



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104466929 B

(45)授权公告日 2018.11.16

(21)申请号 201410361008.0

(22)申请日 2014.07.25

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104466929 A

(43)申请公布日 2015.03.25

(30)优先权数据
14/029,618 2013.09.17 US

(73)专利权人 波音公司
地址 美国伊利诺斯州

(72)发明人 凯·切斯纳特
罗伯特·M·马蒂内利
安东尼·C·勒 玛丽安娜·杜利

(74)专利代理机构 北京康信知识产权代理有限
责任公司 11240
代理人 余刚 吴孟秋

(51)Int.Cl.

H02H 9/00(2006.01)

H02H 9/02(2006.01)

(56)对比文件

US 2006221650 A1,2006.10.05,

US 3810697 A,1974.05.14,

CN 103077946 A,2013.05.01,

US 6703889 B2,2004.03.09,

CN 101032026 A,2007.09.05,

US 5774406 A,1998.06.30,

审查员 李爽

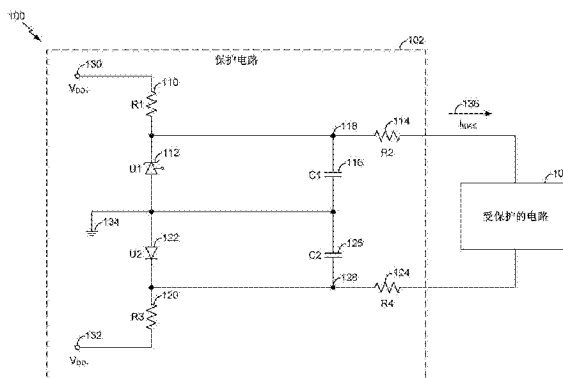
权利要求书3页 说明书11页 附图2页

(54)发明名称

强电流事件缓解电路

(57)摘要

本发明提供了强电流事件缓解电路。一种保护电路包括配置为耦接至受保护的电路的第一阻抗元件。第一阻抗元件具有特定的阻抗值。保护电路还包括耦接至第一阻抗元件的电压调节器。特定阻抗值被选择为使提供至受保护的电路的偏置电流的大小保持在与受保护的电路相关的第一工作电流范围之内并且保持在与受保护的电路相关联的锁定保持电流值之下。



1. 一种保护电路,包括:

第一阻抗元件,被配置为耦接在电源和特定节点之间,其中所述第一阻抗元件具有特定阻抗值;

电压调节器,耦接在所述特定节点和地之间;

旁路电容器,耦接在所述特定节点和地之间;以及

第二阻抗元件,耦接在所述特定节点与受保护的电路之间,

其中,所述特定阻抗值被选择为允许提供至所述受保护的电路的偏置电流的大小保持在与所述受保护的电路相关联的第一工作电流范围之内并且保持在与所述受保护的电路相关联的锁定保持电流值之下,以及其中,所述旁路电容器的电容值小于或等于0.1微法,并且其中所述第二阻抗元件的阻抗值小于或等于10欧姆。

2. 根据权利要求1所述的保护电路,其中所述偏置电流通过所述第一阻抗元件和所述电压调节器生成。

3. 根据权利要求1所述的保护电路,其中,所述电压调节器和所述第一阻抗元件被配置为缓解由带电粒子与所述受保护的电路碰撞所引起的强电流事件的影响。

4. 根据权利要求1所述的保护电路,其中,所述偏置电流的大小在所述锁定保持电流值以下以允许所述受保护的电路在强电流事件之后自主地从锁定状态转变至正常操作状态。

5. 根据权利要求4所述的保护电路,其中,所述受保护的电路在所述受保护的电路从所述锁定状态转变至所述正常操作状态期间保持耦接至一个或多个电源。

6. 根据权利要求1所述的保护电路,其中,所述第一阻抗元件包括电阻器。

7. 根据权利要求1所述的保护电路,其中,所述第一阻抗元件包括电流源。

8. 根据权利要求1所述的保护电路,其中,所述第二阻抗元件被配置为通过消散来自所述保护电路的能量的一部分并且不提供消散的能量部分到所述受保护的电路,来减少强电流事件期间提供至所述受保护的电路的能量。

