

独立光伏智能控制系统的设计

设计了一种新型的独立光伏智能控制系统，该系统采用具有太阳能电池最大功率点跟踪（MPPT）功能的5A多类型电池充电管理集成芯片CN3722以最高的效率对磷酸铁锂电池进行充电。推挽式升压主电路对蓄电池电压进行升压变换，逆变部分采用自带死区控制的纯正弦波逆变发生器数字化芯片EG8010进行直流-交流功率变换。该系统使用较少的芯片、简单的电路实现了由太阳能转化为电能的过程，得到了高准确度、高可靠性，失真和谐波都很小的220 V/50 Hz纯正弦波。

黄 培/江苏建筑职业技术学院机电工程学院



黄 培/讲师

近年来，人们迫切希望应用节能环保的新技术来解决全球性的能源短缺和环境污染问题。最近，各大城市纷纷出台个人光伏发电出售给国家电网的文件。我国是太阳能资源大国，市场潜力非常大。而市场上用于光伏发电的控制器质量却不高，太阳能电池板对蓄电池充电效率低、电路复杂并且逆变均是方波或修正的正弦波输出，应用场合受到很大限制。而纯正弦波输出的逆变电源产品中，仍在推广工频变压器形式输出，该产品体积大且价格较贵。所以，围绕目前光伏发电系统的不足，重点研究了一款体积小、高性能和纯正弦波输出的独立光伏智能控制系统。

系统组成及工作原理

独立光伏智能控制系统主要由四大部分组成：太阳能电池板、充电器、蓄电池和逆变器（对于负载为交流负载）。

独立光伏智能控制系统的四大组成部分的工作过程为：太阳能电池板通过具有最大功率点跟踪（MPPT）功能的5A多类型电池充电管理集成芯片CN3722以最高的效率对磷酸铁锂电池进行充电，同时CN3722还具备输入低电压锁存、电池温度监测、电池端过电压保护和充电状态指示等功能。蓄电池利用三端稳压器件LM7812和LM7805分别输出直流电压+12 V和+5 V，供直流负载和其他芯片使用。蓄电池的12 V直流电经芯片TL494构成的推挽式升压电路进行升压，然后滤波、整流，输出320 V直流稳定电压。升压主电路变换后，逆变部分采用自带死区控制的数字化芯片EG8010产生正弦脉宽调制（SPWM）信号给IR2100驱动电路，驱动电压型单相桥式逆变电路进行DC-AC功率变换，最后经过输出滤波器给负载供电。EG8010对过电压、欠电压、过电流和过热进行保护，外接串口12832液晶显示模块显示逆变器的电压、频率、温度和电流等信息。系统工作框图如图1所示。

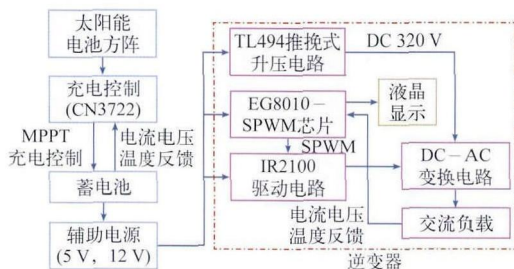


图1 系统工作框图

独立光伏智能控制系统的硬件实现

1. 充电部分设计

在独立光伏发电系统中，希望在

关键词/Keywords

光伏发电·
最大功率点跟踪·
逆变器·
单极性SPWM·

实用新型专利（ZL201120308109.3）。

光照强时能把太阳能电池多余的输出能量储存起来,以保证系统在光照弱时也能正常使用。本光伏发电系统采用的储能装置为磷酸铁锂电池,容量为12 V/50 A·H。其具有容量大、重量体积轻巧、寿命长、放电特性和绿色环保等优越性。综合考虑,性价比优于目前普遍采用的铅酸蓄电池。

决定磷酸铁锂电池的寿命的一个重要因素就是充电方法。一直以来,研究人员都在对磷酸铁锂电池的充电方法进行研究 with 改进。本系统采用恒流恒压充电法,此种充电方法的优点是恒流充电和恒压充电两种方法的结合。开始采用恒流充电,避免恒压充电刚开始时的充电电流过大容易造成电池损坏的缺点。然后采用恒压充电,避免了恒流充电后期导致的过充电现象和充电电流利用率降低很快的缺点。

