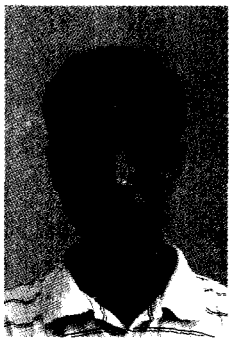
独立电源系统有源滤波器相序判定的工程实现技术



郭　鑫，　袁海文
(北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院，北京　100083)

摘　要：研究了在独立电源系统有源滤波器中，利用硬件和软件相结合的方法实现电压、电流相序及其对应关系的准确判断，通过 TMS320F2812 操作液晶显示模块给出判断结果，并在工程中得到了良好的应用。

关键词：独立电源；有源滤波器；相序检测；DSP
中图分类号：TP 23　**文献标志码**：A　**文章编号**：1001-5531(2010)12-0040-04

郭　鑫(1981—)，男，博士研究生，研究方向为嵌入式系统、电子电力技术及计算机测控。

Engineering Realization Technology on Active Power Filter Sequence of Isolated Power System

GUO Xin,　*YUAN Haiwen*
(School of Automation Science and Electrical Engineering,
Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: In the active power filter of isolated power system, the accuracy determine method was described about voltage and current phase sequence and its corresponding relationship of active power filter through the combination of hardware and software, and the results were displayed on the liquid crystal display module controlled by TMS320F2812. And the corresponding project application was great.

Key words: isolated power; active power filter; sequence detection; DSP

0　引　言

独立电源系统由于结构灵活、易安装、供电方便，并具有较低的输配电成本和线路损耗，可以很好地解决偏远地区、海洋、海岛等地方的供电问题[1]，广泛应用于石油钻探、舰船、机车、小型企业的自供电站以及野外作业的各个行业系统。由于独立电源系统的容量、参数有限，又因非线性负载的种类繁杂、容量不断增加，使得供电电网的电流和电压波形发生畸变，甚至会出现过零塌陷现象，从而造成一个电网周期内出现多个过零点，因此，对电压和电流的相序及对应关系的准确判成为电网中各种补偿设备正常运行的关键问题。

文献[3-5]中判别相序的方法是将电压或电流信号滤波后经零比较器得到方波信号，利用方波信号进行相序判断。如果电压、电流信号发生畸变，则很难得到有效的方波信号。因此，这些传统的检测方法无法满足实际工程的需求，使得现有的很多电网质量补偿方面的装置无法在独立电源系统中正常投入运行。针对这一关键问题，本文给出了一种快速准确的判断各种工况下的电压、电流相序及其对应关系的检测方法，该方法实现简单、鲁棒性强、抗干扰能力强。

1　相序判别对有源滤波器的影响

有源滤波器的工作原理，根据接入装置的三相电压和电流，补偿装置计算出需要补偿的谐波电流和无功电流，而后输出一个与谐波和无功电流大小相等、方向相反的电流，并注入到电网中，使供电电网为非线性负载提供基波有功电流，消除电网侧中的谐波和无功电流，达到滤波目的。

如图 1 所示，有源滤波器的输出电流 i_3 与所

袁海文(1968—)，男，教授，博士生导师，研究方向为嵌入系统、电子电力技术及计算机测控、现场总线技术。

补偿的电网直接相连或通过变压器耦合相连，如果电压和电流的相序及其对应关系不正确，指令

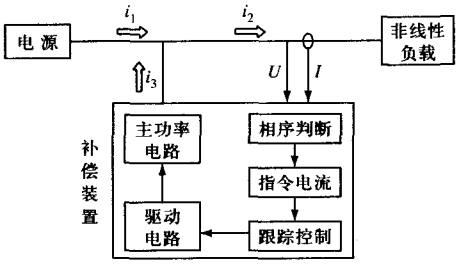


图1　有源滤波器的系统构成框图

电流的运算和主功率输出电流也不正确，因此，整个系统不能正常运行，无法补偿电网中的谐波和无功电流。由于有源滤波器正常工作的前提是必须检测到所需的正确电压和电流信息，因此，提出并实现一种鲁棒性强的能准确检测电压和电流相序及其对应关系的方法，对独立电源系统用有源滤波器的正常运行至关重要。

