

一种基于光伏系统的逆变电源设计

吕兴德, 骆德汉, 姚长标

(广东工业大学 信息工程学院, 广东 广州 510006)

摘要:文章介绍了光伏发电的工作原理、光伏发电系统的主要组成部分以及各个部件的主要作用;在此基础上重点介绍了一种新型正弦波逆变电源设计方案。该电源采用DC-DC-AC的设计思路,其中直流升压模块采用推挽拓扑和高频变压器组合电路来完成,逆变模块采用全桥逆变方式实现,文章对电源各个模块分别做了详细的介绍。实验测试证明,该电源具有工作安全、稳定可靠、能量传递效率高、设计成本低、体积小等优点,是一款适用于日常家电的高品质电源。

关键词:光伏;逆变电源;正弦波

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)04-0179-03

Design of an Inverter Power Supply Based on PV System

LÜ Xing-de, LUO De-han, YAO Chang-biao

(Faculty of Information Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: It introduced the principle of photovoltaic power generation, photovoltaic power generation system and the main components of the primary role of the components; Then introduced a new method for designing of sine wave inverter power supply based on PV system. Used DC-DC-AC design ideas, DC BOOST is achieved by push-pull topology and high-frequency, inverter module is achieved by full-bridge topology, meanwhile each modules are made a detailed description; The experiment proved that the design circuit can provide a high quality AC power supply with stable and reliable, efficient energy transfer, low cost, small size, etc., it is very suitable for everyday household appliances.

Key words: PV; inverter power supply; sine wave

随着传统能源的日益枯竭和环境污染问题日益加剧,寻找清洁可再生新能源^[1]已成为当今人类面临的重大课题。太阳能以其存储量“无限大”、对环境无污染等优势,受到人类的青睐,而光伏发电是当前利用太阳能的主要方式之一。其中光伏逆变器技术的研究成为重中之重。文中采用纯硬件电路,实现了一款全新的光伏逆变电源。

1 光伏发电系统

光伏发电系统的核心部件是光伏组件^[2]。其发电原理是“光生伏打效应”,即当太阳光照射到太阳能组件上时,太阳能电池吸收光能,产生光生电子-空穴对,在其内建电场作用下,光生电子和空穴被分离,电池两端分别出现正、负电荷的积累,即产生光生电压。如在内建电场的两侧引出电极并接上负载,则负载上

就会有光生电流流过,即获得功率输出;把光能转换成可利用的电能。

光伏发电系统^[3]主要由光伏组件、光伏发电控制器、逆变器和蓄电池组四部分组成。光伏组件直接将光能转换成直流电,是光伏发电系统最基本的单元;光伏发电控制器通过对系统电压、电流的控制,保证光伏发电系统安全可靠地运行。逆变器^[4]的作用是将直流电转换成交流电,由于太阳能组件输出的是直流电,因此当为交流负载时,需要由逆变器把直流转化为交流,供用户使用。系统工作框图如图1所示。

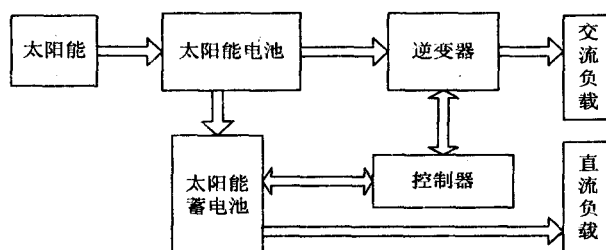


图1 光伏发电系统框图

收稿日期:2011-08-23;修回日期:2011-11-26

基金项目:广东省高新技术产业化工业攻关项目(00713741100226042)

作者简介:吕兴德(1984-),男,硕士研究生,研究方向为太阳能光伏逆变器;骆德汉,教授,研究方向为光伏逆变电源及仿生嗅觉。

2 系统逆变电源整体方案

文中设计的逆变电源性能指标,输入电压在

10.5V~14.5V之间,超出该工作范围,逆变电源便进入保护工作状态停止工作,输出电压为 $220\text{V} \pm 5\%$,频率为50Hz的正弦波。为了保证系统电源安全可靠的工作,输入输出之间采用高频变压器隔离的设计方案,并能实现输入欠压、过压保护,过电流保护,短路和过载、过温保护。

