

光伏并网发电的多端输出电流信号分配器设计

侯 洁¹, 李博文¹, 王冠敬¹, 吴亚辉², 李丹丹¹, 王子尧¹, 孙 强^{1*}

¹天津农学院工程技术学院, 天津

²国网天津市电力公司宝坻供电分公司, 天津

收稿日期: 2022年5月1日; 录用日期: 2022年6月3日; 发布日期: 2022年6月10日

摘 要

光伏农业一体化并网发电项目, 是能够实现对太阳能资源的有效利用, 产出清洁绿色能源, 还能实现高效种植的新能源电力电子项目。在农业并网发电系统的自动化领域多路控制中, 电流信号分配器需要较强的可控性、安全性、高效性。以往的电流信号分配器对具体数值检测仍存在盲区, 在安全预警方面也有所欠缺, 电压电流转换多路独立性不够, 导致存在互相干扰的情况。本设计聚焦农业光伏并网发电课题, 基于输入信号的采集、输送、放大以及监测一体化原则, 进行智能电流信号分配器的设计, 从而取代传统依靠多元件完成的工作模式, 满足自动化领域多功能控制。

关键词

光伏并网发电, 单片机, 信号分配, 放大器

Design of Multi-Terminal Output Current Signal Distributor for Grid-Connected Photovoltaic Power Generation

Jie Hou¹, Bowen Li¹, Guanjing Wang¹, Yahui Wu², Dandan Li¹, Ziyao Wang¹, Qiang Sun^{1*}

¹College of Engineering and Technology, Tianjin Agricultural University, Tianjin

²Baodi Power Supply Branch, Tianjin Electric Power Company of State Grid, Tianjin

Received: May 1st, 2022; accepted: Jun. 3rd, 2022; published: Jun. 10th, 2022

Abstract

Photovoltaic agricultural technology not only makes effective use of solar resources and produces

*通讯作者。

文章引用: 侯洁, 李博文, 王冠敬, 吴亚辉, 李丹丹, 王子尧, 孙强. 光伏并网发电的多端输出电流信号分配器设计[J]. 仪器与设备, 2022, 10(2): 59-65. DOI: 10.12677/iae.2022.102008

clean, green energy, but also enables efficient cultivation. In the automation field of grid-connected power generation systems in agriculture, current signal distributors need to be highly controllable, safe and efficient. Previous current signal distributors have blind spots for their specific value detection values, lacking in safety warning, and the voltage and current conversion multiplexes are not independent enough and can interfere with each other. This design focuses on the topic of grid-connected agricultural photovoltaic power generation, based on the acquisition, transmission, amplification and monitoring of the input signal as a whole, the design of intelligent current signal distributor, thus replacing the traditional work mode that relies on multiple components to complete, to meet the automation field multi-functional control.

Keywords

Grid-Connected Photovoltaic Power Generation, Single Chip Microcomputer, Signal Distribution, Amplifier

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

化石能源燃烧发电过程是我国 CO 排放的主要来源之一。在碳中和、碳达峰的“双碳”政策下，大力发展可再生能源等低碳或零碳能源体系，构建以新能源为主体的新型电力系统，成为能源领域技术变革的战略方向，其中光伏发电是公认的我国未来可再生能源发电的主要方式之一[1]。随着光伏产业的不断进步与发展，我国也将光伏发电应用于农业、工业、科技等领域。传统的发电系统存在资源浪费、作业效率低等缺点，而太阳能光伏发电技术可将太阳辐射能量收集并转换为可利用的电能供农业设备设施使用，其结构的合理程度是决定光伏发电效率的关键因素[2]。

