

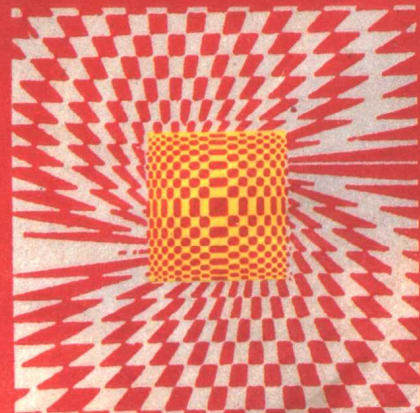


中央广播电视大学教材

电机学学习指导与实验 指导书

王岩 王竹如 瞿文龙 编

DIANJI XUE



中央广播电视大学出版社

电机学学习指导与实验指导书

王岩 王竹如 瞿文龙 编

中央广播电视大学出版社

(京)新登字 163 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电机学学习指导与实验指导书/王岩等编. -北京: 中央广播电视大学出版社, 1995. 5

ISBN 7-304-01161-0

I. 电… I. 王… III. 电机学-电视大学-教学参考资料
IV. TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 09424 号

电机学学习指导与实验指导书

王岩 王竹如 瞿文龙 编

中央广播电视大学出版社出版

社址: 北京复兴门内大街 160 号 邮编: 100031

北京龙华印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

开本 787×1092 1/16 印张 13.25 千字 328

1995 年 2 月第 1 版 1995 年 5 月第 1 次印刷

印数 1—6000

定价 8.95 元

ISBN 7-304-01161-0/TM·31

前 言

本书是与中央广播电视大学电气工程类专业教材《电机学》上、下册（朱东起主编，中央广播电视大学出版社，1995年2月）配套的教学用书，也可单独作为普通的电机学学习用书。

全书由两个独立的部分组成：电机学学习指导与电机学实验指导书。本书编排内容及顺序与主教材电机学完全一致。学习指导部分中，每章一般分为三个内容；一是重点与难点分析，指出重点与难点，并对其进行简单分析，提出注意的问题，指导学习。二是思考题解答。三是习题选解，选解约三分之一的习题。实验共十一个，与本课程教学大纲要求一致。

学习指导部分由中央广播电视大学王岩编写，实验指导书由清华大学王竹如和瞿文龙编写。限于水平，定有不当之处，敬请读者批评指正。

编 者

1994年12月

目 录

电机学学习指导

绪 论	(1)
第一篇 变压器	(3)
第一章 概述	(3)
一、重点与难点分析	(3)
二、思考题解答	(3)
三、习题选解	(4)
第二章 变压器的运行分析	(5)
一、重点与难点分析	(5)
二、思考题解答	(7)
三、习题选解	(19)
第三章 三相变压器的连接及空载运行时的电动势波形	(25)
一、重点与难点分析	(25)
二、思考题解答	(26)
三、习题选解	(31)
第四章 变压器的并联运行	(32)
一、重点与难点分析	(32)
二、思考题解答	(32)
三、习题选解	(34)
第五章 三绕组变压器和自耦变压器	(35)
一、重点与难点分析	(35)
二、思考题解答	(36)
三、习题选解	(42)
第六章 三相变压器不对称运行	(44)
一、重点与难点分析	(44)
二、思考题解答	(44)
三、习题选解	(46)
第七章 变压器的瞬变过程	(49)
一、重点与难点分析	(49)
二、思考题解答	(49)
三、习题选解	(51)
第八章 变压器的发热与温升	(52)

一、重点与难点分析	(52)
二、思考题解答	(52)
第二篇 直流电机	(54)
第九章 概述	(54)
一、重点	(54)
二、思考题解答	(54)
第十章 直流电机的磁路、电枢绕组	(55)
一、重点与难点分析	(55)
二、思考题解答	(55)
三、习题选解	(57)
第十一章 直流发电机	(57)
一、重点与难点分析	(57)
二、思考题解答	(58)
三、习题选解	(59)
第十二章 直流电动机	(60)
一、重点与难点分析	(60)
二、思考题解答	(61)
三、习题选解	(65)
第十三章 直流电动机的换向	(66)
一、重点与难点分析	(66)
二、思考题解答	(66)
第三篇 交流电机的绕组电动势和磁动势	(69)
第十四章 交流电机的绕组和电动势	(69)
一、重点与难点分析	(69)
二、思考题解答	(70)
三、习题选解	(72)
第十五章 交流电机绕组的磁动势	(75)
一、重点与难点分析	(75)
二、思考题解答	(77)
三、习题选解	(78)
第四篇 同步电机	(83)
第十六章 同步发电机的基本电磁关系	(83)
一、重点与难点分析	(83)
二、思考题解答	(84)
三、习题选解	(86)
第十七章 同步发电机的运行特性	(91)
一、重点与难点分析	(91)
二、思考题解答	(91)
三、习题选解	(92)

