



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110719015 B

(45) 授权公告日 2024.02.13

(21) 申请号 201910627843.7

(51) Int.CI.

(22) 申请日 2019.07.12

H02M 1/08 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110719015 A

(56) 对比文件

(43) 申请公布日 2020.01.21

CN 106471740 A, 2017.03.01

(30) 优先权数据

CN 106026704 A, 2016.10.12

18183155.3 2018.07.12 EP

CN 107276574 A, 2017.10.20

(73) 专利权人 电力集成公司

CN 107947538 A, 2018.04.20

地址 美国加利福尼亚州

CN 108011355 A, 2018.05.08

(72) 发明人 J·塔尔海姆

US 2012200320 A1, 2012.08.09

(74) 专利代理机构 北京汇知杰知识产权代理有限公司 11587

US 2018145676 A1, 2018.05.24

专利代理人 李洁 董江虹

审查员 付文英

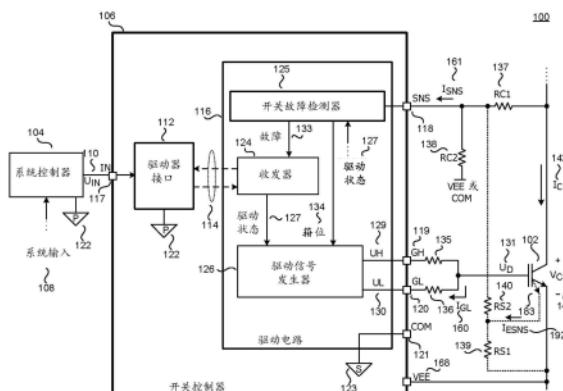
## (54) 发明名称

保护开关模式功率转换器中的半导体开关

## (57) 摘要

描述了用于驱动功率半导体开关的驱动器电路。功率半导体开关具有控制输入和主端子。驱动器电路包括：控制端子驱动器电路，其被配置为耦合到功率半导体开关的控制输入并向其提供驱动信号；感测端子，其被配置为耦合到功率半导体开关的主端子；电流镜，其耦合到感测端子，以在关断期间将输入到感测端子中的电流镜像；第一电流比较器，其被耦合以将从电流镜接收到的电流信号与第一电流阈值进行比较，并输出表示比较结果的第一信号；第二比较器，其被耦合以将从感测端子接收到的信号与接通阈值进行比较，并输出表示比较结果的第二信号。所述接通阈值表示在接通期间所述主端子的最高电压。所述第一电流阈值表示在关断期间所述主端子的最高电压。

权利要求书2页 说明书17页 附图12页



1. 用于驱动功率半导体开关的驱动器电路,所述功率半导体开关具有控制输入和主端子,所述驱动器电路包括:

控制端子驱动器电路,其被配置为耦合到所述功率半导体开关的控制输入并向其提供驱动信号;

感测端子,其被配置为耦合到所述功率半导体开关的主端子;以及

开关故障检测器电路,其用于检测过电压状况、过电流状况和短路状况,所述开关故障检测器电路包括:

第一电流比较器,其被耦合以在关断期间将从所述感测端子接收到的信号与关断阈值进行比较,并输出表示比较结果的第一信号,其中所述关断阈值表示在关断期间所述主端子的最高电压,并且所述第一信号指示过电压故障,以及;

第二比较器(470),其被耦合以在接通期间将从所述感测端子接收到的信号与接通阈值进行比较,并输出表示比较结果的第二信号,其中所述接通阈值表示在接通期间所述主端子的最高电压,并且所述第二信号指示过电流和/或短路状况故障。

2. 根据权利要求1所述的驱动器电路,还包括开关电路,所述开关电路能切换以:在关断期间以及在断开状态下将所述第一电流比较器耦合到所述感测端子,并且在接通期间以及在导通状态下将所述第一电流比较器从所述感测端子解耦。

3. 根据权利要求2所述的驱动器电路,其中,所述开关电路被耦合以接收指示所述功率半导体开关要处于断开状态还是处于导通状态的驱动状态信号。

4. 根据权利要求1至3中任一项所述的驱动器电路,其中,

所述关断阈值还表示在断开状态下所述主端子的最高电压;以及

所述接通阈值还表示在导通状态下所述主端子的最高电压。

5. 根据权利要求1至3中任一项所述的驱动器电路,其中,响应于所述第一信号指示在关断期间所述主端子的电压超过所述关断阈值,所述控制端子驱动器电路响应以降低关断速率。

6. 根据权利要求1至3中任一项所述的驱动器电路,其中:

所述驱动器电路还包括耦合在所述感测端子和所述第一电流比较器之间的电流镜。

7. 根据权利要求1至3中任一项所述的驱动器电路,还包括定时器电路,所述定时器电路用于对一持续时间进行计时,在所述持续时间期间,所述第二信号指示在接通期间从所述感测端子接收到的信号超过所述接通阈值。

8. 根据权利要求2或3所述的驱动器电路,其中,所述第一电流比较器、所述第二比较器和所述开关电路在单个半导体封装件中,其中所述感测端子是所述封装件的端子。

9. 根据权利要求1至3中任一项所述的驱动器电路,其中,所述关断阈值是可变阈值。

10. 根据权利要求1至3中任一项所述的驱动器电路,其中,所述感测端子的输入阻抗在关断期间比在接通期间相对更低,并且所述第一信号是被耦合以降低功率开关的关断速度的箝位信号,例如,其中所述感测端子的输入阻抗在关断期间小于 $200\text{k}\Omega$ 并且在接通期间大于 $10\text{M}\Omega$ ,例如,其中所述感测端子的输入阻抗在关断期间小于 $10\text{k}\Omega$ 并且在接通期间大于 $100\text{M}\Omega$ 。

11. 用于驱动功率半导体开关的驱动器电路,所述功率半导体开关具有控制输入和主端子,所述驱动器电路包括:

控制端子驱动器电路,其被配置为耦合到所述功率半导体开关的控制输入并向其提供驱动信号;

感测端子,其被配置为耦合到所述功率半导体开关的主端子;

电流镜,其耦合到所述感测端子,以在关断期间将输入到所述感测端子中的电流镜像;

第一电流比较器,其被耦合以将从所述电流镜接收到的电流信号与第一电流阈值进行比较,并输出表示比较结果的第一信号,其中所述第一电流阈值表示在关断期间所述主端子的最高电压;

第二比较器,其被耦合以将从所述感测端子接收到的信号与接通阈值进行比较,并输出表示比较结果的第二信号,其中所述接通阈值表示在接通期间所述主端子的最高电压。

12.根据权利要求11所述的驱动器电路,还包括开关电路,所述开关电路能切换以:在关断期间以及在断开状态下将所述电流镜耦合到所述感测端子,并且在接通期间以及在导通状态下将所述电流镜从所述感测端子解耦。

13.根据权利要求12所述的驱动器电路,其中,所述开关电路被耦合以接收指示所述功率半导体开关要处于断开状态还是处于导通状态的驱动状态信号。

14.根据权利要求11至13中任一项所述的驱动器电路,其中:

所述第一电流阈值还表示在断开状态下所述主端子的最高电压;以及

所述接通阈值还表示在导通状态下所述主端子的最高电压。

15.根据权利要求11至13中任一项所述的驱动器电路,其中,响应于所述第一信号指示在关断期间所述主端子的电压超过所述第一电流阈值,所述控制端子驱动器电路响应以降低关断速率。

16.根据权利要求11至13中任一项所述的驱动器电路,还包括定时器电路,所述定时器电路用于对一持续时间进行计时,在所述持续时间期间,所述第二信号指示在接通期间从所述感测端子接收到的信号超过所述接通阈值。

17.根据权利要求12或13所述的驱动器电路,其中,所述第一电流比较器、所述第二比较器和所述开关电路在单个半导体封装件中,其中所述感测端子是所述封装件的端子。

18.根据权利要求11至13中任一项所述的驱动器电路,其中,所述第一电流阈值是可变阈值。

19.根据权利要求11至13中任一项所述的驱动器电路,其中,

所述第一电流比较器和所述第二比较器是开关故障检测器电路的部分,

所述第一信号指示过电压故障,

所述第二信号指示过电流和/或短路状况故障,以及

所述感测端子的输入阻抗在关断期间比在接通期间相对更低,例如,其中所述感测端子的输入阻抗在关断期间小于 $200k\Omega$ 并且在接通期间大于 $10M\Omega$ ,例如,其中所述感测端子的输入阻抗在关断期间小于 $10k\Omega$ 并且在接通期间大于 $100M\Omega$ 。

## 保护开关模式功率转换器中的半导体开关

### 技术领域

[0001] 本发明总体涉及保护开关模式功率转换器中的半导体开关。

### 背景技术

[0002] 电子设备使用电力来运行。开关模式功率转换器通常用于通过控制跨能量传递元件的功率传递将未调节或松散调节的输入转换为更紧密调节的输出。除了能量传递元件之外，开关模式功率转换器通常还包括至少一个功率开关和控制功率开关的控制器。控制器切换功率开关以控制跨能量传递元件的能量传递并实现经调节的输出。控制器通常接收表示输出的反馈信号，并且在闭环控制方案中，改变一个或多个开关参数以将输出调节到期望的量。在不同的实施方式中，可以例如通过改变开关占空比（开关的导通时间与总开关周期的比率）、改变开关频率和/或改变功率开关每单位时间的导通时间脉冲的数量来实现期望的输出。

[0003] 有许多情况可能导致开关模式功率转换器的故障。例如，在许多应用中，在功率开关上施加高电压并且在其主端子之间传导高电流。如果功率开关没有被合适地设计成承受高电压或传导高电流，则功率开关可能会被损坏。此外，甚至被合适设计的功率开关也可能在不适当的运行状况（包括功率交叉、静电放电事件、电涌、雷击等）下被损坏。根据运行环境，功率开关的故障不仅可能导致功率转换器的故障，还可能导致其他设备的故障以及财产甚至生命损失。

### 附图说明

[0004] 参考以下附图描述本发明的非限制性和非穷举性实施方案，其中除非另有说明，否则相同的附图标记在所有各个视图中指代相同的部分。

[0005] 图1示出了根据本公开内容的实施方案的包括具有开关故障检测器的开关控制器的示例开关控制系统。

[0006] 图2A示出了根据本公开内容的实施方案的在正常状况和短路或过电流状况下的驱动信号和开关电压的示例波形。

[0007] 图2B示出了根据本公开内容的实施方案的在正常状况和过电压状况下的驱动信号和开关电压的示例波形。

[0008] 图3A示出了根据本公开内容的实施方案的图1的开关控制器的用于检测过电压状况的示例开关故障检测器。

[0009] 图3B示出了根据本公开内容的实施方案的图3A的各信号的示例波形的时序图。

[0010] 图3C示出了根据本公开内容的实施方案的图1的开关控制器的用于检测过电压状况的示例开关故障检测器和消隐电路。

[0011] 图4A示出了根据本公开内容的实施方案的图1的开关控制器的用于检测过电流或短路状况的示例开关故障检测器。

[0012] 图4B示出了根据本公开内容的实施方案的图1的开关控制器的用于检测过电流或

短路状况的另一示例开关故障检测器。

[0013] 图4C示出了根据本公开内容的实施方案的图4A和4B的各信号的示例波形的时序图。

[0014] 图4D示出了根据本公开内容的实施方案的图1的开关控制器的用于检测过电流或短路状况的另一示例开关故障检测器以及放电电路。

[0015] 图5示出了根据本公开内容的实施方案的示出了管芯之间的示例性电感耦合的集成电路封装件的示例引线框架。

[0016] 图6示出了根据本公开内容的实施方案的利用具有开关故障检测器的开关控制器的示例功率转换器。

[0017] 在附图的所有若干视图中,相应的附图标记表示相应的部件。应当理解,类似命名和编号的元件相同地耦合和起作用。技术人员将理解,附图中的元件是为了简化和清楚而示出的,并且不一定按比例绘制。例如,图中的一些元件的尺寸可能相对于其他元件被夸大,以帮助增进对本发明的各实施方案的理解。此外,通常未描绘在商业上可行的实施方案中有用或必要的常见但易于理解的元件,以便于较少地阻碍对本发明的这些各实施方案的查看。

## 具体实施方式

[0018] 本文描述了用于开关控制器的开关故障检测器的实施例。在以下描述中,阐述了许多具体细节以便提供对本发明的透彻理解。然而,对本领域普通技术人员来说明显的是,不需要采用所述具体细节来实施本发明。在其他情况下,没有详细描述公知的材料或方法,以避免模糊本发明。

[0019] 贯穿本说明书提及“一个实施方案 (one embodiment)”、“一实施方案 (an embodiment)”、“一个实施例 (one example)”或“一实施例 (an example)”意味着,结合该实施方案或实施例描述的具体特征、结构或特性被包括在本发明的至少一个实施方案中。因此,在整个说明书各个地方出现的措辞“在一个实施方案中”、“在一实施方案中”、“一个实施例”或“一实施例”不一定都指代相同的实施方案或实施例。此外,具体特征、结构或特性可以在一个或多个实施方案或实施例中以任何合适的组合和/或子组合进行组合。具体特征、结构或特性可以被包括在集成电路、电子电路、组合逻辑电路或提供所描述的功能的其他合适的部件中。另外,应当理解的是,随本文提供的图用于向本领域普通技术人员解释的目的,并且附图不一定按比例绘制。

[0020] 在开关模式功率转换器中,控制器可以将功率开关设置为更导通的导通(即,闭合)状态或基本上不导通的断开(即,关断)状态。控制器通常与保护电路一起使用以检测和/或防止可能损害功率开关和功率转换器的各种状况。过电压状况和过电流状况是示例。

[0021] 过电压状况通常发生在功率开关是断开时或关断(即,从导通状态转变到断开状态)期间。有源箝位寻求通过主动控制功率开关或与功率开关相关联的电路来防止功率开关上出现过电压。例如,在一些实施方式中,可以主动控制输入到功率开关的控制端子(例如,栅极或基极)的驱动信号,以在关断期间限制主端子(例如,集电极或漏极)处的电压。在许多实施方式中,一般的做法是使用连接在集电极/漏极和栅极之间的瞬态电压抑制器(TVS)二极管。还有一些使用电容补偿电阻分压器以提供感测到的功率开关电压给栅极驱

