

最新统一编写电力行业岗位及职业技能鉴定培训教材

(初、中、高级工及技师、高级技师适用)

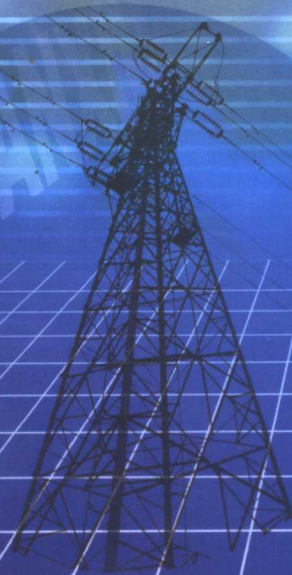
# 变压器检修

陈敢峰 主编

BIANYAQI JIAXIU



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn



中国电力出版社

# 变压器检修

BIANN

最新统一编写电力行业岗位及职业技能鉴定培训教材

(初、中、高级工及技师、高级技师适用)

# 变压器检修

BIANYAQI JIANXIU

陈敢峰 主编



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

## 内 容 提 要

本书是《最新统一编写电力行业岗位及职业技能鉴定培训教材》的《变压器检修》分册,是根据《国家职业技能鉴定规范·变压器检修》的要求,并结合目前变压器检修工作的实际状况精心编写而成。本书提供了变压器检修的理论知识及实际技能,全面介绍了变压器类设备的原理、结构、检修、试验、运行及维护等方面的知识。内容主要包括:变压器的基本知识;变压器的运行原理;三相变压器;变压器基本结构;变压器的检修;分接开关的检修;变压器油知识;变压器干燥;变压器试验;变压器的保护;变压器运行维护以及互感器、电抗器、消弧线圈。本书还附有:变压器检修职业技能鉴定规范;变压器检修技能操作题;变压器检修知识要求试卷及答案;电工常用公式及单位换算表。

本书是变压器检修初级工、中级工、高级工、技师和高级技师的岗位及职业技能鉴定的培训教材,也可供相关专业技术人员和管理人员及大中专院校师生阅读、参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

变压器检修/陈敢峰主编. —北京:中国水利水电出版社, 2004

最新统一编写电力行业岗位及职业技能鉴定培训教材  
ISBN 7-5084-2351-8

I. 变... II. 陈... III. 变压器—检修—职业技能鉴定—教材 IV. TM407

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第090375号

书 名	最新统一编写电力行业岗位及职业技能鉴定培训教材 <b>变压器检修</b>
作 者	陈敢峰 主编
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京安锐思技贸有限公司
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16开本 28.25印张 670千字
版 次	2005年1月第1版 2005年1月第1次印刷
印 数	0001—5100册
定 价	<b>48.00元</b>

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

## 出版说明

为了提高电力技术工人的业务素质,适应开展电力行业岗位培训和实施职业技能鉴定工作的需要,根据劳动和社会保障部制定的电力行业《国家职业技能鉴定规范》的要求,组织有关专家编写了《最新统一编写电力行业岗位及职业技能鉴定培训教材》。第一辑包括:《变压器检修》、《变电检修》、《变电站值班员》、《电气试验》、《继电保护》、《送电线路》、《用电检察》、《电能表修校》、《装表接电》、《抄表核算收费》等十个专业的培训教材。

本套培训教材在编写过程中注重各工种专业技术知识的系统性和全面性,将公用基础理论知识融汇到专业技术知识当中,力求做到学以致用,避免理论与实际相脱节。

本套培训教材还具有专业技术丛书的功能,突出技能方面的要求,坚持实用性。本套教材的编写者均为具有丰富现场工作经验的专业技术人员及国家职业技能考评员,教材中结合现场实际介绍了许多典型的实际故障及处理案例,有较强的实用参考价值。同时,结合近年来电力事业的高速发展,教材中较全面地介绍了各工种发展的新技术、新设备、新工艺,对实际工作有很好的指导意义。本套培训教材不仅适用于各工种专业技术人员的岗位培训及职业技能考核的需要,而且对现场的工程技术人员,也有较好的参考价值。

