



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108886264 B

(45) 授权公告日 2023. 01. 24

(21) 申请号 201780023207.2

(22) 申请日 2017.04.12

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108886264 A

(43) 申请公布日 2018.11.23

(30) 优先权数据
PA201600228 2016.04.16 DK

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2018.10.11

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/DK2017/000007 2017.04.12

(87) PCT国际申请的公布数据
W02017/178023 EN 2017.10.19

(73) 专利权人 锂平衡公司

地址 丹麦斯莫鲁姆

(72) 发明人 阿尔费雷多·基哈诺·洛佩斯
文森特·加瓦拉·帕迪利亚
若泽·曼努埃尔·托雷洛·庞塞
卡洛斯·布拉斯科·伊奥皮斯
哈维尔·蒙雷亚尔·托尔莫
卡尔·朗纳·韦斯廷

(74) 专利代理机构 成都超凡明远知识产权代理
有限公司 51258

专利代理师 魏彦

(51) Int. Cl.
H02J 7/00 (2006.01)

审查员 邱慧

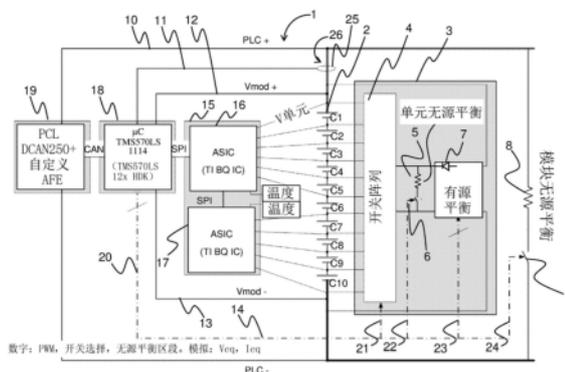
权利要求书2页 说明书10页 附图25页

(54) 发明名称

单元平衡方法和系统

(57) 摘要

本发明涉及一种用于电池单元平衡的系统，包括：单元监测块(16)，其配置成监测电池单元模块中跨过各个单元(C₁、C₂、.....C_N)的电压或相关量；微控制器(18)，其配置成用于监测所述电池单元模块的正端子电压(12)和负端子电压(13)，并且用于监测(11)所述模块的输出电流I_{mod}，以及所述各个单元(C₁、C₂、.....C_N)的监测的单元电压，其中微控制器(18)被配置成基于至少所述正端子电压(12)、所述负端子电压(13)、所述模块的所述输出电流I_{mod}和所述各个单元的所述监测的单元电压来提供控制信号(20)；以及混合模块平衡块，其配置成在由微控制器提供的控制信号的控制下，在特定模块中提供单元(C₁、C₂、.....C_N)的有源和无源单元平衡的组合或者有源或无源单元平衡。本发明还涉及一种电池中的电池单元平衡的方法，该电池包括一个或多个模块，每个模块包括一个或多个单元。



数字：PWM，开关选择，无源平衡区域，模拟：Veq，Ieq

1. 一种用于电池单元平衡的系统,包括:

- 单元监测块(15),配置成监测电池单元模块中跨过各个单元(C_1 、 C_2 、..... C_N)的电压或相关量;

- 微控制器(18),配置成用于监测所述电池单元模块的正端子电压(12)和负端子电压(13),并且用于监测(11)所述模块的输出电流 I_{mod} ,以及所述各个单元(C_1 、 C_2 、..... C_N)的监测的单元电压,其中微控制器(18)被配置成基于至少所述正端子电压(12)、所述负端子电压(13)、所述模块的所述输出电流 I_{mod} 和所述各个单元的所述监测的单元电压来提供控制信号(20、21、22、23、24、25);

- 混合模块平衡块(3),其包括开关阵列(4)、无源单元平衡装置(5)和有源单元平衡装置(7),

- 无源模块平衡装置(8),其耦接在电池中的特定模块的正端子(12)和负端子(13)之间,并且由所述微控制器(18)提供的所述控制信号(24)控制,

- 其中所述开关阵列(4)、所述无源单元平衡装置(5)和所述有源单元平衡装置(7)由所述微控制器(18)提供的所述控制信号(20、21、22、23、24、25)控制,由此所述混合模块平衡块(3)能够在由所述微控制器(18)提供的所述控制信号(20、21、22、23、24、25)的控制下,在特定模块中提供单元(C_1 、 C_2 、..... C_N)的包括下述在内的单元平衡模式中的任一种:有源单元平衡、无源单元平衡、以及有源和无源单元平衡的组合,

- 其中,所述有源单元平衡装置(7)从所述特定模块的所有单元(C_1 、 C_2 、..... C_N)提取功率,并注入受控的恒定电流以平衡仅通过所述开关阵列(4)连接到所述有源单元平衡装置(7)的放电最多的单元直到所述放电最多的单元与其他单元平衡,

-其中,所述微控制器(18)和所述混合模块平衡块(3)被配置成:在所述模块的各个单元(C_1 、 C_2 、..... C_N)之间提供所述有源单元平衡之后并响应于各个单元(C_1 、 C_2 、..... C_N)中的一个或多个单元的充电状态高于预定义的上极限,提供所述模块的各个单元(C_1 、 C_2 、..... C_N)的所述无源单元平衡,并且

-其中,所述预定义的上极限是所述单元(C_1 、 C_2 、..... C_N)的最大可允许充电状态或所述电池单元模块的充电状态平均值。

2. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述有源单元平衡装置(7)是反激式DC/DC转换器。

3. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述无源单元平衡装置(5)是与开关(6)串联的电阻器(5)。

4. 根据权利要求3所述的系统,其中,与所述无源单元平衡装置(5)串联的所述开关(6)是MOSFET。

5. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述无源模块平衡装置(8)是与开关(9)串联的电阻器(8)。

6. 根据权利要求5所述的系统,其中,与所述无源模块平衡装置(8)串联的所述开关(9)是MOSFET。

7. 根据权利要求2所述的系统,其中,所述反激式DC/DC转换器从模块的所有所述单元(C_1 、 C_2 、..... C_N)提取功率,并注入受控电流以平衡放电最多的单元直到它与其他单元平衡。

8. 根据权利要求7所述的系统,其中,所述受控电流是恒定的。

9. 根据权利要求1至8中任一项所述的系统,其中,所述微控制器是管理所述电池的总性能管理的电池管理系统(BMS)中的微控制器。

10. 根据权利要求9所述的系统,其中,在构成电池的模块中应用有源平衡,而在构成所述电池的两个或更多个模块之间应用无源平衡。

11. 根据权利要求10所述的系统,其中,所述系统包括模块充电状态监测装置或电压监测装置,其监测电池中的所述模块的充电状态或电压,并且当在两个或更多个模块之间检测到所述充电状态或电压之间的不平衡时,执行所述电池中的所述两个或更多个模块之间的无源平衡。

12. 根据权利要求10或11所述的系统,其中,电池中的两个或更多个模块之间的所述无源平衡由所述混合模块平衡块(3)或所述电池管理系统(BMS)控制。

13. 一种用于电池中的电池单元平衡的方法,所述电池包括至少一个模块,所述至少一个模块包括多个单元,所述方法包括以下步骤:

- 确定充电过程是否正在进行;
- 选择模块(M1);
- 在所述模块(M1)的单元之间应用有源单元平衡;
- 确定一个或多个单元是否被充电超过预定义的上极限;
- 如果一个或多个单元被充电超过所述上极限,则将无源单元平衡应用到该单元或那些单元,以便将它们的充电减少到所述上极限或低于所述上极限的值;
- 当所述模块(M1)内的所有单元都被充电时,确定所述电池中是否有其他模块(M2、M3),并且如果是这种情况,则对剩余模块(M2、M3)重复上述步骤;
- 当所述电池的所有模块都已被充电时,确定所述电池中的相应模块的充电状态或类似参数之间是否存在不平衡,并且如果是这种情况,则在相应模块之间应用无源或有源平衡以便将模块之间的所述不平衡减少到所需的水平;

其中,所述方法由根据前述权利要求1至12中任一项所述的系统执行。

14. 根据权利要求13所述的方法,其中,在构成电池的模块中应用有源平衡,而在构成所述电池的模块之间应用无源平衡。

15. 根据权利要求13或14所述的方法,其中,通过监测装置来监测所述充电状态或电压,所述监测装置监测电池中的两个或更多个模块的所述充电状态或电压,并且当在两个或更多个模块之间检测到所述充电状态或电压之间的不平衡时,执行所述电池中的所述两个或更多个模块之间的无源平衡。

单元平衡方法和系统

技术领域

[0001] 本发明大体上涉及用于电池系统中的单元平衡的系统和方法,以及更具体地涉及应用有源和无源单元平衡的组合以便在不同条件下优化单元平衡的这种系统和方法。

背景技术

[0002] 单元平衡系统和方法在电池管理领域中是已知的,并且这种系统和方法对于优化由大量单元组成的电池的性能是至关重要的,诸如在中型和大型电化学存储系统中所需的那些,例如设计成在电动车辆中操作。

[0003] 这种系统和方法的主要目的是在电池的所有单元之间维持均匀条件,从而在效率、存储能量和寿命方面允许最佳操作。为了达到电池组期望的操作电压,单元串联连接。如果单元完全平衡,则总电压将按每个单元平均分配。然而,在实践中,单元将是不平衡的。单元平衡过程使链中所有单元上的充电均衡,并且因此增加电池容量。该过程是必需的,因为最大充电受最高单元电压的限制,并且最大放电受最低单元电压的限制。它的使用在几乎每种技术中都是期望的(唯一的例外是氧化还原液流 (Redox-Flow) 技术),并且在某些情况下如在离子锂电池中必不可少。

[0004] 在充电和放电循环期间,串联串中的电池可能不以统一的方式操作。电池的特征尤其在于其内部电阻,其可以在给定类型的电池单元的某些容许极限内变化。具有更高效单元(即,具有相对低内部电阻的单元)的电池倾向于具有更高的电压,而具有更低效单元的电池保持在更低的电压。一旦不平衡发生,它将倾向于随着额外的使用而增加。因此,在电池充电时,一些电池会在其他电池之前很久就达到完全充电。同样,较弱的单元将倾向于比组内的其余单元快得多地放电。这导致单元中的大多数利用不足。总之,当这些不平衡电池在没有任何控制(诸如单元均衡)的情况下被使用时,能量存储容量严重下降。

[0005] 串联连接电池串已经用于许多应用,诸如电动车辆、混合动力车辆(HEV)、电动滑板车和不间断电源。其中,HEV电池严重暴露于充电和放电环境。这种暴露的发生是因为HEV可以在再生制动(过去浪费的能量源)期间从车轮回回收能量并且重复使用它以低速度推进车辆或者为高加速度提供额外的动力。这种重复的充电和放电现象加剧了单元失配问题。

[0006] 可以根据电压或SOC(充电状态)来定义单元之间的不平衡。就其本质而言,如前所述,如果不采取纠正措施,例如由于单元的内部电阻而导致的不平衡将随着时间的推移而增加并且对电池执行充电和放电循环,这可能致使一个或多个元件达到过度充电或深度放电状态,而其他元件仍具有有效的SOC的情况。这些极端状况可能导致电池的显著恶化,以及其他外部因素可能引起整个系统的过早失效。不平衡和恶化二者均发生的严重性和快速性在很大程度上取决于诸如以下因素:

[0007] ●过程技术:诸如铅酸或NiCd等一些技术能够承受一定程度的过度充电和/或深度放电。在这些技术中的一些中,甚至使用轻微的过度充电过程来周期性地实现平衡电池。然而,其他技术,诸如锂离子,完全不能承受过度充电或深度放电的情况,其可能会损坏电池,缩短其寿命,甚至造成危险状况。

[0008] ● 电池使用循环:取决于充电和放电电流和温度的总体SOC变化,不平衡过程可以显著变化。例如,在强制轻微过度充电的技术中,使用不能提供100%充电负载的不完全充电循环是有害的。

[0009] 在任何情况下,有必要建立一种机制来恢复包括电池系统的所有单元之间的平衡。即使在允许通过过度充电而平衡的技术的情况下,它们对于系统的寿命延长和效率也是有益的。

[0010] 在这种意义上,在一定尺寸(串联连接元件的数量)的电池系统中,期望(或者甚至可能有必要)使用平衡技术。通过使用均衡系统获得的益处包括(i)延长电池系统的使用期限;(ii)提高电池系统的效率;(iii)增加电池系统的可用能量;以及(iv)改善电池系统的操作安全性。

[0011] 因此,期望可以使用在所有实际操作条件下提供最佳单元平衡的单元平衡系统和方法。

发明内容

[0012] 根据本发明的上述和其他目的和优点是通过单元平衡系统和单元平衡方法获得的,其中该系统和方法应用有源和无源单元平衡的组合。

[0013] 有源单元平衡是当要避免单元能量作为热量消散时应用的方法。有源单元平衡比无源单元平衡更有效,并且不会增加热量的产生,并且因此使得能够应用比无源平衡更高的平衡电流。

[0014] 在正常使用期间,给定模块中放电最多的单元是平衡的,从它们的特定模块获得能量。

[0015] 当特定模块处于低充电状态(SOC)时,有源单元平衡有助于利用存储在特定模块中的能量,通过将具有低于该特定模块的 averages SOC的单元的SOC提高到平均值,并且因此允许将整个模块放电直到几乎每个单元的最小允许SOC,而不是仅受到达到最小SOC底限的一个单元的限制。

