

目 录 (中册)

第二篇 电机及其控制

第七章 变压器

7—1	概述	(1)
7—2	变压器的基本结构	(2)
7—3	变压器的工作原理	(3)
7—4	变压器的运行性能	(7)
7—5	三相变压器	(8)
△ 7—6	特殊变压器	(10)
7—7	变压器铭牌	(14)
本章小结		(16)
习 题		(16)

△第八章 电机的一般原理

8—1	概述	(18)
8—2	电机的基本工作原理	(19)
8—3	电机的功率和效率	(22)
8—4	电机中的磁场	(23)
8—5	电机结构的一般原理	(26)
本章小结		(27)

第九章 异步电动机及其控制

9—1	概述	(29)
9—2	三相异步电动机的基本结构	(29)
9—3	旋转磁场对短路导体的作用	(33)
9—4	旋转磁场	(33)
9—5	三相异步电动机的作用原理	(38)
△ 9—6	异步电动机的定子和转子电路	(39)
9—7	异步电动机的功率和效率	(42)
9—8	异步电动机的转矩和机械特性	(43)
9—9	低压控制电器	(49)
9—10	异步电动机的起动及其控制	(59)
9—11	异步电动机的反转及其控制	(71)

9—12	异步电动机的调速及其控制	(72)
△ 9—13	异步电动机的制动及其控制	(76)
9—14	异步电动机基本控制线路综述	(81)
△ 9—15	单相异步电动机	(85)
9—16	异步电动机的铭牌	(91)
本章小结		(93)
习 题		(95)
△第十章 同步电机		
10—1	概述	(98)
10—2	同步发电机的基本结构及工作原理	(98)
10—3	同步发电机的空载运行	(101)
10—4	同步发电机的负载运行	(103)
10—5	同步发电机的特性曲线	(107)
10—6	同步发电机的并联运行	(109)
10—7	同步发电机的电磁功率和电磁转矩	(114)
10—8	同步发电机有功功率和无功功率的调整	(116)
10—9	同步电动机	(119)
10—10	同步电动机的起动	(124)
10—11	反应式同步电动机	(126)
10—12	同步电机的铭牌	(126)
本章小结		(127)
习 题		(129)
△第十一章 直流电机及其控制		
11—1	概述	(130)
11—2	直流电机的基本结构	(130)
11—3	直流电机的基本工作原理	(133)
11—4	直流电机的电势和电磁转矩	(135)
11—5	直流发电机的运行	(136)
11—6	直流电动机的机械特性	(142)
11—7	直流电动机的起动及其控制	(147)
11—8	直流电动机的反转及其控制	(150)
11—9	直流电动机的调速及其控制	(151)
11—10	直流电动机的制动及其控制	(154)
11—11	直流电机的铭牌	(157)
本章小结		(157)
习 题		(160)

△第十二章 电动机的选择

12—1	概述	(162)
12—2	电动机种类选择	(162)
12—3	电动机结构型式选择	(164)
12—4	电动机容量选择	(165)
12—5	电动机电压和转速选择	(175)

本章小结	(176)
------	-------

习 题	(177)
-----	-------

△第十三章 控制电机

13—1	概述	(178)
13—2	电机放大机	(178)
13—3	伺服电动机	(180)
13—4	测速发电机	(183)
13—5	自整角机	(186)
13—6	步进电机	(189)

(注:凡有“△”者,可根据不同专业要求选学)

第七章 变 压 器

7 - 1 概 述

变压器是一种静止的电器，用来把某一电压的交流电转变为同一频率的另一电压的交流电。也就是说变压器的作用是改变交流电的电压。由于变压器具有这种性能，所以在国民经济中得到广泛的应用，例如用于远距离的电力传输。

在输电方面用高压输电较为经济。这是因为当输送功率 $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$ 为一定值时，在负载的功率因数 $\cos \varphi$ 不变的情况下，电压 U 愈高，则输电线路上的电流 I 就愈小。这样输电线路上的功率损失 $\Delta p = I^2 R_L$ 就愈小（ R_L 为线路电阻）。若电压 U 低，则 I 就大，这样 Δp 就大。若容许线路上的功率损失为一定值时，电压愈高，电流愈小，这样就可以采用较细的输电线，节约了用铜量。因此，要想输电经济，就必须采用高压输电。

我国输电的标准等级有：0.22、0.38、3、6、10、15、20、35、60、110、154、220、330和500千伏等几种（例如淮南发电厂到合肥的输电电压为110千伏；新安江水电站到上海的输电电压为220千伏）。而发电机的端电压由于受到绝缘和制造技术的限制，目前一般不高于15.75千伏，因此要得到这样高的电压，就必须用变压器将电压升高。在用户方面，都是用低电压。因为电压低一方面用电安全，另一方面使用电设备的绝缘容易解决。因此，就必须用变压器将高电压降低。最简单的电能输送系统如图7—1所示。

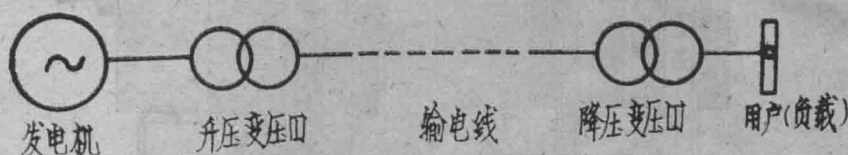


图7—1 电能输远示意图

发电机发出的交流电，先用变压器将电压升高（升压变压器），然后由高压输电线将电能输送到城市、农村或厂矿等地，再用变压器将高压电降低（降压变压器），最后送往各个具体用户。

