



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106688183 B

(45)授权公告日 2020.08.21

(21)申请号 201480081850.7

(22)申请日 2014.09.11

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 106688183 A

(43)申请公布日 2017.05.17

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2017.03.10

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/JP2014/074054 2014.09.11

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02016/038717 JA 2016.03.17

(73)专利权人 三菱电机株式会社  
地址 日本东京

(72)发明人 中喜隆 中山靖 玉田美子  
高木宏之 石川纯一郎 天津一宏  
三富直彦

(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专  
利商标事务所 11038

代理人 李今子

(51)Int.Cl.  
H03K 17/08(2006.01)  
H02M 1/08(2006.01)  
H03K 17/687(2006.01)

(56)对比文件  
US 2004200463 A1,2004.10.14  
US 8537517 B1,2013.09.17  
CN 103457445 A,2013.12.18  
CN 102088280 A,2011.06.08  
CN 1348627 A,2002.05.08  
WO 2014046238 A1,2014.03.27  
CN 101512902 A,2009.08.19

审查员 庞双德

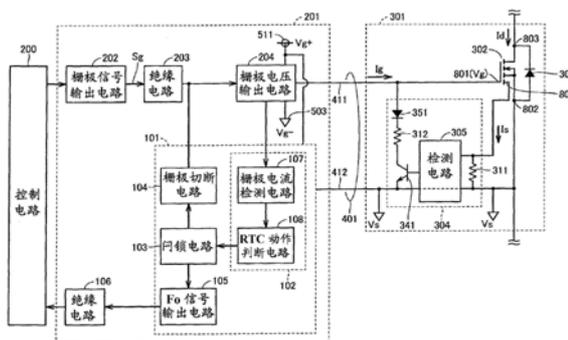
权利要求书2页 说明书19页 附图15页

(54)发明名称

自灭弧式半导体元件的短路保护电路

(57)摘要

自灭弧式半导体元件(302)的短路保护电路包括第1保护电路(304)和第2保护电路(101)。第1保护电路(304)构成为在检测到在自灭弧式半导体元件(302)的第1以及第2主电极之间(802、803)流过过电流这一情况的场合下,使控制电极(801)与第1主电极(802)之间的电压减少。第2保护电路(101)构成为检测在用于供给驱动电压的布线(411)中流过的电流,基于检测到的电流判断第1保护电路(304)是否处于动作状态,在第1保护电路(304)为动作状态的情况下以使自灭弧式半导体元件(302)截止的方式使驱动电压变化。



1. 一种自灭弧式半导体元件的短路保护电路,其中,

所述自灭弧式半导体元件具有第1主电极、第2主电极以及控制电极,所述自灭弧式半导体元件响应于对所述控制电极与所述第1主电极之间供给的驱动电压,将所述第1主电极以及第2主电极之间切换为导通或者截止,

所述短路保护电路具备:

第1保护电路,构成为在检测到在所述第1主电极以及第2主电极之间流有过电流这一情况的场合下,使所述控制电极与所述第1主电极之间的电压减少;以及

第2保护电路,构成为检测在用于供给所述驱动电压的布线中流过的电流,基于检测到的电流而判断所述第1保护电路是否处于动作状态,在所述第1保护电路为动作状态的情况下以使所述自灭弧式半导体元件截止的方式使所述驱动电压变化。

2. 根据权利要求1所述的自灭弧式半导体元件的短路保护电路,其特征在于,

所述驱动电压从经由控制布线而与所述自灭弧式半导体元件的所述控制电极连接的驱动电路被供给,

所述第2保护电路包括:

栅极电阻元件,配置在所述控制布线上;以及

动作判断电路,基于所述栅极电阻元件所产生的电压,判断所述第1保护电路是否处于动作状态。

3. 根据权利要求1所述的自灭弧式半导体元件的短路保护电路,其特征在于,

所述驱动电压从经由控制布线而与所述自灭弧式半导体元件的所述控制电极连接的驱动电路被供给,

所述驱动电路包括:

第1半导体开关元件,连接于第1电源节点与所述控制布线之间;以及

第2半导体开关元件,连接于第2电源节点与所述控制布线之间,

在所述第1半导体开关元件为导通状态时,所述驱动电路输出用于使所述自灭弧式半导体元件导通的所述驱动电压,在所述第2半导体开关元件为导通状态时,所述驱动电路输出用于使所述自灭弧式半导体元件截止的所述驱动电压,

所述第2保护电路包括:

栅极电阻元件,连接于所述第1电源节点与所述控制布线之间;以及

动作判断电路,基于所述栅极电阻元件所产生的电压,判断所述第1保护电路是否处于动作状态。

4. 根据权利要求2所述的自灭弧式半导体元件的短路保护电路,其特征在于,

所述动作判断电路包括:

延迟电路,输出使所述栅极电阻元件所产生的电压的变化延迟的电压;以及

判定部,在所述延迟电路的输出电压超过阈值电压时,判定为所述第1保护电路处于动作状态。

5. 根据权利要求4所述的自灭弧式半导体元件的短路保护电路,其特征在于,

所述动作判断电路还包括电压限制电路,该电压限制电路设置在所述栅极电阻元件与所述延迟电路之间,限制从所述栅极电阻元件输入到所述延迟电路的电压的大小。

6. 根据权利要求4或者5所述的自灭弧式半导体元件的短路保护电路,其特征在于,

所述延迟电路作为包括电阻元件和电容器的RC滤波电路而构成，

所述RC滤波电路构成为所述电容器的放电时的时间常数比所述电容器的充电时的时间常数小。

7. 根据权利要求4或5所述的自灭弧式半导体元件的短路保护电路，其特征在于，

所述动作判断电路还包括电压削减电路，该电压削减电路设置在所述延迟电路与所述判定部之间，削减从所述延迟电路输入到所述判定部的电压的大小。

8. 根据权利要求2或者3所述的自灭弧式半导体元件的短路保护电路，其特征在于，

所述驱动电路构成为输出用于响应于导通信号以及截止信号而将所述自灭弧式半导体元件分别切换为导通以及截止的所述驱动电压，

所述动作判断电路包括：

判定部，在所述栅极电阻元件所产生的电压超过阈值电压时，判定为所述第1保护电路处于动作状态；以及

屏蔽电路，设置在所述栅极电阻元件与所述判定部之间，在自向所述驱动电路的输入从所述截止信号向所述导通信号切换时起经过预先决定的屏蔽期间为止的期间进行屏蔽，以避免所述栅极电阻元件所产生的电压输入到所述判定部。

9. 根据权利要求1~5中的任意一项所述的自灭弧式半导体元件的短路保护电路，其特征在于，

所述自灭弧式半导体元件由使用硅或者碳化硅的半导体材料构成。

## 自灭弧式半导体元件的短路保护电路

### 技术领域

[0001] 本发明涉及用于当在自灭弧式半导体元件中流过短路电流时保护自灭弧式半导体元件的短路保护电路。

### 背景技术

[0002] 在升降机、电气铁道、工业用机械、太阳能发电等电力电子设备中，一般使用内置有多个二极管以及自灭弧式半导体元件等功率半导体元件的功率模块。在功率模块，为了避免当在自灭弧式半导体元件中流过短路电流时自灭弧式半导体元件被损坏，一般设置有短路保护电路。

[0003] 例如，日本特开2005-20843号公报(专利文献1)公开内置有RTC(Real-Time Current Control, 实时电流控制)电路的IGBT模块。RTC电路具有如下功能：在检测到在IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor, 绝缘栅双极型晶体管)元件中流过的短路电流时，使栅极电压下降，从而限制短路电流。进而，在IGBT元件的驱动电路(栅极驱动器)，设置有短路检测电路，该短路检测电路基于栅极电压下降而检测RTC电路进行动作这一情况。

[0004] 国际公开第01/063764号(专利文献2)公开将短路保护电路和驱动电路内置于功率模块的智能功率模块的例子。在该文献的例子中，当通过与上述RTC电路对应的过电流检测器而检测到IGBT的感测电流超过设定值这一情况时，基于来自过电流检测器的输出信号而IGBT的集电极栅极间的结电容被充电，在一定时间之后IGBT被关断。

[0005] 专利文献1：日本特开2005-20843号公报

[0006] 专利文献2：国际公开第01/063764号

### 发明内容

[0007] 在短路保护电路中，期望尽量缩短从检测到短路电流起至自灭弧式半导体元件的保护动作完成为止的时间。因此，如上述文献所记载那样，RTC电路内置于功率模块。能够通过RTC电路来缩短从检测到短路电流起至使在自灭弧式半导体元件中流过的电流减少为止的时间。

[0008] 为了在检测到短路电流之后，进而通过来自栅极驱动器的驱动电压而关断自灭弧式半导体元件，需要将检测到短路电流这一情况或者RTC电路处于动作状态这一情况通知给栅极驱动器侧。然而，由于此时的信号延迟，有时直至关断自灭弧式半导体元件为止的时间的延迟依然成为问题。

[0009] 特别在单独地设置有栅极驱动器和功率模块而成的结构的情况下，保护动作的延迟容易成为问题。这是因为在该情况下，在连接功率模块与栅极驱动器之间的布线中容易产生噪声，为了去除该噪声，需要设置延迟时间大的滤波电路。如果如升降机等控制盘那样功率模块与栅极驱动器的距离为1m以上，则短路保护电路更强烈地受到噪声的影响。

[0010] 在上述日本特开2005-20843号公报(专利文献1)所记载的功率模块的情况下，通过由设置于栅极驱动器的短路检测电路检测栅极电压的下降，检测RTC电路处于动作状态

这一情况。但是,在该情况下也是,功率模块与栅极驱动器的距离越大,栅极电压越强烈地受到噪声的影响。其结果,为了防止误动作而需要延迟时间大的滤波器,所以对于缩短从RTC电路进行动作起至栅极驱动器侧的短路检测电路进行动作为止的时间是有界限的。

[0011] 本发明是考虑了上述问题点而完成的,其目的在于提供能够使自灭弧式半导体元件的短路保护高速化的短路保护电路。

[0012] 本发明涉及自灭弧式半导体元件的短路保护电路。此处,自灭弧式半导体元件具有第1主电极、第2主电极以及控制电极,响应于对控制电极与第1主电极之间供给的驱动电压,将第1以及第2主电极之间切换为导通或者截止。短路保护电路包括第1保护电路和第2保护电路。第1保护电路构成为在检测到在自灭弧式半导体元件的第1以及第2主电极之间流过过电流这一情况的场合下,使控制电极与第1主电极之间的电压减少。第2保护电路构成为检测在用于供给上述驱动电压的布线中流过的电流,基于检测到的电流判断第1保护电路是否处于动作状态,在第1保护电路为动作状态的情况下以使自灭弧式半导体元件截止的方式使驱动电压变化。

[0013] 根据本发明,第2保护电路构成为通过检测在用于供给驱动电压的布线中流过的电流而判断第1保护电路是否处于动作状态。上述检测电流所包含的噪声比较少,所以无需设置时间常数大的滤波电路,因此,能够使短路保护高速化。

## 附图说明

[0014] 图1是概略地示出第1实施方式的自灭弧式半导体元件的短路保护电路的结构的框图。

[0015] 图2是示出图1的RTC电路以及栅极驱动器侧保护电路的更详细的结构的图。

[0016] 图3是示出将图1以及图2的短路保护电路应用于电力变换装置的例子图。

[0017] 图4是示出第1实施方式的短路保护电路的动作例的时序图。

[0018] 图5是示出图4的时刻 $t_8$ 至时刻 $t_9$ 下的栅极电流的电流路径的图。

[0019] 图6是示出图4的时刻 $t_9$ 至时刻 $t_{11}$ 下的栅极电流的电流路径的图。

[0020] 图7是示出在第2实施方式的短路保护电路中使用的栅极切断指令输出电路的具体的结构的电路图。

[0021] 图8是示出图7的闩锁电路、栅极切断电路以及 $F_o$ 信号输出电路的结构例的电路图。

[0022] 图9是示出第2实施方式的短路保护电路的动作例的时序图。

[0023] 图10是示出在第3实施方式的短路保护电路中使用的栅极切断指令输出电路的具体的结构的电路图。

[0024] 图11是示出第3实施方式的短路保护电路的动作例的时序图。

[0025] 图12是示出在第4实施方式的短路保护电路中使用的栅极切断指令输出电路的具体的结构的电路图。

[0026] 图13是示出第4实施方式的短路保护电路的动作例的时序图。

[0027] 图14是示出在第5实施方式的短路保护电路中使用的栅极切断指令输出电路的具体的结构的电路图。

[0028] 图15是示出第5实施方式的短路保护电路的动作例的时序图。

### [0029] 符号说明

[0030] 1:直流电源;2:负载;3U、3V、3W:交流输出电路;101:栅极驱动器侧保护电路;102:栅极切断指令输出电路;103:闭锁电路;104:栅极切断电路;105:Fo信号输出电路;106、203:绝缘电路;107:栅极电流检测电路;108:动作判断电路;115:栅极电阻元件;132:滤波电容器;141、142、143、144、241、242、341:半导体开关元件;153、155:齐纳二极管;170、174:RC滤波电路;171:电压限制电路;172:电压削减电路;173:屏蔽电路;200:控制电路;201、201a~201f:栅极驱动器;202:栅极信号输出电路;204:栅极电压输出电路;301、301a~301f:功率模块;302、302a~302f:自灭弧式半导体元件;304、304a~304f:RTC电路;305:短路电流检测电路;401:栅极驱动器—功率模块间布线;411:栅极布线(控制布线);412:基准电位布线;503、511:电源节点;801:控制电极;802:第1主电极;803:第2主电极;804:感测电极。

### 具体实施方式

[0031] 以下,参照附图,详细地说明各实施方式。另外,对相同或者相当的部分附加相同的参照符号,有时不反复进行其说明。

#### [0032] <第1实施方式>

##### [0033] [短路保护电路的概略的结构]

[0034] 图1是概略地示出第1实施方式的自灭弧式半导体元件的短路保护电路的结构的框图。短路保护电路是为了避免当在自灭弧式半导体元件302中流过短路电流(过电流)时自灭弧式半导体元件302被损坏而设置的。

[0035] 参照图1,短路保护电路包括:RTC(Real-Time Current Control)电路304,设置于功率模块301;以及栅极驱动器侧保护电路101,设置于栅极驱动器201。特别是栅极驱动器侧保护电路101的特征点在于,基于从栅极驱动器201输出到功率模块301的电流 $I_g$ (以下,称为栅极电流 $I_g$ )的变化,判断RTC电路304是否为动作状态。另外,在本说明书中,有时将RTC电路304称为第1保护电路,将栅极驱动器侧保护电路101称为第2保护电路。

