

考虑容量偏差修正的无功补偿控制策略研究

刘杨帆 吕萌姣

(国网赵县供电公司, 河北 石家庄 051530)

【摘要】 本文分析无功补偿装置基本工作原理, 针对母线电压的波动等原因, 在低压无功补偿装置的控制策略中设计了补偿容量自动检测和偏差修正环节, 计及了上述因素的不利影响, 并利用MATLAB建立修正前后两种不同的仿真模型进行对比, 研究影响容量大小的相关因素和自动修正对补偿精度的改善。

【关键词】 低压; 无功补偿; 容量偏差; 母线电压

一、研究现状及问题

由于配电网处于电网的末端, 用户多为低压用户, 许多用电器的功率因数很低, 且不带补偿装置, 这给电网带来很大的功率负担和额外线损, 为保证电能质量和降低损耗, 对电网末端负荷、变压器等进行就地无功补偿十分重要和必要的^[1]。早期的补偿技术和手段有并联电容器组, 同步调相机, 同步电动机补偿, 随着电力电子技术的发展, 基于SCR的静止无功补偿控制器、晶闸管控制串联电容补偿器发展到基于GTO的静止无功发生器、静止同步串联补偿器、统一潮流控制器、可转换静止补偿器等^[2]。但在低压无功补偿中, 主要是应用并联电容器补偿, 在国内外此领域中, 在设计的常规产品软件的投切判断环节, 补偿的无功功率(或电流)都是按照电容器额定值计算的, 并没有考虑由于电压波动产生的变化, 在低压无功补偿装置中, 就可能出现多投, 少投, 多切, 少切一只或多只电容器的情况, 影响补偿效果。此方面虽然已有研究人员考虑到, 但应用起来并不广泛^[3]。

二、无功补偿的必要性和意义

在感性负荷中消耗的无功功率称无功负荷; 在电网的输、变、配设备的电抗上消耗的无功功率称电网无功损耗。无功负荷与无功损耗之和即为电网的无功总需求。电网无功损耗约占电网无功总需求的近一半^[4]。无功功率负荷和无功功率损耗在各种用电设备中, 用电负荷的自然功率因数都是滞后的, 其值约为0.6~0.9(其中较大的数值对应于采用了大容量同步电动机的场合)。

补偿前后的功率三角形, 功率因数角由 φ_1 降到 φ_2 。从功率三角形可得所需补偿的无功容量为:

$$\Delta Q = P(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

三、无功补偿的影响因素

并联电容器无功补偿的容量确定是根据公式:

$Q_c = \omega C U^2$ 。我们可以看到, 其中有三个因素会给无功补偿带来误差, 影响无功补偿的精度。角速度 ω , 由 $\omega = 2\pi f$, 由于频率基本上是不变化波动的, 角速度 ω 这个因素是可以忽略的。出现谐波是不在本文的研究范围之内的。电容器容量C, 它是电容器的固定属性。

