

基于 DSP 控制可实现谐波抑制的并网逆变器

李 超, 陈辉明, 王正仕, 林金燕

(浙江大学, 浙江 杭州 310027)

摘要:在研究分布式发电系统并网技术的基础上,以同时实现有功功率输出和谐波抑制为目的,设计了一种新型的 DSP 控制并网逆变器。该装置采用 DSP 对电网电流中的谐波进行检测, DSP 的运行速度保证了系统具有瞬时性,消除了检测延时对系统的影响,从而实现了和谐波的瞬时检测;同时,通过 DSP 对检测信号进行处理,最终实现了对逆变器中 IGBT 的开通控制。给出了有、无谐波两种情况下的实验结果,这种新装置在将有功功率输入电网的同时,对电网中的谐波也有良好的抑制作用。研究结果证明,该装置实现了预期功能,具有较好的稳定性和实用性。

关键词:逆变器 / 并网; 谐波抑制**中图分类号:** TM464**文献标识码:** A**文章编号:** 1000-100X(2007)09-0004-03

The Harmonic Control used in Grid-connected Inverter based on DSP

LI Chao, CHEN Hui-ming, WANG Zheng-shi, LIN Jin-yan

(Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: To achieve the aim of energy feedback and harmonic control simultaneously, a new design of grid-connected inverter with DSP is presented on the basis of the research on grid-connected technology of distributed generation system. In order to eliminate the effect of detecting delay on the system, the device used DSP technique to measure harmonic signal, whose running speed ensured the measurement can be accomplished instantly. Meanwhile, DSP was also used to deal with the detected signals and hence can give the drive signals to IGBT of inverter further. The results under the condition of harmonic actual being or not showed that the device can input energy to the power network and achieve the harmonic control well. In conclusion, the research indicates that the device has fulfilled the anticipative function, and it will be of great reliability and practicality in the near future.

Keywords: inverter / grid-connect; harmonic suppression

Foundation Project: Supported by National Natural Science Foundation of China (No.50437010); and Zhejiang Natural Science Foundation (No.X106873)

1 引言

随着分布式发电系统的广泛应用,其并网问题也引起了越来越多的关注,如果将其闲置状态产生的能量反馈至电网中,将会缓解当今能源供求的紧张局面。分布式发电系统能量回馈的基本要求是并网侧功率因数为 1,即并网电流无畸变且与电网电压相位一致,只将有功功率回馈至电网。

实际中,由于电力电子设备的广泛使用,使电网中产生了大量谐波,而谐波电流对用电设备的危害很大,会降低电能的生产、传输和利用效率,使电气设备过热,产生振动和噪声,并使其绝缘老化,缩短使用寿命,甚至发生故障或烧毁。谐波还会引起继电保护和自动装置的误动作,使电能计量出现混乱^[1]。

如果分布式发电系统能在输出有功功率的同时实现谐波抑制,将大大改善电网电能的质量,使其更具实用性与新颖性。

新装置的设计目的是,当电网中不存在谐波时,装置能在功率因数为 1 的情况下将电能回馈至电网;当电网中存在谐波时,装置能在输出有功功率的同时,实现谐波抑制。

2 并网逆变器与谐波抑制的基础分析

2.1 并网逆变器的结构分析

高速永磁发电机发出的高频交流电经过整流后输出稳定的直流电,然后通过并网逆变器将直流电转换为市电供用电设备使用,或将闲置能量并入电网。目前的并网逆变器按照其与电网的联结方式可分为并联型、串联型、串-并联型和混合型。其中,并联型逆变器在技术上已比较成熟,是一种应用广泛的有源滤波器拓扑结构,为此采用了较常用的电压型三相并网逆变器^[2]。图 1 示出电压型三相并网逆变器的结构。

IGBT 的开通、关断是由 DSP 产生的 PWM 信号

基金项目:国家自然科学基金项目(50437010);浙江省自然科学基金项目(X106873)