此外，由于电源只有几种标准电压，而实际上所需要的电压是多种多样的。例如：供机床照明用的电压是36V，电子管灯丝电压为6.3V和5V等。利用变压器就能比较理想地满足实际的需要。不仅如此，变压器在整流设备、量测设备、试验设备及控制设备中都得到广泛的应用。

理论的知识来源于感性的知识，首先让我们对变压器的基本结构作一了解。

7-2 变压器的基本结构

变压器的基本结构是：一个由硅钢片迭成的闭合铁心，在铁心柱上绕了两个或多个线圈（也叫绕组），与电源联接的线圈叫原线圈（初级线圈或一次线圈），与负载联接的线圈叫付线圈（次级线圈或二次线圈）。

图7—2是最简单的变压器的基本结构示意图。图中 N_1 表示原线圈的匝数， N_2 表示付线圈的匝数， u_1 表示加在原线圈上的电压， u_2 表示变压器供给负载的电压。

若原电压低于付电压（ $U_1 < U_2$ ）则在这种情况下运行的变压器称为升压变压器。若相反（ $U_1 > U_2$ ），称为降压变压器。

按照相数，变压器有单相和三相变压器。

按照绕组的数目，变压器有双绕组、三绕组和多绕组变压器。

按照线圈和铁心的放置方式，变压器有心式和壳式变压器，如图7—3、图7—4所示。

在图7—2的变压器基本结构示意图中，为了表示清晰起见，将原、付线圈分别画在两个铁心柱上，而实际上，为了加强两个线圈间的电磁耦合，两个彼此绝缘的线圈是套装在同一

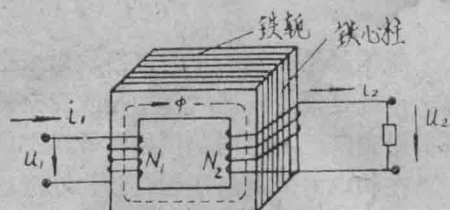
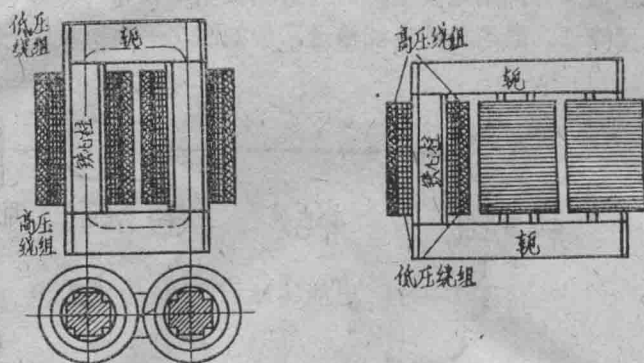


图7—2 变压器基本结构示意图



(a) 单相

(b) 三相

图7—3 单相和三相心式变压器

个铁心柱上的，线圈与铁心之间也是绝缘的。为了减少铁心内的磁滞与涡流损耗（统称为铁损耗），故铁心是由硅钢片迭压而成。

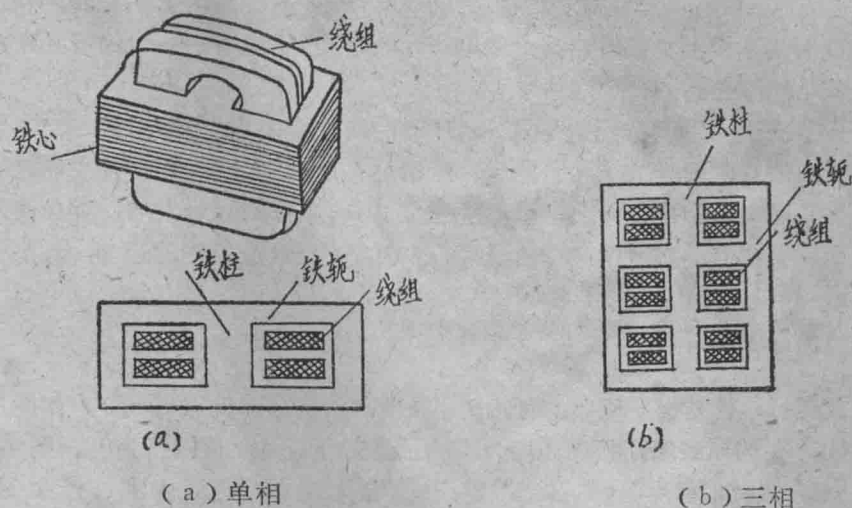


图7—4 单相和三相壳式变压器

尽管变压器的外形各式各样但最基本的结构是铁心和线圈，称为变压器的器身。

其它一些东西如油箱、冷却管、油枕、瓷瓶等都是为了使变压器能正常工作而附设的。

图7—5是一台电力变压器的外形图。

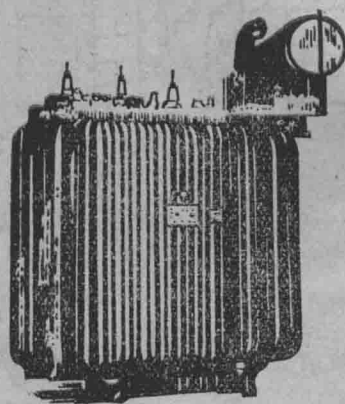


图7—5 电力变压器的外形图

通过变压器基本结构的讨论，我们知道：变压器原、付线圈各自组成闭合电路，原、付线圈之间虽然没有电的直接联系，但由铁心把它们有机地联系在一起。这种电→磁→电的联系，就是变压器之所以能够变压的根本原因。