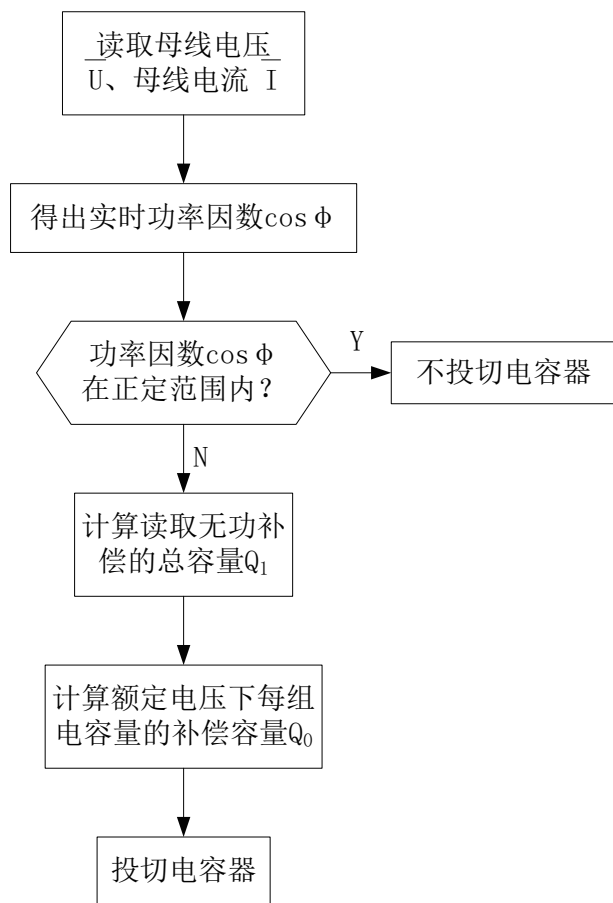


图1 基本控制策略流程图

母线电压U, 由于负荷变化(增加或减少)和大型电动机起动等原因, 母线电压U会时时刻刻波

动变化,由公式 $Q_c = \omega CU^2$ 可以看出,U的变化是成平方关系的,所以U的变化对无功补偿的影响很大,母线电压一般的允许的变化范围是 $\pm 10\%$,因而,在影响无功补偿因素中,母线电压是最重要的影响方面^[6]。

四、比较考虑容量偏差时与不考虑容量偏差时的无功补偿差值

在一般情况下,公式 $Q_c = \omega CU^2$ 中U的带入值为额定电压值,而负荷一发生变化,U随即变化,这个环节就是判断比较这种情况下引起的偏差。

设母线电压的额定值为 U_1 ,此时电容器的补偿容量为 $Q_{1c} = \omega CU_1^2$

后投入一组负荷 $P+jQ$,这时有电压降落,即:

$$\begin{aligned} \Delta U &= \frac{PR + QX}{U} \\ d\vec{U} &= \Delta U + j\delta U \\ \delta U &= \frac{PX - QR}{U} \end{aligned}$$

式中: P为负荷的有功功率, Q为负荷的无功功率, R为线路的阻抗, X为线路的感抗。U为额定电压值。

设实际电压为 U_2 ,则:

$$\begin{aligned} \vec{U}_2 &= (U_1 - \Delta U) + j\delta U \\ U_2 &= \sqrt{(U_1 - \Delta U)^2 + (\delta U)^2} \end{aligned}$$

$$\delta = \tan^{-1} \frac{\delta U}{U_2 + \Delta U}$$

通过上述公式可以看出,当负荷 $P+jQ$ 接入电网时,电压幅值变小了,而且功率因数也发生了变化。因而电容器的实际补偿容量为 $Q_{2c} = \omega CU_2^2$

通过判断比较,明显可以看出两种情况下电容器的补偿容量的确会有较大差值:

$$\Delta Q = Q_{1c} - Q_{2c}$$

五、控制方法策略

首先判断母线电压的实时范围,如果实时电压与额定电压之差在允许范围内,就可进入投切判断程序模块,如果实时电压与额定电压之差不在允许范围之内,要及时修正,即根据偏差查表得到修正系数,之后修正电容器的补偿容量,最后进入投切判断程序模块。

六、考虑容量偏差修正的无功补偿MATLAB仿真对比

下图(图2)是电路模型:

其中,电源电压交流电源电压为220V,即 $U_s = 220V$;频率 $f = 50Hz$;线路阻抗为 $1+j3$ 。补偿

电容和负载的参数设置如下:负载的有功功率设为1000W,感性无功功率设置为881.417var,电压表检测负载端电压;有两路负荷,且相同, $P=1000W$, $Q=881.417var$;有三组电容器, $C_1=50\mu F$, $C_2=25\mu F$, $C_3=10\mu F$ 。