9. 一种强电流事件缓解电路,包括:受保护的电路以及耦接至所述受保护的电路的保护电路,其中,所述保护电路包括:

第一阻抗元件;

耦接至所述第一阻抗元件的电压调节器;

耦接至所述电压调节器和所述第一阻抗元件的旁路电容器;以及

耦接在所述旁路电容器和所述受保护的电路之间的第二阻抗元件,其中,所述第二阻抗元件被配置为通过消散来自所述保护电路的能量的一部分并且不提供消散的能量部分到所述受保护的电路,来减少强电流事件期间提供至所述受保护的电路的能量,

其中,所述第一阻抗元件耦接在电源与特定节点之间,其中,所述电压调节器和所述旁路电容器耦接在所述特定节点和地之间,其中,所述第二阻抗元件耦接在所述特定节点和所述受保护的电路之间。

10. 根据权利要求9所述的强电流事件缓解电路,其中,所述旁路电容器耦接至所述受保护的电路。

11. 根据权利要求9所述的强电流事件缓解电路,其中,所述第二阻抗元件的特定阻抗值被选择为允许所述受保护的电路从锁定状态转变至正常操作状态而不需要将电源与所述保护电路断开。

12. 根据权利要求9所述的强电流事件缓解电路,其中,所述第二阻抗元件的特定阻抗值基于阈值能量水平、阈值温度、潜在损坏阈值锁定时长或者它们的组合来选择。

13. 根据权利要求12所述的强电流事件缓解电路,其中,所述旁路电容器的电容值基于阈值能量水平、阈值温度、潜在损坏阈值锁定时长或者它们的组合以及基于所述受保护的电路的开关噪声容许量来选择。

14. 根据权利要求9所述的强电流事件缓解电路,其中,所述第二阻抗元件和所述旁路电容器被配置为防止强电流事件期间提供至所述受保护的电路的能量达到阈值能量水平,并且其中所述阈值能量水平与所述受保护的电路内的可能潜在故障相关联。

15. 根据权利要求9所述的强电流事件缓解电路,其中,所述旁路电容器的电容值小于或等于0.1微法,并且其中,所述第二阻抗元件的阻抗值小于或等于10欧姆。

16. 一种强电流事件缓解方法,包括:

提供偏置电流到受保护的电路,其中所述偏置电流由耦接至所述受保护的电路的保护电路提供,其中,所述保护电路包括第一阻抗元件,被配置为耦接在电源和特定节点之间,其中所述第一阻抗元件具有特定阻抗值;电压调节器,耦接在所述特定节点和地之间;第二阻抗元件,耦接在所述特定节点与受保护的电路之间,其中,所述特定阻抗值被选择为允许提供至所述受保护的电路的偏置电流的大小保持在与所述受保护的电路相关联的第一工作电流范围之内并且保持在与所述受保护的电路相关联的锁定保持电流值之下;以及

在使得所述受保护的电路进入锁定状态的强电流事件期间在所述保护电路中消散能量,其中所述保护电路消散足够的能量以使所述受保护的电路自主地退出所述锁定状态,其中在所述保护电路中消散所述能量使所述受保护的电路的温度在所述强电流事件期间维持在阈值温度以下,以及其中,所述保护电路被配置为缓解由带电粒子与所述受保护的电路碰撞所引起的强电流事件的影响。

17. 根据权利要求16所述的强电流事件缓解方法,其中,所述受保护的电路从所述锁定状态退为正常操作状态而不将耦接至所述保护电路的电源断开。

18. 根据权利要求16所述的强电流事件缓解方法,其中,在所述保护电路中消散所述能量使所述受保护的电路处于所述锁定状态的时长维持在潜在损坏阈值锁定时长以下。

19. 根据权利要求18所述的强电流事件缓解方法,其中,所述保护电路包括旁路电容器,其中所述时长基于所述第二阻抗元件的阻抗和所述旁路电容器的电容。

20. 一种保护电路,包括:

第一阻抗元件,被配置为耦接至受保护的电路,其中所述第一阻抗元件具有特定阻抗值;

第二阻抗元件,耦接在特定节点和所述受保护的电路之间;以及

电压调节器,耦接至所述第一阻抗元件,

其中,所述特定阻抗值被选择为允许提供至所述受保护的电路的偏置电流的大小保持在与所述受保护的电路相关联的第一工作电流范围之内并且保持在与所述受保护的电路相关联的锁定保持电流值之下,其中,所述电压调节器和所述第一阻抗元件被配置为缓解由带电粒子与所述受保护的电路碰撞所引起的强电流事件的影响,

其中,所述第一阻抗元件耦接在电源和所述特定节点之间,其中所述电压调节器耦接在所述特定节点和地之间。

21. 一种强电流事件缓解电路,包括:受保护的电路以及耦接至所述受保护的电路的保护电路,其中,所述保护电路包括:

第一阻抗元件;

耦接至所述第一阻抗元件的电压调节器;

耦接至所述电压调节器和所述第一阻抗元件的旁路电容器;以及

耦接在所述旁路电容器和所述受保护的电路之间的第二阻抗元件,其中,所述第二阻抗元件的特定电阻值被选择为允许所述受保护的电路从锁定状态转变为正常操作状态而不将耦接至所述保护电路的电源断开,以及其中,所述旁路电容器的电容值小于或等于0.1微法,并且其中所述第二阻抗元件的阻抗值小于或等于10欧姆,

其中,所述第一阻抗元件耦接在电源和特定节点之间,其中所述电压调节器和所述旁路电容器耦接在所述特定节点和地之间,并且其中所述第二阻抗元件耦接在所述特定节点和所述受保护的电路之间。

22. 一种强电流事件缓解电路,包括:受保护的电路以及耦接至所述受保护的电路的保护电路,其中,所述保护电路包括:

第一阻抗元件;

耦接至所述第一阻抗元件的电压调节器;

耦接至所述电压调节器和所述第一阻抗元件的旁路电容器;以及

耦接在所述旁路电容器和所述受保护的电路之间的第二阻抗元件,其中,所述第二阻抗元件的特定电阻值基于阈值能量水平、阈值温度、潜在损坏阈值锁定时长或者它们的组合来选择,以及其中,所述电压调节器和所述第一阻抗元件被配置为缓解由带电粒子与所述受保护的电路碰撞所引起的强电流事件的影响,

其中,所述第一阻抗元件耦接在电源和特定节点之间,其中所述电压调节器和所述旁路电容器耦接在所述特定节点和地之间,并且其中所述第二阻抗元件耦接在所述特定节点和所述受保护的电路之间。

23. 一种保护电路,包括:

第一阻抗元件;

电压调节器,耦接至所述第一阻抗元件;

旁路电容器,耦接至所述电压调节器和所述第一阻抗元件;以及

第二阻抗元件,耦接在所述旁路电容器与受保护的电路之间,

其中,所述第二阻抗元件和所述旁路电容器被配置为防止强电流事件期间提供至所述受保护的电路的能量达到阈值能量水平,并且其中所述阈值能量水平与所述受保护的电路内的可能潜在故障相关联,其中,所述第一阻抗元件耦接在电源与特定节点之间,其中,所述电压调节器和所述旁路电容器耦接在所述特定节点与地之间,并且其中所述第二阻抗元件耦接在所述特定节点与所述受保护的电路之间。

强电流事件缓解电路

技术领域

[0001] 本公开涉及缓解强电流事件的电路。

背景技术

[0002] 集成电路及其他半导体器件可以用在辐射可以引起强电流事件的环境中。例如，宇宙空间中或者暴露于核辐射环境中的集成电路会经历由高能粒子(诸如与宇宙辐射或者核辐射有关的高能质子或离子)与集成电路的碰撞所产生的瞬时电压峰值或者瞬时电流峰值(例如强电流事件)。当集成电路包括金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET)电路时，这种碰撞会引起所述集成电路“锁定”或者进入锁定状态。

