

全国高职高专通用教材辅导与技能训练用书

**YTH** DIANJIJISHU  
XUEXIFUDAO  
YUJINENGXUNLIAN

# 电机技术

主编 阎伟

# 学习辅导与技能训练



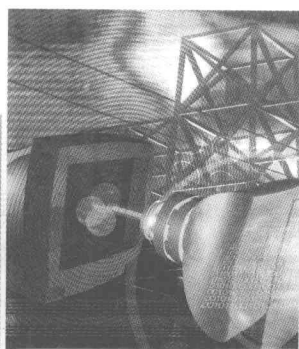
全国高职高专通用教材辅导与技能训练用书

**YTH** DIANJIJISHU  
XUEXIFUDAO  
YUJINENGXUNLIAN

# 电机技术

主编 阎伟

## 学习辅导与技能训练



山东科学技术出版社



## 图书在版编目(CIP)数据

电机技术学习辅导与技能训练/阎伟主编. —济南:山东科学技术出版社,2006  
(全国高职高专通用教材辅导与技能训练用书)  
ISBN 7-5331-4321-3

I.电... II.阎... III.电机学—高等学校:技术学校—教学参考资料 IV.TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 034257 号

全国高职高专通用教材辅导与技能训练用书

## 电机技术学习辅导与技能训练

主编 阎 伟

---

**出版者:山东科学技术出版社**

地址:济南市玉函路16号  
邮编:250002 电话:(0531)82098088  
网址:www.lkj.com.cn  
电子邮件:sdkj@sclpress.com.cn

**发行者:山东科学技术出版社**

地址:济南市玉函路16号  
邮编:250002 电话:(0531)82098071

**印刷者:山东华鑫天成印刷有限公司**

地址:潍坊市经济技术开发区  
邮编:261031 电话:(0536)2250617

---

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:8.75

版次:2006年5月第1版第1次印刷

---

ISBN 7-5331-4321-3

TM·52

定价:14.50元

## 编 委 会

主 任:王炳实

副主任:黄振轩 杨传耀 王洪龄 阎 伟

编 委:(按姓氏笔画)

刁毓亮 王云祥 王兰军 王宗贵

孙大伟 田明光 乔元信 刘宗亮

李丰桐 肖学东 匡奕珍 张志远

张德生 杨景德 周 斌 苑忠昌

赵中波 徐 冬 高学民 阎相环

魏亚南

编  
者

BIANZHE

主 编 阎 伟

副 主 编 周照君 赵 翔 杜 伟

主 审 房金菁 阎相环

## NEIRONGJIANJIE

本书是高职高专一体化教学通用教材《电机技术》的辅导用书。本书以章为单位，每章设有学习目的和要求，学习与训练指导、习题与思考题选解、实用范例，以帮助学生对重点难点内容进行归纳总结，并提供分析问题、解决问题的学习方法。

本书是为了满足广大师生对《电机技术》课程的教学要求而编写的辅助用书,目的在于帮助学生进一步理解电机技术的主要内容,并解答和补充疑难问题;帮助学生掌握本课程的学习方法和提高分析及解决问题的能力;帮助学生掌握电机学科的操作技术。

本书分为变压器、交流电机、直流电机、微特电机四篇,采用一般教材的结构,以章为单位,每章设有“学习目的和要求”、“学习与训练指导”、“习题与思考题选解”、“实用范例”四部分。有的章还添写了“实验分析”和“新技术”、“新工艺”。

“学习目的和要求”以节为单位,对教材中该章的要点、重点内容总结和归纳,并对重点、难点内容提示分析思路、学习方法;“学习与训练指导”针对教材中各知识点编写了各种类型的练习题,并附有答案;“习题与思考题选解”给出《电机技术》教材中的一些典型习题的解答方法和步骤;“实用范例”选择工业实用技术范例来拓展学生对工业现场专业技术知识的思路。

编者在编写过程中得到山东栋梁科技设备有限公司提供的电机实验、实训指导资料和热忱帮助,在此表示感谢。编写过程中还参阅了大量的相关教材、教辅参考书、专业文章及技术资料、图片等文献,在此向原作者致以衷心的感谢。如有不敬之处,恳请见谅!