动器的有源箝位技术。通过比较器将用作感测的功率开关电压的分压电压与电压阈值进行比较,该比较器控制提供给功率开关的控制端子的电流/电压,以降低功率开关的关断过电压。

[0022] 过电流或短路状况通常发生在功率开关是导通时或接通(即从断开转变到导通)期间。在一些情况下,通过测量功率开关的主端子之间的电压来估计在功率开关的主端子之间流动的电流。在正常工作状况下,功率开关的主端子之间的电压应在接通期间迅速下降至相对低的水平,并在功率开关是导通时保持在低电平。然而,在短路或过电流状况下,功率开关上的电压可能最初下降但是然后在一些时间后上升。在其他过电流状况下,功率开关上的电压可能会在接通期间下降,但降低速率可能低于正常工作状况下的降低速率。过电流状况可能会对功率开关热加载并且甚至在相对短的时间段之后损坏功率开关。

[0023] 如上所述,控制器通常与保护电路结合使用,该保护电路检测和/或响应于或避免过电压或过电流状况并保护功率开关免受损害。然而,随着功率转换器的运行电压增加,提供过电压和过电流保护变得更加困难。具体来说,过电流或短路通常是在功率开关的主端子之间的电压低或甚至接近零时被检测到。过电压必然是当功率开关上的电压过高时被检测到。举例来说,现代高压IGBT可以承受3.3kV或更高的电压——并且在这种情况下过电压还要更高。因此,保护电路必须能够承受非常大范围的运行参数。结果是,保护电路通常是复杂的并且集成度低。此外,瞬态电压抑制器(TVS)二极管通常是昂贵的。

[0024] 在一个实施方案中,开关控制器包括开关故障检测器,其检测并响应于过电流或短路状况,并主动地箝制功率开关上的电压以防止过电压状况。在一些实施方式中,故障检测器可以在单个感测端子处接收表示流过功率开关的电流和功率开关的主端子之间的电压的信号。当功率开关是断开时,在感测端子处接收到的信号表示功率开关上的电压,并且开关故障检测器防止过电压状况。当功率开关是导通时,在感测端子处接收到的信号表示流过功率开关的电流,并且开关故障检测器检测过电流和/或短路状况并相应地响应。

[0025] 例如,在一些实施方式中,表示功率开关的主端子之间的电压的信号是在感测端子处接收到的电流信号。将表示功率开关上的电压的该感测电流信号与可变电流参考进行比较。当感测电流信号大于电流参考时,开关故障检测器输出箝位信号以控制功率开关的控制电流。因此,开关控制器提供针对过电压状况的有源箝位。

[0026] 作为另一示例,在一些实施方式中,表示通过开关的电流的信号是在感测端子处接收到的电压信号。将该电压信号与电压参考进行比较。当感测电压信号大于电压参考时,开关故障检测器输出故障信号以关断功率开关。因此,开关控制器提供过电流和/或短路保护。

[0027] 图1示出了包括开关控制器106和功率开关102的示例开关控制系统100。开关控制器106包括开关故障检测器125。开关控制系统100可以是功率转换器的一部分,该功率转换器接收输入电压并通过控制功率开关102的开关通过能量传递元件将电能从输入传递到负载。

[0028] 在所示的示例中,功率开关102是绝缘栅双极晶体管(IGBT)。在其他实施方案中可以使用其他功率开关。例如,可以使用金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET)、双极晶体管、注入增强栅晶体管(IEGT)和门极可关断晶闸管(GTO)。此外,开关控制系统100可以与基于硅(Si)、氮化镓(GaN)半导体或碳化硅(SiC)半导体的功率开关一起使用。

[0029] 系统控制器104是被耦合以接收系统输入108并向开关控制器106提供输入信号 $U_{IN}$  110的设备。在开关控制器106的输入端子IN 117处接收输入信号 $U_{IN}$  110。有时,输入信号 $U_{IN}$  110可以是指示开关控制器106接通或关断功率开关102的命令信号。例如,输入信号 $U_{IN}$  110可以是其中逻辑高部分和逻辑低部分具有不同的持续时间的矩形脉冲波形。逻辑高部分可以指示例如功率开关102要导通,而逻辑低部分可以指示功率开关102要断开。

[0030] 开关控制器106控制功率开关102,并包括驱动器接口112和驱动电路116。在一些情况下,驱动器接口112和系统控制器104都参考初级参考电位122,而驱动电路116参考次级参考电位123。驱动器接口112和驱动电路114被耦合以通过通信链路114进行通信。通信链路114电流隔离驱动器接口112和驱动电路116。在所示实施方式中,通信链路114是双向的。在其他实施方式中,驱动器接口112和驱动电路114之间的通信可以是单向的。在一些实施方式中,通信链路114使用例如信号变压器、耦合电感器或其它电感耦合来实现。

[0031] 在运行中,驱动器接口112解释从系统控制器104接收的输入信号 $U_{IN}$  110。基于该解释,驱动器接口112经由通信链路114向驱动电路116发送命令信号。命令信号可以例如指示驱动电路116驱动功率开关102导通或断开。驱动电路116产生驱动信号 $U_D$  131以控制功率开关102的切换。驱动电路116的所示的实施方式包括收发器124、开关故障检测器125和驱动信号发生器126。收发器124接收并解释来自驱动器接口112的通信,并提供驱动状态信号127给开关故障检测器125和驱动信号发生器126。驱动状态信号127命令驱动信号发生器126控制功率开关102导通或断开。例如,驱动状态信号127可以是具有不同的持续时间的逻辑高部分和逻辑低部分的矩形脉冲波形。在该示例中,当驱动状态信号127为逻辑高时,功率开关102由驱动信号发生器126接通,并且当驱动状态信号127为逻辑低时,功率开关102由驱动信号发生器126关断。在所示的示例中,驱动状态信号127是单个通道上的单个信号。在其他示例中,驱动状态信号127可以作为多个信号和/或在多个通道上传送。例如,一个通道上的一个信号可以指示驱动信号发生器126接通功率开关102,另一个通道上的另一个信号可以指示驱动信号发生器126关断功率开关102。

[0032] 如将进一步讨论的,收发器124被耦合以从开关故障检测器125接收指示过电流或短路的故障信号133。收发器124经由通信链路114将故障的通知传达到驱动器接口112。

[0033] 驱动信号发生器126被耦合以接收驱动状态信号127,并输出栅极高信号UH 129和栅极低信号UL 130以控制功率开关102的切换。栅极高信号UH 129是来自开关控制器106的栅极高端子GH 119的、将功率开关102接通的输出。栅极低信号UL 130是来自开关控制器106的栅极低端子GL 120的、将功率开关102关断的输出。栅极高信号UH 129和栅极低信号UL 130可以是电压信号或电流信号。驱动信号UD 131是栅极高信号UH 129和栅极低信号UL 130的组合。电阻135和电阻136分别被耦合到栅极高端子GH 119和栅极低端子GL 120。关断电流 $I_{GL}$  160被示为流入栅极低端子GL 120的电流。换句话说,关断电流IGL 160是功率开关102是断开时功率开关120的栅极电流。

[0034] 开关控制器106的所示实施方式还包括返回端子COM 121和发射极端子VEE 168。返回端子COM 121被耦合到次级回线(return,返回)123,并且为耦合到开关控制器106的次级侧的电路提供返回参考。发射极端子VEE 168被耦合到功率开关102的发射极/源极。在所示的实施方式中,功率开关102是IGBT,并且它包括集电极、发射极和栅极端子。然而,其他功率开关可以包括漏极、源极和栅极端子或集电极、发射极和基极端子。

[0035] 开关故障检测器125被耦合以接收驱动状态信号127和来自开关控制器106的感测端子SNS 118的感测信号。感测信号可以是电压信号(即,感测端子SNS 118处的电压VSNS)或电流信号(即,感测电流 $I_{SNS}$  161)。开关故障检测器125基于感测端子SNS 118处的感测信号和驱动状态127输出故障信号133和箝位信号134。如下面进一步详细讨论的,当开关故障检测器125在监测过电流或短路时,即当功率开关102处于导通状态或在接通时,感测端子SNS 118的阻抗是高的。相反,当开关故障检测器125参与功率开关102的有源箝位时,即当功率开关102处于断开状态或在关断时,感测端子SNS 118的阻抗是低的。例如,在一些实施方式中,当功率开关102处于断开状态或在关断时,感测端子SNS 118的输入阻抗小于200k  $\Omega$ (例如,小于10k  $\Omega$ ),而当功率开关102处于导通状态或在接通时,感测端子SNS 118的输入阻抗大于10M  $\Omega$ (例如,大于100M  $\Omega$ )。开关控制系统100还包括耦合在感测端子SNS 118和功率开关102的集电极/漏极之间的电阻RC1137。在运行中,功率开关102上的电压VCE 141驱动通过电阻RC1 137的电流。通过电阻RC1 137的电流的至少一部分流入感测端子SNS 118作为感测电流 $I_{SNS}$  161。开关控制系统100还包括电阻RC2 138。电阻RC2 138的一端被耦合在感测端子SNS 118和电阻RC1 137之间。另一端被耦合到返回端子COM 121或发射极端子VEE 168。电阻RC1 137和电阻RC2 138一起形成分压器并将功率开关102上的电压转换成感测信号。

[0036] 可选地,功率开关102可以包括感测端子183(以虚线示出)。感测端子183输出电流 $I_{ESNS}$  192,该电流 $I_{ESNS}$  192是总开关电流IC 142的一小部分。当功率开关102包括感测端子183时,电阻RS1 139和RS2140可以被耦合到感测端子183。电阻RS1 139上的电压与总开关电流IC 142成比例。电阻RS2用于将RS1上的电压耦合到感测端子SNS118。在所示的实施方式中,电阻RS1 139被耦合到感测端子183和功率开关102的发射极/源极。电阻RS2 140被耦合到功率开关102的感测端子183,在电阻RC1 137和开关控制器106的感测端子SNS 118之间。在过电流和/或短路检测期间,感测端子SNS 118的输入阻抗是高的,并且SNS端子118处的电压表示开关电流IC 142。此外,感测端子183处的感测电压VSNS表示电流 $I_{ESNS}$  192和开关电流 $I_c$  142两者。在使用感测端子183和电阻RS1 129和RS2 140的实施方式中,电阻RC2 138是可选的。

[0037] 在运行中,开关故障检测器125监测感测端子SNS 118处的电压或电流,以确定过电压、过电流或短路状况是否正在发生。

#### [0038] 过电压预防

[0039] 在驱动状态信号127指示功率开关102应该断开的时候,开关故障检测器125被耦合以使用流入感测端子SNS 118的电流ISNS 161来感测过电压状况。感测端子SNS 118的输入阻抗是低的。电阻RC1 137将功率开关102上的电压VCE 141转换成电流,该电流被示为感测电流ISNS。如果检测到过电压状况,开关故障检测器125使用箝位信号134来降低功率开关102的关断速度,该箝位信号箝制功率开关102的电压。响应于箝位信号134中的指示,驱动信号发生器126使用栅极低信号UL 130以降低功率开关102上的电压VCE 141。

[0040] 选择电阻RC1 137的值以选择触发箝位信号134的功率开关102上的电压VCE 141的电平(即,调节开关电压VCE 141的箝位电平)。具体来说,可以提供开关故障检测器125以固定的预设阈值电平,并且电阻RC1 137可以规定超过该固定阈值的电压VCE 141的电压。因此,开关故障检测器125可以用于不同的运行状况中和/或与不同的功率开关102结合使

用。

[0041] 如前所述,当开关故障检测器125在监测过电压时,开关控制器106在感测端子SNS 118处的输入阻抗是低的。换句话说,当驱动状态127指示功率开关102应该断开时,感测端子SNS 118的阻抗是低的。可以选择电阻RC2 138的电阻,使得电阻RC2 138的阻抗远大于开关控制器106在感测端子SNS 118处的输入阻抗。例如,开关控制器106的输入阻抗可以是大约 $4\text{-}5\text{k}\Omega$ ,电阻RC2 138的阻抗是大约 $22\text{-}82\text{k}\Omega$ 。在一个示例中,电阻RC1可以是大约 $1\text{-}2\text{M}\Omega$ 。

[0042] 过电流或短路保护

[0043] 当驱动状态信号127指示功率开关102应该导通时,开关故障检测器125被耦合以基于感测端子SNS 118处的电压感测过电流和/或短路状况。感测端子SNS 118的阻抗是高的,并且电压VSNS表示功率开关102导通或在接通时的开关电流IC 142。在功率开关102包括感测端子183的实施方式中,电流IESNS 192将电阻RCS1 139和电阻RS2140之间的电位移位到相应的电平并且改变感测端子SNS 118处的电压SNS。再次,电流IESNS 192是开关电流IC 142的一部分。在功率开关102不包括感测端子183的实施方式中,相对低的开关电压VCE141驱动通过电阻RC1 137的电流。通过电阻RC1 137的电流也遭遇由开关控制器106的输入阻抗和电阻RC2 138提供的阻抗,在感测端子SNS 118处提供表示开关电流IC 142的电压SNS。在导通状态下,开关电压VCE 141与功率开关102的导通状态阻抗和开关电流IC 142的乘积有关。

[0044] 如果检测到过电流或短路,开关故障检测器125将故障信号133输出到收发器124。响应于故障信号133,收发器124改变驱动状态信号127以命令驱动信号发生器126关断功率开关102。作为响应,驱动信号发生器126关断功率开关102。收发器124还可以将故障信号133输出到驱动器接口112。驱动器接口112将故障的指示传达到系统控制器104。

[0045] 可以部分地基于开关故障检测器125的内部电压参考V1和功率开关102的所需去饱和水平(desaturation level)来选择电阻RC1 137和RC2 138(或可选地,RS1 139和RS2 140)的阻抗。感测端子SNS 118的高输入阻抗与电阻RC2 138并联(或与电阻RS1 139和RS2 140并联)。当电阻RC1 137和电阻RC2 138用于提供感测电压SNS时,电阻RC2 138的值相对于开关故障检测器125的内部参考电压V1来调节去饱和水平。参考图4A进一步讨论示例。电阻RC2 138的值越大,功率开关102的去饱和水平越低。换句话说,电阻RC2 138的值越大,触发故障信号133的开关电流IC 142就越低。类似地,当电阻RS1 139和电阻RS2 140提供感测电压SNS时,电阻RS2 140相对于开关故障检测器125的内部参考电压V1来调节功率开关102的去饱和水平,并且电阻RS1 139将电流IESNS 192转换成用于相应功率开关102的安全运行区域(SOA)标准的电压范围内的电压。参考图4B进一步讨论示例。