[0016] 在充电过程结束期间,如果有一个或几个单元低于SOC平均值,则也可以使用有源平衡。

[0017] 例如,无源单元平衡可以有利地(至少)在以下状况下应用:

[0018] 在充电过程结束期间,可以使用无源平衡以便降低高于模块的SOC平均值的单个或几个单元的SOC,并且然后在所有单元处于其可能的最大SOC的情况下完成充电过程。如果在充电过程期间,只有相对较少的单元充电不足,可以应用有源平衡以便快速提高其充电状态。相反,如果相对较少的单元被充电超过其最大可允许充电状态,可以有利地应用无源平衡。

[0019] 根据本发明的第一方面,用一种系统提供了上述和其他目的和优点,该系统包括:

[0020] -单元监测块,其配置成监测电池单元模块中跨过各个单元(C_1 、 C_2 、..... C_N)的电压或相关量;

[0021] -微控制器,其配置成用于监测电池单元模块的正端子电压和负端子电压,并且用于监测模块的输出电流 I_{mod} ,以及各个单元(C_1 、 C_2 、..... C_N)的监测的单元电压,其中微控制器被配置成基于至少正端子电压、负端子电压、模块的输出电流 I_{mod} 和所述各个单元的监

测的单元电压来提供控制信号；

[0022] -混合模块平衡块,其配置成在由微控制器提供的控制信号的控制下,在特定模块中提供单元(C_1 、 C_2 、..... C_N)的有源和无源单元平衡的组合或者有源或无源单元平衡。

[0023] 在本发明的第一方面的一个实施方式中,混合模块平衡块包括:

[0024] -开关阵列,其配置成在控制信号的控制下,在特定模块中向各个单元(C_1 、 C_2 、..... C_N)中的一个或多个提供有源或无源或者有源和无源平衡的组合;

[0025] -无源单元平衡装置,其配置成在所述控制信号的控制下提供无源平衡;

[0026] -有源单元平衡装置,其配置成在控制信号(20)的控制下提供有源平衡;

[0027] 在本发明的第一方面的一个实施方式中,该系统包括耦接在特定模块的正端子和负端子之间的无源模块平衡装置。

[0028] 在本发明的第一方面的一个实施方式中,有源单元平衡装置是反激式 DC/DC转换器。

[0029] 在本发明的第一方面的一个实施方式中,无源单元平衡装置是与开关诸如例如 MOSFET 串联的电阻器。

[0030] 在本发明的第一方面的一个实施方式中,无源模块平衡装置是与开关诸如例如 MOSFET 串联的电阻器。

[0031] 在本发明的第一方面的一个实施方式中,反激式 DC/DC 转换器从模块的所有单元(C_1 、 C_2 、..... C_N)提取功率,并注入受控电流以平衡放电最多的单元直到它与其他单元平衡。

[0032] 在本发明的第一方面的一个实施方式中,受控电流是恒定的。

[0033] 在本发明的第一方面的一个实施方式中,微控制器是管理电池的总体性能的电池管理系统(BMS)中的微控制器。

[0034] 在本发明的第一方面的一个实施方式中,在构成电池的模块中应用有源平衡,而在构成电池的模块之间应用无源平衡。

[0035] 在本发明的第一方面的一个实施方式中,该系统包括模块充电状态(SOC)监测装置或电压监测装置,其监测电池中的模块的SOC或电压,并且当在两个或更多个模块之间检测到SOC或电压之间的不平衡时,执行电池中的两个或更多个模块之间的无源平衡。

[0036] 在本发明的第一方面的一个实施方式中,电池中的两个或更多个模块之间的无源平衡由混合模块平衡块或电池管理系统(BMS)控制。根据本发明的第二方面,提供了一种用于电池中的电池单元平衡的方法,该电池包括至少一个模块,该至少一个模块包括多个单元,该方法包括以下步骤:

[0037] -确定充电过程是否正在进行;

[0038] -选择模块(M1);

[0039] -在所述模块(M1)的单元之间应用有源单元平衡;

[0040] -确定一个或多个单元是否被充电超过预定义的上极限;

[0041] -如果一个或多个单元被充电超过所述上极限,则将无源单元平衡应用到该单元或那些单元,以便将其充电减少到所述上极限或低于所述上极限的值;

[0042] -当所述模块(M1)内的所有单元都被充电时,确定电池中是否有其他模块(M2、M3.....),并且如果是这种情况,则对剩余模块(M2、M3.....)重复上述步骤;

[0043] -当电池的所有模块都已被充电时,确定电池中的相应模块的充电状态或类似参数之间是否存在不平衡,并且如果是这种情况,则在相应模块之间应用无源或有源平衡以便将模块之间的所述不平衡减少到所需的水平。

[0044] 在本发明的第二方面的一个实施方式中,在构成电池的模块中应用有源平衡,而在构成电池的模块之间应用无源平衡。

[0045] 在本发明的第二方面的一个实施方式中,通过监测装置来监测充电状态(SOC)或电压,该监测装置监测电池中的两个或更多个模块的SOC或电压,并且当在两个或更多个模块之间检测到SOC或电压之间的不平衡时,执行电池中的两个或更多个模块之间的无源平衡。

[0046] 本发明的其他特征将从本发明的以下详细描述和从附图中显现。

附图说明

[0047] 在结合所附图阅读了本发明的非限制性示例性实施方式的详细描述之后,本发明的其他益处和优点将变得显而易见,其中,

[0048] 图1示出了根据本发明的单元平衡系统的实施方式;

[0049] 图2示出了显示根据本发明的方法的实施方式的基本步骤的流程图;

[0050] 图3a和图3b示出了在本发明的实施方式中使用的隔离反激式转换器的示意原理图;

[0051] 图4示出了在本发明的实施方式中使用的反激式控制块;

[0052] 图5a至图5g示出了与本发明的实施方式中使用的Hercules 微控制器的接口的示意原理图;

[0053] 图6a至图6e示出了在本发明的实施方式中使用的双开关隔离反激式转换器的示意原理图;

[0054] 图7a至图7g示出了在本发明的实施方式中使用的包括解复用器的中继选择电路的示意原理图;

[0055] 图8示出了16单元模块的仿真结果曲线图;以及

[0056] 图9示出了8单元模块的仿真结果曲线图。

具体实施方式

[0057] 以下详细描述根据本发明的单元平衡系统的非限制性实施方式。然而,应当理解,本发明可以以其他方式实施,并且本发明的所有这样的实施方式将落入由专利权利要求所限定的保护范围内。

[0058] 明确指出,虽然下面将提到各种参数等的具体数值,但是这样的具体数值仅被视为示例,并且因此他们不会限制专利保护的范围。

[0059] 参考图1,示出了根据本发明的单元平衡系统的实施方式,该单元平衡系统通常由附图标记1指示,包括用于应用有源和无源单元平衡的组合的装置。

[0060] 图1中所示的系统包括电池模块,其在所示实施方式中包含十个单元 C1、C2、.....C10的串联连接。应当理解,模块中可以存在不同数量的单元,并且本发明的原理同样较好地适用于这些模块。

[0061] 还应理解,尽管在图1所示的实施方式的描述中重复使用术语“模块”,但是本发明不限于构成总电池的一个或多个物理模块。因此,电池可以简单地包括串联耦接的若干单元而没有细分成特定模块,或者模块可以简单地是电池中给定数量的单元的虚构细分。因此,对术语“模块”的引用意味着不限制本发明的范围。

[0062] 该系统包括混合模块平衡块3,其包括开关阵列4;无源平衡装置,诸如可通过可控开关6(诸如MOSFET)激活的电阻器5;以及有源平衡装置,诸如DC/DC转换器7。

[0063] 跨过整个模块还耦接连接有模块无源平衡装置,诸如可以通过开关9(诸如MOSFET)激活的电阻器8。

[0064] 开关阵列4,单元无源平衡装置5和6,DC/DC转换器7和模块无源平衡装置8和9由适当的控制信号控制,如象征性地指示为控制线20至25。

[0065] 借助于单元监测块15测量每个相应单元C1至C10上的电压,该单元监测块在所示实施方式中包括通过单元电压测量线Vcells连接到相应单元的端子的两个ASIC 16和17。

[0066] 为了优化根据本发明的该实施方式的系统的性能并且最大化平衡电流并因此减少平衡时间,可以从电池管理系统(BMS)中的主微控制器来控制反激式转换器。这种微控制器的一个示例是由Texas Instruments制造的HERCULES MCU 32-bit ARM Cortex R4。根据本发明的系统和方法可以在BMS主微控制器中实施,但可以替代地在分离的微控制器中实施。控制微控制器在所示实施方式中由附图标记18表示,并且通过串行外围接口SPI与单元监测块15中的ASIC 16和17连接。

[0067] 微控制器18经由信号线12接收指示正模块电压Vmod+的信号,并且经由信号线13接收指示负模块电压Vmod-的信号。此外,微控制器18经由信号线11从模块接收指示输出电流Imod 26的信号。输出电流26通过合适的装置测量,其象征性地由25指示。微控制器18尤其基于这些信号将控制信号20提供给平衡系统的各种功能块,即控制信号21、22、23和24。

[0068] 在本发明的所示实施方式中使用的该切换的DC/DC转换器基于“模块到单元”拓扑,并且在没有太多额外成本的情况下允许在平衡时监测注入在每个单元上的电流,从而能够获得更好的SOC,其考虑在平衡过程期间注入的电流。

[0069] DC/DC转换器7是隔离反激式转换器,其从所有模块单元(图1中所示的实施方式中的C1至C10)提取功率并注入受控恒定电流(CC)以平衡放电最多的单元直至它与其他单元保持平衡。隔离反激式转换器与放电最多的单元的连接通过继电器4阵列完成,并且只能同时切换一个以避免危险的短路。

[0070] 下面将相当详细地描述可用于本发明的实施方式的DC/DC转换器的设计。如果需要,转换器可以如上面所提到的例如在HERCULES微控制器中实施。

[0071] 转换器控制需要模拟信号来测量平衡电流(并关闭反馈环路以进行控制)、PWM数字输出和每单元数字输出(使用外部解复用系统构建),来激活将DC/DC转换器连接到需要平衡的单元的开关。

[0072] 根据本发明的实施方式的切换的DC/DC转换器基于“模块到单元”拓扑,并且在没有有限的额外成本的情况下允许在平衡时监测注入在每个单元上的电流,从而使得可以获得更佳的充电状态(SOC),其考虑在平衡过程中注入的电流。

[0073] 参考图2,示出了说明根据本发明的单元平衡方法的实施方式的流程图,该单元平衡方法例如可以应用于包括一个或多个模块的电池,每个模块包括若干单元,例如如图1所

示。

[0074] 平衡方法在步骤27开始,并且在步骤28选择给定的电池模块。在步骤29中,通过适当的装置确定是否正在进行充电过程,并且如果是这种情况,则该方法进行到步骤30,从而在给定模块(即在步骤28中选择的模块)中的单元之间应用有源单元平衡。

[0075] 在充电即将结束时,可能发生给定模块的一个或几个单元被充电超过SOC或单元电压的预定义的上极限 L_u 。如果这在步骤31中被检测到,则根据图2所示的方法的实施方式,将该单元或这些单元充电到超过预定义的上极限 L_u ,在步骤32中对这些单元应用无源单元平衡以便将他们的充电减少到所需值。如果在步骤31中确定没有单元超过上极限,则过程进行到步骤33,其中确定在电池中是否存在必须充电的另外的模块,这之后对下一模块重复上述过程。

[0076] 如果在电池中不存在另外的模块,则在步骤34中确定是否存在模块之间的电压SOC之间的不平衡。如果是这种情况,则该过程在模块之间应用无源或有源平衡,例如(在无源平衡的情况下)借助于图1中所示的电阻器8。该模块间平衡进行直到已经获得模块之间的所需平衡,这之后该过程在步骤38中终止。

[0077] 在功能块36中,上极限 L_u 可以确定并如由39指示的那样提供给功能步骤31。

[0078] 参考图3a和图3b,示出了隔离反激式转换器电路(MOSFET、滤波器、隔离变压器等)的实施方式的示意电路图,其中反激式控制块和单元C1、C2和C3连接到反激式转换器的输出。注意,根据本发明,可以使用除图中实际示出的三个以外的其他数量的单元。示意图中还有其他部分用于测量电路中的电流和电压。从模块的所有单元获得校正一个特定单元的不平衡状态需要的能量,然后将其注入到该特定单元上。

[0079] DC/DC转换器拓扑是一个隔离反激式转换器,其作用类似于带隔离的降压转换器。PWM信号允许控制DC/DC转换器的输出电流和电压。

[0080] 本发明的系统和方法的目的是用受控电流(例如1A电流),其从构成模块的完整单元阵列中提取,来对不平衡单元再充电。

[0081] 为了设计稍后将在HERCULES微控制器中实施的控制算法,仿真示意图包括输出电流反馈测量的滤波和离散化。这类似于模拟级和模数转换器(ADC)在真实电子系统中工作的方式。此外,反激式控制块以其预期在HERCULES微控制器中工作的方式工作,这意味着针对模拟信号的每个样本采集执行一次控制代码。

[0082] 采样频率已在下面所示的仿真结果中设置为2kHz,且ADC的分辨率为12位。输出电流将使用在下面所示的结果中的具有50x固定增益的仪表放大器(例如INA282)和分流电阻器(在此示例中为50m Ω)进行感测。PWM切换频率已设置为100kHz,但也可以使用其他切换频率。

