

电气运行工人技术问答

变 压 器

水利电力出版社

内 容 提 要

本书以问答的形式,介绍了发电厂、变电所中变压器和互感器的结构原理和运行知识。书中对电气运行工人在监盘、操作、巡视、处理事故等工作中所遇到的有关变压器、互感器的实际问题,着重从物理概念上作了解答。全书分普通电力变压器、自耦变压器、电压互感器、电流互感器四个部分。

本书可供发电厂、变电所中具有运行实践的电气运行工人自学时使用,也可供其他从事电气工作的人员参考。

电气运行工人技术问答

变 压 器

北京电力学校

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

1977年11月北京第一版

1977年11月北京第一次印刷

印数 00001—121040 册 每册 0.62 元

书号 15143·3269

前 言

在毛主席的革命路线指引下，广大电业职工，以阶级斗争为纲，坚持党的基本路线，大批修正主义、大干社会主义，深入开展工业学大庆的群众运动，有力地促进了电力生产和建设事业的发展。

为了适应我国电力工业的迅速发展和广大电业工人、特别是青年工人的需要，我们准备编写《电气运行工人技术问答》一书，分若干分册出版。这本《变压器》，是第二分册。第一分册《同步发电机》，已经出版。

这两个分册，是由我校教师杨传箭同志在石景山发电厂大力支持下，经过多年努力，在收集、总结广大电业工人实践经验的基础上，整理编写的。在上级的领导下，去年夏天我们邀请了唐山发电厂、抚顺发电厂、石家庄热电厂、青山热电厂、户县热电厂、闸北发电厂、五〇七电厂和石景山发电厂等单位的有实践经验的工人、技术人员和有关领导同志进行了“三结合”审查、修改和补充。因此，它是集体智慧的结晶，是“三结合”的产物，也是实行“开门办学”的一个成果。

由于我们缺少编书经验和水平所限，书中可能存在不少缺点和错误，恳切希望广大读者批评指正。

北京电力学校

一九七七年二月

目 录

前 言

普通电力变压器	1
1. 为什么需要变压器? 变压器是怎样变压的?	1
2. 为什么变压器的二次电流增加, 一次电流也自动增加?	2
3. 常用的变压器有多少种类?	3
4. 变压器分头为什么能起调压作用? 一般为什么都从高压侧抽分头?	5
5. 无激磁(无载)分接开关的分类和原理接线怎样?	6
6. 为什么有的电力变压器采用有载调压? 有载调压分接开关的原理怎样?	10
7. 什么叫变压器的极性?	17
8. 什么叫变压器的接线组别? 铭牌上标的 $Y/\Delta-11$ 、 Y/Y_0-12 等都是什么意思? 如何画组别?	20
9. 变压器的相别标号随便改行吗? 如果把 A 相改成 C 相, 把 C 相改成 A 相, 将有什么后果?	33
10. 变压器的接线方式是怎样决定的? 为什么一般小容量变压器大都接成 Y/Y_0 或 Y/Y , 而大容量变压器则总有一侧接成 Δ 形(即 Y_0/Δ 或 Δ/Y)?	38
11. 为什么有的地方采用非标准的接线组别?	47
12. 变压器铭牌上的符号和各个量都是什么意思?	49
13. 油枕、集泥器、呼吸器、油位计、防爆管和气体继电器有什么作用?	57
14. 油枕和防爆管间的连通小管起什么作用?	60
15. 有些变压器上用的磁力油位计、压力式温度计和电阻温度计的原理怎样?	61

16.变压器里的油起什么作用？判断油质好坏、有哪几项主要指标？这些指标在运行中变动说明什么问题？	65
17.变压器的充氮保护及油枕隔膜密封保护是怎么回事？	68
18.变压器旁连接的热虹吸过滤器有什么作用？	75
19.变压器的线圈有几种？结构怎样，有什么优缺点？	77
20.变压器有哪几部分绝缘？用的是什么绝缘材料？这些绝缘材料的允许最高工作温度是多少？	81
21.什么叫分级绝缘？分级绝缘的变压器运行中要注意什么？	86
22.为什么在变压器本身的结构方面采取一些过电压保护措施？	87
23.变压器中性点为什么有的接地有的不接地，有的又经消弧线圈接地？哪种好？中性点套管头上平常有电压吗？	94
24.变压器的发热过程怎样？正常运行时线圈的哪部分最热？	101
25.变压器在运行中哪些部位可能会发高热，什么原因？如何判断？	105
26.是什么材料的耐热能力限制了变压器的温升值？为什么规程规定上层油温不许超过 95°C ？	109
27.为什么规程提出：为了防止变压器油劣化过速，上层油温不宜经常超过 85°C ？	112
28.变压器的冷却方式主要有哪几种？	113
29.油浸风冷式的变压器停了风扇为什么要降低容量运行？强迫油循环的变压器停了油泵为什么不准继续运行？	121
30.变压器允许短时过负荷的依据是什么？	123
31.变压器合闸时，为什么有激磁涌流？	127
32.几台变压器并联运行需要符合什么条件？如果不符，会有什么后果？	131
33.并联运行的变压器，怎样做到经济运行？	138