设计整体系统框图如图2所示,主要包括推挽升压电路和全桥逆变电路,蓄电池输出的直流电压(10.5V~14.5V),通过推挽拓扑^[5]和高频变压器组合电路完成直流隔离升压,并通过调节PWM信号的占空比使输出电压稳定在370V,前级PWM波形由经典集成电路KA3525产生,后级SPWM驱动波形由新型集成电路TDS2285输出两路50Hz的信号并经过光电耦合器TLP250产生四路驱动信号来驱动全桥逆变电路,将高压直流变换为工频交流220V/50Hz输出,各保护模块均采用硬件电路完成相关功能设计。

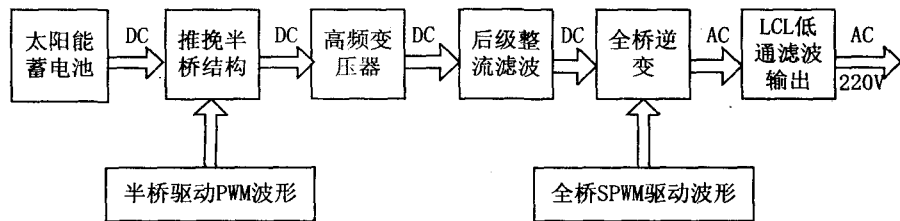


图2 光伏逆变电源系统框图

3 直流升压电路

该模块电路主要完成将低压直流转换成高压直流,为后级的逆变桥提供足够的电压。电路主要采用推挽拓扑加高频变压器的组合电路;根据推挽拓扑的特点可知,功率开关在应用时承受电压高,变压器利用率低,因此推挽拓扑通常不利于电源的离线应用;但如果输入电压较低,因为任何情况下只有一个功率元件与电源和高压变压器^[6]原边绕组串联,整个输入电压加在变压器线圈的半个绕组上,因此,在输入功率相同的情况下,和其他拓扑结构相比,推挽拓扑结构的开关损耗更低。

根据逆变电源的输出功率要求,输入功率为 $P_{in} = \frac{P_o}{\eta} = \frac{300}{75\%} = 400\text{W}$,则输入最大电流为 $I_{MAX} = \frac{400}{10.5} = 40\text{A}$,考虑选择器件的原则及反耐压值,功率管 Q_1 、 Q_2 选择IRF3205(参数为110A/55V)。二极管 D_{35} 、 D_{36} 和电阻 R_{87} 、电容 C_{25} 构成尖峰吸收电路,如图3所示,高频变压器原边接成推挽形式,副边接成桥式整流,整流二极管 $D_{23} \sim D_{26}$ 选择型号为HER208的高效快速整流二极管,经大电解电容滤波后,可以得到370V的直流电压。

推挽拓扑结构中MOS管的驱动波形由经典芯片

KA3525交替产生,用来驱动相应MOS功率管工作,KA3525中的误差放大器用以比较反馈电压信号与基准电压,利用PWM比较器接入PI调节反馈网络,控制PWM占空比,实现变换输出直流电压的稳定。KA3525中的振荡器频率通过外接阻容 R_T 、 C_T 、 R_D 来

决定,由式 $f_T = \frac{1}{(0.67R_T + 1.3R_D)C_T}$ 可计算得前级电路的工作频率为40kHz。引脚8为软启动控制端接0.001μf,软启动时间为5ms;在脚5、7间连接电阻,以设定死区时间为80μs。KA3525采用双端控制图腾柱输出方式,其14、11端输出信号为PWMH、PWML,输出电压幅度及拉、灌电流均满足MOS功率管的驱动要求。

另一个关键技术是高频变压器的设计,目前变压器设计常用的方法为AP法^[7],根据以下公式可选取满足设计要求的磁芯,

$$A_e A_b = \frac{P_o C \times 10^8}{4 \cdot e \cdot B_{max} \cdot f_k \cdot K}$$