第十八章 同步发电机的并联运行	(96)
一、重点与难点分析	(96)
二、思考题解答	(97)
三、习题选解	(99)
第十九章 同步电动机和同步补偿机	(101)
一、重点与难点分析	(101)
二、思考题解答	(103)
三、习题选解	(103)
第二十章 其他用途的同步电机	(106)
重点与难点分析	(106)
第二十一章 同步发电机的不对称运行	(107)
一、重点与难点分析	(107)
二、思考题解答	(108)
三、习题选解	(109)
第二十二章 同步发电机的突然短路	(110)
一、重点与难点分析	(110)
二、思考题解答	(110)
第二十三章 同步电机的振荡	(111)
一、重点与难点分析	(111)
二、思考题解答	(111)
第二十四章 大型同步发电机的损耗、发热和冷却方式	(112)
一、重点与难点分析	(112)
二、思考题解答	(113)
第五篇 异步电机	(115)
第二十五章 概述	(115)
一、重点与难点分析	(115)
二、思考题解答	(115)
第二十六章 三相异步电动机的运行原理	(116)
一、重点与难点分析	(116)
二、思考题解答	(117)
三、习题选解	(119)
第二十七章 三相异步电动机的功率、转矩和运行特性	(120)
一、重点与难点分析	(120)
二、思考题解答	(122)
三、习题选解	(124)
第二十八章 三相异步电动机的起动、调速和制动	(126)
一、重点与难点分析	(126)
二、思考题解答	(127)
三、习题选解	(129)

第二十九章 单相异步电动机.....	(130)
一、重点与难点分析.....	(130)
二、思考题解答.....	(130)

电机学实验指导书

实验一 三相变压器的参数测定.....	(132)
实验二 三相变压器的联接组别.....	(140)
实验三 三相变压器的并联运行.....	(147)
实验四 直流发电机.....	(151)
实验五 直流电动机.....	(156)
实验六 三相同步发电机的运行特性.....	(159)
实验七 三相同步发电机的并联运行.....	(165)
实验八 三相同步发电机参数的测定.....	(168)
实验九 三相同步电动机.....	(173)
实验十 三相异步电动机的参数测定.....	(177)
实验十一 三相异步电动机起动与工作特性的测定.....	(184)
附录.....	(191)

电机学学习指导

绪 论

电机学绪论中说明了电机的分类、电机学课程的内容及性质、电机学中常用的物理和电学定律等。

在学习电机学中，首先要解决的一个问题是使用有关物理定律时，其数学表达式与正方向的关系，规定正方向不同，一个物理定律的数学表达式就不同。下面以电磁感应定律中的变压器电动势（即线圈中磁通变化时，线圈中产生感应电动势）为例进行分析。

图 0-1 所示，匝数为 W 的线圈环链着磁通 ϕ ，当 ϕ 变化时，线圈 AX 两端感应电动势 e ，其大小与线圈匝数及磁通变化率成正比。方向由楞次定律决定。当 ϕ 增加时，即 $\frac{d\phi}{dt} > 0$ ， A 点为高电位， X 点为低电位；当 ϕ 减小时，即 $\frac{d\phi}{dt} < 0$ ，根据楞次定律， X 点为高电位， A 点为低电位。为了写成数学表达式，首先要规定电动势 e 的正方向，有以下两种规定方法。

