

太阳能光伏辅助市电供电系统

欧少敏 何志毅

(桂林电子科技大学信息与通信学院 桂林 541004)

摘要: 以太阳能电池作为辅助电源,实现了与市电共同负载用电设备无蓄电不入网的直接供电方案。将太阳能电池组光伏输出经 DC/DC 变换器升压后的输出与用电设备的整流桥输出连接,并跟踪市电电压变化使之在相同的光伏条件下维持一定的输出功率;另外也设计了 DC/DC/AC 变换器电路逆变成与市电同频同相的交流输出,通过单向控制电路与市电隔离,使电源变换电路的输出只加载到用电设备中而不逆流进入到电力网,从而避免高昂的蓄电成本,或并网的输送、占地、维护等成本和入网的技术限制。

关键词: 太阳能电池;光伏并网;单向控制;辅助供电;逆变

中图分类号: TK514 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1099

Assistant solar photovoltaic power supply with AC power grid

Ou Shaomin He Zhiyi

(School of Information and Communication, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: By using the solar cell as an assistant power source, the direct power supply to the electric equipments loaded together by the AC power is achieved without storing battery and input into the power grid. After DC/DC boost, the photovoltaic output from the solar cells is connected with the output ends of the rectifier bridge, while tracking the AC power variation to maintain a definite output power under a certain photovoltaic condition. Moreover, a DC-DC-AC inverter is designed to acquire the AC output consistent with AC power in frequency and phase. Its output is connected to the electric equipment but separated from the AC power grid by the unidirectional controlling circuit to only load the equipment without inversely flow into the power grid. Thus the high cost of electricity storage, or power transportation, land occupying, maintenance as well as technical limitations of grid connection.

Keywords: solar cells; photovoltaic grid; unidirectional control circuit; assistant power supply; inverter

1 引言

太阳能光伏技术的应用主要采用 2 种方式,1)蓄电方式,如市电不能达到的地方对移动基站的供电^[1],或太阳能路灯白天蓄电晚上供电^[2],可通过电源适配电路负载用电设备,无需架线或远距离输送^[3];2)太阳能发电并入电力网的方式,适合于中型或大型光伏电站的应用。不过这 2 种方式受到一定的技术和成本限制,由于电池寿命和循环次数的限制,蓄电方式节省的电费难以收回蓄电电池的成本。因此蓄电方式只适合于远离电力线供电不便的野外场地。

太阳能电站并网方式则省去了蓄电成本,但占用面积大,一般建在沙漠、荒坡偏远地区以免占用宝贵的城市和耕地或绿地面积,电力传输的距离远维护不便,所以可利用屋顶就近安装中小型太阳能发电系统,即与建筑物一体化设计。并网时为了不影响电网质量,必须保证使发电系统的输出电压与市电在频率、相位和幅值上保持严格一致,且对电流总谐波

含量要求比较苛刻。因此目前光伏技术的开发应用主要是基于其深远的绿色环保价值。设计太阳能无蓄电辅助市电供电系统,使光伏电源只对用电器输出而不会流入电网造成干扰,既实现了电力并线又避免了并网的技术难度和成本,从而使之也具备市场价值更有利于推广。

2 实验参数与测试负载

太阳能电池在标准条件下(大气质量 AM1.5,光照强度 $1\ 000\ \text{W}/\text{m}^2$,温度 25°C)测量,其最大输出功率的工作电压常见有 12 V、18 V、24 V、30 V、36 V 等,实验中采用与太阳能电池输出能力相当的直流电源作为太阳能板输出,直流升压电路采用推挽 DC/DC 拓扑结构^[4-6],逆变电路组成同时包括以上 DC/DC 升压电路和 DC/AC 单相电压型全桥变换电路^[9],将光伏逆变与市电同时对负载供电,即光伏作为辅助电源提供其最大功率输出到负载,其他负载所需要的电功率由市电提供,这样即使在光伏电源的输入和输出不稳定的时候也可

