

# 静止同步补偿器信号检测电路的实现

文小玲, 卢圣文, 刘翠梅, 余飞, 童振

(武汉工程大学电气信息学院, 湖北 武汉 430073)

**摘要:** 提出了基于DSP控制的静止同步补偿器(STATCOM)信号检测电路的设计与实现方法, 重点阐述了同步信号发生电路和电压、电流瞬时值采样电路的组成原理与实现方法。实验结果表明: 所设计的信号检测电路能较精确检测信号过零点和瞬时值, 具有较高的实用价值, 可用于其它如有源电力滤波器等需要精确测量电压、电流及其电压同步信号的装置中。

**关键词:** 无功功率; 电压和电流采样; 同步信号

中图分类号: TM761

文献标识码: A

文章编号: 1673-9833(2008)05-0036-04

## The Implementation of the Signal Detecting Circuit of Static Synchronous Compensator

Wen Xiaoling, Lu Shengwen, Liu Cuimei, Yu Fei, Teng Zhen

(School of Electrical and Information, Wuhan University of Engineering, Wuhan 430073, China)

**Abstract:** The signal detecting circuit in static synchronous compensator (STATCOM) is the key to measure and control reactive power accurately. The design and implementation scheme of the signal detecting circuit of STATCOM based on DSP is proposed and the voltage synchronization signal and voltage and current instantaneous value detecting circuits are presented particularly. The experiment result shows that the developed circuit can be used not only to measure precisely the voltage crossing and the instantaneous value of voltage and current but also for other equipments which need to measure voltage, current and synchronous signal exactly, such as active power filter.

**Key words:** reactive power; voltage and current sampling; synchronous signal

在配电系统中存在着大量的感性和非线性负荷, 这些负荷在配电系统中会消耗大量的无功功率, 降低系统的功率因数, 造成线路电能损耗增加<sup>[1]</sup>。解决这些问题的有效方法就是进行无功功率补偿。

STATCOM具有诸多优点, 它可以有效地补偿无功功率, 抑制电压波动和闪变, 平衡三相不平衡负载等。然而, 在STATCOM系统的设计中, 对三相电压与电流瞬时值和电压同步信号的采样是实现无功功率精确检测和控制的重要前提。本文提出用硬件方法来实现电压与电流瞬时值采样和电压同步信号的检测。

## 1 系统硬件设计

图1为STATCOM系统原理框图。

收稿日期: 2008-07-18

基金项目: 湖北省科技厅科技攻关基金资助项目(2003AA101C81)

作者简介: 文小玲(1962-), 女, 湖南湘乡人, 武汉工程大学副教授, 硕导, 博士生, 研究方向为自动控制与电力电子技术; 卢圣文(1985-), 男, 湖北洪湖人, 武汉工程大学硕士研究生, 主要研究方向为电力电子技术。

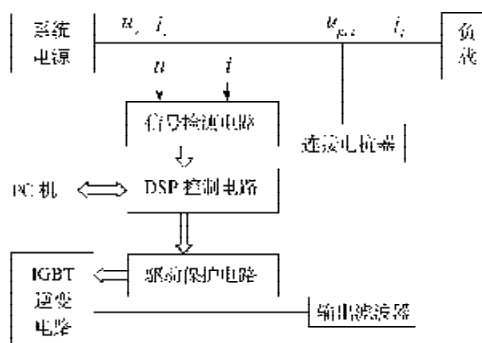


图1 STATCOM系统原理框图

Fig. 1 System principle diagram of STATCOM

在STATCOM进行无功补偿时, 需要根据检测到的同步信号、系统电压和负荷电流值计算出无功功

率, 然后由控制单元做出决策, 经过一定的控制算法产生相应的 PWM 信号, 来达到无功补偿的目的。因此, 能否对这些电量进行精确的测量是决定补偿效果好坏的关键因素。

