太阳能和风能互补供电装置及其控制方法*

范媛媛[1], 彭 棣[2], 安述祥[2], 张 硕[2], 程大剑[2], 丁梓振[2], 桑英军[2**]

(1. 淮阴工学院数理学院, 江苏 淮安 223003; 2. 淮阴工学院自动化学院, 江苏 淮安 223003)

摘要:本文设计了一种基于太阳能和风能发电的互补供电装置,并提出基于该装置的控制方法.通过安装在高速公路附近的太阳能电池板和风力发电机互补发电,采用蓄电池储存电能,灵活使用蓄电池或市电为用电器供电.蓄电池作为主要供电电源为高速公路上的设备供电,市电在特殊情况时辅助供电.本装置交流输出端使用无线供电装置调压后为用电器供电,该技术方案在节约电能的同时保障了用电安全.

关键词:单片机;互补供电;太阳能;风能

中图分类号:TM919 **DOI**:10.19789/j.1004-9398.2021.06.004

0 引 言

20世纪70年代国内外就开始了太阳能和风能互补发电的相关研究,从太阳能和风能互补发电装置的结构设计到互补发电的经济运行、优化控制等都涌现了很多的研究成果[1-2],但是一些特殊场景下的针对性应用案例的研究还较少,太阳能和风能互补发电在高速公路上的应用问题也亟待探讨和研究[3].

随着我国经济的快速发展,近年来我国高速公路里程和道路服务水平不断提高,高速公路沿线安装了大量用电设备,高速公路机电设备的供电系统正在逐步向新型供电方式发展.由于我国能源储备有限,加上火力发电导致的环境问题,利用替代能源供应已成为中国能源政策的重要组成部分[4].在我国高速公路经过的大量开阔地区,风能、太阳能充足,这给高速公路供电提供了很好的便利条件,利用风能或太阳能等可再生能源发电可以有效地加快摆脱化石燃料经济,推动可持续发展[5].考虑到单一的太阳能或风能系统依赖于天气,且天气变化的不可预测性将降低系统的可靠性,将2种能源结合起来使用势在必行,因为太阳能和风能的变化趋势基本相反,具有天然的互补性,二者结合起来能大大提高供电的可操作性和可预测性,并且太阳能和风能互补发电系统比单一的太阳能或风能发电系统在经济和技术性能上更加优越[6-9].

1 总体技术方案

随着物联网技术和智能高速的发展,高速公路上除了传统的照明、拍摄以及路况显示设备,安装的自动监测装置越来越多.但传统的供电方式需要远距离输电,这样就造成了大量的电能流失,电能使用效率很低,同时,一些新设备传感器的安装数量很多,传统的布线方式既增加了人工维护难度,又增加了安全隐患.

为解决以上问题,本文设计的供电系统构成如图1所示:发电部分通过收集分布在高速公路周边的太阳能和风能,将其转化为电能储存于蓄电池内,由蓄电池作为主要电源,同时,由市电作为备用电源;控制部分通过蓄电池在继电器接入电路前,由电量检测电路检测电量,市电电路在通过继电器接入电路前,由电压检测电路检测电压,以此检测数据作为切换电源的依据,使蓄电池和市电通过切换来实现互补供电;继电器控制电路部分是由微控制器通过控制直流继电器1、2和交流继电器1、2实现蓄电池或市电对用电器的供电;输电部分通过蓄电池连接逆变电路,使蓄电池供电时能提供交流电,同样,市电供电电路中连接有整流电路,使市电

收稿日期:2020-10-28

* 江苏省六大人才高峰项目(2016-XNYQC-001);江苏省住建厅项目(2019ZD060)

