

基于最大功率跟踪技术的卫星电源方案研究

张文爽, 余文涛, 魏 强

(中国空间技术研究院通信卫星事业部, 北京 100094)

摘要: 针对GEO通信卫星平台电源系统的需求, 完成一种基于最大功率点跟踪技术的方案设计及仿真。该方案减少了功率传输线路上电源变换器损耗, 有利于最大限度地利用太阳能电池阵输出功率。在对太阳能电池阵特性研究与建模的基础上, 在电源仿真软件中对电源系统进行搭建, 仿真结果表明该系统可以实现对太阳能电池阵的最大功率跟踪, 并维持母线电压的稳定。最后将新型方案与传统方案进行比较, 给出新型方案的优势和应用前景, 为电源系统的应用奠定基础。

关键词: 电源系统; 电源变换器; MPPT

中图分类号: TN919.23

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-8930.20200109

Research on Satellite Power System Based on MPPT Technology

ZHANG Wenshuang, YU Wentao, WEI Qiang

Institute of Telecommunication and navigation Satellite, China Academy of Space Technology, Beijing 100094, China

Abstract: According to the need of power system for GEO satellite, the plan design and simulation based on Maximum Power Point Tracking (MPPT) technology were designed and simulated. It could reduce the power loss in power transport line and made full use of the output power of solar array. Based on the research and simulation for solar array, the simulation of all the power system was finished. The result of simulation provides that it can complete the MPPT function and stabilize the bus voltage. Last, the new plan and the traditional one were compared, which shows the advantage of the new plan and lays a foundation for next power system.

Key Words: power system, power condition unit, MPPT

1 引言

GEO通信卫星功率需求大, 对卫星承载比要求高。电源系统的效率提升是提高卫星承载比的重要途径。目前, 在航天领域, 国内卫星电源系统的功率调节系统绝大部分都采用将太阳能电池阵功率直接馈送给负载的方式。因此, 所用的功率调节系统都不能自动跟踪太阳能电池的最大功率点, 必须在设计时留有较大的裕量, 而大的裕量是以牺牲整星的体积和重量为代价的, 显然不利于卫星功率和效率的提高^[1-2]。

最大功率点跟踪技术(MPPT)针对太阳能电池的放电特性, 通过控制MPPT母线电压可保证太阳能电池阵输出最大功率点的电压, 实现最大限度利用太阳能电池方阵转换电能的目的。国内目前在对某些型号的方案论

证中已经打算采用MPPT电源控制技术。国外自20世纪70年代以来, 对于大中型负载功率的航天器, 在电源系统太阳能电池阵/蓄电池组联合供电体制下的全调节母线的控制方式从S3R技术过渡到混合型调整母线技术, 目前也在进行太阳能电池MPPT技术的研究和实际应用, 如ESA研制的RADARSAT-2雷达卫星、SWARM卫星系统、Mars Express火星快车、Venus Express金星快车、意大利宇航局的AGILE小卫星以及韩国的STSAT-3小卫星。ESA在2008年1月采用电推进系统的BepiColombo水星探测计划选择MPPT技术来控制电源系统^[3-4]。

以下基于GEO通信卫星电源系统功率提升的需求, 提出一种基于MPPT技术的电源系统方案并进行仿真验证, 将新型MPPT方案与传统非MPPT方案进行了比较, 为MPPT技术后续工程应用奠定了基础。

2 方案原理

本文仿真方案将顺序开关分流调节器（S3R）拓扑结构中的主误差放大信号MEA，由固定的电压参考点改进为实时变化的值，该变化值通过MPPT控制器给出，这就间接实现了最大功率跟踪。这种拓扑结构减少了功率传输线路上电源变换器损耗，有利于最大限度地利用太阳能电池阵输出功率。图1为S3MPR结构框图^[5]。

S3MPR相比于传统的MPPT系统具有很大的优势，能够保持太阳能电池阵始终输出最大功率。太阳能电池阵的峰值功率电压并不依赖于负载的变化，而是通过控制太阳能电池分阵的通断来调节输出功率，匹配精度能够达到1%，当负载功率由最大变为0时，太阳能电池阵不会出现过压，具有很高的功率比质量。