本套培训教材由陈敢峰、吴锦华同志担任丛书主编,由浙江省电力公司楼其民同志主审。

中国水利水电出版社

2005年1月

# 前 言

本书是《最新统一编写电力行业岗位及职业技能鉴定培训教材》的《变压器检修》分册，是根据《国家职业技能鉴定规范·变压器检修》的要求，并结合目前变压器检修工作的实际状况精心编写而成。为满足岗位技能培训和职业技能鉴定的要求，本书提供了变压器检修的理论知识及要求掌握的实际技能，在全面介绍了变压器类设备的原理、结构、检修、试验、运行及维护等方面知识的同时，还介绍了变压器类设备新技术、新工艺，以及变压器检修工作中的典型故障及处理案例。全书共分为十二章，主要内容有变压器的基本知识、变压器的运行原理、三相变压器、变压器基本结构、变压器的检修、分接开关的检修、变压器油知识、变压器干燥、变压器试验、变压器的保护、变压器运行维护、互感器、电抗器、消弧线圈等。

本书是变压器检修初级工、中级工、高级工、技师和高级技师的岗位及职业技能鉴定的培训教材，也可供相关专业技术人员和管理人员及大中专院校师生阅读、参考。

本书在编写过程中还得到许多同仁的大力支持和帮助，其中浙江省电力公司的楼其民、吴锦华高级工程师，浙江省电力试验研究所的何文林高级工程师，浙江省电力教育培训中心的马黎任、杨镇杭、姚集新高级讲师等同志均提供了指导和宝贵意见，在此一并至以衷心的感谢！

由于作者水平所限，书中难免有不妥或疏漏之处，敬请专家和读者批评指正。

作 者

2005年1月

# 目 录

出版说明

前言

<b>第一章 变压器基本知识</b> .....	1
第一节 变压器的基本知识.....	1
第二节 变压器的基本工作原理.....	4
复习思考题.....	7
<b>第二章 变压器的运行原理</b> .....	8
第一节 变压器的空载运行.....	8
第二节 变压器的负载运行.....	12
第三节 变压器的运行特性.....	17
第四节 变压器的并联运行.....	18
第五节 变压器的不对称运行.....	21
第六节 变压器的突然空载合闸.....	21
第七节 变压器的突然短路.....	22
复习思考题.....	26
<b>第三章 三相变压器</b> .....	28
第一节 三相变压器的磁路系统.....	28
第二节 变压器的联结组别.....	30
第三节 三相变压器的励磁电流与磁通和电动势的波形.....	35
第四节 三绕组变压器.....	37
第五节 自耦变压器.....	40
第六节 分裂绕组变压器.....	43
复习思考题.....	45
<b>第四章 变压器基本结构</b> .....	47
第一节 铁心结构.....	47
第二节 绕组及引线结构.....	64
第三节 绝缘结构.....	80
第四节 油箱结构.....	83
第五节 冷却装置.....	86
第六节 套管结构.....	96
复习思考题.....	101

<b>第五章 变压器检修</b> .....	103
第一节 变压器检修的基本知识.....	103
第二节 铁心的检修.....	108
第三节 绕组及引线的检修.....	113
第四节 油箱的检修.....	117
第五节 冷却装置的检修.....	120
第六节 套管的检修.....	123
第七节 储油柜的检修.....	127
第八节 气体继电器、温度计的检修.....	133
第九节 净油器、吸湿器、压力释放阀、阀门及塞子的检修.....	136
复习思考题.....	140
<b>第六章 分接开关的检修</b> .....	141
第一节 无励磁分接开关.....	141
第二节 有载分接开关的工作原理.....	149
第三节 M型有载分接开关.....	158
第四节 V型有载分接开关.....	178
第五节 ABB有载分接开关.....	184
第六节 SYXZ有载分接开关.....	206
第七节 SYJZZ有载分接开关.....	211
复习思考题.....	213
<b>第七章 变压器油知识</b> .....	215
第一节 变压器油的性能及技术要求.....	215
第二节 变压器油的老化及防止措施.....	219
第三节 变压器油的处理.....	221
第四节 变压器真空注油工艺.....	223
第五节 变压器油的色谱分析.....	224
复习思考题.....	235
<b>第八章 变压器干燥</b> .....	236
第一节 变压器干燥的基本知识.....	236
第二节 热油循环干燥.....	237
第三节 热油喷淋真空干燥.....	238
第四节 油箱涡流真空干燥.....	239
第五节 零序电流干燥.....	242
第六节 绕组铜损干燥.....	243
第七节 真空干燥.....	244
第八节 气相干燥.....	245
复习思考题.....	247