34.运行电压高了或低了对变压器有什么影响?	143
35.什么情况下变压器出现不对称运行? 变压器不对称运行时, 有哪些问题需要考虑?	144
36.为什么规程规定按 Y/Y ₀ -12 接线的变压器中线电流不得超过低压线圈额定电流的25%?	146
37.发电机-变压器组与系统解列过程中, 当高压侧开关有一相或两相未断开而拉开励磁开关后, 为什么发电机还有电流流过? 此时应怎么办?	150
38.套管表面脏污和出现裂纹有什么危险性?	159
39.运行中的变压器铁芯为什么会有“嗡嗡”响声? 怎样判断异音?	160
40.怎样从变压器油所含的气体成分判断变压器内部故障的性质?	165
41.突然短路对变压器有何危害?	170
42.打雷对变压器有危险吗?	175
43.什么叫介质损? 为什么有时要测量变压器中绝缘物的介质损?	179
44.为什么要做变压器的空载试验和短路试验?	182
45.三卷变(三线圈变压器)有哪些主要特点?	184
自耦变压器	186
46.自耦变压器的工作原理如何?	186
47.电力系统中为什么有的地方用自耦变压器, 自耦变压器有哪些优缺点?	189
48.自耦变压器为什么中性点必须接地?	192
49.自耦变压器在不同的运行方式时其负荷分配应注意哪些问题?	193
电压互感器	196
50.电压互感器和普通变压器比较, 在原理方面有何特点?	196
51.为什么电压互感器铭牌上标着好几个容量, 都是什么	

意思?	198
52. 110千伏及以上的电压互感器有什么主要特点? 平衡线圈和连耦线圈都起什么作用?	199
53. 为什么一个电厂或变电所中的电压互感器有好几种接线方式? 各有什么特点?	205
54. 为什么平时电压互感器的开口三角两端无电压, 而当一次系统发生单相接地时就出现电压?	209
55. 为什么三相三柱式电压互感器不能用来监察交流系统各相对地绝缘?	212
56. 为什么用来监察交流系统对地绝缘的三相电压互感器必须采用五柱式的?	214
57. 电压互感器二次侧为什么都要接地? 为什么有的电压互感器采用b相接地, 而有的电压互感器又采用零相接地?	215
58. 电压互感器投入运行时要注意哪些问题? 为什么要进行定相, 怎样定相?	218
59. 电压互感器的一、二次侧装熔断器的问题是怎么考虑的?	222
60. 为什么电压互感器的二次侧从熔断器到小母线及从小母线到各安装单位负荷, 都必须经过本安装单位隔离开关的辅助触点?	223
61. 为什么有的电压互感器(如110千伏的)二次侧不装熔断器而装空气小开关? 小开关如何选择?	225
62. 中性点不接地系统的电压互感器高压侧熔断器一相熔断, 与系统单相接地现象有何区别? 为什么有这种区别?	226
63. 如何从切换电压表所得的指示值, 判断3千伏厂用母线电压互感器哪相熔断器熔断?	231
64. 电压互感器高压熔断器熔断可能是什么原因?	238
65. 电压互感器二次回路故障对继电保护有什么影响? 现在一般采取哪些措施?	239