** 通信作者:sangyingj@163.com

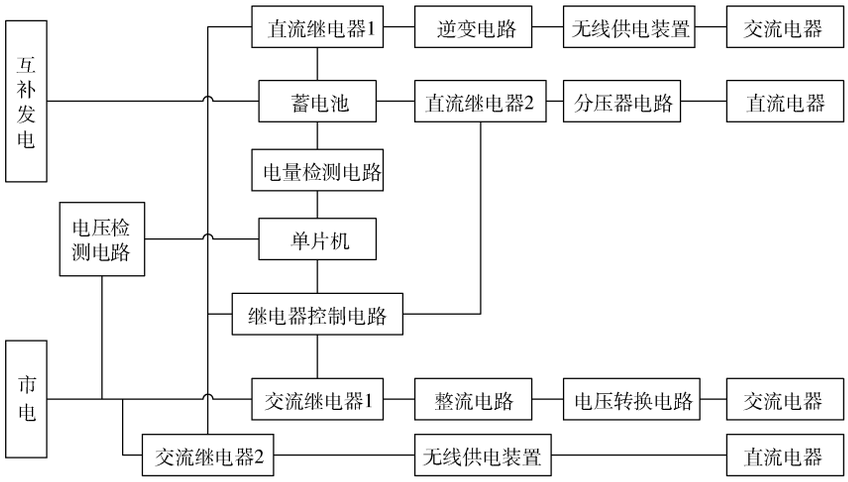


图1　供电系统构成

供电时能提供直流电.

本系统可以实现24.0 V以下的直流和交流供电,考虑到蓄电池安置在高速公路旁,因此,采用维护简单、寿命长、质量稳定且可靠性高的铅酸蓄电池.系统的输出可以通过分压电路、电压转换电路和无线供电装置实现.

2　硬件系统设计

2.1　控制器及其外围电路

供电系统微控制器采用8052单片机,微控制器外围电路包括电量检测电路、电压检测电路和继电器控制电路,如图2所示.位于图2上方的是电量检测电路,该电路使用小负载电压法测量蓄电池电量,此方法是将一个小电阻串在蓄电池充放电回路中,充电时,电阻压降为负,放电时,电阻压降为正,通过检测电阻上的电压来判断蓄电池电量[10].使用运放将电阻上的压降控制在±2.5 V以内,并使用INA128模块将输出电压整体抬高2.5 V,这是因为8052单片机的IO口和ADC0809的输入电压范围都是0~5.0 V[11].位于图2下方的是电压检测电路,该电路首先通过变压器将市电电压降低至±2.5 V以内,使用MCP6002构成的电压跟随器提高带负载能力,同电量检测电路一样使用INA128模块抬升电压以满足ADC的检测范围[12],通过此电路可以检测市电是否可用.

以上2个电路中均使用了INA128,是一种低功耗、高精度的通用仪表放大器,其使用激光进行修正微调,具有非常低的偏置电压(50.0 mV)、温度漂移(0.5 μV/°C)和高共模抑制(>120 dB),其电源电压低至±2.2 V,且静态电流只有700 μA,内部输入保护能经受±40.0 V电压而无损坏,是电池供电系统的理想选择.

在图2中部是继电器控制电路,该电路的控制原则是,优先使用蓄电池供电,在蓄电池电量不足时,改用市电供电,且每次切换电源之前都需要检测目标电源是否能够正常供电.检测由微控制器实现,微控制器通过电量检测电路和电压检测电路检测到的数据来控制4个继电器的开合,4个继电器由2个直流和2个交流继电器组成.

2.2　太阳能电板和风力发电机的安置与连接

太阳能电板通过固定装置安装在护栏上或安装在道路附近,垂直轴风力发电机安装在高速公路中央绿化带或道路两旁,每隔30~40 m安装1个,可以利用行驶车辆带动的气流发电,发电量比较稳定.大型风力发电机虽受环境影响,但发电量大,可视情况安装在高速公路附近风力资源丰富的路段.

太阳能电板固定装置如图3所示.太阳能电池板固定装置连续安装在护栏上,包括与护栏的弧度相匹配的固定板和安装板,二者通过紧固件固定于护栏的两侧.太阳能电池板通过紧固件固定在安装板上.固定板和安装板的四角位置,以及安装板的第二转折的部位均设置有固定孔,太阳能电池板的底面设置有固定片,固定片与安装板上均设置有固定孔,通过螺栓螺母即可将电池板固定板、固定片和太阳能固定装置安装在一起.