全书共六章。第一章、第二章、第六章和附录由山东劳动职业技术学院阎伟编写;第四、五章由周照君编写;第三章及多章节中“习题与思考题选解”部分由赵翔、杜伟编写;全书由阎伟统稿。由于作者水平有限,书中不妥和错漏之处,恳请广大师生和读者给予批评指正。

本书由房金菁、阎相环两位专家在百忙之中认真审阅,并提出宝贵的修改意见,在此表示诚挚的感谢!

编者

# 目录

## 变压器篇

第一章 电力变压器 .....	(1)
第一节 学习目的和要求 .....	(2)
第二节 学习与训练指导 .....	(3)
第三节 习题与思考题选解 .....	(8)
第四节 实验分析 .....	(15)
第五节 实用范例——电力变压器故障处理 .....	(17)
第六节 变压器的节能技术 .....	(21)
第二章 特殊变压器 .....	(28)
第一节 学习目的和要求 .....	(28)
第二节 学习与训练指导 .....	(29)
第三节 习题与思考题选解 .....	(30)
第四节 实用范例——特殊变压器 .....	(33)

## 交流电机篇

第三章 异步电机 .....	(40)
第一节 学习目的和要求 .....	(41)
第二节 学习与训练指导 .....	(42)
第三节 习题与思考题选解 .....	(50)
第四节 实验分析 .....	(56)
第五节 实用范例 .....	(57)
第四章 同步电机 .....	(72)
第一节 学习目的和要求 .....	(73)
第二节 学习与训练指导 .....	(73)
第三节 习题与思考题选解 .....	(78)

第四节 实用范例——同步电动机的起动控制和制动控制	(82)
---------------------------	------

**直流电机篇**

<b>第五章 直流电机</b>	(86)
第一节 学习目的和要求	(87)
第二节 学习与训练指导	(88)
第三节 习题与思考题选解	(92)
第四节 实验分析	(99)
第五节 实用范例	(102)

**微特电机篇**

<b>第六章 微特电机</b>	(109)
第一节 学习目的和要求	(110)
第二节 学习与训练指导	(111)
第三节 习题与思考题选解	(113)
第四节 实用范例——新型微特电机使用	(116)

**附录**

附录1 电机常用绝缘材料的代号及意义	(119)
附录2 电机绝缘的耐热等级	(120)
附录3 同步练习题答案	(120)
附录4 电机项目的实验规程	(126)

<b>参考文献</b>	(128)
-------------	-------



# 变压器篇

## 第一章 电力变压器

应用于电力系统中供输电和配电用的变压器称为电力变压器。电力变压器是电力网的核心设备之一。

变压器的工作原理是建立在电磁感应和磁动势平衡这两个关系的基础上。电力变压器是传递交流电能的静止电器,它是利用一、二次侧匝数不等实现变压的。按其变换电压形式又可分为升高电压的升压变压器和降低电压的降压变压器。

