

一种新型的逆调压无功补偿控制装置

许昌继电器研究所 王质朴 谷玉书

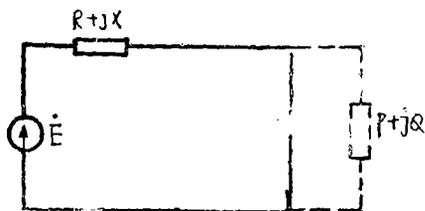
提 要

本文介绍许昌继电器研究所最近研制的一种新型的灵敏度高、稳定可靠的逆调压控制装置。该装置与西安电力电容器厂生产的电容器组循环自动投切装置配套使用。经在成都蓉东220千伏大型枢纽变电站投切52500(4×131.25)千乏电容器组六个多月的运行,表明性能可靠,动作准确。整套投切装置已于八四年年底经西安电力电容器厂和成都供由局鉴定通过。

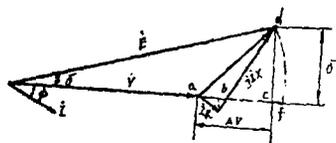
一、概述

电压是电能质量优劣的一个重要标志。电力系统在运行过程中必须把各个母线上的电压保持在一定范围以内,以满足用户的电气设备对电压的要求。但是,当系统各元件中有电流或功率流过时,将产生一定的电压降落。正是这一电压降落,使送端电压与受端电压产生了差值。如何克服由于电压降落而造成的电压波动,则是电力系统调压的任务。

图一示出了电力系统的等值电路和电压矢量图,现以此来分析电压降落。



(a) 等值电路



(b) 电压矢量图

图 一

ab为系统电阻所引起的电压降纵分量:

$$ab = IR \cos \varphi$$

bc为系统电抗所引起的电压降的纵分量:

$$bc = IX \sin \varphi$$

故电压降的纵分量为:

$$\Delta V = IR \cos \varphi + IX \sin \varphi$$

仿此, 可得电压降的横分量为

$$\delta V = IX \cos \varphi - IR \sin \varphi$$

由图可列出系统的电压方程:

$$E^2 = (V + \Delta V)^2 + (\delta V)^2 \\ = (V + IR \cos \varphi + IX \sin \varphi)^2 + (IX \cos \varphi - IR \sin \varphi)^2$$

电力系统的有功无功分别定义为

$$P = VI \cos \varphi$$

$$Q = VI \sin \varphi$$

故:

$$E^2 = \left(V + \frac{PR}{V} + \frac{QX}{V} \right)^2 + \left(\frac{PX}{V} - \frac{QR}{V} \right)^2$$

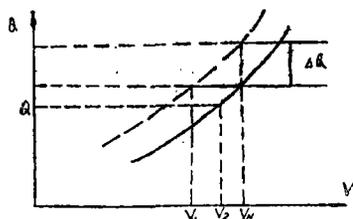
又:

$$\Delta V = \frac{PR}{V} + \frac{QX}{V}$$

$$\delta V = \frac{PX}{V} - \frac{QR}{V}$$

由 ΔV 、 δV 的表达式可见,当 $R \approx 0$ 时(在高压输电线路中,线路电阻一般很小),电压降横向分量只与线路有功功率有关,电压降的纵向分量仅与无功功率有关。电压的横向分量 δV 对电压幅值的影响一般是很小的,如矢量图中的cf,故影响电压质量标准(对幅值而言)的因素主要是线路上流过的无功功率。当无功功率由线路传输的时候,送端电压与受端电压必有差值,这时可以提高送端电压来满足受端电压的要求。但当超过送端电压允许偏移量时,就应该减少线路上传送的无功功率。其所缺部分,则由受端予以提供,这就称之无功补偿。

图二所示为一般负荷的“无功功率—电压静特性”。



图二

由图可见,当无功不足时,负荷端电压将被迫降低,如图中 V_1 和 Q_1 的关系。

当无功负荷增加时,无功负荷的电压静特性要平行上移,如图中虚线所示。但如果系统对负荷所供应的无功功率不能相应地增加 ΔQ ,则负荷端电压也将被迫降低,如图 V_2 处。

