



普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套参考书



高等学校理工类课程学习辅导丛书

电机与拖动 第三版

学习辅导与习题解答

唐介 刘娆 主编

高等教育出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



高等学校理工类课程学习辅导丛书

电机与拖动 第三版

学习辅导与习题解答

Dianji yu Tuodong (Di 3 Ban) Xuexi Fudao yu Xiti Jieda

唐介 刘尧 主编

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是与大连理工大学唐介、刘尧主编的《电机与拖动》(第三版)相配套的教学参考书。本书包含《电机与拖动》(第三版)上篇“电机与拖动基础”的全部内容。章次与教材一致,每章分“基本要求”、“学习提示”、“教学建议”、“思考题解答”和“练习题解答”五部分。

本书既可为使用《电机与拖动》(第三版)教材的学生提供复习和自学的帮助,也可供教师备课和批改作业时参考。

图书在版编目(CIP)数据

电机与拖动(第三版)学习辅导与习题解答 / 唐介,
刘尧主编. -- 北京:高等教育出版社,2014.4
ISBN 978-7-04-031116-7

I. ①电… II. ①唐…②刘… III. ①电机-高等学校-教学参考资料②电力传动-高等学校-教学参考资料
IV. ①TM3②TM921

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 020693 号

策划编辑	金春英	责任编辑	许海平	封面设计	于文燕	版式设计	余杨
插图绘制	尹莉	责任校对	刘娟娟	责任印制	朱学忠		

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社址	北京市西城区德外大街4号	网址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印刷	高教社(天津)印务有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
开本	787mm×960mm 1/16		http://www.landaco.com.cn
印张	9.25	版次	2014年4月第1版
字数	160千字	印次	2014年4月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定价	15.20元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 31116-00

前 言

本书是与《电机与拖动》(第三版)配套的教学参考书,是为学生的自主学习提供帮助而编写的,也可供教师备课和批改作业时参考。

本书包含了《电机与拖动》(第三版)上篇“电机与拖动基础”涉及的内容。章次与主教材一致。每章分“基本要求”、“学习提示”、“教学建议”、“思考题解答”和“练习题解答”五部分。

“基本要求”说明了对各部分内容的要求,其中重点部分属于“掌握”的内容,其余属于“了解”的内容。

“学习提示”对重点和难点中容易忽视和出错的内容进行了提示和说明。

“教学建议”对各章的教学时数及教学内容的取舍等问题提供了参考意见。

“思考题解答”给出了主教材中全部思考题的解答。这些思考题多为基本概念题,可供课堂讨论、教师提问和课后复习用。

“练习题解答”给出了主教材中全部练习题的解题过程和答案。书中图号则按本书顺序编号。

本书可为读者阅读和使用《电机与拖动》(第三版)教材时提供参考和帮助。希望读者充分、合理地利用本书。

本书由唐介和刘烧主编,参加本书修订的还有徐占国(第3、4章)和安毅(第7、8章)。

大连理工大学马鋆教授仔细审阅了本书,提出了很多宝贵的意见和建议。编者在此表示衷心的感谢。

编 者

2013年9月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010) 58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010) 82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

第 1 章 磁路	1
第 2 章 变压器	10
第 3 章 异步电机的基本理论	33
第 4 章 异步电机的电力拖动	47
第 5 章 同步电机的基本理论	65
第 6 章 同步电机的电力拖动	81
第 7 章 直流电机的基本理论	89
第 8 章 直流电机的电力拖动	103
第 9 章 控制电机	119
第 10 章 电动机的选择和维护	127
第 11 章 电力拖动系统的动力学基础	134

第 1 章 磁 路

一、基本要求

1. 了解磁场的基本物理量。
2. 了解物质在磁性能方面的特点。
3. 掌握恒定磁通磁路欧姆定律，了解交变磁通磁路欧姆定律和磁路基尔霍夫定律，了解磁路的计算。
4. 了解直流铁心线圈电路与交流铁心线圈电路的区别，掌握交流铁心线圈电路的电磁关系、功率关系和等效电路，掌握铁损耗的形成和减少铁损耗的主要方法。

