

(初、中、高级工适用)

林虔 主编

电力工人技术等级培训教材



韩其宽
石玉书
王刚
赵作述
编

变电运行工

中国水利水电出版社

电力工人技术等级培训教材

主 编 林虔

副主编 丁毓山 孙成宝 金哲

(初、中、高级工适用)

变 电 运 行 工

韩其宽 石玉书 王刚 赵作述 编

中国水利水电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

变电运行工/韩其宽等编. —北京: 中国水利水电出版社, 1996. 9
电力工人技术等级培训教材
ISBN 7-80124-175-4

I. 变… II. 韩… III. 变电所-电力系统运行-技术培训-教材
IV. TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 18299 号

书 名	电力工人技术等级培训教材 初、中、高级工适用 变电运行工
作 者	韩其宽 石玉书 王刚 赵作述 编
出版、发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	787×1092 毫米 32 开本 12.625 印张 278 千字
版 次	1996 年 11 月第一版 1996 年 11 月北京第一次印刷
印 数	0001—5390 册
定 价	19.00 元

面向二十一世紀

為電力工業

培育優秀職工

張鳳祥

加强职工培训
提高人员素质
为电力工业服
务

李天夫

序

中华人民共和国第八届全国人民代表大会第四次会议批准了《中华人民共和国国民经济和社会发展“九五”计划和2010年远景目标纲要》，《纲要》是国民经济和社会发展的指导方针和奋斗目标，对深化改革，推进两个转变，加强和改善宏观调控，保证国民经济持续、快速、健康地发展，实行科教兴国，促进两个文明建设，有巨大的推动作用。

科教兴国的伟大战略，是党中央的高瞻远瞩。国运兴衰，系于教育，我们正处在新旧世纪的交接时代，面对21世纪科学和技术的挑战，要在激烈的国际竞争中占居主动地位，关键问题在于人才，要实现社会主义现代化的宏伟目标，关键问题还是人才。

电力部门的岗位培训和职工教育是科教兴国宏伟战略中的重要组成部分。当前，电力工业正处在向大电网、大机组、大电厂、超高压、现代化方向发展的时期，新技术不断引进，设备正在更新换代，管理体制和管理方式正在不断地改革和完善，技术和电网运行水平的要求正在不断地提高。面对这种新的发展形势，我们深深感到：电力部门广大工人的技术素质还不适应现代化要求的水平。为此，各电力部门的领导同志，应该充分认识和全面落实“科学技术是第一生产力”的战略思想，要大力加强科教意识和科教投入，大力加强人才培养的力度，把电力的岗位培训和职工教育摆在电力工业发展的重要位置。我们应确信，只有提高电力工业部门广大技

术工人的技术素质,才能从根本上增强电力工业的科技实力,才能增强向现实生产力的转化能力,才能提高电网的管理和运行水平,才能从根本上发展电力工业,才能担负起振兴电力工业的伟大历史任务。

为了做好岗位培训工作,提高广大电力工人的技术素质,我们责成中国水利水电出版社,组织有关专家和富有实践经验的工程技术人员,遵照《电力工人技术等级标准》的要求,编写了这套“电力工人技术等级培训教材”,借以促进和配合电力工人岗位培训工作的开展。

本教材的编写提纲是由中国水利水电出版社组织有关省市电力部门的领导,有关院校的教授,富有实践经验的专家,经几次会议研究确定的。其编写的基本宗旨是:严格遵照《电力工人技术等级标准》,密切联系生产实际,既注意基本技术和技能的训练,又注意有关电力规程和规范的贯彻,使其有助于广大技术工人的技术水平和水平的提高。

要把经济建设转移到依靠科技进步和提高劳动者素质的轨道上来,岗位培训是一项不容忽视的工作,切不可重物质投入,轻人才资源开发。应该在科教兴国的热潮中,满怀信心地把这项工作抓实、抓好,为培养跨世纪的人才,为振兴电力工业,进行不懈的努力!

