

基于 SOGI—FLL 算法的油田电网动态无功补偿对策研究

李 炜¹, 杨 扬²

(1. 胜利油田技术检测中心, 山东 东营 257061; 2. 中国石油大学 胜利学院, 山东 东营 257061)

摘要: 为了解决油田无功补偿装置爆电容现象, 本课题在现有无功补偿装置存在问题的基础上, 提出了采用晶闸管投切电容器与静止无功发生器相结合的补偿方案; 将 SOGI—FLL 算法应用于电压精准锁相和无功功率的准确计算中, 其结果分别用于确定 Matlab 仿真模型中晶闸管投切电容器的投入时刻和提供静止无功发生器的控制参考信号, 从而实现谐波和无功电流的有效控制; 仿真结果表明, 该方案不仅实现了无功功率的有效补偿, 而且进一步降低了油田配电网无功损耗, 提高了功率因数。

关键词: SOGI—FLL; 无功补偿; 晶闸管投切电容器; 静止无功发生器

Dynamic Reactive Power Compensation Measures Based on Oil Field Power SOGI—FLL Algorithm

Li Wei¹, Yang Yang²

(1. Shengli Oilfield Technical Inspection Center, Dongying 257061, China;

2. Shengli College, China University of Petroleum, Dongying 257061)

Abstract: In order to solve the electric capacity of oil field reactive power compensation device, based on the existing problems of reactive power compensation device, a compensation scheme combining thyristor switching capacitor and static var generator is proposed in this paper. And the SOGI—FLL algorithm is applied to the exact calculation of the voltage precision lock-in and reactive power. The outcome are used to determine the capacitor input time of the Matlab simulation model of thyristor switching capacitor and to provide the control reference signal of the static var generator. So as to realize effective control of harmonic and reactive current. The simulation results show that the scheme not only realizes the reactive power compensation effectively, but also reduces the reactive power loss of oil field distribution network and improves the power factor.

Keywords: SOGI—FLL; reactive power compensation; thyristor switching capacitor; static var generator

0 引言

目前油田无功补偿装置一般采用手动投切电容器, 只有少数采油厂采用接触器或晶闸管投切开关, 在抽油机的电控箱并接低压电容器, 抽油机无功补偿最常见的补偿方式仍是以无功平均值对其补偿^[1]。使用该方法补偿后的功率因数虽然有所提升, 但是存在能耗低、无功损耗明显等缺点。文献 [2] 利用大容量静态调节设备对风电场无功电压大幅调节, 动态调节设备进行补偿小幅波动, 实现各类无功补偿之间协调控制。文献 [3] 设计一套动态无功补偿装置的二级电压控制体系, 有效进行暂态电压稳定的预防控制。

本项目首先采集油田抽油机现场数据, 分析油田现有无功补偿装置故障原因, 建立晶闸管投切电容器 MATLAB 仿真模型。将 SOGI—FLL (second order generalized integrator—FLL) 算法用于电压的精准锁相中, 利用其滤波特性得到电源电压与电容器端电压之差的准确过零点, 在此处进行电容器的投切, 从而实现电容器投入时刻的精确控制。同时将 SOGI—

FLL 用于无功功率的准确计算, 以得到准确基波无功功率值, 从而选择合适的投切电容器组。研究静止无功发生器的电路结构及算法, 并搭建静止无功发生器仿真模型, 并将 SOGI—FLL 算法用于基波和谐波电流信号提取, 为静止无功发生器提供参考信号, 从而实现谐波和无功电流的有效控制, 以补偿晶闸管投切电容器未能补偿的剩余无功功率, 实现晶闸管投切电容器与静止无功发生器相结合的无功补偿方案。

1 油田无功补偿装置故障机理分析

虽然油田中抽油机无功功率具有较大的波动, 但是考虑到投入成本和运行可靠性等因素, 投切电容器仍作为油田配电网主要无功功率补偿装置。目前, 虽然油田配电网由于电容器大量投入运行, 功率因数一定程度得到提升, 但是现场中电容器损坏现象频繁, 抽油机运行维护困难, 造成了爆电容故障, 带来了一定的经济损失。分析其主要原因有两点, 一个是过电压, 另一个是谐波过电流。为此深入研究爆电容现象的原因, 通过理论分析得出合理应对策略, 目前油田无功补偿装置故障原因主要有:

1) 异步电动机和井口变压器作为油田生产主要动力, 两者位置较近, 变压器输出电压高于抽油机额定电压, 这导致异步电动机长时间工作电压超过额定电压, 过高端电压导致励磁电流急剧升高, 增加了系统无功补偿容量。

