

• 工程应用 •

108-112

# 自动补偿式电力稳压器中的 功率部件容量的确定

TM44

施建屏

Shi Jianping

(重庆大学电子信息工程学院, 重庆, 630044)

**A** 摘要 介绍了自动补偿式电力稳压器的基本工作原理, 并定量地推导出稳压器中的两种主要功率部件——补偿变压器和自耦变压器的容量计算公式。

关键词 稳压器; 自动补偿; 自耦变压器

补偿变压器;

中国图书资料分类法分类号 TM44

**ABSTRACT** In this paper, we first introduce basic work principle of the automation compensation power voltage stabilizer and in the second step we derive quantitatively the two computational formulas of two types of power elements, t. e. compensation transformer and auto-transformer, for determining their capacities, thus we have showed quantitatively the main advantage of this type of voltage stabilizer.

**KEYWORDS** voltage stabilizer; automation compensation; autotransformer

## 0 引 言

近年来,我国在引进法国西奥根(Ceorgin)公司产品的基础上而试制成的自动补偿式电力稳压器,已引起电工界广泛注意。这种新型稳压电源具有稳压精度高、功率损耗很低、效率很高、允许输入电压变化范围特别宽、波形失真微小、能广泛适用于各种类型的负载等优点。因此,逐渐被广大用户所了解和接受,必将在很大范围内逐步取代感应式电力稳压器和磁饱和式稳压器等传统稳压电源。

这种自动补偿式电力稳压器之所以能迅速占领市场,除了上述各项优点外,还有关键的一条,就是它的两种主要功率部件——补偿变压器和自耦变压器的容量与稳压器输出的额定容量相比要小得多。因此,要制造大容量的(500~1500 kVA)甚至超大容量的(>1500 kVA)稳压器就变成制造容量不太大的补偿变压器和自耦变压器,从而使得制造这样的稳压

器变得不是十分困难,而且所需用的材料比传统稳压器要省得多,当然价格成本也相应降低。

## 1 自动补偿式电力稳压器的的工作原理

自动补偿式电力稳压器的工作原理图见图 1。

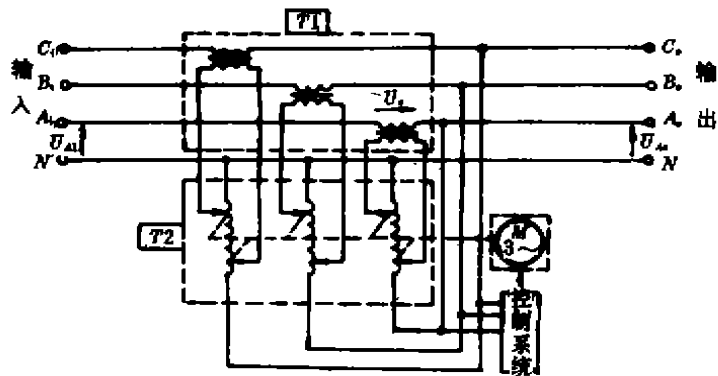


图 1 三相自动补偿式电力稳压器原理图

图 1 中  $T_1$  是补偿变压器,  $T_2$  是自耦变压器(双触点柱式调压器), 稳压器中除了  $T_1$ 、 $T_2$  外, 还有采样比较控制电路, 伺服电动机  $M$  及其传动机构等, 共同组成自动补偿式稳压电源系统。现以  $C$  相为例, 其电压关系为:

$$U_{e0} = U_{e1} + \Delta U_c \quad (1)$$

式中  $U_{e0}$ ——稳压器输出电压;

$U_{e1}$ ——稳压器输入电压;

$\Delta U_c$ ——补偿变压器付边的补偿电压。

自动调整过程如下: 倘若由于负载的减轻或因电网电压升高致使  $U_{e0}$  上升时, 采样电路从稳压器输出端采样所得的电压较其内部基准电压的上限值为高时, 控制电路则启动伺服电动机, 带动自耦变压器的电刷 ( $A$ 、 $B$ 、 $C$  三相每相有两个电刷) 作上下相对滑动, 改变  $\Delta U_c$  的极性和大小, 使  $U_{e0}$  下降, 直至  $U_{e0}$  降至稳压范围 [ $U_n \pm (1 \sim 5)\%$ ] 以内为止。同理, 倘若因负载加重或电网电压下跌导致  $U_{e0}$  降低时, 采样所得的电压低于内部基准电压下限值时, 系统作与上述相反的调整过程, 使输出电压  $U_{e0}$  上升到稳压范围以内。

