * 用 Matlab 解题——第一章例题
% * 东南大学电气工程系
% * 文件名: chapl_1. m
%*****
%Hdata,Bdata 用来存放材料的磁化曲线
Hdata=[5 10 20 30 40 50 60 80 110 140 180 250];
Bdata=[0.55 1.1 1.36 1.48 1.55 1.60 1.64 1.72 1.78 1.83 1.88 1.95];
plot(Bdata,Hdata); %横坐标数据 Bdata,纵坐标数据 Hdata,绘制数据图 1-5
title('磁化曲线'); %给数据图加上标题
xlabel('B(T)'); %给数据图加上横坐标说明
ylabel('H(A/cm)'); %给数据图加上纵坐标说明
flux=0.005;s=0.003;i=10;B=flux/s;
H=interp1(Bdata,Hdata,B); %interp1 是 Matalab 提供的插值函数,详见下面说明
l=2*(10+6); N=H*l/i;
str=sprintf('需要%d匝线圈',floor(N)+1); disp(str);
```

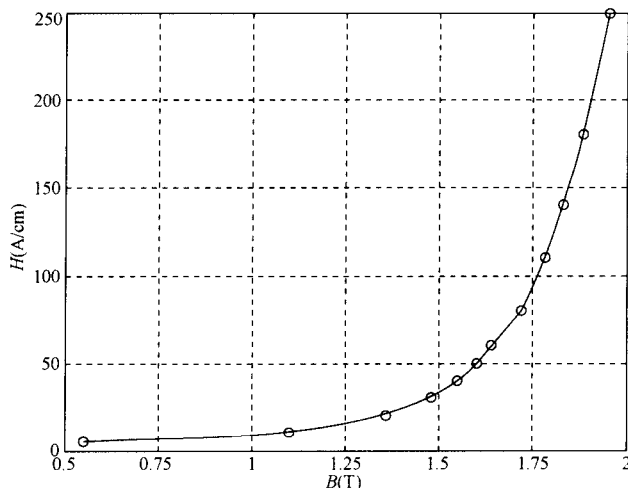


图 1-5 题 1-9 图 (二)

运行结果:

需要 214 匝线圈

说明: 函数 interp1

功能: 一维数据插值(表格查找)。该命令对数据点之间计算内插值。它找出一元函数 $f(x)$ 在中间点的数值。其中函数 $f(x)$ 由所给数据决定。

格式: $y_i = \text{interp1}(x, Y, x_i)$ ——返回 x_i 对应的插值数据 y_i , $f(x)$ 与 Y 的值决定。

$y_i = \text{interp1}(x, Y, x_i, \text{method})$ ——用指定的算法计算插值;常用的算法有:

'nearest':最近邻点插值,直接完成计算;

'linear':线性插值(缺省方式),直接完成计算;

'spline':三次样条函数插值。对于该方法,命令 interp1 调用函数 spline、ppval、mkpp、umkpp。这些命令生成一系列用于分段多项式操作的函数。

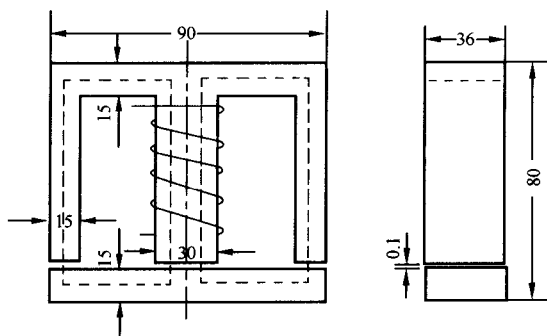


图 1-6 题 1-10 图(尺寸单位:cm)

各段磁路截面积为

$$S = S_0 = 36 \times 15 = 540(\text{cm}^2)$$

各段磁路的长度:

铁芯长度为

$$l = 2 \times [(80 - 15 - 0.1) + (45 - 15)] = 189.8(\text{cm})$$

气隙为

$$l_0 = 2 \times 0.1 = 0.2(\text{cm})$$

磁路中各段的磁通密度为

$$B = B_0 = \frac{\Phi}{2S} = \frac{0.15}{2 \times 540 \times 10^{-4}} = 1.39(\text{T})$$

气隙中的磁场强度为

$$H_0 = \frac{B}{\mu_0} = \frac{1.39}{1.257 \times 10^{-6}} = 1105807(\text{H/m}) = 11058.07(\text{H/cm})$$

铁芯中的磁场强度为

$$H = 20 + \frac{1.39 - 1.36}{1.48 - 1.36} \times (30 - 20) = 22.5(\text{H/cm})$$

需要的磁动势为