太阳能电池板、风力发电机和蓄电池均可按照需求选取.风力发电机通过全波段整流和DC-DC变

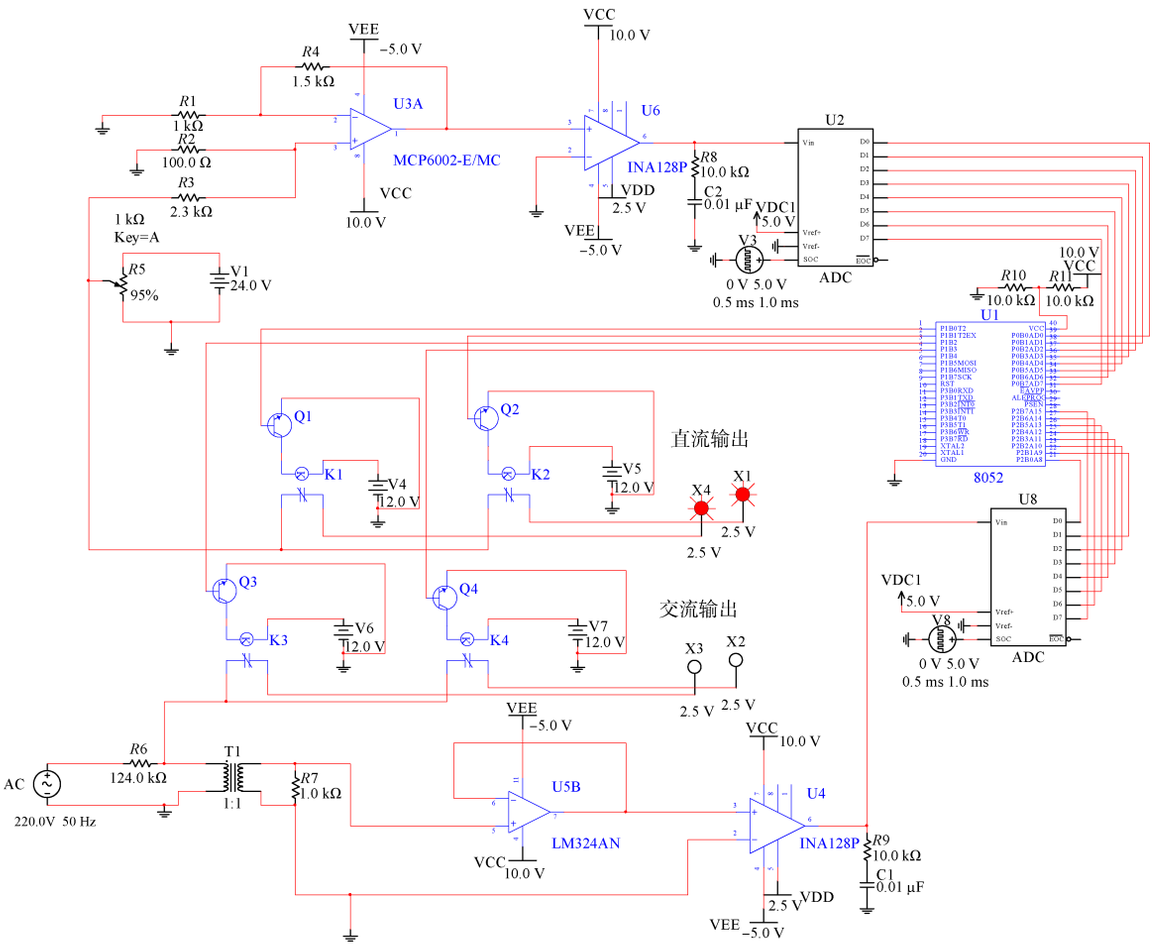
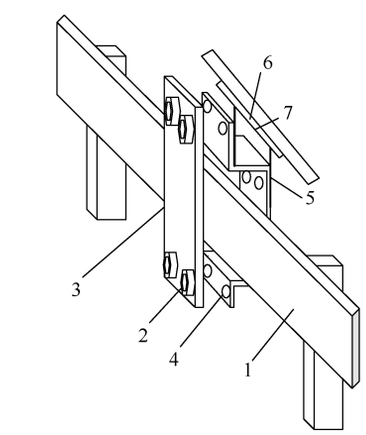


图2　控制器及其外围电路

注:Q1 ~ Q4是15C02MH-TL-E;K1 ~ K4是EDR201A05.



