(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 116470780 A
(43)申请公布日 2023.07.21

(21)申请号 202310085131.3

(22)申请日 2023.01.19

(30)优先权数据
102022200598.8 2022.01.20 DE

(71)申请人 罗伯特·博世有限公司
地址 德国斯图加特

(72)发明人 H·赛义德 N·维斯特曼
C·萨尔西内斯 K·奥伯迪克

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司 72002
专利代理师 郭毅

(51)Int.Cl.
H02M 7/537(2006.01)
H02M 1/088(2006.01)
H02M 1/00(2007.01)

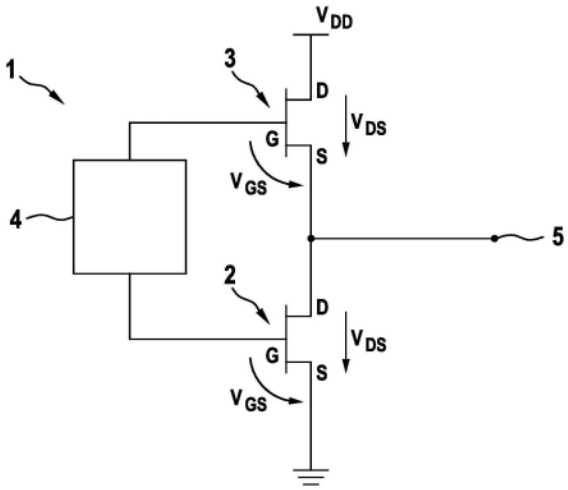
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54)发明名称

用于检测逆变器的晶体管的特征运行参数的方法

(57)摘要

本发明涉及一种逆变器(1),其包括:第一晶体管(2)和第二晶体管(3),第一晶体管和第二晶体管是逆变器(1)的高边晶体管和低边晶体管;控制电子部件(4),其设置用于,触发第一开关过程,在第一开关过程中接通所述第一晶体管(2),第二晶体管(3)处在关断状态,第一晶体管的寄生电容在第一开关过程中被放电,触发第二开关过程,在第二开关过程中关断或重新接通第一晶体管(2),同时第二晶体管(3)保持处在所述关断状态,第一晶体管的寄生电容在第二开关过程中已经放电,检测描述在所述第一开关过程的持续时间与第二开关过程的持续时间之间的差异的时间差,以及基于所述时间差求取第一晶体管(2)的特征运行参数。



CN 116470780 A

1.一种逆变器(1),所述逆变器包括

第一晶体管(2)和第二晶体管(3),所述第一晶体管和所述第二晶体管是所述逆变器(1)的高边晶体管和低边晶体管;以及

控制电子部件(4),所述控制电子部件设置用于

触发第一开关过程,在所述第一开关过程中接通所述第一晶体管(2),其中,所述第二晶体管(3)处在关断状态中,其中,所述第一晶体管的寄生电容在所述第一开关过程中被放电,

触发第二开关过程,在所述第二开关过程中关断或重新接通所述第一晶体管(2),其中,同时所述第二晶体管(3)保持在所述关断状态中,其中,所述第一晶体管的寄生电容在所述第二开关过程中已经被放电,

检测如下的时间差:所述时间差描述在所述第一开关过程的持续时间与所述第二开关过程的持续时间之间的差异,以及

基于所述时间差求取所述第一晶体管(2)的特征运行参数。

2.根据权利要求1所述的逆变器,其中,所述寄生电容是米勒电容,并且所述特征运行参数是米勒电容的电荷或电容值。

3.根据前述权利要求中任一项所述的逆变器,其中,所述控制电子部件(4)还设置用于,确定或检测所述第一晶体管(2)的栅极电流,并且基于所述第一晶体管(2)的栅极电流和所述时间差求取所述第一晶体管(2)的特征运行参数。

4.根据权利要求3所述的逆变器,其中,所述特征运行参数是所述第一晶体管(2)的米勒电容的电荷,并且借助所述第一晶体管(2)的栅极电流与所述时间差的相乘求取所述电荷。

5.根据前述权利要求中任一项所述的逆变器,其中,所述第一开关过程和所述第二开关过程在所述逆变器(1)的无负载状态下进行。

6.根据权利要求5所述的逆变器,其中,所述第一开关过程是在所述逆变器(1)已切换到所述无负载状态后的初始开关过程。

7.根据前述权利要求中任一项所述的逆变器,其中,所述第一开关过程的持续时间和/或所述第二开关过程的持续时间由如下时间来定义:在所述时间上,所述第一晶体管(2)的栅极源极电压在所述开关过程中上升或下降。

8.根据前述权利要求中任一项所述的逆变器,其中,所述第一晶体管(2)在所述第二开关过程中被重新接通,其中,所述第一晶体管(2)在位于所述第一开关过程与所述第二开关过程之间的中间开关过程中被关断,以便在跟随的第二开关过程中能够实现重新接通,其中,所述第二晶体管(3)在所述中间开关过程中保持在所述关断状态中。

9.一种用于检测逆变器(1)的晶体管的特征运行参数的方法,所述逆变器包括第一晶体管(2)和第二晶体管(3),所述第一晶体管和所述第二晶体管是所述逆变器的高边晶体管和低边晶体管,所述方法包括:

触发第一开关过程,在所述第一开关过程中接通所述第一晶体管(2),其中,所述第二晶体管(3)处在关断状态中,其中,所述第一晶体管的寄生电容在所述第一开关过程中被放电;

