

一种新型绿色能源并网发电实验平台设计*

刘复玉 李 林 陈 璨 万书红

(中国石油大学(华东)信息与控制工程学院 青岛 266580)

摘 要:介绍了一种新型绿色能源并网发电实验平台设计和实现方案。本实验平台是以C8051F120为控制核心,通过采样市电电网信号,实现电网电压频率和相位追踪的并网发电模拟装置。实验平台以IGBT单相全桥作为逆变主电路,利用自行绕制的电感组成LCL滤波器进行滤波,通过软件方式生成正弦波脉宽调制波(SPWM)来实现最大功率追踪(MPPT)。实验平台具有软硬件自动过流保护和欠压保护功能,另外系统硬件电路简单,造价低廉,在教学经费有限的情况下对高年级电气专业学生的实习和实践提供了硬件保证。

关键词:C8051F120; 并网发电; 最大功率点跟踪; 失真度

中图分类号:TP273⁺.5 **文献标识码:**A **国家标准学科分类代码:**470.4061

Design of new green energy grid-connected generating experiment platform

Liu Fuyu Li Lin Chen Can Wan Shuhong

(College of Information and Control Engineering, China University Of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China)

Abstract: This paper introduces the design and implementation scheme of a new type of green energy power generation experiment platform. Based on C8051F120 as the control core, the experimental platform is a simulation device to achieve the realization of grid-connected voltage frequency and phase tracking by sampling the city power network signal. Using LCL filter made by inductance self winding to filter, the experimental platform is based on IGBT for single phase full bridge inverter main circuit to generate the sine pulse width modulation wave (SPWM) by means of software to achieve the maximum power point tracking (MPPT). The experimental platform has software and hardware automatic over-current protection and low-voltage protection function. In addition, the hardware circuit of the system is simple and cost low, which provides guarantee for the practice of senior grades electrical majors under the condition of limited education funds.

Keywords: C8051F120; power generation; maximum power point tracking; distortion

1 引 言

随着社会和经济的发展,节能环保的意识越来越深入人心,风能、潮汐能、太阳能等清洁可再生的绿色能源越来越受到世界各国的重视,光伏发电和风力发电是其主要利用形式,并网发电系统是与电网相连并向电网馈送电力的发电系统,主要形式有光伏并网发电系统和风力并网发电系统,并网发电系统代表了现今最具吸引力的能源利用技术^[1-2]。

并网逆变器是光伏并网发电系统的核心装置,国外并网逆变器研制技术已经成熟,产品功率等级从几千瓦到几百万瓦不等。虽然我国的光伏产业和风力发电产业发展十分迅速,但主要集中在中小功率,技术水平与国外还存在着差距,并网发电的关键技术和设备仍依赖进口,最终

导致并网发电系统造价高,依赖性强,制约了其在国内的发展和推广^[3]。同时笔者所在学校开设有相关的理论课程,但是缺乏相应的实验设备和仪器应用于教学。因此设计开发一种价格便宜、性能可靠、易于推广的并网发电系统就有重要意义。

基于此笔者设计并实现了一种新型绿色能源并网发电系统,可以实现光伏发电和风力发电产生的电能随时回送入市电^[3]。下面以一并网发电实验平台为例介绍其实现原理和方法。

2 方案设计与论证

设计并制作一个低成本、安全可靠的光伏并网发电模拟装置,其结构如图1所示。本系统采用直流稳压源 U_s

收稿日期:2015-04

* 基金项目:校级实验教改项目(YJ-A201324)项目

和电阻 R_s 模拟光伏电池组件,电压 $U_s = 60\text{ V}$,内阻 $R_s = 30 \sim 35\ \Omega$;电网电压的正弦参考采样信号为 U_{REF} ,其峰-峰值为 2 V ,频率 f_{REF} 为 $45 \sim 55\text{ Hz}$ 。SPWM 波通过 IGBT 控制开关管的通断,实现电能的输送。

