



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102349124 B

(45) 授权公告日 2015. 01. 07

(21) 申请号 201080011647. 4
 (22) 申请日 2010. 02. 02
 (30) 优先权数据
 202009004198. 0 2009. 03. 25 DE
 (85) PCT国际申请进入国家阶段日
 2011. 09. 09
 (86) PCT国际申请的申请数据
 PCT/EP2010/000607 2010. 02. 02
 (87) PCT国际申请的公布数据
 W02010/108565 DE 2010. 09. 30
 (73) 专利权人 埃伦贝格尔及珀恩斯根有限公司
 地址 德国阿尔特多夫
 (72) 发明人 米夏埃尔·瑙曼
 托马斯·齐策尔斯贝格尔
 弗兰克·格迪南
 (74) 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限
 责任公司 11219
 代理人 车文 樊卫民

(51) Int. Cl.
H01H 9/54 (2006. 01)
H01H 33/59 (2006. 01)
 (56) 对比文件
 CN 1452194 A, 2003. 10. 29, 全文.
 DE 102005040432 A1, 2007. 03. 01, 全文.
 DE 4317965 A1, 1994. 12. 01, 全文.
 EP 1881511 A1, 2008. 01. 23, 全文.
 WO 02/071429 A1, 2002. 09. 12, 全文.
 审查员 黄文

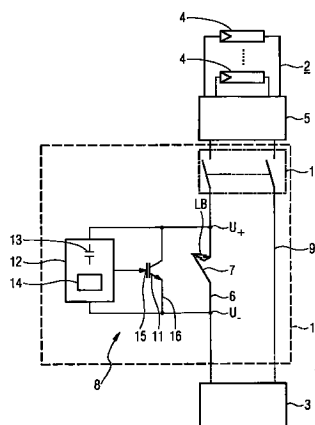
权利要求书1页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

用于电切断直流电的断路器

(57) 摘要

本发明涉及一种断路设备 (1), 用于切断直流电源 (2) 与电气装置 (3) 之间, 尤其是光伏发电器与逆变器之间的直流电, 所述断路设备具有引导电流的机械开关触点 (7a、7b) 和与所述开关触点 (7a、7b) 并联的半导体电子器件 (8)。所述半导体电子器件 (8) 在开关触点 (7a、7b) 闭合时是阻断电流的, 其中, 所述半导体电子器件 (8) 的控制输入端 (15) 以如下方式与所述开关触点 (7a、7b) 互连, 即, 在开关触点 (7a、7b) 打开时, 由于电弧 (LB) 而在所述开关触点 (7a、7b) 上产生的电弧电压 (U_{LB}) 将所述半导体电子器件 (8) 切换为导电的。



1. 断路设备 (1), 用于切断直流电源 (2) 与电气装置 (3) 之间的直流电, 所述断路设备具有引导电流的机械的开关触点 (7) 和与所述开关触点并联的半导体电子器件 (8), 所述半导体电子器件 (8) 在开关触点 (7) 闭合时是阻断电流的, 其中, 在半导体电子器件 (8) 切换为导电时, 电弧电流 (LB) 从所述开关触点 (7) 换流到所述半导体电子器件 (8) 上,

其特征在于,

- 所述半导体电子器件 (8) 具有第一半导体开关 (11a) 和与所述第一半导体开关串联的第二半导体开关 (11b),

- 所述半导体电子器件 (8) 的控制输入端 (15) 以如下方式与所述开关触点 (7) 互连, 即, 在开关触点 (7) 打开时, 由于电弧 (LB) 而在所述开关触点 (7) 上产生的电弧电压 (U_{LB}) 将所述半导体电子器件 (8) 切换为导电的, 其中, 所述半导体电子器件 (8) 具有蓄能器 (13), 所述蓄能器由于所述电弧 (LB) 而在电弧持续时间 (t_{LB}) 之内充电, 以及

- 在所述蓄能器 (13) 的充电时间 (t_{LB}) 结束之后, 为无电弧地断开所述半导体电子器件 (8) 启动定时器 (14),

其中, 在所述第一半导体开关 (11a) 与所述第二半导体开关 (11b) 之间截取所述电弧电压 (U_{LB}), 用于给所述蓄能器 (13) 充电, 所述蓄能器存储至少一部分电弧能量, 于是将所述至少一部分电弧能量在确定的工作持续时间上提供给电子器件。

2. 根据权利要求 1 所述的断路设备 (1),

其特征在于,

在所述蓄能器 (13) 的充电时间 (t_{LB}) 结束之后, 由于所述电弧 (LB) 而流动的开关电流 (I) 完全换流到所述半导体电子器件 (8) 上。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的断路设备 (1),