注:1为护栏;2为紧固件;3为固定板;4为安装板;
5为固定片;6为固定孔;7为太阳能电池板.

图3　太阳能电板固定装置

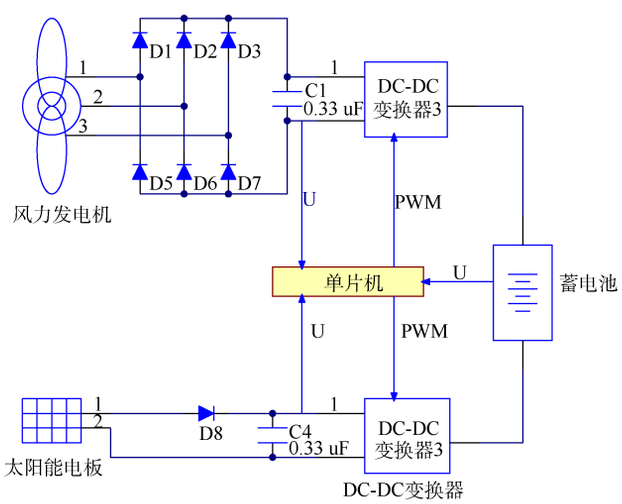


图4　太阳能和风电互补充电系统

换器为蓄电池充电,太阳能电池板连接防反冲二极管后通过DC-DC变换器为蓄电池充电,太阳能和风电互补充电系统如图4所示.

2.3　无线供电装置

无线供电装置如图5所示,包括箱体,以及固定或活动安装在箱体内部的多个预留槽.预留槽使用软磁屏蔽材料制成,其内卡接有线圈盒.预留槽的两侧通过转轴连接有卡扣,卡扣与预留槽两侧的内侧壁之间固定连接有弹簧,当线圈盒插入预留槽中时,线圈盒受到两侧的卡扣和弹簧的挤压,因此能

够将线圈盒固定住.

线圈盒包括两两配套使用的初级线圈盒和次级线圈盒,2种线圈盒配套设置有磁芯凸起和磁芯凹槽,二者通过凹槽安装成一体.线圈盒外露的侧面上设置有与导线连接的接口和用于控制内部电路联通的手动控制开关.按下开关即可工作,2种线圈盒可根据不同的用电需求进行组合使用.

预留槽活动安装在箱体内部时,箱体两侧的内壁上设置有滑轨,预留槽的两侧设置有连接杆,连接杆上安装有与滑轨相匹配的滑轮,预留槽通过滑轮安装在滑轨内,因此预留槽可沿滑轨方向移动.

无线供电装置使用在供电侧和用电侧之间,用作电气隔离.该系统使用在蓄电池供电的逆变电路和市电供电电路2条线路中.无线供电装置使用了可分离变压器,利用电磁感应原理输电.在初级线圈接通交流电时,磁芯中产生交变的磁场,交变的磁场使次级线圈中产生感应电动势,实现供电.可分离变压器使得交流电源侧和用电器侧相互隔离,与直接供电相比,降低了阴雨天发生漏电或者短路故障时对电源侧和并联电路的影响,提高了用电安全性和稳定性.

可分离变压器虽使用起来较为灵活,但其组合处存在气隙.气隙不仅增加了磁路磁阻和初级线圈中的励磁电流,还使漏电感变大,降低了线圈的耦合系数.因此,其效率比正常变压器要低,但仍可通过提高工作频率或改变线圈结构等方式提高分离式变压器的效率[13].

