

一种光伏发电系统中辅助电源设计

闫福军, 梁永春

(电子科技大学, 四川 成都 611731)

摘要:针对在光伏发电系统中, 光伏电池输出超宽电压的特点, 设计了一种以 SG6840 高集成度“绿色模式”PWM 控制器芯片为核心的高频单端反激式开关稳压电源。利用三端稳压器 TL431 配合 SG6840 实现了对电源电压的控制和稳压输出, 并采用光电耦合器件 PC817 实现了输入/输出的隔离和反馈。这一款电压输入范围为 120~850 V, 输出电压为 24 V 的单端反激式开关电源, 为光伏发电系统中的逆变控制系统等提供了可靠的供电电压。实验测试结果表明, 所设计的电源具有优良的稳压性能, 而且电压纹波小、负载调整率和电压调整率低。目前该电路已作为辅助电源, 成功应用在一台光伏发电系统实验样机中。

关键词:光伏发电; 开关电源; 反激式; 高频变压器

中图分类号: TM615

文献标识码: A

文章编号: 1000-100X(2010)08-0014-03

Design and Realization of a Photovoltaic Auxiliary Power Supply

YAN Fu-jun, LIANG Yong-chun

(University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract: According to the characteristic of the wide voltage output of the photovoltaic cells in the photovoltaic power generation system, a switching power supply of single-ended flyback is designed based on high-integrated and green-mode PWM controller SG6840 chip as its core. The voltage control and stable output are realized by using three-terminal voltage regulator TL431 with the device SG6840, and the optical coupler PC817 is used to realize the input/output isolation and feedback. The power supply input voltage range from 120~850 V, and has a stable 24 V voltage output. So it can provide the right voltage for the control system of the photovoltaic electricity generating system. Test results show that the designed power supply has good voltage regulation performance, and it has low output voltage ripple, low load adjustment rate and low input voltage adjustment rate. Now this power supply is used in a photovoltaic power generation system.

Keywords: photovoltaic power generation; switching power supply; flyback; high-frequency transformer

1 引言

随着经济的飞速发展, 能源已被过度挖掘, 因此世界各国都在大力开发可再生能源。其中, 太阳能发电是发展最为迅速的一种绿色能源^[1]。在太阳能光伏发电系统中, 光伏电池的 I-V 特性随光照强度变化的幅度较大, 所以系统逆变器的控制电源应具备大范围直流电压变化情况下的稳定工作能力, 即应该有一个相当宽的工作电压范围, 这样在太阳光线很弱的情况下仍能保证逆变器控制系统的正常工作^[2]。在本设计中, 需要设计光伏发电系统辅助电源, 利用太阳能电池供电, 为太阳能光伏发电控制系统、驱动系统和各种采样电路等供电。

在该光伏发电系统中, 输入光伏电池电压为 120~850 V, 经过辅助电源变换后输出 +24 V 的稳定电压, 提供给各逆变控制系统。

2 光伏辅助电源具体设计

以 SG6840 为核心控制部件, 设计一款 DC120~850 V 输入, DC 24 V 输出的单端反激式开关稳压电

源。采用电压、电流双闭环控制系统, 变换器的幅频特性由双极点变成单极点, 因此, 增益带宽乘积得到了提高, 稳定幅度大, 具有良好的频率响应特性^[3]。主要的功能模块包括启动电路、过压及欠压保护电路、反馈电路、整流电路。

2.1 SG6840 控制电路设计

SG6840 是高集成度 PWM 控制电路, 有低待机功率和提供保护等许多特有的功能。SG6840 的低起启动电流和低工作电流的特点使其具有很高的转换效率。典型的起启动电流只有 30 μ A, 工作电流约 3 mA。在正常负载情况下, SG6840 产生一个固定的 PWM 工作频率, 当负载变为轻载时, 内部特有的“绿色模式”电路动作, 逐渐降低 PWM 的工作频率, 以响应负载的减少。这种“绿色模式”功能显著减少了开关电源在空载和轻载时的损耗, 以满足呼声日益高涨的节能要求。此外, 电路内部专门的同步斜率补偿电路则保证了电流环的稳定性; 内置的线电压补偿电路维持了宽输入线电压范围内输出功率的稳定; 外接的负温度系数电敏电阻 (NTC) 与 RT 连接, 用来感受电源的工作温度, 以便对过热情况进行保护^[4]。