[0036] 具体而言,功率模块301包括自灭弧式半导体元件302、二极管303以及RTC电路304。

[0037] 自灭弧式半导体元件302具有第1主电极802、第2主电极803以及控制电极801,响应于对控制电极801提供的信号(栅极电压 $V_g$ )而切换在第1以及第2主电极之间流过的电流的导通以及截止。自灭弧式半导体元件302还具有感测电极804。从感测电极804流出与从第2主电极流到第1主电极的主电流 $I_d$ 成比例的感测电流 $I_s$ 。

[0038] 自灭弧式半导体元件302是例如MOSFET(Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor,金属-氧化物半导体场效应晶体管)、IGBT或者双极型晶体管等。能够使用硅或者碳化硅等半导体材料作为自灭弧式半导体元件302。

[0039] 在图1中,例示自灭弧式半导体元件302为N沟道MOSFET的情况。自灭弧式半导体元件302的第1主电极802相当于MOSFET的情况下的源极、IGBT以及双极型晶体管的情况下的发射极。第2主电极803相当于MOSFET的情况下的漏极、IGBT以及双极型晶体管的情况下的集电极。控制电极801相当于MOSFET以及IGBT的情况下的栅极、双极型晶体管的情况下的基极。以下,将第1主电极802的电位称为基准电位 $V_s$ 。

[0040] 二极管303是所谓的续流二极管,与自灭弧式半导体元件302反并联地连接。即,二极管303的阳极连接于自灭弧式半导体元件302的第1主电极802,二极管303的阴极连接于自灭弧式半导体元件302的第2主电极803。

[0041] RTC电路304检测感测电流 $I_s$ 的大小(或者,也可以检测自灭弧式半导体元件302的主电流 $I_d$ 的大小),在感测电流 $I_s$ 的大小超过阈值的情况下,以使自灭弧式半导体元件302的栅极电压 $V_g$ 减少的方式进行动作。关于更具体的电路结构例,参照图2后述。

[0042] 近年,要求自灭弧式半导体元件的小型化、高电流密度化、开关动作的高速化、开关损耗的降低等,与其相应地,使短路保护动作更高速化的必要性提高。通过在功率模块301内设置RTC电路304,能够在检测到短路电流时迅速地使栅极电压 $V_g$ 降低,抑制主电流 $I_d$ 的增加。

[0043] 上述功率模块301与栅极驱动器201经由栅极驱动器—功率模块间布线401(栅极布线411以及基准电位布线412)连接。栅极布线411(还称为控制布线)是为了将从栅极驱动器201输出的驱动电压传递到自灭弧式半导体元件302的控制电极801与第1主电极802之间而设置的。基准电位布线412是为了将基准电位 $V_s$ 传递到栅极驱动器201而设置的。

[0044] 栅极驱动器201包括栅极信号输出电路202、绝缘电路203、106、栅极电压输出电路204、栅极驱动器侧保护电路101。

[0045] 栅极信号输出电路202根据来自控制电路200的控制信号,输出用于将自灭弧式半导体元件302设为导通状态的导通信号以及用于将自灭弧式半导体元件302设为截止状态的截止信号。将导通信号以及截止信号总称为栅极信号 $S_g$ 。例如,导通信号对应于栅极信号 $S_g$ 的第1逻辑电平,截止信号对应于栅极信号 $S_g$ 的第2逻辑电平。

[0046] 栅极电压输出电路204从栅极信号输出电路202经由光电耦合器等绝缘电路203接受栅极信号 $S_g$ (导通信号以及截止信号)。栅极电压输出电路204将分别与导通信号以及截止信号相应的驱动电压经由栅极布线411而输出到自灭弧式半导体元件302的控制电极801(栅极)。由此,自灭弧式半导体元件302切换为导通或者截止。

[0047] 更详细而言,栅极电压输出电路204连接于提供正的电源电位 $V_{g+}$ 的电源节点511、提供负的电源电位 $V_{g-}$ 的电源节点503。栅极电压输出电路204构成为根据栅极信号 $S_g$ 的逻辑电平而将正的电源电位 $V_{g+}$ 或者负的电源电位 $V_{g-}$ 作为驱动电压提供给自灭弧式半导体元件302的控制电极801。在自灭弧式半导体元件302为图1所示的N沟道MOSFET的情况,正的电源电位 $V_{g+}$ 被提供给控制电极801的情况下,MOSFET302导通,在负的电源电位 $V_{g-}$ 被提供给控制电极801的情况下,MOSFET302截止。另外,还能够代替负的电源电位 $V_{g-}$ 而使用基准电位 $V_s$ 。

[0048] 栅极驱动器侧保护电路101基于从栅极电压输出电路204输出到功率模块301的电流 $I_g$ (栅极电流 $I_g$ )的变化,判断RTC电路304是否为动作状态。在RTC电路304为非动作状态的情况(即,未检测到短路电流的通常状态的情况)下,在自灭弧式半导体元件302的导通以及截止的切换时流过栅极电流 $I_g$ ,但在其它时间段栅极电流 $I_g$ 大致为0。另一方面,在RTC电路304为动作状态的情况下,在自灭弧式半导体元件302的切换时以外也经由RTC电路304而流过栅极电流 $I_g$ 。栅极驱动器侧保护电路101通过检测在该自灭弧式半导体元件302的切换时以外流过的栅极电流 $I_g$ 而检测RTC电路304为动作状态这一情况。

[0049] 在检测到RTC电路304为动作状态这一情况的场合下,栅极驱动器侧保护电路101

通过临时切断从栅极信号输出电路202输出的导通信号而将自灭弧式半导体元件302设为截止状态。进而,栅极驱动器侧保护电路101经由光电耦合器等绝缘电路106而将异常检测信号(Fo信号)输出到控制电路200。控制电路200响应于从栅极驱动器侧保护电路101接受的异常检测信号(Fo信号),将用于使自灭弧式半导体元件302截止的控制信号输出到栅极信号输出电路202。由此,栅极信号输出电路202的输出从导通信号切换到截止信号。

[0050] [短路保护电路的详细的结构]

[0051] 图2是示出图1的RTC电路以及栅极驱动器侧保护电路的更详细的结构的图。

[0052] 参照图2,RTC电路304包括电阻元件311、312、短路电流检测电路305、二极管351以及半导体开关元件341。

[0053] 电阻元件311连接于自灭弧式半导体元件302的感测电极804与基准电位布线412之间。电阻元件311被用作用于检测感测电流 $I_s$ 的电流感测电阻。

[0054] 二极管351、电阻元件312以及半导体开关元件341按照该排列顺序以使二极管351的极性成为正方向的方式串联地连接于栅极布线411与基准电位布线412之间。半导体开关元件341例如既可以是MOSFET,也可以是双极型晶体管。图2例示半导体开关元件341为NPN型的双极型晶体管的情况。半导体开关元件341的控制电极(栅极或者基极)与检测电路305连接。

[0055] 检测电路305检测电阻元件311的两端间的电压,判定检测到的电压是否超过阈值。检测电路305在电阻元件311的电压超过阈值的情况下,将半导体开关元件341从截止状态切换到导通状态。由此,经由二极管351、电阻元件312以及半导体开关元件341而流过栅极电流 $I_g$ 。

[0056] 栅极驱动器侧保护电路101包括栅极切断指令输出电路102、门锁电路103、栅极切断电路104以及Fo信号输出电路105。

[0057] 栅极切断指令输出电路102包括栅极电流检测电路107和RTC动作判断电路108。栅极电流检测电路107检测从栅极电压输出电路204输出到功率模块301的栅极电流 $I_g$ 。RTC动作判断电路108基于通过栅极电流检测电路107检测到的栅极电流的大小,判断RTC电路304是否处于动作状态。RTC动作判断电路108在判断为RTC电路304处于动作状态的情况下,将栅极切断指令信号输出到门锁电路103。

[0058] 门锁电路103临时保持从RTC动作判断电路108接受的栅极切断指令信号,将所保持的栅极切断指令信号输出到栅极切断电路104以及Fo信号输出电路105。

[0059] 栅极切断电路104在从门锁电路103接受栅极切断指令信号时,以切断从栅极信号输出电路202经由绝缘电路203而输出到栅极电压输出电路204的导通信号的方式进行动作。其结果,比自灭弧式半导体元件302的阈值电压低的电压(例如,基准电位 $V_s$ 或者负的电源电位 $V_{g-}$ )从栅极电压输出电路204输出到自灭弧式半导体元件302的控制电极801。

[0060] Fo信号输出电路105在从门锁电路103接受栅极切断指令信号时,经由绝缘电路106而将异常检测信号(Fo信号)输出到控制电路200。控制电路200响应于异常检测信号(Fo信号),将用于使自灭弧式半导体元件302截止的控制信号输出到栅极信号输出电路202。其结果,栅极信号输出电路202的输出从导通信号切换到截止信号,与该截止信号对应的驱动电压从栅极电压输出电路204输出到自灭弧式半导体元件302的控制电极801。

[0061] 另外,从门锁电路103接受栅极切断指令信号起至最终栅极电压输出电路204的输

出电压切换到与截止信号对应的电压(负电源电位 $V_{g-}$ )为止的延迟时间因控制电路200以及栅极驱动器201的规格不同而不同。延迟时间有时为几毫秒左右。因此,闩锁电路103需要构成为在该延迟时间的期间持续保持栅极切断指令信号。

[0062] 也可以代替上述而将闩锁电路103作为直至输入复位信号为止保持栅极切断指令信号的RS(Reset-Set)闩锁电路而构成。在该情况下,控制电路200构成为在使栅极信号输出电路202输出截止信号之后,将复位信号输出到闩锁电路103。

[0063] [向电力变换装置的应用例]

[0064] 图3是示出将图1以及图2的短路保护电路应用于电力变换装置的例子的图。图3的电力变换装置是将直流电力变换为三相交流电力并将所变换的三相交流电力输出到马达(M)等负载2的三相逆变器电路。

[0065] 参照图3,三相逆变器电路包括相互并联地连接于直流电源1的正极与负极之间的U相的交流输出电路3U、V相的交流输出电路3V以及W相的交流输出电路3W。从交流输出电路3U、3V、3W分别将U相、V相、W相的交流电力输出到负载2。

[0066] 各相的交流输出电路3U、3V、3W包括相互串联连接的两个自灭弧式半导体元件和与这些自灭弧式半导体元件分别反并联地连接的两个二极管。例如,U相的交流输出电路3U包括相互串联地连接的两个自灭弧式半导体元件302a、302b和与自灭弧式半导体元件302a、302b分别反并联地连接的二极管303a、303b。关于V相以及W相也是同样的,交流输出电路3V包括两个自灭弧式半导体元件302c、302d和两个二极管303c、303d,交流输出电路3W包括两个自灭弧式半导体元件302e、302f和两个二极管303e、303f。

[0067] 与在图1以及图2中说明的自灭弧式半导体元件的短路保护电路同样地,对自灭弧式半导体元件302a~302f分别连接RTC电路304a~304f。功率模块301a~301f分别内置RTC电路304a~304f、自灭弧式半导体元件302a~302f以及二极管303a~303f。功率模块301a~301f分别连接于栅极驱动器201a~201f而被驱动。栅极驱动器201a~201f连接于控制U、V、W的全部的相的控制电路200。

[0068] 上述交流输出电路3U、3V、3W、RTC电路304a~304f以及栅极驱动器201a~201f针对各相的每个相是相同的结构,所以在以下以U相为例而举出,说明电流短路的原因。

[0069] 控制电路200将构成U相的交流输出电路3U的自灭弧式半导体元件302a、302b控制成交替地反复进行导通、截止动作。即,以在自灭弧式半导体元件302a、302b中的某一方接通时使另一方断开的方式进行控制。此处,假设在U相的交流输出电路3U中,错误地使自灭弧式半导体元件302a和302b同时导通的导通信号被提供到交流输出电路3U。在该情况下,直流电源1的正极与负极之间由于低阻抗而短路,所以在自灭弧式半导体元件302a、302b中流过大的短路电流。其结果,有可能由于短路电流而自灭弧式半导体元件302a、302b损坏,所以在图1以及图2中说明的RTC电路304以及栅极驱动器侧保护电路101作为短路保护电路而分别与各功率模块对应地设置。

[0070] [短路保护电路的动作]

[0071] 图4是示出第1实施方式的短路保护电路的动作例的时序图。在图4中,按照从上往下的顺序,示出从栅极信号输出电路202输出的栅极信号 $S_g$ 的波形、自灭弧式半导体元件302的栅极电压 $V_g$ 、栅极电流 $I_g$ 、主电流 $I_d$ 以及主电极间电压 $V_d$ (第2主电极803与第1主电极802之间的电压)的各波形。

[0072] 时刻 $t_0$ 至时刻 $t_7$ 示出通常的开关动作的情况(以下,称为通常动作时)下的波形611~614。在该情况下,短路保护电路不动作。时刻 $t_8$ 以后示出在自灭弧式半导体元件302中流过短路电流的情况(以下,称为短路动作时)下的波形615~618。在该情况下,短路保护电路进行动作。在图3的逆变器电路的例子中,例如,仅U相的交流输出电路3U的自灭弧式半导体元件302a、302b中的任意一方导通的情况相当于通常动作时,自灭弧式半导体元件302a、302b这两方都错误地同时地导通的情况相当于短路动作时。

[0073] 进而,在图4中,自灭弧式半导体元件302的栅极电压 $V_g$ 表示控制电极801相对第1主电极802的电位,主电极间电压 $V_d$ 表示第2主电极803相对第1主电极802的电位。因此,在控制电极801的电位与第1主电极802的电位(即,基准电位 $V_s$ )相等的情况下,栅极电压 $V_g$ 为0V。在第2主电极803的电位与第1主电极802的电位(即,基准电位 $V_s$ )相等的情况下,主电极间电压 $V_d$ 为0V。

[0074] 另外,关于图1以及图2的短路保护电路,即使将负电源电位 $V_{g-}$ 变更为基准电位 $V_s$ (0V)也无问题地动作。此处,为了清楚地区分响应于图2的栅极切断电路104的动作而栅极电压 $V_g$ 与栅极信号 $S_g$ 无关地成为0V的情况和从图2的栅极信号输出电路202输出截止信号的情况,将截止信号的情况下的栅极电压输出电路204的输出设定为负电源电位 $V_{g-}$ 。

