



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101227185 B

(45) 授权公告日 2012.06.20

(21) 申请号 200710196923.9

(22) 申请日 2007.12.06

(30) 优先权数据

11/567296 2006.12.06 US

(73) 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 J·I·怀特 K·苏布拉马尼安

W·J·普雷默拉尼 J·N·帕克

E·K·霍韦尔

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 张雪梅 陈景峻

(51) Int. Cl.

H03K 17/0814(2006.01)

H02H 3/08(2006.01)

H02H 7/22(2006.01)

B81B 3/00(2006.01)

(56) 对比文件

US 5374792 A, 1994.12.20,

WO 02/27886 A2, 2002.04.04,

US 4723187 A, 1988.02.02,

CN 1306291 A, 2001.08.01,

审查员 赵昕

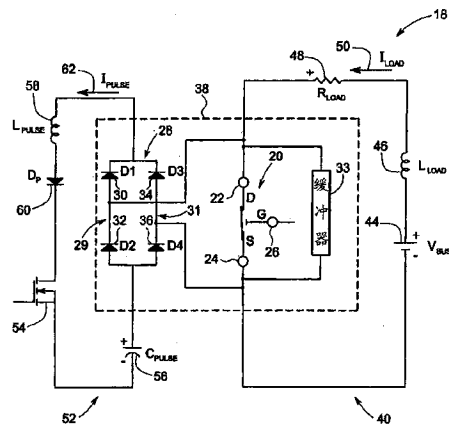
权利要求书 1 页 说明书 14 页 附图 10 页

(54) 发明名称

与固态开关电路并联的机电开关电路

(57) 摘要

本发明提供了一种开关系统。该开关系统包括诸如微机电系统开关电路 (202) 的机电开关电路。该系统还包括与该机电开关电路耦合形成并联电路的固态开关电路 (204), 以及耦合至该机电开关电路和该固态开关电路的控制器 (208)。该控制器可配置成响应于适于所述开关电路中相应开关电路的操作能力的负载电流状况而执行在该机电开关电路和该固态开关电路之间的负载电流的选择性切换。



1. 一种开关系统,包括:

微机电系统 (202) 开关电路;

与所述微机电系统开关电路成并联电路耦合的固态开关电路 (204);

与所述微机电系统开关电路和所述固态开关电路成并联电路连接的第一过电流保护电路 (206₁),其中所述第一过电流保护电路配置成抑制所述微机电系统开关电路的接触之间的电弧形成;

与所述微机电系统开关电路、所述固态开关电路和所述第一过电流保护电路通信的控制器 (208),所述控制器配置成执行负载电流的以下选择性切换:在正常负载电流状况下,朝所述微机电系统开关电路;以及,响应于适于所述开关电路中相应开关电路的操作能力的临时高负载电流状况,朝所述固态开关电路;以及

与所述微机电系统开关电路、所述固态开关电路和所述第一过电流保护电路连接成并联电路的第二过电流保护电路 (206₂),

其中所述第二过电流保护电路配置成能够防止连接到所述开关系统的负载电路中的故障电流,而无需在所述第一过电流保护电路中的第一脉冲电路刚与所述微机电系统开关电路的开关事件相关联地产生的脉冲信号之后,等待所述第一过电流保护电路的就绪。

2. 如权利要求 1 所述的开关系统,其中所述第一过电流保护电路包括平衡二极管桥 (28)。

3. 如权利要求 2 所述的开关系统,其中所述第一过电流保护电路还包括耦合至所述第一过电流保护电路的平衡二极管桥的第一脉冲电路 (52),所述脉冲电路包括适于形成脉冲信号以使脉冲电流流经所述平衡二极管桥的脉冲电容器 (56),所述脉冲信号与所述微机电系统开关电路的开关事件相关联地产生。

4. 如权利要求 1 所述的开关系统,其中所述第二过电流保护电路包括耦合至所述第一过电流保护电路的平衡二极管桥的第二脉冲电路,该脉冲电路包括适于形成脉冲信号以使脉冲电流流经所述平衡二极管桥的脉冲电容器,所述脉冲信号由所述第二脉冲电路响应于故障电流而产生。

5. 如权利要求 1 所述的开关系统,其中所述第二过电流保护电路包括平衡二极管桥。

6. 如权利要求 5 所述的开关系统,其中所述第二过电流保护电路还包括耦合至所述第二过电流保护电路的平衡二极管桥的第二脉冲电路,所述脉冲电路包括适于形成脉冲信号以使脉冲电流流经所述平衡二极管桥的脉冲电容器,所述脉冲信号由所述第二脉冲电路响应于连接到所述开关系统的负载电路中的故障电流产生。

7. 如权利要求 6 所述的开关系统,其中所述第一脉冲电路耦合至所述第二过电流保护电路的平衡二极管桥,所述脉冲电路包括适于形成脉冲信号以使脉冲电流流经所述平衡二极管桥的脉冲电容器,所述脉冲信号与所述微机电系统开关电路的开关事件相关联地产生。

8. 如权利要求 1 所述的开关系统,其中各个开关电路的操作能力选自包括电流处理容量、热容量、及其组合的组。

9. 如权利要求 1 所述的开关系统,其中所述控制器配置成响应于检测到的交变源电压或交变负载电流的过零点,来执行所述微机电系统开关电路的无电弧开关。

与固态开关电路并联的机电开关电路

技术领域

[0001] 本发明的实施例一般涉及用于将电流切换至可选择电流路径的开关系统,更具体而言涉及基于微机电系统的开关装置。

背景技术

[0002] 断路器是一种设计成保护电学设备免受由于电路故障引起的损伤的电学装置。传统上,最常规的断路器包括笨重的机电开关。不幸的是,这些常规断路器尺寸大,由此使得必须使用大的力来激励开关机构。另外,这些断路器的开关通常工作速度较低。此外,这些断路器缺点在于构建复杂,因此制作成本昂贵。另外,当常规断路器中开关机构的接触(contact)物理分离时,电弧(arc)通常形成于接触之间,该电弧继续传送电流直至电路停止。另外,与电弧相关的能量严重地损伤接触与/或对操作人员造成烧伤危险。

[0003] 作为慢速机电开关的备选,较快的固态开关已经应用于高速开关应用。可以理解,通过电压或偏置的受控施加,这些固态开关在导通状态和非导通状态之间切换。例如,通过反向偏置固态开关,该开关可转变成非导通状态。然而,由于固态开关在其切换到非导通状态时不在接触之间产生物理间隙,固态开关遭遇漏电流。此外,由于内部阻抗,固态开关在工作于导通状态时经历电压降。该电压降及漏电流导致在正常工作情况下产生过量的热,这对于开关性能和寿命是有害的。此外,至少部分地由于与固态开关相关联的固有漏电流,固态开关在断路器中的应用是不可能的。

[0004] 全文引用结合于此的2005年12月20日提交的美国专利申请 No. 11/314,336 (Attorney Docket No. 162711-1) 描述了一种基于微机电系统(MEMS)的开关装置,该开关装置包括适于抑制在微机电系统开关的接触之间形成电弧的电路和技术。

[0005] 该开关装置可以是必须吸收或耐受与马达或其他工业设备启动相关联的冲击电流的电流限制保护装置的一部分。这种冲击电流经常包含稳态负载电流值的多倍(例如六倍或以上),且可以持续长达10秒。处理这种电流的一种已知技术为并联组合多个MEMS开关(例如,处理稳态电流所需的开关数目的六倍)。随着MEMS开关阵列的成本和产率改善,这种技术在将来某时可能变得成本有效,但是目前使用六倍的MEMS开关数目将使成本增大为原来的六倍,且这些额外MEMS开关在仅约10秒操作时间起作用。因此,期望提供一种电流与/或技术,其可靠且成本有效地处理这种冲击电流,同时仍能使用MEMS开关用于稳态操作以及用于解决可能产生的故障状况。

发明内容

[0006] 一般而言,本发明一些方面提供了一种包括机电开关电路的开关系统。该系统可进一步包括与该机电开关电路成并联电路耦合的固态开关电路,以及耦合到该机电开关电路和该固态开关电路的控制器。该控制器可配置成响应于适于所述开关电路中相应开关电路的操作能力的负载电流状况,执行在该机电开关电路和该固态开关电路之间的负载电流的选择性切换。

[0007] 本发明的另一些方面提供了一种包括微机电系统开关电路的开关系统。该系统可进一步包括固态开关电路。第一过电流保护电路可以与该微机电系统开关电路和该固态开关电路成并联电路连接,其中该第一过电流保护电路可配置成抑制该微机电系统开关电路的接触之间的电弧形成。控制器可耦合到该微机电开关电路、该固态开关电路以及该第一过电流保护电路。该控制器可配置成响应于适于所述开关电路中相应开关电路的操作能力的负载电流状况,执行在该机电开关电路和该固态开关电路之间的负载电流的选择性切换。

附图说明

[0008] 当参考附图阅读下述详细描述时,本发明的这些和其他特征、方面及优点将更容易理解,且附图中相同的参考数字总是表示相同的部件,其中:

[0009] 图 1 为依据本技术一些方面的示例性 MEMS 基开关系统的方框图;

[0010] 图 2 为说明图 1 所示示例性 MEMS 基开关系统的示意性图示;

[0011] 图 3 至 5 为说明图 2 所示 MEMS 基开关系统的示例性操作的示意性流程图;

[0012] 图 6 为说明 MEMS 开关的串联-并联阵列的示意性图示;

[0013] 图 7 为说明分级 MEMS 开关的示意性图示;

[0014] 图 8 为描述具有图 1 所示 MEMS 基开关系统的系统的操作流程的流程图;

[0015] 图 9 为表示该开关系统的关断的实验结果的图解性表示;

[0016] 图 10 为说明依据本发明的示例性开关系统的方框图;

[0017] 图 11、12 和 13 分别说明图 10 的开关系统的一个示例性实施例的电路细节,其中图 11 说明诸如在负载起动事件期间通过相应固态开关电路的电流路径,图 12 说明诸如在稳态操作期间通过相应 MEMS 基开关电路的电流路径,以及图 13 说明诸如在故障状态期间通过过电流保护电路的电流路径;

[0018] 图 14 说明具有双过电流保护电路的开关系统的一个示例性实施例的示意图;

[0019] 图 15 说明图 10 的开关系统的一个示例性实施例的电路细节;以及

[0020] 图 16 说明一示例性实施例,其中固态开关电路包括连接成反向串联电路布置的一对开关。

具体实施方式

[0021] 依据本发明的一个或多个实施例,在本文中描述了基于微机电系统的无电弧开关系统和方法。在下述详细描述中,给出许多具体细节从而提供对本发明各种实施例的全面理解。然而,本领域技术人员将理解,本发明的实施例可以在没有这些具体细节的情况下实践,本发明不限于所描述的实施例,本发明可以通过各种备选实施例来实践。换言之,未详细地描述公知方法、过程和部件。

