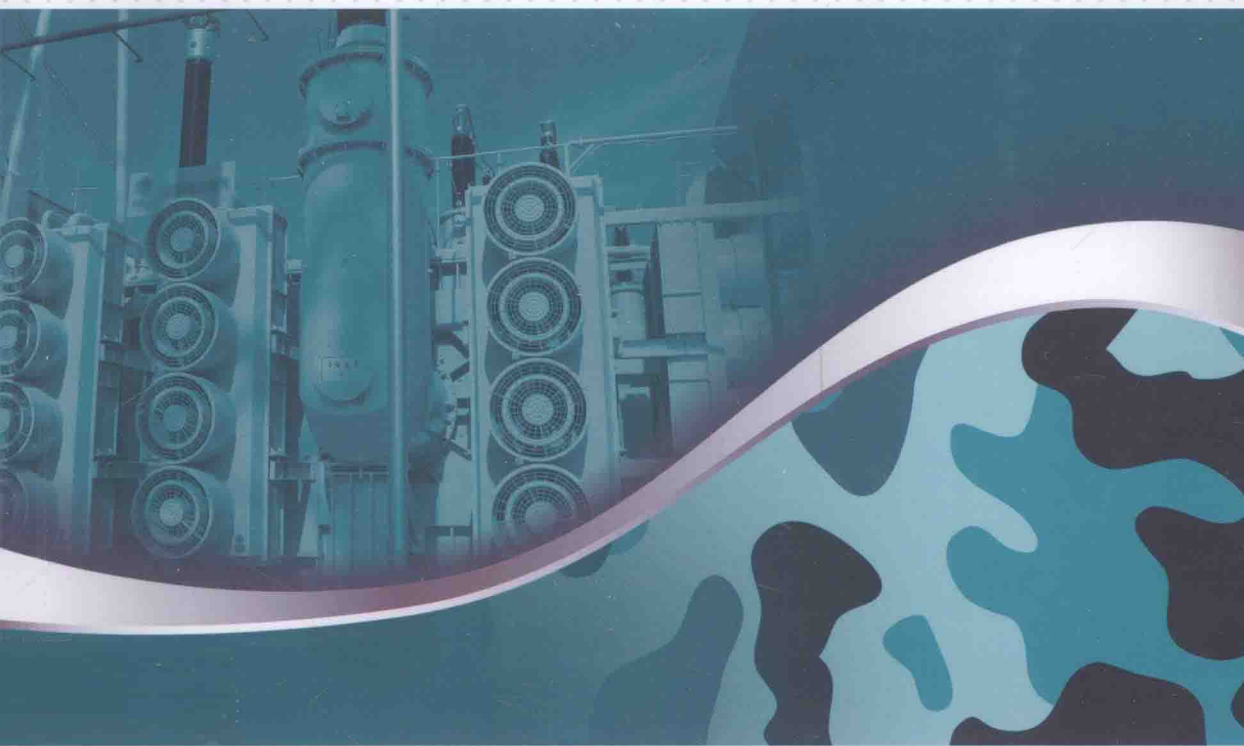




电力企业复转军人培训系列教材

变压器和电动机

电力企业复转军人培训系列教材编委会 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



电力企业复转军人培训系列教材

变压器和电动机

电力企业复转军人培训系列教材编委会 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

目前,电力企业复转军人众多,如何加强引导复转军人的成长和成才,对于提升整个电力企业职工整体素质影响重大,《电力企业复转军人培训系列教材》针对已经入职和新入职青年军人的整体情况,以培养、提高复转军人的技术能力和技能操作能力为目的,按照《国家电网公司生产技能人员职业能力培训规范》规定的各种能力描述等级要求的培训内容而编写,内容通俗易懂、实用性强。

本系列培训教材共包括15册,本书为《变压器和电动机》分册。针对复转军人的基础知识情况,按照《国家电网公司生产技能人员职业能力培训规范》规定的各种能力描述Ⅰ级要求培训内容而编写,主要内容有变压器的结构和工作原理、互感器的结构和工作原理、变压器的安装、变压器的运行与维护、异步电动机的构造、工作原理和技术参数、异步电动机的安装及试运行、异步电动机的启动与制动、异步电动机的运行维护和故障维修。在每章后酌情附有一定数量的练习题。最后还附有与职业技能鉴定相适应的技能操作题。