其特征在于,

所述电弧持续时间 (t_{LB}) 由所述蓄能器 (13) 的充电时间或者说充电容量来确定。

4. 根据权利要求 1 或 2 所述的断路设备 (1),

其特征在于,

所述半导体电子器件 (8) 具有 IGBT 和与所述 IGBT 串联的 MOSFET。

5. 根据权利要求 1 或 2 所述的断路设备 (1),

其特征在于,

所述第一半导体开关 (11a) 具有控制输入端, 所述控制输入端通过欧姆电阻 (R) 引导到所述直流电源 (2) 在开关触点 (7) 打开时的正电位上。

6. 根据权利要求 1 或 2 所述的断路设备 (1),

其特征在于

与由所述机械的开关触点 (7) 和所述半导体电子器件 (8) 组成的并联电路串联的、用于电切断直流电的机械断路元件 (10)。

7. 根据权利要求 1 所述的断路设备 (1),

其特征在于,

所述断路设备 (1) 用于切断光伏发电器与逆变器之间的直流电。

用于电切断直流电的断路器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于切断直流电源与电气装置之间的直流电的断路设备,所述断路设备具有引导电流的机械开关触点和与所述开关触点并联的半导体电子器件。这种断路设备例如由 DE102005040432A1 公知。

[0002] 在这里,把“直流电源”尤其理解为光伏发电器(太阳能设施),而把“电气装置”尤其理解为逆变器。

背景技术

[0003] 由 DE202008010312U1 公知一种带有所谓的光伏发电器的光伏设施或者太阳能设施,所述光伏发电器在其那方面由以分组的方式组合成子发电器的太阳能模块组成,这些太阳能模块在其那方面串联或者存在于并联的支线(Strang)中。子发电机经由两个端子输出其直流功率,而整个光伏发电器的直流功率经由一个逆变器馈入交流电网。为了在此使子发电机与中央逆变器之间的线缆铺设开支和功率损耗保持得很低,将所谓的发电机接线盒布置在子发电机附近。以这种方式累积的直流电功率通常经由共同的线缆引导至中央逆变器。

[0004] 因为光伏设施视系统而定地一方面持久地供应在 180V (DC) 与 1500V (DC) 之间范围内的工作电压和工作电流,并且另一方面,例如出于安装、装配或者维护目的以及尤其还出于普遍的人员保护的目的,希望将电气部件或装置与作为直流电源起作用的光伏设施可靠分离,所以相应的断路设备必须能够在负载的情况下,也就是说,在没有事先断开直流电源的情况下,实施切断。

[0005] 为了进行负载分离,能够以如下方式具有优点地使用机械开关(开关触点),即,在完成了触点打开的情况下,将电气装置(逆变器)从直流电源(光伏发电器)上电分离。但是,缺点是,这种机械开关触点由于在触点打开时形成的电弧而非常快速地报废,或者却需要附加的开支以便围住和冷却电弧,这通常通过相应的带有灭弧室的机械开关来实现。

[0006] 如果与此相对地,为了负载分离而使用大功率的半导体开关,那么正常工作中在半导体开关上也会出现不可避免的功率损耗。此外,利用这种功率半导体不能保证电分离,并因此不能保证可靠的人员保护。

[0007] 由 DE10225259B3 公知一种构成为负载分离器(Lasttrenner)的电气插拔连接器,根据混合式开关的类型,该插拔连接器具有在逆变器的壳体例内的例如晶闸管形式的半导体开关元件以及主触点和辅触点,这些主触点和辅触点与光伏模块相连。在拔出过程中领先的主触点与尾随的并且与半导体开关元件串联的辅触点并联。在此,为了避免电弧或者说为了熄灭电弧而以如下方式操控半导体开关元件,即:将所述半导体开关元件周期性地接通和关断。

[0008] 为了切断直流电,由 DE10315982A2 自身公知一种混合式电磁直流电开关,其带有以电磁的方式操作的主触点和作为半导体开关的 IGBT (绝缘栅双极型晶体管)。

[0009] 但是,公知的混合式开关总是具有外部电源,用于操控半导体开关和驱动其中嵌

有所述半导体开关的半导体电子器件。

发明内容

[0010] 本发明的目的在于,指出一种用于切断直流电源(尤其是光伏发电器)与电气装置(尤其是逆变器)之间的直流电的特别合适的断路设备。

[0011] 根据本发明,该目的通过如下断路设备来解决,其中该断路设备用于切断直流电源与电气装置之间的直流电,所述断路设备具有引导电流的机械的开关触点和与所述开关触点并联的半导体电子器件,所述半导体电子器件在开关触点闭合时是阻断电流的,其中,在半导体电子器件切换为导电时,电弧电流从所述开关触点换流到所述半导体电子器件上,其中,

[0012] - 所述半导体电子器件具有第一半导体开关和与所述第一半导体开关串联的第二半导体开关,

[0013] - 所述半导体电子器件的控制输入端以如下方式与所述开关触点互连,即在开关触点打开时,由于电弧而在所述开关触点上产生的电弧电压将所述半导体电子器件切换为导电的,其中,所述半导体电子器件具有蓄能器,所述蓄能器由于所述电弧而在电弧持续时间之内充电,以及

