

煤礦安全工手冊

第一分冊

电机与电器

THE
MOUNTAIN
VIEW
SCHOOL
DISTRICT

1914-15

第八章 变 压 器

第一节 概 述

变压器是一种常见的电气设备,它经由电磁感应作用,能把交流电源一种等级电压在同一频率下变换为另一种等级电压。由于它有这一作用,在发电站常将交流发电机的出口电压用变压器予以升高,作经济地远距离输送到负荷中心;在负荷中心又常装设一级或若干级变压器将发电站送来的高压交流电源变换到便于经济分配和直接使用的较低电压的交流电源。变压器还有其他种种作用,如供电炉、整流、电焊和电气测量等特殊用途而制造的特种变压器。

变压器一般分电力变压器和特种变压器两大类。

矿用变压器是为适应煤矿生产对变压器结构提出特殊要求的特种变压器。

矿用变压器又分矿用油浸变压器和矿用干式变压器两种;前者是充油不隔爆,后者隔爆不充油。

近期,制造厂为提高煤矿采区工作电压和缩短供电距离而特殊设计生产矿用隔爆型移动变电站。

煤矿地面用变压器就是一般的电力变压器;本章侧重叙述电力变压器和煤矿井下常用

表 8-1-1 电力变压器分类及型号意义

型号中代表符号 排列顺序	分 类	类 别	代 表 符 号	
			新	旧
1	线圈耦合方式	自 耦	O	—
2	相 数	单 相 三 相	D S	D S
3	冷却方式	油浸自冷 干式空气自冷 干式浇注绝缘 油浸风冷 油浸水冷 强迫油循环风冷 强迫油循环水冷	— G C F W ^① FP SP	J — — F S FP SP
4	线 圈 数	双 线 圈 三 线 圈	— S	— S
5	线圈导线材质	铜 铝	— L	— L
6	调压方式	无激磁调压 有载调压	— Z	— Z

① 或用符号“S”表示。

型号后面可以加注防护类型代号,如:湿热带TH、干热带TA等。

的各型矿用变压器。

电力变压器的分类和型号意义见表8-1-1。矿用变压器的分类和型号意义见表8-1-2。

表 8-1-2 矿用变压器分类及型号意义

型号中代表符号 排列顺序	分 类	类 别	代 表 符 号	
			新	旧
1	用 途	矿 井 用	K	K
2	相 数	单 相 三 相	D S	D S
3	冷却种类	油浸自冷 空气自冷	— G	J G
4	线圈导线材质	铜 铝	— L	— L

标准系列电力变压器按表 8-1-1 所列代表符号顺序书写，组成其基本型号，其后以短横隔开，加注额定容量（千伏安）/高压线圈电压等级（千伏），即成电力变压器型号。如：

SJL-560/10 表示为三相油浸自冷铝线圈变压器，额定容量为 560 千伏安，一次侧电压等级为 10 千伏。

标准系列矿用变压器按表 8-1-2 所列符号顺序书写，组成其基本型号，其后以短横隔开，加注额定容量（千伏安）/高压额定电压等级（千伏），即成矿用变压器型号。如：

KSL-200/6 表示为三相油浸自冷铝线圈矿用电力变压器，额定容量为 200 千伏安，一次侧电压等级为 6 千伏。

一、基本工作原理

变压器的工作原理直接导源于电磁感应定律。现在用图 8-1-1 单相双线圈变压器简述如下：

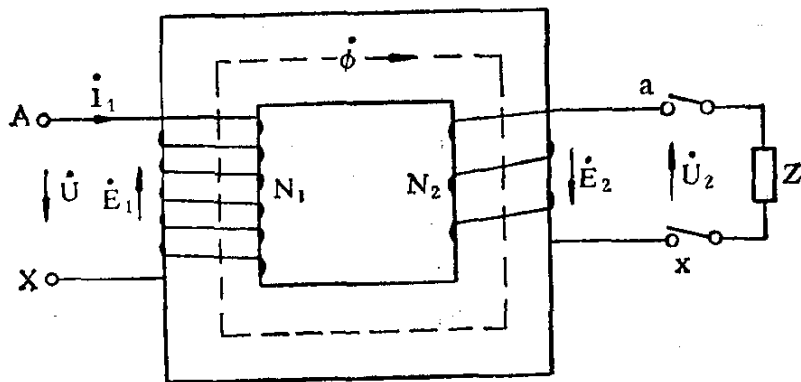


图 8-1-1 变压器工作原理图

在一个由彼此绝缘的硅钢片迭成的闭合铁心上套上两个彼此绝缘的线圈 N_1 及 N_2 ，则铁心构成导磁回路，线圈构成导电回路。如果在某一线圈如 N_1 的两端 AX 施加某一交流电压 \dot{U}_1 ，则在该线圈中将流过一交流电流 \dot{I}_1 ，在这个交流电流 \dot{I}_1 的作用下，在铁心中将激励起一交变磁通 ϕ ，这个交变磁通 ϕ ，就在这