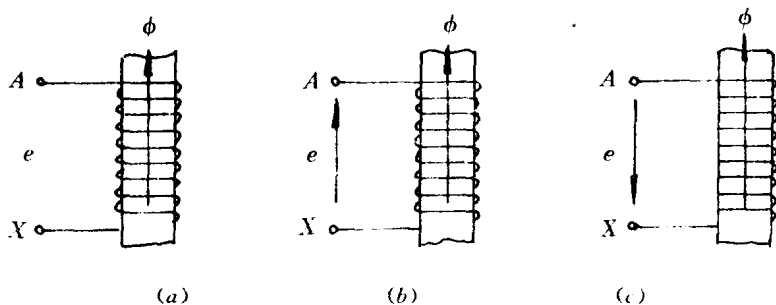


图 0-1 磁通及其感应电动势

(1) 按左手螺旋关系规定 e 与 ϕ 的正方向

如图 0-1 (b) 所示，此时 e 的正方向从 X 指向 A 。与实际情况比较，当 $\frac{d\phi}{dt} > 0$ 时，实际上是 A 点高电位， X 点低电位，而规定的 e 的正方向与之相同，这样 $e > 0$ ；当 $\frac{d\phi}{dt} < 0$ 时，实际上是 A 点低电位， X 点高电位，而规定的 e 的方向与之正好相反，因此 $e < 0$ 。也就是说， $\frac{d\phi}{dt}$

与 e 的符号是一致的，同时为正或同时为负，这样， e 和 ϕ 之间的关系就应写为

$$e = W \frac{d\phi}{dt}$$

(2) 按右手螺旋关系规定 e 与 ϕ 的正方向

如图 0-1 (c) 所示，此时 e 的正方向从 A 指向 X 。与实际情况比较，当 $\frac{d\phi}{dt} > 0$ 时，实际上 A 点为高电位， X 点为低电位，而规定的 e 的正方向与实际方向相反，此时 $e < 0$ ；显然，当 $\frac{d\phi}{dt} < 0$ 时， $e > 0$ 。这就是说 $\frac{d\phi}{dt}$ 与 e 总是不同符号， e 与 ϕ 的关系式就应写成为

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

以上两种不同正方向的规定下，数学式的符号不同。

电机学中，无论分析哪一种电机和变压器，都涉及较多的物理量，同时有多个物理定律起作用，为了定性、定量分析这些物理量，就必须逐个首先规定它们的正方向，再根据有关定律建立数学方程式。关于正方向问题，必须搞清楚的几点是：

1. 必须规定各物理量的正方向，特别是物理量多、物理定律同时起作用的情况下，只有规定了正方向才可能建立方程式进行分析，否则电机或变压器的原理就无法分析与掌握。

2. 正方向可以任意确定，每一个物理量都可任意定。

3. 正方向规定不同，数学表达式的符号不同，但最终结果一致，不影响物理本质。因此电机或变压器的基本方程式组，都是与一定的正方向规定相对应的，正方向不同，哪怕只有一个量的正方向不同，都会影响到方程式组中有关项的符号不一样。

4. 在电机学中，正方向规定都采用惯例，当然不同国家有不同的惯例，本教材的惯例是：①发电机惯例；②电动机惯例；③磁通及其感应电动势按右手螺旋关系规定正方向；④电流及其产生的磁通势和磁通按右手螺旋关系规定正方向。

5. 本教材中各章电机、变压器等的基本方程式，以及由基本方程式得到的相量图、向量图和等值电路等，均与相关的正方向惯例相对应，即以相关的正方向为前提。

交流电机及变压器，均以三相为主，但当三相交流电机和三相变压器对称运行时，三相各电磁量是对称的，只要知道一相的就知道另外两相的。因此本教材关于它们的基本方程式组都是针对一相写出的，等值电路、相量图也是一相的，不需搞成三相的。就是三相不对称运行时，也采用对称分量法进行分析，每一种分量仍为对称，但三相不对称。

以上关于物理定律正方向与数学表达式、关于正方向的惯例及三相对称运行时三相的关系贯穿电机学教材（朱东起主编）的始终，对学习电机学是十分重要的。

第一篇 变 压 器

第一章 概 述

一、重点与难点分析

本章主要介绍变压器的功能、电力变压器的主要类别和用途，电力变压器的主要结构和额定数据、变压器的型号及发热等内容。以介绍为主，理解性的内容少，本章无难点。学习本章内容，着重于记忆，必须掌握的有以下几个问题：

