

文章编号:1005-0523(2019)04-0137-06

基于交流侧并联功率解耦电路的控制器设计

章勇高,王增强,何 鹏

(华东交通大学电气与自动化工程学院,江西 南昌 330013)

摘要:针对光伏并网发电系统中交流侧解耦电路控制存在的问题,在系统控制中同时使用 DSP 数字控制和 74 系列芯片模拟控制,在能实现较低硬件成本的基础上又能更好的实现对微逆变器和解耦电路的控制。总结了 DSP,FPGA 与 DSP+FPGA 控制器的优缺点,借鉴双 CPU 的设计思路,在此基础上进行相关创新改进,以 74L 芯片为核心设计了功率耦合电路的模拟控制电路,根据设计建立了实验平台,根据实验结果可以证明设计与理论的科学性和可用性,为微逆变器的耦合电路控制提供了新的思路。

关键词:双 CPU;模拟控制;快速性;解耦

中图分类号:TM933

文献标志码:A

以延长微逆变器系统的整体寿命为目的,设计了由电力电子元件组成的交流侧功率去耦电路,平衡电路中的脉动能量,降低系统中的电容容量,使用长寿命的薄膜电容器替换电解电容器^[1-2]。DSP 和 FPGA 是在功率解耦电路的控制中常用到的核心控制器^[3]。DSP 和 FPGA 各有优缺点,DSP 与 FPGA 相比在软件设计的灵活性以及对复杂多算法任务的处理上占有优势^[4-5],但是在速度还有可靠性方面还是 FPGA 占有优势^[6-8]。为了能够兼顾两者的优势,提出了一种 DSP+FPGA 的方案^[9],但是这种双 CPU 的方案使得控制器的成本变高,违背了微逆变器设计的出发点。

根据光伏微逆变器使用场合和使用条件的要求,本文对比研究了 FPGA 和 DSP 控制器的优缺点,通过研究双 CPU 控制方案,在此基础上进行相关创新改进,在系统控制中同时使用 DSP 数字控制和 74L 系列芯片模拟控制,在能实现较低硬件成本的基础上又能实现对微逆变器和解耦电路的控制。

1 系统控制框图

本文以两级式逆变器加交流侧功率解耦电路为基础,功率解耦电路采样模拟控制来满足解耦电路开关管较短的工作时间,提高控制的准确性。两级式逆变器部分采用 DSP 数字控制器,来实现电路中直流升压部分的 PI 控制以及 MPPT 功能,逆变部分采用滞环控制,其参考信号是在 DSP 中完成计算然后通过 DAC 变换得到的。对于逻辑驱动模拟控制电路的解耦电感电流参考信号 $i_{Lx,ref}$,频率为 50 Hz,也由 DSP 计算得到,图 1 为整个系统控制结构图,其中 i_{pv} , u_{pv} 分别为光伏组件输出电流跟电压, u_{dc} , u_{ref} 分别为中间母线电压以及中间母线参考电压, i_g , u_g , i_{ref} 分别为逆变器并网电流、逆变器并网电压、逆变器并网电流参考值。

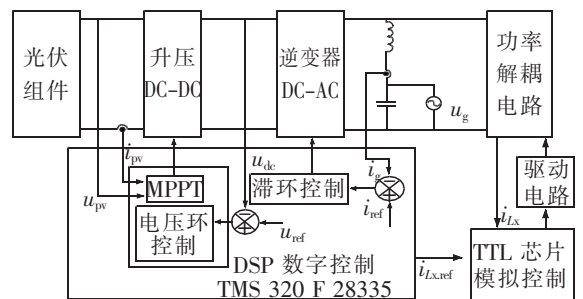


图 1 系统控制结构图

Fig.1 System control structure diagram

收稿日期:2019-02-17

基金项目:国家自然科学基金项目(51467006)