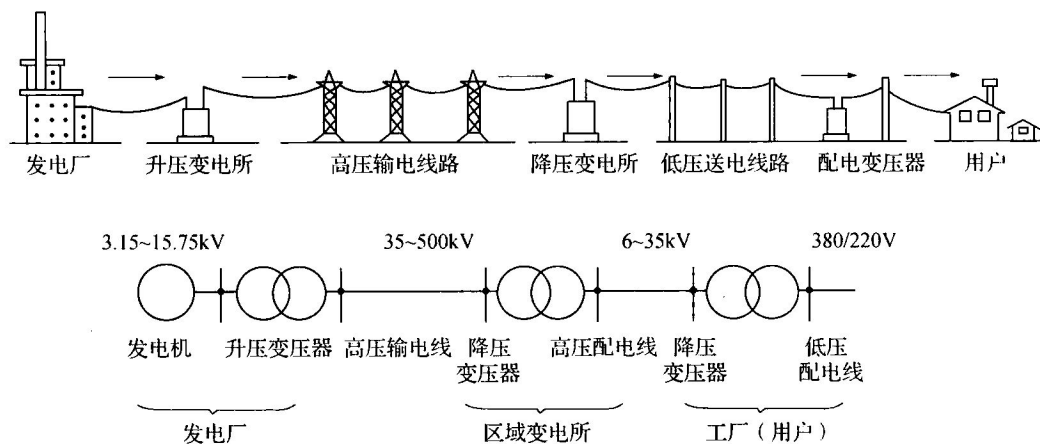


图 1-1 电力系统

图 1-1 说明了变压器在电能传输、分配和使用等过程中的地位。变压器的总容量大致相当于发电机容量的三倍。输电过程中,通常将电压升高,通过高压输电线路传送到远方的城市,经过降压变压器降为 10kV 电压,再经过配电降压变压器分配给用户,电压为 6kV 或 380V/220V。输送同样的功率,电压低则电流大,一方面由于大电流在输电线路引起损耗,另一方面大电流在线路阻抗上产生大的压降,受电端电压很低,电能传送不出去。因而只有高电压能将电能输送到远方,通常用 110kV 可将 5 万 kW 电能输送到 150km 的地方;用 500kV ~ 750kV 可将 200 万 kW 电能输送到 1000km 的地方。35kV ~ 220kV 的电力变压器外形见图 1-2。

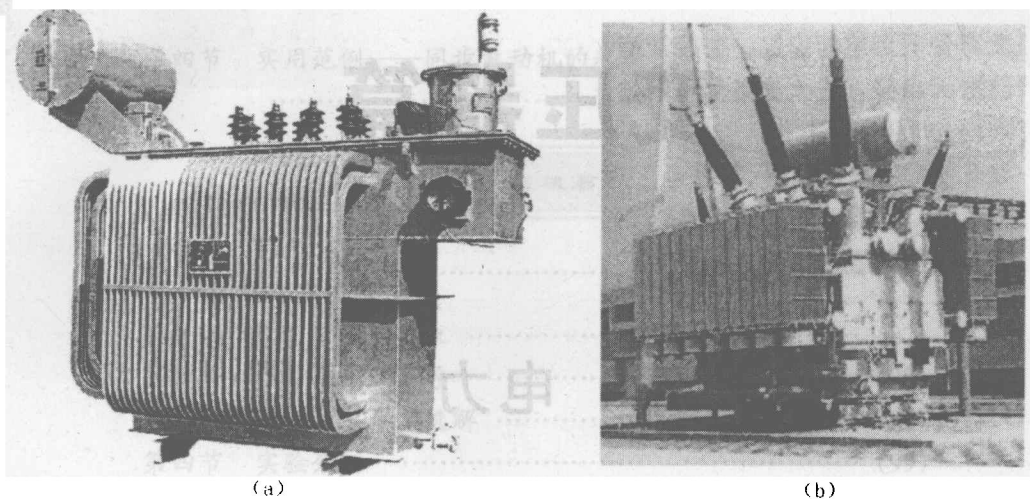


图 1-2 电力变压器  
 (a) 中型复合式有载心式变压器      (b) SPSZ-180MVA/220kV 三相有载壳式变压器

### 学习目的和要求

1. 熟悉电力变压器的工作原理和结构。
2. 理解变压器空载运行和负载运行时电压、电流及能量的传递关系；了解相量图的画法。
3. 掌握电力变压器的并联运行和经济运行方法。
4. 理解变压器的外特性、损耗及效率；掌握变压器空载和短路试验的目的和实际意义。
5. 了解三相变压器的组成和联接方式；掌握联接组别的意义和判别方法。
6. 掌握电力变压器的试验项目和试验方法。
7. 掌握电力变压器的维护技术和检修项目。

## 第一节 学习目的和要求

### 一、学习学时指导

第一章	授课内容	基础学时	实验学时	实训学时
第一节	变压器的分类与工作原理	1		
第二节	变压器的结构	2		

(续表)

第一章	授课内容	基础学时	实验学时	实训学时
第三节	变压器的运行原理	3		
第四节	变压器的运行特性	2		
第五节	三相变压器	2		
第六节	电力变压器的运行	2		
第七节	电力变压器的试验	2	2	
第八节	电力变压器的维护和检修	1		
实验一	变压器的空载试验与短路试验		2	
实验二	测定变压器的极性和联接组别		1	
实训	一、参观变压器制造企业 二、参观变电站和配电室			3
合计		15	5	3