张维罗

前 言

变电运行是电力企业的重要工种之一，变电运行工的岗位技术素质，将对电力系统中的电气设备和电网的安全运行产生直接的影响。为帮助变电运行工达到《电力工人技术等级标准》的要求，我们编写了这本《变电运行工》，本书为《电力工人技术等级培训教材》之一。

本书根据《电力工人技术等级标准》对变电运行工的要求，在编写中对初、中、高三级工的应知应会内容作了统筹的考虑，对上岗所必备的基本知识、基本技能、基本操作，以及有关的规程和标准给予了充分的注意。编写中，文字力求通俗易懂、深入浅出。为便于掌握本书的内容和参加上岗技术考核，每章后附有适用于初级、中级（*）、高级（**）工的复习思考题。

全书共分十章，前五章由韩其宽同志编写，第七章由石玉书同志编写，第八章由王刚同志编写，其余各章由赵作述同志编写。编者特约丁毓山教授审阅本书全稿，在此表示诚挚的谢意。

特别感谢：中国电力企业联合会理事长张绍贤为本书作序；全国政协常委、原水利电力部副部长赵庆夫，全国人大代表、原水利电力部副部长、中国电力企业联合会原理事长张凤祥为本书题词。

鉴于时间短促，又兼编者水平所限，书中不妥之处在所难免，深望广大专家和读者指正。

编 者

1996.5 于新金

目 录

序

前 言

第一章 变压器的结构原理	1
第一节 变压器工作原理	1
第二节 变压器的铭牌和技术数据	4
第三节 变压器的构造	11
第四节 温度计	21
第五节 三绕组和自耦变压器	23
复习思考题	30
第二章 变压器的运行	32
第一节 变压器的运行方式	32
第二节 变压器并列运行的条件	40
第三节 变压器的过负荷运行	46
第四节 变压器调压装置的运行和维护	53
第五节 变压器及其冷却装置的投运和停运规定	60
第六节 变压器异常现象直观判断、分析	64
第七节 信号报警的故障处理	71
第八节 跳闸后的事故处理	79
第九节 分接开关故障和过电压事故预防	87
复习思考题	90
第三章 电压和电流互感器	95
第一节 电压互感器	95

第二节	电压互感器的使用维护和故障处理	105
第三节	电流互感器	111
第四节	电流互感器常见故障与处理	118
复习思考题		123
第四章	高压断路器.....	126
第一节	高压断路器的组成和参数	126
第二节	多油断路器	138
第三节	SN10-10 型少油断路器	146
第四节	断路器的灭弧原理	161
第五节	操动机构	170
第六节	SW2- ¹¹⁰ / ₂₂₀ 型少油断路器	185
第七节	SF ₆ 断路器	198
复习思考题		211
第五章	高压断路器的运行维护及故障处理.....	215
第一节	开关合闸失灵的处理	215
第二节	开关跳闸失灵的原因和处理	218
第三节	开关误跳闸故障处理	220
第四节	高压开关发热和着火处理	222
第五节	开关严重缺油的故障处理	226
复习思考题		228
第六章	其他电气设备的运行、维护和事故处理.....	229
第一节	电力电容器的运行、维护和故障处理	229
第二节	隔离开关的常见故障处理	242
第三节	避雷器的运行和维护	247
第四节	电抗器和消弧线圈的运行及事故处理	263
复习思考题		269

第七章 母线失压事故处理	272
第一节 母线失压事故处理	272
第二节 母线失压事故处理实例	278
复习思考题	279
第八章 变电所的主接线和倒闸操作	281
第一节 变电所的主接线	281
第二节 变电所倒闸操作	290
第三节 倒闸操作的实施	294
第四节 变电所倒闸操作综合举例	302
复习思考题	313
第九章 继电保护与自动装置基本知识	315
第一节 继电保护系统的作用及对其基本要求	315
第二节 三种常用继电器	317
第三节 继电保护的基本原理	321
第四节 方向过流保护	330
第五节 距离、差动保护	338
第六节 变压器保护	344
第七节 自动重合闸及备用电源自动投入装置	354
第八节 继电保护和二次回路的使用、维护及故障处理	360
复习思考题	368
第十章 变电运行人员的综合技能要求	372
第一节 变电所的管理制度	372
第二节 变电所安全工作规程	374
第三节 变压器差动保护动作跳闸的处理	378
第四节 10 kV 系统接地故障的判断和处理	384
复习思考题	391