两个线圈中感应出交流电势 \dot{E}_1 及 \dot{E}_2 ，从而使这两个线圈发生电磁的耦合， \dot{E}_1 一般称为自感电势， \dot{E}_2 称为互感电势。在线圈 N_1 的两端 AX 施加一交流电压 \dot{U}_1 ，而线圈 N_2 的两端 ax 为开路时，则线圈 N_1 中所流过的电流 \dot{I}_1 ，通称空载电流，一般用 \dot{I}_0 来表示。如果外施电压是正弦波，铁心没有饱和，则磁通 ϕ 、感应电势 \dot{E}_1 、 \dot{E}_2 也是正弦波；这时的变压器叫空载运行。

变压器空载运行时电势有效值:

$$U_1 \approx E_1 = 4.44fN_1\phi_m \times 10^{-8} \quad (8-1-1)$$

$$U_2 = E_2 = 4.44fN_2\phi_m \times 10^{-8} \quad (8-1-2)$$

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K_{12} \quad (8-1-3)$$

式中 K_{12} ——变压比;

f ——电源频率, 赫;

ϕ_m ——磁通最大值;

N_1, N_2 ——一次、二次线圈匝数。

从式(8-1-3)可知: 一次、二次电压与其线圈匝数成正比, 适当选择一、二次线圈匝数比, 就可把一次电压变换为所需要的二次电压。

当线圈 N_1 的两端AX施加一交流电压 \dot{U}_1 的同时, 线圈 N_2 的两端ax接上某一负载Z, 则在线圈 N_2 与负载所构成的闭合电路中将有交流电流 \dot{I}_2 通过。按楞次定律: 电流 \dot{I}_2 将要减少铁心内的磁通, 即减少两个线圈的感应电势, 这样, 就使得线圈 N_1 中电流由 i_0 (空载电流)增加到 i_1 , 以平衡电流 \dot{I}_2 的祛磁作用, 从而保持铁心中的磁通不变, 两个线圈的感应电势也不变, 这样, 就实现了由电源向负载变换交流电压输送交流电能的作用。这时的变压器在负载运行。

变压器负载运行时一、二次线圈磁势平衡, 即:

$$I_1 N_1 = I_2 N_2$$

或
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{K_{12}} \quad (8-1-4)$$

从式(8-1-3)及式(8-1-4)可得出:

$$U_1 I_1 = U_2 I_2 = S \quad (8-1-5)$$

当变压器一、二次侧电压、电流均为额定值时, 则变压器容量即为额定容量, 以 S_N 表示。即:

$$S_N = U_{1N} I_{1N} = U_{2N} I_{2N} \quad (8-1-6)$$

二、运行性能

(一) 电压变动率

变压器负载运行时, 由于有阻抗电压, 二次电压将随二次电流和功率因数的改变而改变。其变动率:

$$e\% = \frac{U_{2N} - U_2}{U_{2N}} \times 100 \quad (8-1-7)$$

式中 U_{2N} ——额定二次电压;

U_2 ——负载时二次电压。

如变压器的电阻电压百分数 u_r 及电抗电压百分数 u_x 为已知时, 则电压变动率可按不同的负载系数 β 和负载功率因数 $\cos \varphi_2$ 利用如下公式计算:

$$e\% = \beta(u_r \cos \varphi_2 + u_x \sin \varphi_2) + \frac{\beta^2(u_x \cos \varphi_2 - u_r \sin \varphi_2)^2}{200} \quad (8-1-8)$$

上式中，后一项数值较小，如不需特殊精确计算，则式(8-1-8)可简化为：

$$\varepsilon\% = \beta(u_r \cos\varphi_2 + u_x \sin\varphi_2) \quad (8-1-9)$$

式中 β ——负载系数， $\beta = \text{输出容量}/\text{额定容量}$ ；

$\sin\varphi_2 = \pm\sqrt{1 - \cos^2\varphi_2}$ ，滞后电流（感性负载）取正值，超前电流（容性负载）取负值。

电压变动率是衡量变压器质量好坏的指标之一，当变压器阻抗电压百分数为一定时，其电压变动率主要与负载功率因数有关。当 $\cos\varphi_2 = 1$ 时，电压变动率最小， $\cos\varphi_2$ 较小时，电压变动率主要取决于 u_x ，大型变压器的 u_x 较大，因而电压变动率也较大。

〔例1〕某变压器，电压为 $6300 \pm 5\%$ / 380 伏，已知 $u_r = 2\%$ ， $u_x = 6\%$ ，（ $u_k = 6.32\%$ ）；试算该变压器在一次电压为 $6300 + 5\%$ 伏、负载电流为其额定电流 90% 、 $\cos\varphi_2 = 0.8$ 的情况下负载运行时二次电压变动率。