[0075] (1.通常动作时)

[0076] 以下,参照图2以及图4,最初,说明通常动作时的功率模块301以及栅极驱动器201的动作。

[0077] 在图4的时刻 $t_0$ ,响应于来自控制电路200的控制信号,从栅极信号输出电路202输出的栅极信号 $S_g$ 从截止信号(OFF)切换到导通信号(ON)。响应于该栅极信号 $S_g$ 的切换,栅极电压输出电路204的输出切换到正的电源电位 $V_{g+}$ 。由此,自灭弧式半导体元件302进入到接通动作。

[0078] 在进行接通动作时(时刻 $t_0$ 至时刻 $t_3$ ),自灭弧式半导体元件302的控制电极801的寄生电容被充电。由此,流过栅极电流 $I_g$ ,并且栅极电压 $V_g$ (第1主电极802与控制电极801之间的电压)增加。

[0079] 在栅极电压 $V_g$ 超过自灭弧式半导体元件302的阈值电压时(时刻 $t_2$ ),主电流 $I_d$ 开始从第2主电极803流到第1主电极802。起因于功率模块的寄生电感,发生与主电流 $I_d$ 的变化相应的电压下降,所以第1以及第2主电极之间的电压 $V_d$ 从母线电压 $V_{dd}$ (例如,图3的直流电源1的电压)起下降。

[0080] 时刻 $t_1$ 至时刻 $t_2$ 是由于自灭弧式半导体元件302的镜像效应(mirror effect)而栅极电压 $V_g$ 成为恒定的镜像期间(mirror period)。在镜像期间,由于主电极间电压 $V_d$ 的变动而自灭弧式半导体元件302的寄生电容变动,所以栅极电压 $V_g$ 成为恒定。当在时刻 $t_2$ 脱离镜像期间时,栅极电压 $V_g$ 再次增加,在时刻 $t_3$ 栅极电压达到正的电源电压 $V_{g+}$ ,从而接通期间结束。

[0081] 接下来,说明时刻 $t_4$ 至 $t_7$ 的关断期间。在时刻 $t_4$ ,响应于来自控制电路200的控制信号,从栅极信号输出电路202输出的栅极信号 $S_g$ 从导通信号(ON)切换到截止信号(OFF)。响应于该栅极信号 $S_g$ 的切换,栅极电压输出电路204的输出切换到负的电源电位 $V_{g-}$ 。由此,自灭弧式半导体元件302进入到关断动作。在进行关断动作时,自灭弧式半导体元件302

的寄生电容放电,所以栅极电压 $V_g$ 减少,并且流过与接通动作时相反的方向的栅极电流 $I_g$ 。在时刻 $t_4$ 至时刻 $t_5$ 的期间,主电流 $I_d$ 以及主电极间电压 $V_d$ 不变化。

[0082] 在时刻 $t_5$ ,主电极间电压 $V_d$ 开始增加,从而在时刻 $t_5$ 至时刻 $t_6$ ,成为栅极电压 $V_g$ 为大致恒定的镜像期间。当在时刻 $t_6$ 脱离镜像期间时,栅极电压 $V_g$ 开始再次减少。

[0083] 当栅极电压 $V_g$ 低于自灭弧式半导体元件302的阈值电压时,不流过主电流 $I_d$ ,在时刻 $t_7$ ,关断动作结束。

[0084] 此处,在时刻 $t_1$ 至时刻 $t_6$ 的期间,漏极电流 $I_d$ 以与连接于自灭弧式半导体元件302的负载相应的斜率进行增减,但此处方便性地设为恒定值。

[0085] 另外,在第1实施方式的短路保护电路中,通过栅极电流 $I_g$ 判断RTC电路304是否处于动作状态,所以需要避免在栅极电流 $I_g$ 的流通时栅极驱动器侧保护电路101误动作。因此,对图2的RTC动作判断电路108设置调整栅极电流检测电路107的输出的电压电平的滤波电路或者设置用于屏蔽接通期间的栅极电流检测电路107的输出的屏蔽电路。关于RTC动作判断电路108的具体的结构例,在第2~第5实施方式中说明详细内容。

[0086] (2. 短路动作时)

[0087] 接下来,说明短路动作时的功率模块301、栅极驱动器201以及短路保护电路的动作。此处,短路动作时是指例如对图3所示的三相逆变器的U相的自灭弧式半导体元件302a、302b都输入导通信号的情况。在该情况下,直流电源1的正电极与负电极之间由于低阻抗而短路,所以直流电源1的电压 $V_{dd}$ 被自灭弧式半导体元件302a、302b和布线分担。在以下的说明中,以自灭弧式半导体元件302a以及302b中的任意一方先处于导通状态且导通信号后进入到另一方的自灭弧式半导体元件的情况为例进行说明。

[0088] 参照图2以及图4,在图4的时刻 $t_8$ ,响应于来自控制电路200的控制信号,从栅极信号输出电路202输出的栅极信号 $S_g$ 从截止信号(OFF)切换到导通信号(ON)。响应于该栅极信号 $S_g$ 的切换,栅极电压输出电路204的输出切换到正的电源电位 $V_{g+}$ 。由此,自灭弧式半导体元件302进入到接通动作。

[0089] 在时刻 $t_8$ ,自灭弧式半导体元件302进入到接通动作,从而自灭弧式半导体元件302的寄生电容开始被充电。由此,流过栅极电流 $I_g$ ,并且栅极电压 $V_g$ (第1主电极802与控制电极801之间的电压)增加。图5是示出图4的时刻 $t_8$ 至时刻 $t_9$ 下的栅极电流 $I_g$ 的电流路径701的图。

[0090] 在时刻 $t_8$ 至时刻 $t_9$ 的期间,栅极电压 $V_g$ 超过自灭弧式半导体元件302的阈值电压时(时刻 $t_{21}$ ),主电流 $I_d$ 开始从第2主电极803流到第1主电极802。在短路动作时没有负载,所以短路动作时的主电流 $I_d$ (例如,时刻 $t_9$ 下的值)成为比正常动作时的主电流 $I_d$ (例如,时刻 $t_1$ 至时刻 $t_6$ 的值)大的值。

[0091] 当在时刻 $t_{21}$ 开始流过主电流 $I_d$ 时,起因于功率模块的寄生电感,发生与主电流 $I_d$ 的变化相应的电压下降。其结果,第1以及第2主电极之间的电压 $V_d$ 从母线电压 $V_{dd}$ (例如,图3的直流电源1的电压)起下降。在通常时,电压 $V_d$ 下降至自灭弧式半导体元件的导通电压,负载保持母线电压 $V_{dd}$ ,但在短路动作时没有负载等,所以电压 $V_d$ 的下降小。另外,在短路动作时,寄生电容的变动也小,所以几乎看不到镜像期间。另外,此处方便性地将另一方的自灭弧式半导体元件设为导通状态,但电压 $V_d$ 根据另一方的自灭弧式半导体元件的状态而变动。

[0092] 进而,当在时刻 $t_{21}$ 开始流过主电流 $I_d$ 时,在电阻元件311(电流感测电阻)中流过与主电流 $I_d$ 成比例的感测电流 $I_s$ 。其结果,电压施加到电阻元件311(电流感测电阻)的两端间。短路动作时的主电流 $I_d$ 比正常动作时的主电流 $I_d$ 大,所以电阻元件311(电流感测电阻)的两端间的电压比通常动作时大。

[0093] 在时刻 $t_9$ ,当电阻元件311(电流感测电阻)的两端间的电压超过成为基准的阈值电压时,短路电流检测电路305判断为在自灭弧式半导体元件302中流过短路电流,将半导体开关元件341切换到导通状态。即,RTC电路304成为动作状态。

[0094] 图6是示出图4的时刻 $t_9$ 至时刻 $t_{11}$ 下的栅极电流 $I_g$ 的电流路径702的图。参照图4以及图6,当半导体开关元件341成为导通状态时,如图6的电流路径702所示,经由二极管351、电阻元件312以及半导体开关元件341而自灭弧式半导体元件302的控制电极801与第1主电极802之间的寄生电容放电。在时刻 $t_9$ 至时刻 $t_{10}$ 的期间,栅极电压 $V_g$ 减少至电阻元件312与栅极电压输出电路204内的栅极电阻的分压电压。其结果,自灭弧式半导体元件302的主电流 $I_d$ 也减少。

[0095] 当半导体开关元件341成为导通状态时,进而,从栅极电压输出电路204按照通过二极管351、电阻元件312以及半导体开关元件341的路径流过栅极电流 $I_g$ 。在正常动作时,只在时刻 $t_0$ 至时刻 $t_3$ 的期间流过栅极电流 $I_g$ ,相对于此,在短路动作时,在RTC电路304进行动作的期间,持续流过栅极电流 $I_g$ 。

[0096] 再次参照图2以及图4,短路动作时的上述栅极电流 $I_g$ 的流动由设置于栅极驱动器侧保护电路101的栅极电流检测电路107来监视。RTC动作判断电路108当判断为RTC电路304处于动作状态时,将栅极切断指令信号输出到门锁电路103。门锁电路103保持从RTC动作判断电路108接受的栅极切断开始指令。

[0097] 在时刻 $t_{11}$ ,栅极切断电路104当从门锁电路103接受栅极切断指令信号时,以切断从栅极信号输出电路202经由绝缘电路203而向栅极电压输出电路204输出的导通信号的方式进行动作。由此,在时刻 $t_{11}$ 至时刻 $t_{12}$ 的期间,栅极电压 $V_g$ 下降至0V(基准电位 $V_s$ )。另外,在该期间,栅极信号输出电路202也对绝缘电路203持续输出导通信号。

[0098] 与上述栅极切断电路104的动作并行地, $F_o$ 信号输出电路105当从门锁电路103接受栅极切断指令信号时,经由绝缘电路106而将异常检测信号( $F_o$ 信号)输出到控制电路200。

[0099] 控制电路200响应于异常检测信号( $F_o$ 信号),对栅极信号输出电路202输出控制信号,从而使栅极信号输出电路202输出截止信号。其结果,在时刻 $t_{13}$ ,栅极信号输出电路202的输出从导通信号切换到截止信号。接受该截止信号,栅极电压输出电路204的输出切换到负的电源电位 $V_{g-}$ ,从而短路保护动作完成。

[0100] 另外,在图4中,栅极驱动器侧保护电路101以当在时刻 $t_{11}$ 使栅极电压 $V_g$ 暂时下降至0V之后,在时刻 $t_{13}$ 使栅极电压 $V_g$ 下降至负的电源电位 $V_{g-}$ 的方式进行动作,但也可以代替其而在时刻 $t_{11}$ 使栅极电压 $V_g$ 立刻下降至负的电源电位 $V_{g-}$ 。

[0101] [变形例]

[0102] 在为了应对电力变换系统的大容量化而并联连接多个图2的功率模块301的情况下也能够应用上述短路保护电路。在该情况下,RTC电路304分别设置于各功率模块301。另一方面,针对相互并联连接的多个功率模块301,栅极驱动器201为1个即可,所以栅极驱动

器侧保护电路101也设置1个。

[0103] 作为上述自灭弧式半导体元件302的材料,不仅能够使用硅(Si),还能够使用碳化硅(SiC)。

[0104] [第1实施方式的效果]

[0105] 以下,说明相比于日本特开2005-20843号公报(专利文献1)所记载的方法、即通过判断栅极电压 $V_g$ 是否比基准电压低而判断RTC电路是否处于动作状态的方法,第1实施方式的短路保护电路的优点。

[0106] 如图1以及图2所示,RTC电路304与栅极驱动器侧保护电路101通过栅极驱动器一功率模块间布线401连接。因此,为了防止由于在该布线401中产生的高频噪声而栅极驱动器侧保护电路101进行误动作,需要将噪声去除用的RC滤波器设置于栅极驱动器侧保护电路101。在如以往的短路保护电路那样基于栅极电压 $V_g$ 的大小而判断RTC电路是否处于动作状态的情况下,为了去除栅极电压 $V_g$ 所包含的高频噪声分量,需要比较大的时间常数的RC滤波器。其结果,对于缩短自灭弧式半导体元件的短路保护所需的时间是有界限的。

[0107] 另一方面,在第1实施方式的短路保护电路中,通过栅极电流的变动来判断RTC电路304是否处于动作状态。在该情况下,栅极驱动器一功率模块间布线401越长,布线401的高频阻抗越大,所以不怎么流过高频电流。因此,高频噪声所致的电流变动比电压变动小。其结果,能够减小用于去除栅极电流 $I_g$ 所包含的高频噪声分量的RC滤波器的时间常数,所以能够缩短自灭弧式半导体元件的短路保护所需的时间。

[0108] 如以上那样,依照第1实施方式的自灭弧式半导体元件的短路保护电路不易受到噪声的影响,能够减小用于去除噪声的RC滤波器的时间常数。其结果,能够缩短从RTC电路进行动作起至切断栅极信号 $S_g$ (切换到截止信号)为止的时间,能够缩短自灭弧式半导体元件的短路保护所需的时间。

[0109] 进而,在第1实施方式的短路保护电路中,与日本特开2005-20843号公报(专利文献1)所记载的以往技术相比,具有用于判断RTC电路304是否处于动作状态的电路的结构变简单这样的优点。

[0110] 具体而言,参照图4,在正常动作时的接通动作完成后的时间段(例如,时刻 $t_3$ 至时刻 $t_4$ 的期间),作为栅极电压 $V_g$ 而施加正的电源电压( $V_{g+}$ )。在短路动作时,在RTC电路进行动作的时间段(例如,时刻 $t_{10}$ 至时刻 $t_{11}$ 的期间),施加正的电压(比 $V_{g+}$ 低)。因此,为了基于栅极电压 $V_g$ 而可靠地检测RTC电路进行动作这一情况,需要例如预先设定如包括图4的在时刻 $t_{10}$ 至时刻 $t_{11}$ 的期间示出的电压值那样的电压范围,并判定在预先决定的期间之间,栅极电压的检测值是否持续进入到该设定电压范围内。

[0111] 另一方面,关于栅极电流 $I_g$ ,在正常动作时的接通动作完成后的时间段(例如,时刻 $t_3$ 至时刻 $t_4$ 的期间)不流过栅极电流 $I_g$ 。在短路动作时,在RTC电路进行动作的时间段(例如,时刻 $t_{10}$ 至时刻 $t_{11}$ 的期间),流过某个正的栅极电流 $I_g$ 。因此,为了基于栅极电流 $I_g$ 而可靠地检测RTC电路进行动作这一情况,检测栅极电流的检测值在预先决定的期间之间未持续为0这一情况即可。因此,与判定是否进入到栅极电压 $V_g$ 的设定电压范围内的以往技术的情况相比,能够简化RTC动作判断电路108的电路结构,能够削减成本。