收稿日期: 2017-03-22; 修回日期: 2017-04-11。

基金项目: 中石化科研项目(135032)。

作者简介: 李 炜(1981—), 男, 内蒙古乌兰察布市人, 硕士研究生, 主要从事电力电子与电力传动方向的研究。

2) 现有油田无功功率由于抽油机负载而存在较大波动, 采用 3390 功率分析仪采集的抽油机工作时的电压、电流、有功功率、无功功率和各次谐波含有率等参数。根据实测无功功率的平均值选择补偿电容器, 大部分时间无功功率是低于平均功率的, 导致过补偿。而由于固定电容器在发生过补偿时无法调整补偿容量, 当负载为容性负载时, 进一步加剧过补偿, 使电压进一步升高, 出现过电压损坏。

3) 并联电容器对系统谐波电流具有放大作用, 进而对电网其他设备产生不利影响, 对电网安全造成威胁^[4]。目前油田无功补偿装置可靠性差, 需对目前油田无功补偿装置进行合理故障分析, 提出预防策略。在考虑抽油机特殊负载前提下, 提出一种基于 SOGI-FLL 锁相环原理, 准确计算系统实时无功功率, 计算出系统过补偿水平, 为油田无功补偿装置正常运行提供保障; 该算法还用于系统负载电流主要谐波的提取, 为静止无功发生器的控制信号, 动态补偿抽油机无功功率。

2 SOGI-FLL 锁相环算法理论研究

实时相位信息在许多静止无功补偿装置、可控交直流变换器、有源滤波器、不间断电源等系统中, 是实现有功功率和无功功率的计算及各自参考坐标变换的主要标准^[5]。而电力系统中谐波的存在、电容器瞬时投切的扰动、电网换相造成整流器陷波、电网电压骤降引起的相位跳变及频率波动和电网的三相电压不平衡等因素会影响基波信号频率和相位测量的精度^[6]。因此, 找到一种在各种扰动下实现实时相位同步的方法具有重要的实际意义。

锁相环 (PLL) 是获得准确的实时相位信息的最普遍的相位同步方法。最典型的锁相环由鉴相器 (PD)、环路滤波器 (LF)、压控振荡器 (VCO) 三部分组成^[7], 其结构框如图 1 所示。

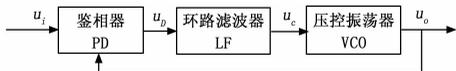


图 1 锁相环框图

鉴相器获得输入电压 u_i 与输出电压 u_o 的相位差, 经过环路滤波器得到压控振荡器的控制电压 u_c , 压控振荡器的振荡频率由其控制电压 u_c 决定, 当 $u_c = 0$ 时, 对应的振荡频率称为 VCO 的固有频率, 鉴相器的输出信号与减小 VCO 振荡频率与输入信号之差的方向变化同步, 从而实现振荡器频率锁定输入信号频率, 此过程即为锁相环锁相的过程^[8]。目前较成熟的锁相技术有: 基于功率的单相数字锁相环 pPLL; 增强型单项数字锁相环 EPLL; 反派克变换单相数字锁相环; 二阶广义积分器锁相环 (SOGI-FLL) 等^[9]。本文选用 SOGI 算法与 SRF 算法相结合后 SOGI-PLL 算法, 该方法相比其他几种方法, 响应速度快、参数设置简单、抗干扰能力强等特点。选用该方法实现电网电压准确锁相。其中 SOGI 算法为正交分量的产生结构, PLL 环节为 SOGI 提供输入信号角频率, 实现整体结构的频率自适应, 得到输入信号的准确幅值信息。

使用 Matlab 中的 simulink 功能搭建 SOGI-QSG 算法与旋转坐标系锁相环 SRF-FLL 相结合的 SOGI-FLL 模型, 对

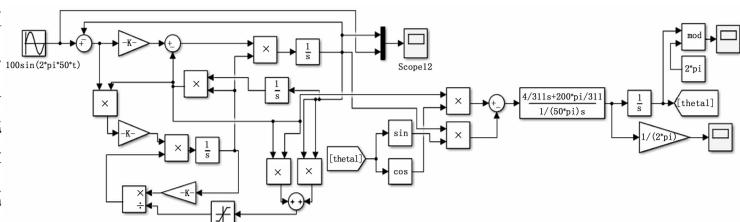


图 2 SOGI-FLL 仿真模型

其锁相性能及相位提取新能进行仿真验证。整体仿真结构如图 2 所示。

从图 2 中可以看出, 在两个周波的时间, 输入信号和输出信号完全重合, 经过模型处理后, 系统谐波被抑制, 基波信号被提取。

旋转坐标系中相位信息提取原理是利用 SOGI-QSG 产生的正交信号作为旋转坐标系变换中所需 α 与 β 分量, 然后对变换后的 dq 轴分量进行 d 轴定向, 即 q 轴分量通过反馈闭环控制其为零, 而在此过程中便可实现输出相位与输入信号的相位相同, 因为仅在两者相等的情况下, q 轴分量才可为零。其大致流程如下, 图 3 为 SRF 锁相环框图。