2　相序判别系统的硬件组成及实现方法

独立电源系统中有源滤波器电压和电流相序及其对应关系判断的硬件组成主要有 DSP 芯片 TMS320F2812、模拟滤波器芯片 UAF42、相序判断电路、信号调理电路及显示模块等。为了实际工程需要，缩短开发周期、提高可靠性和减轻系统软件的工作量，本文提供的方法是利用硬件完成对复杂条件下的电压和电流的相序判别，利用软件完成电压和电流的对应关系判别。系统的原理框图如图2所示。

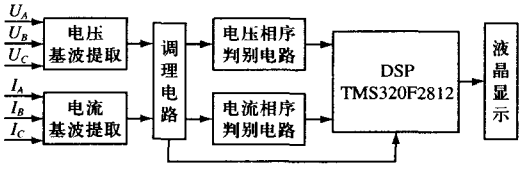


图2　相序判别电路硬件组成框图

其工作过程是，将互感器采集到的畸变电压和电流信号通过 UAF42 后得到准确的基波正弦信号，经调理电路调理为稳定的方波信号。再通过硬件电路分别对电压和电流相序进行判定，其结果用电平信号表示，该电平信号和调理后的电压和电流所对应的方波信号直接送到 DSP 的 I/O 口，当 DSP 检测到电压和电流的相序均正确后，再根据方波信号由程序利用 DSP 的 CAP 捕捉功能判断电压和电流的对应关系是否正确，并将判断结果显示到液晶屏上，直观方便。

2.1　畸变信号的基波提取设计

有源滤波器芯片通过 UAF42 可以方便地设计出低通、高通、带通和带阻等滤波器[8-9]。UAF42 的状态可调结构使得它的应用十分方便，片内还集成了一个辅助运放，可作为通用运放使用。非反向输入的双极性有源滤波器应用如图3所示。

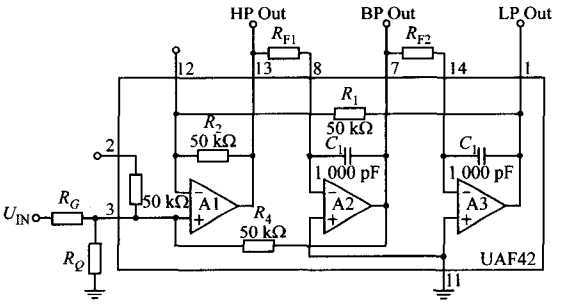


图3　非反向输入的双极性有源滤波器

作为带通滤波器使用时，其输入输出的传递函数为：

$$\frac{U_{BP}(s)}{U_I(s)} = \frac{A_{BP}(\omega_n/Q)s}{s^2 + s\omega_n/Q + \omega_n^2} \tag{1}$$

式中：$U_{BP}(s)$为带通滤波器输出信号的拉氏变换；$U_I(s)$为带通滤波器输入信号的拉氏变换；

$$\omega_n^2 = \frac{R_2}{R_1 R_{F1} R_{F2} C_1 C_2} \tag{2}$$

$$Q = \frac{1 + \dfrac{R_1(R_G + R_Q)}{R_G R_Q}}{1 + R_2/R_1}\left[\frac{R_2 R_{F1} C_1}{R_1 R_{F2} C_2}\right]^{1/2} \tag{3}$$

$$A_{BP} = R_4/R_G \tag{4}$$

由式(1)能够计算出信号经滤波器后产生的相位位移的大小和幅值衰减的比例；式(2)能够计算出滤波器的中心频率；式(3)计算出滤波器的 Q 值。

在实际应用中，通过调整外围电路可以方便地设计出满足需求的带通滤波器。UAF42 芯片应用的方便之处还在于其专用的设计软件——FILTER42，该软件的使用大大简化了基于 UAF42

芯片的滤波器设计。设计人员仅需将所需滤波参数输入到软件中,软件自动提供所需的应用电路及外围元器件的参考值,并给出该电路参数下滤波器的 Bode 图。在实际工程中,只需微调软件提供的元件参数即可满足需求。

