



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113791663 B

(45) 授权公告日 2022. 09. 27

(21) 申请号 202110815024.2

审查员 杨博

(22) 申请日 2021.07.19

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113791663 A

(43) 申请公布日 2021.12.14

(73) 专利权人 北京空间飞行器总体设计部
地址 100094 北京市海淀区友谊路104号

(72) 发明人 石海平 刘治钢 陈燕 汪静
穆浩 朱立颖 马亮 井元良
孟洋洋

(74) 专利代理机构 中国航天科技专利中心
11009
专利代理师 张晓飞

(51) Int. Cl.
G05F 1/67 (2006.01)

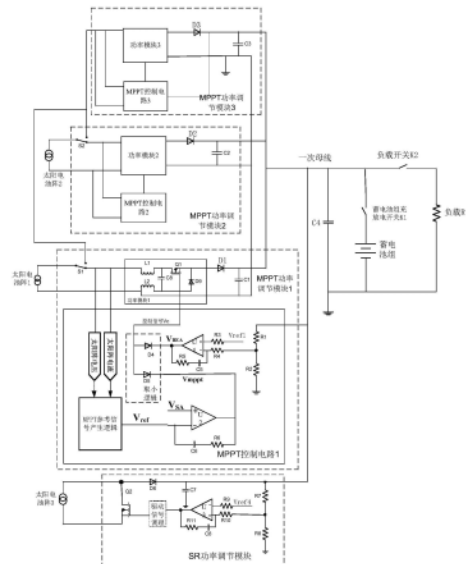
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种基于太阳能电池阵最大功率点跟踪技术的大功率航天器电源系统

(57) 摘要

本发明公开了一种基于太阳能电池阵最大功率点跟踪技术的大功率航天器电源系统。该发明电源系统实现MPPT与SR(分流调节)综合控制、实时太阳能电池阵输出最大功率点跟踪、锂离子蓄电池组自主充电管理、一次母线可靠安全建立、故障自主隔离等。系统包括多个MPPT功率调节模块、锂离子蓄电池组、一个或多个SR功率调节模块、一个或多个太阳能电池阵等组成。本发明电源系统具有太阳能电池阵利用率高、锂离子蓄电池组自主充电管理、系统功率易扩展、母线品质高、加电灵活、可靠性高的特点,特别适用于环境温度变化大、系统比能量要求高的深空探测航天应用场合。



1. 一种基于太阳能电池阵最大功率点跟踪技术的航天器电源系统,其特征在于:包括多个MPPT功率调节模块、锂离子蓄电池组、一个或多个SR功率调节模块和一个或多个太阳能电池阵;

所有MPPT功率调节模块的输出通过二极管隔离后汇成一次母线,一次母线与蓄电池充放电开关K1、负载开关K2及母线滤波电容C一端连接,蓄电池充放电开关K1另一端连接锂离子蓄电池组正极,负载开关K2另一端连接负载R,滤波电容C另一端与地连接;所述一个或多个SR功率调节模块,每个SR功率调节模块输入端连接一个太阳能电池阵,输出端连接到一次母线,SR功率调节模块和MPPT功率调节模块对一次母线进行统一控制,实现母线的可靠建立、锂离子蓄电池组的充电管理、系统功率变换与调节功能;

所述多个MPPT功率调节模块及SR功率调节模块对一次母线进行综合控制,实现MPPT电源系统的可靠安全加电;在系统加电过程中,在保持蓄电池组充放电开关K1和负载开关K2断开的情况下,先使SR功率调节模块对应的太阳能电池阵加电输出,从而通过SR功率调节模块的控制先建立稳定的一次母线电压,一次母线电压建立后,再接通K1,将蓄电池组输出与一次母线连接,最后使MPPT功率调节模块对应的太阳能电池阵输出,完成系统工作状态的建立;