作为当今世界光伏发电的必然趋势，光伏发电并网可起到节约能源、削峰填谷、降低能耗、增加电网经济性等作用[3]。在农业光伏并网发电自动化领域多路控制中，由控制系统采集现场的电流信号，将这些信号转换成标准信号，再经过可靠的隔离和传输，将采集所得的数据输送到主控制单元处理，最后将处理的结果输送到执行器控制输出，整个过程形成了一个闭环系统，达到自动控制的目的[4]。4~20 mA 的电流信号或是 1~5 V 的电压信号是国际电工委员会过程控制系统确定的模拟信号标准。相比于电压信号传输，电流信号具有抗干扰能力强、信号误差较小的优势，不仅能够输出不精确信号，并且采取两线制输送更能节省材料、降低成本。以往的电流信号分配器将一路信号转换输出多路信号但对其具体数值检测值存在盲区，在安全预警方面有所欠缺，电压电流转换多路独立性不够，会存在互相干扰的情况。

在综上所述的背景下，可控性、高效性、安全性的电流信号分配器的设计具有重要意义，需要设计一种智能多端输出电流信号分配的仪器，实时监测输入信号的数值，针对超出设定阈值的数值进行报警提示，对其采取有效的调控措施。从而可以和各种传感器、现场仪器仪表配合使用，在安全的可控范围内实现一系列的现场操作，满足对农业光伏并网远程监控的需求。

2. 多端输出电流信号分配器系统方案

2.1. 多端输出电流信号分配器功能设计

顺应光伏并网发电自动化控制的发展，设计一种智能多端输出电流信号分配的仪器，以便及时地监

测输入电流信号的数值,对超出设定阈值的数值进行报警提示,对其采取有效的调控措施,从而保证使用系统的稳定性和可靠运行,其功能如下。

1) 采取电流传输信号,规避电压传输信号的缺点,实现远距离抗干扰的信号传输。

2) 电流信号实现一入三出的分配,将现场仪表的各类信号进行变送、转换、隔离、分配传输至不同的控制系统。

3) 利用 LCD 液晶显示屏呈现输入信号数据。系统的操作者能够简洁直观的观察电流数值大小,以便随时对系统进行调控。随着技术的进步, LCD 作为显示器件在各种嵌入式系统中得到越来越广泛的应用。LCD 不仅能为人机界面提供高质量的画面显示,而且能提供更直观、方便的交互性输入[5]。

4) 自动报警系统,实时监控。系统一旦发生超出设定阈值的情况,蜂鸣器驱动提示危险的发生,避免仪器因电流过大而损坏,因电流过低而无法工作。

2.2. 多端输出电流信号分配器工作原理

许多现场仪器仪表、执行器等设备,基本都设计了接地结构,设备之间的电势差会导致接地环流出现,从而导致信号传输过程受到干扰。此外,一旦控制回路出现强电压冲击,回路中关联的设备将全部受到影响。为避免以上情况信号隔离器一般采用三端隔离技术,将各个过程环节进行有效隔离,保证信号传输精度的同时,彻底解决接地环路电流和信号隔离保护等问题[6]。

信号分配器又称信号隔离器,主要用途是将一路仪表信号转换为两路或多路输出场合,同时具有隔离器的全部特性,而且可以对输出信号进行微调。本文所设计的多端输出电流信号分配器工作原理是:将输入的电流信号进行电压转换,让电流和电压数值相对应,基于单片机编程,模数转换器对电压进行采样,对采样后的电压进行处理,将数值显示在 LCD 液晶显示屏上,然后通过电压电流转换将一路输入转换为三路输出,并分别配有开关进行单独控制。同时,单片机设置报警系统,对电路中超过设定阈值的情况进行报警,达到对电路保护的作用。

多端输出电流信号分配器整体架构如图 1 所示,其作用是连接现场仪表与控制室之间的电气设备和各种传感器、现场仪表配合使用,取回参数信号,将现场仪表的各类信号进行变送、转换、隔离、分配传输至不同的控制系统(如 DCS、PLC),同时确保信号的准确性,满足远程监控的需求。