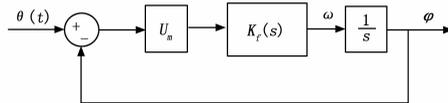


图 3 SRF 锁相环框图

旋转坐标系变换矩阵形式如下:

$$\begin{bmatrix} u_d \\ u_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi \\ -\sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \end{bmatrix} \quad (1)$$

则 q 轴分量为:

$$u_q = -U_m \cos\theta \sin\varphi + U_m \sin\theta \cos\varphi \quad (2)$$

经整理可得:

$$u_q = U_m \sin(\theta - \varphi) \quad (3)$$

在输出信号逼近输入信号的过程中, 当相位差较小时, 上式可通过泰勒级数展开进行线性化, 正弦信号的泰勒级数展开式如公式 (4)、(5):

$$\sin x = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(2n+1)!} x^{2n+1} \quad (4)$$

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} \dots \quad (5)$$

因此可得线性化后的 q 轴分量, 如公式 (6):

$$u_q = U_m (\theta - \varphi) \quad (6)$$

该环节对应着锁相环结构中的鉴相器, 得到该误差信号后, 利用 PI 调节器作为环路滤波器以得到角频率, 因为第三个环节为压控振荡环节, 故而需要一个稳定的控制电压, 当鉴相器输出误差信号为零时, PI 调节器可得到一个稳定的输出作为压控振荡器的控制电压。

$$K_f(s) = K_p \cdot \left(\frac{1+s\tau}{s\tau} \right) \quad (7)$$

该式即为 PI 调节器的传递函数, 其比例环节与积分环节增益可由锁相环的整体传递函数得出, 因此需要由此写出 SRF-FLL 的整体传递函数, 如公式 (8):

$$H(s) = \frac{U_m K_p s + \frac{U_m K_p}{\tau}}{s^2 + U_m K_p s + \frac{U_m K_p}{\tau}} \quad (8)$$

因为系统最终输出的是输入信号的相位信息（单位为弧度），故而需要知道当前输入信号的频率，而对频率的积分即为相位，即下式所示，因此该锁相环中压控振荡环节采用一个积分器实现。

$$\frac{d\varphi}{dt} = \hat{\omega} \quad (9)$$

锁相环整体传递函数已知，由于其是二阶系统，根据自动控制原理，对其参数进行设计，通过学习自动控制原理可知，二阶系统的传递函数标准型如公式（10）：

$$H(s) = \frac{2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (10)$$

由此可得系统的阻尼比和自然震荡角频率如公式（11）：

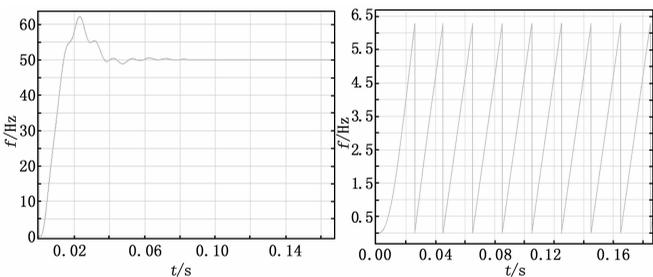
$$\zeta = \frac{U_m K_p \omega_n}{2\omega_n} = \sqrt{\frac{U_m K_p}{\tau}} \quad (11)$$

在本项目中系统输入信号电压幅值为 311 V，系统电压频率为 50 Hz，设计本锁相环结构阻尼比为 1，则可得 PI 调节器参数如公式（12）、（13）：

$$K_p = \frac{2\omega_n}{U_m} = \frac{200\pi}{311} \approx 2 \quad (12)$$

$$\tau = \frac{2}{\omega_n} = \frac{1}{50\pi} \approx 0.0064 \quad (13)$$

通过仿真可得锁相环结构的频率估计如图 4 所示。



(a) 锁相环频率估计图

(b) 锁相环相位信号输出

图 4 频率估计示意图

可见在近两个周波后频率稳定在 50 Hz，相位按照 $0 \sim 2\pi$ 周期循环。频率信号中，刚开始阶段的波动是由于 SOGI-QSG 算法同样需要仅一个周波的时间对输入信号进行锁相所导致，同时其所需的输入信号角频率是由 PLL 环节提供，而 PLL 环节则需要前者提供正交信号，两者相互依赖，因此在锁相的开始阶段存在一定的波动。但从整体而言，该算法具有计算稳定速度快、计算值精确和结构参数设计简单等优点。

