

文章编号: 1007- 2985(2011) 01- 0071- 03

基于 DSP 与 CPLD 的 400 Hz 中频电源设计*

裴素萍, 王 耕

(中原工学院电子信息学院, 河南 郑州 450007)

摘 要: 利用 DSP 产生 SPWM 波, 驱动 IGBT 逆变, 从而产生纯正弦交流电进行 400 Hz 中频电源的研究与设计. 给出了以 DSP 为主控芯片的主电路、控制电路以及软件设计的流程. 实验结果表明: 利用 DSP 与 CPLD 使得控制电路大为简化, 改善了功率因数, 减少了谐波影响, 从而提高了工作效率.

关键词: DSP; SPWM; 逆变; CPLD

中图分类号: TN86; TN702

文献标志码: A

三相 400 Hz/115 V 交流电源广泛应用于航天、航空及军用设备的动力系统中. 逆变电源是频率为 400 Hz 的交流中频电源, 它在工业、国防、航海、航空等领域中应用非常广泛. 它要求电源的波形是纯正弦, 谐波含量不大于 5%, 工作电压为 115 V. 该电源的频率、相位等参数的精度要求较高, 对研制、生产的军用电源的参数需准确测试, 使其满足军用标准, 提高我国国防装备的科技水平, 满足现代化高科技的发展需要. 目前, 该电源有 2 种产生方式: 利用专用 400 Hz 发电机组产生; 由工频电源经交—直—交变换, 由电子电路控制大功率开关器件, 经滤波变压后产生. 对于发电机组来讲, 由于发电机绕组的不对称性及转速不稳定性, 都会使输出的频率及相位有误差. 而对于电子方式产生的电源, 受大功率器件特性及控制策略的影响, 也会产生相移或频率不合要求. 另外, 电源在带载或三相作为单相运行时, 也会引起相位或频率的变化.

为了满足输出纯正弦波的要求, 采用 SPWM 脉宽调制技, 该技术是通过一定的规律控制功率半导体器件的通断, 获得一组等幅不等宽的矩形脉冲, 用作近似正弦波. 利用传统的模拟方法, 电路复杂, 有温飘的现象, 限制了系统的性能. 数字法则需要按照不同的数学模型用计算机计算出各切换点的时间, 即所谓的规则采样, 将采集的所有切换点放入内存, 然后通过查表及必要的计算再生成 SPWM 波, 但数字法因受内存影响较大, 不能保证系统的精度.^[1-3] 2 种方法都不理想, 因此笔者选用 DSP 控制, 逆变器输出三相正弦交流电, 构成了静止式逆变电源. 这种方法设计的中频电源具有噪音低、转换效率高、工作可靠、使用方便等优点.

1 系统结构组成

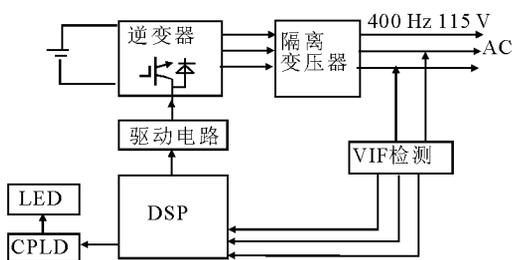


图 1 系统结构图

DSP 不仅可以完成对输出的 SPWM 波的脉宽、频率进行控制, 还可以完成模拟信号的电压、电流以及交流电频率的检测和显示, 当出现过电流、欠电压的异常现象时, 能够自动保护、报警. 电源车系统结构原理图如图 1 所示.

TMS320F2407A 还集成了 16 路 A/D 转换通道, 最快 A/D 转换时间为 375 ns, 可用于对电压和电流进行快速检测. 这种 DSP 还提供串行接口 SPI 和 SCI 模块、41 个通用 I/O 引脚、可编程看门狗定时器、片内集成了 2 kB 单口 RAM、544 字双

DSP 控制器选用 TI 公司的 16 位定点 TMS320F2407A, 它是一种性价比较高的 DSP, 集成 6 路 PWM 输出, 每个输出都有可编程的死区功能. 与单片机相比, 单片机的 PWM 模块没有死区功能, 必须用软件或外接硬件来实现, 所以使用 DSP 可以提高系统的可靠性. 利用 DSP 的 A/D 可以实现对检测电流、电压的 A/D 转换, 再通过 CPLD 译码送 LED, 从而显示电压、电流、频率的当前值. 在 DSP 的指令控制下, 产生了 SPWM 波, 构成控制系统.

* 收稿日期: 2010- 10- 26

作者简介: 裴素萍(1976-), 女, 河南新乡人, 中原工学院电子信息学院讲师, 硕士, 主要从事电气控制与智能电网研究; 王 耕(1967-), 男, 河南郑州人, 中原工学院电子信息学院副教授, 主要从事电机电器设计与控制研究.

