(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 115882580 A
(43)申请公布日 2023.03.31

(21)申请号 202111157127.0

(22)申请日 2021.09.30

(71)申请人 金卡水务科技有限公司
地址 310018 浙江省杭州市经济技术开发区金乔街158号

(72)发明人 饶志建 陈正海

(74)专利代理机构 北京同立钧成知识产权代理有限公司 11205
专利代理师 张芳 臧建明

(51)Int.Cl.
H02J 9/06(2006.01)

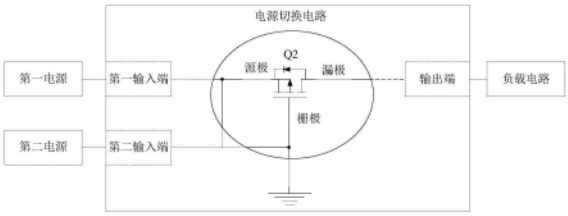
权利要求书2页 说明书12页 附图8页

(54)发明名称

电源切换系统及双电源供电设备

(57)摘要

本申请提供一种电源切换系统及双电源供电设备。该系统及设备包括:电源切换电路;电源切换电路具有第一输入端、第二输入端和输出端,第一输入端连接第一电源,第二输入端连接第二电源,电源切换电路的输出端连接第二输入端和负载电路;其中,电源切换电路包括:第一开关;第一开关的输入极连接至第一输入端,第一开关的输出极连接至输出端,第一开关的控制极连接第一开关的输入极、第二输入端和接地。本申请采用基础的电子元器件设计搭建电源切换电路,利用硬件自动切换方式进行双电源的自主选择,无需软件参与控制,实现了双电源供电的快速切换,具有安全可靠性。



CN 115882580 A

1.一种电源切换系统,其特征在于,包括:电源切换电路;

所述电源切换电路具有第一输入端、第二输入端和输出端,所述第一输入端连接第一电源,所述第二输入端连接第二电源,所述电源切换电路的输出端连接所述第二输入端和负载电路;

其中,所述电源切换电路包括:第一开关;所述第一开关的输入极连接至所述第一输入端,所述第一开关的输出极连接至所述输出端,所述第一开关的控制极连接所述第一开关的输入极、所述第二输入端和接地。

2.根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述第一开关的控制极和所述第一开关的输入极之间设置有TVS管;所述TVS管的第一端连接所述第一开关的输入极,所述TVS管的第二端连接所述第一开关的控制极。

3.根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述第一开关的控制极和接地之间设置有第一电阻;

所述第一电阻的一端连接所述第二输入端和所述第一开关的控制极,所述第一电阻的另一端接地。

4.根据权利要求2所述的系统,其特征在于,所述第二输入端和所述输出端之间设置有第一二极管;

所述第一二极管的正极与所述第二输入端连接,所述第一二极管的负极与所述输出端连接。

5.根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述第二输入端和所述输出端之间设置有第二开关;所述第二开关的输入极与所述第二输入端连接,所述第二开关的输出极与所述输出端连接,所述第二开关的控制极与第二电阻的一端连接;所述第二电阻的另一端与第三开关的控制极连接,所述第三开关的输入极与所述第一开关的控制极连接,所述第三开关的输出极接地;

所述电源切换电路还包括:第四开关、反相电路、第一分压电阻以及第二分压电阻;其中,第四开关的控制极与所述第二输入端连接,所述第四开关的输入极与所述反相电路的输入节点和第一分压电阻的一端连接,所述第四开关的输出极与第二分压电阻的一端连接;所述第二分压电阻的另一端接地,所述第一分压电阻的另一端连接所述第一开关的输入极和所述反相电路的供电节点;所述反相电路的输出节点和所述第三开关的控制极连接。

6.根据权利要求5所述的系统,其特征在于,所述反相电路的输出节点和所述第三开关的控制极之间设置有第三电阻;

所述第三电阻的一端和所述反相电路的输出节点,所述第三电阻的另一端和所述第三开关的控制极连接。

7.根据权利要求5所述的系统,其特征在于,所述第二输入端和所述第四开关的控制极之间设置有第四电阻;

所述第四电阻的一端连接所述第二输入端和第一电容的一端,所述第四电阻的另一端连接所述第四开关的控制极,所述第一电容的另一端接地。

8.根据权利要求5所述的系统,其特征在于,所述第二开关的输出极与所述输出端之间设置有第二二极管;

所述第二二极管的正极与所述第二开关的输出极连接，所述第二二极管的负极与所述输出端连接。

9.根据权利要求5所述的系统，其特征在于，所述反相电路包括：上拉开关和下拉开关；

所述上拉开关的输入极作为所述反相电路的供电节点；所述上拉开关的输出极与所述下拉开关的输入极连接，并作为所述反相电路的输出节点；所述下拉开关的输出极接地；所述上拉开关的控制极与所述下拉开关的控制极连接，作为所述反相电路的输入节点。

10.根据权利要求1所述的系统，其特征在于，所述电源切换系统还包括：位于第一电源和所述第一输入端之间的限流防反电路；

所述限流防反电路包括：限流电阻、滤波电容、第五开关以及接地电阻；其中，限流电阻的一端连接所述第一电源，限流电阻的另一端连接所述滤波电容的第一端和所述第五开关的输入极；所述滤波电容的第二端接地；所述第五开关的输出极连接所述第一输入端，所述第五开关的控制极连接所述接地电阻的一端，所述接地电阻的另一端与所述滤波电容的第二端连接。

11.根据权利要求10所述的系统，其特征在于，所述滤波电容包括：由第一滤波电容和第二滤波电容构成的并联电容。

12.根据权利要求1所述的系统，其特征在于，所述第一开关的输出极和所述输出端之间设置有防倒灌电路，所述防倒灌电路的第一端与第一开关的输出极连接，所述防倒灌电路的第二端与所述输出端连接。

13.根据权利要求12所述的系统，其特征在于，所述防倒灌电路包括：第六开关；

所述第六开关的输入极作为所述防倒灌电路的第一端，连接所述第一开关的输出极；所述第六开关的输出极作为所述防倒灌电路的第二端，连接所述输出端；所述第六开关的控制极连接所述第一开关的控制极。

14.根据权利要求1所述的系统，其特征在于，所述电源切换电路还包括：第二电容；

所述第二电容的一端连接所述第一开关的输出极，所述第二电容的另一端连接所述第一开关的控制极。

15.根据权利要求1-14中任一项所述的系统，其特征在于，所述电源切换系统还包括：负载电容；

所述负载电容的一端连接所述电源切换电路的输出端，所述负载电容的另一端接地。

16.一种双电源供电设备，其特征在于，包括如权利要求1-15中任一项所述的电源切换系统。

电源切换系统及双电源供电设备

技术领域

[0001] 本申请涉及电子电路技术，尤其涉及一种电源切换系统及双电源供电设备。

背景技术

[0002] 在工业类产品中，比如工业流量计、数据采集器、变送器等，普遍使用了锂电池和外部直流电源两种电源进行供电，使该产品具有锂电池供电的维护便利性，同时也能在接入外部直流电源时，优先使用外部直流电源供电。

[0003] 目前，双电源供电产品的供电过程，有的采用二极管对双电源进行并接的电源方案，即在每个电源与负载之间串联设置二极管，利用外部直流电源电压高于锂电池电压的电压差，使得接入外部直流电源时锂电池对应的二极管截止，而外部直流电源对应的二极管导通，实现优先外部直流电源供电的需求。有的采用软件控制双电源的切换，即利用相应的开关电路和主控单元的I/O口，实现锂电池和外部直流电源的供电选择。

[0004] 然而，上述的二极管控制方案存在二极管击穿带来的安全隐患，软件控制方案存在软件响应速度慢带来的安全隐患，使得无法安全可靠的实现双电源的切换供电。

发明内容

[0005] 本申请提供一种电源切换系统及双电源供电设备，使双电源切换供电安全可靠。

[0006] 第一方面，本申请提供一种电源切换系统，包括：电源切换电路；电源切换电路具有第一输入端、第二输入端和输出端，第一输入端连接第一电源，第二输入端连接第二电源，电源切换电路的输出端连接第二输入端和负载电路；其中，电源切换电路包括：第一开关；第一开关的输入极连接至第一输入端，第一开关的输出极连接至输出端，第一开关的控制极连接第一开关的输入极、第二输入端和接地。

[0007] 本申请采用基础的电子元器件设计搭建电源切换电路，利用硬件自动切换方式进行双电源的自主选择，无需软件参与控制，实现了双电源供电的快速切换，具有安全可靠性。

[0008] 进一步地，第一开关的控制极和第一开关的输入极之间设置有TVS管；TVS管的第一端连接第一开关的输入极，TVS管的第二端连接第一开关的控制极。

[0009] 上述在第一开关的输入极和输出极之间设置的TVS管用于保护第一开关，避免击穿损坏，进一步提高电源切换电路的安全可靠性。

[0010] 进一步地，第一开关的控制极和接地之间设置有第一电阻；第一电阻的一端连接第二输入端和第一开关的控制极，第一电阻的另一端接地。

[0011] 上述在第一开关的控制极和接地之间设置的第一电阻起到限流作用，用于保护第一开关，避免电流过大烧坏第一开关，进一步提高电源切换电路的安全可靠性。

[0012] 进一步地，第二输入端和输出端之间设置有第一二极管；第一二极管的正极与第二输入端连接，第一二极管的负极与输出端连接。

[0013] 上述在第二输入端与输出端之间设置第一二极管，起到防倒灌的作用。当仅第一

电源供电时，避免第一电源电流流向第二电源，造成不必要的能量损耗。

[0014] 进一步地，第二输入端和输出端之间设置有第二开关；第二开关的输入极与第二输入端连接，第二开关的输出极与输出端连接，第二开关的控制极与第二电阻的一端连接；第二电阻的另一端与第三开关的控制极连接，第三开关的输入极与第一开关的控制极连接，第三开关的输出极接地；

[0015] 电源切换电路还包括：第四开关、反相电路、第一分压电阻以及第二分压电阻；其中，第四开关的控制极与第二输入端连接，第四开关的输入极与反相电路的输入节点和第一分压电阻的一端连接，第四开关的输出极与第二分压电阻的一端连接；第二分压电阻的另一端接地，第一分压电阻的另一端连接第一开关的输入极和反相电路的供电节点；反相电路的输出节点和第三开关的控制极连接。

[0016] 上述的第二开关、第三开关、第四开关、反相电路、分压电阻相互配合用于影响第二开关的断开和导通，实现在第一电源和第二电源同时供电时，优先选择第二电源进行供电。