2.2　电压和电流的相序判定

含有谐波较多的电压和电流信号经过基波提取后得到无谐波正弦信号,再经零比较器后变为方波。根据方波信号,电压和电流的相序判断电路如图 4 所示。

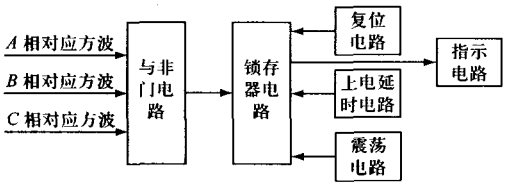


图 4　三相相序硬件判定电路示意图

图 4 中,*ABC* 三相对应的方波是由三相电压(电流)信号通过 UAF42 提取基波后,经过零比较器后得到相应的方波信号,该信号经由与非门电路和锁存器电路共同构成时序判断电路。当三相信号为正序时,锁存器控制指示电路使发光二极管亮;当三相信号逆序时,二极管不亮,同时也将判断结果以电平信号的形式送到有源滤波器的主控单元。其中震荡电路由与非门及外围电路组成,为锁存器电路提供频率为 8.2 kHz 的方波信号。上电延时电路,是为了消除上电瞬间的错误电平信号状态。复位电路能够对相序的硬件判断电路起到复位的功能。

3　电压和电流对应关系的程序设计

在电力有源滤波器投入运行前,当主控单元检测到电压、电流的相序和对应关系正确后,再投入补偿装置进行谐波电流补偿。补偿系统正常投入运行后,电压和电流的相序及对应关系将不再检测,为控制系统优化更多的资源进行实时的指令电流运算和补偿控制,以提高装置的补偿性能。

非线性负载通常有感性负载、容性负载以及这 2 类负载的混合搭配形式。对于独立电源系统而言,由于所要补偿谐波电网的负载已经确定,因此,这些非线性负载总体会表现为容性或感性,其电压和电流对应的方波信号列表如图 5、6 所示。

当负载表现为感性(电流滞后电压最多 90°)时(见图 5),电网电流波形总是滞后于电压波形(≤90°)。在三相电压和电流相序均正确的前提下,以电压正相序 $U_A-U_B-U_C$ 为基准时,电流正相序有 $I_A-I_B-I_C$、$I_B-I_C-I_A$ 和 $I_C-I_A-I_B$ 3 种情况。此时,只要判断电压 U_A 和电流 I_A 对应,即