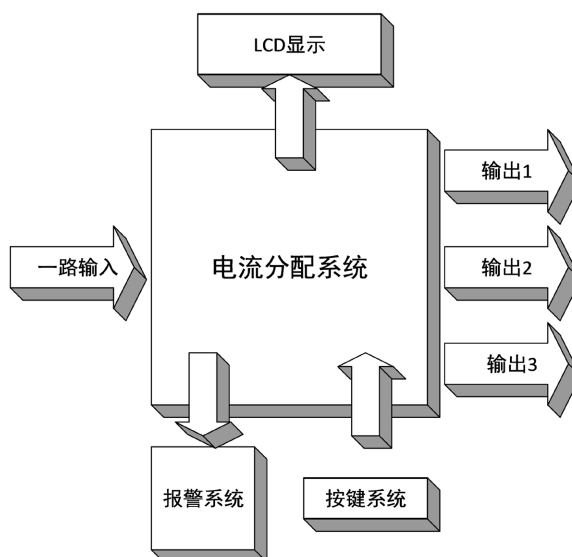


Figure 1. General diagram of multi-terminal output current signal distributor
图 1. 多端输出电流信号分配器架构图

3. 系统硬件设计

3.1. 硬件的整体设计

依据设计的要求、硬件的功能等方面，对整个硬件系统做出详细设计。系统主要包括：单片机的最小系统功能设计、模数转换采样模块设计、按键电路设计、液晶显示电路设计、报警系统设计以及电压电流转换输出电路设计。通过单片机控制的电压电流转换电路，可减少因器件固有特性造成的转换误差，具有精度高，体积小，成本低，电路简单的特点[7]。本设计的原理图如图 2 所示。

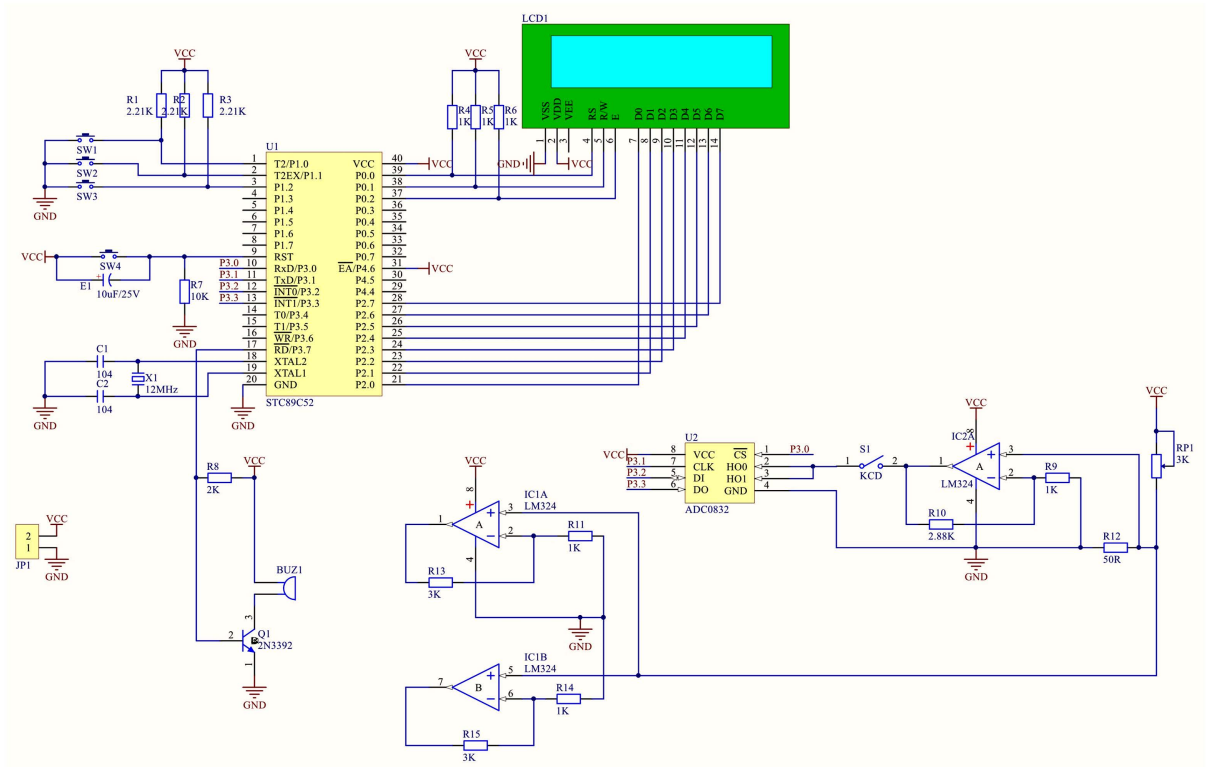


Figure 2. Principle diagram of a multi-terminal output current signal distributor
图 2. 多端输出电流信号分配器原理图