[0017] 进一步地，反相电路的输出节点和第三开关的控制极之间设置有第三电阻；第三电阻的一端和反相电路的输出节点，第三电阻的另一端和第三开关的控制极连接。

[0018] 上述设置的第三电阻起到限流作用，避免烧坏第三开关，保护电路。

[0019] 进一步地，第二输入端和第四开关的控制极之间设置有第四电阻；第四电阻的一端连接第二输入端和第一电容的一端，第四电阻的另一端连接第四开关的控制极，第一电容的另一端接地。

[0020] 上述设置的第四电阻起到限流作用，避免烧坏第四开关，保护电路。第一电容为滤波电容，用于滤除第一电源的干扰，防止误触发，提升电源电压稳定性。

[0021] 进一步地，第二开关的输出极与输出端之间设置有第二二极管；第二二极管的正极与第二开关的输出极连接，第二二极管的负极与输出端连接。

[0022] 上述将第二二极管设置在靠近输出端的位置，防倒灌，避免不必要的能量损耗和器件损失，保护电路。

[0023] 进一步地，反相电路包括：上拉开关和下拉开关；上拉开关的输入极作为反相电路的供电节点；上拉开关的输出极与下拉开关的输入极连接，并作为反相电路的输出节点；下拉开关的输出极接地；上拉开关的控制极与下拉开关的控制极连接，作为反相电路的输入节点。

[0024] 上述的上拉开关与下拉开关与前述的第一分压电阻和第二分压电阻相互配合，实现上拉开关与下拉开关的导通或截止，进而影响第二开关的导通或截止，实现双电源的自主选择。

[0025] 进一步地，电源切换系统还包括：位于第一电源和第一输入端之间的限流防反电路；限流防反电路包括：限流电阻、滤波电容、第五开关以及接地电阻；其中，限流电阻的一端连接第一电源，限流电阻的另一端连接滤波电容的第一端和第五开关的输入极；滤波电容的第二端接地；第五开关的输出极连接第一输入端，第五开关的控制极连接接地电阻的一端，接地电阻的另一端与滤波电容的第二端连接。

[0026] 上述的限流防反电路用于保护第一电源的安全，也保护后端电路的安全。

[0027] 进一步地，滤波电容包括：由第一滤波电容和第二滤波电容构成的并联电容。

[0028] 上述采用并联的两个电容，起到降低等效电阻的作用。

[0029] 进一步地，第一开关的输出极和输出端之间设置有防倒灌电路，防倒灌电路的第一端与第一开关的输出极连接，防倒灌电路的第二端与输出端连接。

[0030] 上述的防倒灌电路起到保护电路的作用。

[0031] 进一步地，防倒灌电路包括：第六开关；第六开关的输入极作为防倒灌电路的第一端，连接第一开关的输出极；第六开关的输出极作为防倒灌电路的第二端，连接输出端；第六开关的控制极连接第一开关的控制极。

[0032] 上述防倒灌电路中的第六开关，避免当第二电源供电时，第二电源电流流向第一电源，避免不必要的能量损耗。

[0033] 进一步地，电源切换电路还包括：第二电容；第二电容的一端连接第一开关的输出极，第二电容的另一端连接第一开关的控制极。

[0034] 上述的第二电容为滤波电容，滤除电源干扰，避免误触发。

[0035] 进一步地，电源切换系统还包括：负载电容；负载电容的一端连接电源切换电路的输出端，负载电容的另一端接地。

[0036] 上述的负载电容为滤波电容，保证输出电压的稳定性。

[0037] 第二方面，本申请提供一种一种双电源供电设备，包括如第一方面所述的电源切换系统。

[0038] 本申请提供的电源切换系统及双电源供电设备，包括：电源切换电路；电源切换电路具有第一输入端、第二输入端和输出端，第一输入端连接第一电源，第二输入端连接第二电源，电源切换电路的输出端连接第二输入端和负载电路；其中，电源切换电路包括：第一开关；第一开关的输入极连接至第一输入端，第一开关的输出极连接至输出端，第一开关的控制极连接第一开关的输入极、第二输入端和接地。本申请采用基础的电子元器件设计搭建电源切换电路，利用硬件自动切换方式进行双电源的自主选择，无需软件参与控制，实现了双电源供电的快速切换，具有安全可靠性。

附图说明

[0039] 此处的附图被并入说明书中并构成本说明书的一部分，示出了符合本申请的实施例，并与说明书一起用于解释本申请的原理。

[0040] 图1a为一种典型的双电源供电方案的电路图；

[0041] 图1b为另一种典型的双电源供电方案的电路图；

[0042] 图2a和图2b为示例性的一种电源切换系统的应用场景；

[0043] 图3为本申请提供的一种电源切换系统的结构示意图；

[0044] 图4为本申请提供的电源切换系统中第一开关的电路图；

[0045] 图5为本申请提供的电源切换系统中TVS管的电路图；

[0046] 图6为本申请提供的电源切换系统中第一电阻的电路图；

[0047] 图7为本申请提供的电源切换系统中第一二极管的电路图；

[0048] 图8为本申请提供的一种电源切换系统的电路图；

[0049] 图9为本申请提供的另一种电源切换系统的电路图；

[0050] 图10为本申请提供的电源切换系统中反相电路的电路图；

[0051] 图11为本申请提供的另一种电源切换系统的结构示意图；

[0052] 图12为本申请提供的电源切换系统中限流防反电路的电路图；

[0053] 图13为本申请提供的又一种电源切换系统的结构示意图；

[0054] 图14为本申请提供再一种电源切换系统的电路图；

[0055] 图15为本申请提供又一种电源切换系统的电路图。

[0056] 通过上述附图，已示出本申请明确的实施例，后文中将有更详细的描述。这些附图和文字描述并不是为了通过任何方式限制本申请构思的范围，而是通过参考特定实施例为本领域技术人员说明本申请的概念。

具体实施方式

[0057] 这里将详细地对示例性实施例进行说明，其示例表示在附图中。下面的描述涉及附图时，除非另有表示，不同附图中的相同数字表示相同或相似的要素。以下示例性实施例中所描述的实施方式并不代表与本申请相一致的所有实施方式。相反，它们仅是与如所附权利要求书中所详述的、本申请的一些方面相一致的装置和方法的例子。

[0058] 首先对本申请所涉及的名词进行解释：

[0059] 双电源供电：双电源是电源来源不同(比如不同的区域变电站)，相互独立，其中一个电源断电以后第二个电源不会同时断电。

[0060] TVS管：瞬态二极管(Transient Voltage Suppressor，TVS)，是一种二极管形式的高效能保护器件。当TVS管的两极受到反向瞬态高能量冲击时，它能以10的负12次方秒量级的速度，将其两极间的高阻抗变为低阻抗，吸收高达数千瓦的浪涌功率，使两极间的电压钳位(将某点的电位限制在规定电位的措施，是一种过压保护技术)于一个预定值，有效地保护电子线路中的精密元器件，免受各种浪涌脉冲的损坏。

[0061] 目前，使用双电源供电的应用领域越来越广泛，尤其是在工业类产品中得以普遍应用。支持双电源供电的工业类产品有工业流量计、数据采集器、变送器等。下面的双电源以电池和外部电源为例，其中电池以锂电池为例，外部电源以市电为例。

[0062] 双电源供电产品支持锂电池供电和外部直流电源供电之间的自由切换，拓宽了产品的应用场景，使这类产品既具有锂电池供电的维护便利性，同时当工作现场接入外部直流电源时，能优先使用外部直流电源供电，使得锂电池寿命得到较大程度的延长。并且，在外电供电模式下，双电源供电产品还具备单纯锂电池供电产品(低功耗要求)所不具备的相应的外设功能，例如对外输出4-20mA信号、脉冲输出等大功率外设功能，所以双电源供电成为工业类电子产品的发展趋势。

[0063] 传统的双电源供电产品的电源方案设计有两种。第一种方案为：采用二极管对锂电池和外部电源进行并接的双电源方案；第二种方案为：采用软件对锂电池和外部电源的供电进行切换控制的双电源方案。

[0064] 需要说明的是，二极管自身具有一定的正向压降，也称为导通电压。二极管还具有单向导电性。其工作原理为：在二极管两端加载正向电压，当该正向电压小于导通电压时，则该二极管未导通，实际电子器件二极管中，依然会存在微小电流正向通过，这与二极管的制备工艺有关。在二极管两端加载正向电压，当该正向电压大于导通电压时，则该二极管导通。在二极管两端加载负向电压，则该二极管截止，实际电子器件二极管中，依然会存在微

小电流反向通过(也称为反向漏电流),这与二极管的制备工艺有关。当该负向电压超过一定数值,则该二极管会被击穿损坏,失去单向导电性。

[0065] 图1a为一种典型的双电源供电方案的电路图,对应第一种方案。如图1a所示,二极管D3串联在锂电池的输出端与负载电路之间,其正极与锂电池输出端连接,其负极与负载电路连接;二极管D4串联在外部电源的输出端与负载电路之间,其正极与外部电源输出端连接,其负极与负载电路连接。该电路的作用过程为:当外部电源不供电,仅锂电池供电时,二极管D5导通状态,二极管D4截止状态,即锂电池为负载电路供电;当外部电源供电时,二极管D4导通状态,由于外部电源的电压高于锂电池的输出电压,导致二极管D5为截止状态,即外部电源为负载电路供电。以上利用二极管的单向导电性,实现锂电池与外部电源的切换供电。

[0066] 上述的第一种方案存在以下问题:(1)存在安全隐患。当外部电源和锂电池同时存在时,锂电池和外部电源均与后端负载电路连接,若外部电源高于锂电池电压,二极管D5存在反向漏电流,以及当二极管D5发生短路故障时,则会发生对锂电池进行反向充电,存在爆炸的风险;若两者电压相近,在外电存在时锂电池也进行供电,影响锂电池使用寿命。(2)供电不稳定。当只存在锂电池供电时,由于二极管存在固有正向压降电压,锂电池电压经过二极管D5后电压会降低,且流过的电流值越大压降也随之增大,进而影响后端的负载电路的正常工作。

[0067] 图1b为另一种典型的双电源供电方案的电路图,对应第二种方案。如图1b所示,采用软件控制的方式搭配相应的开关电路来实现对锂电池和外部电源的供电切换功能,主要由基本的电子器件PMOS管Q9、二极管D6、二极管D7、三极管Q10、电阻R9、电阻R10、电阻R11、电阻R12组成并配合主控芯片的I/O控制,来实现锂电池和外部电源供电选择。其中,EXD-PWR-INT为主控芯片中具有中断输入功能的I/O口;EXD-PWR-CTL为主控芯片中的普通I/O口。