收稿日期:2015-03

维持负载所需供电。交直流辅助供电实验技术参数如表 1 所示,实验所用器件及仪器如表 2 所示。

表 1 开关电源技术参数

| 开关电源 | 参数名称 | 数值 |
|-----------|-----------|-------|
| DC/DC 转换器 | 输入电压范围/V | 18~36 |
| | 开关频率/kHz | 27 |
| | 初级线圈/匝 | 3+3 |
| | 次级线圈/匝 | 55 |
| | 额定功率/W | 250 |
| | 效率(%) | >80 |
| DC/AC 逆变器 | 开关频率/kHz | 20 |
| | 逆变输出频率/Hz | 50 |

表 2 系统器件与测试负载

| 器件与负载 | DC/DC 转换器 | DC/AC 逆变器 |
|-------|------------------------------------|---------------------------------|
| 开关管 | SSF10 | 1022N50N |
| 控制器 | TL494 | |
| 测试负载 | 恒功率负载以及 大 1.5P 的格力冷 暖型直流变频空调 | 30 W 恒功率交流 负载与 200 W 照明 灯 |

3 直流光伏辅助电源设计

大部分用电设备都具有电源适配电路,通常为开关电源包含整流桥。如果将 DC/DC 光伏电源升压到略高于市

电整流后的电压,将它们并接到一起就可以进行光伏与市电同时供电。即使光伏输出超过负载运行功率,由于整流桥的单向导通也不会逆流进入到交流电网;如果低于负载功率,其他的功率由市电提供,这种光伏辅助市电的直流并接供电比较容易实现。

3.1 DC/DC 开关电源设计

DC/DC 开关电源主要由 DC/DC 升压电路、取样反馈电路、功率控制电路以及欠压保护电路组成,DC/DC 升压变换电路输出高压 DC 与用电设备整流桥输出并接在一起,共同为负载供电。由于市电的不稳定性以及光强、温度的变化,功率控制电路接收来自市电、高压直流电的取样反馈信号以及太阳能电池输出电压电流,输出脉冲宽度可调制脉冲波 (pulse width modulation, PWM) 控制推挽功率 MOS 管的开关占空比,保证一定负载功率下的输出功率稳定性,即在市电波动时始终跟踪电压变化,在一定的太阳能输入功率下基本上保持光伏变换电源的稳定输出功率,由此可通过对太阳能电池进行最大功率跟踪 (maximum power point tracking, MPPT),使光伏电池以最大功率输出。由于该技术比较成熟,特别是扰动观察法和增量电导法^[7-8],电路设计中可以提供其控制接口但不在本文中讨论,欠压保护电路可检测太阳能输入功率,没有太阳能输入或过低时关闭 PWM 控制停止输出,DC/DC 升压电路电路如图 1 所示。

