

# 基于 DSP 三环控制的逆变电源的设计

赵 佳, 沈颂华

(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:** 针对逆变电源输出电压波形畸变并且在大功率负载下输出电压掉压严重的问题, 提出了采用电压有效值外环、电容电压环和电感电流内环的三环控制策略, 选用 TI 公司的 DSP TMS320F2812 芯片实现了三环的控制算法, 并且给出了程序流程图以及逆变电源的详细设计过程。在理论分析和仿真的基础上设计了一台采用单极性倍频 SPWM 调制的 6 kVA/50 Hz/220 V 逆变器, 并进行了实验。实验结果显示, 所采用的三环数字化控制方案能达到“逆变电源带大功率负载”条件下较优的动态、稳态特性。

**关键词:** 逆变器; 数字信号处理; 三环控制

**中图分类号:** TM464

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-4551(2008)02-0080-03

## Design of three-loops control for inverter based on DSP

ZHAO Jia, SHEN Song-hua

(College of Automation & Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics & Astronautics, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Aimed at the voltage wave distortion of inverter and the reduction of output voltage magnitude when the load is heavy, a design of the inverter power supply which uses the three-loop control with the effective value outer loop, the output voltage loop and the inductance current inner loop was introduced. DSP TMS320F2812 produced by TI corporation was selected to carry out this scheme, the program flow chart and the process of inverter design were presented. A SPWM inverter (6 kVA/50 Hz /220 V) based on the simulation and experimental course with the parameters was designed, the results demonstrate the parameters selection is precise and the applied method actualized by DSP has nicer dynamic and steady characteristic when the inverter power is worked in the condition of heavy load.

**Key words:** inverter; digital signal processing (DSP); three-loops control

## 0 前 言

以前, 正弦波逆变器大多采用输出电压均值环来维持输出电压的恒定, 而波形控制是开环的, 这种控制方式不能保证输出电压的波形质量, 特别是在非线性负载条件下输出电压波形畸变严重, 失真很大; 在突加(减)负载时输出电压的动态性能难以满足用户的要求。

目前的逆变电源大多采用外环电压、内环电流的双闭环控制策略<sup>[1]</sup>, 电压瞬时值外环在很大程度上改善了波形的质量, 电流内环加大了逆变器控制系统的带宽, 使得逆变器动态响应加快, 输出电压的谐波含量减小, 非线性负载适应能力加强。但是, 当负载比较大时会出现输出电压掉压严重的现象。

为解决逆变电源在大功率负载下掉压严重的问题, 本研究提出在双环控制的基础上外加一个电压有效值的三环控制策略, 它的实质是随负载的增加而增大基准

正弦信号, 从而保证输出电压幅值稳定。另外, 由于对逆变电源的数字化控制是当今电源的发展方向<sup>[2]</sup>, 所以本研究通过选用 TI 公司的 DSP TMS320F2812 来实现对逆变器的数字化控制。

## 1 逆变系统

单相全桥逆变器的主电路结构, 如图 1 所示。采用了单极性倍频 SPWM 调制技术, 可以在不增加开关损耗的情况下将谐波频率提高一倍, 大大减小了输出滤波器的体积。采用了瞬时电压环、瞬时电流环和电压有效值外环的三环控制策略, 电感电流瞬时值反馈环是内环, 电容电压瞬时值是外环, 电容电压有效值反馈环是第三环, 有效值反馈控制用来改变电压瞬时值反馈环的正弦波给定幅值, 三环控制很好地解决了“随着负载的增加, 输出电压幅值下降”的问题。

逆变器的控制系统按控制策略来分, 有 PID 控制、

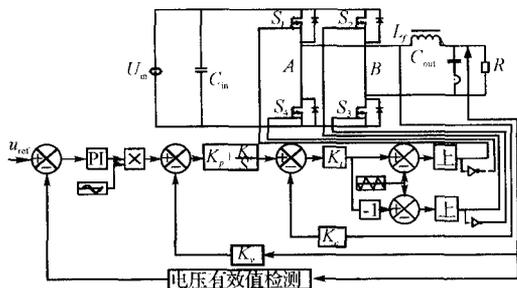


图 1 逆变器电路结构

滑模变结构控制、无差拍控制、重复控制和模糊控制等<sup>[3]</sup>类型。本研究所讨论的逆变器对电压有效值外环和瞬时电压环均采用了 PI 控制策略,对电流内环采用 P 控制,这种控制方式算法简单,而且相对成熟。逆变器的开环传递函数为:

$$P(s) = \frac{U_o(s)}{U_i(s)} = \frac{r_c C_{at} s + 1}{L_f C_{at} s^2 + (r_l + r_c) C_{at} s + 1} \quad (1)$$

通过两个霍尔元件分别对电容电压和电感电流进行采样,图 1 中的 \$K\_v\$ 为输出电压采样的分压比,关于调制比的计算,有:

$$m = \frac{U_{sm}}{U_{cm}} \quad (2)$$

式中 \$m\$—SPWM 的调制比;\$U\_{sm}\$—正弦调制波的幅值;\$U\_{cm}\$—三角载波的幅值。

$$m = \frac{\sqrt{2}U_0}{U_{in}} \quad (3)$$

式中 \$U\_0\$—电容电压;\$U\_{in}\$—直流母线电压。本实验中,\$U\_0 = 220\$ V,\$U\_{in} = 400\$ V,\$U\_{cm} = 12\$ V。

