

doi:10.16576/j.ISSN.1007-4414.2024.05.033

## 基于微控制器的光伏发电与并网系统优化设计\*

彭磊<sup>1</sup>,吴丫丫<sup>1</sup>,祁琛峰<sup>1</sup>,李天钰<sup>2</sup>,刘硕<sup>2</sup>

(1.国网甘肃省电力公司 陇南供电公司,甘肃 陇南 746000; 2.兰州理工大学 计算机与通信学院,甘肃 兰州 730050)

摘要:针对光伏发电数据采集不准确以及光伏设备出现故障而导致并网系统产生安全问题的情况与实际需求,提出了一种基于微控制器的创新设计方案,将电子机械技术、物联网技术和传感器技术相结合,对光伏发电系统进行系统化的软硬件设计。通过设计和实验完成了主控模块、分模块数据采集和通信模块之间的连接,验证了系统的完整性和准确性,成功解决了光伏发电系统数据采集不准确的问题,为光伏发电系统的智能化和并网安全性提供了可靠的解决方案。针对光伏发电与并网系统可能出现的低压穿越问题,采用撬棍电路进行电路保护,并对整体电网进行改造。这一设计在提升电力设备智能化和并网智能水平方面具有显著的应用价值。

关键词:电子机械;光伏发电;传感器技术;物联网;并网系统

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1007-4414(2024)05-0127-05

## Photovoltaic Power Generation and Grid-Connected System based on Microcontroller

PENG Lei<sup>1</sup>, WU Ya-ya<sup>1</sup>, QI Chen-feng<sup>1</sup>, LI Tian-yu<sup>2</sup>, LIU Shuo<sup>2</sup>

(1. Longnan Power Supply Company of State Grid Gansu Electric Power Company, Longnan 746000, Gansu, China;

2. School of Computer and Communications, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, Gansu, China)

**Abstract:** In response to the challenges faced by the photovoltaic (PV) power generation systems regarding inaccurate data collection and safety issues in the grid-connected systems, this study proposes an innovative design solution based on microcontroller technology. By integrating electronic mechanical, Internet of Things (IoT), and sensor technologies, a systematic hardware and software design for PV power generation systems is developed. Through design and experiments, connection between the main control module, sub-module data acquisition and communication modules is completed, and the integrity and accuracy of the system are verified. This design solution successfully addresses the issue of inaccurate data collection in PV power generation systems, providing a reliable solution for the intelligence and grid safety of such systems. To mitigate the potential problem of low-voltage ride-through in PV power generation and grid-connected systems, lever circuitry is employed for circuit protection, accompanied by overall grid modifications to effectively address the issue. This design holds significant application value in enhancing the intelligence of power equipment and grid integration capabilities.

**Key words:** electro-mechanical; photovoltaic power generation; sensor technology; Internet of things; grid-connected system

## 0 引言

近年来,随着对可持续能源需求的增加,人们对清洁能源的研究和应用也在不断加速。在这个背景下,太阳能发电作为一种重要的可再生能源备受关注。光伏发电系统作为利用太阳能发电的主要方式,在解决城市电力需求方面发挥着重要作用,特别是在城市快速扩展、电力需求急剧增长的情况下,其重要性更甚。通过光伏发电系统,可以有效地将太阳能转化为电能,并且其与城市电网相连,因此可为城市提供稳定可靠的清洁能源。然而,目前光伏发电系统存在数据采集不准确的问题,导致工作人员无法获得准确的数据,可能会错过检修时间等重要信息。同时,当光伏发电设备出现问题时,可能会导致并网点电压下降,因此必须确保在电压下降期间光伏发电系统不会脱网并能继续正常运行。

笔者致力于解决光伏发电系统中数据采集和电压跌落问题,并提出了一种改进方案。利用微控制器和传感器对影响因素进行光伏数据汇总,在系统出现电压跌落问题时,采用撬棍电路对系统进行保护,以确保光伏发电系统能够稳定地完成低压穿越。该方案综合运用了传感器、编码器和撬棍电路等技术手段,从而提高了系统对低压穿越问题的应对效率。此改进方案可为光伏发电系统的优化提供可行和有效的解决方案<sup>[1-3]</sup>。

## 1 系统总体设计思路

此研究在对光伏发电设备分析的基础上,确定了影响光伏发电的基础数据,并对光伏发电设备与并网系统进行了研究。系统整体分为三部分,第一部分是硬件部分设计,从光伏发电的电流、电压这些基础数据分析出影响光伏发电的因素,利用传感器技术对其