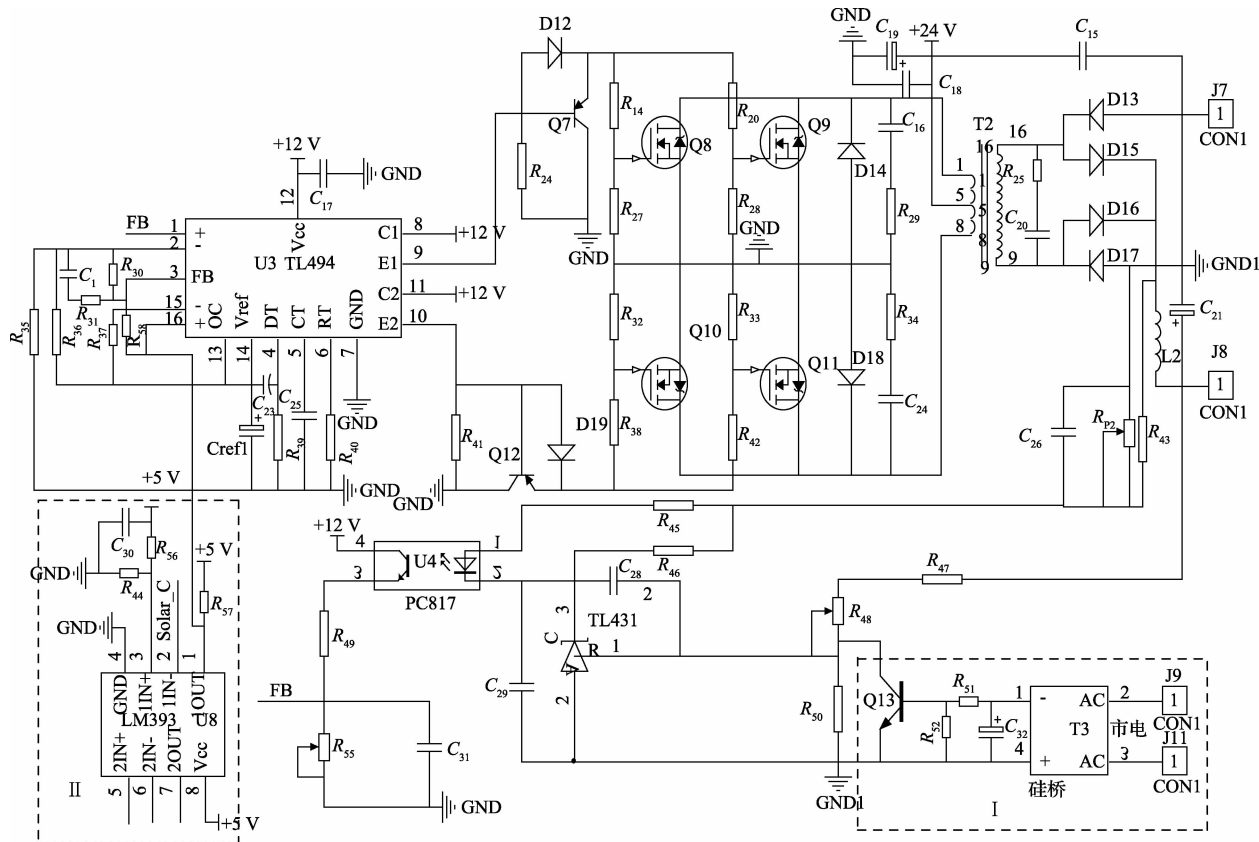


图 1 直流辅助供电 DC/DC 升压电路

TL494 产生占空比小于 50% 的两路互补 PWM 波, 通过改变该 PWM 占空比, 将太阳能电池不稳定输出电压变换为跟随市电而变化的高压直流电压, 并使之在相同的光伏条件下维持一定的输出功率。空载时, 此直流高压稍高于市电整流滤波后的直流电。其跟随市电变化的控制电路由图 1 虚线框 I 及电压取样 R_{17} 、 R_{18} 、 R_{50} 组成, 设置 R_{51} 、 R_{52} 合适阻值, 使 Q13 工作于放大区。市电电压升高时, 流过 R_{50} 部分电流流过 Q13, 此时: UR50 \downarrow \rightarrow UTL431 阴极电压 \uparrow \rightarrow 光耦输入端电流 IF \downarrow \rightarrow 光耦输出端电流 IC \downarrow \rightarrow UFB \downarrow \rightarrow TL494 输出占空比 D \uparrow \rightarrow U0 \uparrow ; 市电电压下降时则反之, 这样可使高压 DC 输出时时跟踪市电变化。若太阳能板输出电压小于推挽 DC/DC 升压变换电路所需最小值时, 虚线框 II 组成的比较器电路使得 TL494 内部差分放大器输出高电平, 关闭 PWM 输出。

3.2 负载实验结果

首先设置直流电子负载仪为恒功率模式, 然后将 DC/DC 变换器输出电压并接在电源适配电路 (AC220V/DC100V) 整流桥之后, 电源适配电路 (AC220V/DC100V) 输入电压为市电, 其输出接至直流电子负载仪输入端, 最后通过改变直流电子负载仪工作在不同的恒功率条件下, 利用智能电参数测试仪显示市电补电前与补电后的功率, 即可获得模拟光伏直流辅助市电供电所提供的功率, 测试结果如图 2 所示。