[0112] <第2实施方式>

[0113] 在第2实施方式中,示出图2的栅极驱动器侧保护电路101的具体的结构例。

[0114] [栅极切断指令输出电路的结构]

[0115] 图7是示出在第2实施方式的短路保护电路中使用的栅极切断指令输出电路102的具体的结构的电路图。在图7中,还示出图2的栅极电压输出电路204的具体的结构。

[0116] 参照图7,栅极电压输出电路204是所谓的推挽电路(push-pull circuit),包括N型的半导体开关元件241、P型的半导体开关元件242以及电阻元件211、212、115。

[0117] 半导体开关元件241连接于提供正的电源电位 $V_{g+}$ 的电源节点511与栅极布线411之间。半导体开关元件242串联地连接于提供负的电源电位 $V_{g-}$ 的电源节点503与栅极布线之间。在图7的情况下,分别使用N沟道MOSFET以及P沟道MOSFET作为半导体开关元件241、242。N沟道MOSFET241的漏极连接于电源节点511,P沟道MOSFET242的漏极连接于电源节点503。

[0118] 电阻元件115配置在栅极布线411上、即半导体开关元件241、242的连接节点ND1与自灭弧式半导体元件302的控制电极801之间。电阻元件115被用作自灭弧式半导体元件302用的栅极电阻。在第2实施方式的短路保护电路中,具有的特征点在于电阻元件115还被用作栅极电流的检测电阻。即,图2的栅极电流检测电路107包括电阻元件115。

[0119] 电阻元件211的一端与半导体开关元件241的控制电极(栅极)连接,另一端与绝缘电路203连接。同样地,电阻元件212的一端与半导体开关元件242的控制电极(栅极)连接,另一端与绝缘电路203连接。

[0120] RTC动作判断电路108基于电阻元件115(栅极电阻)的两端间的电压 $V_{rg}$ ,判断图2的RTC电路304是否为动作状态。如图7所示,RTC动作判断电路108包括作为延迟电路的RC滤波电路170、电阻元件117以及半导体开关元件143。另外,在半导体开关元件143与闩锁电路103之间,以使从半导体开关元件143向闩锁电路103的方向成为二极管152的正方向的方式连接有二极管152。

[0121] 半导体开关元件143具有第1以及第2主电极和控制电极,响应于供给到控制电极的信号,将第1以及第2主电极之间切换为导通或者截止。半导体开关元件143例如既可以是双极型晶体管,也可以是MOSFET。在图7的情况下,作为一个例子,半导体开关元件143是PNP型的双极型晶体管。半导体开关元件143的第1主电极(发射极)连接于连接节点ND1(半导体开关元件241、242之间),第2主电极(集电极)连接于闩锁电路103,控制电极(基极)连接于RC滤波电路170。由于半导体开关元件143连接于连接节点ND1与闩锁电路103之间,从而在接通时,在半导体开关元件241、143都为导通状态时,H电平的电压信号作为栅极切断指令信号经由二极管152输出到闩锁电路103。

[0122] RC滤波电路170设置在电阻元件115与半导体开关元件143之间。RC滤波电路170包括电阻元件116和电容器132。电阻元件以及电容器132按照该排列顺序相互串联地连接于自灭弧式半导体元件302的控制电极801与连接节点ND1之间,且与电阻元件115并联地连接。电容器132与电阻元件117并联地连接于半导体开关元件143的控制电极与第1主电极之间。

[0123] 根据上述RTC动作判断电路108的结构,在半导体开关元件241为导通状态时,当从电源节点511(正的电源电位 $V_{g+}$ )向电阻元件115流过栅极电流 $I_g$ 时,在电阻元件115中产生与栅极电流 $I_g$ 成比例的电压 $V_{rg}$ 。由于该电压 $V_{rg}$ 被输入到电阻元件116与电容器132的串联电路,从而电容器132的两端间的电压逐渐增加(与电压 $V_{rg}$ 的增加相比延迟)。电容器132的

两端间的电压与半导体开关元件143的控制电极与第1主电极之间的电压 $V_{gf}$  (以下,还称为半导体开关元件143的栅极电压 $V_{gf}$ ) 相等,所以当电容器132的两端间的电压 $V_{gf}$ 超过半导体开关元件143的阈值电压时,半导体开关元件143导通。其结果,高电平(H电平)的电压信号作为栅极切断指令信号输入到门锁电路103。因此,半导体开关元件143作为判定部发挥功能,该判定部根据电压 $V_{gf}$ 是否超过阈值电压 $V_{gfon}$ ,判定RTC电路304是否为动作状态。

[0124] [门锁电路以及栅极切断电路的结构例]

[0125] 图8是示出图7的门锁电路103、栅极切断电路104以及 $F_o$ 信号输出电路105的结构例的电路图。

[0126] (1. 门锁电路)

[0127] 参照图8,门锁电路103包括电阻元件113、110和电容器131。电阻元件113以及110按照该排列顺序串联地连接于二极管152的阴极与基准电位布线412之间。电容器131与电阻元件110并联地连接。

[0128] 根据上述门锁电路103的结构,从栅极切断指令输出电路102输入的H电平的电压信号(栅极切断指令信号)保持于电容器131。以使保持于该电容器131的电压比半导体开关元件141、142的阈值电压足够高的方式设定电阻元件131、110的电阻值。通过由电容器113和电阻元件131决定的时间常数决定直至半导体元件141进行动作为止的时间,由电阻110和电容器131决定H电平的保持时间。因此,根据功率模块的用途来决定电阻值、电容的大小即可。

[0129] (2. 栅极切断电路)

[0130] 栅极切断电路104包括半导体开关元件141、二极管151以及电阻元件111、114。在图8中,将连接绝缘电路203和栅极电压输出电路204的布线上的节点设为ND3。将电阻元件113、110的连接节点设为ND4。

[0131] 半导体开关元件141具有第1以及第2主电极和控制电极,响应于供给到控制电极的信号,切换在第1以及第2主电极之间流过的电流的导通以及截止。在图8的情况下,作为一个例子,半导体开关元件141是N沟道MOSFET,第1主电极、第2主电极以及控制电极分别对应于源极、漏极以及栅极。

[0132] 如图8所示,二极管151、电阻元件114以及半导体开关元件141按照该排列顺序,串联地连接于节点ND3与基准电位布线412之间。半导体开关元件141的控制电极经由电阻元件111而与连接节点ND4连接。

[0133] 根据上述栅极切断电路104的结构,在将比半导体开关元件141的阈值电压大的H电平电压保持于电容器131的期间,半导体开关元件141导通。其结果,即使在从栅极信号输出电路202输出导通信号的情况下,节点ND3的电位也被固定为与基准电位 $V_s$ 大致相等的值。即,从栅极信号输出电路202输出的导通信号被切断。

[0134] (3.  $F_o$ 信号输出电路)

[0135]  $F_o$ 信号输出电路105包括半导体开关元件142和电阻元件112。

[0136] 半导体开关元件142作为一个例子,与半导体开关元件141同样为N沟道MOSFET,具有第1主电极(源极)、第2主电极(漏极)以及控制电极(栅极)。半导体开关元件142连接于绝缘电路106与基准电位布线412之间。半导体开关元件142的控制电极经由电阻元件112而与连接节点ND4连接。

[0137] 根据上述Fo信号输出电路105的结构,在将比半导体开关元件142的阈值电压大的H电平电压保持于电容器131的期间,半导体开关元件142导通。由此,与基准电位Vs对应的低电平(L电平)的电压信号作为异常检测信号(Fo信号)经由绝缘电路106而输出到图2的控制电路200。

[0138] [短路保护电路的动作]

[0139] 图9是示出第2实施方式的短路保护电路的动作例的时序图。在图9中,按照从上往下的顺序,示出从栅极信号输出电路202输出的栅极信号Sg的波形、自灭弧式半导体元件302的栅极电压Vg以及栅极电流Ig的波形、图7的电压Vrg、Vgf的波形。电压Vrg表示相对电阻元件115的栅极电压输出电路204侧的端子的电阻元件115的另一方的端子的电位。电压Vgf表示半导体开关元件143的控制电极(基极)相对第1主电极(发射极)的电位(还称为半导体开关元件143的栅极电压Vgf)。

[0140] 时刻t0至时刻t7示出通常动作时的波形611、612、619、620,时刻t8以后示出短路动作时的波形615、616、621、622。栅极信号Sg的波形、栅极电压Vg的波形611、615以及栅极电流Ig的波形612、616与图4的情况相同。在以下的说明中,关于与图4共同的部分,不反复进行说明。

[0141] (1.通常动作时)

[0142] 以下,参照图2、图7以及图9,最初,说明通常动作时的短路保护电路的动作。

[0143] 在时刻t0至时刻t3的接通动作时,半导体开关元件241导通,所以向从电源节点511(正的电源电位Vg+)至自灭弧式半导体元件302的控制电极801的方向流过栅极电流Ig。因此,在构成栅极电流检测电路107的电阻元件115中产生负的电压Vrg。

[0144] 此处,在图9的电阻元件115与半导体开关元件143之间设置有RC滤波电路170,所以半导体开关元件143的栅极电压Vgf比电阻元件115所产生的电压Vrg延迟地变化。因此,通过调整由电阻元件116的电阻值以及电容器132的电容值决定的时间常数,能够在接通期间中,使电压Vgf的绝对值不超过半导体开关元件143的阈值电压Vgfon的绝对值(即,在考虑了负号的符号的情况下,不使电压Vgf比阈值电压Vgfon小)。

[0145] 在进行时刻t4至时刻t7的关断动作时,半导体开关元件242导通,所以向从自灭弧式半导体元件302的控制电极801至电源节点503(负的电源电位Vg-)的方向流过栅极电流Ig。因此,在构成栅极电流检测电路107的电阻元件115中产生正的电压Vrg。在该情况下,半导体开关元件143的栅极电压Vgf的极性与接通时相反,所以在考虑了负号的符号的情况下,电压Vgf不会变得比半导体开关元件143的阈值电压Vgfon小。

[0146] (2.短路动作时)

[0147] 接下来,说明短路动作时的短路保护电路的动作。如图4中说明那样,在时刻t8开始接通,在时刻t9,RTC电路304成为动作状态。由此,在时刻t9以后也持续流过栅极电流Ig,所以在电阻元件115中持续产生电压Vrg。由于对RC滤波电路170施加该电压Vrg,从而持续进行电容器132的充电。

[0148] 根据上述内容,在时刻t11,电容器132的两端间的电压(即,半导体开关元件143的栅极电压Vgf)的绝对值超过半导体开关元件143的阈值电压Vgfon的绝对值。于是,半导体开关元件143导通,所以从栅极切断指令输出电路102输出栅极切断指令信号,栅极切断指令信号保持于闩锁电路103。

[0149] 基于保持于闭锁电路103的栅极切断指令信号,栅极切断电路104切断导通信号,所以在时刻 $t_{11}$ 至时刻 $t_{12}$ 的期间,栅极电压 $V_g$ 与 $0V$ (基准电位 $V_s$ )相等,栅极电流 $I_g$ 成为 $0A$ 。进而,基于保持于闭锁电路103的栅极切断指令信号, $F_o$ 信号输出电路105经由绝缘电路106而将 $F_o$ 信号(异常检测信号)输出到控制电路200。

[0150] 在时刻 $t_{13}$ ,控制电路200基于 $F_o$ 信号(异常检测信号)而将栅极信号输出电路202的输出从导通信号切换到截止信号。响应于此,栅极电压输出电路204的输出切换到负的电源电位 $V_{g-}$ ,所以自灭弧式半导体元件302的栅极电压 $V_g$ 下降至负的电源电位 $V_{g-}$ 。

[0151] [第2实施方式的效果]

[0152] 如以上那样,在第2实施方式中,示出构成自灭弧式半导体元件的短路保护电路的栅极驱动器侧保护电路的具体的结构例。特别在利用设置于以往的栅极驱动器的栅极电阻的两端间的电压来检测栅极电流这一点中具有特征。由此,无需将栅极电流检测电路做成复杂的电路结构,所以能够以低的价格构成栅极驱动器侧电路。另外,本效果能够通过具体地记载于图7的电路而得到,闭锁电路、 $F_o$ 信号输出电路、栅极切断电路并非限定于图8所示的电路结构。第2实施方式的其它效果与第1实施方式相同。

[0153] <第3实施方式>

[0154] [栅极切断指令输出电路的结构]

[0155] 图10是示出在第3实施方式的短路保护电路中使用的栅极切断指令输出电路102的具体的结构的电路图。在图10中,还示出栅极电压输出电路204的结构。

[0156] 但是,在图10的栅极电压输出电路204中,自灭弧式半导体元件的栅极电阻的配置与图7的情况不同。在图10的情况下,分开设置接通用的栅极电阻(电阻元件115)和关断用的栅极电阻(电阻元件122)。栅极电流检测电路107仅由接通用的栅极电阻115构成。由此,在关断时流过的栅极电流由于不被检测到而能够忽略,无需考虑关断时的栅极切断指令输出电路102的误动作。

[0157] 具体参照图10,栅极电压输出电路204是所谓的推挽电路,包括N型的半导体开关元件241、P型的半导体开关元件242以及电阻元件211、212、115、122。

[0158] 半导体开关元件241连接于提供正的电源电位 $V_{g+}$ 的电源节点511与栅极布线411之间。半导体开关元件242连接于提供负的电源电位 $V_{g-}$ 的电源节点503与栅极布线411之间。电阻元件115配置在电源节点511与栅极布线411(节点ND1)之间。电阻元件115既可以如图10那样设置在电源节点511与半导体开关元件241之间,也可以与图10不同,设置在半导体开关元件241与栅极布线411(节点ND1)之间。同样地,电阻元件122配置在电源节点503与栅极布线411(节点ND1)之间。电阻元件122即可以如图10那样设置在电源节点503与半导体开关元件242之间,也可以与图10不同,设置在半导体开关元件242与栅极布线411(节点ND1)之间。

