

现场可编程门阵列在逆变器控制系统中的应用

胡 兵, 陶生桂, 毛明平

(同济大学沪西校区 电气工程系, 上海 200331)

摘要:介绍了现场可编程门阵列(FPGA)器件的内部结构特点及其在三点式逆变器控制电路上的应用,给出了该设计的仿真波形,最后分析了使用 FPGA 的优点.

关键词:现场可编程门阵列;甚高速集成电路硬件描述语言;逆变器控制

中图分类号: TM 921.51

文献标识码: A

文章编号: 0253-374X(2002)01-0097-04

Application of Field Programmable Gate Array in Inverter - controlling System

HU Bin, TAO Sheng - gui, MAO Ming - ping

(Department of Electrical Engineering, Tongji University West Campus, Shanghai 200331, China)

Abstract: This paper introduces the application and implementation method of FPGA (field programmable gate array) device in inverter - controlling system, taking tree - level inverter for example, gives the simulation waves of the design, and finally analyses the merit of FPGA - based strategy.

Key words: field programmable gate array; very high speed integrated circuit hardware description language; inverter control

随着国民经济的发展,逆变器的应用越来越广泛,其发展的动力主要来自两个方面:一是器件的更新换代,从 GTO, GTR, MOSFET, IGBT 到 IPM,每次有新的器件问世,都使控制电路简化,性能提高.二是电路的改进.从单脉冲到 PWM 控制,且随着三点式 PWM 调制技术的出现使电机电流的谐波分量减少,电机转矩的脉动分量减少,电机的效率提高,调速性能变好^[1].

在从事逆变器的研制中发现,对于大功率逆变器,因为装置的尺寸、体积较大,且考虑到结构和散热的条件,主控板上产生的 PWM 信号需要经过较长的距离才能送到驱动模块中.为保证 PWM 信号传输的准确性和可靠性,必须解决以下几个问题:首先是抗干扰问题,变频器工作时,模块的开关动作会产生高频干扰信号;其次是保证 PWM 信号的前、后沿质量,减少模块开关动作的过渡过程;最后是减少布线电感,尽可能缩短 PWM 信号传输距离,避免过多的内部连接.而在故障信号的检测、显示以及直流侧和交流侧电压、电流的检测、显示部分,只需要一些简单的芯片(如 74LS373, 74LS245, CD4083, CD4011 等)就可实现其功能,但所需芯片数量较多.为此,在从事三点式大功率逆变器的研制中,以微处理器 80C196KC 为核心,配合 FPGA 器件对 IPM 模块触发脉冲的分配与传送、各种故障信号的检测、显示以及直流侧和交流侧电压、电流的显示等部分进行了研究与仿真,实现了交流变频调速系统的全数字化设计,克服了以往在板级设计中因使用中小规模数字电路所带来的繁琐和不可靠等特点,并且具有现场设计、现场编程、现场配置、现场修改以及现场验证等优点,因而大大提高了控制电路的设计灵活性和脉冲触发的可靠性.

1 FPGA 内部结构特点及其设计语言 VHDL

Xilinx 公司推出的 FPGA 是一种可以编程的专用集成芯片,它主要由三部分组成:可编程逻辑

收稿日期:2001-03-27

作者简介:胡 兵(1977-),男,湖北襄樊人,硕士生.

(CLB),主要包括多路选择器、D触发器及组合逻辑电路,用来实现逻辑功能;可编程输入输出功能(IOB),主要进行输入、输出转换,实现输入输出功能;可编程互连资源(PI),用来实现内部各块的互连.由于具有功能强、速度快、灵活性大和设计周期短等特点,FPGA在交流变频调速系统中得到了日益广泛的应用^[2]

在FPGA的设计中,可使用VHDL语言、ABEL语言、原理图.本设计采用VHDL语言,它是硬件描述语言中比较常用的一种,非常类似于其它的流行语言(如C和PASCAL),但它是一种硬件描述语言,因而又有自己的特点.VHDL采用3个层次的硬件描述和自上而下(TOPDOWN)的设计风格,能实现3个层次描述的分别仿真和混合仿真.其第一层为行为及描述,主要是功能描述;第二层是RTL描述,主要是逻辑表达式的描述,这层的描述要考虑硬件电路的构成,如多路选择器、触发器的选择等;第三层是门级描述,即用门电路进行描述的,这层的描述已涉及到基本的与门、或门等^[3].

