

# 基于 DSP 控制的全数字 UPS 逆变器设计

言超, 吴燮华

(浙江大学电气工程学院, 浙江杭州 310027)

摘要: 功率变换器的数字化实时控制是电力电子技术的一个重要发展方向。提出了一种新型的基于电感电流模式的双环数字控制器, 给出了详细的设计过程, 仿真和实验结果验证了数字控制器设计的正确性。关键词: 数字控制; 电感电流模式; 双环控制

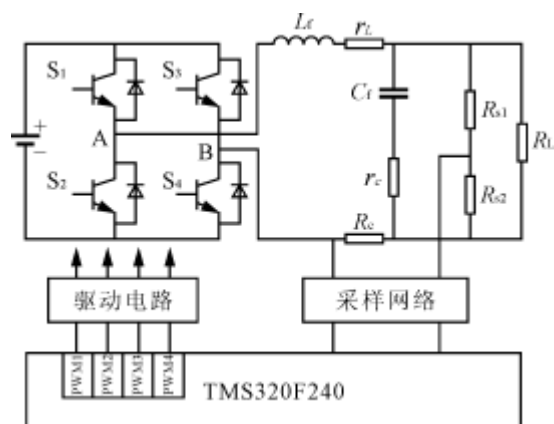


图 1 UPS 逆变器结构框图

## 1 引言

随着信息处理技术的不断发展, 尤其是计算机的广泛应用和 Internet 的迅猛发展, 供电系统的可靠性要求越来越高, 因此对不间断电源 (UPS) 技术指标的要求也越来越高。UPS 的核心部分是一个恒频恒压逆变器, 由于传统模拟控制需要使用大量的分立元器件, 老化和温漂严重影响了系统的长期稳定性。基于 DSP 的数字控制技术能大大改善产品的一致性, 同时增加了控制的柔性, 提高了整个系统的稳定性和可靠性[1]。本文主要提出了一种数字控制的 UPS 逆变器结构, 详细论述了控制系统的参数设计。

## 2 系统结构

图 1 是本文提出的数字控制 UPS 逆变器的结构框图。主电路采用了全桥结构, 控制电路是以 TI 公司的电机控制专用 DSP 芯片 TMS320F240 为核心的全数字控制器[2]。Lf 和 Cf 为逆变器的输出滤波电感和滤波电容, rL 和 rC 分别为滤波元件的串联寄生电阻。考虑到控制的精确性和产品的成本, 控制系统采用了电阻取样, 主功率电路与控制电路共地的系统控制方法。Rs1 和 Rs2 为输出电压取样电阻, Rc 为电感电流取样电阻。电压和电流取样信号通过采样网络, 输入到 DSP 的 A/D 转换口。DSP 的 PWM 模块输出 4 路 PWM 信号经过驱动电路之后驱动 4 个 IGBT 管。

## 3 控制系统设计

### 3.1 数字双环控制器结构

逆变器的控制有许多方案[3]，本文的 UPS 逆变器采用了电感电流模式的数字双环 PI 控制方法，具体的逆变器数字控制框图如图 2 所示。图中的虚线框内部分为逆变器的主电路， $V_{ref}$  为存储在 DSP 程序空间内的正弦波数据表， $V_{AB}$  为逆变桥两桥臂中点间的电

