



普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI PEITAO JIAOCAI

DIANJIXUE XITI JIEXI

电机学习题解析

(第二版)

胡虔生 主编



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>



Electricity Engineering



普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI PEITAO JIAOCAI

TM3/60=2A

2010

DIANJIXUE XITI JIEXI

电机学习题解析

(第二版)

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>

Electricity Engineering

内 容 提 要

本书为《普通高等教育“十一五”国家级规划教材 电机学（第二版）》的配套教材，通过解析变压器、交流电机、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。

本书内容丰富、结构合理，每章前有内容提要，归纳本章主要物理概念和计算方法。全书精选 660 多个题目，概念题与计算题并重，大部分为例题，并有解题思路，对《电机学（第二版）》教材中的习题，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 语言求解。此外，本书还提供多套硕士研究生电机学入学试题和试卷分析。

本书可作为高等院校“电机学”课程的配套教材，也可作为相关专业的教学参考书或自学辅导教材，同时，还可供从事电机运行和制造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. —2 版. —北京: 中国电力出版社, 2010. 2

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教材

ISBN 978 - 7 - 5123 - 0052 - 1

I. ①电… II. ①胡… III. ①电机学—高等学校—习题
IV. ①TM3—44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 013466 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
2010 年 3 月第二版 2010 年 3 月北京第三次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 22 印张 535 千字
定价 33.80 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
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

电机学习题是电机学课程的重要内容,《电机学习题解析(第二版)》为《普通高等教育“十一五”国家级规划教材 电机学(第二版)》(胡虔生,胡敏强编著)的配套教材,本书继承原书风格,更加完善了各章的内容提要,简明扼要归纳本章主要物理概念和计算方法,帮助学生掌握基础理论,仍以电机学教材为中心选题,突出重点,计算题和概念题并重,并对《电机学(第二版)》中全部习题给出答案,有代表性思考题,也有解析。本书内容丰富、题量大、涉及面较宽,给读者较大的选择空间,适用面宽。各院校“电机学”课程学时不同,要求各异,书中有的内容可不作基本要求,供读者参考。

本书在第一版的基础上有一些较大改动:

(1) 随着教学改革的深入,电机学教材不断更新,与其配套的学习指导书,内容也将不断变化,更加注重学生综合分析能力和计算能力的训练和提高,注意新技术内容的介绍,注意语言文字表达的准确和精练,在概念题和计算题取舍方面,本次增加风力发电机的概念题,减少三绕组变压器的计算题等。

(2) 计算机解题中全部用 Matlab 语言,去掉目前已较少使用的 C++ 语言求解例题,并更规范了原程序,使本书篇幅更紧凑。编者可提供 Matlab 语言程序软件。

(3) 增加了主要符号表,电机学所用的名词术语和文字符号(含上下标)较多,涉及电学、磁学和力学等方面,除部分有国家标准外,各书略有不同,有必要疏理一下,以便利于统一本书符号和规范名词术语。

(4) 全书章节略有变化,修改后第二版为十八章加两个附录,原十九章改为附录 A,并增加了近年电机学典型测试卷及其分析,可供读者复习模拟考试。

本书仍由原编写人员东南大学胡虔生教授,杜炎森教授,缪嘉鸿副教授,黄允凯副教授,周建华教授共同进行修改,由胡虔生教授主编并统稿。东南大学胡敏强教授为本书的主审,对书稿进行了认真评阅,提出了十分宝贵的建议,对此表示诚挚的谢意。

本书是东南大学电机学国家级精品课程的组成部分,感谢东南大学老师和广大读者长期对本书的支持和帮助。书中难免有疏漏之处,恳请读者能够批评指正。

编 者

2010年1月于南京

第一版前言

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(书中题目前标有“*”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,在教学中有用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

主要符号表

A	A相(a相); 线负荷	K_N	绕组因数
a	并联支路数; 复数算子	K_m	过载能力
B	B相(b相); 磁通密度	k_v	电压波形正弦畸变率
B_r	剩余磁通密度	k	电压变比(变压器)
b	宽度长	k_k	短路比
b_m	电纳	k_A	自耦变压器变比
C	C相(c相); 并列圈边数; 电容; 比热	L	电感
C_e	电动势常数	l	长度
C_T	转矩常数	M	互感
C_1	修正系数(异步电机)	m	相数
D_a	定子内径	N	串联匝数
E	电动势(交流表示有效值)	N_c	线圈的匝数
E_C	线圈电动势	n	转速
E_q	q 个线圈合成电动势	n_1	同步转速
e	电动势瞬时值	P	功率(有功)
F	磁动势; 力	P_1	输入功率
F_e	电磁力	P_2	输出功率
F_{cl}	线圈磁动势的基波振幅	P_i	机械功率
F_{ql}	线圈组磁动势的基波振幅	P_M	电磁功率
F_{ml}	磁动势的基波振幅	p	损耗; 极对数
f	频率; 磁动势瞬时值	p_{Cu}	铜损耗
G	重量	p_{Fe}	铁损耗
g_m	电导	p_{ad}	附加损耗
H	磁场强度	p_{mec}	机械损耗
H_c	矫顽磁力	Q	无功功率; 热量
I	电流(交流表示有效值)	q	每极每相槽数
I_μ	励磁电流中磁化电流	R	电阻(r 电阻)
I_{Fe}	励磁电流中铁耗电流	R_m	磁阻; 励磁电阻
i	电流瞬时值	r_Δ	附加电阻
J	转动惯量	S	视在功率; 面积; 每槽导体数
j	电流密度	s	转差率; 秒
K	换向器片数	s_k	最大转矩时转差率
K_d	分布因数	T	转矩(电磁转矩); 时间常数; 周期
K_p	节距因数	T_1	输入转矩
		T_2	输出转矩