太阳能电池电压范围较宽, 要求能工作在 120~850 V, 这里采用双管箝位变换器, 其优点是开关管

定稿日期: 2010-01-15

作者简介: 闫福军 (1978-), 男, 宁夏中卫人, 硕士研究生, 研究方向为电气自动化、开关电源及可靠性设计。

只需阻断电源电压,不像单管变换器那样阻断2倍或更高倍数的电源电压^[9],将电压从1.8 kV降到1 kV以下对功率 MOSFET 特别有利。图1示出基于SG6840的反激式开关电源原理图。直流高压电经过 $R_7, R_{10}, R_{11}, R_{14}$ 降压后加至SG6840的3脚,供芯片 U_1 启动瞬间用电, U_1 启动后便开始振荡,8脚输出PWM波驱动MOSFET,一旦开关功率管转入正常工作状态,自馈线圈上所建立的高频电压经 VD_7, C_8, C_9 整流滤波后,就作为芯片的工作电压。

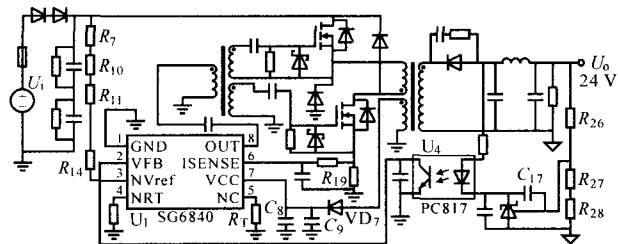


图1 电源电路原理图

由于反馈绕组与次级绕组之间的耦合关系,所以输出端的电压变化可通过反馈绕组反馈给 V_{cc} ,通过SG6840的内部比较,改变PWM的脉冲宽度,从而改变占空比输出,使输出电压保持不变。当然,若要精确地控制输出电压,则需次级反馈电路,该电源采用由集成电压基准TL431和光耦PC817组成的次级反馈电路, R_{26}, R_{27}, R_{28} 构成分压电路, C_{17} 为环路提供补偿。电流检测电压取自MOSFET源级上串联的测定电阻 R_{19} ,该脉冲直流电压积分后送入SG6840的6脚,当SENSE电压超过阈值(大约0.85 V)时,GATE的驱动信号将被停止输出以保护开关管。

2.2 高频变压器的参数设计

设计的目标是完成一个直流输入电压范围为120~850 V,输出电压 $U_o=24$ V、输出功率 $P_o=20$ W,效率 $\eta=80\%$,最大占空比 $D=0.45$,工作频率 $f=80$ kHz的开关稳压直流电源。

(1) 选择规格、尺寸合适的高频变压器磁芯

单端反激式开关电源中,高频变压器的设计计算是核心工作。反激式变压器不仅作为变压器使用,同时又作为储能电感,其设计方法与其他类型的变压器不同。高频变压器的磁芯一般用铁氧体制作成EE型或EI型,用这种结构绕制方便、耦合性好、漏感很小。设计电源频率为80 kHz,查变压器手册,选用高频低功耗电源铁氧体材料R2KBD,在25℃时其饱和磁感应强度 $B_s=510$ mT,100℃时 $B_s=400$ mT,考虑到变压器的效率和饱和磁感应强度会随温度的升高而有所下降等因素,为确保变压器在整个工作状态不出现饱和现象及减少铁心损耗,工作磁感应强度 B_w 不宜取得太大,一般取 $B_w=(1/3\sim 2/3)B_s$ 即可满足要求。该系统中取 $B_w=0.5B_s=225$ mT。采用面积法来计算铁心窗口面积并确定铁心型号。铁心窗口

面积 A_w 与磁芯有效截面积 A_e 的关系式为:

$$A_w A_e = \frac{P_i}{k_f k_a f_s B_w J} \quad (1)$$

式中: k_f 为波形系数,方波时为4; k_a 为窗口使用系数,通常取0.3; J 为电流密度,一般取 $J=4 \times 10^6$ A/m²。

因为工作频率 $f_s=100$ kHz, $B_w=225$ mT, $P_i=P_1+P_o=P/J\eta+P_o=45$ W,代入式(1)可得 $A_w A_e=0.052$ 1 cm⁴。