7-3 变压器的工作原理

如果在图7—2所示的变压器原线圈两端加上交流电压 u_1 时，则原线圈中便有交流电

流 i_1 ，交流电流 i_1 在铁心中产生交变的磁通 Φ ，这个交变的磁通 Φ 在付线圈中产生感应电势 e_2 ，当在付线圈两端接上负载时，就产生电流 i_2 ，通过这种电→磁→电的相互联系，就把一个电路的交流电能传递到另一个电路中去。

研究变压器的运行原理，就是要分析变压器的输入量 u_1 、 i_1 和输出量 u_2 、 i_2 之间是如何互相联结、互相依赖、同时又是互相排斥、互相对立的一些矛盾问题。毛主席教导说：“不论对于自然界方面、对于社会方面，也都是一步一步地由低向高级发展，即由浅入深、由片面到更多方面。”我们不妨遵循这一教导，首先研究变压器最简单的运行状态——空载运行。

一、空载运行

所谓空载运行，就是指变压器的付线圈不接负载的情况，此时 $i_2 = 0$ ，如图7—6所示。

若将匝数为 N_1 的原线圈，接向频率为 f 的正弦交流电网，其电压为 u_1 ，则在原线圈中有交流电流 i_1 ，设此时 $i_1 = i_0$ (i_0 称空载电流或激磁电流)，磁通势 $N_1 i_0$ 产生磁通，可分为二部分，其中绝大部分是通过铁心而闭合，它不但穿过原线圈同时也穿过付线圈，称为变压器的工作磁通或主磁通 Φ ；另一极少部分仅穿过线圈本身称为原线圈的漏磁通 Φ_{s1} 。由于 Φ_{s1} 的路径大部分是经空气而闭合，故 Φ_{s1} 比 Φ 小得多。

若不计变压器的漏磁作用，根据基尔霍夫定律可列出原线圈的电压方程式：

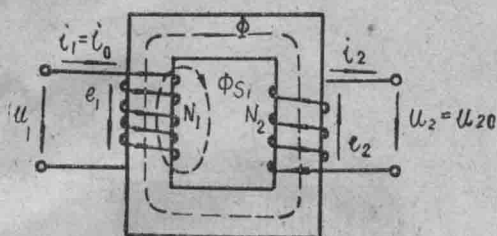


图7—6 变压器空载运行原理图

$$u_1 = r_1 \cdot i_0 - e_1 \quad (7-1)$$

式中 r_1 为原线圈的电阻，在一般情况下 r_1 很小，而空载时的 i_0 也很小，故 $r_1 i_0$ 可以忽略，即得

$$u_1 = -e_1$$

用相量表示

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 \quad (7-2)$$

当外加电压 u_1 为正弦时，则产生的主磁通 Φ 应为正弦交变磁通，设

$$\Phi = \Phi_m \cdot \sin \omega t$$

由于该磁通穿过原、付线圈根据电磁感应定律，在原、付线圈中产生感应电势的瞬时值 e_1 和 e_2 分别为

$$\begin{aligned}
 e_1 &= -N_1 \frac{d\phi}{dt} = -N_1 \frac{d}{dt} (\Phi_m \cdot \sin \omega t) = -\omega N_1 \Phi_m \cdot \cos \omega t \\
 &= 2\pi f N_1 \Phi_m \cdot \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) = E_{1m} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \quad (7-3)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_2 &= -N_2 \frac{d\phi}{dt} = -N_2 \frac{d}{dt} (\Phi_m \cdot \sin \omega t) \\
 &= 2\pi f N_2 \Phi_m \cdot \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) = E_{2m} \cdot \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \quad (7-4)
 \end{aligned}$$

由上两式可知，在原、付线圈中产生感应电势的最大值为

$$E_{1m} = 2\pi f N_1 \Phi_m$$

$$E_{2m} = 2\pi f N_2 \Phi_m$$

其有效值为

$$E_1 = \frac{E_{1m}}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f N_1 \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4.44 f N_1 \Phi_m \quad (7-5)$$

同理 $E_2 = 4.44 f N_2 \Phi_m$

则 $\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = k$

K称为变压器的变压比，简称变比。

由于 $U_1 \approx E_1$

很显然，空载时付线圈的端电压

$$U_2 = U_{20} = E_2$$

则： $\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K \quad (7-6)$

由上式可知，变压器能把 U_1 变成 U_2 ，主要的原因是原、付线圈匝数的不等，因此，当我们在电工实践中若知道了变压器原、付线圈的电压和一个线圈的匝数，那么，另一个线圈的匝数就可通过计算来确定。例如：一只照明用的安全变压器的电压为380/36伏，付线圈的匝数为162匝，求原线圈的匝数。

$$\therefore \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{380}{36} = \frac{N_1}{162}$$

$$N_1 = \frac{380 \times 162}{36} = 1708 \text{ 匝}$$

由式(7—2)和(7—5)可知, $U_1 \approx E_2 = 4.4fN_1\Phi_m$, 该式说明当变压器的原线圈所加电压的数值和频率不变时, 则在铁心中的磁通 Φ 保持近似不变的数值(不论付线圈的工作情况如何)。因此产生此磁通的磁通势 $N_1 i_0$ 也是近似保持不变的数值。这是十分重要的结论。