\* 收稿日期:2024-01-15

作者简介:彭磊(1996-),男,甘肃定西人,助理工程师,研究方向:电力设备智能化。

进行数据收集,在设计光伏发电与并网系统时,需要选择一款主控模块,这个主控模块具有处理多种数据的能力,可以将各种传感器采集到的数据进行数字化处理(数模转换),以完成对硬件设备的数据采集工作。这种主控模块可以同时处理多种类型的数据,例如电信息、发电量、温湿度等,从而实现了系统对各种数据的集中管理和处理。第二部分是并网系统设计,利用撬棍电路对其进行低压穿越,从而解决光伏发电出现的电压跌落的问题。第三部分是软件设计,对整个系统进行软件设计,以实现软硬件结合的智能设备的完整设计<sup>[4-6]</sup>。

## 1.1 硬件部分设计

### (1) 主控模块部分

在光伏发电与并网系统中,各个传感器采集到的数据需要进行数字信号和模拟信号之间的转换,这就需要—个低功耗且处理能力高的主控芯片来实现这个功能。因此,文中选择了STM32系列芯片中的STM32F103C8T6作为主控芯片,此芯片能够满足对传感器数据进行数模转换和处理的要求。

### (2) 温湿度数据采集模块

DHT11温湿度传感器是一种用于测量温度和湿度的模块,并提供标准的数字信号输入输出。由于其内置校准和标准化设计,因此该传感器的输出信号具有高度的精确性和可靠性,同时具备稳定性高和响应迅速的优点。另外,DHT11传感器无需外接部件即可直接连接到STM32芯片,且功耗非常低,在应用中具有便捷性和高效性。

### (3) 电信息数据采集模块

为了处理设备上较多的传感器数据,文中选择了一个自带MCU的HLW8023模块,专门用于电参数的收集。HLW8023模块是可以对交流电的电压、电流和有功功率进行采集,通过这些数据的收集可以计算出功率和累计产生的电量。

### (4) 光强数据采集模块

设备使用的光强度传感器为BH1750,这是一种数字型光强度传感器集成电路,适用于两线式串行总线接口。它能根据收集的光线强度数据调整液晶或键盘背景灯的亮度,具有高分辨率和较大范围的光强度探测能力。BH1750的内部结构简单,由光敏二极管、运算放大器、ADC采集和晶振等组成,具有误差变动小、对红外线的敏感性小的特点。

### (5) 风速数据采集模块

文中采用的风速传感器为Adafruit风速计,其为转杯式设计,工作原理是利用风杯的旋转驱动内部的发电机产生与风速成正比的电压输出。传感器采用三个风杯,可以在风的作用下水平旋转,适用于各种

风速测量需求。

### (6) 灰尘数据采集模块

此设备是在西北地区开发,当灰尘附着在太阳能板上时会影响太阳辐射,从而影响发电的功率。文中使用的灰尘传感器型号为GP2Y10,其工作原理是传感器中的小孔可以让空气在里面自由流通,其内部带有光学设备,通过空气中灰尘的折射进行数据采集。

### (7) 通信模块

LET 4G是目前远程环境监控的较佳解决方案,采用SIM7600模块实现。该模块支持LTE无线通信,覆盖多频段LTE-TDD/LTE-FDD/HSPA+/TD-SCDMA和双频段GSM/GPRS/EDGE,可实现高达150Mbps的LTE CAT4下行链路数据传输。SIM7600模块简单易用,只需插入SIM卡、GPS天线和两根4G-GSM天线,接通电源即可工作,其STALED蓝色指示灯亮起表示设备正在工作中。

## 1.2 并网系统设计

实地测试中考虑到光伏电力设备出现故障可能引起并网点电压下降的情况,为了确保在电压下降期间光伏发电设备能够继续供电而不脱网,文中选择了电路分析中的撬棍电路作为解决方案。撬棍电路是一种电源保护电路,主要用于快速切断电路,以防止电压或电流超过设定范围而损坏电路。

## 1.3 软件部分设计

对主控模块、电信息模块和通信模块进行软件部分编写,分别对传感器接入的引脚进行初始化,对并网中的编码器进行数据书写,设置连接电网系统的自动控制程序,并对电网中的并网信号进行设置。

## 2 硬件设计

基于STM32的光伏发电与并网系统的硬件设计流程主要包括三个部分:数据采集、通信协议和数据接收。首先,根据实地考察确定需要收集的数据,包括电压、电流、温湿度、光强、风速和灰尘等。然后,利用电信息采集模块、温湿度传感器、光强传感器、风速传感器和灰尘传感器等进行数据采集。最后,收集到的数据通过通信协议传输,最终工作人员可在PC端接收和查看光伏发电的实时数据,并为工作人员提供实时数据更新信息。系统设备的总体架构如图1所示。