## 二、学习重点

1. 理解变压器的运行原理和运行特性。
2. 掌握  $U_1 \rightarrow E_1 \rightarrow \phi_0 \rightarrow I_0$  的因果关系。
3. 熟练应用基本方程、等效电路及相量图来分析变压器的各种运行情况。
4. 掌握三相变压器的磁路系统和电路系统的关系。

## 三、学习难点

1. 变压器对称稳态运行的电磁关系、运行特性和分析方法。
2. 变压器励磁阻抗的物理意义。
3. 用对称分量法分析变压器的各种不对称运行情况。

## 第二节 学习与训练指导

### 一、定义

1. 额定容量:指变压器额定运行时的视在功率,单位为 VA、kVA 或 MVA。
2. 额定电压:指一次侧加额定电压时二次侧的空载(开路)电压,单位为 V 或 kV。三相变压器的额定电压指线电压。
3. 额定电流:根据额定容量、额定电压计算出来的一、二次侧电流,单位为 A。
4. 空载运行:指变压器一次绕组接在额定电压、额定频率的电源上,二次绕组开路时的运行状态。
5. 负载运行:当变压器一次绕组接入电源  $U_1$ ,二次绕组接上负载  $Z_L$ ,则变压器就投

入了负载运行。

6. 变比:一、二次侧绕组感应电动势之比。

7. 外特性:变压器一次侧加额定电压、二次侧负载功率因数一定时,二次侧输出电压与负载电流的变化关系。

8. 电压变化率:变压器负载时二次侧电压从空载到负载变化的程度。

9. 变压器效率:变压器输出有功功率与输入有功功率的百分比。

10. 变压器同名端:当某一瞬间在一、二次绕组中同为高电位或同为低电位的两个端点,也称为同极性端点。

11. 变压器的联接组别:变压器一、二次绕组的接线方式及其对应的线(或相)电动势之间的相位关系。

12. 三相变压器的联接组别:一、二次绕组对应线电势之间的相位差。

13. 并联运行:两台或多台变压器的一、二次侧分别接于公共母线上,共同向负载供电的运行方式。

14. 吸收比:绝缘电阻加压试验 60s 和 15s 时测得的绝缘电阻的比值。

## 二、常用计算公式

1. 对于三相变压器,额定电流指线电流。一、二次侧的线电流可用下列公式计算:

$$\text{单相变压器: } I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}} \quad I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}}$$

$$\text{三相变压器: } I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{1N}} \quad I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{2N}}$$

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{U_{1N}}{U_{2N}}$$

2. 对于三相变压器,变比的关系式可变为:

$$\text{Y,d 联接时,} \quad k = \frac{U_{1N}}{\sqrt{3}U_{2N}}$$

$$\text{D,y 联接时,} \quad k = \frac{\sqrt{3}U_{1N}}{U_{2N}}$$

3. 变压器内部的电磁关系式:  $I_1 \approx -I_2 \frac{N_2}{N_1} = -\frac{I_2}{K}$

可见,  $I_1$  与  $I_2$  在相位上相差近  $180^\circ$ , 在数值上  $\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{N_2}{N_1}$ 。

4. 电压变化率:

$$\Delta U\% = \frac{U_{20} - U_2}{U_{2N}} \times 100\% = \frac{U_{2N} - U_2}{U_{2N}} \times 100\% = \frac{U_{1N} - U'_2}{U_{1N}} \times 100\%$$

5. 变压器效率:  $\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$

$$= \frac{P_2}{P_2 + p_{cu} + p_{Fe}} \times 100\%$$

$$6. \text{ 变压器效率转换: } \eta = \frac{\beta S_N \cos \varphi_2}{\beta S_N \cos \varphi_2 + p_0 + \beta^2 p_{kN}} \times 100\%$$

$$7. \text{ 运行时的负载系数: } \beta_m = \sqrt{\frac{p_0}{p_{kN}}}$$

### 三、问题提出与分析解析

#### 1. 变压器的结构剖析

图 1-2(a)所示的 110kV 及以上电压等级的线圈,采用纠结式或插入式内屏蔽结构,有效地改善了冲击电压分布,导线采用换位导线和复合导线,以减少线圈的附加损耗,并采用电子计算机计算电场和线圈的冲击特性,保证了线圈的优良电气特性和冲击强度,线圈中的撑条和垫块均为圆角,提高了绝缘强度。变压器器身压紧采用了绝缘压板。大型变压器器身压紧采用油缸压钉以防止运行中线圈松动。