触发第二开关过程,在所述第二开关过程中关断或重新接通所述第一晶体管(2),其

中,同时所述第二晶体管(3)保持处在所述关断状态中,其中,所述第一晶体管的寄生电容在所述第二开关过程中已经被放电;

检测如下的时间差:所述时间差描述在所述第一开关过程的持续时间与所述第二开关过程的持续时间之间的差异;以及

基于所述时间差求取所述第一晶体管(2)的特征运行参数。

用于检测逆变器的晶体管的特征运行参数的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种逆变器,该逆变器适用于检测逆变器的晶体管的特征运行参数。

背景技术

[0002] 碳化硅晶体管、典型地MOSFET是车辆环境中的逆变器的主要部件。在逆变器的使用寿命中发生逆变器的部件的老化,这也影响逆变器的晶体管。晶体管的这种老化导致了晶体管的运行参数的退化,该退化由于老化或由于由使用晶体管而产生的恒定负载条件引起。晶体管的运行参数与其目标值的其他可能偏差由制造过程中的公差造成。

[0003] 通常,逆变器中的晶体管以并联配置的方式使用。各个晶体管的不同运行参数在此导致了电流分布中的不对称,并且由此产生的损失导致了晶体管中的不均匀的热量分布。这种不对称的分布导致各个晶体管芯片的角部区域中的较高负载,所述角部区域传导晶体管的最大电流。因此,其老化过程加速。

[0004] 为了能够实现逆变器中的晶体管的操控(在该操控中发生所有晶体管的均匀负载),必要的是了解各个晶体管的运行参数。在此已知,考虑漏极源极电压和栅极源极电压的电压变化过程,以便由此计算通过米勒电容感应引起的米勒电荷或米勒电容的电容。为了求取相应的值,在此对栅极源极电压关于其时间变化过程进行采样并进行分析。然而,这种采样过程可能导致不准确性。此外,由此监测漏极源极电压变得必要并且需要附加的触发器。通过监测在晶体管的接通过程上的栅极源极电压也不能推断出寄生效应。因此,尤其是不能推断出并非晶体管的固有电容的寄生电容。例如,不能考虑由使用多个晶体管芯片而产生的效应。

发明内容

[0005] 根据本发明的逆变器包括第一晶体管和第二晶体管,所述第一晶体管和所述第二晶体管是所述逆变器的高边晶体管(High-Side-Transistor)和低边晶体管(Low-Side-Transistor),并且所述逆变器包括控制电子部件,所述控制电子部件设置用于触发第一开关过程,在所述第一开关过程中接通所述第一晶体管,其中,所述第二晶体管处在关断状态中,其中,所述第一晶体管的寄生电容在所述第一开关过程中被放电,所述控制电子部件设置用于触发第二开关过程,在所述第二开关过程中关断或重新接通所述第一晶体管,其中,同时所述第二晶体管保持处在所述关断状态中,其中,所述第一晶体管的寄生电容在所述第二开关过程中已经放电,检测描述在所述第一开关过程的持续时间与所述第二开关过程的持续时间之间的差异的时间差,以及基于所述时间差来求取所述第一晶体管的特征运行参数。

[0006] 根据本发明的用于检测逆变器的晶体管的特征运行参数的方法,所述逆变器包括第一晶体管和第二晶体管,所述第一晶体管和所述第二晶体管是所述逆变器的高边晶体管和低边晶体管,所述方法包括:触发第一开关过程,在所述第一开关过程中接通所述第一晶体管,其中,所述第二晶体管处在关断状态中,其中,所述第一晶体管的寄生电容在所述第

一开关过程中被放电;触发第二开关过程,在所述第二开关过程中所述第一晶体管被关断或被重新接通,其中,同时所述第二晶体管保持在关断状态中,其中,所述第一晶体管的寄生电容在所述第二开关过程中已经被放电;检测描述在所述第一开关过程的持续时间与所述第二开关过程的持续时间之间的差异的时间差;以及基于所述时间差求取所述第一晶体管的特征运行参数。

[0007] 因此,第一晶体管要么被接通两次,要么该第一晶体管首先被接通并且然后被关断。尤其是,在如下假设的情况下求取该特征运行参数:在第一晶体管的接通过程中的栅极电荷相应于或类似于在第一晶体管的关断过程中的栅极电荷。

[0008] 高边晶体管是如下晶体管:该晶体管典型地将提供给逆变器的供电电压相对于逆变器的输出侧地进行切换。低边晶体管典型地是如下晶体管:该晶体管将逆变器的输出侧切换到接地电位。开关过程是如下时间区间:在所述时间区间中,晶体管从导电状态转变为非导电状态或从非导电状态转变为导电状态。开关过程典型地从为晶体管提供控制信号开始,尤其是通过改变栅极源极电压。当晶体管经由其漏极源极接通部能够实现最小或最大的电流流动时,即漏极源极电流为最小或最大,或者当在漏极源极接通部上下降的电压为最小(典型地为0伏)或最大时,开关过程结束。

[0009] 第一和/或第二晶体管尤其是MOSFET晶体管。控制电子部件设置用于检测时间差。这个时间差定义了在第一开关过程的持续时间与第二开关过程的持续时间之间的差异。这可以要么通过以下方式来检测:首先测量第一开关过程的持续时间,然后测量第二开关过程的持续时间,最后由测量值计算时间差。第一晶体管的特征运行参数是基于该时间差来求取的。换句话说,这意味着,由在第二晶体管关断时第一晶体管的开关行为可以求取第一晶体管的特性。