### 1.1 电压、电流传感器的选择

传统的电压、电流传感器通常采用电磁型互感器, 但由于电磁型互感器存在漏磁和线圈阻抗, 因此其动态响应比较慢, 而且精度低。而霍尔传感器动态响应时间可以达到  $1 \mu\text{s}$ , 精度更高, 过载能力强, 不会发生爆炸或烧毁<sup>[2]</sup>。因此, 选取霍尔电压传感器 CHV-25P, 电流传感器 LA-50P。CHV-25P 型电压传感器输出端与原边电路是电隔离的, 可测量直流、交流和脉动电压或小电流。图 2 所示为单相电压和电流转换电路。可根据传感器的输入输出电压和电流选择接入电阻的阻值和功率。

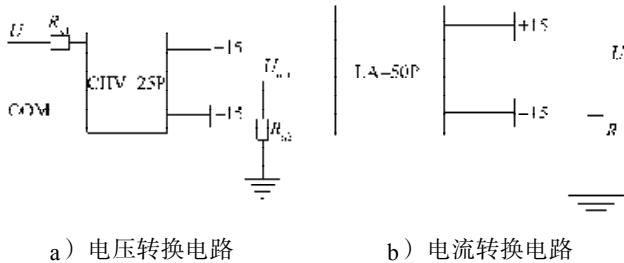


图 2 电压电流转换电路

Fig. 2 Conversion circuit of voltage and current

### 1.2 信号调理电路

信号调理电路主要是将经过互感器降压的信号进行稳压、滤波和调幅处理, 目的是为了提高分辨率和降低噪声, 使调理后信号的电压范围与 DSP 的 ADC 通道的电压范围相匹配。由于系统的 DSP 控制器 TMS320LF2407A 内部模数转换模块的基准电压是单极性的, 范围为  $0 \sim 3.3 \text{ V}$ , 因此接入控制器 ADC 引脚的信号电压不能超过  $3.3 \text{ V}$ 。图 3 所示信号调理电路由 3 部分组成。

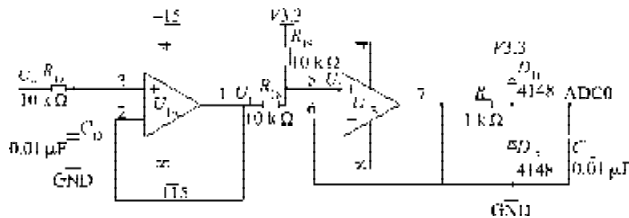


图 3 信号调理电路

Fig. 3 Signal adjusting circuit

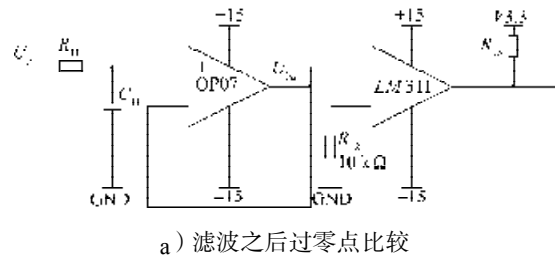
第一部分是一阶低通滤波电路。第二部分起调幅作用, 将双极性信号转换成单极性信号, 其中  $3.3 \text{ V}$  为转换器的基准电压, 主要是提供偏置电压。滤波之后的电压输出为  $U_1$ , 输入到第 2 个运放的正相端的电压值  $U_2 = 1/2(U_1 + 3.3)$ , 将双极性信号转换成单极性信号  $0 \text{ V}$  以上、 $3.3 \text{ V}$  以下。第三部分电路中 2 个二极管接上  $3.3$

V 电压, 对输出信号起保护作用, 电阻和电容有抗干扰和滤波的作用。

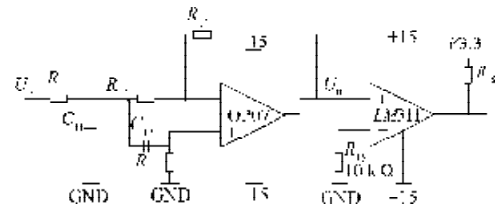
对于 STATCOM 中的直流侧电压电流的检测也是采用霍尔传感器, 同样需要对经过传感器降压之后输出的信号进行调理, 才能输入到 ADC 通道进行采样, 其调理电路类似图 3 电路, 但没有调幅电路<sup>[3]</sup>。