66. 什么叫铁磁共振? 中性点不接地系统接了电压互感器 为什么容易引起铁磁共振?	243
电流互感器	253
67. 电流互感器和普通变压器比较, 在原理方面有何特点?	253
68. 电流互感器准确等级分几级, 各级适用范围如何? 电 流互感器的误差跟什么因素有关?	254
69. 电流互感器铭牌上标的容量为什么有的以阻抗值表 示? 阻抗值与伏安值之间有什么关系?	255
70. 电流互感器的10%误差曲线是怎么回事?	256
71. 什么是电流互感器的极性? 极性弄错有何影响?	258
72. 电流互感器二次侧为什么要接地? 有什么注意事项?	260
73. 电流互感器的配置原则如何?	261
74. 电流互感器的二次接线方式不同, 对 流 到继电器去的 电流有何影响?	262
75. 为什么有的场合两组电流互感器串联使用?	265
76. 为什么电流互感器的二次不能开路?	266
77. 电流互感器的结构种类怎么分? 110 千伏及以上的电 流互感器在结构上有什么特点?	268
78. 零序电流互感器有什么特点?	271
79. 电缆型的零序电流互感器用于小电流接地系统的出线 保护, 为什么电缆头外皮的接地线须穿过零序电 流互感器的铁芯?	272
80. 发电机定子线圈单相接地保护用的助磁式零序电 流互感器的原理如何?	275

普通电力变压器

1. 为什么需要变压器？变压器是怎样变压的？

电力系统中，在向远方传输电力时，为了减少线路上电能损耗，需要升高电压；为了满足用户用电的要求，又需要降低电压，这就需要能变电压、电流的变压器。

变压器的变压原理离不开“电生磁、磁生电”这个基本的电磁现象。图 1-1 为双绕组变压器的简单原理图。当一次线圈（可以是高压侧，

也可以是低压侧）加上电压 $\dot{U}_1$ ，流过交流电流 $\dot{I}_1$ 时，在铁芯中就产生交变磁通（电生磁）。这些磁通中的大部分，即 ϕ_1 匝链着本线圈，也匝链着二次线圈，称它为主磁通。

在主磁通的作用下，两侧的线圈分别会感应起电势 $\dot{E}_1$ 和 $\dot{E}_2$ （磁生电）。电势的大小与匝数成正比。用公式表示：

$$E = 4.44 f w \phi_m$$

式中 E —— 电势有效值；

f —— 周波；

w —— 匝数；

ϕ_m —— 主磁通的最大值。

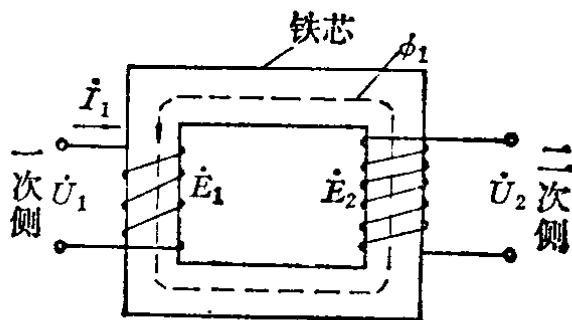


图 1-1 双绕组变压器的原理图

E_1 ——一次侧电势； E_2 ——二次侧电势

由于二次线圈和一次线圈匝数不同，感应电势 E_1 和 E_2 的大小也不同。若忽略内阻抗压降，感应电势就等于端电压。所以，电势大小不同也即电压大小不同，这就是变压器能变压的道理。

需要指出，如果不考虑变压器的损耗，二次输出功率等于一次输入功率。这样，二次侧电压和电流的乘积，就等于一次侧电流和电压的乘积。说明电压高的一侧，电流就小；电压低的一侧，电流就大。故变压时电流的大小也变。