作者简介:章勇高(1975—),男,副教授,博士,研究方向为分布式发电系统,光伏微逆变器,电力电子技术在电力系统中的应用。

目前 BOOST 和逆变器的 DSP 数字控制系统比较成熟,本文主要讨论采用功率解耦电路模拟控制方案实现的设计,模拟控制系统均由 74L 系列芯片构成。

功率解耦电路控制流程图如图 2 所示,逆变器输出电压 u_{out} 上升沿作为一个重要的导通标志当被开关驱动电路检测到的时候,导通 Stage1 功率解耦电路开关器件,此时检测解耦电感电流 i_L 信号,判断其是否到达峰值电流参考值,当满足条件,关断 Stage1 功率解耦电路开关器件,同时导通 Stage2 功率解耦电路开关器件。

根据功率耦合电路控制工作流程,功率耦合电路的控制组成由电压检测电路,电流比较电路,驱动信号产生电路,多次闭锁电路组成。

电压检测电路:逆变器输出电压 u_g 上升沿作为一个重要的信号,当检测到这个信号时候,驱动信号产生电路会收到由电压检测电路传递来的信号,同时还要确保电路工作周期内只输出一次触发脉冲信号。

电流比较电路:将电感电流实际值与给定值比较,并传递给驱动信号产生电路。

驱动信号产生电路:接收电压检测电路和电流比较电路两路信号,并传递给开关,实现触发开关器件。

多次闭锁电路:有两个作用,其一负责接收功率解耦电路工作周期的信号,其二接收驱动信号产生电路的信号。

2 设计功率耦合控制电路

在传输信号延迟方面,74L 系列芯片具有较小延迟,可以满足交流侧功率解耦电路开关速度的需求,以下是模拟控制电路各个电路的详细设计。

2.1 电压检测电路

逆变器输出交流方波电压信号和多次闭锁信号都是电压检测电路的输入信号。SN74LS123 的作用是检测方波电压信号的上升沿然后输出一脉冲信号。由 B 端输入待检测信号,为了保证每个周期只有一个脉冲信号被输出,上升沿触发脉冲与多次闭锁信号。输出脉冲的宽度是由电阻 R_1 和电容 C_1 来控制的,图 3 为电路的具体设计原理图。