由式(2)、式(3)可得:\$U\_{sm} \approx 9.33\$ V,\$K\_v = \frac{U\_{sm}}{\sqrt{2}U\_0}\$,

即 \$K\_v = 0.03\$,通过系统的 Matlab 仿真,\$U\_{sm}\$ 取 5 V,\$K\_v = 0.027\$。在 DSP 中,12 V 的三角波相当于通用定时器在连续增/减计数模式下,设置周期值为 7 500。幅值 5 V 的基准正弦波用 5 乘以正弦表得到。\$K\_c\$ 为电感电流采样比,根据仿真取 0.1。\$K\_p + \frac{K\_i}{s}\$ 是电压环的 PI 控制器,其中 \$K\_p\$ 为比例控制系数,取 2;\$K\_i\$ 为积分控制系数,取 6 300。\$K\_f\$ 为电流环比例控制器的比例系数,取 2。

## 2 DSP 控制方案

电压有效值是靠“采样瞬时值电压后再求多个瞬时值的均方根”的方法来计算出来的,这种复杂的数学过程给采用模拟电路以实现有效值环带来了极大的不便,所以模拟电路往往是对采样电压取绝对值,使其变成正的正弦波,再经过一个一阶 RC 滤波器得到一个

直流电压量来近似地代替电压有效值。因此用模拟电路实现三环控制的控制算法时,最难实现的就是最外环的有效值环。本研究采用 TI 公司 DSP TMS320F2812 来实现三环的控制算法,大大简化了电路。DSP 实现电压有效值环的流程,如图 2 所示。由于 DSP2812AD 所能接受的电压为 0~3 V,采样后的电容电压首先经过一个电压调理电路,被偏置为一个不高于 3 V 的正电压,同时也能起到保护 DSP 内部 A/D 的作用,采用高速运放 TL074 组成的 A/D 采样电路,如图 3 所示。其中,3 V 的电平由稳压管 7130 提供,根据运放的逻辑关系可知输出电压 \$U\_o = \frac{3 + U\_{in}}{2}\$,设置合适的采样比,使采样电压在 -3~+3 V 之间,那么经过调理电路后进入 A/D 的电压为 0~3 V,当采样电压和电流时,为了防止过压或者过流引起的采样电压电流过大导致 \$U\_0\$ 大于 3 V 而烧坏 DSP,本研究在输出端串联两个二极管,由于二极管自带 0.7 V 的管压降,要求二极管 \$D\_1\$ 负端电压为 2.3 V 左右,这就要在 7130 输出端接分压电阻进行分压。当输入正弦电压幅值为 5 V 时输出电压的波形,如图 4 所示。可见,此电路输出电压被限制在 2.94 V,能起到偏置和限幅的作用。

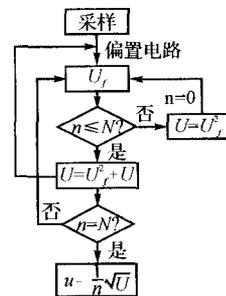


图 2 DSP 实现电压有效值环流程图

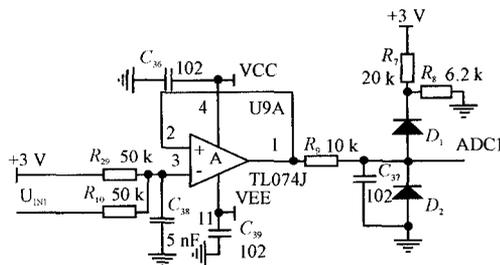


图 3 A/D 电压调理电路

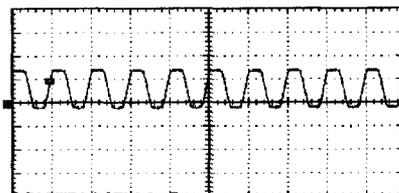


图 4 输入幅值为 5 V 时调理电路的输出

电压经过偏置后再乘以 4 095 变成数字量进入 DSP, 采样频率取开关频率即 20 kHz, 输出电压的频率为 50 Hz, 所以一个周期采样 400 个点, 这里取  $N = 200$ , 即每隔半个周期计算一次有效值, 在  $n \leq N$  时, 对每次所采样的电压进行平方累加, 当  $n = N$  时对上次的 200 个采样值的平方和取均方根, 得到有效值  $u$ ,  $u$  与基准的直流量(即 DSP 内部的一个常量)相减, 再经过一个 PI 后与事先做好的正弦表相乘, 就得到电容电压环的基准  $U_{ref}$ 。当  $n > N$  时,  $n = 0$ , 重新计数, 在下次  $n = N$  前, 有效值一直使用上半个周期计算的结果, 即电容电压环的基准保持上半个周期的基准,  $N$  再次计数到 200 时, 计算出新的有效值。