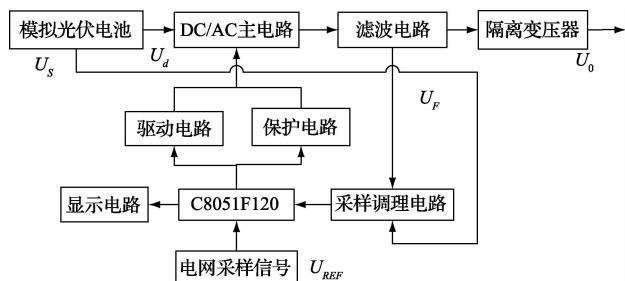


图1 并网发电模拟装置

并网发电模拟装置的具体要求如下:

- 1) 具有最大功率点跟踪(MPPT)功能,相对偏差的绝对值不大于 1% 。
- 2) 具有频率跟踪功能:当电网频率 f_{REF} 在给定范围内变化时,使 DC/AC 的输出频率 $f_F = f_{REF}$,相对偏差绝对值不大于 1% 。
- 3) 在一定的输出负载条件下,DC-AC 变换器的效率 $\eta \geq 60\%$,输出电压 u_o 的失真度 $THD \leq 5\%$ 。
- 4) 具有输入欠压保护和输出过流保护功能。

下面在系统总体组成框图的基础上简要介绍几个主要部分的方案设计^[4-5]。

2.1 核心处理器方案选择^[6-8]

C8051F120 单片机体积小,集成度高,易扩展,功耗小,运行速度快(可高达 100 MIPS)。选用 C8051F120 单片机作为控制核心,来完成控制 SPWM 波的产生和电流、电压的采集,过流保护和欠电压保护的实现等功能,并通过外部液晶对系统的相关参数进行显示。C8051F120 单片机价格便宜,且功能比较完善,具有一个可编程计数阵列(PCA),其具有脉冲捕捉功能和计数溢出中断,便可利用此中断来完成 SPWM 波的产生,基于以上原因我们采

用以 C8051F120 为核心的控制器。

2.2 主电路 DC/AC 逆变桥的选择

单相全桥逆变电路也称“H 桥”电路,其电路拓扑结构如图 2 所示,由两个半桥电路组成,功率开关元件 Q_1 与 Q_4 互补, Q_2 与 Q_3 互补,当 Q_1 与 Q_3 同时导通时,负载电压 $U_o = +U_d$;当 Q_2 与 Q_4 同时导通时,负载两端 $U_o = -U_d$, Q_1 、 Q_3 和 Q_2 、 Q_4 轮流导通,负载两端就得到交流电能^[9]。

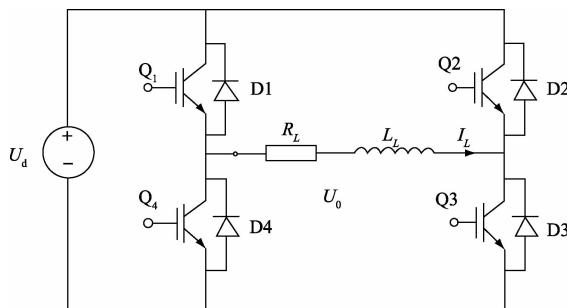


图2 单相全桥电路拓扑结构

2.3 功率开关管的选择

在小容量低压系统中使用较多的器件 MOSFET,在较大的容量的系统中一般均采用 IGBT 模块,这是因为 MOSFET 随着电压的升高其通态电阻也随之增大,而 IGBT 综合了 GTR 和 MOSFET 的优点,在大容量系统中有较大优势。综上,本系统最终采用英飞凌的单管 IGBT,耐压: 600 V ,额定电流: 30 A ,且此 IGBT 具有自带的二极管。

2.4 采样调理电路

AD603 为增益可调的运算放大器,其放大倍数可以通过单片机调节,微控制器判断当前信号幅度的大小,经过一定的运算处理后给出一一对应的数字量控制信号,然后经过 DA 转换输出一个对应的模拟量来控制放大电路的增益,可以输出电压的连续变化。NE5532 可实现固定放大倍数放大^[4-5]。采用 AD603 通过软件控制输出,使之输出电压连续变化通过调节反馈电位器可实现输出幅度 $\geq 5\text{ V}$,信号调理电路如图 3 所示。