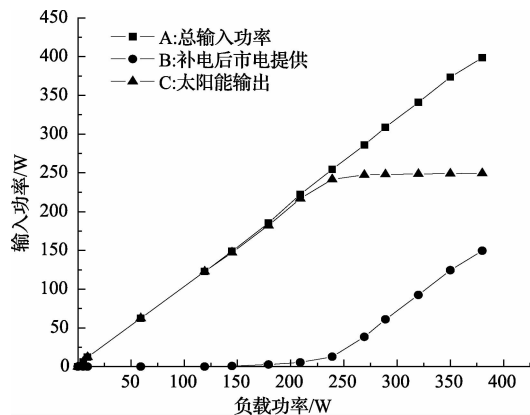


图2 直流辅助市电供电测试结果

当负载功率小于 250 W 时, 太阳能和市电共同为用电器供电, 此时几乎全由太阳能光伏系统供电, 如曲线 B 与曲线 C 所示; 当负载功率大于 250 W 时, 太阳能光伏系统几乎以最大功率输出, 基本与横轴平行, 如曲线 C 所示, 多余的由市电提供, 如曲线 B 所示。此实验验证了光伏直流辅助市电供电系统的有效性。

4 光伏逆变电源与交流并线设计

以上直流补电输出可并接到用电设备整流桥输出端工作, 不过需要预先在设备上设计接口, 否则需要打开设备电源电路进行安装连接, 因此虽然这种直流输出方式设计简单, 但其使用受到一定的限制。还有的用电设备以交流方式工作而没有整流桥, 如果能够设计将光伏输出与设备的市电交流

输入端并接, 且只对设备供电而不逆流到电网中, 则可实现同样而更方便的节能技术。这就需要在市电交流输入端设计单向隔离电路, 可以保证市电输入而防止光伏输出逆流进入电网, 交流辅助供电如图 3 所示。为得到与市电同步的正弦脉冲宽度调制波 (sinusoidal pulse width modulation, SPWM)^[9], 取样电路取样市电电压分为 2 路, 一路取样市电整流流后的正弦波包, 然后通过由 TL494 组成的 SPWM 发生电路得到按正弦波包调制的 SPWM 波; 另一路由精密电压传感器取样市电所得的低压交流电, 再经过过零比较器而得到与市电同步的方波信号, 正弦波的正半轴对应方波的高电平, 正弦波的负半轴对应方波的低电平, 这两路信号经过驱动时序生成电路可获得与市电同步的 SPWM 信号, 然后经驱动电路、单相全桥电路以及 LCL 滤波电路即可获得与市电同步的交流电, 即不采用软件及锁相环, 得到的逆变输出交流电在频率、相位与市电保持一致。

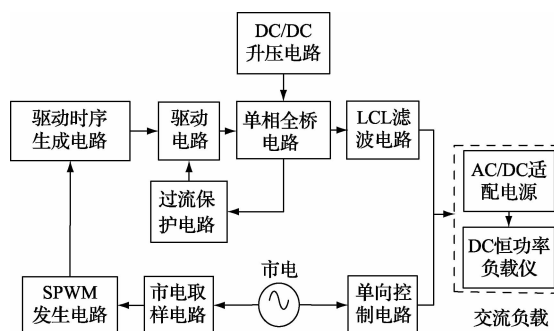


图3 交流辅助供电系统

市电通过单向控制电路与此交流电并线, 共同为负载供电而不逆流注入电力网中去。若单相全桥电路出现过流情况, 通过过流保护电路使驱动电路关闭输出驱动波形。光伏逆变电路设计中主要阐述与市电同步的 SPWM 时序发生电路、正弦波生成优化电路以及单向控制电路, 市电取样电路、驱动电路以及单相全桥电路在本文不作详细阐述。

4.1 与市电同步的 SPWM 时序发生电路

与市电同步的 SPWM 波是逆变输出与市电同步的前提, 如图 4(a) 所示全桥驱动时序生成电路。

当方波为高电平时, 与门 A 与 TL494 输出的 SPWM 波相与, 使得左上管输出对应市电正半轴 SPWM 波, 左下管输出与左上管互补的 SPWM 波, 此方波经非门 G, 再通过与门 B 与 TL494 输出的 SPWM 波相与, 使得右上管输出低电平, 右下管输出高电平, 这样通过对应的全桥电路可输出与市电同步的正半轴 SPWM 波; 同理, 当方波为低电平时, 与门 A 与 TL494 输出的 SPWM 波相与, 使得左上管输出低电平, 左下管输出高电平, 同时经非门 G, 再通过与门 B 与 TL494 输出的 SPWM 波相与, 使得右上管输出对应市电负半轴 SPWM 波, 右下管输出与右上管互补的 SPWM 波, 这样通过对应的全桥电路可输出与市电同步的负半轴 SPWM 波; 如图 4(b) 图所示 4 路驱动波形。