1. 三相变压器铭牌上的额定电压和额定电流均指线值，而不是相值，相电压和相电流额定值要视原、副绕组的接法而定。

2. 三相双绕组变压器的额定容量为 $S_N = \sqrt{3} U_{1N} I_{1N} = \sqrt{3} U_{2N} I_{2N}$ ，而不是 $S_N = U_{1N} I_{1N} = U_{2N} I_{2N}$ ，也不是 $S_N = 3 U_{1N} I_{1N} = 3 U_{2N} I_{2N}$ 。单位为 kVA 而不是 kW。

3. 三相电力变压器运行于额定状态时，原、副边电流为额定值，变压器容量为额定值。一般负载情况下，电流不为额定电流，但是应该接近额定电流，又不超过额定电流。这样才能尽量提高变压器的利用率，保证其良好的性能，保证变压器的安全。

二、思考题解答

1-1 电力变压器的主要功能是什么？它是通过什么作用来实现其功能的？

答 变压器的主要功能是输送交流电能、改变电压等级。输送电能是通过磁路的耦合作用把交流电从原边传送到副边；利用绕在同一磁路（铁心柱）上的原绕组和副绕组的匝数不同，通过电磁感应作用，使副绕组的电压不同于原绕组的电压，从而实现了改变电压的目的。

1-2 电力变压器的主要用途有哪些？为什么电力系统中变压器的安装容量比发电机安装容量大？

答 电力变压器使用于电力系统中，它主要的用途有：（1）作输电变压器。把发电厂发电机发出的大约十几千伏的电压升高到 110kV 或 220kV 或 330kV 或 500kV，然后进行远距离输电。（2）作配电变压器。到了用电区，把几百千伏的输电电压降低到 35kV 或 10kV，再降到 380V，以供用户使用。（3）联络不同电压等级的电网。由于电力输送过程中要升压、降压，而且特别是降压，一般不是一次完成的，而每一次升降压都要满足输送电力的容量要求，因此电力系统中变压器的安装容量比发电机安装容量大了 5~8 倍。

1-3 变压器能否直接改变直流电的电压等级来输送直流电能？

答 不能。因为只有交变磁通才能在原、副绕组中感应电动势实现改变电压等级的目的。如果直流电压加在变压器的原绕组上，那么原绕组中直流电流建立直流磁动势、产生恒定的磁通，原、副绕组中都不会有电动势产生，副绕组无电动势、无电流，没有功率输出，直流

电能就不能传递。

1-4 变压器铁心为什么要作成闭合的？如果铁心回路中有间隙，对变压器有什么影响？

答 磁路的欧姆定律告诉我们，若磁路中磁通大小一定，磁动势则与磁阻成正比。一台变压器在额定电压下运行时，主磁通的大小是一定的。因此变压器铁心磁路的磁阻小，磁动势才小，励磁电流（无功分量）才小。我们知道，空气或变压器油的磁导率比硅钢片小很多，因此变压器铁心磁路中如果出现间隙，磁阻将很大，在主磁通一定的条件下，励磁电流就很大。为了减小励磁电流，提高变压器的功率因数，铁心应是闭合的，不能有间隙。

1-5 变压器铁心为什么要用涂绝缘漆的薄硅钢片来叠成？

答 用硅钢片是因为它的磁导率高，磁阻小，磁滞损耗小。用薄片，且片间涂绝缘漆是为了减小交变磁通引起的涡流损耗。因为变压器不仅励磁电流小，而且铁心损耗小，效率高。

1-6 型号为 SFPL-63000/110 的变压器是什么样的变压器？

答 为三相油浸式，强迫油循环、风冷、双绕组电力变压器，导线为铝线，额定容量为 63000kVA，高压边额定电压为 110kV，无励磁调压。

1-7 变压器的主要额定值有哪些？

答 主要额定值有额定容量，指视在功率；额定电压 U_{1N}/U_{2N} ，均指线电压；额定电流 I_{1N}/I_{2N} ，均指线电流；额定频率，我国工业频率为 50Hz。

