

高等学校教学参考书

GaoDeng XueXiao JiaoXue CanKaoShu

# 电机与拖动

## 学习辅导与习题全解

唐介 主编



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

5

高等学校教学参考书

# 电机与拖动 学习辅导与习题全解

唐 介 主编

高等教育出版社

## 内容提要

本书是与大连理工大学唐介主编的《电机与拖动》教材配套的教学参考书。本书包含《电机与拖动》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”、“思考题解答”和“练习题解答”三部分。

本书既可为使用《电机与拖动》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

电机与拖动学习辅导与习题全解/唐介主编. —北京:  
高等教育出版社, 2004.12  
ISBN 7-04-015965-1

I.电... II.唐... 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.TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 128418 号

策划编辑 金春英 责任编辑 郑欢 封面设计 于文燕 责任绘图 吴文信  
版式设计 王艳红 责任校对 金辉 责任印制 孔源

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
总 机	010-58581000		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>

经 销 新华书店北京发行所  
印 刷 北京铭成印刷有限公司

开 本	787×960 1/16	版 次	2004 年 12 月第 1 版
印 张	7.25	印 次	2004 年 12 月第 1 次印刷
字 数	130 000	定 价	9.80 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：15965-00

# 前 言

由大连理工大学唐介主编的《电机与拖动》教材已由高等教育出版社出版发行。为了给使用该教材的学生提供复习和自主学习的帮助，我们编写了本书作为与该教材配套的教学参考书。本书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》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”、“思考题解答”和“练习题解答”三部分。

“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。

“思考题解答”给出了配套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”给出了配套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。

学习知识和培养能力只有在端正学习态度的前提下通过科学的学习方法和刻苦努力才能实现。希望读者能合理利用本书，对学习起到指导和辅导的作用。

参加本书编写的有唐介(主编)、刘烧(1、2章)、徐占国(3、4章)、刘凤春(5、6章)、刘文琦(7、8章)、刘华毅(9、10章)。

本书经大连理工大学马鉴教授仔细审阅，提出了宝贵的修改意见，在此谨表示衷心感谢。

由于时间仓促、学识有限，难免存在不足和不妥之处，欢迎读者给予批评指正。

编 者  
2004年4月

# 目 录

第 1 章	磁路	1
第 2 章	变压器	7
第 3 章	异步电机的基本理论	23
第 4 章	异步电动机的电力拖动	33
第 5 章	同步电机的基本理论	48
第 6 章	同步电动机的电力拖动	60
第 7 章	直流电机的基本理论	67
第 8 章	直流电动机的电力拖动	78
第 9 章	控制电机	91
第 10 章	电动机的选择	97
第 11 章	电力拖动系统的动力学基础	103

# 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. 掌握磁路欧姆定律，了解磁路基尔霍夫定律，了解直流无分支磁路的计算。
4. 了解铁心线圈电路中电压与电流的关系和功率关系，掌握铁损耗的形成和减少铁损耗的主要方法。

## 二、思考题解答

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  $\mu$  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  $\Phi_m$  的大小是否变化？如果是直流铁心线圈，铁心中的主磁通  $\Phi$  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  $\Phi_m$  的。因为在忽略漏阻抗时， $\Phi_m = \frac{U}{4.44 Nf}$ ，即  $\Phi_m$  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

$\Phi_{1m}$ 和 $\Phi_{2m}$ 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, $\Phi_m$ 和 $B_m$ 将减少至原来的 $\frac{1}{1.2}$ ,由公式 $P_{Fe} = (K_h f B_m^2 + K_e d^2 f^2 B_m^2) V$ 可知 $P_{Fe}$ 将减少。

### 三、练习题解答

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

由磁化曲线查得 $H = 4$  A/cm,因此

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

(2)  $B = 1.3$  T时

由磁化曲线查得 $H = 16$  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 $B = 0.5$  T时,磁路未饱和, $B = 1.3$  T时,磁路已饱和,可见,磁路不饱和时 $\mu$ 大。

1.2.2 已知硅钢(含硅4%)的 $H = 4$  A/cm,铸铁的 $H = 9$  A/cm。求它们的 $B$ 和 $\mu$ ,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, $H = 4$  A/cm时

