

电压无功综合控制装置方案探讨

王质朴 许昌继电器研究所(461000)

摘要 根据变电站对电压无功综合控制装置的运行要求,从方案设计角度提出了提高装置的测量精度、扩展装置的适用面、避免装置的频繁动作、提高装置的可靠性及装置应具备的其它自动化功能等方面的问题及相应的对策。

关键词 微机型 电压无功综合控制 硬件 软件 方案

变电站使用的微机型电压无功综合控制装置(以下简称“装置”),是一种保障变电站供电质量、减少电网能量损耗的自动化装置。国内已有不少单位生产这类装置,而且在使用过程中发挥了应有的效益。但由于现场运行条件的复杂性和这类装置本身存在的某些不足,使得这类装置的广泛使用和最大限度地发挥装置的调控能力方面受到了限制。本文拟从装置方案的设计角度,提出一些看法。

1 提高装置的测量精度

具体说来,测量精度就是装置具有的从现场运行环境中实时测得电网运行参数的准确度。对于本装置,其测量参数有电压、电流、有功、无功、功率因数等。当然,这部分的测量可以通过电量变送器来完成,但这样做,一是增加了装置成本,二是没有充分发挥 CPU 的计算能力。测量的原则应是以最节省的硬件配以完善精确的算法,达到合理适用的精度。从系统中最易得到的是 TA 和 TV 的电气量。这两个量是反映系统瞬时特性的,装置必须将这瞬时特性变换为平均值,而且要从这两个基本量中推算出其余的有功功率、无功功率、视在功率以及功率因数。一般说来,装置对电压量的测量精度应不低于 1%,对于无功量的测量应不低于 2.5%。这是由于系统对于电压质量的控制要求更为严格些。关于系统各级母线电压允许波动的范围,《电力系统电压和无功电力技术导则》规定,500kV 变电站的 220kV 母线,正常时为 0~10%,事故时为 -5~+10%,220kV 变电站的 35~110kV 母线,正常时为 -3~+7%,事故时为 ±10%,配电网的 10kV 母线为 10.0~10.7kV。

从误差分配来分析,TA、TV 的误差约为 ±0.5%,(在正常工作范围内),装置内部中间变换器和信号通道及模数变换器的误差(以 AD574 为例), $1/2LSB=0.0244%$,量化误差为 0.0244%)一般可以控制在 0.15%~0.1%以内,所以,要保证装置的测量精度,关键取决于软件算法。利用近似积分求平均值,其影响精度的因素主要有三个。

(1) 电网谐波的影响

电网正常运行时,电压、电流的瞬时值表达式为:

$$y(t) = \sum_{k=1}^n A_{km} \sin(k\omega t + \varphi_k) \quad (1)$$

式中:K——谐波次数,奇次

A_{km} ——第 K 次谐波幅值

本文 1994 年 9 月 28 日收稿

φ_k ——第K次谐波的初相角

对于测量精度的影响主要是三次谐波的影响,如果有效抑制了三次谐波的影响,其它谐波:影响基本上可以忽略不计。而三次谐波在基波 $0 \sim T/3$ 时间里的平均值为:

$$\begin{aligned} y_3(t) &= \frac{3}{T} \int_0^{T/3} A_{3m} \sin 3\omega t dt \\ &= \frac{3A_m}{3T\omega} [-\cos 3\omega t]_0^{T/3} = 0 \end{aligned}$$

而基波在 $0 \sim T/3$ 时间里的平均值为:

$$\begin{aligned} y_1(t) &= \frac{3}{T} \int_0^{T/3} A_{1m} \sin \omega t dt \\ &= \frac{3A_{1m}}{T\omega} (1 + \sqrt{3}/2) = 0.8909A_{1m} = 1.26A_1 \end{aligned}$$