### 1.3 同步信号检测

因为电网的频率并不是严格的  $50 \text{ Hz}$ , 而是在一定范围内波动, 因此, 信号检测电路的关键部分就是同步信号检测模块, 其目的是动态跟踪电力系统的频率变化, 产生与电网同频同相的方波信号<sup>[4]</sup>。它的核心就是相电压的过零点检测, 将经过隔离降压后的电网电压引入到过零比较模块, 该模块的输出接入控制器 TMS320LF2407A, 控制器有专门的引脚来捕捉方波信号的上跳沿。每捕获到 1 次上跳沿, 计算 1 次电网瞬时频率和瞬时采样周期, 并通知内部事件和外围电路进行 1 次同步操作调整。图 4 列出了 2 种同步信号检测电路, 其中比较器 LM311 实现过零点比较。



a) 滤波之后过零点比较



b) 滤波之后相位补偿电路

图 4 同步信号检测电路

Fig. 4 Synchronous signal sampling circuit

由电阻、电容和运放组成的 RC 低通滤波环节主要是为了滤除电网电压的高次谐波和毛刺干扰。滤波电路造成的延时 (相位滞后) 可在软件中补偿, 也可采用硬件补偿方法。如图 4 中 b) 所示电路直接在滤波之后进行了相位补偿。先根据截止频率  $f = \frac{1}{2\pi R_1 C_{11}}$  确定  $C_{11}$ , 再计算出  $R_{11}$ 。在相位补偿中要求运放的输出  $U_0$  与输入  $U_a$  同相, 则  $U_0 = (a + jb) U_a$ , 即要使  $b = 0$ , 对电路进行分析计算得到<sup>[5]</sup>:

$$R_{13}R_{14}C_{12} + R_{14}R_{11}C_{13} + R_{11}R_{11}C_{11} + R_{11}R_{13}C_{12} + R_{12}R_{13}C_{12} - \omega^2 R_{11}R_{12}R_{13}C_{11}C_{12}^2 = 0 \quad (1)$$

$$a = \frac{\omega^2 R_{12}^2 R_{13} C_{12} (R_{13} C_{12} + R_{11} C_{12} + R_{11} C_{11}) -}{(R_{11} + R_{12} - \omega^2 R_{11} R_{12} R_{13} C_{11} C_{12})^2} \rightarrow$$

$$\leftarrow \frac{R_{11}(R_{12}-R_{11}-\omega^2 R_{11}R_{12}R_{13}C_{11}C_{12})}{\omega^2 R_{12}^2(R_{13}C_{12}+R_{11}C_{12}+R_{11}C_{11})} \quad (2)$$

通过式(1)和(2)可以确定 $R_{12}$ 、 $R_{13}$ 、 $R_{14}$ 、 $C_{12}$ 。由于元器件本身存在误差以及电阻电容值很难匹配到非常精确,因此在图4b)电路的实验中,相位始终很难完全补偿,可采用软、硬件补偿相结合的方法。

## 2 实验波形分析

本文对图3、4所示电压信号调理和同步信号检测电路进行了反复实验,利用示波器对电路的输入输出信号进行了比较分析。图5所示为电网A相电压经传感器和信号调理电路后产生的单极性电压波形。