二、负载运行

将上面所讨论的空载变压器付边接上负载, 则在付线圈的电路中就有电流 i_2 , 如图7—7所示。付电流也会产生磁通势 $N_2 i_2$, 它将企图改变主磁通 Φ 。但是, 当原线圈外加电压 U_1 的数值和频率 f 不变时, 主磁通 Φ 是近似保持不变的。于是当付边有磁通势 $N_2 i_2$ 出现, 原边也必然产生一相应的磁通势 $N_1 i_1$, 以抵消付边磁通势的作用, 从而才能使主磁通 Φ 保持近似不变。这就是说变压器的负载运行和空载运行时的主磁通是近似相等的。即

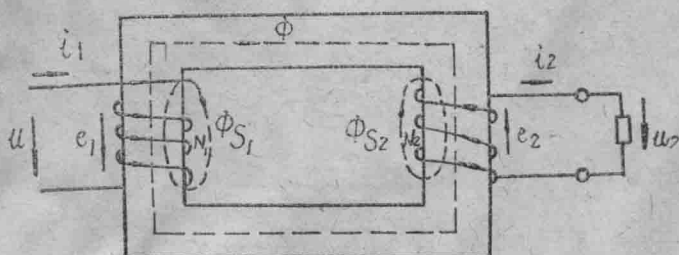


图 7—7

$$N_1 i_1 + N_2 i_2 = N_1 i_0 \quad (7-7)$$

此式称为变压器的磁势平衡方程式。用相量表示:

$$N_1 \dot{I}_1 + N_2 \dot{I}_2 = N_1 \dot{I}_0 \quad (7-8)$$

或

$$\dot{I}_1 + \frac{1}{K} \dot{I}_2 = \dot{I}_0$$

磁势平衡方程式是反映变压器内部规律(内因)的。方程式说明了变压器付边量对原边量的影响, 是通过付边的磁通势 $N_2 \dot{I}_2$ 对原边起作用的。即当付边电流 $\dot{I}_2$ (或磁通势 $N_2 \dot{I}_2$) 如果有所改变时, 也就是变压器的输出能量有所改变时, 与此同时必然发生原边电流 $\dot{I}_1$ (或磁通势 $N_1 \dot{I}_1$) 有相应的改变, 也就是变压器自电网吸取的能量有相应的改变。这种情况表明, 通过变压器的电磁感应作用, 电网与负载之间发生了能量的转移, 电能自电网通过变压器输送给了负载。当然, 变压器的运行情况, 还要依外因条件而定。当外因起了变化, 如变压器负载的增减、相位的变化, 则原边必有相应输入量的增减和相位的变化。付边空载, 原边仅输入所需的激磁能量。

在一般情况下, 变压器的空载电流 I_0 很小, 因而可以忽略, 此时(7—8)式可写成

$$N_1 \dot{I}_1 + N_2 \dot{I}_2 = 0$$

在数值上

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{1}{K} \quad (7-9)$$

上式表明，变压器在负载情况下，原、付边的电流与线圈的匝数成反比，所以变压器又可起到变流的作用。

此外，变压器还可以用来作阻抗变换器。这可由图7—8予以说明，若在变压器的付边接上阻抗为 Z 的负载，则付边电压、电流和阻抗关系为

$$Z = \frac{U_2}{I_2}$$

此阻抗反映在变压器的原边，其值应为

$$Z' = \frac{U_1}{I_1}$$

但 $U_1 = KU_2$, $I_1 = \frac{1}{K} I_2$

所以

$$Z' = \frac{U_1}{I_1} = \frac{KU_2}{\frac{1}{K} I_2} = K^2 \frac{U_2}{I_2}$$

即 $Z' = K^2 Z \quad (7-10)$

变压器的这一阻抗变换作用常用于电子技术中。

关于变压器原边和付边电路的电压方程式，可由基尔霍夫第二定律得出，其相量的表达式为

$$\dot{U}_1 = Z_1 \dot{I}_1 - \dot{E}_1$$

$$\dot{U}_2 = -Z_2 \dot{I}_2 + \dot{E}_2 \quad (7-11)$$

式中 Z_1 、 Z_2 分别是原线圈和付线圈的阻抗。式(7—11)和(7—8)联系，称为变压器的电磁基本方程式。有了该方程式，就可以对变压器原边和付边各物理量之间的关系进行运算。

以上我们简单介绍了变压器的工作原理，那么变压器运行的好坏以什么来衡量呢？

7-4 变压器的运行性能

变压器的运行性能主要是由变压器的效率和电压调整率来衡量。效率是变压器运行经济性的指标；电压调整率是变压器运行时付边电压稳定性的指标。

变压器的效率是它的输出功率 P_2 和输入功率 P_1 之比的百分数。

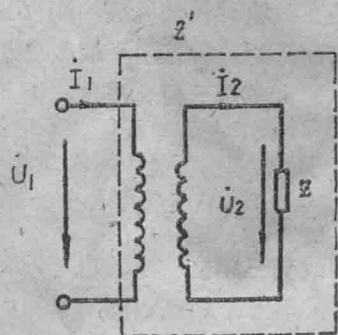


图7—8 变压器变换阻抗原理说明图

即

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100\% \quad (7-12)$$

而 $P_1 - P_2$ 就是变压器的损耗，包括铜损耗和铁损耗。由于变压器是静止不动的，因此无机械损耗，效率很高，大容量变压器的效率可达99%左右。

变压器空载时的付边电压 U_{20} （等于付边的额定电压 U_{2e} ），加上负载以后，因为付线圈的阻抗压降，使付边的电压下降，则从空载到额定负载，付边电压变化的百分数为

$$\Delta U = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} 100\% = \frac{U_{2e} - U_2}{U_{2e}} 100\% \quad (7-13)$$