[0083] 参考图4,示出了反激式控制块,其实施控制算法,该控制算法允许将特定单元从其初始不平衡状态再充电到期望的平衡状态。控制开始-停止和电流注入需要的参数是:

[0084] -期望的输出电流:固定为1A(I_{out})

[0085] -输出电流反馈: I_{outDC}

[0086] -单元SOC: SOC_1

[0087] -期望的最终SOC:最终_SOC

[0088] 还有在反激式控制块中的与PSIM(f_s)中的仿真过程相关的其他控制参数,和PI调

节器参数 (Kp、Ki)，用于控制输出电流。在一个实施方式中，反激式控制块用C代码编程，以使其易于移植到HERCULES微控制器，但是应该理解，可以替代地使用其他编程语言。

[0089] “反激式控制”块实施的控制算法 (PI控制器) 的最重要的部分在下面示出：

[0090]

```

...
if (SOC <= Final_SOC) //run the algorithm until Final_SOC is reached
{
// do nothing until 1ms. Simulates initialisation state of the uController
if (Tdis <= 0.001)
{
    Iout = 0;
    IoutDC_s = 0;
    Tdis = 0;
    Kp = 0;
    Ki = 0;
    err = 0;
    err_k1 = 0;
    Int = 0;
    Out = 0;
    PI_out = 0;
    y1 = 0;
    y2 = 0;
    y3 = 0;
    y4 = 0;
}
else // Flyback PI control algorithm
{
    Iout = x1; // output current objective
    IoutDC_s = x2; // discretized output current feedback

// PI Controller
err = Iout - IoutDC_s; // Error calculation
Int = Int + (err/fs); // Integral calculation
Out = Kp*err + Ki*Int; // PI result
PI_out = Out;

// Saturation to avoid excessive PWM duty cycle or below 0
if (PI_out >= 0.44)
{
    PI_out = 0.44;
    sat = 1;
}
else if (PI_out <= 0)
{
    PI_out = 0;
    sat = 2;
}
else sat=0;

y1 = PI_out;
y2 = err;
y3 = sat;
y4 = 1;

} // end if
} // end if SOC
else
{
    y1 = 0;
    y4 = 0;
}

```

[0091] Hercules μ C产生PWM信号、开关 (继电器) 选择信号、对于整个模块的一个或多个可能的无源平衡激活信号并且接收平衡输出电流信号的反馈以关闭控制环路。

[0092] PWM信号将控制隔离反激式DC/DC转换器,以便产生期望的电流大小,以将选择的单元再充电。

[0093] 参考图5a至图5g,示出了与Hercules μ C评估板的接口,以及产生不同供应水平所需的电源,包括单元电压测量运算放大器和输出电流所需的隔离电压(诸如5V)。图2中的示意图还示出了管理本发明的该实施方式中存在的所有信号中的不同电压电平所需的接口部件。模拟和数字信号可以路由到 μ C中的不同引脚,以允许与不同的组合和配置的兼容性。

[0094] 在本发明的该实施方式中,与TI BQ76PL536EVM的连接通过SPI总线和一些数字信号完成,并且它存在于连接器J1和J2中。

[0095] 参考图6a至图6e,示出了双开关隔离反激式转换器。为了管理两个 MOSFET PWM信号,IC U114(UCC27201)用作高和低栅极驱动,从 μ C接收PWM信号。

[0096] 用于将电流信号发送到微控制器的电流传感器在该实施方式中是 25m Ω 分流电阻器和两个模拟放大器的组合。链中的第一个是 AMC1200-Q1。它是具有8x固定增益的平衡隔离放大器,并且它由 TMV-1205SHI隔离DC/DC转换器供应5V电。该隔离放大器的平衡输出再次由INA332放大(对于电流测量为11x,并且而对于电压测量为5x)。两个信号都被给予Ieq_Out和Veq_Out端口上的HERCULES μ C ADC输入。模块电压也由电阻器分压器网络测量,并被给予Vmod端口上的 μ C。

[0097] 在本发明的这个和可能还有的其他实施方式中,使用用于在36V和72V 输入电压之间工作的反激式转换器的Wurth WE750312503隔离变压器。选择的拓扑为双开关反激,并且MOSFET参考为STN2NF10。已选择输出二极管D19(PMEG3030EP)的低Vf,以减少传导损耗。

[0098] 参考图7a至图7g,示出了设置有解复用器的继电器选择电路的实施方式,以避免使2个继电器同时连接到单元的不同部分,这将导致两个或更多个单元之间的短路。将一个单个单元连接到反激式输出的继电器的选择是通过基于SN74HC238D解复用器的逻辑电路完成的。以这种方式确保了仅同时激活一个单个继电器,避免了单元之间的危险短路。最后,继电器由管理继电器线圈激活的ULQ2003A达林顿(darlington)阵列驱动。

[0099] 在该实施方式中,最后两个继电器(RLY17和RLY18)用于将电阻器与单个单元串联连接或与整个模块串联连接以允许无源平衡并因此获得混合的平衡原型。为此应用选择的继电器是IMR6。

[0100] 软件设计

[0101] 已对HERCULES μ C进行配置和编程以便控制反激式转换器,使用以下外设:

[0102] -通用输入/输出(GPIO) 引脚,用于管理控制继电器的逻辑电路。

[0103] -模数转换器(ADC) 模块,用于测量输出电流。

[0104] -高端定时器(HET) 模块,用于针对控制算法生成内部中断。

[0105] -增强型脉冲宽度调制器(ePWM) 模块,用于生成PWM信号。

[0106] μ C外设配置为如下:

[0107] GPIO:- 端口A(A5、C2、C1、E1、A6、B5、H3、M1)

[0108] ADC:- 跳线J8用于选择ADREFHI 3.3V

[0109] -引脚->ADC1IN2(V18)

[0110] -触发器->HET1 8

[0111] -分辨率->12位

[0112] -采样时间->1 μ s

[0113] HET:-引脚->HET1 8 (E18)

[0114] -PWM1

[0115] -周期->500 μ s

[0116] ETPWM:-周期->100kHz-引脚->ETPWM6B (P2)

[0117] 通过ePWM模块,HERCULES μ C生成能够控制反激式转换器的PWM信号。通过HET模块,生成信号以触发ADC在适当频率(诸如2kHz)下的转换,这捕获了电流传感器的测量值。 μ C接收来自电流传感器的模拟信号,以便关闭控制环路,表现为PI控制器执行。使用端口A的GPIO, μ C选择待再充电的单元。如果需要, μ C还能够对一个单元或对整个模块实现无源平衡。

[0118] 已通过双开关反激式转换器以固定和受控的1A电流为一个单元充电而进行了测试。有源平衡电路的核心是隔离反激式转换器。反激式转换器由带有PWM信号(ETPWM 6B引脚)的HERCULES μ C控制,并且控制环路由与输出电流(AD1IN2引脚)对应的模拟信号馈电。

[0119] 由于附接到GPIOA端口的逻辑电路,HERCULES μ C能够选择需要再充电的单元。线GPIOA0至GPIOA3用于选择1至16的单元,并且GPIOA5用于使能从3.3V至5V缓冲器的输出,而GPIOA4用于使能解复用器的输出。两个使能信号都是有源低信号。

[0120] 一旦选择了单元, μ C就开始控制反激式转换器的PWM信号,以便以1A的速率对选择的单元进行再充电。在这些测试中使用的单元模型是 Kokam SLPB90255255H。

[0121] 在平衡测试期间进行的测量表明,设计的电路和控制代码能够控制注入选择的单元的电流。

[0122] 输出电流值的精度为 $\pm 1.5\%$ 。

[0123] 在大多数输入/输出条件下,反激式转换器中的功率转换效率高于82.5%,当输入电压约为55V时,达到约87.5%的效率峰值。

[0124] 已测试了无源平衡,通过连接一个4 Ω 电阻器(5W)以约1A的速率将单个单元放电,以及通过连接一个68 Ω 电阻器(100W)以约1A的速率将整个16单元模块放电。可以理解,可以使用不同的电阻器值,并且可以通过除电阻器之外的其他装置(途径)来执行无源平衡。

[0125] 仿真结果。

[0126] 以下示出了对于16和8单元模块的PSIM仿真结果。

[0127] 参考图8,示出了对需要从90%SOC进行直到95%SOC的1个单元的平衡过程的仿真所获得的结果。反激的输入电压为64.45V,相当于16个单元,其中15个单元在SOC95%下充电,而1个单元在90%下充电。这最后一个单元是将被平衡的一个。

[0128] 电流“ I_{outDC} ”增加直到达到1A,并且然后保持稳定直到SOC达到95%的充电,然后停止。

[0129] 还示出了随时间变化的SOC(SOC_1)和单元电压(V_{outDC})。

[0130] 最后,图8的底部图表示出了在反激式转换器开启期间考虑传导损耗的仿真中的功率转换效率。该仿真中的效率值为89%。

[0131] 参考图9,示出了对需要从90%SOC充电直到95%SOC的1个单元的平衡过程的仿真所获得的结果。反激的输入电压为32.18V,相当于8个单元,其中7个单元在SOC 95%下充电,而1个单元在90%下充电。最后一个单元是将被平衡的一个。其余信号与图8所示结果相