2 FPGA器件在三点式逆变器中的设计与实现

在所研制的三点式逆变器系统中,FPGA器件用作微处理器80C196KC与被测电路间的数字接口,其硬件电路如图1所示,系统以80C196KC微处理器作为主控芯片,通过MAX3232同PC机进行串行通信,以MAX691作为电源监视和看门狗电路、防止系统程序因故障而“飞掉”,ALE作为FPGA内部具有地址锁存功能的控制信号,RD,WR作为内部具有数据锁存功能的控制信号,HS0.0~HS0.5为80C196KC提供的触发脉冲.而transpulse.0~transpulse.11为三点式逆变器的12个IPM模块提供触发脉冲.FOprotect为向80C196KC发出封锁脉冲的触发信号,closepulse为80C196KC发出的脉冲封锁信号.converterFO.0~converterFO.11为IPM模块故障的输出与显示,sensorFO为逆变器直流侧和交流侧的电压传感器与电流传感器的故障输入,FOdisplay0~FOdisplay11为IPM模块单元的故障显示.CLR用于故障显示的复位信号.CLK为FPGA内部3~8译码电路功能模块提供时钟信号.CS0,CS1,CS2,CS3~CS7分别为ROM,键盘显示接口8279,模拟多路开关336的芯片选择信号.RL8279,AOOUT8279为芯片8279的键盘扫描恢复信号、数据段码输出信号.display1,display2将8279送来的AOOUT8279,RL8279信号经FPGA内部锁存、放大之后送给显示板.Data-address为地址与数据的复用信号,经FPGA器件内部转换与分

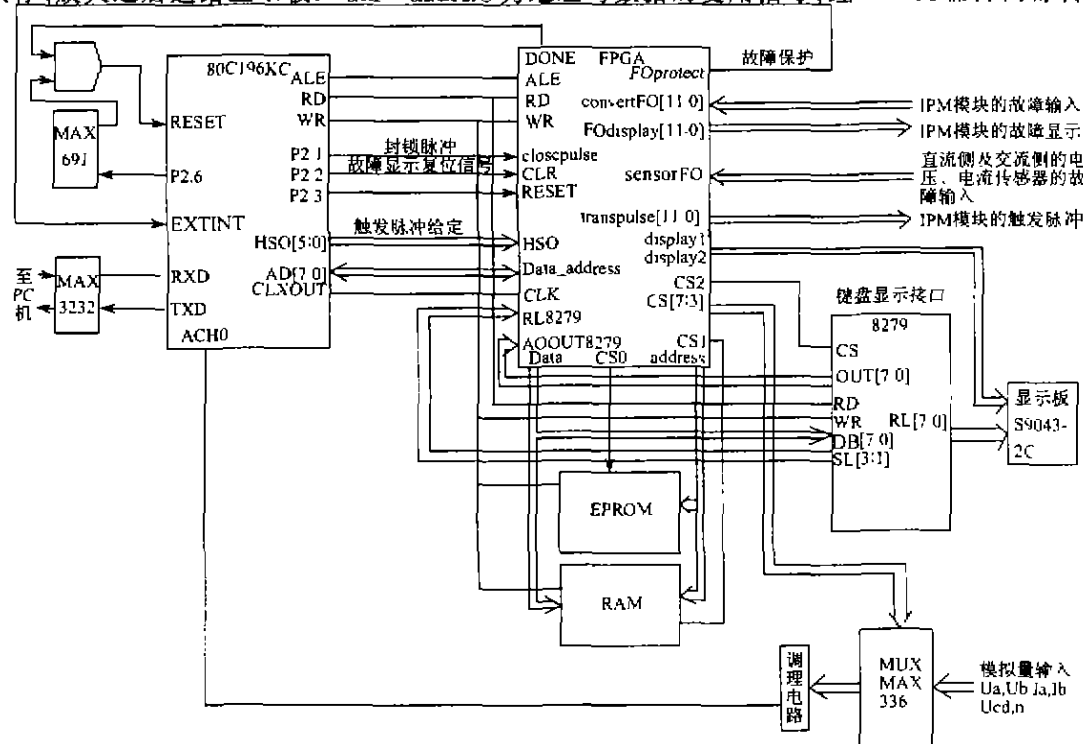


图1 FPGA接口的基本结构

Fig.1 Basic structure of FPGA connection

离,变为数据总线 Data 和地址总线 address,分别送到 RAM,ROM 和 8279,8279 再将采集来的经过处理的直流侧电压电流,交流侧电压电流及转速送至显示部分.显示部分采用了液晶显示^[4].

2.1 FPGA 内部结构框图

FPGA 内部实现的功能框图如图 2 所示.采用自顶向下和自底向上相结合的系统设计方法完成整个 FPGA 的层次化设计.框图内所有模块均采用 VHDL 工业标准硬件描述语言编写.与原理图设计输入方式相比这种方式具有通用性强、效率高、适合进行大规模数字系统设计的优点.在本设计中 FPGA 所要取代的主要是 74LS373,74LS245,74LS138,DS7545,CD4081,CD4043,CD4011,CD4072 等中小规模芯片,编程设计并不太复杂.

