

考虑谐波因素的变电站电压 无功自动控制研究

陈保刚,赵书强,杨 颖

(华北电力大学 电气工程学院,河北 保定 071003)

摘要: 为避免谐波问题造成的电容器等设备损坏,提出了根据电容器和电抗器的滤波能力,把谐波抑制功能加入电压无功控制(VQC)装置。采用了按电容支路串联谐振频率点选择电抗器的方法;讨论了 VQC 动作原理、控制原则、控制策略。通过 Matlab 仿真分析,验证 VQC 装置在考虑谐波因素后的功能得到提高,在调节电压和无功功率的同时,有效地保护了电力设备。

关键词: 谐波抑制; VQC; 变电站自动控制

中图分类号: TM 761⁺.1

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2006)04-0043-04

0 引言

随着供电水平的提高,提高供电的电能质量,降低网损率,实现电网调度经济运行已经是供电部门的一个很重要的目标。电力系统的运行电压水平取决于系统无功功率的平衡,维持电网正常运行下的无功功率平衡是改善和提高电压质量的基本条件。对于联系电网和用户的变电站,其主要的任务是保证安全、经济、优质地向用户提供合格的电能,而且保证变电站用户端的电压接近额定值,对提高全网电压质量有着现实的重要意义。

目前,全国各等级变电站中很多都装设有载调压变压器和并联电容器组,通过合理地调节变压器的分接头和投切电容器组,就能够在很大程度上改善变电站的电压质量,实现无功潮流合理平衡。

在变电站中利用有载调压变压器和并联补偿电容器进行局部的电压和无功补偿的自动调节,以保证负荷侧母线电压在规定范围内及母线功率因数尽可能接近 1,称为变电站电压无功综合控制(VQC)。VQC 装置通过变电站内监控网络获得系统信息,包括相关节点的电压、电流、有功和无功以及相关断路器、隔离开关的位置信息,然后按照预定的控制原则做出调整决策。

近年来,由于电力电子装置的广泛应用使得公用电网的谐波污染日趋严重,由谐波引起的各种故障和事故也不断发生。为了滤除谐波,常会装设由电容器和电抗器组成的滤波器。在工频频率下,这些电容器的容抗比系统的感抗大得多,不会产生谐振。但对谐波频率而言,系统感抗大大增加而容抗大大减小,就可能产生并联谐振或串联谐振。这种谐振会使谐波电流放大几倍甚至数十倍,会对系统,特别是对电容器和与之串联的电抗器形成很大的威胁,常常使电容器和电抗器烧毁。在由谐波引起的

事故中,这类事故占有很高的比例^[1]。

为了有效地避免谐波问题造成的电容器组损坏,本文提出了根据电容器和电抗器的滤波能力,把谐波抑制功能加入 VQC 装置。实验仿真计算结果也证明这种方法有效地完善了 VQC 装置的控制策略。

1 谐波与并联电容器之间的相互影响

1.1 谐波对并联电容器的直接影响

谐波电流叠加在电容器的基波电流上,使电容器电流有效值增大,温升增高,甚至引起过热而降低电容器的使用寿命或使电容器损坏。谐波电压叠加在电容器基波电压上,不仅使电容器电压有效值增大,并可能使电压峰值大大增加,使电容器运行中发生的局部放电不能熄灭,这往往是使电容器损坏的一个主要原因。

1.2 并联电容器对谐波的放大

电容器将谐波电流放大,不仅危害电容器本身,而且会危及电网中的电气设备,严重时会造成损坏,甚至破坏电网的安全运行^[2]。

1.3 谐波放大的抑制与串联电抗器的选择

并联电容器主要用于无功补偿,不能因为谐波电流过大而限制其使用。一般采用主变压器低压侧无功补偿电容器支路中串联电抗器的方式,尽量避免并联谐振的发生,并根据实际存在的谐波次数选择适当的参数为系统中高含量谐波提供通路,就近吸收谐波电流,起到限制谐波的作用。

