

基于TMS320F28335的光伏 电池模拟器设计

宫鑫¹, 宋稳力²

(1. 北京理工大学珠海学院信息科学与技术学院, 广东 珠海 519085;

2. ZTE中兴通讯公司, 广东 深圳 518057)

摘要: 提出了一种基于DSP控制的数字式光伏电池模拟器的设计方法, 这种模拟器可在太阳能电池阵列容量一定时, 通过高性能控制芯片TMS320F28335来完成对系统数据的采集、分析、处理和实时控制, 实验表明, 该模拟器可以完整复现太阳能电池阵列的I-V特性。

关键词: TMS320F28335; 数字式光伏电池模拟器; 太阳能电池阵列

0 引言

太阳能光伏发电系统的研究迫切需要太阳能电池光伏阵列模拟器。采用真实的太阳能电池阵列进行系统实验研究, 不仅成本高, 而且强烈受制于日射强度、环境温度等自然条件, 因此, 很难达到预期的试验与测量效果。而采用太阳能电池模拟器来模拟光伏输出特性的试验装置, 不仅可以降低成本, 方便调试, 而且有利于加快研发进度。

太阳能光伏发电系统的控制算法十分复杂, 通常需要进行大量的算术运算和控制逻辑处理。TMS320F28335数字信号处理器是TI公司最新推出的一款TMS320C28X系列浮点DSP控制器。与以往的定点DSP芯片相比, 该器件的精度大大提高, 另外, 该DSP还具有成本低, 功耗小, 性能高, 外设集成度更高, 数据以及程序存储量更大, AD转换更加精确和快速等特点。

1 太阳能电池的数学物理模型

典型的太阳能电池特性如图1所示。由图1可以看出, 光伏电池特性与太阳辐射强度之间的关系是高度非线性的。若以 T 表示任意日射强度 S (W/m) 及任意环境温度 T (°C) 下的太阳能

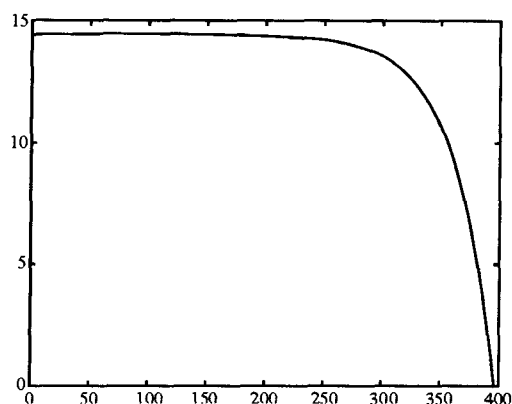


图1 太阳能电池阵列的输出I-V曲线

电池温度, 则有:

$$T = T_0 + KS \quad (1)$$

式中, K 为光伏电池模块的温度系数。

设在参考条件 $S_{ref}=1000$ W/m, $T_{ref}=25$ °C下, I_{sc} 为短路电流, U_{oc} 为开路电压, I_m 、 U_m 为最大功率点的电流和电压, 则光伏阵列电压 U 与其对应点的电流为 I 的关系如下:

$$I = I_{sc} \left(1 - C_1 \left(e^{\frac{U}{C_2 U_{oc}}} - 1 \right) \right) \quad (2)$$

其中:

$$C_1 = \left(1 - \frac{I_m}{I_{sc}} \right) e^{-\frac{U_m}{C_2 U_{oc}}} \quad (3)$$

$$C_2 = \left(\frac{U_m}{U_{oc}} - 1 \right) / \ln \left(1 - \frac{I_m}{I_{sc}} \right) \quad (4)$$

若考虑太阳辐射的变化和温度影响, 则有:

$$I = I_{sc}(1 - C_1(e^{\frac{U}{C_2 U_{oc}}} - 1)) + D_1 \quad (5)$$

其中:

$$D_1 = \frac{\alpha S}{S_{ref} D_T} + (\frac{S}{S_{ref}} - 1) I_{sc} \quad (6)$$

$$D_V = -\beta D_T - R_S D_1 \quad (7)$$

$$D_T = T_c - T_{ref} \quad (8)$$

式中, α 为参考日照条件下的电流变化温度系数; β 是参考日照条件下的电压变化温度系数; R_S 为光伏阵列电池模块的内阻。

从上面的式子可以看出:

(1) 光伏电池的输出电压、电流与电池所处外部环境温度和日照强度有关。

(2) 在不同的环境温度和日照强度条件下, 同一块光伏电池具有多条特性曲线。

2 太阳能光伏电池模拟器的控制原理

太阳能电池模拟器的控制原理如图2所示。

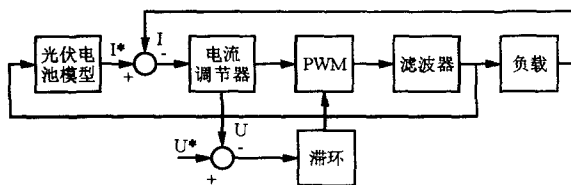


图2 太阳能电池模拟器控制原理框图

该模拟器采用的是电流控制型双环控制方案。它首先采样输出电压, 接着根据光伏电池的特性曲线进行读表, 以得到相应电压所对应的电流值, 然后将该电流值作为指令电流值, 再与实际电流进行比较, 然后利用其误差并经电流PI调节器进行信号处理后来控制开关管的动作, 从而使电流能够跟踪指令值。这样, 负载一定时, 就可得到既满足欧姆定律, 又满足光伏电池数学模型的电流电压输出。而且, 该输出也符合光电池的特性。

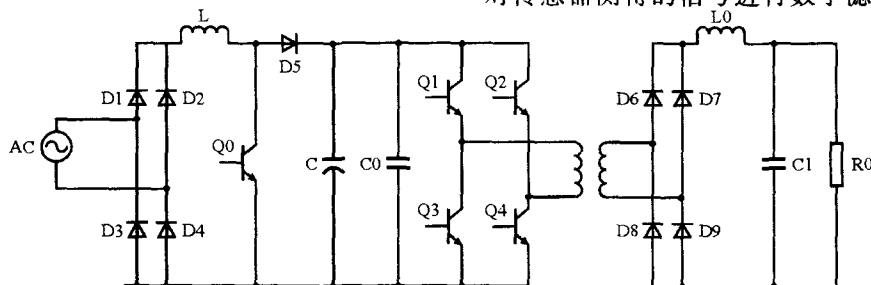


图3 太阳能电池模拟器硬件电路

3 硬件电路

本系统的硬件电路采用两级电路结构, 其中前级为市电整流+PFC电路, 后级为FULL BRIDGE+全桥整流输出电路, 中间有高频隔离变压器。其电路图如图3所示。

该电路拓扑的特点是输出电压范围比较大。由于输入端和输出端进行了隔离, 因此, 其输出功率也比较大。

4 光伏电池的I-V特性模拟

对光伏电池输出特性的模拟, 就是对电池输出I-V特性曲线的模拟。该操作应达到以下要求:

(1) 所有的工作点都应该在光伏电池的特性曲线上;

(2) 当工作点发生变化(即负载变化)时, 新的工作点应能迅速收敛到曲线上;

(3) 工作点能够覆盖整条曲线。

系统控制采用的TMS320F28335数字信号处理器是TI公司最新推出的32位浮点DSP控制器。与TMS320F2812定点DSP相比, TMS320F28335增加了单精度浮点运算单元(FPU)和高精度PWM, 且Flash增加了一倍(256K×16Bit), 同时增加了DMA功能, 可将ADC转换结果直接存入DSP的任一存储空间。此外, 它还增加了CAN通讯模块、SCI接口和SPI接口。

TMS320F28355的主频最高为150 MHz, 同时具有外部存储扩展接口、看门狗、三个定时器、18个PWM输出和16通道的12位AD转换器。

TMS320F28335的这些优点可以实时快速完成太阳能模拟器的控制、采样和计算要求。控制系统的硬件电路主要包括电压、电流检测, PWM信号输出, SCI通讯等。TMS320F28335的作用是对传感器测得的信号进行数字滤波, 再经控制算

法进行计算,以得到一个与输入量相对应的PWM信号,再由事件管理器EV产生一个信号输出给开关管驱动电路。设计时EV模块的设置很关键,在此选用的是全比较单元1、2、3(CMPR1、CMPR2、CMPR3)。这些单元采用连续增减计数模式来产生对称的PWM波,这样可减少谐波。另外,设计时还设置了相应的死区单元,以避免上下两个开关管导通。由于TMS320F28335自带ADC模块,因而系统相对比较简单,而且抗干扰能力增强。系统的控制方法采用查表法,该方法具有准确、快速、方便等优点。