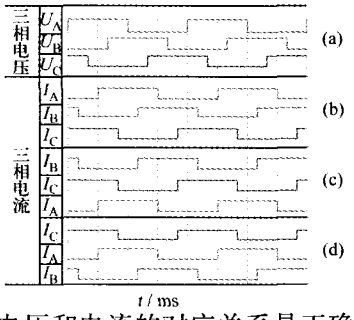


图 5　感性负载时,电流滞后电压最大 90°对应关系图

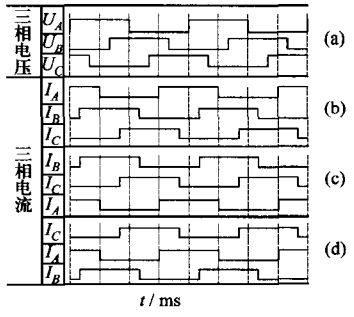


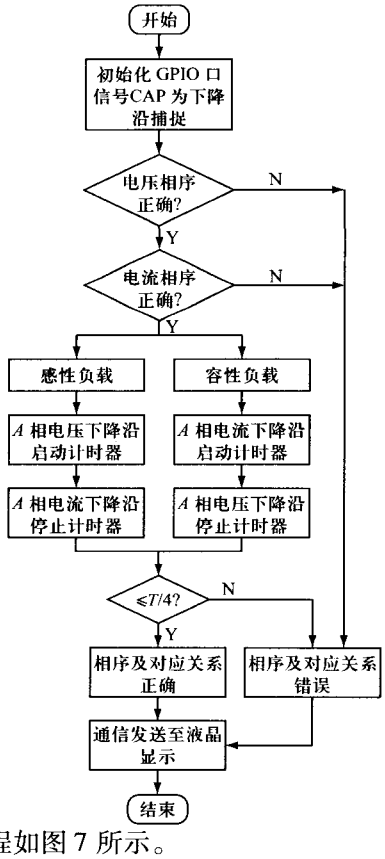
图 6　容性负载时,电流超前电压最大 90°对应关系图

可判断出电压和电流的对应关系是正确的。当 U_A 在下降沿时,启动定时器开始计时,在 I_A 处电流下降时计时停止,此段时间设为 t。只有当电流顺序为 $I_A-I_B-I_C$ 时,$t\leqslant T/4$(T 为一个电网周期时间),而在 $I_B-I_C-I_A$ 和 $I_C-I_A-I_B$ 的顺序时,均有 $t>T/4$。因此,利用电压 U_A 和电流 U_A 处信号的下降沿时间间隔即可准确判断电压和电流的对应关系是否正确。

同理,当非线性负载表现为容性(电流超前电压最多 90°)时(见图 6),在 I_A 处波形的下降沿,计时器启动计时,在电压 U_A 波形的下降沿计时停止,此段时间设为 t_1。只有电压 $U_A-U_B-U_C$ 对应电流 $I_A-I_B-I_C$ 时,$t_1\leqslant T/4$,否则,$t_1>T/4$。因此,同样可以利用 2 个信号下降沿的时间间隔正确判断电压和电流的对应关系。

如果不区分所补偿电网的非线性负载总体表现为容性或感性时,则不能分辨出电压和电流的

对应关系是否正确。因此，利用 DSP TMS320F2812 对电网电压和电流的对应关系进行判断前，必须在控制器中设置电力有源滤波器所补偿非线性负载的总体表现特性，以便程序根据不同类型的特性负载，选择不同的判断方法。



软件流程如图 7 所示。

图 7　电压电流对应关系判定程序流程图

4　复杂条件下相序判别的实际工程应用

文献[3-5]中仅提到利用相序检测芯片 TC783A 搭建分立电路检测相序是否正确，且这种电路正常工作的前提是电网中电压和电流波形没有任何畸变。同时，两者均没有提到如何对电压和电流的对应关系进行判断。在实际的工程应用过程中，电压和电流波形如含有一定的谐波或在过零处出现震荡干扰，则导致检测结果出现不同程度的错误。

对于独立电网供电系统，由于电网的固有特性，其电压和电流波形较大电网更容易产生畸变。在实际的工作过程中，如果畸变严重，通过谐波表测得的波形如图 8 所示。从电压波形中可以看出，信号在一个周期中出现了多次严重的电压塌陷，且均为过零塌陷，再加上已出现的零点震荡，在整个周期中出现了较多次的过零穿越，使用常规的滤波方法经过零比较器后无法有效地得到正确的方波信号，给后续的判断带来了很大的困难。在电流波形中，由于含有大量的奇次谐波，出现了长时间的过零现象，利用通常的方法根本无法找到真正的零点位置。

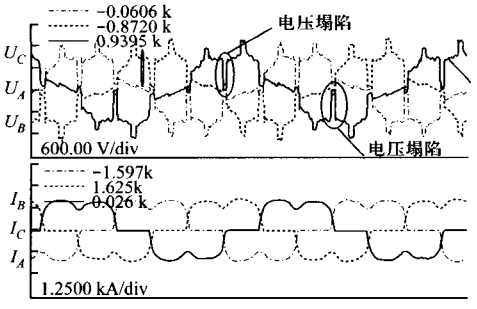


图 8　实际工程中畸变严重的电压和电流波形

利用常规方法对电压波形通过简单滤波，经过零比较器后得到的方波信号如图 9 中 1 和 3 信号所示，从图中可以看出，在过零点附近含有较多的方波震荡信号，给后续的检测工作带来一定的误差。通过使用基波提取电路，不但可以准确快速地提取出电压和电流的基波信号，消除系统谐波干扰，还可以准确无误地得到经过比较器后的三相方波信号，去除方波信号的不稳定问题，如图 10 所示，1、2、3 波形分别为 *ABC* 三相交流电压和电流对应的方波信号波形。从图中可以出，方波信号中的上升沿或下降沿不存在抖动问题。因此，利用该方法可以很好地解决复杂条件下的电压和电流的相序及对应关系的判别问题，并在实