[0068] 在软件控制的基础上,外部电源的上电时,通过分压电阻R10、分压电阻R11产生的上升沿进入到EXD-PWR-INT中;外部电源的掉电时,通过分压电阻R10、分压电阻R11后产生的下降沿进入到EXD-PWR-INT中。基于此,上述电路的作用过程为:当外部电源不供电时,EXD-PWR-CTL被设置为高电平,PMOS管Q9导通,则由锂电池供电。当外部电源上电时,EXD-PWR-INT识别上电过程的上升沿,将控制EXD-PWR-CTL设置为低电平,PMOS管Q9关断,此时由外部电源供电;当外部电源掉电时,EXD-PWR-INT识别掉电过程的下降沿,将控制EXD-PWR-CTL设置为高电平,PMOS管Q9导通,此时由锂电池供电。

[0069] 上述的第二种方案存在以下问题:(1)存在安全隐患。该方案的实现是基于软件控制实现,并且包含上电检测过程、下电检测过程和逻辑控制过程,响应速度较慢,进而可能导致整个系统出现掉电状态,造成数据丢失。当软件出错或卡死现象,电源切换功能丧失且各开关电路状态不可控,易造成安全隐患。(2)供电不稳定。依赖软件的工作稳定性,当软件出现卡顿、运行BUG时电源切换功能会丧失,造成供电混乱。

[0070] 本申请提供了一种电源切换系统,旨在解决现有技术的如上技术问题。

[0071] 首先,对本申请示例性的应用场景进行介绍。

[0072] 图2a和图2b为示例性的一种电源切换系统的应用场景。如图2a和图2b所示,双电源供电设备是指具有两个供电电源的设备,具体的可以为工业流量计、数据采集器、变送器

等工业应用设备。双电源供电设备的两个电源需要相互独立，即一个电源断电以后第二个电源不会同时断电，图2a和图2b中以电池和市电为例。双电源供电设备内设置有电源切换系统，图2a和图2b中将电源切换系统简化为双侧开关电路。该双侧开关电路与双电源供电设备的功能部件连接，通过该电路选择供电电源为市电或者电池。

[0073] 当市电无法供电时，比如电网停电或者为了维护整修等需求主动断开市电，通过电源切换系统进行电路控制，使得电池为功能部件供电，如图2a所示。当采用市电供电时，通过电源切换系统进行电路控制，切换为市电为功能部件供电，如图2b所示。可以理解的，本申请对双电源不做限制，只要两个电源相互独立，在没有故障前提下，不同时断电即可。本申请对双电源供电设备也不做限制，只要采用双电源供电即可。

[0074] 基于上述应用背景，下面以具体地实施例对本申请的技术方案以及本申请的技术方案如何解决上述技术问题进行详细说明。下面这几个具体的实施例可以相互结合，对于相同或相似的概念或过程可能在某些实施例中不再赘述。下面将结合附图，对本申请的实施例进行描述。

[0075] 图3为本申请提供的一种电源切换系统的结构示意图，如图3所示，本申请提供的电源切换系统，包括：电源切换电路；电源切换电路具有第一输入端、第二输入端和输出端，第一输入端连接第一电源，第二输入端连接第二电源，电源切换电路的输出端连接第二输入端和负载电路；其中，电源切换电路包括：第一开关Q2；第一开关Q2的输入极连接至第一输入端，第一开关Q2的输出极连接至输出端，第一开关Q2的控制极连接第一开关的输入极、第二输入端和接地。

[0076] 第一电源和第二电源均用于提供电能，电能可以来自电池，也可以为发动机发电，也可以为市电。本申请对电源的来源不做限制，只要第一电源与第二电源相互独立，两者不会同时无法供电即可。以下介绍中，第一电源以锂电池为例，第二电源以市电为例。

[0077] 负载电路为需要电源提供电能以维持自身功能的电路，包括但不限于主控芯片、电源芯片等，还可以包括双电源供电设备的功能部件，比如显示器、提示灯等。

[0078] 具体的，第一开关可以为PMOS管。图4为本申请提供的电源切换系统中第一开关的电路图，参照图4，第一开关Q2为正接的PMOS管，PMOS管包括源极、栅极和漏极。正接是指PMOS管的源极输入电流、漏极输出电流。该源极相当于第一开关Q2的输入极，与第一输入端连接；该栅极相当于第一开关Q2的控制极，与第一开关的输入极和第二输入端连接，同时接地；该漏极相当于第一开关Q2的输出极，与输出端连接。

[0079] 第一开关Q2的作用过程为：当源极电压高于栅极电压，且电压差超过导通电压时，则PMOS的源极与漏极导通；否则，PMOS的源极与漏极截止。如图4所示，第一电源输入第一开关Q2的源极一个高电平，当第二电源不供电时，由于第一开关Q2的栅极接地，处于低电平状态，所以源极电压高于栅极电压，第一开关Q2导通，进而第一电源可以为负载电路供电；当第二电源供电时，配合其他电路(图4未示出)，使第一开关Q2的栅极处于高电平，由于源极电压与栅极电压的电压差不足以导通第一开关Q2，进而第一电源无法为负载电路供电，由第二电源为负载电路供电。

[0080] 本申请采用基础的电子元器件设计搭建电源切换电路，利用硬件自动切换方式进行双电源的自主选择，无需软件参与控制，实现了双电源供电的快速切换，具有安全可靠性。

[0081] 在一个示例中，第一开关Q2的控制极和第一开关Q2的输入极之间设置有TVS管；TVS管的第一端连接第一开关Q2的输入极，TVS管的第二端连接第一开关Q2的控制极。

[0082] 具体的，图5为本申请提供的电源切换系统中TVS管的电路图，如图5所示，TVS管D1连接在第一开关Q2的栅极与源极之间，保护第一开关Q2，避免击穿损坏，提高了电源切换电路的安全性。

[0083] 在一个示例中，第一开关Q2的控制极和接地之间设置有第一电阻R7；第一电阻R7的一端连接第二输入端和第一开关Q2的控制极，第一电阻R7的另一端接地。

[0084] 具体的，图6为本申请提供的电源切换系统中第一电阻的电路图，第一电阻R7设置在第一开关Q2的控制极和接地之间，起到限流作用，避免电流过大烧坏第一开关Q2，提高了电源切换电路的安全性。

[0085] 在上述示例的基础上，第二输入端和输出端之间设置有第一二极管D2；第一二极管D2的正极与第二输入端连接，第一二极管D2的负极与输出端连接。

[0086] 具体的，图7为本申请提供的电源切换系统中第一二极管的电路图，设置在第二输入端与输出端之间的第一二极管D2，起到防倒灌的作用。当仅第一电源供电时，可以避免第一电源电流流向第二电源，造成不必要的能量损耗。

[0087] 以上对于第一开关Q2的导通或截止主要依赖双电源的电压差，该双电源切换方案缺乏可靠性。因此本申请提供了另一种电源切换系统电路，其中设计了用于控制第一开关Q2导通或截止的电路，以实现双电源切换的可靠性。以下对该电路进行介绍。

[0088] 在一个示例中，第二输入端和输出端之间设置有第二开关Q8；第二开关Q8的输入极与第二输入端连接，第二开关Q8的输出极与输出端连接，第二开关Q8的控制极与第二电阻R8的一端连接；第二电阻R8的另一端与第三开关Q7的控制极连接，第三开关Q7的输入极与第一开关Q2的控制极连接，第三开关Q7的输出极接地。其中，第二电阻R8起到限流作用，保护第二开关Q8。

[0089] 电源切换电路还包括：第四开关Q6、反相电路、第一分压电阻R3以及第二分压电阻R5；其中，第四开关Q6的控制极与第二输入端连接，第四开关Q6的输入极与反相电路的输入节点和第一分压电阻R3的一端连接，第四开关Q6的输出极与第二分压电阻R5的一端连接。第二分压电阻R5的另一端接地，第一分压电阻R3的另一端连接第一开关Q2的输入极和反相电路的供电节点。反相电路的输出节点和第三开关Q7的控制极连接。

[0090] 其中，第二开关Q8、第三开关Q7、第四开关Q6是起到开关作用的电子元器件，可以为NMOS管、PMOS管、NPN三极管、PNP三极管等。

[0091] 示例性的，图8为本申请提供的一种电源切换系统的电路图。具体的，第二开关Q8为PMOS管，第三开关Q7可以为NPN型三极管，第四开关Q6可以为NPN型三极管。

[0092] PMOS管的源极即为第二开关Q8的输入极；PMOS管的漏极即为第二开关Q8的输出极；PMOS管的栅极即为第二开关Q8的控制极。NPN型三极管的基极即为第三开关Q7和第四开关Q6的控制极，NPN型三极管的集电极即为第三开关Q7和第四开关Q6的输入极，NPN型三极管的发射极即为第三开关Q7和第四开关Q6的输出极。

[0093] 需要说明的是，三极管在电路中具有放大作用和开关作用，本申请主要利用的是三极管的开关作用。因此，NPN型三极管的工作原理为：当加载在三极管基极与发射极两端的电压大于PN结的导通电压，并且当基极的电流增大到一定程度时，集电极电流不再随着

基极电流的增大而增大，而是处于某一定值附近不再怎么变化，此时三极管失去电流放大作用，集电极和发射极之间的电压很小，集电极和发射极之间相当于开关的导通状态，即为三极管的导通状态。

[0094] 具体的，以第三开关Q7为例对其开关作用进行介绍。当第三开关Q7的基极为高电平，由于发射极接地(即为低电平)，所以第三开关Q7为导通状态。因此集电极处于低电平状态，也因此第一开关Q2的栅极处于低电平状态。此时，若第一电源为第一开关Q2的源极提供一个高电平状态，源极电压大于栅极电压，那么第一开关Q2则导通，第一电源可以为负载电路供电。

[0095] 反之，当第三开关Q7的基极为低电平，那么第三开关Q7为截止状态。第一开关Q2的栅极的电压为第一电源提供的电压经过TVS管D1后的电压，因为TVS管D1的分压很小可以忽略不计，所以第一开关Q2的栅极电压与源极电压基本相同，第一开关Q2则截止，第一电源不能为负载电路供电。

[0096] 为了在实际使用过程中保护各部分器件，需要在上述示例的基础上进一步添加保护电路。图9为本申请提供的另一种电源切换系统的电路图，为在图8基础上添加了一些电子器件，以保护整个电路。具体保护措施如下：

[0097] (1)对第三开关Q7的保护：反相电路的输出节点和第三开关Q7的控制极之间设置有第三电阻R4；第三电阻R4的一端和反相电路的输出节点，第三电阻R4的另一端和第三开关Q7的控制极连接。具体的，第三电阻R4起到限流作用，避免烧坏第三开关Q7，保护电路。