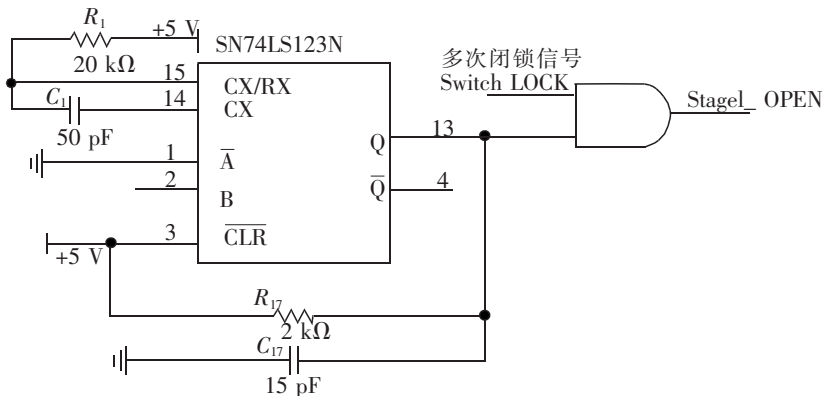


图 3 电压检测电路设计原理图

Fig.3 Schematic diagram of voltage detection circuit design

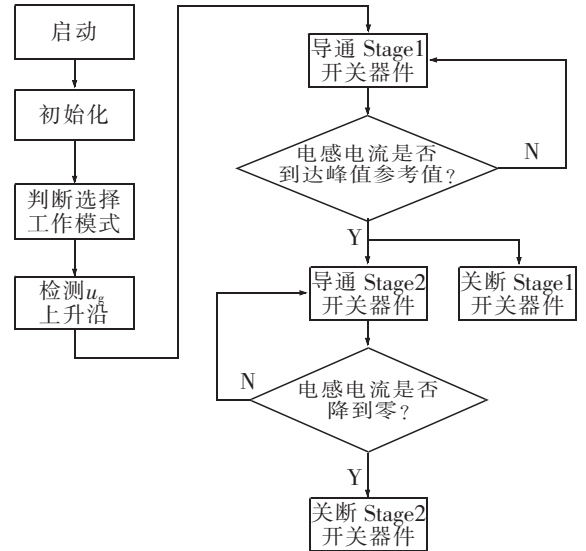


图 2 功率耦合电路控制工作流程图

Fig.2 Flow chart of power coupling circuit control

2.2 电流比较电路

该部分电路原理图如图 4 所示,加入反相器 DM74ALS04BN 可以使得 SN74LS123N 只对电感电流下降阶段的过零点进行检测, v_{in} 为经过霍尔传感器转化成电压的电感电流,参考峰值整定值为 v_{refh} ,参考过零整定值为 v_{refl} ,图 4 为电路的具体设计。

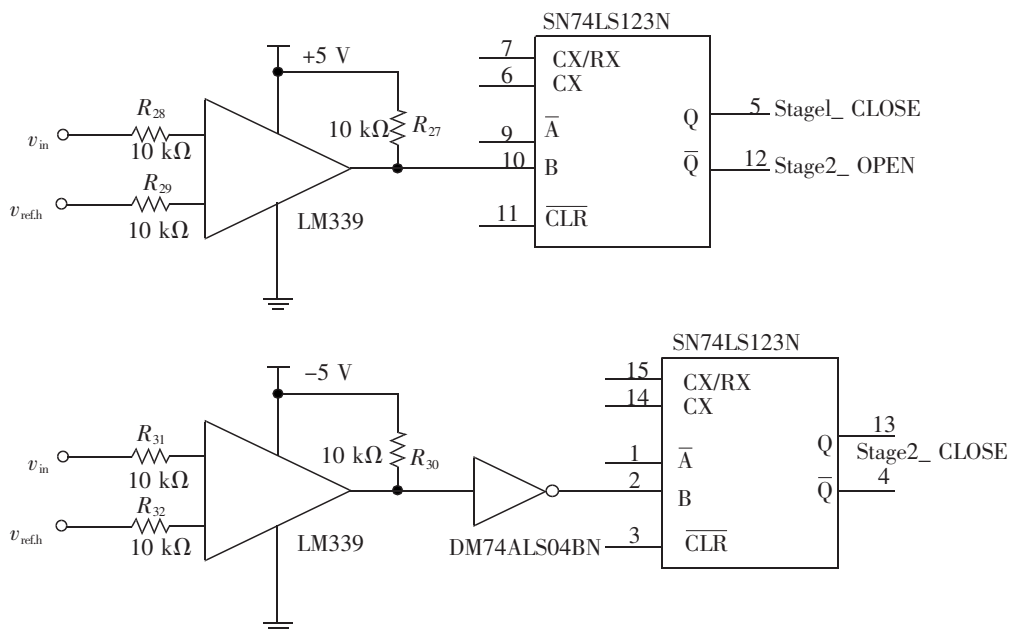


图 4 电流比较电路设计原理图

Fig.4 Schematic diagram of current comparison circuit design

2.3 驱动信号产生电路

本文采用了 2 个下降沿 JK 触发器 74F113PC 将信号检测电路和电流比较电路产生的脉冲信号转化为驱动脉冲, J_p 为电路保护信号输入,JK 触发器的 J 端对电路进行保护,图 5 为电路的具体设计原理图。