同。

[0132] 总之,从图8和图9中所示的曲线图可以看出,根据本发明的实施方式的受控反激式电源能够以1A的恒定电流将特定单元再充电,直到其SOC 达到期望值。

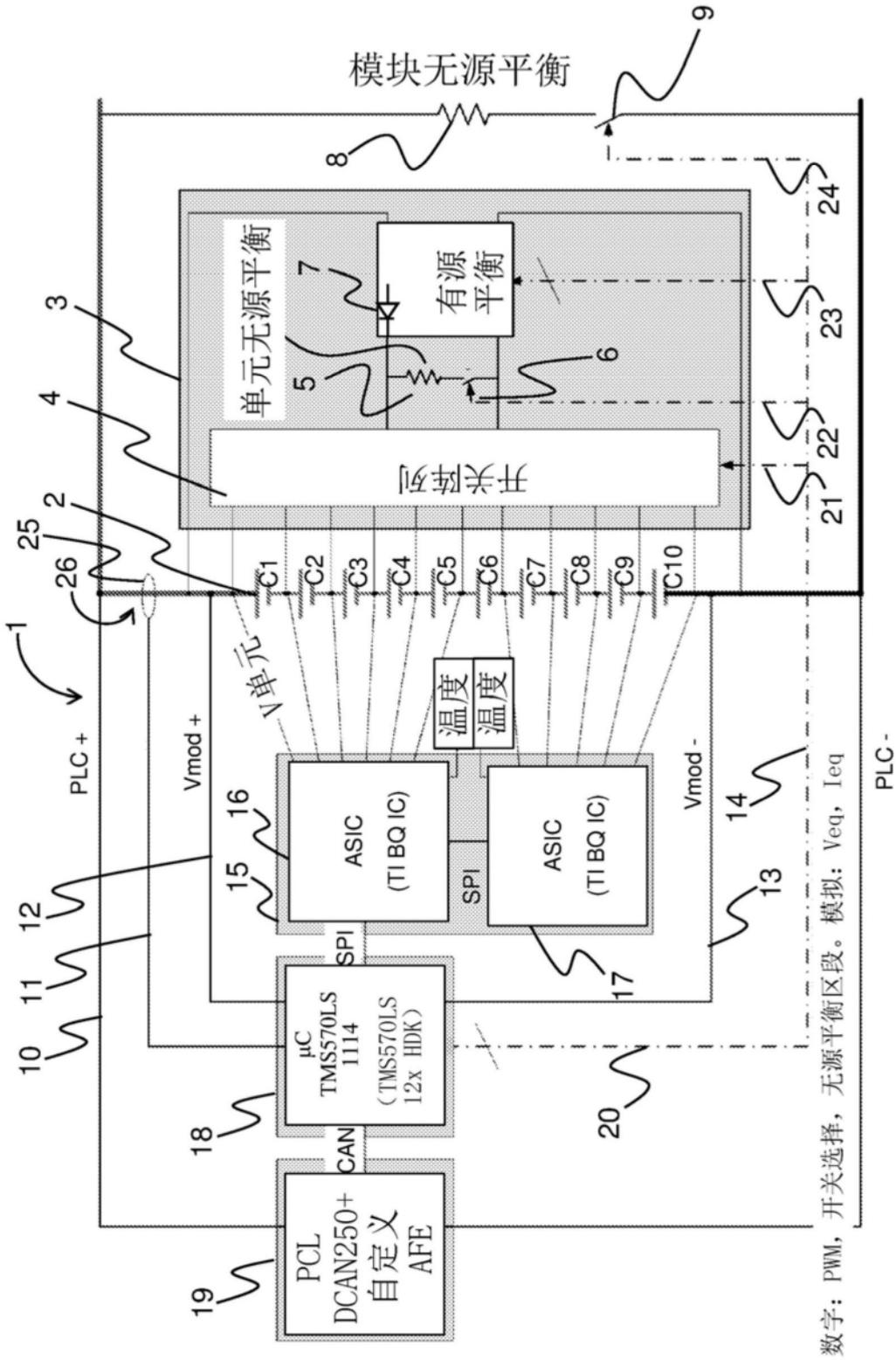


图1

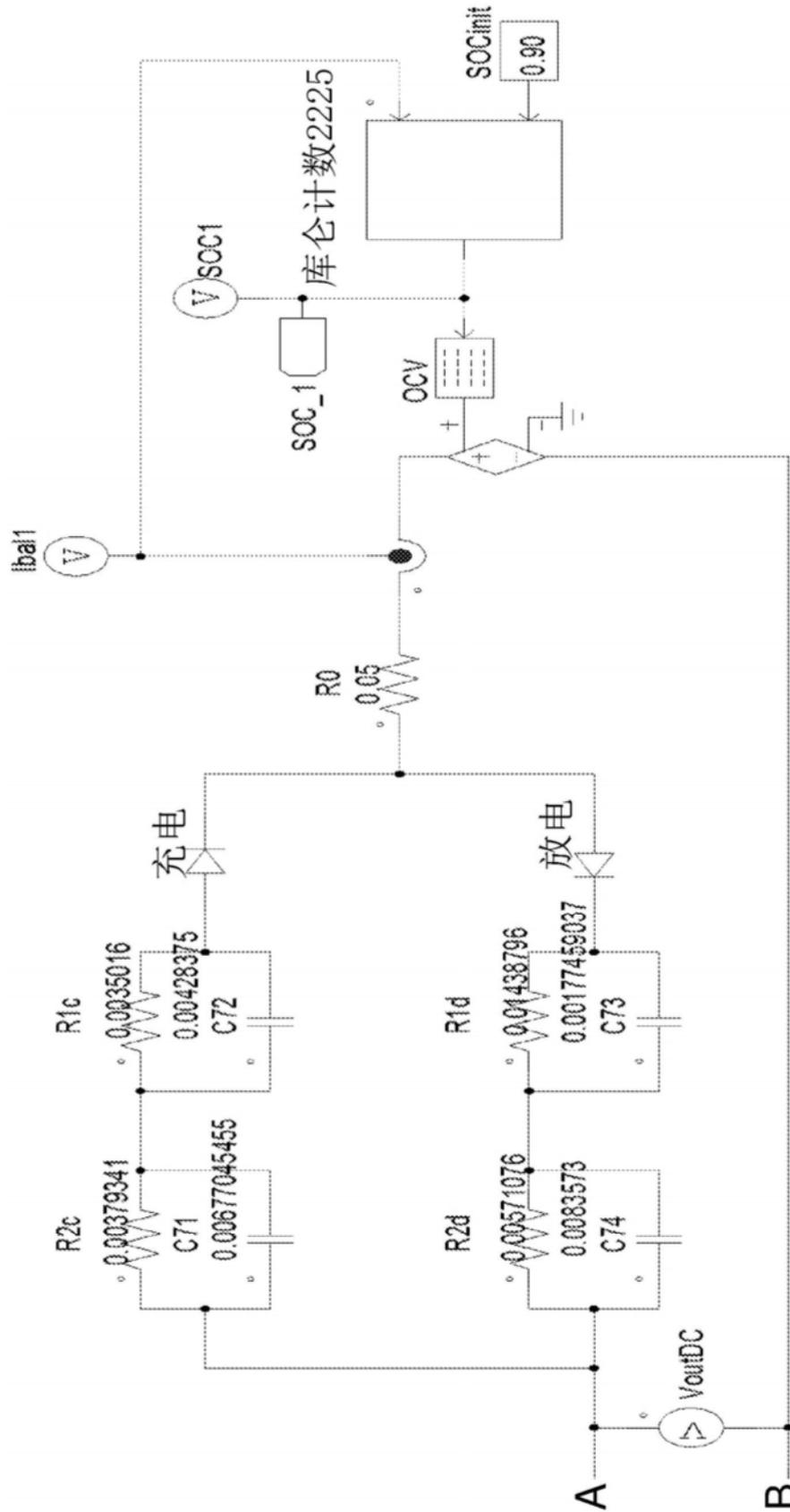


图3 (b)

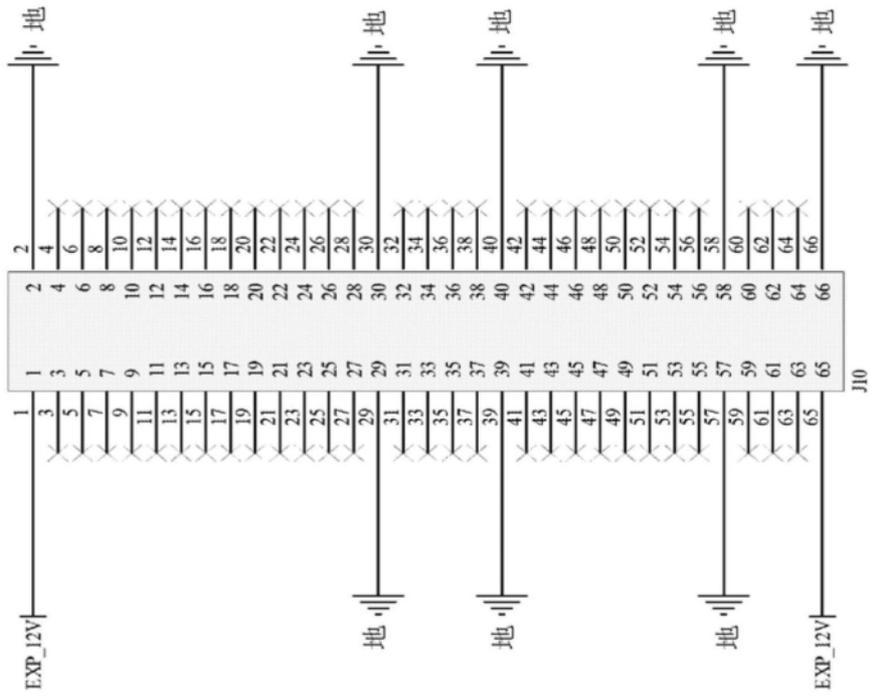


图5(a)

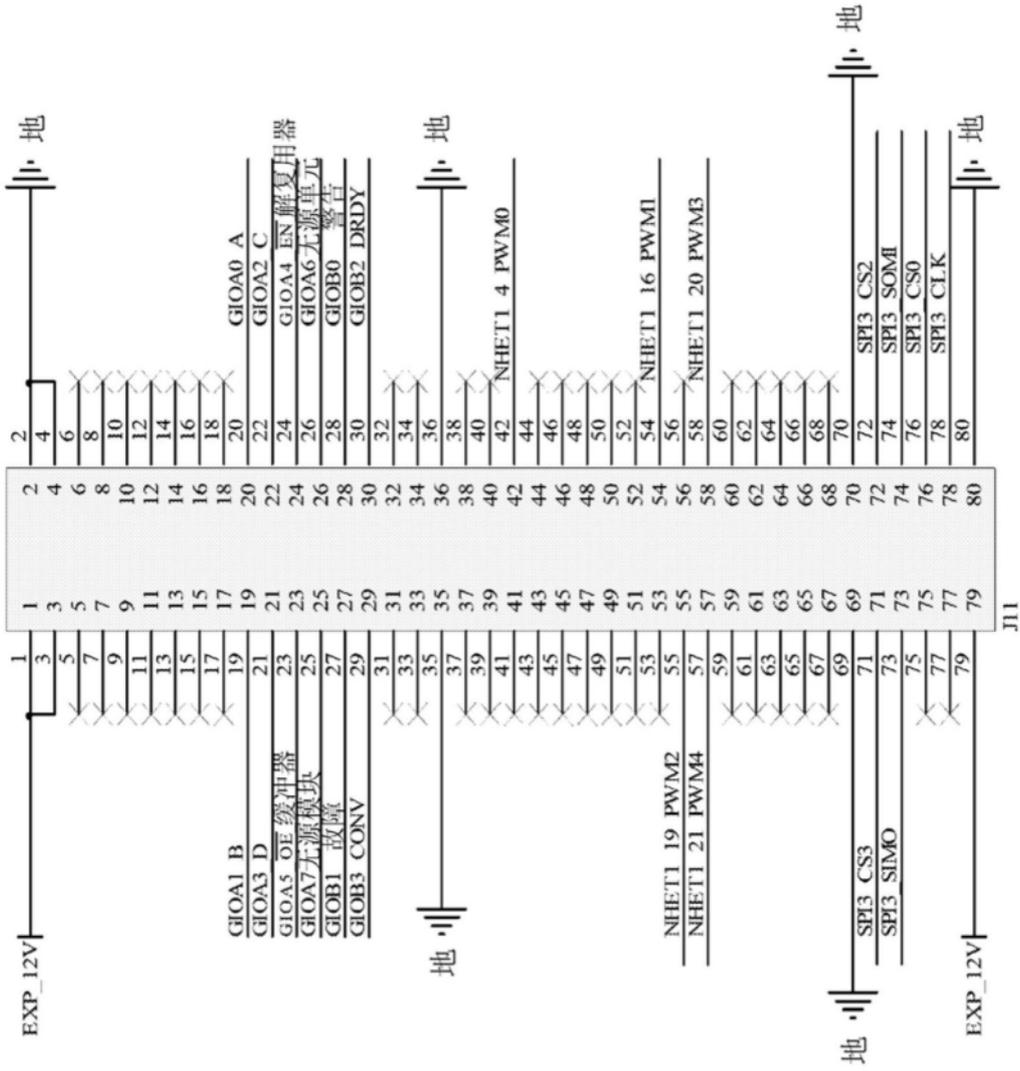


图5 (b)

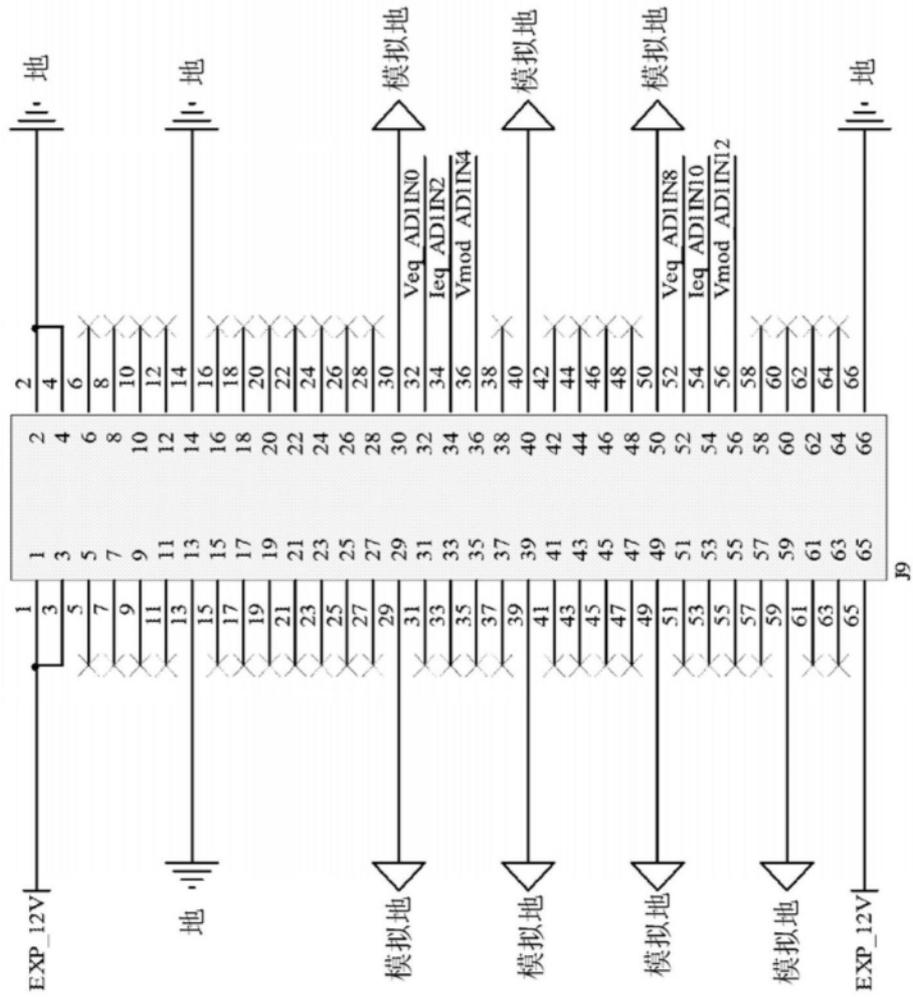


图5(c)