图 1-2(b)所示的 220kV 变压器,铁心采用优质冷轧硅钢片,为了降低空载损耗,铁心采用全斜无孔结构和旁柱采用玻璃带绑扎,上、下铁轭通过装在夹件上的拉架用玻璃带拉紧。铁心采用反磁钢作拉板,将上下夹件与铁心牢固地联接起来构成一个钢体框架结构,从而提高了稳定性,增加了变压器承受短路的能力。铁心叠装,采用不叠上铁轭工艺,有利于降低损耗。

油箱为钟罩式箱壁焊有折板式加强铁,大大地提高了油箱的机械强度,并使外形美观。为了降低变压器损耗,大型变压器在油箱内壁装有磁屏蔽或铝屏蔽,目前特大型变压器油箱有的已采用无磁钢板制作。箱沿密闭为螺栓紧固。

为了防止变压器在运输中器身位移,器身与油箱设有定位装置,储油柜采用隔膜式,使变压器油与大气隔离避免油受潮和老化,储油柜端头装有磁铁式油表,可直接查看油面位置,变压器具有完善的导油、导气管路系统,变压器油箱顶部装有两个压力释放器,当变压器内部压力达到一定值时能可靠释放能量,确保了设备的安全运行。

#### 2. 三相变压器的不对称运行

教材中分析的有关三相变压器的对称运行是指一、二次侧的对称运行情况,可实际中有时又出现电压或负载不对称的情况,从而造成三相电流不对称,即各相电流(或电压,电势)大小有可能不同,相位也不是依次差  $120^\circ$ ,这种情况称为不对称运行。

三相变压器的对称运行,可转化为单相问题来处理;三相变压器的不对称运行,可用对称分量法和叠加原理来分析。

(1)对称分量法 对称分量法是将一组不对称的量(如电压、电流)分解成互为独立的正序、负序和零序三组对称的量。对应于每一组对称分量都有相应的等效电路,分别称为正序等效电路、负序等效电路和零序等效电路;对应于各序等效电路中的阻抗称之为各序阻抗,如正序阻抗、负序阻抗和零序阻抗等。

分析不对称运行的惟一方法就是对称分量法,即先把一组不对称的量分解成三组互为独立的对称分量,然后对每一组对称的量进行计算,最后把计算所得的各组对称分量叠加,即为所求的值。

(2)三相变压器的序阻抗和序等效电路 各序阻抗即为各序电流所遇到的阻抗值。

由于正序和负序电流在变压器中所产生的电磁现象完全相同,也与变压器正常运行时的电磁现象相同,其电流均能在一、二次绕组中通过,而使作用在铁心上的磁动势得以平衡,因此正序、负序等效电路(忽略励磁电流)就与正常时简化等效电路相同,正序、负序阻抗即为正常时短路阻抗。

### (3) 三相电流不平衡时的运行方式

#### ① 三相电流不平衡时产生的原因

a. 由三台单相变压器组成的三相变压器组,当组中一台变压器损坏时,如用不同参数(如有不同阻抗电压或不同变比)的另一台变压器代替,就会造成电流和电压的不对称。

这种变压器组,在运行时不仅本组的电流不对称,还会使其他与之联接的中性点接地的变压器产生接地电流,且其本身的可用容量小于三个单相变压器容量的总和。

b. 变压器的两相运行也会造成变压器的不对称运行。如在中性点直接接地的系统中,当一相线路发生故障,以零线代替该相暂时运行;三相组式变压器中一台变压器发生故障,暂以两相变压器运行和三相变压器一相线圈发生故障暂时以两相运行等。