[0003] 当集成电路进入锁定状态时，会在集成电路的电源轨之间建立低阻抗路径(例如短路)。当流过集成电路的电流大小不再超过锁定保持电流值时，集成电路可以从锁定状态转变至正常操作状态(例如退出锁定状态)。如果集成电路长时间保持在锁定状态中，则会在集成电路内出现潜在故障。潜在故障可以表示集成电路的不会引起立即错误的损坏，因此这种损坏难以检测。例如，集成电路的区域会由于流过集成电路的电流而熔化，但是集成电路可能不会产生可检出的错误直至稍后的时间。

[0004] 一些集成电路可以使用锁定恢复电路来检测锁定状态并且将集成电路与一个或多个电源断开。在断开一个或多个电源之后，会对一个或多个电源进行电力循环以重置电压电平并且从锁定状态中恢复集成电路。锁定状态的检测以及集成电路从一个或多个电源的断开的时长数量级为数百纳秒。根据流过集成电路的电流量和/或集成电路的温度，在集成电路从一个或多个电源断开之前就可能发生潜在故障。因此，锁定恢复电路可能不足够迅速地操作以防止在集成电路内发生潜在故障。此外，用于检测锁定状态以及从一个或多个电源断开集成电路的电路元件增加了锁定恢复电路的附加成本和复杂度。

发明内容

[0005] 本文中公开的具体实施方式提供了一种强电流事件缓解电路，包括被配置为缓解强电流事件对受保护的电路的影响的保护电路。保护电路可以耦接至受保护的电路并且可以被配置为提供偏置电流给受保护的电路。保护电路可以包括耦接至电压调节器的第一阻抗元件。提供至受保护的电路的偏置电流的大小可以与第一阻抗元件的第一阻抗值相关。第一阻抗元件的第一阻抗值可以被选择为使得偏置电流的大小在受保护的电路正常操作期间中的工作电流范围内并且大小低于锁定保持电流值。通过这样选择第一阻抗值，保护电路可以被配置为能够使受保护的电路在强电流事件之后自主地从锁定状态转变至正常操作状态。

[0006] 保护电路可以进一步包括耦接至第一阻抗元件以及电压调节器的旁路电容器；以及耦接在旁路电容器和受保护的电路之间的第二阻抗元件。第二阻抗元件可以被配置为通过在保护电路中消散一部分能量而无需将该部分能量提供给受保护的电路，来减少提供至受保护的电路的能量。例如，第二阻抗元件可以通过将该部分能量转换为热量而消散该部

分能量。第二阻抗元件的第二阻抗值可以基于与受保护的电路内发生的潜在故障有关的阈值能量水平、阈值温度、潜在损坏阈值锁定时长或者上述的组合来选择。通过这样选择第二阻抗值,第二阻抗元件可以被配置为消散足够的能量以使受保护的电路在经历潜在故障之前退出锁定状态。例如,当受保护的电路经历锁定事件时,第二阻抗元件可以消散提供至受保护的电路的能量的一部分,以足够使受保护的电路在受保护的电路经历潜在故障之前退出锁定状态。

[0007] 通过向受保护的电路提供具有低于锁定保持电流值的大小的偏置电流,保护电路可以允许受保护的电路在强电流事件之后自主地退出锁定状态。因此,与检测强电流水平并且从一个或多个电源断开集成电路以从锁定状态恢复的锁定恢复电路相比,可以减少保护电路的成本和复杂度。此外,通过在保护电路中消散足够的能量,保护电路可以使受保护的电路在受保护的电路经历潜在故障之前退出锁定状态。因此,经受锁定的集成电路或者其它半导体器件可以用在会发生强电流事件的环境中。

[0008] 在具体实施方式中,保护电路包括配置为耦接至受保护的电路的第一阻抗。第一阻抗元件具有特定阻抗值。保护电路还包括耦接至第一阻抗元件的电压调节器。特定阻抗值被选择为使提供至受保护的电路的偏置电流的大小保持在与受保护的电路相关联的第一工作电流范围之内,并且保持在与受保护的电路相关联的锁定保持电流值之下。