查铁心手册,可见EE22型铁心的 $A_w A_e=36 \times 19.5$ mm⁴=0.070 2 cm⁴>0.052 1 cm⁴,满足设计要求,故选用EE22型铁心。

(2) 计算初次级绕组匝数

初级绕组匝数 $N_p=U_i/(4f_s B_w A_e)=46.29$,取 $N_p=46$ 匝。次级输出电压 $U_o=24$ V,设输出二极管的管压降 $V_d=0.8$ V,次级绕组匝数 $N_s=(U_o+V_d)(1-D_{max})N_p/(U_{imin}D_{max})=11.62$,取 $N_s=12$ 匝。取SG6840的工作电压为16 V,则反馈绕组 $N_f=(16+0.8)N_s/(24+0.8)=8.13$,取 $N_f=8$ 匝,式中0.8 V为整流管的导通压降。

(3) 计算初级电感量 L_p

考虑到输入电压的波动范围很宽,即要求该单端反激开关电源在DC120~850 V范围内都能正常工作。初级绕组流过的峰值电流 $I_{pk}=2P/(U_{imin}D_{max}\eta)=0.926$ A。初级电感 $L_p=U_{imin}D_{max}/(I_{pk}f_s)=0.728$ mH。

(4) 计算变压器磁芯气隙

变压器选用由铁氧体R2KB材料制成的EE型磁芯,其所需气隙长度 $\delta=0.4\pi L_p I_{pk}^2/(A_e \Delta B^2 \times 10^{-8})$ 。由于 $B_w=225$ mT,查阅R2KB铁氧体磁性能表可知,其剩磁 $B_r=117$ mT,则工作磁感应强度变化值 $\Delta B=B_w-B_r=138$ mT,代入可得 $\delta=0.114$ mm。

2.3 电源输出保护电路设计

该电源设计用于太阳能发电时逆变器系统的控制电源,在120~850 V的范围能正常工作,但在低于120 V或高于850 V时应该切断输出,保护后续逆变电路不受损坏,为此设立过压和欠压的输出保护电路,如图2所示。

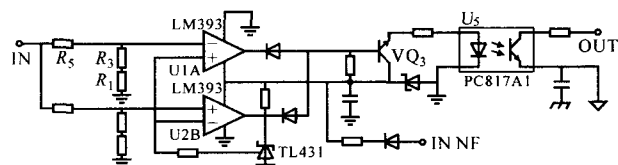


图2 保护电路原理图

LM393是输入电路的电压比较器,它与TL431配合使用形成对输入欠压和过压的保护。TL431的标准电压端 U_{ref} 与阴极连在一起,使输出电压 U_{ref} 也为2.5 V。当母线电压高于850 V时,U1A的反相端经过 R_1, R_3, R_5 分压后的输入电压高于同相输入端的2.5 V,U1A输出为低电平,使VQ3不能导通,电路没有输出,致使主电路输出端所接的MOSFET开关管不能导通,主电路输出被切断,保护后续的逆变电

路。同理,当母线电压低于120V时,U2B输出也为低电平,主电路输出被保护。只有在设计的电压范围内,比较器才输出高电平,保证主电路正常输出。

3 开关电源相关测试及结果

为检验该开关电源的性能,对电路进行了测试。输入电压为120~850V,输出电压为24V,额定输出电流为0.83A,采用UNI-T UT4102C 100MHz数字存储示波器观察其峰峰值,同时考虑示波器尽量远离开关电源,避免探头地线受到开关电源噪声影响。实验波形如图3所示。

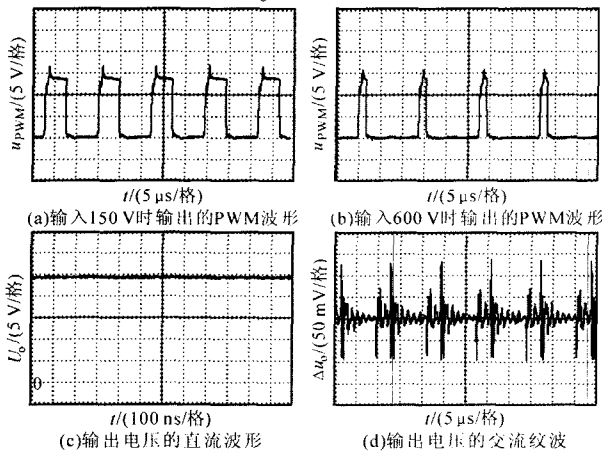


图3 实验波形

图3a,b为SG6840的8脚在输入电压为150V,600V时输出的PWM波形。开关频率为80kHz,要改变其频率只需调节SG6840振荡器的频率即可。

此驱动波形为交流波形,由于SG6840的输出波形是单极性的,而脉冲变压器不允许有直流成分存在,其后接一个隔直电容后再来驱动MOSFET,故开关管的驱动波形变为交流波形。随着输入电压升