这种不对称运行的共同特点是:变压器的容量会降低,即可用容量会小于仍在运行的两相变压器的额定容量之和,可用容量的大小和电流的不对称程度有关。

造成变压器两相运行的原因还有:变压器某一侧开关的某一相断开以及变压器的分接开关的某一相接触不良等。

变压器不对称运行对变压器本身危害不太大,但由于电流、电压不对称,对用户的正常用电是有影响的。另外还对沿线通讯线路产生干扰和对电力系统的继电保护工作条件有影响。

c. 由于 Y, yno 接线的三相变压器有中性线引出,所以既可接三相对称负载(如电动机),亦可接单相负载(如照明、电焊机等),若三相负载对称,则中性线无电流,实际上由于有单相负载,很难做到三相负载对称,因此在中性线中有电流,其数值为每相零序电流的 3 倍。

#### ② 三相电流不平衡产生的后果

图 1-3 所示是变压器带不对称负载时的二次侧电压相量图。图中  $\dot{U}_U$ 、 $\dot{U}_V$ 、 $\dot{U}_W$  是负载对称时的电压相量,  $\dot{U}_{O'O}$  是中性点电压。由图可知:

$$\dot{U}_{U'} = \dot{U}_U - \dot{U}_{O'O}$$

$$\dot{U}_{V'} = \dot{U}_V - \dot{U}_{O'O}$$

$$\dot{U}_{W'} = \dot{U}_W - \dot{U}_{O'O}$$

(1-1)

中性点由 O 移到 O', 此现象叫做中性点位移, 中性点电压  $U_{O'O}$  越大, 三相电压越不平衡。图示 U 相负载最大, 相电压  $U_{U'}$  最小,  $U_{V'}$  与  $U_{W'}$  均大于负载对称时的相电压。此时, 尽管线电压仍保持对称, 但负载大的相电压降低, 而其他两相相电压则提高, 若该相负载加得很大, 那么该相电压将急剧下降, 使其他两相电压升高, 可能接近线电压。例如, 当变压器容量较小, 该相接有单相负载, 如接电焊机时, 接在另两相的灯泡会烧坏, 就是这个道

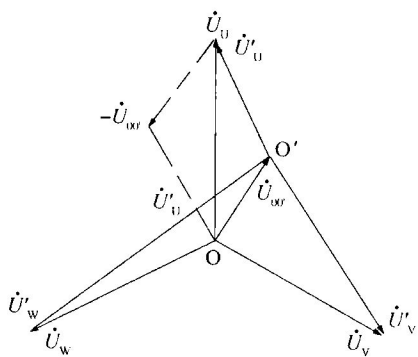


图 1-3 Y, yno 带不对称负载时的电压相量图

理。

(4) 允许运行方式 规程规定: Y, yno 接线的变压器, 其中性线电流不得超过低压线圈额定电流的 25%, 此时中性点位移不会严重影响到三相电压的不对称。

对于三相组式三台单相变压器的三相接线方式, 变压器接成 Y, y 运行时, 由于没有中性线, 零序分量电流没有通路, 磁通为平顶波, 可分解为 1、3 等奇次谐波磁通  $\phi_1$  和  $\phi_3$ 。由于各相磁路彼此独立,  $\phi_3$  在各相磁路中闭合, 因磁阻小, 所以  $\phi_3$  有较大数值。 $\phi_3$  在变压器一、二次线圈中分别感应出三次谐波电势  $e_{13}$ 、 $e_{23}$ , 此电势值可分别达到基波电势的 45% ~ 60%, 由于三次谐波电势的幅值与基波电势幅值正好相加, 这使得相电势最大值也同样增大 45% ~ 60%, 这种相电势值的升高在很多情况下是危险的。因此三相组式变压器一般不做 Y, y 联接。对于三相组式变压器的 Y, yno 接法, 当中性点接地时, 由于电网中的三次谐波电流对通讯线路会产生干扰, 通常也不采用。

### 3. 标么值

标么值是一种相对控制单位, 在电力系统工程计算中应用甚广, 其定义为:

$$\text{标么值} = \frac{\text{实际值}}{\text{基准值}} = \frac{\text{实际值}}{\text{额定值}} \quad (1-2)$$

由定义可知, 任何额定值的标么值均为 1。

知道标么值后, 就可以还原成实际值

$$\text{实际值} = \text{标么值} \times \text{额定值} \quad (1-3)$$

标么值与百分值均属无量纲的单位制, 它们之间仅差一个百分号

$$\text{百分值} = \text{标么值} \times 100\% \quad (1-4)$$

在电机学中, 基准值常取额定值, 比如, 电压取  $U_{1N}$ 、 $U_{2N}$ , 电流取  $I_{1N}$ 、 $I_{2N}$ , 阻抗取  $z_{1N} = U_{1N}/I_{1N}$ ,  $z_{2N} = U_{2N}/I_{2N}$ 。

