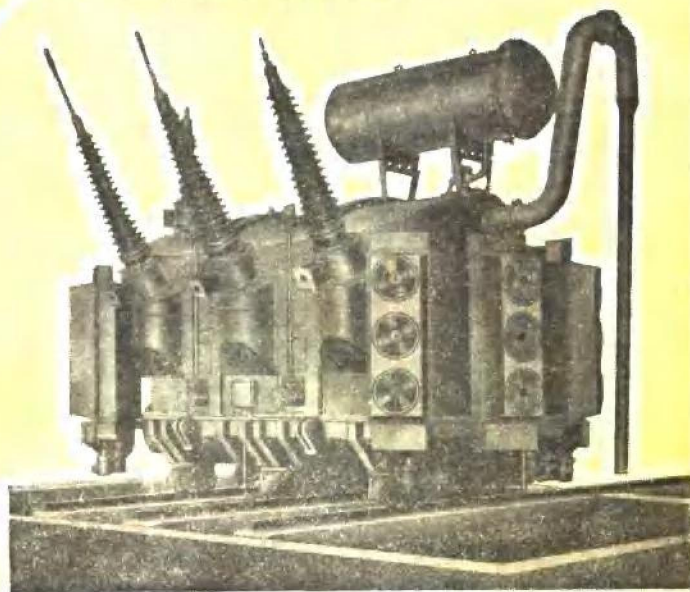


Bianyayi

JICHUZHISHI



变压器基础知识

李 树 棠 编

陕 西 人 民 出 版 社

目 录

第一章 变压器概述	1
第一节 变压器的用途.....	1
第二节 变压器分类.....	2
第三节 变压器的额定技术数据.....	10
第四节 变压器的调压方式.....	12
第二章 电工基础知识	15
第一节 电磁感应.....	15
第二节 磁通和磁感应.....	16
第三节 磁路和安匝.....	17
第四节 交流电压.....	19
第五节 向量图与相位.....	21
第六节 电阻、电感、电容的交流电路.....	23
第三章 单相变压器的空载运行	31
第一节 变压比.....	31
第二节 磁化电流.....	35
第三节 磁滞回线.....	38
第四节 空载电流.....	41
第五节 等值电路和向量图.....	42
第四章 单相变压器的负载运行	45
第一节 物理过程.....	45
第二节 电流、电压.....	47

第三节	向量图和等值电路.....	52
第四节	阻抗电压.....	60
第五节	短路损耗.....	65
第六节	变压器漏抗的计算.....	69
第七节	电压变化率.....	76
第八节	变压器效率.....	80
第五章	三相变压器	83
第一节	三相变压器的磁路系统.....	83
第二节	变压器的连接组.....	88
第三节	三相变压器的空载运行.....	94
第四节	三相变压器的负载运行.....	101
第六章	三线圈变压器和自耦变压器	115
第一节	三线圈变压器的工作原理、基本 方程式和等值电路.....	116
第二节	三线圈变压器参数测定、电压变 化和效率.....	126
第三节	自耦变压器的原理.....	132
第四节	自耦变压器的容量关系.....	138
第五节	自耦变压器的阻抗.....	143
第六节	自耦变压器的电压调整.....	148
第七节	自耦变压器的运行方式.....	158
第八节	自耦变压器的优缺点.....	166
第七章	特种变压器	173
第一节	整流变压器.....	173
1.	基本整流线路.....	174
2.	整流变压器的容量和利用系数.....	185

3. 重叠现象、电弧压降、电阻压降	188
4. 平衡电抗器	196
第二节 移圈调压器	205
1. 工作原理	205
2. 磁通密度和励磁电流	210
3. 阻抗电压	214
第三节 电抗器	220
1. 并联电抗器	221
2. 消弧线圈	229
3. 饱和电抗器	237
第四节 其它种类变压器	251
1. 电炉变压器	252
2. 高压试验变压器	263
3. 仪用互感器	273
4. 铁磁饱和稳压器	287
5. 交流焊接变压器	295
6. 倍频变压器	307
7. 单一三相、三一单相变压器	310
第八章 变压器的并联运行	331
第一节 并联运行条件和负载电流分配	331
第二节 变压比不同时变压器的并联运行	334
第三节 短路电压不同时变压器的并联运行	338
第四节 连接组不同时变压器的并联运行	339
第五节 三线圈变压器的并联运行	343
第九章 变压器的瞬变过程	344
第一节 变压器接入电网	344

第二节	变压器二次线圈突然短路.....	348
第三节	机械力和瞬变过热.....	351
第四节	变压器的过电压.....	357
第十章	变压器的发热与冷却	375
第一节	变压器的发热过程.....	375
第二节	温升计算.....	382
第三节	冷却方式.....	387
第四节	寿命与绝缘老化.....	392
第五节	海拔对温升的影响.....	398
附录	变压器的有载分接开关.....	403

第一章 变压器概述

第一节 变压器的用途

在各种电气设备中，往往需要不同的电压电源。例如，我们在日常生活中的照明用电，都是 220 伏，或者 110 伏；机床、粉碎机等机器的电动机用电为 380 伏；而安全照明用电是 36 伏；城市工业供电线路的电压高达 6 千伏或 10 千伏。由于对用电要求不同，以及便于配备相适应的各种电器元件，将电压分成了许多等级：500 伏级及以下；3 千伏；6 千伏；10 千伏；35（44）千伏；60 千伏；110 千伏；154 千伏；220 千伏；330 千伏级。其中，500 伏以下电压称为低压系统，3 千伏及以上称为高压系统。

现代化的工业企业，广泛地采用了电力做为能源，电能都是由水电站和发电厂的发电机直接转化出来的。发电机发出来的电力根据输送距离将按照不同的电压等级输送出去，就需要有一种专门改变电压的设备，这种设备叫做“变压器”图（1—1）。

变压器在输配电系统中占着很重要的地位，要求它安全可靠地运行，当变压器在运行中损坏时，则将造成停电事故。所以，变压器是非常重要的电气设备。除了在电力系统之外，在其它方面变压器应用得也十分广泛。例如，根据配套