[0010] 在第一开关过程中,第一晶体管的寄生电容被放电。这表明,在第一开关过程之前寄生电容处在充电状态中,以便该寄生电容可以被放电。在此,寄生电容是由晶体管形成的电容,该电容由晶体管本身的特性得出。因此,寄生电容不是一个与晶体管连接的独立构件。在第二开关过程中,第一晶体管的寄生电容已经被放电。如此,例如,第一晶体管的寄生电容在第一开关过程中已经被放电并且保持处在这种状态中,直到实施第二开关过程为止。

[0011] 可选的实施方式示出本发明的优选扩展方案。

[0012] 优选的是,寄生电容是米勒电容,并且特征运行参数是米勒电容的电荷或电容值。在此,米勒电容是在晶体管的漏极接通部和栅极接通部之间产生的电容。该米勒电容必须在晶体管切换之前通过栅极电流放电,并且因此可以延迟晶体管的开关过程。因此,有利的是,求取存储在米勒电容中的电荷或米勒电容的电容值,因为基于这些值可以对晶体管的开关过程在时间上进行协调。

[0013] 优选的是,控制电子部件还设置用于,确定或检测第一晶体管的栅极电流,并且基于第一晶体管的栅极电流和时间差求取第一晶体管的特征运行参数。此外,栅极电流流到晶体管的寄生电容中。由此,该栅极电流可以用作计算晶体管寄生电容的运行参数的计算基础。因此,有利的是,确定或检测第一晶体管的栅极电流,以便该栅极电流对于必要的计算是已知的。所述时间差定义了栅极电流流到寄生电容中的时间。

[0014] 如果特征运行参数是第一晶体管的米勒电容的电荷,并且该电荷是借助第一晶体

管的栅极电流和时间差的相乘来求取的，则也是有利的。第一晶体管的米勒电容恰好是一个重要的参数，以便同步或相互协调多个晶体管的开关过程。通过借助第一晶体管的栅极电流和时间差的相乘来计算米勒电容，能够实现在不测量电压的情况下求取米勒电容。尤其是，在此可以实现用于待求取的米勒电容值的特别准确的结果。

[0015] 此外，如果第一开关过程和第二开关过程在逆变器的无负载状态下进行，则是有利的。因此，可以防止电流经由连接的负载流过第一晶体管与第二晶体管之间的输出接通部。因此，测量结果没有失真（verfälscht）。

[0016] 此外，如果第一开关过程是逆变器已被切换到无负载状态后的第一开关过程，则是有利的。这意味着，在逆变器在负载下的运行后已被切换到无负载状态后，通过第一晶体管和/或第二晶体管没有实施其他开关过程。这意味着，第一和/或第二晶体管的寄生电容还是完全充电的，如这通过其在无负载状态下的运行进行的那样。因此，也有利的是，在逆变器已被切换到无负载状态后，尽可能在短时间地实施第一开关过程。如此，第一开关过程优选在已探测到无负载状态后立即实施。由于第一和第二晶体管的寄生电容是完全充电的，因此这些寄生电容对特征运行参数的影响可以被特别准确地求取出。

[0017] 第二开关过程优选是在第一开关过程之后直接进行的初始开关过程。如果第一晶体管在第二开关过程中被关断，则这是特别有利的。因此可以防止由于另外的参数(例如由于温度变化)而使在求取特征运行参数时的结果失真。

[0018] 优选的是，第一开关过程的持续时间和/或第二开关过程的持续时间通过以下时间定义：在所述时间上，第一晶体管的栅极源极电压在开关过程中上升或下降。在此，尤其是，第一开关过程的持续时间由第一晶体管的栅极源极电压的上升的持续时间定义。如果第二开关过程是第一晶体管的关断，则第二开关过程的持续时间由如下时间定义：在该时间上，第一晶体管的栅极源极电压在第二开关过程中下降。如果第二开关过程是在第二开关过程中重新接通第一晶体管，则第二开关过程的持续时间由如下时间定义：在所述时间上，第一晶体管的栅极源极电压在该开关过程中上升到最大值。因此，开关过程由栅极源极电压的上升或下降定义。

[0019] 此外，有利的是，第一晶体管在第二开关过程中重新接通，其中，第一晶体管在位于第一开关过程与第二开关过程之间的中间开关过程中被关断，以便在跟随的第二开关过程中能够实现重新接通，其中，第二晶体管在中间开关过程中保持在关断状态中。为了能够实现第一晶体管的重新接通，必要的是，首先将该第一晶体管关断。这是由中间开关过程进行的。同时，由此能够实现在中间开关过程中将第一晶体管和/或第二晶体管的电容进行放电。因此，可以实现在第一晶体管的充电电容与第一晶体管的放电电容中的开关过程的比较。

[0020] 根据本发明的逆变器具有根据本发明的方法的所有优点。

附图说明

[0021] 在下文中，参照所附附图对本发明的实施例进行详细描述。在附图中：

[0022] 图1根据本发明的逆变器的图示，

[0023] 图2在第一开关过程中第一晶体管的栅极源极电压的变化过程，

[0024] 图3在第二开关过程中第一晶体管的栅极源极电压的变化过程的图示，

[0025] 图4在第一开关过程中第一晶体管的漏极源极电压的图示，

[0026] 图5在第二开关过程中第一晶体管的漏极源极电压的变化过程的图示，

[0027] 图6用于检测第一晶体管的栅极电流的电路的电路图，以及

[0028] 图7在第一和第二开关过程的彼此相继的接通过程中第一晶体管的漏极源极电压和栅极源极电压的图示。

具体实施方式

[0029] 图1示出一个逆变器1，该逆变器包括一个第一晶体管2和一个第二晶体管3。第一晶体管2在此是低边晶体管，并且第二晶体管3在此是逆变器1的高边晶体管。

[0030] 第二晶体管3借助漏极接通部与逆变器1的供电电压的电压电位连接，经由该电压电位提供供电电压V_{DD}。如此，例如提供300伏的供电电压V_{DD}。第二晶体管3的源极接通部与逆变器1的输出接通部5连接并与第一晶体管2的漏极接通部连接。第一晶体管2的源极接通部与电路接地连接。因此，第一晶体管2和第二晶体管3经由它们的开关接通部串联连接。第一晶体管2的栅极接通部和第二晶体管3的栅极接通部借助逆变器1的控制电子部件4耦合。控制电子部件4设置用于实施根据本发明的方法。