[0014] - 在所述蓄能器的充电时间结束之后,为无电弧地断开所述半导体电子器件启动定时器。为此,断路开关以合适的方式包括机械开关触点,所述机械开关触点针对短时电弧设计,也就是说,针对电弧持续时间小于 1ms,优选小于或者等于 500 μ s 而设计。半导体电子器件与所述机械开关触点(开关或者断路元件)并联,所述半导体电子器件包括第一半导体开关,优选是 IGBT,和第二半导体开关,优选是 MOSFET。

[0015] 根据本发明的断路开关的半导体电子器件完全不具有附加的电源,并且因此在机械开关闭合时是阻断电流的,也就是说是高阻抗的,并因此实际上是无电流且无电压的。因为在机械开关触点闭合时,没有电流流经半导体电子器件,并因此尤其在所述半导体开关或者每个半导体开关上没有电压降,所以在机械开关闭合时,半导体电路也不产生功率损耗。更确切地说,半导体电子器件从断路设备,也就是说从断路开关系统自身,获取其工作所需的能量。对此,运用和利用机械开关打开时形成的电弧的能量。在这种情况下,半导体电子器件或者半导体开关的控制输入端以如下方式与机械开关触点互连,即在开关打开时,由于电弧而在开关或者说在其开关触点上和与之并联的半导体电子器件上的电弧电压将该半导体电子器件切换为导电的,也就是说切换为低阻抗的并因此引导电流的。

[0016] 一旦半导体电子器件已经切换为微弱导电的,电弧电流就开始从机械开关换流到半导体电子器件上。在这种情况下,相应的电弧电压或者说电弧电流使优选呈电容器形式的蓄能器充电,所述蓄能器在产生控制电压的情况下为了以无电弧的方式断开半导体电子器件而有针对性地放电。预先给定的持续时间或时间常数并因此蓄能器或者说电容器的充电持续时间决定了电弧持续时间。

[0017] 优选地,在充电过程之后,启动定时器,在此期间,无电弧地将半导体电子器件控制成阻断电流的。在此,定时器的持续时间根据电弧或者说等离子体的安全熄灭和可靠冷却来调设。

[0018] 在此,本发明从如下考虑出发,即,如果能够以不带有自己的附加电源的方式来使

用半导体电子器件,那么可以将构成为纯二端网络(Zweipol)的混合式断路设备用于防触电的和可靠的直流电切断。这又可以如所见的通过如下方式来实现,即,将在打开与电子器件并联的机械开关时所生成的电弧能量用于运行所述电子器件。为此,所述电子器件可以具有蓄能器,所述蓄能器存储至少一部分电弧能量,于是将所述至少一部分电弧能量在确定的工作持续时间上提供给电子器件,所述确定的工作持续时间应该根据电弧的可靠熄灭来设定。

[0019] 根据优选的实施方式,以依据目的的方式设置为蓄能器的电容器结合欧姆电阻决定了蓄能器的充电持续时间或者充电时间常数。蓄能器的充电持续时间并因此电弧持续时间被调设到优选小于 1ms,以依据目的的方式被调设到小于或者等于 0.5ms。该持续时间一方面足够短,以便可靠地避免机械开关的开关触点的不希望出现的触点烧损。另一方面,该持续时间足够长,以便保证半导体电子器件的自供电持续随后的通过定时器确定的持续时间,在所述持续时间之内,实现对电子器件的从低阻抗的换流状态到高阻态的断开状态(初始状态)的操控。在定时器溢出之后保证:已熄灭的电弧即使在电子器件切换为高阻抗时也不会再次出现。因此,已实现可靠的分离和直流电切断。

[0020] 作为用于可靠地电切断和分离的、附加的保险元件,以合适的方式设置有另外的机械断路开关,所述另外的机械断路开关与由机械开关和半导体电子器件组成的并联电路串联。

[0021] 在特别优选的实施方式中,半导体电子器件除了优选实施为 IGBT 的功率或者半导体开关之外还包括另外的功率或半导体开关,所述另外的功率或半导体开关优选实施为 MOSFET (金属氧化物半导体场效应晶体管)。能以近似无功率的方式加以操控的并且在高阻断电压的情况下显示出良好的传递特性的 IGBT 在此以合适的方式根据串叠布置(Kaskodenanordnung, cascode arrangement)的类型与所述另外的半导体开关(MOSFET)串联。由此,半导体开关形成与由机械开关形成的主电流路径并联的换流路径,电弧电流借助机械开关的打开并且由于对所述半导体开关或者每个半导体开关的调通(Durchsteuerung)而逐渐换流到所述换流路径上。在换流期间在混合式断路开关上并因此在此在半导体电子器件上下降的电弧电压在约 15V 至 30V 之间。

[0022] 首先以如下方式调通第一半导体开关,即,能够在两个半导体开关之间(即大致在串叠中间抽头上)截取对给蓄能器充电来说足够的、大小为例如 12V (DC) 的电压。