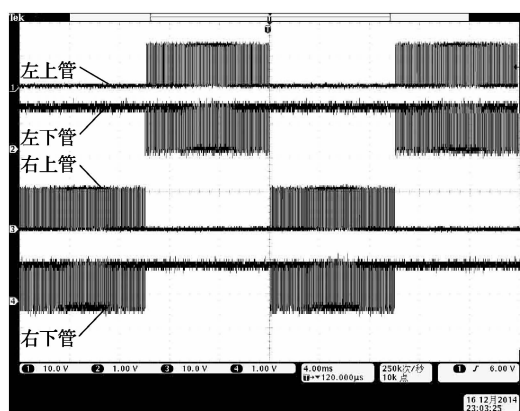
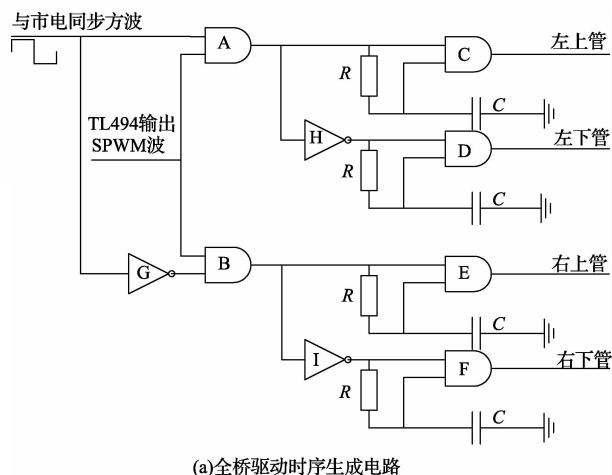


图4 全桥驱动时序电路与驱动SPWM波

由于功率MOS管由导通到截止或由截止到导通时，存在时延，因而在逆变全桥电路中，若不设计死区时间，会使同一桥臂的两个MOS管出现直通的情况，容易烧坏MOS管，本设计中的死区时间由与门与RC电路而得，如图4(a)图所示， R 、 C 的值根据实际电路以及所用MOS管而改变，而该电路 R 取47 k Ω ， C 取47 pF，死区时间 t 为800 ns。

4.2 正弦波生成优化电路

TL494的1脚、2脚以及3脚分别是其内部误差放大器的同相输入端、反相输入端以及输出端，实际制作电路发现，若取样市电峰值为3.3 V/100 Hz的正弦波包输入TL494的3脚与TL494内部锯齿波比较，逆变所得输出交流电在过零点有阶梯，如图6(a)和6(b)所示。这是由于TL494内部锯齿波有0.7 V的直流偏置电压所致。为解决逆变输出过零点阶梯问题，通过给定与锯齿波比较的正弦波包一个直流偏置电压即可，正弦波生成优化电路如图5所示。

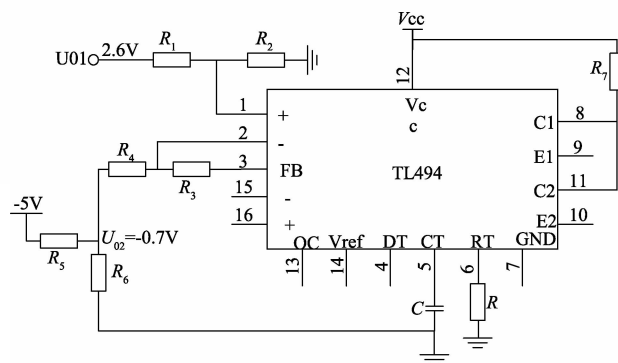


图5中 $R_1 = R_2$ ， $R_3 = R_4$ ，TL494的1脚输入峰值为1.3 V正弦波包，2脚输入-0.7 V，则： $U_{FB} = (1 + R_3/R_4)U_{01} + (-R_3/R_4)U_{02} = 2U_{01} - U_{02} = 2 \times 1.3 - (-0.7) = 3.3$ V，此时 U_{FB} 表示TL494的3脚输入直流偏置电压为0.7 V，最大值点与锯齿波最大值相等的正弦波包，如图6(c)，输出交流电压在过零点阶梯几乎消失，同时输出正弦波的频率跟随市电变化，如图6(d)所示。