[0046] 在同一感测端子SNS 118处监测过电流和过电压是非常棘手的挑战。对于过电流检测,代表开关电流IC 142的感测电压VSNS在功率开关102的接通和导通状态期间可以在 $0.2\text{V}\text{-}0.5\text{V}$ 的范围内。然而,对于过电压检测,触发过电压的阈值在功率开关102的关断和断开状态期间可能在数千伏的数量级,例如:1050V。这样,感测端子118经受宽的电压范围。通过在关断和断开状态期间以电流信号ISNS 161的形式感测开关电压VCE 141可以增加控制方案的速度。

[0047] 图2A示出了在功率开关的断开到导通转变期间在正常、短路和过电流状况下的驱

动信号231和开关电压VCE 241的示例波形的时序图200。

[0048] 上部波形示出了控制功率开关的接通和关断的示例驱动信号UD231。在断开时间期间,驱动信号UD 231基本上等于断开电压VOFF244。在导通时间期间,驱动信号UD 231基本上等于导通电压VON243。

[0049] 开关电压VCE 241(即,功率开关上的电压)在时序图200的下部示出。左下部分示出了正常状况下的示例开关电压VCE 241,而右下部分示出了在短路和过电流状况下的示例开关电压VCE 241。如时序图200的左下部分所示,在功率开关从断开转变为导通之后,开关电压VCE 241快速下降至基本为零。相反,在短路状况下,开关电压VCE241可能最初降低但是然后在一些时间后再次上升。在一个示例中,开关电压VCE 241可以降低到其在正常状况期间的值,但随后增加。在过电流状况下,开关电压VCE 241可能降低——虽然是以比正常状况慢得多的速率。

[0050] 图2B示出了在功率开关的导通到断开转变期间在正常和过电压状况下的驱动信号231和开关电压VCE 241的示例波形的时序图201。上部波形示出了控制功率开关的接通和关断的示例驱动信号UD 231。在导通时间期间,驱动信号UD 231基本上等于导通电压VON 243。在断开时间期间,驱动信号UD 231基本上等于断开电压VOFF 244。

[0051] 开关电压VCE 241(即,功率开关上的电压)在时序图200的下部示出。左下部分示出了正常状况下的示例开关电压VCE 241,而右下部分示出了过电压状况下的示例开关电压VCE 241。如时序图201的左下部分所示,在导通到断开转变期间,开关电压VCE 241从接近零伏增加但保持小于参考电平246。在该示例中,开关电压VCE 241大于参考电平246指示过电压状况。如时序图201的右下部分所示,在过电压状况下,开关电压VCE 241从零伏增加到大于参考电平246的水平,从而指示过电压状况。

[0052] 图3A示出了开关故障检测器325内的用于检测过电压状况的电路的示例,以及这种电路和驱动信号发生器326之间的耦合的示例。请注意,除了用于检测过电压状况的电路之外,开关故障检测器325还包括用于检测和防止过电流和短路状况的电路。出于教导的目的,这种电路未在图3A中示出。然而,图3A中用于检测过电压状况的电路可以与如例如在图4A中所示的用于检测过电流和短路状况的电路组合。

[0053] 开关控制器306内的电路包括驱动信号发生器326和开关故障检测器325。驱动信号发生器326包括导通开关349和断开开关350。导通开关349和断开开关350都被示为n型晶体管。导通开关349的一端被耦合到源电压VIS0,而另一端被耦合到栅极高端子GH 319。导通开关349由驱动状态信号327经由驱动器351控制。在运行中,当驱动状态信号327指示功率开关302应接通(例如,驱动状态信号327为逻辑高)时,驱动器351控制导通开关349进入导通状态,并将栅极高信号UH 329提供给栅极高端子GH 319和电阻335。同时,断开开关350被控制为断开,并且驱动信号331基本上等于栅极高信号UH329。作为响应,功率开关302接通。

[0054] 断开开关350被耦合到栅极低端子GL 320和返回COM,并且由驱动状态信号327经由反相器385和电流源348控制。反相器385接收驱动状态信号327并基于其控制电流源348。如所示,电流源348被耦合到断开开关350的控制端子。在运行中,当驱动状态信号327指示功率开关302应关断(例如,驱动状态信号327为逻辑低)时,反相器385控制电流源348提供电流以接通断开开关350。断开开关350将栅极低信号UL 330提供给栅极低端子320和电阻

336。导通开关349被控制为断开。驱动信号 $U_D$  331基本上等于栅极低信号UL 330。作为响应,功率开关302关断。题外话,进入栅极低端子320的电流可以称为栅极低电流IGL 360。

[0055] 驱动信号发生器326还包括耦合在一起作为电流镜的晶体管352和晶体管353。晶体管352的漏极被耦合以从开关故障检测器325接收箝位信号334。晶体管353的漏极被耦合到断开开关350的控制端子(例如,栅极)。如将进一步讨论的,晶体管352和晶体管353将箝位信号334镜像,并从断开开关350的控制(例如,栅极)端子汲取电流。随着较少的电流输入到断开开关350的控制端子,栅极电流IGL 360降低。这又降低功率开关302关断的速率和开关电压VCE 341的变化率。

[0056] 所示的开关故障检测器325感测过电压状况,并且当检测到过电压状况时,开关故障检测器325和驱动信号发生器326主动地箝制开关电压VCE 341。更详细地,开关故障检测器325接收感测端子SNS 318处的感测信号。对于过电压检测,开关电压VCE 341被转换为电流信号,该电流信号被示为感测电流ISNS 361。电阻RC1 337被耦合到感测端子SNS 318和功率开关302的集电极/漏极,并且转换开关电压VCE 241。

[0057] 开关故障检测器325包括电流源358、晶体管M1 354、晶体管M2 355、晶体管M3 356和晶体管M4 357,以及电流驱动器359。电流源358是可变电流源,并且被耦合以接收驱动状态信号327和箝位信号334。电流源358还响应于驱动状态信号327和箝位信号334而改变电流 $I_{REF}$ 的大小。在讨论图3B期间,提供关于电流源358改变电流 $I_{REF}$ 的细节。

[0058] 晶体管M1 354、晶体管M2 355、晶体管M3 356和晶体管M4 357耦合在一起以形成电流镜,该电流镜可以根据驱动状态信号327的状态接入或断开。具体地,晶体管M1 354、晶体管M2 355和晶体管M4 357是n型晶体管,而晶体管M3 356是p型晶体管。晶体管M1 354和晶体管M2 355的栅极以及晶体管M3 356和晶体管M4 357的漏极被耦合在一起。晶体管M1 354的漏极和晶体管M3 356的源极耦合到感测端子SNS 318,而晶体管M2 355的漏极耦合到电流源358和电流驱动器359。此外,晶体管M1 354、晶体管M2 355和晶体管M4 357的源极被耦合到返回COM。晶体管M3 356和晶体管M4 357的栅极耦合在一起,并被耦合以接收驱动状态信号327。

[0059] 电流驱动器359是电流缓冲器和/或放大器,其被耦合以输出电流IREF与通过晶体管M2 355的镜像的感测电流之间的差的一种形式(version, 变体)。在运行中,开关故障检测器325在晶体管M3 356和晶体管M4 357的栅极处接收驱动状态信号327。驱动状态327确定开关故障检测器325是检测过电压还是过电流/短路状况。具体来说,当驱动状态信号327为逻辑低——指示功率开关302应断开或在关断——时,晶体管M3 356导通并且晶体管M4 357断开。低输入阻抗电流镜由晶体管M1 354、晶体管M2 355、晶体管M3 356形成。该低输入阻抗电流镜从感测端子SNS 318被“看到”。流过感测端子SNS 318和电流镜的电流用于有源箝位操作。相反,当驱动状态信号327是逻辑高——指示功率开关302应导通或在接通——时,晶体管M3 356断开并且晶体管M4 357导通。晶体管M1 354、晶体管M2 355、晶体管M3 356不形成电流镜,并且高输入阻抗从感测端SNS 318被“看到”。其他电路——诸如,例如图4A、4B、4D中所示——检测并防止过电流和短路状况。

[0060] 在所示的实施方式中,当驱动状态信号327指示功率开关302应该断开或在关断时,开关故障检测器325被耦合以使用进入感测端子SNS318的电流ISNS 361来感测过电压状况。晶体管M1 354、晶体管M2 355、晶体管M3 356将所接收的感测电流ISNS 361镜像。从电

流源358输出的参考电流I<sub>REF</sub>中减去镜像的感测电流(即,流过晶体管M2 355的电流)。电流驱动器359缓冲和/或放大该差,并且基于镜像的感测电流和参考电流I<sub>REF</sub>之间的差输出箝位信号334。因此,箝位信号334是可变电流信号。总体而言,如果镜像的感测电流小于参考电流I<sub>REF</sub>,则箝位信号334基本上为零。驱动信号发生器326接收箝位信号334。晶体管352和晶体管353将箝位信号334镜像,并且控制断开开关350传导多少电流。如所示,断开开关350改变栅极低电流IGL 360,使得开关电压V<sub>CE</sub> 141的变化率降低,有效地箝制开关电压V<sub>CE</sub> 141。断开开关350最初在关断转变期间以线性模式运行。断开开关350进入饱和模式一次以箝制开关电压V<sub>CE</sub> 341。

[0061] 此外,可以选择电阻RC1 337、电阻RC2 338的值来调节触发开关故障检测器325使箝位信号334有效的开关电压V<sub>CE</sub> 341的值。电阻RC1 337的值越大,触发有源箝位的开关电压V<sub>CE</sub> 341的电平越高。换句话说,电阻RC1 337的值越高,触发开关故障检测器325使箝位信号334有效的电压V<sub>CE</sub> 341越高。

[0062] 请注意,当功率开关302应该断开或正在关断并且要感测过电压状况时,感测端子SNS 318的输入阻抗是低的。晶体管M1 354、晶体管M2 355、晶体管M3 356形成到返回COM的低阻抗路径。可以选择电阻RC2 338的值,使得电阻RC2 338的阻抗远大于过电压检测期间感测端子SNS 318的输入阻抗。例如,过电压检测期间感测端子SNS 318的输入阻抗可以是大约4-5kΩ,并且电阻RC2 338的阻抗是大约22-82kΩ。在一个示例中,电阻RC1 337可以是大约1-2MΩ。这种关系确保几乎所有流过电阻RC1 337的电流也流入感测端子SNS 318。

[0063] 题外话,在所示的示例中,电阻RC2 338耦合到返回端子COM 321。替代地,例如,如图1中所示,电阻RC2 338可以被耦合到发射极端子。

[0064] 图3B示出了时序图301,其示出当功率开关302正在关断和应该断开时可能出现的各种波形。具体来说,示出了驱动状态信号327、参考电流信号I<sub>REF</sub> 358、感测电流I<sub>SNS</sub> 361、箝位信号334和栅极低电流IGL 360的波形。驱动状态信号327是具有不同的持续时间的逻辑高部分和逻辑低部分的矩形脉冲波形。在所示的示例中,逻辑高指示功率开关应导通,逻辑低指示功率开关应断开。

[0065] 在时间t<sub>0</sub> 362,驱动状态信号327转变为逻辑低值。作为响应,开关故障检测器325被耦合以检测过电压状况并且接收表示开关电压V<sub>CE</sub> 341的感测电流ISNS 361。响应于驱动状态信号327,电流源358将参考电流I<sub>REF</sub>增加到第一阈值I<sub>1</sub> 365。此外,驱动信号发生器326驱动断开开关350导通,使得栅极低信号UL 330关断功率开关302。如所示,栅极低电流I<sub>GL</sub> 360增加到一个值以关断功率开关302。在时间t<sub>0</sub> 362和t<sub>1</sub> 363之间,感测电流I<sub>SNS</sub> 361——以及它表示的开关电压V<sub>CE</sub> 341——仍然相对较低,并且保持低于参考电流I<sub>REF</sub> 358。因此,箝位信号334基本上为零,并且栅极低电流IGL 360基本上是恒定的非零值。

[0066] 在时间t<sub>1</sub> 363,感测电流I<sub>SNS</sub> 361开始上升,指示随着功率开关302关断开关电压V<sub>CE</sub> 341也在上升。然而,感测电流I<sub>SNS</sub> 361保持小于参考电流I<sub>REF</sub> 358。因此,箝位信号334保持基本上等于零,并且栅极低电流I<sub>GL</sub> 360是基本上恒定的非零值。

[0067] 然而,在时间t<sub>2</sub> 364,感测电流ISNS 361达到参考电流I<sub>REF</sub> 358。这表明功率开关302处于过电压状况。箝位信号334开始增大并且栅极低电流IGL 360减小。在所示的波形中,栅极低电流IGL 360是箝位信号334的反相形式。随着箝位信号334增大,栅极低电流IGL 360减小。栅极低电流IGL 360的降低幅度与箝位信号334的增加幅度成比例(但一般不相

等)。在时间  $t_2$  364, 箔位信号334的增加触发电流源358将参考电流  $I_{REF}$  358从第一阈值  $I1$  365增加到第二阈值  $I2$  366。参考电流  $I_{REF}$  358在参考时段  $T_{REF}$  367内达到第二阈值  $I2$  366。在一个示例中, 参考电流  $I_{REF}$  358的第一阈值  $I1$  365可以具有较低的值以避免控制过冲。在一个示例中, 参考电流  $I_{REF}$  358可以在200uA至800uA之间变化。可以选择参考电流  $I_{REF}$  358的值足够高使得控制方案以足够的速度响应, 但足够低以避免高功率耗散。