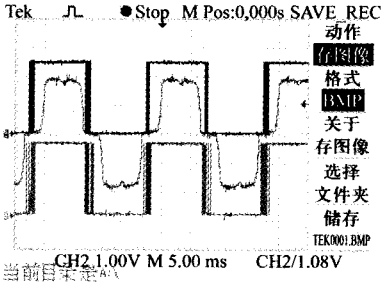


图 9　比较器后得到的三相方波信号(1)

际的工程中得到了很好的应用。

6 结　语

在基于 DSP 芯片为主控单元的电力有源滤波器中,利用芯片 EVA - CAP 功能快速、准确地捕捉信号的上升沿和下降沿,再加上新型滤波芯

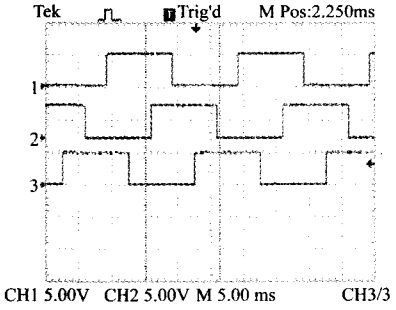


图 10　比较器后得到的三相方波信号(2)

片 UAF42 的应用,以及与可靠有效的相序判定电路和电压、电流的对应关系软件算法相结合,能够很好地满足独立电源系统用电力有源滤波器对各种工况条件下的电压、电流相序及其对应关系的判定。该方法准确度可靠、鲁棒性强、实现简单,同时也可以推广到其他产品对于三相电压、电流相序及对应关系判断的应用场合,保证了电网质量补偿装置的稳定、可靠运行。

【参 考 文 献】

[1] 顾春雷,胡育文. 独立电源起动/发电系统的研究现状及特点[J]. 电工技术杂志,2004(11):51-54.

[2] WEI Xliang , DAI Ke, LEI Qin, et al. Performance analysis of three-phase three-wire shunt active power filter compensating for unbanlanced loads[C] // The 33rd Annual Conference of the IEEE Industny Eletronig Society (IECON) Nov 5-8. , 2007:1875 -1879.

[3] 刘福之. 利用触发电路检测三相电压相序[J]. 华东交通大学学报,1997,14(1):52-54.

[4] 王栋,刘利. 一种基于单片机的相序检测及电机缺相保护方法[J]. 电机与控制应用,2006,33(9):50-53.

[5] 张财志,高祖昌,杨军,等. 三相电源过零信号检测及相序自适应的研究与实现[J]. 国外电子元器件,2008(9):57-60.

[6] 康静,郑建勇,曾伟,等. 三相四线制系统中有源滤波器的谐波检测方法[J]. 仪表技术,2006(3):45-49.

[7] 吴非,张延迟,解大,等. 电力有源滤波器的技术现状[J]. 华东电力,2006,34(7):71-74.

[8] 颜良,陈儒军,刘石,等. 基于 UAF42 通用滤波芯片的 50Hz 陷波器设计[J]. 仪器仪表学报,2006,27(8):924-927.

[9] 邓勇,刘琪,施文康. 通用有源滤波器 UAF42 的原理及应用[J]. 国外电子元器件,2001(10): 6-9.

收稿日期: 2010 -03 -03

【主要栏目设置】

综述、研究与分析、智能电网与智能电器、智能电器及计算机应用、现场总线、应用与测试、成套电器、开关电源、电能质量、测试技术、配网自动化、产品介绍、标准研究与分析、行业信息等。

投稿信箱:lva@ seari. com. cn　　**在线投稿:http://lva. chinaelc. cn**

交流先进技术平台　　传播电工信息先锋