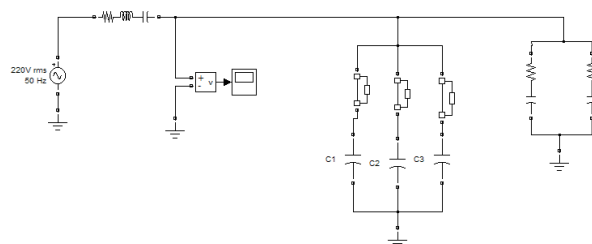


图2实例电路模型

起始状态是只有一路负荷 S_{L1} ($P=1000W$, $Q=881.417var$),此时,线路末端电压 U' 已经不是空载是的220KV,根据公式求得:

$$U' = 220 - \frac{1000 + 881.147 \times 3}{220} = 203.435V$$

其后,另外相同一负荷 S_2 ($P=1000W$, $Q=881.417var$)接入系统,线路末端电压又发生变化,变为 U'' ,用公式求得:

$$U'' = 220 - 2 \times \frac{1000 + 881.147 \times 3}{220} = 186.470V$$

此时,母线电压的值不在 $\pm 10\%$ 允许范围之内,就必须及时修正,即根据偏差查表得到修正系数,之后修正电容器的补偿容量,最后进入投切判断程序模块。

在本模型中:

补偿方案1:不考虑电压波动时, $U=220V$,三种不同容量的电容器的无功补偿容量为:

电容器 C_1 的无功补偿量为:

$$Q_1 = \omega C_1 U^2 = 50 \times 10^{-6} \times 2\pi \times 50 \times 220^2 = 760.265 var$$

电容器 C_2 的无功补偿量为:

$$Q_2 = \omega C_2 U^2 = 25 \times 10^{-6} \times 2\pi \times 50 \times 220^2 = 380.133 var$$

电容器 C_3 的无功补偿量为:

$$Q_3 = \omega C_3 U^2 = 10 \times 10^{-6} \times 2\pi \times 50 \times 220^2 = 152.153 var$$

补偿方案2:实际情况中,当负荷 S_2 接入电网时,电压波动变化, $U=186.470V$,三种不同容量的电容器的无功补偿容量发生变化,变为:

电容器 C_1 的无功补偿量为:

$$Q_1 = \omega C_1 U^2 = 50 \times 10^{-6} \times 2\pi \times 50 \times 186.470^2 = 546.183 var$$

电容器 C_2 的无功补偿量为:

$$Q_2 = \omega C_2 U^2 = 25 \times 10^{-6} \times 2\pi \times 50 \times 186.470^2 = 273.191 var$$

电容器 C_3 的无功补偿量为:

$$Q_3 = \omega C_3 U^2 = 10 \times 10^{-6} \times 2\pi \times 50 \times 186.470^2 = 109.237 \text{ var}$$

由模型知: 需要补偿的无功容量为:

$$Q = 2 \times 881.417 = 1762.834 \text{ var}$$

如果按补偿方案1进行补偿, 需要用两个 $C_1=50 \mu\text{F}$ 和一个 $C_3=10 \mu\text{F}$ 的电容器进行补偿:

$$\text{即 } Q = 2 \times Q_{c1} + Q_{c3} = 2 \times 760.265 + 152.153 = 1672.683 \text{ var}$$

而实际上

$$Q = 2 \times Q_{c1} + Q_{c3} = 2 \times 546.183 + 109.237 = 1201.603 \text{ var}$$

两者相差

$$\Delta Q = 1672.683 - 1201.603 = 471.08 \text{ var}$$

由此可见, 无功补偿的容量偏差很大, 补偿效果不明显。

如果按补偿方案2进行补偿, 考虑到母线电压的波动变化, 需要用三个 $C_1=50 \mu\text{F}$ 的电容器进行补偿:

$$\text{即 } Q = 3 \times Q_{c1} = 3 \times 546.183 = 1638.549 \text{ var}$$

由此看来, 这种补偿更加精确接近。

通过上述实例分析, 我用MATLAB做了仿真, 下面是用Simulink搭建的电路图(图3):

