



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116830441 A

(43) 申请公布日 2023. 09. 29

(21) 申请号 202180091967.3

(22) 申请日 2021.11.10

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2023.07.27

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/CN2021/129887 2021.11.10

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02023/082108 ZH 2023.05.19

(71) 申请人 宁德时代新能源科技股份有限公司  
地址 352100 福建省宁德市蕉城区漳湾镇  
新港路2号

(72) 发明人 姚远 何炜琛 张怀森 林贵应  
高锦凤 但志敏

(74) 专利代理机构 北京龙双利达知识产权代理  
有限公司 11329

专利代理师 韩狄 毛威

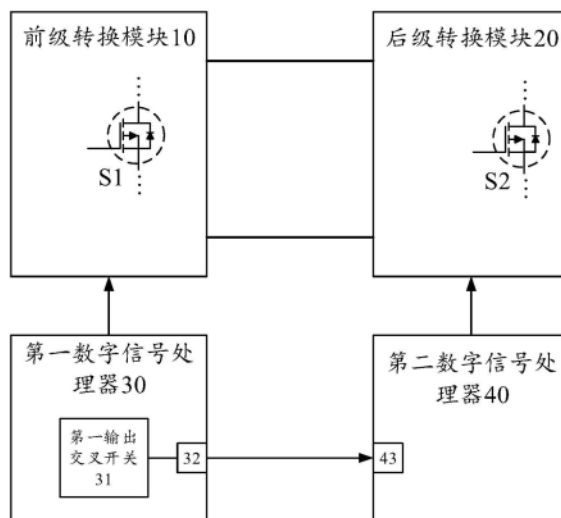
(51) Int.Cl.  
H02M 1/32 (2006.01)

(54) 发明名称

电气系统及用电装置

(57) 摘要

本申请公开了一种电气系统及用电装置。电气系统包括：包含若干第一可控开关的前级转换模块；包含若干第二可控开关的后级转换模块，用于控制第一可控开关的第一数字信号处理器；用于控制第二可控开关的第二数字信号处理器。第一数字信号处理器的第一输出交叉开关被配置为：将第一内部信号提供至第一输出端口，通过第二输入端口以使所述第二数字信号处理器在预设时间内接收第一内部信号。该第一内部信号是形成于所述第一数字信号处理器的故障信号。其能够使得第一数字信号处理器的内部信号可以在较短的时间传递至第二数字信号处理器，降低了两个数字信号处理器之间触发保护动作的时间间隔。



# (12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织  
国际局

(43) 国际公布日  
2023年5月19日 (19.05.2023)



(10) 国际公布号  
**WO 2023/082108 A1**

- (51) 国际专利分类号:  
*H02M 1/32* (2007.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2021/129887
- (22) 国际申请日: 2021年11月10日 (10.11.2021)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (71) 申请人: 宁德时代新能源科技股份有限公司 (CONTEMPORARY AMPEREX TECHNOLOGY CO., LIMITED) [CN/CN]; 中国福建省宁德市蕉城区漳湾镇新港路2号, Fujian 352100 (CN)。
- (72) 发明人: 姚远 (YAO, Yuan); 中国福建省宁德市蕉城区漳湾镇新港路2号, Fujian 352100 (CN)。何炜琛 (HE, Weichen); 中国福建省宁德市蕉城区漳湾镇新港路2号, Fujian 352100 (CN)。张

怀森 (ZHANG, Huaisen); 中国福建省宁德市蕉城区漳湾镇新港路2号, Fujian 352100 (CN)。林贵应 (LIN, Guiying); 中国福建省宁德市蕉城区漳湾镇新港路2号, Fujian 352100 (CN)。高锦凤 (GAO, Jinfeng); 中国福建省宁德市蕉城区漳湾镇新港路2号, Fujian 352100 (CN)。但志敏 (DAN, Zhimin); 中国福建省宁德市蕉城区漳湾镇新港路2号, Fujian 352100 (CN)。

- (74) 代理人: 深圳市六加知识产权代理有限公司 (LIUJIA CHINA IP LAW OFFICE); 中国广东省深圳市南山区桃源街道留仙大道塘岭路1号金骐智谷大厦403, Guangdong 518055 (CN)。
- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU,

(54) Title: ELECTRICAL SYSTEM AND ELECTRICAL DEVICE

(54) 发明名称: 电气系统及用电装置

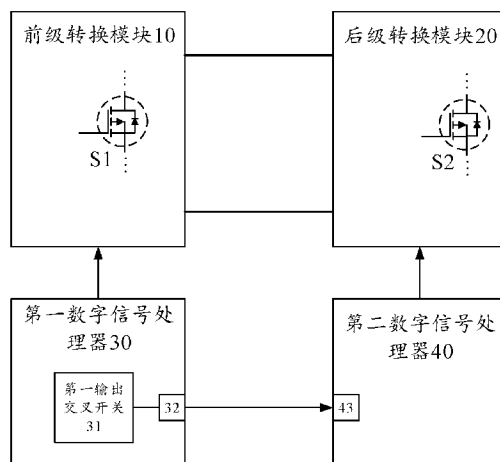


图 3

- 10 Pre-conversion module
- 20 Post-conversion module
- 30 First digital signal processor
- 31 First output crossbar switch
- 40 Second digital signal processor

(57) Abstract: The present application discloses an electrical system and an electrical device. The electrical system comprises: a pre-conversion module comprising a plurality of first controllable switches; a post-conversion module comprising a plurality of second controllable switches; a first digital signal processor used for controlling the first controllable switches; and a second digital signal processor used for controlling the second controllable switches. A first output crossbar switch of the first digital signal processor is configured to: provide a first internal signal to a first output port, so that the second digital signal processor receives the first internal



WO 2023/082108 A1

CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

**(84)** 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

---

signal within a preset time by means of a second input port. The first internal signal is a fault signal formed in the first digital signal processor. An internal signal of the first digital signal processor can be transmitted to the second digital signal processor within a short time, thereby reducing the time interval in triggering a protection action between the two digital signal processors.

**(57) 摘要:** 本申请公开了一种电气系统及用电装置。电气系统包括: 包含若干第一可控开关的前级转换模块; 包含若干第二可控开关的后级转换模块, 用于控制第一可控开关的第一数字信号处理器; 用于控制第二可控开关的第二数字信号处理器。第一数字信号处理器的第一输出交叉开关被配置为: 将第一内部信号提供至第一输出端口, 通过第二输入端口以使所述第二数字信号处理器在预设时间内接收第一内部信号。该第一内部信号是形成于所述第一数字信号处理器的故障信号。其能够使得第一数字信号处理器的内部信号可以在较短的时间传递至第二数字信号处理器, 降低了两个数字信号处理器之间触发保护动作的时间间隔。

## 电气系统及用电装置

### 技术领域

本申请涉及电源领域，具体涉及一种电气系统及用电装置。

### 背景技术

电能是现代社会的工业之中非常重要的一种能源，其被广泛的用于驱动诸如车辆等各种设备。在用电装置的实际运行过程中，通常需要从诸如公共电网等外部电力源之中汲取电力，并转换为能够满足用电装置使用需要的电能（如特定的电压或者电流）。

由此，人们设计了一些由多模块组成的电气系统以满足为用电装置供电的需要。但这样的电气系统在运行时，不同模块间的不协调导致了系统可靠性的下降。

### 发明内容

鉴于上述问题，本申请提供一种电气系统及用电装置，能够缓解电气系统之中不同模块间不协调的问题。

第一方面，本申请提供了一种电气系统。该电气系统包括：前级转换模块，耦接至所述前级转换模块的后级转换模块，用于控制所述第一可控开关的第一数字信号处理器以及用于控制所述第二可控开关的第二数字信号处理器。所述前级转换模块包含若干第一可控开关；所述后级转换模块包含若干第二可控开关；所述第一数字信号处理器包括第一输出交叉开关和至少一个第一输出端口；所述第二数字信号处理器包括至少一个与所述第一输出端口耦接的第二输入端口。所述第一输出交叉开关被配置为：将第一内部信号提供至所述第一输出端口，以使所述第二数字信号处理器在预设时间内接收所述第一内部信号。其中，所述第一内部信号是形成于所述第一数字信号处理器的故障信号，可触发所述第一数字信号处理器关断所述第一可控开关和所述第二数字信号处理器关断所述第二可控开关。

本申请实施例的技术方案中，在用于控制前级转换模块的第一数字信号处理器和用于控制后级转换模块的第二数字信号处理器之间建立了物理

连接。利用输出交叉开关令第一数字信号处理器的内部信号可以在较短的时间传递至第二数字信号处理器，有效的降低了两个数字信号处理器之间触发保护动作的时间间隔，令后级转换模块的第二可控开关能够快速的跟随前级转换模块的第一可控开关动作。

在一些实施例中，所述第二数字信号处理器还包括第二输出交叉开关和至少一个第二输出端口；所述第一数字信号处理器还包括至少一个与所述第二输出端口耦接的第一输入端口。所述第二输出交叉开关被配置为：将第二内部信号提供至所述第二输出端口，以使所述第一数字信号处理器在所述预设时间内接收所述第二内部信号。其中，所述第二内部信号是形成于所述第二数字信号处理器的故障信号，用于触发所述第一数字信号处理器关断所述第一可控开关和所述第二数字信号处理器关断所述第二可控开关。

本申请实施例的技术方案中，增设了第二数字信号处理器向第一数字信号处理器传递故障信息的途径，使第二数字信号处理器同样也可以通过自身内部的输出交叉开关，使其内部信号在很短的时间内传递至第一数字信号处理器。

在一些实施例中，所述第一数字信号处理器还包括：用于实时检测所述前级转换模块中的电压信号或电流信号的第一比较器单元以及用于控制所述第一可控开关的第一开关控制单元。所述第一比较器单元被配置为：在所述电压信号或电流信号异常时，形成所述第一内部信号；所述第一开关控制单元被配置为：响应于所述第一内部信号，关断所述第一可控开关。本申请实施例中的第一数字信号处理器可以通过内部设置的比较器单元对电压信号或者电流信号进行检测而生成相应的故障信号，进而通过开关控制单元及时关断可控开关。

在一些实施例中，所述第二数字信号处理器还包括：用于实时检测所述前级转换模块中的电压信号或电流信号的第二比较器单元以及用于控制所述第二可控开关的第二开关控制单元；所述第二比较器单元被配置为：在所述电压信号或电流信号异常时，形成所述第二内部信号。所述第二开关控制单元被配置为：响应于所述第二内部信号，关断所述第二可控开关。这样的设计同样通过第二数字信号处理器内部的比较器单元对电压信号或

