

(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
2018 年 6 月 21 日 (21.06.2018)



(10) 国际公布号
WO 2018/108143 A1

(51) 国际专利分类号:
H02M 7/483 (2007.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2017/116354

(22) 国际申请日: 2017 年 12 月 15 日 (15.12.2017)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:

201611170857.3	2016年12月16日 (16.12.2016)	CN
201611191912.7	2016年12月21日 (21.12.2016)	CN
201710106946.X	2017年2月27日 (27.02.2017)	CN
201711322795.8	2017年12月12日 (12.12.2017)	CN

(71) 申请人: 台达电子企业管理 (上海) 有限公司 (DELTA ELECTRONICS (SHANGHAI) CO., LTD)
[CN/CN]; 中国上海市浦东新区华东路1675号1幢1层, 7-8层, Shanghai 201209 (CN)。

(72) 发明人: 应建平(YING, Jianping); 中国上海市浦东新区华东路1675号1幢1层, 7-8层, 由台达电子企业管理 (上海) 有限公司转交, Shanghai 201209 (CN)。 王明(WANG, Ming); 中国上海市浦东新区华东路1675号1幢1层, 7-8层, 由台达电子企业管理 (上海) 有限公司转交, Shanghai 201209 (CN)。 黄宵驳(HUANG, Xiaobo); 中国上海市浦东新区华东路1675号1幢1层, 7-8层, 由台达电子企业管理 (上海) 有限公司转交, Shanghai 201209 (CN)。 刘军(LIU, Jun); 中国上海市浦东新区华东路1675号1幢1层, 7-8层, 由台达电子企业管理 (上海) 有限公司转交, Shanghai 201209 (CN)。 胡志明(HU, Zhiming); 中国上海市浦东新区华东路1675号1幢1层, 7-8层, 由台达电子企业管理 (上海) 有限公司转交, Shanghai 201209 (CN)。

(74) 代理人: 北京律智知识产权代理有限公司 (BEIJING INTELLEGAL INTELLECTUAL PROPERTY AGENT LTD.); 中国北京市朝阳区

(54) Title: MODULAR POWER SUPPLY SYSTEM

(54) 发明名称: 模块化电源系统

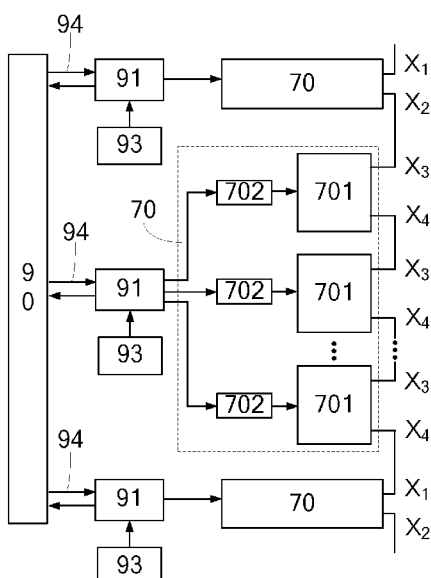


图 6

(57) Abstract: A modular power supply system, comprising: a main controller (90), configured to output a main control signal; N local controllers (91), each of the local controllers being configured to receive a main control signal so as to output at least one local control signal; and N power units (70), which are in one-to-one correspondence to the N local controllers, each of the power units comprising a first end (X₁) and a second end (X₂), the second end of each power unit being connected to the first end of an adjacent power unit, each power unit being configured to comprise M power converters (701), wherein each power converter comprises a third end (X₃) and a fourth end (X₄), the fourth end of each power converter being connected to the third end of an adjacent power converter, each power converter being configured to operate according to a local control signal output by the corresponding local controller, and both N and M being natural numbers greater than 1.

(57) 摘要: 一种模块化电源系统包括: 一个主控制器 (90), 被配置为输出主控制信号; N个本地控制器 (91), 其中每一个本地控制器被配置为接收主控制信号, 以输出至少一个本地控制信号; 以及N个功率单元 (70), 与N个本地控制器一一对应, 其中每一个功率单元包括第一端 (X₁) 和第二端 (X₂), 每一个功率单元的第二端连接到相邻的一个功率单元的第一端, 每一个功率单元被配置为包括M个功率变换器 (701), 其中每一个功率变换器包括第三端 (X₃) 和第四端 (X₄), 每一个功率变换器的第四端连接到相邻的一个功率变换器的第三端, 每一个功率变换器被配置为根据对应的本地控制器输出的本地控制信号运行, 其中N和M均为大于1的自然数。

区 慧 忠 路 5 号 远 大 中 心 B 座 1802, 1803,
1805, Beijing 100101 (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,
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,
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,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, 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))。

模块化电源系统

技术领域

本发明涉及电力电子技术领域，特别涉及一种模块化电源系统。

5

背景技术

目前，在一些较高电压等级（如 10kV 以上）应用场合，如静止无功发生器（Static Var Generator，SVG）、中压变频器（Medium Variable-frequency Drive，MVD）以及轻型高压直流输电系统（High Voltage Direct Current Transmission Light，HVDC-Light）等，由于系统电压等级较高，受半导体器件的耐压等级和成本所限，通常都采用功率单元级联的电路拓扑结构。

传统的功率单元级联的拓扑结构需要给每一个功率单元即功率变换器配备一套光纤、辅助电源、本地控制器。这种功率单元级联的拓扑结构随着电压等级的提高，需要级联的功率单元的数量也随之增加，导致光纤、辅助电源及本地控制器的数量也随之增加，使得这种拓扑结构的设计复杂，成本高，同时也会降低其可靠性。

图 1 是现有技术中一个三相 SVG 系统的结构示意图。图 2 是现有技术中一个更具体的三相 SVG 系统的示意图。图 1 和图 2 中的 SVG 系统包括三相电路，每一相电路中的功率单元级联连接。

如图 1 中所示，该 SVG 系统的每一相电路都由多个功率单元级联而成。这里的术语“级联”在本领域中是公知常识，即每一个功率单元包括第一端 T_1 和第二端 T_2 ，相邻两个功率单元的其中一个的第二端 T_2 与另一个的第一端 T_1 连接。每一相电路的第 1 个功率单元的第一端 T_1 经滤波器 L 分别连接到三相电网的 U_A 、 U_B 和 U_C 三相线路上，每一相电路的最后一个功率单元的第二端相互连接。

如图 2 所述，该 SVG 系统的每一相电路都由 8 个功率单元 P_1 至 P_8 级联而成。每一个功率单元包括如图 1 中所示的第一端和第二端，其中相邻两个功率单元的其中一个的第二端与另一个的第一端连接。例如，

功率单元 P_1 的第二端与功率单元 P_2 的第一端连接，功率单元 P_2 的第二端与功率单元 P_3 的第一端连接，依次类推，功率单元 P_7 的第二端与功率单元 P_8 的第一端连接。三相电路中三个功率单元 P_1 的第一端经过滤波电路（由电感 L 、电阻 R 和电容 C 组成）分别连接于三相电网 G 的 U_A 、 U_B 和 U_C 相，其中三相电网 G 的 U_A 、 U_B 和 U_C 相连接负载 R_{load} 。三相电路中三个功率单元 P_8 的第二端相互连接。每一个功率单元中包括四个功率开关器件 2。每一个功率开关器件 2 由一个功率半导体开关 S 与一个反向并联的体二极管或外接二极管 D 构成。功率半导体开关 S 的集电极与二极管 D 的阴极连接，功率半导体开关 S 的发射极与二极管 D 的阳极连接。由于功率半导体开关 S 与一个反向并联的体二极管或外接二极管 D 二者通常作为一个整体使用，所以为了描述简洁的目的，以下描述中不再单独提及反向并联的体二极管或外接二极管 D 。

图 1 中所示的功率单元 1 可以是全桥（H 桥）电路，也可以是其它的电路拓扑结构，如半桥电路、整流-逆变电路等。图 3 是现有技术中的一个 H 桥电路（拓扑）的示意图。例如，以功率单元为 H 桥电路为例，H 桥电路如图 3 中所示，包括功率半导体开关 S_1 至 S_4 和直流母线电容 C_B 。功率半导体开关 S_1 的第一端连接于直流母线电容 C_B 的正极端和功率半导体开关 S_3 的第一端。功率半导体开关 S_1 的第二端连接于功率半导体开关 S_4 的第一端。功率半导体开关 S_4 的第二端连接于直流母线电容 C_B 的负极端和功率半导体开关 S_2 的第二端。功率半导体开关 S_3 的第二端连接功率半导体开关 S_2 的第一端。功率半导体开关 S_1 的第二端作为 H 桥电路的第一输出端，也即功率单元 1 的第一端 T_1 ，功率半导体开关 S_3 的第二端作为 H 桥电路的第二输出端，也即功率单元 1 的第二端 T_2 。

图 4 是现有技术中一个单相 SVG 的示意图。如图 4 中所示，该单相 SVG 包括充电部分 3、功率部分 4 和控制部分 5。该单相 SVG 也包括多个功率单元 40，每一个功率单元 40 包括如图 1 中所示的第一端和第二端，相邻两个功率单元 40 其中一个的第一端与另一个的第二端连接。图 4 是应用于 25kV 单相 SVG 的传统级联式方案。该 SVG 由多个功率单元级联后形成一相，经滤波器和接触器接入电网。该 SVG 的每一个功率单元 40

通常采用一个 H 桥电路。H 桥电路的拓扑结构如图 3 中所示，这里不再赘述。该 SVG 系统的每一个功率单元 40 还包括直流母线电容 C_B ，其连接关系如图 4 中所示，其中充电部分 3 用以对直流母线电容 C_B 进行预充电，控制部分 5 用以控制功率部分 4 的运行。

5 从图 4 可以看出，在传统的级联式拓扑结构中，除了包括一个主控制器 50 之外，每一个功率单元 40 即作为功率变换器，例如 H 桥电路，都需要单独配备一套本地控制器 51、驱动电路 52、辅助电源 53 及光纤 54，其连接关系如图 4 中所示，主控制器 50 输出主控制信号至本地主控制器 51，本地主控制器 51 根据主控制信号产生对应的功率单元的本地控制信号至驱动电路 52，驱动电路 52 根据本地控制信号输出驱动信号来驱动对应的功率单元运行。例如 25kV 单相 SVG，通常可以采用以下两种方案来实现。第一种方案：H 桥电路中的功率开关器件均采用常用的 1700V 绝缘栅双极型晶体管（Insulated Gate Bipolar Translator, IGBT），那么单个功率单元 40 的直流母线电压为 1000V，考虑冗余，共需要 55 级功率单元级联，因此一共需要 55 套本地控制板 51、55 套光纤 54 及 55 个辅助电源 53。如此多的本地控制器 51、光纤 54、辅助电源 53 将导致 SVG 的结构设计极其复杂，成本也相当高昂，同时降低了其可靠性。

第二种方案：H 桥电路中的功率开关器件选用高压 IGBT，例如 3300V IGBT 甚至 6500V IGBT，将单个功率单元 40 的电压等级提高。为减少功率单元 40 的级联数量，减少本地控制器 51、光纤 54、辅助电源 53 的数量，通常可以采用第二种方案。在第二种方案中，若选用 3300V IGBT，每个功率单元 40 的电压等级相比 1700V IGBT 方案提高一倍，级联数量可由 55 级减少为 28 级，本地控制器 51、光纤 54 及辅助电源 53 的数量及成本也可减少一半。但受限于当前的半导体工艺发展水平，3300V IGBT 的成本依然居高不下，同样的电流规格下，其成本远远超过 1700V IGBT 成本的 2 倍。因此第二种方案的成本将远远超过第一种方案。如果选用 6500V IGBT，成本的压力则更高。

因此，目前不管是采用低压 IGBT 的功率单元级联方案，或是采用高压 IGBT 的功率单元级联方案，均有其显著的缺点。

图 5 是现有技术中一个 HVDC-Light 系统的示意图。如图 5 中所示，该 HVDC-Light 包括三相电路，每一相电路包括上半桥臂和下半桥臂，每一相电路的上半桥臂和下半桥臂均包括多个级联的功率单元 40 和电感 L，每一个功率单元 40 也包括如图 1 中所示的第一端和第二端，相邻两个功率单元 40 其中一个的第一端与另一个的第二端连接，每个上桥臂的电感 L 与相应下桥臂的电感 L 相连，并且两个电感 L 之间的连接点分别连接到电网，其连接关系如图 5 中所示。该 HVDC-Light 的每一个功率单元 40 采用了一个半桥变换器。该 HVDC-Light 的每一个功率单元 40 还包括直流母线电容，该 HVDC-Light 的每一个功率单元 40 还需要连接驱动电路 52，功率单元 40 根据驱动电路 52 输出的驱动信号进行运行。除了主控制器 50 之外，每一个功率单元 40 也都需要配备一套本地控制器 51、光纤 54 及辅助电源 53，其连接关系如图 5 中所示。

由于 HVDC-Light 的直流电压高达上百千伏，需要级联的功率单元 40 的数量极其庞大，所以上述提到的问题更加显著，即现有技术中 HVDC-Light 整体结构复杂、成本高且可靠性低。

另外，功率半导体开关的驱动方式也需要进一步考虑和改进。

另外，针对功率变换器和功率单元的故障的措施也需要进一步考虑和改进。

20 发明内容

本发明的目的在于提供一种模块化电源系统，以简化电力电子系统的结构，降低成本，并提高可靠性。

根据本发明的一个方面，提供一种模块化电源系统，被配置为包括：一个主控制器，被配置为输出主控制信号；N 个本地控制器，其中每一个所述本地控制器被配置为接收所述主控制信号，以输出至少一个本地控制信号；以及 N 个功率单元，与所述 N 个本地控制器一一对应，其中每一个所述功率单元包括第一端和第二端，每一个所述功率单元的所述第二端连接到相邻的一个所述功率单元的所述第一端，每一个所述功率单元被配置为包括 M 个功率变换器，其中每一个所述功率变换器包

括第三端和第四端，每一个所述功率变换器的所述第四端连接到相邻的一个所述功率变换器的所述第三端，且第一个所述功率变换器的所述第三端为所述功率单元的所述第一端，第 M 个所述功率变换器的所述第四端为所述功率单元的所述第二端，每一个所述功率变换器被配置为根据
5 对应的所述本地控制器输出的所述本地控制信号运行，其中 N 和 M 均为大于 1 的自然数。

在本发明的一些示例性实施例中，所述的模块化电源系统被配置为还包括： N 个辅助电源，与所述 N 个本地控制器一一对应，其中每一个所述辅助电源被配置为给对应的所述本地控制器提供电源。

10 在本发明的一些示例性实施例中，其中所述功率变换器为 AC/DC 变换器、DC/AC 变换器和 DC/DC 变换器中的任何一种。

在本发明的一些示例性实施例中，其中所述 M 个功率变换器的直流母线电压为全部相同，部分相同，或全部不相同。

15 在本发明的一些示例性实施例中，其中所述 M 个功率变换器的拓扑结构为全部相同，或部分相同。

在本发明的一些示例性实施例中，其中每一个所述功率单元中的所述 M 个功率变换器的拓扑结构全部为全桥变换器、半桥变换器、中性点可控三电平变换器、二极管钳位三电平变换器、飞跨电容三电平变换器、全桥谐振变换器和半桥谐振变换器中的一种。

20 在本发明的一些示例性实施例中，其中每一个所述功率单元中的所述 M 个功率变换器的拓扑结构为全桥变换器、半桥变换器、中性点可控三电平变换器、二极管钳位三电平变换器、飞跨电容三电平变换器、全桥谐振变换器和半桥谐振变换器中的两种或两种以上的组合。

25 在本发明的一些示例性实施例中，其中每一个所述功率变换器被配置为包括：至少一个功率半导体开关，其中每一个所述本地控制信号被配置为控制对应的所述功率半导体开关的导通和断开。

在本发明的一些示例性实施例中，其中每一个所述功率单元还包括： M 个驱动电路，与所述 M 个功率变换器一一对应，其中每一个所述驱动电路被配置为连接于对应的所述功率变换器的所述功率半导体开

关，接收对应的所述本地控制器输出的本地控制信号，以输出至少一个驱动信号来驱动对应的所述 M 个功率变换器中的所述功率半导体开关的导通和断开。

5 在本发明的一些示例性实施例中，其中每一个所述功率单元还包括：多个驱动电路，其中所述多个驱动电路的数量等于所述功率单元中所述至少一个功率半导体开关的数量，每一个所述驱动电路被配置为电连接于对应的所述功率变换器的所述功率半导体开关，接收对应的所述本地控制器输出的本地控制信号，以输出驱动信号来驱动对应的所述功率半导体开关的导通和断开。

10 在本发明的一些示例性实施例中，其中每一个所述驱动电路与对应的所述本地控制器直接电连接，或者通过磁隔离器件连接，或者通过光隔离器件连接。

在本发明的一些示例性实施例中，其中每一个所述本地控制器与所述主控制器通过磁隔离器件连接，或者通过光隔离器件连接。

15 在本发明的一些示例性实施例中，其中各所述驱动电路为彼此相同或彼此不相同。

在本发明的一些示例性实施例中，其中每一个所述驱动电路包括磁隔离器件，所述磁隔离器件传输所述本地控制信号中包含的驱动逻辑脉冲；或者每一个所述驱动电路包括磁隔离器件，所述磁隔离器件传输所述本地控制信号中包含的驱动逻辑脉冲以及功率脉冲；或者每一个所述驱动电路包括磁隔离器件，一部分所述驱动电路的所述磁隔离器件传输所述本地控制信号中包含的驱动逻辑脉冲，另一部分所述驱动电路的所述磁隔离器件传输所述本地控制信号中包含的所述驱动逻辑脉冲以及功率脉冲。

25 在本发明的一些示例性实施例中，其中所述至少一个本地控制信号的数量与所述功率变换器中的所述至少一个功率半导体开关的数量相同，且每一个所述本地控制信号被配置为控制对应的所述功率半导体开关导通和断开。

在本发明的一些示例性实施例中，其中每一个所述功率变换器的所

述第三端和所述第四端之间并联有开关，当所述功率变换器正常工作时，所述开关断开，当所述功率变换器发生故障时，所述开关导通。

在本发明的一些示例性实施例中，其中所述开关是半控型器件、全控型器件或机械开关。

- 5 在本发明的一些示例性实施例中，当任一所述功率变换器发生故障时，所述本地控制器会接收到反映对应的所述功率变换器故障类型的故障信号，并输出至少一个保护信号。

10 在本发明的一些示例性实施例中，其中所述本地控制器输出所述保护信号以控制对应的所述功率变换器的开关导通，并且所述本地控制器停止输出控制对应的所述功率变换器运行的所述本地控制信号。

在本发明的一些示例性实施例中，其中所述至少一个保护信号的数量为 M ，所述本地控制器输出每一个所述保护信号以控制对应的所述功率变换器的所述开关导通，并且所述本地控制器停止输出控制所述 M 个功率变换器运行的所述至少一个本地控制信号。