式中, A_e 为磁芯截面积, A_b 为磁芯的窗口截面积, f_k 为开关频率, B_{max} 为磁芯材料所允许的最大磁通密度, K 为绕组的窗口填充系数, e 为逆变电源的传递效率,本设计 $f_k = 40\text{kHz}$, $e = 0.85$, $K = 0.3$, $C = 5.07 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Amp}$, $B_{max} = 1600\text{Gs}$,可以计算得到: $A_e A_b = 1.863\text{cm}^4$ 。磁芯型号定为ETD39,其中 $A_e = 1.250\text{cm}^2$, $A_b = 1.740\text{cm}^2$, $A_e A_b = 2.175\text{cm}^4$,由 $N_p = \frac{(U_{in max} - 1) \cdot 10^8 \cdot 0.4}{\Delta B \cdot A_e \cdot f_k}$ 可得变压

器原边绕组匝数 $N_p = 2$,再由公式 $V = [(U_{in max} - 1) (\frac{N_s}{N_p} - 2) \cdot \frac{2T_{on}}{T}]$ 可算得高频变压器副边匝数为 $N_s = 75$;

故,变压器原边采用2+2T,副边75T的绕线方式,由于前级电流比较大,采用0.9mm的铜线绕制,后级采用0.5mm铜线绕制,同时为了使变压器漏电感,肌肤效应及邻近效应最小化,采用原、副边交替的绕制方法。

4 全桥逆变电路

全桥逆变电路^[8]主要由逆变桥及其驱动电路和输出LCL滤波器组成,当前级得到370V直流电压加在逆变桥上时,经由四只功率MOSFEET组成的逆变电路,变成工频220V/50Hz输出,由于MOSFEET的驱动波形为SPWM信号,故逆变器输出为标准正弦波,从而大大减少了输出信号的谐波含量和尖峰脉冲,电

源整体性能更加稳定。

全桥逆变电路驱动波形 SPWM 波形^[9]是由新型集成电路 TDS2285 产生,该芯片工作频率为 20kHz,其输出引脚可持续输出 20mA 的负载能力,内置可以单独关闭前级的引脚,具有独立的交流输出电压、电流反馈控制功能和故障报警功能电路。全桥逆变电路原理如图 3 所示。

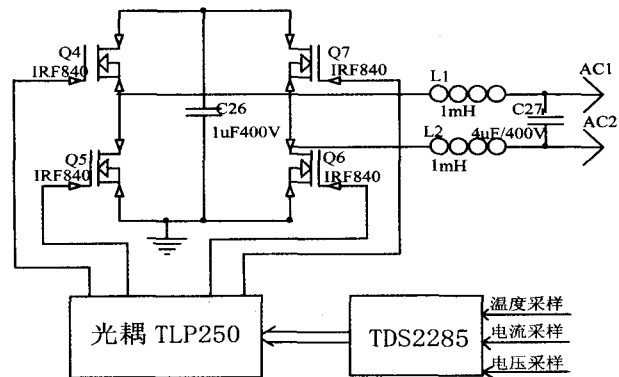


图 3 后级逆变原理图

根据电源输出功率和工作特性,逆变桥功率器件 $Q_4 \sim Q_7$ 选择型号为 IRF840 的 N 沟道 MOSFET。由 TDS2285 产生两路 SPWM 信号,再经过光电耦合器 TLP250 分成四路驱动信号驱动 MOS 管工作,完成高压直流到工频交流的逆变。系统输出的谐波主要为载波频率附次数的谐波^[10],输出采用 LCL 低滤波方式^[11],其中电感值为 1mH,电容为 4 μ F/400V。

5 各保护模块电路

为了使系统更加安全可靠的运行,保护电路的设计是非常有必要的,本电源系统在完成系统模块的基础上同步设计了过流过载、过压、过温保护电路模块,系统性能更加安全可靠。

5.1 过流保护模块电路

过流过载保护模块电路采用 LM324 设计,2 脚接电流检测端,正常情况下,运放 LM324 脚 1 输出低电平,二极管 D_3 截止;当系统发生过流或过载时,运放同向输入端电压大于反向输入端,从而脚 1 输出高电平,二极管 D_3 导通,和集成芯片 TDS2285 一起完成过流过载保护功能。