二、学习提示

1. 磁场基本物理量的定义已在物理学中学过，教材未作重复。通过本节的复习要了解 Φ 、 B 、 H 的区别和关系以及 μ 的定义和 μ_0 的大小。

2. 按磁导率的不同，物质可分为非磁性物质和磁性物质两大类。它们在磁性能方面的特点是：

(1) 非磁性物质： $\mu \approx \mu_0 = \text{常数}$ 。

(2) 磁性物质：

① 高导磁性： $\mu \gg \mu_0$

② 磁饱和性： $\mu \neq \text{常数}$ ，存在磁饱和现象。

③ 磁滞性：具有保留其磁性的倾向，存在磁滞现象。

3. 磁路的基本定律有：

恒定磁通磁路欧姆定律 $\Phi = \frac{F}{R_m}$

交变磁通磁路欧姆定律 $\Phi_m = \frac{F_m}{Z_m}$

磁路基尔霍夫第一定律 $\sum \Phi = 0$

磁路基尔霍夫第二定律 $\sum U_m = \sum F$

磁路基本定律在形式上与电路基本定律相同。其中,磁通势 F 与电动势 E 相对应,磁通 Φ 与电流 I 相对应,磁阻 R_m 与电阻 R 相对应,磁阻抗 Z_m 与阻抗 Z 相对应……了解它们的这种对偶关系,有利于对磁路基本定律的记忆和理解。

磁路基尔霍夫定律只介绍了恒定磁通磁路基尔霍夫定律,对于交变磁通时的磁路基尔霍夫定律,需要时读者可根据上述对偶关系得到。

磁路计算主要是了解恒定磁通无分支磁路第一类问题的计算。

4. 学习铁心线圈电路要了解或掌握下述内容:

(1) 要了解铁心线圈电路与非铁心线圈电路的区别。

铁心线圈电路是含有非线性电感的电路,非铁心线圈电路是只含有线性电感的电路。

在直流铁心线圈电路中,由于电感相当于短路,故其分析结果与直流非铁心线圈电路相同。

在交流铁心线圈电路中,与漏磁通对应的电感(漏电感)是线性电感,而与主磁通对应的电感是非线性电感。

(2) 要掌握直流铁心线圈电路和交流铁心线圈电路中磁路的区别。

直流铁心线圈电路中的磁路为恒定磁通磁路,线圈电压一定,则电流 $I = \frac{U}{R}$ 一定,磁路的磁通势 F 一定,磁路中磁通 Φ 的大小取决于磁路的磁阻 R_m 的大小。

交流铁心线圈电路中的磁路为交变磁通磁路,线圈电压一定,则磁路的磁通 $\Phi_m \approx \frac{U}{4.44Nf}$ 基本上一定。因此磁通势和线圈电流的大小取决于磁路的磁阻抗。

(3) 要掌握在直流铁心线圈电路和交流铁心线圈电路中功率损耗的区别。

在直流铁心线圈电路中,由于磁路中的磁通是恒定磁通,不会在铁心中产生铁损耗,电路中只有铜损耗。

在交流铁心线圈电路中,由于磁路中的磁通为交变磁通,故除了线圈消耗的铜损耗外,电路的有功功率还包括铁心中消耗的铁损耗,它由涡流损耗和磁滞损耗两部分组成,要了解其成因及减少铁损耗的方法。

(4) 掌握交流铁心线圈电路的等效电路,以便为学习后续各章打下基础。等效电路中的参数有:

R ——线圈的电阻;