由此可得出如下结论:电力系统的无功功率必须保持平衡,即发出的无功功率要与被负荷吸

收的无功功率相平衡。这是维持电力系统电压水平的必要条件。

电力系统的调压一般分为三种。即常调压、顺调压和逆调压。

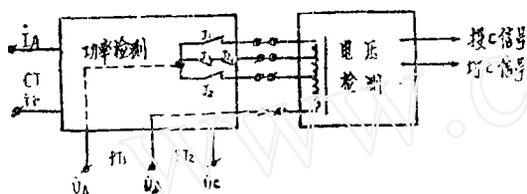
逆调压的基本原理是:在常调压的基础上(即保持正常负荷下的电压调整),对于高峰负荷,则将电压适当调高,例如升高至 $105\%U_N$,而在低谷负荷时,则将其调低,例如下降至 U_N 。这一调压的优点是:对于供电线路较长、负荷变动较大的中枢点,在各种负荷情况下,能够满足受端电压的稳定要求。反之,若采用常调压的方式,当在正常负荷受端电压能满足要求时,则在高峰负荷下,由于线路压降增大,受端电压就会偏

低，而在低谷负荷情况下，则又会出现电压偏高的现象。

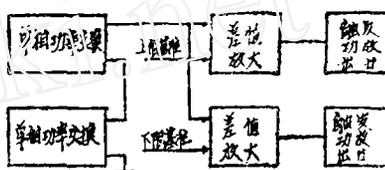
某些调压无功补偿控制装置采用时间来整定调压的基准值，这种方式与逆调压的原理是一致的。但是根据时间变换基准值的依据是日负荷曲线，这种负荷曲线只是实际运行情况的近似预计，故不能准确地反映系统的实际运行情况，从而达不到较为理想的逆调压效果。我们研制的逆调压无功补偿控制装置，采用了检测P、V两个电气量，这样可以根据系统的实际运行情况，来进行逆调压工作。

二、装置原理

本装置主要由两部分组成。第一部分是功率检测，第二部分是电压检测。其方框图如图三所示。



图三



图四

当系统功率 $P = 3 U_A I_A \cos \varphi$ 超过上限定值时， J_1 动作，使电压检测部分原边输入匝数增大，由于原边匝数变大，从而使付边电压降低，此时电压检测即认为系统电压低于基准值，于是发出投入电容器的信号，将系统电压升高。

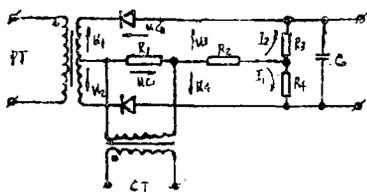
当系统功率 P 低于下限定值时， J_2 动作，使电压检测原边输入匝数减少，从而付边电压升高，此时电压检测即认为系统电压高于基准值，于是发出切除电容器的信号，将系统电压降低。

显而易见，当功率处于高峰时，电压检测自动地将系统电压维持调整在一个高于正常电压的值（可由用户整定这个值例如 $105\% U_N$ ）；当功率处于低谷时，电压检测自动地将系统电压维持调整在一个低于正常电压的值（亦可由用户来整定例如 $100\% U_N$ ）；当功率处于正常情况时，电压检测则将系统电压自动维持调整在正常值例如 $102\% U_N$ 。

下面分别介绍功率检测和电压检测。

1、功率检测

功率检测由功率变换、差值放大、触发出口等部分组成。如图四所示：



图五

由电工基础中两表法测功率的原理，使用两个功率变换，可以测得三相有功功率。

单相有功功率变换电路等效电路如图五：

该变换器采用了和与差的平方原理。

由图可见：

$$U_4 = U_2 - U_{C1}$$

$$U_3 = U_1 + U_{C2}$$

式中： U_{c1} 是CT正半周在 R_1 上的压降，
 U_{c2} 是CT负半周在 R_1 上的压降，
 U_1 是PT正半周压降，
 U_2 是PT负半周压降。