所述多个MPPT功率调节模块和SR功率调节模块从高到低依次设置不同的一次母线稳压控制电压,且MPPT功率调节模块的稳压控制电压低于SR功率调节模块的稳压控制电压,从而实现对锂离子蓄电池组的充电终止电压的逐级控制,在蓄电池组电压达到充电终止电压前,采用MPPT控制,使太阳能电池阵以最大功率输出,增加太阳能电池阵利用率,提高系统比能量,当蓄电池组电压到达充电终止电压后,再在维持蓄电池组电压不变的情况下实现对锂离子蓄电池组的恒压充电,保证蓄电池组的安全。

2. 根据权利要求1所述一种基于太阳能电池阵最大功率点跟踪技术的航天器电源系统,其特征在于:所述多个MPPT功率调节模块,其中一个或多个作为备份模块,每个主份MPPT功率调节模块输入端通过单刀双掷开关连接一个太阳能电池阵,通过切换单刀双掷开关,可以将每个主份MPPT功率调节模块对应的太阳能电池阵输出切换至备份MPPT功率调节模块的输入;当主份模块故障后,将故障主份模块对应的太阳能电池阵输出切换至备份模块,实现主份故障隔离。

3. 根据权利要求2所述一种基于太阳能电池阵最大功率点跟踪技术的航天器电源系统,其特征在于:所述MPPT功率调节模块包括功率模块和MPPT控制电路模块;MPPT控制电路模块采集太阳能电池阵输出电压及电流,通过MPPT参考信号产生逻辑产生控制信号 V_{ref} ,该逻辑产生控制信号 V_{ref} 与太阳能电池阵输出电压信号 V_{SA} 进行比较放大,产生MPPT跟踪控制信号 V_{mppt} ,该MPPT跟踪控制信号 V_{mppt} 为太阳能电池阵最大功率点跟踪控制信号;此外,通过电阻R1和电阻R2分压采集一次母线电压,并将该电压信号与一次母线稳压值参考电压 V_{ref1} 进行比较放大,生成稳压控制信号 V_{BEA} ;稳压控制信号 V_{BEA} 与MPPT跟踪控制信号 V_{mppt} 通过隔离二极管D4和隔离二极管D5隔离后连接在一次,形成功率模块控制信号 V_c ;当一次母线电压值小于设定电压值时, V_{mppt} 起作用,实现太阳能电池阵最大功率点跟踪控制,当一次母线电压值达到设定电压值时, V_{BEA} 起作用, V_{BEA} 控制功率模块实现对一次母线电压的稳压。

4. 根据权利要求1所述一种基于太阳能电池阵最大功率点跟踪技术的航天器电源系统,其特征在于:所述SR功率调节模块由电阻R7和电阻R8构成的一次母线采样电路,由放大器

U3和电阻R9、电阻R10、电阻R11、电容C8组成的比较放大电路,驱动信号调理电路以及分流开关Q2组成;SR功率调节模块通过电阻R7和电阻R8采集一次母线电压信号,该电压信号经比较放大后送入驱动信号调理模块,驱动信号调理模块产生分流开关Q2驱动信号,实现对分流开关Q2的开关控制,实现SR功率调节模块根据母线电压实现对相应太阳电池阵的分流控制,从而实现对一次母线电压的控制,二极管D6起到隔离的作用,电容C7起到滤波的作用。

5. 根据权利要求1所述一种基于太阳电池阵最大功率点跟踪技术的航天器电源系统,其特征在于:所述多个MPPT型和SR型功率调节模块对蓄电池组的充电实现逐级控制,实现系统的高比能量、高可靠性。

6. 根据权利要求1-5任一所述一种基于太阳电池阵最大功率点跟踪技术的航天器电源系统,其特征在于:通过将并联的多级MPPT和SR功率调节模块的充电目标电压设置为逐级减小,从而便于系统控制,提高系统稳定性,减小系统中设备、器件及电路承受的电应力,增强系统可靠性。