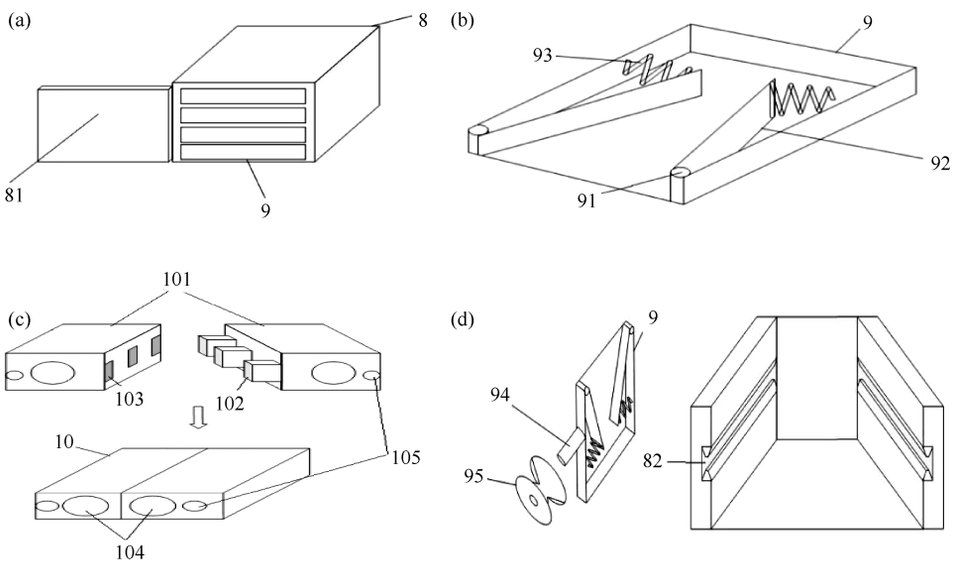
3　微控制器算法流程

控制流程如图6所示.步骤:(1)系统开启,所有的继电器处于断开状态;(2)微控制器控制电量检测电路工作,检测蓄电池剩余电量是否充足,若充足,转(3),若不足,转(4);(3)闭合直流继电器1、直流继电器2和直流继电器3,断开交流继电器1和交流继电器2,进行蓄电池供电,并转(2)进行循环检测;(4)微控制器控制电压检测电路检测市电电路是否正常,若电压正常转(5),否则转(2)进入循环检测;(5)闭合交流继电器1和交流继电器2,断开直流继电器2和直流继电器3,进行市电供电,并转(2)进入循环检测.

4　电路仿真

4.1　微控制器外围电路仿真

微控制器外围电路仿真输出波形如图7所示,该部分仿真时,电源采用24.0 V直流电源和220.0 V交流电源,24.0 V直流电源代替蓄电池,蓄电池的电压变化用串联在蓄电池回路之中的滑动变阻器的变化来实现.由图可知,电量检测电路可以将−24.0~24.0 V的电压转换到0~5.0 V,能够根据电压值实



注:8为箱体;81为箱门;82为滑轨;9为预留槽;91为转轴;92为卡扣;93为弹簧;94为连接杆;95为滑轮;10为线圈盒;101为线圈;102为磁芯凸起;103为磁芯凹槽;104为接线口;105为手动控制开关.

图5　无线供电装置

(a)无线供电装置结构示意;(b)预留槽结构示意;(c) 线圈盒结构示意;(d)无线供电装置连接示意

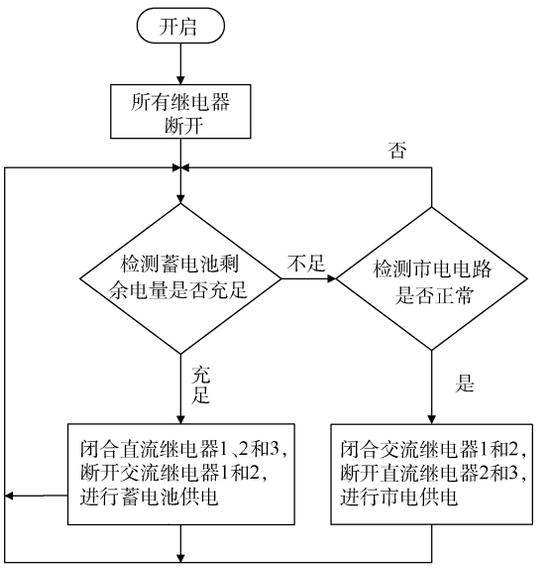


图6　控制流程

时检测蓄电池的电量;电路可以将220.0 V交流电转换成0～5.0 V的交流电,能够通过该电路实时检测电压;每移动一次滑动变阻器,电压每次下降5%,以此模拟蓄电池放电过程.