[0023] 该电压被用于给蓄能器充电,并且该蓄能器所存储的能量又被用于操控半导体电子器件内部的半导体开关,以便重新完全地断开这两个换通的半导体开关,也就是说,控制成阻断电流的。随后,主路径是电打开的,而与之并联的换流路径呈高阻抗,结果是:由直流电源(持久地)产生的很高的直流电压以例如大于 1000V (DC) 出现在混合式断路开关上。因此,通过定时器来保证:不仅电弧熄灭,而且在此出现的等离子体冷却。

[0024] 通过打开与该自给自足的(autark)混合式开关串联的机械断路开关实现完全电的直流电切断。

[0025] 利用本发明实现的优点尤其在于,通过使用自给自足的混合式断路设备(其半导体电子器件从打开机械开关时形成的电弧中提取用于自身电压供应的能量),不需要外部电源或者附加的辅助电源来给电子器件供电。半导体电子器件优选构成为二端网络并且在机械开关闭合时是高阻抗的,从而在正常的负载运行中,在根据本发明的混合式断路开关

上实际未形成功率损耗。

[0026] 优选地,根据本发明的用于切断直流电的断路设备在直流电压范围内以合适的方式甚至设置成 1500V(DC)。因此,在优选地使用附加的机械断路开关的情况下,该自给自足的混合式断路设备特别适合于可靠地并且防触电地不仅在光伏设施与配属于该光伏设施的逆变器之间而且结合例如燃料电池设施或者蓄电池(电池)电切断直流电。

附图说明

[0027] 下面结合附图对本发明的实施例进行详细阐述。其中:

[0028] 图 1 以方框图示出根据本发明的断路设备,所述断路设备具有在光伏发电器与逆变器之间的自给自足的混合式断路开关;

[0029] 图 2 以比较细化的电路图示出所述断路设备,所述断路设备具有两个成串叠布置的半导体开关以及作为蓄能器的电容器;以及

[0030] 图 3 以电流/电压时间图示出在时间上在电弧熄灭之前、电弧熄灭期间和电弧熄灭之后,所产生的开关电流和开关电压分布。

[0031] 彼此相应的部分在两个附图中设有相同的附图标记。

具体实施方式

[0032] 图 1 示意性地示出断路设备 1,在该实施例中,所述断路设备接在光伏发电器 2 与逆变器 3 之间。光伏发电器 2 包括若干数量的太阳能模块 4,所述太阳能模块彼此并行而置地被引导到共同的发电机接线盒 5 上,所述发电机接线盒近似用作能量收集点。

[0033] 在代表着正极的主电流路径 6 中,断路设备 1 包括下面也称为机械开关的开关触点 7 以及与之并联的半导体电子器件 8。机械开关 7 和半导体电子器件 8 形成自给自足的混合式断路开关。在断路设备 1 (并因此整个设施)的代表着负极的导回线路 9 中,能够以未详细描述的方式和方法接有另一混合式断路开关 7、8。

[0034] 不仅在代表着正极的导出线路(主路径)6 中而且在导回线路 9 中,能够布置有另一机械断路元件 10 的彼此机械联接的开关触点,用于使光伏发电器 2 与逆变器 3 之间完全电分离或者说完全电切断直流电。

[0035] 半导体电子器件 8 基本上包括与机械开关 7 并联的半导体开关 11 以及带有蓄能器 13 和定时器 14 的操控电路 12。操控电路 12 优选经由电阻或者电阻队列 R (图 2)与主电流路径 6 相连。优选用作半导体开关 11 的 IGBT 的栅极形成半导体开关电路 8 的控制输入端 15。该控制输入端 15 经由操控电路 12 引导到主电流电路 6 上。

[0036] 图 2 示出自给自足的混合式断路开关的与机械开关 7 并联的电子器件 8 的相对详细的电路图。能够看出的是,第一半导体开关(IGBT)11a 成串叠布置地与 MOSFET 形式的第二半导体开关 11b 串联。因此,带有这两个半导体开关 11a、11b 的该串叠布置类似于图 1 地形成与机械开关 7 并因此与主电流路径 6 并联的换流路径 16。

[0037] 在图 1 中示出的断路开关布置以及在图 2 中示出的串叠布置中,第一半导体开关 11a 在直流电源 2 与混合式断路开关 7、8 之间被引导到主电流路径 6 上。在那里,电位 U_+ 总是大于对置的开关侧上的电位 U_- ,在该对置的开关侧上,第二半导体开关(MOSFET)11b 被引导到主电流路径 6 上。当机械开关 7 闭合时,正电位 U_+ 为 0V。

[0038] 第一半导体开关 11a(IGBT)与续流二极管 D2 接线。第一稳压二极管 D3 在阳极侧对着电位 U₋而在阴极侧与第一半导体开关(IGBT) 11a 的栅极(控制输入端 15)相连。另一稳压二极管 D4 在阴极侧又与第一半导体开关(IGBT)11a 的栅极(控制输入端 15)相连而在阳极侧与第一半导体开关(IGBT) 11a 的发射极相连。