本书适用于电力企业复转军人,同时可供相关专业技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

变压器和电动机/《电力企业复转军人培训系列教材》编委会编. —北京:中国电力出版社,2014.3

电力企业复转军人培训系列教材

ISBN 978-7-5123-5376-3

I. ①变… II. ①电… III. ①变压器—技术培训—教材
②电动机—技术培训—教材 IV. ①TM4②TM32

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第309978号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2014年3月第一版 2014年3月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 14.25印张 265千字

印数0001—3000册 定价34.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

《电力企业复转军人培训系列教材》

编 审 委 员 会

主 任 王凤祥

副 主 任 梁德勇 薛 凯 马明洋 穆炳刚 杨立新
李 欣

委 员 高艳华 于万祥 王秋波 王雅民 李 平
卢心海 康炳杰 朱明利 孙兴成 隋凤国
赵雪明 宋凯军 郎培明 王金笙

主 审 薛 凯

副 主 审 李 欣

审核人员 孙兴成 隋凤国 李铁滨 卢心海 何 莉
段林英 张 莉 张宝全 王金笙

主 编 王金笙

编写人员 李铁滨 贾建夫 刘月君 赵光艳 孙建民
王 玲 何 莉 张宝全 张 军 杨 松
宋嘉鹏 王秀明 胡忠国 杨德平 田莉华
张 莉 宋凯军 李井阳 胡文琦 肖洪光
焦日升 强红梅 高 伟 李鸿博 刘春辉
郭红军 张万蓉 贾 艳 李 楠 王 野
安昕洋 韩晓男 林逢春 许晓辉

《变压器和电动机》编审人员

编写人员 张宝全 李铁滨 曲春香 王金笙 孙 哲

冷传东 王国起

审核人员 薛 凯 王秀明

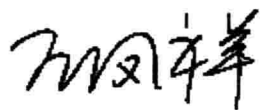
序

得到《电力企业复转军人培训系列教材》即将出版的消息，确实令人高兴。一批致力于电力企业复转军人培训事业的教师和专业人员经过两年多的努力，成就了一套专门针对电力企业复转军人培训的系列教材，是电力系统实施人才强企、努力提高员工素质过程中的一项开拓性工作。

离开部队进入电力企业工作的复转军人是一个特殊的群体，部队经历练就了他们坚强的意志、钢铁的纪律和不屈不挠的精神，但面对电力企业高技术技能的要求，他们急需学习，弥补短板，尽快地适应岗位需要。

多年来，针对如何更有效地开展好复转军人岗前培训，各地电力企业的培训机构都进行了大量的探索和实践，积累了丰富的经验，成效显著，很多复转军人已经成为电力企业一线岗位的骨干力量。复转军人的培训方式和培训内容不同于任何学历教育，针对性和实效性更为重要，技术技能的掌握更为关键。培训过程中，各地培训机构都要编写一些参考资料发给大家，但一直没有系统全面的培训教材。今天，这种局面即将被打破了，两年前成立的电力企业复转军人培训系列教材编审委员会经过不懈的努力，编写工作即将收关，推出成果。这支编审团队由长期工作在电力企业员工培训一线的教师和专业技术人员组成，具有丰富的培训经验和教材编写经验，他们当中的许多人出版过大学、中专、技校教材和电力企业员工岗位培训教材，特别是该系列教材的主编王金笙老师先后主编过由原国家劳动和社会保障部、中国电力企业联合会组织出版的《国家职业标准 农网配电营业工》、《职业技能鉴定指导书 变压器检修工》、《农网配电营业技师培训教材》等多本教材，经验丰富，功底深厚。我们有理由相信，这样一支团队量身订做打造出的系列

教材一定会符合复转军人岗前培训需要，系列教材的出版发行，必将为电力企业开展复转军人岗前培训提供极大帮助和便利。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '王凤祥' (Wang Fuxiang). The characters are stylized and fluid.