[0098] (2)对第四开关Q6的保护：第二输入端和第四开关Q6的控制极之间设置有第四电阻R6；第四电阻R6的一端连接第二输入端和第一电容C5的一端，第四电阻R6的另一端连接第四开关Q6的控制极，第一电容C5的另一端接地。第四电阻R6起到限流作用，避免烧坏第四开关Q6，保护电路。另外，第一电容C5为滤波电容，用于滤除第一电源的干扰，防止误触发，提升电源电压稳定性。

[0099] (3)对第二电源的保护：第二开关Q8的输出极与输出端之间设置有第二二极管D3；第二二极管D3的正极与第二开关Q8的输出极连接，第二二极管D3的负极与输出端连接。

[0100] 其中，图9所示的第二二极管D3与图7所示的第一二极管D2均使电路单向导通，起到防倒灌的作用，并且将其设置在靠近输出端的位置，更好地保护前端电路。一方面，当仅第一电源供电时，避免第一电源电流流向第二电源，造成不必要的能量损耗；另一方面，避免倒灌途径的电子元器件时，造成能量损失或者损坏元器件。

[0101] 在上述如图9所示的电源切换系统示例的基础上，图10为本申请提供的电源切换系统中反相电路的电路图。反相电路包括：上拉开关Q4和下拉开关Q5；上拉开关Q4的输入极作为反相电路的供电节点；上拉开关Q4的输出极与下拉开关Q5的输入极连接，并作为反相电路的输出节点；下拉开关Q5的输出极接地；上拉开关Q4的控制极与下拉开关Q5的控制极连接，作为反相电路的输入节点。

[0102] 如图10所示，上拉开关Q4以NPN型三极管为例，下拉开关Q5以PNP型三极管为例。当第一电源供电，第二电源断电时，第四电阻R6两端为低电平，所以第四开关Q6为截止状态；第一分压电阻R3连接第一电源，所以第一分压电阻R3两端为高电平，所以上拉开关Q4和下拉开关Q5的基极为高电平；上拉开关Q4的集电极与第一电源连接，所以下来开关Q4导通；下拉开关Q5集电极接地，所以下拉开关Q5截止；由于下来开关Q4导通，所以下来开关Q4的发射

极为高电平，第三开关Q7导通，第一开关Q2栅极为低电平，第一开关Q2导通，第一电源可以为负载电路供电；第二开关Q8的栅极也为高电平，第二开关Q8截止，第二电源与负载电路之间断路。

[0103] 当第二电源上电时，第四电阻R6两端为高电平，所以第四开关Q6导通；上拉开关Q4和下拉开关Q5的基极电压相同；通过调节第一分压电阻R3、第二分压电阻R5的阻值，使基极电压低于导通电压，使得上拉开关Q4截止、下拉开关Q5导通；由于下拉开关Q5导通，第三开关Q7的基极为低电平，第三开关Q7截止，第一开关Q2的栅极的电压为第一电源提供的电压经过TVS管D1后的电压，因为TVS管D1的分压很小可以忽略不计，所以第一开关Q2的栅极电压与源极电压基本相同，第一开关Q2则截止，第一电源不能为负载电路供电；第二开关Q8的栅极为低电平，第二开关Q8导通，第二电源取代第一电源为负载电路供电。

[0104] 上述设置实现了双电源的快速响应，和双电源同时有电时优先选择第二电源供电的要求。

[0105] 在一个示例中，为了保护第一电源，电源切换系统还包括：位于第一电源和第一输入端之间的限流防反电路。

[0106] 图11为本申请提供的另一种电源切换系统的结构示意图。限流防反电路既能保护第一电源的安全，也保护后端电路的安全。以锂电池为例，限流防反电路作用于锂电池输出端，用于防止锂电池正负极反接，以及防止第二电源对锂电池反向充电，并限制电池的反向充电电流，避免引发锂电池爆炸。

[0107] 具体的，限流防反电路包括：限流电阻R1、滤波电容、第五开关Q1以及接地电阻R2；其中，限流电阻R1的一端连接第一电源，限流电阻R1的另一端连接滤波电容的第一端和第五开关Q1的输入极；滤波电容的第二端接地；第五开关Q1的输出极连接第一输入端，第五开关Q1的控制极连接接地电阻R2的一端，接地电阻R2的另一端与滤波电容的第二端连接。

[0108] 其中，第五开关Q1为具有开关作用的电子元器件。限流电阻R1起到限制流过整个电路的电流值作用。滤波电容起到滤波的作用，保证锂电池电压的稳定性。

[0109] 进一步地，滤波电容包括：由第一滤波电容C2和第二滤波电容C3构成的并联电容。采用并联的两个电容，进一步降低滤波电路的等效电阻。

[0110] 图12为本申请提供的电源切换系统中限流防反电路的电路图，其中，第五开关Q1以PMOS管为例。第一电源供电、第二电源断电时，第一电源提供的电流进入限流防反电路，通过限流电阻R1、第一滤波电容C2和第二滤波电容C3，进入第五开关Q1的漏极。第一电源的电压通过第五开关Q1的体二极管导通，使得第五开关Q1的源极电压近似等于锂电池电压。由于体二极管存在固有的导通压降，所以第五开关Q1的源极电压稍低于漏极电压。

[0111] 第五开关Q1的栅极通过接地电阻R2接地，栅极电压为零电平。由于第五开关Q1的栅极电压低于源极电压，并且压差达到第五开关Q1的导通电压，所以第五开关Q1导通。第五开关Q1导通后，电流不再通过其体二极管，而是由漏极到源极。漏极、源极之间的等效阻抗为毫欧级别，所以第一电源电压经过第五开关Q1之后不会有较大的电压损耗而接入到后端电路中。

[0112] 当第一电源正负极插反时，第五开关Q1不导通，具有防反的电源保护机制，保护后端电路和锂电池本身的安全。

[0113] 在一个示例中，为了保护电源，第一开关Q2的输出极和输出端之间设置有防倒灌

电路，防倒灌电路的第一端与第一开关Q2的输出极连接，防倒灌电路的第二端与输出端连接。图13为本申请提供的又一种电源切换系统的结构示意图，防倒灌电路主要是用于防止电流的倒灌，当锂电池供电时，防止锂电电流进入到外电电路中；当外部电源供电时，防止外部电源的电流倒灌进入到锂电池，避免非必要的能量损耗，防止发生安全事故。

[0114] 进一步地，防倒灌电路包括：第六开关Q3；第六开关Q3的输入极作为防倒灌电路的第一端，连接第一开关Q2的输出极；第六开关Q3的输出极作为防倒灌电路的第二端，连接输出端；第六开关Q3的控制极连接第一开关Q2的控制极。其中，第六开关Q3，避免当第二电源供电时，第二电源电流流向第一电源，避免不必要的能量损耗。

[0115] 进一步地，本申请提供的电源切换电路还包括：第二电容C1；第二电容C1的一端连接第一开关Q2的输出极，第二电容C1的另一端连接第一开关Q2的控制极。其中，第二电容为滤波电容，滤除电源干扰，避免误触发。

[0116] 进一步地，本申请提供的电源切换系统还包括：负载电容C4；负载电容C4的一端连接电源切换电路的输出端，负载电容C4的另一端接地。其中，负载电容为滤波电容，保证输出电压的稳定性。

[0117] 示例性的，图14为本申请提供的再一种电源切换系统的电路图。第一电源以锂电池为例，第二电源以市电为例。结合图14，对实现快速切换供电电源的工作原理和相关功能的实现过程进行介绍。

[0118] (1)第一种情况：当只存在锂电池供电时。锂电池供电时，外电未接入电路中，锂电池首先进入到限流防反电路中，锂电池通过限流电阻R1和第一滤波电容C2、第二滤波电容C3接入到电路中，限流电阻R1起到限制流过整个电路的电流值作用，第一滤波电容C2、第二滤波电容C3起到滤波的作用，保证锂电池电压的稳定性。

[0119] 锂电池电压通过第五开关Q1的体二极管导通，使得第五开关Q1的源极电压近似等于锂电池电压(体二极管存在导通压降)，第五开关Q1的栅极通过接地电阻R2接地，第五开关Q1的栅极电压为零电平，此时第五开关Q1的栅源电压负压，并达到第五开关Q1的导通电压，使得第五开关Q1导通，电流不再通过第五开关Q1的体二极管，而是由第五开关Q1的漏极到源极，漏极、源极之间的等效阻抗为毫欧级别，所以锂电池电压经过第五开关Q1之后不会有较大的电压损耗而接入到后端电路中，第五开关Q1还具有防反的电源保护机制，当锂电池正负极插反时，第五开关Q1不导通，保护后端电路和锂电池本身的安全。

[0120] 锂电池电压经过限流防反电路后作用于第一开关Q2的源极，第一开关Q2的源极电压近似为锂电池电压，此时市电不接入，市电网络为低电平，第四电阻R6两端的电平为低电平，第四开关Q6截止。第一分压电阻R3的一端与第一开关Q2的源极和上拉开关Q4的集电极连接，另一端与上拉开关Q4的基极和下拉开关Q5的基极连接，此时基极电压正向偏置，所以上拉开关Q4导通，而下拉开关Q5截止。上拉开关Q4的发射极为高电平，此高电平作用于第三开关Q7的基极，此时第三开关Q7的基极正向偏置，为导通状态。

[0121] 第三开关Q7导通，第三开关Q7的集电极与第一开关Q2栅极连接，所以第一开关Q2的栅极与地连接为零电平，第一开关Q2的源极电压为高电平，第一开关Q2的栅源电压负压，并达到第一开关Q2的导通电压，进而第一开关Q2导通；同时第二开关Q8的PMOS管的栅源电压为零电平，未达到第二开关Q8的导通电压，所以第二开关Q8截止；此时第六开关Q3的栅极电压为零电平，第六开关Q3源极电压为高电平(电压值由漏极通过体二极管到源极)，所以

第六开关Q3也导通;此时锂电池电压经过输出负载电容C4后为负载电路供电,其中第二电容C1为滤波电容,滤除电源干扰,避免误导通。

[0122] 锂电池单独存在供电时各开关器件的状态为:第五开关Q1导通,第一开关Q2导通,第六开关Q3导通;第二开关Q8截止;第四开关Q6截止,下拉开关Q5截止,上拉开关Q4导通,第三开关Q7导通。

[0123] (2)第二种情况:当市电和锂电池同时存在时。锂电池电压经过限流防反电路后,电压作用于第一开关Q2的源极,此时市电接入到电路中,第四电阻R6两端为高电平,第四开关Q6为导通状态,此时的上拉开关Q4和下拉开关Q5的基极连接在同一电平点,第一开关Q2的源极的电压值通过第一分压电阻R3和第二分压电阻R5分压作用于上拉开关Q4、下拉开关Q5的基极,调整设计第一分压电阻R3和第二分压电阻R5的阻值,使得基极电压低于导通电压,此时上拉开关Q4截止,下拉开关Q5导通,下拉开关Q5导通之后,第三开关Q7的基极电平为零电平,所以第三开关Q7截止,第一开关Q2的栅极电压低于源极电压,不满足第一开关Q2的导通条件,所以第一开关Q2截止,将锂电池与负载电路之间的通路切断。