1-8 变压器在什么情况下称其运行在额定状态？

答 变压器原边接在额定电压的电网上，副边接上负载，原、副边电流为额定值的运行情况称为额定运行状态。

1-9 变压器运行时产生的热量主要来自哪些部分？决定变压器运行时温度高低的因素有哪些？

答 变压器运行时铁心中有磁滞涡流损耗转变为热量；绕组流过电流有 $I_1^2 r_1$ 和 $I_2^2 r_2$ 的绕组铜损耗，它也变成热量；另外铁心夹件及油箱壁中也有附加的铁损耗（有一些交变漏磁通过）转变为热量，这些热量会使变压器温度升高。所谓温度升高是相对于变压器周围的环境温度而言的，变压器运行时的温度高低取决于：①环境温度。例如冬夏环境温度不一样的室外安装的电力变压器，就是同样负载情况下，夏季时变压器的温度就比冬季时的高。②变压器的损耗（或效率）。若损耗大，则发热多，同样条件下变压器运行的温度高。③变压器的散热条件。散热条件好，同样的损耗和环境温度下，变压器温度也低。散热条件包括变压器本身结构，如油箱上是否有油管、油管的多少，或者有无外装的散热器，采用自然冷却还是电风扇吹或冷水浇等等。干式变压器散热条件就不太好。

1-10 已做好的变压器当将其冷却方式改变时，其容量是否也应改变？

答 变压器使用的绝缘材料都有其长期使用的允许温度，在允许温度下长期运行，绝缘性能良好，若高于这个温度，绝缘材料的寿命会减少很多。为了充分使用变压器，应该是负载运行时变压器内绝缘处为其允许温度或尽量接近允许温度。已做好的变压器，如果改变其冷却方式，例如由自然风冷改为用电风扇吹，改善了冷却条件，在同一允许温度下，就应该提高变压器的容量，带更大的负载，产生更多的热量，否则容量就有所浪费了。因此，改善冷却条件时变压器容量应增大，恶化了冷却条件时，容量要减小。

三、习题选解

1-2 一台三相变压器的额定容量 $S_N = 3200\text{kVA}$ ，额定电压为 $U_{1N}/U_{2N} = 35/10.5\text{kV}$ ，

Y, d 接法, 求:

(1) 变压器原、副边的额定线电压、相电压及额定线电流、相电流。

(2) 若副边负载的功率因数为 0.85 (感性), 则变压器额定运行时能输出多少千瓦的有功功率? 输出的无功功率又是多少?

解 (1) 额定电压及电流

$$\text{原边额定线电压 } U_{1N} = 35 \text{ kV}$$

$$\text{原边额定相电压 } U_1 = 35 / \sqrt{3} = 20.208 \text{ kV}$$

$$\text{副边额定线电压 } U_{2N} = 10.5 \text{ kV}$$

$$\text{副边额定相电压 } U_2 = 10.5 \text{ kV}$$

$$\begin{aligned} \text{原边额定线电流 } I_{1N} &= \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{1N}} = \frac{3200 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 35 \times 10^3} \\ &= 52.79 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\text{原边额定相电流 } I_1 = 52.79 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \text{副边额定线电流 } I_{2N} &= \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{2N}} = \frac{3200 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 10.5} \\ &= 175.96 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\text{副边额定相电流 } I_2 = I_{2N} / \sqrt{3} = 101.59 \text{ A}$$

(2) 若 $\cos\varphi_2 = 0.85$ (感性) 额定运行时

$$\begin{aligned} \text{输出有功功率 } P_2 &= S_N \cos\varphi_2 = 3200 \times 0.85 \\ &= 2720 \text{ kVA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{输出无功功率 } Q_2 &= S_N \sin\varphi_2 = 3200 \times 0.527 \\ &= 1685.7 \text{ kvar} \end{aligned}$$

$$\text{其中 } \varphi_2 = 35.32^\circ$$

第二章 变压器的运行分析

一、重点与难点分析

本章介绍变压器的运行情况, 针对单相及三相双绕组电力变压器对称运行进行的。主要的内容有: 空载 (无载) 和负载运行时的电磁关系, 折合算法、基本方程式、等值电路、相量图、标么值、参数的测定方法、运行特性等。本章是变压器这一篇中最为重要的一章, 是全篇的基础和后续各篇的基础, 必须重视和掌握。