T_J	加速转矩
T_{a3}	非周期电流衰减时间常数
T'_{d3}	瞬变电流衰减时间常数
T''_{d3}	超瞬变电流衰减时间常数
T_{d0}	定子开路时励磁绕组电流自由分量衰减时间常数
T_c	换向周期
t	时间
U	电压 (交流表示有效值)
U_ϕ	相电压
U_M	磁位差
u	电压瞬时值
ΔU	电压变化率; 电刷接触电压降
W	功; 能
W_m	磁场储能
X	电抗 (x 电抗)
X_s	同步电抗
x_p	保梯电抗
Y_m	导纳
y	绕组合成节距
y_1	第一节距
y_2	第二节距
Z	阻抗; 槽数
Z_L	负载阻抗
α	槽距角
β	短距角; 负载系数
δ	功率角; 气隙
θ	功率因数角; 温升
Ψ	磁链
ψ	内功率因数角
Λ	磁导
μ	磁导率
σ	电导率
η	效率
τ_p	极距

Φ	磁通量
Φ_m	主磁通
ϕ	磁通瞬时值
Ω	机械角速度
ω	电角频率

上角标的含义:

“'”	归算值; 瞬态值
“''”	超瞬态值
“·”	相 (矢) 量值

下标 (右) 的含义:

1	定子侧; 一次侧 (变压器); 基波
2	转子侧; 二次侧 (变压器); 二次谐波 (3, 4, ...次谐波, 类推)
+	正序
-	负序
0	零序; 空载
*	标么值
a	电枢
d	直轴
q	交轴
f	励磁 (直流)
m	励磁 (交流); 最大值
k	短路; 换向极
N	额定
st	启动
av	平均 (值)
ν	ν 次谐波
σ	(泄) 漏
max	最大 (值)
min	最小 (值)
ph	相值
p-p	线值

目 录

前言

第一版前言

主要符号表

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	48
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	97
内容提要	97

概念题	98
计算题	103
第七章 交流绕组的磁动势	118
内容提要	118
概念题	118
计算题	126

第三篇 异步电机

第八章 异步电机的基本作用原理	139
内容提要	139
概念题	141
计算题	144
第九章 异步电动机的特性	157
内容提要	157
概念题	158
计算题	163
第十章 异步电动机的启动和调速	176
内容提要	176
概念题	177
计算题	179
第十一章 单相异步电动机和异步发电机	194
内容提要	194
概念题	195
计算题	197

第四篇 同步电机

第十二章 同步电机的基本理论和特性	210
内容提要	210
概念题	212
计算题	218
第十三章 同步发电机的并联运行和同步电动机	236
内容提要	236
概念题	237

计算题.....	242
第十四章 同步发电机的不对称运行	260
内容提要.....	260
概念题.....	260
计算题.....	262
第十五章 同步电机的突然短路与瞬态过程	265
内容提要.....	265
概念题.....	265
计算题.....	267

第五篇 直流电机

第十六章 直流电机的基本作用原理	270
内容提要.....	270
概念题.....	271
计算题.....	274
第十七章 直流发电机	289
内容提要.....	289
概念题.....	290
计算题.....	291
第十八章 直流电动机	304
内容提要.....	304
概念题.....	305
计算题.....	306
附录	320
A 电机学研究生入学试卷与典型测试卷.....	320
B Matlab 常用功能介绍.....	331
参考文献	339

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对象进行进一步的讨论。

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, $\psi = N\Phi$ (Wb);

B ——导体所处位置的磁通密度 (Wb/m² 或 T);

L ——线圈电感, $L = \frac{\psi}{I} = \Delta N^2 = \frac{N^2}{R_m}$ 。

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。

5. 磁路与电路比较

磁路与电路有可类比之处, 但是它们的本质是不同的。电机中铁磁材料的磁导率为非线性的, 因此, 求解磁路时应与解非线性电路一样处理。

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

$$e = -\frac{d\psi}{dt} = -\frac{\partial\psi}{\partial t} - \frac{\partial\psi}{\partial x} \times \frac{dx}{dt}$$

$$= -\frac{\partial\psi}{\partial t} - v \frac{\partial\psi}{\partial x} = e_T + e_R$$