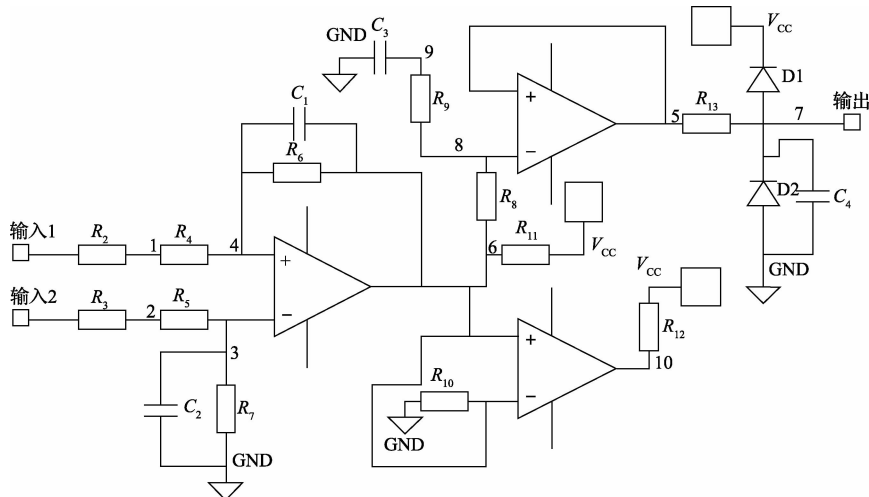


图3 采样调理电路

学运算均是在 PCA 中断服务子程序中进行的,若所有数据采用浮点数表示,则单片机的运算会很慢,也许在一个开关周期内不能够完成所有数据的计算,从而使开关周期变长,系统的一切指标变差。要解决这类运算问题。选用了定点运算的方法^[14]。在处理过程中,将数据类型定义为整型变量类型,若表示浮点数,则将浮点数放大一定的倍数以保证一定的精度,处理后再通过移位的方式和数据类型转换的方式,转换为浮点数进行显示或作其他处理。

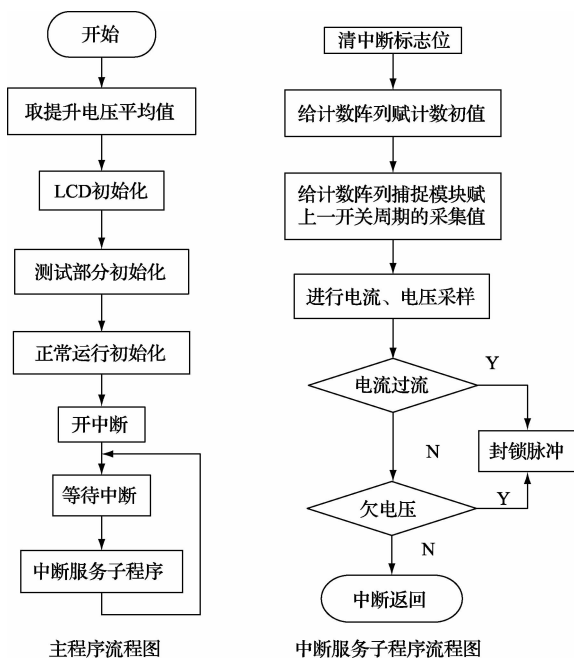
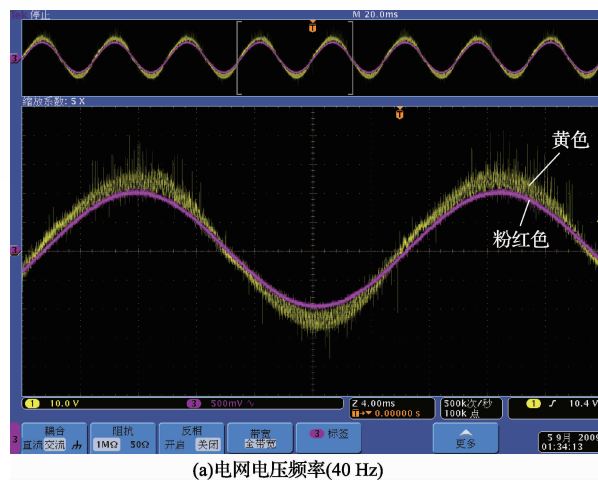