稳压相量图如图 2 所示。当  $U_{c1} > U_n$  时,  $\Delta U_c$  的相位与  $U_{c1}$  的相位相反; 当  $U_{c1} < U_n$  时,  $\Delta U_c$  的相位与  $U_{c1}$  相位相同。

## 2 补偿变压器容量的确定

通常, 自动补偿式电力稳压器允许输入电压变化范围为额定电压  $U_n$  的  $\pm 20\%$ , 因此, 补偿变压器付边的补偿电压  $\Delta U_c$  就取  $\Delta U_{\max} = 0.2 U_n$ , 当输入电压  $U_{c1} = 1.2 U_n$  时,  $\Delta U_{\max}$  取负值, 即  $\Delta U_c$  的相位与  $U_{c1}$  的相位相反, 起抵消作用; 相反, 输入电压  $U_{c1} = 0.8 U_n$  时,  $\Delta U_{\max}$

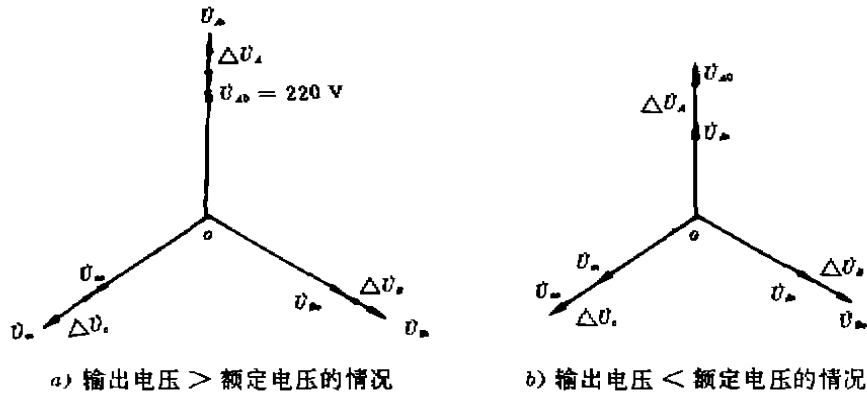


图 2 稳压器补偿原理的相量图

取正值,即  $\Delta U_c$  与  $U_{c1}$  相位相同,起补足的作用。补偿变压器付边是串联在主电路内,其电流近似为稳压器输出的额定电流  $I_N$ ,因此,三相补偿变压器的容量为:

$$S_T = 3\Delta U_{\max} I_N \quad (2)$$

式中  $\Delta U_{\max}$ ——补偿变压器付边最大补偿电压;

$I_N$ ——稳压器输出的额定电流,也就是补偿变压器付边的额定电流。

现将  $\Delta U_{\max} = \pm 0.2 I_N$  代入(2)式,得:

$$S_T = 3 \times (\pm 0.2 U_N) I_N = \pm 0.2 \times (3U_N I_N) = \pm 0.2 S_N \quad (3)$$

式中  $S_N$ ——稳压器的额定容量(kVA);

$U_N$ ——稳压器的额定电压(相)。

由(3)式可见,补偿变压器的容量等于稳压器额定容量的 20%。例如,100 kVA 自动补偿电力稳压器中所需用到的补偿变压器只有 20 kVA。(3)式中的正负号只表示容量(功率)的传送方向,正号表示容量(功率)由自耦变压器向补偿变压器付边方向传送,负号表示容量(功率)由主电路经补偿变压器向自耦变压器方向传送。

### 3 自耦变压器容量的确定

为了满足补偿变压器既能改变付边补偿电压  $\Delta U_c$  的大小,又能改变极性的要求,自耦变压器必需采用柱式双触点调压器,其单相原理图如图 3 所示。