[0022] 此外,可以将各种操作描述成按照有助于理解本发明的实施例的方式执行的多个分立的步骤。然而,描述的顺序不应解读成意味着这些操作需要按照所给出的顺序来执行,也不应解读成这些操作甚至是依赖于顺序的。此外,短语“在一个实施例中”的反复使用不一定是指同一实施例,尽管可能是指同一实施例。最后,本申请中使用的术语“包含”、“包括”、“具有”等是同义的,除非另外说明。

[0023] 图 1 说明依据本发明的示例性无电弧微机电系统开关 (MEMS) 基开关系统 10 的方框图。目前, MEMS 通常是指一种微米尺度的结构, 其例如可以通过微制作技术在公共基板上集成诸如机械元件、机电元件、传感器、致动器和电子元件的多个功能迥异的元件。然而, 认为 MEMS 装置中目前可获得的许多技术和结构在仅仅几年内将通过基于纳米技术的装置 (例如尺寸小于 100 纳米的结构) 获得。因此, 即使本文通篇所描述的示例性实施例是指 MEMS 基开关装置, 但应理解, 本发明的创造性方面应广义上解读且不应限于微米尺寸的装置。

[0024] 如图 1 所示, 无电弧 MEMS 基开关系统 10 示为包括 MEMS 基开关电路 12 和过电流保护电路 14, 其中过电流保护电路 14 可操作地耦合到该 MEMS 基开关电路 12。在某些实施例中, MEMS 基开关电路 12 例如可整体与该过电流保护电路 14 集成在单个封装 16 内。在其他实施例中, MEMS 基开关电路 12 的仅某些部分或部件与该过电流保护电路 14 集成。

[0025] 在将参考图 2 至 5 更详细描述的目的考虑的的配置中, MEMS 基开关电路 12 可包括一个或多个 MEMS 基开关。此外, 过电流保护电路 14 可包括平衡的二极管桥和脉冲电路。此外, 过电流保护电路 14 可配置成有利于抑制该一个或多个 MEMS 开关的接触之间的电弧产生。注意, 该过电流保护电路 14 可配置成有利于抑制响应于交流 (AC) 或直流 (DC) 的电弧产生。

[0026] 现在转到图 2, 依据一个实施例说明图 1 所述的示例性无电弧 MEMS 基开关系统的示意性图示 18。结合图 1 所示, 该 MEMS 基开关电路 12 可包括一个或多个 MEMS 开关。在所示实施例中, 第一 MEMS 开关 20 描述成具有第一接触 22、第二接触 24 和第三接触 26。在一个实施例中, 第一接触 22 可配置成漏极, 第二接触 24 可配置成源极, 且第三接触 26 可配置成栅极。此外, 如图 2 所示, 电压缓冲电路 33 可与该 MEMS 开关 20 并联耦合, 且配置成限制快速接触分离过程中的电压过冲, 如下文所更详细解释。在某些实施例中, 缓冲电路 33 可包括与缓冲电阻器 (未示出) 串联耦合的缓冲电容器 (未示出)。该缓冲电容器有利于在 MEMS 开关 20 开路顺序期间瞬时电压共享的改善。此外, 该缓冲电阻器可抑制在 MEMS 开关 20 闭合操作期间由缓冲电容器产生的任何电流脉冲。在某些其他实施例中, 电压缓冲电路 33 可包括金属氧化物变阻器 (MOV) (未示出)。

[0027] 依据本发明另外方面, 负载电路 40 可与第一 MEMS 开关 20 串联耦合。负载电路 40 可包括电压源 V_{BUS} 44。此外, 负载电路 40 还可包括负载电感 $46L_{LOAD}$, 其中负载电感 L_{LOAD} 46 代表负载电路 40 见到的组合的负载电感和总线电感。负载电路 40 还可包括表示负载电路 40 见到的组合负载电阻的负载电阻 R_{LOAD} 48。参考数字 50 表示流过负载电路 40 和第一 MEMS 开关 20 的负载电路电流 I_{LOAD} 。

[0028] 此外, 如参考图 1 所示, 过电流保护电路 14 可包括平衡二极管桥。在所示实施例中, 平衡的二极管桥 28 描述成具有第一支路 29 和第二支路 31。如本文中所使用, 术语“平衡二极管桥”用于表示配置成使得跨过第一支路 29 和第二支路 31 的电压降基本上相等的二极管桥。平衡二极管桥 28 的第一支路 29 可包括耦合在一起以形成第一串联电路的第一二极管 D130 和第二二极管 D232。按照类似的方式, 该平衡二极管桥 28 的第二支路 31 可包括可操作地耦合在一起以形成第二串联电路的第三二极管 D334 和第四二极管 D436。

[0029] 在一个实施例中, 第一 MEMS 开关 20 可跨过平衡二极管桥 28 的中点并联耦合。该平衡二极管桥的中点可包括位于第一及第二二极管 30、32 之间的第一中点和位于第三及

第四二极管 34、36 之间的第二中点。此外,第一 MEMS 开关 20 和平衡二极管桥 28 可紧密封装以利于最小化由平衡二极管桥 28 且尤其是到 MEMS 开关 20 的连接引起的寄生电感。注意,依据本技术的示例性方面,第一 MEMS 开关 20 和平衡二极管桥 28 相对彼此这样布置,即,使得第一 MEMS 开关 20 和平衡二极管桥 28 之间的固有电感产生 di/dt 电压,该电压小于在 MEMS 开关 20 关断期间当传送负载电流到二极管桥 28 的转移时跨过该 MEMS 开关 20 的源极 22 和漏极 24 的电压的百分之几,下文中将更详细描述。在一个实施例中,该第一 MEMS 开关 20 可以与该平衡二极管桥 28 集成在单一封装 38 内或者可选地在同一管芯内,旨在最小化互联该 MEMS 开关 20 和二极管桥 28 的电感。

[0030] 另外,过电流保护电路 14 可包括与平衡二极管桥 28 可操作地相关联耦合的脉冲电路 52。该脉冲电路 52 可配置成检测开关条件并响应于开关条件来启动 MEMS 开关 20 的断开。本文中使用的术语“开关条件”是指触发改变 MEMS 开关 20 当前操作状态的条件。例如,该开关条件可导致 MEMS 开关 20 的第一闭合状态改变为第二断开状态或者 MEMS 开关 20 的第一断开状态改变为第二闭合状态。开关条件可响应于许多动作而产生,这些动作包括但不限于电路故障或开关 ON/OFF 请求。

[0031] 脉冲电路 52 可包括脉冲开关 54 以及串联耦合到脉冲开关 54 的脉冲电容器 C_{PULSE} 56。此外,该脉冲电路还可包括脉冲电感 L_{PULSE} 58 以及串联耦合到该脉冲开关 54 的第一二极管 D_p 60。脉冲电感 L_{PULSE} 58、二极管 D_p 60、脉冲开关 54 和脉冲电容器 C_{PULSE} 56 可串联耦合以形成脉冲电路 52 的第一支路,其中第一支路的部件可配置成利于脉冲电流整形和定时。另外,参考数字 62 代表可流过脉冲电路 52 的脉冲电路电流 I_{PULSE} 。

[0032] 依据将在下文更详细描述的本发明的方面, MEMS 开关 20 可从第一闭合状态快速切换(例如,约皮秒或纳秒)到第二断开状态,尽管同时在接近零的电压下传送电流。通过负载电路 40 和脉冲电路 52 的组合操作可实现这一点,该脉冲电路 52 包括跨过 MEMS 开关 20 的接触并联耦合的平衡二极管桥 28。

[0033] 图 3 至 5 作为示意性流程图,用于说明图 2 所示的无电弧 MEMS 基开关系统 18 的示例性操作。继续参考图 2,说明该无电弧 MEMS 基开关系统 18 的示例性操作的初始状况。MEMS 开关 20 描述成开始于第一闭合状态。此外,如所示,负载电路 40 中存在值基本上等于 V_{BUS}/R_{LOAD} 的负载电流 I_{LOAD} 50。

[0034] 此外,为了讨论无电弧 MEMS 基开关系统 18 的该示例性操作,假设与 MEMS 开关 20 相关联的电阻充分小,以使得由流过 MEMS 开关 20 的电阻的负载电流产生的电压对脉冲时二极管桥 28 中点之间的近零电压差仅产生可忽略影响。例如,可以假设与 MEMS 开关 20 相关联的电阻充分小,从而产生由于最大预期负载电流引起的小于几毫伏的电压降。

[0035] 注意,在 MEMS 基开关系统 18 的该初始状况下,脉冲开关 54 处于第一断开状态。此外,脉冲电路 52 中不存在脉冲电路电流。而且,在脉冲电路 52 中,电容器 C_{PULSE} 56 可以预充电至电压 V_{PULSE} ,其中 V_{PULSE} 为可以产生半正弦脉冲电流的电压,该半正弦脉冲电流的峰幅值显著大于(例如两倍于)负载电流的传送间隔期间的预期负载电流 I_{LOAD} 50。注意, C_{PULSE} 56 和 L_{PULSE} 58 构成串联谐振电路。

[0036] 图 3 说明示意性图示 64,描述了脉冲电路 52 的触发过程。注意,检测电路(未示出)可耦合到脉冲电路 52。检测电路可包括读出电路(未示出),其配置成感测例如负载电路电流 I_{LOAD} 50 的水平与 / 或电压源 V_{BUS} 44 的电压水平。此外,该检测电路可配置成检测

如上所述的开关条件。在一个实施例中,由于该电流水平与 / 或电压水平超过预定阈值,可出现该开关条件。

[0037] 脉冲电路 52 可配置成检测开关条件,以便于将 MEMS 开关 20 的当前闭合状态切换到第二断开状态。在一个实施例中,该开关条件可以是由于负载电路 40 中的电压水平或负载电流超过预定阈值水平而产生的故障状况。然而将理解,该开关条件还可包括监测斜坡电压以获得 MEMS 开关 20 的给定的取决于系统的导通时间。

[0038] 在一个实施例中,脉冲开关 54 可响应于接收到由检测的开关条件导致的触发信号来产生正弦脉冲。脉冲开关 54 的触发可在脉冲电路 52 中启动谐振正弦电流。脉冲电路电流的电流方向用参考数字 66 和 68 表示。另外,流过平衡二极管桥 28 第一支路 29 的第一二极管 30 和第二二极管 32 的脉冲电路电流的电流方向和相对幅值分别用电流矢量 72 和 70 表示。类似地,电流矢量 76 和 74 分别表示流过第三二极管 34 和第四二极管 36 的脉冲电路电流的电流方向和相对幅值。