在电容器支路上串联电抗器的目的主要为消除电网已存在的谐波电流谐振放大的条件。因此,如何选择电抗器及各个并联电容器在电网无功及不平衡综合补偿中的投放顺序是抑制谐波放大的关键^[3]。

传统上,一般按照电抗容抗百分比选择电抗值。

电力系统中谐波电流一般以 5,7 次较大,11,13 次次之,3 次并不严重。在 3 次谐波电流较大的场合,应装 1 组或 2 组串 12 % 电抗器的电容器组。另外,当并联电容器组回路串联 $\geq 4\%$ 的电抗器后,3 次

谐波电流将被放大。采用串联 6 % 电抗器对减小电容器 5 次谐波负荷效果显著,但 6 %~7 % 电抗器使 3 次谐波电流处于谐振状态,对 3 次谐波严重放大,不仅使注入系统的 3 次谐波增加,还加重了电容器的负担,既不利改善系统谐波,也不利电容器组安全运行。因此,采用 5 % 和 12 % 电抗器组合是以往变电站并联电容器组设计的主要形式。

传统的按百分比选择电抗值带一定的盲目性,且效果不十分理想。本文采用了按电容支路串联谐振频率点选择电抗值的方法,其物理意义明确,可操作性强,通过仿真取得了较满意的结果。对于单个电容器,按串联谐振于 200 Hz 选取电抗器;对于多个电容器,第 1 个电容器在 145 Hz,从第 2 个电容器起所有电容器在 225 Hz 谐振点选择电抗器。投切时先投谐振于 145 Hz 的支路,此时对 3,5,7 次谐波放大均有较好的抑制作用。

图 1(a)~(d)分别为多电容器投切仿真电路及对 3,5,7 次谐波抑制的效果。

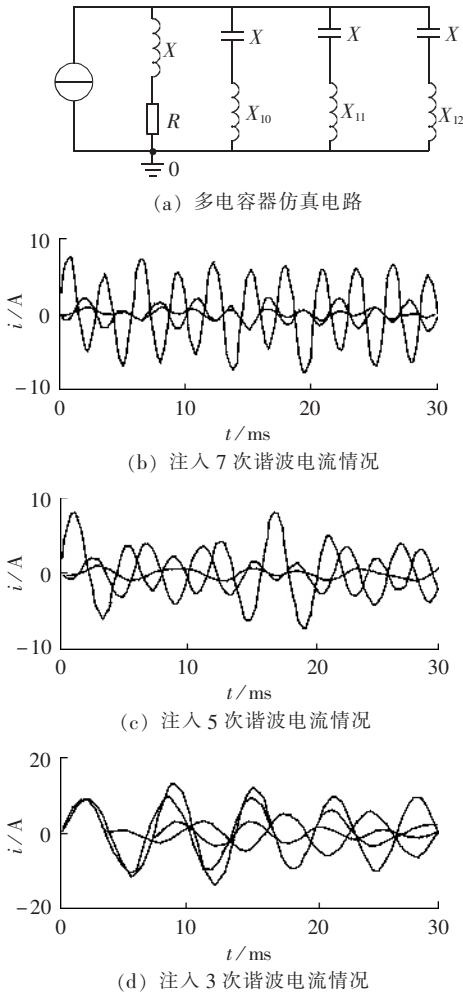


图 1 多电容器投切仿真

Fig.1 Simulation of multi-capacitor switching

2 VQC 动作原理及仿真分析

2.1 原理接线图

VQC 装置应既可装于三线圈主变压器的变电

站,也可装于双线圈主变压器的变电站,现以双线圈主变压器为例介绍原理接线,如图 2 所示。

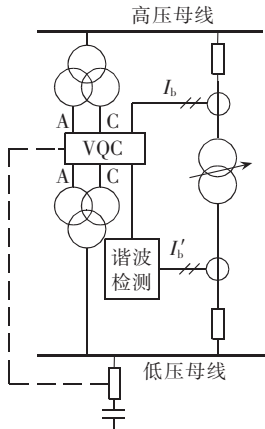


图 2 原理接线图

Fig.2 Schematic connection diagram

VQC 需输入的模拟参数量有:高压侧 B 相电流 I_b ; 低压侧 B 相电流 I'_b ; 高压侧 AC 相电压 U_{AC} ; 低压侧 AC 相电压 U''_{AC} 。

