

# 利用配电网静止无功补偿器改善配电网电能质量的方法探究

李丹洋 存都日呼 乌兰 王晓杰 徐丽丽 陈智勇 张鹏

(锡林郭勒职业学院 内蒙锡林郭勒 026000)

**【摘要】** 随着科技发展以及互联网技术的进步, 计算机、微电子等具有敏感负荷的设备不断涌现, 促使用户对用电质量要求不断提升。与此同时, 一些非线性负荷的增加影响了配电网的稳定性, 导致电能质量越来越差。因此, 合理补偿配电网中的无功功率, 不仅可以降低电能损耗, 还可以提高配电网的运行效率。在这种电能质量改善需求下, 配电网静止无功补偿器成为首选方法。本文就配电网静止无功补偿器在电能质量改善过程中的主要方法进行分析。

**【关键词】** 配电网; 静止无功补偿器; 改善; 电能质量; 方法

DOI: 10.18686/jyfzyj.v3i2.35214

相关研究发现, 大部分电能质量问题的主要来源是配电网系统, 其中, 对用户设备正常运行造成最大影响的问题是电压跌落、负荷不平衡以及电压波动等。配电网静止无功补偿器作为用户电力中的重要器件, 是提高电力系统电能质量的有效方法。配电网静止无功补偿器的主要特点是响应快, 能够对电力系统中所负荷的无功功率变化实施动态补偿, 实现对波动电压的抑制作用, 控制电压跌落, 从而实现电力平稳运行。

## 1 无功补偿的主要分类

配电网的无功补偿主要分为三种: 第一种是变电站补偿法, 一般将补偿装置或者线路连接在变电站 10 kV 的母线上, 实现对变电站的集中补偿, 主要目的在于实现对电网无功功率的平衡, 通过改善功率的因数, 提升终端母线的电压, 减少输电线路产生的损耗, 这种无功补偿装置的组成包括并联电容器、静止补偿器以及同步调相机; 第二种是配电线路无功补偿法, 这种方法主要应用于功率较低、负荷比较重的线路, 其方法是将电容器安装在线路杆塔上来实现无功补偿, 主要目的在于为公用变压器提供无功补偿; 第三种是跟踪补偿法, 也可以称为随器补偿, 主要通过低压电容器与配电变压器之间的连接实现配电变压器空载无功补偿, 主要适用于 100 千瓦以上的专用用户。

## 2 利用配电网静止无功补偿器改善电能质量的方法

### 2.1 STATCOM 对电压波动的抑制方法

假设配电网静止,  $R_{af}$ 、 $R_{bf}$ 、 $R_{cf}$  表示无功补偿器的开关损耗,  $L_{af}$ 、 $L_{bf}$ 、 $L_{cf}$  表示变压器的漏感,  $i_a$ 、 $i_b$ 、 $i_c$  表示输出电流,  $i_{La}$ 、 $i_{Lb}$ 、 $i_{Lc}$  表示三相负荷电流,  $V_{sa}$ 、 $V_{sb}$ 、 $V_{sc}$  表示三相电压,  $Z_{sa}$ 、 $Z_{sb}$ 、 $Z_{sc}$  表示传输线的等效阻抗,  $i_{sa}$ 、 $i_{sb}$ 、 $i_{sc}$  表示系统的三相电流。这种结构的三相配电网静止无功补偿器可看做是由相互独立的无功补偿器组成, 在 VSC 的作用下, 就会产生三电平, 分别是  $V_c$ 、0、 $-V_c$ 。

由结构图可得公式  $\Delta v = \frac{\Delta Q_L \cdot X_s + \Delta P_L \cdot R_s}{V}$ , 由于输电线以及变压器阻抗的存在, 导致负荷端电压会出现相