第一章 变压器的结构原理

第一节 变压器工作原理

一、变压器的主要组成部分

变压器的主要组成部分是铁芯和绕组,如图 1-1 所示。其绕组有两个,一个是原绕组,其匝数为 N_1 ,另一个是副绕组,其匝数为 N_2 。有时将 N_1 称为一次绕组, N_2 称为二次绕组。一次绕组加有交流电压 $\dot{U}_1$, 是变压器的输入端,二次绕组接有负载 Z , 是变压器的输出端,其输出电压为 $\dot{U}_2$ 。因为 N_1 和 N_2 匝数不同,故 $\dot{U}_1$ 和 $\dot{U}_2$ 的数值也不同,即对电压进行了变换,故称该种设备为变压器。

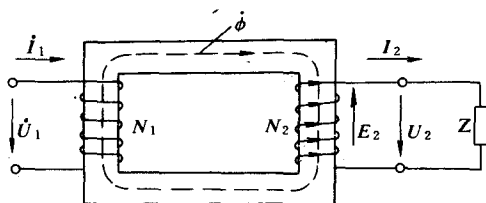


图 1-1 变压器工作原理图

二、变压器工作原理

今在图 1-1 的原绕组加交流电压 $\dot{U}_1$, 流过原绕组中的电流为 $\dot{I}_1$, 于是 $\dot{I}_1$ 在铁芯中产生交变磁通 ϕ , 交变磁通在原绕组和副绕组分别建立感应电势

$$E_1 = 4.44fN_1\phi_m \times 10^{-8} \quad (\text{V}) \quad (1-1)$$

$$E_2 = 4.44fN_2\phi_m \times 10^{-8} \quad (\text{V}) \quad (1-2)$$

式中 f ——频率, Hz;

N_1, N_2 ——原、副绕组匝数;

ϕ_m ——主磁通最大值, Wb。

1. 变压器空载运行

(1) 空载运行的定义。当变压器一次绕组加额定电压 U_1 , 二次绕组开路, 即不接负载的状态, 称为空载状态。

在空载状态下, 由于二次绕组不接负载 Z , 故一次绕组的电流 $\dot{I}_1$ 较小, 设其为 $\dot{I}_0$, 通常将 $\dot{I}_0$ 称为空载电流。空载电流 I_0 用来建立铁芯中的磁通, 而且还要负担一次绕组 N_1 的有功损耗以及铁芯中的磁滞和涡流损耗。

(2) 变压器的变比。在空载状态下, 变压器的二次绕组不接负载 Z , 因此, 二次绕组的空载电压 U_{20} 就等于二次绕组的电势, 即

$$U_{20} = E_2 \quad (1-3)$$

式 (1-3) 就是在空载状态下, 变压器二次绕组的电压方程式。而变压器一次绕组的电压方程式为

$$U_1 - \dot{I}_0 r_1 = \dot{E}_1 \quad (1-4)$$

因为在空载状态下, $\dot{I}_0$ 较小, $\dot{I}_0 r_1 \approx 0$, 所以 $U_1 \approx \dot{E}_1$ 。

变压器的变比是

$$\begin{aligned} K_U &= \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_{20}} = \frac{\dot{E}_1}{\dot{E}_2} \\ &= \frac{4.44fN_1\phi_m \times 10^{-8}}{4.44fN_2\phi_m \times 10^{-8}} \\ &= \frac{N_1}{N_2} \end{aligned} \quad (1-5)$$