[0031] 在逆变器1的正常运行中，交替地切换第二晶体管3和第一晶体管2，并且因此交替地将供电电压V_{DD}和接地电位施加到输出接通部5上。以这种方式，例如产生了交流电的相位，通过该交流电例如运行车辆的马达。

[0032] 为了相互协调第一晶体管2和第二晶体管3的开关过程，如果两个晶体管2、3的特征运行参数对于控制电子部件4来说是已知的，则是有利的。如此，例如如果已知第一晶体管的寄生电容，则是有利的，因为这些寄生电容对第一晶体管的开关时间具有影响。通过第一晶体管2的特征运行参数，例如描述了对于第一晶体管2特征化的米勒电荷Q_{GD}。另外的示例性的特征运行参数是第一晶体管2的接通电容和栅极源极电容。

[0033] 在下文中描述如何求取第一晶体管2的米勒电荷Q_{GD}。然而，这里已经指出，基于所述方法也可以求取出另外的特征运行参数，因为这些另外的特征运行参数常常与米勒电荷Q_{GD}相关。

[0034] 通过控制电子部件4首先探测一个时间点，在该时间点逆变器1处在无负载状态中。这例如是如下情况：其中安装有逆变器1的电动车辆处在空闲状态(Ruhezustand)中并且没有通过该车辆的马达从逆变器1获取电流。如此，尤其是在这种状态下，将马达线圈与逆变器1断开。在逆变器1的无负载状态下，典型地，不仅第一晶体管2而且第二晶体管3首先处在关断状态中。这意味着，在这种状态中首先没有电流流经晶体管2、3的漏极和源极接通部。

[0035] 通过控制电子部件4触发第一开关过程。在第一开关过程中接通第一晶体管2，并且第二晶体管3保持在关断状态中。针对第一开关过程关于时间变化过程在图2中示出第一晶体管2的栅极源极电压。此外，针对第一开关过程关于其时间变化过程在图4中示出第一晶体管2的漏极源极电压。

[0036] 在图2中，在第一开关过程中关于时间变化过程示出第一晶体管2的栅极源极电压V_{GS}的电压变化过程10。如此，从图2中可以看出，在第一时间区间t1中首先第一晶体管2的栅极源极电压上升。在跟随在第一时间区间t1之后的第二时间区间t2中，第一晶体管2的栅极

源极电压停留在一个平稳阶段(Plateau)。这个平稳阶段是由第一晶体管2的漏极与栅极之间的寄生电容、即由米勒电容引起的。在第二时间区间t2中,在第一开关过程开始时充电的米勒电容通过流向第一晶体管2的栅极的栅极电流被放电,这导致第一晶体管2的栅极源极电压在这个时间段内不再继续上升。只有当第二时间区间t2已到期时,栅极源极电压才在第三时间区间t3中继续上升,直到该栅极源极电压达到其最大值为止。栅极源极电压由控制电子部件4提供。

[0037] 在图4中,在第一开关过程中关于时间变化过程示出第一晶体管2的漏极源极电压V_{DS}的电压变化过程11。在第一时间区间t1中,漏极源极电压保持在一个高的电压水平。尽管第二晶体管3处在关断状态中,但是通过晶体管2、3的电容仍然保持还处在系统中的电荷,这导致在第一时间区间t1中在图4中示出的在第一晶体管2上的最大漏极源极电压V_{DS}。为了使这个状态最初得到保持,有利的是,第一开关过程是如下开关过程:在该开关过程之前,在逆变器1已被置于无负载状态后,通过第一或第二晶体管3没有实施过其他开关过程。因此,第一开关过程是在将逆变器已切换到无负载状态后的初始开关过程。

[0038] 越过第二时间区间t2,电流开始在第一晶体管2的漏极与源极之间流动,且第一晶体管的施加在漏极和源极上的电压下降。这一直持续直到第三时间区间t3结束为止,在该第三时间区间第一晶体管2的漏极源极电压已经达到最小值0伏。如果在第一晶体管2上的漏极源极电压下降到0伏,则这意味着,逆变器1的输出接通部5也位于0伏的电位。相应地,第二晶体管3的漏极源极电压V_{DS}上升,直到该漏极源极电压已经达到其最大水平为止。接通时间区间t_{ON}包括第一时间区间t1、第二时间区间t2和第三时间区间t3。通过控制电子部件4检测接通时间区间t_{ON}的持续时间,例如通过监测第一晶体管2的栅极电流。

