

一种新型控制策略在单相逆变器中的应用

李德华, 余 璠, 张志远, 余敬东

(杭州中恒电气股份有限公司, 浙江 杭州 310053)

摘 要:介绍了将PID调节器与重复控制相结合的控制策略以及新型DSP芯片TMS320F2812应用于单相逆变器。着重分析了系统的构成、软件算法设计和稳态分析。实验表明,采用新型DSP芯片可以简化硬件电路,而采用PID与重复控制相结合的策略既能使逆变器输出高质量的正弦波,又能获得较好的动态性能。

关键词:逆变电源;PID;重复控制;DSP

Application of A New Control Strategy in Single Phase Inverter

LI De-hua, YU Yun, ZHANG Zhi-yuan, YU Jing-dong

(Hangzhou Zhongheng Electricity Ltd., Hangzhou Zhejiang 310053, China)

Abstract:This paper introduces a control strategy which combines PID controller with repetitive control, and DSP TMS320F2812 used in single phase inverter. The system structure, software arithmetic design and system stability are specially analysed. The experiment result showed that the circuit could be simplified through using the new DSP chip. Meanwhile, the inverter could output high quality sine wave and have excellent dynamic performance through adopting the control strategy which combines PID controller with repetitive control.

Keywords: inverter; PID; repetitive control; DSP

0 引言

波形质量是逆变电源关键的一项性能指标,为了获得高质量的正弦输出电压波形,提出了很多闭环控制策略,如PID控制、无差拍控制、滑模控制以及模糊控制等,但这些方案都是通过提高系统的动态响应来抑制干扰,改善波形质量的。这些方法对于对负载突加突卸情况下波形的控制有很好的效果,但是对于周期性的扰动,例如带整流型负载,效果并不理想。重复控制技术正是解决动态系统中周期性跟踪误差的一种非常好的控制

方法。它并不追求很高的动态特性,而是利用扰动的“重复性”这一规律,“记忆”扰动发生的位置,根据相应的控制规律,有针对性地修正输出波形,从而在稳态条件下实现对给定信号的完美跟踪。

本文提出了将重复控制技术和传统PID控制相结合,在改善波形质量的同时还保证了系统具有较好的动态响应能力。此种控制方法已成功应用于5kVA单相逆变器样机上。

1 基于DSP的控制系统

图1所示的是逆变器的系统框图。该逆变器系

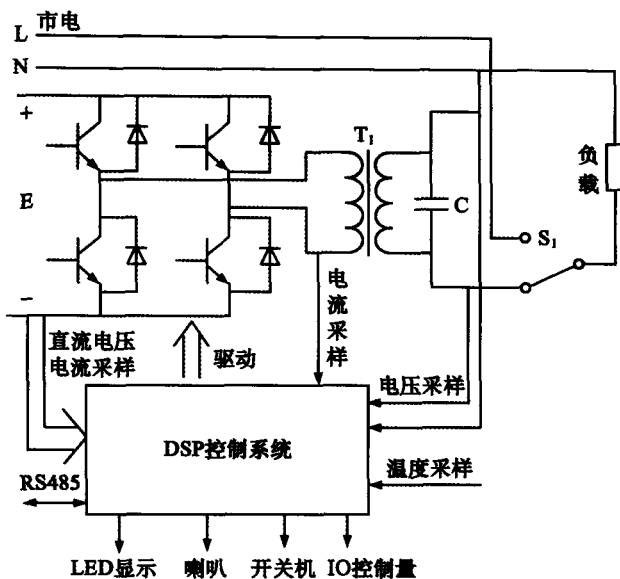


图1 系统框图

统采用高速数字信号处理器TMS320F2812作为控制器,该处理器具有32位定点内核,丰富的片内外设包括两个事件管理器、多个定时器、16通道12位精度AD转换器等及150M的工作频率,非常适合于采用了比较复杂控制策略的系统中。