- 15 在本发明的一些示例性实施例中，其中所述至少一个保护信号的数量为 1，所述本地控制器输出所述保护信号以控制所述 M 个功率变换器的所述开关导通，并且所述本地控制器停止输出控制所述 M 个功率变换器运行的所述至少一个本地控制信号。

20 在本发明的一些示例性实施例中，其中所述功率单元的所述第一端和所述第二端之间并联有开关，当所述功率单元正常工作时，所述开关断开，当所述功率单元发生故障时，所述开关导通。

- 25 在本发明的一些示例性实施例中，其中，当任一所述功率变换器发生故障时，所述本地控制器会接收到反映对应的所述功率变换器故障类型的故障信号，并输出一保护信号以控制所述开关导通，并且所述本地控制器停止输出控制所述 M 个功率变换器运行的所述至少一个本地控制信号。

本发明通过将多个功率变换器组成一个功率单元，利用一套本地控制器、光纤控制多个功率变换器的方法，可大大减少本地控制器、光纤的数量，简化结构设计，降低成本，提高可靠性。

本发明通过让功率单元中功率变换器在发生故障时被旁路，同时停止输出控制功率变换器运行的本地控制信号，提高模块化电源系统的安全性和可靠性。

5 本发明适用于所有 AC/DC、DC/AC、DC/DC 功率变换器连接的拓扑结构，应用广泛。

附图说明

通过参照附图详细描述其示例实施例，本发明的上述和其它目标、特征及优点将变得更加明显。

- 10 图 1 是现有技术中一个三相 SVG 系统的结构示意图；
图 2 是现有技术中一个更具体的三相 SVG 系统的示意图；
图 3 是现有技术中的一个 H 桥电路（拓扑）的示意图；
图 4 是现有技术中一个单相 SVG 的示意图；
图 5 是现有技术中一个 HVDC-Light 系统的示意图；
15 图 6 是本发明一个实施例的模块化电源系统的方框图；
图 7 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图；
图 8 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图；
图 9 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图；
图 10 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图；
20 图 11 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图；
图 12 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图；
图 13 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图；
图 14 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图；
图 15 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图；
25 图 16 是说明本发明本地控制器与驱动电路之间连接方式的示意图；
图 17 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图；
图 18 是说明本发明驱动电路的驱动方式的示意图；
图 19 是说明本发明驱动电路的另一种驱动方式的示意图；
图 20 是本发明一个实施例的驱动电路的电路图；

图 21 是本发明一个实施例的驱动电路的时序图；

图 22 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图；

图 23 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图；

图 24 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图；

- 5 图 25 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图；以及
图 26 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图。

具体实施例

10 现在将参考附图更全面地描述示例实施例。然而，示例实施例能够以多种形式实施，且不应被理解为限于在此阐述的范例；相反，提供这些实施例使得本发明将更加全面和完整，并将示例实施例的构思全面地传达给本领域的技术人员。附图仅为本发明的示意性图解，并非一定是按比例绘制。图中相同的附图标记表示相同或类似的部分，因而将省略对它们的重复描述。

15 此外，所描述的特征、结构或特性可以以任何合适的方式结合在一个或更多实施例中。在下面的描述中，提供许多具体细节从而给出对本发明的实施例的充分理解。然而，本领域技术人员将意识到，可以实践本发明的技术方案而省略所述特定细节中的一个或更多，或者可以采用其它的方法、组元、装置、步骤等。在其它情况下，不详细示出或描述
20 公知结构、方法、装置、实现或者操作以避免喧宾夺主而使得本发明的各方面变得模糊。

图 6 是本发明一个实施例的模块化电源系统的方框图。如图 6 中所示，本发明的电力电子变换器被配置为包括：一个主控制器 90、N 个本地控制器 91 和 N 个功率单元 70，其中 N 为大于 1 的自然数。

25 主控制器 90 被配置为输出主控制信号。主控制信号例如是设置来控制该模块化电源系统的整体运行状态的一个或多个参数。

每一个本地控制器 91 被配置为接收前述的主控制信号，以输出至少一个本地控制信号。本地控制信号例如是设置来控制对应的功率单元 70 的整体运行状态的一个或多个参数，或者本地控制信号用来控制对应的

功率单元 70 中部分功率变换器的运行状态。

本发明的电力电子变换器可以被配置为还包括 N 个辅助电源 93，N 个辅助电源 93 与 N 个本地控制器 91 一一对应，其中每一个辅助电源 93 被配置为给对应的本地控制器 91 提供电源。

- 5 N 个功率单元 70 与 N 个本地控制器 91 一一对应，每一个功率单元 70 包括第一端 X_1 和第二端 X_2 ，每一个功率单元 70 的第二端 X_2 连接到相邻的一个功率单元 70 的第一端 X_1 ，也就是说，相邻两个功率单元 70 的其中一个的第二端 X_2 与另一个的第一端 X_1 连接。

- 10 每一个功率单元 70 被配置为包括 M 个功率变换器 701，其中每一个功率变换器 701 包括第三端 X_3 和第四端 X_4 ，每一个功率变换器的第四端 X_4 连接到相邻的一个功率变换器 701 的第三端 X_3 。也就是说，相邻两个功率变换器 701 的其中一个的第四端 X_4 与另一个的第三端 X_3 连接。M 为大于 1 的自然数。这样，第 1 个功率变换器 701 的第三端 X_3 即为该功率单元 70 的第一端 X_1 ，第 M 个功率变换器 701 的第四端 X_4 为该功率单元 70 的第二端 X_2 。每一个功率变换器 701 被配置为根据对应的本地控制器 91 输出的本地控制信号运行。

- 20 作为本发明的一个实施例，主控制器 90 与每一个本地控制器 91 之间可以通过光隔离器件，例如光纤 94 传输前述的主控制信号。在其他实施例中，主控制器 90 与每一个本地控制器 91 之间可以通过磁隔离器件，例如隔离变压器，进行连接，主控制器 90 与每一个本地控制器 91 之间的连接方式不仅限于上述连接方式。

本发明的电力电子装置可以应用于 SVG、MVD、HVDC-Light 以及风力发电系统等领域。

- 25 如图 6 中所示，本发明提出将 M 个功率变换器 701 合成为一个功率单元 70，一个功率单元 70 配置一套本地控制器 91、光纤 94 及辅助电源 93，即一套本地控制器 91、光纤 94 及辅助电源 93 控制 M 个功率变换器 701。而在传统的方案中，每个功率单元 40 即功率变换器均需要配置一套本地控制器 51、光纤 54 及辅助电源 53。相比于传统方案，本发明提出的模块化电源系统所需要配置的本地控制器 91、光纤 94 及辅助电源

93 的数量将降为传统方案的 $1/M$ 。本发明使得模块化电源系统的结构设计大大简化，成本也显著降低，同时可靠性得到极大提高。

本发明不限制各个功率变换器 701 的直流母线电压。本发明的模块化电源系统中的 M 个功率变换器 701 的直流母线电压可以为全部相同，
5 部分相同，或全部不相同。基于图 6，图 7 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图。如图 7 中所示，功率单元 70 内 M 个功率变换器 701 的直流母线电压可以分别为 V_1 、 $V_2 \cdots$ 和 V_M ，其中 V_1 、 $V_2 \cdots$ 和 V_M 可以全部相同，即 $V_1 = V_2 = \cdots = V_M$ ，也可以部分相同 $V_1 = V_2$ ， $V_1 \neq V_M$ ，或者全部不相同，即 $V_1 \neq V_2 \neq \cdots \neq V_M$ 。

10 本发明也不限制各个功率变换器 701 中所用的拓扑结构。本发明的模块化电源系统中的 M 个功率变换器 701 可以为交流/直流 (AC/DC) 变换器、直流/交流 (DC/AC) 变换器和直流/直流 (DC/DC) 变换器中的任何一种，因此图 7 中用功率变换器 701 代表所有适用的 AC/DC、DC/AC 和 DC/DC 拓扑结构中的任何一种。本发明不限制 M 个功率变换器 701
15 中所用的拓扑结构还体现在 M 个功率变换器的拓扑结构可以为全部相同，或部分相同。例如，本发明的模块化电源系统中的每一个功率单元 70 中的 M 个功率变换器 701 的拓扑结构可以全部为全桥变换器、半桥变换器、中性点可控三电平变换器、二极管钳位三电平变换器、飞跨电容三电平变换器、全桥谐振变换器和半桥谐振变换器中的一种。或者例
20 如，本发明的模块化电源系统中的每一个功率单元 70 中的 M 个功率变换器 701 的拓扑结构可以为全桥变换器、半桥变换器、中性点可控三电平变换器、二极管钳位三电平变换器、飞跨电容三电平变换器、全桥谐振变换器和半桥谐振变换器中的两种或两种以上的组合。

25 本发明的模块化电源系统中的每一个功率单元 70 中的 M 个功率变换器 701 中每一个功率变换器 701 可以被配置为包括：至少一个功率半导体开关，其中每一个本地控制信号被配置为控制对应的功率半导体开关的导通和断开。

如图 6 和图 7 中所示，本实施例的模块化电源系统中的每一个功率单元 70 可以包括： M 个驱动电路 702，与 M 个功率变换器 701 一一对应，

其中每一个驱动电路 702 被配置为连接于对应的功率变换器 701 中的功率半导体开关，接收并根据对应的本地控制器 91 输出的至少一个本地控制信号，以输出至少一个驱动信号来驱动对应的 M 个功率变换器 701 中的功率半导体开关的导通和断开。

5 在其它实施例中，模块化电源系统中的每一个功率单元可以包括：多个驱动电路，多个驱动电路的数量等于这个功率单元中功率半导体开关的数量，每一个驱动电路被配置为连接于对应的功率半导体开关，接收并根据对应的本地控制信号以输出一个驱动信号来驱动对应的功率半导体开关的导通和断开。

10 图 8 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图。如图 8 中所示，本实施例的模块化电源系统中每一个功率单元 70 的 M 个功率变换器 701 的拓扑结构均采用全桥变换器，例如 H 桥电路。每一个 H 桥电路 701 包括 4 个功率半导体开关和直流母线电容，4 个功率半导体开关构成 2 个桥臂，为了便于说明，将 4 个功率半导体开关分别定义为一个桥臂的上功率半导体开关、下功率半导体开关、另一个桥臂的上功率半导体开关和下功率半导体开关，其中一个桥臂的上功率半导体开关的一端连接另一个桥臂的上功率半导体开关的一端和直流母线电容的一端，一个桥臂的下功率半导体开关的另一端连接另一个桥臂的下功率半导体开关的另一端和直流母线电容的另一端，一个桥臂的上功率半导体开关与下功率半导体开关连接于第三端 X_3 ，另一个桥臂的上功率半导体开关与下功率半导体开关连接于第四端 X_4 。以其中第 M 个功率变换器 70 为例，功率变换器 701 包括两个桥臂和直流母线电容，一个桥臂的上功率半导体开关 Q_{M1} 的一端连接另一个桥臂的上功率半导体开关 Q_{M3} 的一端和直流母线电容 C_B 的一端，一个桥臂的下功率半导体开关 Q_{M2} 的另一端连接另一个桥臂的下功率半导体开关 Q_{M4} 的另一端和直流母线电容 C_B 的另一端，一个桥臂的上功率半导体开关 Q_{M1} 与下功率半导体开关 Q_{M2} 的连接点为第三端 X_3 ，另一个桥臂的上功率半导体开关 Q_{M3} 与下功率半导体开关 Q_{M4} 的连接点为第四端 X_4 。

在本实施例中，每一个功率单元 70 中的第 1 个 H 桥电路 701 的第三

端 X_3 为该功率单元 70 的第一端 X_1 ，第 1 个 H 桥电路 701 的第四端 X_4 连接第二个 H 桥电路 701 的第三端 X_3 ，以此类推，第 $M-1$ 个 H 桥电路 701 的第四端 X_4 连接第 M 个 H 桥电路 701 的第三端 X_3 ，第 M 个功率变换器的第四端 X_4 为该功率单元 70 的第二端 X_2 。

- 5 每一个功率单元 70 所对应的本地控制器 91 输出至少一个本地控制信号用以控制对应的 H 桥电路 701 中功率半导体开关的导通和断开。在本实施例中，每一个 H 桥电路 701 需要 4 个本地控制信号，分别控制对应的功率半导体开关导通和断开，每一个功率单元 70 需要 $4 \times M$ 个本地控制信号，即，本地控制器需要输出 $4 \times M$ 个本地控制信号，用以控制
- 10 对应的功率半导体开关的导通和断开，即，功率半导体开关 $Q_{11}-Q_{M4}$ 均需要一个对应的本地控制信号。

- 如图 8 所示，每一个功率单元 70 还包括 M 个驱动电路 702，驱动电路 702 与 M 个 H 桥电路 701 一一对应，每一个驱动电路 702 接收对应的本地控制信号，并输出至少一驱动信号来分别驱动对应的功率半导体开关的导通和断开，具体而言，每一个驱动电路 702 接收对应的 4 个本地控制信号，并输出 4 个驱动信号来分别驱动对应的功率半导体开关的导通和断开，以第 1 个 H 桥电路 701 所对应的驱动电路 702 为例，该驱动电路输出 4 个驱动信号分别驱动功率半导体开关 $Q_{11}-Q_{14}$ 的导通和断开。
- 15

- 在其它实施例中，每一个功率单元 70 还包括多个驱动电路，驱动电路的数量等于 $4 \times M$ ，每一个驱动电路连接于对应的一个功率半导体开关，并且接收一个对应的本地控制信号以输出一个驱动信号来驱动对应的功率半导体开关的导通和断开，以第 1 个 H 桥电路 701 所对应的 4 个驱动电路为例，4 个驱动电路分别连接功率半导体开关 $Q_{11}-Q_{14}$ 并且每一个驱动电路输出一个驱动信号来驱动对应的功率半导体开关 $Q_{M1}-Q_{M4}$ 的导通和断开。
- 20
- 25

图 9 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图。如图 9 中所示，本实施例的模块化电源系统中每一个功率单元 70 的 M 个功率变换器 701 的拓扑结构均采用半桥变换器。每一个半桥变换器 701 包括 2 个功率半导体开关和直流母线电容，其连接关系如图 9 中所示。一个功

率半导体的一端连接直流母线电容的一端，其另一端连接另一个功率半导体开关的一端，另一个功率半导体开关的另一端连接直流母线电容 C_B 的另一端。2 个功率半导体开关相互连接的连接点为第三端 X_3 ，另一个功率半导体开关的另一端为第四端 X_4 。以第 1 个功率变换器 70 为例，功率变换器 701 包括两个功率半导体开关 Q_{11} 、 Q_{12} 和直流母线电容 C_B 。功率半导体开关 Q_{11} 的一端连接于直流母线电容 C_B 的一端，功率半导体开关 Q_{11} 的另一端连接于功率半导体开关 Q_{12} 的一端，功率半导体开关 Q_{12} 的另一端连接于直流母线电容 C_B 的另一端，功率半导体开关 Q_{11} 与功率半导体开关 Q_{12} 的连接点为第 1 个功率变换器 701 的第三端 X_3 ，功率半导体开关 Q_{12} 的另一端为第 1 个功率变换器 701 的第四端 X_4 。

在本实施例中，每一个功率单元 70 中第 1 个半桥变换器的第三端 X_3 为功率单元 70 的第一端 X_1 ，第 1 个半桥变换器的第四端 X_4 连接第二个半桥变换器的第三端 X_3 ，依次类推，第 $M-1$ 个半桥变换器的第四端 X_4 连接第 M 个半桥变换器的第三端 X_3 ，第 M 个半桥变换器的第四端 X_4 为功率单元 70 的第二端 X_2 。

在本实施例中，每一个功率单元 70 对应的本地控制器可以输出 $2 \times M$ 个本地控制信号，用以控制半桥变换器 701 中的功率半导体开关 $Q_{11}-Q_{M2}$ 的导通和断开，即，功率半导体开关 $Q_{11}-Q_{M2}$ 均需要一个本地控制信号。

如图 9 所示，每一个功率单元 70 还包括 M 个驱动电路 702，驱动电路 702 与 M 个半桥变换器 701 一一对应，每一个驱动电路 702 接收对应的本地控制信号，并输出至少一驱动信号来分别驱动对应的功率半导体开关的导通和断开，具体而言，每一个驱动电路 702 接收对应的 2 个本地控制信号，并输出 2 个驱动信号来分别驱动对应的功率半导体开关的导通和断开，以第 1 个半桥变换器 701 所对应的驱动电路 702 为例，该驱动电路输出 2 个驱动信号分别驱动功率半导体开关 $Q_{11}-Q_{12}$ 的导通和断开。

在其它实施例中，每一个功率单元 70 还包括多个驱动电路，驱动电路的数量等于 $2 \times M$ ，每一个驱动电路连接于对应的一个功率半导体开

关，并且接收一个对应的本地控制信号以输出一个驱动信号来驱动对应的功率半导体开关的导通和断开，以第 1 个半桥变换器 701 所对应的 2 个驱动电路为例，2 个驱动电路分别连接功率半导体开关 Q_{11} - Q_{12} 并且每一个驱动电路输出一个驱动信号来驱动对应的功率半导体开关 Q_{11} - Q_{12} 的导通和断开。

图 10 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图。如图 10 中所示，本实施例的模块化电源系统中每一个功率单元 70 的 M 个功率变换器 701 的拓扑结构均采用中性点可控三电平变换器。每一个中性点可控三电平变换器 701 包括 8 个功率半导体开关和 2 个直流母线电容，其连接关系如图 10 中所示。以第 1 个功率变换器 701 为例加以说明，功率半导体开关 Q_{11} 的一端连接于直流母线电容 C_1 的一端和功率半导体开关 Q_{15} 的一端，直流母线电容 C_1 的另一端连接于直流母线电容 C_2 的一端，功率半导体开关 Q_{11} 的另一端连接于功率半导体开关 Q_{12} 的一端，功率半导体开关 Q_{11} 与功率半导体开关 Q_{12} 的连接点为第 1 个功率变换器 701 的第三端 X_3 ，功率半导体开关 Q_{12} 的另一端连接于直流母线电容 C_2 的另一端和功率半导体开关 Q_{16} 的另一端，功率半导体开关 Q_{15} 的另一端连接于功率半导体开关 Q_{16} 的一端，功率半导体开关 Q_{15} 与功率半导体开关 Q_{16} 的连接点为第 1 个功率变换器 701 的第四端 X_4 ，功率半导体开关 Q_{13} 的一端连接于直流母线电容 C_1 的另一端，功率半导体开关 Q_{13} 的另一端连接于功率半导体开关 Q_{14} 的一端，功率半导体开关 Q_{14} 的另一端连接于功率半导体开关 Q_{11} 的另一端，功率半导体开关 Q_{17} 的一端连接于直流母线电容 C_1 的另一端，功率半导体开关 Q_{17} 的另一端连接于功率半导体开关 Q_{18} 的一端，功率半导体开关 Q_{18} 的另一端连接于功率半导体开关 Q_{15} 的另一端。

