

· 电路与控制 ·

基于MSP430单片机的光伏逆变器设计

刘永民, 崔福洪, 陈 庚

(东北电子技术研究所, 辽宁 锦州 121000)

摘要:光伏发电是一种清洁、经济、充足、安全的能源。基于MSP430的光伏发电逆变器是专门为用于光伏发电设计的,它针对太阳光照的不稳定性,加入了各种保护电路以及反馈控制电路,通过最大功率点跟踪实现了太阳能利用的高效性,最后经过逆变电路和整流滤波电路输出220 V的稳定电压。介绍了主控芯片MSP430F149的特点,给出了系统设计的软硬件结构。

关键词:太阳能;MSP430F149;光伏逆变器;最大功率点跟踪

中图分类号:TN710.6

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2013)-01-0066-05

Design of Photovoltaic Inverter Based on MSP 430 Single Chip Micryoco

LIU Yong-min, CUI Fu-hong, CHEN Geng

(Northeast Research Institute of Electronics Technology, Jinzhou 121000, China)

Abstract: Photovoltaic energy is a clean, economic, sufficient and safe energy. The photovoltaic energy generation inverter based on MSP430 is specially designed for photovoltaic energy generation. According to instability of sun illumination, protecting circuits and feedback control circuits are added. By tracking the maximum power point, solar energy is exploited efficiently. After being processed by inverting circuits, commutating and filtering circuits, a stable voltage of 220 V is output. Characteristics of master control chip MSP430F149 are introduced. Software and hardware structures for system design are given.

Key words: solar energy; MSP430F149; photovoltaic inverter; maximum power point tracking

严重的能源危机、环境污染迫使人们去寻找替代能源,以太阳能风能等为代表的可再生能源,随着技术的成熟,其发展得到全世界关注。太阳能作为取之不尽、用之不竭的可再生能源,给世界带来新的希望,尤其是当前强调大力发展“低碳经济”,光伏产业将在其中起到重大贡献^[1]。

一般的光伏逆变器往往是选用模拟数字电路或专用IC实现控制,功能相对单一;其参数是针对某一具体对象而设定,通用性、灵活性不强。与其相比,本系统选用抗干扰能力极强的MSP430单片机作为控制核心,通过编程可以根据不同参数对象,选择最优化的控制算法,实现电流逆变的智能化控制。系统具有较强的灵活性、自适应性,同时,无需改变硬件,只需升级软件,就能提高产品性能,具有较高的

性价比。

1 原理框图与结构

TI公司的MSP430F149是一款16位超低功耗的单片机,具有RISC结构,拥有强大的运算处理能力,一个时钟周期可以执行一条指令,在8 MHz晶振时,指令速度可达8 MIPS,最高可工作在12 MHz;有丰富的片内外设,片内集成了数字控制振荡器DCO,在系统启动或外部晶振出现故障时,时钟源自动切换到DCO,还集成了看门狗定时器和JTAG调试接口;具有方便灵活的开发环境,应用前景非常广泛^[2]。

基于MSP430F149单片机的光伏逆变器主要包括太阳电池板、蓄电池、电流逆变模块、充电模块、

MSP430F149控制模块、显示模块、人机交互等组成。组成框图如图1所示,其中逆变器^[3]是光伏系统中重要的器件之一,其可靠性和转换效率对推行光伏系统、降低系统造价至关重要。

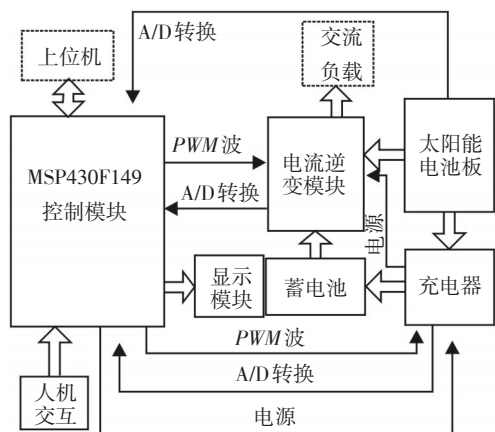


图1 光伏逆变器组成框图

光伏逆变器的结构主要包含一次回路和二次回路两部分,其中一次回路由输入滤波电路、Cuk斩波电路、逆变器前级电路、逆变器后级电路和输出滤波电路等组成,二次回路由MSP430F149控制器电路、信号检测电路和上位机通讯电路组成。下面就光伏逆变器的硬件主电路和控制策略进行设计。