[0159] 在图10的情况下,分别使用N沟道MOSFET以及P沟道MOSFET来作为半导体开关元件241、242。N沟道MOSFET241的漏极经由电阻元件115而连接于电源节点511,P沟道MOSFET的漏极经由电阻元件122而连接于电源节点503。

[0160] 电阻元件211的一端与半导体开关元件241的控制电极(栅极)连接,另一端与绝缘电路203连接。同样地,电阻元件212的一端与半导体开关元件242的控制电极(栅极)连接,另一端与绝缘电路203连接。

[0161] RTC动作判断电路108基于电阻元件115(接通用的栅极电阻)的两端间的电压 $V_{rg}$ ,判断图2的RTC电路304是否为动作状态。关于图10的RTC动作判断电路108,其连接目的地的栅极电阻115的配置不同,但具有与图7的情况相同的结构。即,RTC动作判断电路108包括作为延迟电路的RC滤波电路170、电阻元件117以及半导体开关元件143。RC滤波电路170包括电阻元件116和电容器132。半导体开关元件143例如既可以是双极型晶体管,也可以是MOSFET。在图10的情况下,作为一个例子,半导体开关元件143是PNP型的双极型晶体管。

[0162] 电阻元件116以及电容器132按照该排列顺序串联地连接于电阻元件115的半导体开关元件241侧的端子ND5与电源节点511之间,且与电阻元件115并联地连接。半导体开关元件143连接于电源节点511(正的电源电位 $V_{g+}$ )与闩锁电路103之间。电阻元件117、半导体开关元件143以及RC滤波电路170的相互的连接关系与图7的情况相同,所以不反复进行说明。半导体开关元件143的第2主电极(集电极)与图7的情况不同,不经由二极管152,而是与闩锁电路103直接连接。

[0163] [短路保护电路的动作]

[0164] 图11是示出第3实施方式的短路保护电路的动作例的时序图。图11的时序图对应于图9的时序图。电压 $V_{rg}$ 表示相对电阻元件115的电源节点511侧的端子的电阻元件115的另一端的电位。

[0165] 在图11中,从栅极信号输出电路202输出的栅极信号 $S_g$ 的波形以及自灭弧式半导体元件302的栅极电压 $V_g$ 以及栅极电流 $I_g$ 的波形与图7的情况相同。另一方面,关于图11的电压 $V_{rg}$ 、 $V_{gf}$ 的波形,在接通时的情况(正常动作时的时刻 $t_0$ 至时刻 $t_3$ 、短路动作时的时刻 $t_8$ 至时刻 $t_{12}$ )下,与图7的波形相同,但在关断时的情况(正常动作时的时刻 $t_4$ 至时刻 $t_7$ 、短路动作时的时刻 $t_{13}$ 以后)下与图7的波形不同。即,在图11的情况下,在关断时在电阻元件115中不流过栅极电流,所以电压 $V_{rg}$ 以及电压 $V_{gf}$ 都保持0V不变化。

[0166] 这样关断时的电压 $V_{rg}$ 、 $V_{gf}$ 为0V,所以不同于电压 $V_{rg}$ 的极性相反的第2实施方式的情况,在关断时,构成RC滤波电路170的滤波电容器132不会强制地放电。因此,具有如下效果:在将自灭弧式半导体元件302刚刚关断之后接通的情况下,也不会由于滤波电容器132的充电延迟而难以探测RTC电路304为动作状态这一情况,也可以不考虑关断时的动作。

[0167] 如以上那样,根据依照第3实施方式的自灭弧式半导体元件的短路保护电路,无需实施关断时的噪声等所致的误动作对策,易于使滤波电路170的电路参数最佳化,所以与第2实施方式相比能够减小滤波电路170的时间常数,能够缩短短路保护所需的时间。

[0168] <第4实施方式>

[0169] [栅极切断指令输出电路的结构]

[0170] 图12是示出在第4实施方式的短路保护电路中使用的栅极切断指令输出电路102的具体的结构的电路图。在图12中,还示出栅极电压输出电路204的结构,其结构与图10的情况相同。

[0171] 参照图12,栅极切断指令输出电路102包括栅极电流检测电路107、RTC动作判断电路108。栅极电流检测电路107包括电阻元件115(栅极电阻)这一点与图10的情况相同,但RTC动作判断电路108的结构与图10的情况不同。

[0172] 具体而言,图12的RTC动作判断电路108包括RC滤波电路170、半导体开关元件143、电压限制电路171以及电压削减电路172。另外,图12的半导体开关元件143与图10的情况同

样地,例如既可以是双极型晶体管,也可以是MOSFET。在图12的情况下,作为一个例子,半导体开关元件143是PNP型的双极型晶体管,连接于电源节点511(正的电源电位 $V_{g+}$ )与闩锁电路103之间。

[0173] 电压限制电路171设置在栅极电流检测电路107与RC滤波电路170之间,是限制对RC滤波电路170输入的电压的电路。具体而言,电压限制电路171包括电阻元件118和齐纳二极管153。电阻元件118以及齐纳二极管153按照该排列顺序串联地连接于节点ND5(电阻元件115与半导体开关元件241的连接节点)与电源节点511(正的电源电位 $V_{g+}$ )之间,且与电阻元件115并联地连接。齐纳二极管153的阴极与电源节点511连接。

[0174] RC滤波电路170包括电阻元件116、119、电容器132以及二极管154。电阻元件116以及电容器132相互串联地连接且与齐纳二极管153并联地连接。电阻元件116连接于齐纳二极管153的阳极(节点ND7)侧。二极管154以及电阻元件119相互串联地连接且与电阻元件116并联地连接。二极管154的阳极连接于齐纳二极管153的阳极(节点ND7)侧。

[0175] 根据上述RC滤波电路170的结构,在电容器132被充电的情况(向从电源节点511至节点ND7的方向流过电流的情况)下,利用由电阻元件116的电阻值和电容器132的电容值决定的时间常数,电容器被充电。另一方面,在电容器132被放电的情况(流过与充电时相反的方向的电流的情况)下,利用由电阻元件116、119的并联合成电阻和电容器132的电容值决定的时间常数,电容器132被放电。因此,能够使电容器132的放电时间比充电时间短。

[0176] 电压削减电路172设置在RC滤波电路170与半导体开关元件143之间,是削减对半导体开关元件143的控制电极(基极)与第1主电极(发射极)之间施加的电压 $V_{gf}$ 的电路。具体而言,电压削减电路172包括电阻元件117、120和齐纳二极管155。电阻元件117并联地连接于半导体开关元件143的控制电极(基极)与第1主电极(发射极)之间。齐纳二极管155以及电阻元件120在电阻元件116与电容器132的连接节点ND8、和半导体开关元件143的控制电极(基极)之间,按照该排列顺序相互串联地连接。对连接节点ND8连接齐纳二极管155的阳极。

[0177] [短路保护电路的动作]

[0178] 图13是示出第4实施方式的短路保护电路的动作例的时序图。在图13中,按照从上往下的顺序,示出了从栅极信号输出电路202输出的栅极信号 $S_g$ 、自灭弧式半导体元件302的栅极电压 $V_g$ 、图12的电阻元件115所产生的电压 $V_{rg}$ 、齐纳二极管153所产生的电压 $V_z$ 以及半导体开关元件143的栅极电压 $V_{gf}$ 。电压 $V_{rg}$ 表示相对电阻元件115的电源节点511侧的端子的电阻元件115的另一端的电位。电压 $V_z$ 表示齐纳二极管153的阳极相对阴极的电位。电压 $V_{gf}$ 表示半导体开关元件143的控制电极(基极)相对第1主电极(发射极)的电位。

[0179] 时刻 $t_0$ 至时刻 $t_7$ 示出通常动作时的波形611、619、623、620。时刻 $t_8$ 以后示出短路动作时的波形615、621、624、622。栅极信号 $S_g$ 的波形、自灭弧式半导体元件302的栅极电压 $V_g$ 的波形611、615以及电压 $V_{rg}$ 的波形619、621与图11的情况相同。

[0180] 另外,与第3实施方式的情况(图11)同样地,在第4实施方式(图13)中,在关断时(正常动作时的时刻 $t_4$ 至 $t_7$ 、短路动作时的时刻 $t_{13}$ 以后),电阻元件115(栅极电阻)所产生的电压 $V_{rg}$ 也为0。因此,具有无需进行关断时的噪声等所致的误动作对策这样的优点。

[0181] 首先,说明电压限制电路171的动作以及效果。由于设置有电压限制电路171,从而在自灭弧式半导体元件302的接通时(时刻 $t_0$ 至时刻 $t_3$ 、时刻 $t_8$ 至时刻 $t_9$ )或者RTC电路304

的动作时(时刻 $t_9$ 至时刻 $t_{11}$ ),对RC滤波电路170输入的电压(齐纳二极管153的电压 $V_z$ )的大小被限制为齐纳电压 $V_{zr}$ 。因此,电容器132所产生的电压的大小以及对半导体开关元件143施加的电压的大小也被限制。其结果,与不设置电压限制电路171的情况相比,能够减小RC滤波电路170的时间常数,所以能够使短路保护动作高速化。

[0182] 进而,由于设置有电压限制电路171,从而具有在对电源节点511施加的正的电源电压 $V_g$ +变动时也能够使RC滤波电路170的输入电压为恒定这样的优点。当正的电源电压 $V_g$ +变动时,接通时间(时刻 $t_0$ 至时刻 $t_3$ 的时间)不大幅改变,但电阻元件115所产生的电压 $V_{rg}$ 的波形大幅改变。因此,当未设置电压限制电路171时,难以使RC滤波电路170的参数最佳化。通过设置电压限制电路171,在自灭弧式半导体元件302的接通时或者RTC电路304的动作时,对RC滤波电路170输入的电压的大小成为恒定,所以能够使RC滤波电路170的参数(因此,时间常数)最佳化。

[0183] 接下来,说明电压削减电路172的动作以及效果。半导体开关元件143的阈值电压 $V_{gfon}$ 为0.6V~1V左右。因此,在第2以及第3实施方式的情况下,为了在通常动作下的接通时(时刻 $t_0$ 至时刻 $t_3$ 的期间),不使半导体开关元件143的栅极电压 $V_{gf}$ 的绝对值超过阈值电压 $V_{gfon}$ 的绝对值,必须在RC滤波电路170中将时间常数设为比较大的值。

[0184] 相对于此,在设置有电压削减电路172的第4实施方式中,接通时的半导体开关元件143的栅极电压 $V_{gf}$ 与从电容器132的电压减去齐纳二极管155的齐纳电压并通过电阻元件117、120而对相减结果进行分压而得到的电压相等。即,半导体开关元件143的栅极电压 $V_{gf}$ 的绝对值与未设置电压削减电路172的情况相比被削减。其结果,能够在RC滤波电路170中将时间常数设为比较小的值,所以能够使短路保护动作高速化。

[0185] 接下来,说明对图12的RC滤波电路170新追加的二极管154以及电阻元件119的效果。如图12所说明那样,追加二极管154以及电阻元件119,从而能够使电容器132的放电时间比充电时间短。其结果,在图13的情况下,在时刻 $t_3$ 以后至电压 $V_{gf}$ 返回到0V为止的时间比图9以及图11中分别示出的第2以及第3实施方式的情况短。同样地,在时刻 $t_{12}$ 以后至电压 $V_{gf}$ 返回到0V为止的时间比图9以及图11的情况短。

[0186] 一般在图3中说明的逆变器电路的情况下,为了避免对U相用的自灭弧式半导体元件302a、302b同时地输入导通信号,设置在导通信号与截止信号的切换时对两方同时地输入截止信号的死区时间。关于V相用的自灭弧式半导体元件302c、302d以及W相用的自灭弧式半导体元件302e、302f也是同样的。该死区时间成为交流输出的波形失真的原因,所以期望尽量短。

[0187] 然而,在未设置二极管154以及电阻元件119的情况(第2以及第3实施方式的情况)下,使电容器132放电所需的时间需要与自灭弧式半导体元件302的接通时间大致相同程度的时间。在该情况下,直至电容器132的放电完成为止无法输入接下来的导通信号,所以难以缩短死区时间。相对于此,在本实施方式的情况下,通过设置二极管154以及电阻元件119,能够缩短电容器132的放电时间,所以能够缩短死区时间。

[0188] 上述所说明的电压限制电路171、电压削减电路172以及图12的RC滤波电路170的结构不仅能够应用于第4实施方式,还能够应用于第2以及第3实施方式的短路保护电路中的RTC动作判断电路108。

[0189] <第5实施方式>

[0190] [栅极切断指令输出电路的结构]

[0191] 图14是示出在第5实施方式的短路保护电路中使用的栅极切断指令输出电路的具体的结构的电路图。在图14中,还示出栅极电压输出电路204的结构,其结构与图10以及图12的情况相同。

[0192] 如图14所示,栅极切断指令输出电路102包括栅极电流检测电路107和RTC动作判断电路108。栅极电流检测电路107包括电阻元件115(栅极电阻)这一点与图10以及图12中说明的第3以及第4实施方式的情况相同,但RTC动作判断电路108的结构与图10以及图12的情况不同,也与图7中说明的第2实施方式的情况不同。

[0193] 具体而言,在第2、第3以及第4实施方式的情况下,RTC动作判断电路108是包括RC滤波电路170的结构。电阻元件115所产生的电压 $V_{rg}$ 被输入到RC滤波电路170,将RC滤波电路170的输出电压对半导体开关元件143的控制电极与第1主电极之间施加,从而在接通时半导体开关元件143的栅极电压 $V_{gf}$ 的绝对值不超过阈值电压的绝对值。

[0194] 相对于此,在第5实施方式的情况下,在从栅极信号输出电路202输出导通信号起预先决定的屏蔽时间的期间,半导体开关元件143的栅极电压 $V_{gf}$ 被保持为0V。即,RTC动作判断电路108构成为判断在经过规定的屏蔽时间之后,RTC电路304是否处于动作状态。由此,即使在半导体开关元件143的阈值电压 $V_{fgon}$ 中存在偏差的情况下,也能够防止在通常动作时半导体开关元件143导通这样的误动作。

[0195] 参照图14,RTC动作判断电路108包括半导体开关元件143、电阻元件120以及屏蔽电路173。

[0196] 半导体开关元件143与第3以及第4实施方式的情况同样地,连接于电源节点511(正的电源电位 $V_{g+}$ )与闩锁电路103之间。半导体开关元件143在成为导通状态时,作为栅极切断指令信号而将H电平的电压信号输出到闩锁电路103。半导体开关元件143例如既可以是双极型晶体管,也可以是MOSFET。在图14的例子中,作为一个例子,半导体开关元件143是PNP型的双极型晶体管。半导体开关元件143的第1主电极(发射极)连接于电源节点511,第2主电极(集电极)连接于闩锁电路103,控制电极(基极)经由电阻元件120连接于节点ND5(电阻元件115的与电源节点511相反一侧的端子)。

