

基于 TMS320F240 芯片的光伏并网发电系统的控制方法

赵为, 余世杰, 沈玉梁, 苏建徽

(合肥工业大学能源研究所, 安徽 合肥 230004)

摘要: 详细分析介绍了在基于 DSP 芯片 TMS320F240 的光伏并网发电系统中所应用的控制方法。关键是预测控制方法和 PI 控制方法的结合。该控制方法在实际使用中取得了良好的效果。

关键词: 控制方法; 光伏; 并网; DSP; 太阳能

中图分类号: TM91 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2002)07-0031-03

1 概述

预测控制算法是近几年发展起来的一种新型数字控制算法。这种算法和以状态空间法为代表的现代控制理论设计方法有着明显的不同。它不需要被控对象的精确数字模型,而是利用数字计算机(或单片机)的计算能力实行在线滚动优化计算,从而取得好的综合控制效果。

由于预测控制一般都采用较长的采样周期,而且它具有积分式结构,所以在对模型失配有较强鲁棒性的同时,也存在着对随机突发干扰难以及时控制的不足。另外,在预测控制算法中,所选参数与工程指标的联系也不够紧密。而在工程中获得广泛应用的 PI 控制在这两个方面和预测控制有着很强的互补性。因此两者的结合,使得本系统的控制算法性能平衡、良好。

2 光伏并网系统功能和内部模块简介

光伏并网系统主要功能是将太阳能电池阵列产生的直流电能通过该逆变装置馈送给电网,从而实现利用太阳能发电。目前,这类并网发电系统在美国、日本、澳大利亚以及欧洲都有了很多应用。

有源逆变系统的模块构成框图如图 1 所示。

光伏并网发电系统的核心为控制主板,各种信号的采集和处理均由其完成。系统进行并网工作的基本过程主要由 F240 芯片的捕捉中断(CAP INT)和 PWM 载波周期的定时中断完成。电网电压产生的过零脉冲信号加至 F240 的捕捉中断输入口 CAP1 上,以此时间点作为基准给定正弦波信号的时间起点,同时根据目前 PWM 的实际脉宽值与理论脉宽

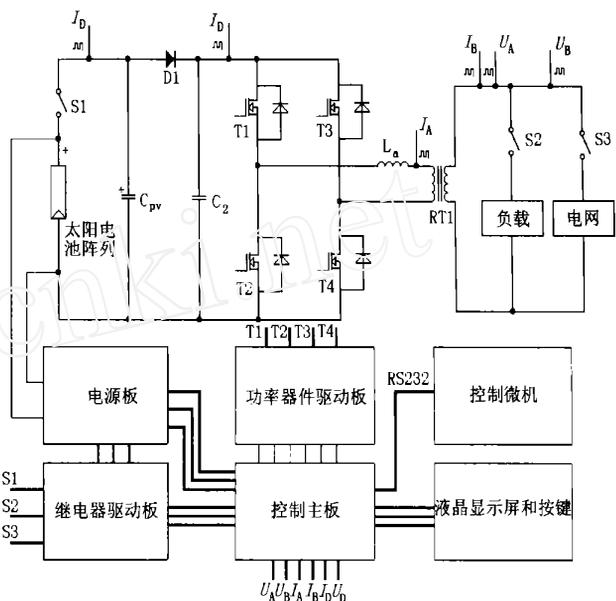


图 1 多功能光伏并网发电系统的模块构成框图
值修正载波周期,从而使并网系统的并网输出电流与电网电压保持同频、同相。

系统的功率桥式开关电路采用单极性 SPWM 调制方式,具体工作过程如下:PWM 载波周期的定时器中断从固定数据表中读出单位正弦波数据,根据电流幅值指令信号大小进行预处理,得到临时脉宽 CMPRTEMP,再将该数据和经过 A/D 采样和经过预测处理后的电网电流值、电网电压值进行综合 PI 运算处理,得到实际的脉宽 CMPR1,控制功率器件 T1、T2 和 T3、T4 的导通和关断。下一次 PWM 载波周期中断重复上述处理过程,这样,通过电流跟踪就可以得到由程序自由控制的并网输出电流,当然这必须在功率允许范围之内。