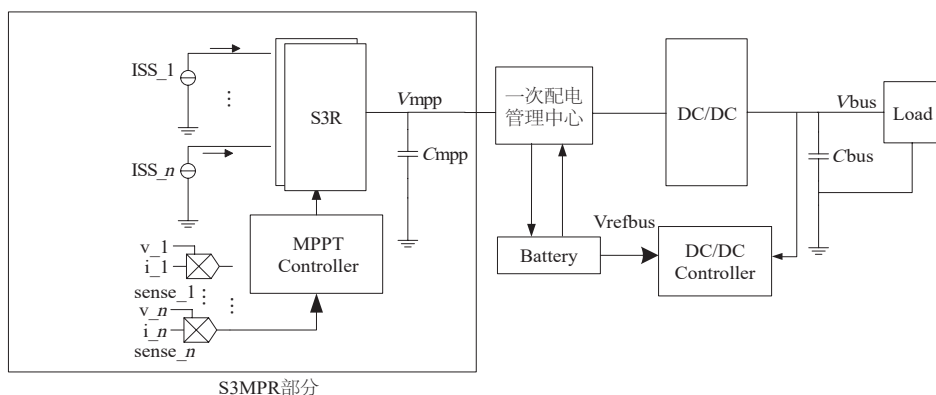


图1 S3MPR结构框图

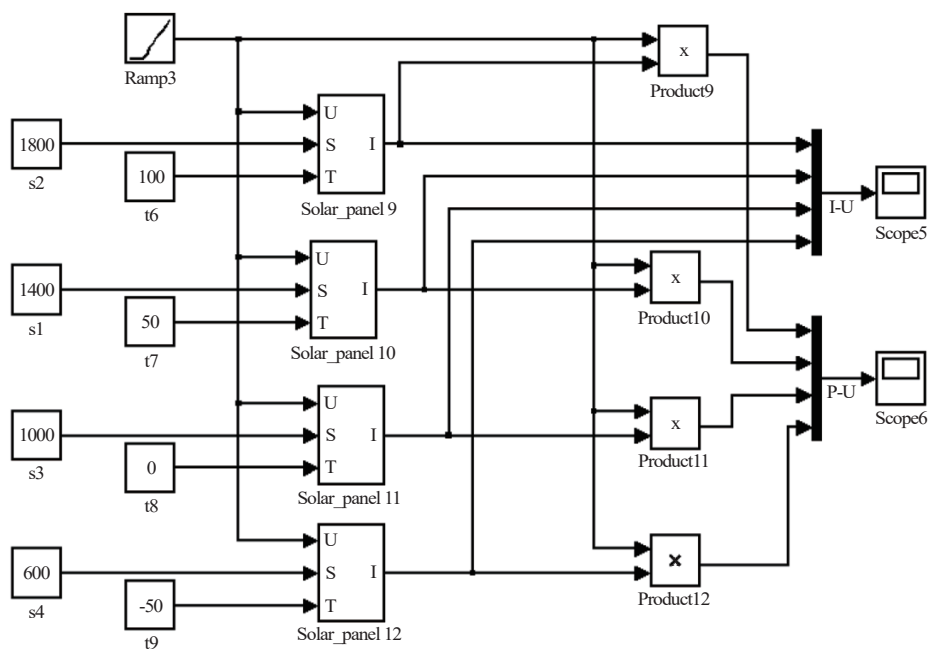


图2 封装后的太阳能电池仿真模型

3 仿真模型及结果

本文对S3MPR结构的基于MPPT技术的电源系统方案进行了仿真验证，仿真模型包括以下几个部分。

3.1 太阳能电池仿真模型

封装后的太阳能电池仿真模型如图2所示。所得太阳能电池阵特性曲线可以用来验证S3MPR的最大功率跟踪能力。

3.2 S3R母线电压调节模块

在PSIM中搭建主电路部分的仿真模型。其中，S3R中的MPP电压调节模块由分流模块、MEA信号产生电路模块以及母线输出滤波电路模块组成。

3.3 DC/DC变换器模块

由于前级S3MPR系统的参考给定不再恒定,而是由最大功率跟踪控制器给出的,其输出电压为最大功率点电压,随条件变化较大。这样大范围变化的母线电压不能满足负载需要,因此在S3MPR后级加入DC/DC变换器和控制电路,将最终的母线电压稳定在负载能够承受的范围内。DC/DC变换器模块如图3所示。