2011 年 12 月于长春

前言

多年来, 各省电力企业复转军人的培训一直缺少一套系列培训教材, 严重影响了教育培训质量。为此, 在国家电网公司的支持下, 电力企业复转军人培训系列教材编委会组织部分专家和教师编写了此系列教材。系列教材包括《数学》、《计算机应用》、《电气识绘图》、《电工基础知识》、《电工基本技能》、《低压电器和内线安装》、《高压电器》、《变压器和电动机》、《变电站运行》、《电能计量》、《电力营销》、《电力线路基础知识》、《配电线路》、《输电线路》、《电力安全》。

在编写这套系列教材时, 力求体现以下原则:

(1) 通俗性。考虑复转军人的知识结构, 在教材编写过程中力求复杂问题简单化, 难深语言通俗化。

(2) 针对性。针对复转军人将从事的工作岗位, 以技能培训为主, 理论满足技能训练为度, 依据《国家电网公司生产技能人员职业能力培训规范》各工种的能力描述 I 级要求的培训内容编写。

(3) 实用性。针对复转军人将要参加的实际工作, 组织编排内容。教材各章后酌情附有与之内容相配套、题型与职业技能鉴定要求相一致、适用于鉴定考核的标准试题及答案, 便于组合成试卷。

(4) 广泛性。编者主要来自复转军人培训一线的专家和教师, 有多年复转军人培训的经验, 掌握生产现场对复转军人的技能需求情况。在教材编写过程中, 编者曾多次到一些省、市电力系统培训中心和供电企业进行了广泛深入的调研, 编写思路突破了地域界限, 尽可能地考虑了各省、市电力企业的可用性。

一本好的教材, 在人才培养方面的作用是难以估量的。真诚地希望得到电力企业广大读者的关心和支持, 并及时将此系列教材在使用中遇到的问题

和改进意见反馈给编者，以供修订时参考。

本系列教材在编写过程中，得到了各省、市电力培训中心和从事职业技能鉴定工作同行们的大力支持和帮助，在此一并致谢！

编 者

2011 年 8 月于长春

目 录

序 前言

第一章 变压器的结构和工作原理	1
第一节 变压器的用途和工作原理.....	1
第二节 变压器的型号和技术参数.....	6
第三节 变压器的构造.....	16
第四节 变压器的绝缘和变压器油.....	46
练习题.....	52
第二章 互感器的结构和工作原理	57
第一节 电流互感器的结构和工作原理.....	57
第二节 电压互感器的结构和工作原理.....	67
练习题.....	77
第三章 变压器的安装	79
第一节 变压器的安装步骤及流程.....	79
第二节 送电试运行验收.....	88
第三节 变压器油处理.....	90
第四节 配电变压器的安装.....	92
第五节 箱式变电站.....	97
练习题.....	99
第四章 变压器的运行与维护	102
第一节 变压器的运行.....	102
第二节 变压器的维护.....	105
第三节 变压器的运行监视和巡视检查.....	106
第四节 变压器运行异常情况时的特殊监视和巡视重点.....	113

第五节 变压器的异常运行及事故处理	115
第六节 变压器油的运行管理	121
第七节 变压器的保护	123
第八节 配电变压器的操作	127
练习题	129
第五章 异步电动机的结构、工作原理和技术参数	131
第一节 异步电动机的结构及工作原理	131
第二节 异步电动机的铭牌及技术参数	137
练习题	144
第六章 异步电动机的安装及试运行	145
第一节 电动机的选用	145
第二节 异步电动机的安装	147
第三节 异步电动机的试运行	150
练习题	152
第七章 异步电动机的启动与制动	154
第一节 异步电动机的启动与制动方法	154
第二节 异步电动机直接启动的控制电路	158
第三节 异步电动机降压启动控制电路	170
第四节 异步电动机的制动电路	179
练习题	186
第八章 异步电动机的运行维护和故障维修	188
第一节 异步电动机的运行维护	188
第二节 异步电动机的常见故障及维修	193
练习题	200
附录 常用职业技能鉴定技能操作题	201