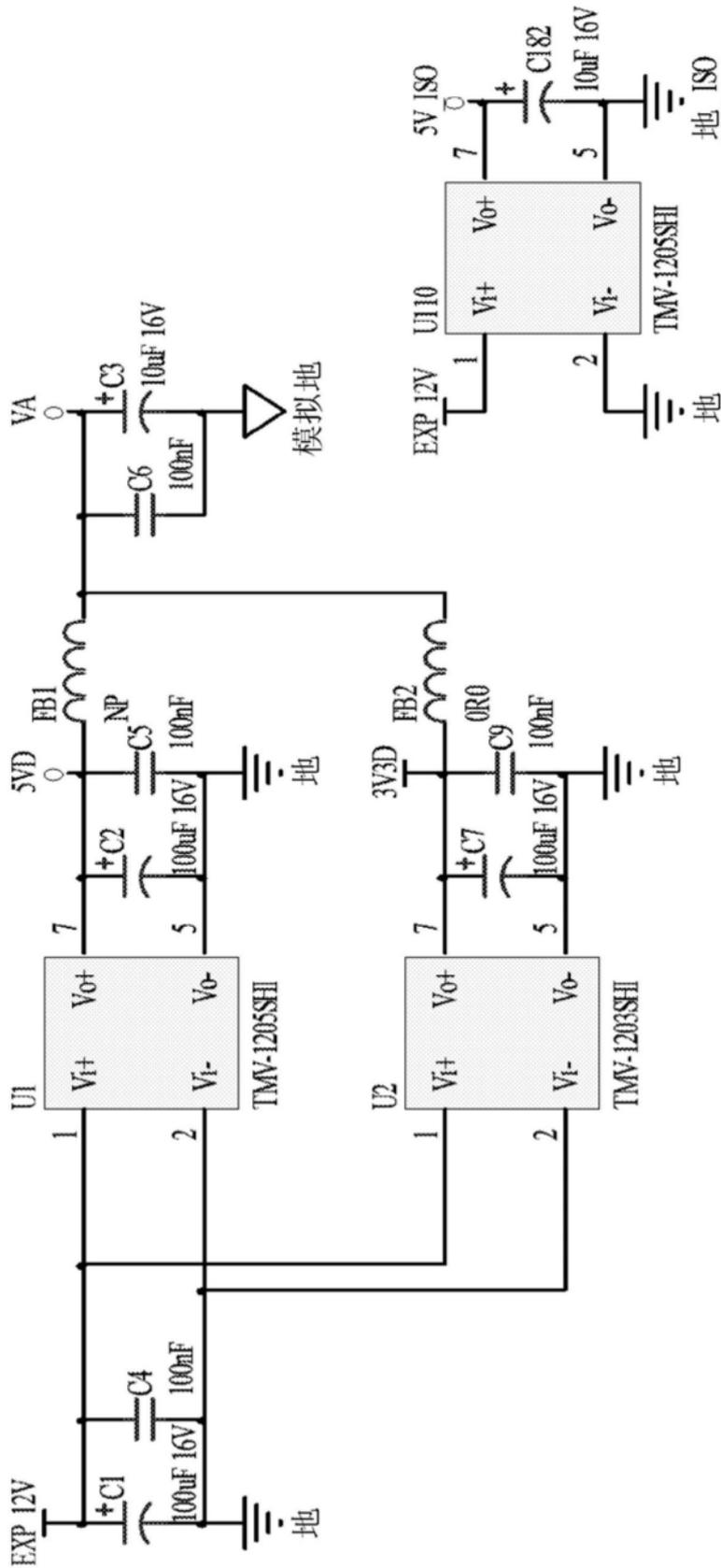


图5 (d)

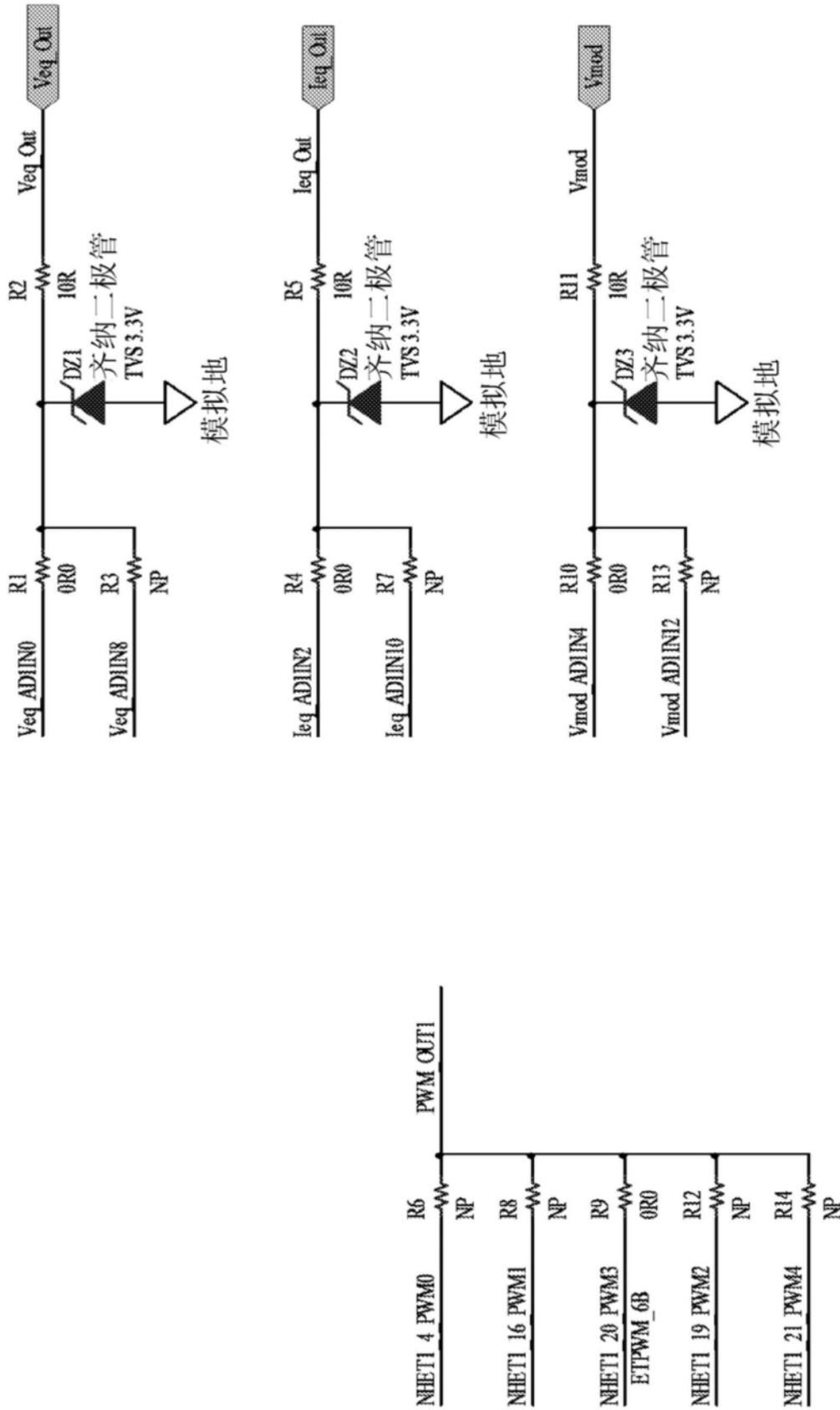


图5(e)

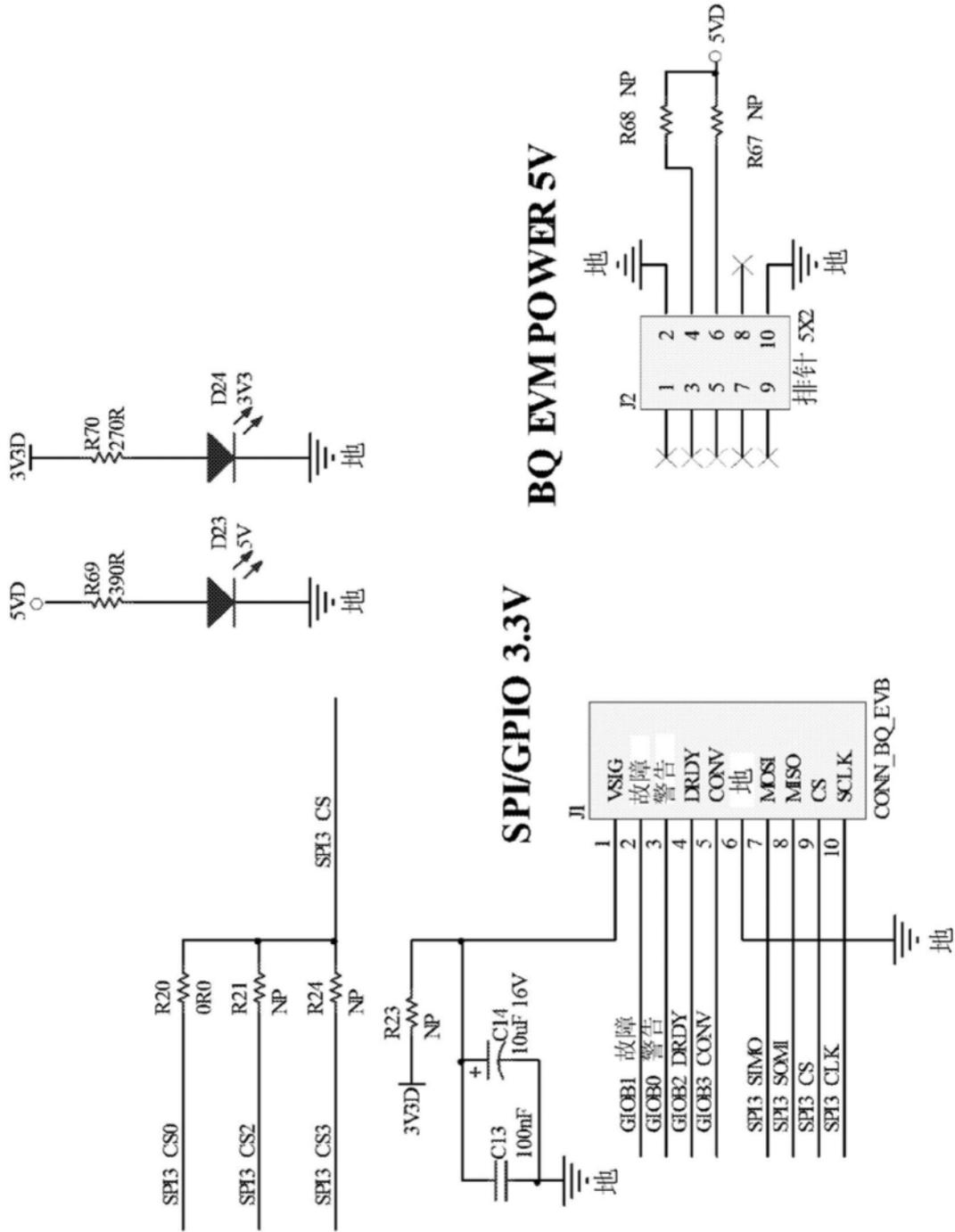


图5 (f)

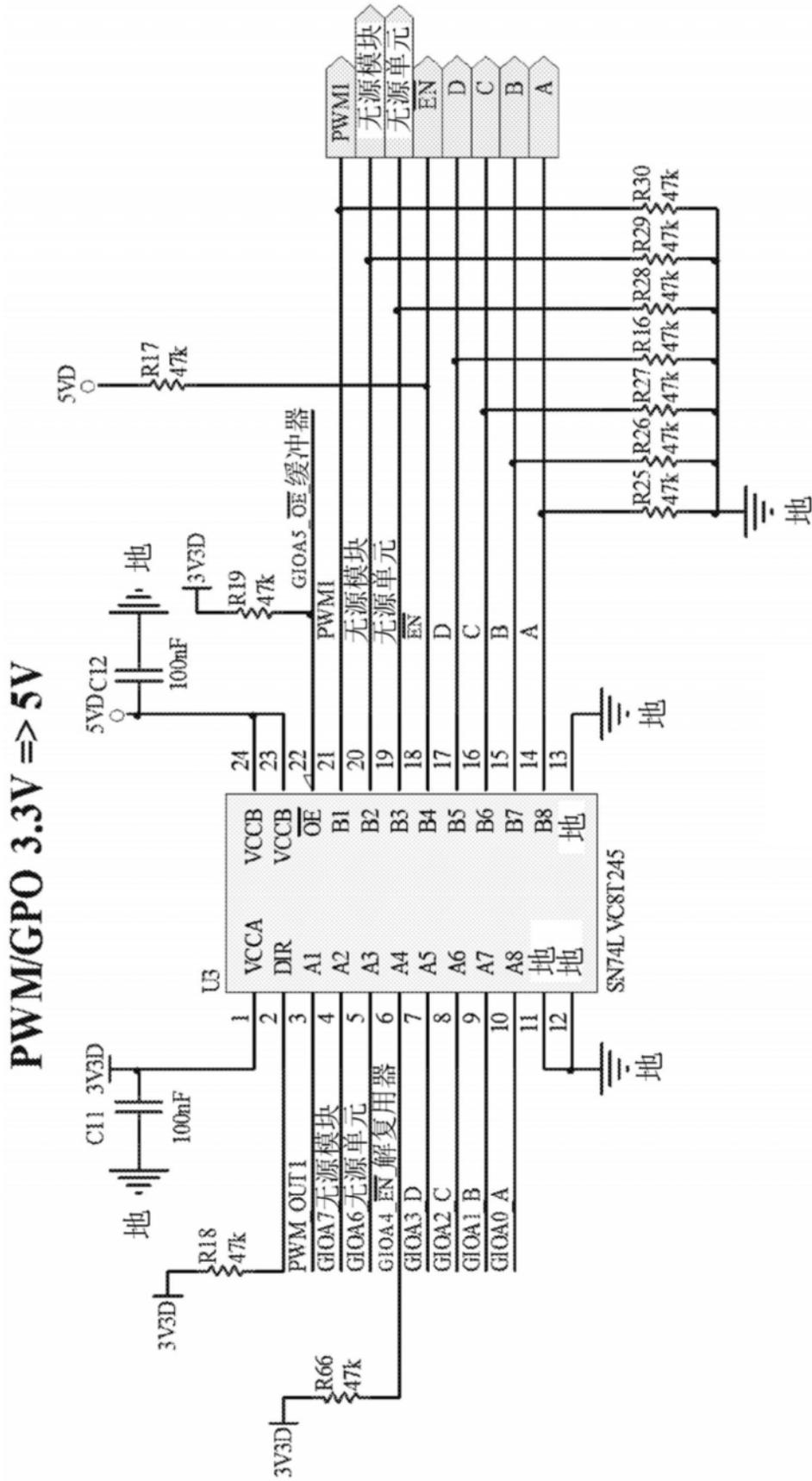


图5 (g)