$$F = \sum Hl = Hl + H_0 l_0 = 22.5 \times 189.8 + 11058.07 \times 0.2 = 6482.1(\text{A})$$

若电流 $I=2\text{A}$, 则线圈的匝数应为

1-10 一对称分支磁路如图 1-6 所示。

铁芯材料的磁化曲线如题 1-9 的表 1-1 所列。若要在中间支路产生磁通 $\Phi = 0.15\text{Wb}$, 求应有多大的磁动势? 如果线圈中电流为 2A , 则应绕多少匝?

【解】 由于磁路对称, 所以可沿磁路对称轴线分成两半, 取其一半进行计算。在一半回路中各段截面积相等, 故只需分铁芯和气隙两段。

$$N = \frac{F}{I} = \frac{6482.1}{2} = 3241(\text{匝})$$

1-11 有一方框形铁芯其结构和尺寸如图 1-7 所示, 铁芯材料的磁化曲线同题 1-9, 略去气隙处边缘效应。求当线圈匝数等于 2030 匝, 电流为 10A 时, 铁芯中的磁通 Φ 等于多少?

【解】 由于铁芯各段尺寸不同和有气隙存在, 所以要分段计算, 根据结构尺寸共分 5 段。

第 1 段铁芯宽度 = 10cm

第 2 段铁芯宽度 = 15cm

第 3 段铁芯宽度 = 8cm

第 4 段铁芯宽度 = 12cm

第 5 段为气隙宽 = 12cm

各段的截面积为

$$S_1 = 10 \times 30 = 300(\text{cm}^2)$$

$$S_2 = 15 \times 30 = 450(\text{cm}^2)$$

$$S_3 = 8 \times 30 = 240(\text{cm}^2)$$

$$S_4 = 12 \times 30 = 360(\text{cm}^2)$$

$$S_5 = 12 \times 30 = 360(\text{cm}^2)$$

各段平均长度为

$$l_1 = 100 - \frac{12}{2} - \frac{15}{2} = 86.5(\text{cm})$$

$$l_2 = 60 - \frac{10}{2} - \frac{8}{2} = 51(\text{cm})$$

$$l_3 = 100 - \frac{12}{2} - \frac{15}{2} = 86.5(\text{cm})$$

$$l_4 = 60 - \frac{10}{2} - \frac{8}{2} - 0.1 = 50.9(\text{cm})$$

$$l_5 = 0.1(\text{cm})$$

求解该题时须用试探法, 假定一 Φ 值计算出所需总磁动势, 如计算出的总磁动势与已知磁动势相符, 则假定的 Φ 值即为所求铁芯中的磁通值。如不符, 则须重新假定 Φ 值和重新计算, 经过几次计算, 可求出与给定电流相近的两点, 再利用插值法求解。

设铁芯中的磁通为 $\Phi = 0.045\text{Wb}$ 。则各段磁路的磁密为

$$B_1 = \frac{\Phi}{S_1} = \frac{0.045}{300 \times 10^{-4}} = 1.5(\text{T})$$

$$B_2 = \frac{\Phi}{S_2} = \frac{0.045}{450 \times 10^{-4}} = 1.0(\text{T})$$

$$B_3 = \frac{\Phi}{S_3} = \frac{0.045}{240 \times 10^{-4}} = 1.875(\text{T})$$

$$B_4 = \frac{\Phi}{S_4} = \frac{0.045}{360 \times 10^{-4}} = 1.25(\text{T})$$