3 系统控制方法的分析

系统工作实际控制运算流程如图 2 所示。

基金项目:“九五”国家科技攻关项目(96-A17-03-03)。

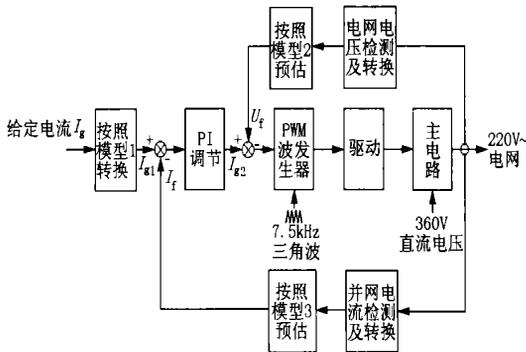


图2 系统工作控制流程图

图中:电流 I_g 为由程序给定的并网电流幅值指令信号,相当于并网输出电流的有效值。模型 1 为由单位电流 I_g 所确定的 2 周期的正弦波电流的离散瞬时值,分为 150 点,每点间隔 2.4° ;模型 2 和模型 3 都是预测跟踪模型。

系统控制中的关键点一是使用了前馈补偿(干扰补偿校正),二是使用了预测控制和 PI 控制相结合的控制方法。

3.1 前馈补偿

并网系统的实质是有源逆变系统,为此,可以将电网交流电压当作系统的干扰源。所以控制过程中的电网电压实时采集通道为前馈补偿通道,即从电网采集电网电压,经过模型预测后和 I_{g1} 相加。如果去除该通道,仅仅使用 PI 调节运算,通过试验发现,电流波形在给定电流 I_g 较小时有明显的畸变,系统工作不稳定,电抗器 L_a 发出难听的噪音。

这主要有以下两个方面的原因:

- (1) 经测量,电网电压中有较多的谐波分量,对系统的稳定性产生了明显的干扰;
- (2) 电网电压的幅值在不同时间、不同地点变化很大,编制通用的程序有较大困难。

在使用了电网电压实时 A/D 采样前馈通道后,取得了很好的控制效果。 I_g 从零到额定功率,均可获得理想的正弦波并网电流(失真度 $< 3\%$)。

3.2 预测控制和 PI 调节综合控制方案的实现

3.2.1 预测控制方法的分析

预测控制算法与通常的离散最优控制算法不同,不是采用一个不变的全局优化目标,而是采用滚动式的有限时域优化策略。其优化过程不是一次离线进行,而是在线反复进行优化计算、滚动实施,从而使模型失配、时变、干扰等引起的不确定性能得到弥补,提高了系统的控制效果。本控制过程中采用预测控制方法,对于克服由于电网电压的谐波、毛刺

以及其他干扰因素等所带来的系统不稳定,具有明显的实际效果。另外一个使用预测控制的重要原因 是为了尽量减小 A/D 采集中毛刺信号的干扰,系统中使用了 RC 滤波电路,从而使 A/D 采集的数据滞后于实际的信号,该滞后时间和 F240 的定时采样周期可以比拟,无法忽略。

3.2.2 具体控制算法的实现

在实际的计算中,并网的交流电流和电网的交流电压的 A/D 采样值需要进行预测。根据 A/D 采样电路中滤波电容的数值和阻值以及试验的结果,预测 $1/2$ 采样周期,取得了较好的结果。

具体的预测方法如下:

由于硬件 A/D 输出电路使用了阻容滤波,本身具有的延迟作用,使得 A/D 采样所得值滞后于实际值,如果此时使用该 A/D 值进行运算,必将使得结果产生误差。具体预测时间间隔, A/D 采样电路中的 RC 具体的数值为 R 取 $10k$, C 取 $0.01\mu F$,则延迟时间大约在 $100\mu s$,而程序中的每个采样周期 T 为 $20ms/150 = 166.6\mu s$,考虑实际离散计算的方便性以及实际的实验效果,使用预测 $T/2$ 的计算方法。

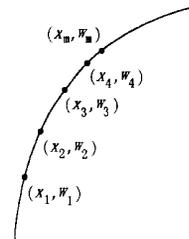


图3 预测公式计算示意图

预测公式的计算如图 3 所示,其中, x_i 相当于采样时间, $x_i - x_{i-1} = T$; w_i 对应于每个 x_i 时刻的 A/D 采样值, w_4 为当前 A/D 采样值, w_m 为预测值, $x_m - x_4 = T/2$ 。预测公式如下:

由泰勒展开公式可知:

$$f(x_m) = f(x_4 + t) = f(x_4) + f'(x_4) \cdot t + \frac{1}{2} f''(x_4) \cdot t^2 + \frac{1}{6} f'''(x_4) \cdot t^3 + O(t^4) \tag{1}$$