X ——线圈的漏电抗，由漏磁通电感所形成；

R_0 ——励磁电阻，代表铁损耗的等效电阻；

X_0 ——励磁电抗，由主磁通电感所形成。

三、教学建议

1. 本章教学参考学时数(包括绪论)为4学时。

2. 1.2节物质的磁性能中有关利用磁畴对特性所作的解释不必在课堂上讲授，可以不作要求或留给学生自学。

3. 例1.3.1磁路计算中，求 A_0 时未考虑边沿效应问题，教师可根据需要决定是否补充。

四、思考题解答

1.1(1) 用右手螺旋定则判断直导线电流和线圈电流所产生的磁场的方向时有何区别？

答 判断直导线电流产生的磁场方向时，右手大拇指表示电流方向，其他四指的回转方向表示磁感线的方向。而判断线圈电流产生的磁场方向时，正好相反，右手四指的回转方向表示线圈电流的方向，大拇指表示线圈内部磁感线的方向。

1.1(2) 磁铁内、外磁感线的方向是由N极到S极还是由S极到N极？

答 磁铁内部磁感线的方向是由S极到N极，磁铁外部则由N极到S极。

1.2(1) 为什么永久磁铁要用硬磁材料制造？

答 因为硬磁材料的剩磁强度大。

1.2(2) 初始磁化曲线与基本磁化曲线有何不同？

答 初始磁化曲线是 H 由零单调上升时所得到的 $B-H$ 曲线，而基本磁化曲线是一系列不同 H_m 值时的磁滞回线的正顶点与原点连接成的曲线。

1.3(1) 磁路的结构一定，磁路的磁阻是否一定，即磁路的磁阻是否是线性的？

答 由于磁性材料的磁导率 μ 不是常数， B 与 H 不是正比关系，因此，磁路的结构(即尺寸、形状和材料)一定时，磁路的磁阻并非一定，即磁路的磁阻是非线性的。

1.3(2) 当磁路中有几个磁通势同时作用时，磁路计算能否用叠加定理？

答 由于磁路是非线性的，因此不能用叠加定理。

1.4(1) 教材图1.4.1所示交流铁心线圈，漏阻抗可忽略不计，电压的有效值和频率不变，而将铁心的平均长度增加一倍，试问铁心中主磁通最大值 Φ_m 的

大小是否变化? 如果是直流铁心线圈, 铁心中的主磁通 Φ 的大小是否变化?

答 增加铁心的长度是不会改变铁心中主磁通最大值 Φ_m 的。因为在忽略漏阻抗时, $\Phi_m = \frac{U}{4.44Nf}$, 即 Φ_m 与磁路的几何尺寸无关。如果是直流铁心线圈, 铁心的长度增加一倍, 在相同的磁通势下, 由于磁阻增加了, 主磁通就要减小。

1.4(2) 两个匝数相同 ($N_1 = N_2$) 的铁心线圈, 分别接到电压值相等 ($U_1 = U_2$), 而频率不同 ($f_1 > f_2$) 的两个交流电源上时, 试分析两个线圈中的主磁通 Φ_{1m} 和 Φ_{2m} 谁大谁小 (分析时可忽略线圈的漏阻抗)。

答 根据 $\Phi_m = \frac{U}{4.44Nf}$ 可知, $\Phi_{1m} < \Phi_{2m}$ 。

1.4(3) 直流电流通过电路时, 会在电阻中产生功率损耗, 恒定磁通通过磁路时, 会不会产生功率损耗?

答 恒定磁通通过磁路时, 不会在磁路中产生功率损耗。这是因为磁路中的功率损耗即铁损耗, 如果磁通不变化, 就不会在铁心中产生涡流和磁滞现象, 也就不会产生涡流损耗和磁滞损耗, 即不会产生铁损耗。

1.4(4) 交流铁心线圈, 电压大小保持不变, 而频率由 50 Hz 增加到 60 Hz, 设 $\alpha = 2.0$, 试问该磁路中的铁损耗是增加了还是减小了?