在本实施例中，每一个功率单元 70 中第 1 个中性点可控三电平变换器的第三端 X_3 为功率单元 70 的第一端 X_1 ，第 1 个中性点可控三电平变换器的第四端 X_4 连接第二个中性点可控三电平变换器的第三端 X_3 ，依次类推，第 $M-1$ 个中性点可控三电平变换器的第四端 X_4 连接第 M 个中性点可控三电平变换器的第三端 X_3 ，第 M 个中性点可控三电平变换器的第

四端 X_4 为功率单元 70 的第二端 X_2 。

在本实施例中,每一个功率单元对应的本地控制器可以输出 $8 \times M$ 个本地控制信号,用以控制中性点可控三电平变换器 701 中功率半导体开关 Q_{11} - Q_{M8} 的导通和断开,即,功率半导体开关 Q_{11} - Q_{M8} 均需要一个本地控制信号。

如图 10 所示,每一个功率单元 70 还包括 M 个驱动电路 702,驱动电路 702 与 M 个中性点可控三电平变换器 701 一一对应,每一个驱动电路 702 接收对应的本地控制信号,并输出至少一驱动信号来分别驱动对应的功率半导体开关的导通和断开,具体而言,每一个驱动电路 702 接收对应的 8 个本地控制信号,并输出 8 个驱动信号来分别驱动对应的功率半导体开关的导通和断开,以第 1 个中性点可控三电平变换器 701 所对应的驱动电路 702 为例,该驱动电路输出 8 个驱动信号分别驱动功率半导体开关 Q_{11} - Q_{18} 的导通和断开。

在其它实施例中,每一个功率单元 70 还包括多个驱动电路,驱动电路的数量等于 $8 \times M$,每一个驱动电路连接对应的一个功率半导体开关,并且接收一个对应的本地控制信号以输出一个驱动信号来驱动对应的功率半导体开关的导通和断开,以第 1 个中性点可控三电平变换器 701 所对应的 8 个驱动电路为例,8 个驱动电路分别连接功率半导体开关 Q_{11} - Q_{18} 并每一个驱动电路输出一个驱动信号来驱动对应的功率半导体开关 Q_{11} - Q_{18} 的导通和断开。

图 11 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图。如图 11 中所示,本实施例的模块化电源系统中每一个功率单元 70 的 M 个功率变换器 701 的拓扑结构均采用二极管钳位三电平变换器。每一个二极管钳位三电平变换器 701 包括 8 个功率半导体开关、4 个钳位二极管和 2 个直流母线电容,其连接关系如图 11 中所示。以第 1 个功率变换器 701 为例,功率半导体开关 Q_{11} 的一端连接于直流母线电容 C_1 的一端和功率半导体开关 Q_{15} 的一端,功率半导体开关 Q_{11} 的另一端连接于功率半导体开关 Q_{12} 的一端和钳位二极管 D_1 的阴极,功率半导体开关 Q_{12} 的另一端连接于功率半导体开关 Q_{13} 的一端,功率半导体开关 Q_{13} 的另一端连接于

功率半导体开关 Q_{14} 的一端和钳位二极管 D_2 的阳极，直流母线电容 C_1 的另一端连接于直流母线电容 C_2 的一端，功率半导体开关 Q_{14} 的另一端连接于直流母线电容 C_2 的另一端，钳位二极管 D_1 的阳极连接于钳位二极管 D_2 的阴极和直流母线电容 C_1 的另一端，功率半导体开关 Q_{12} 与功率
 5 半导体开关 Q_{13} 的连接点为第 1 个功率变换器 701 的第三端 X_3 ，功率半导体开关 Q_{15} 的另一端连接于功率半导体开关 Q_{16} 的一端和钳位二极管 D_3 的阴极，功率半导体开关 Q_{16} 的另一端连接于功率半导体开关 Q_{17} 的一端，功率半导体开关 Q_{17} 的另一端连接于功率半导体开关 Q_{18} 的一端和钳位二极管 D_4 的阳极，功率半导体开关 Q_{18} 的另一端连接于直流母线电容
 10 C_2 的另一端，钳位二极管 D_3 的阳极连接于钳位二极管 D_4 的阴极和直流母线电容 C_1 的另一端，功率半导体开关 Q_{16} 与功率半导体开关 Q_{17} 的连接点为第 1 个功率变换器 701 的第四端 X_4 。

在本实施例中，每一个功率单元 70 中第 1 个二极管钳位三电平变换器的第三端 X_3 为功率单元 70 的第一端 X_1 ，第 1 个二极管钳位三电平变换器的第四端 X_4 连接第二个二极管钳位三电平变换器的第三端 X_3 ，依次
 15 类推，第 $M-1$ 个二极管钳位三电平变换器的第四端 X_4 连接第 M 个二极管钳位三电平变换器的第三端 X_3 ，第 M 个二极管钳位三电平变换器的第四端 X_4 为功率单元 70 的第二端 X_2 。

在本实施例中，每一个功率单元对应的本地控制器可以输出 $8 \times M$ 个
 20 本地控制信号，用以控制中性点可控三电平变换器 701 中功率半导体开关 $Q_{11}-Q_{M8}$ 的导通和断开，即，功率半导体开关 $Q_{11}-Q_{M8}$ 均需要一个本地控制信号。

如图 11 所示，每一个功率单元 70 还包括 M 个驱动电路 702，驱动电路 702 与 M 个二极管钳位三电平变换器 701 一一对应，每一个驱动电
 25 路 702 接收对应的本地控制信号，并输出至少一驱动信号来分别驱动对应的功率半导体开关的导通和断开，具体而言，每一个驱动电路 702 接收对应的 8 个本地控制信号，并输出 8 个驱动信号来分别驱动对应的功率半导体开关的导通和断开，以第 1 个二极管钳位三电平变换器 701 所对应的驱动电路 702 为例，该驱动电路输出 8 个驱动信号分别驱动功率

半导体开关 Q_{11} - Q_{18} 的导通和断开。

在其它实施例中，每一个功率单元 70 还包括多个驱动电路，驱动电路的数量等于 $8 \times M$ ，每一个驱动电路连接对应的一个功率半导体开关，并且接收一个对应的本地控制信号以输出一个驱动信号来驱动对应的功率半导体开关的导通和断开，以第 1 个二极管钳位三电平变换器 701 所对应的 8 个驱动电路为例，8 个驱动电路分别连接功率半导体开关 Q_{11} - Q_{18} 并且每一个驱动电路输出一个驱动信号来驱动对应的功率半导体开关 Q_{11} - Q_{18} 的导通和断开。

图 12 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图。如图 12 中所示，本实施例的模块化电源系统中每一个功率单元 70 的 M 个功率变换器 701 拓扑结构均采用飞跨电容三电平变换器。每一个飞跨电容三电平变换器 701 包括 8 个功率半导体开关、2 个直流母线电容和 2 个飞跨电容，其连接关系如图 12 中所示。以第 1 个功率变换器 701 为例，功率半导体开关 Q_{11} 的一端连接于直流母线电容 C_1 的一端和功率半导体开关 Q_{15} 的一端，功率半导体开关 Q_{11} 的另一端连接于功率半导体开关 Q_{12} 的一端和飞跨电容 C_3 的一端，功率半导体开关 Q_{12} 的另一端连接于功率半导体开关 Q_{13} 的一端，功率半导体开关 Q_{13} 的另一端连接于功率半导体开关 Q_{14} 的一端和飞跨电容 C_3 的另一端，直流母线电容 C_1 的另一端连接于直流母线电容 C_2 的一端，功率半导体开关 Q_{14} 的另一端连接于直流母线电容 C_2 的另一端，功率半导体开关 Q_{12} 与功率半导体开关 Q_{13} 的连接点为第 1 个功率变换器 701 的第三端 X_3 ，功率半导体开关 Q_{15} 的另一端连接于功率半导体开关 Q_{16} 的一端和飞跨电容 C_4 的一端，功率半导体开关 Q_{16} 的另一端连接于功率半导体开关 Q_{17} 的一端，功率半导体开关 Q_{17} 的另一端连接于功率半导体开关 Q_{18} 的一端和飞跨电容 C_4 的另一端，功率半导体开关 Q_{18} 的另一端连接于直流母线电容 C_2 的另一端，功率半导体开关 Q_{16} 与功率半导体开关 Q_{17} 的连接点为第 1 个功率变换器 701 的第四端 X_4 。

在本实施例中，每一个功率单元 70 中第 1 个飞跨电容三电平变换器的第三端 X_3 为功率单元 70 的第一端 X_1 ，第 1 个飞跨电容三电平变换器

的第四端 X_4 连接第二个飞跨电容三电平变换器的第三端 X_3 ，依次类推，第 $M-1$ 个飞跨电容三电平变换器的第四端 X_4 连接第 M 个飞跨电容三电平变换器的第三端 X_3 ，第 M 个飞跨电容三电平变换器的第四端 X_4 为功率单元 70 的第二端 X_2 。

- 5 在本实施例中，每一个功率单元对应的本地控制器可以输出 $8 \times M$ 个本地控制信号，用以控制中性点可控三电平变换器 701 中功率半导体开关 $Q_{11}-Q_{M8}$ 的导通和断开，即，功率半导体开关 $Q_{11}-Q_{M8}$ 均需要一个本地控制信号。

10 如图 12 所示，每一个功率单元 70 还包括 M 个驱动电路 702，驱动电路 702 与 M 个飞跨电容三电平变换器 701 一一对应，每一个驱动电路 702 接收对应的本地控制信号，并输出至少一驱动信号来分别驱动对应的功率半导体开关的导通和断开，具体而言，每一个驱动电路 702 接收对应的 8 个本地控制信号，并输出 8 个驱动信号来分别驱动对应的功率半导体开关的导通和断开，以第 1 个飞跨电容三电平变换器 701 所对应的
15 驱动电路 702 为例，该驱动电路输出 8 个驱动信号分别驱动功率半导体开关 $Q_{11}-Q_{18}$ 的导通和断开。

20 在其它实施例中，每一个功率单元 70 还包括多个驱动电路，驱动电路的数量等于 $8 \times M$ ，每个驱动电路接收一个对应的本地控制信号并输出一个驱动信号来驱动对应的功率半导体开关的导通和断开，以第 1 个飞跨电容三电平变换器 701 所对应的 8 个驱动电路为例，8 个驱动电路分别连接功率半导体开关 $Q_{11}-Q_{18}$ 并且每一个驱动电路输出一个驱动信号来驱动对应的功率半导体开关 $Q_{11}-Q_{18}$ 的导通和断开。

25 图 8-图 12 的模块化电源系统中的 M 个功率变换器 701 可以为交流/直流 (AC/DC) 变换器或者直流/交流 (DC/AC) 变换器，但是不以此为限，还可以是其它拓扑结构的变换器。

图 13 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图。如图 13 中所示，本实施例的模块化电源系统中每一个功率单元 70 的 M 个功率变换器 701 的拓扑结构均采用全桥谐振变换器。每一个全桥谐振变换器 701 包括全桥电路、谐振电路、变压器和整流桥，其连接关系如图 13 中

所示。以第 1 个全桥 LLC 谐振变换器 701 为例，全桥电路包括 4 个功率半导体开关和一个直流母线电容，功率半导体开关 Q_{11} 的一端连接于直流母线电容 C_B ' 的一端和功率半导体开关 Q_{13} 的一端，功率半导体开关 Q_{11} 的另一端连接于功率半导体开关 Q_{12} 的一端，功率半导体开关 Q_{12} 的另一端连接于直流母线电容 C_B ' 的另一端和功率半导体开关 Q_{14} 的另一端，功率半导体开关 Q_{11} 与功率半导体开关 Q_{12} 的连接点连接于电容 C' 和电感 L' 构成的谐振电路的一端，谐振电路的另一端连接于变压器 T' 的原边线圈的一端，变压器 T' 的原边线圈的另一端连接于功率半导体开关 Q_{13} 与功率半导体开关 Q_{14} 的连接点，直流母线电容 C_B ' 的前述一端为第 1 个功率变换器的第三端 X_3 ，直流母线电容 C_B ' 的另一端为第 1 个功率变换器的第四端 X_4 ，整流桥包括 4 个整流二极管，整流二极管 D_1' 的一端连接于整流二极管 D_3' 一端，整流二极管 D_1' 的另一端连接于整流二极管 D_2' 一端，整流二极管 D_3' 的另一端连接于整流二极管 D_4' 一端，整流二极管 D_2' 的另一端连接于整流二极管 D_4' 另一端，整流二极管 D_1' 的前述一端为变换器的第五端 X_5 ，整流二极管 D_2' 的另一端为变换器的第六端 X_6 ，变压器 T' 的输出端分别连接于整流二极管 D_1' 与整流二极管 D_2' 的连接点以及整流二极管 D_3' 与整流二极管 D_4' 的连接点，其中变压器 T' 可以是中间抽头变压器，具有两个副边线圈，两个副边线圈并联连接，变压器 T' 也可以具有单个副边线圈。

在实施例中，每一个功率单元 70 中第 1 个全桥谐振变换器的第三端 X_3 为功率单元 70 的第一端 X_1 ，第 1 个全桥谐振变换器的第四端 X_4 连接第二个全桥谐振变换器的第三端 X_3 ，依次类推，第 $M-1$ 个全桥谐振变换器的第四端 X_4 连接第 M 个全桥谐振变换器的第三端 X_3 ，第 M 个全桥谐振变换器的第四端 X_4 为功率单元 70 的第二端 X_2 。每一个功率单元 70 中所有的全桥谐振变换器器的第五端 X_5 连在一起，而第六端 X_6 连在一起。

在本实施例中，每一个功率单元对应的本地控制器可以输出 $4 \times M$ 个本地控制信号，用以控制全桥谐振变换器 701 中功率半导体开关 $Q_{11}-Q_{M4}$ 的导通和断开，即，功率半导体开关 $Q_{11}-Q_{M4}$ 均需要一个本地控制信号。

如图 13 所示, 每一个功率单元 70 还包括 M 个驱动电路 702, 驱动电路 702 与 M 个全桥谐振变换器 701 一一对应, 每一个驱动电路 702 接收对应的本地控制信号, 并输出至少一驱动信号来分别驱动对应的功率半导体开关的导通和断开, 具体而言, 每一个驱动电路 702 接收对应的 4 个本地控制信号, 并输出 4 个驱动信号来分别驱动对应的功率半导体开关的导通和断开, 以第 1 个全桥谐振变换器 701 所对应的驱动电路 702 为例, 该驱动电路输出 4 个驱动信号分别驱动功率半导体开关 Q_{11} - Q_{14} 的导通和断开。

在其它实施例中, 每一个功率单元 70 还包括多个驱动电路, 驱动电路的数量等于 $4 \times M$, 每一个驱动电路连接对应的一个功率半导体开关, 并且接收一个对应的本地控制信号以输出一个驱动信号来驱动对应的功率半导体开关的导通和断开, 以第 1 个全桥谐振变换器 701 所对应的 4 个驱动电路为例, 4 个驱动电路分别连接功率半导体开关 Q_{11} - Q_{14} 并且每一个驱动电路输出一个驱动信号来驱动对应的功率半导体开关 Q_{11} - Q_{14} 的导通和断开。

图 14 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图。如图 14 中所示, 本实施例的模块化电源系统中每一个功率单元 70 的 M 个功率变换器 701 的拓扑结构均采用半桥谐振变换器。每一个半桥谐振变换器 701 包括半桥电路、谐振电路、变压器和整流桥, 其连接关系如图 14 中所示。以第 1 个半桥谐振变换器 701 为例, 半桥电路包括 2 个功率半导体开关和一个直流母线电容, 功率半导体开关 Q_{11} 的一端连接于直流母线电容 C_B' 的一端, 功率半导体开关 Q_{11} 的另一端连接于功率半导体开关 Q_{12} 的一端, 功率半导体开关 Q_{12} 的另一端连接于直流母线电容 C_B' 的另一端, 功率半导体开关 Q_{11} 与功率半导体开关 Q_{12} 的连接点连接于电容 C' 和电感 L' 构成的谐振电路的一端, 谐振电路的另一端连接于变压器 T' 的原边线圈的一端, 变压器 T' 的原边线圈的另一端连接于功率半导体开关 Q_{12} 的另一端, 直流母线电容 C_B' 的一端为第 1 个功率变换器的第三端 X_3 , 直流母线电容 C_B' 的另一端为第 1 个功率变换器的第四端 X_4 , 整流桥包括 4 个整流二极管, 整流二极管 D_1' 的一端连接于整流二极管 D_3' 一端,

整流二极管 D_1' 的另一端连接于整流二极管 D_2' 一端，整流二极管 D_3' 的另一端连接于整流二极管 D_4' 一端，整流二极管 D_2' 的另一端连接于整流二极管 D_4' 另一端，整流二极管 D_1' 的一端为变换器的第五端 X_5 ，整流二极管 D_2' 的另一端为变换器的第六端 X_6 ，变压器 T' 的输出端分别连接于整流二极管 D_1' 与整流二极管 D_2' 的连接点以及整流二极管 D_3' 与整流二极管 D_4' 的连接点，其中变压器 T' 可以是中间抽头变压器，具有两个副边线圈，两个副边线圈并联连接，变压器 T' 也可以具有单个副边线圈。

在本实施例中，每一个功率单元 70 中第 1 个半桥谐振变换器的第三端 X_3 为功率单元 70 的第一端 X_1 ，第 1 个半桥谐振变换器的第四端 X_4 连接第二个半桥谐振变换器的第三端 X_3 ，依次类推，第 $M-1$ 个半桥谐振变换器的第四端 X_4 连接第 M 个半桥谐振变换器的第三端 X_3 ，第 M 个半桥谐振变换器的第四端 X_4 为功率单元 70 的第二端 X_2 。每一个功率单元 70 中所有的半桥谐振变换器器的第五端 X_5 连在一起，而第六端 X_6 连在一起。

在本实施例中，每一个功率单元对应的本地控制器可以输出 $2 \times M$ 个本地控制信号，用以控制半桥谐振变换器 701 中功率半导体开关 $Q_{11}-Q_{M2}$ 的导通和断开，即，功率半导体开关 $Q_{11}-Q_{M2}$ 均需要一个本地控制信号。

如图 14 所示，每一个功率单元 70 还包括 M 个驱动电路 702，驱动电路 702 与 M 个半桥谐振变换器 701 一一对应，每一个驱动电路 702 接收对应的本地控制信号，并输出至少一驱动信号来分别驱动对应的功率半导体开关的导通和断开，具体而言，每一个驱动电路 702 接收对应的 2 个本地控制信号，并输出 2 个驱动信号来分别驱动对应的功率半导体开关的导通和断开，以第 1 个半桥谐振变换器 701 所对应的驱动电路 702 为例，该驱动电路输出 2 个驱动信号分别驱动功率半导体开关 $Q_{11}-Q_{12}$ 的导通和断开。