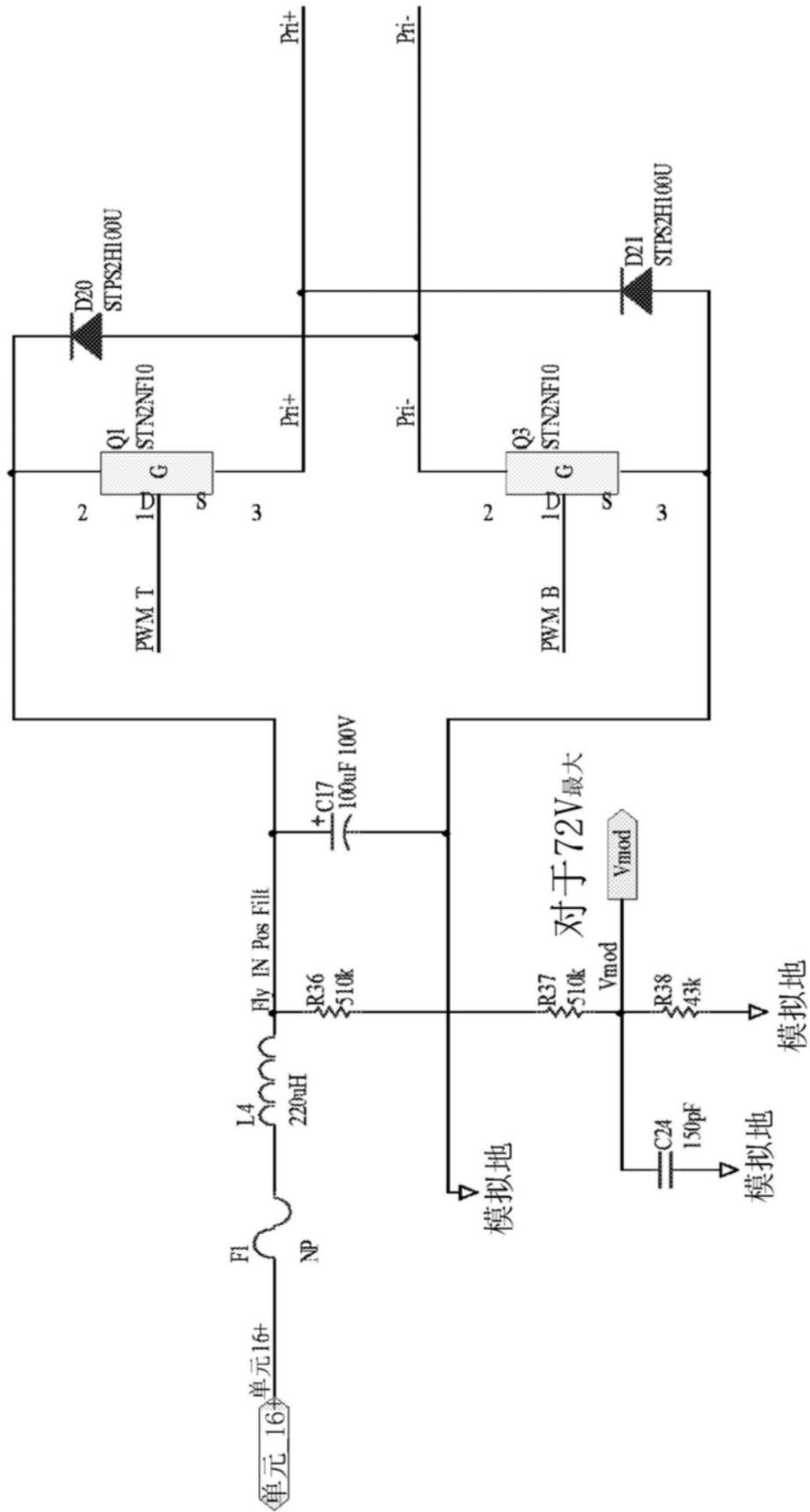


图6 (a)

反激

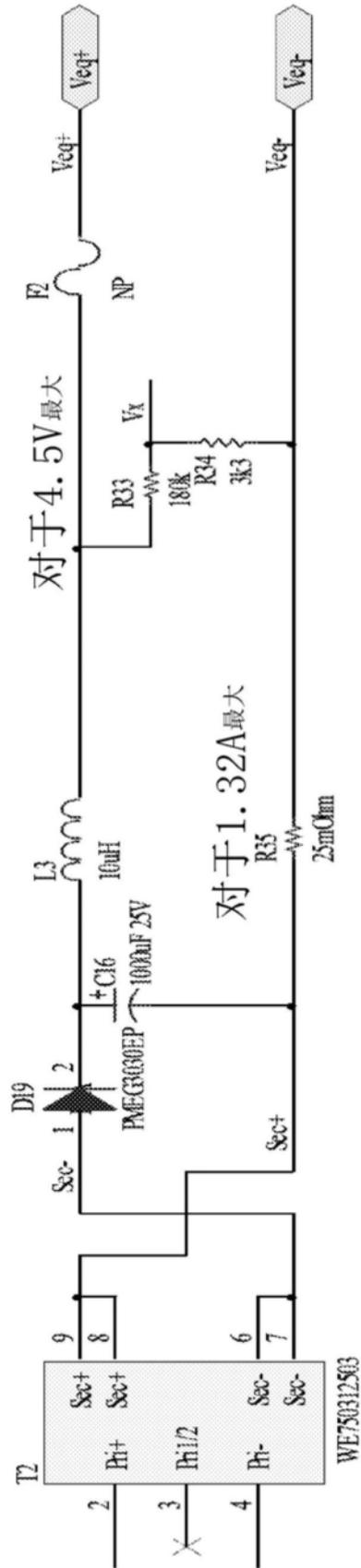


图6 (b)

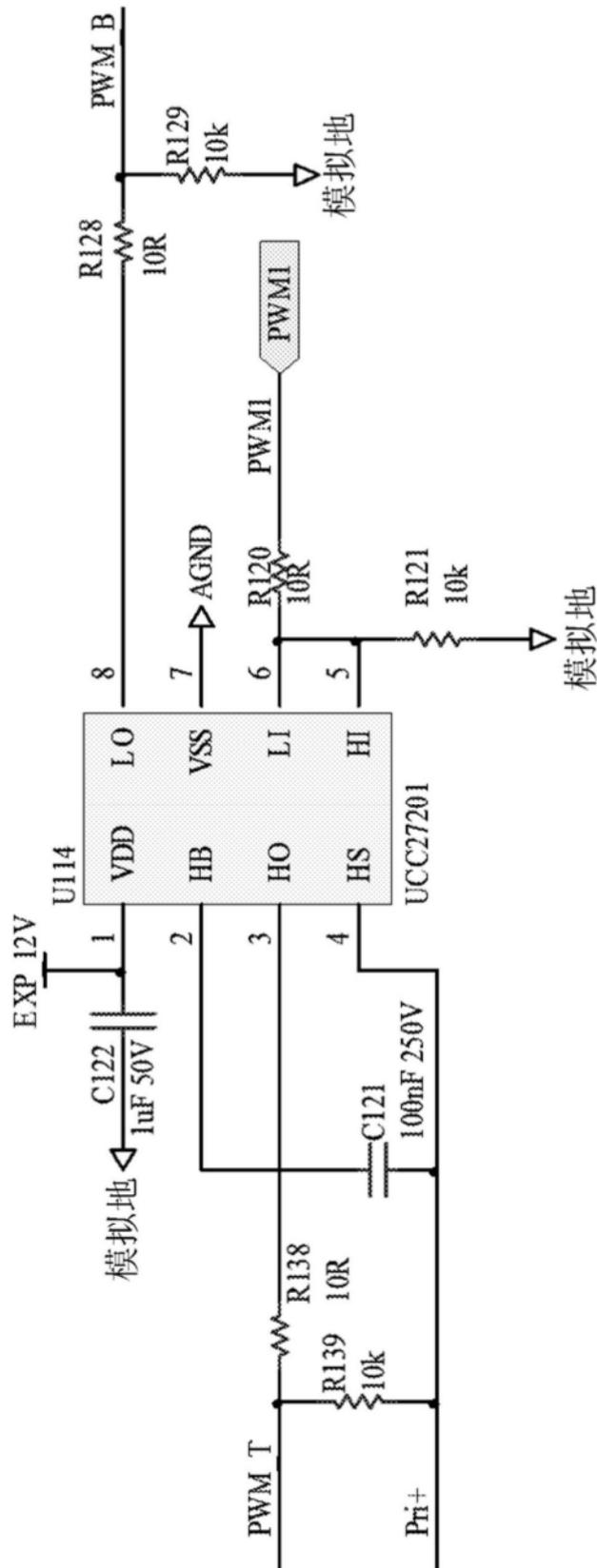


图6 (c)

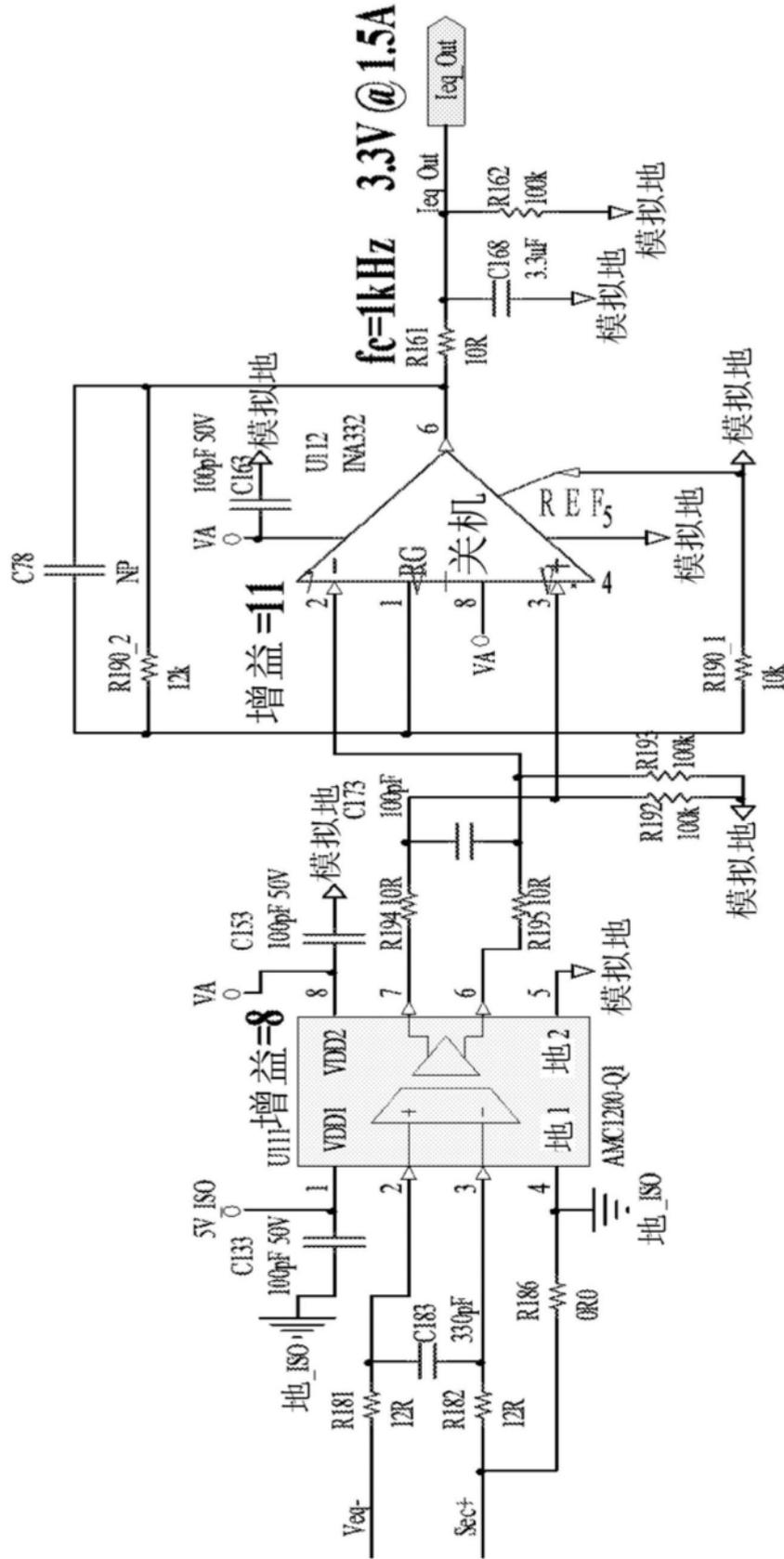


图6 (d)