[0039] 在阳极侧,二极管 D1 被引导到串叠布置的第一半导体开关 11a 与第二半导体开关 11b 之间的中心抽头或者串叠抽头 17 上,该二极管在阴极侧经由用作蓄能器 13 的电容 C 对着电位 U₋连接。也可以由多个电容 C 形成蓄能器 13。经由二极管 D1 与蓄能器 13 或者说电容 C 之间的在阳极侧的电压抽头 18,与欧姆电阻 R1 和 R2 接线的晶体管 T1 经由另外的电阻 R3 和 R4 与第二半导体开关(MOSFET)的又被引导到半导体电子器件 8 的控制输入端 15 上的栅极 15 相连。带有并联的电阻 R5 的另一稳压二极管 D5 在阴极侧与第二半导体开关(MOSFET) 11b 的该栅极相连,而在阳极侧与第二半导体开关(MOSFET) 11b 的发射极相连。

[0040] 在基极侧,晶体管 T1 经由晶体管 T2 被操控,该晶体管 T2 在其那方面在基极侧经由欧姆电阻 R6 与例如实施为单稳态触发器(Monoflopp)的定时器 14 相连。此外,在基极-发射极侧,晶体管 T2 还与另一电阻 R7 接线。

[0041] 图 3 以电流和电压时间图示出混合式断路器 7、8 的时间上在机械开关 7 在时间点 t_k 上的触点打开之前、在经由开关 7 或者其开关触点 7a、7b (图 2) 的电弧 LB 持续时间 t_{LB} 期间,以及在定时器 14 的确定的、预先给定的或者调设的持续时间 t_{ZG} 期间的开关电压 U 和开关电流 I 的分布。在机械开关 7 闭合时,主电流路径 6 是低阻抗的,而并联的、混合式断路器 7、8 的换流路径 16 是高阻抗的并因此是阻断电流的。

[0042] 在图 3 的左半图中示出的电流分布代表着仅流经机械开关 7 的电流 I,直至开关触点 7a 和 7b 的触点打开的时间点 t_k 。机械开关 7 的打开在触点打开的时间点 t_k 之前的、未详细列出的时间点上就已经进行。在图 3 的左下半图中图例说明的开关电压 U 时间上在触点打开时间点 t_k 之前实际为 0V,并且随着在时间点 t_k 上机械开关 7 的开关触点 7a、7b 的打开,阶跃式地升高到对电弧 LB 来说特征性的值上,所述值具有的典型电弧电压 U_{LB} 为例如 20V 至 30V。因此,当机械开关 7 打开时,正电位 U₊ 走向该电弧电压 $U_{LB} \approx 30V$ 。

[0043] 在触点打开时间点 t_k 之后的持续时间(电弧时间间隙) t_{LB} 期间,基本上相应于电弧电流的开关电流 I 从主电流路径 6 到换流路径 16 上的换流就已经开始。

[0044] 实际上,在持续时间 t_{LB} 期间,电弧电流 I 在主电流路径 6 (即经由机械开关 7) 与换流路径 16 (即半导体电子器件 8)之间分配。在该电弧时间间隙 t_{LB} 期间,给蓄能器 13 充电。在此,以如下方式调设所述持续时间 t_{LB} ,即,一方面提供用于可靠地操控半导体电子器件 8 的足够的能量,尤其用于在代表着电弧持续时间的持续时间 t_{LB} 之后的时间段 t_{ZG} 期间断开该半导体电子器件。另一方面,所述持续时间 t_{LB} 足够短,从而避免开关 7 或者说开关触点 7a、7b 的不希望出现的触点烧损或者磨损。

[0045] 随着电弧 LB 的开始并因此在出现电弧电压 U_{LB} 时,第一半导体开关(IGBT) 11a 经由电阻 R (图 2) 至少以如下程度调通,即,向电容 C 并因此向蓄能器 13 提供足够的充电电压和足够的电弧电流或者说充电电流。对此,优选地,借助将第一半导体开关(IGBT)11a 与电阻 R 和稳压二极管 D3 的相应地接线来形成电子器件 8 的控制环,利用该控制环,将串叠抽头 17 上的电压调设至例如 $U_{Ab}=12V$ (DC)。在这种情况下,混合式断路器 7、8 的极小部分的电弧电流并因此极小部分的开关电流 I 流过正电位 U₊ 附近的第一半导体开关(IGBT)

11a。

[0046] 抽头电压 U_{Ab} 用于给电子器件 8 的基本上由晶体管 T1 和 T2 以及定时器 14 和蓄能器 13 形成的操控电路 12 供电。在阳极侧与串叠抽头 17 相连并且在阴极侧与电容 C 相连的二极管 D1 阻止了：充电电流从电容 C 并且经由换流路径 16 在电位 U_- 方向上回流。