[0009] 在另一个具体实施方式中,一种电路包括受保护的电路。该电路还包括耦接至受保护的电路的保护电路。保护电路包括第一阻抗元件。保护电路还包括耦接至第一阻抗元件的电压调节器。保护电路包括耦接至电压调节器和第一阻抗元件的旁路电容器。保护电路还包括耦接在旁路电容器和受保护的电路之间的第二阻抗元件。

[0010] 在另一个具体实施方式中,一种方法包括提供偏置电流至受保护的电路。偏置电流由耦接至受保护的电路的保护电路提供。该方法还包括在促使受保护的电路进入锁定状态的强电流事件期间在保护电路中消散能量。保护电路消散足够的能量以使受保护的电路能够自主地退出锁定状态。

[0011] 此外,本公开包括根据以下条目的实施方式:

[0012] 条目1.一种保护电路,包括:第一阻抗元件,被配置为耦接至受保护的电路,其中第一阻抗元件具有特定阻抗值;以及电压调节器,耦接至第一阻抗元件,其中特定阻抗值被选择为允许提供至受保护的电路的偏置电流的大小保持在与受保护的电路相关联的第一工作电流范围之内以及保持在与受保护的电路相关联的锁定保持电流值之下。

[0013] 条目2.根据条目1的保护电路,进一步包括耦接至第一阻抗元件和电压调节器的受保护的电路,其中偏置电流通过第一阻抗元件和电压调节器来生成。

[0014] 条目3.根据条目1的保护电路,其中电压调节器和第一阻抗元件被配置为缓解由带电粒子与受保护的电路碰撞所引起的强电流事件的影响。

[0015] 条目4.根据条目1的保护电路,其中偏置电流的大小在锁定保持电流值以下允许受保护的电路在强电流事件之后能够自主地从锁定状态转变至正常操作状态。

[0016] 条目5.根据条目4的保护电路,其中受保护的电路在受保护的电路从锁定状态转变至正常操作状态期间保持耦接至一个或多个电源。

[0017] 条目6.根据条目1的保护电路,其中第一阻抗元件包括电阻器。

[0018] 条目7.根据条目1的保护电路,其中第一阻抗元件包括电流源。

[0019] 条目8.根据条目1的保护电路,还包括:旁路电容器,耦接至第一阻抗元件、电压调节器以及受保护的电路;以及耦接在旁路电容器和受保护的电路之间的第二阻抗元件。

[0020] 条目9.根据条目8的保护电路,其中第一阻抗元件耦接在电源和特定节点之间,其中电压调节器和旁路电容器耦接在特定节点和地之间,并且其中第二阻抗元件耦接在特定节点和受保护的电路之间。

[0021] 条目10.一种电路包括:受保护的电路以及耦接至受保护的电路的保护电路,其中保护电路包括:第一阻抗元件;耦接至第一阻抗元件的电压调节器;耦接至电压调节器和第一阻抗元件的旁路电容器;以及耦接在旁路电容器和受保护的电路之间的第二阻抗元件。

[0022] 条目11.根据条目10的电路,其中,第二阻抗元件被配置为通过消散来自保护电路的能量的一部分并且不提供消散的能量部分到受保护的电路,来减少强电流事件期间提供至受保护的电路的能量。

[0023] 条目12.根据条目10的电路,其中第二阻抗元件的特定阻抗值被选择为允许受保护的电路从锁定状态转变至正常操作状态而不需要将耦接至保护电路的电源断开。

[0024] 条目13.根据条目10的电路,其中第二阻抗元件的特定阻抗值基于阈值能量水平、阈值温度、潜在损坏阈值锁定时长或者上述组合来选择。

[0025] 条目14.根据条目13的电路,其中旁路电容器的电容值基于阈值能量水平、阈值温度、潜在损坏阈值锁定时长或者上述组合以及基于受保护的电路的开关噪声容许量来选择。

[0026] 条目15.根据条目10的电路,其中第二阻抗元件和旁路电容器被配置为防止强电流事件期间提供至受保护的电路的能量达到阈值能量水平,并且其中阈值能量水平与受保护的电路内的潜在故障相关联。