口 RAM, 32 kB flash 程序存储器. TMS320F2407A 的最高工作速度可达 40 MIPS, 高速的运算速度有助于实现先进的控制算法. 三相脉宽调制波发生器构成的控制电路, 产生 SPWM 脉冲, 经功率放大后驱动 IGBT 功率模块组成的逆变器, 生成频率为 400 Hz 的正弦交流电, 经变压器输出电压为 115 V.^[4]

2 系统主电路

中频电源车主电路的工作原理如图 2 所示.

三相工频交流经 EMI 滤波器滤波后, 由整流桥模块整流, 再经电容滤波, 加至由 IGBT 构成的桥式逆变电路, 该直流高压经逆变电路逆变为脉宽按正弦波规律变化的高频脉冲波, 再由输出滤波器滤掉高频谐波, 得到中频正弦波, 最后由变压器隔离、变压(升压或降压)后提供给负载.

SPWM 脉冲波由主控制电路产生, 并根据输出反馈电压和反馈电流来改变脉冲波的宽度, 从而保证输出电压的稳定. 三相逆变电路是将直流电逆变为 400 Hz 的三相正弦交流电, 主开关功率元件选用日本富士公司生产的两单元 IGBT 模块(3 只), 额定容量为 75 A, 每只元件上都另配缓冲保护电路. 如图 2 所示, 主电路是典型的 AC-DC-AC 逆变电路, 将输入的三相交流电经整流、滤波后以直流电供给逆变器. 逆变器输出为三相交流电, 频率为 400 Hz, 再经变压器隔离变压, 就变为 115 V 的交流电.

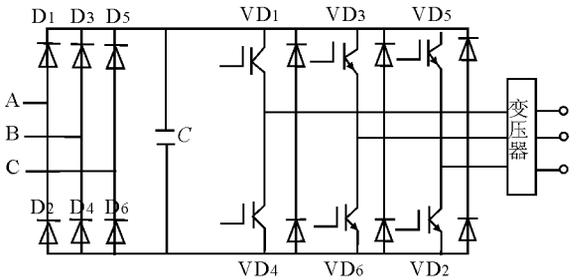


图 2 主电路图

3 系统控制电路

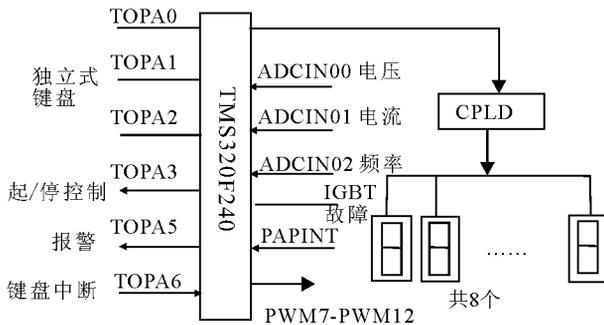


图 3 控制电路图

系统控制框图如图 3 所示. 控制电路控制逆变电路和电源输出的频率及电压、人机界面、主电路和逆变电路的接通与断开.

采用 DSP 为系统的控制核心, 控制快速准确, 使系统具有响应快、运行稳定、可靠的特点. 本系统控制器选用 TI 公司 16 位定点 TMS320F2407A, 其产生载频为 20 kHz 的 SPWM 脉冲信号, 由脉宽调制信号输出端口输出, 通过驱动电路加到 IGBT 的栅极, 控制逆变电路正常工作, 同时根据电压和电流的反馈值调整 SPWM 脉冲信号的脉宽, 从而保持输出信号幅度的稳定.

4 系统软件

系统软件设计流程图如图 4 所示, 包括 DSP 初始化、脉宽计算、报警、数值转换子程序、显示扫描程序等. 其中按键 1 表示显示功能, 按键 2 表示停机功能, 按键 3 表示初始化功能. 通过初始化命令可以对各参数值进行设定, 并实施对主电路的控制, 逆变出 400 Hz 的三相交流电. 程序流程采用顺序结构, 调用子程序简单方便, 显示子程序可将电压、电流、频率的数值送 LED 分别显示出来. 在整个工作过程中, 随时对电流、电压进行测量比较, 一旦出现过流、欠压可及时报警、严重时可以自动停机.