电力系统所用的电力变压器，一般都是三相变压器，其器身如图 1-2 所示。

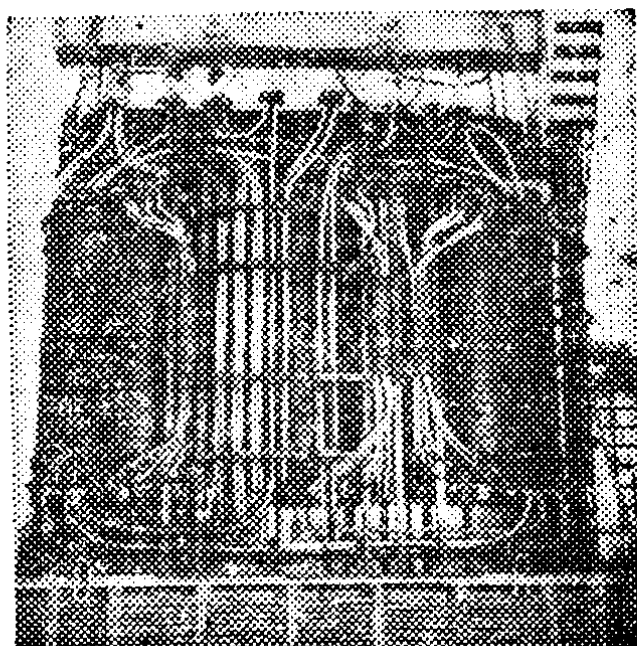


图 1-2 三相变压器的器身

2. 为什么变压器的二次电流增加，一次电流也自动增加？

当变压器的二次空载时，一次侧仅流过产生主磁通的电流，这个电流可称它为变压器的激磁电流，或空载电流。外

加的一次侧电压不变，可以认为激磁电流不变，铁芯中的主磁通不变。当二次侧加负载流过电流后，该电流也在铁芯中产生磁通，这个磁通必然改变铁芯中原主磁通的分布状况。但由于电磁的“惯性”原理，主磁通的变化影响到一次。一次侧要保持主磁通不变，必将流过一部分电流，这部分电流产生磁通专门用来抵消二次侧磁通的影响。这样，一次侧线圈就流过两部分电流，一部分是用来激磁的；一部分是用来平衡二次电流的，后一部分是随二次电流的增减而增减的，所以，二次电流增加，一次电流也自动增加。

因为电流乘上匝数就是磁势，所以上述这个过程就叫变压器的磁势平衡作用。变压器就是通过这种平衡作用，实现从一次到二次的能量传递的。

上述一次电流的自动变化过程也可从电路的角度去理解，即当二次电流产生的磁通改变了一次电流所产生的磁通时，相当于使一次线圈的感抗起变化，即阻抗变小了。这样，在外加电压不变的前提下，由于电路中阻抗变小，一次电流当然要增加，这增加的部分即是一次电流中用来平衡二次电流的部分。

3.常用的变压器有多少种类？

变压器形式及用途有各种各样，但本质都是一样的，都是以电磁感应现象为基础的。种类很多，而且分类有各种不同分法，下面只将与我国电厂和变电所运行人员关系比较大的几种变压器介绍一下：

（1）按用途可分为：

1）电力变压器：用于我国电力系统中升压或降压。已形成系列，容量和电压都有一定的等级。

2) 试验用变压器：产生高电压试验电气设备用。

3) 量测变压器：如电压互感器、电流互感器，供连接仪表和继电器等。

4) 调压器：用以改变电源来的电压满足特殊设备的需要。其特点是二次侧电压变化范围很大。根据结构不同还可分为：自耦式调压器、移圈式调压器、感应调压器及磁饱和调压器。

5) 其他用途变压器：如电炉变压器、整流变压器、电焊变压器、控制用变压器、冲击变压器等等。

(2) 按结构（就线圈的关系来说），可分为：

1) 双绕组变压器（或叫双卷），用得最普遍。

2) 三绕组变压器（或叫三卷），用它把三种电压的电网连在一起。

3) 自耦变压器。

(3) 按相数可分为：

1) 单相变压器；

2) 三相变压器；

3) 多相变压器（如整流用六相变压器）。

(4) 根据冷却条件可分为：

1) 油浸变压器：包括油浸自冷、油浸风冷、油浸水冷、强迫油循环风冷或水冷等型式。

2) 干式变压器。

3) 充气式变压器（变压器箱内充满特种气体）。

(5) 按调压方式可分为：

1) 无激磁（无载）调压变压器。

2) 有载调压变压器。

(6) 按中性点绝缘水平可分为：

1) 全绝缘变压器(中性点绝缘水平与首端绝缘水平相同)。

2) 半绝缘变压器(中性点绝缘水平比首端绝缘水平低)。

4. 变压器分头为什么能起调压作用? 一般为什么都从高压侧抽分头?