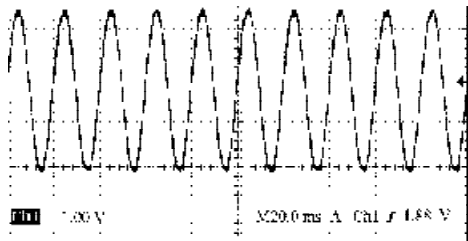


图5 A相电压经过调理之后的单极性信号

Fig. 5 The voltage signal of phase A after adjustment

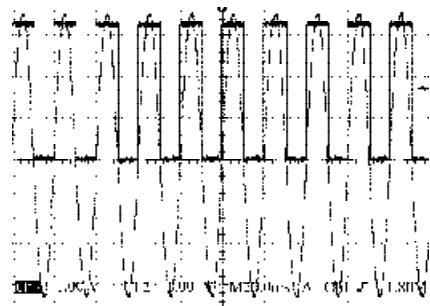
从图5中可以看出,由信号调理电路产生的单极性电压信号完全符合 $U_x=(U_1+3.3)/2$ 的计算结果和TMS320LF2407A的A/D转换要求,即0~3.3V。

采用图4中a)所示同步信号检测电路产生的同步方波信号与电网交流信号的对比波形如图6所示。图6a)中的正弦信号是没有进行滤波的电网电压信号 $U_a$ ,方波脉冲是经过滤波和过零检测之后的同步信号;图6b)是在示波器上将图6a)中的波形进行放大之后得到的正弦信号和过零点信号的比较。很显然,脉冲的上跳沿时刻并不是正弦信号的准确过零点,而是在零点稍左的一侧,这说明 $U_a$ 经过滤波和比较电路之后产生了相位的滞后,图6b)所示延时时间为0.1ms,然后根据控制器计算得到的瞬时频率 $\omega$ 很容易得到滞后相位 $\theta=\omega t$ 。另外,由图4a)可得 $U_{0a}=-U_a Z_{C11}/(Z_{R11}-Z_{C11})$ ,将 $R_{11}$ 、 $C_{11}$ 和瞬时频率 $\omega$ 的值代入,也可以得到 $U_{0a}$ 比 $U_a$ 滞后的相位 $\theta$ ,即测得的零点比真实的零点滞后的相位。在计算得到滞后相位后,就可以在程序中以软件的方式进行补偿。

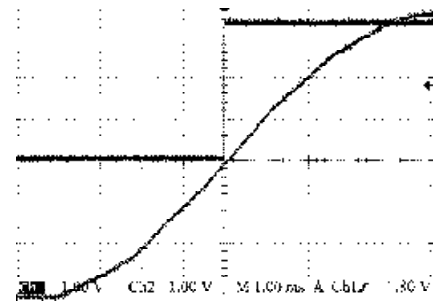
图7是采用图4中b)的电路产生的同步方波信号与电网交流信号的对比波形。通过式(1)和(2)确定电路的参数 $C_{11}=0.1\mu\text{F}$ 、 $R_{11}=31.83\text{k}\Omega$ 、 $R_{12}=22.5\text{k}\Omega$ 、 $R_{13}=100\text{k}\Omega$ 、 $R_{14}=10\text{k}\Omega$ 、 $C_{12}=0.1\mu\text{F}$ 。图7a)中的正

弦信号是没有进行滤波的电网电压信号 $U_a$ ,方波脉冲是经过过零检测之后的同步信号。图7b)是将图7a)

中的波形进行放大之后得到的正弦信号和过零点信号的比较。由于 $R_{11}$ 和 $R_{12}$ 取的是近似值而不是精确值,并且电路中选用的是一般电阻电容器,容易受到环境温度等因素影响,在实际电路运行过程中存在误差,因此,补偿后得到的脉冲信号的上跳沿时刻也不是正弦信号的准确过零点,而是产生了相位上的超前。由此可见,在采用图4b)所示电路时,一定要精确计算各电阻电容值,并且选用高精度的元器件,才能完全补偿滤波产生的相位误差,否则可能会产生更严重的误差,同时,对电流检测电路也进行了实验,符合系统要求。