一种基于太阳能电池阵最大功率点跟踪技术的大功率航天器电源系统

技术领域

[0001] 本发明是一种航天器电源系统,特别是一种基于太阳能电池阵最大功率点跟踪(MPPT)技术的高功率密度大功率航天器电源系统,属于航天器电源系统领域。

背景技术

[0002] 随着航天任务的发展,深空探测成为航天任务的重要组成部分,以火星探测、小行星探测为代表的深空探测任务对航天器电源系统提出了更高的要求,由于体积、重量的限制,深空探测航天器电源系统具有更高的比功率要求,要在更小的太阳能电池阵面积、更小的体积与质量限制下,提供更大的功率,将电源系统重量占整星的比重由传统地球轨道卫星的30~40%降低到15~20%。此外,深空探测任务中环境温度、光照强度变化大,当前航天器电源系统中采用的传统SR(串联分流调节)控制方法,无法在温度及光照强度大范围变化的情况下实现合理设计,无法满足深空航天任务需要。基于MPPT(最大功率点跟踪)技术的航天器电源系统能很好的解决上述问题,MPPT技术能够在温度及光照强度大范围变化的情况下实现太阳能电池阵的最大功率输出,最大限度的提高系统的比功率,满足温度及光照强度大范围变化条件下电源系统的高性能设计,基于MPPT技术电源系统的构建需满足MPPT模块能正常工作的条件,同时需考虑电源系统测试过程的方便性及安全性,以及系统不同工作环境及模式下的可靠性、安全性、可扩展性及适应性。当前国内尚没有基于MPPT技术的航天器大功率电源系统应用,本发明提出了一种基于模拟式高可靠MPPT技术的大功率航天器电源系统,很好的解决了基于MPPT技术构建高可靠、高安全性、可扩展性及高适应性的航天器电源系统的问题。

发明内容

[0003] 本发明解决的问题:克服现有技术的不足,提出了一种基于MPPT技术的航天器电源系统,能很好的适应温度、光照强度大范围变化环境下的应用需求,实现太阳能电池阵最大功率点跟踪及蓄电池组的自主充放电管理,多模块冗余设计,系统功率易扩展,可靠性安全性高,系统工作状态建立安全可靠,测试使用灵活,很好的解决了航天深空探测任务的应用需求。

[0004] 本发明的技术解决方案:一种基于MPPT(最大功率点跟踪)技术的航天器电源系统,包括:多个MPPT功率调节模块、锂离子蓄电池组、一个或多个SR(分流调节)功率调节模块、一个或多个太阳能电池阵等组成的系统拓扑,能够实现太阳能电池阵输出功率最大功率点跟踪控制,锂离子蓄电池组自主充电管理,一次母线安全可靠建立,故障自主隔离,MPPT与SR综合控制等功能,所述多个并联的MPPT功率调节模块,每个模块输入端连接一个太阳能电池阵,输出端通过二极管隔离后汇聚成一次母线,SR功率调节模块的输出连接一次母线,与MPPT功率调节模块一起实现对母线的综合控制。MPPT功率调节模块内部由功率模块和MPPT控制电路组成,功率模块实现太阳能电池阵输出功率到一次母线的变换,MPPT控制电路实现

MPPT和一次母线稳压控制,多个 MPPT功率调节模块,其中一个(或多个)作为备份模块,当主份模块故障后,将故障主份模块对应的太阳能电池阵输出切换至备份模块,实现主份故障隔离。SR功率调节模块根据母线电压实现对应太阳能电池阵的分流控制,从而实现对一次母线电压的控制。一次母线与蓄电池充放电开关K1、负载开关K2及母线滤波电容C一端连接,开关K1另一端连接蓄电池组正,K2另一端连接负载R,滤波电容C另一端与地连接。

[0005] 采用MPPT技术和SR技术混合调节技术,克服在蓄电池组充放电开关K1 断开,蓄电池组没有接入母线的情况下,MPPT调节模块无法稳定母线电压的问题,可以先接通SR功率调节模块,稳定住母线电压后,再接通蓄电池放电开关K1,将蓄电池组输出与母线连接,接入蓄电池组后,最后连接MPPT功率调节模块,完成系统工作状态的建立,这样避免了直接接通蓄电池放电开关 K1造成蓄电池组直接对母线电容C大电流充电从而造成电容阵C及线路损害的风险,也防止在母线还没有连接蓄电池组的情况下直接连接MPPT功率调节模块造成母线电压不稳定的问题。这样大大增强了系统的灵活性、安全性及应用适应性;