[0047] 如果在电容 C 中并因此在蓄能器 13 中含有足够多的能量，并且因此在电压抽头 18 上存在足够高的控制或者开关电压 U_{Sp} ，那么晶体管 T1 并因此晶体管 T2 调通，从而使两个半导体开关 11a、11b 也完全调通。基于现在调通的半导体开关 11a、11b 的相对于主电流路径 6 由打开的开关 7 形成的断路 (Trennstrecke) 的非常高的电阻来说明显更低的电阻，电弧电流或者说开关电流 I 实际上仅流经换流路径 16。因此，当开关电流换流到电子器件 8 上时，正电位 U_+ 重新走向 0V。因此，机械开关 7 的触点 7a、7b 之间的电弧 LB 熄灭。

[0048] 充电容量并因此在电容 C 中含有的存储器能量以如下方式设定，即，半导体电子器件 8 在由定时器 14 预先给定的持续时间 t_{ZG} 上承载开关电流 I。该持续时间 t_{ZG} 可以被调设到例如 $t_{ZG}=3ms$ 。该持续时间 t_{ZG} 的设定并因此定时器 14 的设置基本上取决于对电弧 LB 完全熄灭来说因应用而异的或者典型的持续时间以及取决于在此形成的等离子体的充分冷却。在此，基本准绳是：在完成对电子器件 8 的断开之后，利用随之又是高阻抗的换流路径 16 和因此阻断电流的半导体电子器件 8，在一如既往地打开的机械开关 7 上或者说经由该机械开关的开关触点 7a、7b 不能重新形成电弧 LB。

[0049] 在由定时器 14 设置的持续时间 t_{ZG} 结束之后，开关电流 I 下降到实际上为零 ($I=0A$)，而同时开关电压上升到由直流电源 2 提供的、例如为 1000V (DC) 至 1500V (DC) 的工作电压 U_B 。因此，当换流路径 16 由于半导体开关 11 的阻断而变成是高阻抗的并因此电子器件 8 重新变得阻断电流时，正电位 U_+ 走向该工作电压 $U_B \approx 1000V$ 。

[0050] 因为在该时间点上，主电流路径 6 在同时换流路径 16 为高阻抗的情况下是电打开的，所以在直流电源 2 与电子装置 3 之间已经产生了无电弧的直流电切断。因此，直流电源 2 与例如作为电气装置列举的逆变器 3 之间的连接已经被可靠地分离了。为了实现防触电的电切断，随后附加地还可以无负载并且无电弧地打开断路设备 1 的机械断路元件 10。

[0051] 附图标记列表

[0052]	1	断路设备
[0053]	2	直流电源
[0054]	3	逆变器
[0055]	4	太阳能模块
[0056]	5	发电机接线盒
[0057]	6	主电流路径
[0058]	7	开关触点 / 开关
[0059]	7a、7b	触点
[0060]	8	半导体电子器件
[0061]	9	导回路线
[0062]	10	断路元件
[0063]	11a	第一半导体开关
[0064]	11b	第二半导体开关

[0065]	12	操控电路
[0066]	13	蓄能器
[0067]	14	定时器
[0068]	15	控制输入端
[0069]	16	换流路径
[0070]	17	串叠 / 中间抽头
[0071]	18	电压抽头
[0072]	I	开关电流
[0073]	t_K	触点打开时间点
[0074]	t_{LB}	电弧持续时间
[0075]	t_{ZG}	定时器的持续时间
[0076]	U	开关电压
[0077]	U_B	工作电压
[0078]	U_{LB}	电弧电压