[0039] 在图4中还在第一开关过程中关于时间变化过程示出第二晶体管3的漏极源极电压V_{DS}的电压变化过程12。

[0040] 在第一开关过程中,在第一晶体管的寄生电容之前在负载下的运行中被充电后,该第一晶体管的寄生电容被放电。

[0041] 在完成第一开关过程后,通过控制电子部件4触发第二开关过程。在此,第二晶体管3保持在关断状态中。第一晶体管2在第二开关过程中被关断。在图3中为此示出第一晶体管2的栅极源极电压V_{GS}的电压变化过程10。相应地,在图5中示出第一晶体管2的漏极源极电压V_{DS}的所属的电压变化过程11。从图3中可以看出,在第四时间区间t4运行到期后插入第二开关过程。因此,第二开关过程延伸越过第五时间区间t5,这也被称为关断时间区间t_{off}。由于第二晶体管3不仅在第一开关过程中而且在第二开关过程中是关断的,因此没有电荷可以流到第一晶体管2的寄生电容中来为这些寄生电容充电。因此,现在,栅极源极电压在第五时间区间t5中连续下降。如果观察图5示出的且第一晶体管2的漏极源极电压V_{DS}的属于第二开关过程的电压变化过程11,则可以看出,在第一晶体管2上的漏极源极电压V_{DS}保持在0伏。这是由于第二晶体管3继续处在关断状态并且因此没有电流可以流过第二晶体管3,该电流将使得能够建立在第一晶体管2上的漏极源极电压V_{DS}。换句话说,这意味着,由于第二晶体管3是关断的,因此第一晶体管2与任何电压源都断开。由于逆变器1的输出接通部5上的电压水平位于0伏的电位,因此第一晶体管2上的电压下降也保持在0伏,无论其开关状态如何。

[0042] 在图5中还在第二开关过程中关于时间变化过程示出第二晶体管3的漏极源极电

压V_{DS}的电压变化过程12。

[0043] 第二晶体管3在第一开关过程与第二开关过程之间的所有可能的时间范围中也保持处在关断状态。因此避免:第一晶体管的寄生电容在实施第二开关过程之前重新充电。在这里描述的状态下,第一晶体管的所有寄生电容在第二开关过程中已经放电并且也保持放电。在图5中示出的第二晶体管3的漏极源极电压V_{DS}的电压变化过程示出,该漏极源极电压在第二开关过程期间保持在其最大值上,该最大值尤其是相应于供电电压V_{DD}。

[0044] 现在已经通过第一开关过程和第二开关过程实施了第一晶体管的两个开关过程,其中,第一晶体管2的米勒电容在所述开关过程之一(在此是第一开关过程)中已充电和已放电,并且第一晶体管2的米勒电容在第二开关过程中已放电。这意味着,存储在第一晶体管2的米勒电容中的米勒电荷Q_{GD}在第二开关过程中对开关时间、即第二开关过程的持续时间没有影响。因此,可以由在第一开关过程的持续时间(即接通时间区间t_{ON})与第二开关过程的持续时间(即关断时间区间t_{off})之间的时间差推断出米勒电荷Q_{GD}。为此,由控制电子部件4检测如下的时间差:该时间差描述了第一开关过程的持续时间与第二开关过程的持续时间之间的差异。这是由接通时间区间t_{ON}与关断时间区间t_{off}之间的差得出的。

[0045] 通过控制电子部件4还检测第一晶体管2的栅极电流I_G,当第一开关过程被触发时,以该栅极电流加载第一晶体管2的栅极接通部,并且该栅极电流也用于对第一晶体管2的米勒电容进行充电。第一晶体管2的米勒电容Q_{GD}的电荷是借助第一晶体管2的这个栅极电流I_G和时间差相乘来求取的。

[0046] 米勒电容的计算由以下数学关系得出:

[0047] $$Q_{GS1} = I_G * t_1 \quad (1)$$

[0048] $$Q_{GD} = I_G * t_2 \quad (2)$$

[0049] $$Q_{GS2} = I_G * t_3 \quad (3)$$

[0050] 电荷Q_{GS1}是在第一时间区间中通过栅极电流I_G流到第一晶体管2的电容中的电荷。电荷Q_{GS2}是在第三时间区间t_3中通过栅极电流I_G流到第一晶体管2的电容中的电荷。电荷Q_{GS}是米勒电荷并且同时也是在第二时间区间t_2中通过栅极电流I_G流到第一晶体管2的电容中的电荷。

[0051] $$I_G * t_{on} = Q_{Gon} \quad (4)$$

[0052] $$I_G * t_{off} = Q_{GOFF} \quad (5)$$

[0053] 第一开关过程所需的电荷Q_{Gon}由越过接通时间区间t_{ON}通过栅极电流I_G流到第一晶体管2的电容中的电流得出。第二开关过程所需的电荷Q_{GOFF}由越过关断时间区间t_{off}通过栅极电流I_G流到第一晶体管2的电容中的电流得出。

[0054] $$I_G * t_{on} - I_G * t_{off} = Q_{Gon} - Q_{GOFF} \quad (6)$$

[0055] $$I_G * (t_{on} - t_{off}) = Q_{GD} \quad (7)$$

[0056] $$t_{on} - t_{off} = Q_{GD} / I_G \quad (8)$$

[0057] 通过对方程(1)至(5)的相应变形(umformulieren)得出:如果栅极电流I_G也是已知的,则可以由在接通时间区间t_{ON}与关断时间区间t_{off}之间的差求取米勒电容的电荷Q_{GD}。

[0058] 可选地,第二开关过程是如下开关过程:在该开关过程中,第一晶体管2重新接通。这在图7中示出。为了可以重新接通第一晶体管2,必要的是,之前将该第一晶体管关断。这优选在中间开关过程中进行。第二晶体管3在中间开关过程期间也保持在关断状态中。在这