CN3722组成的充电电路图如图2所示。当VCC管脚电压同时满足下面三个条件时：①大于低压锁存阈值；②大于电池电压；③不小于所设定的最大功率点电压。电池端的电压通过电阻 R_6 和 R_7 构成的电阻分压网络反馈到FB管脚，CN3722根据FB管脚的电压决定充电状态。如果电池电压低于所设置的恒压充电电压的66.7%时，充电器自动进入涓流充电模式，此时充电电流为所设置的恒流充电电流的15%。当电池电压大于所设置的恒压充电电压的66.7%时，充电器进入恒流充电模式，恒流充电电流由连接于CSP（充电电流检测正输入端）管脚和BAT（充电电流检测负输入端）管

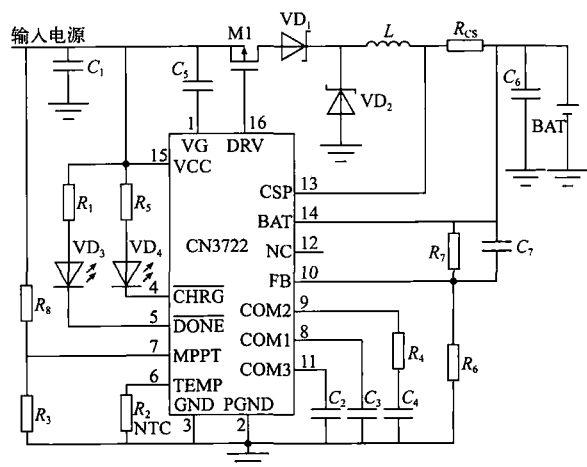


图2 CN3722充电电路图

脚之间的电流检测电阻 R_{CS} 设置。当电池电压继续上升接近恒压充电电压时，充电器进入恒压充电模式，充电电流逐渐减小；当充电电流减小到所设置的恒流充电电流的9.5%时，进入充电结束状态，此时充电电流为零。

CN3722采用恒电压法跟踪太阳能电池最大功率点, 所谓“最大功率点跟踪”(Maximum Power Point Tracking, MPPT), 就是实时侦测太阳能板的发电电压, 并追踪最高电压电流值, 使系统以最大功率输出对蓄电池充电。最大功率点电压通过两个电阻 R_8 、 R_3 分压后送到MPPT管脚, 在最大功率点跟踪状态, MPPT管脚电压被调制在1.04 V, 而且MPPT管脚调制电压具有 $-0.4\%/^{\circ}\text{C}$ 的温度系数, 同太阳能电池最大功率点电压的温度系数非常吻合。芯片内部的低电压锁存电路监测输入电压, 当输入电压低于6 V(典型值)时, 内部电路被关断, 充电器不工作^[1]。

当输入电压掉电时，CN3722自动进入睡眠模式，内部电路被关断，这样可以减少电池的电流消耗，延长待机时间。

为了监测电池温度，需要在TEMP管脚和GND管脚之间连接一个10 kΩ的负温度系数的热敏电阻 R_2 。如果电池温度超出正常范围，充电过程将被暂停，直到电池温度回复到正常温度范围内。CN3722内部还有一个过电压比较器，当BAT管脚电压由于负载变化或者突然移走电池等原因而上升时，如果BAT管脚电压上升到恒压充电电压的1.08倍时，过电压比较器动作，关断片外的P沟道MOS场效应晶体管，充电器暂时停止，直到BAT管脚电压回复到恒压充电电压以下。

CN3722有两个状态指示管脚，即 $\overline{\text{CHRG}}$ （充电状态指示管脚）和 $\overline{\text{DONE}}$ （充电结束指示管脚）。COM1、COM2和COM3为回路补偿输入端。

2. 推挽式升压电路设计

直流变换电路结构如图3所示, TL494外围电路图如图4所示。VT1和VT2的基极分别接TL494的两个内置晶体管的发射极E2 (引脚10)、E1 (引脚9)。中心器件变压器T1, 实现电压由12 V脉冲电压转变为320 V脉冲电压。此脉冲电压经过

整流滤波电路变成320 V高压直流电压。变压器T1的工作频率选为50 kHz左右。电路正常时, TL494的两个内置晶体管交替导通, 导致图中晶体管VT1、VT2的基极也因此而交替导通, VT3和VT4也交替导通, 这样使变压器工作在推挽状态, VT3和VT4以频率为50 kHz交替导通, 使变压器的一次输入端有50 kHz的交流电。极性电容 C_3 滤去12 V直流中的交流成分, 降低输入干扰。滤波电容 C_1 可取为2 200 μF 。整流滤波电路由四只整流二极管和一个滤波电容组成。四只整流二极管 $\text{VD}_3 \sim \text{VD}_6$ 接成电桥的形式, 称单相桥式整流电路。在桥式整流电路中, 电容 C_4 滤去了电路中的交流成分, 此处滤波取值为10 μF 。