由此可见,对电压电流瞬时值在 $0 \sim T/3$ 周期之内求取平均值,可以消除掉三次谐波的影响,加上系数之后,即可求取有效值。

对于功率的算法,在要求较高的情况下可在求出电压电流的有效值之后,测出电压电流的相位角,然后用求平均功率的算法求出有功和无功。但一般说来,对于功率的精度通常不象电压精度要求那么严格,为了节省运算时间和简化运算方法,可以用近似积分的方法计算。为了节省 TA、TV 接线和省去一组中间变换器,可以用两表法测量功率。其算法为:

$$P = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (U_{aj} - U_{bj})i_{aj} + (U_{cj} - U_{bj})i_{cj} \quad (2)$$

$$Q = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[\left(U_a \left(j + \frac{n}{4} \right) - U_b \left(j + \frac{n}{4} \right) \right) i_{aj} + \left(U_c \left(j + \frac{n}{4} \right) - U_b \left(j + \frac{n}{4} \right) \right) i_{cj} \right] \quad (3)$$

经计算表明,采用式2和式3计算功率,在电压和电流的波形畸变不大于基波的5%时,误差可以控制在0.25%之内。

当然,在硬件电路上,在模数变换电路之前加上高次谐波滤波电路,同样可以消除高次谐波的影响,只是硬件电路要复杂些。从可靠性的角度考虑,在软件上可以完成的工作,最好不再放到硬件上做。

(2) 频率变化的影响

电网频率发生偏差时的计算误差为:

$$\Delta\% = (\sqrt{f/f'} - 1) \times 100\% \quad (4)$$

式中 $f = 50\text{Hz}$

$$f' = f - \Delta f / (\text{频率偏移量})$$

将上式用台劳级数展开,可近似为:

$$\begin{aligned} \Delta\% &= \sqrt{\left(\frac{1}{1 - \Delta f/f} - 1 \right)} \times 100\% \approx \frac{1}{2} \times \frac{\Delta f}{f} \times 100 \\ &= 50 \times \frac{\Delta f}{f} = \Delta f \end{aligned} \quad (5)$$

显然,计算误差是与频率的偏移量 Δf 成正比的。不仅如此,装置本身发出的采样脉冲,也会随时间延续而产生一种积累误差,这种积累误差的效应也相当于电网的频率发生了变化。解决这一误差的办法是在硬件上添加锁相环电路,使其以百分之一或者更高的精度与电网实时频率同步,而且以电网N倍的锁相频率进行采样的中断控制,这样基本上可以消除频率变化带来的计算误差。

(3) 采样间隔的影响

在电工基础中对于正弦波的有效值定义为：

$$y = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y^2(t) dt} \quad (6)$$

而微机中近似积分的算法是以离散型均方根法来表示上式：

$$y = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N y^2(k)} \quad (7)$$

显然，式7与6之间存在有误差。随着采样点数N的增加，这种误差会逐渐缩小。在用A/D转换器为12Bit，三次谐波占基波的5%，一次谐波占基波1%的情况下，利用式7代替式6的计算误差见下表：

表 1

每周采样点 次数 N	6	8	10	12	16	18
误差 Δ%	1.2	0.05	0.005	10 ⁻⁴ 以下		

为了保障计算精度，每周采样点数不应低于12次。

2 具备广泛的适用性

装置的适用性是指装置对于不同的运行环境和不同的用户要求的适用能力。我国变供电网络的配置方法是多种多样的。枢纽变和配电变不仅在系统配置上有区别，而且对于调压的要求也不一样。枢纽变一般要考虑逆调压，而配电变一般也许没有这种要求。同一等级的变电站，有些是一台主变运行，有些则是两台主变运行，现在已出现三台主变运行的情况。有的主变采用有载调压，有的却由于没有带负荷调压而反要求投切电容器组以供调压。特别地，在同一变电站内，其系统的运行方式也是在不断变化的，变压器的单独或并联运行、母线的并联或分段运行、主变或某组电容器的检修等等，都是可能出现的运行状况。作为一种完善的装置，必须能够适应以上运行方式的变化，否则，一旦系统运行方式发生了变化，装置只能别无选择地退出运行了。事实上，这是影响此类装置广泛使用的一个极为重要的因素。