解： $\because \cos\varphi_2 = 0.8$ ， $\therefore \sin\varphi_2 = \pm\sqrt{1 - \cos^2\varphi_2} = \pm\sqrt{1 - 0.8^2} = \pm 0.6$

$$\beta = \text{负载系数} = \frac{0.9I_{1N}U_{1N}}{1.05U_{1N}I_{1N}} = 0.857$$

$$\beta^2 = 0.857^2 = 0.735$$

当负载为感性时，电流滞后，取 $\sin\varphi_2 = 0.6$ 按式(8-1-8)则：

$$\begin{aligned} \varepsilon\% &= \beta(u_r \cos\varphi_2 + u_x \sin\varphi_2) + \frac{\beta^2(u_x \cos\varphi_2 - u_r \sin\varphi_2)^2}{200} \\ &= 0.857(2 \times 0.8 + 6 \times 0.6) + \frac{0.735(6 \times 0.8 - 2 \times 0.6)^2}{200} \\ &= 4.46 + 0.0476 = 4.5076 \approx 4.5 \end{aligned}$$

如按式(8-1-9)计算，则得：

$$\varepsilon\% = 4.46 \approx 4.5$$

由此说明，按式(8-1-8)与按式(8-1-9)计算电压变动率，其误差极小。

当负载为容性时，电流超前，取 $\sin\varphi_2 = -0.6$ ，按式(8-1-8)则：

$$\begin{aligned} \varepsilon\% &= \beta(u_r \cos\varphi_2 + u_x \sin\varphi_2) + \frac{\beta^2(u_x \cos\varphi_2 - u_r \sin\varphi_2)^2}{200} \\ &= 0.857(2 \times 0.8 - 6 \times 0.6) + \frac{0.735(6 \times 0.8 + 2 \times 0.6)^2}{200} \\ &= -1.714 + 0.132 = -1.582 \approx -1.6 \end{aligned}$$

如按式(8-1-9)计算，则得：

$\varepsilon\% = -1.714 \approx -1.7$ 此值与按式(8-1-8)计算的 $\varepsilon\% = -1.6$ ，相差亦仅及 6% 。

从此例可以看出：当负载为容性时，电压变动率有可能得负值，即当负载为容性，在一次电压 U_1 不变的情况下，变压器由空载运行过渡到负载运行，二次电压有可能不但不降低，反而能升高。

(二) 效率

变压器效率为变压器输出的有功功率 P_2 与输入的有功功率 P_1 之比，以百分数表示。即：

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100 \quad (8-1-10)$$

负载运行时, P_2 与负载系数 β 和负载功率因数 $\cos\varphi_2$ 有关。如略去变压器阻抗电压的影响, 则效率为

$$\eta = \left(1 - \frac{P_0 + \beta^2 P_K}{\beta S_N \cos\varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_K} \right) \times 100 \quad (8-1-11)$$

式中 P_0 ——变压器空载损耗;

P_K ——变压器短路损耗;

S_N ——变压器额定容量。

通常变压器效率, 中小型的约在95~98%的范围内, 大型的一般在99%以上。

如 $\cos\varphi_2$ 为已定, 则式 (8-1-11) 里仅负载系数 β 是可变的, 当 $\frac{d\eta}{d\beta} = 0$ 时, 得:

$$\beta = \sqrt{\frac{P_0}{P_K}} \quad (8-1-12)$$

即当 $\beta = \sqrt{\frac{P_0}{P_K}}$ 时, 将此值代入式 (8-1-11), 所得变压器效率 η 为最大。

[例 2] 某三相变压器, 100千伏安、6000/380 伏、50赫, $P_0 = 0.6$ 千瓦, $P_K = 2.4$ 千瓦, $\cos\varphi_2 = 0.8$, 试算这台变压器负载系数 β 为何值时, 它的效率是最大。

解: 按式 (8-1-12) 得: $\beta = \sqrt{\frac{P_0}{P_K}} = \sqrt{\frac{0.6}{2.4}} = \frac{1}{2}$ 。即当 $\beta = \frac{1}{2}$ 时, 这台变压器效率为最大。此时效率按式 (8-1-11) 得:

$$\eta = \left(1 - \frac{P_0 + \beta^2 P_K}{\beta S_N \cos\varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_K} \right) \times 100 = \left(1 - \frac{0.6 + 0.5^2 \times 2.4}{0.5 \times 100 \times 0.8 + 0.6 + 0.5^2 \times 2.4} \right) \times 100 = 97.1$$

三、主要技术参数

变压器的主要技术参数一般都标注在变压器的铭牌上, 它包括:

(一) 额定容量

变压器的额定容量是指制造厂所规定的、并标志在铭牌上的额定工作状态 (额定电压、额定频率、额定负荷、额定使用条件下的工作状态) 下变压器输出能力的保证值, 以千伏安表示。

根据 GB1094-71 规定, 今后生产的三相电力变压器额定容量等级基本上是按 $\sqrt[10]{10}$ 的倍数增加, 即所谓 R_{10} 容量系列; 它们具体容量等级是: 10, 20, 30, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630 (以上通称为小型变压器) 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000, 6300 (以上通称为中型变压器), 8000, 10000, 12500, 16000, 20000, 25000, 31500, 40000, 50000, 63000 (以上通称为大型变压器, 以后通称为特大型变压器), 80000, 100000, 125000 千伏安等。

在上述国标中同时还规定: 组成三相组的单相变压器容量等级是: 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 130, 170, 210, 270, 330, 420, 530, 670, 830, 1050, 1330, 1670, 2100, 2670, 3330, 4170, 5330, 6670, 8330, 10500, 13300, 16700, 21000, 26700, 33300, 41700 千伏安等。