3.4 S3MPR整体仿真图与仿真条件

将上述各个模块连接一起,组成S3MPR仿真模型,如图4所示,要求最终输出电压100 V。图5标出了对应不同条件下太阳能电池单元的最大功率点,列入表1。

利用Matlab搭建的太阳能电池模块计算不同光照和温度条件下的太阳能电池性能,将结果代入PSIM中。结合负载变化情况,将仿真条件填入表1。

3.5 仿真结果及分析

当设置为上述的光照和温度条件时,MPPT控制器给定的控制信号如图6所示。可知对应时间点上,由于太阳能电池输入的光照和温度发生突变,S3R的参考给定MPPT控制信号不再固定,而是随着最大功率点移动的方向而移动。S3R母线电压也不再稳定于某一个值而是随着扰动信号改变,最终稳定在最大功率点电压处。

图6为MPPT控制信号为 $S=1\ 000\ \text{W/m}^2$, $T=25\ ^\circ\text{C}$ 和

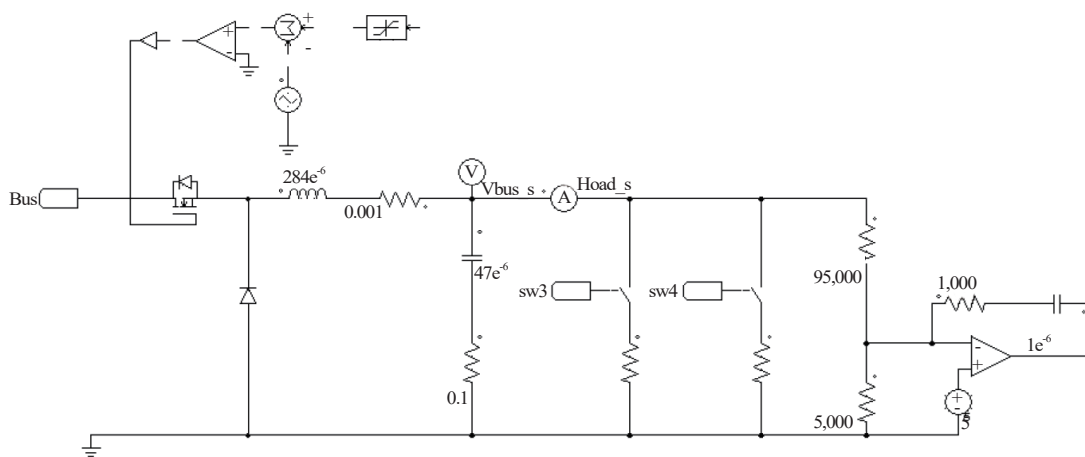