[0006] 多个MPPT功率调节模块及SR功率模块并联组成,在通过一次母线对蓄电池组充电过程中实现分级控制,由于可以方便的通过调整MPPT和SR功率调节模块的个数来增加系统的功率容量,因而本拓扑结构能够适应大功率应用场合,此外由于多个模块并联使用,一个模块故障对系统的影响减小,增强了系统的可靠性和安全性,使该拓扑结构很适合有高可靠高安全性要求的应用场合,上述这种模块化设计方式,使系统适应性更强,使用更为灵活方便。

[0007] 多个MPPT和SR功率调节模块对蓄电池组的充电实现逐级差别控制,如针对锂离子蓄电池组的充电控制,根据锂离子蓄电池组的特性,需先以恒定电流进行恒流充电,当蓄电池组充电电压到达目标电压后,再在维持目标电压不变的情况下实现对锂离子蓄电池组的恒压充电,在横流控制阶段,采用MPPT 控制,使太阳能电池阵以最大功率输出,增加太阳能电池阵利用率,提高系统比能量,通过将并联的多级MPPT和SR功率调节模块的充电目标电压设置为逐级减小,从而便于系统控制,提高系统稳定性,减小系统中设备、器件及电路承受的电应力,增强系统可靠性。

[0008] 本发明与现有技术相比的优点在于:

[0009] (1) 本发明解决了基于MPPT技术的航天器电源系统构建问题;本发明系统拓扑具有太阳能电池阵利用率高、锂离子蓄电池组自主充电管理、系统功率容量大、易扩展、母线品质高、加电灵活可靠的特点,特别适用于环境温度变化大、系统比能量要求高的航天应用场合。

[0010] (2) 采用MPPT技术和SR技术混合控制,克服在蓄电池组充放电开关 K1断开,蓄电池组没有接入母线的情况下,MPPT调节模块无法稳定母线电压的问题,先用SR调节模块给控制电路及母线滤波电容充电,再接通蓄电池充放电开关,建立系统工作模式,防止直接接入时对母线电容大电流充电损坏电容及线路。

[0011] (3) 由多个MPPT功率调节模块及SR功率模块并联组成,便于系统功率容量的扩展,使系统能适应不同功率、特别是大功率应用场合,此外,多个并联模块的使用便于实现故障冗余,提高了系统的可靠性与安全性。

[0012] (4) 多个MPPT型和SR型功率调节模块对蓄电池组的充电实现逐级差别控制,通过将多级MPPT和SR功率调节模块的充电目标电压设置为逐级减小,从而便于系统控制,提高

系统稳定性,减小系统中设备、器件及电路承受的电应力,增强系统可靠性。

附图说明

[0013] 图1一种基于MPPT技术的航天器电源系统。

具体实施方式

[0014] 如图1所示为本发明的电源系统拓扑电路图,本发明提出了一种基于 MPPT技术的航天器电源系统,实现了MPPT电源系统初始工作状态可靠安全建立,便于各工作模式下的灵活测试应用,实现了蓄电池组充放电自主管理,采用分级控制调节方式,增强了系统的可靠性安全性,便于系统功率容量扩展,增强了系统适应性,系统具有太阳电池阵最大工作点跟踪能力,能适应温度及光照强度大范围变化的情形,很好的满足了以火星探测为代表的深空探测任务的需求。

[0015] 本发明的具体实现主要包括以下几个方面:

[0016] (1) 系统拓扑电路及工作原理

[0017] 系统拓扑电路如附图1所示,包括多个MPPT功率调节模块、锂离子蓄电池组、一个或多个SR(分流调节)功率调节模块、一个或多个太阳电池阵等,能够实现太阳电池阵输出功率最大功率点跟踪控制,锂离子蓄电池组自主充电管理,一次母线安全可靠建立,故障自主隔离,MPPT与SR综合控制等功能,所述多个并联的MPPT功率调节模块,每个模块输入端连接一个太阳电池阵,输出端通过二极管隔离后汇聚成一次母线,SR功率调节模块的输出连接一次母线,与MPPT功率调节模块一起实现对母线的综合控制。MPPT功率调节模块内部由功率模块和MPPT控制电路组成,功率模块实现太阳电池阵输出功率到一次母线的变换,作为一种典型应用,图1中给出了一种SuperBuck变换主拓扑。MPPT控制电路实现MPPT和一次母线稳压控制,控制电路主要包括一次母线误差放大信号 V_{BEA} 产生电路和MPPT控制信号 V_{mppt} 产生电路, V_{BEA} 信号产生电路由电阻R1、R2、R3、R4、R5和电容C5、二极管D4以及比较放大器U1组成,R1一端连接一次母线,另一端连接R2和R4,R2另一端接地,R4另一端连接U1的输入正,R1和R2实现对一次母线的分压采样,R3一端连接一次母线稳压控制参考信号 V_{ref1} ,另一端连接U1的输入负,通过U1将一次母线电压采样信号和参考电压 V_{ref1} 比较放大,并通过R5和C5串联组成的通路实现反馈,产生 V_{BEA} 信号,通过 V_{BEA} 信号实现对一次母线电压的稳压控制。 V_{mppt} 信号产生电路包括太阳电池阵电压和电流采样电路、MPPT参考信号产生逻辑电路以及由比较放大器U2、电阻R6、电容C6构成的比较放大电路组成,MPPT参考信号产生逻辑电路对太阳电池阵实时输出电流电压进行处理,产生控制参考信号 V_{ref} , V_{ref} 连接到U2的输入负,U2正端输入太阳电池阵实时输出电压 V_{SA} , V_{SA} 和 V_{ref} 通过U2、R6、C6构成的反馈放大电路进行比较放大,产生MPPT控制信号 V_{mppt} ,信号 V_{mppt} 和信号 V_{BEA} 通过二极管D4和D5隔离后进行连接,实现取小逻辑,最终产生控制信号 V_c , V_c 送入到功率模块,实现对功率模块的控制,当 V_{mppt} 信号起作用时,实现MPPT控制,当 V_{BEA} 信号起作用时实现一次母线稳压控制。多个MPPT功率调节模块,其中一个(或多个)作为备份模块,当主份模块故障后,将故障主份模块对应的太阳电池阵输出切换至备份模块,实现主份故障隔离,如附图1所示的一种典型应用,MPPT功率模块1和2位主份,3位备份,当模块1或2故障后,通过切换开关S1或S2将故障模块的输入切入备份模块3,实现故障的整体隔离。SR功率调节模块通过对

一次母线的采样放大,产生驱动信号,实现对分流开关Q2的控制,其根据母线电压实现对相应太阳能电池阵的分流控制,从而实现对一次母线电压的控制。一次母线与蓄电池充放电开关K1、负载开关 K2及母线滤波电容C一端连接,开关K1另一端连接蓄电池组正,K2另一端连接负载R,滤波电容C另一端与地连接。本发明电源系统具有太阳能电池阵利用率高、锂离子蓄电池组自主充电管理、系统功率易扩展、母线品质高、加电灵活、可靠性高的特点,特别适用于环境温度变化大、系统比能量要求高的深空探测航天应用场合。

[0018] (2) 系统工作状态建立过程

[0019] 如附图1所示,由于MPPT调节模块的工作特点,需要蓄电池组接入一次母线后,才能启动MPPT模块,否则在一次母线端易产生不稳定电压,而如直接接通蓄电池组放电开关K2,则容易造成蓄电池对母线电容的大电流充电,有损坏电容阵及功率通路的危险,因此,本系统中通过MPPT调节模块和SR调节模块混合使用的方法解决上述问题,由于SR调节模块能够在蓄电池组不接入的情况下建立稳定一次母线,为此,先启动SR调节模块,建立一次母线,并对母线滤波电容充电,之后再接通蓄电池组放电开关K2,由于此时母线滤波电容C已经充满了电,因此接通K2后不会造成蓄电池组给母线滤波电容大电流充电,从而确保系统安全,K2接通后,再启动MPPT调节模块,系统工作状态建立。