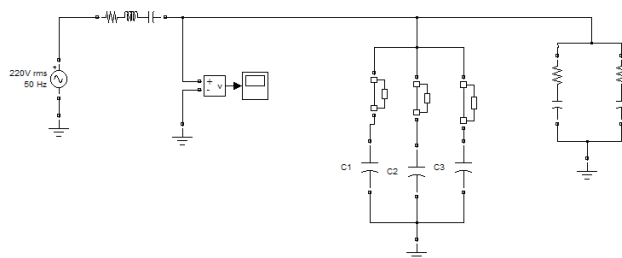


图3mat lab搭建的电路图

下面是仿真图(以下两个图均是在 $t=0.1\text{s}$ 时投切的电容器): 图4是不考虑容量偏差(不考虑电压波动变化)的仿真图, 图5是考虑容量偏差(考虑电压波动变化)的仿真图。

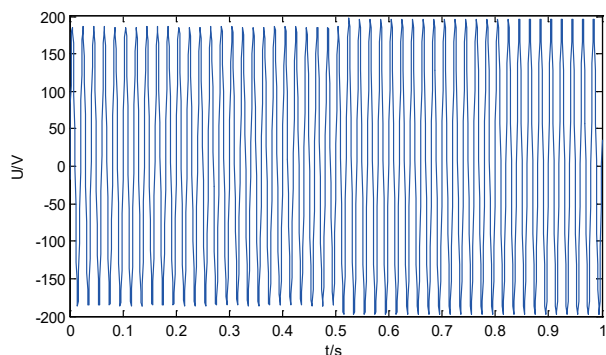


图4 不考虑容量偏差的仿真图

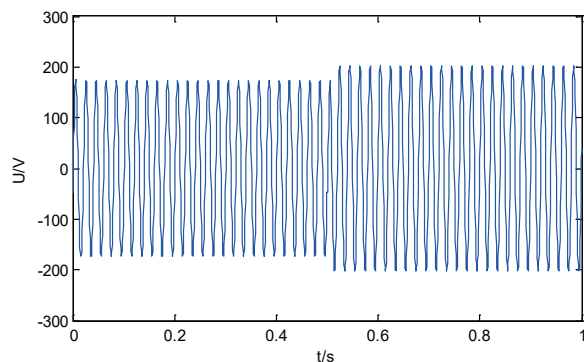


图5 考虑容量偏差(电压波动变化)的仿真图

可以看出两者明显的不同: 在不考虑容量偏差的情况下, 即计算电容器补偿容量时公式 $Q_c = \omega C U^2$ 中 U 用的是额定电压, 在投切电容器补偿后, 电压上升的不是很明显, 补偿效果不太理想; 在考虑容量偏差的情况下, 即计算电容器补偿容量时公式 $Q_c = \omega C U^2$ 中 U 用的是实时电压, 在投切电容器补偿后, 电压上升很明显, 补偿效果比较理想。因此考虑容量偏差修正的无功补偿控制策略研究是十分有必要的。

七、结论

本论文首先介绍了无功补偿的必要性和原理, 其后, 在此基础上, 探究影响并联电容器无功补偿精度的原因及其改善策略。因为母线电压 U 是影响无功补偿精度最大的影响因素, 所以本文针对 U 的波动变化做出了相应的解决策略, 通过测量, 计算, 判断比较和控制使无功补偿的精度更准确, 减少了其中的容量偏差。最后通过MATLAB的仿真, 验证了考虑电压波动与不考虑电压波动时引起无功补偿的容量偏差, 可以看出两者补偿前后电压明显变化的不同效果。

参考文献:

- [1]漆铭钧.供电系统无功补偿最优技术与应用[D].长沙: 中南大学, 2002.
- [2]林培玲.低压无功补偿方式的探讨[J].科技情报开发与经济, 2007, 17 (4): 289-290.
- [3]行娟娟.基于单片机控制的低压无功补偿装置的设计[J].山西电子技术, 2010, 21 (3): 37-38.
- [4]苏强.浅谈电网的无功补偿与电压调整[J].电子技术, 2008, 9: 121.
- [5]翁薇.低压无功补偿控制器的研究与设计[D].湖南: 湖南大学, 2002.
- [6]施文冲.现代电力无功控制技术与设备[M].北京: 中国电力出版社, 2010: 20-28.