4.2　发电部分电路仿真

风力发电机用交流电源代替,太阳能电池板用直流电源代替,二者的充电电路仿真波形如图8所示.交流电源经过整流电路处理后,再经降压斩波电路后为蓄电池充电;直流电源经过防反充的二极管,再经过降压斩波电路后为蓄电池供电.电路的输出电压可以通过控制降压斩波电路中的IGBT门极输入波形的占空比来调节.

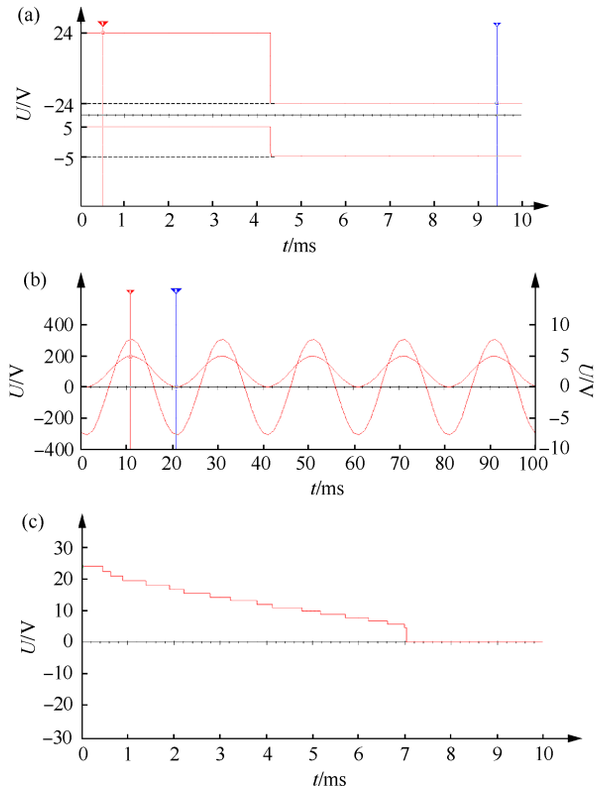


图7　微控制器外围电路仿真输出波形

(a)电量检测电路;(b)交流电压检测电路;(c)电源切换电路

4.3　电压转换部分仿真

电压转换电路如图9所示.使用LM7805和LM7812三端稳压器件进行稳压输出,可以实现5.0和12.0 V的输出.通过控制Q1、Q4和Q2、Q3的导通频率即可实现直流电转交流电.逆变器可使装置不只为直流用电器供电,还能为交流用电器供电,该电路可以有效地将直流电转换成交流电.