3 基于 SOGI-FLL 锁相算法的无功补偿策略

3.1 晶闸管投切电容器无功补偿策略

晶闸管投切电容器，可以根据系统所需无功功率的大小，选择合适的电容器组投入到系统中，实现无功功率的动态调节。但是抽油机负荷波动剧烈，若根据其平均值进行固定电容无功补偿，容易出现过补偿的情况，因此提出采用晶闸管投切电容器补偿系统最小值方案。本文应用 SOGI-FLL 锁相算法实现系统无功功率准确计算，记录大于抽油机一个完整冲程各时刻所需无功容量，计算出无功最小值，准确控制电容器的投

切时刻。根据无功功率的不同，投入不同容量的电容器组，考虑本项目实际补偿对象的特殊性，在最小无功的基础上，增设多个小电容备用，实现无功功率最小补偿的调整。

使用 Matlab 中的 Simulink 搭建晶闸管投切电容器仿真模型，图 5 为 TSC 整体仿真模型图，图 6 为功率计算部分仿真模型。

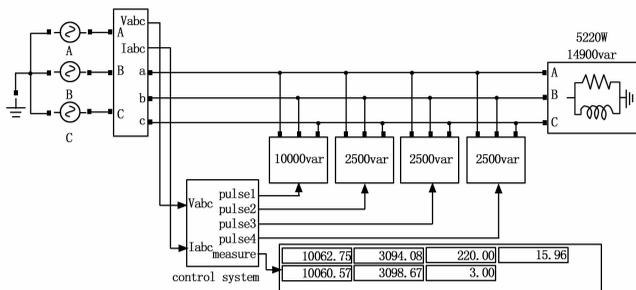


图 5 TSC 整体仿真模型图

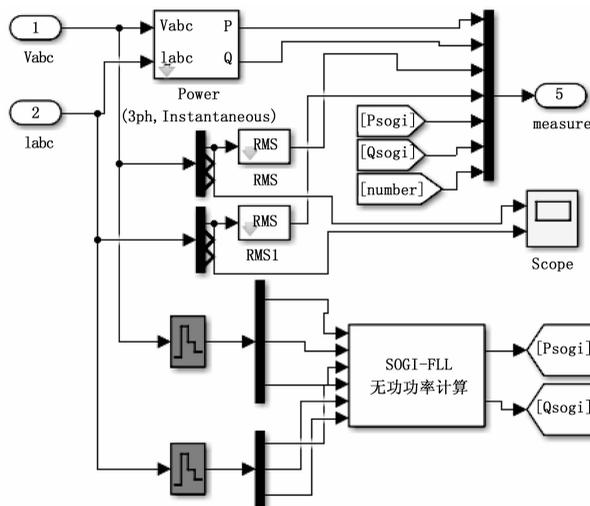


图 6 功率计算部分仿真模型

3.1.1 系统整体设计

设置当前模型无功功率为 14 900 var，有功功率为 5 220 W。设计电容器组分别为 10 000 var 和 3 个 2 500 var。采用 SOGI-FLL 算法对电网电压进行锁相无功功率计算和 simulink 自带无功功率计算两种方法，进行结果对比。三相电压幅值按照实际系统设计为 V，三相电压电流采集模块设置为相电压，因为系统自带的功率计算模块输入信号为相电压，功率计算仿真模型如图 7 所示。

图 6 中 power 模块为系统自带功率测量模块，与 SOGI-FLL 无功功率计算方法对比，SOGI-FLL 算法对电网功率波动响应较为迅速，并没有出现大范围功率波动，系统稳定后两者无功功率计算值为 2 462.59 和 2 462.64 几乎相等。并且谐波情况下，系统自带功率模块不具备滤波能力，所以 SOGI-FLL 算法具有明显优势。

3.1.2 控制电路设计

确定所需无功功率数值，采用 SOGI-FLL 算法对晶闸管端电压进行锁相滤波，以准确控制电容器投切时刻。采用双稳态触发器模拟 DSP 寄存器功能在得到要投切电容器的信号后，

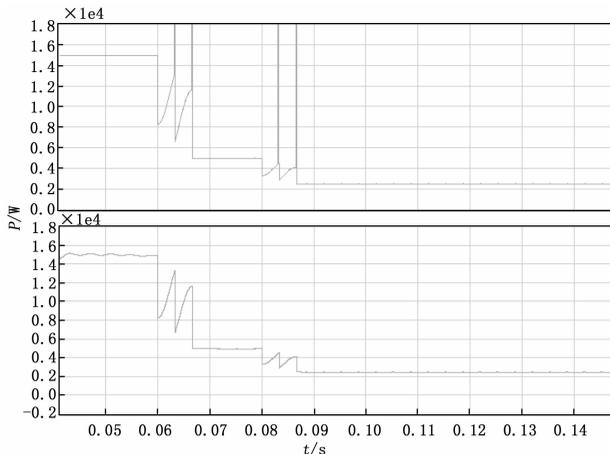


图 7 功率计算结果对比

需要产生触发脉冲令相应的晶闸管在其端电压为零时导通。同时在上一组电容器投切后, 需要给与一定的延时再投入该组电容器, 以防止无功功率的剧烈波动引起系统振荡。图 8 为触发脉冲产生模型, 图 9 为电容器组投切判断。