目前,常用的离网型逆变电路主要有三种拓扑结构:工频隔离单级逆变器、高频隔离两级逆变器和无隔离两级逆变器。经理论计算和实践验证,使用一种更适合用在光伏发电系统中的电路拓扑结构:高频隔离两级逆变器,如图2所示。

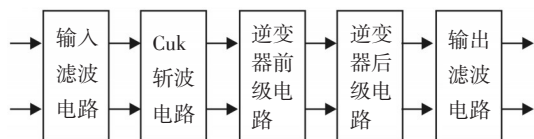


图2 光伏逆变器拓扑结构

通过输入滤波电路对光伏太阳能输入的直流电进行滤波处理,然后通过Cuk斩波电路实现最大功率点跟踪,利用逆变器前级电路进行稳压和升压,利用逆变后级电路进行逆变处理,输出SPWM波,最后经过LC低通滤波器进行滤波,输出50 Hz频率的正弦波。

2 硬件设计

2.1 输入滤波电路

输入滤波电路是由滤波电容组成,用来减小输

入端电压的脉动,假设变换器传输最大功率为 P_{max} ,由输入输出功率相等可得出一个周期内输入滤波电容所提供的能量约为

$$W_{in} = \frac{P_{max}}{\eta f_r} \quad (1)$$

式中, η 为变换器的效率, f_r 为IGBT开关器件的工作频率。将 $P_{max} = 3 \text{ kW}$, $\eta = 0.95$, $f_r = 18 \text{ kHz}$ 代入式(1)可得 $W_{in} \approx 0.175 \text{ J}$,每半个周期输入滤波电容所提供的能量为

$$\frac{W_{in}}{2} = 2CV_{inmin}\Delta V_{inmin} \quad (2)$$

式中, V_{inmin} 为最小输入直流电压; ΔV_{inmin} 一般取1% V_{inmin} ,本设计中 $V_{inmin} = 19.2 \text{ V}$,代入式中可得到 $C = 5984 \mu\text{F}$,滤波电容选用铝电解电容,为减小电容的等效串联电阻,选用6个1000 μF 电解电容并联实现,电解电容的高频特性不好,设计中在每一个电解电容旁并联6 μF 的CBB高频电容加以改善。

2.2 Cuk电路

Cuk电路如图3所示,其中, V 为全控型的功率器件IGBT,Cuk电路是一种输出电压低于或高于输入电压的非隔离直流变换电路,当太阳能电池板的输出功率变化时,通过PWM控制功率开关器件 V 的导通比 D ,使输出电压稳定在最大功率点,保证输出能量的利用最大化。Cuk电路同时还能使输入电源电流和输出负载电流连续,且脉动很小,有利于对输入、输出进行滤波。

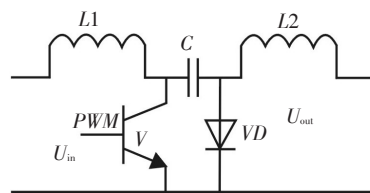


图3 Cuk电路

在一个开关周期中,电感电流的变化(纹波电流峰峰值)与电感两端电压的关系为

$$V = \frac{L \times di}{dt} \quad (3)$$

式中, V 为电感电压, $dt = D/F$, F 为开关频率, D 为IGBT的占空比, di 为电流纹波,纹波电流一般设定为最大输出电流的10%~30%,而流过电感的电流峰值比电源输出电流大5%~15%。由此可根据不同的数据得到合适的电感值。

在电感电流连续的模式下,需要的电容值为

$$C = \frac{I_0 D}{f \Delta U_0} \quad (4)$$

式中, D 为占空比, I_0 为输出电流, f 为开关频率, $\Delta U_0 = 0.08 U_0$

2.3 逆变器前级电路

逆变器前级电路主要包括 Boost 电路和推挽隔离升压电路。Boost 电路是一种输出电压等于或高于输入电压的非隔离直流变换电路,当输入电压在允许范围波动时,通过控制功率开关器件 Q 的导通比 D ,使输出电压保持稳定^[4]。如图 4 所示。