式中， U_2 为额定负载时付边电压。此 ΔU 称为变压器的电压调整率或电压变化率，它反映了变压器在负载时付边电压的变化程度。通常， ΔU 愈小愈好（电焊变压器除外）。

前面所讨论的是用于改变单相交流电的变压器，叫做单相变压器。由于现在交流电的输送和分配大多是三相交流电，因此需用三相变压器。

7-5 三相变压器

要改变三相交流电的电压，可采用如下两种方法。

1. 用三个规格相同的单相变压器作三相联接，成为三相变压器组，如图7-9所示。

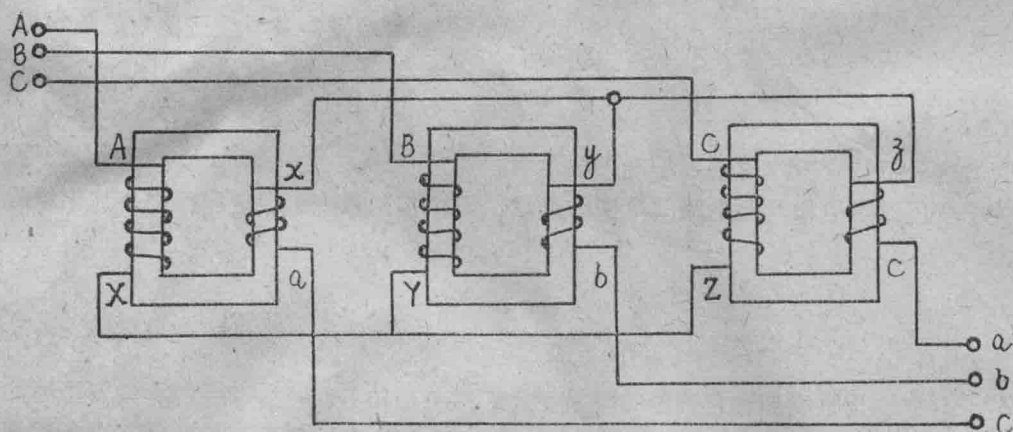


图7-9 三相变压器组原理图

2. 用一只具有三个铁心柱的，并在每一铁心柱上绕有原、付线圈，作三相联接，而成三相变压器，如图7-10所示。

通常将高压线圈的始端标以A、B、C，末端标以X、Y、Z；低压线圈的始端标以a、b、c，末端标以x、y、z，以示区别。

实际上，三相铁心变压器的结构是从三相变压器组发展而来，如图7-11所示。为了缩

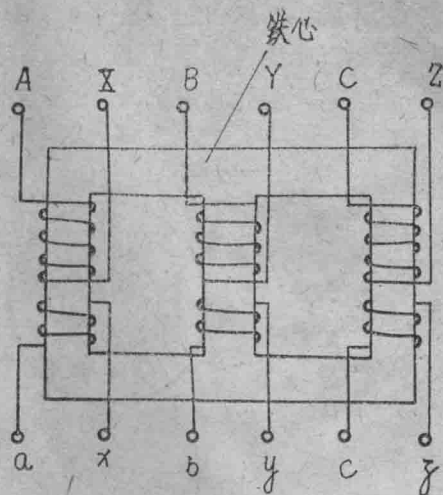


图 7—10 三铁心柱变压器原理图

小三只单相变压器所占的空间起见，将三只单相变压器放置如图 (a)。又为了节省铁心所需的材料将三只单相变压器的铁心组合在一起如图 (b)。此时三相线圈各自产生的磁通以中心铁心柱mn为公共磁路。因为输入的三相电压是对称的(即加在三相原线圈上的三相电压大

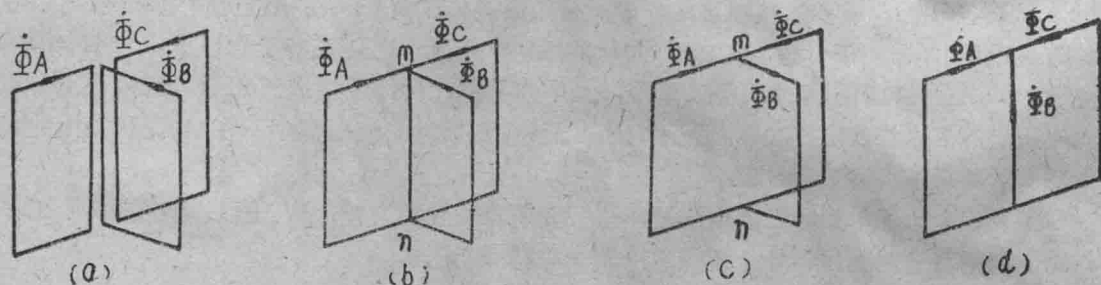


图 7—11 三铁心柱式变压器构成过程

小相等、相位互差 120°)，因此在铁心内产生三相磁通也是对称的。在这种情况下，中心铁心柱mn中的磁通为零，这样就可省去中心铁心柱mn，如图 (c)。为了制造上的方便及进一步缩小占地空间，节省铁心材料而制成三铁心柱式的，如图 (d)。