本章第一个重点是变压器的电磁关系。

变压器的电磁关系是从浅入深分析的, 是变压器的运行原理和物理本质, 建立在电磁感应定律和全电流定律等基础上。

变压器电磁关系具体表现在未采用折合算法时的六个方程式上; 即

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 z_1$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 z_2$$

$$\begin{aligned}\dot{E}_1/\dot{E}_2 &= k \\ \dot{I}_1 W_1 + \dot{I}_2 W_2 &= \dot{I}_0 W_1 \\ \dot{I}_0 &= -\frac{\dot{E}_1}{z_0} \\ \dot{U}_2 &= \dot{I}_2 Z\end{aligned}$$

上述六个方程式建立的过程也就是分析变压器电磁关系的各个具体内容，值得特别提醒的几点是：

第一，注意主磁通与漏磁通的定义及区别，注意它们在绕组感应电动势的相同本质及不同处理方法，也就是说漏磁通分别感应的电动势未参与原、副绕组的耦合，它们都当作漏阻抗降压看待，体现在参数 x_1 和 x_2 中，变压器运行时造成变压器内阻抗上有压降，影响到副边输出电压不等于额定电压。

第二，注意磁动势平衡方程式的含意。它不仅简单地导出原、副边电流关系，主要地表达了原、副边磁动势是相互关联的，副边磁动势大小取决于负载电流，原边磁动势与副边磁动势相平衡外，还提供励磁磁动势。变压器运行时，电源电压额定不变，主磁通最大值不变，励磁电流不变；负载时，原边电流的负载分量与副边电流由负载而定，同时增大或减小，相差 k 倍；额定负载时，由于励磁电流小，原、副边电流同时达到额定值。

本章第二个重点是折合算法。

折合算法的出发点是为了找到等值电路把复杂的变压器问题变成单纯的电路来分析。折合算法是依据保持磁动势不变而改变匝数这一原则进行的，要记住副边向原边折合或原边向副边折合的折合关系和结果。

本章的第三个重点是变压器的等值电路。

T形等值电路适用于空载和负载运行，一字形等值电路适用于负载运行，应熟练使用等值电路计算变压器负载运行时的各量值。运用等值电路计算三相变压器对称运行时要注意：

第一，等值电路中的各量均为相值，包括负载阻抗。三相的线电压、线电流与相电压、相电流之间要按绕组的联接方法进行换算。

第二，变压器副边的接法与负载接法不一致时，如变压器副边为Y（或 Δ ）接，负载为 Δ （或Y）接，则需要首先将负载接法转换一下，找出转换后的等效接法的每相阻抗值，再代入等值电路的负载阻抗中去进行计算。下面介绍 Δ -Y转换公式。

若Y接的三个阻抗分别为 Z_a 、 Z_b 和 Z_c ， Δ 接的三个阻抗分别为 Z_{ab} 、 Z_{bc} 和 Z_{ca} ，则它们等效的条件是

$$\begin{aligned}Z_a &= \frac{Z_{ab}Z_{ca}}{Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ca}} \\ Z_b &= \frac{Z_{ab}Z_{bc}}{Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ca}} \\ Z_c &= \frac{Z_{bc}Z_{ca}}{Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ca}}\end{aligned}$$

为了便于记忆，可利用下面的一般公式：

$$Y \text{ 接阻抗} = \frac{\Delta \text{ 接相邻阻抗的乘积}}{\Delta \text{ 接阻抗之和}}$$

以上公式的推导可参考电路方面的书籍。在三相阻抗对称时, 则

$$\begin{aligned}Z_a &= Z_b = Z_c = Z_Y \\Z_{ab} &= Z_{bc} = Z_{ca} = Z_{\Delta}\end{aligned}$$

则有

$$Z_Y = \frac{1}{3}Z_{\Delta}$$

例 已知接法为 Y, y0 的降压变压器带三相 Δ 接对称负载, Δ 形的每边阻抗 $Z=30+j40\Omega$, 求变压器等值电路中的每相负载阻抗 Z_L 。