SPWM 波产生的方法主要有 3 种: 自然采样法, 对称规则采样法和不对称规则采样法. 利用正弦波和等腰三角波的交点时刻来决定开关管的开关模式, 从而生成 SPWM 波的方法是自然采样法, 这种方法生成的 SPWM 波的脉宽方程是一个超越方程, 求解起来要花费较多的时间, 因此自然采样法的数学模型不适合用于实时控制. 对称规则采样法是以每个三角波的对称轴(顶点对称轴或底点对称轴)所对应的时间作为采样时刻. 过三角波的对称轴与正弦波的交点, 作

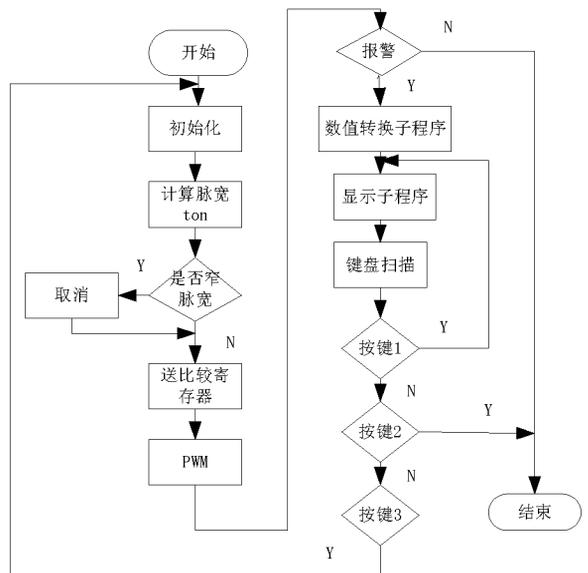


图 4 系统软件设计流程图

平行 t 轴的平行线, 该平行线与三角波的 2 个腰的交点作为 SPWM 波的开关时刻, 这 2 个交点是对称的, 因此称为对称规则采样法. 这种方法实际上是用一个阶梯波去逼近正弦波, 由于在每个三角波周期中只采样 1 次, 因此计算得以简化, 但其形成的阶梯波与正弦波的逼近程度仍存在较大的误差. 不对称规则采样法在前 2 种方法的基础上改进了其不足之处, 这种方法既在三角波的顶点对称轴位置采样, 又在三角波的底点对称轴位置采样, 即每个载波周期采样 2 次, 这样采样所形成的阶梯波与三角波的交点不对称, 所形成的阶梯波与正弦波的逼近程度大大提高. 正是因为这点, 本系统软件设计算法选择的是不对称规则采样法. 用单片机作为控制器, 软件设计则使用数字法受内存影响较大, 不能保证系统的精度, 笔者使用 DSP 作为控制器可以避免这种缺点, 保证系统的精度.

5 结语

系统实验波形如图 5 所示.

实践表明, 利用 DSP 与 CPLD 使得控制电路大为简化, 器件少、体积小, 降低了成本. 载波频率高, 输出波形为纯正弦. 经测试: 电压稳定度小于 1%, 频率稳定度为 0.05%, 总谐波含量为 1%, 在 200% 的负载时, 短路保护动作, 可立即关闭电源, 满足性能指标的要求, 提高了系统的控制精度. 采用厚膜驱动电路, 具有自保护功能, 使 IGBT 逆变器的工作更加可靠. 如果将逆变器作为变频电源使用, 用于交流电动机的变频调速系统, 只需改变 DSP 初始化控制字的设定. 改变输出交流电的频率和工作电压是十分方便的, 省去了大量的编程工作, 还能够做到实时控制, 由于其波形是纯正弦, 则可以改善功率因数, 减少谐波的影响, 从而提高工作效率.

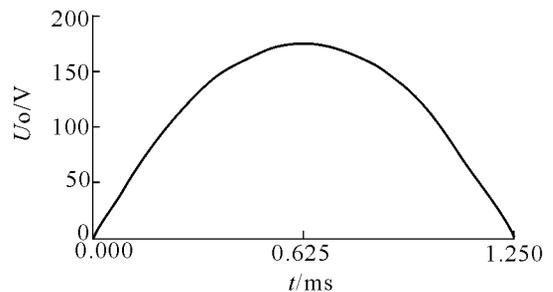


图 5 系统实验波形

参考文献:

- [1] 王福瑞. 单片机测控系统控制设计大全 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006.
- [2] 李宏. 电力电子设备用器件与集成电路应用指南 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [3] 王晓明. 电动机的 DSP 控制 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004.
- [4] 冯玉生. 单片机控制三相 PWM 产生器的逆变电源设计 [J]. 电力电子技术, 2005, 39(4): 21- 23.

Design of 400 Hz Mid-Frequency Power Supply Based on DSP and CPLD

PEI Su-ping, WANG Geng

(Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 450007, China)

Abstract: The paper proposes a new way to obtain pure sinusoidal based on DSP for the research and design of 400 Hz AC power supply. It gives the main circuit, control circuit and software design flow chart. A prototype is designed using the DSP as the master chip. The experimental result shows that this way not only can simplify the system structure by DSP and CPLD, but also can improve the power factor, reduce harmonics and enhance efficiency.

Key words: DSP; SPWM; invert; CPLD

(责任编辑 陈炳权)