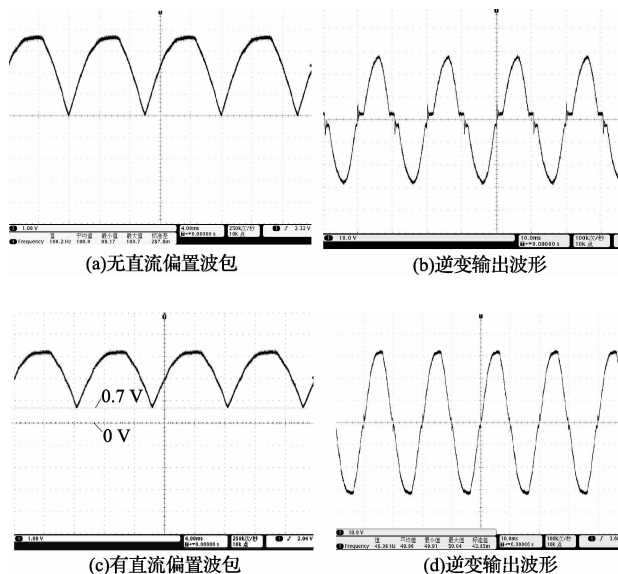


图6 波包有无直流偏置对应逆变输出波形

4.3 光伏并网单向控制电路

交流辅助供电中，通过单向控制电路使光伏逆变电源只加载在负载上而不逆流注入市电网中去，单向控制电路如图7所示。市电从J2端口接入，逆变输出交流电从J1端口输入，J1接负载，当市电为正半波时，此时电容 C_4 两端电压上升到单结晶体管Q5峰点电压时，Q5由截止变为导通， C_4 通过Q5、 R_{12} 放电，放电电流在电阻 R_{12} 上产

生一组尖顶触发脉冲电压,其中第一个脉冲使单向可控硅 Q3 触发导通,市电由 J2, D3, J1, Q3, R_{13} , J2 构成一个回路,由于 Q6 此时处于截止状态, Q4 也处于截止状态,即使光伏逆变输出幅值大于市电,光伏逆变也不会通过单向可控硅 Q4 及 R_{14} 串入市电;反之,当市电为负半波时,市电通过 J2, D4, J1, Q4, R_{14} , J2 构成一个回路,同理,即使光伏逆变输出幅值大于市电,光伏逆变也不会通过 Q3, R_{13} 串入市电。这样无论交流方向如何改变,光伏输出可与市电对用电设备同时供电,而不会逆流进入市电电网。在光照不稳定光伏电源输出功率改变时,由市电保证负载稳定工作,从而达到光伏辅助供电的节能效果。

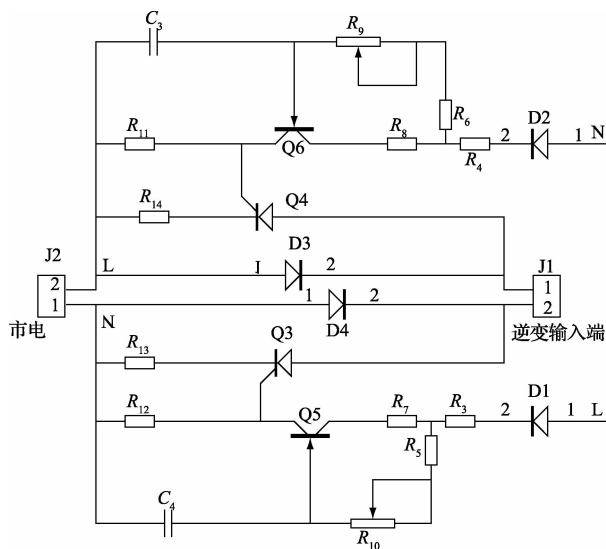


图7 光伏逆变辅助市电供电的单向控制电路

5 验证

5.1 与变频空调直流光伏并网

炎热夏天空调耗电占用了城市用电量近 1/3,一般阳光充足的时候温度最高最需要使用空调,所以利用太阳能对空调供电可达到以热制冷的效果。而光伏辅助供电的方案可以克服因太阳光不稳定而不能单独承担负载的问题,因此采用空调作为负载具有很好的实际意义。