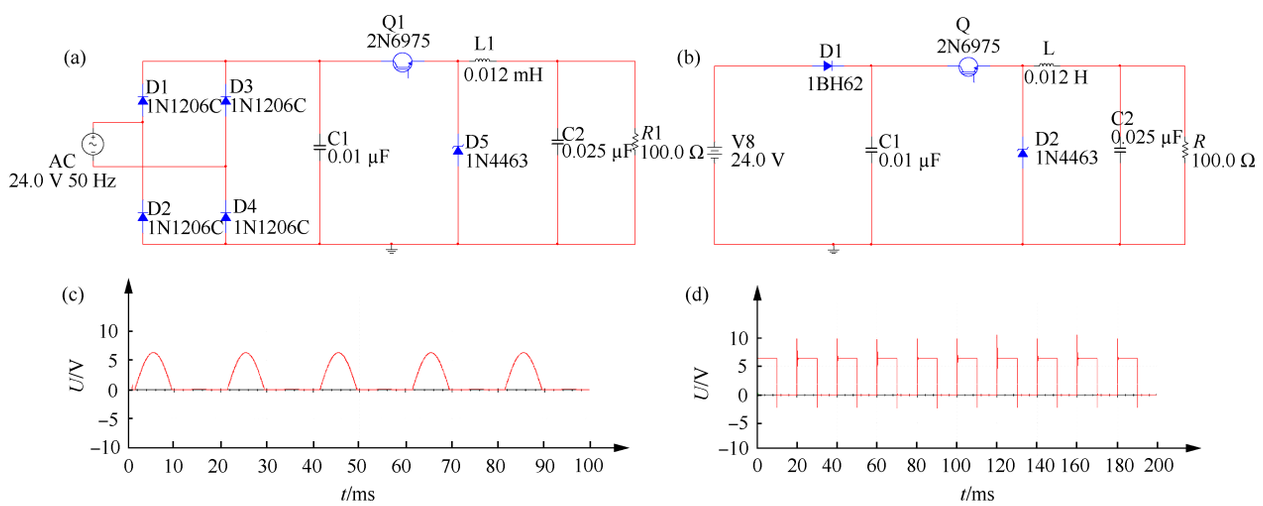


图8　交直流充电电路及输出波形

(a)交流电源电路;(b)直流电源电路;(c)交流电源电路输出波形;(d)直流电源电路输出波形

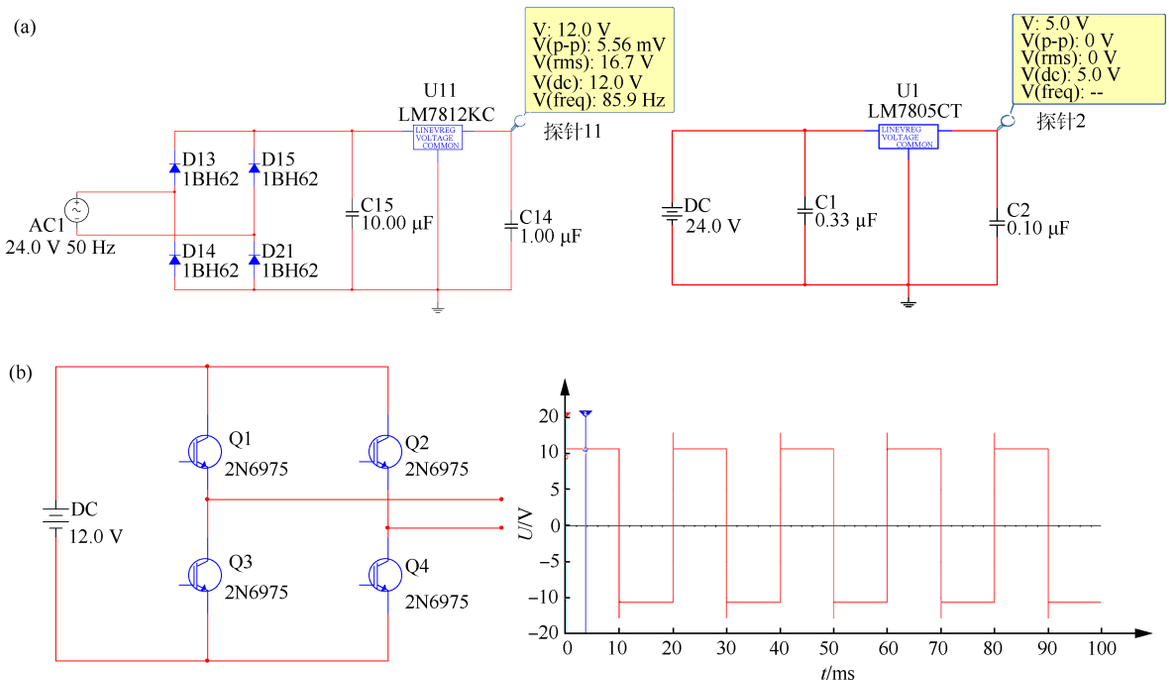


图 9　电压转换电路

(a)5.0 和 12.0 V 的输出电路;(b)DC/AC 转换电路及输出波形

5　结　论

本文设计了基于 8052 单片机的太阳能和风能发电的互补供电装置,在硬件系统设计基础上,提出了总体技术方案和电源切换控制流程.本装置在高速公路上主要采用了垂直轴风力发电机和太阳能电池板发电,垂直轴风力发电机利用自然风和车辆行驶带动的气流发电.风电和太阳能互补发电使发电量更加稳定,发电资源上弥补了风电和光电在独立系统上的缺陷.该装置可以实现以蓄电池供电为主,市电供电为辅的互补供电,这样的方式既经济环保,又保障了供电的稳定.装置交流输出端连接无线供电装置,其内部可实现多种变压器变比的切换,其电能转换效率高于现在流行的磁共振形式,并且避免了供电端口的直接暴露,降低了安全风险,有助于智能高速的快速发展.

参 考 文 献

[1] LIU G J, QIN H, TIAN R, et al. Non-dominated sorting culture differential evolution algorithm for multi-objective optimal operation of Wind-Solar-Hydro complementary power generation system[J]. Global Energy Interconnection, 2019, 2(4): 368-374.

[2] LIU L B, WANG Z, WANG Y, et al. Optimizing wind/solar combinations at finer scales to mitigate renewable energy variability in China[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2020, 132: 110151.

[3] 刘学.风光互补发电系统在高速公路中的应用研究[D].西安:长安大学,2012.

[4] 廖其龙,李宜,刘欢.互补发电技术体系与发展趋势[J].攀枝花学院学报,2019,36(5):43-47.

[5] WASONGA A, SAULO M, ODHIAMBO V. Solar-wind hybrid energy system for new engineering complex-Technical University of Mombasa[J]. International Journal of Energy and Power Engineering, 2015, 4(1/2): 73-80.

[6] AEIDAPU M, SANDHU K S. Hybrid wind/photovoltaic energy system developments: critical review and findings[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015, 52: 1135-1147.

[7] 史君海,朱新坚,仲志丹.风能-太阳能互补独立发电系统设计优化与分析[J].可再生能源,2007,25(4):6-9.

[8] 李林,曾成碧,宋明玉.基于风能和太阳能互补的微电网建模与仿真分析[J].可再生能源,2012,30(3):5-9.