图4中, 15引脚为芯片TL494的反相输入端,

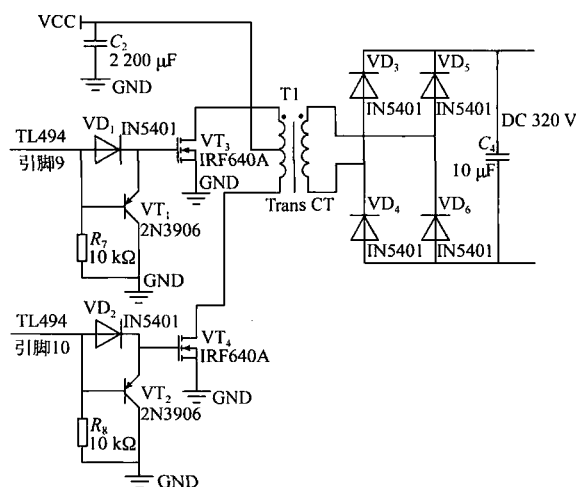


图3 直流变换电路图

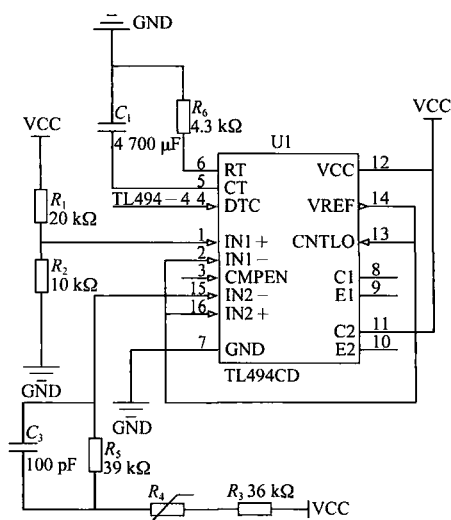


图4 TL494外围电路图

16为同相输入端, 电路正常情况下15引脚电压应略高于16引脚电压才能保证误差比较器的输出为低电平, 才能使芯片内两个三极管正常工作。因为芯片内置5 V基准电压源, 负载能力为10 mA。所以15脚电压应高于5 V。过热保护的 R_4 为200 Ω , 则15引脚的电压为6.22 V大于16引脚电压。14引脚输出基准电压, 因为推挽电路为双端输出, 故将输出控制端13引脚与14引脚连在一起。12引脚为电源端, 接外部12 V电压。8、11引脚末级三极管集电极, 此处亦接外接电源。9、10引脚用于输出50 kHz的脉冲控制开关管。7引脚为接地端, 5、6引脚外接振荡电阻和电容用于控制输出脉冲频率。4引脚为死区控制端其上加0~3.3 V电压时, 可使截止时间从2%线性变化到100%, 本设计中用于实现输入的过电压保护和欠电压保护。

3. 逆变电路设计

逆变部分的设计思路见图1, 由四个部分组成: 逆变驱动部分、DC-AC变换部分、反馈部分和液晶显示部分。

(1) 逆变驱动电路

单相纯正弦波逆变器的驱动电路采用单相纯正弦波逆变器专用芯片EG8010作为控制芯片, 驱动芯片采用IR2110。EG8010的OSC1、OSC2引脚外接12 MHz晶体振荡器, 能实现高准确度、失真和谐波都很小的50 Hz或60 Hz纯正弦波。该芯片内部集成SPWM 正弦发生器、死区时间控制电路、幅度因子乘法器、软起动电路、保护电路、LED告警显示功能、风扇控制功能、RS 232串行通信接口和12832 串行液晶驱动模块等功能。EG8010引脚定义如图5所示。

EG8010 芯片的引脚PWMTYP 是设置PWM 输出类型, PWMTYP 为“0”是正极性PWM 类型输出应用于死区电平为同时低电平场合。EG8010芯片引脚SPWMOUT1、SPWMOUT2、SPWMOUT3和SPWMOUT4分别产生四组SPWM驱动两片IR2110, 分别接到其逻辑高端输入(HIN)、逻辑低端输入(LIN)引脚, IR2100驱动电路如图6所示。其中引脚LO和引脚HO交替输出高低电平, 通过电阻后驱动四个场效应管 V_1 、 V_2 、 V_3 和 V_4 交