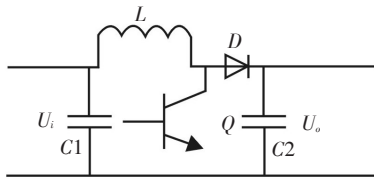


图 4 Boost 电路

根据 Boost 电路中电感电流是否连续可以分为电感电流连续、电感电流断续和电感电流临界连续三种工作模式。当工作于临界工作模式时,电感的取值满足式(5)。

$$L = \frac{U_i^2 (U_0 - U_i) T}{2 U_0 P} \quad (5)$$

当输出功率等于 3 kW 时,计算得 $L=34 \mu\text{H}$,当工作在电感电流连续模式下时,输出电压纹波较小,电容充放电电流的变化率也较小,具有很好的电能输出质量,设计中选取 $P=100 \text{ W}$ 时所对应的临界电感值 $L=1 \text{ mH}$ 。电感电流连续模式下,需要的电容值为

$$C = \frac{U_0 D T}{R \Delta U_0} = \frac{I_0 D T}{\Delta U_0} \quad (6)$$

Boost 变换器需要将直流电压稳定到 48 V,纹波电压为直流电压的 5%,即为 0.24 V,占空比 D 选取值为 0.75,代入式(6)求得电容值为 5 156 μF ,考虑到一定裕量,选取 6 个并联的 900 μF 的电解电容。

经过稳压后的直流电通过推挽升压后,经整流产生 270 V 的高压直流电,为逆变器后级电路提供稳定的输入。

2.4 驱动电路

对于 IGBT 来说,只要驱动电路在栅极和发射极间提供正偏电压,IGBT 就会导通^[11]。当 +VGE 增加

时,开通时间和通态压降减小,这有利于减小通态损耗和开通损耗,但并不意味着 +VGE 越大越好。当负载短路时,短路电流将随着 +VGE 的增大而增大,并使 IGBT 承受短路电流的时间变短,因此 +VGE 的取值要适当,通常推荐使用 +15 V。为了保证 IGBT 承受短路电流的时间变短,也为了保证 IGBT 在 C, E 间出现 dv/dt 噪声时能可靠关断,必须在栅极与发射极关断时施加一个负偏压 -VGE^[5]。采用负偏压还可以减小关断损耗。负偏压 -VGE 一般取 -5 V 左右为宜。另外,为了使 IGBT 工作在理想状态下,选择合适的驱动电路尤为重要^[6-8]。

文中选用了美国 IR 公司生产的 IGBT 的驱动器 IR2110 构成了逆变器的驱动电路。如图 5 所示。

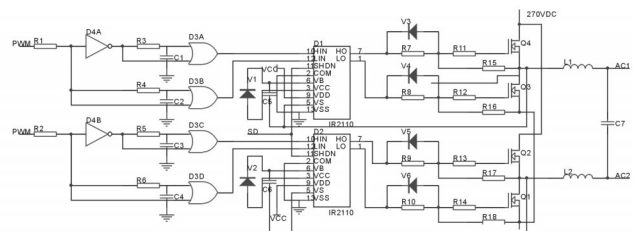


图 5 驱动电路

2.5 保护电路

保护电路是保证电源系统稳定、可靠、安全工作的关键。根据实际需要,设计了许多保护电路,使得逆变电源能更好地完成任务,并提高电源的安全性和可靠性。系统设计了过流保护、欠压保护、温度保护,以及输出过压保护反馈,一旦出现上述任意异常状况,首先通过硬件保护电路迅速封锁 MSP430 的 PWM 输出信号,同时,引起 MSP430 功率驱动保护中断输入引脚上的电平跳变,程序执行相应中断,并进一步在软件中断程序中封锁所有的驱动信号。系统中设定过载/过流保护和短路保护为不可自恢复的保护,即一旦发生过载、过流或者短路现象,系统将自动关闭,无输出,直到人为地重新启动开关为止。系统中设定的过热保护、欠压保护、过压保护为可自恢复的保护,即一旦发生故障,只要恢复正常的工作条件,系统就可以自动正常运行。

2.6 最大功率点控制

通常的光伏阵列输出都具有非线性特征,且其输出要受光照强度、环境温度和负载情况的影响。在一定的光照强度和环境温度下,光伏电池可以工

作在不同的输出电压,但是只有在某一输出电压值时,光伏电池的输出功率才能达到最大值,这时光伏电池的工作点才能达到输出功率电压曲线的最高点,称之为最大功率点(maximum power point, MPP)。因此,在光伏发电系统中,要提高系统的整体效率,一个重要的途径就是实时调整光伏电池的工作点,以使其始终工作在最大功率点附近,这一过程称之为最大功率点跟踪(maximum power point tracking, MPPT)。