### 2.1 主控模块

文中采用的通信模块为STM32F103C8T6,该模块配备了两个晶振,可以提供稳定的时钟源,符合低功耗设计的要求。为了确保系统稳定上电,设置了复位电路,使系统在上电时自动复位。在连接方面,主控模块的PA0模拟口接风速传感器,PA1接温湿度





### (2) 温湿度数据采集软件设计

首先对模拟口初始化,以确保其准备好接收数据。然后,在主程序的循环体中编写代码,确保每次循环都会进行初始化操作。在初始化过程中,设置波特率等参数,并定义存储位置。最后,通过通信模块将数据传递到目标设备或平台。

### (3) 光强数据采集软件设计

对波特率进行设置,在循环结构中对光强值进行初始化,初始化后对光强进行计算,因为是模拟值,这里需要写一个数模转换协议,最后输出光强值,设置500的延迟。

### (4) 风速数据采集软件设计

对模拟口初始化后,对主控模块中的风速传感器进行初始化操作,以确保传感器能够正常工作并准确地采集风速数据。这样,传感器就可以与通信模块进行数据交换,将采集到的风速数据传输至目标设备或系统,实现数据的实时传输和监测。

### (5) 灰尘数据采集软件设计

对主控模块中的灰尘传感器进行了初始化与配置,以确保其正常运行并实现与通信模块的数据交换。通过这个过程,系统能够可靠地收集灰尘数据,并在需要时将其传输至其他设备,以便对振动情况进行监测和分析。

## 4.3 通信模块软件设计

首先,对通信模块进行初始化设置,包括配置通信模块的参数、初始化通信接口等操作。然后对串口进行初始化,其中包括设置波特率、数据位数、校验位等参数。通过测试串口功能可以验证通信模块是否能够正常发送和接收数据,以确保其功能完整性。在Linux环境下,对固件文件进行了编译和优化,以提高系统的性能和效率,减小程序的体积并提高运行速度。在程序启动后,设置登录点灯科技并绑定了账号和阿里云。整个工作流程最终变成了通信模块发送信息,并通过TCP协议将数据上传至PC端,实现了数据的传输和通信功能<sup>[10]</sup>。

## 5 系统性能测试与仿真结果

对传感器接收到的数据和市面上的仪器在光伏发电设备中进行了测试,误差均在正常误差内。对偏远地区的风力发电机进行实地改造后,根据手机接收信息的通信能力来看,在1 min内,PC端就可以查看到各类数据。表1为发电信息数据对比。由表1可以看出,接入该模块后,电信息采集变得更加准确了。表2为温湿度对比,由表2可以看出文中的设备安装方式要优于原设备,数据采集的精度有所提升。灰尘传感器是文中的一个创新点,虽没有对比实验,但是由公开的数据可知,优化后设备采集的灰尘直径为

80、81、69 μm。

表1 发电信息数据对比

参数	数值	
	优化后设备	原设备
发电功率/W	63	60
	59	61
	62	62
发电量/kWh	2	1.98
	2.1	2.1
	2	2

表2 温湿度采集对比表

优化后设备 (温度/湿度)	原光伏发电设备 (温度/湿度)
22.5 °C/60.5 hPa	22.5 °C/60.1 hPa
32.5 °C/40.1 hPa	31 °C/50.2 hPa

加入撬棍电路后,光伏设备与并网系统发生低压穿越的仿真波形图如图5所示,从图5中可以看到,一开始电压发生跌落现象,这时撬棍电路开始工作,并网中的电压开始升高,最终保持额定功率完成低压穿越。

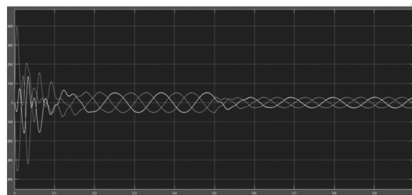


图5 低压穿越波形图

## 6 结语

通过文中的研究与实践,成功解决了光伏发电设备在数据采集准确度以及与电网并网时的脱网和低压穿越的问题。文章基于微控制器并结合传感器和通信模块的软硬件设计,对加入了撬棍电路的并网系统进行了改造和仿真。经过对电信息、发电量、温湿度、灰尘等指标的测试,以及对加入撬棍电路后的并网低压穿越波形的仿真,验证了系统的检测准确性和安全性。综上所述,文中提出的方案在解决光伏发电数据采集不准确情况以及光伏设备故障导致的并网系统安全问题中发挥了关键的作用,为电网逐渐走向智能化打下了坚实的基础。

### 参考文献:

- [1] 冯立恒.环境因素对户外光伏板发电效率的影响[J].电气技术与经济,2019,11(5):28-30.
- [2] 尤海侠.光伏发电效率影响因素分析[J].能源技术与管理,2022,47(6):147-149.