[0124] 第二开关Q8的源极电压为高电平,漏极电压为低电平;同时第二开关Q8的栅源电压为负电压,并达到其导通电压,第二开关Q8导通。市电通过第二二极管D3、负载电容C4后作用于负载电路,此时第六开关Q3为截止状态,其体二极管起到防倒灌的作用。

[0125] 锂电池和市电同时存在时各开关器件的状态为:第五开关Q1导通,第一开关Q2截止,第六开关Q3截止;第二开关Q8导通;第四开关Q6导通,下拉开关Q5导通,上拉开关Q4截止,第三开关Q7截止;同理,当市电由高电平变为低电平时,自动切换为锂电池供电,具体步骤与前述的第一种情况相同。

[0126] 以上图14展示的电路方案可以应用于需要进行电源快速切换响应的场合,当没有电源快速切换这一需求时,可在以上电路方案的基础上去除快速开关电路,也能达到双电源供电的自动切换功能,同时具备相应的防反接、限流、防倒灌等电源保护机制和低电压损耗的有益效果,具体电路图实现如图15所示。

[0127] 图15为本申请提供又一种电源切换系统的电路图,为在图6基础上,结合如图12所示的限流防反电路以及防倒灌器件组成。具体包括限流防反电路、切换电路、防倒灌电路、负载电路。如图15所示,切换电路由TVS管D1、第一开关Q2、第一电阻R7组成;限流防反电路由限流电阻R1、接地电阻R2、第一滤波电容C2、第二滤波电容C3、第五开关Q1组成;防倒灌电路由第六开关Q3、第一二极管D2组成;负载电路包括负载电容C4。结合图15,对实现切换供电电源的工作原理和相关功能的实现过程进行介绍。

[0128] (1)第一种情况:当只存在锂电池供电时。第五开关Q1、第一开关Q2、第六开关Q3导通,锂电池端电压较小损耗后经过负载电容C4传递到负载电路上。

[0129] 锂电池先经过限流电阻R1限流后,经过第一滤波电容C2、第二滤波电容C3滤波后锂电池电压加载在第五开关Q1的漏极端,再由第五开关Q1的体二极管传递至第五开关Q1的源极,源极电压近似等于锂电池电压。第五开关Q1的栅极由于下拉接地电阻R2的存在,其栅极为零电平。第五开关Q1的栅源电压达到其导通电压阈值,所以第五开关Q1导通。

[0130] 第五开关Q1导通后,锂电池电压加载在第一开关Q2的源极端,此时市电不供电,所以第一开关Q2的栅极通过第一电阻R7接地为零电平,第一开关Q2的栅源电压达到其导通电压阈值,所以第一开关Q2导通;第六开关Q3的导通过程与第五开关Q1导通过程相同。第六开

关Q3具有防反灌功能，防止锂电池被反向充电，第一二极管D2为防止锂电池电流反灌至外电电路中，防止能量产生不必要的损耗，TVS管D1为防止第一开关Q2击穿损坏。

[0131] (2)第二种情况：当市电和锂电池同时存在时。第五开关Q1导通，第一开关Q2，第六开关Q3截止，锂电池与负载电路断开，负载电路由外电进行供电。

[0132] 市电存在时，第一开关Q2，第六开关Q3的栅极电压为市电电压，外电电压大于锂电池电压，使得第一开关Q2，第六开关Q3的栅源电压低于其导通电压阀值，所以第一开关Q2，第六开关Q3截止。此时外电通过第一二极管D2和负载电容C4候为负载电路供电，并且此时第六开关Q3具有防反灌功能，防止外电对锂电池反向充电。

[0133] 本申请提供了一种双电源供电设备，包括前述的电源切换系统。其他技术特征与前述的电源切换系统相同，并能达到相同的技术效果，在此不再一一赘述。

[0134] 本申请提供的电源切换系统及双电源供电设备，包括：电源切换电路；电源切换电路具有第一输入端、第二输入端和输出端，第一输入端连接第一电源，第二输入端连接第二电源，电源切换电路的输出端连接第二输入端和负载电路；其中，电源切换电路包括：第一开关；第一开关的输入极连接至第一输入端，第一开关的输出极连接至输出端，第一开关的控制极连接第一开关的输入极、第二输入端和接地。本申请采用基础的电子元器件设计搭建电源切换电路，利用硬件自动切换方式进行双电源的自主选择，无需软件参与控制，实现了双电源供电的快速切换，具有安全可靠性。

[0135] 本领域技术人员在考虑说明书及实践这里公开的发明后，将容易想到本申请的其它实施方案。本申请旨在涵盖本申请的任何变型、用途或者适应性变化，这些变型、用途或者适应性变化遵循本申请的一般性原理并包括本申请未公开的本技术领域中的公知常识或惯用技术手段。说明书和实施例仅被视为示例性的，本申请的真正范围和精神由下面的权利要求书指出。

[0136] 应当理解的是，本申请并不局限于上面已经描述并在附图中示出的精确结构，并且可以在不脱离其范围进行各种修改和改变。本申请的范围仅由所附的权利要求书来限制。