[0068] 在时间  $t_2$  364和  $t_4$  387之间, 开关故障检测器325和驱动信号发生器326主动控制断开开关350以箝制开关电压VCE 341(如通过感测电流  $I_{SNS}$  361所示)。具体来说, 在时间  $t_2$  364和  $t_3$  386之间, 感测电流  $I_{SNS}$  361大于参考电流  $I_{REF}$  358, 箔位信号334正在增大, 栅极低电流  $I_{GL}$  360正在减小。在时间  $t_3$  386, 感测电流  $I_{SNS}$  361达到其峰值。箝位信号334也达到其峰值, 栅极低电流  $I_{GL}$  360已经达到其最低值。在所示的实施方式中, 栅极低电流  $I_{GL}$  360的最低值被示为零。这是巧合, 并且情况一般不是如此。开关故障检测器325和驱动信号发生器326需要时间  $t_2$  364和  $t_3$  386之间的时间来使开关电压VCE 341处于控制中。发生的有源箝位允许开关控制器306缓慢地减小开关电压VCE341。在时间  $t_3$  386和时间  $t_4$  387之间, 感测电流  $I_{SNS}$  361减小但保持大于参考电流  $I_{REF}$  358。箝位信号334仍然是非零但从其峰值减小。栅极低电流  $I_{GL}$  360从其谷值增大。

[0069] 在时间  $t_4$  387, 感测电流  $I_{SNS}$  361已经下降到低于参考电流  $I_{REF}$  358, 并且对于所示的示例在功率开关302断开的整个时间期间保持如此。箝位信号334下降到零, 并且栅极低电流  $I_{GL}$  360返回到恒定的非零值。在时间  $t_4$  387之后, 栅极电压减小到零并且栅极低电流  $I_{GL}$  360下降到零。

[0070] 在图3C中, 开关故障检测器325和驱动信号发生器326如上参考图3A所述地被耦合和起作用。然而, 图3C示出了耦合到感测端子SNS318的附加电路。如所示, 电阻390和电容345并联耦合在一起并且与齐纳二极管347串联耦合。这些部件耦合在感测端子SNS 318和返回COM之间。如所示, 并联耦合的电阻390和电容345耦合到齐纳二极管347的阴极, 而齐纳二极管347的阳极耦合到返回COM。

[0071] 在运行中, 当SNS端子318处的电压VSNS小于齐纳二极管347的齐纳电压时, 齐纳二极管347将电容345和电阻390从SNS端子318断开。电容345减慢感测端子SNS 318处的电压VSNS的增加速率, 而电阻390使电容345放电。在功率开关302在接通和关断之间的转变期间, 由于感测端子SNS 318的放电而导致存在有效关断转变的一些延迟。此外, 当驱动状态信号327指示功率开关302应该断开(即, 驱动状态信号327为逻辑低)并且开关故障检测器325将感测过电压状况时, 齐纳二极管347断开电容345和电阻390。如将进一步讨论的, 在接通转变期间, 开关故障检测器325使用感测端子SNS 318处的感测电压VSNS来感测过电流和短路状况。开关故障检测器325包括消隐电路, 该消隐电路在消隐时间内防止开关故障检测器325响应于误报故障。电容345减慢SNS端子318处的电压VSNS的增加速率, 并且有效地用作开关故障检测器325的外部设置消隐时间。请注意, 开关故障检测器325还可以包括内部消隐时间。在某种情况下, 开关故障检测器325的内部消隐时间可以被设置为对于与快速切换功率开关302一起运行而言的最低水平。例如, 开关故障检测器325的内部消隐时间可以基于用于SiC功率开关302的SOA标准而被设置为500ns。然而, 对于其他功率开关302诸如像IGBT来说, 这种相对短的消隐时间可能太短。例如, 在开关电压VCE 341开始减小之前, IGBT功率开关30可能需要大约1-1.5us。太短的消隐时间(例如, 500ns)可能触发误报故障。电容

345减慢SNS端子318处的电压VSNS的增加速率并增加有效消隐时间。

[0072] 图4A示出了开关控制器402的用于检测过电流或短路状况的开关故障检测器425内的电路的实施例。图4A中的用于检测过电流或短路状况的电路可以与如例如在图3A、3C中所示的用于检测过电流和短路状况的电路相结合。

[0073] 开关控制器406内的电路包括收发器424、驱动信号发生器426和开关故障检测器425。在所示的示例中，收发器424包括锁存器489和反相器491。锁存器489包括两个复位输入R1和R2。反相器491耦合在置位输入和第二复位输入R2之间。收发器424被耦合以接收接通或关断功率开关402的命令信号CMD 488。命令信号CMD 488可以从驱动器接口接收并且表示来自系统控制器的命令。在一个示例中，命令可以是具有可变的持续时间的逻辑高部分和逻辑低部分的矩形脉冲波形。收发器424基于命令信号CMD 488产生驱动状态信号427。如所示，锁存器489在其置位输入处接收命令信号CMD 488，并在其第二复位输入R2处接收命令信号CMD 488的反相形式。命令信号CMD 488中的前沿可指示功率开关402要接通。后沿可指示功率开关402要关断。在运行中，锁存器489在命令信号CMD 488的前沿输出逻辑高值(即，驱动状态信号427为逻辑高)，并在命令信号CMD 488的后沿输出逻辑低值(即，驱动状态信号427为逻辑低)。其他实施方式当然可以使用其他形式的命令信号CMD 488，和/或驱动状态信号427可以使用其他电路生成。

[0074] 收发器424还被耦合以从开关故障检测器425接收故障信号433。如所示，在锁存器489的第一复位输入R1处接收故障信号433。如下面进一步讨论的，开关故障检测器425响应于感测到的过电流或短路状况而使故障信号433有效。响应于故障信号433有效，锁存器489复位并且驱动状态信号427转变为逻辑低。

[0075] 驱动信号发生器426包括导通开关449和断开开关450。导通开关449和断开开关450两者都被示为n型晶体管。导通开关449的一端耦合到源电压VIS0，而另一端耦合到栅极高端子GH 419。导通开关449由驱动状态信号427经由驱动器451控制。在运行中，当驱动状态信号427指示功率开关402要接通(即，驱动状态信号427为逻辑高)时，驱动器451控制导通开关449接通，并提供栅极高信号UH 429给栅极高端子GH 419和电阻435。断开开关450也被控制为断开。驱动信号431与栅极高信号UH 429基本相同，并且功率开关402接通。

[0076] 断开开关450耦合在栅极低端子GL 420和返回COM之间。断开开关450由驱动状态信号427经由反相器485和电流源448控制。反相器485接收驱动状态信号427并控制电流源448。如所示，电流源448被耦合以控制断开开关450。在运行中，当驱动状态信号427指示功率开关402要关断(即，驱动状态信号427为逻辑低)时，反相器485控制电流源448提供足够的电流以接通断开开关450。断开开关450将栅极低端子420耦合到返回COM，并且栅极低信号UL 430流过断开开关450和电阻436。导通开关449断开，并且功率开关402被关断。流入栅极低端子420的电流可以被称为栅极低电流IGL 460。

[0077] 所示的开关故障检测器425的实施方式包括晶体管M1 454、晶体管M2 455、晶体管M3 456和晶体管M4 457、输出电压V1的电压源469、比较器470和消隐电路471。晶体管M1 454、晶体管M2 455、晶体管M3 456和晶体管M4 457与晶体管M1 354、晶体管M2 355、晶体管M3 356和晶体管M4 357(图3A、3C)相同，并且耦合在一起以形成可以根据驱动状态信号427的状态被接入或断开的电流镜。比较器470包括反相输入和非反相输入。反相输入被耦合以接收由电压源469输出的电压V1。非反相耦合到感测端子SNS 418并接收电压VSNS 418。比

较器470的输出耦合到消隐电路471。如下面进一步讨论的,消隐电路471被耦合以在功率开关402接通之后的内部消隐时间内消隐比较器470的输出。示出的所示的开关故障检测器425感测过电流和/或短路状况。响应于检测到过电流或短路状况,开关故障检测器425、收发器424和驱动信号发生器426关断功率开关402。开关故障检测器425在感测端子SNS 418处接收感测信号。对于过电流和/或短路检测,开关电流IC 442以电压信号——即,感测电压VSNS 418——的形式被读取。电阻RC1 437耦合在感测端子SNS 418和功率开关402的集电极/漏极之间。电阻RC2 438被耦合到感测端子SNS 418以及返回COM或发射极/源极电压VEE。电阻RC1 437和电阻RC2 438形成在感测端子VSNS 418处提供电压的分压器。尽管针对RC1 437和RC2 438示出了仅单个电阻器,但应当理解,可以使用多个电阻器。

[0078] 在运行中,开关故障检测器425在晶体管M3 456和晶体管M4 457的栅极处接收驱动状态信号427。在运行中,驱动状态信号427的状态指示开关故障检测器425是检测过电压还是过电流/短路状况。

[0079] 当驱动状态信号427指示功率开关402要导通(即,当驱动状态信号427为逻辑高)时,开关故障检测器425被耦合以使用感测端子SNS418处的电压VSNS感测过电流和/或短路状况。在驱动状态信号427为逻辑高的情况下,晶体管M3 456断开并且晶体管M4 457导通。晶体管M1 454和晶体管M2 455不用作电流镜。由于晶体管M1 454和晶体管M2 455不用作电流镜,因此在感测端子SNS 418处看到的阻抗是比较器470的输入阻抗,并且因此感测端子SNS 418的输入阻抗是高的。比较器470接收感测端子SNS 418处的电压SNS,并将感测电压VSNS与电压V1和VEE之和进行比较。如果感测电压VSNS超过电压V1和VEE之和,则比较器470输出故障指示。比较器470的输出由消隐电路471接收。消隐电路471在功率开关402接通之后的内部消隐时间内使比较器470的输出无效。在内部消隐时间过去之后,消隐电路471的输出包括故障的任何指示,并且在所示实施方式中被标为故障信号433。因此,当在内部消隐时间过去之后感测电压VSNS大于电压V1 469和VEE 468之和时,使故障信号433有效。有效的故障信号433使锁存器489复位,并且驱动状态信号427转变为逻辑低值以关断导通开关449并且接通断开开关450。作为响应,功率开关402关断。

[0080] 电阻RC1 437和电阻RC2 438的值部分地由电压源469的内部电压参考V1和功率开关402所需去饱和水平确定。此外,感测端子SNS 418具有与电阻RC2 438并联的高输入阻抗。在图4A的所示实施例中,可以选择电阻RC2 438的值以相对于电压源469的内部参考V1调节去饱和水平。电阻RC2 438的值越大,去饱和水平越低,并且触发开关故障检测器425感测故障的开关电流IC 442的值越低。

[0081] 在图4B中,开关故障检测器425、收发器424和驱动信号发生器426基本上与图4A中所示的相同。然而,图4B包括包含感测端子483(以虚线示出)的功率开关402。感测端子483是例如IGBT功率开关402的抽头端子,并且输出为流过功率开关402的电流ICE的一小部分的电流。此外,电阻RS1 439和电阻RS2 440耦合到感测端子483以提供感测信号。另外,电阻RC2 438已被移除。

[0082] 功率开关402的感测端子482输出电流IESNS 492。电流IESNS 492是开关电流IC 442的一小部分。电阻RS1 439和电阻RS2 440耦合在一起作为分压器,以向感测端子SNS 418提供感测电压VSNS。感测电压VSNS表示电流IESNS 492。如所示,电阻RS1 439被耦合到感测端子483和功率开关402的发射极/源极。电阻RS2 440被耦合到功率开关402的感测端

子483以及开关控制器406的感测端子SNS 418。电阻RS1 139上的电压与总开关电流IC 142成比例。电阻RS2用于将RS1上的电压耦合到感测端子SNS 118。

[0083] 与图4A中的RC1、RS1和RS2一样,电阻RS2相对于内部参考电压V1调节去饱和水平。电阻RS2将RS1上的低电压耦合到感测端子SNS 418。RS1的值一般小于50 $\Omega$ ,例如通常大约10-20 $\Omega$ 。电阻RS2为大约100k $\Omega$ 。电阻RS2 440相对于电流源的内部参考电压V1调节功率开关402的去饱和水平。电阻RS2 440的值越大,触发开关故障检测器425感测故障的去饱和水平越低。电阻RS1 439将电流IESNS492转换成高于功率开关402的SOA的电压范围的电压。在一个示例中,功率开关402的电压范围可以是0.2V至0.6V以符合SOA。

[0084] 图4C是示出当功率开关402正在接通和应该导通时可能出现的各种波形的时序图401。具体来说,示出了驱动状态信号427、感测电压VSNS 418和故障信号433的波形。在时间t<sub>0</sub> 462,驱动状态信号427从逻辑低(指示功率开关402要断开)转变为逻辑高(指示功率开关402要导通)。表示开关电流IC 442的感测电压VSNS 418也增大。在时间t<sub>0</sub> 462和时间t<sub>1</sub> 463之间,感测电压VSNS 418保持低于电压V1和发射极电压VEE之和。故障信号433保持逻辑低(非有效)。

[0085] 在时间t<sub>1</sub> 463,感测电压VSNS 418达到由电压V1和发射极电压VEE之和设定的阈值。然而,由于消隐电路471设置的内部消隐时间T<sub>B</sub>,故障信号433保持逻辑低(非有效)。在时间t<sub>2</sub> 464,感测电压VSNS418保持大于由电压V1和发射极电压VEE之和设定的阈值,并且消隐时间T<sub>B</sub> 471已经过去。故障信号433有效并转变为逻辑高值。作为响应,驱动状态信号427转变为逻辑低值,并且功率开关402关断。开关电流IC 442减小,并且感测电压VSNS 418减小。在一个示例中,由电压V1和发射极电压VEE设置的阈值可以为200mV至500mV。可以选择该阈值以允许监测Sense-IGBT和MOSFET。