答 忽略线圈的漏阻抗, 则 $\Phi_m = \frac{U}{4.44Nf}$, f 由 50 Hz 增加至 60 Hz, Φ_m 和 B_m 将减少至原来的 $\frac{1}{1.2}$, 由公式 $P_{Fe} = (K_h f B_m^\alpha + K_e d^2 f^2 B_m^2) V$ 可知 P_{Fe} 将减少。

五、练习题解答

1.1.1 某铁心的截面积 $A = 10 \text{ cm}^2$, 当铁心中的 $H = 5 \text{ A/cm}$ 时, $\Phi = 0.001 \text{ Wb}$, 且可认为磁通在铁心内是均匀分布的, 求铁心的磁感应强度 B 和磁导率 μ 。

解 本题目的是为了了解磁场的基本物理量之间的关系。

$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{0.001}{10 \times 10^{-4}} \text{ T} = 1 \text{ T}$$

$$\mu = \frac{B}{H} = \frac{1}{5 \times 10^2} \text{ H/m} = 0.002 \text{ H/m}$$

1.2.1 求下述两种情况下铸钢中的磁场强度和磁导率: (1) $B = 0.5 \text{ T}$; (2) $B = 1.3 \text{ T}$, 并比较饱和与不饱和两种情况下谁的 μ 大。

解 本题目的是为了比较在磁路不饱和与磁路饱和两种情况下, 磁性物质

的导磁能力。

(1) $B = 0.5 \text{ T}$ 时

由磁化曲线查得 $H = 4 \text{ A/cm}$ ，因此

$$\mu = \frac{B}{H} = \frac{0.5}{4 \times 10^2} \text{ H/m} = 0.00125 \text{ H/m}$$

(2) $B = 1.3 \text{ T}$ 时

由磁化曲线查得 $H = 16 \text{ A/cm}$ ，因此

$$\mu = \frac{B}{H} = \frac{1.3}{16 \times 10^2} \text{ H/m} = 0.0008125 \text{ H/m}$$

由于 $B = 0.5 \text{ T}$ 时，磁路未饱和， $B = 1.3 \text{ T}$ 时，磁路已饱和，可见，磁路不饱和时 μ 大。

1.2.2 已知硅钢(含硅4%)的 $H = 4 \text{ A/cm}$ ，铸铁的 $H = 9 \text{ A/cm}$ 。求它们的 B 和 μ ，并比较谁的导磁能力强。

解 本题目的是为了比较硅钢和铸铁两种磁性材料的导磁能力。

(1) 硅钢， $H = 4 \text{ A/cm}$ 时

由磁化曲线查得 $B = 1.1 \text{ T}$ ，而且磁路已饱和。由此求得

$$\mu = \frac{B}{H} = \frac{1.1}{4 \times 10^2} \text{ H/m} = 0.00275 \text{ H/m}$$

(2) 铸铁， $H = 9 \text{ A/cm}$ 时

由磁化曲线查得 $B = 0.2 \text{ T}$ ，而且磁路未饱和。由此求得

$$\mu = \frac{B}{H} = \frac{0.2}{9 \times 10^2} \text{ H/m} = 0.000222 \text{ H/m}$$

可见，硅钢的导磁能力强。

1.3.1 在如图 1.1 所示恒定磁通磁路中，铁心的平均长度 $l = 100 \text{ cm}$ ，铁心各处的截面积均为 $A = 10 \text{ cm}^2$ ，空气隙长度 $l_0 = 1 \text{ cm}$ 。当磁路中的磁通为 0.0012 Wb 时，铁心中磁场强度为 6 A/cm 。试求铁心和空气隙部分的磁阻、磁位差和线圈的磁通势。

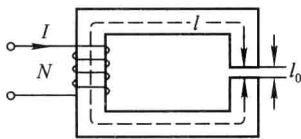


图 1.1

解 本题目的是为了了解磁路的磁阻、磁位差和磁通势。

取磁路空气隙部分的截面积与铁心的截面积相同，因而，磁路各处的磁感应强度为

$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{0.0012}{10 \times 10^{-4}} \text{ T} = 1.2 \text{ T}$$

铁心的磁导率为

$$\mu_c = \frac{B_c}{H_c} = \frac{1.2}{6 \times 10^2} \text{ H/m} = 0.2 \times 10^{-2} \text{ H/m}$$