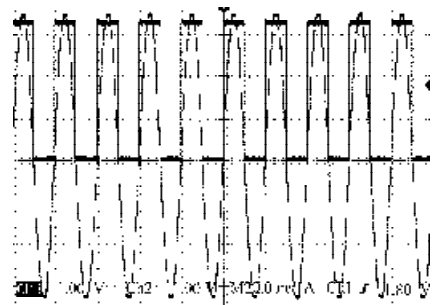
a) 电网A相电压及其同步信号



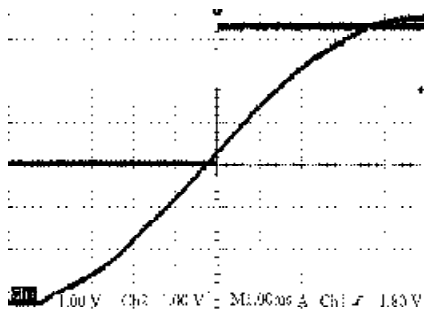
b) 电网A相电压及其同步信号的局部放大波形

图6 未经相位补偿的A相电压及其过零点检测信号

Fig. 6 Phase "A" voltage and synchronous signal without phase-compensation



a) 电网A相电压及其同步信号



b) 电网A相电压及其同步信号的局部放大波形

图7 加上相位补偿后A相交流电压过零检测实验波形

Fig.7 Phase "A" voltage and synchronous signal with phase-compensation

### 3 结语

本文提出的信号检测电路在电网电压频率变化不是太大的情况下能很好地实现对三相交流信号的频率跟踪和采样,减少了程序计算量,减轻了CPU负担。

(上接第35页)

### 5 结论

本文提出的基于定频滞环电流控制的双BUCK光伏逆变器具有传统逆变器的某些特点:功率管承受的电压应是输出电压的2倍;桥臂输出电压波形是双极性的,谐波含量较大,但是克服了传统逆变器的直通问题;另外,功率二极管可以分别得到最优设计。同一般的滞环控制双BUCK逆变器相比,正常工作时不需要考虑开关频率的变化,从而避免产生较宽电流频谱,降低了滤波器设计的难度,减少了谐波干扰。通过MATLAB对系统仿真,证明了积分定频滞环控制用于光伏逆变器的可行性。

#### 参考文献:

[1] 首福俊,黄念慈,窦伟.一种新型的光伏逆变器控制方

当然,还可以在现有同步检测电路的基础上结合锁相倍频技术,进一步提高电压同步信号的检测精度。

#### 参考文献:

- [1] 欧剑波,罗安,唐杰,等.静止同步补偿器的系统参数设计及应用研究[J].电力电子技术,2007,41(8):34-36.
- [2] 王义辉,陆丰勤,陈庆伟.现代电能质量监测装置的数据采集设计[J].淮阴工学院学报,2006,15(5):51-54.
- [3] 郗珂庆.静止同步补偿器的无功检测与控制策略研究[D].西安:西安理工大学,2007.
- [4] 刘永敏.STATCOM的动态无功补偿参数检测与数控技术的研究[D].南京:江苏大学,2007.
- [5] 朱约章.配电系统STATCOM的分析及控制[D].广州:广东工业大学,2005.

(责任编辑:张亦静)

法[J].电力电子技术,2004,38(2):66-68.

- [2] 洪峰,刘军.滞环电流控制型双BUCK逆变器[J].电工技术学报,2004,19(8):73-77.
- [3] 殷洪亮,吕建.浅析太阳能电池并网发电技术[J].中国建设动态:阳光能源,2006(1):57-59.
- [4] Zhu Chenghua, Zhang Fanghua. A Novel Split Phase Dual Buck Half Bridge Inverter[J]. IEEE Transactions on industry applications, 2005, 36(5): 845-849.
- [5] 普江,焦连伟,倪以信,等.有源滤波器定频滞环电流控制新方法[J].电网技术,2000,24(6):1-7.
- [6] 姜俊峰,刘会金,陈允平,等.有源滤波器的电压空间矢量双滞环电流控制新方法[J].中国电机工程学报,2004,24(10):82-86.

(责任编辑:张亦静)