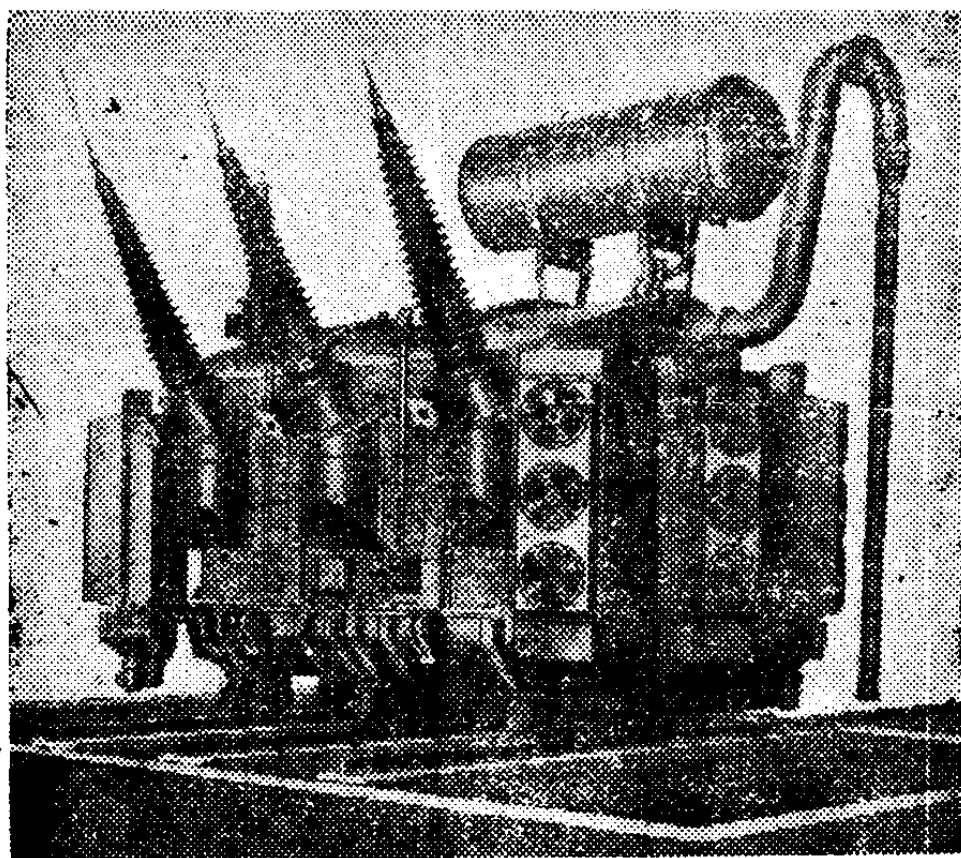


图 1—1 SFP—120000/220
120000 千伏安，220 千伏升压变压器

需要供给冶炼用电炉变压器；电解或化工用整流变压器；煤矿用防爆变压器和特殊结构的矿用变压器；以及交通运输用的电机车变压器和船用变压器等。

变压器主要部分是由铁心，线圈和绝缘材料组成，其中铁心是用 0.35~0.5 毫米的硅钢片叠成的；线圈用铜线或铝线绕制的，绝缘材料做为线圈与线圈之间，线圈与铁心之间彼此绝缘使之有足够的电气强度，才能保证安全运行。

第二节 变 压 器 分 类

变压器的应用范围十分广泛，类型很多，按用途分类有：

(1) 电力变压器：这是目前工农业生产上广泛采用的

变压器，主要是做为输配电系统上使用的变压器。这类变压器已形成了系列，并已成批生产，从 10 千伏安到 630 千伏安容量变压器，一般称做 I、Ⅱ类产品；从 800 千伏安到 6300 千伏安为Ⅲ类；从 8000 千伏安到 63000 千伏安为 IV 类；63000 千伏安以上为 V 类。各类变压器可按各个电压等级组成各种规格的电压组合。