应的变化。在上式中,  $\Delta Q_L$  表示负荷的无功变化值, 而负荷的有功变化值为  $\Delta P_L$ ,  $X_s$ 、 $R_s$ 、 $V$  分别表示系统电抗、系统电阻以及系统电压, 最终计算出负荷端电压和系统电压之间的差值  $\Delta v$ 。在整个系统运行过程中, 由于  $R_s \ll X_s$ , 负荷端的电压也会随着数值的变化发生变化, 电压变化值为  $\Delta v \approx \frac{\Delta Q_L \cdot X_s}{V}$ 。用户端的电压会随着负荷的无功功率发生相应的变化, 在这种情况下, 利用配电网静止无功补偿器实现对无功负荷的补偿, 确保  $\Delta Q_L = 0$ , 通过这种动态补偿的方式能够改善用户用电过程中出现的电压跌落现象, 改变电压波动造成的用电不稳定。

### 2.2 STATCOM 在减少不平衡负荷中的工作原理

不平衡负荷的出现会对电力系统造成严重的危害, 影响到电力系统运行的稳定性和安全性。为了减少这种危险情况的出现, 可以利用传统的无功补偿器进行分相无功补偿, 但是传统无功补偿器存在一定的缺陷。首先, 当补偿的对象为不平衡负荷时, 无功补偿的方法无法使用; 其次, 当计算的结果出现负荷电纳的补偿时, 会导致测量困难, 需要对数据进行转换; 最后, 由于传统无功补偿器本身的缺陷, 限制了其在电力无功补偿方面的使用。

如果电力系统中只存在有功功率不平衡的现象, 且三个系统在同一周期内输出的有功功率值分别为  $P_{sa}$ 、 $P_{sb}$ 、 $P_{sc}$ , 而静止无功补偿器的电源在一个周期内输出的有功功率值为  $P_a$ 、 $P_b$ 、 $P_c$ , 而各项负荷消耗的有功功率平均值为  $P_{La}$ 、 $P_{Lb}$ 、 $P_{Lc}$ , 可以得到公式 (1):

$$\begin{cases} P_{sa} + P_a = P_{La} \\ P_{sb} + P_b = P_{Lb} \\ P_{sc} + P_c = P_{Lc} \end{cases} \quad (1)$$

在同一周期内, 三相配电网静止同步补偿装置输出的总功率为零的情况下, 得到公式 (2):

$$P_a + P_b + P_c = 0 \quad (2)$$

在三相电源平衡之后, 就会输出对称的有功功率, 用公式 (3) 表示:

$$P_{sa} = P_{sb} = P_{sc} \quad (3)$$

综合公式 (1) 和公式 (3) 最终得到以下公式:

$$\begin{cases} P_a = \frac{1}{3}(2P_{La} - P_{Lb} - P_{Lc}) \\ P_b = \frac{1}{3}(2P_{Lb} - P_{La} - P_{Lc}) \\ P_c = \frac{1}{3}(2P_{Lc} - P_{Lb} - P_{La}) \end{cases}$$

$$P_{sa} = P_{sb} = P_{sc} = \frac{1}{3}(P_{La} + P_{Lb} + P_{Lc})$$

通过上面公式的推导可以得出, 在电力系统中三相负荷不平衡的情况下, 配电网静止同步补偿装置会通过吸收有功功率补偿需要发出的有功功率, 实现总功率的平衡, 即通过静止同步补偿装置实现三相之间的功率转换, 最终达到电力系统中负荷的平衡。

### 3 配电网静止同步补偿装置的仿真实验分析

对配电网电能质量的改善, 本文主要采用电容电压 PI 控制与离散滑模控制相结合的方法进行复合型控制。利用配电网静止同步补偿装置补偿负荷的无功功率, 在装置没有投入运行时, 系统的电流波形和电压波形如图 1 和图 2 所示。