[0039] 峰值正弦桥脉冲电流的值可以由脉冲电容器 C_{PULSE} 56 上的初始电压、脉冲电容器 C_{PULSE} 56 的值以及脉冲电感 L_{PULSE} 58 的值决定。脉冲电感 L_{PULSE} 58 和脉冲电容器 C_{PULSE} 56 的值还决定半正弦脉冲电流的脉冲宽度。桥电流脉冲宽度可以调整为满足基于负载故障状况期间期望的峰值允通电流以及负载电流变化率 ($V_{\text{BUS}}/L_{\text{LOAD}}$) 所预计的系统负载电流关断要求。根据本发明,脉冲开关 54 可配置成在断开 MEMS 开关 20 之前处于导通状态。

[0040] 注意,脉冲开关 54 的触发可包括控制通过平衡二极管桥 28 的脉冲电路电流 I_{PULSE} 62 的时序,以利于在断开间隔期间形成与经过 MEMS 开关 20 的接触的路径的阻抗相比阻抗更低的路径。此外,脉冲开关 54 可触发成使得期望的电压降呈现在 MEMS 开关 20 的接触之间。

[0041] 在一个实施例中,脉冲开关 54 可以是可配置成具有例如在纳秒至微秒范围内的开关速度的固态开关。脉冲开关 54 的开关速度应该相对快于故障状态下负载电流的预期上升时间。MEMS 开关 20 要求的电流额定值可依赖于负载电流的上升速率,该负载电流的上升速率依赖于如前所述的负载电路 40 内的电感 L_{LOAD} 46 和总线电源电压 V_{BUS} 44。如果与桥脉冲电路的速度能力相比负载电流 I_{LOAD} 50 快速上升,则 MEMS 开关 20 可恰当地定额 (rated) 以处理更大的负载电流 I_{LOAD} 50。

[0042] 脉冲电路电流 I_{PULSE} 62 从零值增大,且在平衡二极管桥 28 的第一支路 29 和第二支路 31 之间等分。依据一个实施例,平衡二极管桥 28 的支路 29、31 上的电压降的差值设计为可忽略,如前文所述。此外,如前所述,二极管桥 28 平衡使得二极管桥 28 的第一和第二支路上的电压降基本上相等。此外,由于当前闭合状态下 MEMS 开关 20 的电阻比较低,因此 MEMS 开关 20 上的电压降较小。然而,如果 MEMS 开关 20 上的电压降恰巧较大 (例如,由于 MEMS 开关的固有设计),由于二极管桥 28 可操作地与 MEMS 开关 20 并联耦合,二极管桥 28 的平衡会受到影响。依据本发明,如果 MEMS 开关 20 的电阻导致 MEMS 开关 20 上显著的电压降,则二极管桥 28 可通过增大峰值桥脉冲电流的幅值来容纳所导致的脉冲桥的不平衡。

[0043] 现在参考图 4 说明示意性图示 78,其中 MEMS 开关 20 的断开被启动。如前所述,在 MEMS 开关 20 断开之前,触发脉冲电路 52 内的脉冲开关 54。当脉冲电流 I_{PULSE} 62 增大时,脉冲电容器 C_{PULSE} 56 上的电压由于脉冲电路 52 的谐振动作而减小。在该开关闭合且导电的导通状况下, MEMS 开关 20 为负载电路电流 I_{LOAD} 50 提供了较低阻抗的路径。

[0044] 一旦脉冲电路电流 $I_{\text{PULSE}62}$ 的幅值变为大于负载电路电流 $I_{\text{LOAD}50}$ 的幅值（例如，由于脉冲电路 52 的谐振动作），施加到 MEMS 开关 20 的栅极接触 26 的电压可以恰当地偏置成将 MEMS 开关 20 的当前操作状态从第一闭合且导电状态切换到电阻增大状态，电阻增大状态中 MEMS 开关 20 开始关断（例如，其中接触仍然闭合但由于开关断开过程接触压力减小），这导致开关电阻增大，进而导致负载电流开始从 MEMS 开关 20 向二极管桥 28 内转移。

[0045] 在该当前状况下，平衡二极管桥 28 向负载电路电流 $I_{\text{LOAD}50}$ 提供了与经过 MEMS 开关 20 的路径相比阻抗较低的路径，该 MEMS 开关 20 现在表现增大的接触电阻。注意，经过 MEMS 开关 20 的负载电路电流 $I_{\text{LOAD}50}$ 的这种转移与负载电路电流 $I_{\text{LOAD}50}$ 的变化率相比是极快的过程。如前所述，期望与 MEMS 开关 20 和平衡二极管桥 28 之间连接相关联的电感 L_184 和 L_288 的值非常小，以避免对该快速电流转移的抑止。

[0046] 从 MEMS 开关 20 到脉冲桥的该电流转移过程继续，增大了第一二极管 30 和第四二极管 36 内的电流，而同时第二二极管 32 和第三二极管 34 内的电流减小。当 MEMS 开关 20 的机械接触 22、24 分离形成物理间隙时该转移过程完成，且所有负载电流由第一二极管 30 和第四二极管 36 承载。

[0047] 负载电路电流 $I_{\text{LOAD}50}$ 从 MEMS 开关 20 沿方向 86 转移到二极管桥 28 之后，跨过二极管桥 28 的第一支路 29 和第二支路 31 形成不平衡。此外，随着脉冲电路电流衰减，脉冲电容器 $C_{\text{PULSE}56}$ 上的电压继续反向（例如，充当“反电动势”），这导致负载电路电流 I_{LOAD} 最终减小为零。二极管桥 28 内的第二二极管 32 和第三二极管 34 变为反向偏置，这使得该负载电路现在包括脉冲电感器 $L_{\text{PULSE}58}$ 和桥脉冲电容器 $C_{\text{PULSE}56}$ 并变为串联谐振电路。

[0048] 现在转到图 5，说明连接成用于减小负载电流的过程的电路元件的示意性图示 94。如上文提及，在 MEMS 开关 20 的接触分开的时刻，获得无穷大的接触电阻。此外，二极管桥 28 不再维持 MEMS 开关 20 接触之间的近零电压。而且，负载电路电流 I_{LOAD} 现在等于经过第一二极管 30 和第四二极管 36 的电流。如前所述，现在没有电流经过二极管桥 28 的第二二极管 32 和第三二极管 34。

[0049] 此外，从 MEMS 开关 20 漏极 24 到源极 26 的显著开关接触电压差现在上升至约为 V_{BUS} 电压两倍的最大值，上升的速率由包括脉冲电感器 $L_{\text{PULSE}58}$ 、脉冲电容器 $C_{\text{PULSE}56}$ 和负载电路电感器 $L_{\text{LOAD}46}$ 的净谐振电路以及由于负载电阻器 $R_{\text{LOAD}48}$ 和电路损耗引起的阻尼决定。此外，在某些点等于负载电路电流 $I_{\text{LOAD}50}$ 的脉冲电路电流 $I_{\text{PULSE}62}$ 由于谐振而减小为零值，且该零值由于二极管桥 28 和二极管 D_p60 的反向阻挡动作而维持。由谐振导致的脉冲电容器 $C_{\text{PULSE}56}$ 两端的电压将极性反转为负峰值，且该负峰值将维持直至脉冲电容器 $C_{\text{PULSE}56}$ 再次充电。

[0050] 二极管桥 28 可配置成维持 MEMS 开关 20 接触之间的近零电压直至接触分离以断开 MEMS 开关 20，由此通过抑止在断开过程中趋于形成于 MEMS 开关 20 的接触之间的任何电弧来防止损坏。另外，在远小得多的接触电流经过 MEMS 开关 20 的情况下，MEMS 开关 20 的接触接近断开状态。另外，存储于电路电感、负载电感和源极内的任何能量可以转移到脉冲电路电容器 $C_{\text{PULSE}56}$ ，且可以通过电压耗散电路（未示出）被吸收。电压缓冲电路 33 可配置成限制在快速接触分离期间由于保留在桥和 MEMS 开关之间的界面电感内的感应能量引起的电压过冲。此外，断开期间 MEMS 开关 20 接触之间的再施加电压的增加率可以通过使用缓冲电路（未示出）而得到控制。

[0051] 另外注意,尽管在断开状态时 MEMS 开关 20 接触之间形成间隙,但是漏电流仍存在于 MEMS 开关 20 附近的负载电路 40 和二极管桥 28 之间。通过引入串联连接于负载电路 40 内的次级机械开关(未示出)以产生物理间隙,则可以抑止该漏电流。在某些实施例中,该机械开关可包括第二 MEMS 开关。

[0052] 图 6 说明示例性实施例 96,其中开关电路 12(见图 1)可包括例如布置成串联或串联-并联阵列的多个 MEMS 开关。此外,如图 6 所示, MEMS 开关 20 可由电学耦合成串联电路的第一组两个或多个 MEMS 开关 98、100 所替代。在一个实施例中,第一组 MEMS 开关 98、100 中的至少一个可进一步耦合成并联电路,其中该并联电路可包括第二组两个或多个 MEMS 开关(例如,参考数字 100、102)。依据本发明,静态分级电阻器和动态分级电容器可以与该第一或第二组 MEMS 开关的至少其中之一并联耦合。

[0053] 现在参考图 7,描述分级 MEMS 开关电路的示例性实施例 104。分级开关电路 104 可包括至少一个 MEMS 开关 106、分级电阻器 108 和分级电容器 110。分级开关电路 104 可包括布置成例如如图 6 所示的串联或串联-并联阵列的多个 MEMS 开关。分级电阻器 108 可与至少一个 MEMS 开关 106 并联耦合以为该开关阵列提供电压分级。在一示例性实施例中,分级电阻器 108 大小可调整为提供这些串联开关之间充分的稳态电压平衡(分压),同时提供针对具体应用的可接受的泄漏。此外,分级电容器 110 和分级电阻器 108 均可设为与该阵列的各个 MEMS 开关 106 并联,以在开关期间动态地以及在关断状态下静态地提供共享。注意,附加的分级电阻器或分级电容器或二者可添加到该开关阵列中的每个 MEMS 开关。

[0054] 图 8 为用于将 MEMS 基开关系统从当前操作状态切换到第二状态的示例性逻辑 112 的流程图。依据本技术的示例性方面,给出了一种切换方法。如前所述,检测电路可操作地耦合到过电流保护电路且配置成检测开关条件。此外,检测电路可包括配置成感测电流水平与/或电压水平的读出电路。

[0055] 如块 114 所示,例如通过该读出电路来感测诸如负载电流 40(见图 2)的负载电路内的电流水平与/或电压水平。另外,如判断块 116 所示,判断所感测的电流水平或感测的电压水平是否偏离或超过预期值。在一个实施例中,(例如通过该检测电路)判断所感测的电流水平或感测的电压水平是否超过相应的预定阈值水平。或者,可以监测电压或电流斜坡速率(ramp rate)以在实际上无故障发生的情况下检测开关条件。

[0056] 如果感测的电流水平或感测的电压水平变化或偏离预期值,则如区块 118 所示产生开关条件。如前所述,术语“开关条件”是指触发改变 MEMS 开关的当前操作状态的条件。在某些实施例中,开关条件可以响应于故障信号而产生,且可以用以促进启动 MEMS 开关的断开。注意,块 114-118 代表产生开关条件的一个示例。然而将理解,依据本发明也可以构思出产生开关条件的其他方法。