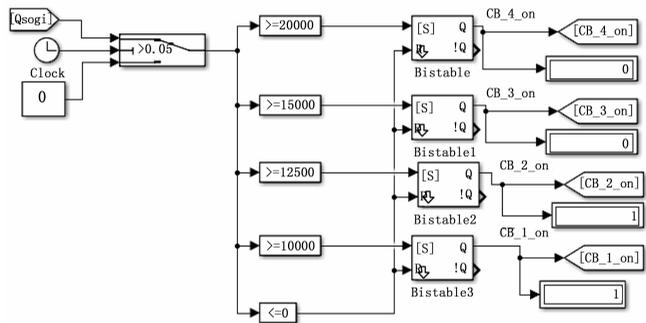


图 8 触发脉冲产生模型

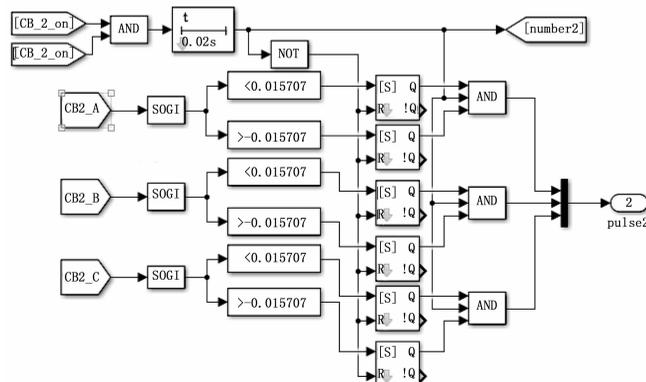


图 9 电容器组投切判断

整个 TSC 仿真模型搭建完成, 仿真结果如表 1 所示。

表 1 无功功率测量值

系统状态, 未投入电容器时, 投入第一组电容器, 投入第二组电容器		
系统无功功率(var), 14937.17,	4934.20,	2454.33
SOGI 无功计算值(var), 14937.21,	4934.23,	2454.36

图 10 上图为系统电压波形, 下图为系统电流波形, 电容

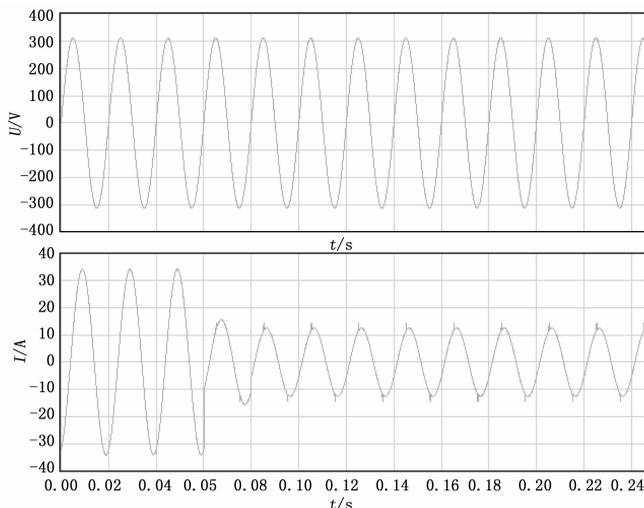


图 10 系统电压电流图

器组在 0.06 和 0.08 秒分别投入, 由图中可知, 在两个投入时刻系统电流为发生任何冲击, 同时, 系统电流在第一组电容器组投入后, 由原来的 34 A 变为了 15.5 A, 在第二组电容器组投入后, 系统电流由 15.5 A 变为 12.4 A, 系统电流的明显减小意味着系统在线路上的损耗降低, 其与系统电压之间的相位差也在电容器的投入后不断减小, 因此系统功率因数得以提高。

3.2 静止无功补偿发生器无功补偿策略

本文为改善油田配电网电能质量, 实现晶闸管投切电容器与静止无功发生器相配合。在晶闸管投切电容器补偿最小无功的基础上, 动态无功功率将有精致无功发生器补偿。本项目采用指甲电流控制方式对电流瞬时值进行跟踪控制, 采用 SOGI-FLL 算法提取基波和各次谐波分量。使用 MATLAB 中的 Simulink 搭建了静止无功发生器的仿真模型如图 11 所示。