<b>第九章 变压器试验</b> .....	248
第一节 变压器试验的基本知识.....	248
第二节 绝缘电阻和吸收比或极化指数试验.....	251
第三节 泄漏电流试验.....	253
第四节 介损试验.....	254
第五节 工频耐压试验.....	256
第六节 直流电阻试验.....	259
第七节 变比试验及联结组别试验.....	261
第八节 空载试验.....	262
第九节 短路试验.....	265
第十节 绕组变形试验.....	267
第十一节 局部放电试验.....	269
第十二节 感应耐压试验.....	271
第十三节 额定电压下的空载合闸试验.....	272
第十四节 互感器试验.....	273
复习思考题.....	278
<b>第十章 变压器的保护</b> .....	279
第一节 变压器继电保护的基本知识.....	279
第二节 变压器的主保护.....	280
第三节 变压器的后备保护.....	284
第四节 过电压保护的基本知识.....	290
第五节 变压器绕组的波过程.....	296
第六节 切除空载变压器过电压.....	300
第七节 变压器的防雷保护.....	301
复习思考题.....	303
<b>第十一章 变压器运行维护</b> .....	305
第一节 变压器的投运及维护.....	305
第二节 变压器的异常运行及处理.....	307
第三节 有载分接开关运行维护.....	311
第四节 互感器运行维护.....	314
复习思考题.....	318
<b>第十二章 互感器、电抗器、消弧线圈</b> .....	320
第一节 电压互感器.....	320
第二节 电流互感器.....	329
第三节 互感器的小修.....	336
第四节 互感器的大修.....	343
第五节 电抗器.....	360

第六节 消弧线圈.....	362
复习思考题.....	366
附录一 变压器检修职业技能鉴定规范.....	368
附录二 变压器检修技能操作题.....	381
附录三 变压器检修初级工知识要求试卷及答案.....	406
附录四 变压器检修中级工知识要求试卷及答案.....	410
附录五 变压器检修高级工知识要求试卷及答案.....	415
附录六 变压器检修技师知识要求试卷及答案.....	420
附录七 变压器检修高级技师知识要求试卷及答案.....	425
附录八 电工常用公式及单位换算表.....	431
<b>参考文献</b> .....	<b>442</b>

# 第一章 变压器基本知识

## 第一节 变压器的基本知识

### 一、变压器的用途

变压器是借助于电磁感应，以相同的频率，在两个或更多的绕组之间，变换交流电压和电流而传输交流电能的一种静止电器。

变压器的用途很广，在国民经济的各部门，都十分广泛应用着各种各样的变压器。从电力系统角度而言，一个电力网将许多发电厂和用户连在一起。发电厂发出的电能往往需经远距离传输才能到达用电地区，在传输的功率恒定时，传输电压越高，则所需电流越小。因为电压降正比于电流，电能损耗正比于电流的平方，所以用较高的输电电压可以大大降低线路的电压降和电能损耗。要制造电压很高的发电机，目前技术上还很困难，所以需用升压变压器将发电机端的电压升高以后再输送出去。随着输送距离的增加，输电功率的增大，对变压器的容量和电压等级的要求也就越来越高。而电力网内部存在多种电压等级，这就需要各种规格电压等级和容量的变压器来连接。

另一方面，当电能输送到受电端时，又必须用降压变压器将输电线路上的高电压降低到配电系统的电压，然后再经过配电变压器将电压降低到符合用户各种电气设备要求的电压。

由此可见，在电力系统中变压器的地位是十分重要的，不仅需要变压器数量多，通常变压器的安装总容量为发电机安装总容量的8~10倍。而且要求其性能好，运行安全可靠。

变压器除了应用在电力系统中，还应用在需要特种电源的工矿企业中。例如：冶炼用的电炉变压器，电解或化工用的整流变压器，焊接用的电焊变压器，试验用的试验变压器，铁路用的牵引变压器。属于变压器类产品范畴的还有互感器、电抗器、消弧线圈等。由于其基本原理和结构与变压器相似，常和变压器一起统称为变压器类产品。它们的用途更为广泛，品种更多。