从前生产的旧系列三相变压器是按 $\sqrt[8]{8}$ 的倍数增加, 即所谓 R_8 容量系列; 它们具体

3-8-6 变压器、高低压电器及特殊电机

容量等级是：10, 20, 30, 50, 75, 100, (135), 180, (240), 320, (420), 560, 750, 1000, (1350), 1800, (2400), 3200, (4200), 5600, 7500, 10000, 15000, 20000, 31500, 45000, 60000千伏安。

旧系列单相变压器容量等级是：5000, 6667, 10500, 15000, 20000, 30000千伏安。

根据JB619-75规定：

矿用电力变压器容量等级：50, 100, 200, 315, 400, 500, 630千伏安。

矿用电钻（干式）变压器容量等级：1.6, 2.5, 4.0千伏安。

矿用照明（干式）单相变压器容量等级：0.5, 1.0, 1.6千伏安。

早期生产的矿用电力变压器容量等级有：20, 30, 50, 75, 100, 135, 180, 240, 320千伏安。

早期生产的隔爆型干式电钻及照明变压器容量等级有：2.5, 4.0千伏安。

在煤矿还有矿用隔爆型移动变电站，其容量等级有：100, 200, 315, 500, 630千伏安。

(二) 额定电压

变压器的额定电压是指标志在铭牌上的变压器（包括自耦变压器）各线圈在空载时额定分接下端子间电压的保证值。对于三相变压器（包括自耦变压器）额定电压系指线电压，以伏或千伏表示。

1. 电力变压器线圈额定电压 (GB1094-71)

1) 高压线圈（千伏）：6, 6.3, 10.5 (Y接线)；35, 38.5, (40), (44), 60, 66 (Y或Y₀接线)……

2) 中压线圈（千伏）：11, 38.5, (44), 66 (Y₀接线)……

3) 低压线圈（千伏）：0.4 (Y₀接线)；3.15, 3.3, 6.3, 6.6, 10.5, 11, 13.8, 15.75, 18 (△接线)；38.5, (44)(△, Y或Y₀接线)

2. 矿用变压器线圈额定电压 (JB619-75)

1) 高压线圈（伏）：矿用照明(单相)变压器：380, 660, 1140, 660/380（指线圈有抽头时）；矿用电钻变压器：660/380 (Y/△)，1140/660 (Y/△)；矿用电力变压器：6000, (3000) (Y接线)

2) 低压线圈（伏）：矿用照明(单相)变压器：127；矿用电钻变压器：127, (133) (△接线)；矿用电力变压器：690/400 (Y/△)，1200/690 (Y/△接线)

3. 无激磁调压变压器电压分接范围 (GB1094-71)

1) 容量在6300千伏安及以下的高压线圈

$$U = U_N \pm 5\% \quad \text{或} \quad U = U_N \pm \frac{0}{2} \times 5\%$$

2) 容量在8000千伏安及以上的高压线圈

$$U = U_N \pm 5\% \quad \text{或} \quad U = U_N \pm 2 \times 2.5\%$$

3) 三线圈变压器的中压线圈

$$U = U_N \pm 5\%$$

式中 U——相应各分接位置的工作电压。

4. 矿用电力变压器高压线圈分接范围 (JB619-75)

$$U = U_N \pm 5\%$$

式中 U——相应各分接位置的工作电压。

(三) 额定电流

变压器的额定电流是指变压器的额定容量除以各线圈的额定电压所计算出来的线电流值（三相时，尚应除以系数 $\sqrt{3}$ ）以安表示。即：

$$\text{对单相变压器: } I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}}, \quad I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}}$$

$$\text{三相变压器: } I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{1N}}, \quad I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{2N}}$$

(四) 额定频率

50赫（周/秒）的频率被采用为额定频率。

(五) 额定性能数据

变压器额定性能数据一般指空载损耗、短路损耗、空载电流和阻抗电压等。

额定性能数据在JB500-64、JB619-65及JB614-75中分别规定如表8-1-3~表8-1-9所示。

表 8-1-3 三相双线圈变压器额定性能数据 (JB500-64)

额定容量 kVA	线圈额定电压的最大限度 kV		损 耗 W		阻抗电压占额 定电压的%	空载电流占额定 电流的%
	高 压	低 压	额定电压时 空载损耗	额定负载时短路 损耗(75℃)		
1	2	3	4	5	6	7
10	6.3	0.4	105	335	4.5	10
	10	0.4	140	335	4.5	10
20	6.3	0.4	180	600	4.5	9
	10	0.4	220	600	4.5	10
30	6.3	0.4	250	850	4.5	8
	10	0.4	300	850	4.5	9
50	6.3	0.4	350	1325	4.5	7
	10	0.4	440	1325	4.5	8
	35	0.4	540	1325	6.5	9
75	6.3	0.4	490	1875	4.5	6.5
	10	0.4	590	1875	4.5	7.5
100	6.3	0.4	600	2400	4.5	6.5
	10	0.4	730	2400	4.5	7.5
	35	0.4	900	2400	6.5	8
135	6.3	0.4	830	3070	4.5	6.5
	10	0.4	1000	3150	4.5	7.5
180	6.3	0.4	1000	4000	4.5	6
	10	0.4	1200	4100	4.5	7
	10	3.15	1500	4100	5.5	8
	35	10.5	1500	4100	6.5	8
240	6.3	0.4	1400	4900	4.5	6
	10	0.4	1600	5100	4.5	7
320	6.3	0.4	1600	6070	4.5	6
	10	0.4	1900	6200	4.5	7
	10	3.15	2300	6200	5.5	7.5
	35	10.5	2300	6200	6.5	7.5