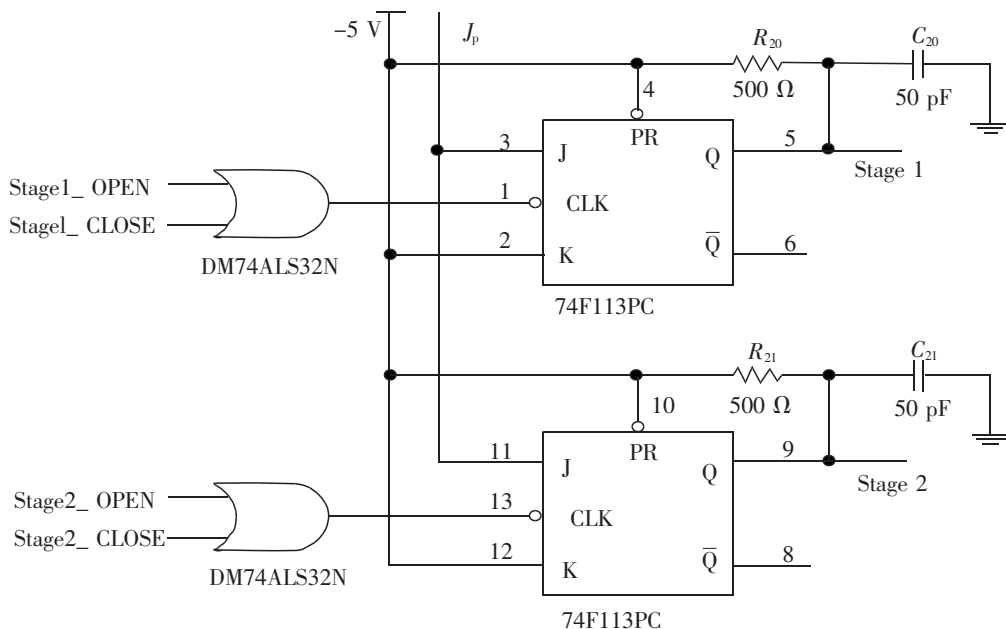


图 5 驱动信号产生电路设计原理图

Fig.5 Schematic diagram of drive signal generation circuit design

2.4 多次闭锁电路

为了降低成本本文采用 JK 触发器 74F113PC 产生所需要的闭锁信号,该过程原理图如图 6 所示。

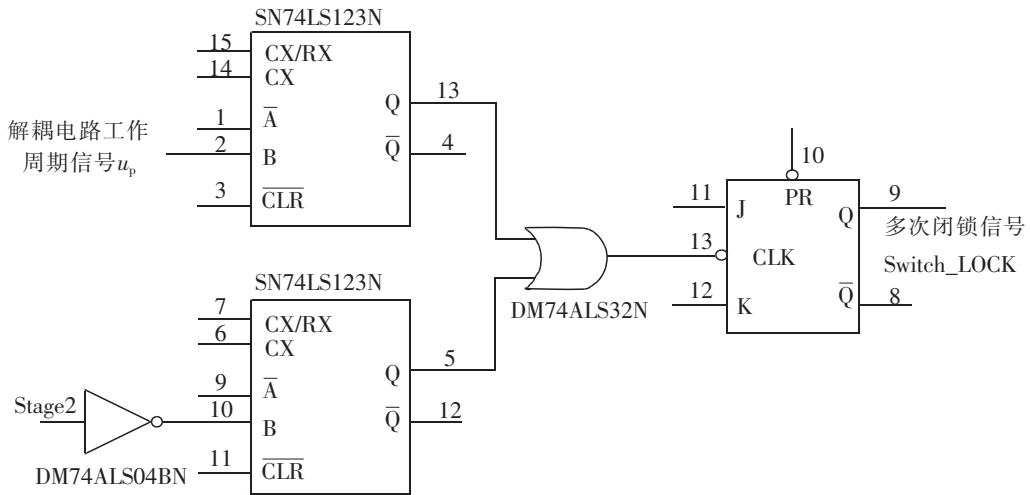


图 6 多次闭锁电路设计原理图

Fig.6 Schematic diagram of multiple latching circuit design

3 模拟控制电路实验验证

为验证控制方案的合理性,进行了模拟控制的实验,图 7 中信号检测电路产生脉宽 800 ns 的触发脉冲,来开通关断 Stage1 和 Stage2 中的开关,在图 7 中 Stage1 的开关脉冲在 1 个工作周期内只导通 1 次 Stage2 的开关脉冲在 1 个解耦电路工作周期内也只导通 1 次,而且 2 者时序为 Stage2 开关触发脉冲信号导通在 Stage1 开关触发脉冲信号关断之后,开关时序合理正确。