[0197] 屏蔽电路173连接于节点ND3(绝缘电路203的输出侧且栅极电压输出电路204的输入侧的节点)与半导体开关元件143的控制电极之间。屏蔽电路173在自栅极信号输出电路202的输出从截止信号切换到导通信号起规定的屏蔽时间的期间,将半导体开关元件143的栅极电压 $V_{gf}$ 固定为0V,在经过屏蔽时间之后,对半导体开关元件143的控制电极与第1主电极之间施加电阻元件115(栅极电阻)的两端间的电压 $V_{rg}$ 。

[0198] 具体而言,屏蔽电路173包括半导体开关元件144和作为延迟电路的RC滤波电路174。半导体开关元件144例如既可以是双极型晶体管,也可以是MOSFET。在图14的情况下,作为一个例子,半导体开关元件144是PNP型的双极型晶体管。半导体开关元件144的第1主电极(发射极)以及第2主电极(集电极)分别连接于半导体开关元件143的第1主电极(发射极)以及控制电极(基极)。半导体开关元件144的控制电极(基极)经由RC滤波电路174连接于节点ND3。另外,在以下,将半导体开关元件144的控制电极相对第1主电极的电压 $V_{gm}$ 称为半导体开关元件144的栅极电压 $V_{gm}$ 。

[0199] RC滤波电路174包括电阻元件116和电容器132。电阻元件116以及电容器132按照

该排列顺序串联地连接于节点ND3与电源节点511之间。电阻元件116与电容器132的连接节点ND11连接于半导体开关元件144的控制电极(基极)。

[0200] [短路保护电路的动作]

[0201] 图15是示出第5实施方式的短路保护电路的动作例的时序图。在图15中,按照从上往下的顺序,示出从栅极信号输出电路202输出的栅极信号 $S_g$ 、自灭弧式半导体元件302的栅极电压 $V_g$ 、图14的电阻元件115所产生的电压 $V_{rg}$ 、半导体开关元件144的栅极电压 $V_{gm}$ 以及半导体开关元件143的栅极电压 $V_{gf}$ 。电压 $V_{rg}$ 表示相对电阻元件115的电源节点511侧的端子的电阻元件115的另一端的电位。电压 $V_{gm}$ 表示半导体开关元件144的控制电极(基极)相对第1主电极(发射极)的电位。电压 $V_{gf}$ 表示半导体开关元件143的控制电极(基极)相对第1主电极(发射极)的电位。

[0202] 时刻 $t_0$ 至时刻 $t_7$ 示出通常动作时的波形611、619、625、620。时刻 $t_8$ 以后示出短路动作时的波形615、621、626、622。栅极信号 $S_g$ 的波形、自灭弧式半导体元件302的栅极电压 $V_g$ 的波形611、615以及电压 $V_{rg}$ 的波形619、621与图11以及图13的情况相同。

[0203] 参照图14以及图15,在从栅极信号输出电路202输出截止信号的期间,半导体开关元件144为导通状态,所以半导体开关元件143的栅极电压 $V_{gf}$ 被保持为0V。

[0204] 栅极信号输出电路202的输出(栅极信号 $S_g$ )切换到导通信号时的半导体开关元件144的栅极电压 $V_{gm}$ 的变化由于RC滤波电路174而比栅极信号 $S_g$ 的变化延迟。在半导体开关元件144的栅极电压 $V_{gm}$ 的绝对值低于阈值电压 $V_{gmon}$ 的绝对值时,半导体开关元件144截止,由此,对半导体开关元件143的控制电极与第1主电极之间施加电阻元件115的电压 $V_{rg}$ 。但是,为了避免在通常动作时直至自灭弧式半导体元件302的接通动作完成为止(即,直至时刻 $t_3$ 为止)半导体开关元件144截止,即,为了避免在考虑了负号的符号的情况下电压 $V_{gm}$ 超过阈值电压 $V_{gmon}$ ,调整了RC滤波电路174的时间常数(时间常数由电阻元件116的电阻值和滤波电容器132的电容值决定)。因此,在通常动作时半导体开关元件143的栅极电压 $V_{gf}$ 始终被保持为0V。

[0205] 另一方面,在短路动作时,在自灭弧式半导体元件302的接通动作完成后、即经过RC滤波电路174所致的延迟时间(屏蔽期间)之后,RTC电路304为动作状态。在该情况下,在经过延迟时间(屏蔽期间)的时刻 $t_{11}$ 的时间点,电压 $V_{gf}$ 的绝对值瞬间上升,超过半导体开关元件143的阈值电压 $V_{fgon}$ 的绝对值。其结果,半导体开关元件143成为导通状态,H电平的电压作为栅极切断指令信号输入到闩锁电路103。

[0206] 这样第5实施方式的短路保护电路与第2~第4实施方式的情况相比,能够更高速地进行短路保护动作。另外,在图14中,为了去除噪声,也可以在栅极电流检测电路107(电阻元件115)与半导体开关元件143之间设置RC滤波电路170。

[0207] 本次公开的各实施方式应被认为在所有点中是例示而非限制性的。关于本发明的范围,不是通过上述说明示出,而是通过权利要求书示出,意图包含与权利要求书均等的意义以及范围内的所有变更。