这两个和与差的电压，分别加到 R_2 上。 R_2 是一个非线性电阻，它的数字表达式可写成： $I = KU^2$

当 U_3 、 U_4 通过 R_2 时，会产生 I_1 、 I_2 。

$$\begin{aligned} I_1 &= KU_4^2 = K(U_2 - U_{c1})^2 \\ &= K(U_2^2 + U_{c1}^2 - 2U_2U_{c1}) \\ I_2 &= KU_3^2 = K(U_1 + U_{c2})^2 \\ &= K(U_1^2 + U_{c2}^2 + 2U_1U_{c2}) \end{aligned}$$

$$\because U_1 = U_2$$

$$U_{c1} = U_{c2}$$

$$\therefore I_1 = K(U_1^2 + U_{c1}^2 - 2U_1U_{c1})$$

$$I_2 = K(U_1^2 + U_{c1}^2 + 2U_1U_{c1})$$

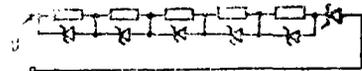
电流 I_1 、 I_2 流过 R_3 、 R_4 将产生电压，由于C是储能元件，又 $R_3 = R_4$ ，有：

$$\begin{aligned} U_c = U_{sc} &= -\frac{1}{T} \int_0^T (i_1R - i_2R) dt \\ &= -\frac{R}{T} \int_0^T (i_1 - i_2) dt \\ &= -\frac{KR}{T} \int_0^T [f(U_1^2 + U_{c1}^2 - 2U_1U_{c1}) - (U_1^2 + U_{c1}^2 + 2U_1U_{c1})] dt \\ &= -\frac{4KR}{T} \int_0^T U_1U_{c1} dt \\ &= K' \int_0^T U_1U_{c1} dt \end{aligned}$$

$$\text{式中： } K' = -\frac{4KR}{T}$$

由此可见， U_c 直接反映了瞬时功率

$$P = U_1U_{c1} = f(u, i) \text{ 的大小。}$$



图六

R_2 由下列元件组成如图六：

当输入电压逐渐增大时，各级稳压管被逐个击穿，从而用几段直线来近似逼近平方曲线。显然，稳压管级数越多，就越逼近平方曲线。

这部分功率变换电路，所用元件少，调试方便，且加入了残余相角补偿、温度补偿等电路，使它稳定可靠，线性度也很好。

差值放大电路采用了较高的开环放大倍数，以提高动作灵敏度和获得高的返回系

数。触发电路采用斯密特电路，驱动部分增设了抗干扰措施，使之可靠动作。

功率检测装置控制两个继电器。当功率正常时，两个继电器均不动作，高值时 J_1 动作，低值时 J_2 动作，如图七所示。

2、电压检测

电压检测主要由电压变换电路、差值比较放大电路、延迟电路、驱动电路等几部分组成。其方框图如图八。

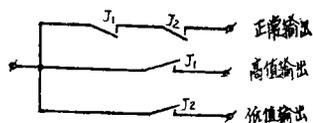


图 七

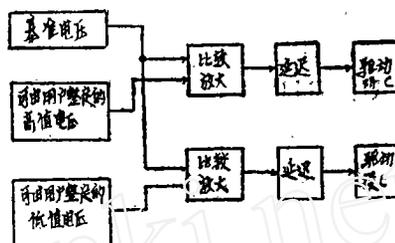


图 八 电压检测方框图

电压变换电路把 PT 来的 100 V 交流电压变换成可由用户整定的多档直流电压。这一电压，即作为系统的检测电压，与基准电压进行比较。电路图如下。

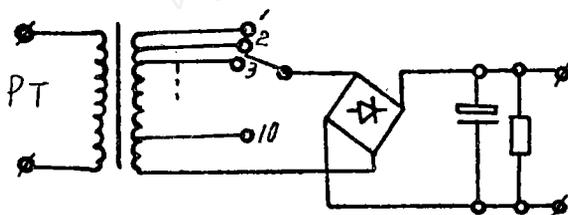
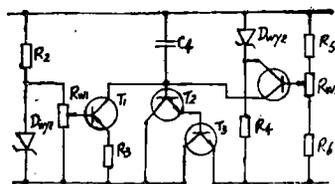