电流信号进行检测，并形成第二内部故障信号使开关控制单元及时关断可控开关。

在一些实施例中，所述电气系统还包括：用于电气隔离的隔离模块。所述第一数字信号处理器的第一输出端口通过所述隔离模块，耦接至所述第二数字信号处理器的第二输入端口。所述第二数字信号处理器的第二输出接口通过所述隔离模块，耦接至所述第一数字信号处理器的第一输入接口。本申请实施例在两个数字信号处理器之间设置用于实现电气隔离的隔离模块，以避免前级和后级之间的相互干扰。

在一些实施例中，所述电气系统还包括：耦接至所述前级转换模块和后级转换模块的连接处的采样电路以及耦接至所述采样电路的比较电路。所述采样电路用于采集所述连接处的电信号；所述比较电路用于在所述电信号异常时，向所述第二数字信号处理器提供第三信号。所述第二数字信号处理器还被配置为：响应于所述第三信号，关断所述第二可控开关。本申请实施例中，两个数字信号处理器之间除了依赖输出交叉开关建立的物理信道以外，还设计了基于采样电路和比较电路的冗余路径，以确保后级转换模块能够快速跟随前级转换模块动作。

在一些实施例中，所述采样电路包括：第一比较器，第一电阻、第二电阻、第三电阻、第四电阻以及第一电容。其中，所述第一电阻的一端与所述目标节点的高电平端连接，所述第一电阻的另一端与所述第二电阻的一端连接，形成第一连接节点。所述第二电阻的另一端接地，所述第一连接节点与所述第一比较器的第一输入端连接。所述第三电阻的一端与所述目标节点的低电平端连接，所述第三电阻的另一端与所述第一比较器的第二输入端连接。所述第四电阻的一端与所述第一比较器的第二输入端连接，所述第四电阻的另一端与所述第一比较器的输出端连接，形成负反馈通路。所述第一电容的一端与所述第一比较器的第二输入端连接，所述第一电容的另一端与所述第一比较器的输出端连接。所述第一比较器的输出端还与所述比较电路耦接，形成所述采样电路的输出端，用于提供与所述连接处的电压成比例的电压信号。这样的设计中，通过提供合适阻值的电容和合适电容值的电容，可以令采样电路在输出端稳定的输出具有目标放大比例的电压模拟信号。

在一些实施例中，所述比较电路包括：用于提供基准电压的基准电压源以及第二比较器。所述第二比较器的第一输入端与所述电压采样电路的输出端耦接，所述第二比较器的第二输入端与所述基准电压源耦接。所述第二比较器的输出端与所述第二数字信号处理器连接，以使所述第二比较器响应于所述目标节点电压低于所述基准电压，在所述输出端输出所述第三信号至所述第二数字信号处理器。这样的设计中，比较电路基于有源比较器实现，可以在两个输入端之间的电平大小发生变化时，在输出端输出相应的高电平或者低电平，以使第二数字信号处理器能够据此快速的关断第二可控开关。

在一些实施例中，所述比较电路还包括第五电阻、第六电阻以及第七电阻。所述第五电阻的一端与所述基准电压源连接，所述第五电阻的另一端与所述第七电阻的一端连接，形成第一连接节点。所述第七电阻的另一端接地；所述第一连接节点与所述第二比较器的第二输入端连接。所述第六电阻的一端与所述电压采样电路的输出端连接，所述第六电阻的另一端与所述第二比较器的第一输入端连接。本申请实施例通过提供合适阻值的电容和合适电容值的电容构建了完整的比较电路，能够在实际使用中正常的工作。

第二方面，本申请提供了一种用电装置。该用电装置包括如上所述的电气系统以及与所述电气系统耦接的负载。在操作中，所述电气系统用于汲取和转换外部电力，为所述负载供电。

上述说明仅是本申请技术方案的概述，为了能够更清楚了解本申请的技术手段，而可依照说明书的内容予以实施，并且为了让本申请的上述和其它目的、特征和优点能够更明显易懂，以下特举本申请的具体实施方式。

### 附图说明

通过阅读对下文优选实施方式的详细描述，各种其他的优点和益处对于本领域普通技术人员将变得清楚明了。附图仅用于示出优选实施方式的目的，而并不认为是对本申请的限制。而且在全部附图中，用相同的附图标号表示相同的部件。在附图中：

图 1 为典型的 PFC 电路级联 LLC 电路的电气系统的结构示意图；

图 2 为本申请一些实施例的车辆的结构示意图；

图 3 为本申请一些实施例的电气系统的结构示意图；

图 4 为本申请一些实施例的数字信号处理器的结构示意图；

图 5 为本申请另一些实施例的数字信号处理器的结构示意图；

图 6 为本申请一些实施例的电气系统的结构示意图，示出两个数字信号处理器之间设置隔离模块的情况；

图 7 为本申请另一些的电气系统的结构示意图；

图 8 为本申请一些实施例的采样电路的原理示意图；

图 9 为本申请一些实施例的比较电路的原理示意图；

图 10 为本申请另一些实施例的采样电路的原理示意图，示出了使用 SDFM 采样的采样电路；

图 11 为本申请另一些实施例的电气系统的结构示意图，示出了两个数字信号处理器之间具有两种低时延途径的情况；

图 12 为本申请一些实施例的电气系统的结构示意图，示出了电气系统为 PFC 电路级联 LLC 电路的情况。

### 具体实施方式

下面将结合附图对本申请技术方案的实施例进行详细的描述。以下实施例仅用于更加清楚地说明本申请的技术方案，因此只作为示例，而不能以此来限制本申请的保护范围。

除非另有定义，本文所使用的所有的技术和科学术语与属于本申请的技术领域的技术人员通常理解的含义相同；本文中所使用的术语只是为了描述具体的实施例的目的，不是旨在于限制本申请；本申请的说明书和权利要求书及上述附图说明中的术语“包括”和“具有”以及它们的任何变形，意图在于覆盖不排他的包含。

在本申请实施例的描述中，技术术语“第一”“第二”等仅用于区别不同对象，而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量、特定顺序或主次关系。在本申请实施例的描述中，“多个”的含义是两个以上，除非另有明确具体的限定。

在本文中提及“实施例”意味着，结合实施例描述的特定特征、结构

或特性可以包含在本申请的至少一个实施例中。在说明书中的各个位置出现该短语并不一定均是指相同的实施例，也不是与其它实施例互斥的独立的或备选的实施例。本领域技术人员显式地和隐式地理解的是，本文所描述的实施例可以与其它实施例相结合。

在本申请实施例的描述中，术语“和/或”仅仅是一种描述关联对象的关联关系，表示可以存在三种关系，例如 A 和/或 B，可以表示：单独存在 A，同时存在 A 和 B，单独存在 B 这三种情况。另外，本文中字符“/”，一般表示前后关联对象是一种“或”的关系。

在本申请实施例的描述中，术语“多个”指的是两个以上（包括两个），同理，“多组”指的是两组以上（包括两组），“多片”指的是两片以上（包括两片）。

在本申请实施例的描述中，技术术语“中心”“纵向”“横向”“长度”“宽度”“厚度”“上”“下”“前”“后”“左”“右”“竖直”“水平”“顶”“底”“内”“外”“顺时针”“逆时针”“轴向”“径向”“周向”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本申请实施例和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本申请实施例的限制。

在本申请实施例的描述中，除非另有明确的规定和限定，技术术语“安装”“相连”“连接”“固定”等术语应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或成一体；也可以是机械连接，也可以是电连接；可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连，可以是两个元件内部的连通或两个元件的相互作用关系。对于本领域的普通技术人员而言，可以根据具体情况理解上述术语在本申请实施例中的具体含义。

目前，由多个不同的转换模块组成的电气系统开始被广泛的用于进行高效率的电力转换。这些不同的模块通常由不同的控制器（如数字信号处理器）所控制。

申请人注意到，不同模块之间的控制器通常依赖诸如 CAN 总线等数据通信方式实现相互之间的信息交互。这些传统的数据通信方式在信息传递过程中总是存在着一定的时延。例如，CAN 总线的通信时延主要受到波

特率和总线负载率的影响，通常会在 100us 以上。

这样的时延在诸如触发保护等的特定场景下，会降低电气系统运行的可靠性。以下以图 1 所示的采用功率因素校正电路（Power Factor Correction, PFC）级联谐振电路（LLC）的开关电源系统为例，对不同模块的控制器之间的通信时间所造成的影响进行详细说明。

请参阅图 1，该开关电源系统包括 PFC 电路和 LLC 电路两个不同的模块。其中，PFC 电路接入电网以汲取电力。LLC 电路（在图 1 中仅示例性的展示了 LLC 电路的变压器原边部分），用于输出负载所需要的目标电压或者电流。

其中，PFC 电路包括六个第一可控开关管，在图 1 中分别以 Q11, Q12, Q13, Q14, Q15 以及 Q16 表示。LLC 电路的原边部分包括四个第二可控开关管，在图 1 中分别以 Q21, Q22, Q23 以及 Q24 表示。第一数字信号处理器（Digital Signal Processor, DSP）DSP1 和第二数字信号处理器 DSP2 分别对 PFC 电路和 LLC 电路的开关管的开启和关断进行控制。

在实际运行过程中，当图 1 中的 PFC 电路运行出现异常情况时，会触发第一数字信号处理器 DSP1 执行保护动作，使 PFC 电路停止运行。由于两个数字信号处理器 DSP1 和 DSP2 之间的存在通信时延，因此，在通信时延的时间内，第二数字信号处理器 DSP2 不会被触发执行保护动作，LLC 电路仍然处于工作状态。

此时，PFC 电路已经停止运行，不能继续维持两者连接处的母线电容 C 的电压。而处于工作状态的 LLC 电路会充当 PFC 电路的负载，使得母线电容 C 两端的电压快速降低。

一旦母线电容 C 的电压低于电网的电压峰值，电网电压就会直接通过 PFC 电路中的开关管的体二极管为母线电容 C1 充电，在极短的时间内令 PFC 电路中的开关管损坏。

例如，电网中 Uab 的电压峰值约为 537V，一旦母线电容两端的电压过低，电网电压 Uab 可以通过第一可控开关管 Q11 和 Q14 为母线电容 C 充电。此时，第一可控开关管 Q11 和 Q14 处于短路状态，其在很短的时间内就会损坏。