对于电容电压环, 有效值环得到的基准与 A/D 采样的量比较, 再经过电压环的 PI 调节后作为电流内环的基准值  $I_{ref}$ ,  $I_{ref}$  与霍尔采样的电流值相减, 误差信号通过 PI 调节后产生电流基准信号, 将电感电流的瞬时值与电流基准信号进行比较, 产生的误差信号经过比例放大后作为正弦调制信号  $u_{ref}$ 。DSP 实现 SPWM 波, 要用到内部的事件管理模块, 通过设置 GP 定时器使其工作在连续增/减计数模式下, 就可以模拟连续三角波的发生, 比较寄存器中存放上面计算出的调制信号  $u_{ref}$  的值, 与计数寄存器中的值不断进行比较, 通过动作寄存器的设置就可以在 DSP 的 PWM 输出管脚得到所需的 SPWM 波<sup>[4,5]</sup>, 通过驱动电路后接到 IGBT 的门极。驱动芯片选用 A316J。如图 5 所示, 每格电压为 2 V。

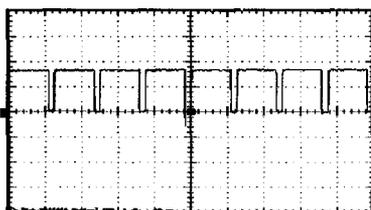


图 5 DSP 输出 SPWM 波形

### 3 仿真与实验

对如图 1 所示的双环控制的逆变器系统使用 Matlab 进行仿真, 仿真参数与实际系统参数相同, 仿真波形, 如图 6 所示。从图 6(b) 可看出, 由于采用了电感电流作为内环, 即使在输出短路的情况下, 电感电流也不会无限增大, 而是被限定在一定范围内。

实验要求输入直流母线电压 400 V, 逆变器输出电压 220 V/50 Hz, 输出功率 6 kVA。实验采用全桥电路为主电路, 采用 TI 公司的 DSP TMS320F2812 作为控制电路的核心, 采取电容电压有效值(外环)、电感

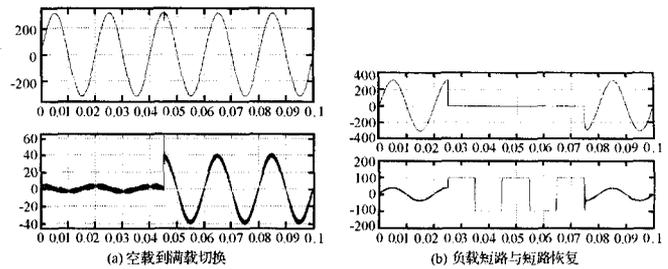


图 6 仿真波形

电流、电容电压三环控制方法, 由 DSP 的 ADC 对逆变器输出进行采样, 在 DSP 中与数字给定比较, 经过控制算法得出占空比, 输出 PWM 脉冲, 经驱动电路驱动 IGBT。实验结果, 如图 7 所示。

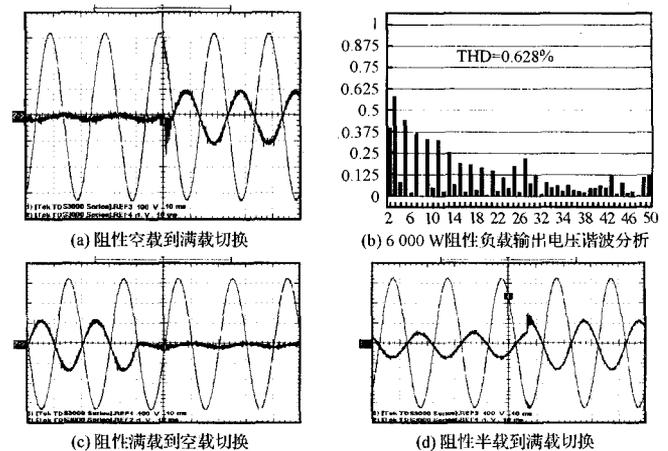


图 7 实验结果

### 4 结束语

本研究介绍了逆变电源的三环控制方法, 该方法很好地解决了双环控制在大负载条件下掉压较大的问题。采用 DSP 实现控制算法, 大大简化了电路, 实现了逆变器的数字化控制。通过实验证实了方案的正确性。

#### 参考文献 (Reference):

- [1] 王晓寰, 冯建周. 正弦波逆变电源的 DSP 控制技术的研究[J]. 通信电源技术, 2006, 22(9): 1-3.
- [2] 王晓寰, 程永华. 基于 DSP 双环控制的逆变电源设计[J]. 电力电子技术, 2004, 38(6): 4-6.
- [3] 舒为亮, 康勇. 逆变电源 PI 双环数字控制技术研究[J]. 电工电能新技术, 2005, 24(4): 2-3.
- [4] 林贞爱, 陈辉明. 超高频 E 类逆变电源的新型控制方法及仿真研究[J]. 机电工程, 2004, 21(10): 35-38.
- [5] 胡兴柳, 彭小兵, 穆新华. SPWM 逆变电源的单极性控制方式定理[J]. 机电工程, 2004, 21(1): 38-41.

[编辑: 李辉]