### 二、变压器的分类

(1) 按用途分类，有电力变压器、电炉变压器、整流变压器、电焊变压器、试验变压器、调压变压器，电抗器和互感器等。

(2) 按电源输出相数分类，有单相变压器、三相变压器。

(3) 按冷却介质分类，有干式变压器、油浸式变压器及充气式变压器。

(4) 按冷却方式分类，有油浸自冷式变压器、油浸风冷式变压器、油浸强迫油循环风冷却变压器、油浸强迫油循环水冷却变压器及干式变压器。

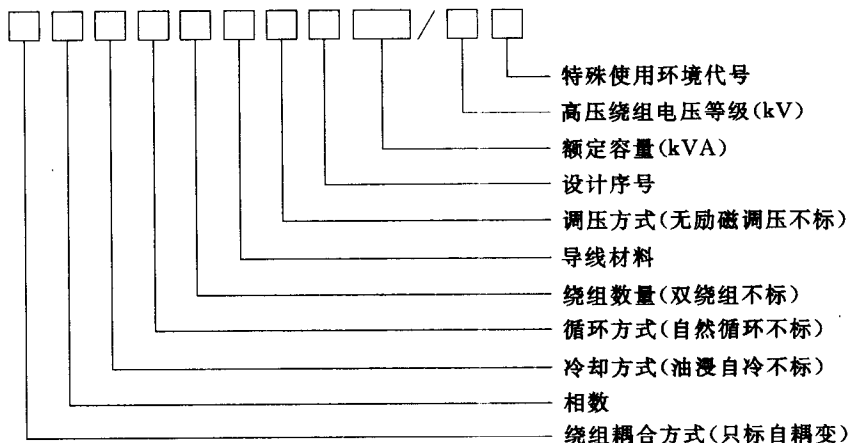
(5) 按绕组数量分类，有双绕组变压器、三绕组变压器及自耦变压器。

- (6) 按调压方式分类, 有无励磁调压变压器、有载调压变压器。
- (7) 按铁心结构分类, 有心式变压器、壳式变压器。
- (8) 按中性点绝缘水平分类, 有全绝缘变压器、分级绝缘变压器。
- (9) 按导线材料分类, 有铜导线变压器、铝导线变压器。

### 三、变压器型号及额定参数

#### 1. 变压器型号

变压器的各种分类不能包含变压器的全部特征, 需要产品型号把所有的特征均表达出来。变压器产品型号是用汉语拼音的字母及阿拉伯数字组成, 每个拼音和数字均代表一定含义。



电力变压器产品型号字母排列顺序及涵义见表 1-1。

表 1-1 电力变压器产品型号字母排列顺序及含义

序号	分类	含义	代表的字母	序号	分类	含义	代表的字母
1	绕组耦合方式	独立	—	5	油循环方式	自然循环	—
		自耦	O			强迫油循环	P
						强油导向	D
2	相数	单相	D	6	绕组数	双绕组	—
		三相	S			三绕组	S
						双分裂绕组	F
3	绕组外绝缘介质	变压器油	—	7	调压方式	无励磁调压	—
		空气(干式)	G			有载调压	Z
		气体	Q				
		成形固体	C				
4	冷却装置种类	自冷式	—	8	绕组导线材料	铜	—
		风冷式	F			铝	L
		水冷式	S				

在特殊使用环境的新产品应在产品的基本型号后面加上防护类型代号, 见表 1-2。

表 1-2

特殊环境的产品型号代号

特殊使用环境	代表的字母	特殊使用环境	代表的字母
船舶用	CY	干热带地区用	TA
高原地区用	GY	湿热带地区用	TH
污秽地区保护用	WB		

电力变压器产品型号举例：

S9—10000/35 表示三相油浸自冷双绕组铜导线、第 9 系列设计、额定容量 10000kVA、高压额定电压等级为 35kV 的电力变压器。

OSFPSZ—150000/220 表示自耦三相强迫油循环风冷三绕组铜导线有载调压、额定容量为 150000kVA、高压额定电压等级为 220kV 的电力变压器。