5.2 过温保护模块电路

过温保护模块,通过在运放反向输入端接入热敏电阻 $R_T = 10K$,利用其热敏特性,进行温度检测,其工作过程分为两个阶段,当系统温度低于 40 度时,运放输出低电平,系统正常工作;当系统温度高于 40 度时,热敏电阻 R_T 阻值也发生变化,致使反向输入端电压低于同向输入端,从而运放脚 8 输出高电平,利用三极管的放大功能启动风扇;当系统温度高于 71 度时,运放

脚 14 输出高电平,和集成芯片 TDS2285 一起关断后级驱动波形,完成过温保护功能。

6 实验结果

根据设计方案,完成电路板的安装,对其进行实验调试,当输入电压在正常工作范围(10.5V ~ 14.5V)以及不同负荷下,该逆变电源均输出完美正弦波,频率和幅值都符合设计要求,输出波形如图 4 所示。各保护模块也能“各尽其职”,从而保证了系统安全可靠地运行,其相关测试数据如表 1 所示,从表中可以看出满载的情况下整机效率可达到 85% 以上。

表 1 不同负载功率下,电源的输出数据采集

负载功率	输入电压	输入电流	输入功率	输出电压	输出电流	输出功率	效率 %
120W	10.5	12.1	127.05	224.0	0.521	116.7	91.8
	12.0	10.75	129	224.7	0.521	117.2	90.8
	14.5	9.9	143.55	218.3	0.513	112.1	78.1
200W	10.5	19.9	208.95	220.5	0.867	191.3	91.5
	12.0	17.6	211.2	221.9	0.870	193.2	91.5
	14.5	16.4	237.8	222.7	0.871	194.1	81.6
300W	10.5	29	304.5	209.0	1.260	263	86.4
	12.0	26.5	318	219.6	1.293	283	88.9
	14.5	24.5	355.25	222.5	1.304	290	81.6

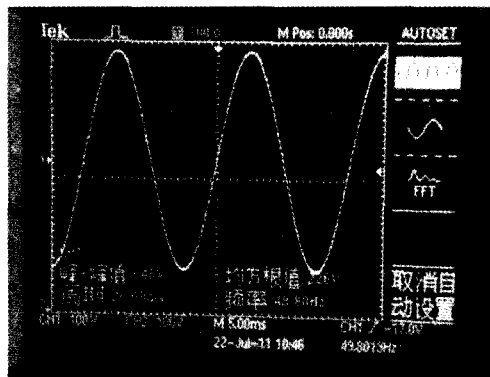


图 4 电源输出波形

7 结束语

文中利用芯片 KA3525 和新型集成芯片 TDS2285,外加外围辅助电路设计了一款 300W 的光伏逆变电源,实物如图 5 所示。整机完成安装后,对其实验验证测试,测试结果显示,在正常输入电压范围内,电源输出完美正弦波,异常情况下,各保护模块也能及时响应,完成系统保护功能,通过实验数据统计分析,该电源效率可达到 85% 以上,进一步说明,该电源具有稳定性好、安全可靠、效率值大等特点,在当前光伏系统大力推广的情况下,具有积极的社会效应和广阔的应用前景^[12]。

(下转第 186 页)

个类别旅客的特点并分别命名:

表 4 分类结果表

A	B	C	D	E	F	数目	Cluster
0	0	0	0	0	0	2291	1
0	0	0	0	0	1	681	1
0	0	1	0	0	0	4139	3
0	0	1	1	0	0	5703	2
0	1	1	0	0	0	764	3
1	0	0	1	0	0	28	1
1	0	1	0	0	1	8	3

Cluster1:VIP 旅客几乎全部属于此类,此类旅客大部分不是团队购票,且选择的是非经济舱。将其命名为:完全公务型旅客;

Cluster2:旅客大部分不是团队购票,选择经济舱,且在离港前三天以内订票。将其命名为:临时混合型旅客;

Cluster3:团队购票,选择经济舱,离港前三天以外订票。将其命名为:计划休闲型旅客。

4 结束语

文中将潜在类别模型应用到航空领域,对旅客进行了分类,并得出合理的解释。为以后研究航空旅客选择行为做好铺垫。由于订票数据比较难以获取,文中实验所用数据属性仍然不够丰富,在接下来的研究中希望能够获取更加准确丰富的订座信息,以研究民航旅客的选择行为分类及偏好。

参考文献:

[1] 陈 剑,肖勇波,刘晓玲,等.基于乘客选择行为的航空机

票控制模型研究[J].系统工程理论实践,2006,26(1):65-75.