在其它实施例中，每一个功率单元 70 还包括多个驱动电路，驱动电路的数量等于 $2 \times M$ ，每一个驱动电路连接对应的一个功率半导体开关，并且接收一个对应的本地控制信号并输出一个驱动信号来驱动对应的功率半导体开关的导通和断开，以第 1 个半桥谐振变换器 701 所对应的 2

个驱动电路为例，2 个驱动电路分别连接功率半导体开关 Q_{11} - Q_{12} 并且每一个驱动电路输出一个驱动信号来驱动对应的功率半导体开关 Q_{11} - Q_{12} 的导通和断开。

图 13 和图 14 的模块化电源系统中的 M 个功率变换器 701 可以为直流/直流 (DC/DC) 变换器，但是不以此为限，还可以是其它拓扑结构的变换器。

图 15 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图。如图 15 中所示，本实施例的模块化电源系统中每一个功率单元 70 的 M 个功率变换器 701 的拓扑结构同时采用全桥变换器和半桥变换器的组合。每一个全桥变换器的功率转换器 7011' 包括 4 个功率半导体开关，每一个半桥变换器 7012' 包括 2 个功率半导体开关，其连接关系如图 15 中所示。在本实施例中，全桥变换器的具体连接关系如图 8 所述，半桥变换器的具体连接关系如图 9 所示，在此不再赘述。类似的，相邻两个功率变换器 701 的其中一个的第四端 X_4 与另一个的第三端 X_3 连接，其中 M 为大于 1 的自然数。这样，第 1 个功率变换器 701 的第三端 X_3 即为该功率单元 70 的第一端 X_1 ，第 1 个功率变换器 701 的第四端 X_4 连接第 2 个功率变换器 701 的第三端 X_3 ，依次类推，第 M-1 个功率变换器 701 的第四端 X_4 连接第 M 个功率变换器 701 的第三端 X_3 ，第 M 个功率变换器 701 的第四端 X_4 为该功率单元 70 的第二端 X_2 。

本实施例中，每一个功率单元 70 对应的本地控制器所输出的本地控制信号的数量等于功率单元 70 中功率半导体开关的数量，这些本地控制信号分别控制全桥变换器和半桥变换器 701 中的功率半导体开关的导通和断开，即，每一个功率半导体开关均需要一个本地控制信号。

如图 15 所示，每一个功率单元 70 还包括 M 个驱动电路 702，驱动电路 702 与 M 个功率变换器 7011' 和 7012' 一一对应，每一个驱动电路 702 接收对应的本地控制信号，并输出至少一驱动信号来分别驱动对应的功率半导体开关的导通和断开，具体而言，功率变换器 7011' 对应的驱动电路 702 接收对应的 4 个本地控制信号，并输出 4 个驱动信号来分别驱动对应的功率半导体开关的导通和断开，功率变换器 7012' 对应的驱动电路

702 接收对应的 2 个本地控制信号,并输出 2 个驱动信号来分别驱动对应的功率半导体开关的导通和断开。

在其它实施例中,每一个功率单元 70 还包括多个驱动电路,功率单元中驱动电路的数量等于其对应的功率单元中功率半导体开关的数量,

- 5 每一个驱动电路连接对应的一个功率半导体开关,并且接收一个对应的本地控制信号以输出一个驱动信号来驱动对应的功率半导体开关的导通和断开,以功率变换器 7011'所对应的 4 个驱动电路为例,4 个驱动电路分别连接对应的功率半导体开关并且每一个驱动电路输出一个驱动信号来驱动对应的功率半导体开关的导通和断开,以及以功率变换器 7012' 10 所对应的 2 个驱动电路为例,2 个驱动电路分别连接对应的功率半导体开关并且每一个驱动电路输出一个驱动信号来驱动对应的功率半导体开关的导通和断开。

- 尽管图 15 仅仅示出了本实施例的模块化电源系统中每一个功率单元 70 的 M 个功率变换器 701 的拓扑结构同时采用全桥变换器和半桥变换器 15 的组合。然而本发明不限于此,如前所述,本发明的模块化电源系统中的每一个功率单元 70 中的 M 个功率变换器 701 的拓扑结构可以为全桥变换器、半桥变换器、中性点可控三电平变换器、二极管钳位三电平变换器、飞跨电容三电平变换器、全桥 LLC 谐振变换器和半桥 LLC 谐振变换器中的两种或两种以上的组合。

- 20 本发明的模块化电源系统中的每一个功率单元 70 中的 M 个功率变换器 701 中每一个功率变换器 701 可以被配置为包括:至少一个功率半导体开关,例如前述的功率半导体开关 Q_{11} - Q_{14} 、 Q_{11} - Q_{12} 、 Q_{11} - Q_{18} 、 Q_{M1} - Q_{M4} 、 Q_{M1} - Q_{M2} 或 Q_{M1} - Q_{M8} ,其中每一个前述的本地控制信号被配置为控制对应的功率半导体开关的导通和断开。

- 25 本发明模块化电源系统中的每一个驱动电路 702 与对应的本地控制器 91 可以直接电连接,或者通过磁隔离器件连接,或者通过光隔离器件连接。

图 16 是说明本发明本地控制器与驱动电路之间连接方式的示意图。如图 16 中所示,作为一个实施例,驱动电路 72 (702) 与对应的本地控

制器 91 通过磁隔离器件 T 连接，传输本地控制信号。采用磁隔离器件具有高可靠性、高性能、低功耗等优点。

作为一个实施例，驱动电路 72 (702) 与对应的本地控制器 91 也可以通过光隔离器件连接。采用光隔离器件具有信号单向传输、输入端与
5 输出端完全实现了电气隔离、输出信号对输入端无影响、抗干扰能力强、工作稳定、无触点、使用寿命长、传输效率高等优点。

作为一个实施例，驱动电路 72 (702) 与对应的本地控制器 91 直接电连接。

本发明的模块化电源系统中的各驱动电路 72 (702) 可以为彼此相同
10 或彼此不相同。

如图 6-图 15 中所示，本实施例的模块化电源系统中的各驱动电路 702 为彼此相同。

图 17 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图。如图 17 中所示，本实施例的模块化电源系统中的一个功率单元中包括 5 个 H 桥
15 电路的功率变换器 701。其中 4 个功率变换器 701 的驱动电路 721 不同于中间的功率变换器 701 的驱动电路 722。

图 18 是说明本发明驱动电路的驱动方式的示意图。如图 18 中所示，驱动电路 722 包括原边电路 7221、副边电路 7222 以及磁隔离器件 T_1 ，原边电路 7221 接收本地控制器 91 输出的本地控制信号，其中本地控制
20 信号中只包含驱动成分，该本地控制信号是一个弱信号。原边电路 7221 将本地控制信号调制成为高低电平的窄脉冲信号，其中该高低电平的窄脉冲信号包括驱动逻辑脉冲，该窄脉冲信号经由磁隔离器件（例如，高频隔离变压器） T_1 传输副边电路 7222，副边电路 7222 将高低压窄脉冲信号还原成 PWM 信号并经过放大处理以输出驱动信号来驱动功率半导
25 体开关 Q 的导通和断开。功率单元 70 还包括电源电路 7223，用以给原边电路 7221 和副边电路 7222 提供电源。电源电路 7223 接收的电源可以来自于辅助源 93，或者其他外部电源，电源电路 7223 将接收到的电源转换为给原边电路 7221 供电的电压 V_1 以及给副边 7222 供电的电压 V_2 ，且电压 V_1 和 V_2 之间是相互隔离的。在其它实施例中，电源电路 7223 还包

括原边电源电路（未示出）、隔离变压器（未示出）以及副边电源电路（未示出），原边电源电路将接收到的电源转换为原边电源给原边电路 7221 提供直流电 V_1 ，同时原边电源电路将接收到的电源转换为功率脉冲即电源脉冲通过隔离变压器传输给副边电源电路，再由副边电源电路将功率脉冲转换为副边电源给副边电路 7222 提供直流电 V_2 。

为简化驱动电路 722，节省成本，提高驱动电路 72 的可靠性，本发明中各功率变换器的驱动方式可采用“简易驱动”。

图 19 是说明本发明驱动电路的另一种驱动方式的示意图。如图 19 中所示，本实施例的模块化电源系统中每一个驱动电路 721 包括原边电路 7211、副边电路 7212 和磁隔离器件（例如，隔离变压器） T_2 。原边电路 7211 接收本地控制信号，其中本地控制信号包括驱动成分和功率成分，该本地控制信号是一个强信号，原边电路 7211 将本地控制信号调制成为正负窄脉冲信号 Y_{MN} ，经由磁隔离器件 T_2 传输给副边电路 7212，副边电路 7212 将窄脉冲信号 Y_{MN} 解调成驱动信号以驱动功率半导体开关 Q 的导通和断开，其中该正负窄脉冲信号 Y_{MN} 包括驱动逻辑脉冲以及功率脉冲，功率半导体开关 Q 例如包括栅极 G 、集电极 C 和发射极 E ，驱动信号被输出至功率半导体开关的栅极 G 。图 19 所述的驱动方式为“简易驱动”，这种“简易驱动”省去了大量的电源电路，使得驱动电路 721 的器件减少了很多，整个驱动电路 721 的结构得到简化，功耗得以减小，可靠性得到了提高。

图 20 是本发明一个实施例的驱动电路的电路图。图 20 基于图 19 并且为图 19 中驱动电路的副边电路的具体化。图 21 是本发明一个实施例的驱动电路的时序图。如图 20 中所示，本发明的驱动电路主要包括磁隔离器件 T_2 和一个双向稳压管 W ，其它电阻 R_{11} 、 R_{12} 、 R_{13} 、 R 、 R_{21} 、 R_{22} 、 R_{23} 、栅极电容 C_{GE} 、二极管 D_{11} 、 D_{21} 、稳压管 W_1 、 W_2 和开关管 M_1 和 M_2 为辅助元件，其连接关系如图 20 中所示。

结合图 20 和图 21，本地控制器 91 发出的本地控制信号 PWM 经原边电路调制后形成正负脉冲信号 Y_{MN} ，如图 21 中 Y_{NM} 所示。该正负脉冲信号 Y_{NM} 经磁隔离器件（例如，隔离变压器） T_2 传输至副边电路，触发

开关管 M_1 和 M_2 动作后向 IGBT 栅极电容 C_{GE} 充放电，形成驱动功率半导体开关所需的驱动信号 V_{GE} ， V_{GE} 的波形图基本与本地控制信号 PWM 相近，如图 21 所示。为了减小磁隔离器件即隔离变压器 T_2 的磁芯，且使磁芯不饱和，正负脉冲信号 Y_{NM} 的刷新脉冲的宽度可能只有几 μs 。以功率半导体开关 Q 的栅极-发射级电压 V_{GE} 为正进行说明，几 μs 的正脉冲一次给栅极电容 C_{GE} 充的电，就可以使得驱动信号 V_{GE} 达到功率半导体开关的栅极开通电压，例如 +15V。然而要维持功率半导体开通导通，其需要的正脉冲可能有几十 μs 到上百 μs 甚至更长，因此，如果没有刷新脉冲，栅极电容 C_{GE} 会缓慢放电导致驱动信号 V_{GE} 逐渐降低，达不到功率半导体开关正常导通所需的栅极开通电压，因此需要刷新脉冲每隔一段时间对栅极电容 C_{GE} 充电以维持驱动信号 V_{GE} 在正常的栅极开通电压。至于刷新脉冲的时间间隔，主要由栅极电容 C_{GE} 的放电时间常数确定，原则是在下一个刷新脉冲来之前， V_{GE} 不至于下降太多，例如下一个刷新脉冲到来之前驱动信号 V_{GE} 不能低于 14V。

图 20 的驱动电路接收的本地控制信号包括驱动逻辑脉冲以及功率脉冲，因而该驱动电路就不需要外接电源，也不需要对本本地控制信号进行放大处理，相对于图 18 的驱动电路省去了大量的电源电路，使得驱动电路 721 的器件减少了很多，整个驱动电路 721 的结构得到简化，功耗得以减小，可靠性得到了提高。

在本发明的上述实施例中，如图 6-图 15 所示，每一个驱动电路 702 可以采用图 19 所描述的驱动电路，磁隔离器件 T_2 传输的本地控制信号中包含驱动逻辑脉冲以及功率脉冲。

在本发明的上述实施例中，如图 6-图 15 所示，每一个驱动电路 702 可以采用图 18 所描述的驱动电路，磁隔离器件 T_1 传输本地控制信号中包含的驱动逻辑脉冲。

在本发明的上述实施例中，如图 6-图 15 所示，一部分驱动电路 702 可以采用图 19 所描述的驱动电路，磁隔离器件传输本地控制信号中包含的驱动逻辑脉冲以及功率脉冲；以及另一部分驱动电路 702 采用图 18 所描述的驱动电路，磁隔离器件传输本地控制信号中包含的驱动逻辑脉冲。

在本发明的上述实施例中，如图 17 所示，驱动电路 721 可以采用图 19 所描述的驱动电路，磁隔离器件传输本地控制信号中包含的驱动逻辑脉冲以及功率脉冲；以及驱动电路 722 采用图 18 所描述的驱动电路，磁隔离器件传输本地控制信号中包含的驱动逻辑脉冲。

- 5 在本发明的上述实施例中，如图 17 所示，驱动电路 722 可以采用图 19 所描述的驱动电路，磁隔离器件传输本地控制信号中包含的驱动逻辑脉冲以及功率脉冲；以及驱动电路 721 采用图 18 所描述的驱动电路，磁隔离器件传输本地控制信号中包含的驱动逻辑脉冲。

- 10 图 22 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图。如图 22 中所示，本实施例的模块化电源系统中的每一个功率变换器 701 每一个功率变换器的第三端 X_3 和第四端 X_4 之间并联有开关 K_{12} ，例如， K_{12} 是常开开关，当该功率变换器正常工作时，开关 K_{12} 断开，当该功率变换器 401 发生故障时，开关 K_{12} 导通。

- 15 作为一个实施例，开关 K_{12} 是半控型器件，例如晶闸管，或者全控型器件，例如 IGBT，或者机械开关。

- 20 如图 22 中所示，当任一功率变换器 701 发生故障时，故障检测电路（图 22 中未示出）检测到功率变换器 701 的各类故障，并根据故障类型输出对应的故障信号至本地控制器 91，本地控制器 91 会接收到反映对应的功率变换器 701 的故障类型的故障信号，并输出对应的保护信号以控制对应的功率变换器 701 的开关 K_{12} 导通，并且本地控制器 91 停止输出控制对应的功率变换器 701 运行的本地控制信号。

- 25 如图 22 中所示，各功率变换器 701 中的开关 K_{12} 根据该功率变换器 701 自己反馈的故障信号来控制。在功率单元 70 的运行过程中，当本地控制器 91 接收到任一个功率变换器 701 反馈的故障信号后，根据该故障信号控制对应的功率变换器中的开关 K_{12} 闭合，同时停止输出控制该故障的功率变换器 701 运行的本地控制信号，即该故障的功率变换器 701 被旁路掉。以一个功率变换器发生故障为例说明，如果第 1 个功率变换器 701 发生故障，本地控制器 91 会接收到反映第 1 个功率变换器的故障类型的故障信号，并输出保护信号 S_{F1} 以控制第 1 个功率变换器 701 的开

关 K_{12} 导通，并且本地控制器 91 停止输出控制第 1 个功率变换器 701 运行的本地控制信号。以 2 个功率变换器发生故障为例说明，如果第 1 个功率变换器 701 和第 M 个功率变换器均发生故障，本地控制器 91 会接收到反映第 1 个功率变换器和第 M 个功率变换器的故障类型的故障信号，并输出保护信号 S_{F1} 和 S_{FM} 以分别控制第 1 个功率变换器 701 和第 M 个功率变换器 701 的开关 K_{12} 导通，并且本地控制器 91 停止输出控制第 1 个功率变换器 701 和第 M 个功率变换器 701 运行的本地控制信号。

图 23 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图。如图 23 中所示，本实施例的模块化电源系统中的保护信号的数量为 M，与前述 M 个功率变换器 701 一一对应，本实施例的模块化电源系统的本地控制信号根据每一个保护信号 S_{F1} 至 S_{FM} 以分别控制对应的功率变换器 701 的开关 K_{12} 导通，并且本地控制器 91 停止输出控制功率单元 70 中每一个功率变换器 701 运行的本地控制信号。

如图 23 中所示，在功率单元 70 的运行过程中，当本地控制器 91 接收到任一个功率变换器 701 反馈的故障信号后，本地控制器 91 根据故障信号输出保护信号 S_{F1} , ..., S_{FM} 以控制所有功率变换器 701 中的 K_{12} 闭合，同时停止输出本地控制信号，即该功率单元 70 整体被旁路。

图 24 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图。如图 24 中所示，本实施例的模块化电源系统中的保护信号 S_F 的数量为 1，本地控制器 91 输出保护信号 S_F 以控制所有 M 个功率变换器的开关 K_{12} 导通，并且本地控制器 91 停止输出本地控制信号以控制功率单元 70 中每一个功率变换器 701 的运行。

如图 24 中所示，功率单元 70 内所有功率变换器的开关 K_{12} 由本地控制器 91 输出的保护信号 S_F 控制。在功率单元 70 的运行过程中，当本地控制器 91 接收到任一个功率变换器 701 反馈的故障信号后，本地控制器 91 根据故障信号输出一个保护信号 S_F 以控制所有功率变换器 701 中的开关 K_{12} 闭合，同时停止输出本地控制信号，即该功率单元 70 整体被旁路。

图 25 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图。如图 25

中所示，本实施例的模块化电源系统中的功率单元 70 的第一端 X_1 和第二端 X_2 之间并联有第三开关 K_3 ，当功率单元 70 正常工作时，第三开关 K_3 断开，当功率单元 70 发生故障时，第三开关 K_3 导通。

如图 25 中所示，当任一所述功率变换器 701 发生故障时，本地控制器 91 会接收到反映对应的功率变换器 701 的故障类型的故障信号，并输出一保护信号 S_F' 以控制开关 K_3 导通，并且本地控制器 91 停止输出控制功率单元 70 中每一个功率变换器 701 运行的本地控制信号。

如图 25 中所示，在功率单元 70 的输出端并联常开开关 K_3 ， K_3 受控于本地控制器 91。在功率单元 70 运行过程中，当本地控制器 91 接收到任一个功率变换器 701 反馈的故障信号后，本地控制器 91 根据故障信号输出保护信号 S_F' 以控制开关 K_3 闭合，同时停止输出该功率单元 70 内所有本地控制信号，即该功率单元 70 整体被旁路。

图 26 是本发明另一个实施例的模块化电源系统的方框图。如图 26 中所示，本实施例的模块化电源系统中的功率单元 70 由 5 个级联的 H 桥电路的功率变换器组成。在功率单元 70 的输出端并联常开开关 K_3 ， K_3 受控于本地控制器 91。在功率单元 70 运行过程中，任一 H 桥电路的功率变换器发生故障并向本地控制器 91 反馈故障信号后，本地控制器 91 根据故障信号输出保护信号 S_F' 以控制开关 K_3 闭合，同时停止输出控制该功率单元 70 运行的所有本地控制信号，即该功率单元 70 整体被旁路。