2. 变压器的额定参数

(1) 额定电压  $U_{1N}/U_{2N}$ 。单位用千伏(kV)来表示，对于三相变压器额定电压均指线电压。

(2) 额定电流  $I_{1N}/I_{2N}$ 。单位用安(A)来表示，对于三相变压器额定电流均指线电流。

(3) 额定容量  $S_N$ 。也就是视在功率，单位用千伏安(kVA)来表示。它与额定电压、额定电流的关系如下：

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

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

变压器额定容量是变压器输出能力的保证值。变压器的额定容量与绕组的额定容量有所区别，双绕组变压器的额定容量即为绕组的额定容量；多绕组变压器应对每个绕组的额定容量加以规定，其额定容量为最大的绕组额定容量。

我国现在变压器的额定容量等级是按 $\sqrt[10]{10}$ 倍数增加的 R10 优先数系，只有 30kVA 及 63000kVA 以上的与优先数系有所不同。具体容量等级见表 1-3。

表 1-3

变压器的额定容量等级

单位：kVA

10	100	1000	10000	(120000)
	125	1250	12500	(150000)
	160	1600	16000	(180000)
20	200	2000	20000	(240000)
	250	2500	25000	(360000)
(30)	315	3150	31500	
	400	4000	40000	
50	500	5000	50000	
63	630	6300	63000	
80	800	8000	(90000)	

注 组成三相变压器组的单相变压器为表中数值的 1/3，其余用途的单相变压器与表中数值相同。

(4) 额定频率  $f$ 。单位为赫兹(Hz)，我国工频为 50Hz。

(5) 空载电流和空载损耗。当变压器二次绕组开路，一次绕组施加额定频率正弦波形的额定电压时，其中所流通的电流称为空载电流  $I_0$ ，通常空载电流以额定电流的百分数

表示；变压器空载运行时产生的有功损耗为空载损耗  $P_0$ 。

(6) 阻抗电压和负载损耗。当变压器二次绕组短路，一次绕组流通额定电流而施加的电压称阻抗电压  $U_K$ ，通常阻抗电压以额定电压的百分数表示；此时所产生的相当于额定容量与参考温度下的损耗为负载损耗  $P_K$ 。

此外，在变压器的铭牌上还给出：相数、接线图与联结组别、运行方式和冷却方式、变压器的总重量、油的总重量等数据。

## 第二节 变压器的基本工作原理

### 一、电磁基本定律

#### 1. 电磁感应定律

设磁场中有一  $N$  匝的线圈，当线圈交链的磁通  $\Phi$  发生变化时，线圈中就会产生感应电动势。如果感应电动势假定方向与交链的磁通的正方向符合右手螺旋定则，则感应的电动势为

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (1-1)$$

式中  $e$ ——感应电动势，V；

$N$ ——线圈匝数；

$d\Phi$ ——线圈中磁通的变化，Wb；

$dt$ ——磁力线变化所需的时间，s。

#### 2. 磁感应强度（磁通密度）

磁感应强度为通过垂直单位面积的磁力线数，它是用来衡量磁力线数的强弱的，其计算式可表示为

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad (1-2)$$

式中  $B$ ——磁感应强度，T；

$\Phi$ ——磁通，Wb；

$S$ ——垂直于磁通的面积， $m^2$ 。

#### 3. 基尔霍夫第一定律和第二定律

基尔霍夫第一定律为流入节点的电流等于流出节点的电流；第二定律为在闭合回路中电位升之和等于电位降之和，这是电路的定律。由于磁与电有相似的规律，故基尔霍夫定律在磁路中同样适用。设  $\Phi$  为磁路中的磁通， $R_m$  为磁路的磁阻， $F_0$  为磁动势，应用欧姆定律则有