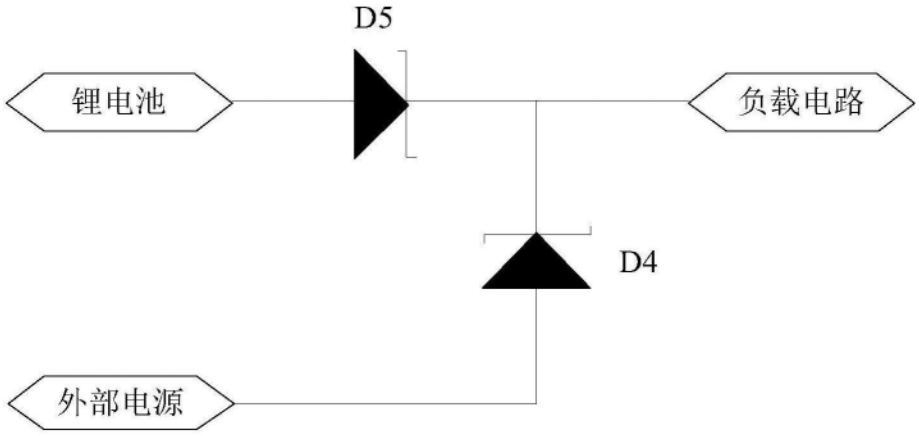

D5
锂电池
负载电路
D4
外部电源

图1a

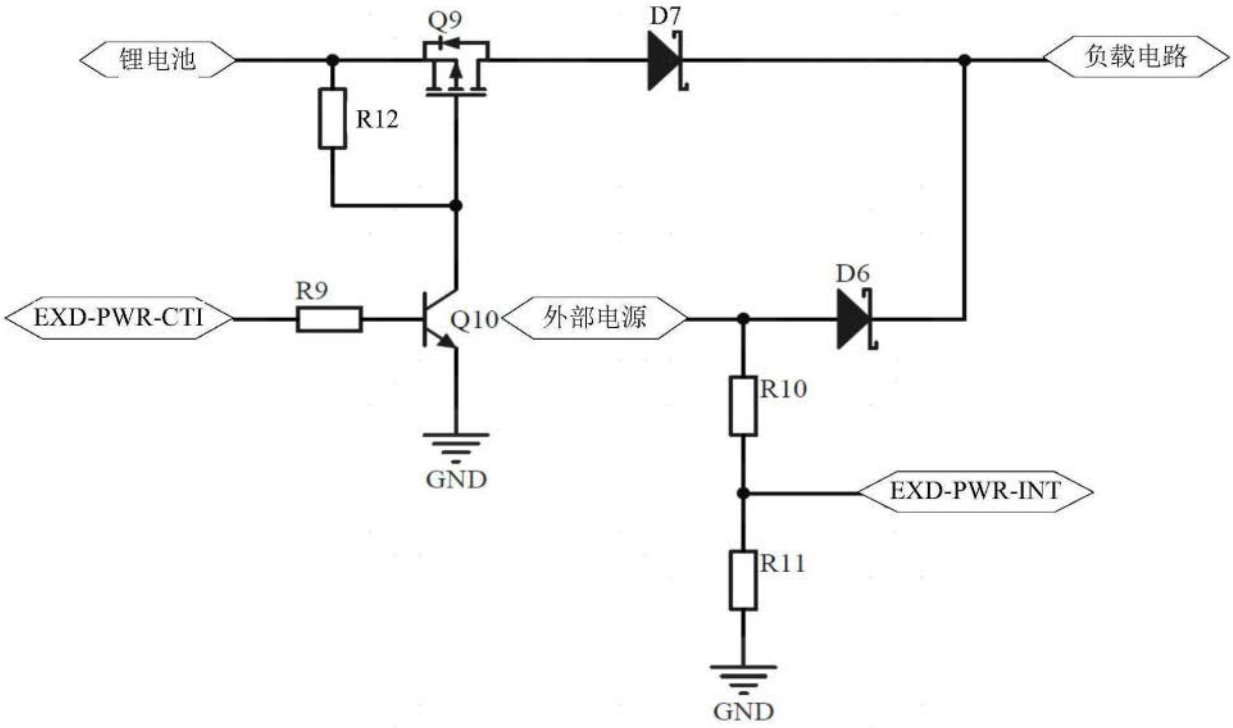

Q9
D7
锂电池
负载电路
R12
R9
D6
EXD-PWR-CTI
Q10
外部电源
R10
GND
EXD-PWR-INT
R11
GND

图1b

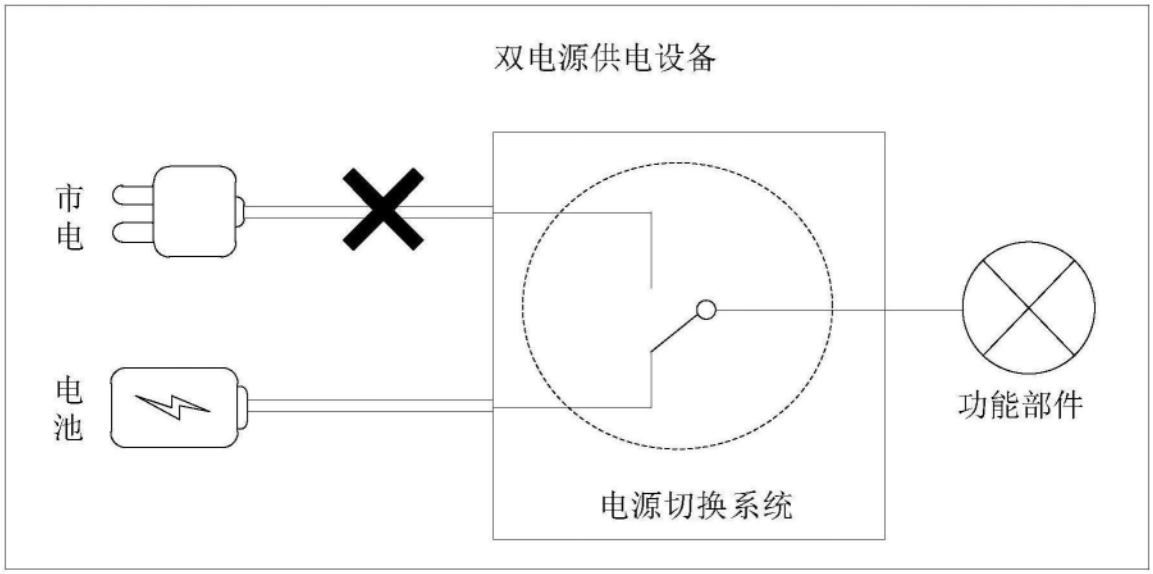


图2a

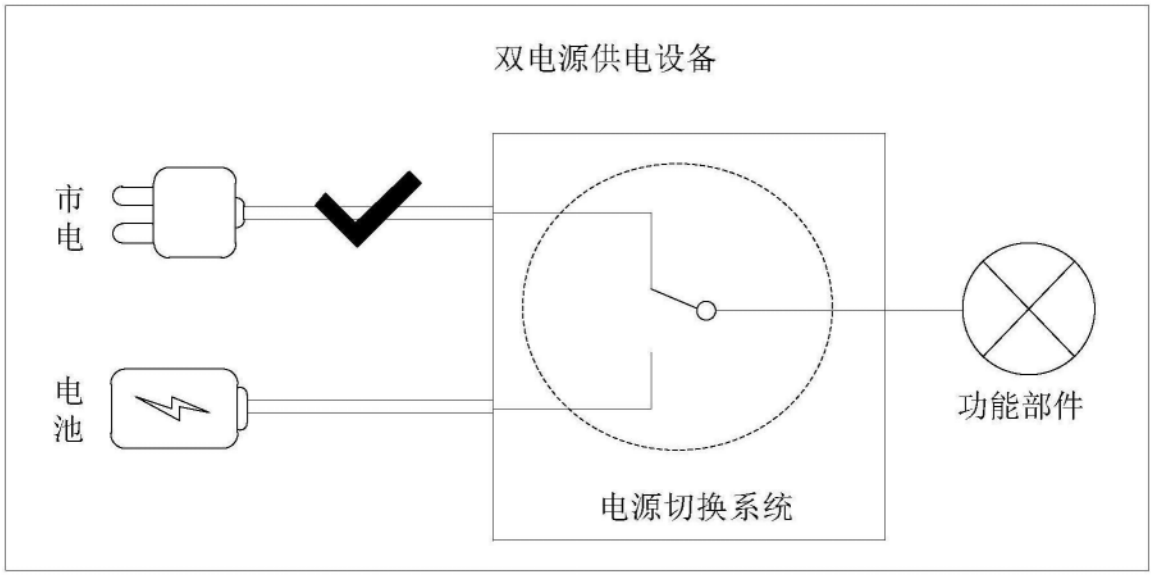


图2b

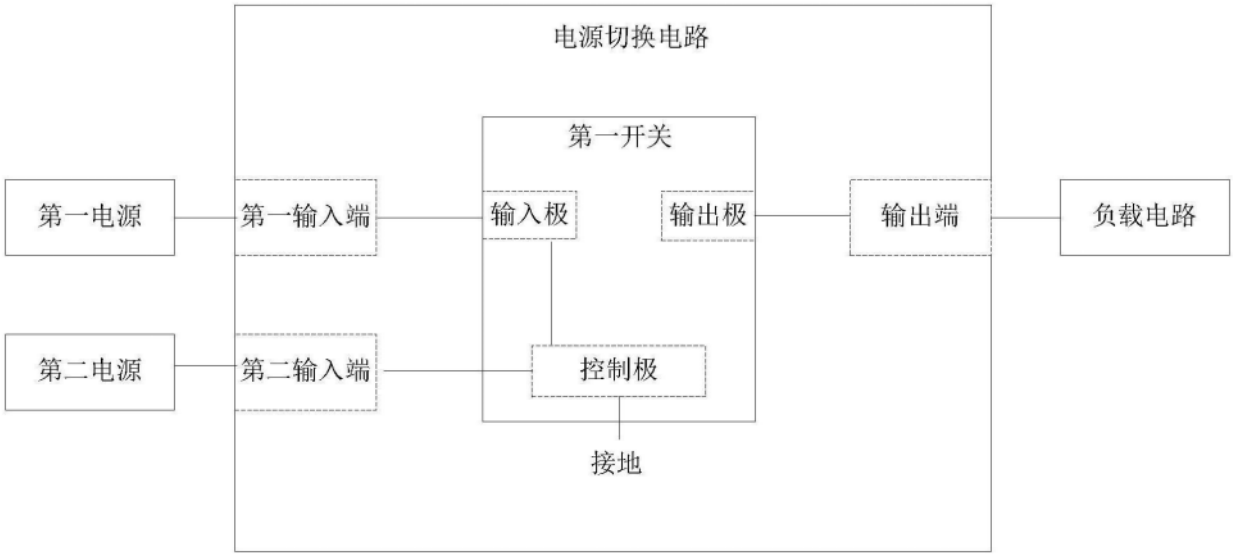

电源切换电路
第一开关
第一电源
第一输入端
输入极
输出极
输出端
负载电路
第二电源
第二输入端
控制极
接地

图3

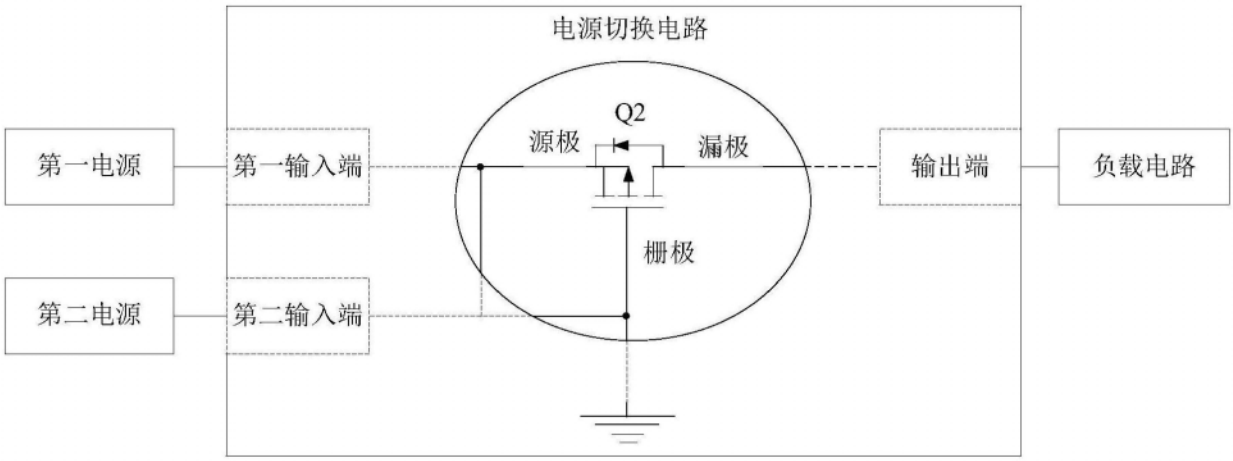

电源切换电路
Q2
源极
漏极
第一电源
第一输入端
输出端
负载电路
栅极
第二电源
第二输入端

图4

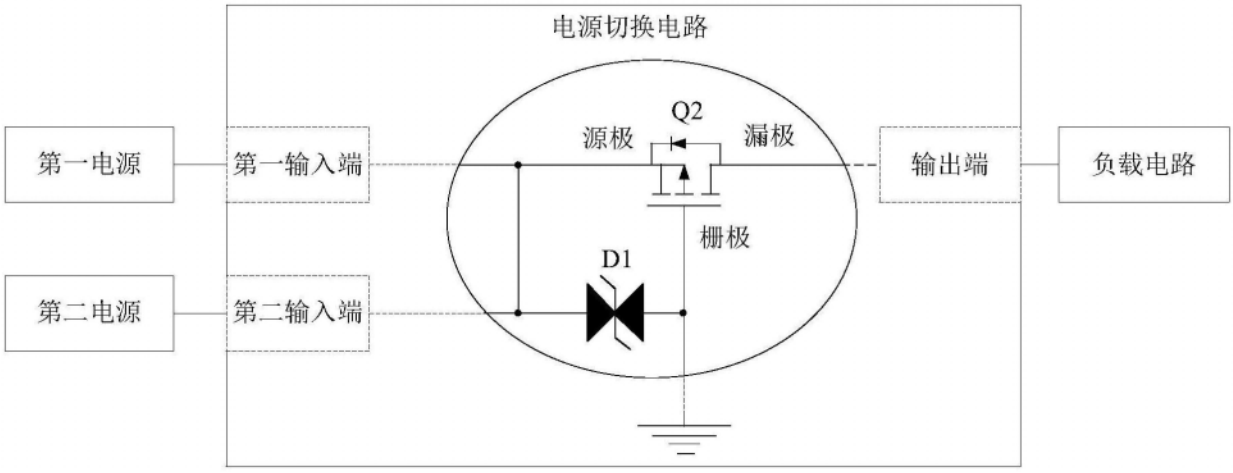

电源切换电路
第一电源
第二电源
第一输入端