对于直流光伏并网在变频空调上,实验中首先找到空调器内部主板上的整流桥将之与 DC/DC 光伏升压变换器输出端并接,其输入电压为 24 V。待空调开机一定时间基本稳定在一个恒定功率工作时,打开直流升压电源对空调的整流桥部分供电,可以看到市电输入功率随即降低,持续一段时间工作仍维持在较低市电输入功率;关闭 DC 电源后恢复到原来的输入功率,反复多次亦观察到同样的变化结果。实验从上班时间持续到下班时间,市电电压从 AC220V 上升到约 AC240V,DC 电源的输出功率即市电输入功率差基本保持不变。

从图 8 可以看出,无光伏系统接入前市电功耗为 1 234 W,接入后,市电功耗降为 984.8 W,光伏系统提供的功率为 249.2 W;当然补电功率可根据负载功率需要,采用更大的太阳能板和更大输出能力的 DC 变换电源,如果 DC 输出能力超过负载实际工作功率,图 1 的反馈与控制或者负载本身的控制功能可保证实际输出功率与负载匹配,多余的太阳能不会转换为电功率输出。不过要达到最佳性能和成本,太阳能板、DC 升压电源与负载功率应该有一个合理的匹配和预算。



(a) 负载总功耗

(b) 光伏接入后市电功耗

图8 直流辅助供电应用在 DC 变频空调的市电输入功率比较

5.2 光伏辅助照明

由于大型建筑、写字楼、商场以及地下车库内白天采光不足甚至不能采光的区域,若采用光伏辅助市电照明具有重要的价值。为充分体现这种普遍适应性,本实验分别采用额定输出功率 100 W 的 AC/DC 适配电源+直流电子负载仪组成交流负载、恒流源驱动 30 W 以及 200 W 的 LED 照明灯并网实验说明辅助供电的有效性。

该光伏逆变空载输出电压比市电稍高,光伏逆变电力并线采用图 7 方式连接,市电由 J2 端口输入,交流负载与光伏逆变输出并接于 J1 口,反复多次试验,光伏逆变电力并线系统仍能稳定供电,同时也说明了光伏逆变交流电与市电的同频同相。测试结果如表 3 所示。

表3 交流电力并线辅助供电实验结果

| 额定功率 | 100 | 30 | 200 |
|-------------|-------|------|-------|
| 光伏并线前市电提供功率 | 103.7 | 30.8 | 204.7 |
| 光伏并线后市电提供 | 33.4 | 13.5 | 40.4 |
| 光伏提供功率 | 70.3 | 17.3 | 164.3 |

从上述实验结果可以看出,在逆变空载输出略高于市电的情况下,光伏逆变输出与市电可以为共同负载设备供电,同时也观察到了实际应用电路中的光伏逆变交流电与电力并线实验稳定的供电方式,验证了光伏逆变交流补电的有效性。

6 结论

基于太阳能光伏应用中蓄电方式和发电并网方式在成本和技术难度方面的考虑,采用了光伏-电力并线不并网的无蓄电直接供电技术路线,这种方案可以达到较高的

(下转第 57 页)

5 结 论

根据无线传感网络的发展现状,设计了一种支持无线传感网络协议测试验证的平台,该平台可对无线传感网络节点产品进行验证,为产业链中的芯片、软件、节点设备厂商产品研发及产业化环节中,提供了必要的一致性测试。此外,该平台还可以用于节点设备入网前的预测试,从而可以极大地降低入网测试时间。无线传感网协议测试平台采用数字化、集成化、模块化和开放性的总体设计方案,这种创新的平台设计可以满足无线传感网协议演进的需要,为无线传感网测试提供了一个完整的协议测试平台。

参 考 文 献

- [1] 何杰,曹一家,黄小庆,等.基于GSO的无线传感监测网络部署优化研究[J].仪器仪表学报,2013,34(11): 2425-2434.
- [2] 王浩,李玉,秘明睿,等.一种基于监督机制的工业物联网安全数据融合方法[J].仪器仪表学报,2013,34(4):817-824.
- [3] 靳洪旭,曹洁,吴迪.一种传感器定位精度恶化情况下的恢复算法[J].仪器仪表学报,2011,32(7): 1590-1597.