[0086] 图4C中所示的虚线框示出了图4A和图4B的感测电压VSNS 418。

[0087] 对于电阻RC2 438被耦合到发射极VEE 464的情况下图4A,感测电压VSNS 418基本上是:

$$[0088] V_{SNS} = \frac{V_{CE} RC2}{RC1 + RC2} + V_{EE}$$

[0089] 对于电阻RC2 438被耦合到返回COM 421的情况下图4A,感测电压VSNS 418基本上是:

$$[0090] V_{SNS} = \frac{(V_c - COM) RC2}{RC1 + RC2} + V_{EE}$$

[0091] 对于图4B,感测电压VSNS 418基本上是:

$$[0092] V_{SNS} = \frac{V_{CE}(RS1 + RS2)}{RC1 + RS1 + RS2} + V_{EE} + RS1 I_{ESNS}$$

$$[0093] I_{ESNS} = \alpha I_{CE}; \alpha < 10000$$

[0094] 在图4D中,开关故障检测器425、收发器424和驱动信号发生器426基本上与图4A、图4B中所示的相同。然而,图4D包括耦合到感测端子SNS 418的附加电路。如所示,电阻490和电容445并联耦合在一起。并联耦合的电阻490和电容445与齐纳二极管447串联耦合。这些部件耦合在感测端子SNS 418和齐纳二极管447的阴极之间。齐纳二极管447的阳极被耦

合到返回COM。

[0095] 在运行中,响应于SNS端子418处的电压VSNS下降到低于齐纳二极管447的齐纳电压,齐纳二极管447将电容445从SNS端子418断开。电容445减慢感测端子SNS 418处的电压VSNS的增大。电阻490使电容445放电。在功率开关402在导通状态和断开状态之间转变期间,由于使感测端子SNS 418放电而存在一些延迟。此外,当驱动状态信号427指示功率开关402要断开(即,当驱动状态信号427为逻辑低)时,齐纳二极管447断开电容445和电阻490。

[0096] 在接通期间,开关故障检测器425使用感测电压VSNS 418感测过电流和短路状况。消隐电路471在内部消隐时间TB内防止开关故障检测器425响应于误报故障。电容450减慢感测电压VSNS 418的增加速率。这样,使用外部电路可以增加开关故障检测器425的有效消隐时间。例如,开关故障检测器425的内部消隐时间TB可以被设置为500ns以符合用于SiC功率开关402的SOA标准。然而,对于IGBT功率开关402,该500ns的消隐时间可能太短。例如,在开关电压VCE 441开始减小之前,IGBT功率开关402可能需要1-1.5us。500ns的有效消隐时间可能太短而触发误报故障。电容445减慢电压VSNS 418的增加速率并增加开关故障检测器425的有效消隐时间。

[0097] 图5示出了集成电路封装件内的发送器508和接收器510之间的示例性电感耦合。驱动器接口可以是发送器的一个示例,并且驱动电路可以是接收器的一个示例。图5中所示的电感耦合可以是上面(图1)讨论的通信链路114的一个示例。

[0098] 在图5中,电感耦合包括在集成电路封装件的引线框架500中限定的发送回路511和接收器回路513。引线框架500基本上设置在集成电路封装件的封装部分563内。在所示的实施方式中,引线框架500包括第一导体和第二导体,第一导体包括发送回路511,第二导体包括接收器回路513。引线框架的第二导体与第一导体电流隔离。发送器导电回路511靠近接收器导电回路513设置,以在发送器导电回路511和接收器导电回路513之间提供磁耦合通信链路。此外,引线551和引线552耦合到相应的管芯附接焊盘553和管芯附接焊盘554。封装563内的元件设置在集成电路封装件的封装部分内。图5中还示出的是发送器508、接收器510、焊盘555、焊盘556、焊盘558和焊盘557,以及键合线559、键合线560、键合线561和键合线562。

[0099] 在一个示例中,发送器508和接收器510被实现为包括在集成电路封装件的封装部分内的集成电路管芯形式的电路。为引线框架560的第一导体的一部分的管芯附接焊盘553在图5中由对角线交叉影线表示,并且表示引线框架500的其上安装有发送器508的部分。类似地,为引线框架500的第二导体的一部分的管芯附接焊盘554在图5中由对角线交叉影线遮蔽,并且表示引线框架500的其上安装有接收器510的部分。在一个示例中,发送器508和接收器510利用粘合剂附接到引线框架500的相应的隔离的第一导体和第二导体。粘合剂可以是不导电的。在另一个示例中,粘合剂可以是导电的。

[0100] 引线551和引线552表示引线框架500的、可以耦合到在集成电路封装件外部(换句话说,在轮廓563外部)的电路的部分。虽然未示出,但是各种键合线可以将发送器508或接收器510耦合到引线551或引线552中的任何一个。

[0101] 图5中引线框架500的由松散堆积的点遮蔽的部分对应于发送器导电回路511。引线框架500的该部分和键合线559和560完成发送器导电回路511。使用线键合技术将键合线559和键合线560附接到引线框架500的对应于发送器导电回路511的部分。此外,键合线559

通过焊盘555耦合到发送器508，而键合线560通过焊盘556耦合到发送器508。

[0102] 图5中引线框架500的由密集堆积的点遮蔽的部分对应于接收器导电回路513。使用线键合技术将键合线561和键合线562附接到引线框架500的对应于接收器传导回路513的部分。键合线561和键合线562分别经由焊盘558和焊盘557将引线框架500的对应于接收器传导回路513的部分耦合到接收器510。通过利用引线框架的电流隔离的磁耦合导电回路来提供发送器与接收器之间的通信链路，增加了非常小的成本。另外，利用引线框架还可以减小开关控制器的整体尺寸和降低封装件的成本。

[0103] 如上所述，驱动器接口可以是发送器508的一个示例，而驱动电路可以是接收器510的一个示例。驱动器接口可以向驱动电路发送通信，例如由内回路511(发送回路511)发送并由外回路513(接收回路513)接收的接通或关断功率开关的命令信号。驱动电路可以向驱动器接口发送通信，例如由外回路513(接收回路513)发送并由内回路511(发送回路511)接收的故障信号。这样，图5中所示的电感耦合也可以是双向通信的一个示例。

[0104] 图6示出了根据本发明的实施例的包括开关控制器的示例功率转换器600。功率转换器600向负载610提供电能。功率转换器600包括串联耦合的两个功率开关604和606。另外，功率转换器600接收输入电压602( $U_{IN}$ )。功率转换器600被设计成通过控制功率开关604和功率开关606的切换将电能从输入传递到负载610。在不同的实施方式中，功率转换器600可以控制到负载的能量输出的电压、电流或功率水平。

[0105] 在图6所示的实施例中，功率开关604和功率开关606是n沟道IGBT。然而，本发明的实施例也可以与其他功率开关组合使用。例如，可以使用金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET)、双极晶体管、注入增强栅晶体管(IEGT)和栅极可关断晶闸管(GTO)。另外，功率转换器600可以与基于氮化镓(GaN)半导体或碳化硅(SiC)半导体的功率开关一起使用。

[0106] 功率开关604和功率开关606各自由第一开关控制器618和第二开关控制器620控制。第一开关控制器618和第二开关控制器620可包括上述的开关控制器。第一开关控制器618和第二开关控制器620提供控制第一和第二IGBT 604和606的第一和第二栅极驱动信号630和632( $U_{DR1}$ 、 $U_{DR2}$ )。两个控制电路618和620可以可选地由系统控制器614控制。这种系统控制器可以包括用于接收系统输入信号616的输入。在图6所示的实施例中，示出了具有半桥配置的两个功率半导体开关。然而，也可以使用其他拓扑。

[0107] 本发明的所示实施例的上述描述，包括摘要中所描述的，并非旨在是穷举的或者是对所公开的精确形式的限制。尽管出于说明性目的在本文中描述了本发明的具体实施方案和实施例，但是在不偏离本发明的更宽泛精神和范围的情况下，各种等同修改是可能的。实际上，应当理解，提供具体示例电压、电流、频率、功率范围值、时间等以用于解释目的，并且根据本发明的教导，其他值也可以用于其他实施方案和实施例中。

[0108] 根据上述详细描述，可以对本发明的实施例进行这些修改。以下权利要求中使用的术语不应被解释为将本发明限制于说明书和权利要求书中公开的具体实施方案。而是，范围完全由以下权利要求确定，所述权利要求应根据权利要求解释的既定原则来解释。因此，本说明书和附图应被视为说明性的而非限制性的。

[0109] 尽管在权利要求书中限定了本发明，但应该理解，可以替代地根据以下实施方案限定本发明：

[0110] 实施方案1：用于驱动功率半导体开关的驱动器电路，所述功率半导体开关具有控

制输入和主端子,所述驱动器电路包括:控制端子驱动器电路,其被配置为耦合到所述功率半导体开关的控制输入并向其提供驱动信号;感测端子,其被配置为耦合到所述功率半导体开关的主端子;第一电流比较器,其被耦合以在关断期间将从所述感测端子接收到的信号与关断阈值进行比较,并输出表示比较结果的第一信号,其中所述关断阈值表示在关断期间所述主端子的最高电压;第二比较器,其被耦合以在接通期间将从所述感测端子接收到的信号与接通阈值进行比较,并输出表示比较结果的第二信号,其中所述接通阈值表示在接通期间所述主端子的最高电压。

[0111] 实施方案2:根据实施方案1所述的驱动器电路,还包括开关电路,所述开关电路能切换以:在关断期间以及在断开状态下将所述第一电流比较器耦合到所述感测端子,并且在接通期间以及在导通状态下将所述第一电流比较器从所述感测端子解耦。

[0112] 实施方案3:根据实施方案2所述的驱动器电路,其中,所述开关电路被耦合以接收指示所述功率半导体开关要处于断开状态还是处于导通状态的驱动状态信号。

[0113] 实施方案4:根据任一前述实施方案所述的驱动器电路,其中,所述关断阈值还表示在断开状态下所述主端子的最高电压;以及所述接通阈值还表示在导通状态下所述主端子的最高电压。

[0114] 实施方案5:根据任一前述实施方案所述的驱动器电路,其中,响应于所述第一信号指示在关断期间所述主端子的电压超过所述关断阈值,所述控制端子驱动器电路响应以降低关断速率。

[0115] 实施方案6:根据任一前述实施方案所述的驱动器电路,其中,所述驱动器电路还包括耦合在所述感测端子和所述第一比较器之间的电流镜。

[0116] 实施方案7:根据任一前述实施方案所述的驱动器电路,还包括定时器电路,所述定时器电路用于对一持续时间计时,在所述持续时间期间,所述第二信号指示在接通期间从所述感测端子接收的信号超过所述接通阈值。

[0117] 实施方案8:根据任一前述实施方案所述的驱动器电路,其中,所述第一比较器、所述第二比较器和所述开关电路在单个半导体封装件中,其中所述感测端子是所述封装件的端子。

[0118] 实施方案9:根据任一前述实施方案所述的驱动器电路,其中,所述关断阈值是可变阈值。

[0119] 实施方案10:根据任一前述实施方案所述的驱动器电路,其中,所述感测端子的输入阻抗在关断期间比在接通期间相对更低,例如,其中所述感测端子的输入阻抗在关断期间小于 $200\text{k}\Omega$ 并且在接通期间大于 $10\text{M}\Omega$ ,例如,其中所述感测端子的输入阻抗在关断期间小于 $10\text{k}\Omega$ 并且在接通期间大于 $100\text{M}\Omega$ 。

[0120] 实施方案11:用于驱动功率半导体开关的驱动器电路,所述功率半导体开关具有控制输入和主端子,所述驱动器电路包括:控制端子驱动器电路,其被配置为耦合到所述功率半导体开关的控制输入并向其提供驱动信号;感测端子,其被配置为耦合到所述功率半导体开关的主端子;电流镜,其耦合到所述感测端子,以在关断期间将输入到所述感测端子中的电流镜像;第一电流比较器,其被耦合以将所述从电流镜接收到的电流信号与第一电流阈值进行比较,并输出表示比较结果的第一信号,其中所述第一电流阈值表示在关断期间所述主端子的最高电压;第二比较器,其被耦合以将从所述感测端子接收的信号与接通

阈值进行比较，并输出表示比较结果的第二信号，其中所述接通阈值表示在接通期间所述主端子的最高电压。

[0121] 实施方案12：根据实施方案11所述的驱动器电路，还包括开关电路，所述开关电路能切换以：在关断期间以及在断开状态下将所述电流镜耦合到所述感测端子，并且在接通期间以及在导通状态下将所述电流镜从所述感测端子解耦。

[0122] 实施方案13：根据实施方案12所述的驱动器电路，其中，所述开关电路被耦合以接收指示所述功率半导体开关要处于断开状态还是处于导通状态的驱动状态信号。

[0123] 实施方案14：根据实施方案11至13中任一所述的驱动器电路，其中，所述第一电流阈值还表示在断开状态下所述主端子的最高电压；以及所述接通阈值还表示在导通状态下所述主端子的最高电压。

[0124] 实施方案15：根据实施方案11至14中任一所述的驱动器电路，其中，响应于所述第一信号指示在关断期间所述主端子的电压超过所述第一电流阈值，所述控制端子驱动器电路响应以降低关断速率。

[0125] 实施方案16：根据实施方案11至15中任一所述的驱动器电路，还包括定时器电路，所述定时器电路用于对一持续时间进行计时，在所述持续时间期间，所述第二信号指示在接通期间从所述感测端子接收到的信号超过所述接通阈值。

[0126] 实施方案17：根据实施方案11至16中任一所述的驱动器电路，其中，所述第一比较器、所述第二比较器和所述开关电路在单个半导体封装件中，其中所述感测端子是所述封装件的端子。

[0127] 实施方案18：根据实施方案11至17中任一所述的驱动器电路，其中，所述第一电流阈值是可变阈值。

[0128] 实施方案19：根据实施方案11至18中任一所述的驱动器电路，其中，所述感测端子的输入阻抗在关断期间比在接通期间相对更低，例如，其中所述感测端子的输入阻抗在关断期间小于 $200\text{k}\Omega$ 并且在接通期间大于 $10\text{M}\Omega$ ，例如，其中所述感测端子的输入阻抗在关断期间小于 $10\text{k}\Omega$ 并且在接通期间大于 $100\text{M}\Omega$ 。