由于在本系统中, T 很小,采样点间隔为 2.4° ,所以在计算导数公式时,由线性公式近似代替,可得公式(2)和(3)。

$$f'(x_4) \cdot t^2 = [(w_4 - w_3) - (w_3 - w_2)] - [(w_3 - w_2) - (w_2 - w_1)] = w_4 - 3w_3 + 3w_2 - w_1 \tag{2}$$

$$f'(x_4) \cdot t = (w_4 - w_3) - (w_3 - w_2) = w_4 -$$

$$2w_3 + w_2 \quad (3)$$

式中 w_n 为 A/D 采样值; x_n 为定时器中断点。

取 $t = T/2$, 则

$$w_m = f(x_m) = f(x_4 + \frac{1}{2}T) = \frac{79}{48}w_4 - \frac{13}{16}w_3 + \frac{3}{16}w_2 - \frac{1}{48}w_1 \quad (4)$$

考虑到单片机的计算精度,在实际计算过程中,不可以使用上面的计算公式直接计算,首先应该将上面的公式进行变形。

$$f(x_4 + \frac{1}{2}T) = \frac{79}{48}w_4 - \frac{13}{16}w_3 + \frac{3}{16}w_2 - \frac{1}{48}w_1 = w_4 - \frac{1}{6}(w_4 - w_1) + \frac{13}{16}(w_4 - w_3) + \frac{3}{16}(w_2 - w_1) \quad (5)$$

式中 $x_2 - x_1 = x_3 - x_2 = x_4 - x_3 = T$

使用上述公式计算,更加方便,且在运算过程中结果不会溢出。

预测模型 2 和模型 3 都使用公式(5)作为预测方案。

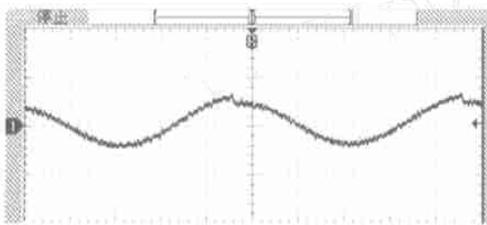


图 4 无预测控制时的并网输出电流波形

使用这种控制方案,使得系统无论在动态响应,还是在稳定性方面,都具有良好的性能。如图 4 所示,不使用前馈调节时,由于 PI 调节的范围较大,所以输出的电流波形在波峰有裂口,而使用前馈调节

后,如图 5 所示,波形的改善是很明显的。

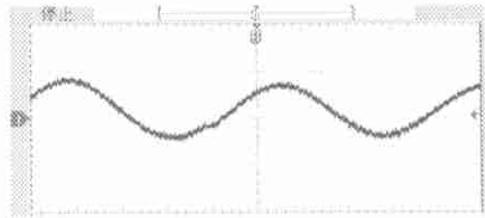


图 5 使用预测控制后的并网输出电流波形

4 结论

本课题是国家“九五”科技攻关项目。目前已经通过国家科委验收,各项指标均达到设计目标。已经在现场连续工作了九个多月(2000.11 安装),没有出现故障。可见该控制方案在本系统中得到了很好地应用。

参考文献:

- [1] TMS320 Family Development Support Reference Guide[Z]. Texas Instruments, 1990.
- [2] TMS320 Fixed-point DSP Assembly Language Tools User's Guide[Z]. Texas Instruments, 1991.
- [3] 张占松,蔡宣三. 开关电源的原理和设计[M]. 北京:电子工业出版社, 1998, 6.
- [4] 张雄伟. DSP 芯片的原理与开发应用[M]. 北京:电子工业出版社, 1997, 9.
- [5] 孙虎章. 自动控制原理[M]. 北京:中央广播电视大学出版社, 1994, 10.

收稿日期: 2001-09-30; 修回日期: 2001-12-17

作者简介: 赵为(1973-),男,硕士,研究方向为电力电子与电力传动; 余世杰(1934-),男,教授,博导,研究方向为电力电子与电力传动; 沈玉梁(1944-),男,教授,博导,研究方向为电力电子与电力传动。

The control way in the grid-connected PV system based on the DSP(TMS320F240)

ZHAO Wei, YU Shi-jie, SHEN Yu-liang, SU Jian-hui

(Energy Research Institute, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: This paper analyzed and introduced the control way in the grid-connected PV system based on the DSP(TMS320F240). The key of this control way is the combination of forecast control and PI control. This way has been taking good effect in practice.

keywords: control way; PV; grid-connected; DSP; sun energy