第一章

变压器的结构和工作原理

第一节 变压器的用途和工作原理

一、变压器在电力系统中的作用

1. 变压器的概念

变压器是利用电磁感应原理来改变交流电压的装置，以相同的频率在两个或两个以上绕组之间变换交流电压和电流幅值而传输电能的一种静止电气设备。变压器的主要功能有电压变换、电流变换、阻抗变换、隔离、稳压等。

变压器的基本组成：主要构件是一次绕组、二次绕组和铁芯。

变压器组成部件包括器身（铁芯、绕组、绝缘、引线）、变压器油、油箱和冷却装置、调压装置、保护装置（吸湿器、安全气道、气体继电器、储油柜及测温装置等）和出线套管。

2. 变压器的用途

发电厂发出的电力能源往往需经远距离传输才能到达用电地区。为了降低损耗，需用专门的设备将发电机端的电压升高以后再输送出去，在受电端又必须经专门设备将高电压降低到配电系统适用的电压，这种专门的设备就是变压器，它使得电力运用方面更加多元化。在电力系统中，变压器的地位是十分重要的，不仅所需数量多，而且要求性能好，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，测量用的测量变压器等。

3. 变压器的分类

(1) 按用途分为电力变压器、试验变压器、测量变压器（电压、电流互感器）、调压器、特种变压器（电炉变压器、整流变压器、电焊变压器）。

(2) 按绕组结构分为双绕组变压器、三绕组变压器、多绕组变压器及自耦变压器。

(3) 按结构形式分为单相变压器、三相变压器及多相变压器。

(4) 按冷却介质分为干式变压器、油浸变压器及充气变压器。

(5) 按冷却方式分为自冷式变压器、风冷式变压器、水冷式变压器、强迫油循环水(风)冷式变压器等。

(6) 按铁芯形式分为芯式变压器、壳式变压器、辐射式变压器、卷铁芯变压器等。

(7) 按中性点绝缘水平分为全绝缘变压器、半绝缘(分级绝缘)变压器。

(8) 按调压方式分为无励磁(无载)调压变压器和有载调压变压器。

二、变压器的工作原理

1. 单相变压器的工作原理

变压器是根据电磁感应原理工作的。图 1-1 所示是单相变压器的工作原理图。

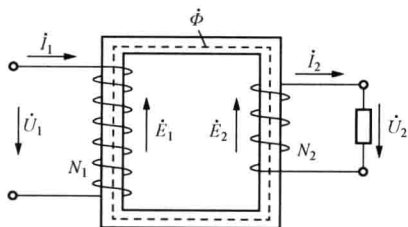


图 1-1 单相变压器的工作原理图

图 1-1 中，在闭合的铁芯上绕有两个互相绝缘的绕组，其中，接入电源的一侧叫一次侧绕组，输出电能的一侧为二次侧绕组。当交流电源电压 $\dot{U}_1$ 加到一次侧绕组后，就有交流电流 $\dot{I}_1$ 通过该绕组，在铁芯中产生交变磁通 $\dot{\Phi}$ ，这个交变磁通不仅穿过一次侧绕组，同时也穿过二次侧绕组，在两个绕组中分别产生感应电动势 $\dot{E}_1$ 和 $\dot{E}_2$ 。这时如果二次侧的绕组与外电路的负荷

接通，便有电流 $\dot{I}_2$ 流入负荷，即二次侧绕组有电能输出。

根据电磁感应定律可以导出：

一次侧绕组感应电动势的有效值为

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

二次侧绕组感应电动势的有效值为

$$E_2 = 4.44 f N_2 \Phi_m \quad (1-2)$$

式中 f ——电源频率；

N_1 ——一次侧绕组匝数；

N_2 ——二次侧绕组匝数；

Φ_m ——铁芯中主磁通幅值。

由式(1-1)、式(1-2)得出

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1-3)$$

由此可见, 变压器一、二次侧感应电动势之比等于一、二次侧绕组匝数之比。由于变压器一、二次侧漏电抗和电阻都比较小, 流过电流时产生的漏抗压降和电阻压降也比较小, 可以忽略不计。因此, 可近似地认为,