由磁化曲线查得 $B = 1.1$  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  $0.0012 \text{ Wb}$  时, 铁心中磁场强度为  $6 \text{ A/cm}$ 。试求铁心和空气隙部分的磁阻、磁位差和线圈的磁通势。

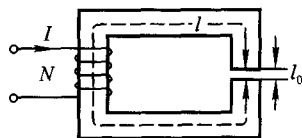


图 1.1

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

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

$$U_{m0} = H_0 l_0 = \frac{B_0}{\mu_0} l_0 = \frac{1.2}{4 \pi \times 10^{-7}} \times 1 \times 10^{-2} \text{ A} = 9550 \text{ A}$$

线圈的磁通势为

$$F = U_{mc} + U_{m0} = (600 + 9550) \text{ A} = 10150 \text{ A}$$

1.3.2 在一个铸钢制成的闭合铁心上绕有一个匝数  $N = 1000$  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

$$\Delta I = \frac{\Delta F}{N} = \frac{0.1592 \times 10^4}{1\ 000} \text{ A} = 1.592 \text{ A}$$

气隙的磁阻

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

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 的磁通, 线圈的磁通势为多少?

解 本题目的是为了熟悉第一类直流无分支磁路的计算。

由图 1.2 求得磁路各部分的长度为

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

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

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

磁路各部分的截面积为

$$A_1 = 50 \times 20 \text{ mm}^2 = 1\ 000 \text{ mm}^2 = 10 \text{ cm}^2$$

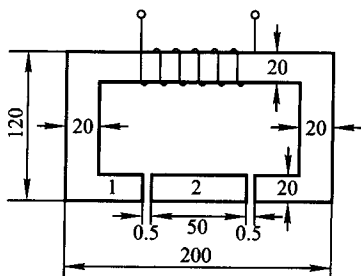


图 1.2

$$A_2 = A_1 = 1\,000\text{ mm}^2 = 10\text{ cm}^2$$

$$A_0 = A_1 = 1\,000\text{ mm}^2 = 10\text{ cm}^2$$

磁路各部分的磁感应强度为

$$B_1 = B_2 = B_0 = \frac{\Phi}{A_1} = \frac{0.001\,2}{10 \times 10^{-4}}\text{ T} = 1.2\text{ T}$$

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

$$\begin{aligned} F &= H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_0 l_0 = (5.4 \times 50.9 + 12.7 \times 5 + 0.955 \times 10^4 \times 0.1)\text{ A} \\ &= 1\,294\text{ A} \end{aligned}$$

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，铁心截面积为  $A = 16\text{ cm}^2$ ，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直流无分支磁路的计算。

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， $\Phi$  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  $H_1 = 14\text{ A/cm}$

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

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

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

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

查磁化曲线得  $H_1 = 8.4 \text{ A/cm}$

$$F = H_0 l_0 + H_1 l_1 = (0.746 \times 10^6 \times 1 \times 10^{-3} + 8.4 \times 50) \text{ A} = 1166 \text{ A}$$

再选  $\Phi = 0.00144 \text{ Wb}$ ,

$$B_0 = B_1 = \frac{\Phi}{A_0} = \frac{0.00144}{16 \times 10^{-4}} \text{ T} = 0.9 \text{ T}$$

$$H_0 = \frac{B_0}{\mu_0} = \frac{0.9}{4\pi \times 10^{-7}} \text{ A/m} = 0.7166 \times 10^6 \text{ A/m}$$

查磁化曲线得  $H_1 = 8 \text{ A/cm}$

$$F = H_0 l_0 + H_1 l_1 = (0.7166 \times 10^6 \times 1 \times 10^{-3} + 8 \times 50) \text{ A} = 1116.6 \text{ A}$$