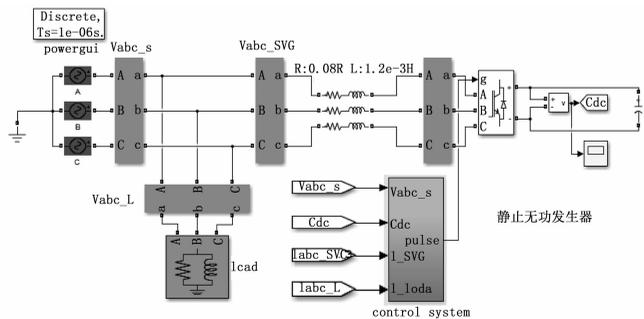


图 11 SVG 整体仿真模型

该模型采用 simulink 自带的 IGBT 全桥电路, 交流测经过 3 个电感接入电网, 采集直流母线电容电压, 电流模块采集负载电流, 通过 SOGI-FLL 算法计算基波和各次谐波分量, 得出补偿电流指令信号。

图 12 中首先对电网电压进行了 32 变换, 并利用 SOGI-FLL 算法得到其相位信息, 之后利用该相位信息对电网电流信号进行旋转坐标系变换, 橙色模块输出即为补偿电流信号。通过电压电流双闭环对直流母线电压及输出电流进行控制, 最后再将其转换为 $\alpha-\beta$ 坐标系, 用于产生相应的 SVPWM 驱动

信号。

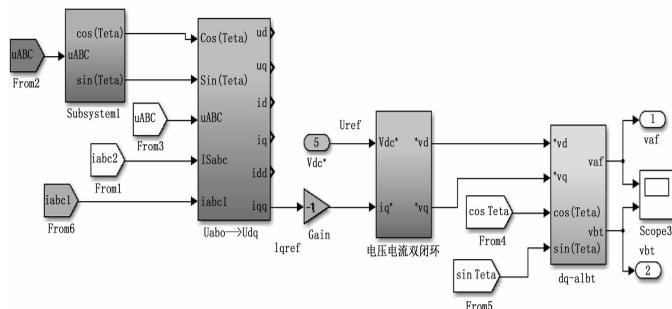


图 12 控制部分仿真模型

直流母线电压主要是由有功功率支撑，因此需要控制变换器从电网中吸取一部分的有功电流。因此由图 13 可知，上半部分为直流母线电压反馈，电压外环将直流母线电压经过 PI 调节器调节得到电流给定信号，以稳定直流母线电压，电流内环用于控制有功电流的大小，将有功电流反馈与电压外环得到的电流给定信号作差，经 PI 调节器得到最终的 SVPWM 给定信号。下半部分为无功电流的控制环，无功电流给定为 SOGI-FLL 提取出来的负载电流基波无功信号，通过与实时的 SVG 输出电流无功电流信号进行作差经 PI 调节器调节，使 SVG 最终的输出电流与负载的基波无功电流分量相等，当负载无功功率发生波动时，SVG 将控制其输出的无功电流与之相等，从而完成了无功功率的动态补偿。

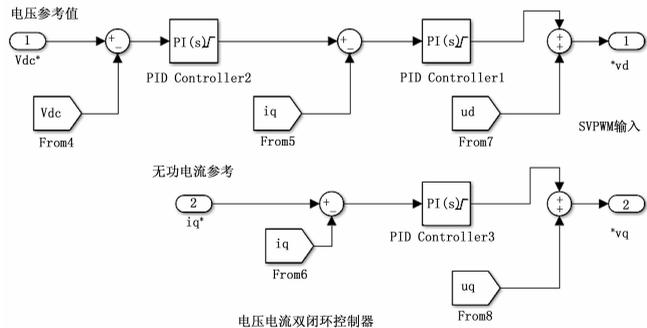


图 13 电压电流双闭环仿真模型

4 硬件平台制作与现场测试结果

硬件实验平台连接如图 14 所示，采用 TMS320F28335 作为核心处理器，对采集的电压、电流信号进行数字化处理，为控制系统提供控制信号。系统需要一个 3 V 的电压基准对采样信号进行调理和电压、电流采样调理电路，电流采样电路是系统实时采集抽油机输入信号经过一级差分放大电路，再经过一级由电阻分压形式的 3 V 抬升电路、滤波器，以消除系统中高频干扰。电压采样电路采用 TV19G 电流型互感器，IGBT 主电路分别采用单个 IGBT 搭建三相桥式电路和 3 个双向晶闸管。系统软件采用德州仪器公司的 CCS V6 进行程序编写，大致工作流程如下：控制电接通后，软起继电器闭合，装置直流母线开始升压，在电压上升到不控整流的最大值后，软起电路切除，此时系统处于等待开机状态，按开机键后，系统电压环首先工作，直流母线电压在电压外环的控制下进一步升高，再次按开机键后，系统开始工作，电流内环根据电压环输出及