定稿日期: 2007-03-30

作者简介:李 超(1983-),男,山东嘉祥人,硕士研究生,研究方向为电力电子技术及其应用。

经驱动电路控制的。只要将谐波分量反极性后加上与电网电压同相位的正弦信号作为控制信号,就能同时实现输出有功功率和谐波抑制。

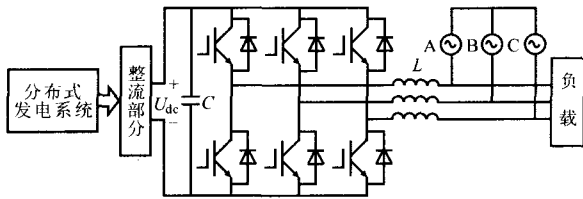


图1 电压型三相并网逆变器结构图

图中 U_{dc} ——直流输入电压 C ——滤波电容
 L ——交流侧滤波电感

2.2 谐波检测的原理分析

实时检测出电网电流中的谐波是实现谐波抑制的重要前提,也是本系统着重解决的难点之一。在诸多谐波检测方法中,应用最广泛的是瞬时无功功率理论^[3]。它是以瞬时有功电流 i_p 和瞬时无功电流 i_q 为基础的计算方法,通过计算电流的有功分量和无功分量可以得出三相电路谐波电流,将谐波分量反极性后即可作为补偿电流的指令信号。图2示出谐波电流的检测原理。

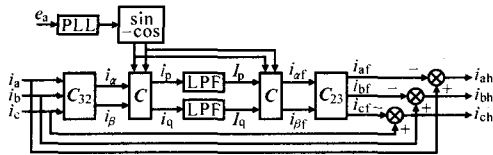


图2 i_p-i_q 法谐波检测原理图

图中 i_a, i_b, i_c ——负载电流瞬时值 e_a ——a相电源相电压
 i_{ah}, i_{bh}, i_{ch} ——三相谐波电流信号

$$C_{32} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix}$$

$$C = C^{-1} = \begin{bmatrix} \sin\omega t & -\cos\omega t \\ -\cos\omega t & -\sin\omega t \end{bmatrix}, C_{23} = C_{32}^T$$

与 e_a 同相位的正弦信号 $\sin\omega t$ 和余弦信号 $-\cos\omega t$ 由锁相环(PLL)和正余弦发生电路得到。

将三相电路的电流瞬时值 i_a, i_b, i_c 变换到 α, β 两相正交的坐标系中,有:

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = C_{32} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} i_p \\ i_q \end{bmatrix} = C \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (1)$$

然后计算出 i_p 和 i_q 。由于有功功率在新的坐标系中已成为直流形式,因而只要用低通滤波器(LPF)就能将其滤出,因此 i_p, i_q 经过 LPF 后得到其直流分量 I_p, I_q , 而 I_p, I_q 就产生于基波电流 i_{af}, i_{bf}, i_{cf} 。因此可将 I_p, I_q 从 α, β 坐标系中再转换回来,从而求得 i_{af}, i_{bf}, i_{cf} 。用 i_a, i_b, i_c 减去 i_{af}, i_{bf}, i_{cf} 就得到 i_{ah}, i_{bh}, i_{ch} 。

使用 i_p-i_q 法可检测出电网电流中的谐波信号,

图3示出带有谐波的电网电流 i_s 和检测出的谐波电流 i_h 波形。

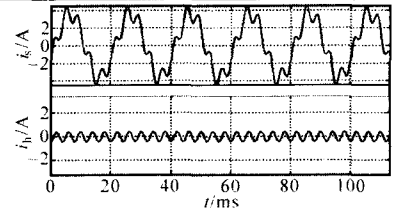


图3 电网电流、谐波电流波形

2.3 信号处理与控制原理分析

检测出谐波电流后,需要对信号加以处理进而控制逆变器。图4示出系统的信号处理与控制方案。由图可知,将谐波分量反极性后加上与电网电压同相位的正弦信号 $\sin\omega t$ 作为指令信号 i_c^* 。将检测环节得到的电流实际值 i_c 与 i_c^* 之间的偏差 Δi_c 经过处理得到控制信号,控制信号再与高频三角调制波进行实时比较,所得到的 PWM 信号作为逆变器各开关组件的控制信号^[4]。