上面有名制表示的公式仍适用于标么值的计算。

$$\begin{aligned} z_m^* &= \frac{U_{1N}^*}{I_0^*} = \frac{1}{I_0^*} \\ \gamma_m^* &= \frac{P_0^*}{(I_0^*)^2} = \frac{P_0/S_N}{(I_0^*)^2} \\ x_m^* &= \sqrt{(Z_m^*)^2 - (\gamma_m^*)^2} \\ z_K^* &= \frac{U_{KN}^*}{I_N^*} = U_{KN}^*(u_k^*) \\ \gamma_K^* &= \frac{P_{KN}^*}{(I_{1N}^*)^2} = P_{KN}^* = \frac{P_{KN}}{S_N} \\ x_K^* &= \sqrt{(z_K^*)^2 - (\gamma_K^*)^2} \end{aligned} \quad (1-5)$$

需指出式(1-6)中  $U_{KN}$ 、 $P_{KN}$  是相对应于额定电流时的短路电压和短路功率, 它们并非  $U_K$  和  $P_K$ , 若已知  $U_K$  和  $P_K$ , 则需按下式换算至  $U_{KN}$ 、 $P_{KN}$ , 即

$$U_{KN} = \frac{I_{1N}}{I_K} U_K \quad P_{KN} = \left(\frac{I_{1N}}{I_K}\right)^2 P_K \quad (1-7)$$

用标么值表示后, 不需再折算, 如  $\gamma_2^* = (\gamma_2')^*$ , 其某些物理量的物理意义尽管不同,

但它们在数值上却相等,如:

$$z_K^* = u_K^* \quad r_K^* = u_{Ka}^* \quad x_K^* = u_{Kr}^*$$

额定运行时:

$$S_N^* = 1 \quad P_N^* = \cos\varphi_N \quad Q_N^* = \sin\varphi_N$$

非额定运行时:

$$S^* = I^* \quad P^* = I^* \cos\varphi \quad Q^* = I^* \sin\varphi$$

又如:

$$U_{\text{线}}^* = U_{\text{相}}^* \quad I_{\text{线}}^* = I_{\text{相}}^* \quad P_1^* = P_2^*$$

式中:  $P_1$  为单相功率;  $P_2$  为三相功率。

### 第三节 习题与思考题选解

#### 一、教材习题

1.【教材 1-1】变压器变换电压的原理是什么?它能否变换直流电压?

答:变压器是利用电磁感应原理制成的静止电气设备。它可将一次侧的交流电变成二次侧所需电压值的交流电。

变压器不能变换直流电压。

2.【教材 1-2】油浸式电力变压器的主要结构有哪几部分组成?其主要作用是什么?

答:油浸式电力变压器主要结构部件的名称和作用如下:

(1)铁心。构成主磁路,同时起到变压器器身的骨架作用。

(2)绕组。构成电路,传递能量。

(3)油箱、变压器油和冷却装置。

①油箱。盛油、保护变压器器身,对小容量变压器还起散热作用。

②变压器油。冷却和加强绝缘强度。

③冷却装置。用来冷却变压器器身。

(4)其他附件

①分接开关。改变变压器绕组匝数来调压。

②绝缘套管。用来引线,将油箱内绕组通过绝缘套管与外电路相连。

③储油柜。减少油与空气接触面积,以延缓油的氧化过程。

④气体继电器。变压器内部的故障保护。

⑤安全气道(或压力释放阀)。防止变压器内部故障产生的高压油蒸汽而炸裂油箱。

⑥油温测量装置。监控各部位油温。

3.【教材 1-5】变压器中主磁通与一、二次侧漏磁通的性质和作用有何不同?