第二输入端
Q2
源极
漏极
栅极
D1
输出端
负载电路

图5

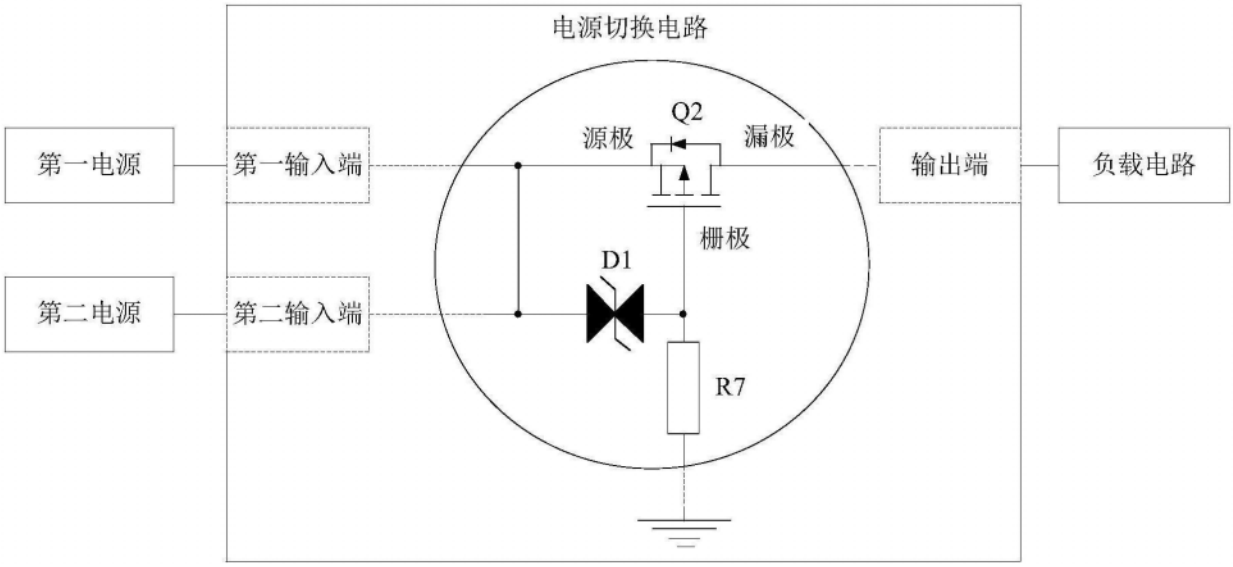

电源切换电路
第一电源
第二电源
第一输入端
第二输入端
Q2
源极
漏极
栅极
D1
R7
输出端
负载电路

图6

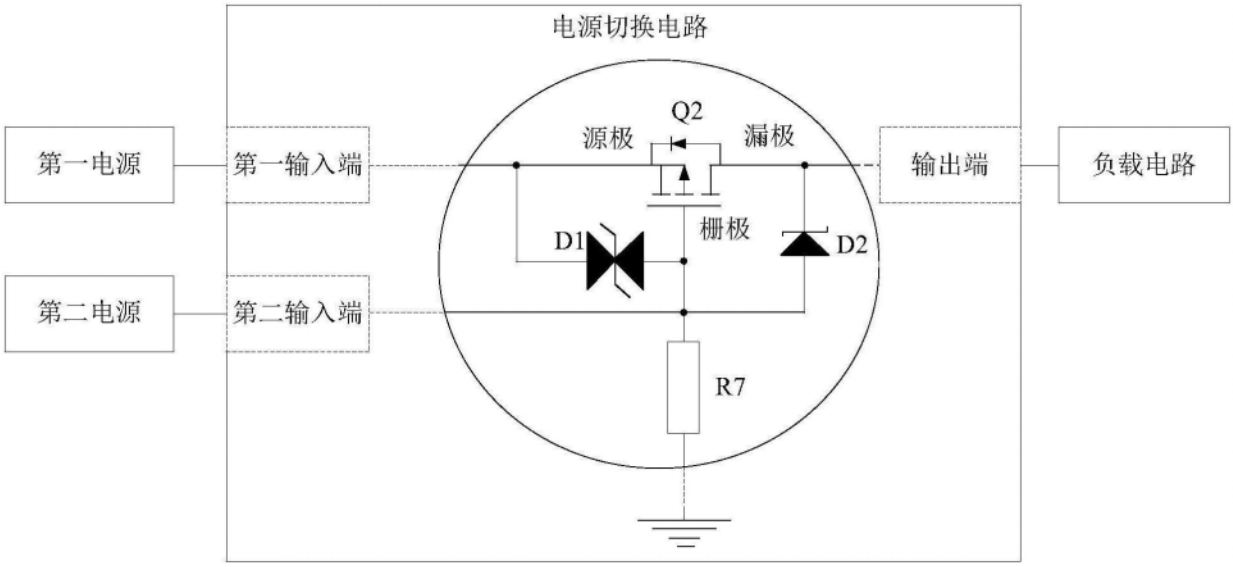

电源切换电路
第一电源
第一输入端
第二电源
第二输入端
Q2
源极
漏极
栅极
D1
D2
R7
输出端
负载电路

图7

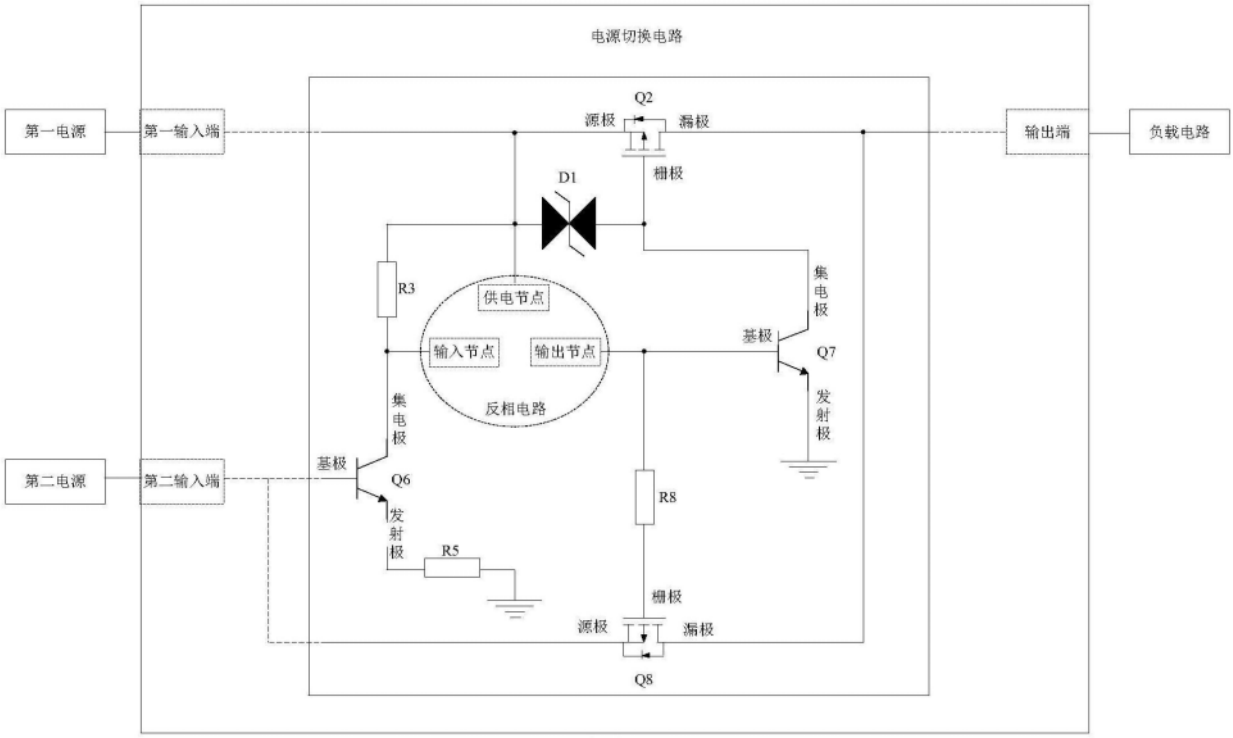

电源切换电路
第一电源
第一输入端
第二电源
第二输入端
Q2
源极
漏极
栅极
D1
R3
供电节点
输入节点
输出节点
反相电路
集电极
基极
Q7
发射极
Q6
R8
R5
Q8
输出端
负载电路

图8

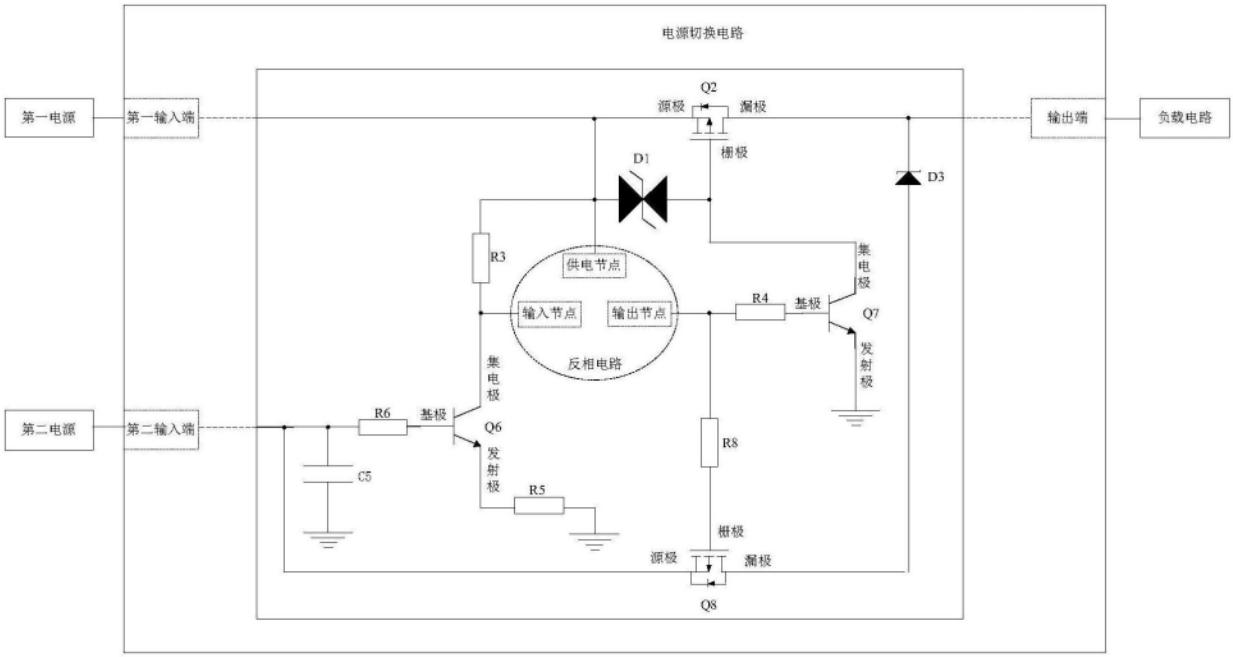

电源切换电路
第一电源
第一输入端
第二电源
第二输入端
Q2
源极
漏极
栅极
D1
D3
R3
供电节点
输入节点
输出节点
反相电路
集电极
R4
基极
Q7
发射极
R6
Q6
C5
R5
R8
Q8
输出端
负载电路