$$\Phi = \frac{F_0}{R_m} \quad (1-3)$$

在同一磁路上有几个线圈就产生几个磁动势，磁通决定于磁动势的总和，即合成磁动势。应用基尔霍夫定律，当有两个磁动势时，合成磁动势为

$$\dot{F}_0 = \dot{F}_1 + \dot{F}_2 \quad (1-4)$$

同理，电路上的串并联也可以应用到磁路中。

#### 4. 楞次定律

线圈中感应电动势的方向总是企图使它所产生感应电动势产生的新磁通反抗原有磁通的变化，表达式为

$$e = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (1-5)$$

## 二、变压器的工作原理

变压器的原理是电磁感应原理，是电生磁、磁生电现象的一个具体应用。以相同的频率，在两个或更多的绕组之间，变换交流电压和电流而传输交流电能。其工作原理如下：

变压器的基本组成部分是由绕在共同磁路上的两个或两个以上的绕组所构成的，现以单相双绕组变压器为例加以分析。图 1-1

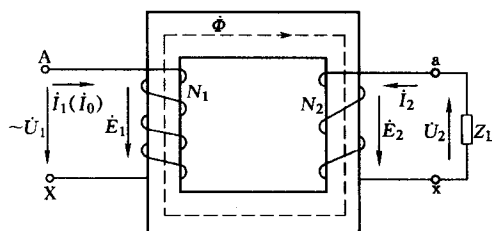


图 1-1 变压器工作原理图

是一台最简单的变压器工作原理图。它由两个匝数不等的线绕组在同一个闭合铁心上，其中接电源的绕组为一次绕组，匝数为  $N_1$ ，接负载的绕组为二次绕组，匝数为  $N_2$ 。

将变压器的一次绕组的两端接到电压为  $\dot{U}_1$  的交流电源上，当二次侧绕组开路时，在  $\dot{U}_1$  的作用下，变压器一次绕组就有交流电流  $\dot{I}_0$  流过， $\dot{I}_0$  称为变压器的空载电流。 $\dot{I}_0$  用于建立空载磁动势  $\dot{F}_0$ ， $\dot{F}_0 = \dot{I}_0 N_1$ 。磁动势  $\dot{F}_0$  在铁心中产生交变磁通，该磁通  $\Phi$  在一、二次绕组中感应出电动势  $\dot{E}_1$ 、 $\dot{E}_2$ 。当二次侧绕组接上负载时，在  $\dot{E}_2$  的作用下，二次绕组就有  $\dot{I}_2$  流过，而一次绕组就由空载时励磁电流  $\dot{I}_0$  增至  $\dot{I}_1$ 。

### 1. 正方向的确定

为了正确表示电压、电流、磁通等量的相位关系，先规定图 1-1 中箭头表示的方向即为各有关量的正方向，箭头的标定按照电机学惯例。先考虑一次绕组，第一步定  $\dot{U}_1$  的方向，当  $\dot{U}_1$  为正时，A 的电位高于 X 的电位；第二步定  $\dot{I}_1$  ( $\dot{I}_0$ ) 的方向，当  $\dot{I}_1$  ( $\dot{I}_0$ ) 为正时，电流从高电位点 A 流入变压器；第三步定  $\Phi$  的方向，根据右手螺旋定则和电流正方向、绕组的绕向确定；第四步定  $\dot{E}_1$  的方向，习惯上往往标  $\dot{I}_1$  ( $\dot{I}_0$ ) 和  $\dot{E}_1$  为同一方向，故该图中  $\dot{E}_1$  向下为正方向。要注意  $\dot{E}_1$  的正方向是习惯上的标注，实际当增加时，电动势的方向应产生削磁的电流，即实际的  $\dot{E}_1$  方向此时向上。根据惯例，数学表达式  $e = -N \frac{d\Phi}{dt}$  前面的负号就是这样得出的。现在考虑二次绕组，第一步定  $\dot{I}_2$  的方向，根据右手螺旋定律，使正电流  $\dot{I}_2$  产生正磁通；第二步定  $\dot{E}_2$  的方向，正电动势产生正电流；第三步定  $\dot{U}_2$  的方向，要求电流  $\dot{I}_2$  自高电位点流出。此时，功率自变压器输出。

### 2. 电压比

为了讨论方便，假设变压器一、二次侧绕组电阻都等于零；一、二次绕组没有漏磁通，也就是它们是 100% 耦合；铁心硅钢片磁导率  $\mu$  为无穷大，即铁心无损耗。这种变压器称为理想变压器，在实际是不存在的，它是在不影响讨论问题结论正确性的情况下，可以大为简化分析过程和难度。

设一、二次绕组的匝数分别为  $N_1$  和  $N_2$ ，当变压器的一次侧接到频率为  $f$ 、电压为  $U_1$  的正弦交流电源时，根据变压器的基本原理可知，铁心中的交变磁通  $\Phi$  将分别在一、二次绕组中感应出电动势。一次绕组的感应电动势为