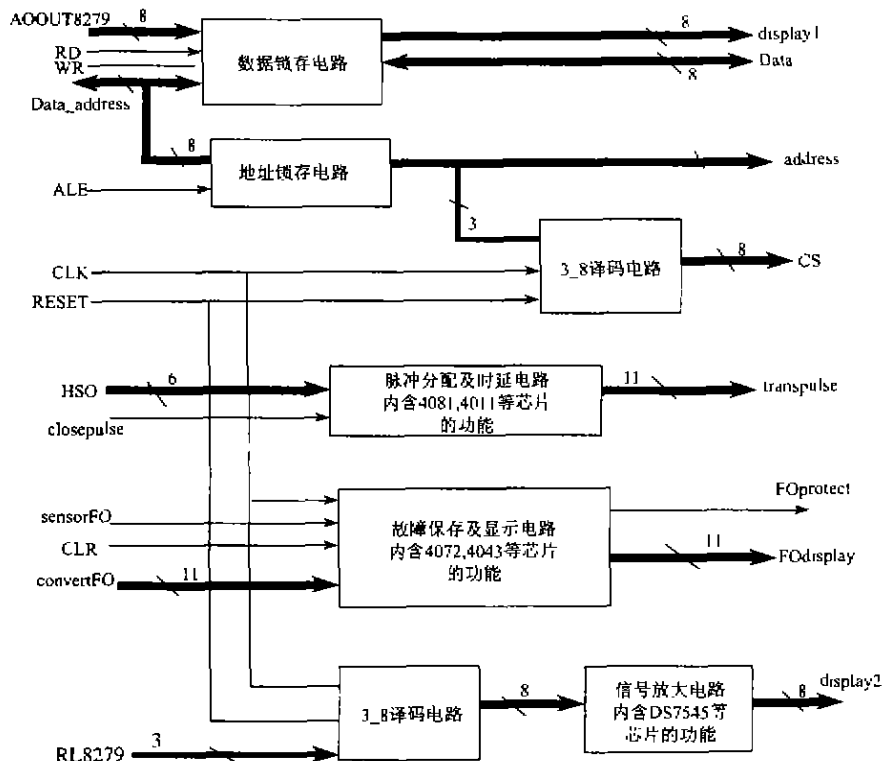


图 2 FPGA 内部功能框图

Fig.2 FPGA inner function frame

2.2 仿真与调试结果

利用 FPGA 器件和 Xilinx 公司研制的 Foundation Series2. Li 软件进行了初步设计和仿真调试,其设计的流程如图 3 所示.在各底层编程完毕后即可进行原代码的语法分析、逻辑综合和门级功能仿真.在验证各个子模块功能正确后,即可进行顶层模块的综合和门级功能仿真.顶层模块功能验证正确后即可产生一个 EDIF 格式网表文件 *.EDN.然后进行 FPGA 芯片的布局布线.首先,读入上一阶段得出的 EDIF 网表并转化为 *.NGD 网表,接着在物理级实现自动优化布局布线.且可根据需要对自动布局布线结果进行手工调整.该过程由 IMPLMENT 子工具完成且每一步都有相应的状态指示,使用起来很方便.布局布线后,可产生包含延时信息的 EDIF 格式文件 *.EDO.再将该文件进行延时后仿真,以上各步骤可反复执行,直至得到所需结果.在本设计中 FPGA 器件在系统调试时用被动串行配置方式,在芯片功能正确后即改为主动串行配置方式.这样可快速、可靠地开发出所需功

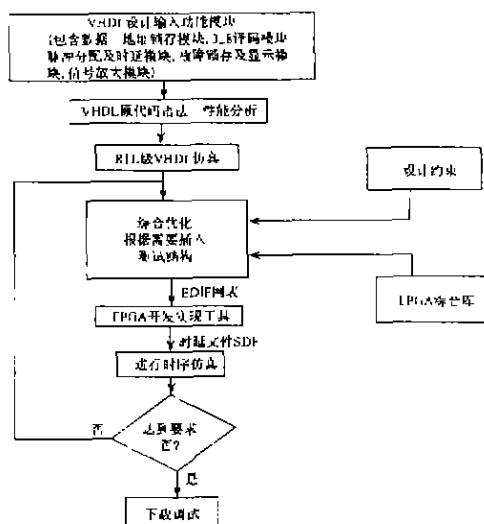


图 3 FPGA 设计、仿真流程图

Fig.3 Flow chart of FPGA - designed and simulated

能的 FPGA 芯片^[3].