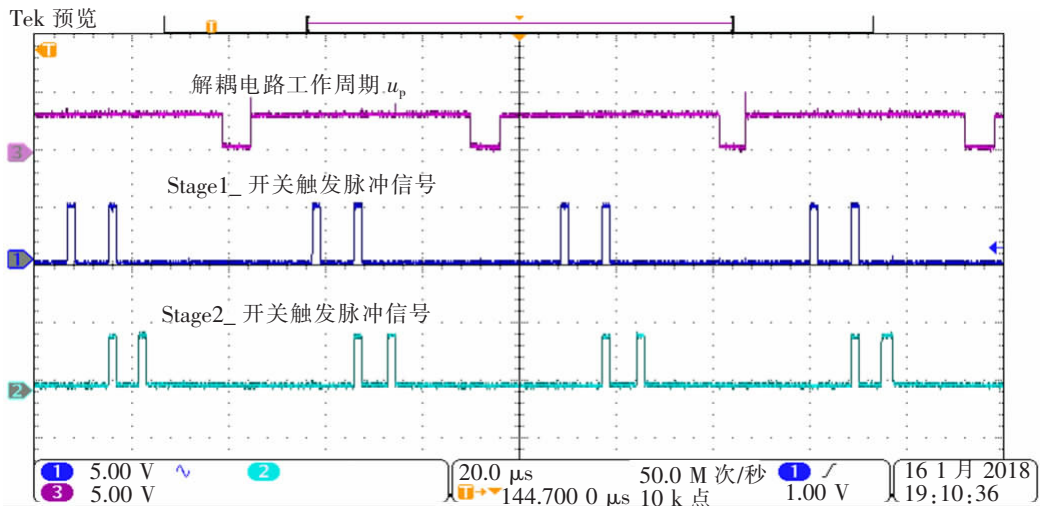


图 7 各阶段开关触发脉冲信号与解耦电路工作信号

Fig.7 The switch trigger pulse signal and decoupling circuit working signal of each stage

图 8 紫色波形为解耦电路工作周期信号,工作周期时间为 $50 \mu\text{s}$,其中有 $45 \mu\text{s}$ 是在高电平时间,说明功率解耦电路在高电平时间内可以工作。通过对比没有经过多次闭锁电路的和经过多次闭锁电路的逆变器上升沿信号 u_g ,可以看出闭锁电路设计合理有效保证了解耦电路在 1 个工作周期内各个阶段开关只导通 1 次。