图5 软件设计流程

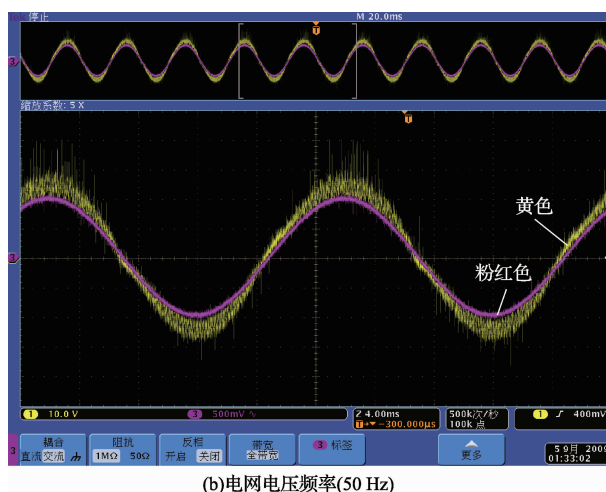
5 系统测试

5.1 频率、相位跟踪测试

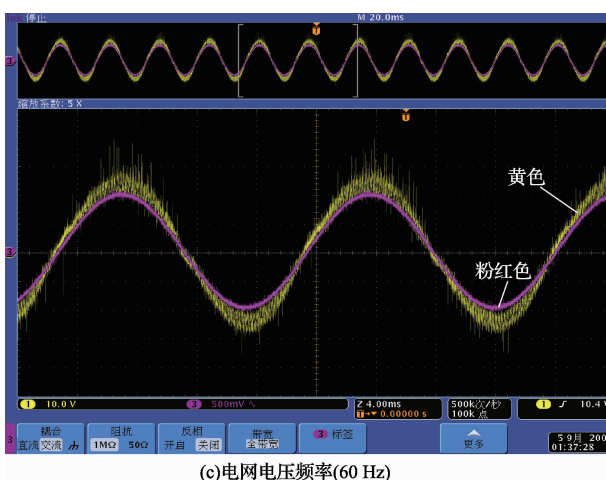
改变输入信号 U_{ref} 的频率,从示波器中观察频率跟踪的速度和输出电压的频率。结果如图6所示:其中粉红色为模拟电网电压正弦参考信号,黄色为单片机输出的跟踪信号。由图6(a)可得两个波形过零点时存在 0.16 ms 的时间差,对应 40 Hz,则有 2.3° 的偏差,频率相对偏差为 0.69%。由图6(b)可得两个波形过零点时存在 0.16 ms 的时间差,对应 50 Hz,则有 2.88° 的偏差,频率相对偏差为 0.8%。由图6(c)可得两个波形过零点时存在 0.16 ms 的时间差,对应 60 Hz,则有 3.4° 的偏差,频率相对偏差为 0.94%。通过所测试的数据可以看出,在不同的频率下,输出频率跟踪完成得很好,只是在相位上略有偏差,输出略滞后于给定信号。主要原因是相位、频率的跟踪总是滞后一个开关周期的时间,所以在相位上略有滞后。但足以满足同频、同相的要求。



(a) 电网电压频率(40 Hz)



(b) 电网电压频率(50 Hz)



(c) 电网电压频率(60 Hz)