续表

额定容量 kVA	线圈额定电压的最大限值 kV		损 耗 W		阻抗电压占额 定电压的%	空载电流占额定 电流的%
	高 压	低 压	额定电压时 空载损耗	额定负载时短路 损耗(75℃)		
1	2	3	4	5	6	7
420	10	0.4	2100	7700	4.5	6.5
560	10	0.4	2500	9400	4.5	6
	10	6.3	3350	9400	5.5	6.5
	35	10.5	3350	9400	6.5	6.5
750	10	0.4	4100	11900	4.5	6
	35	10.5	4400	11900	6.5	6
1000	10	0.4	4900	15000	4.5	5
	10	6.3	4900	15000	5.5	5
	35	10.5	5100	15000	6.5	5.5
1350	10	0.4	6000	19500	4.5	5
	10	6.3	6000	19500	5.5	5
	35	10.5	6500	19500	6.5	5.5
1800	10	0.4	8000	24000	4.5	4.5
	10	6.3	8000	24000	5.5	4.5
	35	10.5	8300	24000	6.5	5
2400	10	6.3	9200	31500	5.5	4.5
	35	10.5	10000	31500	6.5	5
3200	10	6.3	11000	37000	5.5	4
	38.5	10.5	11500	37000	7	4.5
4200	10	6.3	14000	47000	5.5	4
	35	10.5	14500	47000	7	4.5
5600	10	6.3	18000	56000	5.5	4
	38.5	10.5	18500	57000	7.5	4.5
	121	38.5	25500	62500	10.5	4.5
7500	38.5	11	24000	75000	7.5	3.5
	121	38.5	33000	77000	10.5	4
10000	38.5	11	29000	92000	7.5	3
	121	38.5	38500	97500	10.5	3.5
15000	38.5	11	39000	122000	8	3
	121	38.5	50000	133000	10.5	3.5
20000	38.5	11	48000	14800	8	2.5
	121	38.5	60000	16300	10.5	3
31500	38.5	11	73000	180000	8	2.2
	121	38.5	86000	200000	10.5	2.7
45000	38.5	11	97000	225000	8	2.2
	121	38.5	112000	262000	10.5	2.6
60000	121	38.5	150000	300000	10.5	2.5

注：高压线圈电压级次为60千伏的双线圈变压器性能数据，应规定在产品的技术条件中，并须得到主管机关的批准。

表 8-1-4 单相双线圈变压器额定性能数据(JB500-64)

额定容量 kVA	线圈额定电压的最大限度值 kV		损 耗 W		阻抗电压占额 定电压的%	空载电流占额定 电流的%
	高 压	低 压	额定电压时 空载损耗	额定负载时短路 损耗(75℃)		
1	2	3	4	5	6	7
5000	38.5	11	14	45	8	4
	110	11	18	47	10.5	4
6667	38.5	11	17	53.5	8	35
	121	11	24	56	10.5	35
10500	38.5	11	23.5	77	8	3.3
	121	38.5	29.5	81.5	10.5	3.3
15000	121	38.5	37.2	109.5	10.5	3.3
20000	121	38.5	47	129	10.5	2.85
30000	121	10.5	66	172	10.5	2.5

表 8-1-5 三相三线圈变压器额定性能数据(JB500-64)

额定容量 kVA	线圈额定电压的最大限度值 kV			损 耗 kW		空载电流占额定 电流的%
	高 压	中 压	低 压	额定电压时 空载损耗	额定负载时短路 损耗(75℃)	
5600	121	38.5	11	30	69.5	5
7500	121	38.5	11	35	82	4.6
10000	121	38.5	11	45	97	4.4
15000	121	38.5	11	63	132	4
20000	121	38.5	11	76	163	3.5
31500	121	38.5	11	110	233	3
45000	121	38.5	11	140	330	3
60000	121	38.5	11	150	410	3

表 8-1-6 三相三线圈变压器阻抗电压百分数(JB500-64)

变 压 器 类 型	高 压~中 压	高 压~低 压	中 压~低 压
升压变压器	17	10.5	6
降压变压器	10.5	17	6

注：60000千伏安的阻抗电压百分数由该产品的技术条件规定。

表 8-1-7 矿用变压器额定性能数据(JB619-75)