图3 DC/DC变换器模块

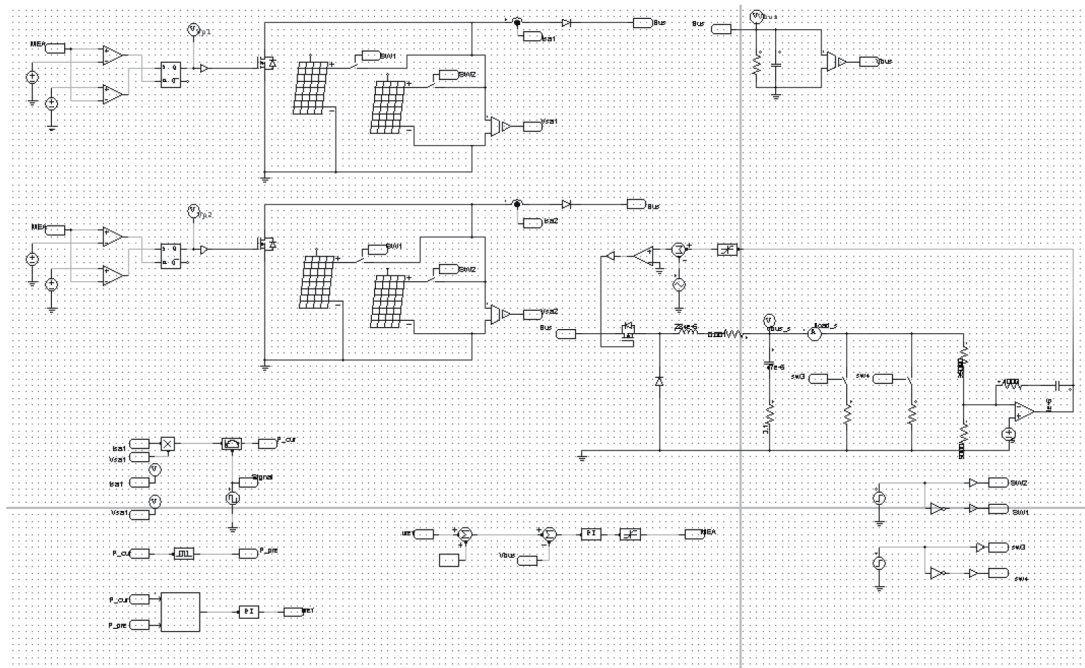


图4 S3MPR在Matlab中的整体仿真图

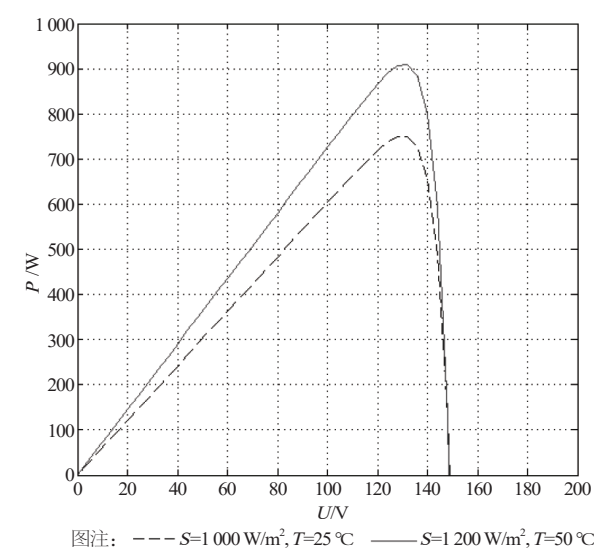


图5 不同条件下的最大功率点的P-U曲线

表1 仿真条件设置

环境条件		最大功率点		负载功率/W	设置条件时间/ $t \cdot s^{-1}$
光照强度/ $W \cdot m^{-2}$	温度/ $^{\circ}C$	电压/V	输出功率/ W		
1 000	25	130.9	752	1 000	0~0.3
1 200	50	130.7	910	1 000	0.3~0.8
1 200	50	130.7	910	1 400	0.8~1.0

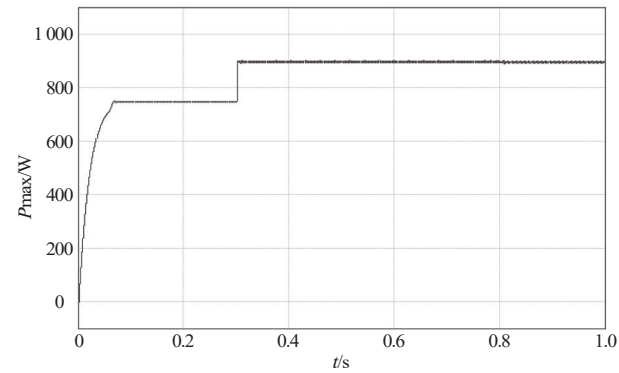
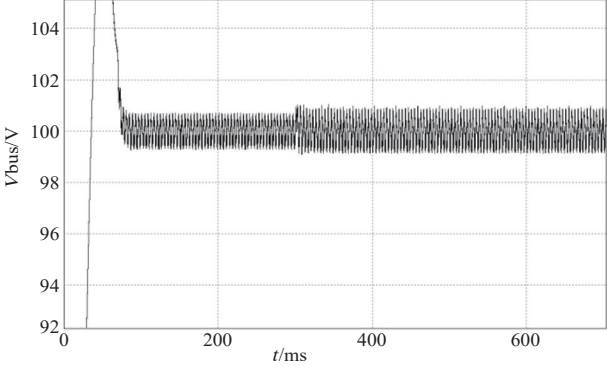