(下转第136页)

应策略先对其进行了预测,可以看到 0.5 s 时电压波形有上升的趋势,在 1 s 时,撬棍电路作用完成,可以看到电压整体趋于稳定状态,稳定在了 400 V 左右,完成了低压穿越。

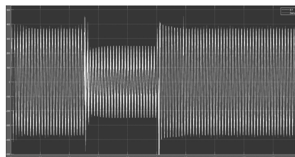
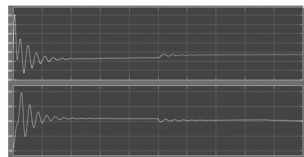


图7 电容两端的电压与转子转速图

图8 电压跌落故障图

如图9所示为转子侧电流跌落故障图。由图9可以看到,电网出现低压穿越时,电流之前处于 100 A 左右,低压跌落出现时,自适应控制策略率先拉高了电流,电流值瞬间到达了 200 A 后,撬棍电路开始作用,在 0.5~1 s 内,撬棍电路对电路进行了保护,使其电流值稳定在了先前的 100 A 左右,完成低压穿越。

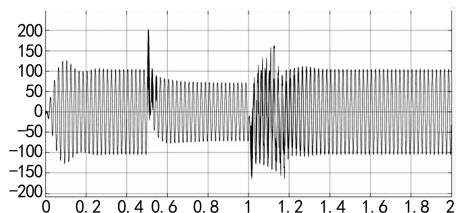


图9 转子侧电流跌落故障图

## 5 结语

文中利用撬棍电路和自适应控制策略解决了双

馈异步风力发电设备并网时发生脱网而产生的低压穿越问题。在最基本的 DFIG 数学模型中加入了保护电路的撬棍电路模型后,又加入了自适应控制策略对整体电路发生低压穿越问题进行预测的一个预测模型。最后通过实验的仿真结果,对加入两种模型的基本双馈异步风力发电机进行了数学模型基本测试,并仿真了低压穿越情况,从这些方面可以看出该系统整体呈现出检测准确、安全系数高等优点。此分析和结果为电力设备智能化与电网智能化提出了一种新的思路。

## 参考文献:

- [1] 崔浩,王伟,郑涛,等.电网对称跌落故障时双馈风力发电机的改进控制策略研究[J].能源与环境,2022,44(9):246-251.
- [2] 张学思,于晓琳,丛培田.双馈风力发电机建模及仿真研究[J].一重技术,2022,210(6):55-57.
- [3] 孙子明,葛强,石建全,等.基于 GA-BP 神经网络的双馈风力发电机故障诊断[J].电工技术,2022,563(5):19-21.
- [4] 胥心怡,武家辉,姚磊,等.基于协同惯量控制的双馈风机并网系统稳定性分析[J].电力建设,2021,42(12):59-67.
- [5] 管萍,李小雷,王一博.双馈风力发电机单神经元自适应谐振控制[J].计算机仿真,2020,37(10):73-77+91.
- [6] 王诗雯,刘飞,刘沁怡,等.不对称故障下两级式光伏并网系统低电压穿越控制[J].电网技术,2023,47(1):91-102.
- [7] 何超.基于自适应控制的双馈异步风力发电机低电压穿越特性优化研究[D].咸阳:西北农林科技大学,2020.
- [8] 焦东宏.双馈风力发电机并网积分切换自适应滑模控制策略研究[D].郑州:华北水利水电大学,2019.
- [9] 汪方斌,孙向东,张建权,等.光伏并网系统低电压穿越模糊自适应控制策略研究[J].电工技术,2022,582(24):41-44+47.

(上接第 131 页)

- [3] 顾章平.大型太阳能光伏发电并网系统优化设计研究[J].电器工业,2020(7):70-75.
- [4] 伊波,闫琴,田文平,等.基于低压穿越光伏发电系统的继电保护研究[J].集成电路应用,2022,39(1):30-31.
- [5] 王雨虹,卢国义.基于 VSC-HVDC 光伏电站低压穿越策略[J].制造业自动化,2020,42(12):125-130.
- [6] 汪方斌,孙向东,张建权,等.光伏并网系统低电压穿越模糊自适应控制策略研究[J].电工技术,2022,582(24):41-44+47.
- [7] 孙银锋,李溶,刘金鑫,等.大规模光伏电站经柔性直流并网系统故障穿越策略[J].工程科学与技术,2023,55(2):107-116.
- [8] 王诗雯,刘飞,刘沁怡,等.不对称故障下两级式光伏并网系统低电压穿越控制[J].电网技术,2023,47(1):91-102.
- [9] 李亚.光伏发电与并网技术研究[J].城市建筑空间,2022,29(S1):143-144.
- [10] 孔垂跃,陈羽,赵乾名.基于 MQTT 协议的配电网物联网云边通信映射研究[J].电力系统保护与控制,2021,49(8):168-176.