为了解决不同模块之间的通信时延过长而导致器件损毁的问题，申请

人研究发现，通过增设合适的硬件电路和软件配置的方式，尽可能的将前级转换模块的第一数字信号处理器 DSP1 和后级转换模块的第二数字信号处理器 DSP2 之间触发保护动作的时间间隔缩短至低于一定的时间阈值（如不超过 10us），就可以很好的避免前级转换模块和后级转换模块工作状态不同步而导致器件损坏的问题。

其中，缩短间隔时间的方式可以是基于输出交叉开关而建立两个数字信号处理器之间的数据交互通道，从而令第一数字信号处理器 DSP1 能够快速将信息提供至数字信号处理器 DSP2。

本申请实施例公开的电气系统可以但不仅限于用于车辆、船舶或飞行器等用电装置中。其可以作为电源系统，汲取外部电力（如来自电网）并将其转换为用电装置所需要的工作电压或者工作电流（如具有恒定电压的直流电）。

以下实施例为了方便说明，以本申请一实施例的一种用电装置为车辆 100 为例进行说明。请参照图 2，图 2 为本申请一些实施例提供的车辆 100 的结构示意图。

车辆 100 可以为燃油汽车、燃气汽车或新能源汽车，新能源汽车可以是纯电动汽车、混合动力汽车或增程式汽车等。车辆 100 的内部设置有电池 110，电池 110 可以设置在车辆 100 的底部或头部或尾部。电池 110 可以用于车辆 100 的供电，例如，电池 100 可以作为车辆 100 的操作电源。车辆 100 还可以包括控制器 120、马达 130 以及本申请实施例提供的电气系统 140。

控制器 120 用来控制电池 110 为马达 130 供电，例如，用于车辆 100 的启动、导航和行驶时的工作用电需求。在本申请一些实施例中，电池 110 不仅可以作为车辆 100 的操作电源，还可以作为车辆 100 的驱动电源，代替或部分地代替燃油或天然气为车辆 100 提供驱动动力。

电气系统 140 可以是用于为电池 110 充电的车载充电器。其可以采用 PFC 级联 LLC 拓扑的形式，位于前级的 PFC 电路接入电网，而位于后级的 LLC 电路在输出端输出直流电。PFC 电路和 LLC 电路可以分别通过两个数字信号处理器通过 PWM 控制的形式控制，使车载充电器能够从电网汲取电力并转换为具有目标电压或者电流的直流电为电池 110 充电。

根据本申请一些实施例，图 3 为本申请一些实施例的电气系统的结构

示意图。请参阅图 3，该电气系统包括：前级转换模块 10，后级转换模块 20，第一数字信号处理器 30 以及第二数字信号处理器 40。

其中，前级转换模块 10 包含了若干第一可控开关 S1。这些第一可控开关 S1 的开启和关闭由第一数字信号处理器 30 根据设定的控制程序进行有序的控制。后级转换模块 20 同样也包含了若干第二可控开关 S2。这些第二可控开关 S2 的开启和关闭则由第二数字信号处理器 40 根据设定的控制程序有序的控制。

该电气系统之中，具体使用的“前级转换模块”和“后级转换模块”可以根据实际情况的需要来确定，在本申请中不作限定。例如，该电气系统可以是采用 PFC 级联 LLC 拓扑形式的转换电路，采用 PFC 电路级联移相全桥电路（Phase-shift full bridge, PSFB）拓扑形式的转换电路，采用 LLC 谐振电路级联升降压电路（BUCK-BOOST）拓扑形式的转换电路或者是采用移相全桥电路（PSFB）级联升降压电路（BUCK-BOOST）拓扑形式的转换电路。

“第一可控开关”和“第二可控开关”可以是任何类型的，能够在导通和关断两种状态之间切换的电子器件。例如，MOS 管。其具体实现可以根据实际情况的需要而确定，在本申请中不作限定。

由此，在图 3 中仅示例性的展示了前级转换模块 10 之中包含了第一可控开关 S1；后转换模块 10 之中包含了第二可控开关 S2，而并未对第一可控开关 S1 和第二可控开关 S2 的具体连接方式和数量进行表示。

请继续参阅图 3，第一数字信号处理器 30 可以包括：第一输出交叉开关 31 和至少一个第一输出端口 32。相对应地，第二数字信号处理器 40 包括至少一个与所述第一输出端口 32 耦接的第二输入端口 43。

在操作中，第一数字信号处理器 30 控制前级转换模块 10 的第一可控开关 S1 有序的开启或者关闭。在检测到出现异常情况时，第一数字信号处理器 30 会形成第一内部信号从而触发第一数字信号处理器 30 执行保护动作，关断第一可控开关 S1 以停止前级转换模块 10 的工作。

在第一数字信号处理器 30 内形成的第一内部信号还通过第一输出交叉开关 31 转发至第一输出端口 32 输出。输出的第一内部信号通过与第一输出端口 32 连接的第二输入端口 43 迅速的被传递至第二数字信号处理器

40 之中。由此，使第二数字信号处理器 40 可以在预设时间内接收到该第一内部信号，从而触发关断第二可控开关 S2 的保护动作，令后级转换模块停止工作。

“第一输出交叉开关”是位于第一数字信号处理器 30 内部的信号路由单元（例如在数字信号处理器之中被称为 X-bar 的部件）。其可以根据预先配置的程序指令，方便的将第一数字信号处理器内部的信号传递至第一输出端口输出。

本申请实施例提供的电气系统的其中一个有利方面是：在用于控制前级转换模块的第一数字信号处理器和用于控制后级转换模块的第二数字信号处理器之间建立了基于输出交叉开关的故障信号传输通道。由此，使得第一数字信号处理器的内部信号可以在较短的时间传递至第二数字信号处理器，有效的降低了两个数字信号处理器之间触发保护动作的时间间隔。

根据本申请一些实施例，图 4 为本申请一些实施例的数字信号处理器的结构示意图。请参阅图 4，第二数字信号处理器 40 还包括：第二输出交叉开关 41 和至少一个第二输出端口 42。相对应地，第一数字信号处理器 30 还包括至少一个第一输入端口 33。

其中，第一数字信号处理器 30 的第一输入端口 33 与第二数字信号处理器 40 的第二输出端口 42 耦接。

第二输出交叉开关 41 是位于第二数字信号处理器 40 内部的信号路由单元（例如在数字信号处理器之中被称为 X-bar 的部件）。其同样可以根据预先配置的程序指令，方便的将第二数字信号处理器内部的信号传递至第二输出端口输出。

在操作中，第二数字信号处理器 40 控制后级转换模块 20 的运行，并检测是否出现异常。在后级转换模块 20 的运行出现异常时，第二数字信号处理器 40 可以形成第二内部信号，从而触发第二数字信号处理器 40 执行保护动作，关断第二可控开关 S2。

在第二数字信号处理器 40 内形成的第二内部信号可以通过第二输出交叉开关 41 转发至第二输出端口 42。然后，通过与第二输出端口 42 连接的第一输入端口 33，使第一数字信号处理器 30 能够在预设时间内接收到该第二内部信号，从而触发关断第一可控开关 S2 的保护动作。

应当说明的是，图 4 中示例性的展示了第一输入端口 32/第一输出端口 33 以及第二输入端口 42/第二输出端口 43 分别为数字信号处理器中两个不同的端口。在另一些实施例中，第一输入端口 32/第一输出端口 33 或者第二输入端口 42/第二输出端口 43 还可以是一个端口，在不同的时间用于执行输入端口和输出端口的功能（例如由一个通用输入/输出接口实现）。

本申请实施例提供的电气系统的其中一个有利方面是：基于输出交叉开关建立了第一数字信号处理器和第二数字信号处理器之间的低延时双向传输通路，令第二数字信号处理器内部形成的故障信号也可以快速的传递给第一数字信号处理器。

图 5 为根据本申请另一些实施例的数字信号处理器。该第一数字信号处理器 30 还可以包括：第一输出交叉开关 31，第一比较器单元 34 以及第一开关控制单元 35。

其中，第一比较器单元 34 是内置在第一数字信号处理器 30 之中，用于实时检测前级转换模块 10 运行情况的功能模块。其具体可以通过任何合适的采样方式来获取前级转换模块 10 之中一个或者多个采样节点的电压信号或者电流信号，并据此判断前级转换模块 10 的运行是否存在异常。

在本申请实施例中，“异常”是指检测到的电压或电流信号与正常运行时的数据发生了显著偏离，可能危及运行和器件安全的情况。例如，第一比较器单元可以比较采集获得的电压信号或者电流信号是否超出了预设的阈值来确定是否存在异常。

第一开关控制单元 35 是第一数字信号处理器 30 之中，用于控制所述第一可控开关 S1 开启或者关断的控制部分。其可以通过输出不同的控制信号（如高电平或者低电平信号）至第一可控开关 S1 的控制端来实现对第一可控开关的控制。

在操作中，第一比较器单元 34 可以在检测到电压信号或电流信号异常时（如电压信号超出预设电压阈值），形成所述第一内部信号。响应于第一比较器单元 34 产生的第一内部信号，第一开关控制单元 35 会执行保护动作，关断第一可控开关 S1。

本申请实施例提供的第一数字信号处理器通过内置的比较器单元完成了对前级转换模块运行状态的检测，可以在出现运行异常（如过压或者

过流)的情况下形成第一内部信号并及时关断第一可控开关。

根据本申请的一些实施例,可选地,请继续参阅图5,该第二数字信号处理器40还可以包括:第二输出交叉开关41,第二比较器单元44以及第二开关控制单元45。

其中,第二比较器单元44是内置在第二数字信号处理器40之中,用于实时检测后级转换模块20运行情况的功能模块。其具体可以通过任何合适的采样方式来获取后级转换模块20之中一个或者多个采样节点的电压信号或者电流信号,并据此判断后级转换模块20的运行是否存在异常。

在本申请实施例中,“异常”是指检测到的电压或电流信号与正常运行时的数据发生了显著偏离,可能危及运行和器件安全的情况。例如,过压或者过流等的异常情况。

第二开关控制单元45是第二数字信号处理器40之中,用于控制所述第二可控开关S2开启或者关断的控制部分。其可以通过输出不同的控制信号(如高电平或者低电平信号)至第二可控开关S2的控制端来实现对第二可控开关的控制。

在操作中,第二比较器单元44可以在检测到电压信号或电流信号异常时(如电压信号超出预设电压阈值),形成所述第二内部信号。响应于第二比较器单元44产生的第二内部信号,第二开关控制单元45会执行保护动作,关断第二可控开关S2。

本申请实施例提供的第二数字信号处理器通过内置的比较器单元完成了对后级转换模块运行状态的检测,可以在出现运行异常(如过压或者过流)的情况下生成第二内部信号并及时关断第二可控开关。