电力系统的电压随运行方式及负荷大小的变化而变化的。电压过高或过低, 会影响设备使用寿命, 为了保证供电质量, 必须根据系统电压变化情况进行调压。倒换变压器的分头就是调压方法之一。

改变分头就是改变线圈的匝数, 也即改变变压器的变比。

什么叫变比呢? 变比 k 就是一、二次线圈的匝数之比, 也就是高压侧电压和低压侧电压(空载时)之比。设一次线圈匝数为 w_1 , 二次线圈匝数为 w_2 , 一次空载电压为 U_{10} , 二次空载电压为 U_{20} , 则变比可表示为:

$$k = \frac{w_1}{w_2} = \frac{U_{10}}{U_{20}}$$

由这个关系式可以得出如下这个表示一、二次电压关系的公式:

$$U_1 = kU_2, \text{ 或 } U_2 = \frac{U_1}{k}$$

式中的 U_1 和 U_2 是变压器一、二次侧的端电压, 它们和各自侧的空载电压 U_{10} 和 U_{20} 只差一个内阻抗压降。上面表示一、二次电压关系的公式, 就是忽略内阻抗压降情况下得出的。

从这里，很容易看出，如果分头在一次侧，改变分头，就改变了一次侧线圈的匝数 w_1 ，也即改变 k 。 k 的数值一改变，在加同样电源电压 U_1 的情况下，二次电压 $U_2 = \frac{U_1}{k}$ 当然就起变化，这就起了调节电压的作用。举例说，一台 $6000 \pm 5\% / 400$ 伏的降压变压器，分头放在额定电压位置时其变比 $k = \frac{6000}{400} = 15$ ，这时当高压侧（一次侧）加 6000 伏时，低压侧电压为 400 伏。现在要降低二次电压、那么根据公式 $U_2 = \frac{U_1}{k}$ 来看，应该增大 k ，也即增大高压侧的匝数。调分头就应该往 $+5\%$ 这个分头调。调到 $6000 + 5\% \times 6000$ 这个分头之后，变比 $k = \frac{6300}{400} = 15.8$ ，二次电压就可以降到 $\frac{6000}{15.8} = 380$ 伏。