本发明通过将多个功率变换器组成一个功率单元，利用一套本地控制器、光纤控制多个功率变换器的方法，可大大减少本地控制器、光纤的数量，简化结构设计，降低成本，提高可靠性。

本发明适用于所有 AC/DC、DC/AC、DC/DC 功率变换器连接的拓扑结构，应用广泛。

以上具体地示出和描述了本发明的示例性实施例。应可理解的是，本发明不限于这里描述的详细结构、设置方式或实现方法；相反，本发明意图涵盖包含在所附权利要求的精神和范围内的各种修改和等效设置。最后应说明的是：以上各实施例仅用以说明本发明的技术方案，而非对其限制；尽管参照前述各实施例对本发明进行了详细的说明，本领域

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发明各实施例技术方案的范围。

5

10

15

20

25

权利要求

1. 一种模块化电源系统，被配置为包括：

一个主控制器，被配置为输出主控制信号；

5 N 个本地控制器，其中每一个所述本地控制器被配置为接收所述主控制信号，以输出至少一个本地控制信号；以及

 N 个功率单元，与所述 N 个本地控制器一一对应，其中每一个所述功率单元包括第一端和第二端，每一个所述功率单元的所述第二端连接到相邻的一个所述功率单元的所述第一端，每一个所述功率单元被配置
10 为包括 M 个功率变换器，其中每一个所述功率变换器包括第三端和第四端，每一个所述功率变换器的所述第四端连接到相邻的一个所述功率变换器的所述第三端，且第一个所述功率变换器的所述第三端为所述功率单元的所述第一端，第 M 个所述功率变换器的所述第四端为所述功率单元的所述第二端，每一个所述功率变换器被配置为根据对应的所述本地
15 控制器输出的所述本地控制信号运行，

 其中 N 和 M 均为大于 1 的自然数。

2. 如权利要求 1 所述的模块化电源系统，被配置为还包括：

 N 个辅助电源，与所述 N 个本地控制器一一对应，其中每一个所述辅助电源被配置为给对应的所述本地控制器提供电源。

20 3. 如权利要求 1 所述的模块化电源系统，其中所述功率变换器为 AC/DC 变换器、DC/AC 变换器和 DC/DC 变换器中的任何一种。

 4. 如权利要求 1 所述的模块化电源系统，其中所述 M 个功率变换器的直流母线电压为全部相同，部分相同，或全部不相同。

25 5. 如权利要求 1 所述的模块化电源系统，其中所述 M 个功率变换器的拓扑结构为全部相同，或部分相同。

 6. 如权利要求 5 所述的模块化电源系统，其中每一个所述功率单元中的所述 M 个功率变换器的拓扑结构全部为全桥变换器、半桥变换器、中性点可控三电平变换器、二极管钳位三电平变换器、飞跨电容三电平变换器、全桥谐振变换器和半桥谐振变换器中的一种。

7. 如权利要求 5 所述的模块化电源系统，其中每一个所述功率单元中的所述 M 个功率变换器的拓扑结构为全桥变换器、半桥变换器、中性点可控三电平变换器、二极管钳位三电平变换器、飞跨电容三电平变换器、全桥谐振变换器和半桥谐振变换器中的两种或两种以上的组合。

5 8. 如权利要求 6 所述的模块化电源系统，其中每一个所述功率变换器被配置为包括：

至少一个功率半导体开关，其中每一个所述本地控制信号被配置为控制对应的所述功率半导体开关的导通和断开。

10 9. 如权利要求 7 所述的模块化电源系统，其中每一个所述功率变换器被配置为包括：

至少一个功率半导体开关，其中每一个所述本地控制信号被配置为控制对应的所述功率半导体开关的导通和断开。

10. 如权利要求 8 或 9 所述的模块化电源系统，其中每一个所述功率单元还包括：

15 M 个驱动电路，与所述 M 个功率变换器一一对应，其中每一个所述驱动电路被配置为连接于对应的所述功率变换器的所述功率半导体开关，接收对应的所述本地控制器输出的本地控制信号，以输出至少一个驱动信号来驱动对应的所述 M 个功率变换器中的所述功率半导体开关的导通和断开。

20 11. 如权利要求 8 或 9 所述的模块化电源系统，其中每一个所述功率单元还包括：

多个驱动电路，其中所述多个驱动电路的数量等于所述功率单元中所述至少一个功率半导体开关的数量，每一个所述驱动电路被配置为连接于对应的所述功率变换器的所述功率半导体开关，接收对应的所述本地控制器输出的本地控制信号，以输出驱动信号来驱动对应的所述功率半导体开关的导通和断开。

25 12. 如权利要求 10 所述的模块化电源系统，其中每一个所述驱动电路与对应的所述本地控制器直接电连接，或者通过磁隔离器件连接，或者通过光隔离器件连接。

13. 如权利要求 1 所述的模块化电源系统, 其中每一个所述本地控制器与所述主控制器通过磁隔离器件连接, 或者通过光隔离器件连接。

14. 如权利要求 11 所述的模块化电源系统, 其中每一个所述驱动电路与对应的所述本地控制器直接电连接, 或者通过磁隔离器件连接, 或者通过光隔离器件连接。

15. 如权利要求 10 所述的模块化电源系统, 其中各所述驱动电路为彼此相同或彼此不相同。

16. 如权利要求 11 所述的模块化电源系统, 其中各所述驱动电路为彼此相同或彼此不相同。

10 17. 如权利要求 10 所述的模块化电源系统, 其中每一个所述驱动电路包括磁隔离器件, 所述磁隔离器件传输所述本地控制信号中包含的驱动逻辑脉冲; 或者每一个所述驱动电路包括磁隔离器件, 所述磁隔离器件传输所述本地控制信号中包含的驱动逻辑脉冲以及功率脉冲; 或者每一个所述驱动电路包括磁隔离器件, 一部分所述驱动电路的所述磁隔离器件传输所述本地控制信号中包含的驱动逻辑脉冲, 另一部分所述驱动电路的所述磁隔离器件传输所述本地控制信号中包含的所述驱动逻辑脉冲以及功率脉冲。

18. 如权利要求 11 所述的模块化电源系统, 其中每一个所述驱动电路包括磁隔离器件, 所述磁隔离器件传输所述本地控制信号中包含的驱动逻辑脉冲; 或者每一个所述驱动电路包括磁隔离器件, 所述磁隔离器件传输所述本地控制信号中包含的驱动逻辑脉冲以及功率脉冲; 或者每一个所述驱动电路包括磁隔离器件, 一部分所述驱动电路的所述磁隔离器件传输所述本地控制信号中包含的驱动逻辑脉冲, 另一部分所述驱动电路的所述磁隔离器件传输所述本地控制信号中包含的所述驱动逻辑脉冲以及功率脉冲。

19. 如权利要求 5 所述的模块化电源系统, 其中所述至少一个本地控制信号的数量与所述功率变换器中的所述至少一个功率半导体开关的数量相同, 且每一个所述本地控制信号被配置为控制对应的所述功率半导体开关导通和断开。

20. 如权利要求 1 所述的模块化电源系统, 其中每一个所述功率变换器的所述第三端和所述第四端之间并联有开关, 当所述功率变换器正常工作时, 所述开关断开, 当所述功率变换器发生故障时, 所述开关导通。

21. 如权利要求 20 所述的模块化电源系统, 其中所述开关是半控型器件、全控型器件或机械开关。

22. 如权利要求 20 所述的模块化电源系统, 当任一所述功率变换器发生故障时, 所述本地控制器会接收到反映对应的所述功率变换器故障类型的故障信号, 并输出至少一个保护信号。

23. 如权利要求 22 所述的模块化电源系统, 其中所述本地控制器输出所述保护信号以控制对应的所述功率变换器的开关导通, 并且所述本地控制器停止输出控制对应的所述功率变换器运行的所述本地控制信号。

24. 如权利要求 22 所述的模块化电源系统, 其中所述至少一个保护信号的数量为 M , 所述本地控制器输出每一个所述保护信号以控制对应的所述功率变换器的所述开关导通, 并且所述本地控制器停止输出控制所述 M 个功率变换器运行的所述至少一个本地控制信号。

25. 如权利要求 22 所述的模块化电源系统, 其中所述至少一个保护信号的数量为 1, 所述本地控制器输出所述保护信号以控制所述 M 个功率变换器的所述开关导通, 并且所述本地控制器停止输出控制所述 M 个功率变换器运行的所述至少一个本地控制信号。

26. 如权利要求 1 所述的模块化电源系统, 其中所述功率单元的所述第一端和所述第二端之间并联有开关, 当所述功率单元正常工作时, 所述开关断开, 当所述功率单元发生故障时, 所述开关导通。

27. 如权利要求 26 所述的模块化电源系统, 其中, 当任一所述功率变换器发生故障时, 所述本地控制器会接收到反映对应的所述功率变换器故障类型的故障信号, 并输出一保护信号以控制所述开关导通, 并且所述本地控制器停止输出控制所述 M 个功率变换器运行的所述至少一个本地控制信号。

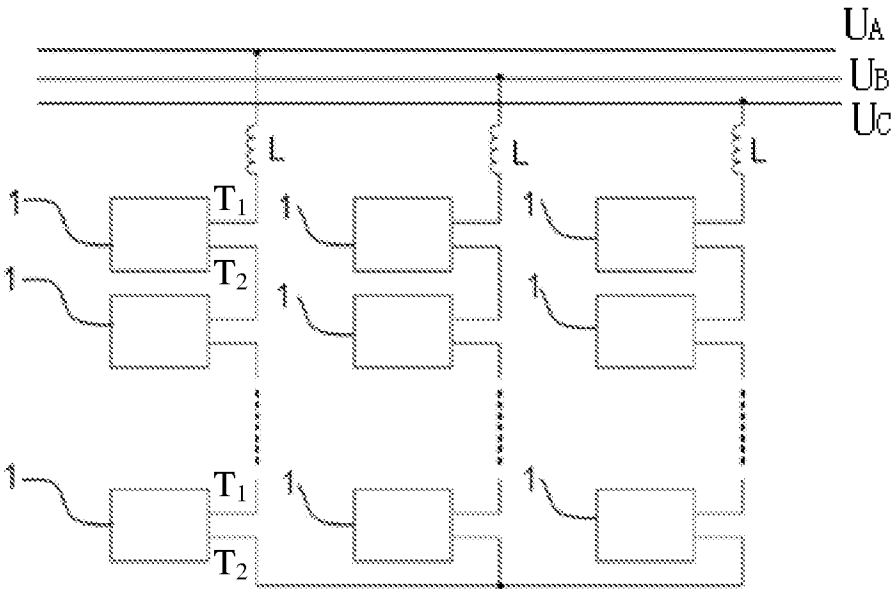


图 1

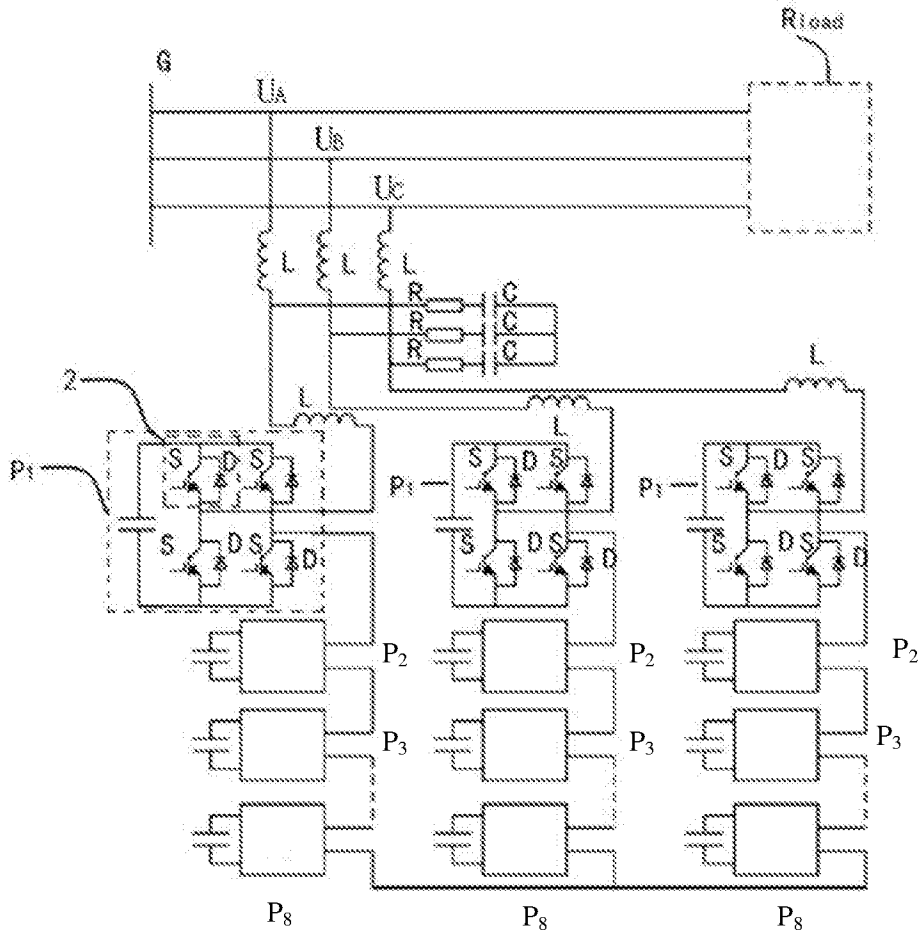


图 2

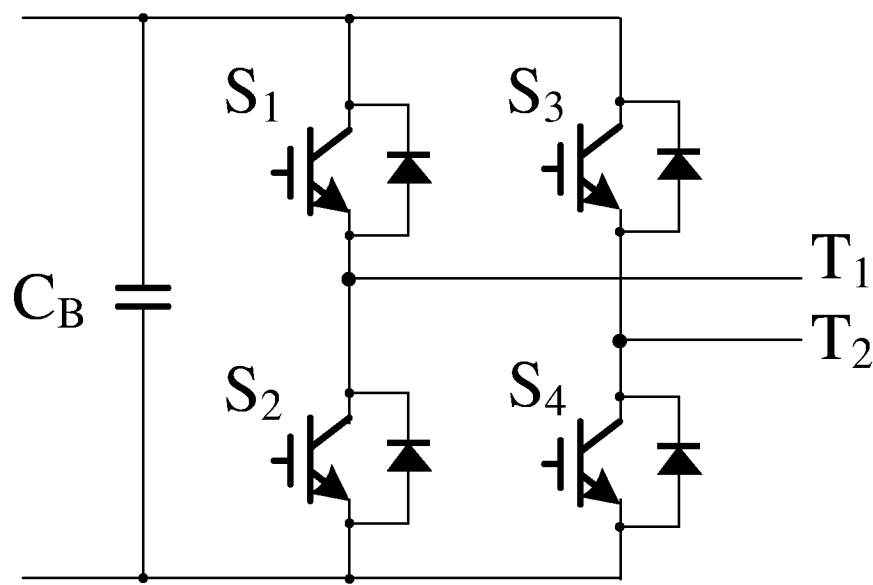


图 3

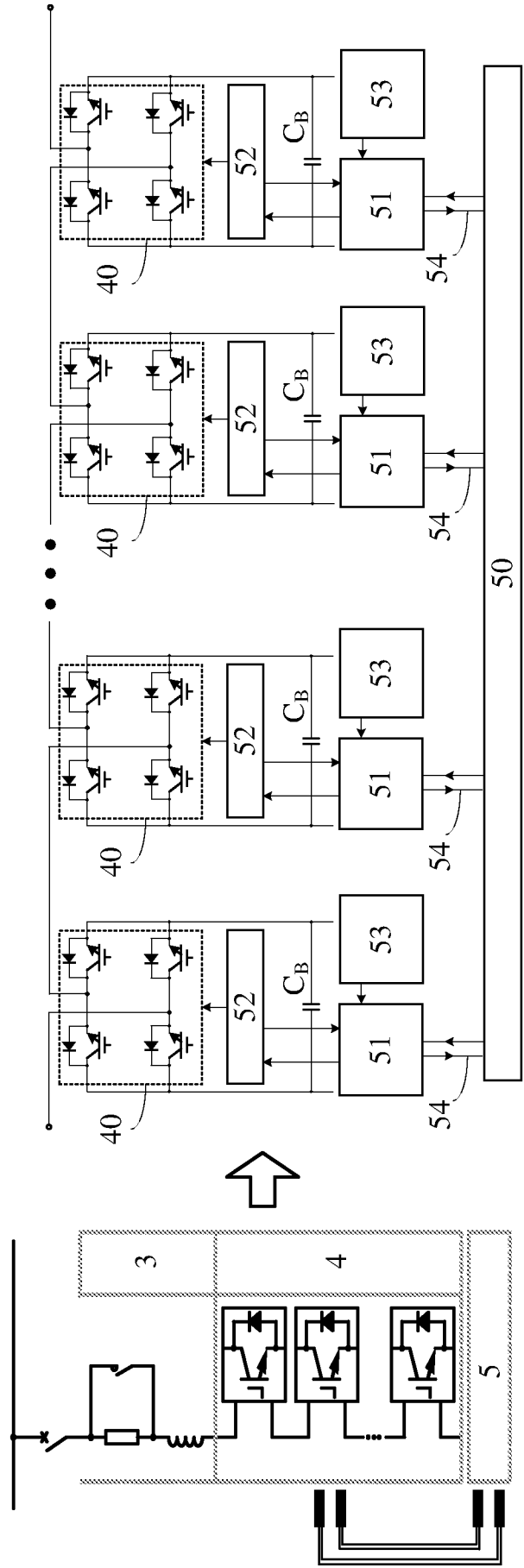
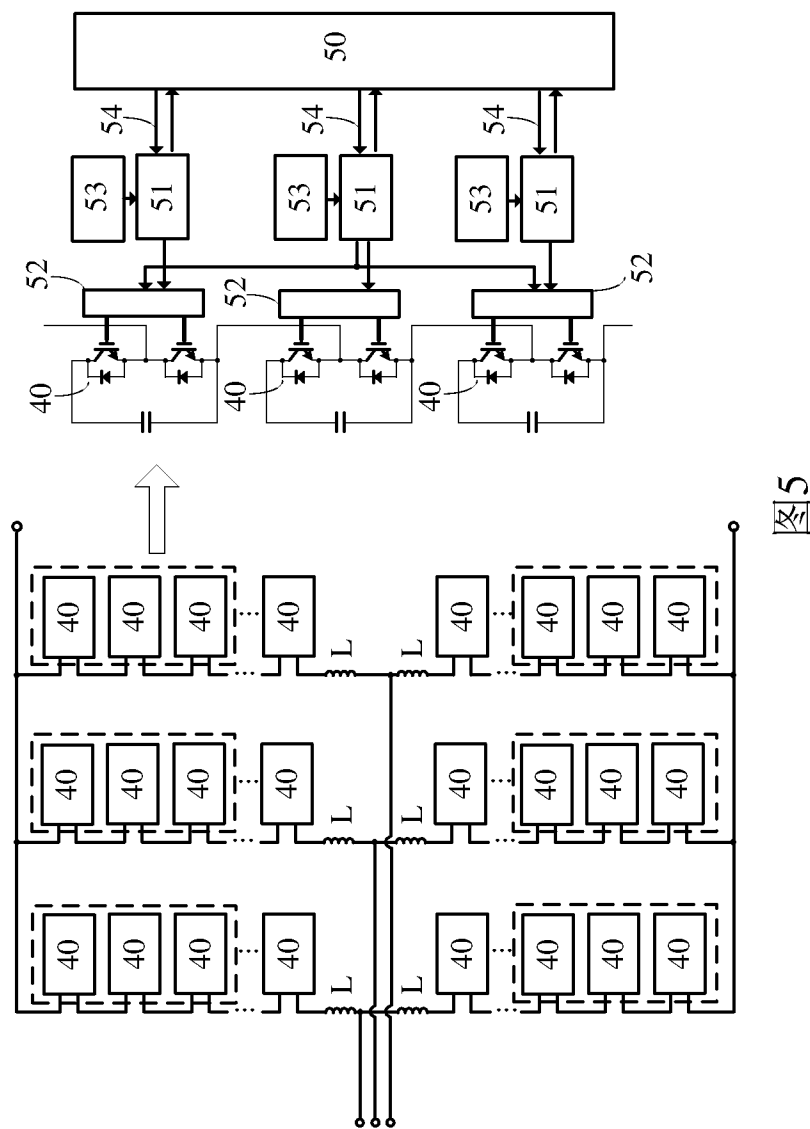