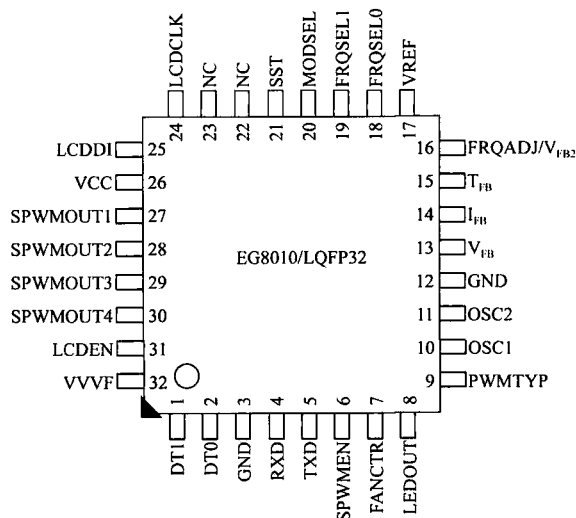


图5 EG8010引脚定义

替导通, IR2110驱动全桥电路如图7所示。图6中 C_2 , VD_2 分别为自举电容和自举二极管, C_6 为VCC的滤波电容。假定HO引脚输出低电平期间, C_2 已经充到足够的电压 $V_{C1} \approx V_{CC}$ 。当HIN为高电平时: C_2 放电, 这时 C_2 就相当于一个电压源, 从而使 V_1 导通。由于LIN与HIN是一对互补输入信号, 所以此时LIN为低电平, 这时聚集在 V_1 栅极和源极

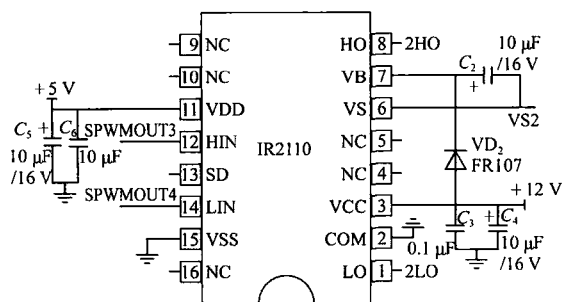


图6 IR2100驱动电路

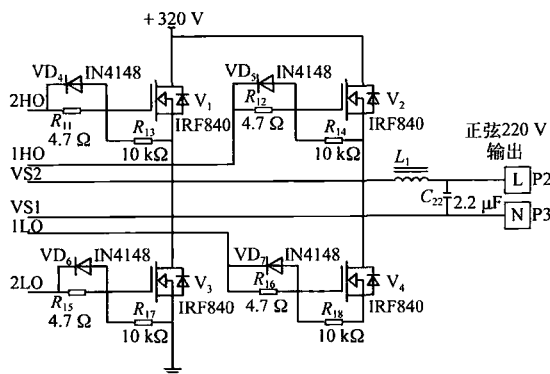


图7 DC-AC全桥逆变电路

的电荷在芯片内部迅速对地放电，由于死区时间影响使 V_3 在 V_1 导通之前迅速关断。当HIN为低电平时：这时聚集在 V_1 栅极和源极的电荷在芯片内部迅速放电使 V_1 关断。经过短暂的死区时间LIN为高电平，使 V_2 导通。在此同时VCC经自举二极管迅速为 C_2 补充能量，如此循环反复。

(2) DC-AC变换电路

DC-AC变换电路, 采用全桥逆变方式(见图7), 功率开关管(IRF840) V_1 、 V_3 和 V_2 、 V_4 反相, V_1 和 V_2 相位互差 180° , 调节 V_1 和 V_2 的输出脉冲宽度, 输出交流电压的有效值即随之改变。由DC产生AC从而输出正弦波, 产生220 V/50 Hz的交流电压。由于该电路具有能使 V_3 和 V_4 共同导通的功能, 因而具有续流回路, 即使对感性负载, 输出电压波形也不会产生畸变。

(3) 反馈电路

1) 输出电压反馈。EG8010芯片的电压反馈处理是通过VFB引脚测量逆变器输出的交流电压，电压取样反馈电路需要接在SPWM调制桥臂电感的输出端，电路结构如图8所示。测量反馈的峰值电压和内部基准正弦波峰值电压3 V进行误差计算，对输出电压值作出相应调整，当输出电压升高时，该引脚电压也随之升高，经内部电路误差值计算后调整幅度因子乘法器系数，实现降低输出电压达到稳压过程；反之，当该引脚的电压降低时，芯片会作出升高输出电压。