另外，装置的检测对象有电压、有功、无功和视在功率，控制对象有变压器和电容器，而这些检测对象和控制对象之间不是单一联系，而是相互影响的。例如调整了变压器的分接头，不仅会改变节点电压，而且会影响到无功功率和有功功率；投切了电容器组，不仅改变了系统的无功分配，同时也会影响到节点电压；而且，有功功率的变化，也会影响到节点电压。这些情况表明装置的控制功能是相当复杂的，而作为设计者必须详尽考虑和分析这些因素。

(1) 装置在软件上和硬件上应设计成模块化的结构，软件上便于组合、变化，硬件上便于增扩和删减。

装置在软件上的设计工作量是相当繁杂的。现以两台三卷变压器和若干组电容器的配置情况列表说明装置应具有调压和投切电容器组的控制方式(见表2)。

以表中第一行为例，两台主变，高、中、低压侧均并联运行，其中高压侧为电源，中、低压侧为负载，对调压的要求是保证中压在所要求的范围之内(例如对于110kV为113~117kV)，对于低压侧要求在合格范围之内(例如35kV - 3% ~ + 7%)，两台主变的调压绕组为中性点调压或是高压侧调压，这时对于电压的检测既应测量中压也应测量低压，对于无功和有功的测量在高压测，调压是两台主变同时进行的。

表 2

运行方式(2台三卷变)			送电方式			调节方式	要求稳定电压	两台主变调压方式			低压侧电容器投切方式 (检测高压无功或中压无功)	调压考虑条件(判据) (检测中、低压电压)
高压侧	中压侧	低压侧	高压	中压	低压			中性点	中压侧	高压侧		
并联	并联	并联	电源	负载	并联调压	稳定中压, 低压在合格内	、	或、	并联投、切(测高压无功)	中压不要求范围, 低压不合格范围内		
并	并	分开	电源	负载	并联调压	稳定中压, 低压在合格内	、	或、	可按变压器各无功分开投、切	中压不要求范围, 低压不合格范围内		
并	分	并	电源	负载	并联调压	稳定中压, 低压在合格内	、	或、	并联投、切(测高压 Q)	中压不要求范围, 低压不合格范围内		
并	分	分	电源	负载	独立调压	稳定中压, 低压在合格内	、	或、	分别投、切(测高压 Q)	中压不要求范围, 低压不合格范围内		
分	并	并	电源	负载	并联调压	稳定中压, 低压在合格内	、	或、	并联投、切(测高压 Q)	中压不要求范围, 低压不合格范围内		
分	并	分	电源	负载	并联调压	稳定中压, 低压在合格内	、	或、	分别投、切(测高压 Q)	中压不要求范围, 低压不合格范围内		
分	分	并	电源	负载	并联调压	稳定中压, 低压在合格内	、	或、	并联投、切(测高压 Q)	中压不要求范围, 低压不合格范围内		
分	分	分	电源	负载	独立调压	稳定中压, 低压在合格内	、	或、	分别投、切(测高压 Q)	中压不要求范围, 低压不合格范围内		
并	并	并	电源	负载	并联调压	稳定中压, 低压在合格内	、	或、	并联投、切(测高压 Q)	中压不要求范围, 低压不合格范围内		
并	并	分	电源	负载	并联调压	稳定中压, 低压在合格内	、	或、	分别投、切(测高压 Q)	中压不要求范围, 低压不合格范围内		
并	分	并	电源	负载	独立调压	稳定中压, 低压在合格内	、	或、	并联投、切(测高压 Q)	中压不要求范围, 低压不合格范围内		
并	分	分	电源	负载	独立调压	稳定中压, 低压在合格内	、	或、	分别投、切(测高压 Q)	中压不要求范围, 低压不合格范围内		
分	并	并	电源	负载	并联调压	稳定中压, 低压在合格内	、	或、	并联投、切(测高压 Q)	中压不要求范围, 低压不合格范围内		
分	并	分	电源	负载	并联调压	稳定中压, 低压在合格内	、	或、	分别投、切(测高压 Q)	中压不要求范围, 低压不合格范围内		
分	分	并	电源	负载	独立调压	稳定中压, 低压在合格内	、	或、	并联投、切(测高压 Q)	中压不要求范围, 低压不合格范围内		
分	分	分	电源	负载	独立调压	稳定中压, 低压在合格内	、	或、	分别投、切(测高压 Q)	中压不要求范围, 低压不合格范围内		
上面 1~8 种情况			电源	负载	选择并、分	低压	、	或、	检测高、中压无功, 相加投切	保证低压在要求范围之内		
上面 1~8 种情况			电源	负载	选择并、分	中压	、	或、	检测高、低压无功, 相加, 投切	保证中压在要求范围之内		