主电路采用单相全桥的拓扑结构,输出用工频变压器隔离,DSP负责电流、电压和温度的采集,并根据一定的算法实现SPWM波形的输出,IO控制量包括一些工作状态量和故障状态的输入以及控制市电和逆变的切换等,同时系统还通过LED和喇叭的组合指示当前的工作状态或故障类型,考虑通信、遥测的需要,系统还能通过RS485通讯方式与上位机进行通讯。

该逆变器采用逆变、市电双路供电,平常是市电优先,一旦市电断电就会切换到逆变输出,继续给负载供电。同时,当输入电压出现过压、欠压或散热器温度过高等故障时,逆变器停止输出SPWM信号,直到故障解决后,再重新开放。系统采用霍尔传感器检测原边电流,用作偏磁控制及短路保护。

2 重复控制原理与稳态分析

重复控制是基于内模原理的一种控制理论。由内模原理可知,在一个闭环调节系统中,如果反馈回路中包含一个描述外部信号动力学特性的数学模型(即内模),那么该系统具有理想的指令跟踪特性和扰动抑制能力。

逆变器的重复控制器需要这样一种内模:稳态,当输出电压误差衰减至零时,它能按基波周期产生控制作用,以补偿周期性非正弦负载电流的影响。重复控制器可以直接置于控制系统的前向通道上,也可采用嵌入式结构,把重复控制器当作给定量校正器使用。其结构如图2所示。

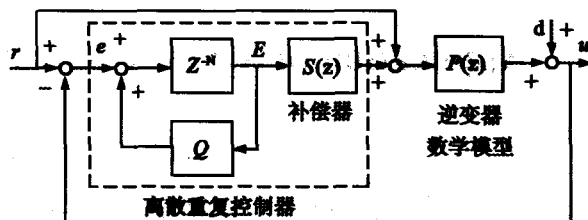


图2 重复控制系统结构框图

它包括重复控制发生器(内模)、补偿器 $S(z)$ 和控制对象 $P(z)$ 。其中, $P(z)$ 就是逆变器的数学模型, $S(z)$ 包含了一个超前补偿环节、一个二阶滤波器和一个陷波器; Z^{-N} 是周期延迟环节, Q 是用于克服对象模型不精确的影响,增强系统鲁棒性而设计的滤波器或一个小于1的常数。

由图可推得

$$u = P(z) \frac{z^N - Q + S(z)}{z^N - [Q - P(z)S(z)]} r + \frac{z^N - Q}{z^N - [Q - P(z)S(z)]} d \quad (1)$$

由z域中稳定的充要条件,即当且仅当离散特征方程的全部特征根位于z平面以原点为圆心的单位圆内,则相应的离散系统是稳定的,所以由(1)式得该系统得特征方程为

$$z^N - [Q(z) - P(z)S(z)] = 0 \quad (2)$$

若要使 $|z| < 1$,则

$$|Q-P(z)S(z)| < 1 \quad (3)$$

上式是系统稳定的判定条件,在频域内 $Q(z)=Q(j\omega)|_{z=\exp(j\omega T)}$ 、 $P(z)=P(j\omega)|_{z=\exp(j\omega T)}$ 、 $S(z)=S(j\omega)|_{z=\exp(j\omega T)}$ (其中 T 为采样周期时间, $T=1/f_s$)。在某一频率下,以 $Q(j\omega)$ 所在的位置为圆心画一个单位圆,为了满足式(3), $P(j\omega)S(j\omega)$ 必须在该单位圆内,若以上情况在 ω 取任意值的情况下都满足,即整个频域范围成立,则系统必然稳定。