电力变压器按发电厂和变电所的用途不同，还可分为升压变压器及降压变压器，其中低压电压为 400 伏的降压变压器称为配电变压器（图 1—2）。

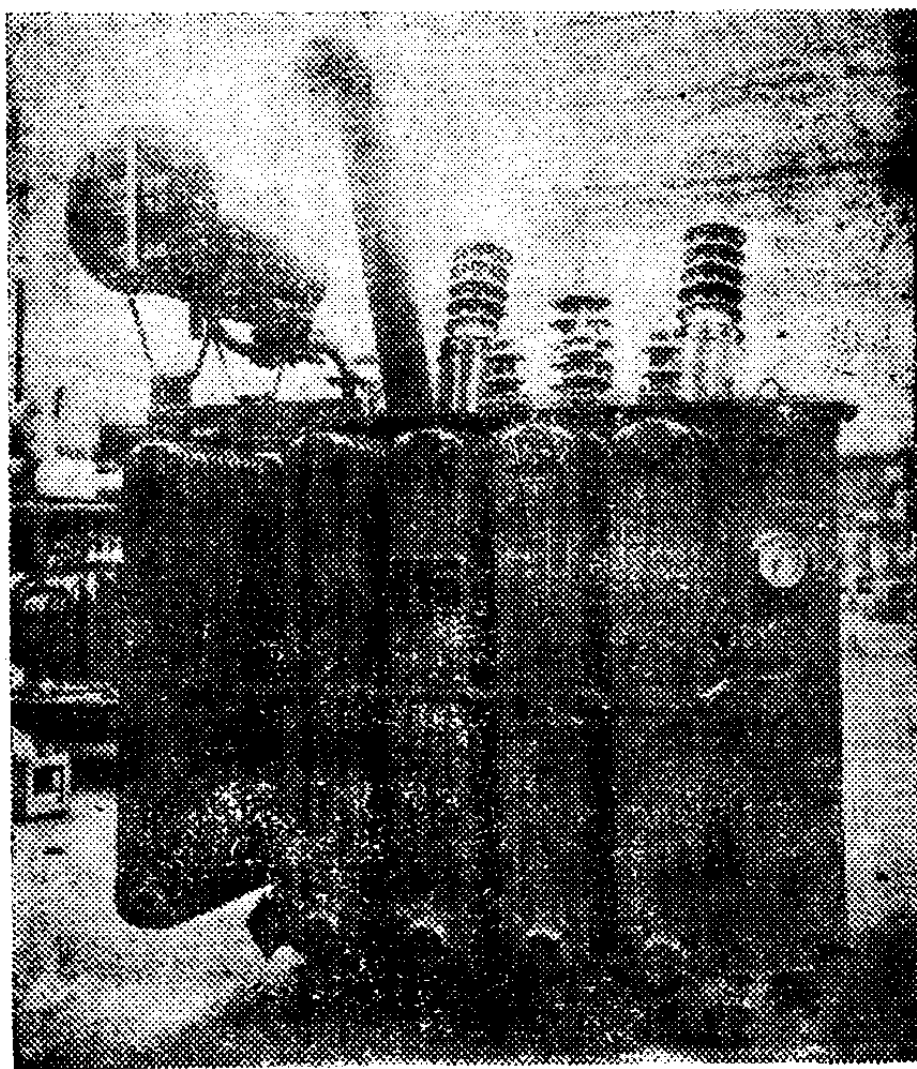


图 1—2 (a) SJ—1000/10
1000 千伏安，10 千伏配电变压器

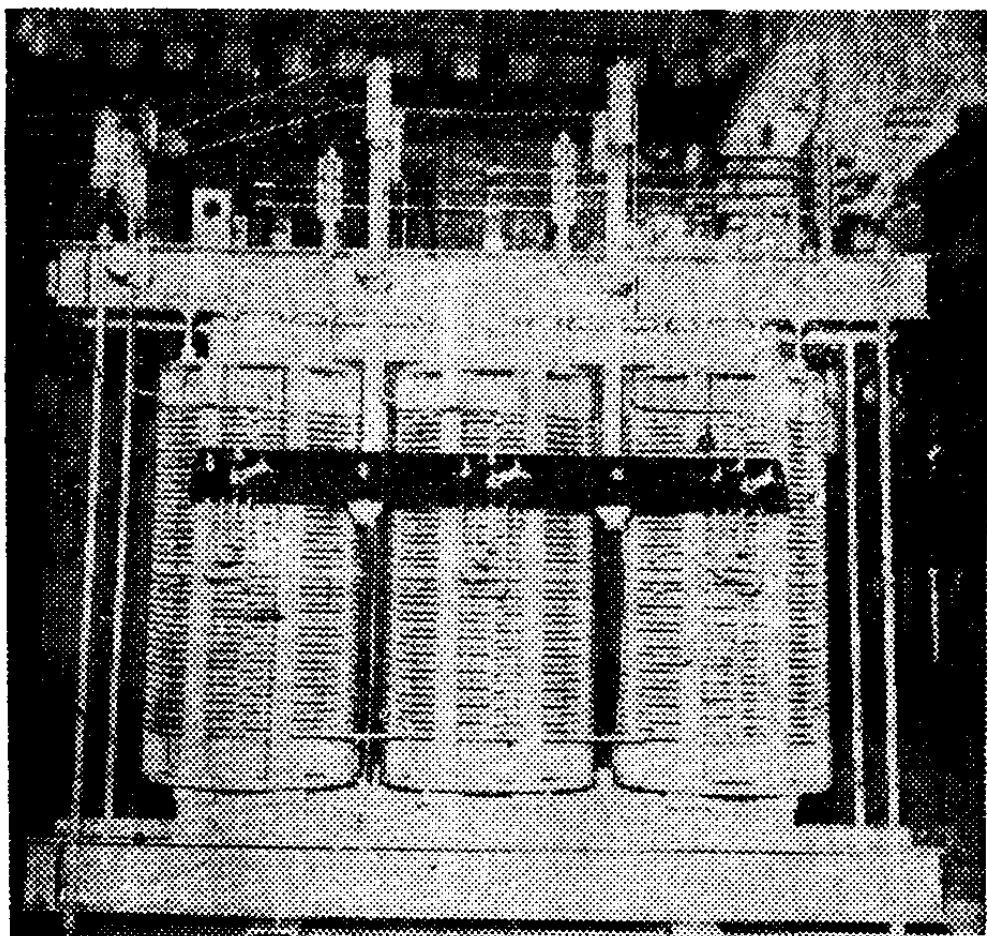


图 1—2 (b) SG—750 千伏安干式变压器器身

目前从发电机所发出的最高电压为 15.75 千伏，其中 6.3 千伏和 10.5 千伏电压最多。这样低的电压要输送到几百公里以外的地区是不可能的，电能将全部消耗在线路上。所以要想将电能从电站输送出去，必须经过变压器将电压升高到 38.5 千伏，121 千伏，242 千伏，以及 363 千伏后再输送出去。高压电到供电区后，还要经过一次变电所（电压降为 38.5 千伏或 66 千伏）和二次变电所（电压降为 6.3 千伏或 10.5 千伏）变压，再把电直接送到用户区，经过附近的配电变压器降压，以供工厂用电及照明用电。