解

$$Z_L = \frac{1}{3}Z = \frac{1}{3}(30 + j40) = 16.67 \angle 53.13^\circ \Omega$$

本章的第四个重点是变压器相量图。

相量图是根据基本方程式画出的, 与等值电路相对应, 有与 T 形等值电路相对应的和与一字形等值电路相对应的, 是定性分析变压器各量的分析方法。

第五个重点是标么值。

标么值直观。基值选额定值时, 电压或电流的线值与相值的标么值相同, 电流或阻抗的原边与副边的标么值相同。

第六个重点是变压器参数的测定与计算。

第七个重点是变压器副边电压调整率。

负载运行时, 副边电压不等于额定电压 (即空载电压) 的原因是变压器原、副边有漏阻抗存在, 在负载的条件下, 内阻抗上有压降。但副边电压调整率的大小与变压器短路阻抗、负载电流及负载的功率因数三者有关。

二、思考题解答

2-1 某台变比 $k=2$ 的单相变压器, 额定电压为 220/110V, 如果原边接到 380V 或 110V 电源上, 其主磁通有什么变化? 铁心中的最大磁密 B_m 有什么变化?

答 当通入变压器的电源的频率与变压器原绕组匝数 W_1 不变时, 由于 $U_1 \approx E_1 = 4.44fW_1\Phi_m$, 因此主磁通 $\Phi_m \propto U_1$, 又由于铁心截面积为常数, 故 $B_m \propto \Phi_m \propto U_1$ 。当原边电压为 220V 时, 主磁通及磁密均为额定值, 分别用 Φ_m 及 B_m 表示。

如果原边加上 380V 的电压, 则主磁通将增至 $(380/220)\Phi_m = \sqrt{3}\Phi_m$, 磁密亦增至 $\sqrt{3}B_m$; 如果原边加上 110V 的电压, 则主磁通将减至 $(110/220)\Phi_m = \frac{1}{2}\Phi_m$, 磁密亦减至 $\frac{1}{2}B_m$ 。

2-2 已知两台变压器原、副边绕组感应电动势均为 \dot{E}_1 及 \dot{E}_2 , 主磁通 $\dot{\Phi}_m$ 的规定正方向标注于图 2-1 中, 试写出瞬时值形式 $e(t) = f[\phi(t)]$ 和相量形式 $\dot{E}_1 = f(\dot{\Phi}_m)$ 、 $\dot{E}_2 = f(\dot{\Phi}_m)$ 的关系式。

解 在图 2-1 (a) 的情况下
瞬时值形式

$$e_1 = W_1 \frac{d\phi}{dt}, e_2 = W_2 \frac{d\phi}{dt}$$

相量形式

$$\dot{E}_1 = 4.44fW_1\dot{\Phi}_m, \dot{E}_2 = 4.44fW_2\dot{\Phi}_m$$

在图 2-1 (b) 的情况下

瞬时值形式

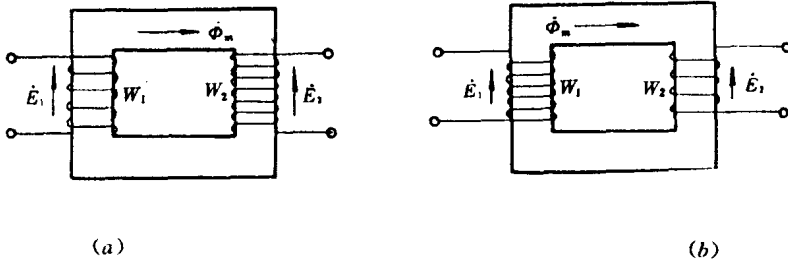


图 2-1

$$e_1 = -W_1 \frac{d\phi}{dt}, e_2 = -W_2 \frac{d\phi}{dt}$$

相量形式

$$\dot{E}_1 = -j4.44fW_1\dot{\Phi}_m, \dot{E}_2 = -j4.44fW_2\dot{\Phi}_m$$

2-3 某变压器数据为 $S_N=100\text{kVA}$, $U_{1N}/U_{2N}=6300/400\text{V}$, Y, y0 接法。现将电源由 6300V 改为 10000V, 并使用改换高压绕组的办法来适应电源电压的变化, 若保持低压绕组不变, 每相匝数 $W_2=40$ 匝, 问原来的高压绕组是多少匝? 新的高压绕组应为多少匝?