图4



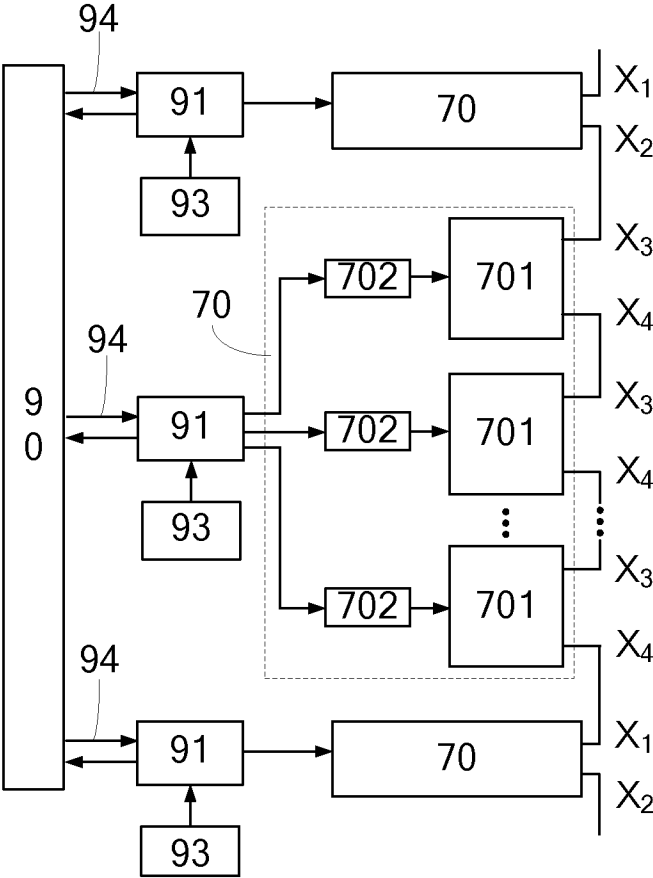


图 6

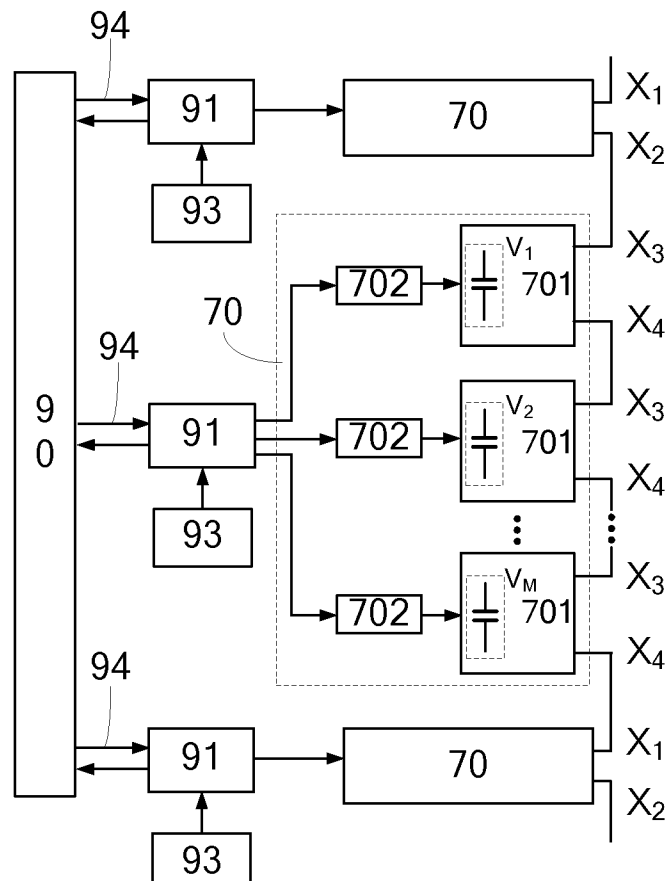


图 7

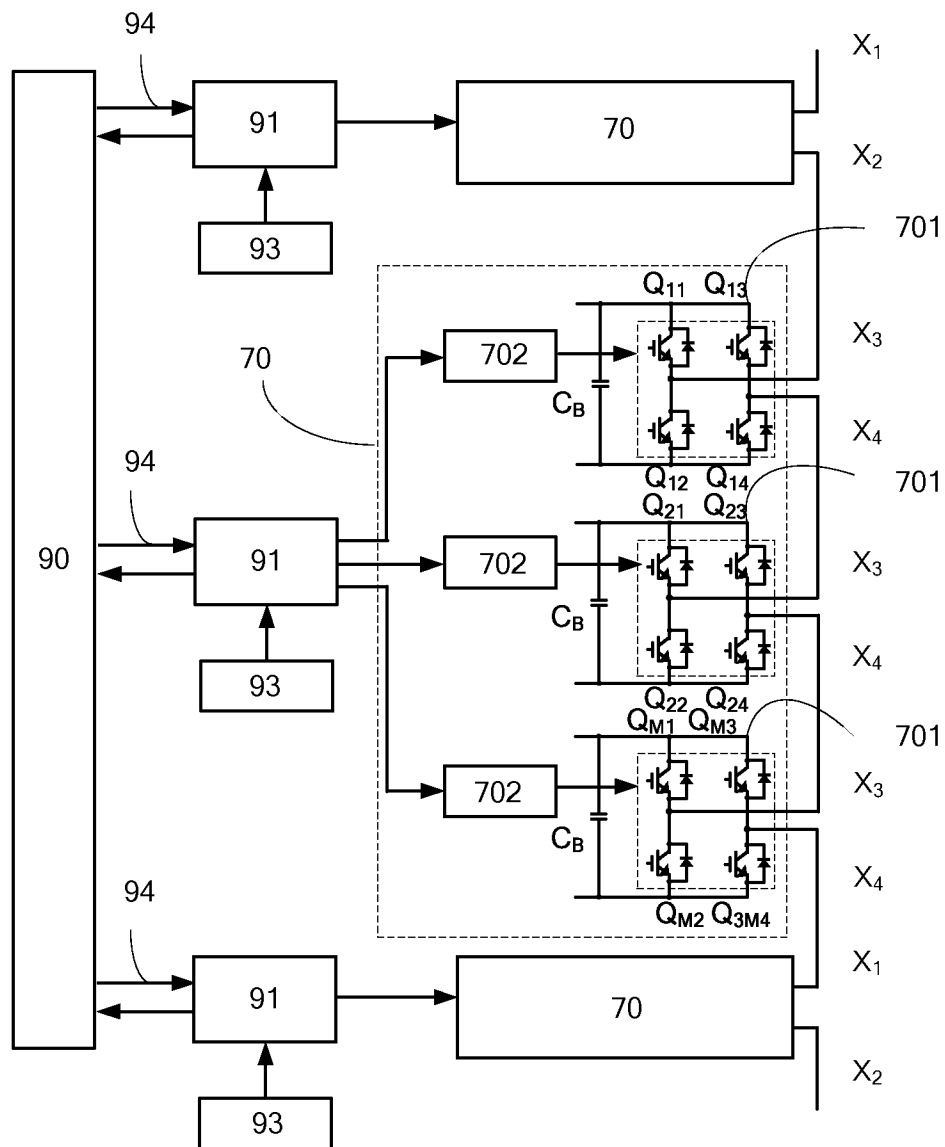


图 8

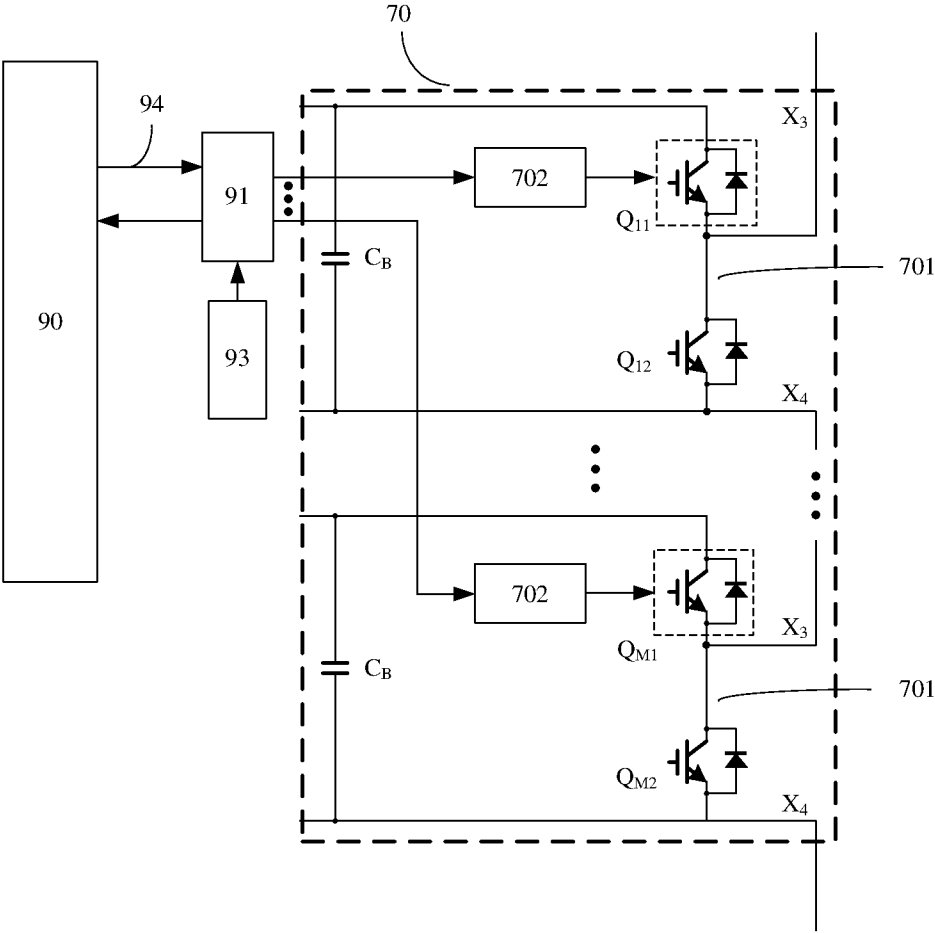


图 9

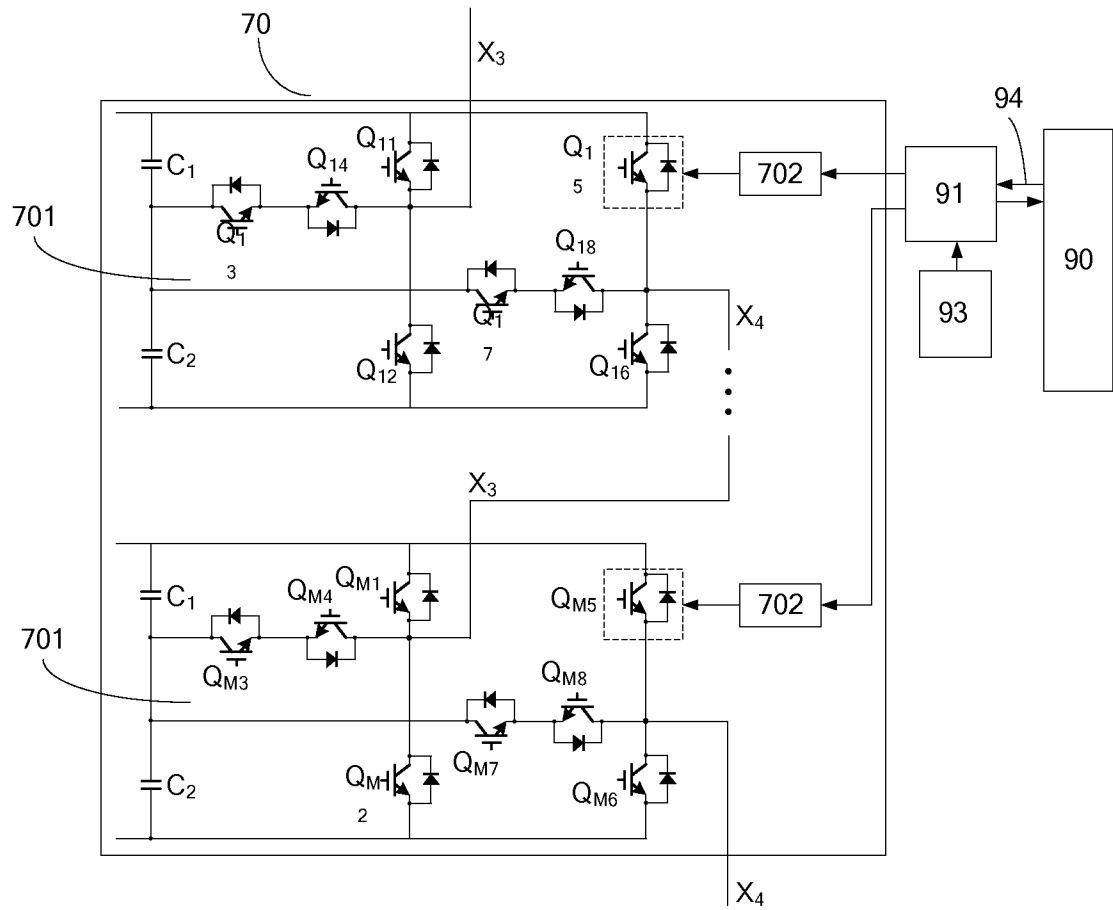


图 10

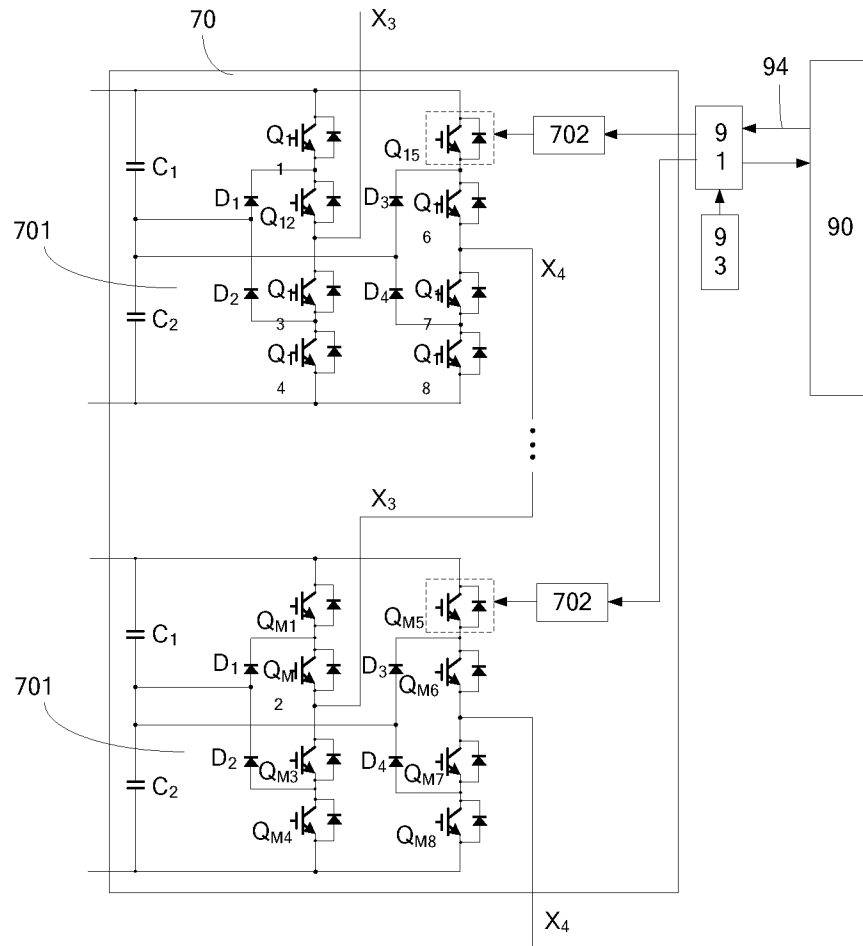


图 11

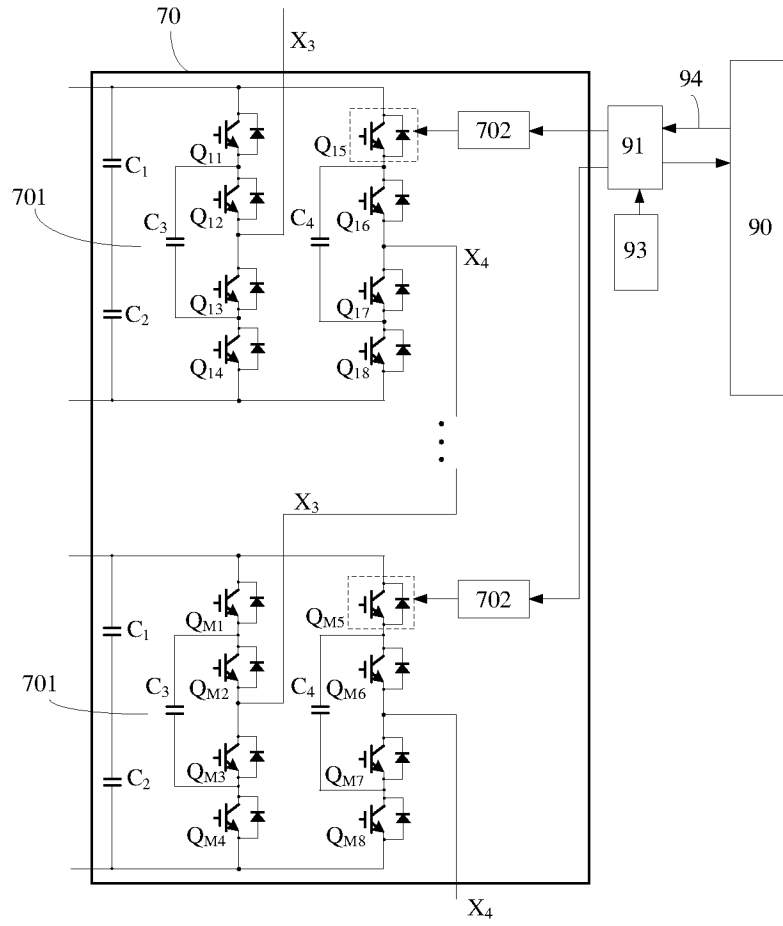
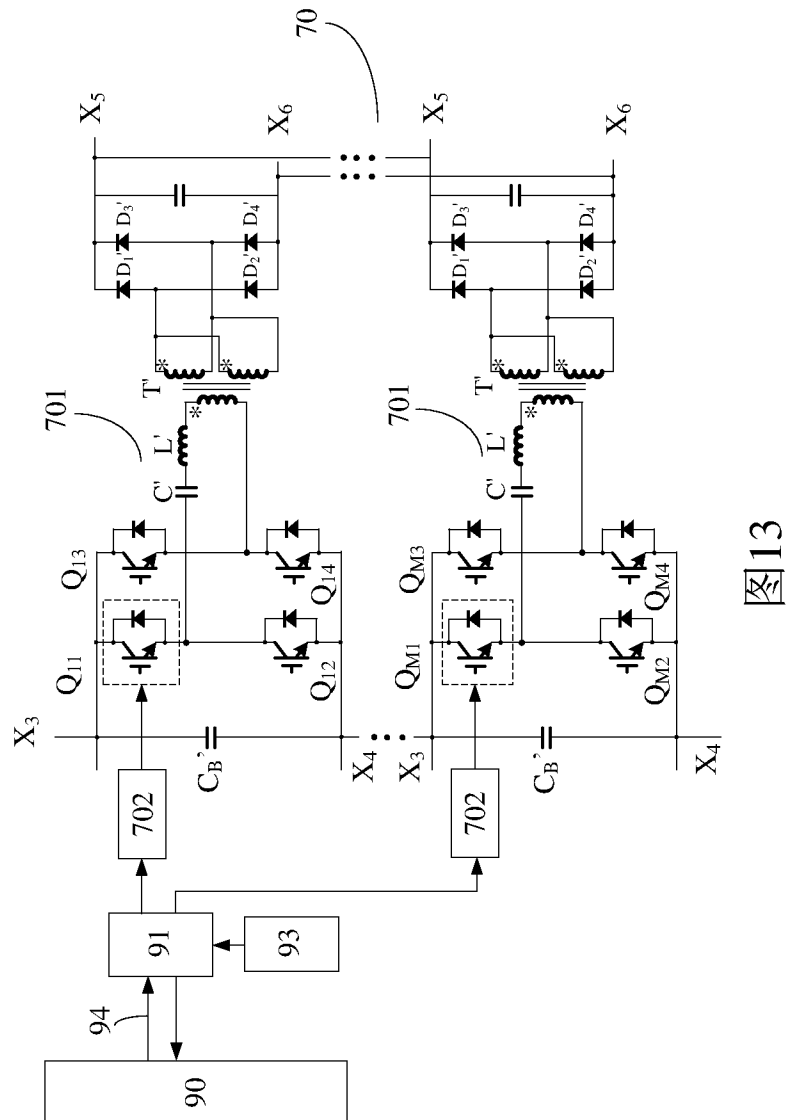
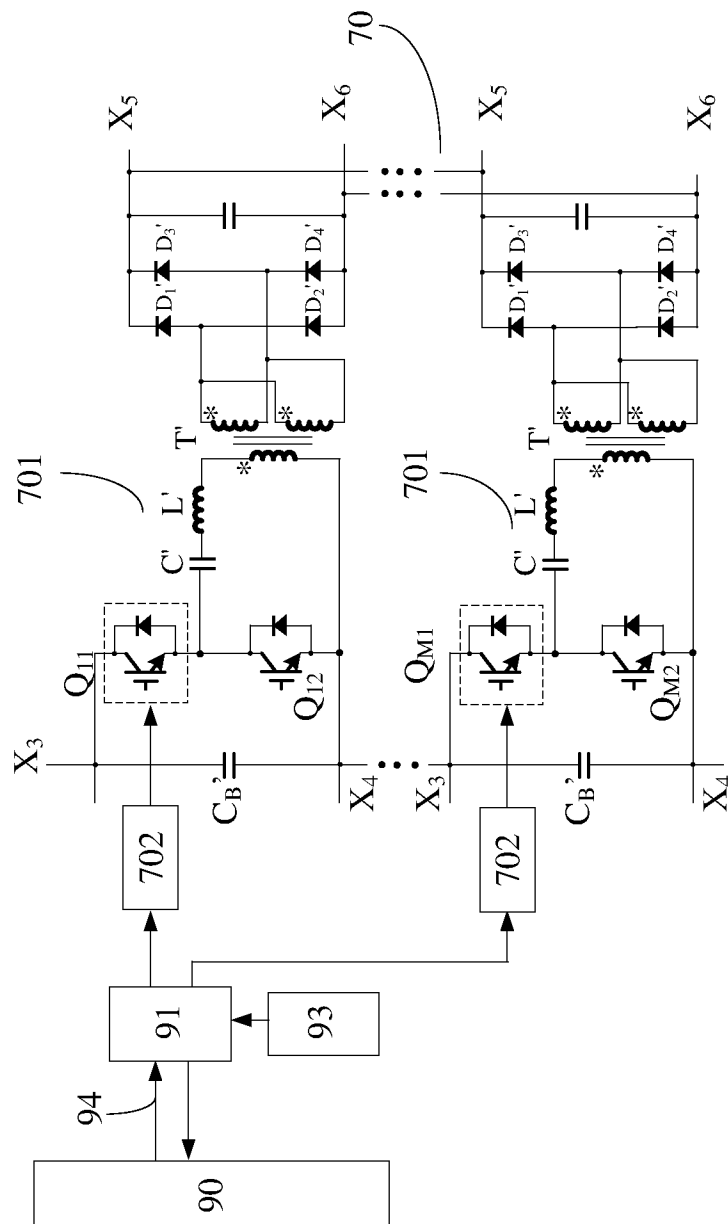