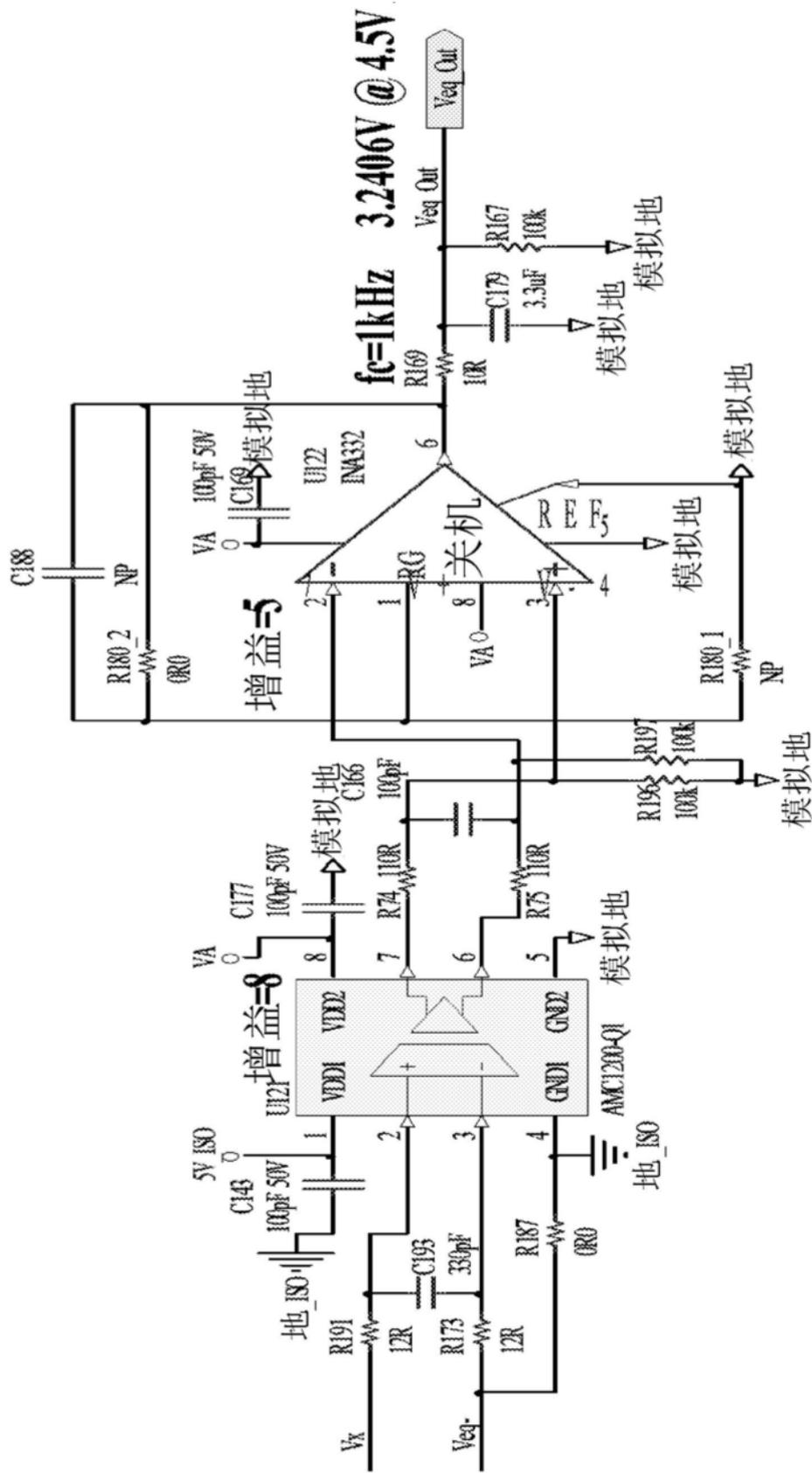


图6 (e)

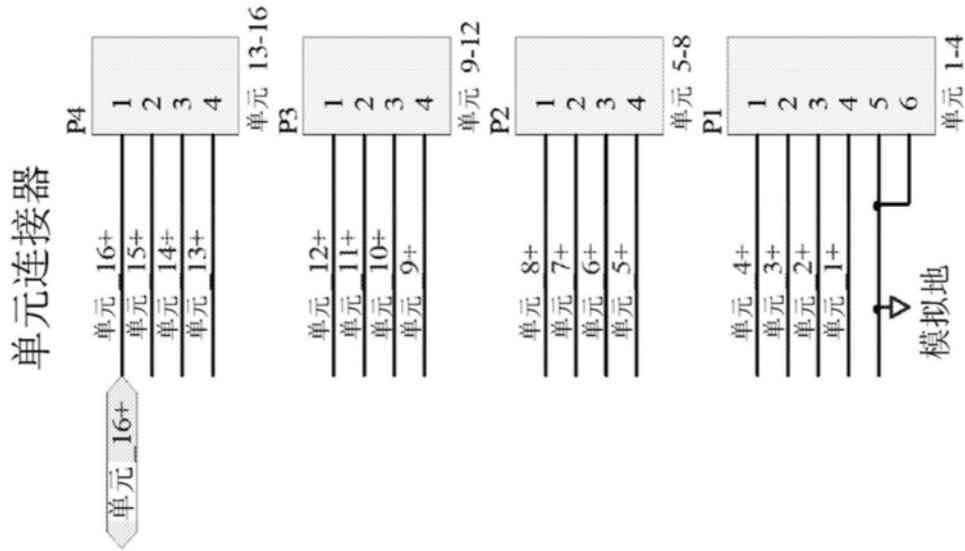


图7 (b)

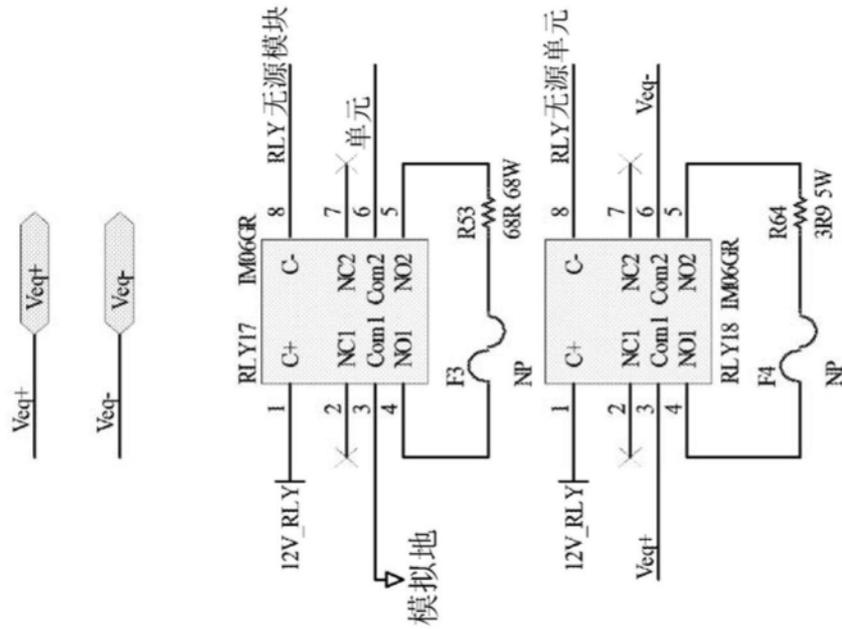


图7 (c)

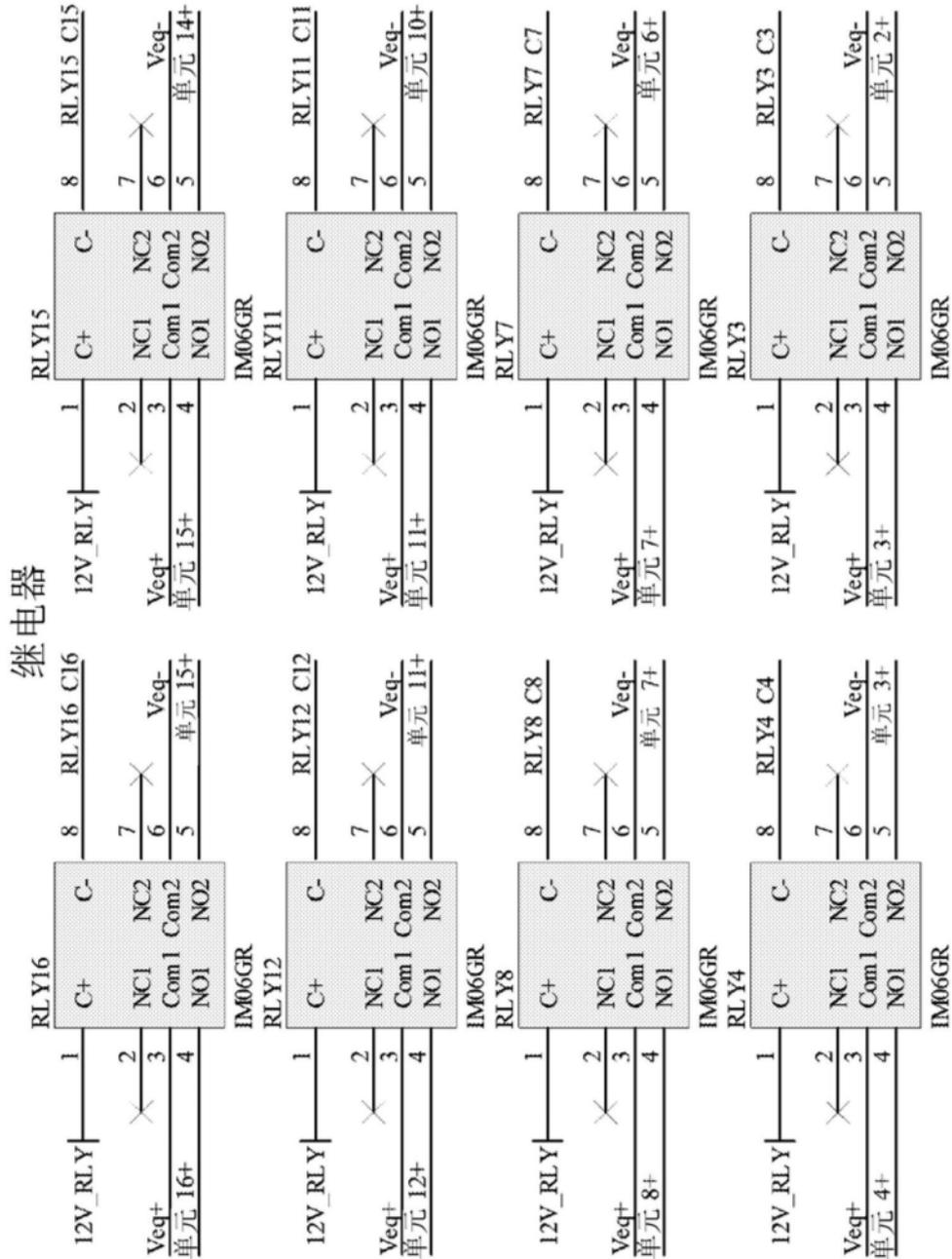


图7 (d)

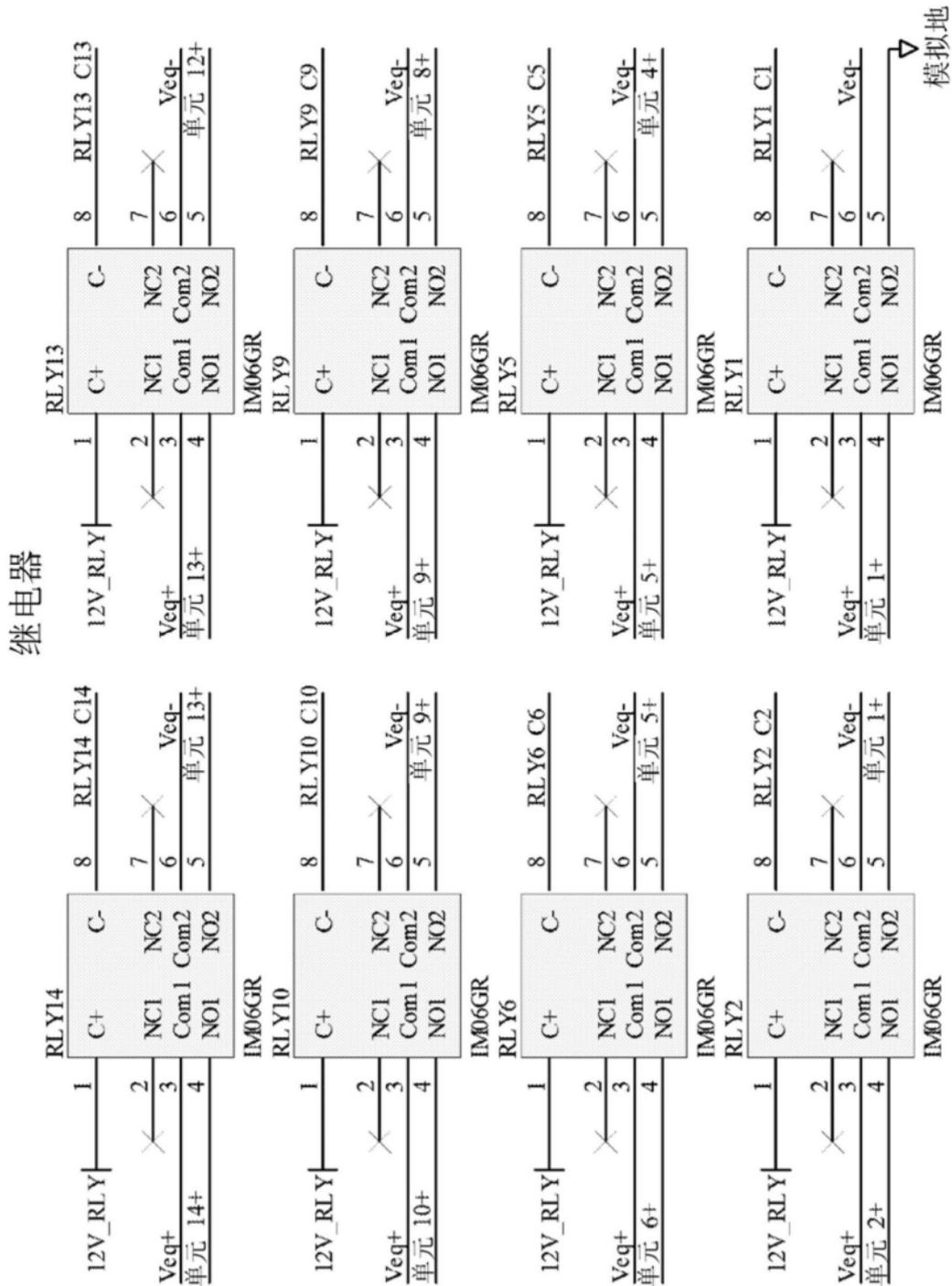


图7(e)