FPGA 设计的仿真波形如图 4 所示. 模拟在 80C196KC 微处理器上采用 16 MHz 晶振和 4 个状态周期读/写一次条件下 FPGA 芯片的响应能力. 由图可看出, 在 ALE 的上升沿, 地址/数据复用信号 Data-address 先送地址信号, 在下降沿时, 锁存地址信号, 同时传送数据信号, 从而达到了地址与数据的分时复用. 在微处理器 80C196KC 发出的脉冲信号 HSO 的过程中, 当发生传感器故障 sensorFO 或 IPM 模块故障时, 均会产生一个触发信号 FOprotect, 使微处理器发出一个封锁信号 closepulse, 使 IPM 模块停止工作. 时序仿真结果表明在这种较严格条件下, FPGA 设计时延为 10~20 ns, 能够满足系统的设计要求.

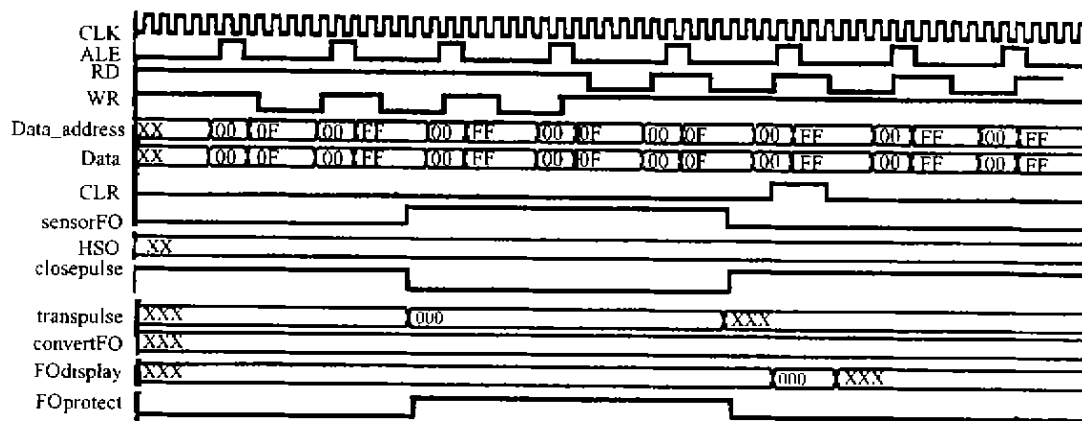


图 4 仿真波形

Fig.4 Simulation waves

3 结论

实践表明, 采用 FPGA 技术控制电路有很多优点. 首先, 对三点式逆变器控制系统来说, FPGA 需要 110 个左右 I/O 端口, 选用 XC4005 系列 (I/O 数为 112) 即可满足要求, 其价格大约 70 元, 而若用 74LS373, 74LS245, CD4081, CD4011 等芯片硬件来实现其功能, 加上印刷电路板费用则需要一百多元; 其次, 用 VHDL 语言可以根据需要在短时间内设计出要求的控制电路, 并且可以任意擦写程序, 改变功能, 因此开发周期短, 开发成本低, 使用方便灵活; 再则, FPGA 集成度非常大, 一片 FPGA 少则几千个等效门, 多则几万个等效门, 因此, 非常复杂的控制逻辑电路可以放在一片 FPGA 中, 实现了许多中、小规模集成电路和许多分离元件组合构成的电路所实现的功能, 这样使电路的体积减小, 可靠性提高, 成本下降. 同时, FPGA 器件的速度可以做得非常高, 可达几十兆赫兹, 如 Xilinx 公司的产品可达到 50 MHz 甚至更高, 这样的速度在交流变频调速系统中已经足够了. 而且, 随着 FPGA 结构及其功能的增强, 现在已可利用 FPGA 在交流变频系统中实现基于空间矢量的 PWM 调制、逆变器单元的驱动、设计及交流变频调速系统的各种控制理论 (矢量控制与直接转矩控制等) 的应用. 可以预见, 用专用集成电路取代分离元件和中、小模块集成电路将会成为一种趋势, 而且 FPGA 在交流传动领域中也会越来越受到青睐.

参考文献:

- [1] 张燕宾. SPWM 变频调速系统应用技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [2] 朱明程. FPGA 原理及应用设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1994.
- [3] 侯伯亨, 顾新. VHDL 硬件描述语言与数字逻辑电路设计 (修订版) [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1997.
- [4] 孙涵芳. INTEL 16 位单片机 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1996.