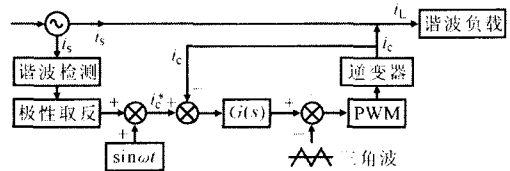


图4 信号处理与PWM控制图

不同于普通的SPWM控制方式,该控制方式不直接将 i_c^* 与三角波比较,而是将 Δi_c 经 PI 环节处理之后再与三角波比较。这样组成的控制系统是基于使 Δi_c 控制为最小来设计的。

3 系统软硬件设计

3.1 系统硬件设计

数字式电压型并网逆变器的硬件主电路在图1所示的电压型三相并网逆变器的交流侧增加了一个DSP环节。其开关器件采用独立IGBT,上桥臂采用有过流保护功能的HCPL-316j型控制驱动芯片,下桥臂采用无过流保护功能的HCPL-3120型控制驱动芯片,数字控制采用DSP2407,交流侧为工频三相电^[5]。

3.2 系统软件设计

由于谐波检测算法复杂且系统要求的实时性高,一般的微处理器,如51系列、96系列的速度远远不能达到实时性要求。所以,以前算法的运算大多由硬件电路完成,虽然实时性高,但需要多个硬件乘法器,对元器件精度要求很高,因此电路复杂,且成本高。DSP是在模拟信号变成数字信号以后进行高速实时处理的专用处理器,新兴的DSP更加适合处理大量的数据,具有高速、高分辨率、强运算能力等性能。故应用DSP实现谐波和无功电流的检测计算能够保证实时性,而且系统结构简单。

图5示出主程序流程图。如图所示,整个系统的采样、闭环控制和算法运算都是在DSP2407中实现

的,在以 DSP 为核心的数字控制系统中,需要完成 A/D 采样、变换和数字低通滤波,以及对滤波后谐波分量的反变换,以得到指令信号以及控制信号,然后根据控制信号计算出相应的 PWM 信号。

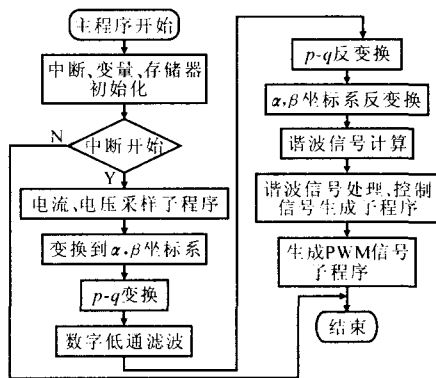


图 5 主程序流程图

4 实验结果分析

在上述理论分析的基础上,设计了一台 6kW 的基于 DSP2407 控制的电压型三相并网逆变器。

在局域电网中进行调试,外电网经过大功率变压器后接入局域电网,逆变器接在局域电网的始端。用电设备为电炉、整流桥、电灯等。当用电设备中不存在谐波源时,该装置能在功率因数为 1 的情况下将电能回馈至电网;而当用电设备中存在谐波源时,该装置能同时输出有功功率和实现谐波抑制。