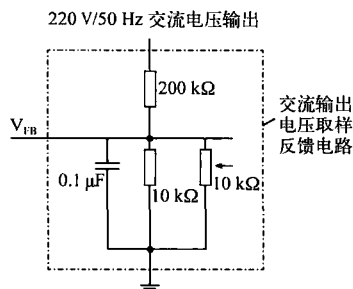


图8 EG8010输出电压反馈电路

2) 输出电流反馈。通过100 k Ω 电阻将输出的220 V交流的电
流反馈到EG8010的IFB引脚, 该引脚内部的基准峰值电压为0.5 V, 过
电流检测延时时间600 ms, 当某种原因导致负载电流超出逆变器的
负载电流, EG8010根据引脚PWMTYP的设置

状态将输出SPWMOUT1~SPWMOUT4到“0”或“1”电平,关闭所有功率MOSFET,使输出电压到低电平,主要保护功率MOSFET和负载。一旦进入过电流保护后,EG8010将在16 s后释放,重新打开功率MOSFET管再判断负载过电流情况,释放打开功率MOS管的持续时间是100 ms,释放的100 ms时间里再判断过电流事件。如果仍存在过电流事件,EG8010将关闭所有功率MOSFET使输出电压到低电平,重新等待16 s的释放,如果释放后正常运行达到1 min以上,EG8010将清除过电流事件次数,否则连续释放次数累计五次后仍存在未正常运行EG8010将彻底关断SPWM模块的输出,需要系统重新上电后释放。

3) 温度检测反馈。EG8010芯片的引脚TFB是测量逆变器的工作温度,用于过温保护检测,温度检测电路如图9所示。NTC热敏电阻 R_{T1} 和测量电阻 R_{F1} 组成一个简单的分压电路,分压值随着温度值变化而变化。这个电压的大小将反映出NTC电阻的大小从而得到相应的温度值。NTC选用25℃对应阻值10 k Ω (B常数值为3 380)的热敏电阻,TFB引脚的过温电压设定在4.3 V,当发生过温保护时,EG8010根据引脚PWMTYP的设置状态将输出PWMOUT1~SPWMOUT4到“0”或“1”电平,关闭所有功率MOSFET使输出电压到低电平。一旦进入过温保护后,EG8010将重新判断工作温度,如果TFB引脚的电压低于4.0 V,EG8010将退出过温保护,逆变器正常工作。

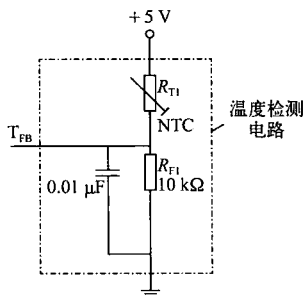


图9 EG8010温度检测电路

(4) 液晶显示电路

EG8010支持三线式串行接口12832液晶显示模块,该功能实现显示逆变器的电压、频率、温度

和电流等信息给用户观察。EG8010引脚LCDCLK为串口12832液晶显示模块时钟输出端,LCD DI为串口12832液晶显示模块指令、数据输出端,LCDEN为串口12832液晶显示模块使能端输出。

(5) 死区时间设置

EG8010芯片的引脚DT1,DT0是控制死区时间,可以设置四种死区时间,“00”是300 ns死区时间,“01”是500 ns死区时间,“10”是1 μ s死区时间,“11”是1.5 μ s死区时间。死区时间控制是功率MOS管的重要参数之一,如果无死区时间或死区时间太小会导致上下功率MOS管同时导通而烧毁MOS管现象,如果死区时间太大会导致波形失真及功率管发热严重现象。

(6) 频率设定

EG8010频率模式分为固定频率模式和可调频率模式,可调频率模式下EG8010仅采用了单极性调制方式,即可调频率模式下需将引脚MODSEL接低电平^[4]。频率模式通过引脚FRQSEL1,FRQSEL0设定,固定频率模式为“00”是输出50 Hz频率,“01”是输出60 Hz频率。

(7) 报警输出显示

EG8010引脚LEDOUT外接LED为报警输出,当故障发生时输出低电平“0”点亮LED。LED指示情况为:长亮代表正常;闪烁2下,灭2 s,一直循环代表过电流;闪烁3下,灭2 s,一直循环代表过电压;闪烁4下,灭2 s,一直循环代表欠电压。

结束语

该系统实现了以最大功率点对蓄电池进行充电,并且对蓄电池进行输入低电压锁存,温度监测,过电压保护和充电状态指示。逆变器部分实现了用串口液晶屏显示逆变器的电压、频率、温度和电流,同时对逆变器输出过电压、欠电压、过电流和过热进行保护。该设计使用较少的芯片、简单的电路实现了把太阳能转化为电能的过程,得到了高准确度、高可靠性,失真和谐波都很小的220 V/50 Hz纯正弦波。

(收稿日期:2014-11-12) EA