通过主变压器高压侧 B 相电流 I_b 和高压侧 AC 相电压 U_{AC} ,VQC 可以计算出通过主变压器高压侧的无功负荷。通过低压侧 B 相电流 I'_b ,可以检测低压侧母线电流是否含有超限谐波成分。

2.2 控制原则

一般情况下,投切电容器组能够同时影响电压和无功的大小。投入电容器,相当于增大无功电源,系统提供的无功减小功率因数升高,电压升高;切电容器后,无功增大功率因数降低,电压降低。调整分接头时,一般只考虑电压的变化而忽略电压变化对功率因数的影响。

电压无功控制主要以主变压器低压侧的母线电压和高压侧无功作为控制目标,同时本文将低压侧母线谐波含量作为参考侧控制目标,在保证控制电压和无功质量的基础上,有效地抑制谐波。

电容器组投切时应注意投切次序,低谐振频率点支路应先投切^[4]。

2.3 控制策略——无功设备优先

控制策略采用改进的九区图,如图 3 所示。

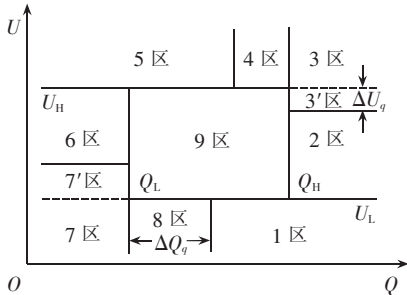


图 3 九区图

Fig.3 Diagram of 9-zone

2.3.1 电压上下限确定采用分时控制原则

电压分时控制是指按实际日典型负荷曲线或按文献[3]提出的方法,按预测负荷曲线,划分高峰和低谷时段,在调度给定的电压上下限内,分别采用不同的电压控制范围。即:高峰负荷时段定较高的电压控制范围,暂定为 10.7~10.2 kV;低谷负荷时段定较低的电压控制范围,暂定为 10.5~10.0 kV。

电压分时控制的时段划分宜粗不宜细,太细会使被控对象动作频繁。随着季节和运行方式的不同,负荷曲线中的高峰、低谷时间会有所差异,运行中不可能经常修改时段的划分和改变电压上下限定值^[5]。

2.3.2 无功上下限确定采用分站控制原则

无功分站控制是指每站无功下限 24 h 不变,但不同的站其下限不同,有的站下限采用 0,而有的站则定为不同的数值,关键是系统综合效果。

电容器组的容量是固定的,所以无功上下限的宽度不可能过窄,否则将会出现电容器组反复投切的情况;也不宜太宽,否则会出现电容器组利用率低,经常无法投上的现象。无功上下限现在采用 1.3 倍电容器组容量。无功上限的确定只需把下限值加上 1.3 倍电容器组容量即可^[6]。

2.3.3 具体控制策略分析

根据电力系统的习惯,可以通过预测投切电容器是否可以达到最优的效果进行优化控制。如果投切电容器既可保证功率因数合格和抑制谐波,又可以调整电压,则可以通过投切电容器进行调压;如果投切电容器不合适,则调整主变压器分接头^[7-9]。