变 压 器 类 别	额定容量 kVA	线圈额定电压 V		损 耗 W				阻抗电压 占额定电 压的%	空载电流占额定 电流的%	
		高 压	低 压	额定电压时 空载损耗		额定负载时短路 损耗(75℃)			冷轧硅 钢 片	热轧硅 钢 片
				冷 轧 硅钢片	热 轧 硅钢片	冷 轧 硅钢片	热 轧 硅钢片			
矿用照明 变 压 器	0.5	380,600		15		20		2~4.5	22	
	1.0	1140	127	25		35		2~4.5	18	
	1.6	660/380		30		45		2~4.5	17	
矿用电钻 变 压 器	1.6	660/380		35		55		4	17	
	2.5		127 (133)	45		75		4	14	
	4.0	1140/660		55		115		4	12	

续表

变 压 器 类 别	额定容量 kVA	线圈额定电压 V		损 耗 W				阻抗电压 占额定电 压的%	空载电流占额定 电流的 %	
		高 压	低 压	额定电压时 空载损耗		额定负载时短路 损耗(75℃)			冷 轧 硅钢片	热 轧 硅钢片
				冷 轧 硅钢片	热 轧 硅钢片	冷 轧 硅钢片	热 轧 硅钢片			
矿用电力 变 压 器	50	6000	690/400	350	380	1200	1260	4	10	9
	100			540	620	2100	2250	4	8.5	7.5
	200			900	1000	3600	3900	4	7	7
	315			1260	1450	5200	5600	4	6.5	6.5
变 压 器	400	(3000)	1200/690	1500	1750	6300	6700	4	6.5	6.5
	500			1780	2050	7700	8200	4	6	6
	630			2360	2450	9600	10000	4.5	6	6

注：“矿用隔爆电钻变压器组合装置”中用电钻变压器，为使器身选型适应装置结构，阻抗电压可为3~4%，损耗值可以有所调整，但总损耗值应不超过表中损耗之和。

表 8-1-8 旧型矿用电力变压器电气性能数据 (JB619-65)

额定容量 kVA	线圈额定电压 kV		损 耗 W		阻抗电压占额 定电压的%	空载电流占额 定电流的 %
	高 压	低 压	额定电压时空 载损耗	额定负载时短 路损耗(75℃)		
20			180	600		10
30			250	850		8
50	3000	690/400	350	1325	4.5	7
75	(3150)		490	1875		6.5
100	6000		600	2400		6.5
135			830	3070		6.5
180			1000	4000		6
240			1400	4900		6

注：制造厂得根据用户的要求生产额定容量为320千伏安的变压器，其阻抗电压百分数应为5.5，额定电压下空载损耗和额定电压的短路损耗（75℃）分别为1600及6070瓦。空载电流百分数为6。

表 8-1-9 旧型隔爆型干式电钻及照明变压器性能数据 (JB619-65)

额定容量 kVA	额 定 电 压		效率不小于 (75℃) %	阻 抗 电 压 %
	高 压	低 压		
2.5	660/380	133或127	94.0	4.5
4.0	660/380	133或127	94.0	4.5

(六) 额定使用条件

1. 对一般电力变压器的规定 (GB1094-71)

1) 环境温度 (周围气温自然变化值)

最高气温 +40℃

最高日平均气温 +30℃

最高年平均气温 +20℃

最低气温 -40℃

2) 海拔高度

对油浸式和密封式变压器安装地点的海拔高度，不超过 1000 米；干式变压器不超过 500 米。

3) 冷却水温度（自然变化值）

最高冷却水温度 + 30℃

平均水温度 + 25℃

4) 空气最大相对湿度

当空气温度 + 25℃ 时，相对湿度不超过 90%。

5) 安装场所无严重影响变压器绝缘的气体、蒸汽、化学性沉积、灰尘、污垢及其他爆炸性和腐蚀性介质。

6) 安装场所应无严重的振动和颠簸。

注：油浸式和密封式变压器安装地点超过 1000 米的高海拔产品，应按 2500 米及以下为一级，超过 2500 米时为另一级；干式变压器超过 500 米时，按每增高 500 米为一级。

2. 对矿用变压器的规定（JB619-75）

1) 环境温度（周围气温自然变化值）

最高气温 + 35℃

最高日平均气温 + 25℃

2) 海拔高度

矿用变压器安装地点的海拔高度不超过 1000 米。

3) 空气最大相对湿度

当空气温度 + 35℃ 时，相对湿度不超过 97%。

4) 安装场所

(1) 矿用电力变压器可装置在矿井内虽有煤尘和沼气但无爆炸危险的场所。

(2) 矿用电钻、照明变压器可装置在矿井内有煤尘和沼气且有爆炸危险的场所。

(七) 连接组

变压器连接组通常用连接组标号来表示。连接组标号是表示变压器各个相线圈的连接法及矢量关系的符号。如连接组标号 Y/Δ-11，即表示高压线圈为星形（Y）接线，低压线圈为角形（Δ）接线，低压侧线电压对相应的高压侧线电压的相位差为 330°（标号中数字分 1、2、3……12 等，每个数字形同钟表盘上 12 个数字中一个。用钟表的分针表示高压侧线电压矢量，固定指向 12，时针表示低压侧线电压矢量，时针所指的小时数，即为连接组别，如组别为 11，即低压侧线电压对相应的高压侧线电压的相位差为 $11 \times 30^\circ = 330^\circ$ ，如为 12，则 $12 \times 30^\circ = 360^\circ$ 或 0° ，为同相位等等）。