根据本申请的一些实施例,可选地,图6为本申请另一些实施例提供的电气系统。除了图3所示的功能模块以外,该电气系统还可以包括:隔离模块50。

其中,隔离模块50是用于实现前级和后级之间电气隔离的部件。其设置在第一数字信号处理器30和第二数字信号处理器40建立的物理连接之间,从而起到电气隔离的效果。

例如,第二数字信号处理器的第二输出接口42可以通过所述隔离模块50耦接至第一数字信号处理器的第一输入接口33。第一数字信号处理

器的第一输出端口 32 也同样可以通过所述隔离模块 50，耦接至所述第二数字信号处理器的第二输入端口 43。

隔离模块 50 的具体实现可以根据实际情况的需要而确定，只需要能够满足属于前级的第一数字信号处理器和属于后级的第二数字信号处理器之间的电气隔离要求即可。

本申请实施例提供的电气系统的其中一个有利方面是：在两个数字信号处理器用于传输信号的物理连接之间设置额外的隔离模块，可以有效的减少前级和后级之间的相互干扰。

应当说明的是，以上实施例中的“第一”和“第二”这样的术语仅用于区分电气系统之中分别属于前级和后级的电子器件，而不用于对电子器件或者部件的具体实现进行限制。在前级与后级之中，具有相同名称的电子器件既可以采用相同的电路或者芯片，也可以根据实际情况的需要而具有不同的实现方式。

图 7 为根据本申请另一些实施例的电气系统。请参阅图 7，该电气系统包括：前级转换模块 10，后级转换模块 20，第一数字信号处理器 30，第二数字信号处理器 40，采样电路 60 以及比较电路 70。

其中，前级转换模块 10 包含了若干第一可控开关 S1。这些第一可控开关 S1 的开启和关闭由第一数字信号处理器 30 根据设定的控制程序进行有序的控制。后级转换模块 20 也包含了若干第二可控开关 S2。这些第二可控开关 S2 的开启和关闭则由另外的第二数字信号处理器 40 根据设定的控制程序有序的控制。

采样电路 60 耦接在前级转换模块 10 和后级转换模块 20 的连接处，可以采集连接处形成的电信号（如电压信号或电流信号）并提供至比较电路 70。比较电路 70 与采样电路 60 连接，用于根据采样电路 60 采集获得的数据判断采集获得的电信号是否存在异常。

上述连接处的电信号出现异常（如电压或者电流超出了预设阈值）可能是由多种原因导致的。例如，当第一数字信号处理器 10 已经停止工作而第二数字信号处理器 20 还在运行时，后级转换模块会作为连接处的负载，从而导致连接处两端的电压快速降低。

为方便陈述，本实施例按照所需要执行的功能对电气系统中的电路模

块进行划分和描述(如上述的采样电路和比较电路)。本领域技术人员可以理解,这些功能模块根据实际情况的需要,可以具有多种不同的实现方式,还可以被整合到一个部件或者被进一步拆分为多个子单元,而限于说明书附图示例的功能模块划分方式。

在操作中,采样电路 60 采集连接处的电信号并提供至比较电路 70,由比较电路 70 判断采集获得的电信号是否存在异常。

当采集获得的电信号不存在异常时,比较电路 70 可以继续保持检测,不对第二数字信号处理器的运行施加影响。而当采集获得的电信号出现异常时,比较电路 70 则向第二数字信号处理器提供第三信号。

在接收到比较电路 70 提供的第三信号时,第二数字信号处理器 40 会被触发保护动作,关断第二可控开关 S2 以保证器件安全。该第三信号具体可以根据实际情况的需要而采用相应的实现形式。例如,在比较电路 70 的输出端连接到第二数字信号处理器 40 的使能信号接收端时,该第三信号可以是令第二数字信号处理器 40 停止工作的使能信号。

本申请实施例提供的电气系统的其中一个有利方面是:通过额外设置的采样电路和比较电路,可以在第一数字信号处理器关断第一可控开关而导致连接处的电信号异常的情况下形成第三信号,从而令第二数字信号处理器能够在较短的时间内也同步关断第二可控开关,保后级转换模块能够快速跟随前级转换模块动作。

根据本申请一些实施例,图 8 为本申请一些实施例的采样电路 60。请参阅图 8,可选地,该采样电路 60 可以是基于比较器实现的采样电路。

该采样电路可以包括:第一比较器 U1,第一电阻 R1、第二电阻 R2、第三电阻 R3、第四电阻 R4 以及第一电容 C1。

其中,所述第一电阻 R1 的一端与所述连接处的高电平端(L<sup>+</sup>)连接,所述第一电阻 R1 的另一端与所述第二电阻 R2 的一端连接,形成第一连接节点 N1。

第二电阻 R2 的另一端接地,所述第一连接节点 N1 与所述第一比较器 U1 的第一输入端(+)连接。所述第三电阻 R3 的一端与所述连接处的低电平端(L<sup>-</sup>)连接,所述第三电阻 R3 的另一端与所述第一比较器 U1 的第二输入端(-)连接。

第四电阻 R4 的一端与第一比较器 U1 的第二输入端 (-) 连接, 第四电阻 R4 的另一端与第一比较器 U1 的输出端 (out) 连接, 形成负反馈回路。第一电容 C1 的一端与第一比较器 U1 的第二输入端 (-) 连接, 第一电容 C1 的另一端与第一比较器 U1 的输出端 (out) 连接。

第一比较器 U1 的输出端 (out) 与比较电路连接, 用于为比较电路提供与连接处的电压成比例放大或者缩小的电压信号。

本申请实施例提供的采样电路基于比较器实现, 可以在输出端提供成比例放大的电压模拟信号, 并且设置了若干电容和电阻, 在实际实现过程中, 可以通过调整电容容值和电阻阻值的方式, 令采样电路能够在输出端稳定的输出合适的电压模拟信号。

根据本申请一些实施例, 图 9 为本申请一些实施例的比较电路。该比较电路可以与提供模拟信号的采样电路 (例如图 8 所示) 配合使用。请参阅图 9, 该比较电路 70 包括: 用于提供基准电压的基准电压源 VCC 以及第二比较器 U2。

其中, 第二比较器 U2 的第一输入端 (+) 与电压采样电路 60 的输出端耦接, 获取成比例放大的电压模拟信号。第二比较器 U2 的第二输入端 (-) 与基准电压源 VCC 耦接。第二比较器 U2 的输出端 (out) 作为比较电路 70 的输出端, 与所述第二数字信号处理器 40 连接。

在操作中, 电压采样电路 60 输出端的电压存在两种情况, 其可能低于基准电压, 也可能高于由基准电压源 VCC 提供的基准电压。相应地, 第二比较器可以根据其第一输入端 (+) 和第二输入端 (-) 之间的电压比较结果相应的输出不同的电信号。

当第一输入端 (+) 的电压小于第二输入端 (-) 时, 比较电路 70 可以在输出端输出上述的第三信号至第二数字信号处理器 40, 使其立即停止运行, 关断第二可控开关。而当第一输入端 (+) 的电压大于第二输入端 (-) 时, 比较电路 70 可以在输出端输出不同于第三信号的电信号, 使第二数字信号处理器 40 保持正常运行状态。

本申请实施例提供的比较电路基于比较器实现, 通过基准电压源 VCC 来设计电压信号的阈值, 可以在比较器的两个输入端之间的电平大小发生变化时, 在输出端输出相应的电信号, 确保第二数字信号处理器能够据此

及时的停止运行，保障器件安全。

根据本申请一些实施例，可选地，请继续参阅图 9，除了基准电压源 VCC 和第二比较器 U2 以外，所述比较电路 70 还可以包括：第五电阻 R5、第六电阻 R6 以及第七电阻 R7。

其中，所述第五电阻 R5 的一端与所述基准电压源 VCC 连接，所述第五电阻 R5 的另一端与所述第七电阻 R7 的一端连接，形成第二连接节点 N2。所述第七电阻 R7 的另一端接地。

所述第二连接节点 N2 与所述第二比较器 U2 的第一输入端 (+) 连接。所述第六电阻 R6 的一端与所述电压采样电路 60 的输出端连接，所述第六电阻 R6 的另一端与所述第二比较器 U2 的第二输入端 (-) 连接。本申请实施例提供的比较电路还设置了若干电阻。由此，可以通过调整电阻阻值使比较电路满足实际需要（如调整第五电阻和第七电阻的阻值比例以灵活的改变比较电路的电压阈值）。

根据本申请一些实施例，可选地，该比较电路 70 还可以额外增设合适的逻辑器件以适应实际情况的需要。例如，第二比较器 U2 在第一输入端 (+) 的电压小于第二输入端 (-) 的情况下，其输出端输出的电平为高电平信号。但第二数字信号处理器 40 被设计为：提供低电平的使能信号才能其停止运行时，可以在比较电路 70 的输出端与第二数字信号处理器之间增设“非”门电路，将高电平信号转换为低电平信号以使第二数字信号处理器 40 能够在第一输入端 (+) 的电压小于第二输入端 (-) 的情况下停止运行。这样的设计可以灵活的满足不同实际场景下的需求。

根据本申请一些实施例，图 10 为本申请另一实施例的采样电路。请参阅图 10，该采样电路可以是使用 SDFM (Sigma-Delta Filter Moudle) 采样的采样电路。这样的采样电路能够直接为处理器提供数字信号形式的采样结果，适用于使用数字信号的场景。

根据本申请一些实施例，可选地，请继续参阅图 10，所述采样电路可以包括：分流器  $R_{shunt}$  以及隔离信号调制器 U3。

其中，分流器  $R_{shunt}$  与负载串联连接，可以形成与连接处的电信号变化情况相对应的模拟信号。分流器  $R_{shunt}$  的两端与隔离信号调制器 U3 的模拟侧连接，输入模拟信号。

隔离信号调制器 U3 是一种用于将模拟输入信号转换为由 0 和 1 组成的高速数字比特流,同时使用隔离层将输入和输出电路隔离开来的调制器。为便于陈述,在本实施例中将隔离信号调制器 U3 用于接收模拟信号的部分称为“模拟侧”;将用于输出数字信号的部分称为“数字侧”。

在操作中,在分流器  $R_{shunt}$  的两端会形成跟随所述连接处电压信号变化的压降。其作为模拟输入信号提供给隔离信号调制器 U3。隔离信号调制器 U4 可以在数字侧输出转换后的数字比特流。输出的数字比特流被提供到处理器相应的功能单元中进行 SDFM 数字滤波等的后续处理。这样的设计使用了隔离信号调制器对模拟信号进行转换,具有电气隔离的效果。