如下分析动作策略。

- a. 如果投电容器不会使功率因数超过上限值,则优先投电容器;如果投电容器后电压仍然不满足,再调主变压器分接头升压。
- b. 投电容器不会使电压越上限和功率因数越上限,则只投电容器。
- c. 电压高但功率因数又偏低,则只调主变压器分接头降压,动作后的再次决策视运行情况而定。
- d. 电压高,但切 1 组电容器会导致功率因数超过下限值,则调主变压器分接头。
- e. 如果切电容器不会使功率因数超过下限值,则优先切电容器;如果切电容器后电压仍不满足,则调主变压器分接头降压。
- f. 切电容器不会使电压越下限和功率因数越下限,则只切电容器。
- g. 电压低但功率因数又偏高,则调主变压器分接头升压,动作后的再次决策视运行情况而定。
- h. 电压低,但投 1 组电容器会导致功率因数超过上限值,则只调主变压器分接头升压。
- i. 3'区,检测到投电容器使电压越上限值,此时如果有电容器可投,则先调主变压器分接头降压,然后再检查电容器是否需要投入,如果需要,则投;如果出现其他运行情况,则重新决策。如果在该区中

检查到没有电容器可投,则暂时维持现状而不操作主变压器分接头。

j. 7'区,检测到切电容器使电压越下限值,此时如果有电容器可切,则先调主变压器分接头升压,然后再检查电容器是否需要切掉,如果需要,则切。如果出现其他运行情况,则重新决策。如果在该区中检查到没有电容器可以切,则暂时维持现状而不操作主变压器分接头。

2.4 设计实例及 Matlab 仿真

通过检测某低电压网,已知 3 次谐波被放大。在低压母线侧每相设置并联电容器组,取单相分析,仿真电路见图 4。设电压源峰值为 311 V,谐波电流源峰值为 10 A^[10]。

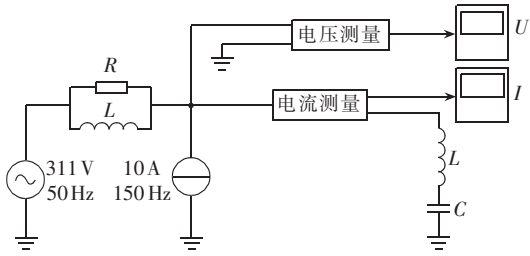


图 4 仿真电路设计图
Fig.4 Simulation circuit

谐波电流源作用于电路,电容器组未投入时,母线电压低于设定的下限,波形畸变,运行点处于九区图中的 8 区,且谐波含量过高。此时电压波形见图 5。

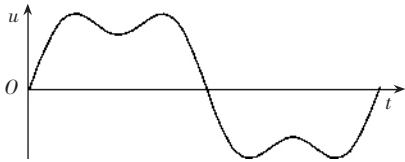


图 5 VQC 动作前电压波形
Fig.5 Waveform before VQC action

按照 VQC 装置的控制策略,此时投入 1 组电容器,达到提高电压、抑制谐波的目的。电容器投入运行后,系统电压提升,波形基本恢复正常,电容器支路的电流也控制在额定范围内。如图 6,7 所示。

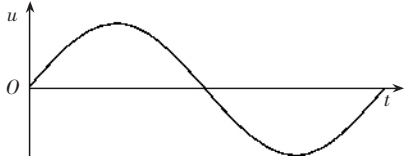


图 6 VQC 动作后电压波形
Fig.6 Waveform after VQC action

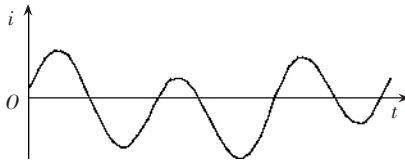


图 7 电容器电流
Fig.7 Current of capacitor

3 结语

作为对传统 VQC 控制策略的补充和完善,本文从谐波与并补电容器组的相互影响着手,提出了谐波抑制和变电站电压无功自动控制研究的结合,在理论上提出了 VQC 电压无功控制整定范围的新方法,并建立了相应的控制策略。装置根据不同时段的电压无功定值和谐波次数自动判断是否调整变压器分接头和投切电容器,使电容器组和有载变压器调压功能得到充分利用,满足系统电压无功调节“电压合格,无功基本平衡,尽量减少调节次数”的要求,顺便顾及降低系统网损的目的。同时,避免因电容器发生并联或串联谐振造成谐波含量放大的现象,从而延长设备的使用寿命,减少保护装置误动作。