误差不大, 在允许范围之内, 故最后求得  $\Phi = 0.00144 \text{ Wb}$ 。

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  $N = 8650$ 。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  $\dot{U} = 380 \angle 0^\circ$ 。电压与电流的相位差

$$\varphi = \arccos \cos \varphi = \arccos 0.6 = 53.1^\circ$$

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

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

1.4.2 一铁心线圈, 加上  $12 \text{ V}$  直流电压时, 电流为  $1 \text{ A}$ ; 加上  $110 \text{ V}$  交流电压时, 电流为  $2 \text{ A}$ , 消耗的功率为  $88 \text{ W}$ , 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

$$P_{\text{Cu}} = RI^2 = 12 \times 2^2 \text{ W} = 48 \text{ W}$$

$$P_{\text{Fe}} = P - P_{\text{Cu}} = (88 - 48) \text{ W} = 40 \text{ W}$$

$$\lambda = \frac{P}{UI} = \frac{88}{110 \times 2} = 0.4$$

# 第 2 章 变 压 器

## 一、基本要求

1. 掌握变压器的工作原理。
2. 了解变压器的基本结构和主要种类，掌握变压器的额定值。
3. 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。
4. 掌握变压器的参数测定。
5. 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。
6. 了解三相变压器联结组的表示方法及其判断。
7. 掌握变压器理想并联运行的条件。
8. 了解自耦变压器。
9. 了解三绕组变压器。
10. 了解仪用互感器。
- \* 11. 了解小容量变压器的设计。

## 二、思考题解答

2.1 (1) 变压器能否用来变换直流电压？

答 不能，因为这时的主磁通为恒定磁通，不会在变压器一、二次绕组中产生感应电动势，二次绕组的输出电压为零。

2.1 (2) 在求变压器的电压比时，为什么一般都用空载时高、低压绕组电压之比来计算？

答 因为变压器的电压比等于一、二次绕组的感应电动势之比，也即匝数之比， $k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$ 。空载时， $E_1 \approx U_1$ ， $E_2 = U_2$ ；负载时， $- \dot{E}_1 = \dot{U}_1 - Z_1 \dot{I}_1$ ， $\dot{E}_2 = \dot{U}_2 + Z_2 \dot{I}_2$ ，显然用空载时一、二次绕组的电压之比来计算电压比精确度较高。

由于变压器既可能是高压绕组作一次绕组、低压绕组作二次绕组，也可能

反之。为统一起见，工程上一般都用空载时高、低压绕组电压之比来计算变压器的电压比。

2.1 (3) 为什么说变压器一、二次绕组电流与匝数成反比，只有在满载和接近满载时才成立，空载时不成立？

答 因为空载时二次绕组的电流  $I_2$  等于零，因此不存在电流比的关系。因而满载和接近满载时，一、二次绕组的电流远大于空载电流，在磁通势平衡方程式中，忽略空载电流才能得到一、二次绕组电流与匝数成反比，即  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{k}$  这一关系。

2.1 (4) 阻抗变换公式，即教材中式(2.1.11)是在忽略什么因素的情况下得到的？

答 阻抗变换公式是在忽略一、二次绕组的漏阻抗和空载励磁电流时，把变压器当作理想变压器的情况下得到的。

2.2 (1) 额定电压为 10 000/230 V 的变压器，是否可以将低压绕组接在 380 V 的交流电源上工作？

答 不可以。由于一次绕组电压超过了额定电压， $\Phi_m$ 大幅度增加，使得励磁电流(空载电流)和铁损耗都大幅度增加，变压器发热严重，会烧坏变压器。而且，这时二次绕组电压也远大于 10 000 V，会造成由其供电的用电设备(负载)的损坏。