根据本申请一些实施例,可选地,请继续参阅图 10,所述采样电路具体包括:第一开关管 Q31、第二开关管 Q32,驱动第一开关管的第一驱动单元 Driver1,驱动第二开关管的第二驱动单元 Driver2,浮动电源 Floating Power,直流电压源 VCC2,第八电阻 R31,稳压二极管 Z1,第二电容 C31,第三电容 C32,第四电容 C33 以及第五电容 C34。

其中,第一开关管 Q31 的源极端与分流器  $R_{shunt}$  的一端连接,形成第三连接节点 N3。第一开关管 Q31 的漏极端与连接处的高电平端连接。第一驱动单元 Driver1 与第一开关管 Q31 的栅极连接。

第二开关管 Q32 的源极端与所述第三连接节点 N3 连接,第二开关管 Q32 的漏极端与连接处的低电平端连接。第二驱动单元 Driver2 与第二开关管 Q32 的栅极连接。

隔离信号调制器 U3 包括用于接收模拟信号的 AINN 和 AINP 端口,用于接收模拟侧电压的 AVDD 端口,用于模拟侧接地的 AGND 端口,用于接收数字侧电压的 DVDD 端口,用于数字侧接地的 DGND 端口,用于输出数字比特流的 DOUT 端口以及用于接收/提供时钟信号的 CLKIN 端口。

分流器  $R_{shunt}$  的两端分别连接至隔离信号调制器 U3 的 AINN 和 AINP 端口,以提供在分流器两端形成的压降变化信号。隔离信号调制器 U3 的 DOUT 端口输出对应的数字比特流,用于进行后续的数字滤波等处理。隔离信号调制器 U3 的 CLKIN 用于提供/接收时钟信号。

浮动电源 Floating Power,第八电阻 R31,稳压二极管 Z1,第二电容

C31 以及第三电容 C32 组成为隔离信号调制器 U3 的模拟侧供电的部分。另外，浮动电源 Floating Power 还为第一驱动单元 Driver1 和第二驱动单元 Driver2 供电。

稳压二极管 Z1 的负极，第二电容 C31 以及第三电容 C32 的一端与隔离信号调制器 U3 的 AGND 端口。稳压二极管 Z1 的正极，第二电容 C31，第三电容 C32 的另一端以及隔离信号调制器 U3 的 AVDD 端口均与第八电阻 R31 的一端连接，第八电阻 R31 的另一端连接至浮动电源 Floating Power。

直流电压源 VCC2（如 3.3V 或者 5V 电压），第四电容 C33 以及第五电容 C34 组成为隔离信号调制器 U3 的数字侧供电的部分。直流电压源 VCC2，第四电容 C33 以及第五电容 C34 的一端连接至隔离信号调制器 U3 的 DVDD 端口。第四电容 C33、第五电容 C34 的另一端以及隔离信号调制器 U3 的 DGND 端口接地。

这样的设计通过提供两个受控的开关管，有序的开启和关闭从而完成对连接处的电信号的采集。

根据本申请一些实施例，图 11 为本申请另一些实施例的电气系统。请参阅图 11，该电气系统除了在第一数字信号处理器和第二数字信号处理器之间设置有物理连接，可以基于输出交叉开关实现相互间故障信号传递以外，还同时设置有用于检测前级转换模块和后级转换模块连接处的电信号的采样电路 60 和比较电路 70。

在操作中，当第一数字信号处理器触发保护动作，前级转换模块停止运行时，其产生的第一内部信号可以通过物理连接传递到第二数字信号处理器，使后级转换模块能够快速停止运行。

另外，采样电路 60 和比较电路 70 能够检测前级转换模块与后级转换模块连接处的电信号。比较电路 70 在前级转换模块停止运行时，可以在短时间内向第二数字信号处理器提供停止运行的信号，使后级转换模块能够跟随前级转换模块，及时的停止运行。

本申请实施例提供的电气系统的其中一个有利方面是：两个实现原理不同的低时延实现方式可以互相作为备份和冗余路径。即使其中一种低时延实现方式出现故障也可以确保后级转换模块能够保持与前级转换模块的

协同，提升了电气系统的可靠性。

本领域技术人员可以理解，在本申请一些实施例提供技术方案之间不存在矛盾的情况下，这些技术方案还可以任意组合以形成其他更多的实施例。例如，图 9 所示的比较电路可以在图 11 所示的电气系统中使用。

根据本申请一些实施例，图 12 为采用 PFC 电路级联 LLC 电路的电气系统。请参阅图 12，前级转换模块 10 为 PFC 电路，其接入电网以汲取电力。后级转换模块 20 为 LLC 电路（在图 12 中仅示例性的展示了 LLC 电路的变压器原边部分），可以输出负载所需要的目标电压或者电流。两者分别由第一数字信号处理器 DSP1 和第二数字信号处理器 DSP2 进行控制。

其中，前级转换模块 10 包括六个第一可控开关管，在图 12 中分别以 Q11, Q12, Q13, Q14, Q15 以及 Q16 表示。LLC 电路的原边部分包括四个第二可控开关管，在图 12 中分别以 Q21, Q22, Q23 以及 Q24 表示。

第一数字信号处理器 DSP1 的其中一个端口可以作为第一输出端口 Out1 通过隔离模块 50 与第二数字信号处理器 DSP2 的第二输入端口 IN2 连接。

第二数字信号处理器 DSP2 的其中一个端口也可以作为第二输出端口 Out2 通过隔离模块 50 与第一数字信号处理器 DSP1 的第一输入端口 IN1 连接。该输入端口和输出端口可以是数字信号处理器中的通用输入/输出接口（GPIO）。

在操作中，第一数字信号处理器 DSP1 内部的比较器单元检测到的异常信号可以通过输出交叉开关（X-bar output）转发至第一输出端口 Out1 输出。然后，通过第二输入端口 IN2 提供至第二数字信号处理器 DSP2，使第二数字信号处理器 DSP2 也能够及时的停止 LLC 电路运行。

由以上的操作过程可以看到，第一数字信号处理器 DSP1 和第二数字信号处理器 DSP2 触发保护动作之间的时间间隔主要取决于数字信号处理器内部的比较器单元的时延，其可以很好的被控制在 5us 之内。

应当说明的是，第一数字信号处理器 DSP1 和第二数字信号处理器 DSP2 之间还可以通过输出交叉开关（X-bar output）建立的物理连接还可以用于传递其他故障信号，而限于本申请实施例中示例性描述的内部比较器单元产生的故障信号。

请继续参阅图 12，该电气系统还包括电压采样电路 60 以及比较电路 70。

其中，电压采样电路 60 连接至母线电容 C 的两端，用于检测母线电容 C 两端电压。比较电路 70 分别与第二数字信号处理器 DSP2 的使能控制端 EN 和电压采样电路 60 连接。其用于根据电压信号与基准电压的比较结果，为第二数字信号处理器 DSP2 相应的使能信号。

在操作中，电压采样电路 60 输出与母线电容 C 两端的电压成比例放大的电压信号至比较电路 70。

比较电路 70 检测该电压信号是否小于基准电压。若检测到电压信号大于基准电压，表明母线电容 C 两端电压正常。此时，向第二数字信号处理器提供第一使能信号（如高电平），第二数字信号处理器 DSP2 处于正常运行状态。

一旦检测到电压信号低于基准电压，表明母线电容 C 两端电压过低，PFC 电路的第一可控开关存在极高的短路风险。此时，向第二数字信号处理器提供第二使能信号（如低电平），令第二数字信号处理器 DSP2 立即停止 LLC 电路的运行。

由以上的操作过程可以看到，第一数字信号处理器 DSP1 和第二数字信号处理器 DSP2 触发保护动作之间的时间间隔主要取决于电压采样电路和比较电路的时延，其可以很好的被控制在 10us 之内。在一些实施例中，还可以采用合适的电压采样电路和比较电路，进一步将其控制在 3us 之内。

本申请一些实施例提供的电气系统，在第一数字信号处理器 DSP1 触发保护，PFC 电路停止运行时，提供了两种不同的方式来确保第二数字信号处理器 DSP2 也能够较短的时间内（如 5us）控制 LLC 电路停止运行，避免出现母线电容 C 两端电压低于电网峰值电压而导致开关管短路而损坏的情况。上述基于硬件电路和软件配置的两种保护方式可以提供更好的冗余，确保电气系统在运行过程中不会发生开关管短路的情况。

最后应说明的是：以上各实施例仅用以说明本申请的技术方案，而非对其限制；尽管参照前述各实施例对本申请进行了详细的说明，本领域的普通技术人员应当理解：其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换；而这些修改或

者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本申请各实施例技术方案的范围,其均应涵盖在本申请的权利要求和说明书的范围当中。尤其是,只要不存在结构冲突,各个实施例中所提到的各项技术特征均可以任意方式组合起来。本申请并不局限于文中公开的特定实施例,而是包括落入权利要求的范围内的所有技术方案。