一次电压有效值为

$$U_1 = E_1$$

二次电压有效值为

$$U_2 = E_2$$

于是

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K \quad (1-4)$$

式中 K ——变压器的变比。

注意: 此处讨论的变比为相电压之比。

这说明变压器一、二次侧绕组的匝数不同, 导致一、二次电压不同, 显然, 匝数多的一侧电压高, 匝数少的一侧电压低, 这就是变压器能够改变电压的道理。如果忽略变压器的内部损耗, 可以认为变压器二次侧输出功率等于一次侧输入功率, 即

$$U_1 I_1 = U_2 I_2 \quad (1-5)$$

式中 I_1 、 I_2 ——分别为变压器一、二次侧电流的有效值。

由此可以得出

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{K} \quad (1-6)$$

注意: 此处讨论的电流比为相电流之比。

由此可见, 变压器一、二次电流之比与一、二次绕组的匝数成反比。即变压器绕组匝数多的一侧电流小, 绕组匝数少的一侧电流大, 也就是说电压高的一侧电流小, 电压低的一侧电流大。

变压器的基本工作原理归纳为: 变压器是一种利用电磁感应原理工作的电气设备, 当一次绕组加上电压、流过交流电流时, 在铁芯中就产生交变磁通。这些磁通中的大部分交链着二次绕组, 称之为主磁通或工作磁通。在主磁通的作用下, 两侧绕组分别产生感应电动势, 电动势的大小与匝数成正比。变压器一、二次绕组匝数不同, 这样就起到了变压作用。通过电磁感应, 在两个电路之间实现能量

的传递。

【例 1-1】 某单相变压器一次侧绕组的匝数为 200 匝，二次侧绕组的匝数为 50 匝，当一次侧加 200V 交流电压时，问二次侧的电压为多少？当负载为纯电阻 $R=25\Omega$ 时，一次侧电流的有效值为多少？

解

$$K = \frac{N_1}{N_2} = \frac{200}{50} = 4$$

$$U_2 = \frac{U_1}{K} = \frac{200}{4} = 50(\text{V})$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R} = \frac{50}{25} = 2(\text{A})$$

$$I_1 = \frac{I_2}{K} = \frac{2}{4} = 0.5(\text{A})$$

答：二次侧的电压为 50V，一次侧的电流为 0.5A。

2. 三相变压器

三相变压器的磁路系统大体可分为两大类，一类是各相的磁路系统彼此无关，另一类是各相的磁路系统彼此互相关联。

(1) 三相组式变压器。由三个单相变压器组成的三相变压器组，就属于各相磁路系统彼此无关的三相变压器，如图 1-2 所示，图中只画出了每相的一个绕组。在这种三相变压器组内，各相的磁通自成回路，互不相连。

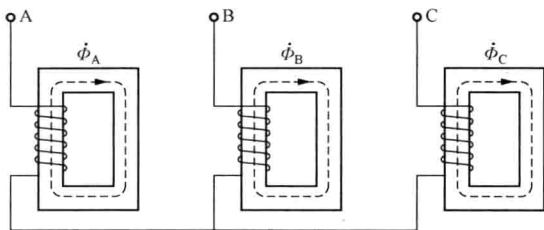


图 1-2 三相组式变压器原理图

这种三相组式变压器的最大特点就是单台变压器的运输量小。对一些超高压、特大容量的三相变压器，当制造及运输有困难时，采用三相组式变压器比较合适。

(2) 三相芯式变压器。如果把三个单相变压器的铁芯按一定几何位置排列，就可以把三个单相变压器的铁芯合并成一个三相变压器的铁芯。图 1-3 所示绘出了三相变压器铁芯的演变过程。图 1-3 (a) 中，在电源电压、负载都平衡的情况下，三相变压器中的磁通也将是平衡的，在三相系统内的磁通之和等于零，即

$\dot{\Phi}_A + \dot{\Phi}_B + \dot{\Phi}_C = 0$ 。因此,可以把图 1-3 (a) 所示中部的三个铁芯柱去掉,得到图 1-3 (b)。为了便于制造,再把图 1-3 (b) 中 B 相的铁轭缩短,就变成图 1-3 (c) 所示三柱式铁芯形状。