为了充分发挥自耦变压器的作用,补偿变压器的原边额定电压设计为  $U_N$ ,即为 220 V,这样补偿变压器的变比  $K_1 = \frac{U_N}{\Delta U_{\max}} =$

$$\frac{N_1}{N_2} = 5.$$

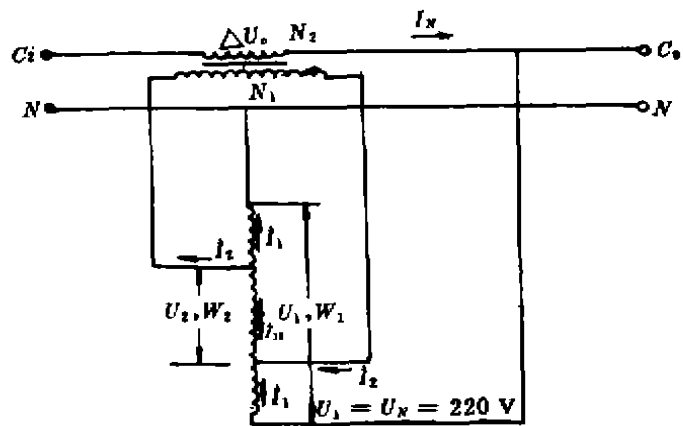


图 3 单相原理图

自耦变压器  $T_2$  的变比  $K_2 = \frac{U_1}{U_2}$  (见图 3),  $U_1 = U_N$ , 为了满足稳压要求,  $U_2$  是时刻变化的, 即  $U_2 \leq U_N$ , 所以  $K_2 \geq 1$ .

由图 3, 根据磁势平衡原理可得:

$$I_1(W_1 - W_2) + (I_1 + I_2)W_2 \approx I_0W_1 \approx 0 \quad (4)$$

式中  $I_1, W_1$  —— 分别为自耦变压器原边电流和匝数;

$I_2, W_2$  —— 分别为自耦变压器付边输出电流和匝数。

由(4)式可得:

$$I_1 = -\frac{W_2}{W_1}I_2 = -\frac{1}{K_2}I_2 \quad \text{或} \quad I_2 = -K_2I_1 \quad (5)$$

$W_2$  既是付边绕组, 又是原付边公共绕组, 其中电流  $I_{12}$  为

$$I_{12} = I_1 + I_2 = I_1(1 - K_2) = I_2\left(1 - \frac{1}{K_2}\right) \quad (6)$$

同普通双绕组变压器一样, 原边电流  $I_1$  与付边电流  $I_2$  之间的相位差是  $180^\circ$ , 于是原付边公共绕组  $W_2$  中的电流  $I_{12}$  为:

$$I_{12} = I_2 - I_1 \quad \text{或} \quad I_2 = I_1 + I_{12} \quad (7)$$

由于  $T_1$  的变比  $K_1 = 5$ , 额定运行情况下, 自耦变压器付边输出电流  $I_2 = \frac{1}{5}I_N$ , 付边电压  $U_2$  是时刻变化的, 因此, 自耦变压器的输出容量, 即为额定容量

$$S = 3U_2I_2 = 3U_2\left(\frac{1}{5}I_N\right) = 0.6U_2I_N$$

也是变化的, 显然, 当  $U_2 = U_1 = U_N$  时

$$S = S_{\max} = 3U_N\left(\frac{1}{5}I_N\right) = 0.2(3U_NI_N) = 0.2S_N \quad (8)$$

式中  $S_N$  —— 稳压器的额定容量;

$I_N$  —— 稳压器的额定电流。

可见, 自耦变压器的输出容量(即额定容量) $S$  与其付边电压  $U_2$  成线性关系, 见图 4 所示。

在忽略损耗的条件下, 自耦变压器的额定容量近似等于输出容量, 即

$$S = S_2 = 3U_2I_2 = 3U_2(I_1 + I_{12}) = 3U_2I_1 + 3U_2I_{12} \quad (9)$$

式中  $3U_2I_1$  —— 由电源直接传到付边的容量, 称为“电传导容量”;

$3U_2I_{12}$  —— 由电源通过电磁感应传到付边的容量, 称为“电磁容量”。

由(9)式可知, 自耦变压器与普通双绕组变压器不同, 它一方面靠电磁感应传送容量, 另一方面从电源直接向付边传送容量。因而, 自耦变压器的输出容量是“电磁容量”和“电传导容量”之和。