## 权 利 要 求 书

1. 一种电气系统，其特征在于，包括：

前级转换模块，所述前级转换模块包含若干第一可控开关；

后级转换模块，所述后级转换模块耦接至所述前级转换模块，且包含若干第二可控开关；

第一数字信号处理器，；所述第一数字信号处理器用于控制所述第一可控开关，包括第一输出交叉开关和至少一个第一输出端口；

第二数字信号处理器；所述第二数字信号处理器用于控制所述第二可控开关，包括至少一个与所述第一输出端口耦接的第二输入端口；

其中，所述第一输出交叉开关被配置为：将第一内部信号提供至所述第一输出端口，以使所述第二数字信号处理器在预设时间内接收所述第一内部信号；

所述第一内部信号是形成于所述第一数字信号处理器的故障信号，用于触发所述第一数字信号处理器关断所述第一可控开关和所述第二数字信号处理器关断所述第二可控开关。

2. 根据权利要求1所述的电气系统，其特征在于，所述第二数字信号处理器还包括：第二输出交叉开关和至少一个第二输出端口；

所述第一数字信号处理器还包括至少一个与所述第二输出端口耦接的第一输入端口；

所述第二输出交叉开关被配置为：将第二内部信号提供至所述第二输出端口，以使所述第一数字信号处理器在所述预设时间内接收所述第二内部信号；

所述第二内部信号是形成于所述第二数字信号处理器的故障信号，用于触发所述第一数字信号处理器关断所述第一可控开关和所述第二数字信号处理器关断所述第二可控开关。

3. 根据权利要求1或2所述的电气系统，其特征在于，所述第一数字信号处理器还包括：

用于实时检测所述前级转换模块中的电压信号或电流信号的第一比

较器单元；

用于控制所述第一可控开关的第一开关控制单元；

其中，所述第一比较器单元被配置为：在所述电压信号或电流信号异常时，形成所述第一内部信号；

所述第一开关控制单元被配置为：响应于所述第一内部信号，关断所述第一可控开关。

4. 根据权利要求 2 所述的电气系统，其特征在于，所述第二数字信号处理器还包括：

用于实时检测所述前级转换模块中的电压信号或电流信号的第二比较器单元；

用于控制所述第二可控开关的第二开关控制单元；

其中，所述第二比较器单元被配置为：在所述电压信号或电流信号异常时，形成所述第二内部信号；

所述第二开关控制单元被配置为：响应于所述第二内部信号，关断所述第二可控开关。

5. 根据权利要求 2 所述的电气系统，其特征在于，所述电气系统还包括：用于电气隔离的隔离模块；

其中，所述第一数字信号处理器的第一输出端口通过所述隔离模块，耦接至所述第二数字信号处理器的第二输入端口；

所述第二数字信号处理器的第二输出接口通过所述隔离模块，耦接至所述第一数字信号处理器的第一输入接口。

6. 根据权利要求 1 或 2 所述的电气系统，其特征在于，所述电气系统还包括：

耦接至所述前级转换模块和后级转换模块的连接处的采样电路，所述采样电路用于采集所述连接处的电信号；

耦接至所述采样电路的比较电路，所述比较电路用于在所述电信号异常时，向所述第二数字信号处理器提供第三信号；

其中，所述第二数字信号处理器还被配置为：响应于所述第三信号，关断所述第二可控开关。

7 根据权利要求 6 所述的电气系统，其特征在于，所述采样电路包括：第一比较器；第一电阻、第二电阻、第三电阻、第四电阻以及第一电容；

其中，所述第一电阻的一端与所述连接处的高电平端连接，所述第一电阻的另一端与所述第二电阻的一端连接，形成第一连接节点；所述第二电阻的另一端接地，所述第一连接节点与所述第一比较器的第一输入端连接；