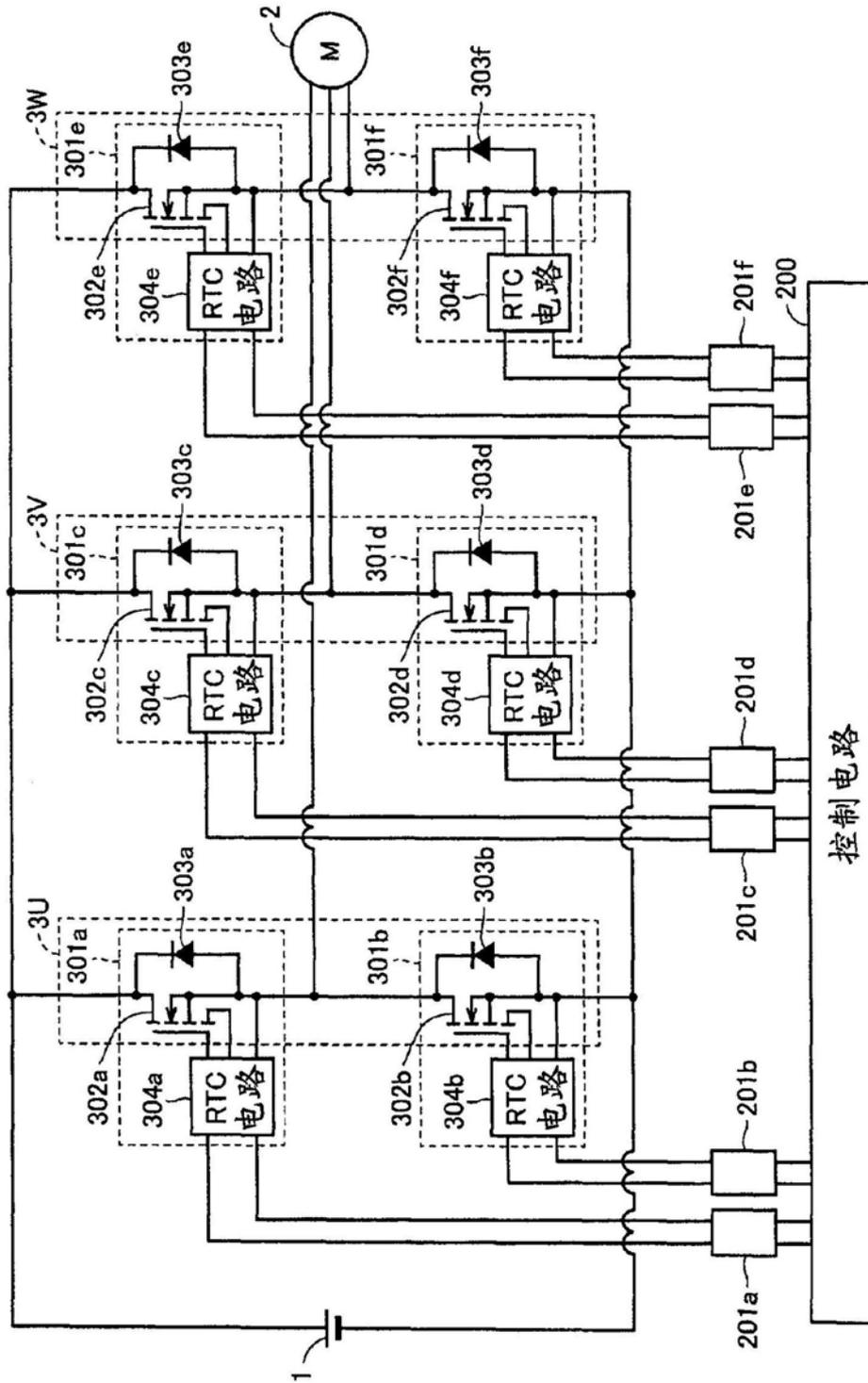


图3

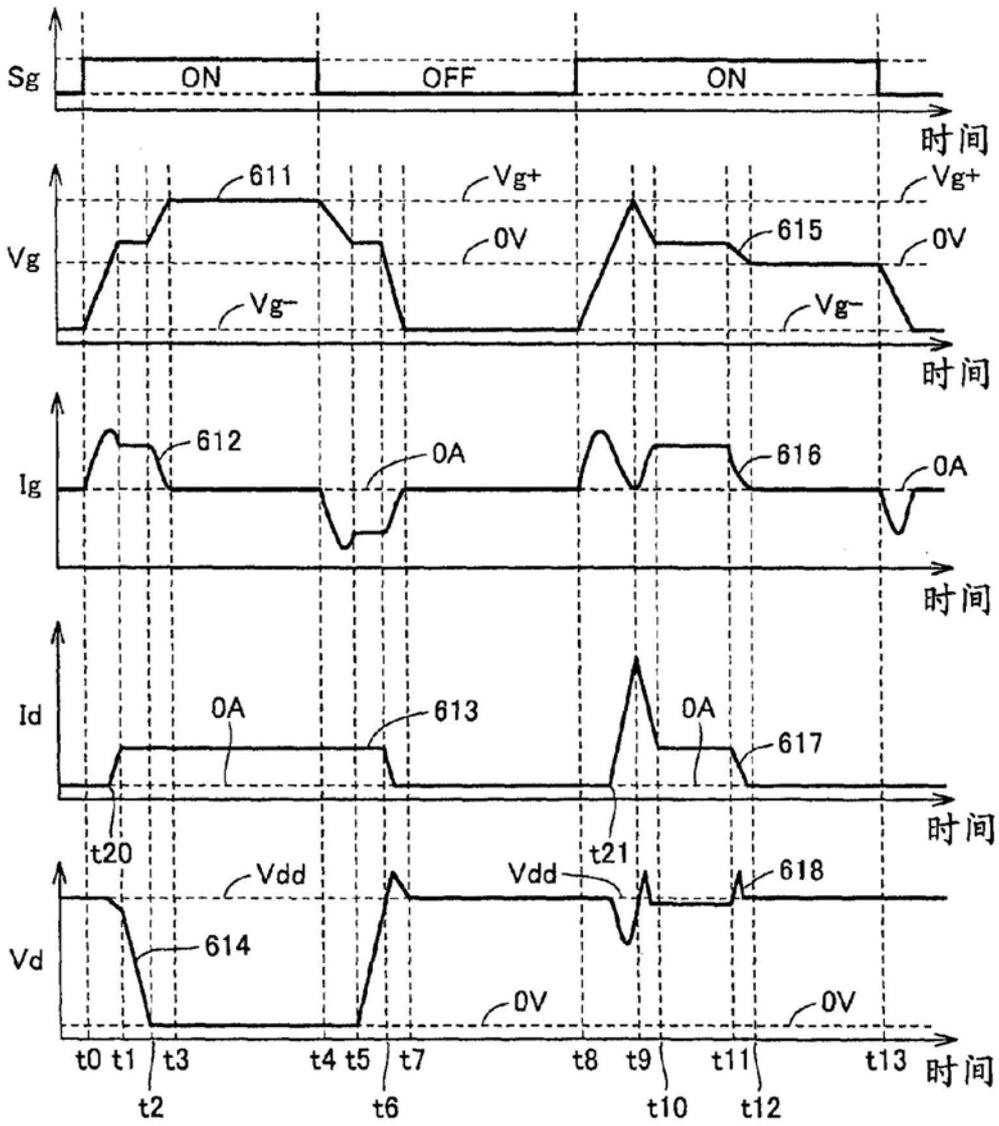


图4

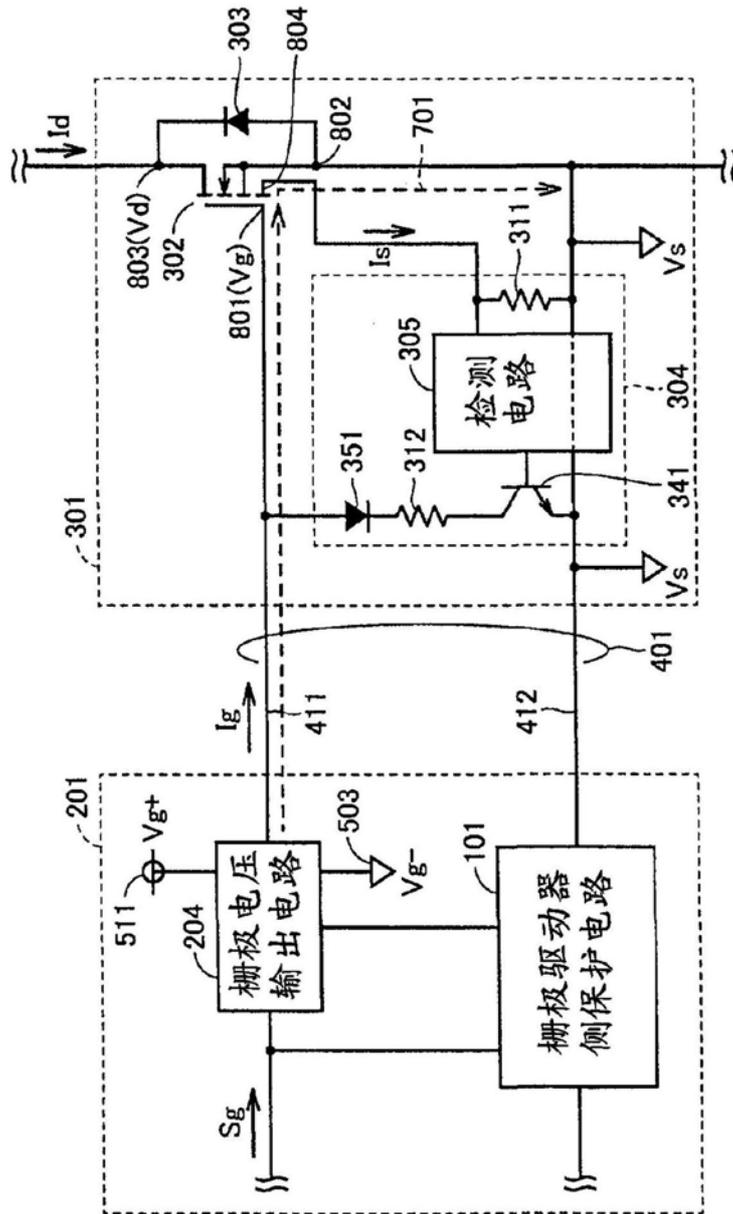


图5



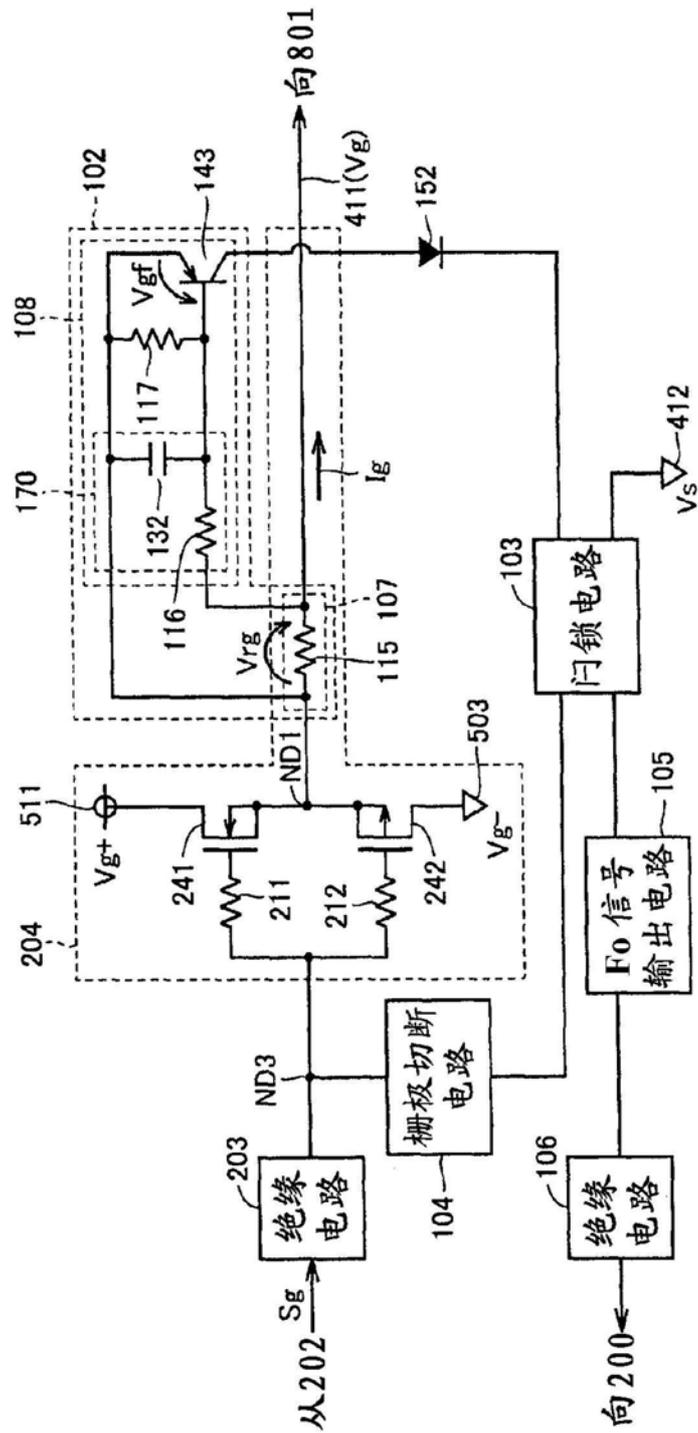


图7

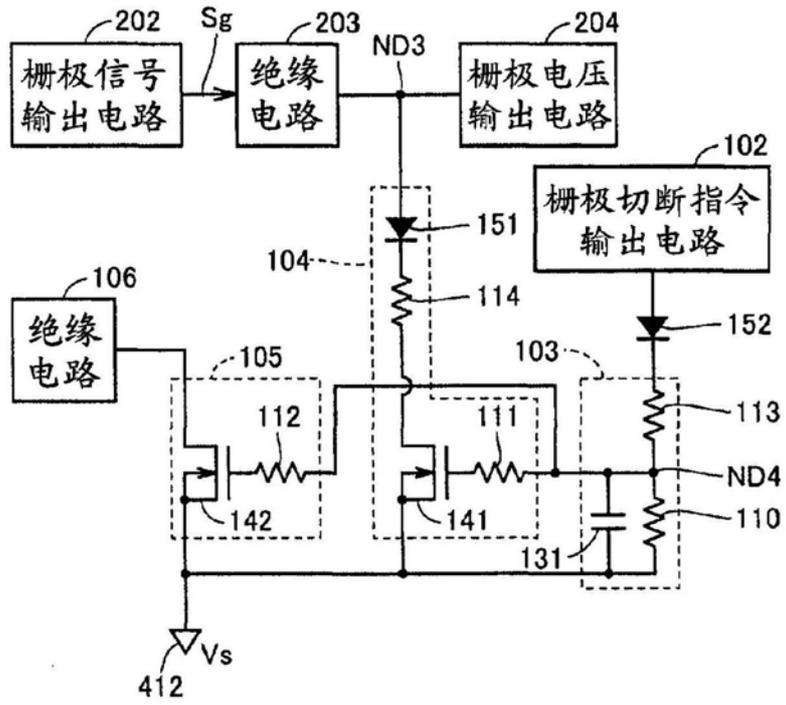


图8

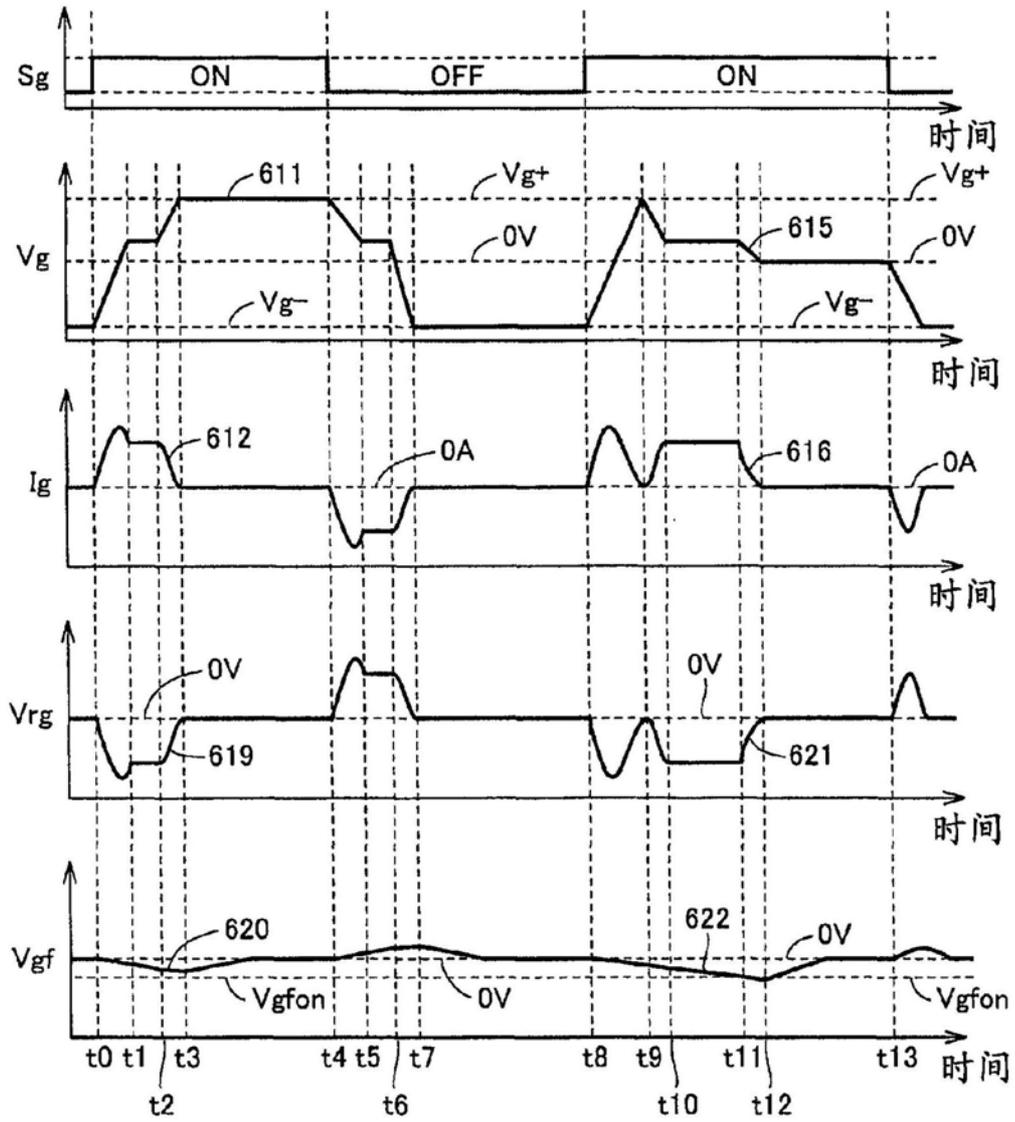