1. 有关标准对连接组的规定

1) GB1094-71 对电力变压器连接组标号规定：

三相双线圈电力变压器的连接组标号有五种，即 Y/Y₀-12、Y/Δ-11、Y₀/Δ-11、Y₀/Y-12、Y/Y-12。

单相双线圈电力变压器的连接组标号仅一种，即 1/1-12。

三相三线圈电力变压器的连接组标号有两种，即 Y₀/Y₀/Δ-12-11、Y₀/Y₀/Y-12-12。

单相三线圈电力变压器的连接组标号亦仅一种，即 1/1/1-12-12。

自耦变压器连接组标号：

8-8-12 变压器、高低压电器及特殊电机

三相：O-Y₀/△-12-11, O-Y₀/Y₀-12-12, O-Y₀-12。

单相：O-1/1-12-12。

2) JB619-75对矿用变压器连接组标号规定：

三相：Y/△-11, △/△-12, Y/Y-12。

(矿用电力变压器的低压及电钻变压器的高压线圈是Y-△交换的)。

单相：1/1-12。

2. 连接组的确定

变压器连接组(或连接组标号)确定于以下三个因素：

- 1) 线圈端子的标志(A, X; a, x等), 即线圈的首端和末端的标号。
- 2) 线圈的连接方式(Y, △, Z)及各相的连接顺序。
- 3) 线圈的绕向(左绕或右绕; 从线圈起端俯视, 导线是沿逆时针方向绕的谓之左绕, 反之, 则谓右绕, 如图8-1-2所示)。

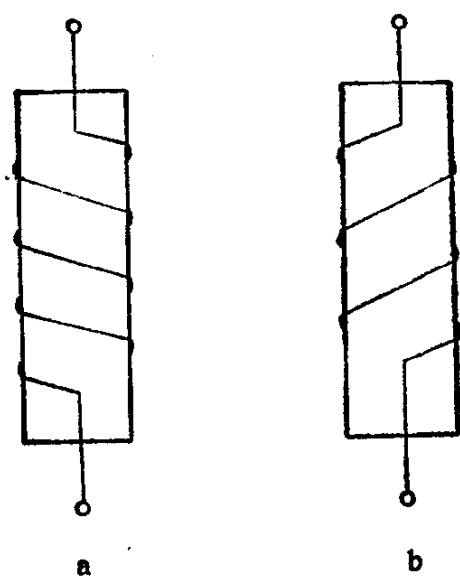


图 8-1-2 线圈绕向
a—左绕; b—右绕

以上三个因素确定后, 即可绘出变压器高低压线圈相应线电压的相位关系, 从而即可确定其连接组。

[例3] 已知变压器高低压线圈端点标志一致, 绕向相同, 起端为A、B、C, a、b、c, 末端为X、Y、Z, x、y、z, 高压线圈为Y接线, 低压线圈为△接线, 连接顺序如图8-1-3 a所示; 试绘其线圈感应电势图及其间的矢量关系, 并确定其连接组标号。