铁心和气隙部分的磁阻为

$$R_{mc} = \frac{l_c}{\mu_c A_c} = \frac{100 \times 10^{-2}}{0.2 \times 10^{-2} \times 10 \times 10^{-4}} \text{ H}^{-1} = 0.5 \times 10^6 \text{ H}^{-1}$$

$$R_{m0} = \frac{l_0}{\mu_0 A_0} = \frac{1 \times 10^{-2}}{4\pi \times 10^{-7} \times 10 \times 10^{-4}} \text{ H}^{-1} = 7.96 \times 10^6 \text{ H}^{-1}$$

铁心和气隙部分的磁位差为

$$U_{mc} = H_c l_c = 6 \times 100 \text{ A} = 600 \text{ A}$$

$$U_{m0} = H_0 l_0 = \frac{B_0}{\mu_0} l_0 = \frac{1.2}{4\pi \times 10^{-7}} \times 1 \times 10^{-2} \text{ A} = 9\,550 \text{ A}$$

线圈的磁通势为

$$F = U_{mc} + U_{m0} = (600 + 9\,550) \text{ A} = 10\,150 \text{ A}$$

1.3.2 在一个铸钢制成的闭合铁心上绕有一个匝数 $N = 1\,000$ 匝的线圈, 铁心的截面积 $A = 20 \text{ cm}^2$, 铁心的平均长度 $l = 50 \text{ cm}$ 。若要在铁心中产生 $\Phi = 0.002 \text{ Wb}$ 的磁通, 试问线圈中应通入多大的直流电流? 如果制作时不注意使铁心中出现一长度 $l_0 = 0.20 \text{ cm}$ 的气隙, 若要保持磁通不变, 通入线圈的直流电流应增加多少? 这时空气隙的磁阻为多少?

解 本题目的是为了了解空气隙的存在对磁路的影响。

(1) 无气隙时

铁心中的磁感应强度为

$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{0.002}{20 \times 10^{-4}} \text{ T} = 1 \text{ T}$$

由磁化曲线查得 $H = 9.2 \text{ A/cm}$ 。因而磁通势

$$F = Hl = 9.2 \times 10^2 \times 50 \times 10^{-2} \text{ A} = 460 \text{ A}$$

线圈电流

$$I = \frac{F}{N} = \frac{460}{1\,000} \text{ A} = 0.46 \text{ A}$$

(2) 有气隙时

气隙中的磁场强度为

$$H_0 = \frac{B_0}{\mu_0} = \frac{1}{4\pi \times 10^{-7}} \text{ H}^{-1} = 0.796 \times 10^6 \text{ H}^{-1}$$

线圈磁通势应增加的数值

$$\Delta F = H_0 l_0 = 0.796 \times 10^6 \times 0.2 \times 10^{-2} \text{ A} = 0.1592 \times 10^4 \text{ A}$$

线圈电流的增加值

$$\Delta I = \frac{\Delta F}{N} = \frac{0.1592 \times 10^4}{1000} \text{ A} = 1.592 \text{ A}$$

气隙的磁阻

$$\begin{aligned} R_{m0} &= \frac{\Delta F}{\Phi_m} = \frac{0.1592 \times 10^4}{0.002} \text{ H}^{-1} \\ &= 0.796 \times 10^6 \text{ H}^{-1} \end{aligned}$$

1.3.3 图 1.2 所示磁路中, 铁心厚度均为 50 mm, 其余尺寸如图所示, 单位为 mm, 铁心 1 用硅钢、铁心 2 用铸钢制成。若要在铁心中产生 0.001 2 Wb 的恒定磁通, 线圈的磁通势为多少?