图9



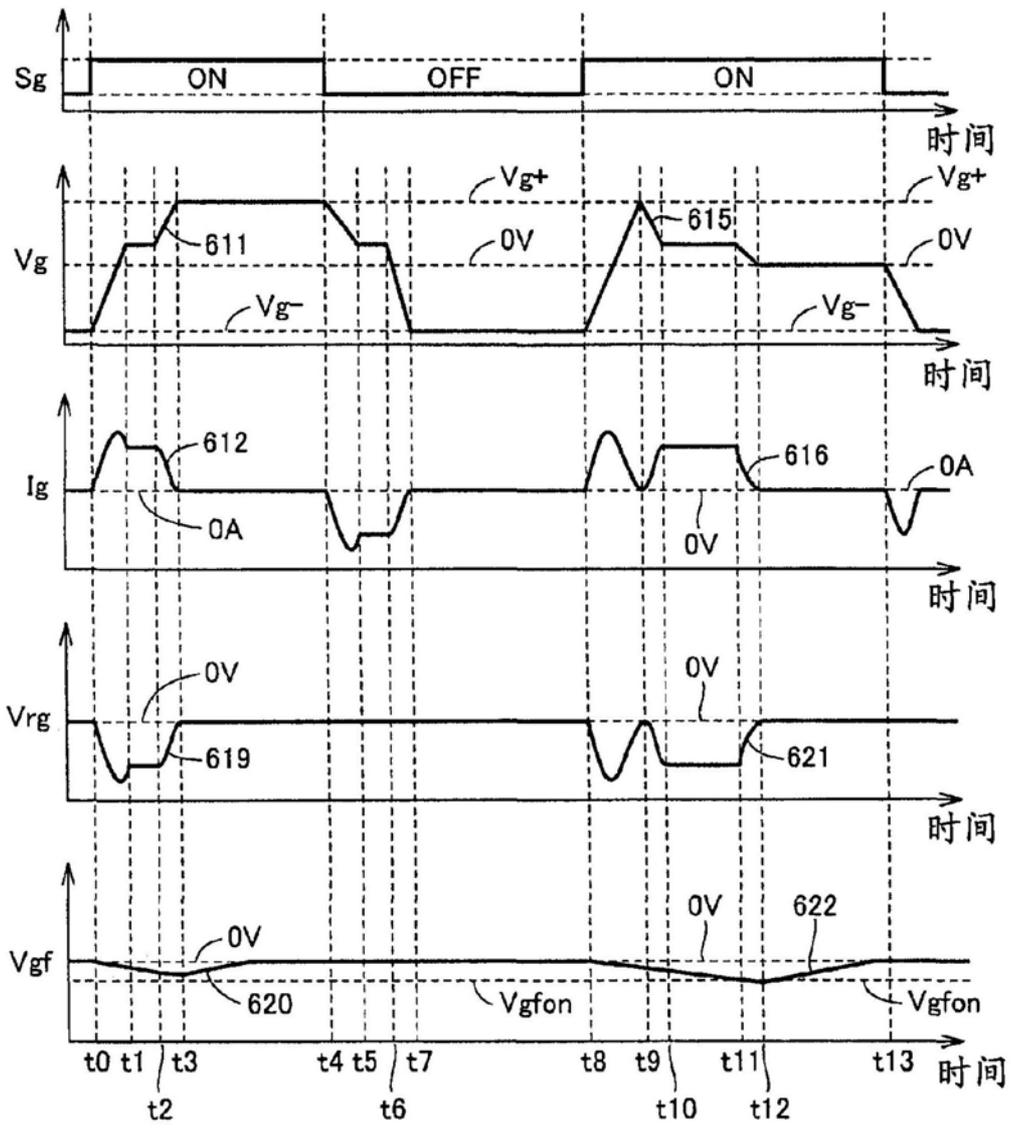


图11

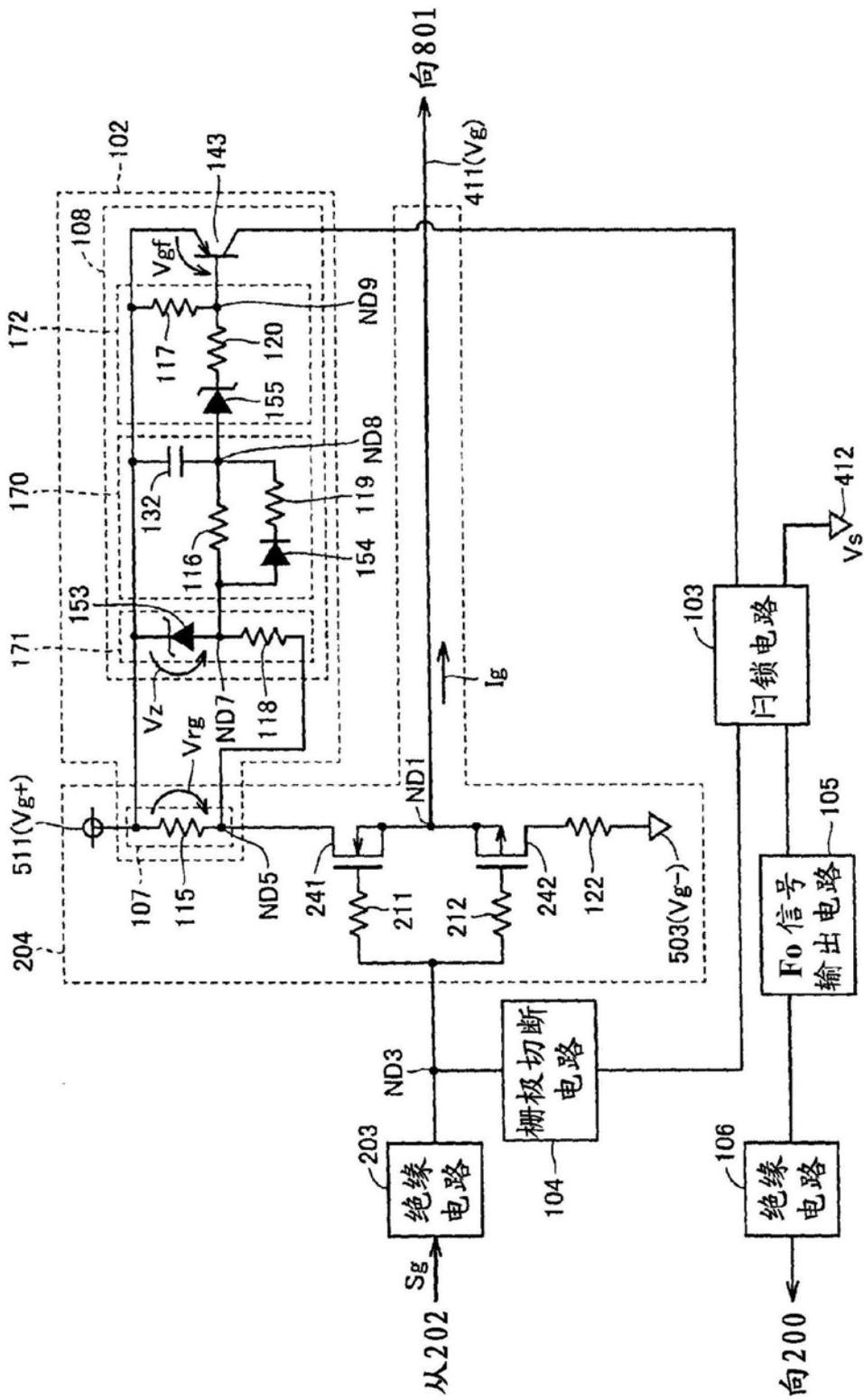


图12

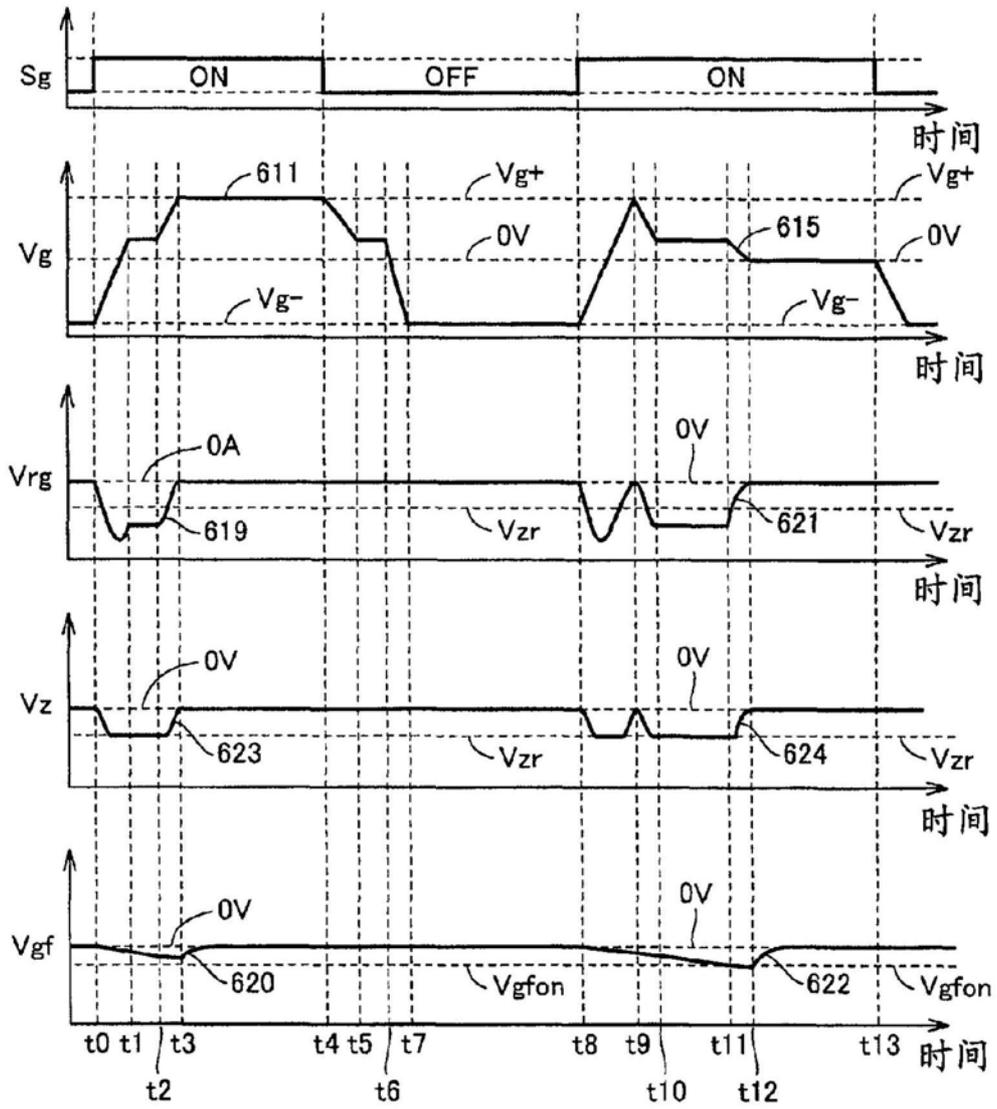


图13

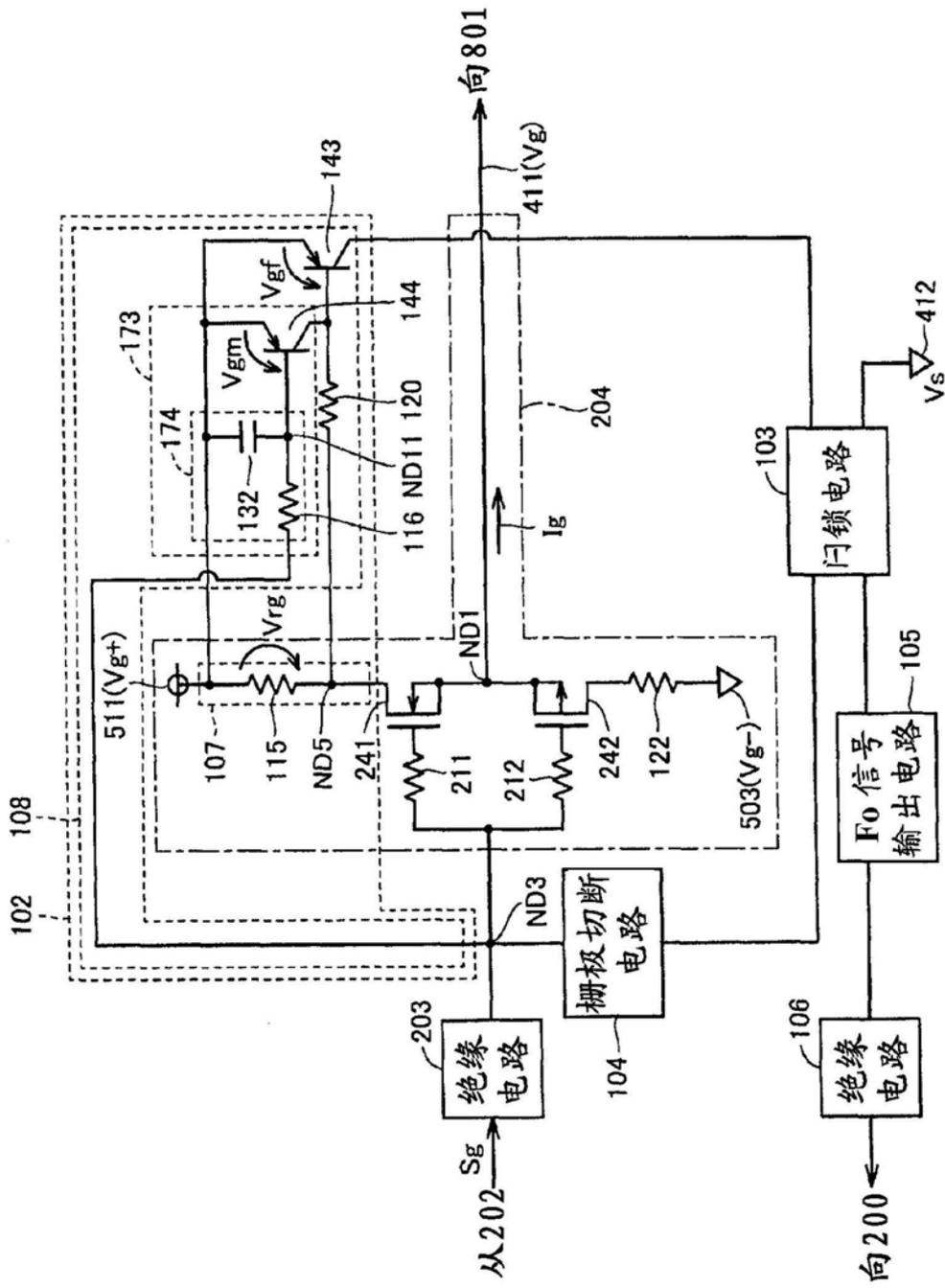


图14

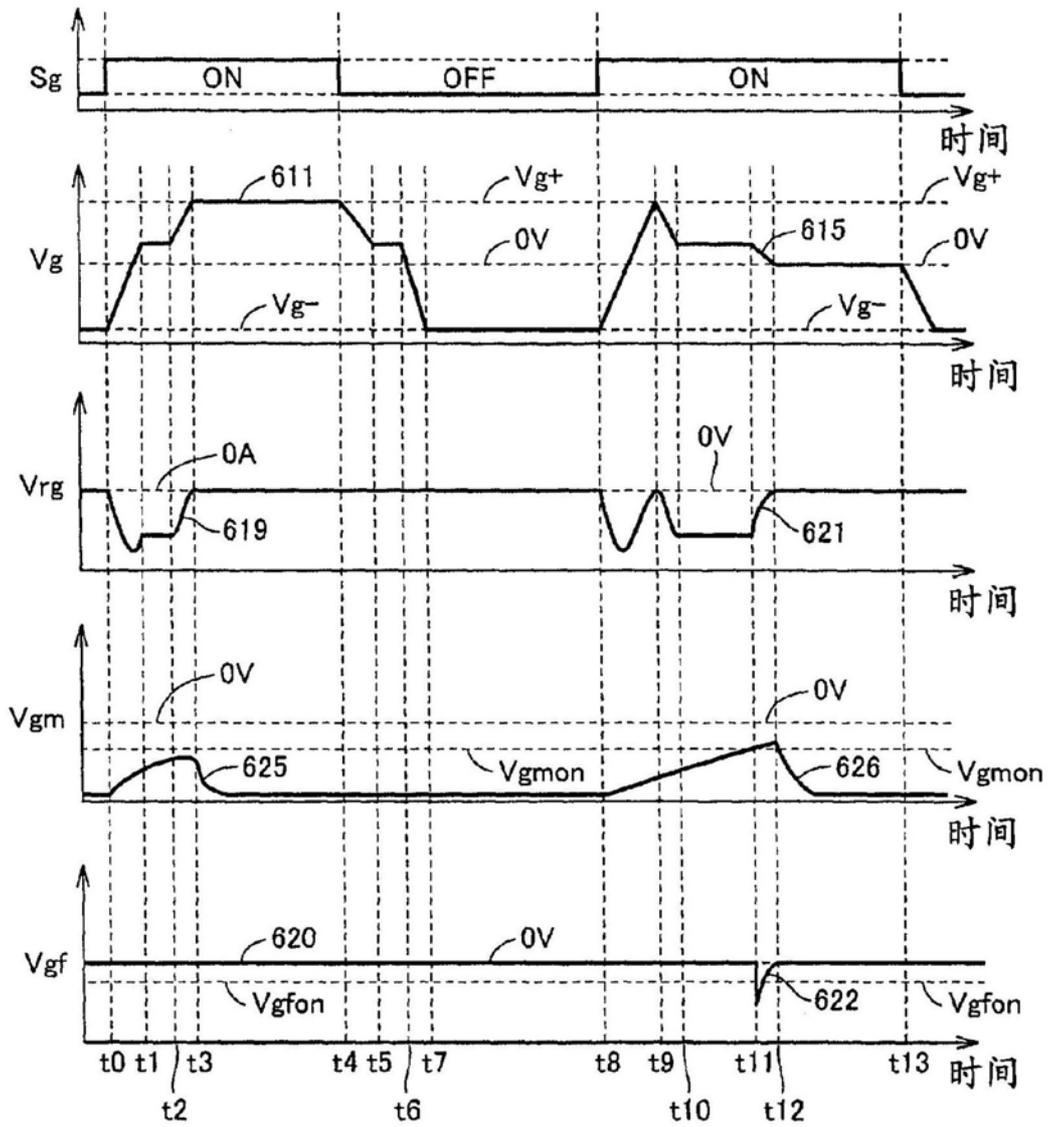


图15