[0020] (3) 系统分级控制调节及蓄电池自主充电管理

[0021] 多个MPPT型和SR型功率调节模块对蓄电池组的充电实现逐级控制,实现系统的高比能量、高可靠性。多个MPPT功率调节模块和SR功率调节模块从高到低依次设置不同的一次母线稳压控制电压,且MPPT功率调节模块的稳压控制电压低于SR功率调节模块的稳压控制电压,从而实现对锂离子蓄电池组的充电终止电压的逐级控制,在蓄电池组电压达到充电终止电压前,采用MPPT控制,使太阳能电池阵以最大功率输出,增加太阳能电池阵利用率,提高系统比能量,当蓄电池组电压到达充电终止电压后,再在维持蓄电池组电压不变的情况下实现对锂离子蓄电池组的恒压充电,保证蓄电池组的安全。由于不同 MPPT和SR功率调节模块的稳压控制电压逐级减小,便于系统控制,提高了系统稳定性,减小系统中设备、器件及电路承受的电应力,增强系统可靠性。

[0022] (4) 系统性能提升的设计实现

[0023] 提出的一种基于MPPT技术的电源系统拓扑电路,具有高比能量、容量易扩展,环境适应能力强的特点,高比能量的提高一是通过MPPT模块实现太阳能电池阵的的最大功率输出,从而使更小的太阳能电池阵单位面积,输出尽可能多的功率,减少系统重量与体积,提高比能量,此外,通过合理配比MPPT及SR模块数量,实现系统比能量的提高,由于SR模块效率要高于MPPT模块的效率,可以根据不同太阳能电池阵的输出特性,配备不同数量比的SR及MPPT 模块,且SR模块及MPPT模块根据系统需求给不同类型的负载供电,从而实现系统综合效率的提高,例如,当环境温度变及光照变化大,SR模块仅为建立系统工作状态设置,则可减小SR模块数量以及该模块对应的太阳能电池阵面积,仅保证满足其启动需求,尽量多的应用MPPT模块,使太阳能电池阵最大功率输出。而在太用电池阵输出电压特性固定,且太阳能电池阵到SR及MPPT模块较近场合,则可以多设置SR模块,提高功率控制效率,从而提高整个系统的比功率,此外,结合太阳能电池阵串并联单体电池的设计,可以根据太阳能电池阵到MPPT模块的线路电阻大小,设置不同的MPPT模块升降压比及MPPT 模块与SR模块的数量比,当线路阻抗大时,可以设置MPPT模块为降压形式,并提高降压比,减小MPPT模块对应的太阳能电池阵

中并联电池串的串联数,从而降低MPPPT输入端的电流,减少线路损失,提高系统效率,此种情况下,则可以提高MPPT模块的数量比例。反之亦然。此外,该拓扑电路能够很容易进行系统功率容量扩展,只要增加MPPT及SR功率调节模块的数量,就可以达到扩展系统容量的目的。从而使系统不但能够适应小功率应用场合,还能适应大功率应用场合,增强了系统的适应性。

[0024] 本发明电源系统具有太阳能电池阵利用率高、锂离子蓄电池组自主充电管理、系统功率易扩展、母线品质高、加电灵活、可靠性高的特点,特别适用于环境温度变化大、系统比能量要求高的深空探测航天应用场合。

[0025] 本发明虽然已以较佳实施例公开如上,但其并不是用来限定本发明,任何本领域技术人员在不脱离本发明的精神和范围内,都可以利用上述揭示的技术内容对本发明技术方案做出可能的变动和修改,因此,凡是未脱离本发明技术方案的内容,依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化及修饰,均属于本发明技术方案的保护范围。