所述第三电阻的一端与所述连接处的低电平端连接，所述第三电阻的另一端与所述第一比较器的第二输入端连接；

所述第四电阻的一端与所述第一比较器的第二输入端连接，所述第四电阻的另一端与所述第一比较器的输出端连接，形成负反馈通路；

所述第一电容的一端与所述第一比较器的第二输入端连接，所述第一电容的另一端与所述第一比较器的输出端连接；

所述第一比较器的输出端还与所述比较电路耦接，形成所述采样电路的输出端，用于提供与所述连接处的电压成比例的电压信号。

8. 根据权利要求 6 所述的电气系统，其特征在于，所述比较电路包括：用于提供基准电压的基准电压源以及第二比较器；

其中，所述第二比较器的第一输入端与所述电压采样电路的输出端耦接；所述第二比较器的第二输入端与所述基准电压源耦接；

所述第二比较器的输出端与所述第二数字信号处理器连接，在所述第二比较器在所述电压采样电路输出端的电压低于所述基准电压时，输出所述第三信号至所述第二数字信号处理器。

9. 根据权利要求 8 所述的电气系统，其特征在于，所述比较电路还包括第五电阻、第六电阻以及第七电阻；

其中，所述第五电阻的一端与所述基准电压源连接，所述第五电阻的另一端与所述第七电阻的一端连接，形成第二连接节点；所述第七电阻的

另一端接地；所述第二连接节点与所述第二比较器的第二输入端连接；

所述第六电阻的一端与所述电压采样电路的输出端连接，所述第六电阻的另一端与所述第二比较器的第一输入端连接。

10. 一种用电装置，其特征在于，包括如权利要求 1-9 任一项所述的电气系统以及与所述电气系统耦接的负载；

其中，所述电气系统用于汲取和转换外部电力，为所述负载供电。

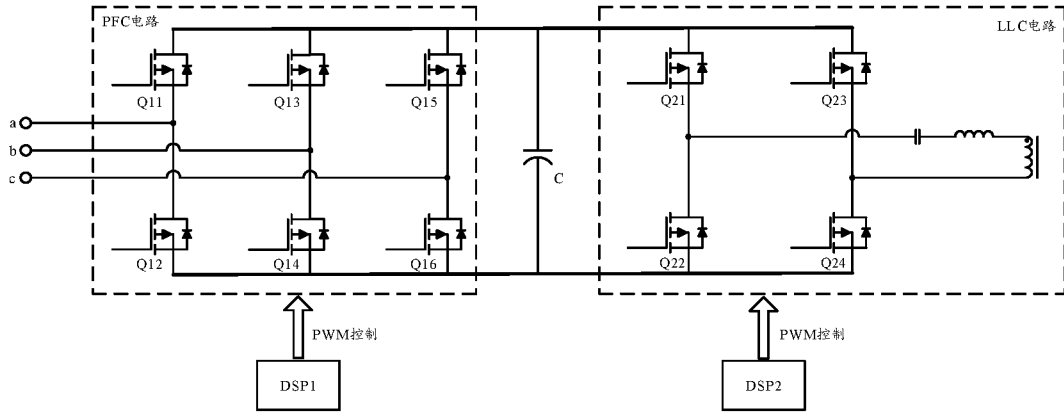


图 1

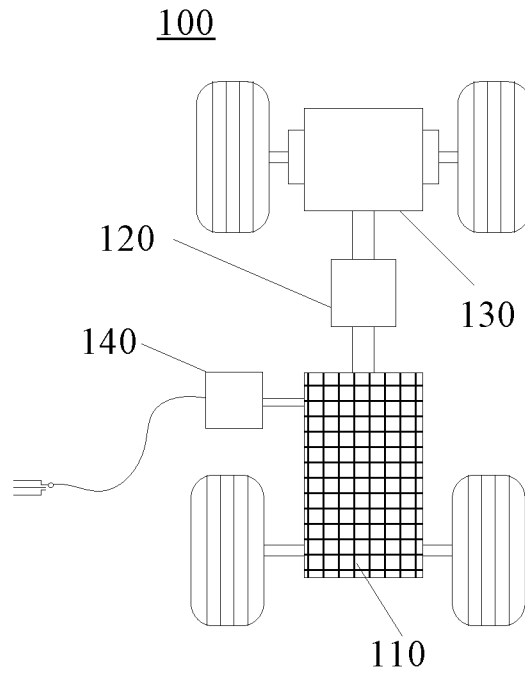


图 2

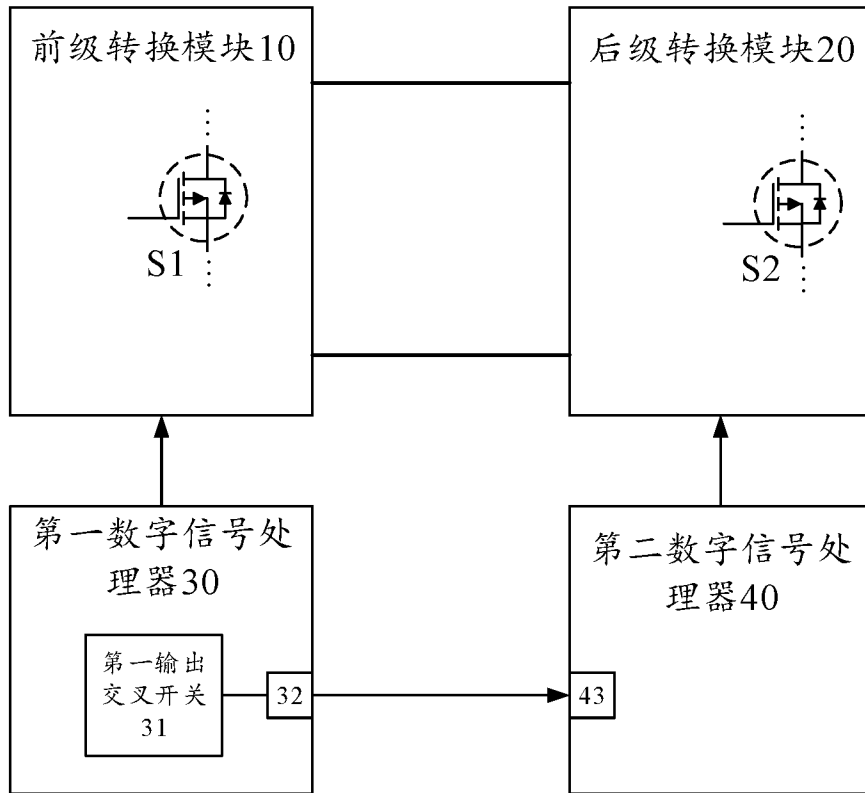


图 3

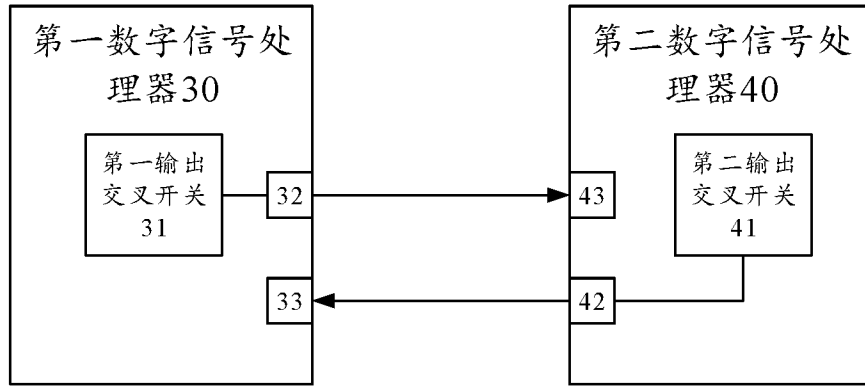


图 4

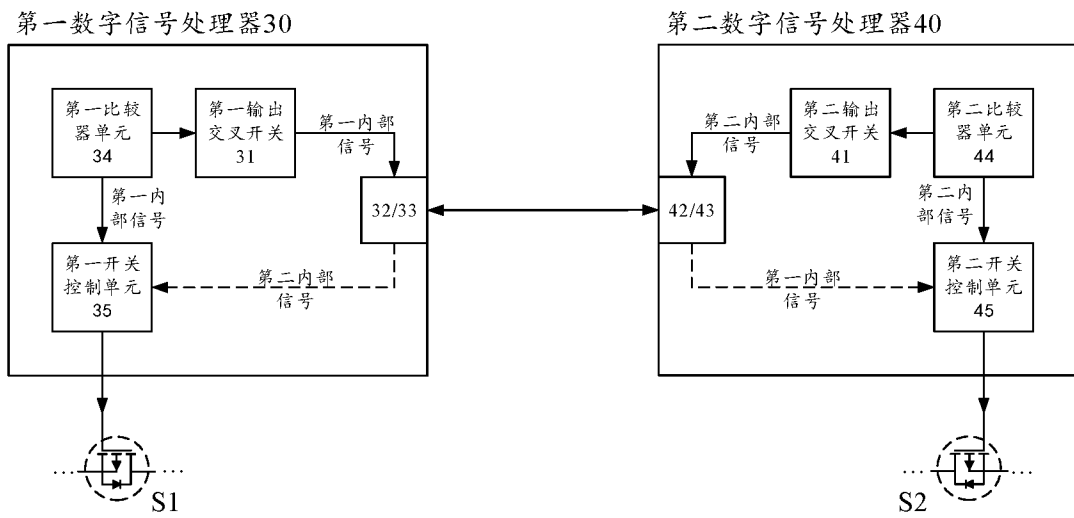


图 5

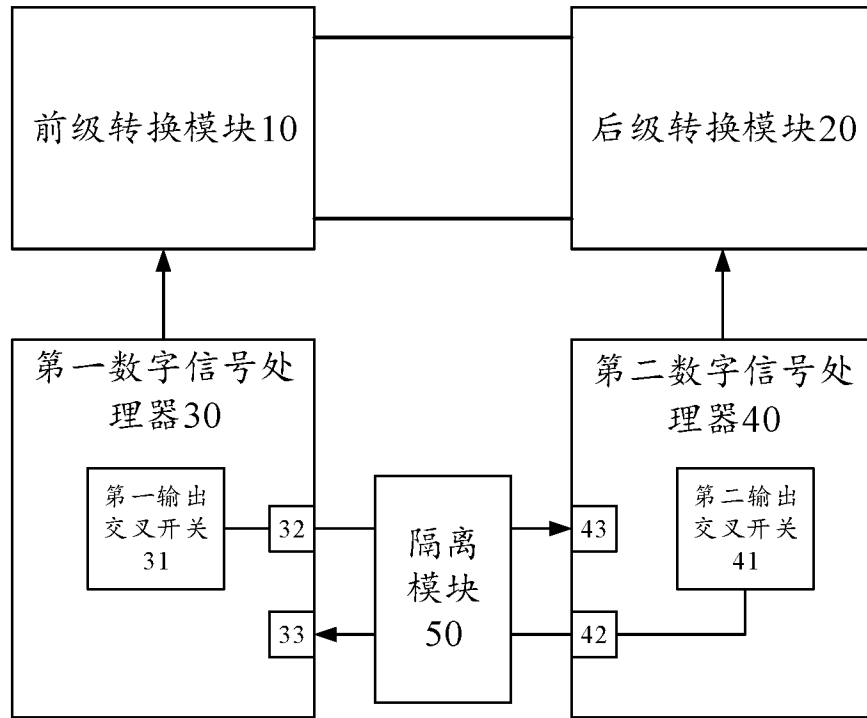


图 6

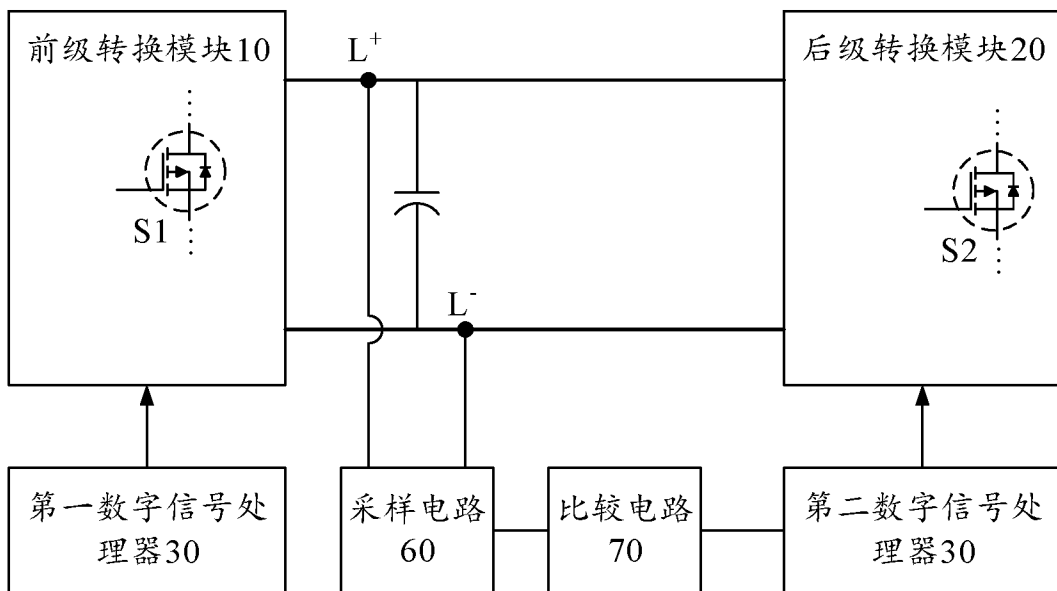


图 7

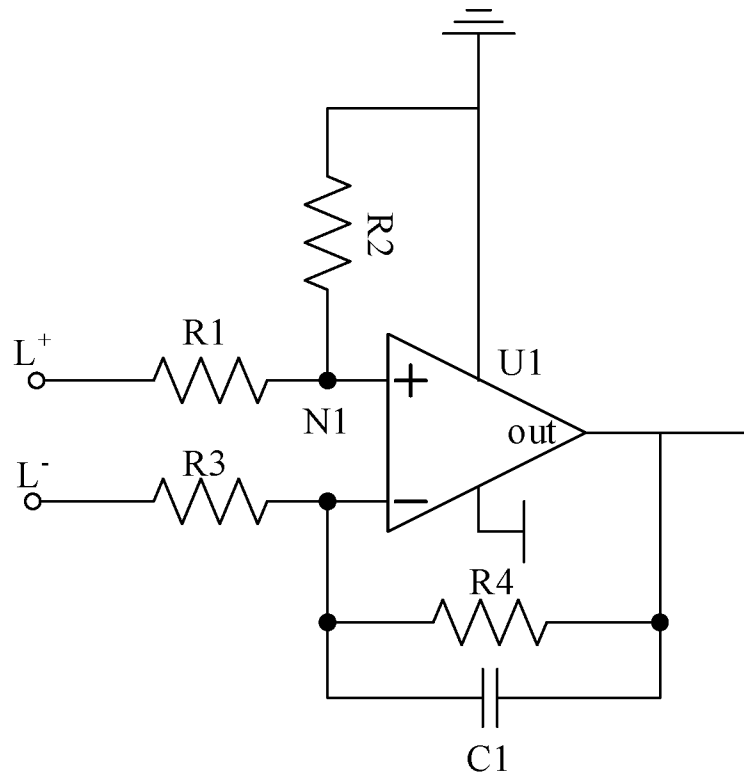


图 8

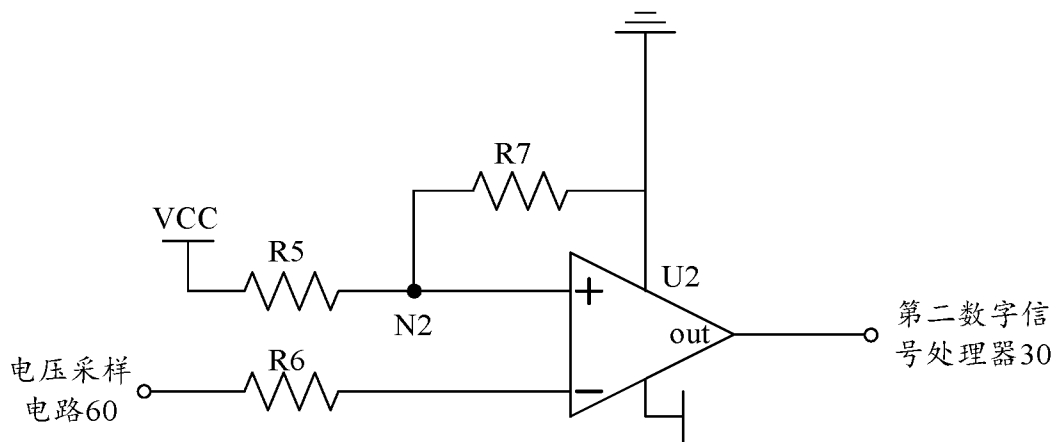


图 9

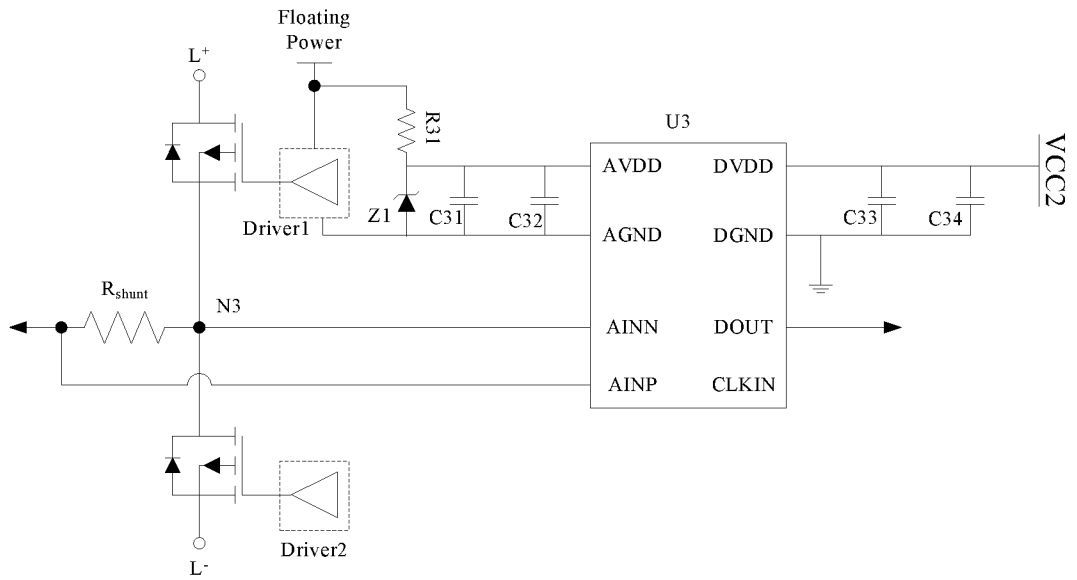


图 10

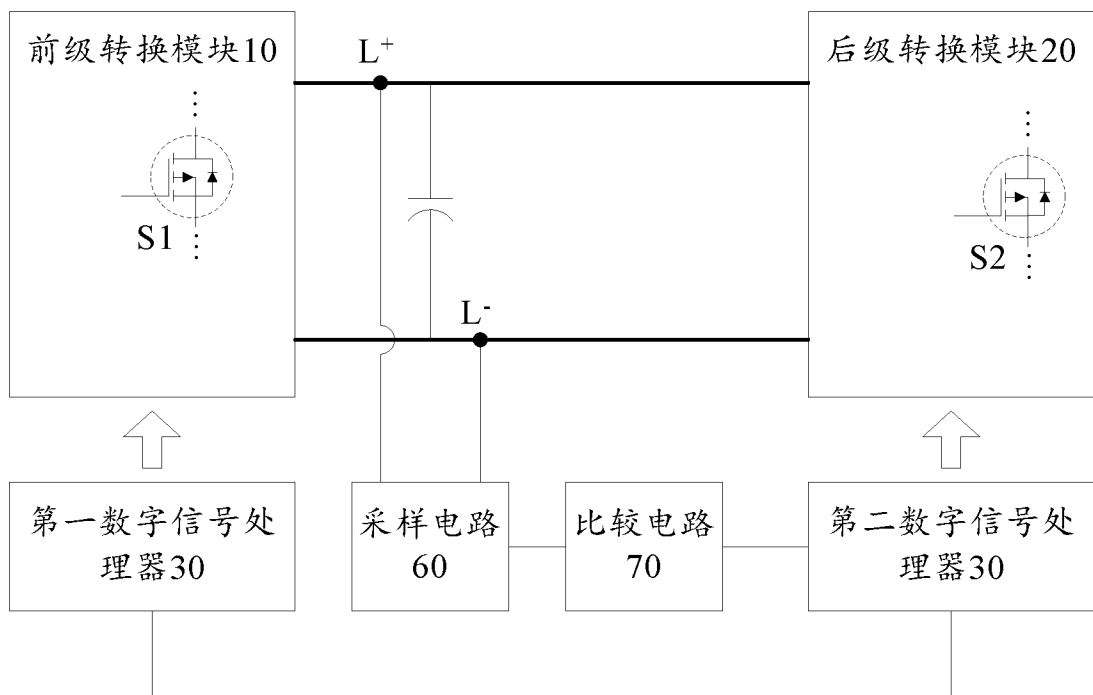


图 11

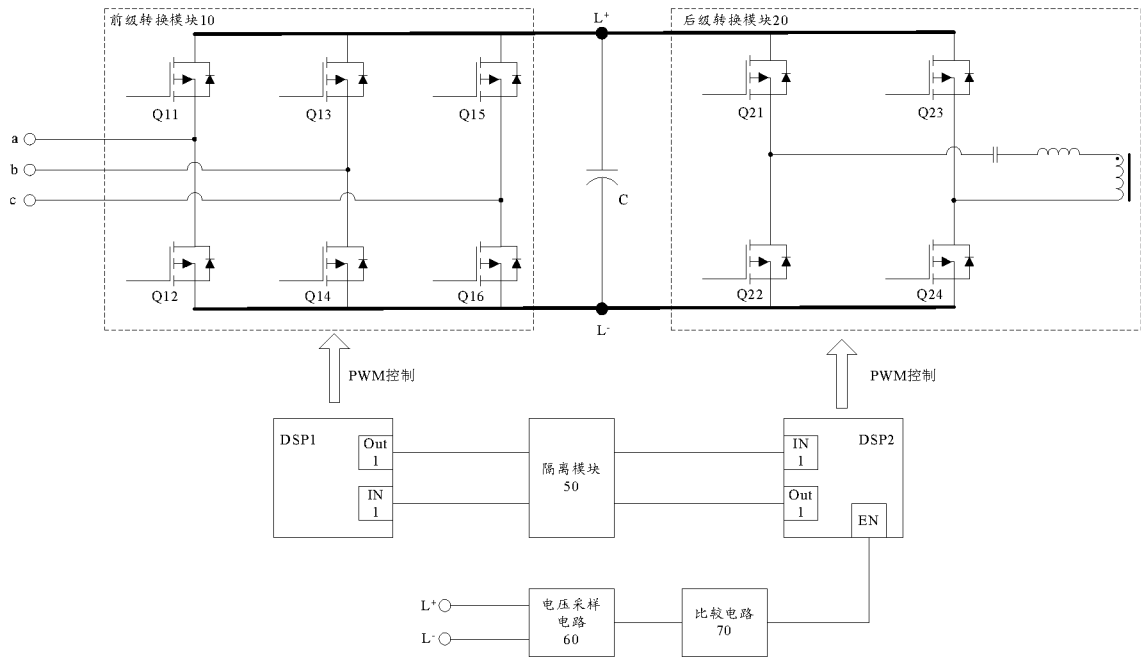


图 12

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/129887

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> H02M 1/32(2007.01)i  According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H02M  Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC: 宁德时代新能源科技股份有限公司, 前级, LLC, 后级, 转换, 控制, 开关, 处理器, 故障, PFC, 保护, 冗余, 延时, 负载, preceding-stage, post-stage, control, conversion, switch, processor, failure, redundancy, load		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 112428864 A (SHENZHEN VMAX NEW ENERGY CO., LTD.) 02 March 2021 (2021-03-02) description, paragraphs 26-37, and figures 1-3	1-10
Y	CN 208271027 U (SHIJIAZHUANG DILONG TECHNOLOGY CO., LTD.) 21 December 2018 (2018-12-21) description, paragraphs 16 and 28, and figures 1-2	1-10
A	CN 107846151 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 27 March 2018 (2018-03-27) entire document	1-10
A	CN 104767414 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 08 July 2015 (2015-07-08) entire document	1-10
A	US 2014077602 A1 (DELTA ELECTRONICS, INC.) 20 March 2014 (2014-03-20) entire document	1-10
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&amp;” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search <b>18 July 2022</b>		Date of mailing of the international search report <b>27 July 2022</b>
Name and mailing address of the ISA/CN <b>China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088, China</b> Facsimile No. (86-10)62019451		Authorized officer  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No. <b>PCT/CN2021/129887</b>
---

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)	
CN	112428864	A	02 March 2021	None		
CN	208271027	U	21 December 2018	None		
CN	107846151	A	27 March 2018	None		
CN	104767414	A	08 July 2015	CN	104767414 B	13 June 2017
US	2014077602	A1	20 March 2014	CN	103683468 A	26 March 2014
				CN	103683468 B	24 August 2016
				US	9337689 B2	10 May 2016

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/129887

<p><b>A. 主题的分类</b></p> <p>H02M 1/32 (2007.01) i</p> <p>按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类</p>																				