从原理上讲，抽分头从哪一侧抽都可以。一般无激磁（无载）调压变压器抽分头都在高压侧抽，这是考虑到：

（1）变压器高压线圈套在低压的外面，抽头引出和连接方便一些；

（2）高压侧电流小一些，引出线和分接开关的载流部分可以截面小一些，接触不良的问题也较易解决。

5. 无激磁（无载）分接开关的分类和原理接线怎样？

连接及切换分头的装置叫分接开关。

改变分头必须将变压器停电的，称无激磁调压。这种分接开关叫无激磁分接开关。

无激磁调压常用的线圈抽分头方式有如图 5-1 所示的几

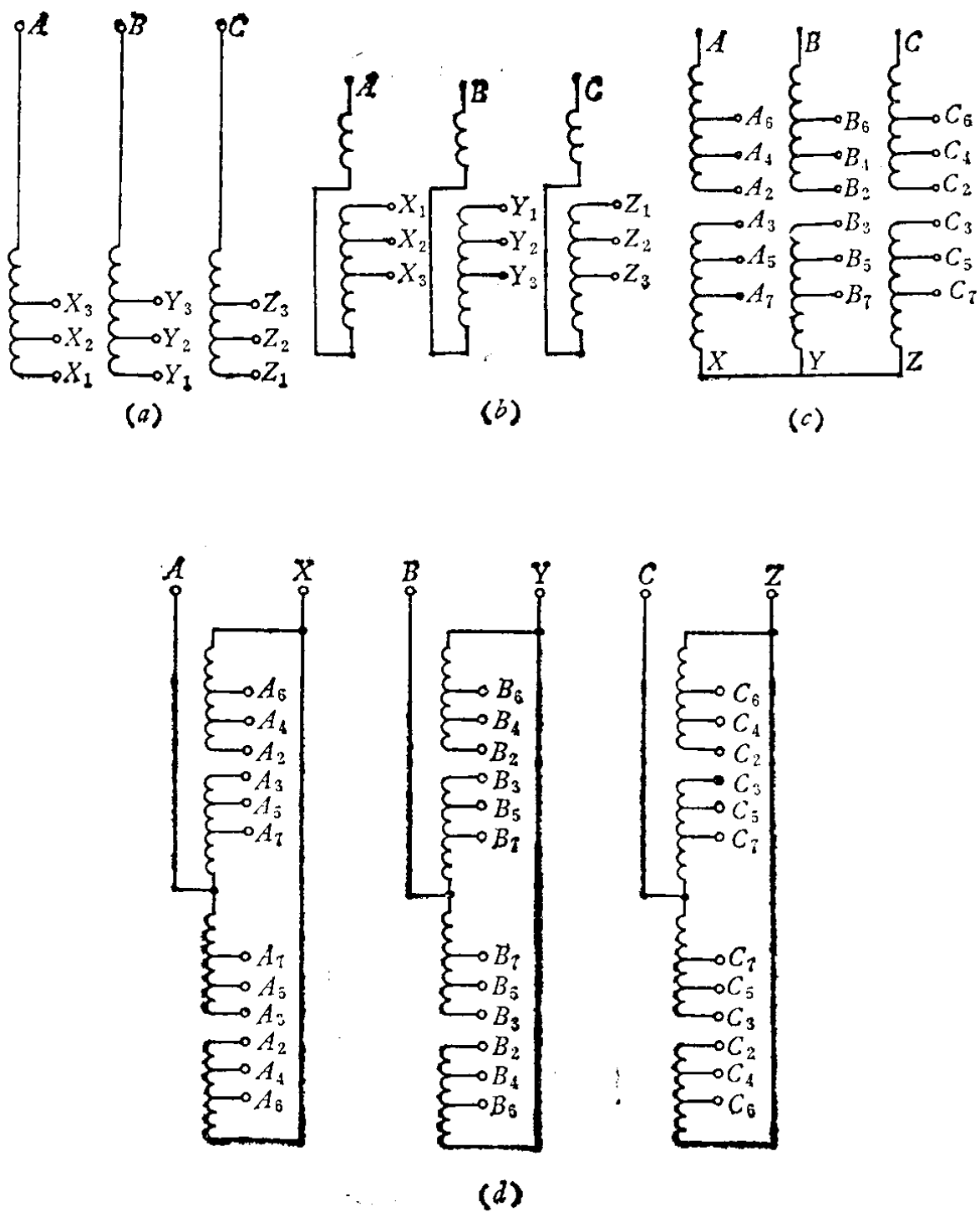


图 5-1 无激磁调压常用的抽分头方式
 (a) 三相中性点调压; (b) 三相中性点“反接”调压;
 (c) 三相中部调压; (d) 三相中部并联调压

种方式：

图 5-1 (a) 和 (b) 是三相中性点调压方式，每相有三个分头，即额定电压级和 $\pm 5\%$ 级，共三级。图 5-1 (a) 是最普通的连接法；图 5-1 (b) 叫“反接”联接，其特点是线匝的分接在结构上是在线圈高度的中部进行，而在电气上抽头却从线圈的中性点附近抽，对 10 千伏以下的连续式线圈这种方式可减少短路时的轴向力。图 5-1 (c) 是三相中部调压方式，这种方式有五个调压级，采用这种抽分头方式可使分接开关比采用三相中性点抽分头方式的体积小些。大容量的变压器，电压为 220 千伏或 110 千伏的高压线圈，一般都做成从线圈高度的中部引出线端 A 、 B 、 C 且有两个并联分支，这时，所采用的抽分头方式就如图 5-1 (d) 所示。

上述原理图如何和我们在变压器外部分接开关指示器上所看到的分头位置联系起来呢？下面举例来看，如图 5-1 (a) 所示的调压分头，连到三相中性点调压无激磁分接开关上去的情况如图 5-2 (a) 所示。分接线都分别接到分接开关的固定触头上，动触头的三片同时搭连到相差 120° 的三个固定触头上，就形成中性点。如连 X_1 、 Y_1 、 Z_1 (为 $+5\%$ 级)，在分头指示器上即指在“Ⅰ”上；连 X_2 、 Y_2 、 Z_2 (为额定电压)，指在“Ⅱ”上；连 X_3 、 Y_3 、 Z_3 (为 -5% 级)，指在“Ⅲ”上。这是属于三相分接开关，一般用在小容量变压器上。又如图 5-1 (c) 所示的三相中部调压方式，接到三个单相中部调压无激磁分接开关上去的情形，如图 5-2 (b) 所示 (图中只画出一相，其他相原理相同)。这种单相分接开关用在大容量变压器上。一般这种分接开关采用鼓形开关 (见图 5-3)，六个分接线分别接于六个接触柱上的接线端头上，而环形触头 (环内有弹簧) 任何时候总