（2）电炉变压器：工业上使用的金属材料和化工原材料都是用电炉冶炼出来的，而电炉所需的电源是由电炉变压

器供给的。电炉变压器的特点是二次电压很低（一般由几十伏到几百伏），但电流却是很大，最大可达几万安培。

我国电炉变压器一次侧的电压为 10 千伏或 35 千伏，个别的为 110 千伏级。图(1—3)。

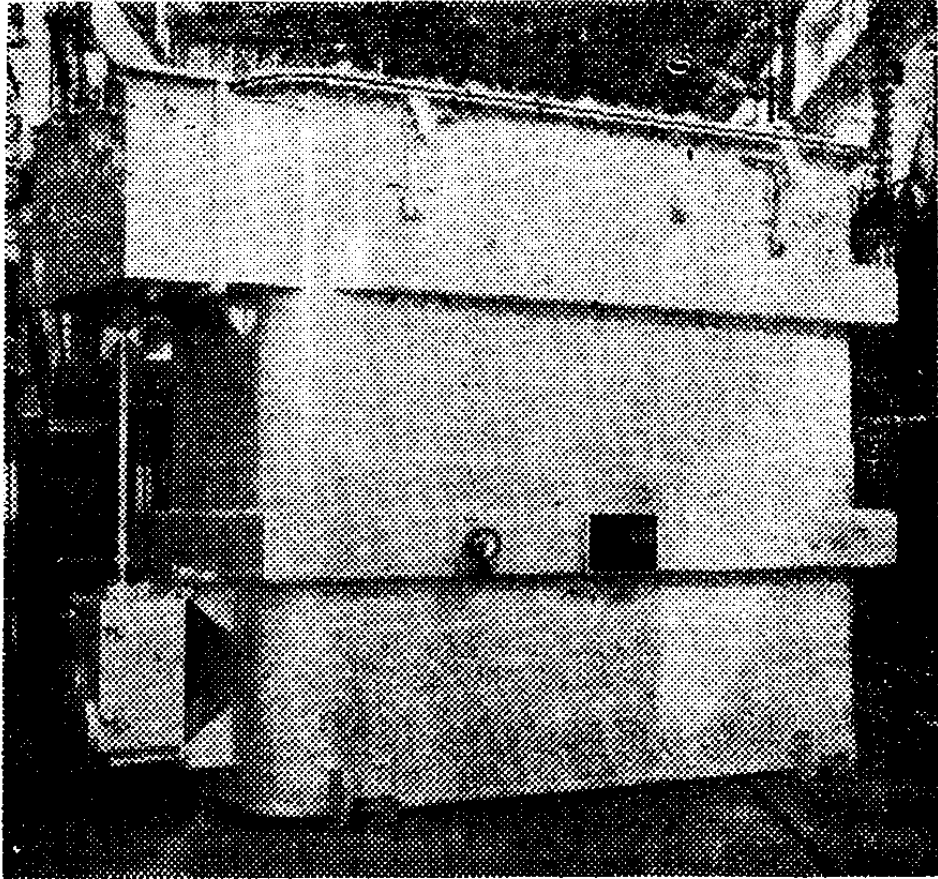


图 1—3 (a) HSPF—10000/10 矿热炉变压器

(3) 整流变压器：很多电气设备需要直流供电，如电车、电机车、钢厂的轧机、冶炼厂及化工厂的电解槽等。把交流变成直流是需要经过整流器（水银整流器、硅整流器等）进行，供整流器用的电源变压器，称作整流变压器。图(1—4)

整流变压器与电炉变压器不同之处是，二次线圈接成六相或者十二相，以提高整流效率。

(4) 工频试验变压器：进行高压电气设备的耐压试验和高电压下物理现象的研究时，需要一种电压很高的变压

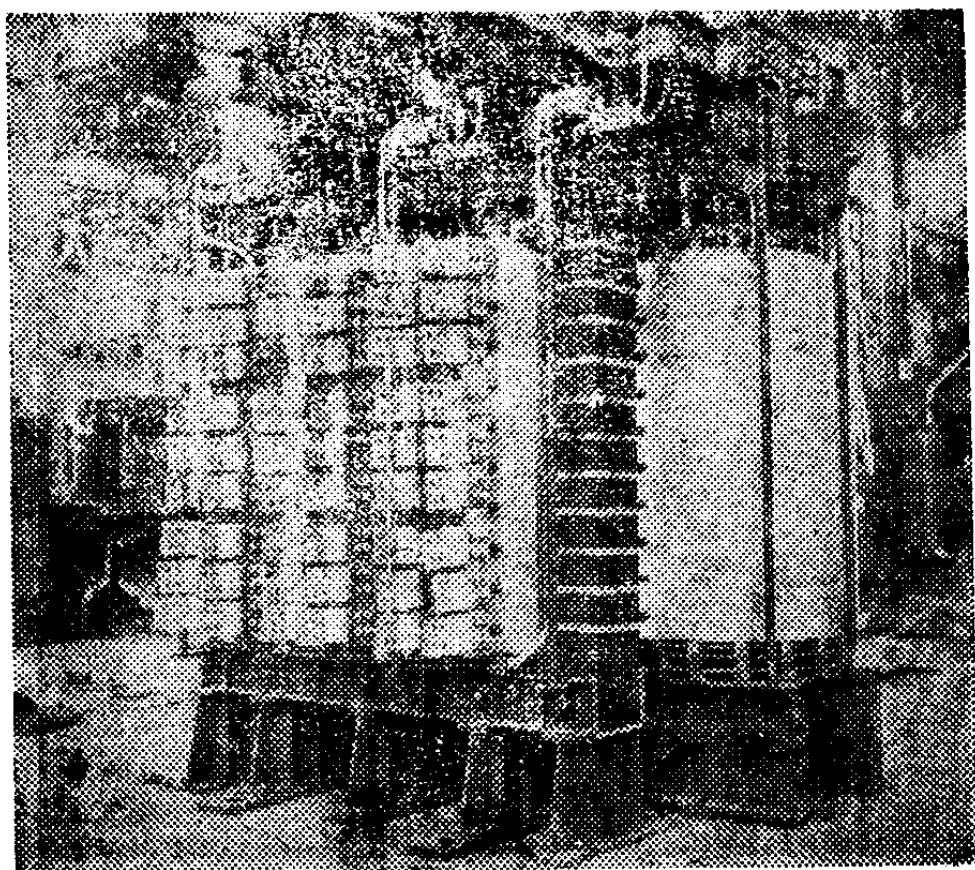


图 1—3 (b) HSSPZ—18000/35 电炉变压器器身

器，这种变压器称为工频试验变压器（图 1—5）。试验变压器的特点是，二次电压都很高，可达 1000 千伏甚至更高；而电流一般均为 1 安培；试验电缆用的，为 4 安培以上；运行时间都在 1 小时以下。