可见, 变压器的变比是原绕组电压与副绕组电压之比, 等于其匝数比。

2. 变压器负载运行

在负载状态下,变压器二次绕组接有负载 Z ,二次绕组中有电流 I_2 流过,因此,一次绕组电流也要相应地增加,其值将由空载电流 I_0 增加至 I_1 。此时,一、二次绕组的电压方程式为

$$U_1 = E_1 + I_1 r_1 \quad (1-6)$$

$$U_2 = E_2 - I_2 r_2 \quad (1-7)$$

与 E_1 和 E_2 相比, $I_1 r_1$ 和 $I_2 r_2$ 很小,将其略去,则有下列近似关系

$$U_1 \approx E_1, U_2 \approx E_2$$

因此,在负载状态下,变压器的变比仍由式 (1-5) 给出的关系,即

$$K_U = \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

3. 变压器功率的传递

(1) 一次绕组中的电流为什么要随着二次电流的增加而增加。在负载状态下,二次绕组中的电流 I_2 所建立的磁通 $\dot{\phi}_2$, 根据法拉弟电磁感应定律,恒反对 I_1 所建立的磁通 $\dot{\phi}_1$ 的变化,即 $\dot{\phi}_2$ 与 $\dot{\phi}_1$ 在相位上是相反的, $\dot{\phi}_2$ 对 $\dot{\phi}_1$ 是去磁的。铁芯中的合成磁通 $\dot{\phi}_0$ 是 $\dot{\phi}_1$ 与 $\dot{\phi}_2$ 联合作用的结果,即

$$\dot{\phi}_0 = \dot{\phi}_1 + \dot{\phi}_2 \quad (1-8)$$

因为 $U_1 \approx E_1 = 4.44 f N_1 \phi_m \times 10^{-8}$, 故在频率 f 和一次绕组匝数 N_1 不变的条件下,只要 U_1 不变, ϕ_m 应该保持不变。这就是说,不论是空载还是负载状态下,只要原绕组所加电压 U_1 不变,则铁芯中的磁通基本上要保持恒定值 $\dot{\phi}_0$, 这个 $\dot{\phi}_0$ 便是由空载电流 I_0 所建立的磁通值。

为保持 $\dot{\phi}_0$ 不变,则当 I_2 增加, $\dot{\phi}_2$ 也要增加,而 $\dot{\phi}_2$ 对 $\dot{\phi}_0$

去磁，如此，原绕组电流 $\dot{I}_1$ 必须增加，用以增大其所建立的磁通 $\dot{\phi}_1$ ，使得 $\dot{\phi}_2$ 对 $\dot{\phi}_1$ 去磁后，仍保持铁芯中的合成磁通为 $\dot{\phi}_0$ ，即 $\phi_0 = \phi_1 - \phi_2$ 。

(2) 变压器功率传送。当 I_2 增加时，输出功率 $U_2 I_2$ 增加， I_1 随着增加，则输入功率 $U_1 I_1$ 增加。如此，功率不断的从原绕组输送给副绕组。

(3) 负载状态下的功率方程式。将式 (1-6) 两边乘以 I_1 ，式 (1-7) 两边乘以 I_2 ，得

$$U_1 I_1 = E_1 I_1 + I_1^2 r_1 \quad (1-9)$$

$$U_2 I_2 = E_2 I_2 - I_2^2 r_2 \quad (1-10)$$

这就是负载状态下的功率方程式。其中 $U_1 I_1$ 为一次绕组的输入功率，其值等于一次绕组的输出功率 $E_1 I_1$ 加上一次绕组的功率损耗 $I_1^2 r_1$ 。常称一次绕组的输出功率 $E_1 I_1$ 为一次绕组的电磁功率。而 $E_2 I_2$ 为二次绕组的输入功率或电磁功率，该功率减去二次绕组的功率损耗 $I_2^2 r_2$ ，等于二次绕组的输出功率 $U_2 I_2$ 。

若略去一、二次绕组的功率损耗，即认为 $I_1^2 r_1$ 和 $I_2^2 r_2$ 为 0，则有

$$U_1 I_1 = E_1 I_1 = U_2 I_2 = E_2 I_2$$

这就是说，若略去一、二次绕组的功率损耗，则输入功率 $U_1 I_1$ 等于输出功率 $U_2 I_2$ 。因此，变压器是一个电压变换器，在变换中，当略去本身的损耗时，功率保持不变。