解 本题目的是为了熟悉第一类恒定磁通无分支磁路的计算。

由图 1.2 求得磁路各部分的长度为

$$\begin{aligned} l_1 &= [2 \times (120 - 20) + (200 - 20) + (200 - 20 - 50 - 1)] \text{ mm} \\ &= 509 \text{ mm} = 50.9 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$l_2 = 50 \text{ mm} = 5 \text{ cm}$$

$$l_0 = 2 \times 0.5 \text{ mm} = 1 \text{ mm} = 0.1 \text{ cm}$$

磁路各部分的截面积为

$$A_1 = 50 \times 20 \text{ mm}^2 = 1000 \text{ mm}^2 = 10 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = A_1 = 1000 \text{ mm}^2 = 10 \text{ cm}^2$$

$$A_0 = A_1 = 1000 \text{ mm}^2 = 10 \text{ cm}^2$$

磁路各部分的磁感应强度为

$$B_1 = B_2 = B_0 = \frac{\Phi}{A_1} = \frac{0.0012}{10 \times 10^{-4}} \text{ T} = 1.2 \text{ T}$$

查磁化曲线, 得

$$H_1 = 5.4 \text{ A/cm}$$

$$H_2 = 12.7 \text{ A/cm}$$

$$H_0 = \frac{B_0}{\mu_0} = \frac{1.2}{4\pi \times 10^{-7}} \text{ A/m} = 0.955 \times 10^6 \text{ A/m} = 0.955 \times 10^4 \text{ A/cm}$$

最后求得磁通势为

$$F = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_0 l_0 = (5.4 \times 50.9 + 12.7 \times 5 + 0.955 \times 10^4 \times 0.1) \text{ A}$$

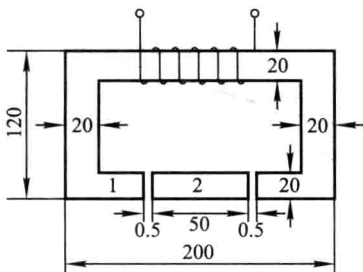


图 1.2

$$= 1\,294\text{ A}$$

1.3.4 在一铸钢制成的闭合磁路中,有一段 $l_0 = 1\text{ mm}$ 的空气隙,铁心截面积 $A = 16\text{ cm}^2$,平均长度 $l = 50\text{ cm}$,问磁通势 $NI = 1\,116\text{ A}$ 时,磁路中磁通为多少?

解 本题目的是为了了解第二类恒定磁通无分支磁路的计算。

采用试探法,先忽略铁心的磁位差,则

$$H_0 = \frac{F}{l_0} = \frac{1\,116}{1 \times 10^{-3}}\text{ A/m} = 1\,116 \times 10^3\text{ A/m}$$

$$B_0 = \mu_0 H_0 = 4\pi \times 10^{-7} \times 1\,116 \times 10^3\text{ T} = 1.4\text{ T}$$

$$\Phi = B_0 A_0 = 1.4 \times 16 \times 10^{-4}\text{ Wb} = 0.002\,24\text{ Wb}$$

考虑铁心磁位差后,在同样的 F 下, Φ 将减少,故选 $\Phi = 0.002\text{ Wb}$ 重新计算。

$$B_0 = B_1 = \frac{\Phi}{A_0} = \frac{0.002}{16 \times 10^{-4}}\text{ T} = 1.25\text{ T}$$

$$H_0 = \frac{B_0}{\mu_0} = \frac{1.25}{4\pi \times 10^{-7}}\text{ A/m} = 0.995 \times 10^6\text{ A/m}$$

查磁化曲线得 $H_1 = 14\text{ A/cm}$, 则

$$F = H_0 l_0 + H_1 l_1 = (0.995 \times 10^6 \times 1 \times 10^{-3} + 14 \times 50)\text{ A} = 1\,655\text{ A}$$

计算结果说明 Φ 仍选得太大,再选 $\Phi = 0.001\,5\text{ Wb}$, 则

$$B_0 = B_1 = \frac{\Phi}{A_0} = \frac{0.001\,5}{16 \times 10^{-4}}\text{ T} = 0.937\,5\text{ T}$$

$$H_0 = \frac{B_0}{\mu_0} = \frac{0.937\,5}{4\pi \times 10^{-7}}\text{ A/m} = 0.746 \times 10^6\text{ A/m}$$

查磁化曲线得 $H_1 = 8.4\text{ A/cm}$, 则

$$F = H_0 l_0 + H_1 l_1 = (0.746 \times 10^6 \times 1 \times 10^{-3} + 8.4 \times 50)\text{ A} = 1\,166\text{ A}$$