实践证明，三铁心柱变压器与三相变压器组比较、重量轻、材料省、价格便宜、占地小、效率高等优点。但是三相变压器组中的每一台单相变压器较三铁心柱变压器小，在搬运及安装上要方便，並在一相发生故障时，可以迅速调换一台，因之它的备用容量只有总重量的 $1/3$ ；而三铁心柱变压器却要一台全容量的变压器作为备用。因而一般中小容量的三相变压器用三铁心柱式，而大容量的采用三相变压器组。

三相变压器的原、付线圈均可接成星形或三角形。我国现采用Y/Y₀-12、Y/Δ-11和Y₀/Δ-11三种作为电力变压器的标准联接组。其中分子表示高压线圈的连接方式，分母表示低压线圈的连接方式，而“O”表示有中线引出，可接中线，或将中点接地使用。

由于原、付边线圈的连接方式不同，必然引起原、付边线电压的相位不同，即它们之间有相位差。在电系统中，不同相位的三相变压器不可并联使用；在电子线路中，如三相可控硅整流电路中，对其相位也有一定要求，因此必需配以适合相位要求的三相变压器，按规定相位差以 30° 算为一个单位。如 $Y/\Delta-11$ 则表示付边线电压滞后于原边线电压为 $11 \times 30^\circ = 330^\circ$ ，或者说付边线电压超前于原边线电压 30° 。如图7—12(a)，这正和时钟在“11”点钟时的长、短针位置相似。因此 Y/Y_{-12} 表示原、付边的线电压同相位，这是因为 $12 \times 30^\circ = 360^\circ$ ，如图7—12(b)，这正和时针在“12”点钟时的长短针位置相似。由此可知：

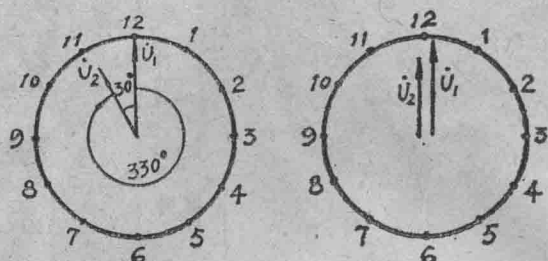


图7—12 变压器原、付边线电压相位关系表示图

1. Y/Y_0-12 ，表示原线圈接成星形，付圈也接成星形，且中点接地，原边和付边的电压同相位。这种联接方法用在付边电压为400—230伏配电变压器中，以供给动力与照明的混合负载，三相动力负载用400伏线电压，单相照明负载用230伏相电压。这种联接变压器的容量可做到1800千伏安。

2. $Y/\Delta-11$ ，表示原线圈接成星形，付线圈接成三角形，在相位上付边的线电压超前原边线电压 30° 。用于付边电压高于400伏的线路中，原边电压在35千伏以下。

3. $Y_0/\Delta-11$ 表示原线圈接成星形，且中点接地，付线圈接成三角形，在相位上付边的线电压超前于原边线电压 30° 。用于高压边需要中点接地的变压器中，在110千伏以上的高压线路中都要将中点接地。

以上我们介绍了单相和三相变压器，这种变压器一般称为普通变压器。但在实际工作中，除了使用普通的变压器外，还经常用到一些特殊变压器。

7-6 特殊变压器

在实验室中经常用到调压器，调压器就是一种特殊的变压器——自耦变压器；在测量高电压、大电流时，要用到互感器，互感器也是一种特殊的变压器；另外，工厂中也常用到交流电焊机，它也是一种特殊的变压器。这一节就是对这些特殊变压器给予简单的介绍。

一、自耦变压器

自耦变压器的结构特点是付线圈是原线圈的一部分。这种变压器主要用于联接不同电压的电力系统，但也可作普通的升压或降压变压器用。由于它比双绕组变压器成本低、重量轻、效率高、体积小故现在电力系统中应用日益增多。图7—13是一台单相自耦变压器的原理图。自耦变压器的结构特点虽然与普通变压器有所不同，但它的实质即作用原理和普通变压器是完全相同的。原线圈的匝数为 N_1 ，付线圈的匝数为 N_2 ，忽略原、付线圈的阻抗压