解 原来的高压绕组匝数为

$$W_1 = \frac{\frac{U_{1N}}{\sqrt{3}}}{\frac{U_{2N}}{\sqrt{3}}} W_2 = \frac{U_{1N}}{U_{2N}} W_2 = \frac{6300}{400} \times 40 = 630$$

新的高压绕组匝数为

$$W_1' = \frac{\frac{U_{1N}'}{\sqrt{3}}}{\frac{U_{2N}}{\sqrt{3}}} W_2 = \frac{U_{1N}'}{U_{2N}} W_2 = \frac{10000}{400} \times 40 = 1000$$

注意: 原副边的匝数比等于它们的相电压之比, 因此式中的线电压要除以 $\sqrt{3}$ 。

2-4 某单相变压器额定电压为 220/110V, 如图 2-2 所示。设高压边加 220V 电压, 空载励磁电流为 I_0 , 主磁通为 Φ_m 。若 X 与 a 联在一起, 当 Ax 间加 330V 电压时, 励磁电流与主磁通各为多大? 若 X 与 x 联在一起, Aa 间加 110V 电压, 励磁电流与主磁通又各为多大?

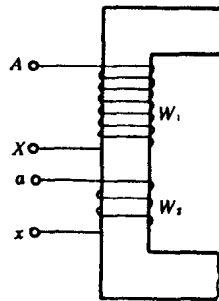


图 2-2

解 $\frac{U_{AX}}{U_{ax}} = \frac{W_1}{W_2} = 2,$

$$W_2 = \frac{1}{2}W_1$$

(1) 若 X 与 a 相联接, 当 Ax 间加 330V 电压时, 设励磁电流为 I'_0 , 主磁通为 Φ_m :
Ax 绕组有效匝数为

$$W_1 + W_2 = W_1 + \frac{1}{2}W_1 = \frac{3}{2}W_1$$

已知

$$\frac{U_{Ax}}{U_{AX}} = \frac{330}{220} = \frac{3}{2}$$

根据 $U \approx 4.44fW\Phi_m$ 的关系可知, 当匝数与电压按同样比例 $\frac{3}{2}$ 增大时, Φ_m 不变, 励磁磁动势不变, 即

$$\Phi'_m = \Phi_m$$

$$I'_0(W_1 + W_2) = I_0W_1$$

$$I'_0 = \frac{W_1}{W_1 + W_2}I_0 = \frac{2}{3}I_0$$

因此励磁电流减为原来的 $\frac{2}{3}$ 。

(2) 若 X 与 x 相联接, 当 Aa 间加 110V 电压时, 设励磁电流为 I''_0 , 主磁通为 Φ''_m :
Aa 绕组有效匝数为

$$W_1 - W_2 = W_1 - \frac{1}{2}W_1 = \frac{1}{2}W_1$$

已知

$$\frac{U_{Aa}}{U_{AX}} = \frac{110}{220} = \frac{1}{2}$$

根据 $U \approx 4.44fW\Phi_m$ 的关系可知, 当匝数与电压按同样比例 $\frac{1}{2}$ 减小时, Φ_m 不变, 励磁磁动势不变, 即

$$\Phi''_m = \Phi_m$$

$$I''_0(W_1 - W_2) = I_0W_1$$

$$I''_0 = \frac{W_1}{W_1 - W_2}I_0 = 2I_0$$

因此励磁电流增至原来的 2 倍。

2-5 电力变压器的铁心材料为什么用软磁材料而不用硬磁材料?

答 软磁材料比硬磁材料的磁滞回线瘦长, 也就是磁滞损耗比较小, 因此当用软磁材料做铁心时, 变压器励磁电流的有功分量 I_{0w} 比用硬磁材料时的小, 运行时效率高。

2-6 变压器铁心若用整块硅钢材料或者说硅钢片之间不绝缘有什么不好?

答 变压器铁心若用整块硅钢材料, 运行时铁心内的涡流损耗比用相互绝缘的薄硅钢片构成的铁心大得多, 这意味着励磁电流的有功分量 I_{0w} 大, 效率低。

2-7 单相电力变压器的磁通与励磁电流波形各是什么样的? 它们的相位相同吗? 为什么?

答 由于铁磁材料具有饱和现象, 铁心中的磁通与磁化电流之间的关系不是正比关系, 而