2.2 (2) 变压器长期运行时，实际工作电流是否可以大于、等于或小于额定电流？

答 可以等于或小于额定电流，不可以长期大于额定电流。

2.2 (3) 变压器的额定功率为什么用视在功率而不用有功功率表示？

答 变压器一定，则额定电压和额定电流一定，额定视在功率也就一定。而有功功率还与负载的功率因数有关，不是由变压器自身所能确定的，故额定功率用视在功率来表示。

2.3 (1) 试根据 T 型等效电路画出变压器空载时的等效电路。

答 变压器空载运行时的等效电路如图 2.1 所示。

2.3 (2) 变压器在空载和轻载运行时，可否应用简化等效电路。

答 不可以。

2.3 (3) 试根据简化等效电路画出简化相量图。

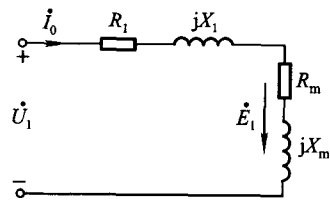


图 2.1

答 画出的简化相量图如图 2.2 所示。

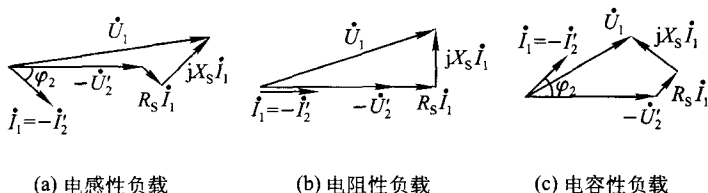


图 2.2

2.4 (1) 为什么说  $U_1$  不变, 则铁损耗不变?

答 由铁损耗公式, 即教材中式(1.4.16)或式(1.4.17)可知,  $P_{Fe}$  与  $f$  和  $B_m$  有关。由于变压器工作时  $f$  不变, 由式  $\Phi_m \approx \frac{U_1}{4.44 N_1 f}$  可知, 当  $U_1$  也不变时,  $\Phi_m$  基本不变,  $B_m$  也就基本不变, 故  $U_1$  不变, 铁损耗不变。

2.4 (2)  $R_S$  需从室温值换算成  $75^\circ\text{C}$  值, 而  $R_m$  为什么不需要换算?

答 因为  $R_m$  是反映铁损耗的等效电阻, 与温度无关, 故  $R_m$  不需要换算。

2.4 (3) 变压器在额定电压下进行空载试验和额定电流下进行短路试验时, 电压加在高压侧测得的  $P_0$  和  $P_S$  与电压加在低压侧测得的结果是否相同?

答 相同。

2.5 (1) 电压调整率与哪些因数有关, 是否会出现负值?

答 电压调整率与负载的功率因数有关, 当负载为电容性时, 电压调整率可能会出现负值。

2.5 (2) 最大效率、额定效率和实际效率有何区别?

答 最大效率是负载系数  $\beta = \beta_{\max}$  时的效率, 额定效率是在规定的负载功率因数下  $\beta = 1$  时的效率, 实际效率是在实际的负载功率因数下  $\beta$  为实际值时的效率。

2.6 (1) 三相变压器的联结组号一共有几种?

答 24 种。

2.6 (2) 联结组号为 Y, d5 的三相变压器, 其高压绕组线电动势与对应的低压绕组的线电动势的相位差是多少? 谁滞后谁, 谁超前谁?

答 相位差为  $5 \times 30^\circ = 150^\circ$ , 高压绕组线电动势超前, 低压绕组线电动势滞后。

2.6 (3) 如果已知联结组, 你能否画出绕组的联结图?

答 可以。一般步骤为先画出高压绕组联结图和电动势相量图, 然后根据联结组号画出低压绕组电动势相量图, 最后画出低压绕组的联结图。

2.7 (1) 两台变压器并联运行, 它们的容量相同而阻抗电压标么值不同,

试问谁分担的负载多?

答 阻抗电压标么值小的变压器分担的负载多。

2.7 (2) 两台变压器并联运行, 阻抗电压标么值相同而容量不同, 试问谁分担的负载多?

答 容量大的变压器分担的负载多。

2.7 (3) 联结组分别为 Y, y4 和 D, d4 的两台变压器能否并联运行?

答 联结组不同不能并联运行。

2.10 某三绕组变压器, 高、中、低压三个绕组的绕组容量分别为  $100 \text{ kV}\cdot\text{A}$ 、 $100 \text{ kV}\cdot\text{A}$  和  $50 \text{ kV}\cdot\text{A}$ 。若高压绕组作一次绕组, 中压绕组输出  $40 \text{ kV}\cdot\text{A}$ , 低压绕组输出  $60 \text{ kV}\cdot\text{A}$ , 这种情况是否可以?