3 系统软件设计

3.1 控制算法分析

逆变器采用重复控制技术,可以获得很好的稳态输出特性,输出电压正弦度好,谐波畸变率低。并且,重复控制系统的稳定性好,对系统参数变动反应不灵敏,鲁棒性较强。但是它有一个致命的弱点,由于周期延迟环节 Z^{-N} 的存在(忽略 Z^k 的影响),重复控制得到的控制指令并不是立即输出,而是滞后一个基波周期后才输出。这样,如果系统内部出现干扰,消除干扰对输出的影响至少要一个基波周期。这样在一个周期内系统对于突然的干扰近乎于开环控制状态。最常见的情况是系统运行过程中的突加突减负载,这相当于加入了一个电流的干扰信号,这时由于直流电压内阻的影响,使得直流电压发生突然的升降,此后一个基波周期内 U 保持上一个基波周期的调节量,必然造成输出交流电压跟随直流输入电压出现大范围变动,这样将很可能对用电设备造成损害。

由于上述原因,逆变器系统不应该单独采用重复控制。而数字PID控制虽然输出电压波形质量不高,但是它却是以开关周期对跟踪误差进行调节。它可以使系统具有良好的动态性能。同时为了进一步减小动态过程中输出电压的波动和波形畸变,改善数字PID控制系统的稳定性,还在系统中加入了前馈控制器。

系统控制框图如图3所示。

系统控制算法流程图如图4所示。

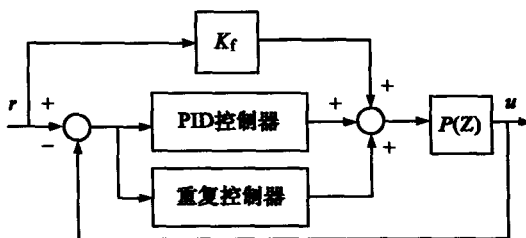


图3 系统控制框图

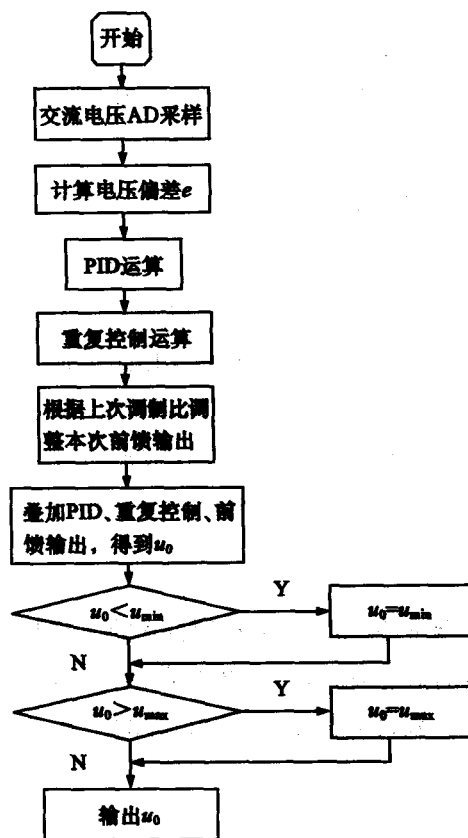


图4 算法流程图

3.2 软件实现

在实际应用中,采用了单极倍频的调制方法,这种方法相对于相同开关频率的单极性调制和双极性调制方法来说,可以把输出电压中的脉波数提高一倍,这对减少开关损耗和改善输出电压波形是很有益的,同时采用不对称规则采样法用软件来产生10kHz、调制频率为50Hz的四组SPWM信号。

该系统中,将一个正弦波周期分为400点,因此采样周期中断时间为 $50\mu\text{s}$ 。

在具体编程实现的过程中,考虑到将来系统扩展的需要,采用两个事件管理器EVA、EVB共同管理两个桥臂的方法。即定时器1和定时器3的初始值相加等于周期寄存器的值,EVA、EVB均采用定时器周期中断的方式,因此两个定时器中断的间隔时间是 $50\mu\text{s}$ 。定时器1计时到了 $50\mu\text{s}$,就会产生中断,然后进入中断子程序及时有效地修改SPWM的占空比,然后过了 $50\mu\text{s}$ 定时器3产生中断,再次进入中断子程序修改SPWM的占空比,如此往复,可得到开关频率为10k的SPWM波形。