[0057] 如块 120 所示,脉冲电路可被触发以响应于开关条件而启动脉冲电路电流。由于脉冲电路的谐振动作,脉冲电路电流水平持续增大。至少部分由于该二极管桥 28,如果脉冲电路电流的瞬时幅值显著大于负载电路电流的瞬时幅值,则可跨过 MEMS 开关的接触维持近零电压降。此外,经过 MEMS 开关的负载电路电流可以从该 MEMS 开关转移到该脉冲电路,如块 122 所示。如前所述,二极管桥呈现的路径与经过该 MEMS 开关的路径相比阻抗较低,其中当 MEMS 开关的接触开始分离时,较高阻抗增大。该 MEMS 开关随后以无电弧的方式断开,如块 124 所示。

[0058] 如前所述,跨过 MEMS 开关的接触的近零电压降可以维持,只要脉冲电路电流的瞬时幅值显著大于负载电路电流的瞬时幅值,由此有利于断开 MEMS 开关并抑止在该 MEMS 开关的接触之间形成任何电弧。因此,如前文所述, MEMS 开关可以在 MEMS 开关的接触之间电压近零的状况下且大幅减小的电流经过该 MEMS 开关的情况下断开。

[0059] 图 9 为依据本技术的多个方面,表示切换该 MEMS 基开关系统的 MEMS 开关当前操作状态的实验结果的图解性表示 130。如图 9 所示,随时间 134 变化绘制了幅值变化 132。此外,参考数字 136、138 和 140 表示图解性表示 130 的第一部分、第二部分和第三部分。

[0060] 响应曲线 142 表示负载电路电流幅值变化与时间的关系。脉冲电路电流幅值变化与时间的关系用响应曲线 144 表示。按照类似方式,栅极电压幅值变化与时间的关系用响应曲线 146 表示。响应曲线 148 表示零栅极电压参考,而响应曲线 150 为关断之前负载电流的参考水平。

[0061] 此外,参考数字 152 代表响应曲线 142 上发生开关断开过程的区域。类似地,参考数字 154 代表响应曲线 142 上 MEMS 开关的接触已经分离且该开关处于断开状态的区域。而且,从图解性图示 130 的第二部分 138 可以看出,栅极电压被拉低以便启动 MEMS 开关的断开。此外,从图解性图示 130 的第三部分 140 可以看出,平衡二极管桥的导通的那半内的负载电路电流 142 和脉冲电路电流 144 正在衰减。

[0062] 本发明的一些方面包括这样的电路与 / 或技术,其可靠且成本有效地藉由固态(例如基于半导体的)开关电路能够耐受冲击电流(例如,在启动事件或瞬时状况期间),同时能够例如利用 MEMS 开关电路用于稳态操作以及用于解决可能出现的故障状况。

[0063] 本领域技术人员将理解,在启动诸如电机或其他类型电学设备的电学负载时,或者在瞬变状态下,冲击电流会产生。启动事件期间冲击电流的值经常包括稳态负载电流值的几倍(例如,六倍或以上),且可以持续几秒,例如约 10 秒。

[0064] 图 10 为实施本发明的一些方面的开关系统 200 的方框图。在一个示例性实施例中,系统 200 将 MEMS 基开关电路 202、固态开关电路 204 和过电流保护电路 206 连接成并联电路,在一个示例性实施例中例如可包括如图 1 至 9 所示与 / 或其上下文中所述的脉冲电路 52 和平衡二极管桥 31。

[0065] 控制器 208 可耦合到 MEMS 基开关电路 202、固态开关电路 204 和过电流保护电路 206。控制器 208 可配置成通过执行一控制策略选择性地在 MEMS 基开关电路和固态开关电路之间来回转移电流,该控制策略配置成确定何时启动过电流保护电路 206 以及何时断开和闭合各个相应的开关电路,例如可响应于适于所述开关电路中相应开关电路的载流能力的负载电流状况与 / 或在可能影响该开关系统的故障状况期间被执行。注意,在这种控制策略中,期望在相应开关电路 202 和 204 之间来回转移电流的同时准备执行故障电流限制,以及当负载电流接近任一开关电路的最大电流处理能力时执行电流限制和负载去激励。

[0066] 实施前述示例性电路的系统可以控制为使得冲击电流不由 MEMS 基开关电路 202 承载,而是该电流由固态开关电路 204 承载。稳态电流将由 MEMS 基开关电路 202 承载,且在系统操作期间通过过电流保护电路 206 可获得过电流与 / 或故障保护。将理解,在广义上讲,所提出的概念不限于 MEMS 基开关电路。例如,包括与一个或多个固态开关并联的一个或多个标准机电开关(即,非 MEMS 基机电开关电路)以及合适的控制器的系统可以类似地受益于本发明提供的优点。

[0067] 下面给出在发生负载启动事件时该开关系统中的示例性开关状态序列以及示例性电流值。数字后面的字母 X 表示与稳态状况下典型电流值的几倍相对应的示例性电流值。因此,6X 表示与稳态状况下典型电流值的 6 倍相对应的电流值。

[0068] 1. 固态开关电路 - 断开

[0069] MEMS 基开关电路 - 断开

[0070] 电流 -0

[0071] 2. 固态开关电路 - 闭合

[0072] MEMS 基开关电路 - 断开

[0073] 电流 -6X

[0074] 3. 固态开关电路 - 闭合

[0075] MEMS 基开关电路 - 闭合

[0076] 电流 -1X

[0077] 4. 固态开关电路 - 断开

[0078] MEMS 基开关电路 - 闭合

[0079] 电流 -1X

[0080] 图 11 说明一个示例性实施例,其中开关系统 200 中的固态开关电路 204 包括与过电流保护电路 206 和 MEMS 基开关电路 202 并联连接的两个 FET(场效应晶体管)开关 210 和 212(与二极管 214 及 216 连接成反向并联配置以用于允许传导 AC 电流)。可通过导通 FET 开关 210 和 212 来激励电学负载(未示出),这允许启动电流(用“ I_{start} ”表示)开始流到该负载,从而允许 FET 开关 210 和 212 在负载启动期间传送该电流。将理解,固态开关电路 204 既不限于图 11 所示的电路布置,也不限于 FET 开关。例如,提供双向电流传导能力的任何固态或半导体功率开关装置可同等适用于特定 AC 应用。本领域技术人员将理解,该双向能力可以是开关装置中,例如 TRIAC、RCT 中所固有的,或者可以通过恰当地布置至少两个这种装置,例如 IGBT、FET、SCR、MOSFET 等来获得。

[0081] 图 16 说明一示例性实施例,其中固态开关电路 204 包括连接成反向串联电路布置的一对 MOSFET 开关 240 和 242。注意,二极管 244 和 246 包括体二极管。也就是说,这些二极管包括其相应 MOSFET 开关的整体部分。零栅极驱动电压时,各个开关关断;因此这些开关将每一个阻挡交变电压的交变极性,同时另一开关的每个相应二极管正向偏置。当从栅极驱动电路 222 施加合适的栅极驱动电压时,每个 MOSFET 将回复到低电阻状态,而与呈现于开关端子处的 AC 电压的极性无关。

[0082] 本领域技术人员将理解,跨过反向串联连接的 MOSFET 对的电压降为两个 R_{dson} (开态电阻)开关的 IR 降,而不是一个 R_{dson} 加上电压二极管降落,在反向并联布置中将是如此。因此,在一个示例性实施例中,MOSFET 的反向串联配置是期望的,因为其能够提供比较低的电压降,因此功耗、发热及能耗更低。

[0083] 将进一步理解,在一个实施例中,其中固态开关电路 204 包括双向晶闸管(或者反向并联晶闸管对)而该布置在更低电流下可能导致比较高损耗,这种布置的优点在于能够耐受比较高的短期电流冲击,这是因为在高电流时比较低的电压降落,以及瞬态热响应特性。

[0084] 在初始启动电流下降到合适水平之后,使用合适的 MEMS 兼容开关技术,或者通过

靠近至 (closing into) 跨过该固态开关电路的电压降 (如果该电压降包含比较小的电压), 可导通该 MEMS 基开关电路 202。此时, FET 开关 210 和 219 可关断。图 12 说明开关系统 200 的状况, 其中稳态电流 (用 “ I_{ss} ” 表示) 由 MEMS 基开关电路 202 承载。

[0085] 本领域技术人员将理解, MEMS 基开关电路在其开关接触之间存在电压时不应闭合为导通的开关状态, 且在电流传递经过所述接触时, 该电路也不应断开为不导通的开关状态。MEMS 兼容开关技术的一个示例可以是脉冲形成技术, 如图 1 至 9 所示与 / 或其上下文中所述。

[0086] 通过将该开关系统配置成执行软开关或波形上点 (point on wave) 开关, 由此该开关电路 202 中的一个或多个 MEMS 开关在开关电路 202 上的电压为零或非常接近零时闭合, 且在流过开关电路 202 的电流为零或非常接近零时断开, 可以实现 MEMS 兼容开关技术的另一个示例。对于期望了解有关该技术的背景信息的读者, 可参考其全文引用结合于此的专利申请: 2005 年 12 月 20 日提交的题为 “Micro-Electromechanical System Based Soft Switching” 的美国专利申请 No. 11/314, 879 (Attorney Docket No. 162191-1)。

[0087] 通过在跨过开关电路 202 的电压为零或非常接近零时闭合开关, 将一个或多个 MEMS 开关的接触之间的电场在其闭合时保持低, 则可避免预击穿电弧, 即使多个开关不全部同时闭合。如上所述, 控制电路可配置成以交变源电压或交变负载电路电流的过零点的出现来同步该开关电路 202 的一个或多个 MEMS 开关的断开与闭合。万一在启动事件期间出现故障, 过电流保护电路 206 配置成保护下游负载以及相应开关电路。如图 13 所示, 通过将故障电流 (I_{fault}) 转移到过电流保护电路 206 来实现该保护。

[0088] 注意, 尽管在最高水平观看, 机电开关电路和固态开关电路在概念上看上去彼此基本上相似, 然而实践中这种开关电路会表现各自独特的操作特性, 因为它们的操作是基于显著不同的物理原理, 并因此该过电流保护电路必须恰当地配置以考虑到这种特性且仍恰当地启动该开关电路。例如, MEMS 开关通常涉及悬臂梁的机械移动以断开接触, 而固态开关通常涉及电压感应通道内的载荷子的移动。清除该载流子通道所花的时间称为恢复时间, 且该恢复时间的范围为 $< 1 \mu s$ 的时间到 $> 100 \mu s$ 的时间。例如, 如果固态开关闭合造成故障, 则过电流保护电路 206 应能够吸收该故障电流并保护该固态开关和下游负载, 直至该开关的通道被彻底清除且该开关完全断开。如果过电流保护电路 206 包括脉冲电路 52 和平衡二极管桥 31, 则可以显示出, 脉冲特性 (例如由该脉冲电路形成的脉冲的宽度与 / 或高度) 会影响下游保护的质量。例如, 过电流保护电路 206 应能够产生这样的脉冲, 该脉冲的宽度与 / 或高度足以容纳该并联固态开关电路的恢复时间以及容纳 MEMS 基开关电路的故障保护。