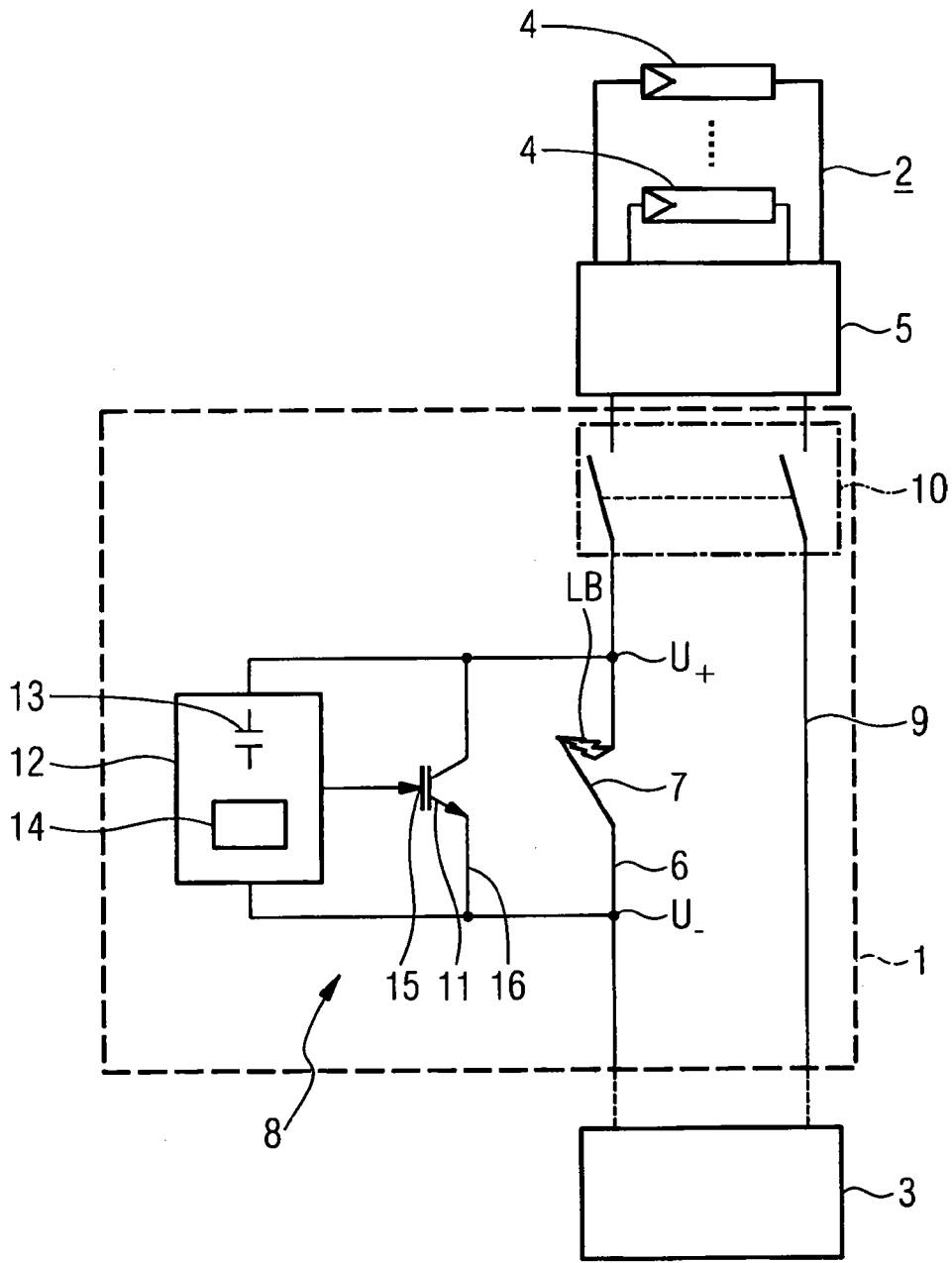


图 1

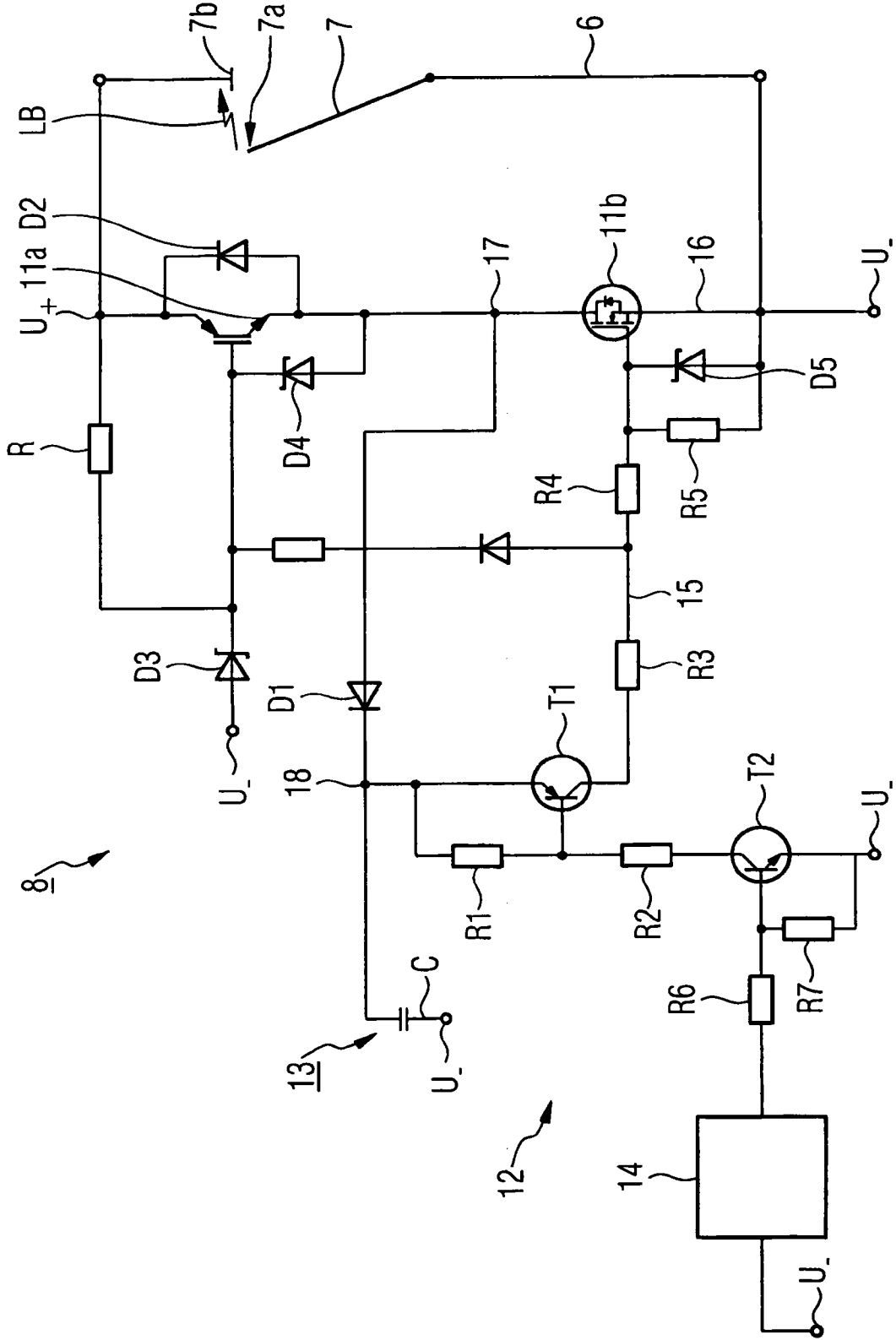