- [4] 郑朝霞.无线传感器网络节点芯片关键技术的研究与实现[D].武汉:华中科技大学,2008.
- [5] 罗配明.无线传感器网络测试平台的设计及实现[D].成都:电子科技大学,2012.
- [6] 吉世瑞.无线传感器网络安全协议测试技术研究和系统设计[D].西安:西安电子科技大学,2012.
- [7] 林炳,仇建.无线自组织传感网邻居节点检测协议及其实现[J].杭州电子科技大学学报,2012,32(5): 183-186.
- [8] 孙昊,马列.基于IPv6的无线传感器网络协议一致性测试方法研究[J].国外电子测量技术,2013,32(2): 29-31.
- [9] 李光永.网络性能测试仪设计方法的分析与研究[D].北京:清华大学,2005.
- [10] 何美红,许成谦,张东良.基于NS2的LEACH协议仿真与分析[J].电子测量技术,2009,32(1):40-42.

作 者 简 介

张翠,1983年出生,硕士,工程师。主要研究方向标准研究与测试。

E-mail: eibb@ei41.com

(上接第49页)

性价比从而实现节能又省钱,使太阳能光伏产业逐步脱离政府资助成为市场行为。针对能源丰富但不稳定的太阳光特点,设计了DC升压和AC逆变输出辅助市电供电的方式,其中跟踪市电的DC升压方式设计简单,自然利用了用电设备整流桥与市电单向输入的整流桥实现辅助供电。同时设计了交流单向隔离电路使光伏逆变可方便地进行辅助供电,而不会逆流进入电网从而避免了入网的技术难度。实验结果验证了辅助供电系统的有效性,逆变辅助供电中,也实现逆变交流电与市电同频同相。这种无蓄电辅助供电的典型应用之一就是空调用电,也可广泛地应用于其他电器乃至工业用电设备。

参 考 文 献

- [1] 孙俨.风能、太阳能互补供电型基站的应用[J].通信电源技术,2011,28(4):33-37.
- [2] ALI M, ORABI M, ABDELKARIM E, et al. Design and development of energy-free solar street LED light system[C]. 2011 IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies-Middle East (ISGT Middle East), 2011: 1-7.
- [3] 吕光昭,李勇,代彦军,等.独立光伏空调系统冬季采暖性能分析[J].太阳能学报,2013,34(7):1167-1171.
- [4] 秦奋,赵强,苏成利.电动汽车无线充电系统仿真与设

计[J].国外电子测量技术,2014,33(7):45-48.

- [5] 钟莉娟,田书欣,杨喜军.输出功率300W的12V-220V DC-DC变换器的实现[J].电气自动化,2010,32(2):69-72.
- [6] 赵杰,胡学龙.微型光伏并网逆变器的研究[J].电子测量技术,2013,36(7):1-7.
- [7] NEIL S D, LUIZ A C, LIU X J. Comparative study of variable size perturbation and observation maximum power point trackers for PV systems[J]. Electric Power Systems Research, 2010, 80(3): 296-305.
- [8] 于晶荣,曹一家,何敏,等.单相单级光伏逆变器最大功率点跟踪方法[J].仪器仪表学报,2013,34(1):18-25.
- [9] LAKKA M, KOUTROULIS E, DOLLAS A. Development of an FPGA-based SPWM generator for high switching frequency DC/AC inverters[J]. IEEE Transaction on Power Electronics, 2013, 29(1):356-365.

作 者 简 介

欧少敏,1988年出生,硕士研究生。主要研究方向为太阳能光伏技术。

何志毅(通讯作者),1965年出生,博士,教授。主要研究方向为开关电源和电池技术、LED智能照明方面的研究。