[0089] 本领域技术人员将理解, 就故障电流中断而言, 存在两种常见类型的固态开关电路。一些固态开关电路 (例如 FET 开关) 可以在关断时固有地强加零电流状况。其余 (例如 SCR) 无法强加这种零电流状况。可以强加零电流状况的固态开关电路无需过电流保护电路 206 的辅助来在故障期间执行电流限制。无法强加零电流状况的固态开关电路通常需要过电流保护电路 206。

[0090] 如前所述, 合适的控制技术应实施为选择性地 MEMS 基开关电路和固态开关电路之间来回转移电流。在一个示例性实施例中, 这种控制技术可以基于各个开关电路相应的电学损耗模型。例如, MEMS 基开关电路中的电学损耗 (以及伴随的温度上升) 通常与负

载电流的平方成比例,而固态开关电路中的损耗(以及伴随的温度上升)通常与负载电流的绝对值成比例。此外,固态装置的热容通常大于 MEMS 基开关电路。因此,对于负载电流的正常值,预期 MEMS 基开关电路将承载该电流,而对于临时过载电流,预期固态开关电路将承载该电流。因此,预期在瞬时过载情形中将来回转移电流。

[0091] 我们将在下文讨论在 MEMS 基开关电路和固态开关电路之间选择性地来回转移负载电流的三种示例性技术。一种示例性技术考虑使用双过电流保护电路,例如图 14 所示,其中第一过电流保护电路 206₁ 和第二过电流保护电路 206₂ 与 MEMS 基开关电路和固态开关电路连接成并联电路来辅助该转移(该第二过电流保护电路在一个示例性实施例中也可包括脉冲电路 52 和平衡二极管桥 31,如图 1 至 9 所示与/或其上下文中所述)。

[0092] 注意,如果开关系统仅使用单个过电流保护电路 206,则该单个过电流保护电路将在与 MEMS 基开关电路相关联的开关事件时被启动。然而,如果其后短时间内发生故障,则该单个过电流保护电路 206 可能无法准备再次启动以保护该开关电路。如前所述,过电流保护电路 206 基于脉冲技术操作,因此这种电路无法在脉冲点火后短时间内即刻准备好工作。例如,需要等待一时间段以对脉冲电路 52 内的脉冲电容器再次充电。

[0093] 涉及双过电流保护电路的技术确保剩下一个过电流保护电路(例如,电路 206₂)空闲和准备好在故障情况下辅助电流限制,即使当另一个过电流保护电路 206₁ 刚刚执行与正常开关事件(非故障驱动的开关事件)相关联的脉冲辅助开关。这种技术被认为提供了巨大的设计灵活性,具有比较简单的控制,但是要求双过电流保护电路而不是单个过电流保护电路。注意,这种技术与任意类型的固态开关电路相兼容。

[0094] 将会理解,在包含双过电流保护电路的示例性实施例中,这种电路应包括两个脉冲电路 52,但无需两个平衡二极管桥 31。例如,如果第一过电流保护电路包括相应的脉冲电路 52 和相应的平衡二极管桥 31,则第二过电流保护电路可仅包括配置成(在需要时)施加合适的脉冲电流至第一过电流保护电路的平衡二极管桥 31 的相应的脉冲电路 52。相反,如果第二过电流保护电路包括相应的脉冲电路 52 和相应的平衡二极管桥 31,则第一过电流保护电路可仅包括配置成(在需要时)施加合适的脉冲电流至第二过电流保护电路的平衡二极管桥 31 的相应的脉冲电路 52。

[0095] 第二种示例性技术是对该转移的执行进行定时以与电流零相一致。这消除了对第二过电流保护电路的需要,且也与任意类型的固态开关电路相兼容。然而,在某些情形下这种技术可涉及相对更精细的控制并要求系统完全关掉。第三种示例性技术是通过协调 MEMS 开关电路和固态开关电路的断开和闭合来执行电流转移。本领域技术人员将理解,如果固态开关电路具有比较小的电压降,则可以使用这种技术。

[0096] 在任意情况下,应理解,该控制策略可以配置成判断何时操作该过电流保护电路(单个或双过电流保护电路)并判断何时断开和闭合相应的开关电路,例如响应于适于这些开关电路中相应开关电路的电流承载能力的负载电流状况。一般的概念为,准备在交替的电流路径之间来回转移电流的同时执行故障电流限制,以及在负载电流接近任一负载电流承载路径的最大容量时执行电流限制和电路去激励。一种示例性控制策略如下:

[0097] 使用固态开关电路激励负载,期待将会有大的初始电流。在该电流落在 MEMS 基开关电路的额定值内时,将负载转移到 MEMS 基开关电路。

[0098] 当在正常状况下期望去激励负载时,此时无论哪个开关电路承载该电流,去激励

该负载。如果是 MEMS 基开关电路,则使用波形上点开关来关断于电流零。

[0099] 基于模拟或感测的温度,确定 MEMS 基开关电路和固态开关电路二者的相应温度。如果任一该温度确定为接近相应热额定值极限,或者如果负载电流接近相应的最大载流能力,(例如在故障状况或严重过载时)进行瞬时电流中断(由过电流保护电路辅助)且断开 MEMS 基开关电路和固态开关电路。该动作将优先于任何其他控制动作。在允许重新闭合开关动作之前等待复位。

[0100] 在正常操作时,各个相应开关电路的相应热学状况可用于判断电流流经 MEMS 基开关电路还是流经固态开关电路。如果一个开关电路接近其热学或电流极限而另一个开关电路仍具有热余量,则可以自动地进行转移。精确定时将依赖于开关转移技术 (switching transfertechnique)。例如,在脉冲辅助转移中,转移可以在一旦需要转移时基本上瞬时地发生。在基于波形上点开关的转移中,将直到出现电流的下一个可获得的过零点时才执行这种转移(例如延迟)。对于延迟转移,在转移判定的设置中应提供一定余量,从而使得转移可成功地延迟直至下一个电流零点成为可能。

[0101] 图 15 说明图 10 的开关系统的一个示例性实施例的电路细节。例如,图 15 说明响应于来自控制器 208 的控制信号分别驱动 MEMS 基开关电路 206、固态开关电路 204 和脉冲开关 54 的相应驱动器 220、222 和 224。图 15 还说明连接到控制器 208 以感测电流的电流传感器 226,这可用于确定适于所述开关电路中相应开关电路的电流承载能力的负载电流状况以及可能影响该开关系统的故障状况。

[0102] 尽管本文中仅说明和描述本发明的某些特征,但是本领域技术人员可以想到诸多改进和变化。因此应理解,所附权利要求旨在包括所有落在本发明真实精神内的所有这种改进和变化。

[0103] 部件列表

[0104] 10 无电弧微机电系统开关 MEMS 基开关系统

[0105] 12MEMS 基开关电路

[0106] 14 过电流保护电路

[0107] 16 单个封装

[0108] 18 无电弧的基于微机电系统开关 (MEMS) 的开关系统的示意性图示

[0109] 20MEMS 开关

[0110] 22 第一接触

[0111] 24 第二接触

[0112] 26 第三接触

[0113] 28 平衡二极管桥

[0114] 29 平衡二极管桥的第一支路

[0115] 30 第一二极管 D1

[0116] 31 平衡二极管桥的第二支路

[0117] 32 第二二极管 D2

[0118] 33 电压缓冲电路

[0119] 34 第三二极管 D3

[0120] 36 第四二极管 D4

- [0121] 38 单个封装
- [0122] 40 负载电路
- [0123] 44 电压源 V_{BUS}
- [0124] 46 负载电感
- [0125] 48 负载电阻 R_{LOAD}
- [0126] 50 负载电流 I_{LOAD}
- [0127] 52 脉冲电路
- [0128] 54 脉冲开关
- [0129] 56 脉冲电容器 C_{PULSE}
- [0130] 58 脉冲电感 L_{PULSE}
- [0131] 60 第一二极管 D_p
- [0132] 62 脉冲电路电流 I_{PULSE}
- [0133] 64 用于触发脉冲电路的过程的示意性图示
- [0134] 66,68 脉冲电路电流的方向
- [0135] 72,74 电流矢量
- [0136] 76,78 电流矢量
- [0137] 84,88 电感
- [0138] 86 负载电流方向
- [0139] 94 电路元件的示意性图示
- [0140] 96 开关电路的示例性实施例
- [0141] 98,100,102MEMS 开关
- [0142] 104 分级开关电路
- [0143] 106MEMS 开关
- [0144] 108 分级电阻器
- [0145] 110 分级电容器
- [0146] 112 示例性逻辑的流程图
- [0147] 114 感测块
- [0148] 116 判断块
- [0149] 118 产生开关条件的块
- [0150] 120 触发块
- [0151] 122 电流转移块
- [0152] 124 无电弧断开块
- [0153] 130 实验结果的图解性表示
- [0154] 132 幅值变化
- [0155] 134 时间变化
- [0156] 136,138,140 代表图解性表示 130 的第一、第二和第三部分的参考数字
- [0157] 142 响应曲线
- [0158] 144 响应曲线
- [0159] 146 响应曲线

- [0160] 148 响应曲线
- [0161] 150 响应曲线
- [0162] 152 表示开关断开过程的响应曲线 142 的区域
- [0163] 154 表示开关断开状态的响应曲线 142 的区域
- [0164] 200 开关系统
- [0165] 202MEMS 基开关电路
- [0166] 204 固态开关电路
- [0167] 206 过电流保护电路
- [0168] 206₁ 第一过电流保护电路
- [0169] 206₂ 第二过电流保护电路
- [0170] 208 控制器
- [0171] 210, 212FET(场效应晶体管) 开关
- [0172] 214, 216 二极管
- [0173] 219FET 开关
- [0174] 222 栅极驱动电路
- [0175] 226 电流传感器
- [0176] 240, 242 MOSFET 开关
- [0177] 244, 246 二极管
- [0178] 220, 222, 224 :驱动器