当负载是纯电阻负载时,其端电流与电压同相位,电流为 2A。图 6 示出无谐波存在时的实验波形。

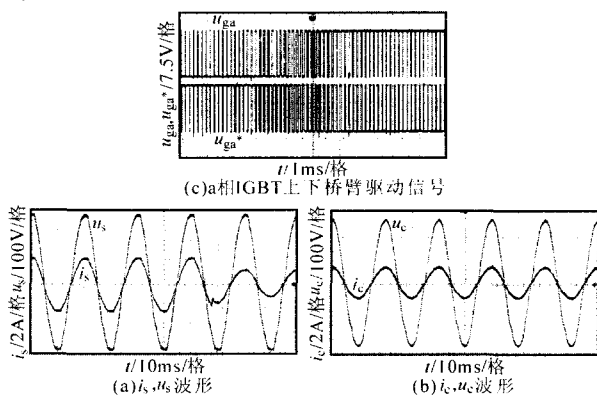


图 6 无谐波存在时的实验结果

图 6a 为逆变器 a 相上桥臂的 PWM 驱动信号 u_{ga} 和下桥臂的 PWM 驱动信号 u_{ga}^* 波形,开通电压 +15V,关断电压 -5V。上下桥臂死区时间约为 $2\mu s$;图 6b 为电网电流 i_c 和电压 u_c 波形。当 $t=65ms$ 时,逆变器开始工作,向电网输入电流,电网输出电流减小;

图 6c 为逆变器稳定工作时,其并网端的电流 i_c 、电压 u_c 波形。由图可见 i_c 基本与 u_c 同相位,实现了功率因数为 1 向电网输出有功功率。图 7 示出有谐波存在时实验波形。

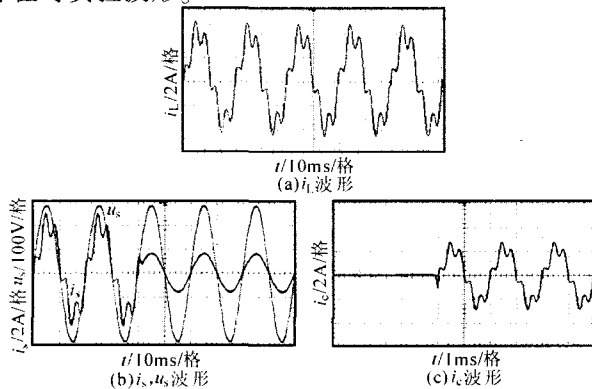


图 7 有谐波存在时实验波形

图 7a 为谐波负载两端电流 i_c 波形,电流为 5A;图 7b 为电网电流 i_c 、电网电压 u_c 波形。当 $t=40ms$ 时,逆变器开始工作,向电网输入电流并实现谐波抑制,此后电网输出电流减小,电流波形变回正弦波;图 7c 为逆变器工作时,其并网端的电流 i_c 波形。逆变器在 $t=40ms$ 时开始工作,向电网输入有功电流和谐波补偿电流。可见,逆变器在向电网输入有功功率的同时实现了谐波抑制,改善了电能质量。

5 结论

分析了谐波抑制与并网逆变器的原理和控制方案,重点讲述了谐波抑制的 DSP 实现,并设计了一台基于 DSP 控制的可实现谐波抑制的三相并网逆变器。由实验结果可见,该装置具有创新性,用途广泛,稳定性好。

参考文献

- [1] 解绍锋,李群湛,赵丽平.谐波国家标准有关问题的探讨[J].电网技术,2006,30(13):94~97.
- [2] 彭海应,陈柏超,彭 旸.一种新型谐波抑制以及无功补偿装置[J].电力电子技术,2004,38(6):34~36.
- [3] 张桂斌,徐 政,王广柱.基于空间矢量的基波正序、负序分量及谐波分量的实时检测方法[J].中国电机工程学报,2001,21(10):1~5.
- [4] 公茂忠,刘汉奎,顾建军.并联型有源电力滤波器参考电流获取的新方法[J].中国电机工程学报,2002,22(9):43~47.
- [5] 王树文,纪延超,马文川.新型三相逆变器及其调制技术的研究[J].电力电子技术,2006,40(3):6~7.

欢迎访问《电力电子技术》网站!

www.dldzjs.com