[0027] 条目16.根据条目10的电路,其中旁路电容器的电容值小于或等于0.1微法,并且其中第二阻抗元件的阻抗值小于或等于10欧姆。

[0028] 条目17.一种方法包括:提供偏置电流至受保护的电路,其中偏置电流由耦接至受保护的电路的保护电路提供;以及在促使受保护的电路进入锁定状态的强电流事件期间在保护电路中消散能量,其中保护电路消散足够的能量以使受保护的电路能够自主地退出锁定状态。

[0029] 条目18.根据条目17的方法,其中在保护电路中消散能量使得受保护的电路的温度在强电流事件期间维持在阈值温度以下。

[0030] 条目19.根据条目17的方法,其中在保护电路中消散能量使得受保护的电路处于锁定状态的时长维持在潜在损坏阈值锁定时长以下。

[0031] 条目20.根据条目19的方法,其中保护电路包括旁路电容器和耦接在旁路电容器和受保护的电路之间的阻抗元件,并且其中时长基于阻抗元件的阻抗和旁路电容器的电容。

[0032] 已经描述的特征、功能以及优点可以在各个实施方式中独立地实现或者在其它实施方式中组合地实现,更多细节将参考以下说明和附图公开。

附图说明

[0033] 图1是示出强电流事件缓解电路的具体实施方式的示意图;以及

[0034] 图2是示出缓解强电流事件的方法的具体实施方式的流程图。

具体实施方式

[0035] 以下将参照附图描述本公开的具体实施方式。在描述中,贯穿全部的附图,共有的特征通过共有的参考数字指示。

[0036] 图1是示出强电流事件缓解电路(一般性地指定为100)的具体实施方式的示意图。如在本文中使用的,强电流事件是指引起具有足够导致受保护的电路104损坏的大小的瞬时电流的任何事件。例如,当保护电路102包括旁路电容器时,诸如第一旁路电容器116(C1),强电流事件可以是引起具有足够引起第一旁路电容器116(C1)放电的特定大小的瞬时电流的事件。强电流事件的示例可以包括静电放电(ESD),与带电粒子碰撞或者在受保护的电路104中引起瞬时电流的其它事件。强电流事件缓解电路100可以包括在平台内,诸如飞行器(例如固定翼飞机或者旋翼飞行器)、卫星、太空船、陆地交通工具(craft)或者船舶或者被配置为在经受由一个或多个带电粒子与强电流事件缓解电路100的受保护的电路104碰撞所引起的强电流事件的环境中使用。其他基本配套的结构或者平台。例如,强电流事件缓解电路100可被配置为在经受与诸如宇宙辐射或者核辐射的辐射相关联的带电粒子碰撞的环境中使用。

[0037] 强电流事件缓解电路100可以包括耦接至受保护的电路104的保护电路102。受保护的电路104可以包括特定的集成电路或者半导体器件,或者在强电流事件期间经受锁定的集成电路或者半导体器件的一部分。例如,受保护的电路104可以包括在强电流事件期间经受锁定的运算放大器(op-amp)。保护电路102还可以提供除传统静电放电(ESD)保护之外的保护或提供替代传统静电放电(ESD)保护的ESD保护。例如,耦接至电源的ESD电路可以缓解来自电源的瞬时电压峰值的影响,但是ESD电路不能缓解由带电粒子和受保护的电路104的表面之间的碰撞所引起的强电流事件的影响。保护电路102可以被配置为缓解由这种碰撞所引起的强电流事件的影响。例如,保护电路102可以位于受保护的电路104之内或者可以设置在一个或多个电源和对应的ESD电路的下游。

[0038] 在强电流事件期间,带电粒子和受保护的电路104之间的碰撞可以在受保护的电路104中引起瞬时强电流。当瞬时强电流超过阈值电流值时,受保护的电路104会进入锁定状态。例如,瞬时强电流会引起在op-amp的电源轨之间形成低阻抗路径(例如,短路),并且瞬时强电流可以在电源轨之间流动。瞬时强电流消散之后,只要流过受保护的电路104的电流的大小超过锁定保持电流值,受保护的电路104(例如op-amp)就会保持在锁定状态中。瞬时强电流消散之后,流过受保护的电路104的电流的大小可以减少到提供至受保护的电路104的电流(诸如偏置电流)的大小。在锁定保持电流值小于阈值电流值的情形中,受保护的电路104保持在锁定状态中的同时提供至受保护的电路104的电流的大小在阈值电流值和锁定保持电流值之间。