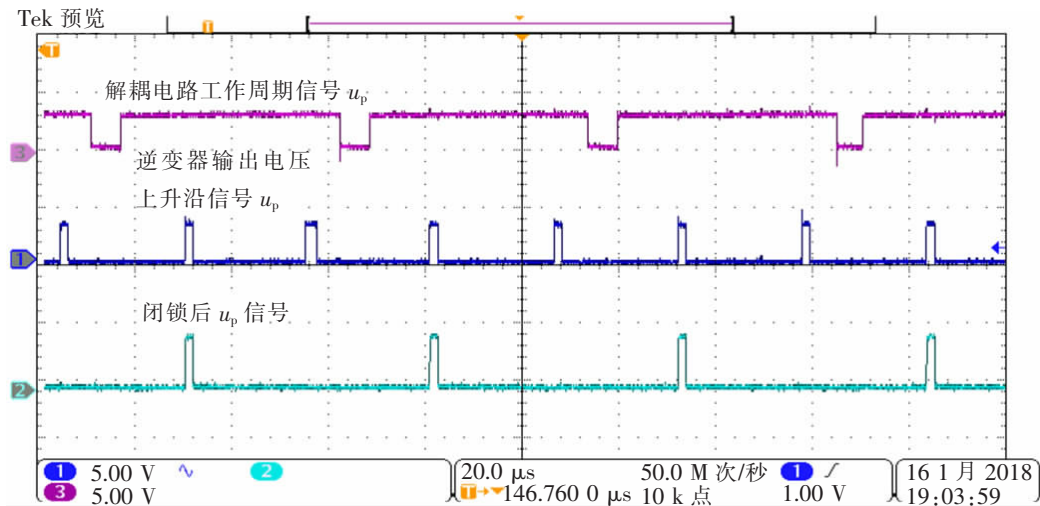


图8 解耦电路工作信号与输出电压上升沿信号

Fig.8 Coupling circuit working signal with output voltage rising edge signal

4 结论

在研究了 DSP、FPGA 和 DSP+FPGA 双 CPU 控制器的优缺点的基础上，借鉴了双 CPU 的设计思路，进行相关创新改进，系统控制中同时使用 DSP 数字控制和 74L 系列芯片模拟控制，在实现较低硬件成本，保证各开关时序的高速性及可靠性的基础上，更好的实现了对微逆变器和解耦电路的控制。设计了模拟控制电路，进行了模拟控制的实验，验证了模拟控制电路设计的科学性以及可用性。

参考文献：

- [1] 袁义生,张育源,钟青峰,等. 两级式逆变器母线电压二次纹波分析及抑制[J]. 电源学报,2018,16(1):37-45.
- [2] 古俊银,吴红飞,陈国呈,等. 软开关交错反激光伏并网逆变器[J]. 中国电机工程学报,2011,31(36):40-45.
- [3] 张学亮,陶以彬,钟国基. 基于 DSP 和 FPGA 控制的并联有源电力滤波器[J]. 电力电子技术,2009,43(6):6-8.
- [4] 王伟,王静文. TMS320F28335 DSP 芯片高可靠电源管理电路设计[J]. 测控技术,2018,37(10):78-80
- [5] 赵鹏. 基于双 DSP 的 PWM 变频器控制平台研究与设计[J]. 能源技术与管理,2018,43(5):161-163.
- [6] 周京华. 基于 FPGA 的电力电子变换器控制系统设计[J]. 电气传动,2018,48(1):36-41+46.
- [7] 窦亚力,乔海强,钱帆,等. 基于 OMAPL138+FPGA 的多路 PWM 发生器设计及应用[J]. 电测与仪表,2016,53(14):124-129.
- [8] 宋刘德. 基于 FPGA+DSP 的三相光伏并网控制系统设计[D]. 淮南:安徽理工大学,2016.
- [9] 孙畅,缪思恩. 基于 DSP+FPGA 的高速采样系统设计[J]. 传感器与微系统,2018,37(9):47-49.

Controller Design Based on AC Side Parallel Power Decoupling Circuit

Zhang Yonggao, Wang Zengqiang, He Peng

(School of Electrical and Automation Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Aiming at the problems of AC side decoupling circuit control in photovoltaic grid-connected power generation system, DSP digital control and 74 series chip analog control were used in the system control at the same time in this study. On the basis of lower hardware cost, the control of micro inverter decoupling circuit can be better realized. It summarized the advantages and disadvantages of the DSP, FPGA and DSP + FPGA controller. The power coupling circuit simulation control circuit was designed by taking 74L chip as the core and referring to the double CPU design on the basis of the relevant innovation improvement and the experimental platform was established. The results show that the design is feasible, providing a new perspective for the coupling circuit of micro inverter control.

Key words: double CPU; analog control; rapidity; decoupling

关于《华东交通大学学报》网络投审稿系统域名变更的通知

敬告各位作者、审稿专家：

根据学校及校现代教育中心的统一安排，《华东交通大学学报》网络投审稿系统域名由原来的 <http://journal.ecjtu.jx.cn>，已变更为 <http://journal.ecjtu.edu.cn>。

由此给大家带来的不便敬请谅解。谢谢！

《华东交通大学学报》编辑部

2019年6月6日