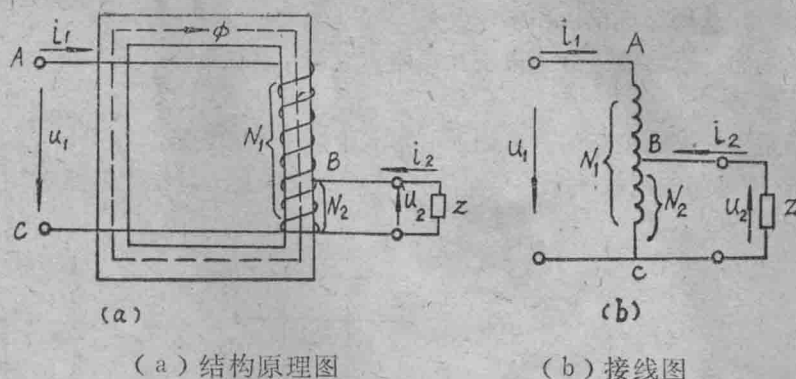


图7—13 自耦变压器结构和接线原理图

降，则原、付线圈两端的电压关系为

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K \quad (7-15)$$

图7—14为一台三相自耦变压器的原理图。

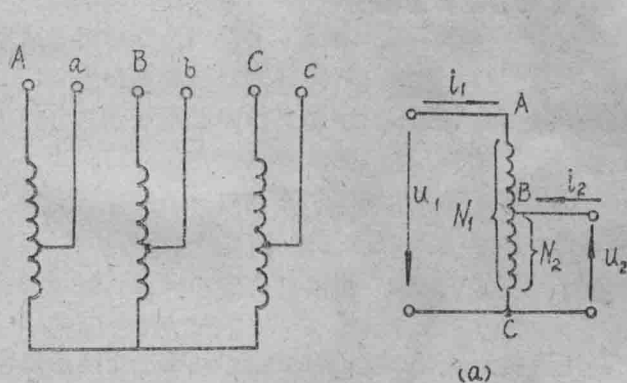


图7—14 三相自耦变压器的原理图

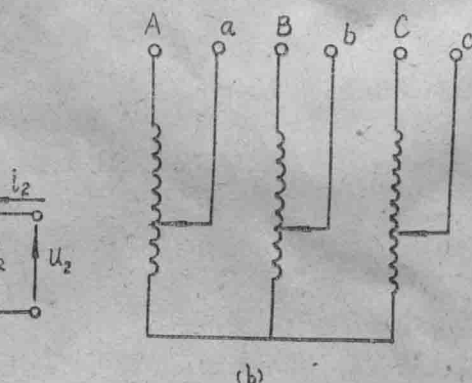


图7—15 自耦调压器原理图

自耦变压器付线圈的抽头位置改变，就可得到不同的匝数 N_2 ，当 N_1 一定时， U_2 就随 N_2 的不同而不同，即改变付线圈的抽头位置就可得到不同数值的电压 U_2 ，若进一步把付线圈的抽头位置做成可变的，（通过手柄或转盘来改变抽头的位置），如图7—15所示，象这种付线圈抽头位置可调的自耦变压器就叫做调压变压器。常用于实验室中作为可调电压的电源。

二、互感器

在测量交流电路的高电压和大电流时，电压表和电流表的量程是不够的，因此要用互感器来扩大量程。此外，直接将仪表接入高压电路，在使用上是不够安全的。使用互感器可使

仪表与高电压隔离,从而保证仪表和工作人员的安全。

根据不同的用途,互感器可分为电压互感器和电流互感器两种。

1. 电压互感器

电压互感器是用来扩大电压的测量范围,其实质是一个变压器,其外形及使用时的接线如图7—16所示。原绕组的匝数 N_1 较多,它并联在被测电路上,付绕组的匝数 N_2 较少,它与电压表相联接。

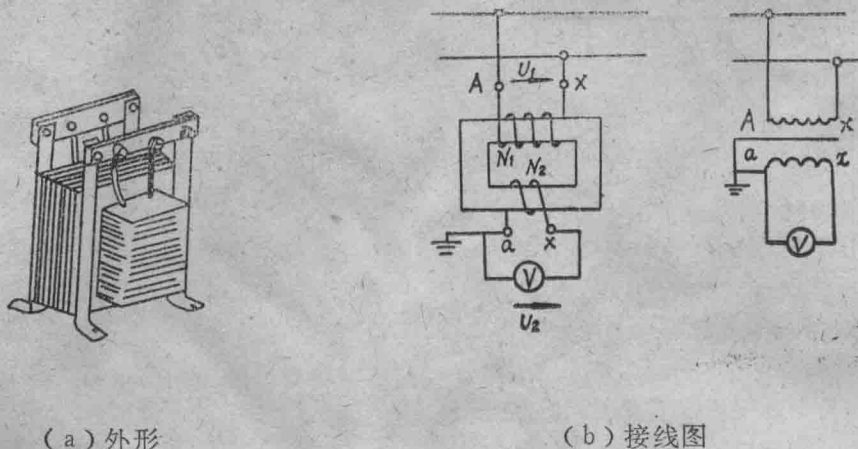


图7—16 电压互感器及其接线图

根据变压器的原理,可认为

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

或

$$U_1 = K_u U_2 \quad (7-16)$$

式中 K_u 是电压互感器的变换系数。

由上式可见,利用电压互感器可将高压变换为低压,电压表的读数 U_2 乘上变换系数 K_u 即为被测高压 U_1 (在电压表的刻度上也可直接标出被测电压值)。通常电压互感器的付绕组的额定电压都设计为100伏。

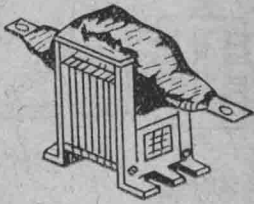
为了使用安全,电压互感器的铁心及付绕组的一端都应该接地。这样,当绕组间绝缘损坏时,可以防止联在付绕组上的仪表对地出现高电压,而危及工作人员的安全。

2. 电流互感器

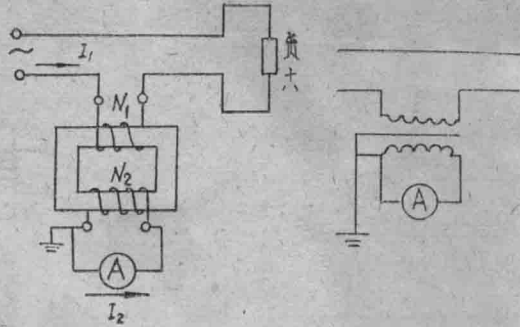
电流互感器是用来扩大电流的测量范围,其实质也是一个变压器,使用时接线如图7—17所示。原绕组的匝数 N_1 很少(只有一匝或几匝),它串联在被测电路中,付绕组的匝数 N_2 较多,它与电流表相联接。