种情况下，在第一开关过程中也进行第一晶体管的寄生电容的放电，并且这些寄生电容在第二开关过程中也保持放电。

[0059] 如此，例如在第一晶体管2的栅极上施加一个PWM信号，在图7中在上方示出，由此开启和关断第一晶体管2。从图7中示出的第一晶体管2的漏极源极电压V_{DS}的电压变化过程可以看出，第一晶体管2的漏极源极电压V_{DS}只在第一开关过程中上升，但是在跟随的第二开关过程中没有上升。这导致，在图7中在下方示出，与第二开关过程相比，第一晶体管2的栅极源极电压V_{GS}在第一开关过程中的上升被延迟。

[0060] 在第一晶体管2上的栅极源极电压上升时省去第二时间区间t_2。更准确地说，由第一时间区间t_1加上第三时间区间t_3得出第二开关过程的接通时间。

[0061] 在第一开关过程中，因此由第一至第三时间区间之和$t_1+t_2+t_3$得出接通时间区间t_{ON}。在第二开关过程中，由第一和第三时间区间t_1+t_3之和得出接通时间区间t_{ON}，因为第二时间区间t_2由于已经放电的米勒电容被省去。

[0062] 在这种情况下，米勒电荷可以由栅极电流I_G和时间差(这里是t_2)相乘来计算。这是通过将这些值相乘来进行的，并且因此除了之前描述的公式(6)至(8)之外还有：

[0063] $$Q_{GD} = t_2 \times I_G \qquad (9)$$

[0064] 在此，第二时间区间t_2相应于接通时间区间t_{ON}与关断时间区间t_{off}之间的差。

[0065] 例如，借助在图6中示出的电路来测量输送给第一晶体管2的栅极的电流I_G。如此，通过开关电流源20提供栅极电流I_G，并且该栅极电流流向第一晶体管2的栅极接通部。经由分压器21，相应于栅极电流I_G的电压被截取并由模数转换器22转换为数字值。该数字值可以用于计算特征运行参数，这里是米勒电容或米勒电荷。

[0066] 在之前描述的实施方式中，第一晶体管2是低边晶体管。然而，需要指出的是，通过同样的方法也可以检测第二晶体管3、即高边晶体管的特征运行参数。由于控制电子部件和逆变器1的对称构造，这可以以相应的方式实现。