4 实验结果与分析

基于上述分析,成功设计了一种基于PID和重复控制技术的单相全桥逆变电源。输入直流电压180~280V,满载4kW。实验结果如图5所示。

可见,当加上重复控制器后,无论是带线性负载还是带整流性负载,输出电压波形的THD都大大减小,输出波形明显得到改善。

5 结语

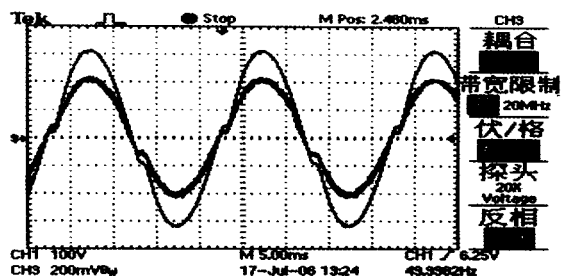
实验证明,采用重复控制技术的逆变电源对输出电压的谐波失真有很好的抑制效果,即使负载为整流性负载时输出波形也有很好的质量。该控制方法具有良好的稳态特性和鲁棒性。

参考文献

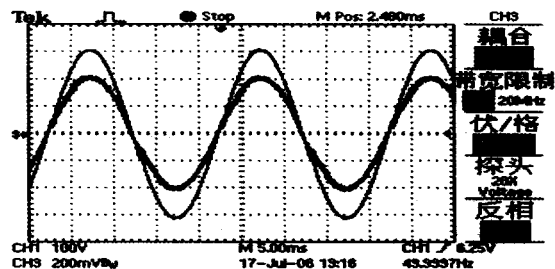
- [1] 陈坚. 电力电子学[M]. 北京:高等教育出版社,2002
- [2] 周志敏. 逆变电源实用技术[M]. 北京:中国电力出版社,2005
- [3] 胡兴柳. 基于重复控制技术的逆变电源研究[J]. 电力电子技术. 2004,38(4):51~53

作者简介

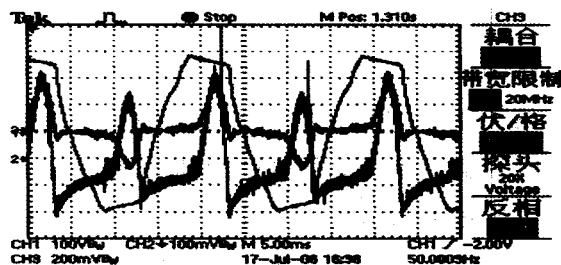
李德华,1980年生,男,湖北宜昌人,硕士,研究方向为电力电子与电力传动。



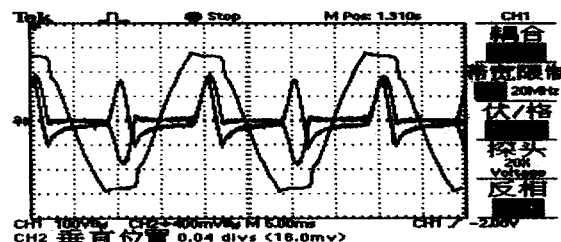
(a)单纯PID控制,带线性负载,CH1是输出电压波形,CH3是原边电流波形(10A/格),THD6.27%



(b)PID和重复控制的复合控制,带线性负载,CH1是输出电压波形,CH3是原边电流波形(10A/格),THD2.02%



(c)单纯PID控制,带整流性负载,CH1是输出电压波形,CH2是输出电流(10A/格),CH3:原边电流波形(10A/格),THD12%



(d)PID和重复控制的复合控制,带整流性负载,CH1是输出电压波形,CH2是输出电流(20A/格),CH3:是原边电流(20A/格),波形THD5%

图5 实验波形