为了在系统运行方式改变的情况下使装置仍能够正确进行控制, 必须将有关信息量引入装置以供判断。需引入的信息有:

- * 变压器分节头位置信号
- * 电容器组位置信号
- * 变压器的继电保护信号
- * 电容器的继电保护信号
- * 母联开关信号
- * 变压器高、低压侧的开关信号

在装置的投运初期, 装置通过询问式的人机对话菜单, 从运行人员的回答中获取系统的基本配置形式, 然后将这些基本配置信息写入到 EEPROM 中去, 即可投入运行。在运行过程中, 即使运行工况发生了某种变化, 装置仍可以通过引入的信息信号, 根据 EEPROM 中的基本配置信息, 判断出系统目前处于何种运行方式, 从而采取适当的控制对策, 达到合理的调控功能。

(2) 装置的调压和无功补偿的动作条件

装置对于任何一种控制对象的控制动作, 都不应是仅仅考虑该对象检测量的变化, 而是还要考虑其它有关检测量的变化情况。在装置中, 需要考虑的判断条件除了电压有效值和无功平均值外, 还应考虑有功平均值和视在功率。考虑有功平均值的作用是使装置产生逆调压的控制功能。逆调压的原理见图 1。

图中横座标为通过测量节点的有功功率。纵座标为母线需要维持的电压水平。在流过某节

点的有功负荷小于某定值 P_1 时,相应使母线电压也维持在较低水平,而随着 $P > P_1$ 和 $P > P_2$,相应地改变母线电压维持水平,使之变高。这样做的目的是在负荷功率发生变化时,不致因有功负荷的变化而导致用户端电压的波动。线路上的电压损耗可表示为

$$\Delta U = \frac{PR + (Q_L - Q_C)X}{U} \quad (8)$$

表 3

电压	无功功率	有功功率	视在功率	装置控制命令
正常	不足	正常	正常	投入电容器
正常	过剩	正常	正常	切掉电容器
低	正常	正常	正常	调升分接头升压 注 1
高	正常	正常	正常	调降分接头降压 注 2
低	不足	正常	正常	先投入电容器组,无功正常后调压
高	过剩	正常	正常	先切掉电容器组,无功正常后调压
高	不足	正常	正常	先降压,再投电容器组
低	过剩	正常	正常	先切电容器,再降压
×	×	大	×	升高电压整定基准值
×	×	小	×	降低电压整定基准值
×	×	×	满载	不得升降电压

注 1: 在分接头已调至最高位置时,可投入电容器组以保证电压升高。

注 2: 在分接头已调至最低位置时,可切除电容器组以保证电压降低。

在无功得到平衡的条件下,线路压降主要取决于流过的有功负荷。在有功增大的同时调整母线电压,即可减少或弥补线路电压损失给用户带来的电压波动。

流过变压器的视在功率也是应该检测的参数之一。在变压器满载运行时,一般不允许再次调压。

表 3 给出了装置动作命令的判别条件

3 尽量避免装置的频繁投切动作。

无论是对于有载调压器,还是对于并联电容器组,过于频繁的投切都会影响开关的寿命。至于在一个定值上的反复投切则更是不允许的。因此有的专家认为,在保证装置自动调整的功能前提下,能否避免装置的频繁投切,乃是装置能否广泛使用的关键。