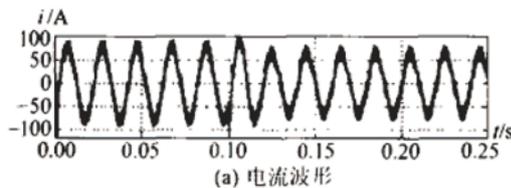


图 1 电流波形

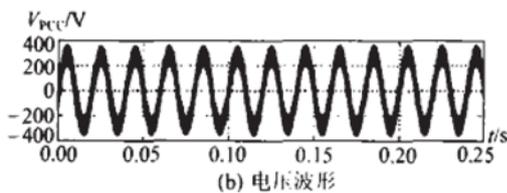


图 2 电压波形

通过上图可以看出, 电压波形发生了畸变, 主要原因是输出电流具有谐波。在  $t=0.1$  s 时, 配电网静止同步补偿装置投入运行, 在短时间的干扰下, 系统的电流和公共节点的电压相位一致, 由此可见, 利用静止无功补偿器能够完全对负荷所消耗的无功功率进行补偿。经过观察发现, 电流超前电压  $73^\circ$ , 主要原因在于实验模型装置容量不足, 但是开关以及电感电阻所占的耗损较大, 无功补偿器需要消耗有功分量才会出现这种情况。

不开启补偿的情况下, PCC 的电压峰值、电压波动以及最大电压偏差分别为 268 V, 7.65% 以及 -13.83%。在开启静止无功补偿器装置的补偿作用时, PCC 的电压曲线又会发生较大的变化。当 PCC 的电压峰值降了 15 V, 数值变为 305 V, 电压波动以及最大电压偏差也发生了变化。当时间为 0 秒时, 无功功率为 800 var, 当时间为 0.1 秒时, 无功功率增加了 17200 var, 当时间为 0.2 秒时, 无功功率的增幅达到最大化。通过此次试验可以说明, 在电力系统运行的过程中投入静止无功补偿器装置, 会影响公共节点 PCC 的电压, 使其达到国家规定的用电标准, 为人们的安全用电提供基本保障。

### 4 结语

通过实验对静止无功补偿器的使用效果进行探究, 可以得出该装置对电力系统所需的无功功率能够正确的进行补偿的结论。此外, 静止无功补偿器装置的使用一定程度上能够有效抑制电压波动, 避免电压降落对配电网电能质量的影响。文中采用主电路为三相全桥式逆变电路, 对不平衡负荷实现平衡也有巨大的辅助作用。由此可见, 静止无功补偿器对电力系统无功补偿准确度的改善以及用户用电安全的保障提供了有效解决策略。

**作者简介:** 李丹洋 (1989.3—), 女, 内蒙古锡林浩特人, 硕士, 助教, 研究方向: 电气工程及其自动化。

**基金项目:** 2019 年锡林郭勒职业学院资助课题: 无功补偿在提高用电设备电能质量上的技术应用研究 (课题批准号 YB-2019-07)。

### 【参考文献】

- [1] 广东电网有限责任公司. 一种基于混合储能的新型储能单元的静止同步补偿器: CN201921599565.0[P].2020-04-14.
- [2] 杨波. 基于 LCL 滤波器的 690V 静止同步无功补偿器控制策略研究 [D]. 黑龙江: 哈尔滨工业大学, 2018.
- [3] 河北科技大学. 一种 APF 与 SVC 联合控制改善微网电能质量的装置: CN201920330716.6[P].2019-08-27.
- [4] 张传金. 配电网静止同步补偿器关键技术研究 [D]. 江苏: 中国矿业大学, 2017.
- [5] 李鹏飞. 基于超级电容储能的微网电能质量调节器研究 [D]. 兰州交通大学, 2016.
- [6] 赵海伟. 基于 MMC 中低压配电网 STATCOM 的研究 [D]. 江苏: 南京航空航天大学, 2016.
- [7] 熊博. 二极管钳位型三电平静止同步补偿器控制方法与装置研究 [D]. 湖北: 华中科技大学, 2014.
- [8] 易驰. 配电网静止无功补偿器控制方法研究 [D]. 湖北: 武汉工程大学, 2014.