- [2] 梅 虎,朱金福,汪 侠.我国航空旅客航班舱位选择行为研究[J].经济问题探索,2006(12):89-93.
- [3] 邱皓政.潜在类别模型的原理与技术[M].北京:教育科学出版社,2008.
- [4] Hagenaars J A, McCutcheon A L. Applied latent class analysis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- [5] 郭小玲,裴磊磊,张岩波.潜在类别模型及数据模拟分析[J].数理医药学杂志,2009,22(6):631-635.
- [6] 裴磊磊,郭小玲,张岩波,等.抑郁症患者单核苷酸多态性(SNPs)分布特征的潜在类别分析[J].中国卫生统计,2010(1):7-10.
- [7] 王春兰.航空公司收益管理中旅客舱位选择行为研究[D].南京:南京航空航天大学,2006.
- [8] 梅 虎.航空旅客选择行为及其在收益管理中的应用研究[D].南京:南京航空航天大学,2007.
- [9] 王 爽,赵 鹏.基于 Logit 模型的客运专线旅客选择行为分析[J].铁道学报,2009(3):6-10.
- [10] 梅 虎,朱金福,汪 侠.旅客航班选择模型研究:变精度粗集方法[J].管理评论,2007(3):27-32.
- [11] Carrier E. Modeling the Choice of an Airline Itinerary and Fare Product Using Booking and Seat Availability Data[D]. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 2008.
- [12] Vermunt J K, Magidson J. Technical Guide for Latent Gold Choice 4.0: Basic and Advanced[M]. Belmont, MA: Statistical Innovations Inc., 2005.
- [13] Muthen L K, Muthen B O. Mplus Statistical Analysis With Latent Variable User's Guide[M]. 5th ed. [s. l.]: [s. n.], 2008.

(上接第 181 页)

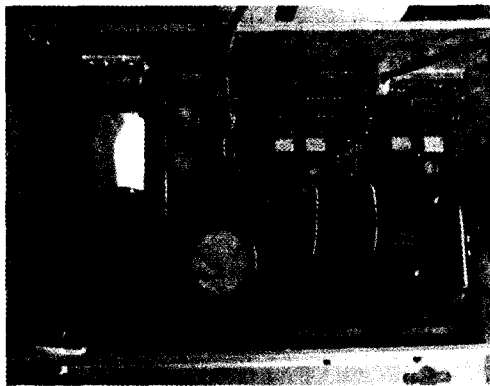


图 5 电源实物图

参考文献:

- [1] 李俊峰,王斯成.中国光伏发展报告[M].北京:中国环境科学出版社,2007.
- [2] Chen Wei, Shen Hui, Deng Youjun, et al. Application and Development of the Inverter in the Photovoltaic System[J]. Power Electronics, 2006, 40(4): 130-133.

- [3] 冯焱生.太阳能发电原理与应用[M].北京:人民邮电出版社,2007.
- [4] 陈道炼.DC/AC 逆变技术及其应用[M].北京:机械工业出版社,2003.
- [5] 马尼克达拉.精通开关电源设计[M].北京:人民邮电出版社,2008.
- [6] Pressman A I. Switching Power Supply Design[M]. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005.
- [7] 比林斯.开关电源手册[M].北京:人民邮电出版社,2006.
- [8] 刘君凤.现代逆变技术及应用[M].北京:电子工业出版社,2006.
- [9] 曹远跃.适用于独立光伏系统的正弦波逆变电源研制[J].机电技术,2008,31(4):69-72.
- [10] 范玲莉,邓 焰.基于 LM25037 的车载便携式 SPWM 逆变器设计[J].电子技术应用,2009,35(7):11-14.
- [11] Liu Shulin, Liu Jian, Chen Yongbing. Output Ripple Voltage of Boost Converter and Design of Its Minimal Inductance[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2007, 41(6): 709-716.
- [12] 张 跃,马永刚,李自立.家用小型光伏电源系统的设计及应用[J].太阳能,2007(1):26-28.