再选 $\Phi = 0.001\,44\text{ Wb}$, 则

$$B_0 = B_1 = \frac{\Phi}{A_0} = \frac{0.001\,44}{16 \times 10^{-4}}\text{ T} = 0.9\text{ T}$$

$$H_0 = \frac{B_0}{\mu_0} = \frac{0.9}{4\pi \times 10^{-7}}\text{ A/m} = 0.716\,6 \times 10^6\text{ A/m}$$

查磁化曲线得 $H_1 = 8\text{ A/cm}$, 则

$$F = H_0 l_0 + H_1 l_1 = (0.716\,6 \times 10^6 \times 1 \times 10^{-3} + 8 \times 50)\text{ A} = 1\,116.6\text{ A}$$

误差不大,在允许范围之内,故最后求得 $\Phi = 0.001\,44\text{ Wb}$ 。

1.4.1 一交流铁心线圈电路,线圈电压 $U = 380\text{ V}$,电流 $I = 1\text{ A}$,功率因数 $\lambda = \cos \varphi = 0.6$,频率 $f = 50\text{ Hz}$,匝数 $N = 8\,650$ 匝。电阻 $R = 0.4\ \Omega$,漏电

抗 $X = 0.6 \Omega$ 。求线圈中的电动势和主磁通最大值。

解 本题目的是为了复习交流铁心线圈电路中电磁关系。

选择电压为参考相量，即 $\dot{U} = 380 \angle 0^\circ \text{ V}$ 。电压与电流的相位差

$$\varphi = \arccos \varphi = 53.1^\circ$$

由交流铁心线圈电路的电动势平衡方程求得

$$\begin{aligned} \dot{E} &= -\dot{U} + (R + jX)\dot{I} = [-380 \angle 0^\circ + (0.4 + j0.6) \times 1 \angle -53.1^\circ] \text{ V} \\ &= -379 \angle -0.006^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

由此求得

$$\Phi_m = \frac{E}{4.44Nf} = \frac{379}{4.44 \times 8650 \times 50} \text{ Wb} = 0.0002 \text{ Wb}$$

1.4.2 一铁心线圈，加上 12 V 直流电压时，电流为 1 A；加上 110 V 交流电压时，电流为 2 A，消耗的功率为 88 W，求后一情况下线圈的铜损耗、铁损耗和功率因数。

解 本题目的是为了复习铁心线圈电路中的功率关系。

由线圈加直流电压时的电压和电流值可求得线圈的电阻为

$$R = \frac{U}{I} = \frac{12}{1} \Omega = 12 \Omega$$

由线圈加交流电压时的数据求得交流铁心线圈电路中的铜损耗、铁损耗和功率因数分别为

$$\begin{aligned} P_{\text{Cu}} &= RI^2 = 12 \times 2^2 \text{ W} = 48 \text{ W} \\ P_{\text{Fe}} &= P - P_{\text{Cu}} = (88 - 48) \text{ W} = 40 \text{ W} \\ \lambda &= \frac{P}{UI} = \frac{88}{110 \times 2} = 0.4 \end{aligned}$$

1.4.3 某交流铁心线圈电路， $U = 220 \text{ V}$ ， $R = 0.4 \Omega$ ， $X = 0.6 \Omega$ ， $R_0 = 21.6 \Omega$ ， $X_0 = 119.4 \Omega$ 。求电流 I 、电动势 E 、铜损耗 P_{Cu} 和铁损耗 P_{Fe} 。

解 本题目的是为了复习交流铁心线圈电路的等效电路。

由等效电路求得

$$\begin{aligned} I &= \frac{U}{\sqrt{(R + R_0)^2 + (X + X_0)^2}} = \frac{220}{\sqrt{(0.4 + 21.6)^2 + (0.6 + 119.4)^2}} \text{ A} = 1.8 \text{ A} \\ E &= \sqrt{R_0^2 + X_0^2} I = \sqrt{21.6^2 + 119.4^2} \times 1.8 \text{ V} = 218.41 \text{ V} \\ P_{\text{Cu}} &= RI^2 = 0.4 \times 1.8^2 \text{ W} = 1.30 \text{ W} \\ P_{\text{Fe}} &= R_0 I^2 = 21.6 \times 1.8^2 \text{ W} = 69.98 \text{ W} \end{aligned}$$