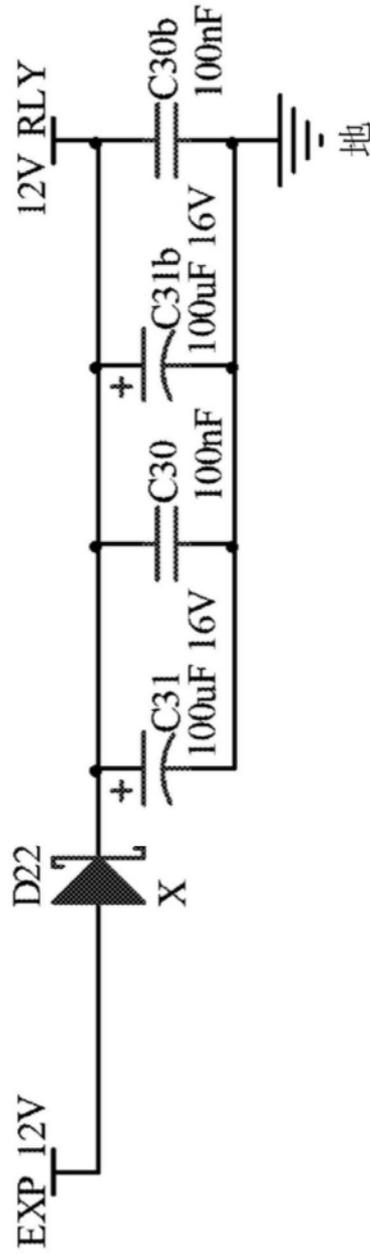
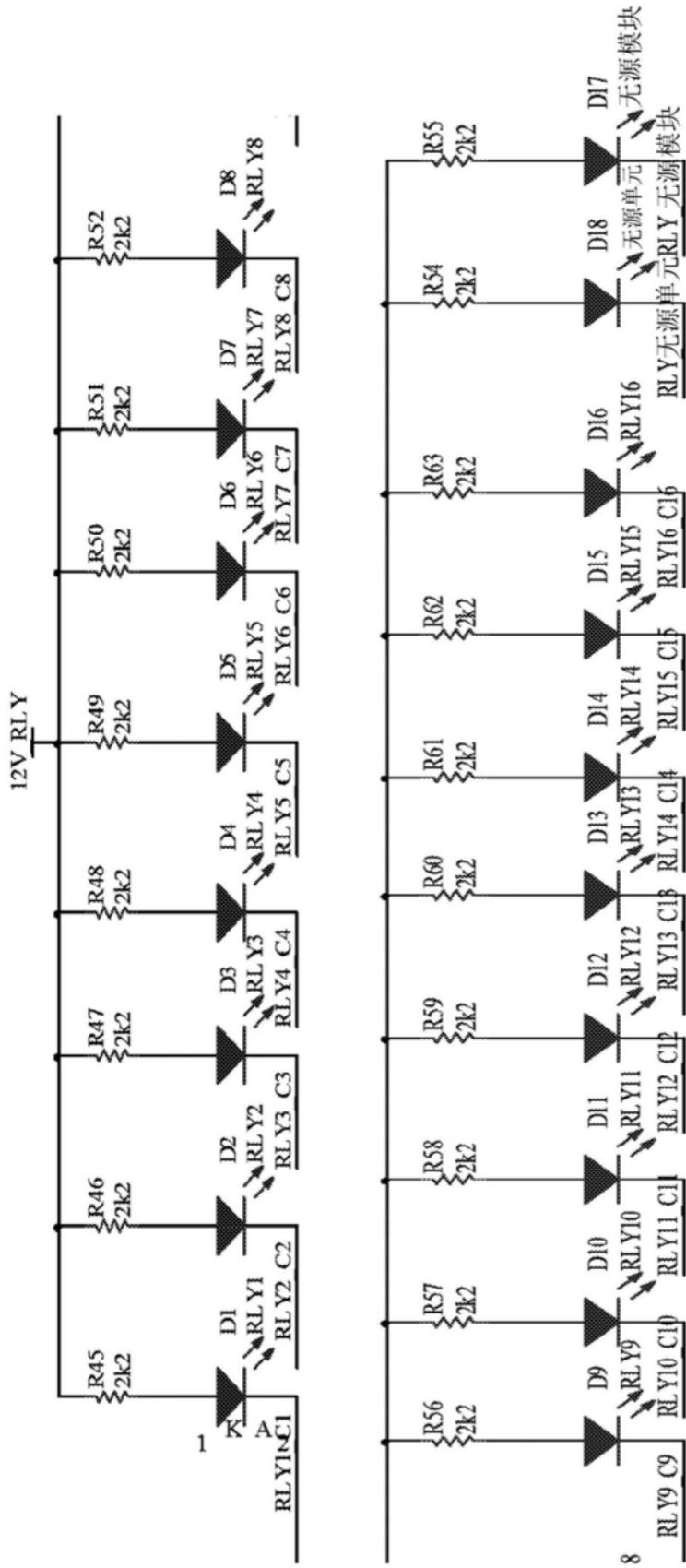


图7 (f)



指示LED

图7 (g)

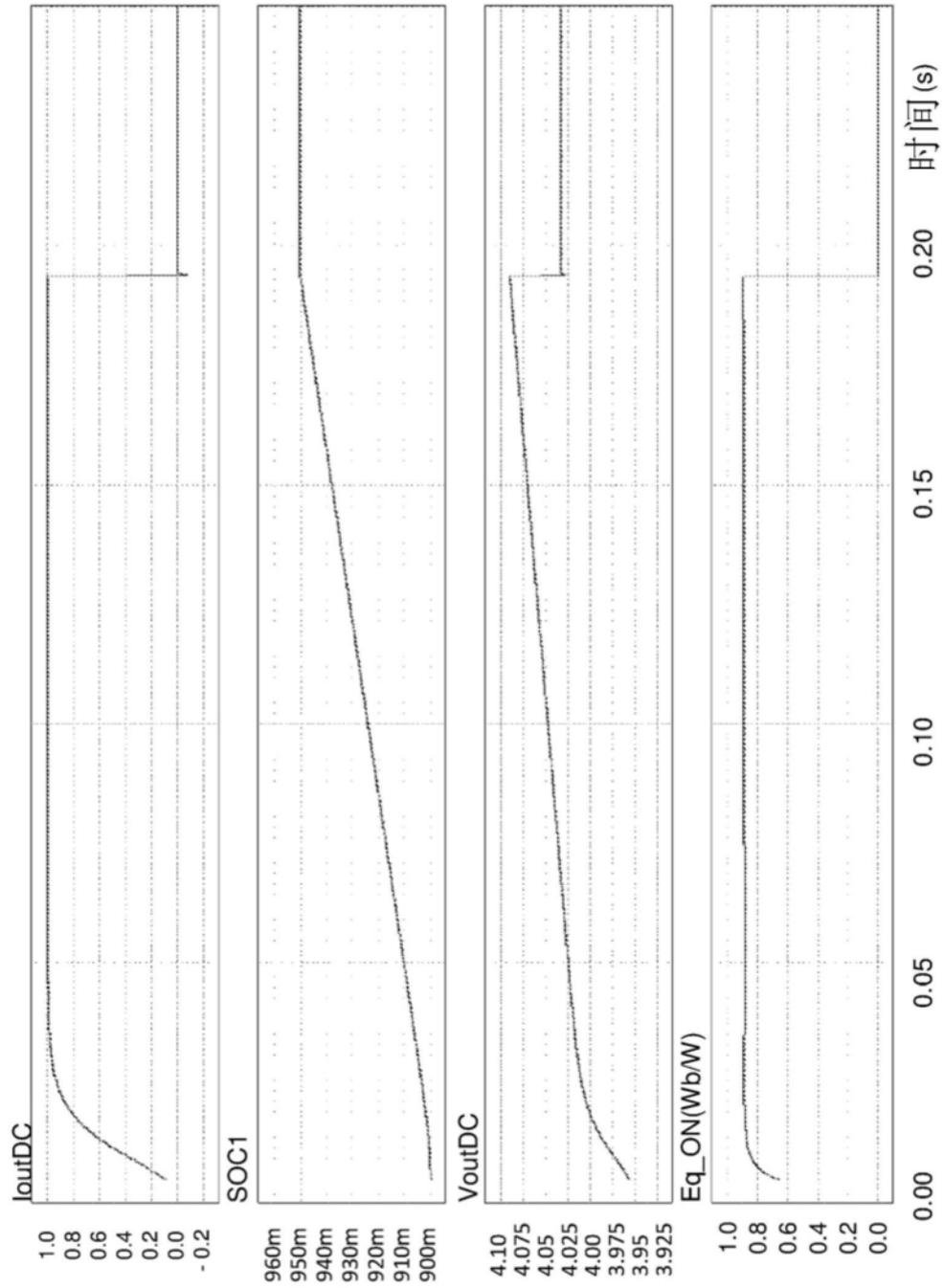


图8

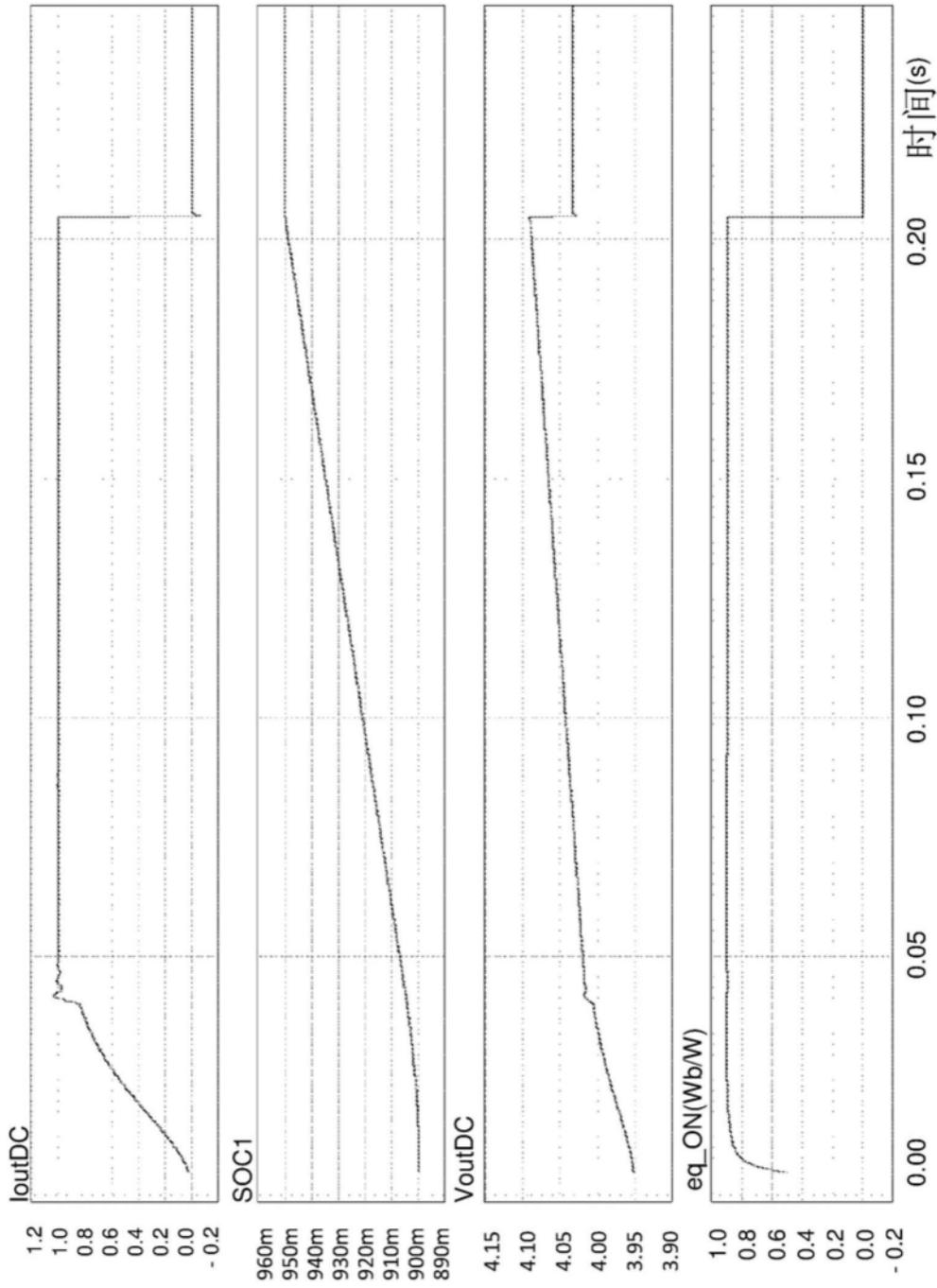


图9