[9] WESCHENFELDER F, PIRES L G N, ALEXANDRE C A C, et al. A review on the complementarity between grid-connected solar and wind power systems[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 257: 120617.

[10] 周潇,徐文尚,成一博.蓄电池电量检测及显示系统[J].工业控制计算机,2013,26(5):136+139.
[11] 任宏斌,冷建伟.基于STM32的交流电压检测[J].电子设计工程,2016,24(13):133-135.
[12] 韩腾,卓放,刘涛,等.可分离变压器实现的非接触电能传输系统研究[J].电力电子技术,2004,38(5):28-29+82.
[13] 高奇峰,杨兆建,何吉利.分离式变压器电磁结构与参数分析[J].电力自动化设备,2009,29(9):141-144.

Solar and wind energy complementary power supply devices and control method

FAN Yuanyuan[1], PENG Kang[2], AN Shuxiang[2], ZHANG Shuo[2], CHENG Dajian[2], DING Zizhen[2], SANG Yingjun[2]

(1. Faculty of Mathematics and Physics, Huaiyin Institute of Technology, Huaian Jiangsu 223003;
2. Faculty of Automation, Huaiyin Institute of Technology, Huaian Jiangsu 223003)

Abstract: In this paper, a complementary power supply device based on solar and wind power generation is designed, and a control method based on the device is proposed. It uses battery storage to store electric energy through complementary power generation of solar panels and wind turbines installed near the highway, and flexibly uses battery or municipal electricity to power electrical appliances. Battery as the main power supply for the equipment on the highway power supply, mains in special circumstances to assist power supply. The AC output end of the device uses the wireless power supply device to supply power for the electrical appliances after regulating the voltage. The technical scheme can save energy and ensure the safety of electricity use.

Keywords: singlechip; complementary power supply; solar energy; wind energy

(责任编辑:兰丽丽)