高为600V时驱动MOSFET导通的脉宽变窄,使得输出电压稳定在恒定值。

图3c为输出电压等于24V的直流波形。开关电源的输出纹波电压通常用峰峰值来表示。图3d为输出电压为24V的交流纹波,可见纹波小于40mV,电压尖峰也小于150mV。从实验结果可知,在宽电压输入变化范围内输出电压稳定。

4 结论

根据基于SG6840电源控制芯片设计出一款电压输入范围120~850V,输出电压为24V的单端反激式开关电源,给光伏发电系统中的逆变控制系统等提供相应的电压,经测试各项参数满足应用要求。结果表明所设计的电源电路外围元器件少,稳压性能优良,纹波小,负载调整率、电压调整率以及输出电压准确度都较强,电源驱动能力满足需求,长时间工作稳定可靠。目前,该电路已经作为辅助电源,应用在光伏发电系统辅助电源实验样机中。

参考文献

- [1] 陈圣伦,金天均.光伏发电系统辅助电源设计[J].电力电子技术,2007,41(5):1-3.
- [2] 张宇翔.宽工作电压反激式变换器的设计[J].电力电子技术,2004,38(4):59-61.
- [3] 徐明,尹斌.基于UC3842的单端反激式开关稳压电源的设计与分析[J].河海大学常州分校学报,2005,19(3):45-48.
- [4] 陈永真,宁武,孟丽因.单管变换器及其应用[M].北京:机械工业出版社,2006.
- [5] 胡存生,胡鹏.集成开关电源的设计制作调试与维修[M].北京:人民邮电出版社,1995.

(上接第9页)制器由辅助电源供电。辅助电源供电期间,DSP将电网故障信息和APF运行状态写入EEPROM。逆变器控制器的辅助电源采用文献[1]设计的辅助电源。其供电时间可保证电网发生故障时DSP将电网故障信息和APF运行状态写入EEPROM。

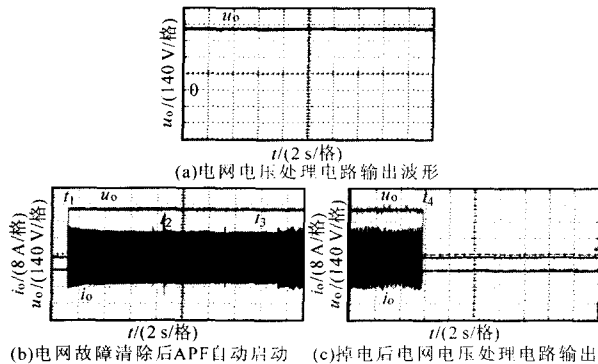


图4 实验波形

实验结果表明,在电网故障未导致并网逆变器设备损坏的情况下,采用该方案可以使并网逆变在

电网故障清除后完成自动重启。

5 结论

给出并网逆变器自动启动功能的技术要点。硬件上,需要保证并网逆变器能够检测到电网电压故障,并网逆变器切出电网时,控制器电源持续供电时间能够保证DSP将故障信息写入EEPROM;软件上,需要对检测到的电网电压故障进行分析和归类,并建立并网逆变器参数数据库。

参考文献

- [1] 张光新,杨耕.有源电力滤波器的电源系统设计[J].电力电子技术,2009,31(2):1-3.
- [2] GB/T 12325-2008:电能质量 供电电压偏差[S].2008.
- [3] 谭浩强.C语言程序设计[M].北京:清华大学出版社,2000.
- [4] TEXAS INSTRUMENTS.TMS320x2833x,2823x Inter-integrated Circuit (I2C) Module Reference Guide, <http://www.ti.com>, 2008.