图 九



差值放大及延时驱动电路如图十一所示。

差值电压加在图中a、b两点。 R_{31} 、 R_{32} 、 R_{33} 和 D_2 、 D_3 、 R_{W4} 组成一个网路，与 T_{11} 、 T_{12} 组成一个高灵敏度高返回系数的触发器。调整 R_{W4} ，当母线负荷出现高峰时（即系统电压低于要求的范围时）， U_{ab} 使 T_{11} 导通， T_{12} 截止，此时 D_{12} 熄灭， T_{13} 导通。出口继电器 J_3 动作， T_{14} 截止。由 R_{44} 、 R_{45} 、 C_{14} 和 D_{W5} 一起组成一个延时回路，此时 C_{14} 由于 T_{14} 截止而开始充电。当充至 $U_C \geq U_{DWF6} + U_{bc}(T_{15}) + U_{bc}(T_{16})$ 时， T_{15} 、 T_{16} 开始导通，出口继电器 J_4 动作，经执行回路投上电容器组。为了保证充分可靠动作， J_3 与 J_4 常开触点串接在一起作为输出信号，避免由于干扰而产生误动。电路中各管子的发射极均接至1.6V处也是为了提高抗干扰能力。

切电容器组的信号输出回路与此类同，不再赘述。

此电压检测部分亦可单独作为一个装置安装在变电所的控制屏上，用来自动控制电容器组的自动投切回路，以达到调整系统电压之目的。

三、主要技术指标

1、功率检测：

变送电路精度 $\geq 2\%$

返回系数 $\geq 95\%$

输出容量 $27V \times 1A$ (DC)

工作环境温度 $-10^\circ C \sim +50^\circ C$

2、电压检测：

高值电压动作值误差 $\leq 1\%$

低值电压动作值误差 $\leq 1\%$

返回系数 $\geq 99\%$

高值电压调整范围 $+1\% \sim +10\% U_H$

低值电压调整范围 $-1\% \sim -10\% U_H$

本装置采用本厂通用的嵌入式插件结构。便于调整与维护。可以单件供货也可安装在屏上，使用方便。

四、结束语

我所研制的逆调压无功补偿控制装置，与一般的调压无功补偿装置相比，具有功能较强、运行可靠、价格低廉的特点。经过近一年的现场运行，已收到了良好的调压效果和显著的经济效益。随着近年来我国电力工业的飞速发展，对调压和无功补偿的要求也愈来愈高。以往那种手动投切电容器、或仅根据V或 $\cos \varphi$ 单个检测来进行投切控制的调压装置，已远远不能满足要求。现在许多用户已提出了按V、Q、T或V、Q、P三个参数来进行投切电容器组和调整有载调压变压器分节头的要求，许多研制单位和生产厂家已充分注意到了这种要求并已着手做这方面的工作。更为可喜的是，微处理器和微

(下转42页)

(5) 返回值;

A、交流回路: 不小于0.8。

B、直流回路: 不小于2%额定值。

(6) 动作值的变差: 不大于6%。

(7) 功率消耗:

A、交流回路: 当电压为100V, 频率为50Hz时不大于15VA。

B、直流回路: 当电压为额定值时不大于6W。

(8) 使用环境温度: $-10^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$ 。

(9) 装置设有信号指示。

(10) 装置应设熔断器(外购件)保护。

(11) 若电网出现低于2.3倍相对地过电压的基波谐振(对设备一般无危害)而又希望消除时, 可在装置出口回路ZJ接点处接入按钮手动消除。

四、结束语

ZXX-1型电压消谐装置, 是在云南省电力试验研究所、许昌继电器研究所、昆明供电局和巡检司电厂的协助支持下进行研制并进行现场工业试验的, 并相继在昆明、邯郸、平泉等地变电所投入试运行, 从研制到试运行结束, 历时5年之久, 去年, 已通过技术鉴定, 来自全国科研、教育、设计、生产、安装单位的代表一致认为装置已可投入生产和使用, 为电力系统的安全运行做出有益的贡献。

我们希望, 在进一步的运行考验中, 不断得到有关方面提出宝贵意见, 以使装置更加完善。

(上接37页)

型计算机在调压和补偿装置中已开始使用, 它以齐全而灵活的功能, 方便可靠的使用为调压无功补偿开辟了一个崭新的天地。它可方便地将V、Q、P、 $\cos\varphi$ 、T等参数根据需要而灵活地组合, 并将取消功率变送器、无功变送器、电压变送器、功率因数变送器等外加设备, 以使装置更灵活、更精巧、更可靠、更完善。

调压和无功补偿是一个大有可为的领域, 有许多工作等待着我们去。我们愿尽力而为, 为电力工业做出贡献。