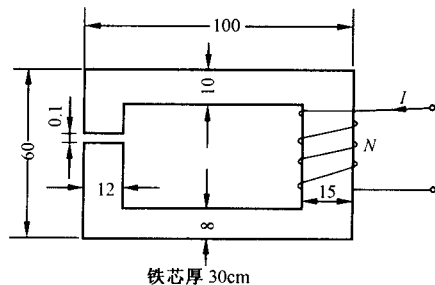


图 1-7 题 1-11 图 (尺寸单位: cm)

$$B_5 = \frac{\Phi}{S_5} = \frac{0.045}{360 \times 10^{-4}} = 1.25(\text{T})$$

各段磁路的磁场强度为

$$H_1 = 30 + \frac{1.50 - 1.48}{1.55 - 1.48}(40 - 30) = 32.86(\text{H/cm})$$

$$H_2 = 5 + \frac{1.0 - 0.55}{1.1 - 0.55}(10 - 5) = 9.09(\text{H/cm})$$

$$H_3 = 140 + \frac{1.875 - 1.83}{1.88 - 1.83}(180 - 140) = 176(\text{H/cm})$$

$$H_4 = 10 + \frac{1.25 - 1.1}{1.36 - 1.1}(20 - 10) = 15.77(\text{H/cm})$$

$$H_5 = \frac{B_5}{\mu_0} = \frac{1.25 \times 10^{-2}}{1.257 \times 10^{-6}} = 9944.3(\text{H/cm})$$

所需总磁动势为

$$\begin{aligned} F &= H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_3 l_3 + H_4 l_4 + H_5 l_5 \\ &= 32.86 \times 86.5 + 9.09 \times 51 + 176 \times 86.5 + 15.77 \\ &\quad \times 50.9 + 9944.3 \times 0.1 = 20327(\text{A}) \end{aligned}$$

所需励磁电流为

$$I' = \frac{F}{N} = \frac{20327}{2030} = 10.01(\text{A})$$

I' 与已知的线圈电流 $I=10\text{A}$ 几乎相等,故可认为铁芯中的磁通等于 0.045Wb 。

1-12 有一铁环的平均直径为 180mm ,铁环的横截面为一正方形,每边长 20mm ,铁芯的相对磁导率为 100 ,铁环上绕有 200 匝线圈,试求:线圈的电感是多少?

答案: $3.65 \times 10^{-3}\text{H}$ 。

1-13 一铁环的平均半径为 30cm ,铁环的横截面积为一直径等于 5cm 的圆形,在铁环上绕有线圈,当线圈中的电流为 5A 时,在铁芯中产生的磁通为 0.003Wb ,试求线圈应有的匝数。

铁环所用的材料为铸钢,其磁化曲线仍同题 1-9。

答案: 匝数 $N=1400$ 匝。

1-14 设题 1-13 铁芯中所产生的磁通减小一半,线圈匝数仍同题 1-13 中所求得的数值,问此时线圈中应流过多少电流?

答案: $I=0.936\text{A}$ 。

1-15 如线圈中的电流为 4A ,线圈的匝数仍同题 1-13 中所求得的数值,问铁芯中的磁通为多少?

答案: $\Phi=0.0029\text{Wb}$ 。

1-16 设题 1-13 中的铁环不是闭合的,而是留有长度为 1mm 的空气隙。

(1) 如线圈中的电流仍为 5A ,铁芯中的磁通仍为 0.003Wb ,问线圈的匝数应为多少?

(2) 如线圈中的电流仍为 5A ,线圈的匝数仍同题 1-13 中所求得的数值,问铁芯中的磁通为多少?