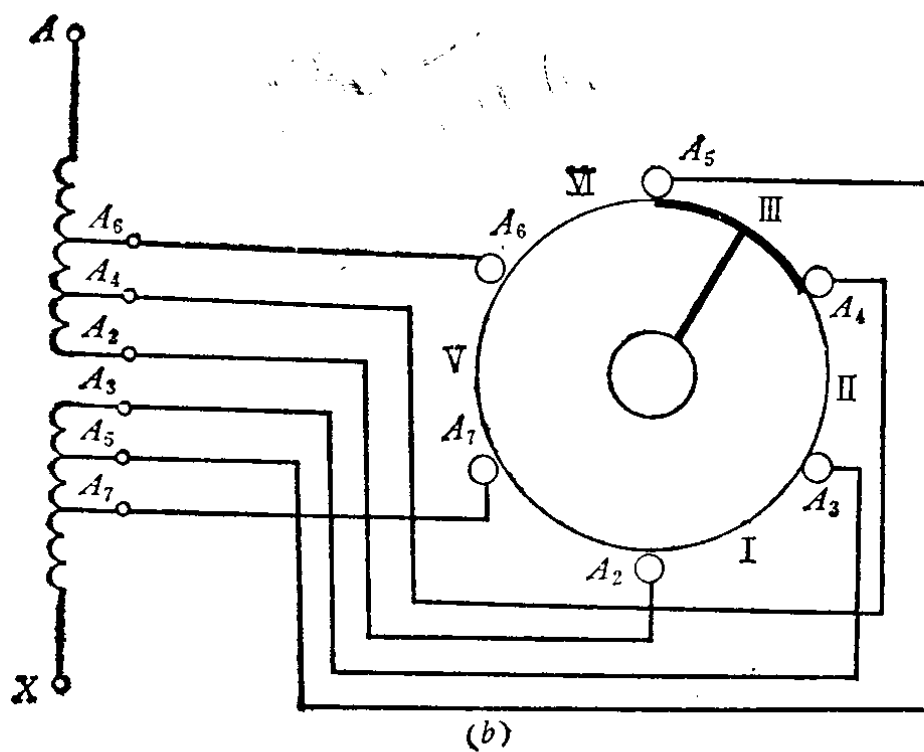
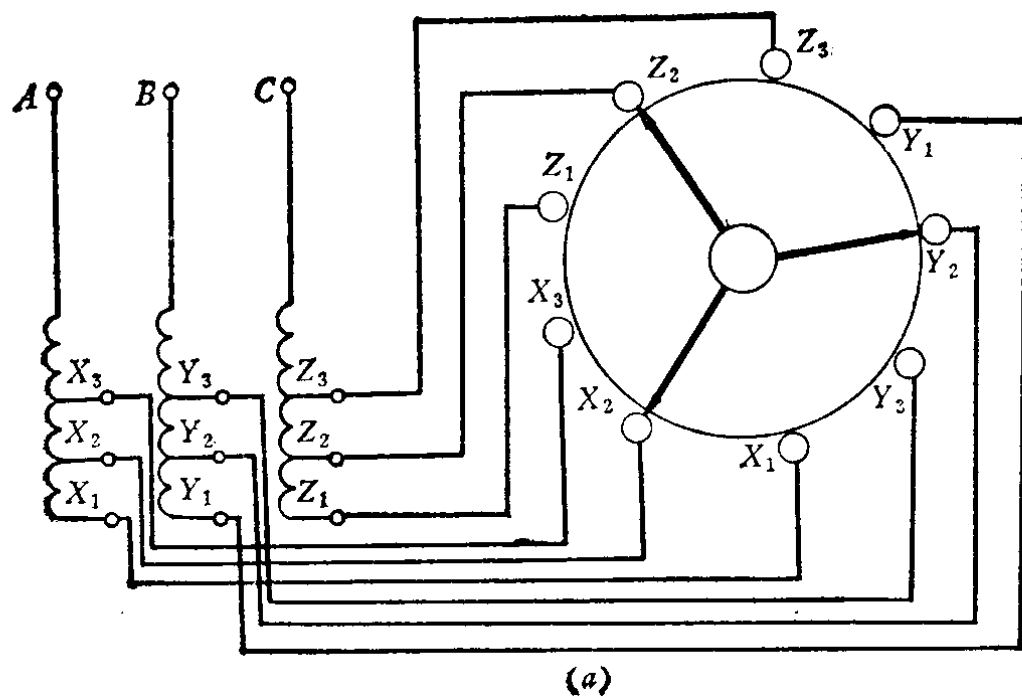


图 5-2 无激磁分接开关原理接线图
(a)三相中性点调压；(b)三相中部调压(只画一相)