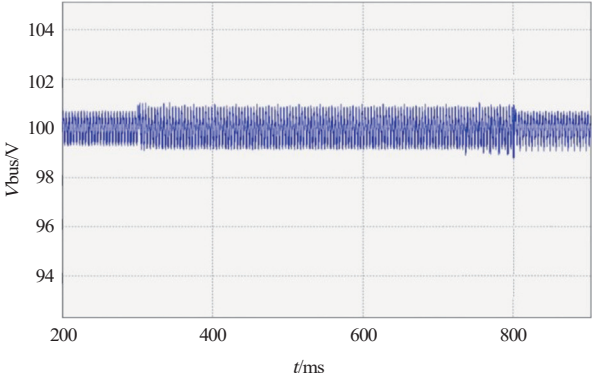
图6 不同条件下输出功率变化情况

$S=1\,200\,W/m^2$ ， $T=50\,^{\circ}C$ 时输出电压的变化情况，与理论最大功率值相符，表明最大功率算法可以快速、精确地将母线电压调整在最大功率点电压。

图7表明了DC/DC模块参数设计的正确性以及本方案的可实现性。 $t=0.3\,s$ 和 $t=0.8\,s$ 时，外界条件变化较大，仍能维持母线电压的稳定，足见本方案具有一定的可靠性与稳定性。



(a) $t=300\,ms$ 时母线电压波形



(b) $t=800\,ms$ 时母线电压波形

图7 母线电压变化情况

4 方案对比

本节给出了基于S3MPR的MPPT方案与传统方案的对比，具体见表2。

表2 电源系统方案比较分析

类别	方案一（基于传统方案）	方案二（基于S3MPR的MPPT方案）
功率传输类型	直接能量传输	峰值功率追踪
功率密度	BOL：功率密度38.47 W/kg； EOL：功率密度36.74 W/kg	BOL：功率密度45.54 W/kg； EOL：功率密度40.24 W/kg
优点	● 拓扑架构技术成熟； ● 产品继承性好； ● 控制简单，可靠性高	● 拓扑架构有一定继承性（国外已飞行）； ● 实现太阳能电池阵最大功率追踪； ● 系统功率密度有较大提升
缺点	● 功率密度较低； ● 不能实现太阳能电池阵最大功率追踪	● 控制复杂； ● 电源控制器重量、体积大，对系统布局有较大影响，可靠性降低

由表2可以看出，基于MPPT的方案二能实现太阳能电池阵最大功率追踪，与方案一相比，具有系统功率密度大的优点，建议后续按照本方案继续开展相关技术攻关和工程应用研究工作。

5 结束语

本文结合GEO通信卫星应用需求,基于传统电源系统方案提出了基于MPPT的电源系统方案,并建立了系统仿真模型,对原理正确性和方案可行性进行了验证。仿真结果表明,系统原理正确,方案可行,为后续GEO通信卫星电源平台的工程应用奠定了基础。

参考文献:

- [1] 曾毅,崔波. 一种新的航天器电源系统拓扑[J]. 航天器工程, 2009,18(5),95-100.
ZENG Y, CUI B. A new spacecraft power system topology[J]. Spacecraft Engineering, 2009,18(5),95-100.
- [2] 苗狄.空间一次电源动态性能及功率密度提升和集成化拓扑研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2011.
MIAO D. Research on dynamic performance and power density enhancement and integrated topology of spatial primary power supply[D]. Harbin:Harbin Institute of Technology, 2011.
- [3] BRAMBILLA A, GAMBARARA M, TORRENTE G. Perturb and observe digital maximum power point tracker for satellites applications[C]//Proceedings of the Sixth European Space Power Conference. Paris: ESA, 2002: 263-268.
- [4] EBALE G, LAMANTIA A, LA BELLA M. Power control

system for the AGILE satellite[C]//Seventh European Space Power Conference. Paris: ESA, 2005: 589-596.

- [5] 杨华. 空间飞行器太阳能峰值功率跟踪控制系统(MPPT)研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2007.
YANG H. Research on solar peak power Tracking control System for space Vehicle[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2007.

[作者简介]



张文爽, 女, 工程师, 主要研究方向为航天器电源总体设计。



余文涛, 男, 高级工程师, 主要研究方向为航天器电源总体设计。



魏强, 男, 研究员/通信卫星总设计师, 主要研究方向为卫星总体设计。