一般的光伏阵列的输出功率特性($P-U$)曲线^[9]如图6所示。

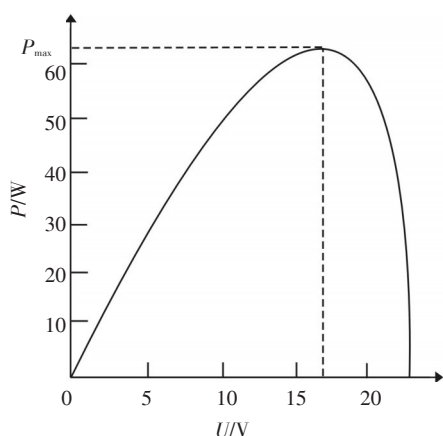


图6 光伏阵列输出功率特性

由图可知,该 $P-U$ 曲线为单凸峰形曲线,当光伏阵列的工作电压 U 为 U_m 时,光伏阵列的输出功率 P 为最大功率值 P_m ,该点即为曲线的最大功率点。

扰动法是一种常见的实现MPPT的方法。其工作原理为先测量当前阵列输出功率,然后在原输出电压上增加一个小电压分量扰动,使其输出功率发生改变,再测量改变后的功率,比较改变前后功率的大小,即可知道功率变化的方向。如果功率增大,就继续使用原扰动;如果减小,则改变原扰动方向。

扰动观测法的优点是控制方法简单,易于实现。缺点是稳态时只能在最大功率点附近振荡运行;跟踪步长对跟踪精度和相应速度无法兼顾(步长较小时响应速度慢,步长较大时跟踪精度低)。这种方法由于本身算法的不严谨,在日照急剧变化时容易产生误判断。

增量电导法(incremental conductance, IncCond)则能够判断出工作点电压与最大功率点电压之间的关系。通过光伏阵列的 $P-U$ 曲线可知,其最大值 P_{max} 处的斜率为零,当输出电导的变化量等于输出电导

的负值时,光伏阵列将工作在最大功率点。增量电导法的最大优点是当外界日照强度发生迅速变化时,其输出端电压能以平稳的方式追随其变化,从而保证最大功率的输出。但是,这种控制算法实现起来相对复杂,而且检测精度和速度在一定程度上会影响跟踪的精度和速度,同时,电压增量步长的选取也比较讲究,若步长太大,则跟踪的误差会比较大,若步长较小,则跟踪的速度就会比较慢。

针对以上缺点,可对以上两种算法结合起来进行改进^[10]。由于光伏阵列的最大功率点近似为开路电压的0.78倍。所以,在系统运行之前,首先应检测太阳能电池板的开路电压,然后将电压调整为开路电压的0.78倍,使运行点快速调整到最大功率点附近。然后对系统采用增量电导法来判断 dp/du 的符号,确定电压的增减方向,并采样此时的电压电流计算出功率,再给电压一变化量 ΔV 。若把 P 和 V 变化量的比(即 $\Delta P/\Delta V$)的倍数 α ($\Delta P/\Delta V$)作为占空比变化量的步长,那么,在采样时间很短的情况下,就可以把 $\Delta P/\Delta V$ 看做 $P-V$ 曲线上各个工作点的斜率。在离最大功率点较远的地方,斜率较大,则 $\Delta P/\Delta V$ 也较大,这样就可以实现大步长改变,靠近最大功率点时,斜率几乎为零,即 $\Delta P/\Delta V$ 很小,这样就可最大功率点附近实现很小的振荡。在 $\Delta P/\Delta V$ 小到一定值时,就可以利用扰动法来更精确地寻找最大功率点。其算法流程图如图7所示。

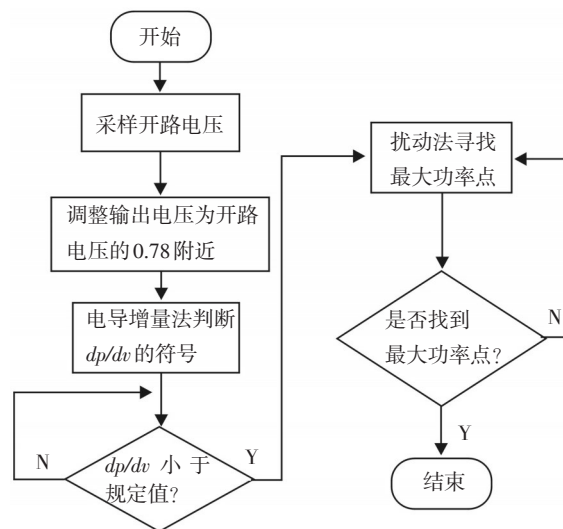


图7 最大功率点算法流程图

2.7 闭环反馈控制

MSP430实时检测输出输入的电压、电流值,反馈

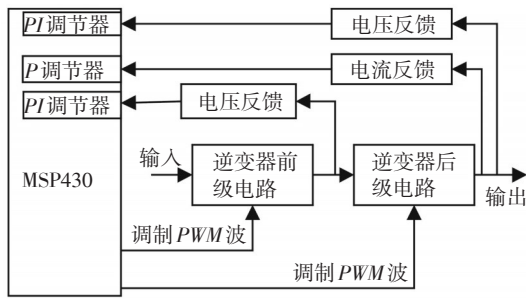


图8 闭环反馈控制图

到MSP430内部,经PI或P调节后改变相关寄存器参数,控制驱动脉冲的波形,实现实时闭环控制^[7],系统的控制框图如图8所示,系统采用二个闭环反馈调节,根据反馈信号的不同,实时调节输出,使输出稳定。