<p><b>B. 检索领域</b></p> <p>检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)</p> <p>H02M</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))</p> <p>CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC: 宁德时代新能源科技股份有限公司, 前级, LLC, 后级, 转换, 控制, 开关, 处理器, 故障, PFC, 保护, 冗余, 延时, 负载, preceding-stage, post-stage, control, conversion, switch, processor, failure, redundancy, load</p>																				
<p><b>C. 相关文件</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>CN 112428864 A (深圳威迈斯新能源股份有限公司) 2021年3月2日 (2021 - 03 - 02) 说明书26-37段, 附图1-3</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 208271027 U (石家庄迪龙科技有限公司) 2018年12月21日 (2018 - 12 - 21) 说明书16、28段, 附图1-2</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107846151 A (华中科技大学) 2018年3月27日 (2018 - 03 - 27) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104767414 A (南京航空航天大学) 2015年7月8日 (2015 - 07 - 08) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2014077602 A1 (DELTA ELECTRONICS, INC.) 2014年3月20日 (2014 - 03 - 20) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table>			类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	Y	CN 112428864 A (深圳威迈斯新能源股份有限公司) 2021年3月2日 (2021 - 03 - 02) 说明书26-37段, 附图1-3	1-10	Y	CN 208271027 U (石家庄迪龙科技有限公司) 2018年12月21日 (2018 - 12 - 21) 说明书16、28段, 附图1-2	1-10	A	CN 107846151 A (华中科技大学) 2018年3月27日 (2018 - 03 - 27) 全文	1-10	A	CN 104767414 A (南京航空航天大学) 2015年7月8日 (2015 - 07 - 08) 全文	1-10	A	US 2014077602 A1 (DELTA ELECTRONICS, INC.) 2014年3月20日 (2014 - 03 - 20) 全文	1-10
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																		
Y	CN 112428864 A (深圳威迈斯新能源股份有限公司) 2021年3月2日 (2021 - 03 - 02) 说明书26-37段, 附图1-3	1-10																		
Y	CN 208271027 U (石家庄迪龙科技有限公司) 2018年12月21日 (2018 - 12 - 21) 说明书16、28段, 附图1-2	1-10																		
A	CN 107846151 A (华中科技大学) 2018年3月27日 (2018 - 03 - 27) 全文	1-10																		
A	CN 104767414 A (南京航空航天大学) 2015年7月8日 (2015 - 07 - 08) 全文	1-10																		
A	US 2014077602 A1 (DELTA ELECTRONICS, INC.) 2014年3月20日 (2014 - 03 - 20) 全文	1-10																		
<p><input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p>																				
<p>* 引用文件的具体类型:</p> <p>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件</p> <p>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利</p> <p>“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)</p> <p>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件</p> <p>“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件</p> <p>“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件</p> <p>“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性</p> <p>“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性</p> <p>“&amp;” 同族专利的文件</p>																				
<p>国际检索实际完成的日期</p> <p>2022年7月18日</p>		<p>国际检索报告邮寄日期</p> <p>2022年7月27日</p>																		
<p>ISA/CN的名称和邮寄地址</p> <p>中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088</p> <p>传真号 (86-10)62019451</p>		<p>授权官员</p> <p>宋静婧</p> <p>电话号码 86-(10)-53961250</p>																		

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/129887

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	112428864	A	2021年3月2日	无			
CN	208271027	U	2018年12月21日	无			
CN	107846151	A	2018年3月27日	无			
CN	104767414	A	2015年7月8日	CN	104767414	B	2017年6月13日
US	2014077602	A1	2014年3月20日	CN	103683468	A	2014年3月26日
				CN	103683468	B	2016年8月24日
				US	9337689	B2	2016年5月10日