图 12



14

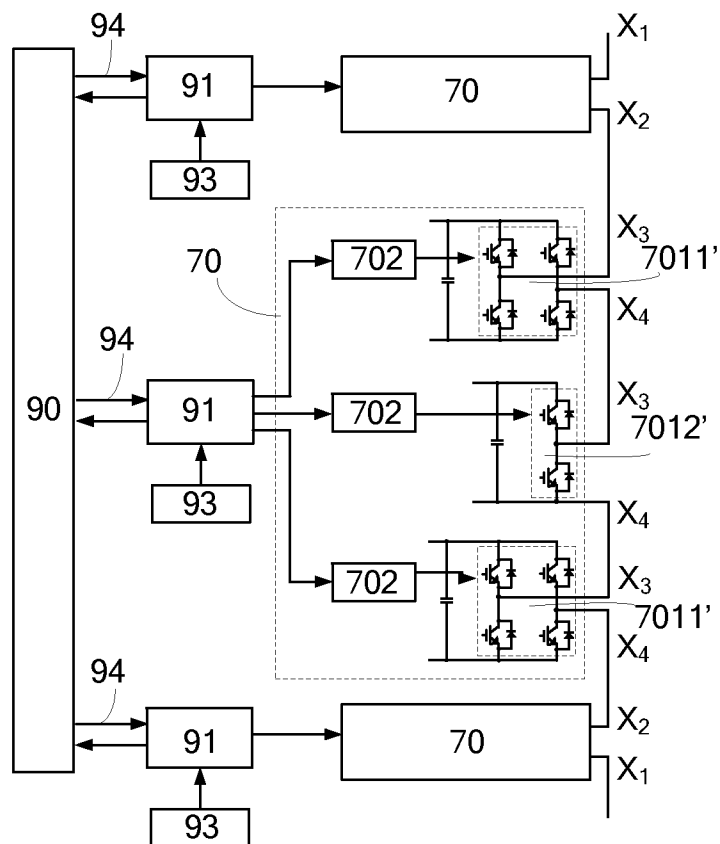



图 15

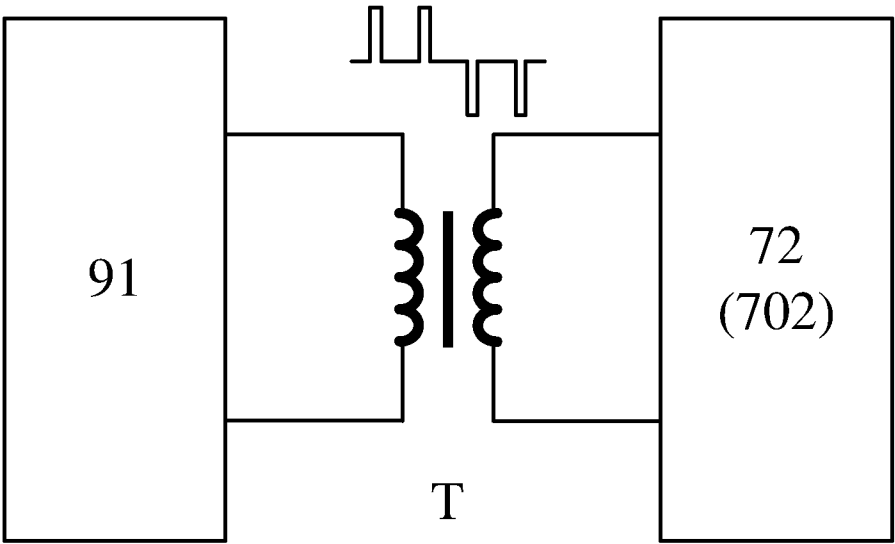


图 16

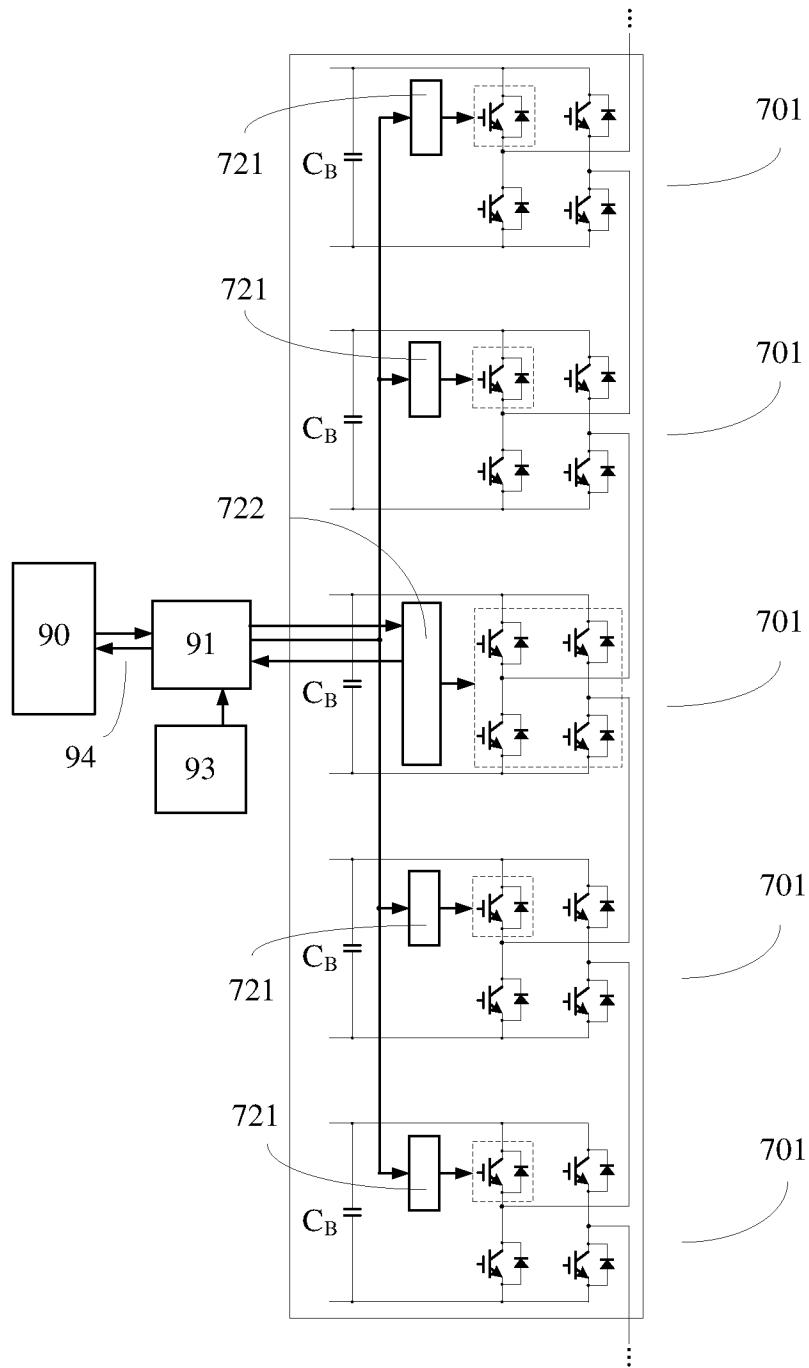


图 17

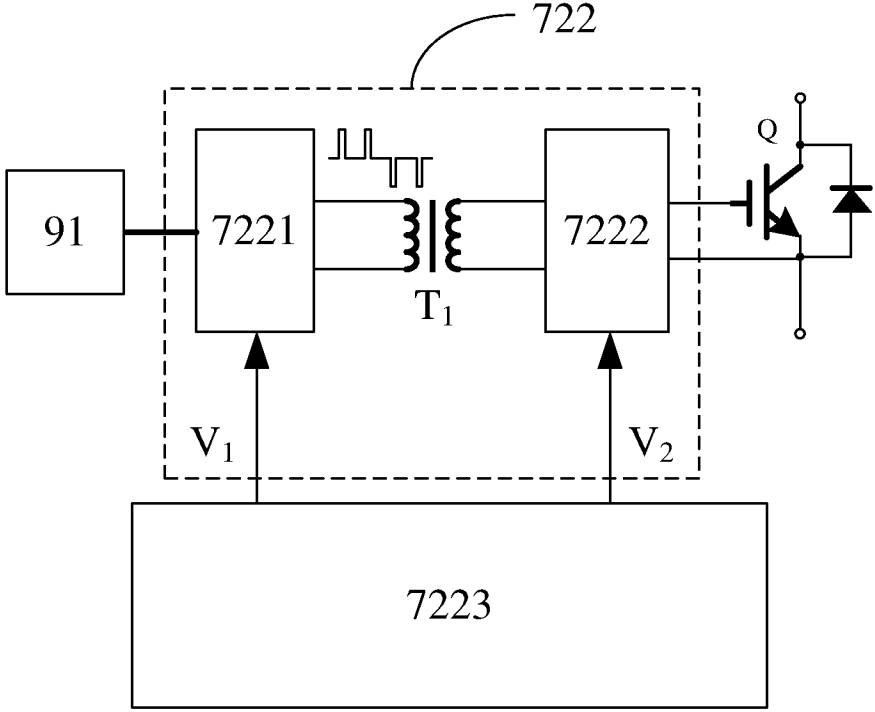


图 18

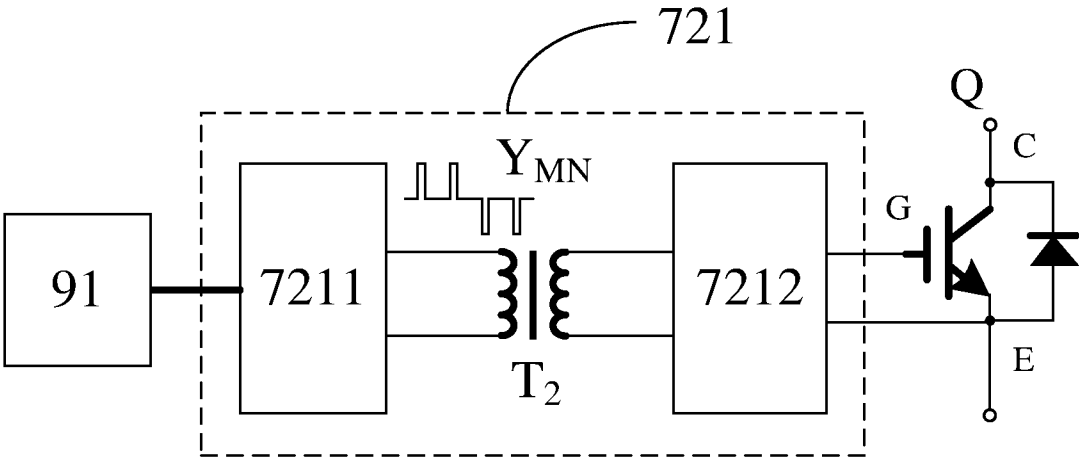


图 19

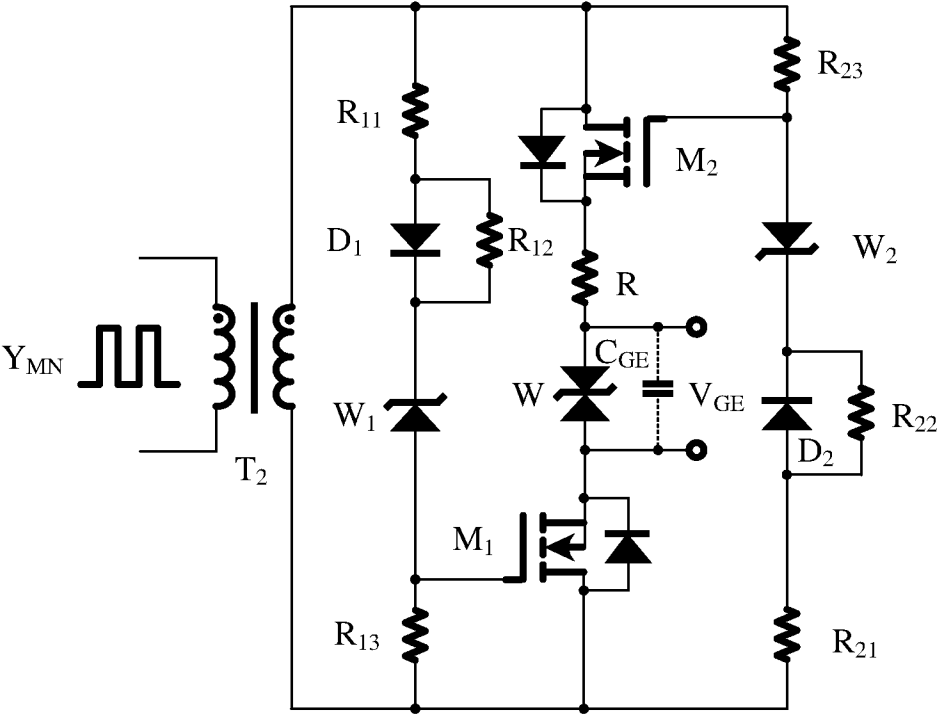


图 20

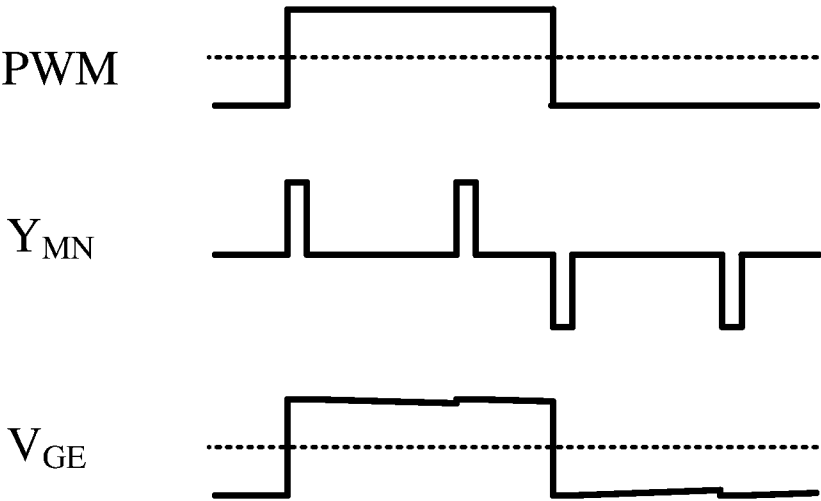


图 21

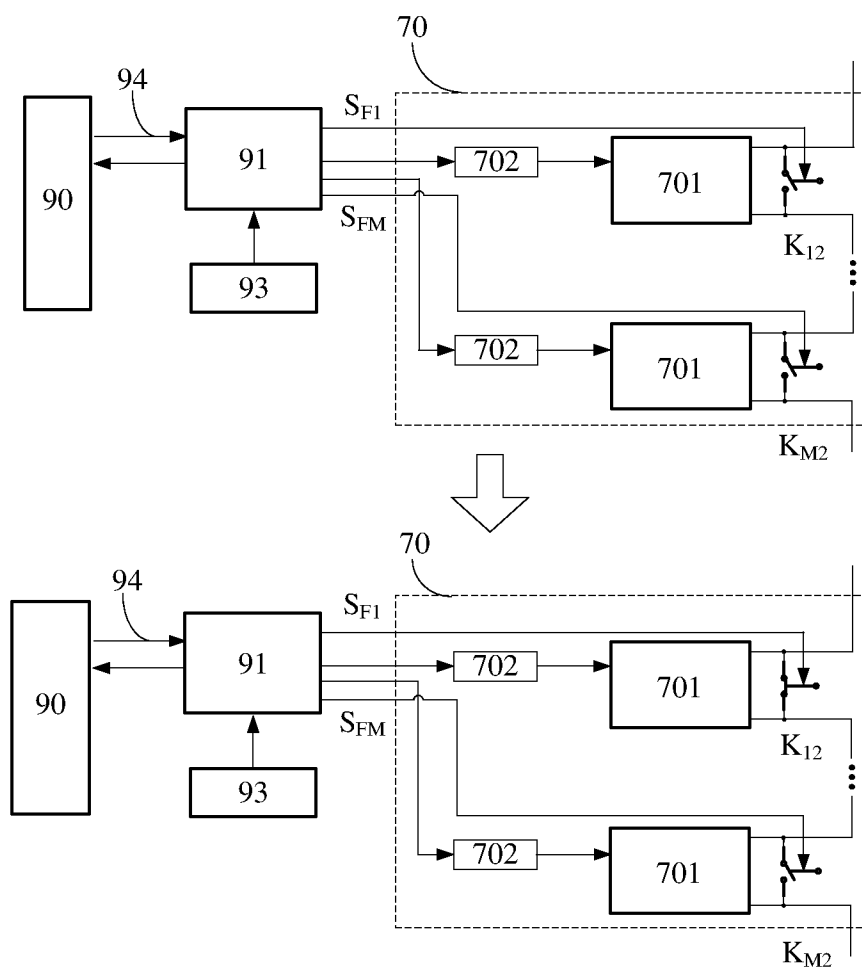


图 22

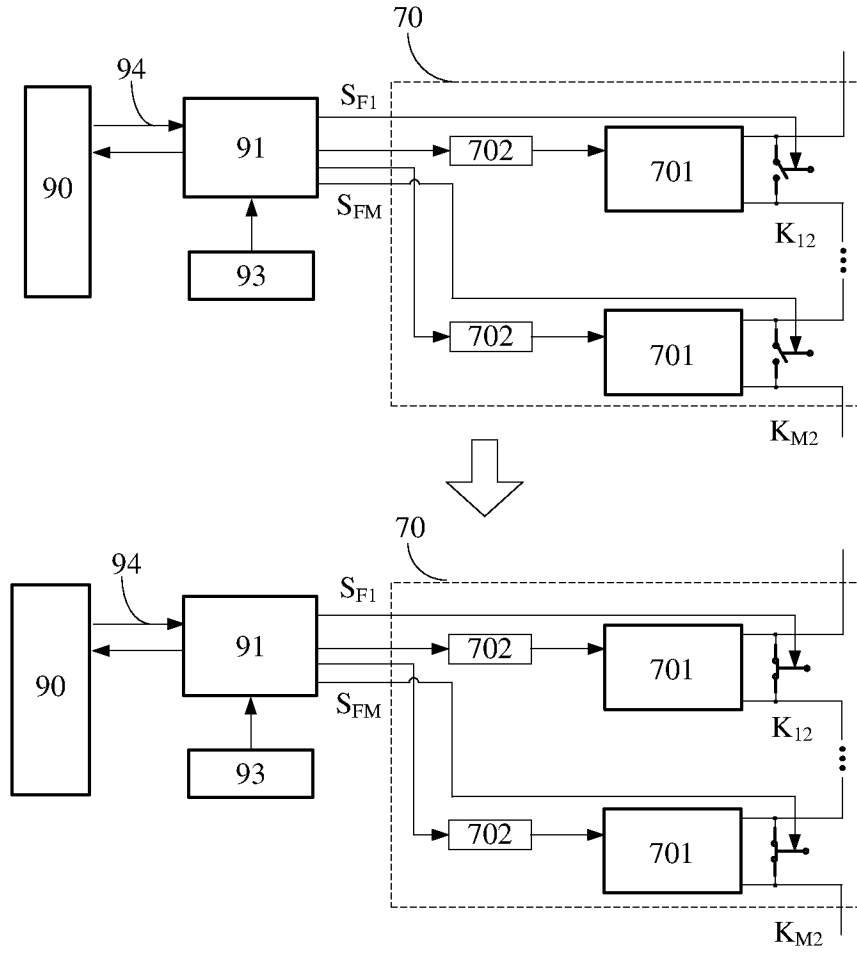


图 23

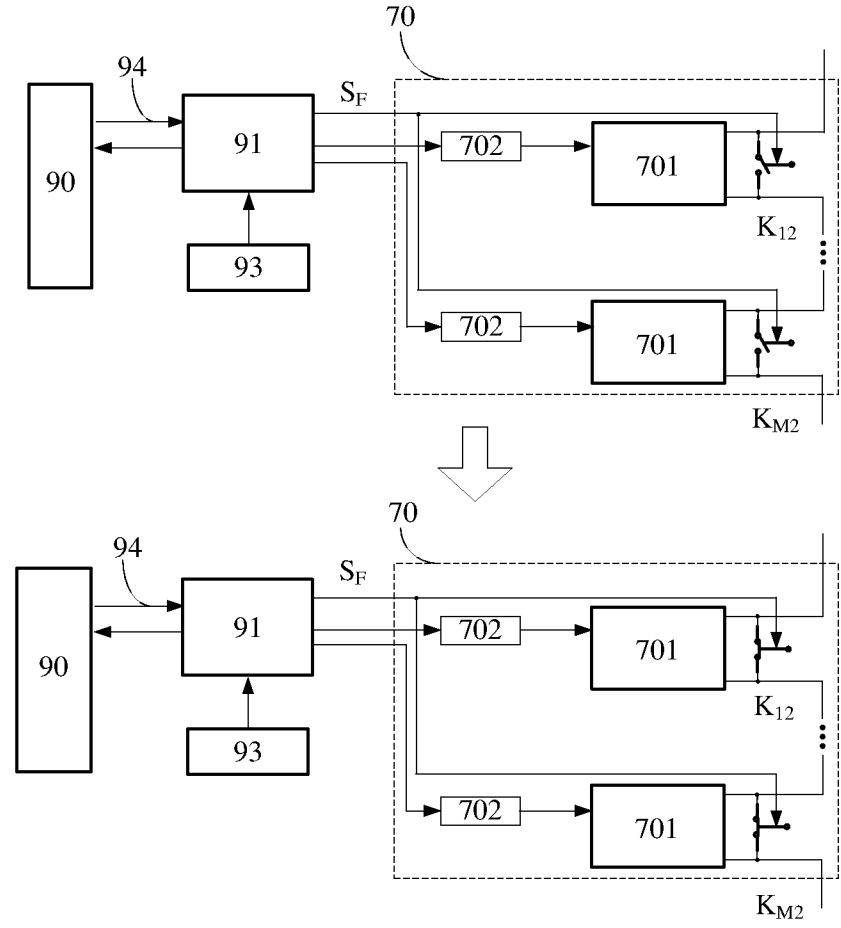


图 24

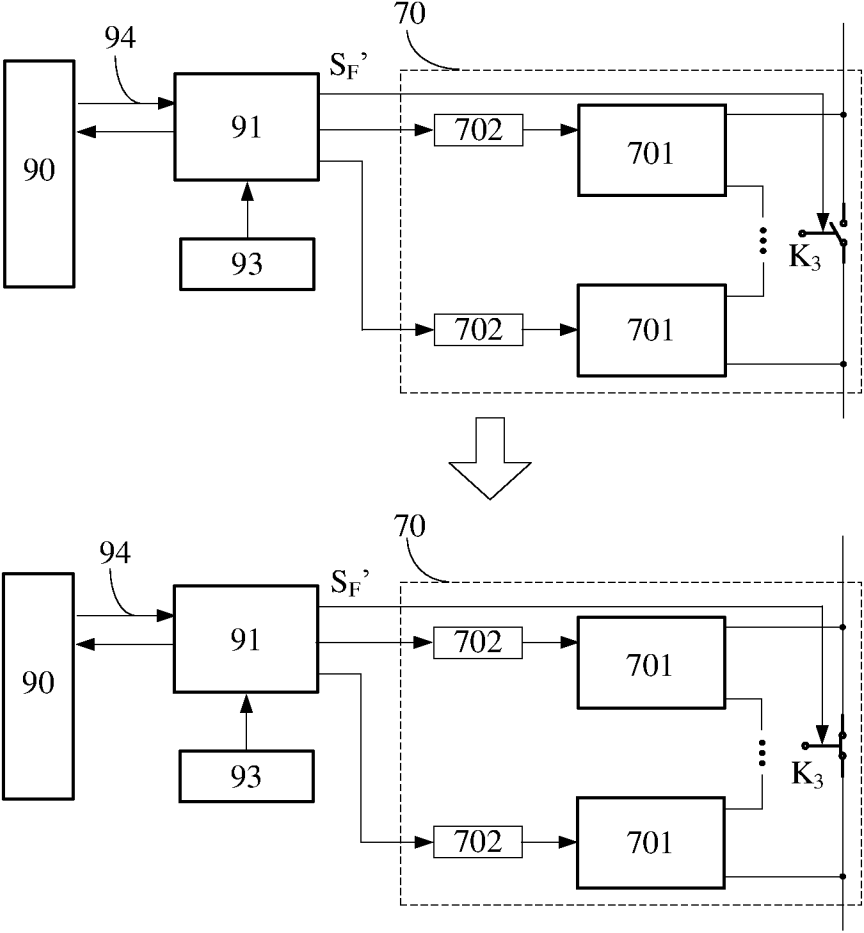


图 25

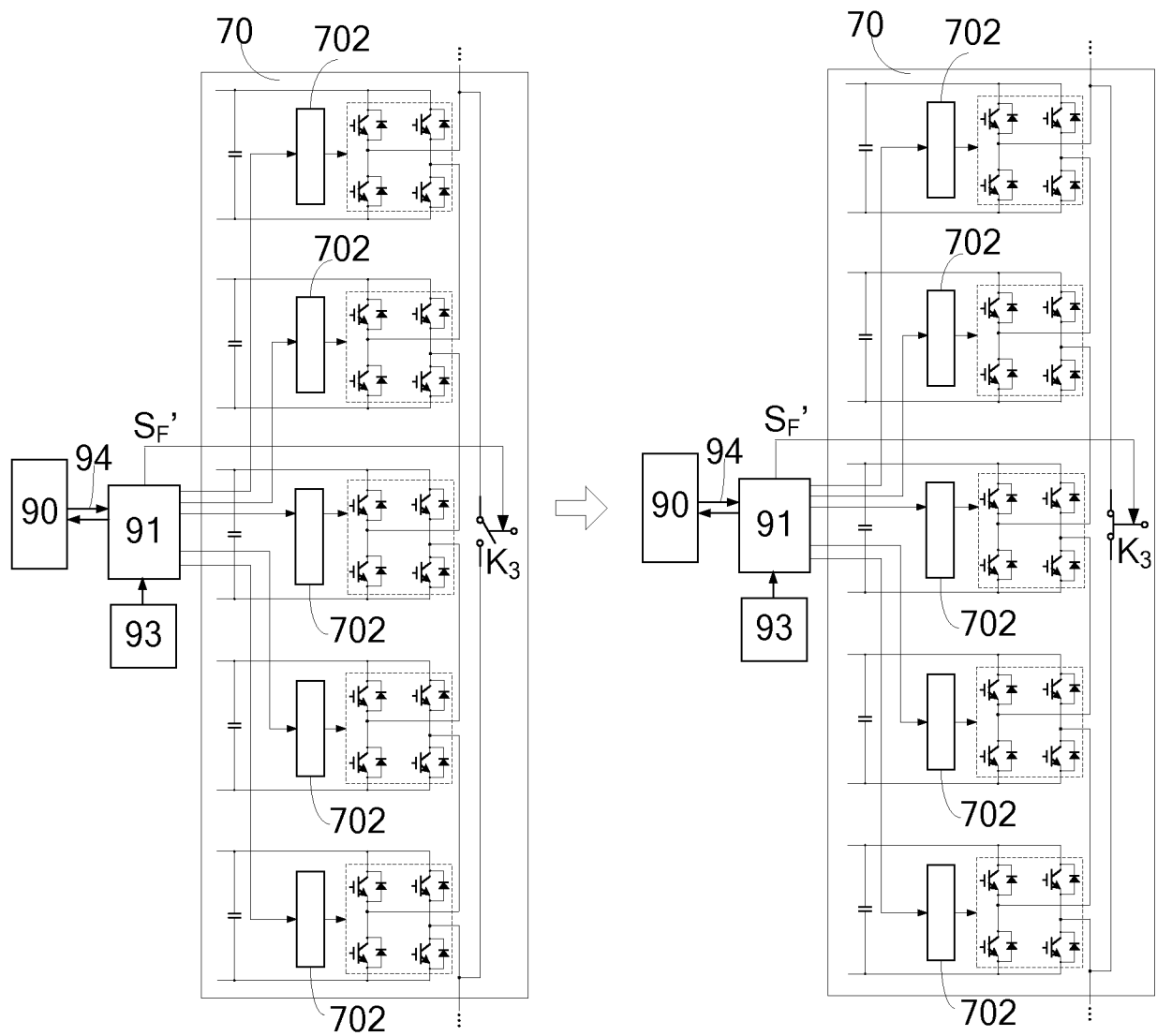


图 26

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/116354

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02M 7/483 (2007.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

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)

CNABS, CNTXT, CNKI, SIPOABS: MMC, 模块化多电平, 主控制器, 中央控制器, 本地控制器, 单元控制器, 驱动, 旁路, multilevel, control, main, central, local, cell, drive, bypass

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 206332626 U (DELTA ELECTRONICS (SHANGHAI) CO., LTD.), 14 July 2017 (14.07.2017), description, paragraphs 0073-0117, and figures 4-12	1-27
X	EP 2595302 A1 (ABB TECHNOLOGY AG), 22 May 2013 (22.05.2013), description, paragraphs 0049-0087, and figures 1-5	1-27
A	CN 202616988 U (ABB CORPORATE RESEARCH LTD.), 19 December 2012 (19.12.2012), entire document	1-27
A	CN 204967648 U (SHANDONG JIANZHU UNIVERSITY et al.), 13 January 2016 (13.01.2016), entire document	1-27
A	CN 105356770 A (TBEA SUNOASIS CO., LTD. et al.), 24 February 2016 (24.02.2016), entire document	1-27

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“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
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“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
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“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
“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)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 22 February 2018	Date of mailing of the international search report 16 March 2018