(1) 图8-1-3 a为已确定高低压线圈连接法。

(2) 根据图8-1-3 a, 绘出其高压线圈(Y接)感应电势矢量如图8-1-3 b所示。

(3) 低压线圈(△接)相应于高压线圈的感应电势矢量如图8-1-3 c所示。

(4) 将图8-1-3 c移置到图8-1-3 b上, 并保持相位关系不变, 使a、A两点重合而成图8-1-3 d。

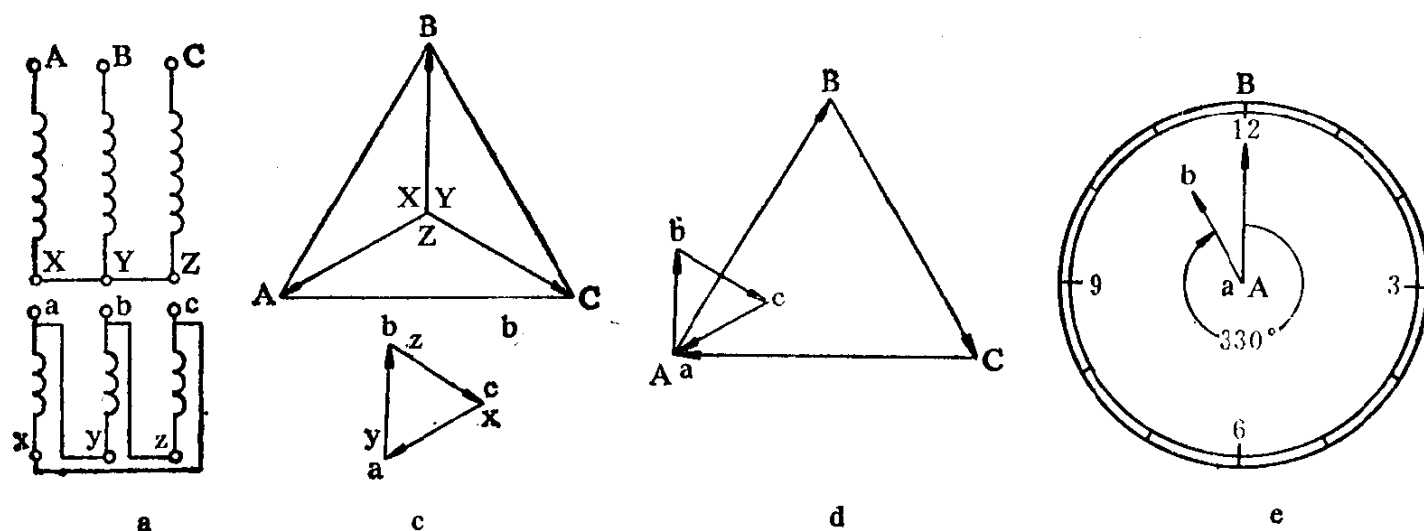


图 8-1-3 变压器高低压线圈感应电势矢量关系

(5) 最后设想: 将∠BA_ab移置在表盘上如图8-1-3 e所示, 以AB为分针并对准在

12 点上, 以 ab 为时针, 时针正对的时数, 就是连接组的组别。本例时针所对的时数是 11, 则本例所要确定的变压器连接组标号即为 Y/ Δ -11。

3. 三相变压器常用连接组

三相变压器常用连接组的线圈连接法及矢量关系见表8-1-10。

表 8-1-10 三相变压器常用的连接组

组别	连接组标号的数字	线电势相位移	线电势矢量图	线圈连接法及端子标志			同组并联运行时端子排列
				Y/Y	Δ/Δ	Δ/Z	
第一组	12	0°					A, B, C a, b, c
	4	120°					A, B, C c, a, b
	8	240°					A, B, C b, c, a
第二组	6	180°					A, B, C a, b, c
	10	300°					A, B, C c, a, b

续表

组别	连接组标号的数字	线电势相位移	线电势矢量图	线圈连接法及端子标志			同组并联运行时端子排列
				Y/Y	Δ/Δ	Δ/Z	
第二组	2	60°					A, B, C b, c, a
组别	连接组标号的数字	线电势相位移	线电势矢量图	线圈连接法及端子标志			同组并联运行时端子排列
				Y/ Δ	Δ/Y	Y/Z	
第	11	330°					A, B, C a, b, c
三	3	90°					A, B, C c, a, b
组	7	210°					A, B, C b, c, a
第	5	150°					A, B, C a, b, c

续表

组别	连接组标号的数字	线电势相位移	线电势矢量图	线圈连接法及端子标志			同组并联运行时端子排列
				Y/Δ	Δ/Y	Y/Z	
第四组	9	270°					A, B, C c, a, b
	1	30°					A, B, C b, c, a

四、并 联 运 行

在变电所由于很多原因须要两台或多台变压器的一次和二次线圈分别以端子对端子直接连接，共同运行(这样的连接运行通称并联运行)。但这样的运行，必须满足以下三条件：

1. 并联运行的各变压器连接组标号中数字要相同。数字要相同有两种情况，一为各变压器连接组标号中的数字本来就相同，这样就更好；另一为它们连接组标号中数字本不相同，但采取变压器相应端子标志适当变换后，使它们连接组标号中的数字能相同。如在表8-1-10中的Y/Y-4变压器要和该组(第一组)Y/Y-12变压器相并时，两台变压器的一次侧A、B、C可互相并接，但二次侧，Y/Y-4变压器的c、a、b须分别和Y/Y-12变压器的a、b、c相并接(Y/Y-4变压器二次侧的端子这样变换后，其连接组标号也就改成了Y/Y-12，所以可与Y/Y-12的变压器并联)等。

2. 并联运行的各变压器的变压比要相等。在实际工作中，允许并联的各变压器变压比不大于平均变比值($\sqrt{K_A K_B}$)的 $\pm 0.5\%$ ，在这样允许偏差范围内，变压器可以并联运行；否则，在并联的二次线圈中将产生不允许的循环电流 I_{cy} ，其值为：

$$I_{cy} = \pm \frac{U_A - U_B}{\frac{u_{KA} U_A}{100 I_{NA}} + \frac{u_{KB} U_B}{100 I_{NB}}} \quad (8-1-13)$$

式中 U_A, U_B ——变压器A和B的二次线电压，当 $U_A > U_B$ 时，则在变压器A中 I_{cy} 取正号，变压器B中 I_{cy} 取负号，反之，则反是；

I_{NA}, I_{NB} ——变压器A和B的额定二次线电流；

u_{KA}, u_{KB} ——变压器A和B的阻抗电压%。

3. 并联运行的各变压器的阻抗电压要相等。在实际工作中，允许并联的各变压器阻抗电压相差值不大于 $\pm 10\%$ ，否则，并联的各变压器内负载分配将不合理。并联运行时总的负载电流I在各变压器(如变压器A和B)中的分配可按下式计算：