（5）调压器：有些电气设备需要有能够经常改变电压的电源，这就需要通过调压器来实现。调压器的特点是二次侧电压变化范围很大，一般可以从零值调到额定电压。调压器因结构特点不同，又分为自耦式调压器、移圈式调压器（图 1—6）、感应调压器及磁饱和调压器等。大容量调压器一般同试验变压器及整流变压器配套使用。

（6）矿用变压器：专为矿坑下变电所使用的变压器称为矿用变压器，因而制成防止矿石打碎套管和防潮密封式结

图1—4 (a)
ZSFPT—
40000/35
整流变压
器

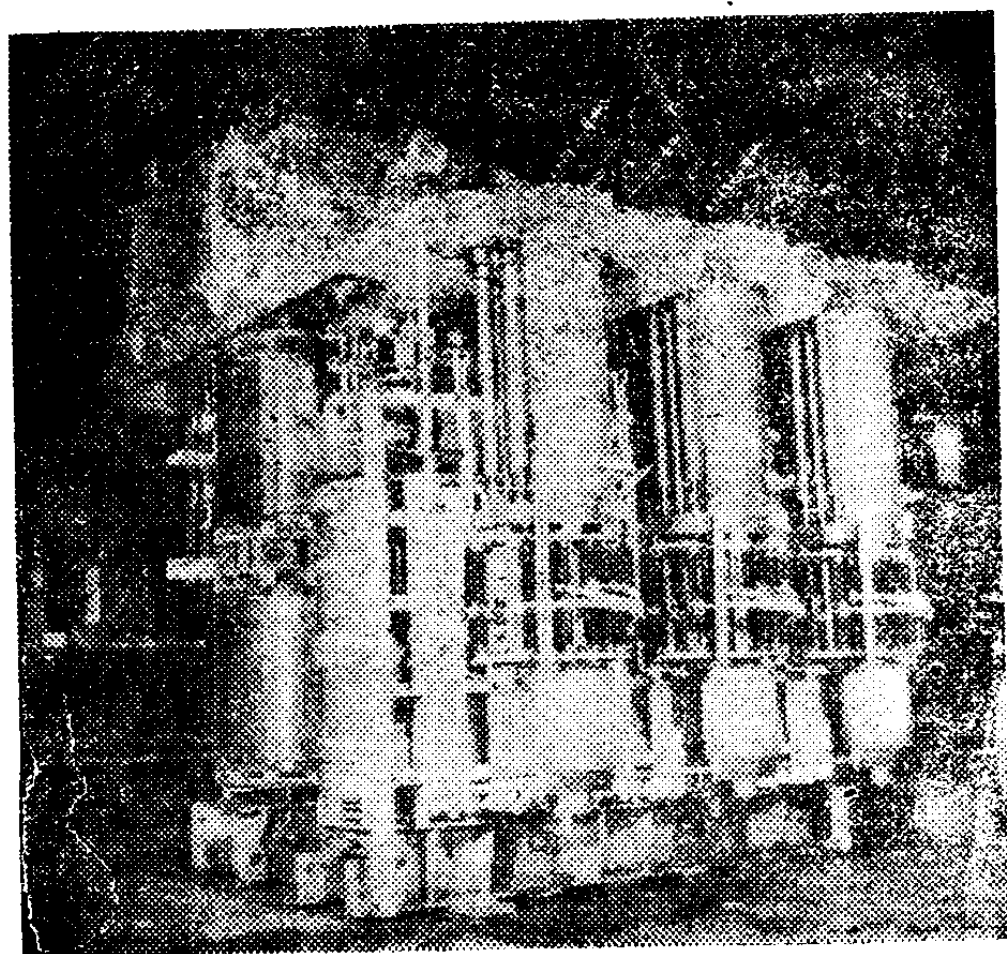
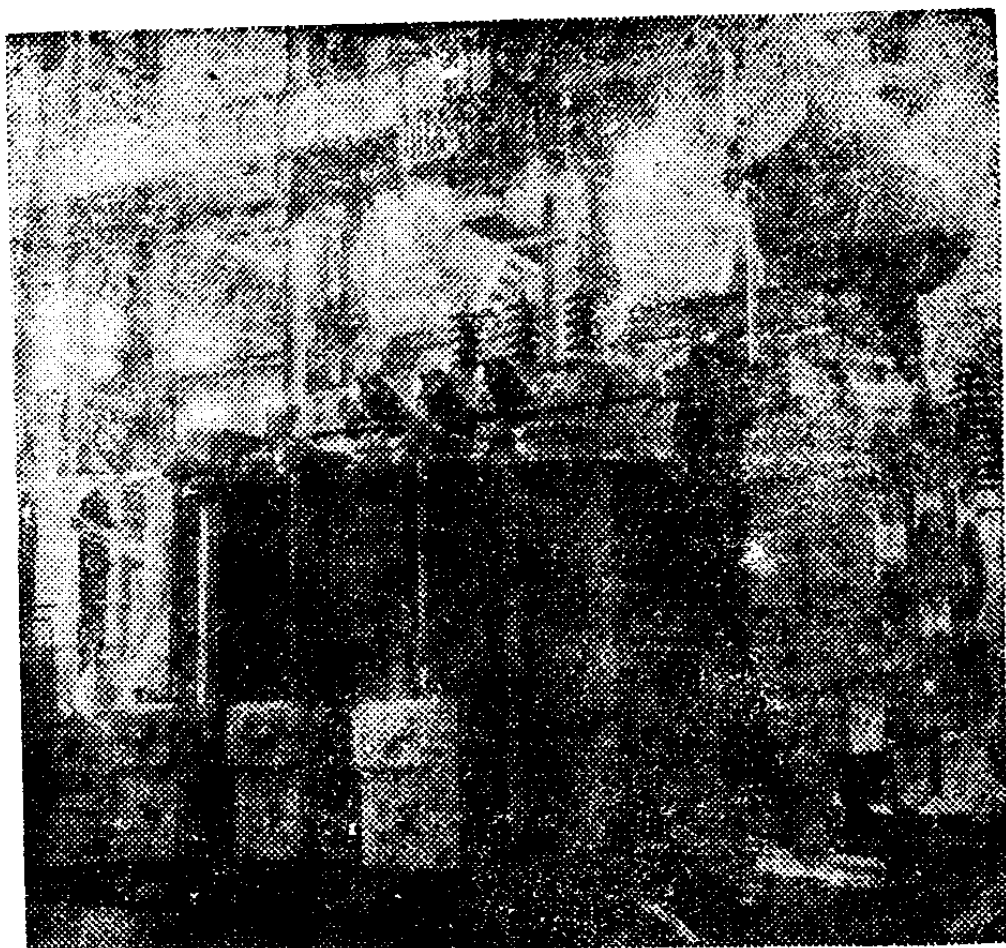