第2章 变 压 器

一、基本要求

1. 了解变压器的用途和种类。
2. 掌握变压器的工作原理。
3. 了解变压器的基本结构。
4. 掌握变压器的额定值。
5. 掌握变压器的等效电路及其运用；了解变压器的基本方程式和相量图。
6. 掌握变压器的参数测定。
7. 了解变压器的运行特性，掌握变压器的电压调整率、功率、损耗和效率的计算。
8. 了解三相变压器联结组的表示方法及其判断。
9. 掌握变压器理想并联运行的条件。
10. 了解自耦变压器。
11. 了解三绕组变压器。
12. 了解仪用互感器。
- * 13. 了解小容量变压器的设计。

二、学习提示

1. 通过变压器的三种变换作用可以更好地理解变压器的工作原理，这三种变换关系为：

(1) 电压变换： $\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{N_1}{N_2} = k$ ，越接近空载运行，该关系越精确。

(2) 电流变换： $\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{k}$ 。越接近满载运行，该关系越精确。

(3) 阻抗变换： $|Z_e| \approx k^2 |Z_L|$ ，漏阻抗和空载电流越小，该关系越精确。单相双绕组变压器是变压器中的典型情况，分析所得结果也适用于对称运

行的三相变压器中的任一相。分析对称运行的三相变压器时还要注意它们的线值与相值的关系以及三相功率的计算。这些在电路课中已经学过，这里复习总结如下：

星形联结时	$U_L = \sqrt{3}U_p$	$I_L = I_p$
三角形联结时	$U_L = U_p$	$I_L = \sqrt{3}I_p$
三相视在功率	$S = \sqrt{3}U_L I_L = 3U_p I_p$	
三相有功功率	$P = \sqrt{3}U_L I_L \cos \varphi = 3U_p I_p \cos \varphi$	
三相无功功率	$Q = \sqrt{3}U_L I_L \sin \varphi = 3U_p I_p \sin \varphi$	

2. 学习变压器的额定值时请注意以下几点：

(1) 变压器在电压、电流和功率都等于额定值时的运行状态称为额定状态，而电流等于额定值时的运行状态称为满载状态。额定状态一定是满载状态，而满载状态不一定是额定状态。

(2) 判断变压器是否过载可以比较其实际的一次绕组或二次绕组电流是否超过了额定电流，也可以近似地比较其实际的视在功率是否超过了额定视在功率(容量)。不超过，便没有过载。

(3) 变压器的容量是用额定视在功率表示的，它等于一、二次绕组额定电压和额定电流的乘积。其中，二次绕组额定电压是空载电压的额定值，而额定电流是满载电流，两者不是出现在同一运行状态，因而满载时实际输出的视在功率 S_2 与额定视在功率 S_N 略有不同。在忽略漏阻抗时可近似认为满载时 $S_2 = S_N$ 。

(4) 三相变压器的额定电压和额定电流是指线电压和线电流的额定值，额定容量是三相视在功率的额定值。

3. 等效电路、基本方程式和相量图三种分析方法是一致的，其中重点掌握等效电路。

在 T 形等效电路中，将低压绕组向高压绕组折算时，折算值与实际值的关系为

$$I'_2 = \frac{1}{k} I_2$$

$$U'_2 = kU_2 \quad E'_2 = E_1 = kE_2$$

在简化等效电路中

$$R_s = R_1 + R'_2 \quad X_s = X_1 + X'_2 \quad Z_s = Z_1 + Z'_2 = R_s + jX_s$$

简化等效电路只有在满载或接近满载，即 I_0 可忽略不计时才能使用。

4. 学习变压器的参数测定时，要注意以下几点：