参考文献:

- [1] 王兆安,杨君,刘进军. 谐波抑制和无功功率补偿[M]. 北京:机械工业出版社,1998.
- [2] 吴竟昌. 供电系统谐波[M]. 北京:中国电力出版社,1998.
- [3] 全庆贻,颜钢锋. 变电站电压无功综合控制的研究[J]. 继电器,2001,29(10):22-26.
- TONG Qing-yi, YAN Gang-feng. Combination control of voltage and reactive in substation[J]. **Relay**,2001,29(10):22-26.
- [4] 熊小伏,王志勇. 引入负荷预测的变电站电压无功控制[J]. 电力系统自动化,2003,27(13):58-60.
- XIONG Xiao-fu, WANG Zhi-yong. Voltage and reactive power control with load forecasting[J]. **Automation of Electric Power Systems**,2003,27(13):58-60.
- [5] 周滢露,颜伟,王官洁. 基于负荷预测的变电站无功电压控制[J]. 重庆大学学报,2003,26(9):89-92,122.
- ZHOU Ying-lu, YAN Wei, WANG Guan-jie. Substation's voltage reactive control depending on load forecast[J]. **Journal of Chongqing University**,2003,26(9):89-92,122.
- [6] 胡文炳. VQC 装置的运行与调试[J]. 北京电机工程学会

学报,1998(1):4-12.

HU Wen-bing. Operation and debugging of the VQC equipment[J]. **Journal of Beijing Society for Electrical Engineering**,1998(1):4-12.

- [7] 王金星,王庆平,贾长朱,等. Matlab 在有源滤波器仿真设计中的应用[J]. 电力系统及其自动化学报,2001,13(4):43-46.
- WANG Jin-xing, WANG Qing-ping, JIA Chang-zhu, et al. Application of Matlab in design and simulation of active power filter[J]. **Proceedings of the EPSA**,2001,13(4):43-46.
- [8] 罗伟胜. 一种无功与谐波的综合补偿方案[J]. 电网技术,2004,28(14):90-92.
- LUO Wei-sheng. A comprehensive method of reactive power and harmonic compensation[J]. **Power System Technology**,2004,28(14):90-92.
- [9] 史承逵. 电网电容器组谐波谐振和谐波放大的研究[J]. 电力自动化设备,2001,21(7):36-38.
- SHI Cheng-kui. Study on harmonic resonance and harmonic enlargement of power network capacitor bank[J]. **Electric Power Automation Equipment**,2001,21(7):36-38.
- [10] 李心广,蔡兴勇. 电网谐波放大与抑制仿真研究[J]. 电气传动,2003(4):10-12.
- LI Xin-guang, CAI Xing-yong. The simulation approach of harmonics magnifying controlling in power system[J]. **Electric Drive**,2003(4):10-12.

(责任编辑:汪仪珍)

作者简介:

陈保刚(1977-),男,河北衡水人,硕士研究生,研究方向为电力系统分析、运行与控制(E-mail:cbgyy@163.com);

赵书强(1964-),男,河北景县人,教授,博士,主要研究方向为电力系统稳定分析与控制、电力系统谐波分析及抑制、电力系统规划;

杨颖(1977-),女,四川雅安人,硕士研究生,研究方向为电力系统分析、运行与控制。

VQC in substation considering harmonic wave

CHEN Bao-gang, ZHAO Shu-qiang, YANG Ying

(Electric Engineering Institute, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: To avoid device damage caused by harmonic wave, a VQC device integrating harmonic suppression function is presented in terms of the filter capability of capacitor and reactor. The reactance value is selected according to the serial resonance frequency of capacitance branch. The action principle, control rule and control strategy of VQC are discussed. Simulation with Matlab verifies that, with the consideration of harmonic wave, the device has better performance in both regulating voltage and reactive power and protecting electric devices.

Key words: suppression of harmonics; VQC; automatic control of substation