答:变压器磁通的实际分布较为复杂,根据磁通所经路径的不同人为的把磁通分成主磁通和漏磁通,便于分别考虑它们各自的特性,这样就可把繁杂的磁场问题简化为较简明



的电路问题来研究。主磁通和漏磁通的区别见表 1-1。

表 1-1 主磁通  $\phi_0$  和漏磁通  $\phi_{1\sigma}$  的性质

比较项目 \ 磁通	$\phi_0$	$\phi_{1\sigma}$
路 径	铁心(铁磁性物质)	变压器油(非铁磁性物质)
数 量	占总磁通 99% 以上	不足总磁通的 1%
性 质	$\phi_0$ 与 $I_0$ 呈非线性关系	$\phi_{1\sigma}$ 与 $I_0$ 呈线性关系
作 用	传递能量	起漏抗压降作用

空载时:  $\dot{F}_0 = \dot{I}_0 N_1$  激励主磁通;  $\dot{F}_1 = \dot{I}_1 N_1 = \dot{I}_0 N_1$  激励一次漏磁通。

负载时:  $\dot{F}_0 = \dot{F}_1 + \dot{F}_2 = \dot{I}_1 N_1 + \dot{I}_2 N_2 = \dot{I}_0 N_1$  激励主磁通;

$\dot{F}_1 = \dot{I}_1 N_1$  激励一次漏磁通;

$\dot{F}_2 = \dot{I}_2 N_2$  激励二次漏磁通。

4.【教材 1-7】有一台单相变压器,  $S_N = 5000\text{kVA}$ 、 $U_{1N}/U_{2N} = 35/6.3\text{kV}$ , 其铁心截面  $S = 1100\text{cm}^2$ , 铁心磁感应强度  $B_m = 1.2\text{T}$ , 电源频率  $f = 50\text{Hz}$ , 试求一、二次侧绕组的匝数。(注: 忽略电阻和漏抗)

解: 变压器的主磁通  $\phi_m = B_m S = 1.2 \times 1100 \times 10^{-4} = 0.132\text{Wb}$

由  $E = 4.44fN\phi_m$  可知

$$N_1 = \frac{E_{1N}}{4.44f\phi_m} = \frac{U_{1N}}{4.44f\phi_m} = \frac{35 \times 10^3}{4.44 \times 50 \times 0.132} = 1195 \text{ 匝}$$

$$N_2 = \frac{E_{2N}}{4.44f\phi_m} = \frac{U_{2N}}{4.44f\phi_m} = \frac{6.3 \times 10^3}{4.44 \times 50 \times 0.132} = 215 \text{ 匝}$$

5.【教材 1-11】为什么把变压器的空载损耗看成铁耗, 短路损耗近似看成铜耗? 负载时实际铁耗和铜耗与空载损耗与短路损耗有何差别?

答: 变压器空载实验时, 变压器没有输出功率, 此时输入有功功率  $P_0$  包括一次绕组铜损耗  $r_1 I_0^2$  和铁心中铁损耗  $P_{Fe} = r_m I_0^2$  两部分。由于  $r_1 \ll r_m$ , 因此  $P_0 \approx P_{Fe}$ 。

而变压器短路实验时, 外加电压较额定值低很多, 铁心中主磁通很小, 磁滞和涡流损耗很小, 可略去不计, 认为短路损耗即为一、二次侧绕组电阻上的铜损耗, 即  $P_S \ll P_{Cu}$ , 也就是认为等效电路中的励磁支路处于开路状态, 于是, 由所测数据近似看成铜损耗。

负载实际时, 变压器的铁损耗与一次侧外加电源电压的大小有关, 而与负载大小无关。当电源电压一定时, 其铁损耗就基本不变了, 故铁损耗又称为“不变损耗”。

负载实际时, 变压器的铜损耗的大小与负载电流的平方成正比。所以把铜损耗称为“可变损耗”。

6.【教材 1-16】一台 HDJ-175/10 型单相变压器, 额定容量为  $50\text{kVA}$ , 额定电压为  $10\,000/100\text{V}$ , 空载损耗  $P_0 = 910\text{W}$ , 短路损耗  $P_k = 4500\text{W}$ 。当  $I_2 = I_{2N}$ ,  $\cos\varphi_2 = 1$ ,  $U_2 = 98\text{V}$  时, 试求: 效率  $\eta$  及最大效率  $\eta_m$ 。

$$\text{解: } I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}} = \frac{50 \times 10^3}{100} = 500\text{A}$$