图1—4 (b)
ZSFPT—
40000/35
整流变压
器器身

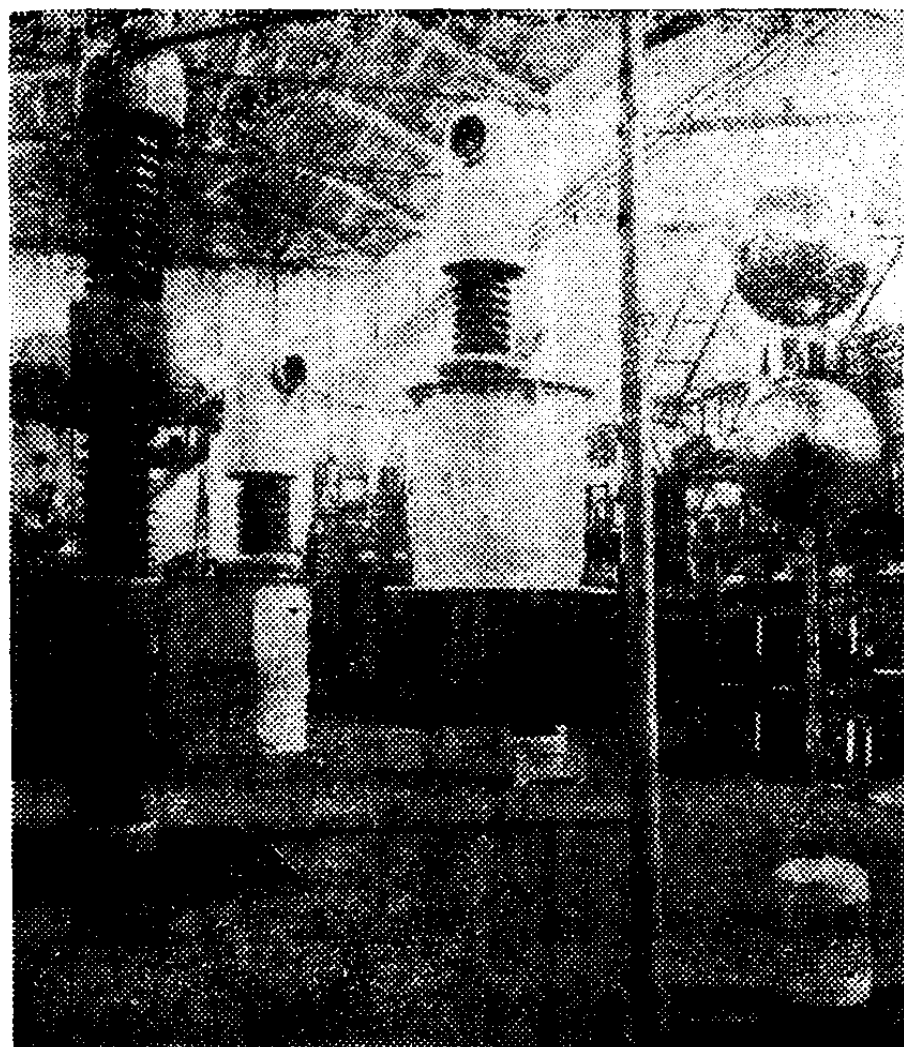


图 1—5 500
千伏安 500 千伏
试验变压器、水
阻器和球隙器

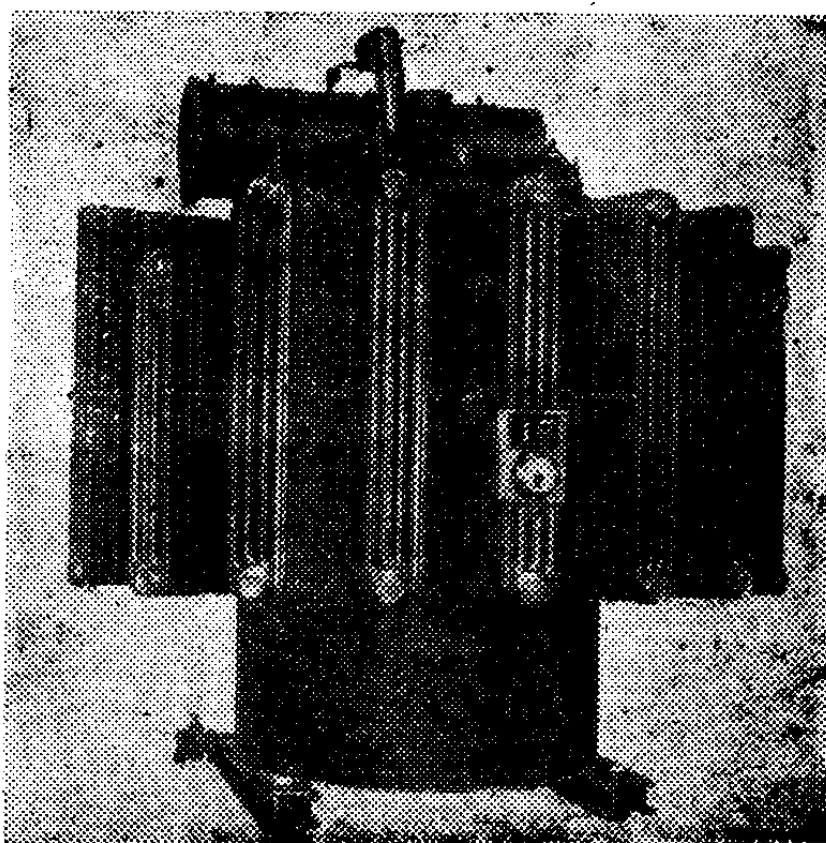


图1—6 2250千伏安
10千伏移圈调压器

构。另一种是伸入到掌子面运行的变压器，称为防爆变压器。这种变压器为干式的，箱壳机械强度高，能防止气体（如甲烷乙炔等）爆炸，出线用电缆引出结构。

其他特种变压器种类很多，如冲击变压器、电抗器、隔离变压器，电焊变压器，X光变压器，化成变压器，无线电变压器，换相器、增波器、互感器……。图1—7示出了并联电抗器的器身与外形。