第二节 变压器的铭牌和技术数据

一、变压器的铭牌

变压器的铭牌标定着变压器的额定技术数据，诸如型号，

额定容量, 额定电压, 额定电流, 短路电压, 空载电流 I_0 , 空载有功损耗 P_0 , 短路有功损耗 P_k , 温升, 接线组别等。这些技术数据对变压器的运行人员来说是必须掌握的。

二、变压器型号的标注法和铭牌中的数据

国产电力变压器的型号标注法如图 1-2 所示。

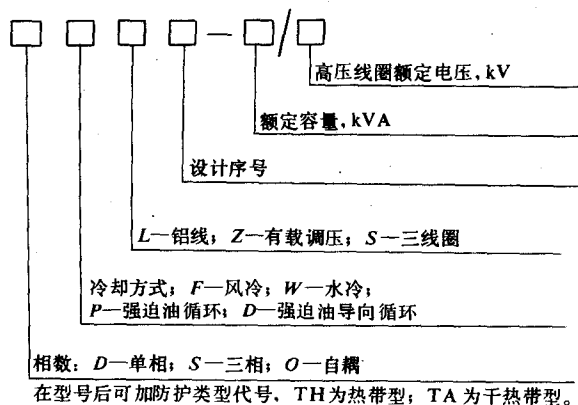


图 1-2 国产电力变压器型号标注法

1. 额定容量 S_e 。

在额定电压和额定电流下连续运行时, 变压器所能输出的视在功率值称为额定容量, 单位为 kVA。其计算公式是

$$\text{单相} \quad S_e = U_e I_e \times 10^{-3} \quad (\text{kVA}) \quad (1-11)$$

$$\text{三相} \quad S_e = \sqrt{3} U_e I_e \times 10^{-3} \quad (\text{kVA}) \quad (1-12)$$

式中 U_e ——二次绕组的额定电压, V;

I_e ——二次绕组的额定电流, A。

我国电力变压器按 R_{10} 系列组合, 例如 SL_7 系列便是如此。所谓 R_{10} 系列, 则是按 $\sqrt[10]{10} = 1.2589256 \cdots \approx 1.259$ 倍数来递增容量的, 如此形成的容量系列为: 10, 20, 30, 40, 50,

63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000 kVA…。过去我国曾采用 R_s 系列来递增容量, 即按 $\sqrt[3]{10}=1.33352\cdots\approx 1.33$ 倍数递增, 如此形成的容量系列为: 10, 20, 30, 50, 75, 100, 135, 180, 240, 320, 420, 560, 750, 1000 kVA…。

2. 额定电压 U_e

所谓额定电压, 系指变压器长期运行所能承受的工作电压, 以 kV 表示。

3. 额定电流 I_e

在额定电压和额定容量下, 变压器允许长期工作的电流, 称为额定电流, 其计算表达式是

$$\text{单相} \quad I_e = \frac{S_e}{U_e} \quad (\text{A}) \quad (1-13)$$

$$\text{三相} \quad I_e = \frac{S_e}{\sqrt{3} U_e} \quad (\text{A}) \quad (1-14)$$

4. 空载电流

当一次绕组加额定电压, 二次绕组开路, 一次绕组中所流过的电流, 称为空载电流。其以 I_0 的百分值来标定, 即

$$I_0\% = \frac{I_0}{I_{e1}} \times 100\% \quad (1-15)$$

式中 I_0 ——空载电流, A;

I_{e1} ——一次绕组的额定电流, A。

空载电流是变压器的一个重要技术参数, 其与变压器的容量和铁芯的材料有关, 通常容量越大的变压器, $I_0\%$ 越小。从空载电流的大小, 可判断变压器下述性能:

(1) 判断铁芯质量的高低。例如节能型变压器 SL7-50/10, $I_0\%=2.8\%$, 而同等容量的高能耗变压器 SJL-50/10,