不言而喻,避免频繁投切又是与稳定电压、减少无功不平衡的要求相矛盾的。例如某变电

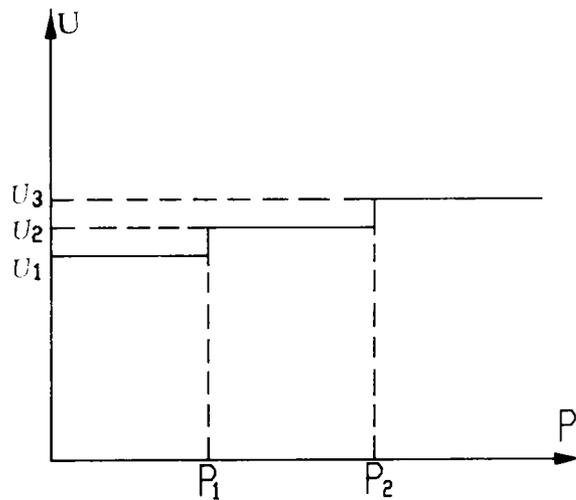


图 1

站要求的电压稳定范围为 113~117kV,以 115kV 为电压中心,则偏差仅为 2kV,为 1.74%,其要求是相当高的。如果不采取相应措施,任凭装置一测到电压越限(或低限)就调压,那么势必会造成频繁投切的后果。避免频繁投切,可从几个方面入手:

(1) 提高测量精度。以要求偏差范围 ±1.74% 为例,若测量精度低于 1%,再加上 TA、TV 本身固有的 0.5% 左右的误差,这样装置可能会发生误动作,这是应力戒避免的。

(2) 保留合适的调整范围。调整范围的意义是,当测量值超过整定值时,其差值必须大于一定的范围才发出调整指令。在 113~117kV 的要求中,若把范围考虑在 112.5~117.5kV,其调整的频繁程度肯定是不一样的。

(3) 软件延时

电网上的电气量随时都在发生变化,装置的功能并不在于任一时刻都要保证各电气量在所要求的范围之内,装置是处于一种断续的、分档的调整状态之下。相应的延时是允许的,也是必需的。但问题是,在电网发生较大扰动而使控制量偏离要求值较大时,若不能迅速使装置发出调整命令而使被控量回到正常值,对于运行人员说来是难以容忍的。解决这一矛盾的办法可以借用继电保护中反时限过流继电器的动作特性,即用软件使装置达到这样一种动作特性:

$$T = \frac{1}{\Delta y} \quad (9)$$

$$\text{或 } T = \frac{1}{(\Delta y)^2} \quad (10)$$

式中 T——动作时间

Δy——整定量与检测量的偏差

4 装置可靠性的考虑

(1) 隔离措施。包括开关量入、出的隔离和模拟量的隔离。

(2) 自诊断措施。包括软件的监视和主要硬件部件的诊断。硬件的自检以一天一次为宜。由于装置的实时性不是太强,且考虑软件安排的方便,可以在自检时停止采样及处理工作。

(3) 具有 TV 断线的检测能力

(4) 具有回校控制命令执行情况的能力。

5 装置的其它附加功能

(1) 远传功能。可设串口与监控或远动通讯。

(2) 打印功能。打印记录某时间段内电压、电流、有功、无功、视在功率的情况及装置动作情况,还可打印电压合格率等。

(3) 显示功能。通过 LCD 可自动循环显示有关参数。

参考文献

- 1 魏孝铭. 变电站微型计算机监控基础.
- 2 黄盒庄. 变电所微机电压无功综合控制装置. 中国电力, 1993, 10
- 3 王永清. 智能化多功能电量变送器. 电力系统自动化, 1992. 3