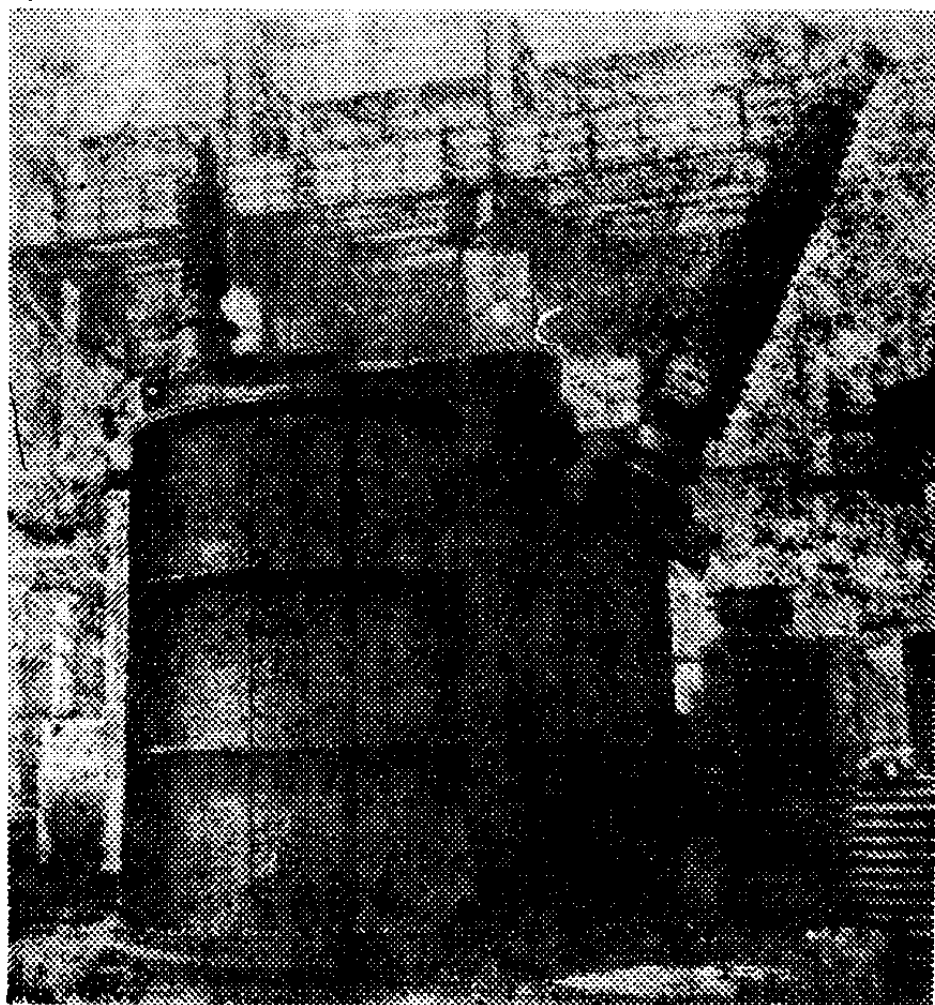


图 1—7 (a) BKDFP—30000/330 并联电抗器

变压器按结构形式分类时，又可分为单相和三相变压器，按冷却介质分类有干式变压器，油浸变压器，充气变压器等；按冷却方式分类有自然冷却式、风冷式，水冷式，强迫油循环水冷式，强迫油循环风冷式，水内冷式等；按线圈