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (1-6)$$

式中  $\frac{d\Phi}{dt}$  为磁通的变化率，负号表示磁通增大时，电动势  $\dot{E}_1$  的实际方向与电动势的正方向相反。根据理想变压器特点，回路电势平衡规律可得

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 \quad (1-7)$$

可以推导出它们的数值为

$$U_1 = E_1 = 4.44 N_1 f \Phi_m \quad (1-8)$$

式中  $\Phi_m$  为磁通幅值。当频率  $f$  及一次绕组匝数  $N_1$  一定时，磁通的大小取决于外加电压  $U_1$ 。同样，磁通  $\Phi$  在二次侧绕组中也感应电动势  $\dot{E}_2$ 。

$$U_2 = E_2 = 4.44 N_2 f \Phi_m \quad (1-9)$$

用式 (1-8) 除以式 (1-9)，可得

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K \quad (1-10)$$

式中  $K$  就是变压器的电压比，或称变比、匝数比。它的定义是一、二次相电动势之比。对于三相变压器，在已知额定电压（线电压）的情况下，求变比必须换算成额定相电压之比。

当  $N_1 > N_2$  时， $K > 1$ ，此时  $U_1 > U_2$ ，变压器输出电压比输入电压低，这样的变压器称为降压变压器。当  $N_1 < N_2$  时， $K < 1$ ，此时  $U_1 < U_2$ ，变压器输出电压比输入电压高，这样的变压器称为升压变压器。

### 3. 电流比

当理想变压器二次侧接负载后，二次绕组中就有电流  $\dot{I}_2$ ，该电流有改变铁心中磁通  $\Phi$  的趋势，由于  $\dot{U}_1$  不变，铁心中的磁通  $\Phi$  也保持不变，可以增加一次侧绕组输入电流以平衡二次侧绕组所产生的磁动势。于是可得到磁路的平衡方程式为

$$\dot{F}_1 + \dot{F}_2 = \dot{F}_0$$

$$\dot{I}_1 N_1 + \dot{I}_2 N_2 = \dot{I}_0 N_1 \quad (1-11)$$

当变压器负载较大时， $I_0 \leq I_1$ ，故可以忽略不计，则

$$\dot{I}_1 N_1 + \dot{I}_2 N_2 = 0 \quad (1-12)$$

由式 (1-12) 得出一、二次电流与匝数的数量关系为

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{K} \quad (1-13)$$

可见一、二次电流与匝数成反比。

### 4. 功率关系

由式 (1-10) 和式 (1-13) 可以得出

$$P_1 = U_1 I_1 = \frac{U_2 N_1}{N_2} \times \frac{I_2 N_2}{N_1} = U_2 I_2 = P_2 \quad (1-14)$$



这是理想变压器的功率关系，即输入等于输出，效率是 100%。实际变压器在工作过程中，铁心中会产生磁滞损耗和涡流损耗，绕组中会产生电阻损耗。另外，由于漏磁通的存在，还会产生附加损耗，都要消耗一部分功率，其结果是输出功率  $P_2$  比输入功率  $P_1$  小，变压器的效率小于 100%。

### 复 习 思 考 题

- 1-1 什么是变压器？
- 1-2 简述变压器的基本工作原理。
- 1-3 用磁动势平衡原理说明变压器一次电流随二次负荷电流变化而变化。
- 1-4 电力变压器的额定参数有哪些？
- 1-5 说明变压器型号 SFPSZ—63000/110 的含义。
- 1-6 一台型号为 SF9—31500/110 的电力变压器，额定电压为 110/11kV。求：高、低压侧额定电流分别为多少？
- 1-7 某联结组别为 Y, d11 的 35kV 变压器，接在线电压为 35kV 的工频交流电源上，其高、低压绕组分别为 303 匝和 150 匝，求铁心磁通有效值。
- 1-8 一台容量 40MVA、电压 110/10.5kV 的变压器，其联结组别为 Yn, d11。求高压侧线电流、相电流及低压侧线电流、相电流和相电压。
- 1-9 一台 5000kVA, Y, d11 接线，变比为 35kV/10.5kV 的电力变压器，铁心有效截面积  $S=1120\text{cm}^2$ ，磁通密度  $B=1.445\text{T}$ ，求高低压侧的相电压、相电流及绕组匝数（频率为 50Hz）。