为了方便,可假定太阳能电池所处的环境温度和日照强度恒定不变,以得到一条固定的电压、电流曲线。采用MATLAB软件得出的曲线如图4所示,图中,横轴表示电压,纵轴表示电流。

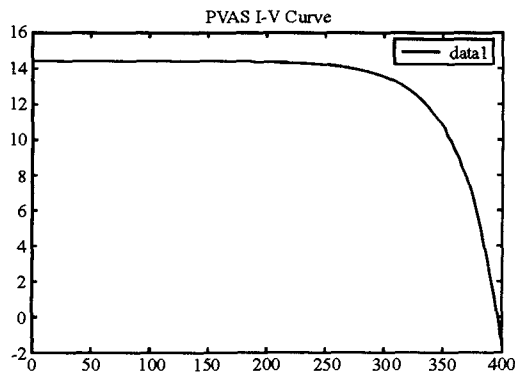


图4 基于MATLAB软件的I-V特性曲线

光伏电池的电压电流曲线(I-V Curve)可以反映出电池所接负载从开路到负载短路的过程中,电压电流的变化情况。这样,只需控制不同负载电阻情况下的模拟输出电压电流的大小,以使得实际工作点和按特性曲线要求的工作点一致,就可达到光伏电池特性模拟的目的。

5 实验结果

本设计中,光伏电池在标准情况下的外特性数据设置为:光伏组件短路电流为4.8 A,开路电压为22 V(这是资料中查到的太阳能电池板的经验数据),最大功率点对应的电压、电流分别为17.6 V, 4.34 A(即分别为80%和90%)。

设计系统时,分别将多个组件串并联即可得到所需容量的光伏特性曲线。本设计采用3并18串来得到14.4 A的短路电流和396 V的开路电压。

在此模型的基础上,对该模拟器进行实验验证时,首先可对采样电压和电流信号进行滤波,然后完成软起动,之后再执行控制模式判断。若负载较小,则进入电压环模式,即恒压控制(这里设置330 V);而在负载加大时,输出电流逐渐增大,当电流增大到6.5 A以上时,程序跳转至电流环模式开始调节输出电流,跟踪VI表。

通过示波器可观察输出电压和输出电流的变化情况。随着负载的加大,输出电流值逐渐增大,而输出电压则相应减小。根据示波器记录的电流数据以及万用表观察的输出电压数据,描绘出的对应I-V表的I-V曲线如图5所示。由图5可见,其实验所得I-V曲线与图4所示的理想I-V曲线的仿真波形基本吻合。

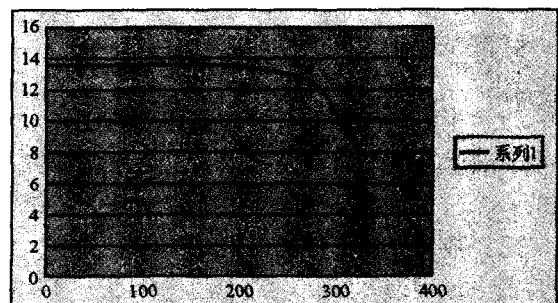


图5 太阳能电池模拟器实际输出I-V曲线

6 结束语

由上述实验结果可见,基于光伏阵列数学模型和直流开关电源的太阳能光伏阵列模拟器方案是可行的。此外,本文也为用类似方案模拟其它特殊功能的电源提供了思路。

参考文献

- [1] Shen Yuliang. A photovoltaic array simulator[J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 1997, (18): 448—451.
- [2] 苏建徽,余世杰,赵为,等.数字式太阳能电池阵列模拟器[J].太阳能学报, 2002, 23(1): 111—114.
- [3] 宋平岗.再生能源系统中太阳能电池仿真器的研究[J].电力电子技术, 2003, 37(4): 41—44.
- [4] 张熙霖.基于DSP2407的光伏方阵仿真电源的设计与研究[D].北京:中国科学院电工研究所硕士学位论文, 2004.
- [5] 茹美琴,余世杰,苏建徽.带有MPPT功能的光伏阵列Matlab通用仿真模型[J].系统仿真学报, 2005, 17(5): 1248—1251.