3.2. 电流电压调理电路设计

仪器仪表信号的放大处理，实际上就是对来源于传感器的微弱信号进行放大处理，要求放大器增益高，性能稳定[8]。按照本设计的要求，输入 4~20 mA 的电流，再转换成相应的电压，而在模拟中，采用 5 V 的电压电源外接滑动式变阻器，以取代需转换的模拟电压信号。对于电压电流转换组件，采用四运放集成 LM324 作为基本原理，而 Proteus 软件模拟则采用单一的运算放大器。由于该模块采用了与软件编程无关的硬件电路，可以独立地进行模拟。本设计单独的电压电流转换模块如图 3 所示。

如图所示， R_L 为负载，假设 R_6 上的压降为 V_i ，则：

$$\frac{V_i - V_+}{R_1} = \frac{V_+ - (V_o - V_i)}{R_2}$$

$$V_i \cdot R_2 + V_o \cdot R_1 - V_i \cdot R_1 = V_+ \cdot (R_1 + R_2)$$

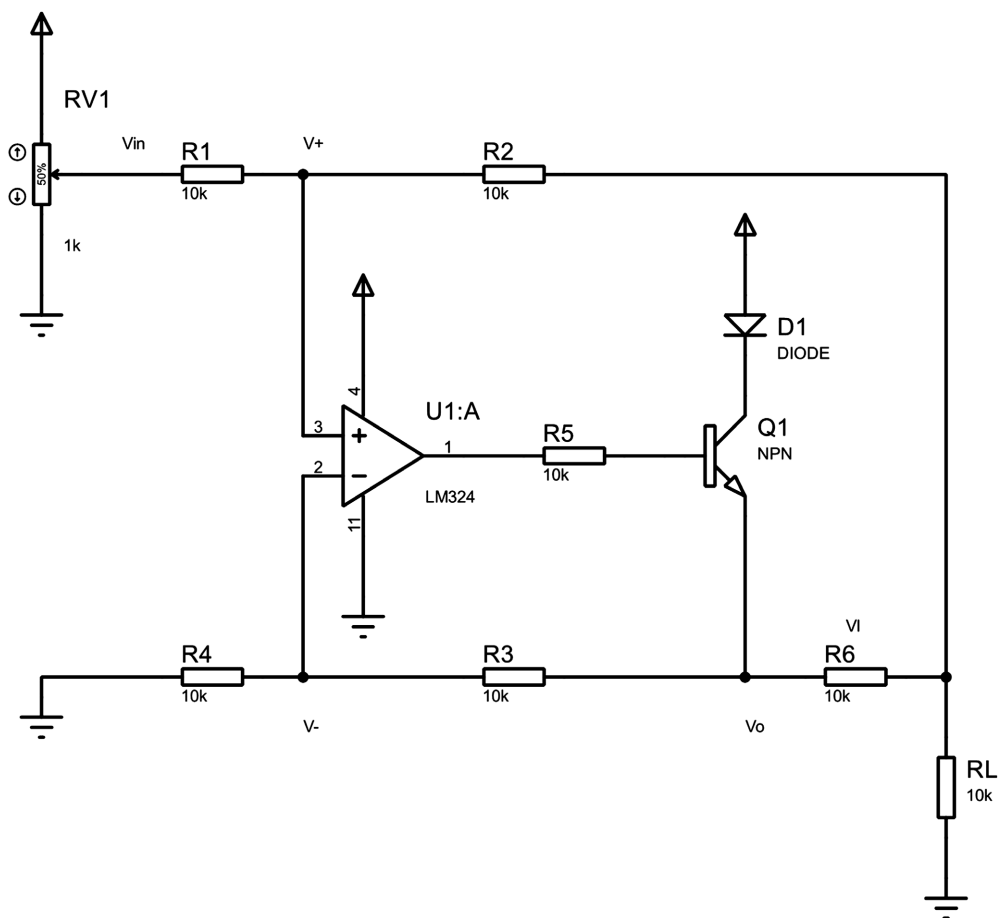


Figure 3. Multi-terminal output current signal distributor current-voltage conversion circuit
图 3. 多端输出电流信号分配器电流电压转换电路

V_o 到 GND 的电流关系:

$$\frac{V_o - V_-}{R_3} = \frac{V_-}{R_4}$$

$$V_o \cdot R_4 = V_i \cdot (R_3 + R_4)$$

由虚短可知 $V_+ = V_-$, 令 $R_1 + R_2 = R_3 + R_4$ 可得:

$$V_o \cdot R_4 = V_i \cdot R_2 + V_o \cdot R_1 - V_i \cdot R_1$$

令 $R_1 = R_4$ 可得:

$$V_i \cdot R_1 = V_i \cdot R_2$$

$$V_i = \frac{V_i \cdot R_2}{R_1}$$

$$V_i = I_i \cdot R_6$$

可得:

$$I_i = \frac{V_i \cdot R_2}{R_1 \cdot R_6}$$

流过负载 R_L 的电流是流过 R_6 和 R_2 电流之和, 则:

$$I_l = \frac{V_l}{R_6} + \frac{V_i - (V_o - V_l)}{R_1 + R_2}$$

$$I_l = \frac{V_l}{R_6} + \frac{V_i - V_o + V_l}{R_1 + R_2} = 4 \sim 20 \text{ mA}$$

因为 $R_6 \ll R_1 + R_2$, 则 $R_1 + R_2$ 上的电流可以忽略不计, 最后得到:

$$I_l = \frac{V_i \cdot R_2}{R_1 \cdot R_6}$$

综上所述, 这是一种电路结构简单同时又具有较高精度的电压电流转换器, 其输出电流与负载无关。

4. 软件设计

硬件电路只是框架, 是对应设计的外在实物, 而软件编程则是对硬件电路的控制, 实现对应的功能。软件设计的过程是先对各个模块进行需求分析, 然后编程以实现其对应的功能, 最后再将各个模块进行整合。

软件编程是根据设计的具体要求及所选用的硬件系统来进行, 采取 C 语言进行编程, 通过编写 C51 程序将所有的硬件结合起来以实现对应的硬件功能。本设计的主程序流程图如图 4 所示。