3 软件设计

通过对MSP430编程来控制整个系统工作。通过系统初始化子程序对各个参数、寄存器等设定。对主电路的控制,逆变输出50 Hz交流电。编程

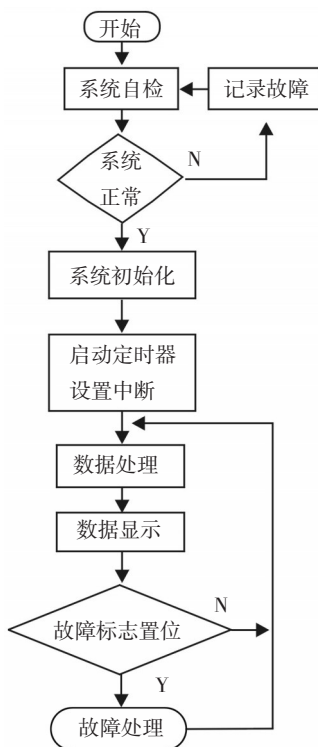


图9 主程序流程图

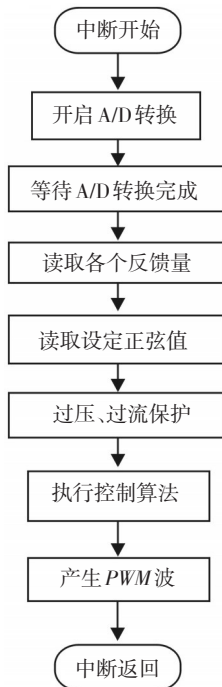


图10 中断程序流程图

采用顺序结构,使调用子程序方便。在整个工作过程中,能随时对电流、电压进行测量比较,一旦出现欠压、过流等故障,将及时报警,并产生保护性动作,同时在LED屏上显示。主程序及中断子程序如图9、图10所示。

4 结束语

给出了一种基于MSP430F149的3 kW光伏逆变器硬件结构和软件流程。提出了光伏逆变器的拓扑结构以及各部分硬件设计方案,并给出部分硬件电路的关键器件的计算公式。根据系统的功能特点给出了保护电路设计和环控设计。对最大功率点跟踪的硬件解决方案和软件设计进行了详细描述。试验证明,该设计切实可行,同时对更大功率的逆变器设计具有良好的借鉴作用。

参考文献

- [1] 李永杰.太阳能路灯系统的优化配置[J]. 光电技术应用, 2010, 25(1):19-20.
- [2] 洪利,章扬,李世宝.MSP430单片机原理与应用实例详解[M]. 北京:航空航天大学出版社,2010:40-42.
- [3] 曲学基,曲敬锐,于明扬. IGBT及其集成控制器在电力电子装置中的应用[M]. 北京:电子工业出版社,2010:152-156.
- [4] 闫绍敏,张明华.基于DSP技术的5 kW 离网型光伏逆变器设计[J]. 电子技术, 2011, 98(4):63-65.
- [5] 陈海燕,刘喜办,高智宇.基于DSP的风力发电逆变电源的研究[J]. 现代电子技术, 2011:57-59.
- [6] 吴志红,游韬,朱元,等.IGBT构成的交流传动逆变器的设计[J]. 电子元器件应用, 2011, 13(3):14-16.
- [7] 宋伟,曹太强,刘兴民,等.采用电感电流内环的单相逆变器设计[J]. 设计参考, 2010, 12(10):73-75.
- [8] 黄星星,蒋友成.高频条件下IGBT驱动电路的设计与仿真[J]. 电子元器件应用, 2011, 13(2):38-39.
- [9] 王伟栋,温志开.光伏阵列的Matlab仿真研究[J]. 技术平台, 2010, 12(9):89-90.
- [10] 宋振灿,邹继军.嵌入式太阳能充电系统的设计[J]. 设计参考, 2010, 12(4):63-65.
- [11] 张月梅,黄建国,张羽丰,等.影响IGBT驱动电路性能参数的因素分析[J]. 电子元器件应用, 2010, 12(12):88-89.