图9

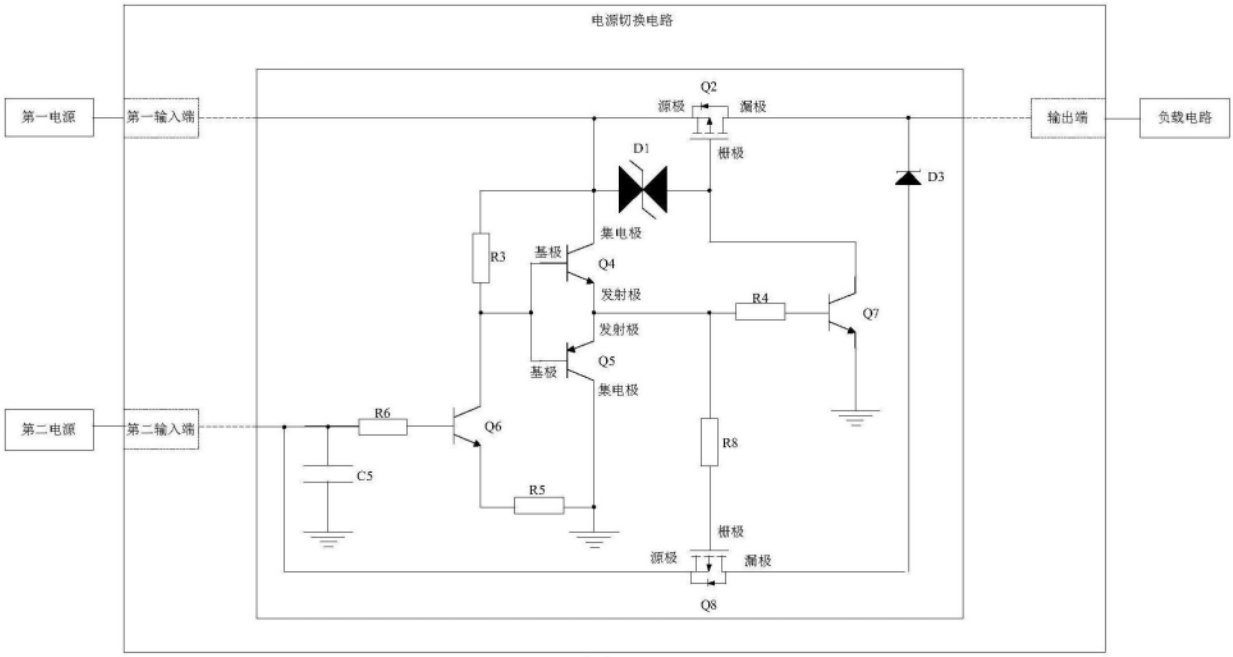

电源切换电路
第一电源
第一输入端
第二电源
第二输入端
Q2
源极
漏极
栅极
D1
D3
集电极
R3
基极
Q4
发射极
R4
Q7
发射极
Q5
基极
集电极
R6
Q6
C5
R5
R8
Q8
输出端
负载电路

图10

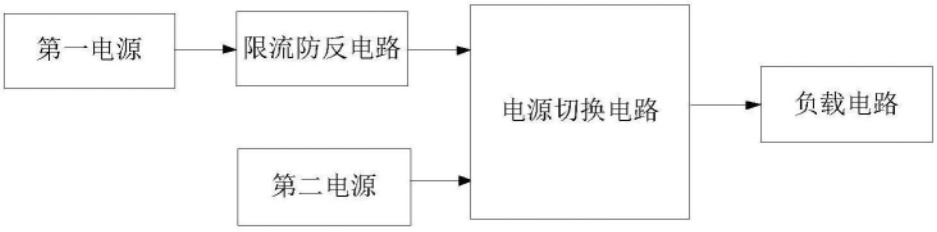

第一电源
限流防反电路
电源切换电路
负载电路
第二电源

图11

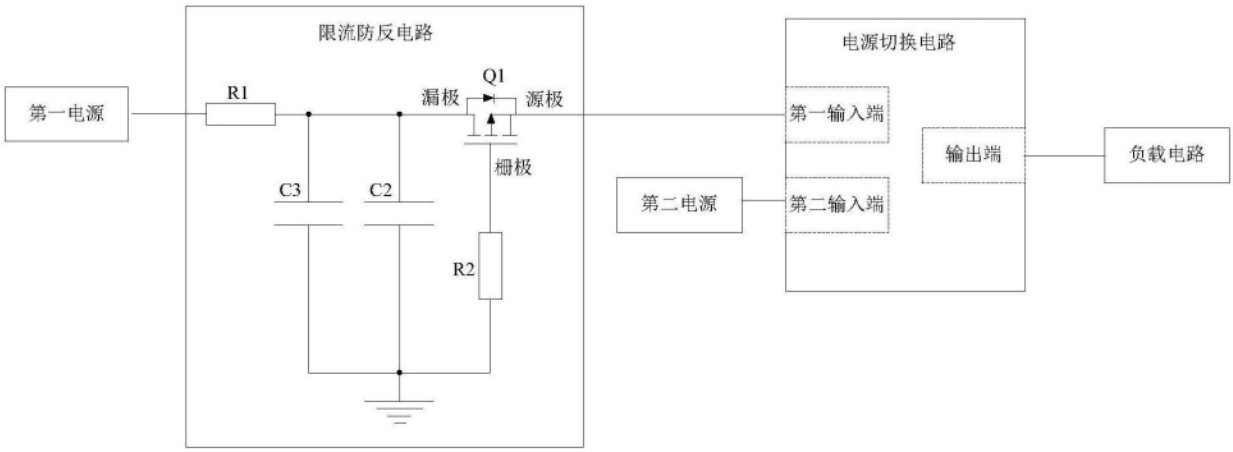

限流防反电路
电源切换电路
第一电源
R1
Q1
漏极
源极
栅极
C3
C2
R2
第一输入端
输出端
负载电路
第二电源
第二输入端

图12


第一电源
限流防反电路
电源切换电路
防倒灌电路
负载电路
第二电源

图13

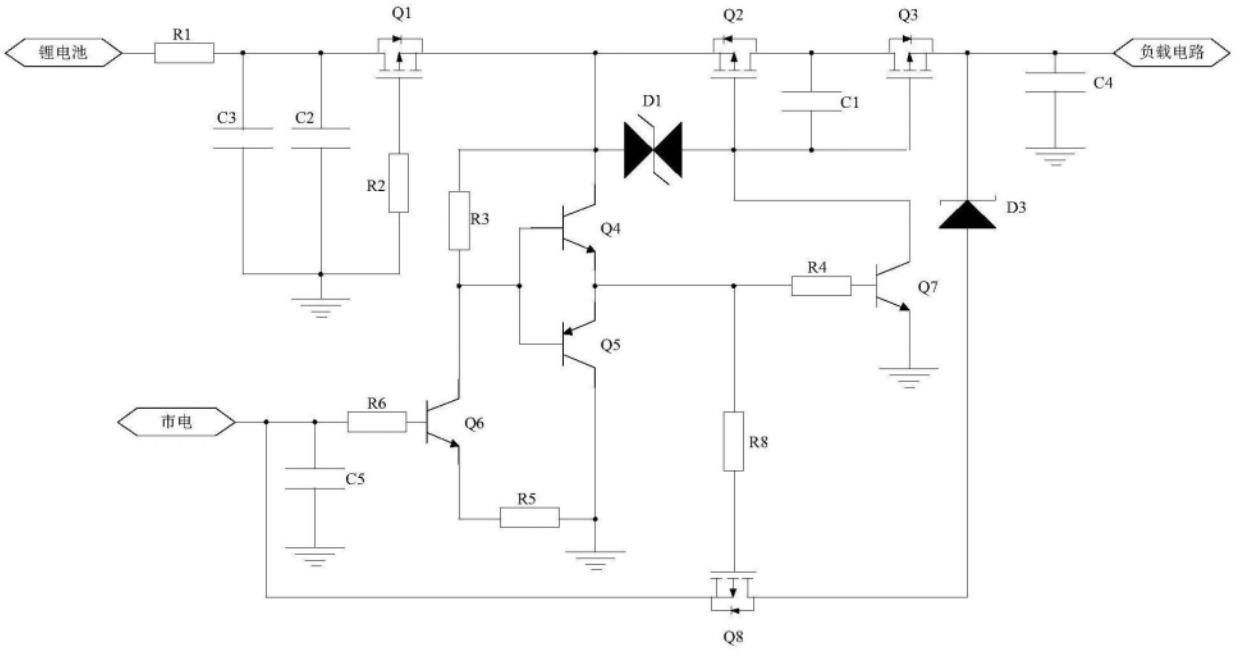

锂电池
R1
Q1
Q2
Q3
负载电路
C4
C3
C2
C1
D1
R2
R3
Q4
D3
R4
Q7
Q5
市电
R6
Q6
R8
C5
R5
Q8

图14

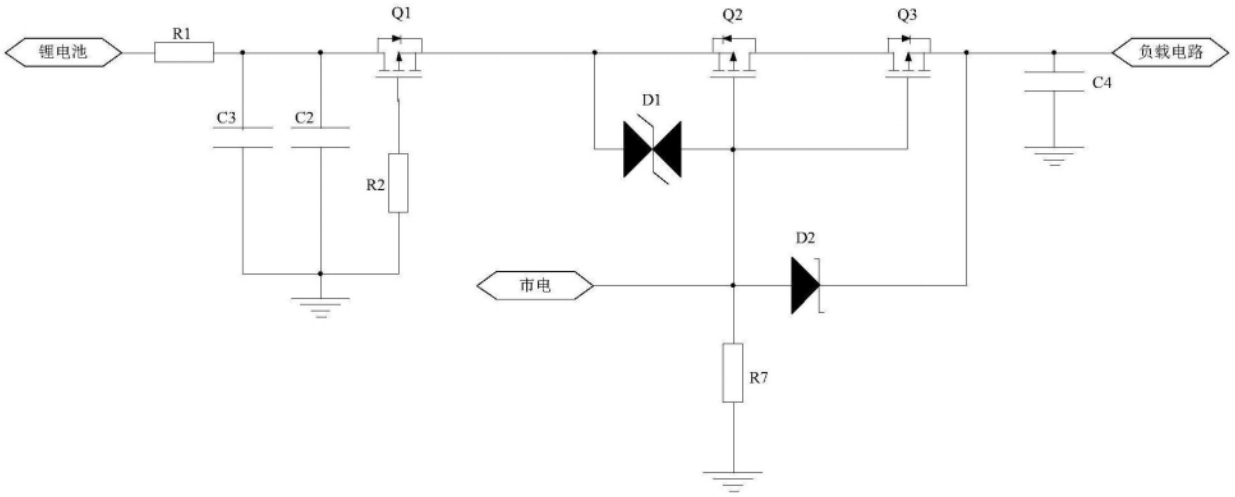

锂电池
R1
Q1
Q2
Q3
负载电路
C4
C3
C2
D1
R2
D2
市电
R7

图15