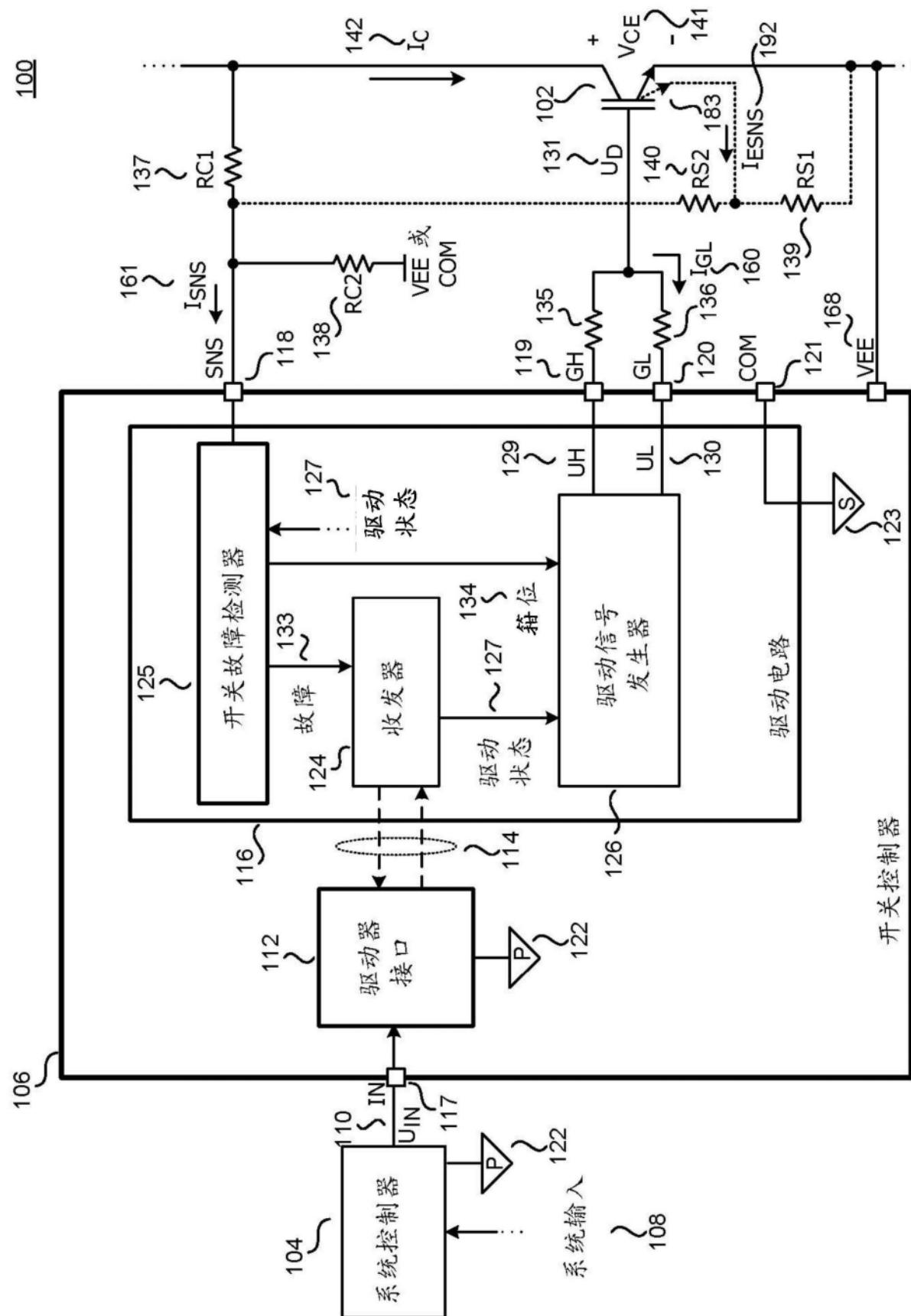


图1

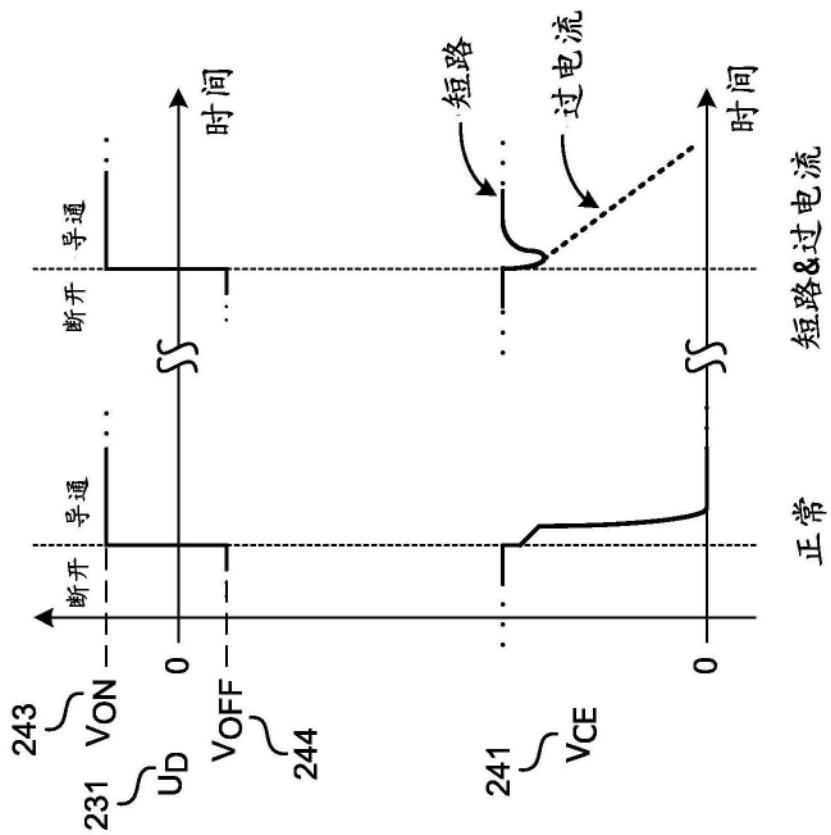
200

图2A

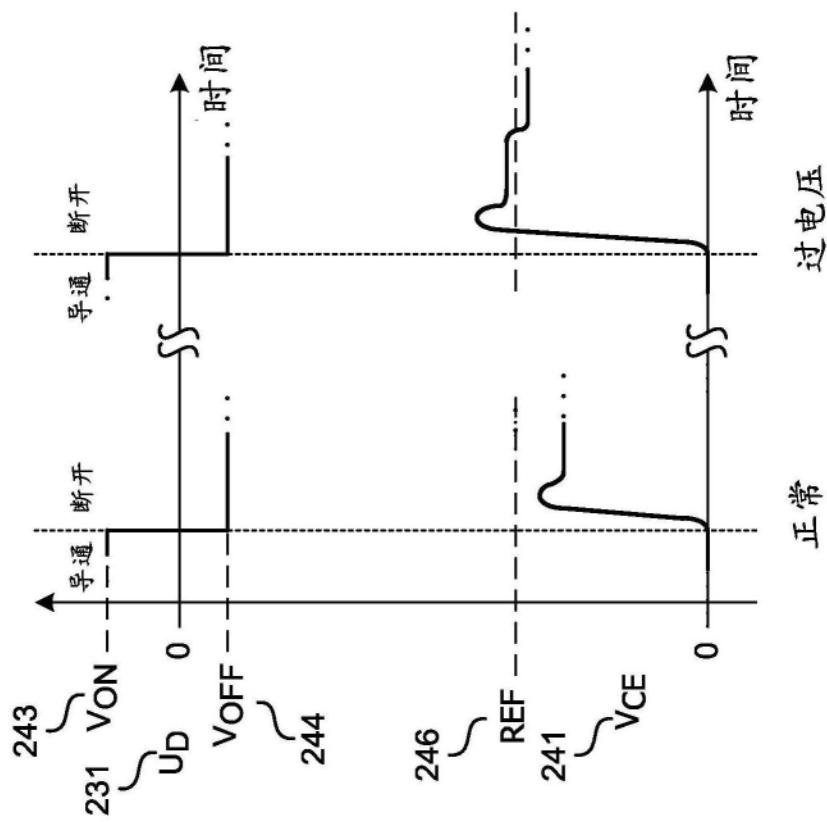
201

图2B

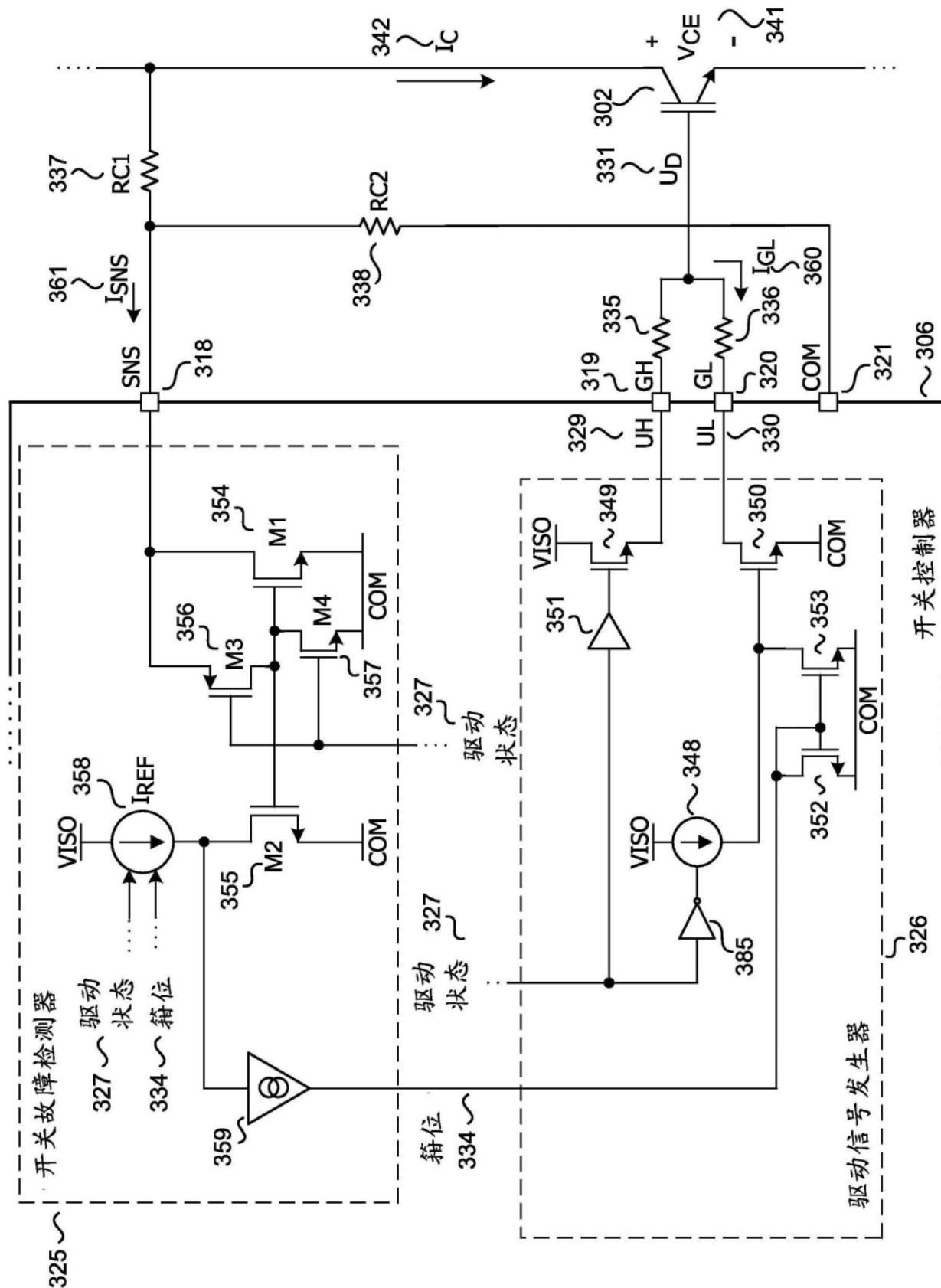


图3A

301