而决定自耦变压器尺寸、重量和铁芯截面积的只是电磁容量  $3U_2I_{12}$ , 而不是额定容量, 所以, 电磁容量又称“计算容量”和“制造容量”。

自耦变压器的电磁容量  $S'$  根据(7)、(9)式得

$$S' = 3U_2 I_{12} = 3U_2 (I_2 - I_1) = 3U_2 \left( I_2 - \frac{I_2}{K_2} \right) = \left( 1 - \frac{1}{K_2} \right) (3U_2 I_2)$$

$$\text{即} \quad S' = \left( 1 - \frac{1}{K_2} \right) S_2 \quad (10)$$

式中  $S_2$ ——自耦变压器的输出容量;

$K_2$ ——自耦变压器的变比。

由(10)式可得

$$S' = \left( 1 - \frac{U_2}{U_N} \right) 3U_2 I_2 = \left( U_2 - \frac{U_2^2}{U_N} \right) 3I_2 = 0.6I_N \left( U_2 - \frac{U_2^2}{U_N} \right) \quad (11)$$

在额定情况下,  $I_2 = \frac{1}{5} I_N = \text{Const}$ ,  $U_N = 220 \text{ V}$ , 所以  $S'$  仅仅是  $U_2$  的二次函数, 可以求其极大值。

$$\text{由} \quad \frac{dS'}{dU_2} = \left( 1 - \frac{2U_2}{U_N} \right) (3I_2) = 0$$

当  $U_2 = \frac{1}{2} U_N = 110 \text{ V}$  时, 电磁容量  $S'$  出现极大值, 将  $U_2 = \frac{1}{2} U_N$  代入(11)式得

$$S' = S_{\max} = \frac{3}{4} U_N I_2 = \frac{3}{4} U_N \left( \frac{1}{5} I_N \right) = \frac{1}{20} (3U_N I_N) = 0.05 S_N \quad (12)$$

即决定自耦变压器大小和铁芯的电磁容量  $S'$  仅为自动补偿式电力稳压器额定容量的 5%。例如 100 kVA 的自动补偿式电力稳压器中只需用 5 kVA 的自耦变压器。 $S'$  与  $U_2$  的关系曲线见图 4。

## 4 结 论

1) 自动补偿式电力稳压器中的补偿变压器容量仅为稳压器额定容量的 20%。

2) 自动补偿式电力稳压器中的自耦变压器的计算容量的最大值(当其付边电压  $U_2 = 110 \text{ V}$  时)仅为稳压器额定容量的 5%。

3) 由上述两点结论可推论: 制造大容量或超大容量的自动补偿式电力稳压器, 变成为制造中小容量的补偿变压器和小容量的自耦变压器。补偿变压器和自耦变压器是决定稳压器成本的最主要的两种功率部件, 它们的容量较小, 导致所消耗的材料少, 相比价格低, 这正是自动补偿式电力稳压器的最突出的优点。

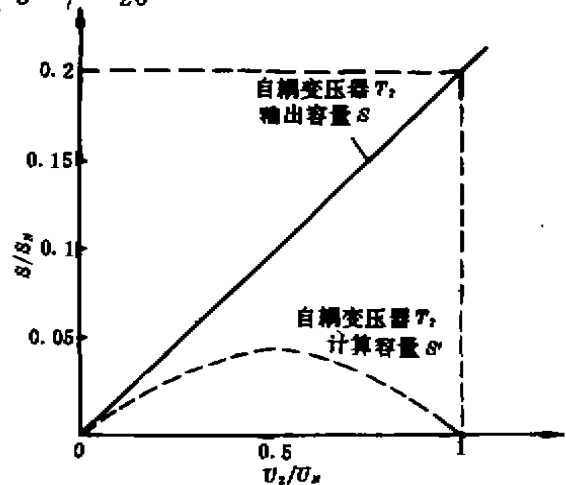


图 4 自耦变压器的  $S, S'$  与  $U_2$  的关系曲线

$$S = 0.6U_2 I_N = KU_2, \quad S' = 0.6I_N \left( U_2 - \frac{U_2^2}{U_N} \right)$$

## 参 考 文 献

- 1 唐汉文. 交流稳定电源. 电世界, 94, 5~194
- 2 唐汉文. 自动补偿式电力稳压器及其发展. 电世界, 94, 6~246
- 3 杨天民. 电力自耦变压器及其应用. 北京: 水利电力出版社, 1987