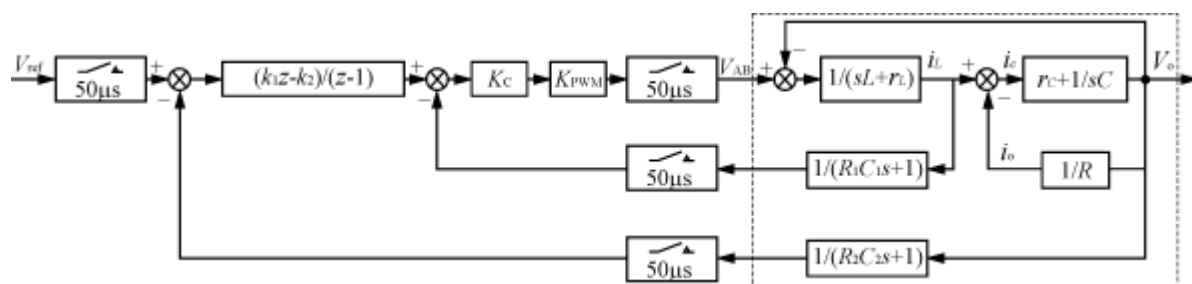


图 2 逆变器双环数字控制框图

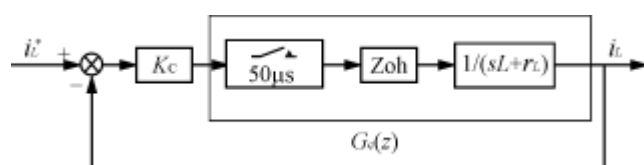


图 3 电流内环简化框图

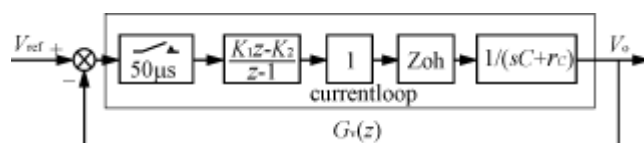


图 4 电压外环简化框图

压。为了抑制反馈量中的高频噪声，提高采样的精确性，反馈通道中增加了阻容低通滤波器。电压误差信号经过数字 PI 调节之后的输出作为电流环的指令，电流误差信号再经过比例调节得到电流环输出。电流环输出与定时器产生的三角波比较后得到四路门极脉冲。

3. 2 电流环和电压环参数设计图 3 为简化的电流内环框图，Zoh 为零阶保持环节，它的 s 域传递函数为： $G_h(s)=$ ，其中  $T_s$  为采样周期。

本文设计的电压和电流采样周期均为  $50\mu s$ 。电流环的开环脉冲传递函数为： $G_C(z)=Z$ （忽略了电感的串联电阻  $r_L$ ），它的闭环传递函数的特征方程为： $1+K_C \cdot =0$ ，根据无差拍控制原理，令特征根为 0，得到  $K_C=$ 。图 4 为简化的电压外环控制框图。其中为电压外环数字 PI 控制器脉冲传递函数的一般形式， $K_1 - K_2=K_I T_s$ ， $K_I$  为积分系数。由于上面设计的电流内环的跟踪速度远快于电压外环，在设计电压外环时，作如下合理的简化：设电感电流已经能够跟踪指令电流，这样可以假设电流内环为一个单位比例环节 1，从而得到电压外环的开环脉冲传递函数为： $G_v(z)= \cdot \cdot$ （忽略了电容的串连电阻  $r_C$ ），其闭环传递函数的特征方程为： $\cdot \cdot +1=0$ 。同样根据无差拍控制原理，令特征根为 0，得到  $K_2=$ ， $K_1$  可以为任意常数。根据  $K_1$  和  $K_2$  的关系并结合仿真的方法可以确定  $K_1$ 。

在上面的控制参数设计过程中，均采用了单位反馈的简化方框图，实际线路的反馈通道上肯定会有比例环节，因此在上述设计的基础上，还要根据实际的反馈比例变换控制方框图，得到最终的控制环节参数。

### 3 采样控制时序设计

图 5 是本文提出的一种采样控制时序示意图。 $t_0-t_4$  为一个开关周期，由于采用了倍频单极性的正弦波脉宽调制方法，输出滤波电感的脉动频率是开关频率的两倍，这样可以缩小滤波元件的体积。在定时器周期中断的  $t_1$  时刻，同时启动两路 A/D 转换器，进行电压和电流反馈量的采样， $t_2$  时刻 A/D 转换结束，立即进行双环控制算法的执行直至  $t_3$  时刻。在定时器下溢中断的  $t_4$  时刻，将计算所得的比较值  $CMPRx$  载入。显然，在这种采样控制方法中，控制点相对于采样点只延时了半个开关周期，比许多文献[4][5]报道的延时一个开关周期的采样控制方法，控制的实时性得到的很大的提高，仿真和实验都验证了这一点。

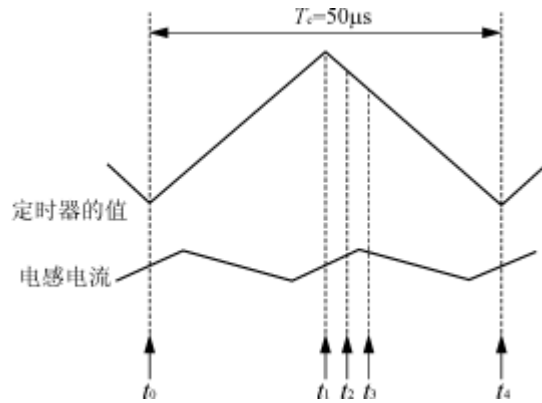


图 5 采样控制时序图

()