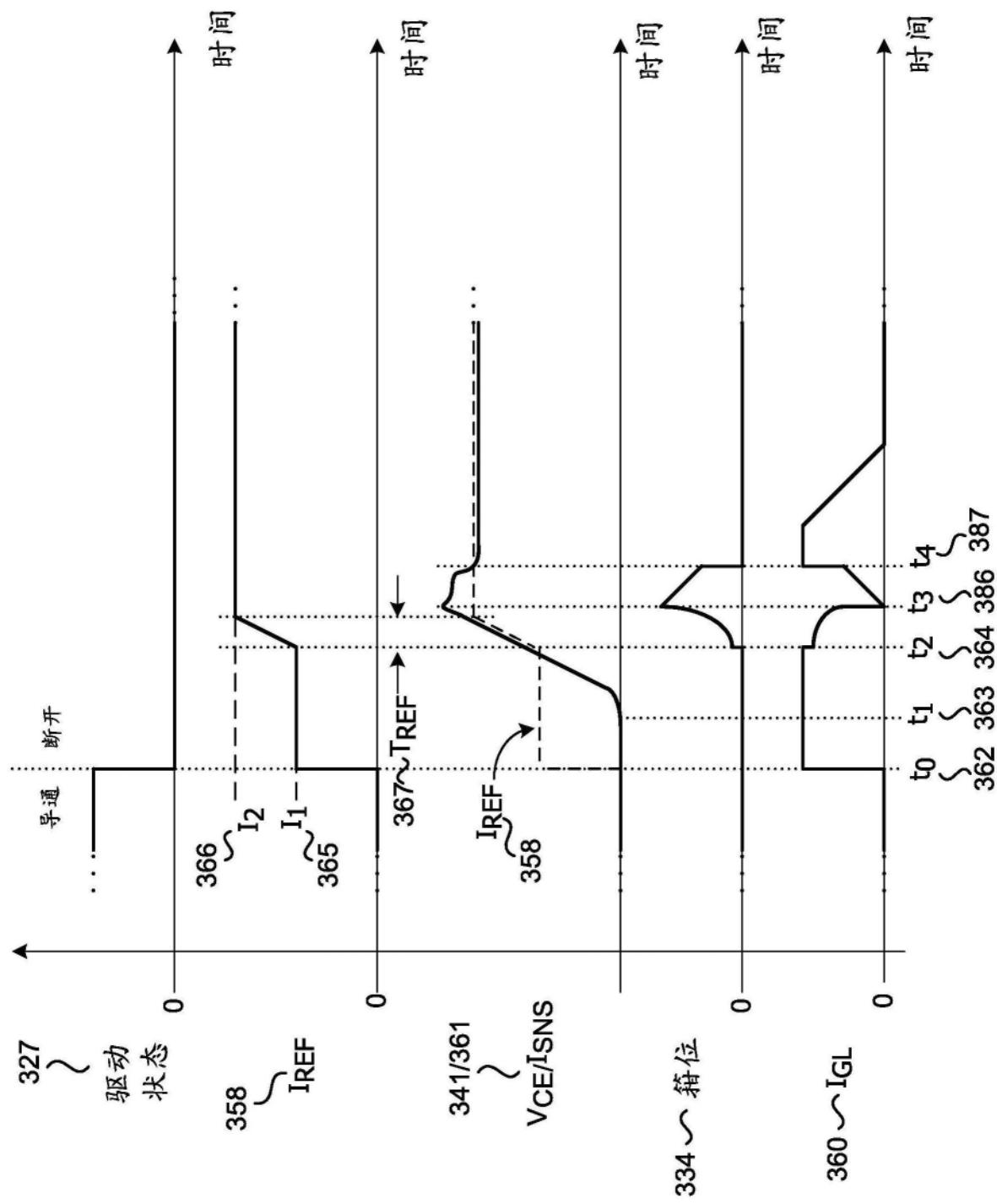


图3B

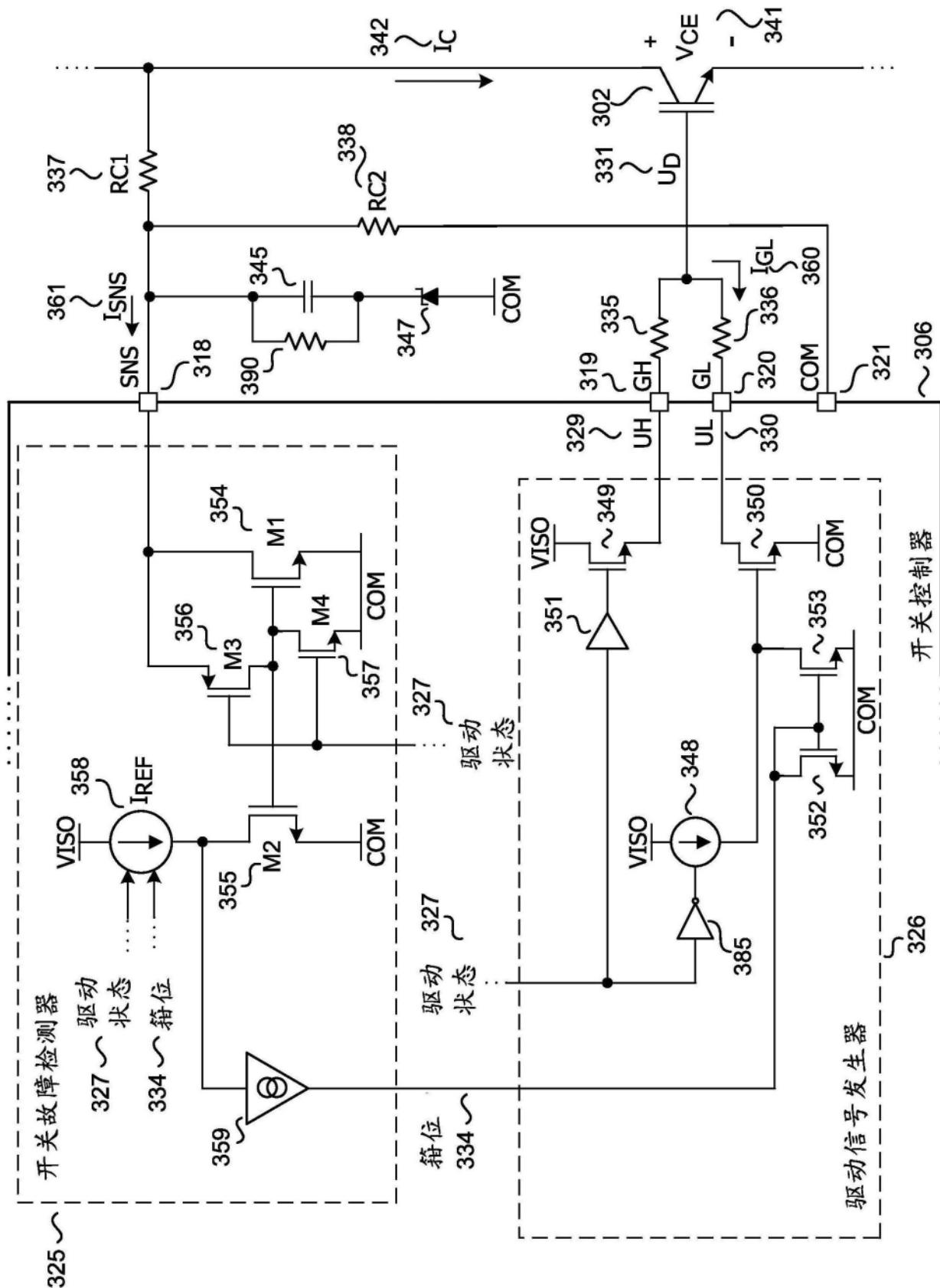


图3C

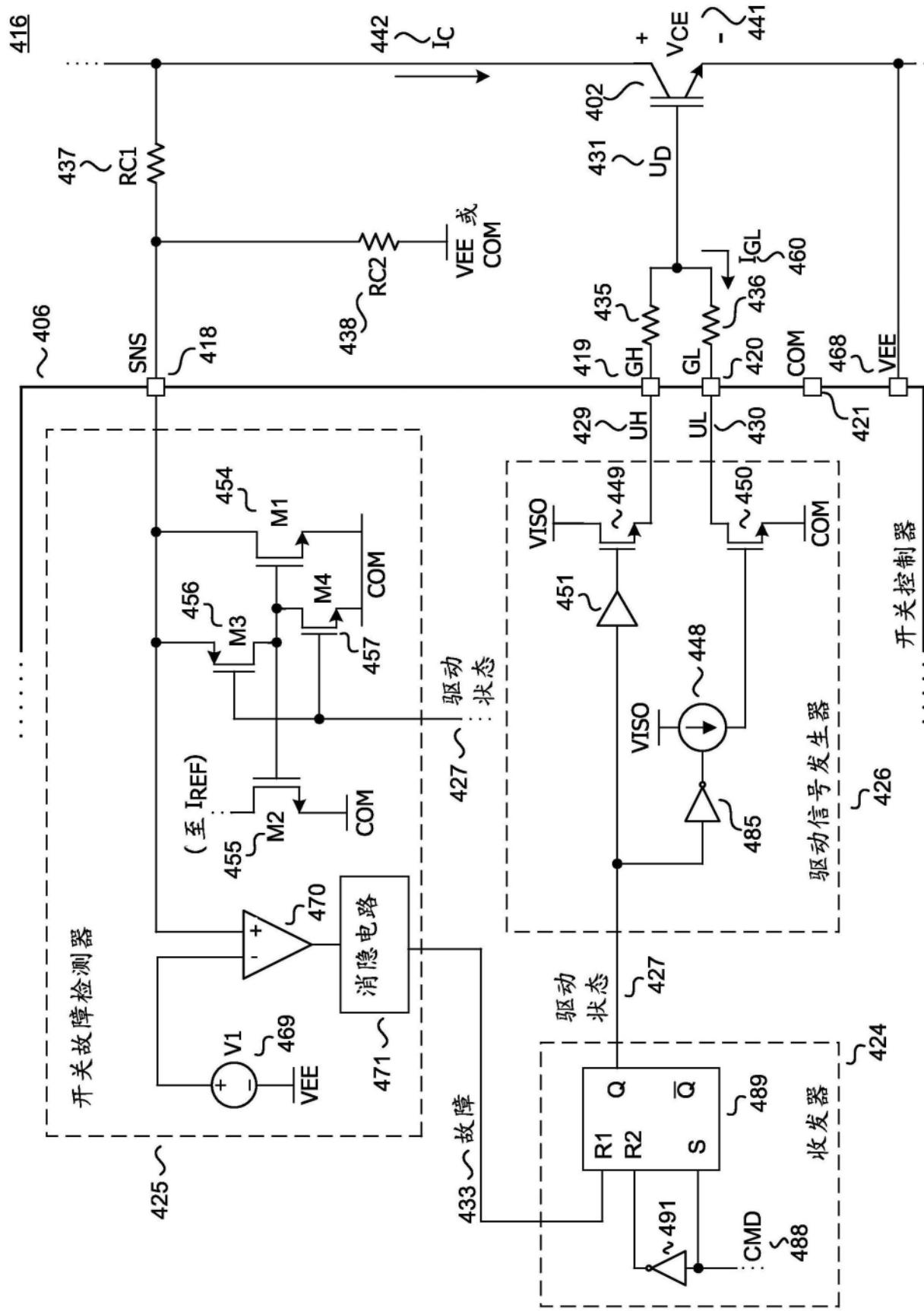


图4A

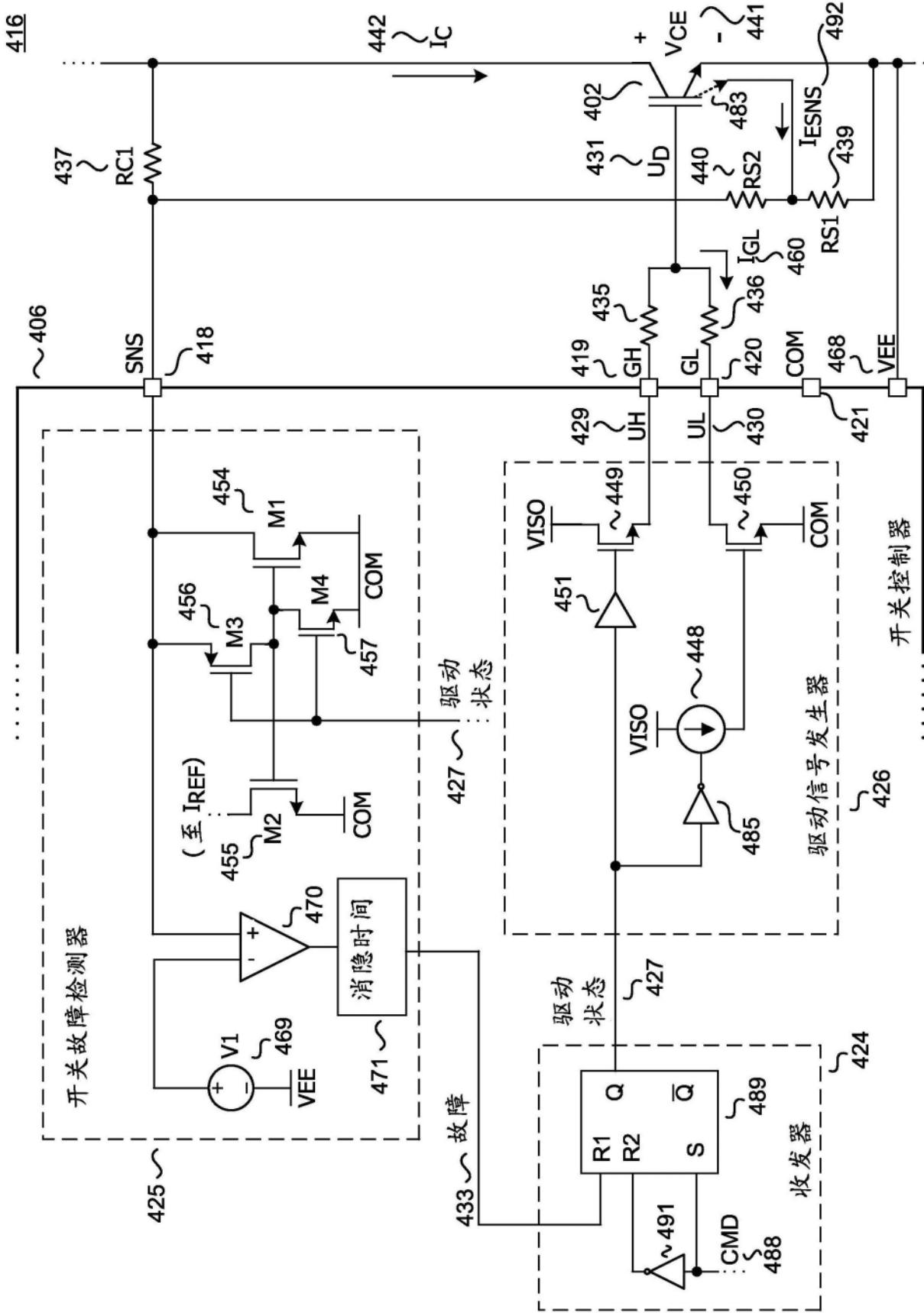
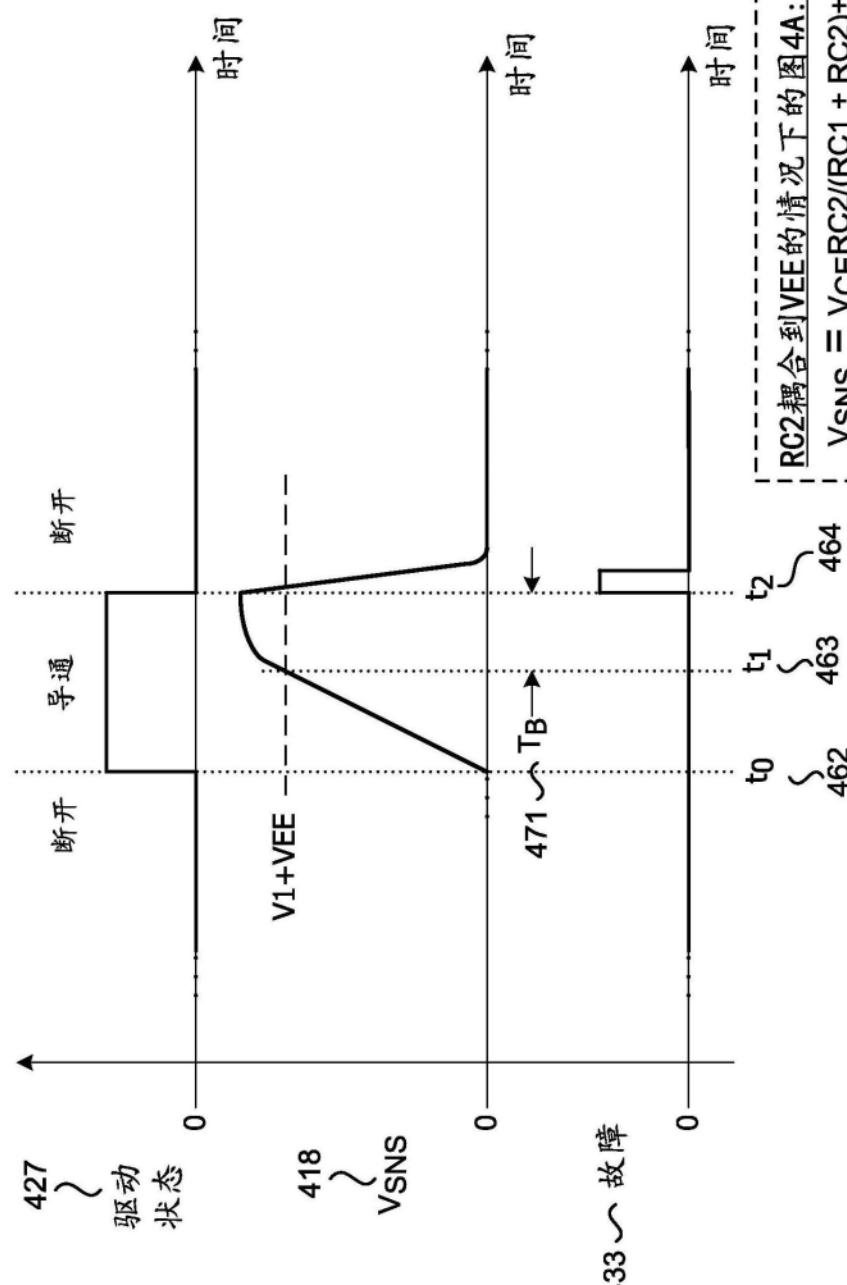