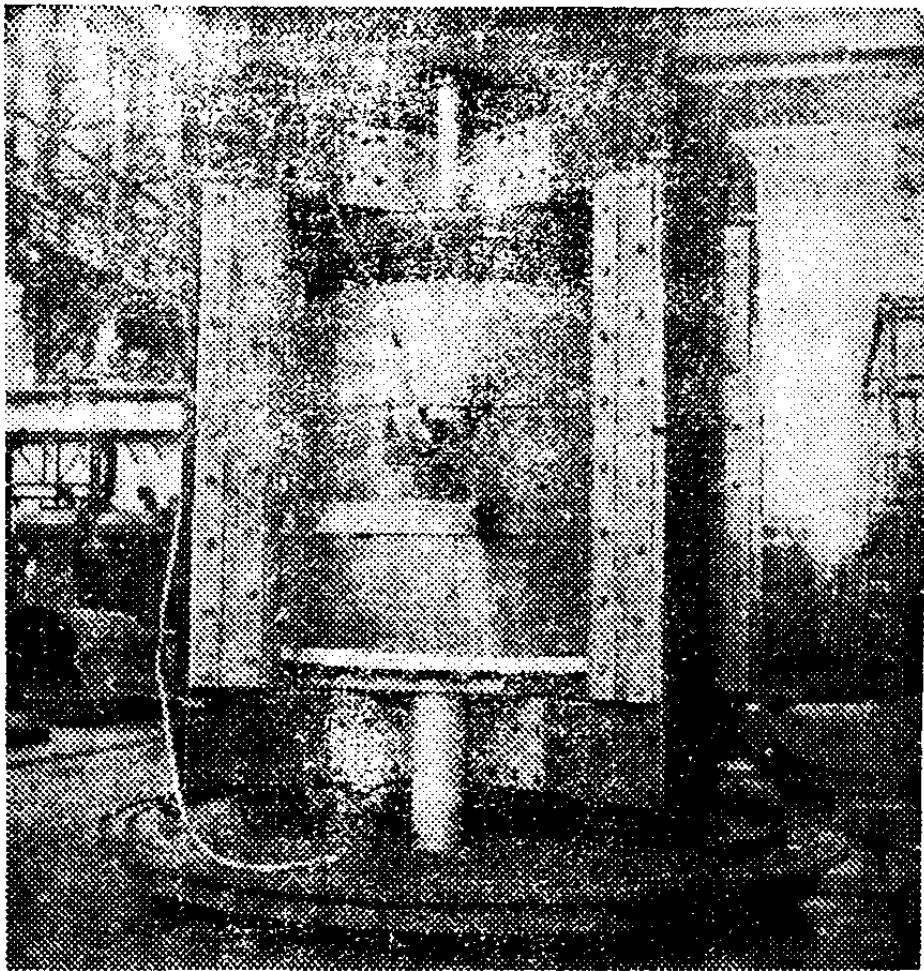


图 1—7 (b) BKDFP—30000/330 并联电抗器器身

分类有自耦变压器,双圈变压器,三圈变压器等;按调压方式分类时,可分为有载调压和无载调压变压器;按中性点绝缘水平分类时,可分为全绝缘变压器(中性点绝缘水平与起头绝缘水平相同)和半绝缘变压器(中性点绝缘水平比起头绝缘水平低);按铁心型式分类时,可分为心式,壳式,辐射式等。

第三节 变压器的额定技术数据

由于变压器的使用环境条件不一样,用途也不一致。因此必须用一些事先规定的数值来衡量,这些数值称额定技术

数据。

额定容量——在额定工作条件下，变压器输出能力的保证值，即额定电压与额定电流的乘积，单位以千伏安表示。

额定电压——变压器在空载时额定分接下，端电压的保证值。按变压器标准规定，为了适合电网电压变化的需要，高压侧一般都有抽头，即所谓分接电压。抽头的电压值都用额定电压的百分数表示。例如，高压为 10 千伏的变压器，当具有 $\pm 5\%$ 的抽头，就是说变压器可在三种电压下运行，即 10.5 千伏 ($+5\%$)，10 千伏 (额定)，9.5 千伏 (-5%)。有载调压变压器的抽头较多，有 7 分接 ($\pm 3 \times 2.5\%$) 的和 9 分接 ($\pm 4 \times 2\%$) 的变压器。

阻抗电压——也称短路电压，即当一个线圈短路，在另一个线圈中流有额定电流时，所施加的电压。一般均以额定电压的百分数表示，阻抗值的大小在变压器运行中有着重要意义，它是考虑短路电流和继电保护特性的依据。

空载损耗——也称为铁耗，就是变压器在空载状态（一次侧加额定电压，二次侧开路）时产生的损耗。空载损耗单位以瓦或者千瓦表示。

空载电流——当变压器空载运行时，一次侧线圈中通过的电流，这个电流称空载电流，一般以额定电流的百分数表示。

连接组——连接组是决定高低压线圈之间的电压相位关系的。将 360° 角共分为 12 份，即每相差 30° 角为 1 种，一般以连接组标号表示，如，Y/ Δ -11，Y/Y₀-12 等。

短路损耗——一个线圈通过额定电流，而另一个线圈短路时所产生的损耗，单位以瓦或千瓦表示。短路损耗主要是

由线圈的电阻产生的损耗，电阻越大，损耗也越大。除此之外，还包括附加损耗（也叫杂散损耗），为了计算方便，都并入短路损耗。

变压器的额定数据，是由国家技术文件规定的，不能任意改变，各制造厂生产的变压器都要符合国家标准《电力变压器》GB1094—71）。

第四节 变压器的调压方式

前面讲过，电压等级都是按标准规定的，不能任意改动。但是，输电线路的绝对电压值，又受用户用电量大小的影响，有时高，有时低。由于季节和每天因工作班次的关系，电压波动很大。电源电压的过高或过低，直接影响了设备的使用和寿命。为此，对变压器提出了能够调整电压的要

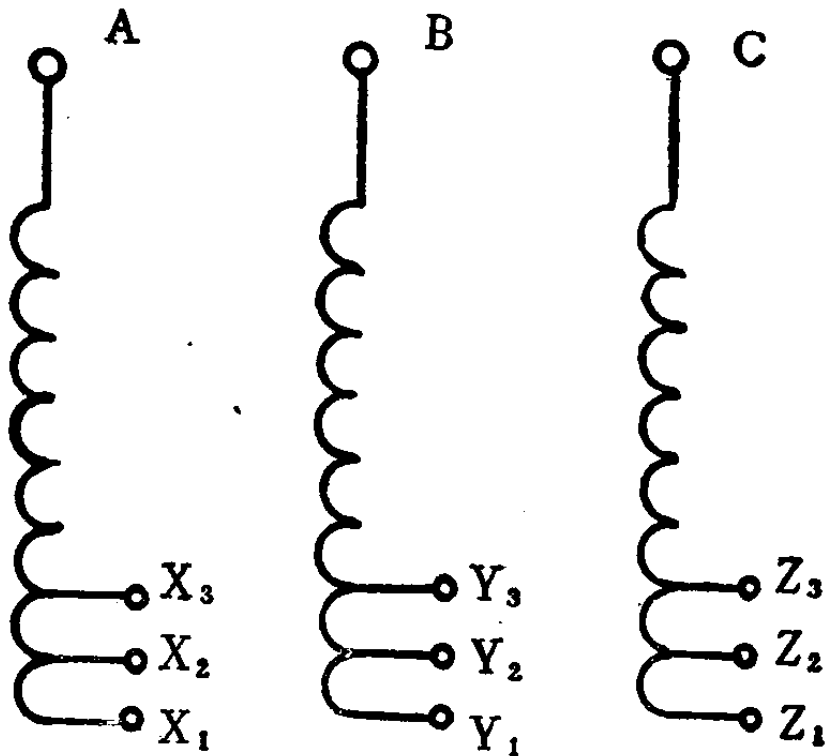


图 1—8 无载调压线圈接线图