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer LI, Xiaoyan Telephone No. (86-10) 62411798

International application No.
PCT/CN2017/116354

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2009)

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/116354

A. 主题的分类

H02M 7/483(2007.01)i

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

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

H02M

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

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))

CNABS, CNTXT, CNKI, SIPOABS: MMC, 模块化多电平, 主控制器, 中央控制器, 本地控制器, 单元控制器, 驱动, 旁路, multilevel, control, main, central, local, cell, drive, bypass

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 206332626 U (台达电子企业管理上海有限公司) 2017年 7月 14日 (2017 - 07 - 14) 说明书第0073-0117段、图4-12	1-27
X	EP 2595302 A1 (ABB TECHNOLOGY AG) 2013年 5月 22日 (2013 - 05 - 22) 说明书第0049-0087段、附图1-5	1-27
A	CN 202616988 U (ABB研究有限公司) 2012年 12月 19日 (2012 - 12 - 19) 全文	1-27
A	CN 204967648 U (山东建筑大学 等) 2016年 1月 13日 (2016 - 01 - 13) 全文	1-27
A	CN 105356770 A (特变电工新疆新能源股份有限公司 等) 2016年 2月 24日 (2016 - 02 - 24) 全文	1-27

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“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)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“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

“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

“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

“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

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2018年 2月 22日

国际检索报告邮寄日期

2018年 3月 16日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

李晓艳

电话号码 (86-10)62411798

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/116354

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	206332626	U	2017年 7月 14日	无	
EP	2595302	A1	2013年 5月 22日	无	
CN	202616988	U	2012年 12月 19日	无	
CN	204967648	U	2016年 1月 13日	无	
CN	105356770	A	2016年 2月 24日	无	

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2015年1月)