图4B

401



433

故障

图4C

RC2耦合到VEE的情况下图4A:  
 $V_{SNS} = V_{CE}R_{C2}/(R_{C1} + R_{C2}) + V_{EE}$

RC2耦合到COM的情况下图4A:  
 $V_{SNS} = (V_C - COM)R_{C2}/(R_{C1} + R_{C2}) + V_{EE}$

图 4B:  
 $V_{SNS} = V_{CE}(R_{S1} + R_{S2})/(R_{S1} + R_{S2} + R_{C1}) + V_{EE} + RS_1(I_{ESNS})$   
 其中  $I_{ESNS} = \alpha I_{CE}$ ,  $\alpha < 10000$

416

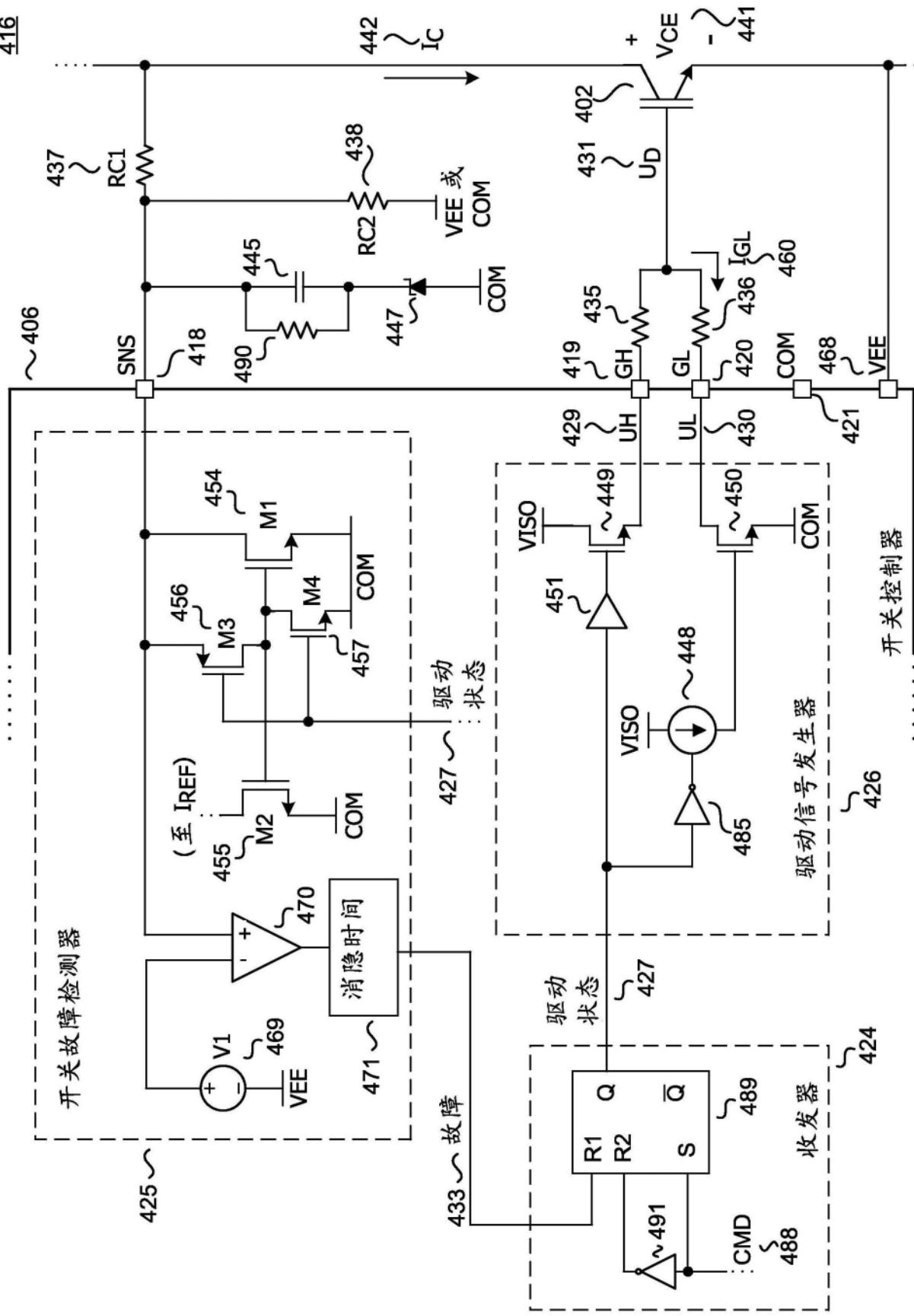


图4D

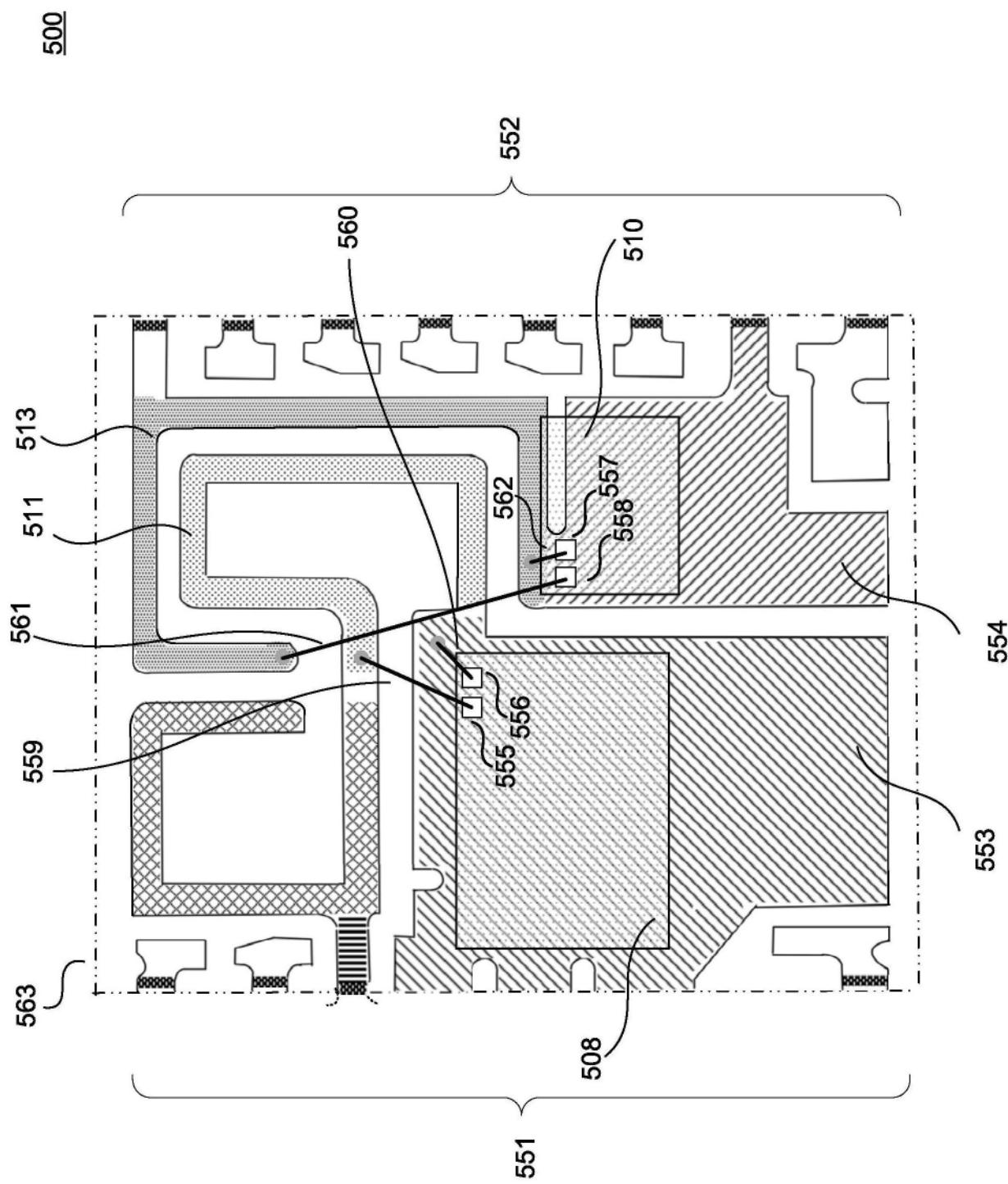


图5

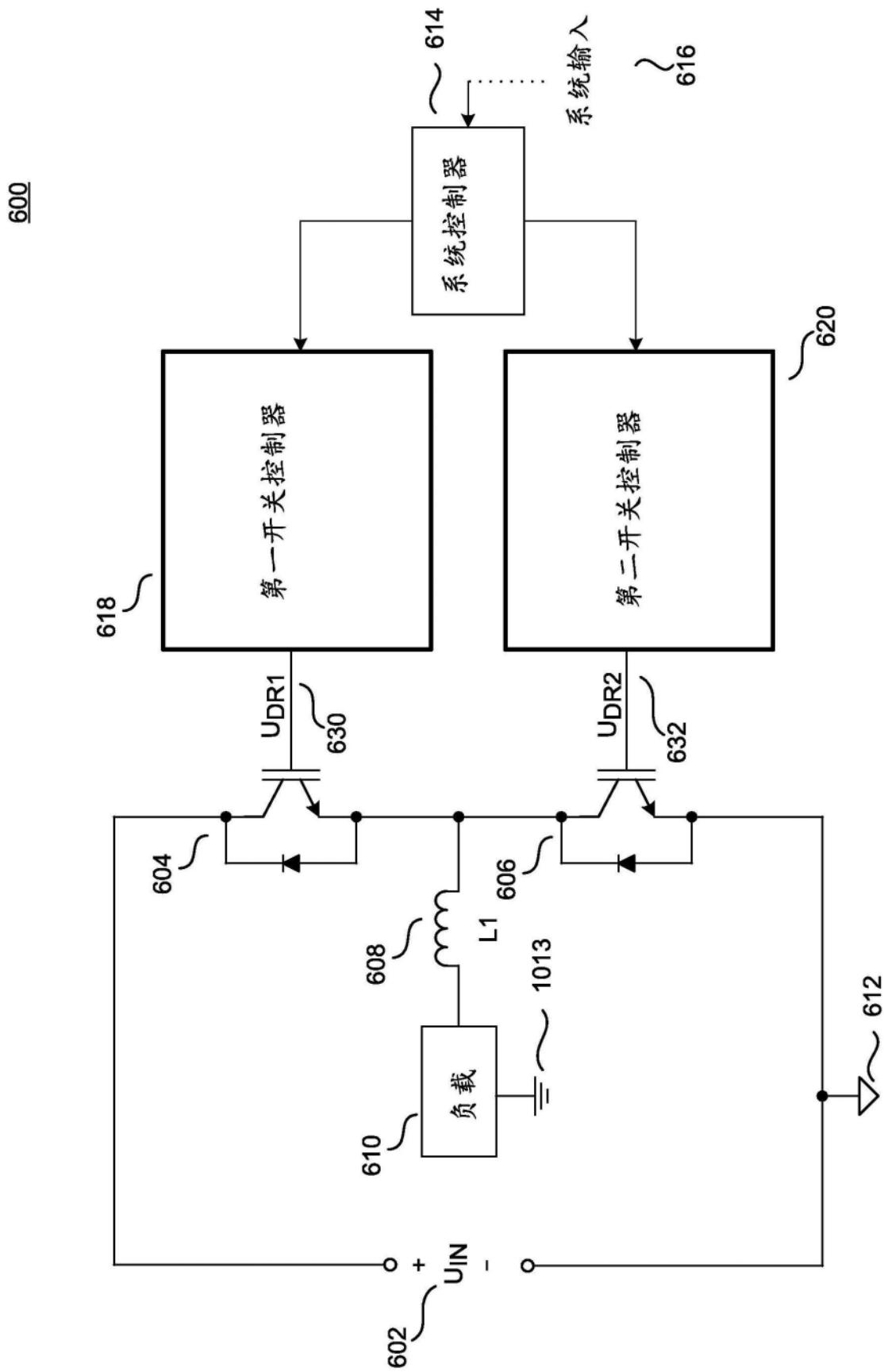


图6