### 基于 DSP 控制的全数字 UPS 逆变器设计

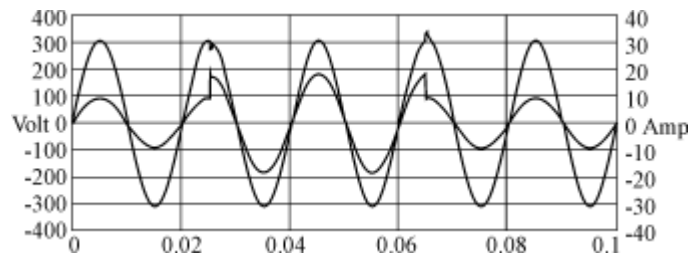


图 6 逆变器负载切换仿真波形

(c) 满载到半载切换输出电压电流波形

x:10ms/divy:100V/div10A/div

(b) 半载到满载切换输出电压电流波形

x:10ms/divy:100V/div10A/div

(a) 满载时输出电压和电感电流的波形

x: 4ms/div y: 100V/div 10A/div

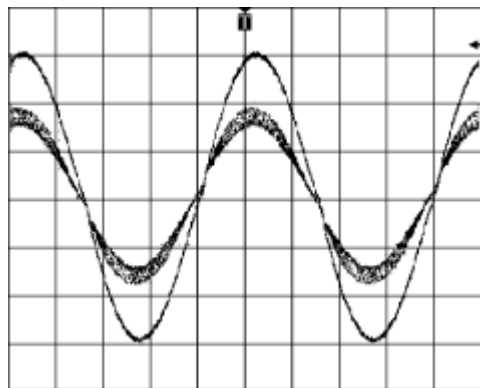


图 73kVA 逆变器的实验波形

#### 4 仿真和实验结果

表 1 列出了本文提出的数字控制逆变器的一些主要参数。

表 1 数字控制的逆变器系统参数项目符号数值单位

采样频率  $f_s$  20kHz

滤波电感  $L_f$  0.93mH

滤波电容  $C_f$  20  $\mu$ F

线性负载  $R$  16.2  $\Omega$

母线电压  $U_d$  400V

输出电压  $V_o$  220V

开关频率  $f_c$  20kHz

在进行实际的实验之前，先用 MATLAB 的 SIMULINK 工具箱对 UPS 逆变器系统进行了仿真研究，图 6 为负载切换时的输出电压和负载电流的仿真波形。

图 7(a)为满载 3kVA 下输出电压和电感电流的稳态实验波形，用 LEM 公司的钳形表 HEMEANALYST2060 测得: THD=1.4%，实验数据表明控制系统具有很好的稳态特性。图 7(b)为半载到满载切换时的负载电压和负载电流实验波形，图 7(c)为满载到半载的切换。实验波形与仿真波形吻合得比较好，显示逆变器能够很快将输出电压调整至稳态，表明了控制系统具有良好的动态特性。

#### 5 结语

相对于模拟控制技术，基于 DSP 的全数字控制技术大大简化了控制电路的设计，增加了控制的灵活性。同时采用了数字无差拍控制技术和延时半个开关周期的采样控制方法，逆变器的动态特性大大改善。仿真和实验均验证了这种基于 DSP 的全数字控制方案的先进性和实用性。

#### 参考文献

[1]吕征宇, 陈国柱, 钱照明, 汪生. 电力电子中的数字化

控制技术[J]. 机电工程, 2001, 10.

[2]TexasInstruments. TMS320C24XDSPControllersReference

Set. CPU, System, andInstructionSet, 1997.

[3]HongyingWu, DongLin, DehuaZhang, KaiweiYao, Jinfa

Zhang. ACurrent ModeControlTechniquewithInstantaneousInductor  
CurrentFeedbackforUPSInverters[C]. IEEEAPEC2000, 951—957.

[4]ZhangKai, KangYong, XiongJian, Zhanghui, ChenJian.

RepetitiveWaveformCorrectionTechniqueforCVCF—SPWMInverter[C]. IEEEPESC2000, 153—158.

[5]Shih LiangJung, Hsiang SungHuang, Meng YuehChang,

Ying YuTzou. DSPBasedMultiple LoopControlStrategyforSingle  
PhaseInvertersUsedinACPowerSources[C]. IEEEPESC1997, 706—712.

作者简介

言超（1976—），男，浙江大学电气工程学院硕士毕业。主要从事逆变器的 DSP 控制和通信电源技术研究。