图6 频率、相位跟踪测试结果波形

5.2 输出电压 U_o 的失真度 THD 测试

测试结果如图7所示:在 50 Hz 频率下, U_o 的失真度 THD 为 $2.26\% < 5\%$,满足设计需要。

列表				电路 1			
U1	[V]	[x]	[deg]	U1	ORD 01	x	150V
1	34.59	100.00	0.00				
3	0.60	1.74	108.38				
5	0.25	0.72	95.25		34.59V	I	5A
7	0.17	0.48	57.34				
9	0.16	0.46	114.44		100.00%	x	1.00
11	0.09	0.26	58.59				
13	0.06	0.18	62.41		0.00deg		
15	0.06	0.16	18.43				
17	0.06	0.18	60.02	TOTAL		接线	
19	0.04	0.10	20.69				
21	0.01	0.02	151.02		34.59V	1P2W	
23	0.04	0.12	79.06			电路	
25	0.02	0.06	20.65	THD-R		x1	
27	0.01	0.02	50.00		2.26%	PLL	U1
29	0.03	0.09	122.01				50Hz
31	0.06	0.16	96.09				
33	0.02	0.05	-65.06	f			
35	0.02	0.05	-119.22		50.002 Hz	间隔	
37	0.01	0.03	-161.07				
39	0.02	0.06	102.06			30sec	
显示屏				CH	次序	保持状态	

图7 输出电压 u_o 的失真度 THD 测试

在系统硬件电路简单,造价低廉的前提下,从以上测试结果看,在不同的电压频率下,通过采样市电电网信号,实现了电网电压频率和相位追踪,同时通过软件方式生成正弦波脉宽调制波(SPWM)实现了最大功率追踪(MPPT),误差在可以接受的范围内。此外实验平台具有软硬件自动过流保护和欠压保护功能,这在教学经费有限的情况下对高年级电气专业学生的实习和实践提供了硬件保证。

6 结 论

本系统采用 C8051F120 单片机作为控制和计算中心,利用双闭环系统的 PID 调节算法,实现频率相位跟踪、DC/AC 逆变、欠压、过流自恢复等功能。硬件电路简单,灵活性好,从测试数据与系统运行情况来看,在频相跟踪、波形失真度方面本系统的误差较小,运行稳定可靠。实验结果表明该系统具有良好的推广和使用价值。

参 考 文 献

- [1] 胡天友,宋涛松,余慧君,等.单相光伏并网逆变系统的设计[J].实验室研究与探索,2011,30(8):32-35.

- [2] 田雪,郑敏信.基于 LabVIEW 的光伏储能控制系统设计[J].国外电子测量技术,2014,33(12):53-57.
- [3] 邱爱中,邱大为,郝华辉. LCL 滤波光伏并网逆变器控制策略[J].国外电子测量技术,2013,32(11):38-41.
- [4] 韦世宽,雷加,谈恩民,等.光伏系统最大功率点跟踪技术研究[J].电子测量与仪器学报,2011,25(6):490-494.
- [5] 张经纬,丁坤,卞新高,等.一种户外光伏组件测试平台研制[J].电子测量技术,2013,36(7):93-96.
- [6] 党克,郑玉洁,严干贵.电网电压不平衡下光伏并网逆变器的同步技术[J].仪器仪表学报,2015,36(1):87-95.
- [7] 季鹏,乔为民,敬岚,等.基于 DSP 的电源测试系统的设计与实现[J].核电子学与探测技术,2006,26(6):874-875.
- [8] 严琦龙,陈庭勋.基于 DPA425 的小功率无线电源设计[J].实验室研究与探索,2010,29(7):27-31.
- [9] 高吉祥,唐朝京.全国大学生电子设计竞赛培训教程[M].北京:电子工业出版社,2006.
- [10] 许胜辉.可控整流电源智能调节器的实验研究[J].实验室研究与探索,2008,27(5):157-162.
- [11] 裴玮,盛鸥,孔力,等.分布式电源对配电网供电电压质量的影响和改善[J].中国电机工程学报,2008,28(13):152-157.
- [12] 吴佳宇,马秀娟,孙玉德,等.等光伏并网逆变器控制策略研究[J].电源技术应用,2009,12(8):10-12.
- [13] 吴宇容,张国琴.基于 DSP 控制的单相光伏并网逆变器的设计[J].继电器,2008,36(4):51-53.
- [14] 刘润华,李震梅.模拟电子技术基础[M].东营:中国石油大学出版社,2007.

作 者 简 介

刘复玉,1963 年出生,副教授,实验教学中心主任。主要研究方向为智能信息处理、计算机测量与控制。E-mail:upcll@163.com