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 (见图 1-1), 这时导体中的感应电动势为 (因恒定磁场 $e_T=0$)

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

$$= -\frac{-Bl dx}{dx} v = Blv$$

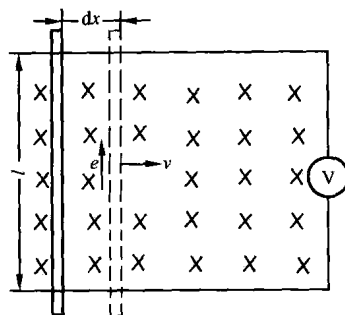


图 1-1 题 1-3 图

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)]

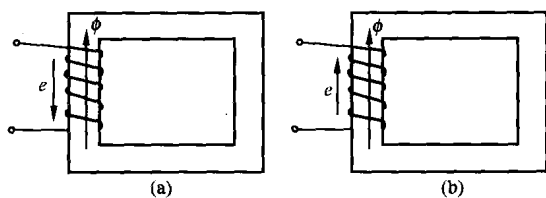


图 1-2 题 1-4 图

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

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

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 $B_m = 1 \sim 1.6\text{T}$ 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漩涡状流动,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。

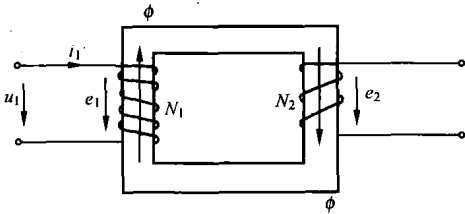


图 1-3 题 1-7 图

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} ——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

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

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
%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);
```

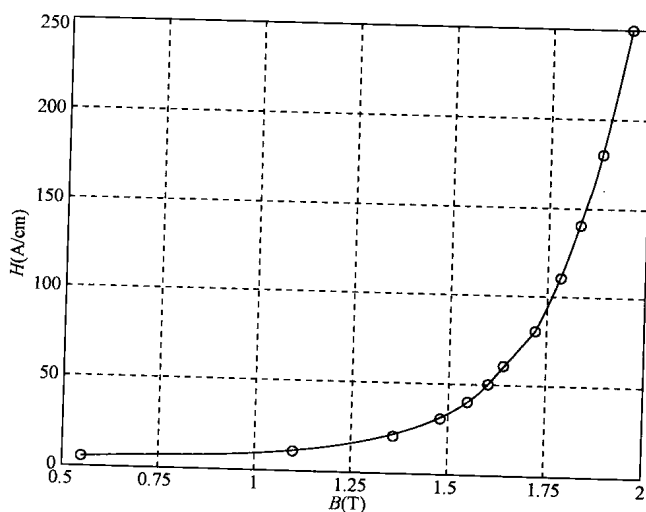


图 1-5 题 1-9 图(二)

运行结果：

需要 214 匝线圈

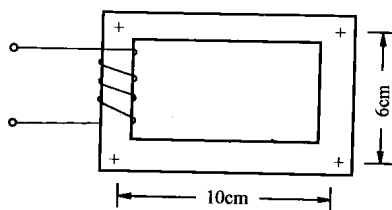


图 1-4 题 1-9 图(一)

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。

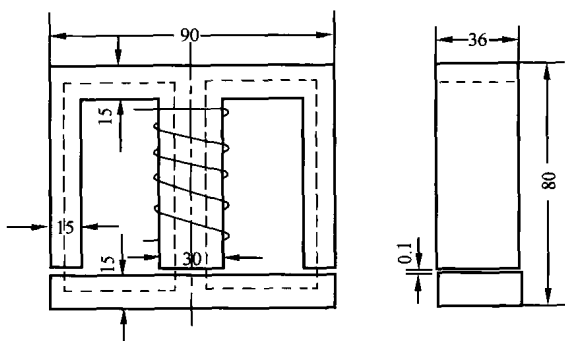


图 1-6 题 1-10 图(尺寸单位:cm)

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 2 A , 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。

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

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

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

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

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

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

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

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

各段磁路的磁场强度为

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

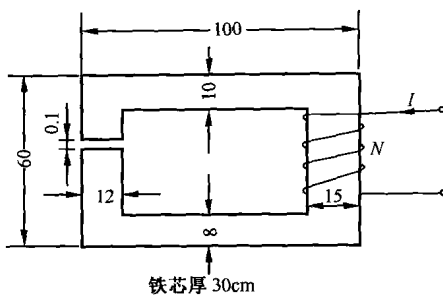


图 1-7 题 1-11 图 (尺寸单位: cm)