[0067] 需要指出的是，也可以检测在数学背景中所描述的值，例如接通电容或关断电容C_{on}、C_{off}和/或逆变器1的所属的电荷和电容特性。

[0068] 除上述描述外，还明确参考了图1至图7的公开内容。

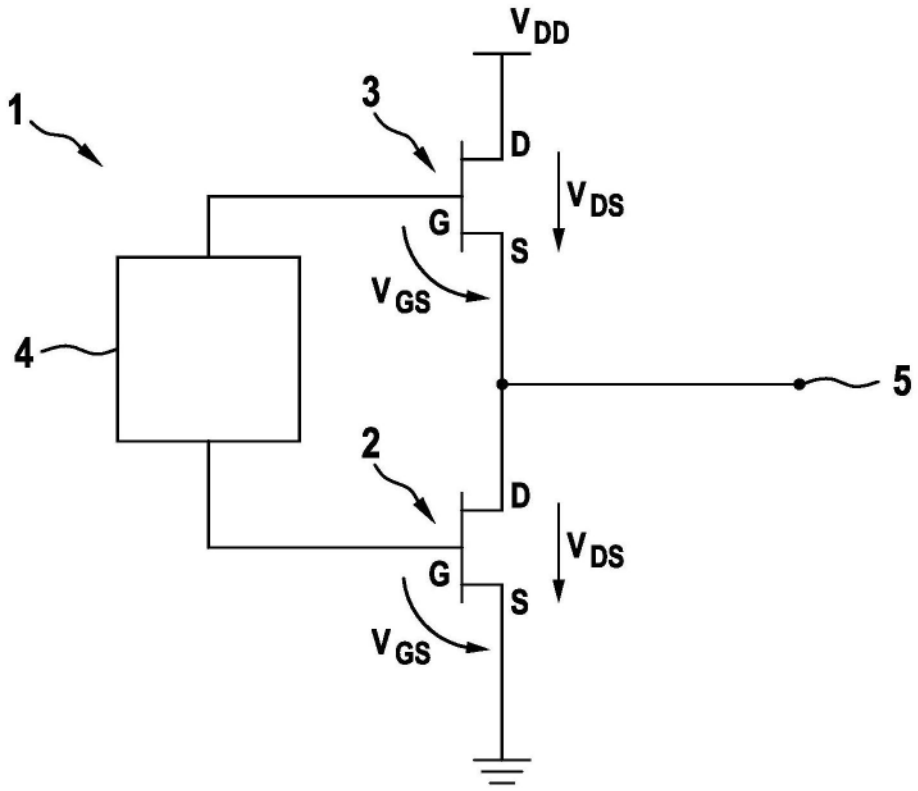


图1

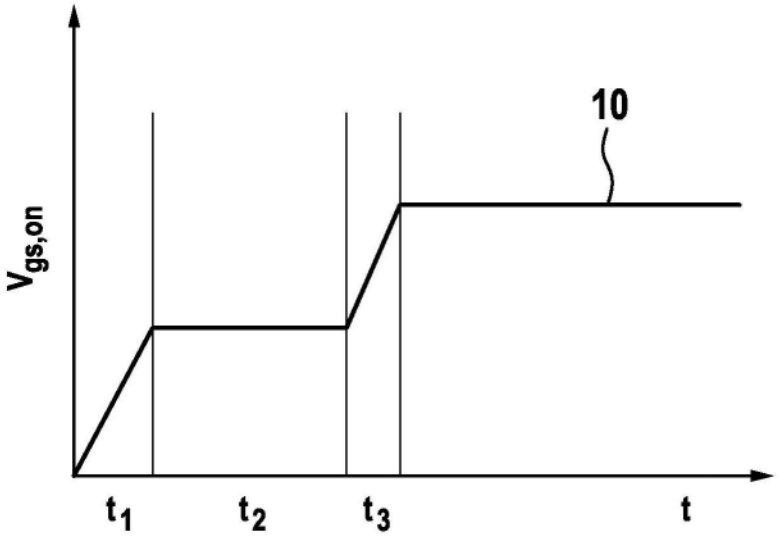


图2