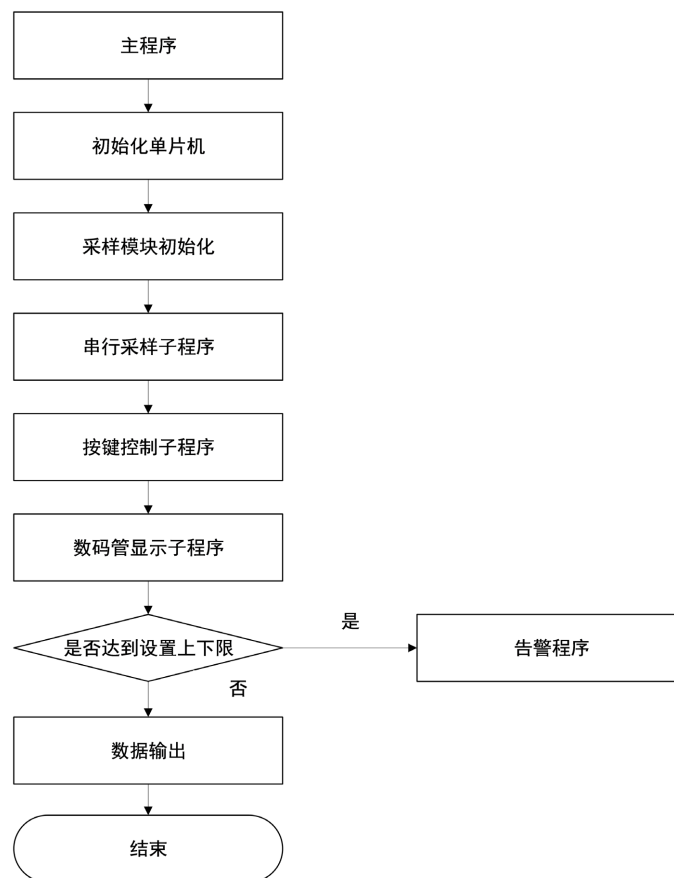


Figure 4. Flowchart of the main program of multi-terminal output current signal distributor

图 4. 多端输出电流信号分配器主程序流程图

5. 仿真验证

对本设计进行仿真实验,以验证所搭建系统的可行性,并对设计进一步优化,从而最大程度上增加系统的可实现性。对于本系统的仿真,从本系统的特点出发,需要仿真的有串行模数转换采样模块、液晶显示模块、按键控制模块、报警模块以及电压电流转换模块。

在本设计的仿真系统中,所有的模块在软件仿真实现时都可以整体实现的。其中信号放大输出模块将输入的信号直接输出到放大电路,然后经过放大电路输出,只和硬件连接有关。其他模块的实现都需要借助单片机程序,利用 Keil 软件进行编程,生成.hex 形式的文件,然后在 Proteus 软件仿真时添加生成的.hex 文件,再执行仿真,并看结果是否是预期中的。本设计中采样的元器件在 Protues 软件中都有,且都是可执行仿真的元器件,对于仿真十分有利。多端输出电流信号分配器仿真数据如表 1 所示。

Table 1. Simulation data of multi-terminal output current signal distributor

表 1. 多端输出电流信号分配器仿真数据

输入阻值	LCD 显示电流值	放大电路电压值	蜂鸣器是否响应
100%	1.7 mA	0.331932 V	是
85%	2.0 mA	0.388676 V	是
40%	4.0 mA	0.804045 V	否
25%	6.3 mA	1.25403 V	否
10%	14.2 mA	2.86111 V	否
2%	25.5 mA	3.51046 V	是

6. 结论

硬件方面,本文完成了对原理图的总体设计,并针对实际情况,提出了一种基于单片机微处理器的最小控制系统。按照系统的设计需求,对所得数据进行了显示并实现了按键操作,将软硬件相结合,从而在输入端实现了多路的输入。该系统具有上、下限报警功能,通过编程实现了向数模变换器输入数据,实现了模拟电压输出以及采用电压和电流间的转换。最后,通过实验验证了系统设计的可行性和准确性。

基金项目

天津市教委科研项目(2020KJ093);国家级大学生创新训练计划项目(201910061038, 202010061033)。

参考文献

- [1] 苗青青,石春艳,张香平.碳中和目标下的光伏发电技术[J].化工进展,2022,41(3):1125-1131.
- [2] 徐健.生态农业的太阳能光伏发电控制模型应用研究[J].农机化研究,2021,43(2):240-245.
- [3] 陈洁,宋吉江.光伏发电并网对配电网保护的影响及对策[J].智能电网,2011,1(3):57-61.
- [4] 吴坤,朱毅明.高精度信号隔离分配器的设计及自校准的实现[J].微型机与应用,2010(13):23-25+29.
- [5] 佟刚.基于 S3C2440A 的液晶显示控制系统[J].仪器与设备,2015,3(4):114-120.
- [6] 夏新根.4~20 mA 电流环隔离模块的研究与设计[J].流体测量与控制,2021,2(3):19-24.
- [7] 钱江泳.一种单片机控制的电压电流转换电路[J].煤矿机电,2012(2):64-67.
- [8] 谭建军.一款基于 LM324 集成运放廉价高性能仪用放大器[J].电讯技术,2004,44(3):160-162.