SOGI-FLL 所得系统负载电流的电流指令得到电压指令，电压指令给到 SVPWM 调制程序后可得到六路的 IGBT 驱动信号。

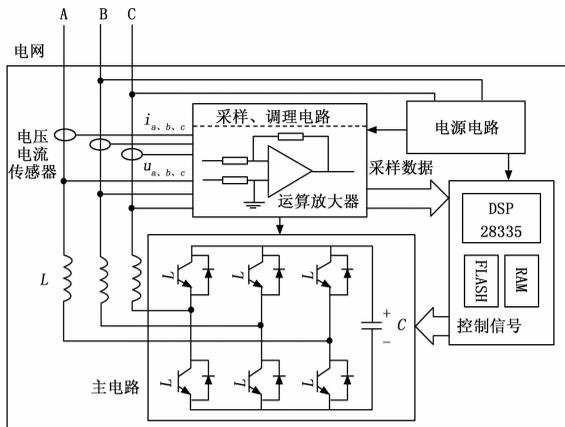


图 14 硬件连接示意图

油田某抽油机未接入任何装置时，系统无功功率波形如图 15 所示，由图 15 可知此时系统无功功率在 10.5~12 kvar 之间波动。

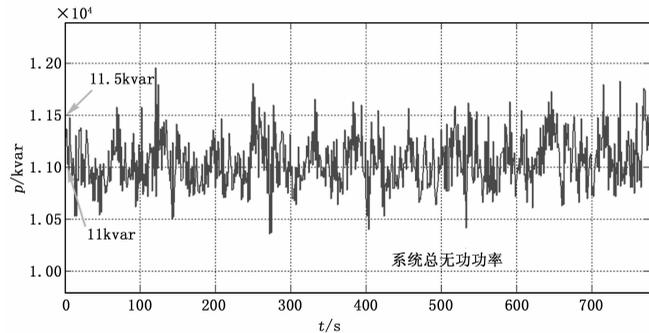


图 15 未接入任何装置时无功功率波形

此处本装置先将并联电容器接入系统，接入系统后无功功率波形如图 16，系统无功功率在接入电容器后明显减小，其在 2 kvar 至 3.25 kvar 间波动，电压有效值有一定的提升。平均功率因数为 0.77。虽然系统无功功率有了明显的降低，但系统谐波电流被一定程度地放大了，系统主要次谐波电流为：五次谐波：1.24 A；七次谐波：1.50 A。

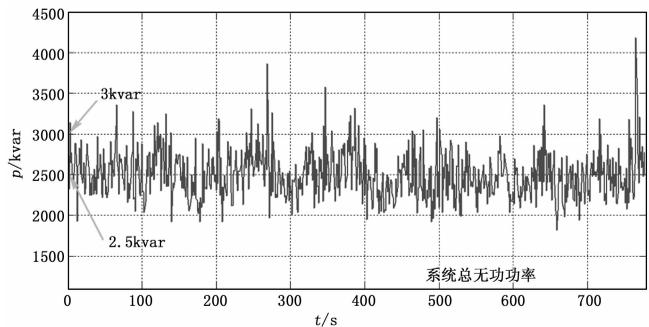


图 16 接入电容器后系统无功功率

中化的网管系统和流量分析软件, 对现网多厂商设备进行统一管理, 可实现故障设备和线路的快速定位, 解决了网络故障分责定位难的问题。

参考文献:

- [1] 谢希仁. 计算机网络 [M]. 第五版. 北京: 电子工业出版社, 2015.
- [2] 杨淑英. 电能质量监测装置研究 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2016, 16 (2): 24-50.
- [3] Paul S, Pan J, Jain R. Architectures for the future networks and the next generation Internet: A survey [J]. Computer Communications, 2012, 34 (1): 2-42.
- [4] Aowshanrad S, Namvarasl S, Abdi V, et al. A survey on SDN, the future of networking [J]. Journal of Advanced Computer Science & Technology, 2014, 3 (2): 232-248.
- [5] Masse M. REST API design ruFebook [M]. New York: O'Reilly Media, 2011.
- [6] 吴许俊, 王永利. 基于 POX 的软件定义网络的研究与实践 [J]. 计算机测量与控制, 2013 (12): 3414-3417.
- [7] 黎进都, 时向泉. 基于 Openflow 的 Floodlight 控制器实现研究 [J]. 中国电子商情: 通信市场, 2014 (1): 70-75.
- [8] Medved J, Tkacik A, Varga R, et al. OpenDaylight: Towards a Model-Driven SDN Controller architecture [A]. A World of

- Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), 2014 IEEE 15th International Symposium on [C]. IEEE, 2014: 1-6.
- [9] Erickson D. The beacon openflow controller [A]. Proceedings of the second ACM SIGCOMM workshop on Hot topics in software defined networking [C]. ACM, 2013: 13-18.
- [10] 李艳, 郝志安, 李宁, 等. 基于 mininet 的 SDN 架构仿真研究 [J]. 计算机与网络, 2016, (5): 57-59.
- [11] 梁满贵, 赵阿群, 张金鑫, 等. 一种向量网络地址编码方法 [P]. 中国发明专利 200810112003.9. 2012.07.11.
- [12] 韦卫嫦, 梁满贵. 向量网控制面体系架构研究 [EB/OL]. 北京: 中国科技论文在线. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201005-58>.
- [13] 李雁飞, 梁满贵. 向量网的层次多径 QoS 路由方法 [EB/OL]. 北京: 中国科技论文在线. 2016-03-753.
- [14] 张铖, 曹振, 邓辉. SDN 控制器系统部署方案分析和设计初探 [A]. 2013 年中国通信学会信息通信网络技术委员会年会论文集 [C]. 2013: 68-72.
- [15] 王鑫, 高能, 马存庆, 等. 分布式 SDN 控制器的规则冲突解决方案 [A]. 第 29 次全国计算机安全学术交流会论文集 [C]. 2015: 6-11.
- [16] 左青云, 陈鸣, 赵广松. 基于 Open Flow 的 SDN 技术研究 [J]. Journal of software, 2013, 24 (5): 1078-1097.

(上接第 180 页)

在本装置运行后, 系统无功功率进一步地降低, 其均值为 0.45 kvar, 但波形中出现了较多的毛刺。

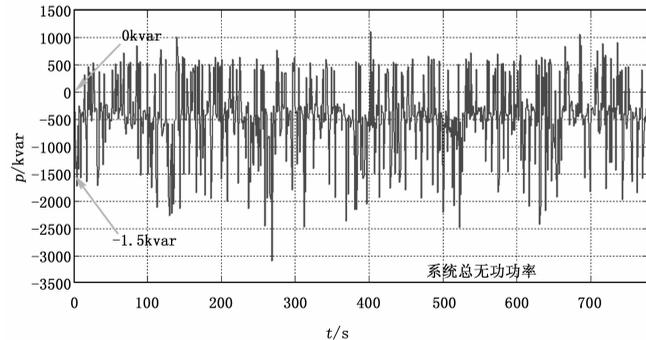


图 17 装置运行后系统无功功率

由现场实验结果可知, 在本装置运行后, 系统无功功率得到了较高的补偿, 补偿后功率因数均在 0.9 以上, 满足项目的要求。但同时也可观察到在装置运行后系统无功功率并不是完全的零, 且存在较多的毛刺。

4 结论

目前在油田现场经常发生爆电容现象。从而使无功补偿装置失去作用, 低压配电网功率因数下降, 造成了无功损耗增加。因此, 针对油田现有无功补偿装置进行故障分析, 并研究出相应的对策。基于 SOGI-FLL 算法的准确锁相, 实时监测、计算无功补偿容量。该算法为实时算法, 保证了无功功率的实时计算, 实现对负载电流中主要次谐波的信号提取, 以此作为静止无功发生器的控制信号进行谐波抑制, 以此为电容器

的稳定运行提供保障。针对抽油机无功功率的波动性, 提出采用晶闸管投切电容器的方式补偿非波动无功功率的绝大部分, 剩余的无功功率由静止无功发生器进行补偿。此方案不仅可以实现无功功率的动态补偿, 同时也有效地降低了装置成本。考虑到现场抽油机负载情况的不同, 增加并联电容器的投切能力, 针对不同大小的静态无功功率可自行调节。目前装置仅对系统的主要次谐波电流进行了抑制, 因此需进一步提高装置的谐波抑制能力, 从而进一步提高配电网的电能质量。

参考文献:

- [1] 韩宇泽. 基于云计算的油田配电网无功优化控制系统研究 [J]. 电气工程, 2014, 43 (8): 93-106.
- [2] 陈惠粉, 乔颖, 闵勇, 等. 风电场动静态无功补偿协调控制策略 [J]. 电网技术, 2013, 7 (1), 248; 254.
- [3] 王旭冉, 郭庆来, 孙宏斌, 等. 考虑快速动态无功补偿的二级电压控制 [J]. 电力系统自动化, 2015, 9 (2): 53; 60.
- [4] 曹东朝. 谐波电流对电容器无功补偿的影响分析及防范对策 [J]. 科学时代, 2013, 2, 189; 226.
- [5] 刘忠丽, 三相锁相环设计及光伏并网逆变器控制研究 [D]: 西南交通大学, 2013.
- [6] 郭晓瑞, 郭吉丰, 龙英文. 三相全数字频率自适应闭环锁相技术 [J]. 电力自动化设备, 2013, 2, 81; 96.
- [7] 王照峰, 王仕成, 苏德伦. 锁相环电路的基本概念及应用研究 [J]. 电气应用, 2015, 8, 119-121.
- [8] 李伟锋, 王哲. 基于双派克变换的单相数字锁相环设计 [J]. 中原工学院学报, 2015, 1, 26-30.
- [9] 肖岚. 三相并网逆变器滤波及锁相技术研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2012.