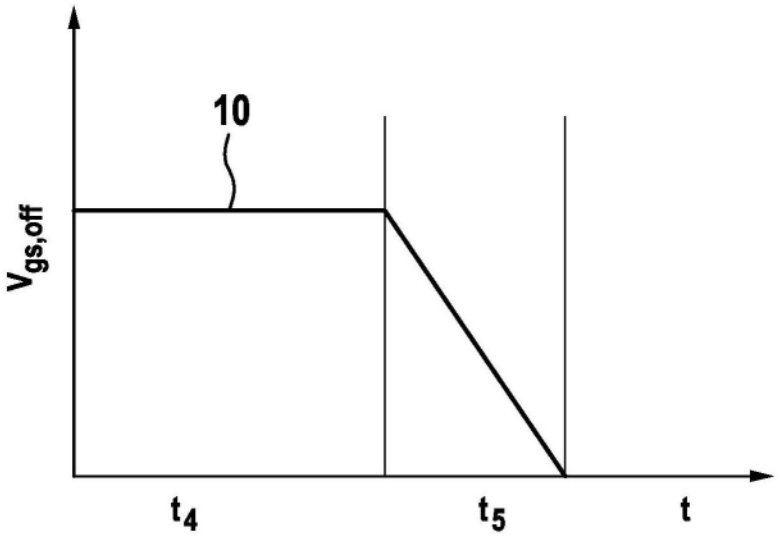


图3

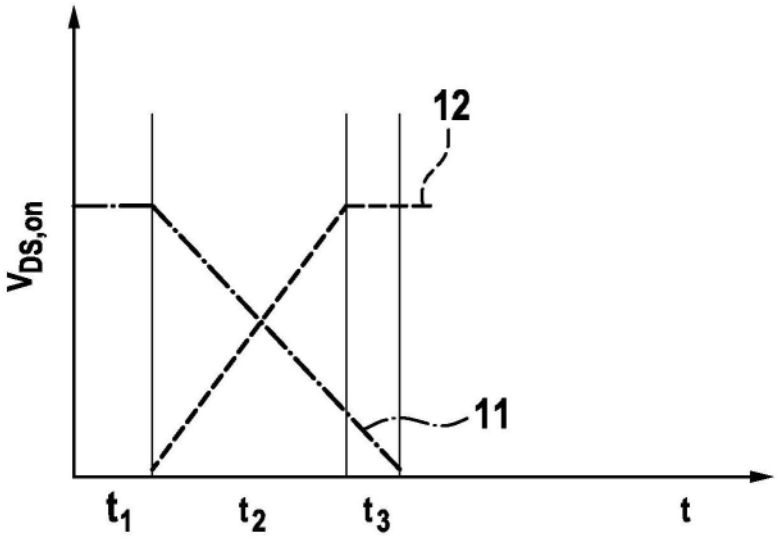


图4

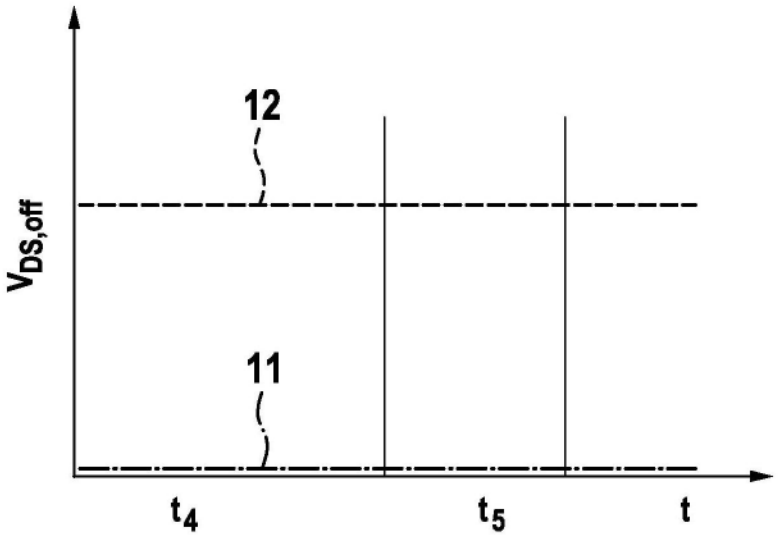


图5

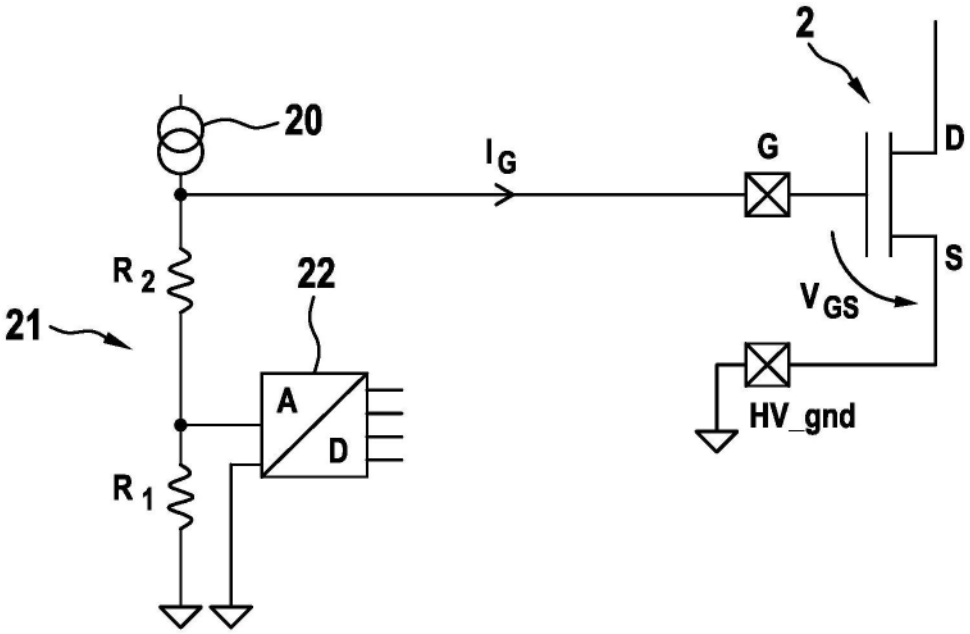


图6

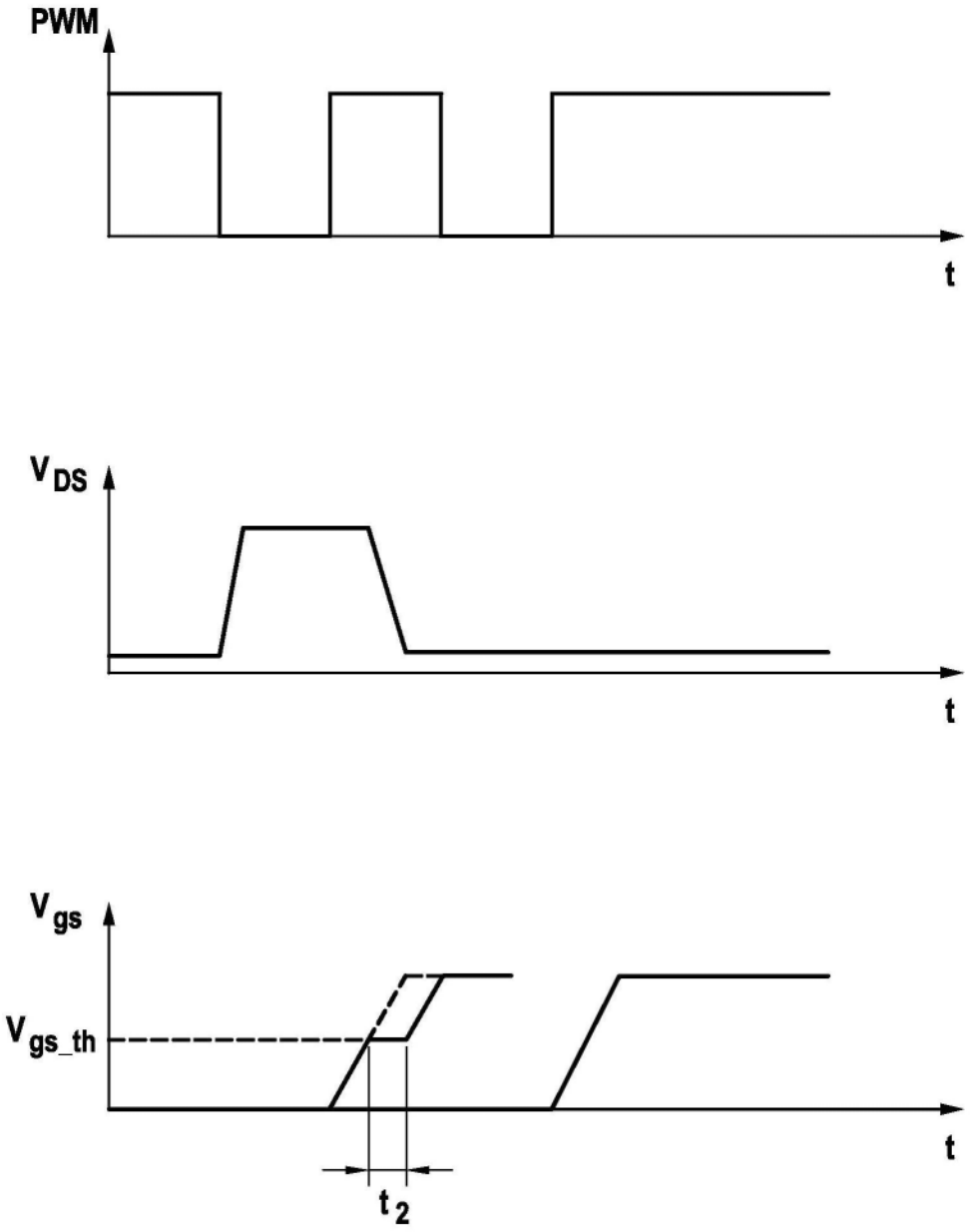


图7