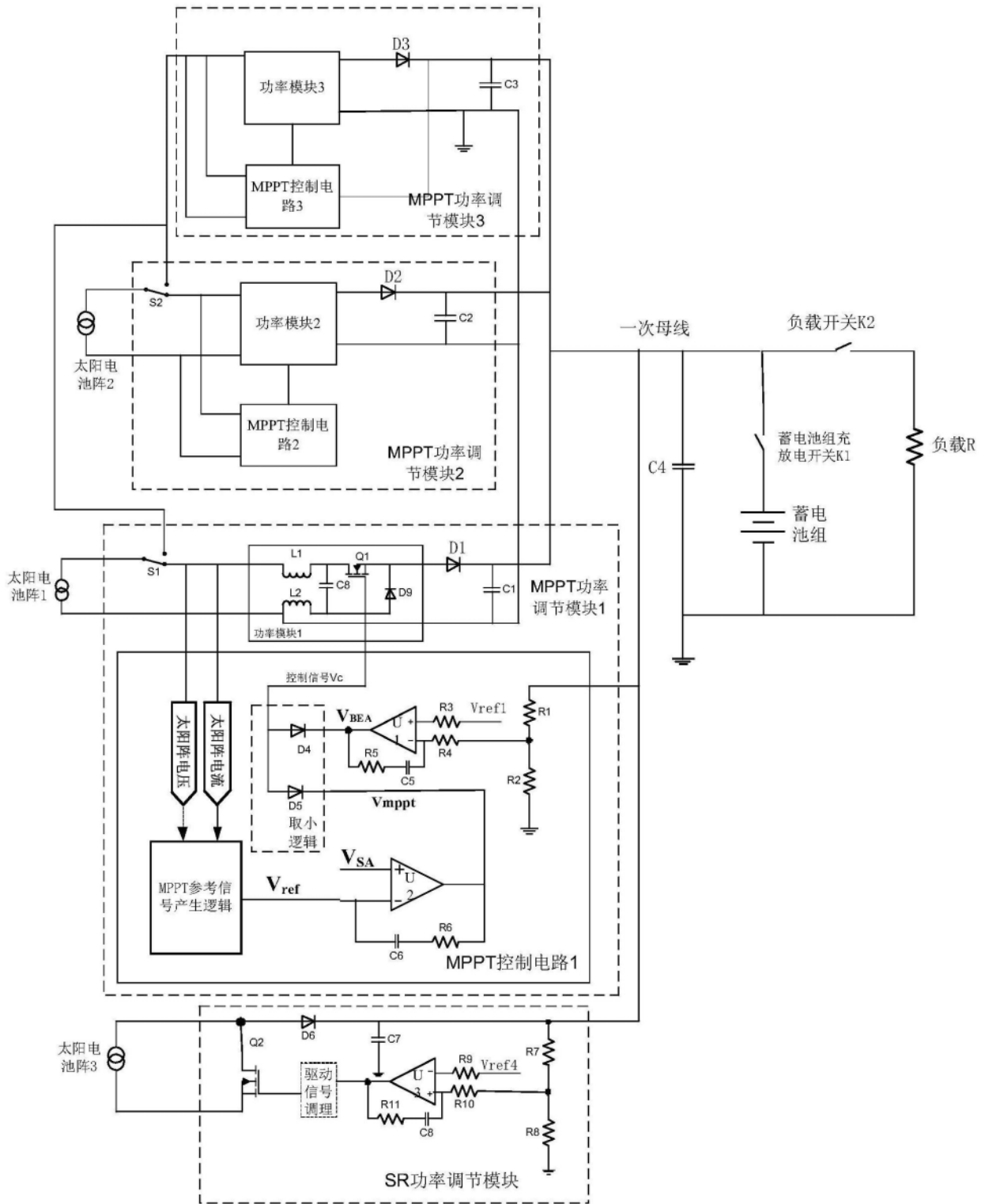


图1