根据器变压的原理可认为

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = K_i$$



(a) 外形



(b) 接线图

图7—17 电流互感器及其接线图

或
$$I_1 = K_i I_2 \quad (7-17)$$

式中 K_i 是电流互感器的变换系数。

由上式可见，利用电流互感器可将大电流变换为小电流，电流表的读数 I_2 乘上变换系数 K_i 即为被测大电流 I_1 （在电流表的刻度尺上也可直接标出被测电流值）。通常电流互感器付绕组的额定电流都设计为5安或1安。

为了使用安全，在使用电流互感器时必须注意下列两点：

(1) 电流互感器的铁心及付绕组的一端应该接地。

(2) 电流互感器的付绕组电路不能断开。这是因为，它的原绕组是与负载串联的，其中原绕组电流 I_1 的大小取决于负载，而不是取决于付绕组的电流 I_2 ，这点是和普通变压器不同的。因此，若将付绕组断开，则付绕组磁通势 $I_2 N_2$ 为零，原绕组的全部磁通势 $I_1 N_1$ 成为激磁磁势，使 $I_1 N_1 \gg I_0 N_1$ （在正常情况下 $I_0 N_1$ 仅为 $I_1 N_1$ 的0.5%左右），因而，铁心中的磁通急剧增加，引起电流互感器铁心的过度发热，而损坏绝缘。同时使付方感应出很高的电压，而危及工作人员的安全（在大电流的电流互感器中可达1.5KV）。因而电流互感器的付绕组电路，无论在什么情况下都不准断路，若要把仪表从电流互感器拆除，必须先把付绕组短接。

电工实际操作中常用一种钳形电流表，又称卡表，它是电流互感器的一种变形，其结构示意图如图7—18所示。由结构图可知，它是一个钳形铁心的电流互感器加上一个电流表。铁心由两块U形元件组成，可藉绝缘手柄开闭。铁心上装有一个付绕组，付绕组两端接上电流表。要测量某根导线的电流时，先压紧手柄，张开铁心，将导线钳入，则这根待测电流的导线就是互感器的原绕组，于是可从电流表上读出被测电流的数值。正因为用钳形电流表来检查正在运行的各种电气设备中的电流非常方便（因不需开断电路，接入仪表），所以它是电工操作中常用仪表之一。

三、电焊变压器

在工厂常常可以看到一种可移动式的交流电焊机，这种电焊机的主要部分是一台变压

器，它的工作原理示意如图7—19所示。

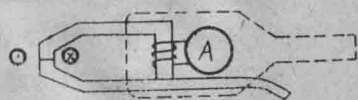


图7—18 箱形电流表

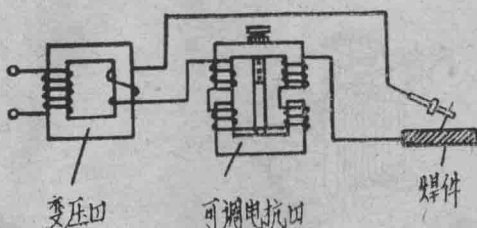


图7—19 电焊机工作原理示意图

由于电焊变压器的工作条件与普通变压器不同，因此对电焊变压器有一些特殊要求：（1）当要焊接时，这时两电极间未产生电弧，于是要求变压器付边要有较高的空载电压 U_{20} ，以保证电极间产生电弧（点火）；（2）在进行电焊时，要求两电极间的电压不要太高，以免电流过大，烧坏工件和难于操作；（3）为了保证焊件质量和便于人手控制，希望焊接时电流比较稳定；（4）能根据工作的具体情况，调节工作电流的大小；（5）电焊机两极短路时，短路电流不能过大，以免烧毁变压器及可能发生的某种事故。

以上的这些要求，若全靠人手控制是无法达到的。例如人手控制就很难保证两电极间的距离一定，距离改变，电极间的电阻 R 改变，电流也就跟着改变，达不到电流比较稳定的要求。因此，要达到上述的几个要求，电焊机中除了变压器以外尚需要有其它部件。图7—19就是这种电焊机的示意图。它是利用一个可调电抗器来达到这些要求的。

这种电焊机是这样工作的：当未点火时，变压器空载，付边无电流，电抗上无压降，二电极间电压 U_{20} 最高，一般达到60~100伏，以便于产生电弧；当产生电弧后，有了电流，则电抗上有压降 $U_x = IX_L$ ，由于电抗 X_L 大，当 $X_L \gg R$ （ R 为两极间电弧的电阻）时，电流受两极间距离变化（电阻变化）的影响较小，即电流比较稳定；要调节工作电流，可调节电抗器空气隙的长度，以改变电抗的数值，从而达到改变工作电流的目的；当发生短路时，可由电抗器来限制短路电流，不使过大。

从以上对三种特殊变压器的简单介绍可知，特殊变压器的种类和型式是多种多样的，但它们的基本工作原理是相同的，只是它们所要完成的任务及工作场合不同，而各有其特点。

7-7 变压器铭牌

每一台变压器都有一铭牌，上面记载着下列各项：

1. 额定容量 S_e ，伏安或千伏安；
2. 额定电压 U_{1e}/U_{2e} ，伏或千伏；
3. 额定电流 I_{1e}/I_{2e} ，安；
4. 频率 f ，赫芝；
5. 相数；
6. 联接组别或接线图；