图 2

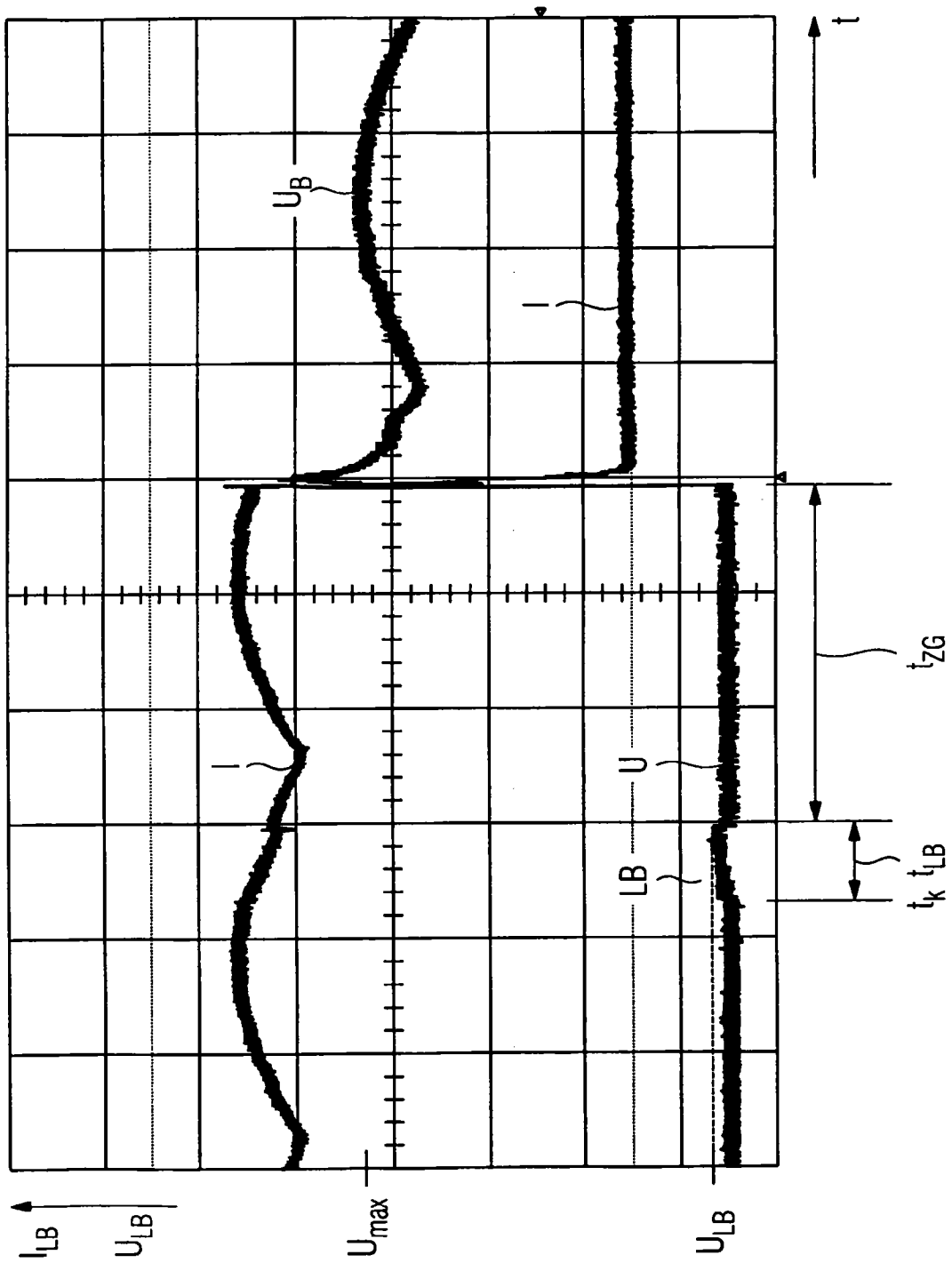


图 3