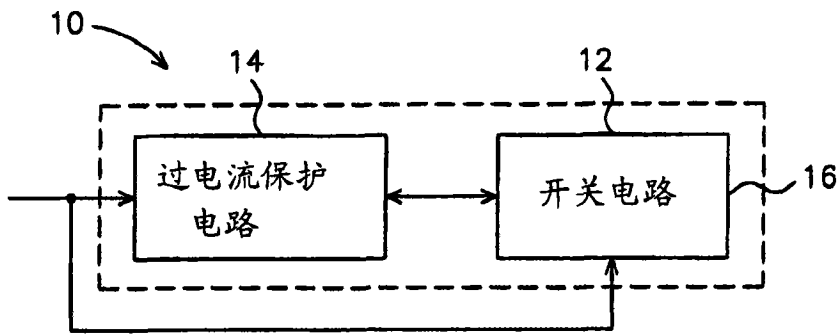


图 1

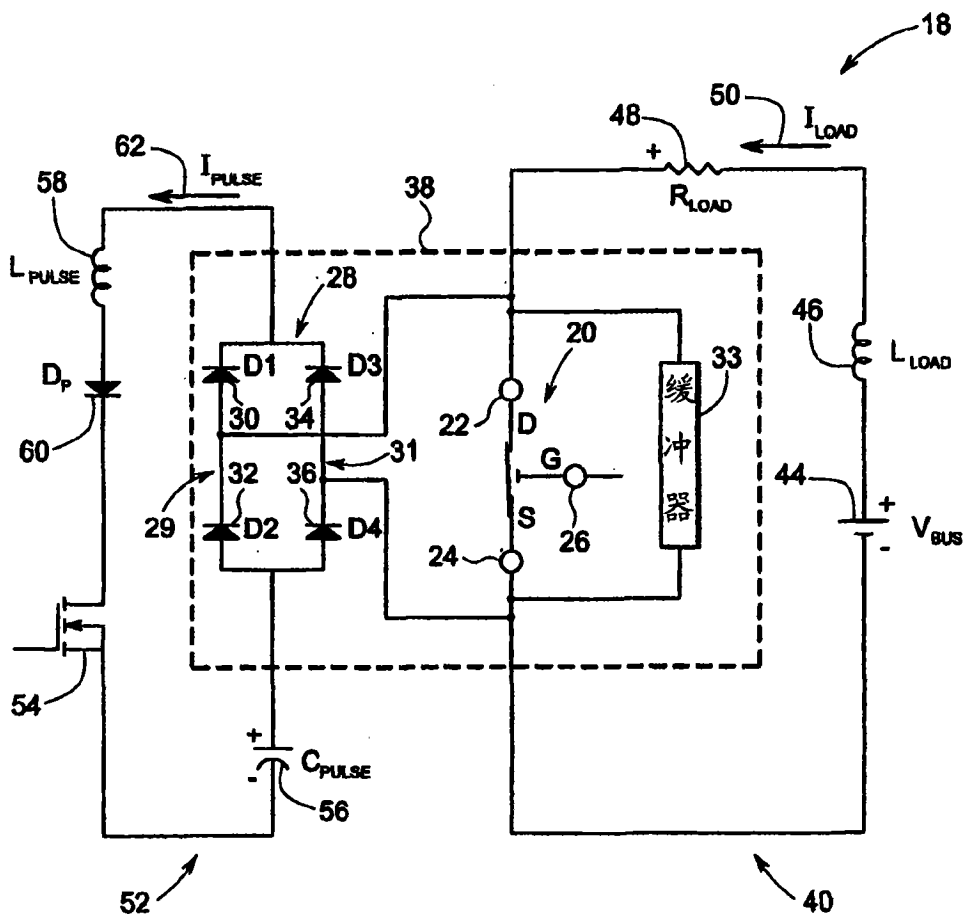


图 2

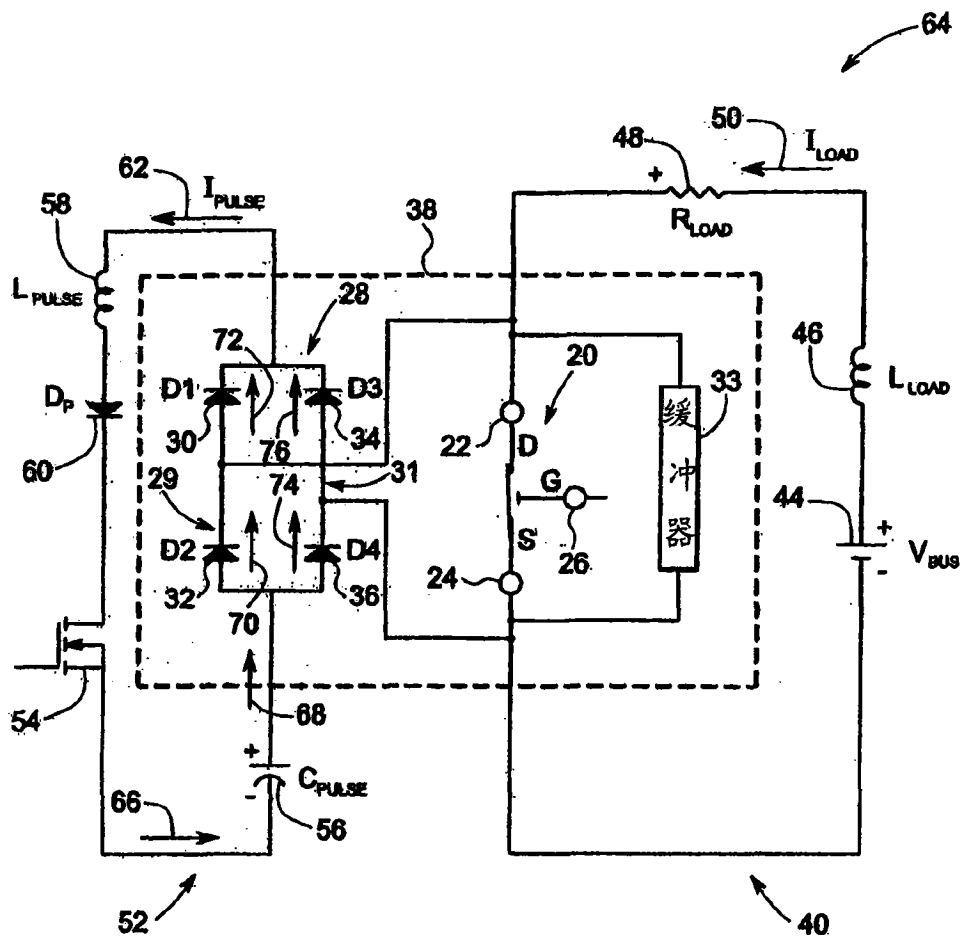


图 3

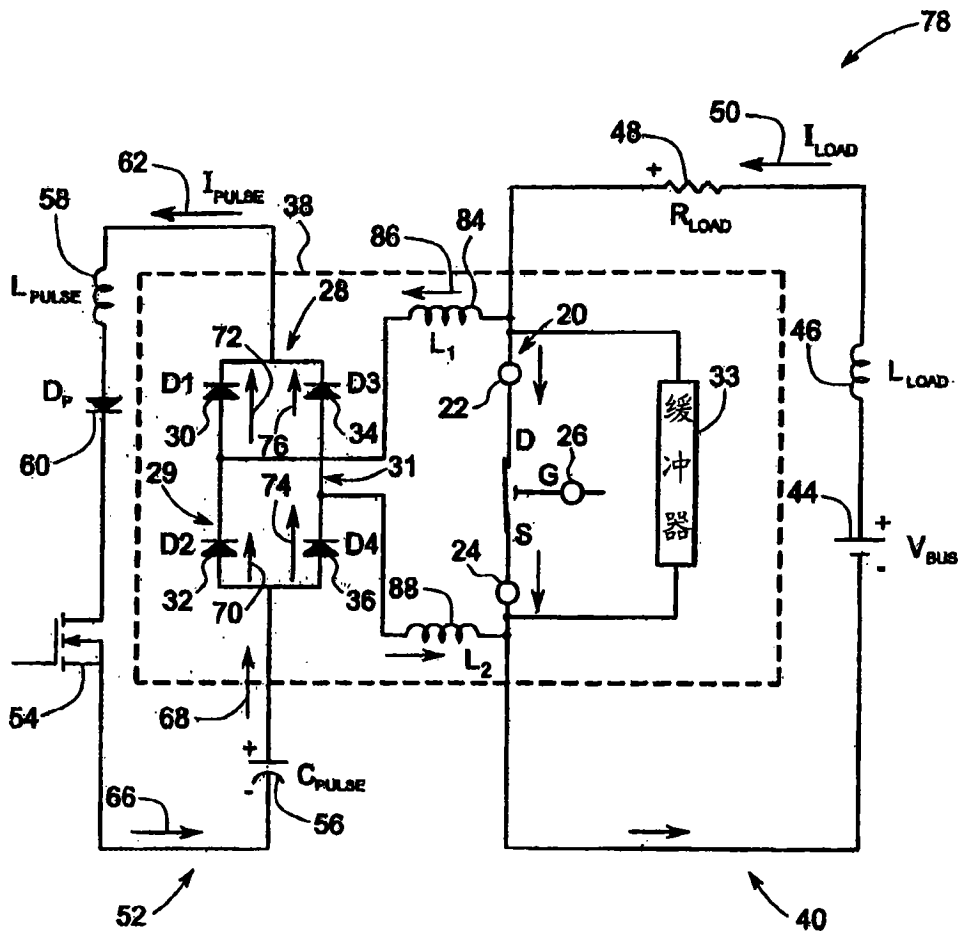


图 4

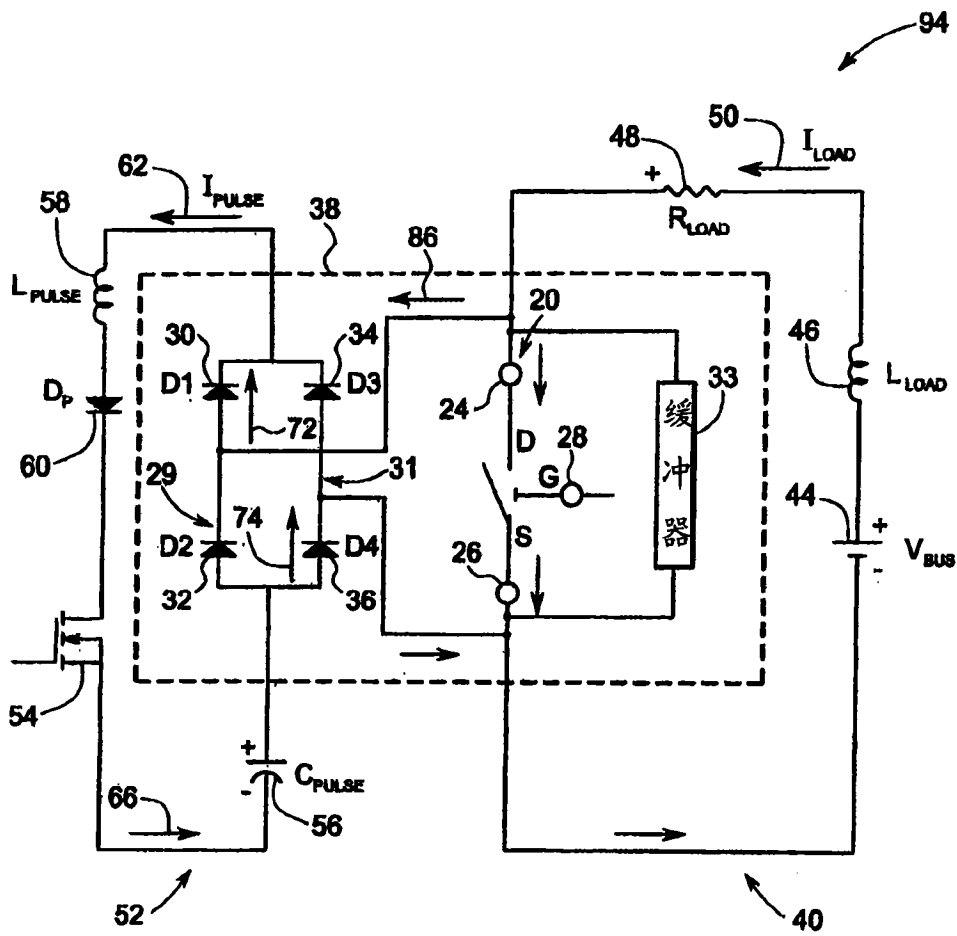


图 5