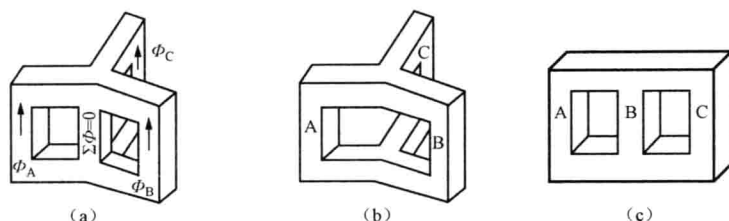


图 1-3 三相芯式变压器铁芯的演变过程

(a) 三个单相变压器铁芯合并; (b) 三相磁通和为零时中间柱可去掉; (c) 三相三柱式铁芯

很显然,三相芯式变压器各相的磁路系统是彼此相连的,它比同容量的三相组式变压器具有节省材料、效率高等优点。

(3) 三相五柱式变压器。当一些大容量、高电压的变压器受到铁路运输条件的限制或受安装场所空间高度的限制,必须设法降低铁芯的高度时,常采用具有分支磁路的三相五柱式铁芯,如图 1-4 所示。它的上、下铁轭的截面积和高度比普通三相三柱式小,从而降低了整个变压器的高度。它可将变压器的上、下铁轭高度几乎各减去一半,而降低后铁轭中的磁通密度仍保持原值。

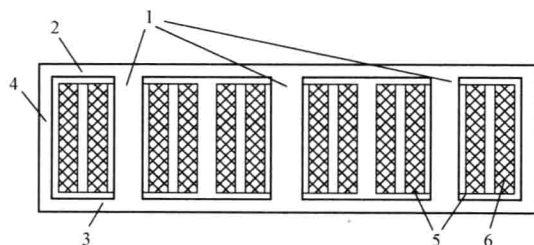


图 1-4 三相五柱式铁芯结构示意图

1—芯柱; 2—上铁轭; 3—下铁轭; 4—旁轭; 5—低压绕组; 6—高压绕组

它与三相三柱式铁芯相比较,在铁芯柱的左右两侧多了两个分支铁芯柱,称为旁轭。各电压级的绕组分别按相套在中间三个铁芯柱上,而旁轭没有绕组,这样就构成了三相五柱式变压器。另外,旁轭的存在,可以减少漏磁通,降低漏磁通引起的附加损耗,同时还可以减少励磁电流中的五次和七次谐波。三相变压器

每相的工作原理和单相变压器工作原理基本相同。

第二节 变压器的型号和技术参数

一、变压器的铭牌

一般是在产品说明书上和试验报告中给出变压器详细的技术数据，而最常用到的一些数据则标在铭牌上。铭牌上除标出变压器名称、型号、产品代号、标准代号、制造厂名、出厂序号、制造年月外，还需要标出变压器的技术数据、联结组标号、冷却方式、总重。图 1-5 所示是某厂生产的电力变压器的铭牌。

电力变压器铭牌						
分接 位置	高压		标准代号	GB 1094.1.2—1996		
	电压 (V)	电流 (A)	标准代号	GB 1094.3.5—1985		
I	10 500		产品型号	S9—80/10		
II	10 000	4.6	产品代号	^I N.B.710.5315.1	相数	3相
III	9 500		额定容量	80kVA	额定频率	50Hz
低 压			冷却方式	ONAN		
电压 (V)	电流 (A)		使用条件	户外式	油质量	100kg
400	115.5		联结组标号	Dyn11	总质量	500kg
阻抗电压 5%		绝缘水平	LI	75	AC	35
出厂序号			制造年月			

图 1-5 某厂生产的电力变压器的铭牌

二、变压器的型号

变压器的型号通常由相数、冷却方式、调压方式、绕组线芯等材料的符号，以及变压器容量、额定电压、绕组连接方式组成。

变压器型号的含义如图 1-6 所示。

例 1: SJL-1000/10 表示三相油浸自冷式电力变压器，铝线、双绕组，额定容量为 1000kVA、高压侧额定电压为 10kV。

例 2: S7-315/10 表示三相油浸自冷式电力变压器，铜线、双绕组、额定容量为 315kVA、高压侧额定电压为 10kV。设计序号 7 为节能型。

例 3: SFSLZ7-31500/110 表示三相油浸风冷三绕组铝线圈有载调压，设计序