答案: (1) $N=1640$ 匝;

(2) $\Phi=0.00292\text{Wb}$ 。

1-17 设有一矩形线圈结构尺寸如图 1-8 (a) 所示。线圈共有 200 匝, 环绕图 1-8 (b) 中所示中心轴线以 3000r/min 的转速匀速旋转, 线圈所处空间为 $B=1.4\text{T}$ 的均匀磁场。试求:

(1) 线圈中感应电动势的时间表达式。

(2) 当线圈中通入 $I=20\text{A}$ 的电流时, 线圈上将产生电磁力和电磁转矩, 写出电磁转矩与线圈位置关系的表达式。

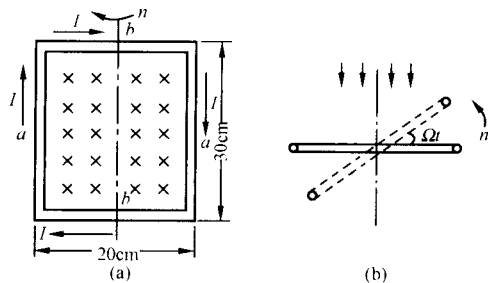


图 1-8 题 1-17 图 (一)

【解】 (1) 线圈平面与磁通垂直时, 线圈交链的磁链最大, 为

$$\Psi_m = N\Phi_m = 200 \times 1.4 \times 0.2 \times 0.3 = 16.8(\text{Wb})$$

线圈旋转的角速度为

$$\Omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \times 3000}{60} = 314(\text{rad/s})$$

设线圈平面与磁通 Φ 垂直时 $t=0$, 即 $t=0$ 时 $\psi = \psi_m$, ψ 随时间的表达式为

$$\psi = \Psi_m \cos \Omega t$$

感应电动势的时间表达式为

$$\begin{aligned} e &= -\frac{d\psi}{dt} = \Psi_m \Omega \sin \Omega t \\ &= 16.8 \times 314 \sin 314t = 5275.2 \sin 314t(\text{V}) \end{aligned}$$

(2) 当线圈平面与磁通垂直时线圈各边所受到的电磁力为:

$$a \text{ 边} \quad F_{ea} = NBI_a I = 200 \times 1.4 \times 0.3 \times 20 = 1680(\text{N})$$

由左手定则, 两条 a 边的受力方向为向外。

$$b \text{ 边} \quad F_{eb} = NBI_b I = 200 \times 1.4 \times 0.2 \times 20 = 1120(\text{N})$$

由左手定则, 两条 b 边的受力方向为亦向外。

由于两条 a 边上的电磁力大小相等、方向相反, 2 条 b 边上的电磁力也是大小相等、方向相反, 均互相抵消, 故这时作用在线圈上的电磁转矩 $T=0$ 。

当线圈平面与磁通平行时 (见图 1-9) 线圈各边所受到的电磁力为:

$$a \text{ 边} \quad F_{ea} = NBI_a I = 1680(\text{N})$$

电磁力方向如图 1-9 所示, 这时设上导体电流为流进纸面, 下导体电流为流出。

$$b \text{ 边} \quad F_{eb} = 0$$

线圈所受电磁转矩为

$$T = F_{ea} b = 1680 \times 0.2 = 336(\text{N} \cdot \text{m})$$

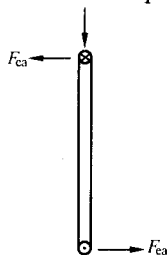


图 1-9 题 1-17 图 (二)

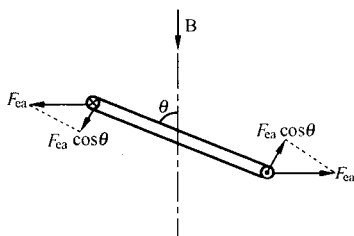


图 1-10 题 1-17 图 (三)

设线圈平面与磁通 Φ 间的夹角为 θ (见图 1-10), 电磁转矩