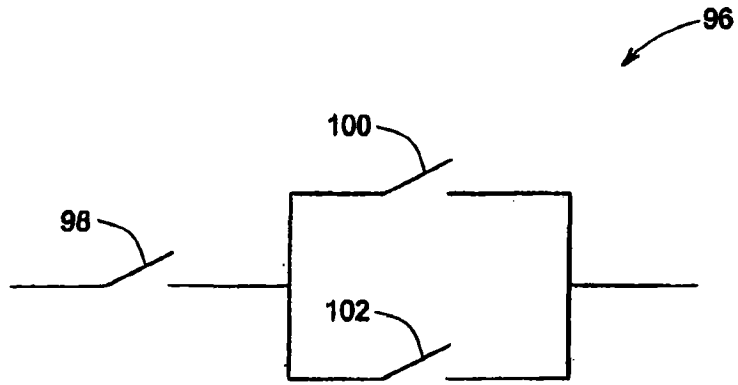


图 6

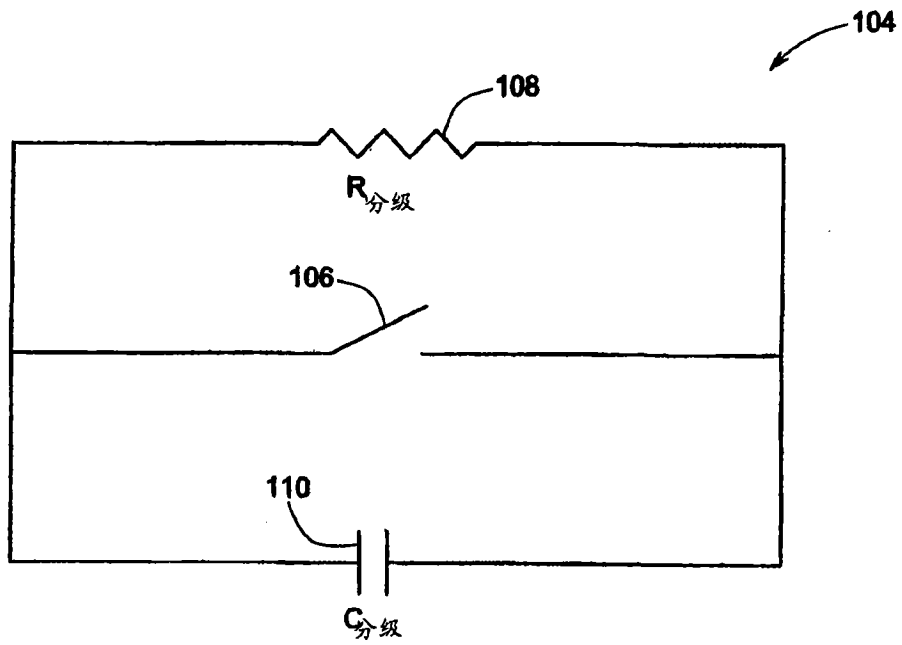


图 7

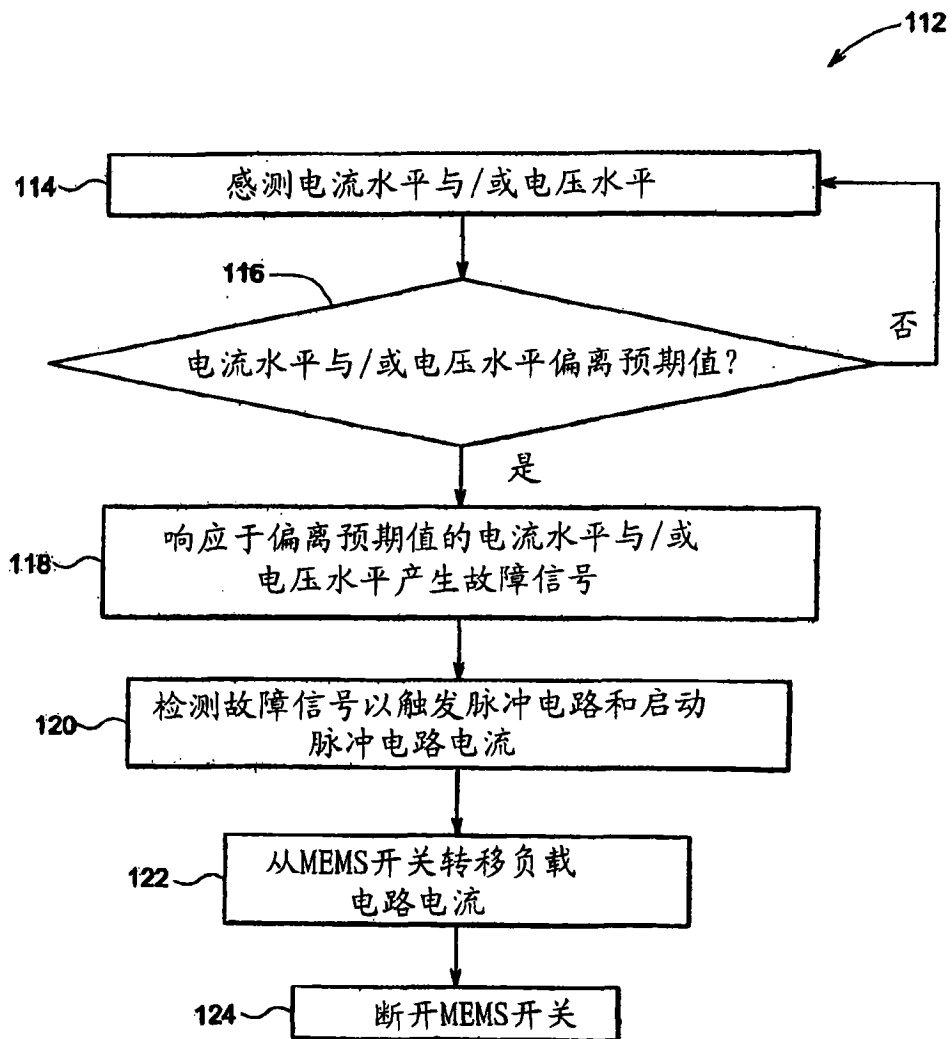


图 8

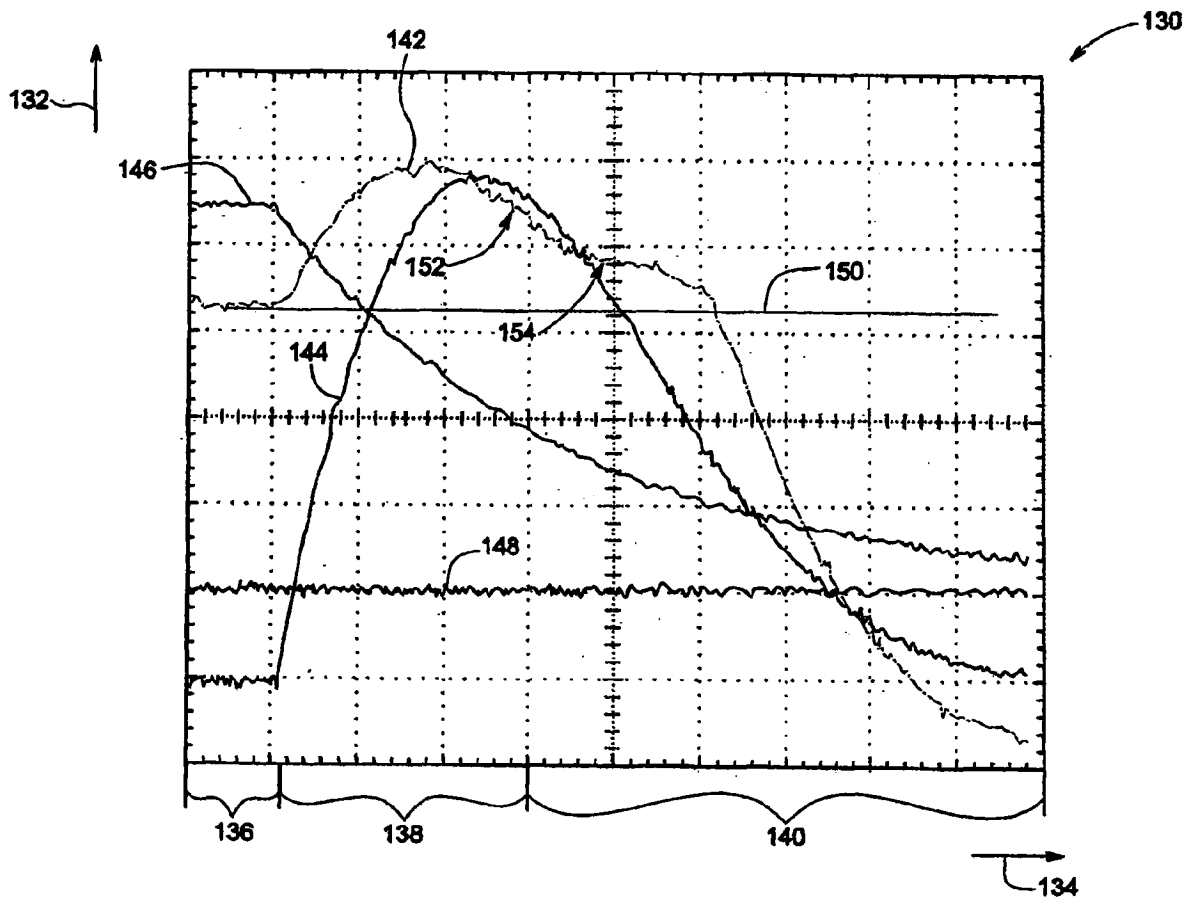


图 9

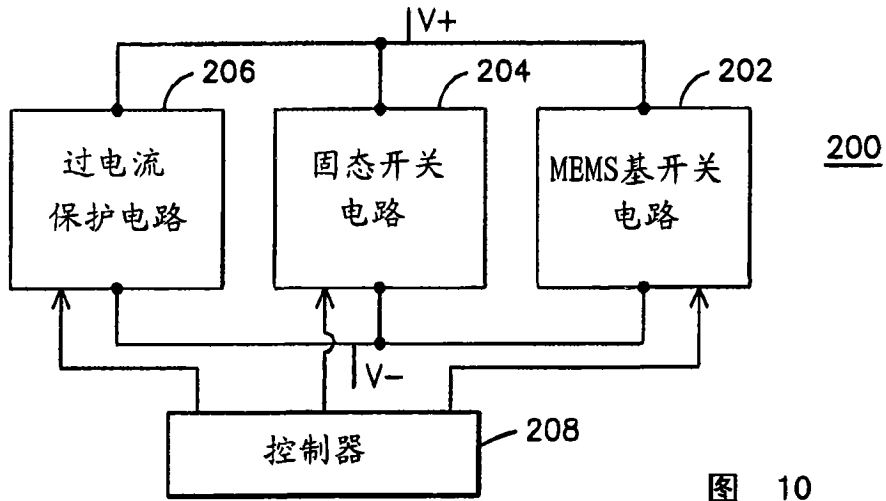


图 10

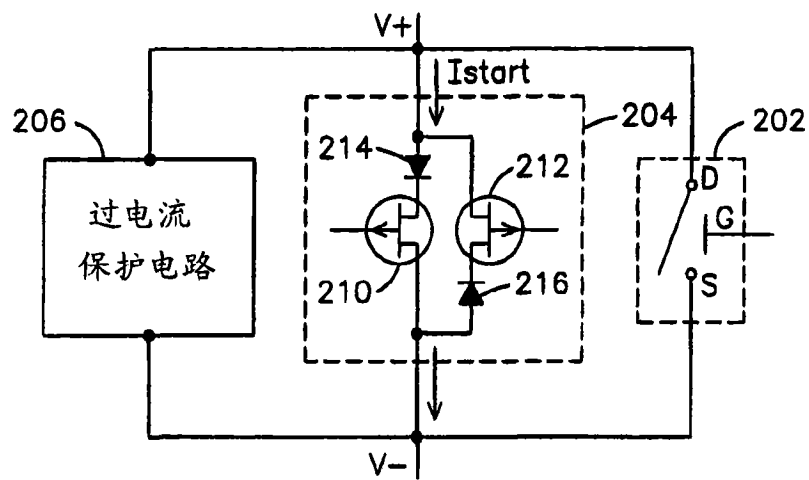