答 不可以, 因为低压绕组输出  $60 \text{ kV}\cdot\text{A}$  超过了它的绕组容量  $50 \text{ kV}\cdot\text{A}$ 。

### 三、练习题解答

2.1.1 某单相变压器, 一次绕组加  $10\,000 \text{ V}$  的电压, 空载时二次电压为  $230 \text{ V}$ , 满载时二次电流为  $217 \text{ A}$ 。求这台变压器的电压比和满载时的一次电流。

解

$$k = \frac{U_{1N}}{U_{2N}} = \frac{10\,000 \text{ V}}{230 \text{ V}} = 43.5$$

$$I_{1N} = \frac{I_{2N}}{k} = \frac{217}{43.5} \text{ A} = 5 \text{ A}$$

2.1.2 一单相变压器, 一次绕组匝数  $N_1 = 867$ , 电阻  $R_1 = 2.45 \Omega$ , 漏电抗  $X_1 = 3.80 \Omega$ ; 二次绕组匝数  $N_2 = 20$ , 电阻  $R_2 = 0.0062 \Omega$ , 漏电抗  $X_2 = 0.0095 \Omega$ 。设空载和负载时  $\Phi_m$  不变, 且  $\Phi_m = 0.0518 \text{ Wb}$ ,  $U_1 = 10\,000 \text{ V}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$ 。空载时,  $\dot{U}_1$  超前于  $\dot{E}_1$   $180.2^\circ$ , 负载阻抗  $Z_L = 0.0038 - j0.0015 \Omega$ 。求: (1) 电动势  $E_1$  和  $E_2$ ; (2) 空载电流  $I_0$ ; (3) 负载电流  $I_2$  和  $I_1$ 。

解 (1) 求  $E_1$  和  $E_2$

$$E_1 = 4.44 N_1 f \Phi_m = 4.44 \times 867 \times 50 \times 0.0518 \text{ V} = 9\,970 \text{ V}$$

$$E_2 = 4.44 N_2 f \Phi_m = 4.44 \times 20 \times 50 \times 0.0518 \text{ V} = 230 \text{ V}$$

(2) 求  $I_0$

$$\dot{i}_0 = \frac{\dot{U}_1 + \dot{E}_1}{Z_1} = \frac{10\,000 \angle 180.2^\circ + 9\,970 \angle 0^\circ}{2.45 + j3.80} \text{ A} = 10.18 \angle -187.87^\circ \text{ A}$$

(3) 求  $I_2$  和  $I_1$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_2}{Z_2 + Z_L} = \frac{230 \angle 0^\circ}{0.0062 + j0.0095 + 0.0038 - j0.0015} \text{ A} = 18000 \angle -38.66^\circ \text{ A}$$

$$k = \frac{N_1}{N_2} = \frac{867}{20} = 43.35$$

$$I_1 = \frac{I_2}{k} = \frac{18000}{43.35} \text{ A} = 415 \text{ A}$$

2.1.3 晶体管功率放大电路输出端需接一个电阻  $R_L = 8 \Omega$  的扬声器。对扬声器而言，功率放大电路相当于一个交流电源，其电动势  $E_S = 8.5 \text{ V}$ ，内电阻  $R_S = 72 \Omega$ 。现采用下述两种方法将扬声器接至功率放大电路输出端：(1) 直接接入；(2) 经电压比  $k = 3$  的变压器接入。试求这两种接法下功率放大电路的输出电流和输出功率。

解 (1) 直接接入

$$I = \frac{E_S}{R_S + R_L} = \frac{8.5}{72 + 8} \text{ A} = 0.106 \text{ A}$$

$$P = R_L I^2 = 8 \times 0.106^2 \text{ W} = 0.09 \text{ W}$$

(2) 经变压器接入

$$R_e = k^2 R_L = 3^2 \times 8 \Omega = 72 \Omega$$

$$I = \frac{E_S}{R_S + R_e} = \frac{8.5}{72 + 72} \text{ A} = 0.059 \text{ A}$$

$$P = R_e I^2 = 72 \times 0.059^2 \text{ W} = 0.25 \text{ W}$$

2.1.4 三相变压器每相高、低压绕组的匝数比  $\frac{N_1}{N_2} = 10$ 。分别求变压器在 Y, y, Y, d, D, d, D, y 联结时空载线电压的比值。