图 11

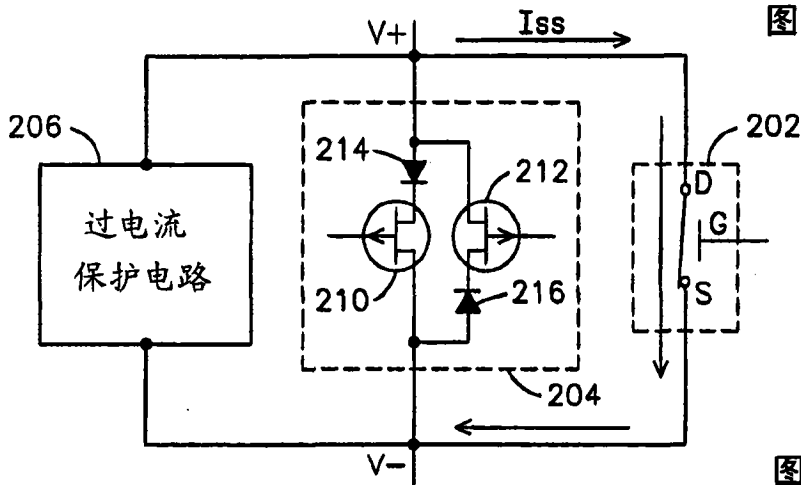


图 12

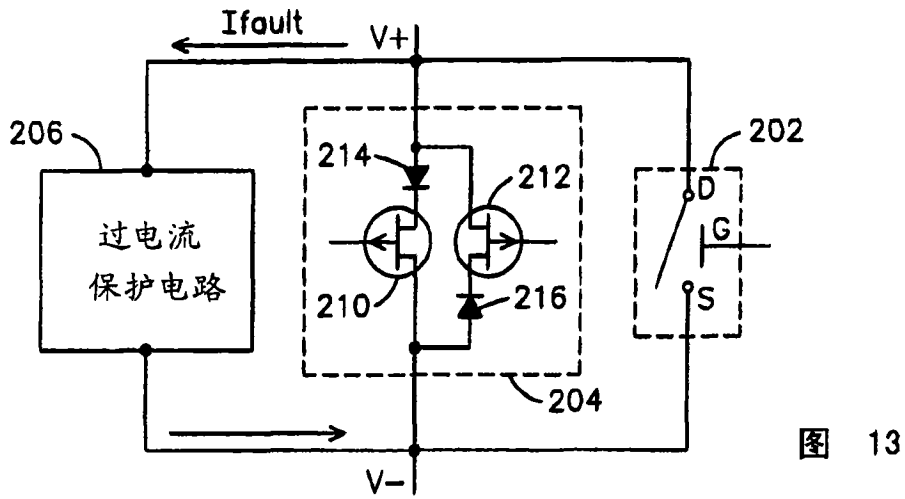


图 13

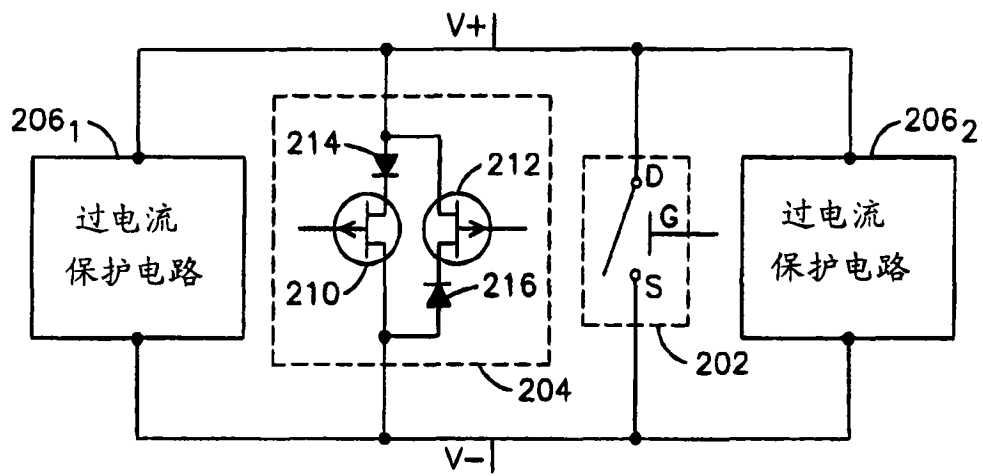


图 14

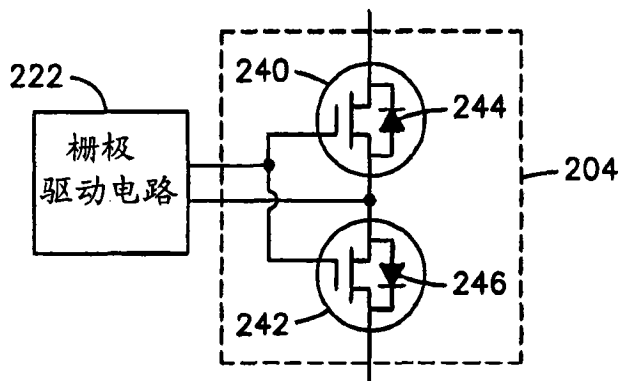


图 16

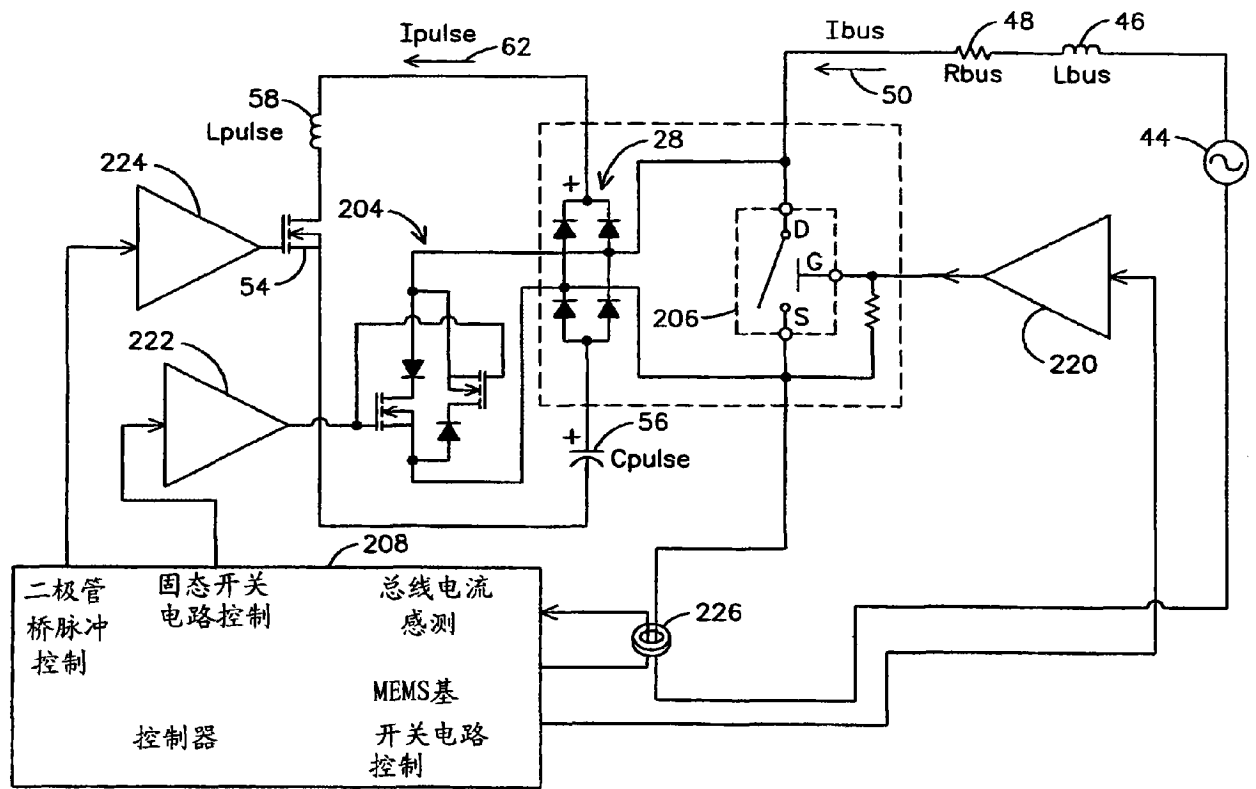


图 15