解 Y, y 联结时

$$\frac{U_{1L}}{U_{2L}} = \frac{\sqrt{3} U_{1P}}{\sqrt{3} U_{2P}} = \frac{N_1}{N_2} = 10$$

Y, d 联结时

$$\frac{U_{1L}}{U_{2L}} = \frac{\sqrt{3} U_{1P}}{U_{2P}} = \sqrt{3} \frac{N_1}{N_2} = 1.73 \times 10 = 17.3$$

D, d 联结时

$$\frac{U_{1L}}{U_{2L}} = \frac{U_{1P}}{U_{2P}} = \frac{N_1}{N_2} = 10$$

D, y 联结时

$$\frac{U_{1L}}{U_{2L}} = \frac{U_{1P}}{\sqrt{3} U_{2P}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{N_1}{N_2} = 5.78$$



2.2.1 一台单相变压器,  $S_N = 200 \text{ kV}\cdot\text{A}$ ,  $U_{1N}/U_{2N} = 10\ 000/230 \text{ V}$ 。(1)求该变压器的额定电流;(2)如果用三台这种变压器组成一台 D, y 联结的三相组式变压器, 求这三台三相变压器的额定电压、额定电流和容量。

解 (1) 单相变压器

$$I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}} = \frac{200 \times 10^3}{10\ 000} \text{ A} = 20 \text{ A}$$

$$I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}} = \frac{200 \times 10^3}{230} \text{ A} = 870 \text{ A}$$

(2) 三相变压器

$$S_N = 3 \times 200 \text{ kV}\cdot\text{A} = 600 \text{ kV}\cdot\text{A}$$

$$U_{1N} = 10\ 000 \text{ V}$$

$$U_{2N} = \sqrt{3} \times 230 \text{ V} = 400 \text{ V}$$

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{1N}} = \frac{600 \times 10^3}{1.73 \times 10\ 000} \text{ A} = 34.68 \text{ A}$$

$$I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{2N}} = \frac{600 \times 10^3}{1.73 \times 400} \text{ A} = 867 \text{ A}$$

2.2.2  $S_N = 75 \text{ kV}\cdot\text{A}$  的三相变压器, 以  $400 \text{ V}$  的线电压供电给三相对称负载, 设负载为星形联结, 每相负载的阻抗  $Z_L = 2 - j1.5 \Omega$ 。问此变压器能否担负上述负载?

解 负载阻抗模

$$|Z_L| = \sqrt{2^2 + 1.5^2} \Omega = 2.5 \Omega$$

负载相电压和相电流

$$U_{LP} = \frac{400}{\sqrt{3}} \text{ V} = 230 \text{ V}$$

$$I_{LP} = \frac{U_{LP}}{|Z_L|} = \frac{230}{2.5} \text{ A} = 92 \text{ A}$$

三相负载的视在功率

$$S_L = 3U_{LP}I_{LP} = 3 \times 230 \times 92 \text{ kV}\cdot\text{A} = 63.48 \text{ kV}\cdot\text{A}$$

由于  $S_L < S_N$ , 故此变压器能担负该负载。

2.3.1 某三相变压器, Y,  $y_n$  联结。  $S_N = 63 \text{ kV}\cdot\text{A}$ ,  $U_{1N}/U_{2N} = 6.3/0.4 \text{ kV}$ ,  $R_1 = 6 \Omega$ ,  $X_1 = 8 \Omega$ ,  $R_2 = 0.024 \Omega$ ,  $X_2 = 0.04 \Omega$ ,  $R_m = 1\ 500 \Omega$ ,  $X_m = 6\ 000 \Omega$ , 高压绕组作一次绕组, 加上额定电压, 低压绕组向一星形联结的对称三相负载供电, 负载每相阻抗  $Z_L = 2.4 + j1.2 \Omega$ 。试用 T 型等效电路求该变压器一、二次电流的实际值, 并分析该变压器是否过载。