[0039] 保护电路102可以被配置为通过提供偏置电流136(I_{BIAS})到受保护的电路104以使受保护的电路104能够从锁定状态转变至正常操作状态(例如自主地退出锁定状态),来缓解强电流事件对受保护的电路104的影响。例如,强电流事件可以由带电粒子与受保护的电路104碰撞而在受保护的电路104中引起瞬时强电流所导致的。保护电路102可以被配置为维持偏置电流136(I_{BIAS})的大小在锁定保持电流值以下并且在受保护的电路104的工作电

流范围内。如本文中进一步描述的,保护电路102的一个或多个电路元件的一个或多个电特性的适宜的选择,可以使保护电路102能够提供具有不超过锁定保持电流值的大小的偏置电流136 (I_{BIAS})。

[0040] 在不包括保护电路102的电路中,强电流事件会导致提供至受保护的电路的偏置电流的大小在强电流事件结束后(例如,在瞬时强电流消散之后)超过锁定保持电流值,直至电源被断开或者直至电力循环(powercycling)被执行。然而,因为由受保护的电路104接收到的偏置电流136 (I_{BIAS})的大小不超过锁定保持电流值,所以流过受保护的电路104的电流在瞬时强电流消散之后降到锁定保持电流值以下。因此,受保护的电路104在强电流事件结束之后(例如瞬时强电流消散之后),可以自主地退出锁定状态,而不需要从一个或多个电源断开以及在一个或多个电源上执行电力循环从而减少流过受保护的电路104的电流。例如,受保护的电路104在受保护的电路104从锁定状态转变至正常操作状态期间可以保持耦接至一个或多个电源。一个或多个电源在强电流事件的整个过程中可以不被重置或者电力循环。保护电路102可以是无源电路。例如,保护电路102可以不包括被配置为有源地控制偏置电流136 (I_{BIAS})大小的晶体管或者开关。如另一个实例,保护电路102可以不包括感测电流电平或者电压电平的电路。因此,保护电路102可以允许受保护的电路自主地退出锁定状态,而无需执行任何的有源操作,诸如感测或者断开。此外,保护电路102可以在强电流事件期间缓解强电流事件对受保护的电路104的影响而无需提供额外的接地路径(例如分流)(诸如在传统ESD电路中)。因为保护电路102是无源电路,所以保护电路102能够减少复杂度并且相比于有源的锁定恢复电路更小(例如使用更小的芯片面积)。在经受与带电粒子碰撞的环境中使用的电路可以具有超过有源的锁定恢复电路的尺寸(例如芯片面积)约束。然而,保护电路102可以在由于芯片面积减少的这种电路中使用。因此,保护电路102可以是能够使受保护的电路104自主地退出由与带电粒子碰撞所引起的锁定状态的无源的、不需切换的电路。

[0041] 此外,保护电路102可以在受保护的电路104经历潜在故障之前促使受保护的电路104退出锁定状态。保护电路102可以通过消散一部分能量而无需提供该部分能量至受保护的电路104,来减少提供至受保护的电路104的能量。例如,保护电路102可以通过将部分能量转换为热量来在保护电路102中消散部分能量。通过减少提供至受保护的电路104的能量,保护电路102可以使受保护的电路104在经历潜在故障之前退出锁定状态,诸如在强电流事件期间的金属线熔化、或者掺杂物在受保护的电路104的区域之间迁移。

[0042] 保护电路102可以包括阻抗元件110 (R1)、114 (R2)、120 (R3) 以及124 (R4);电压调节器112 (U1) 和122 (U2);旁路电容器116 (C1) 和126 (C2);以及电源轨130 (V_{DD+}) 和132 (V_{DD-})。保护电路102的第一部分可以包括耦接在正电源轨130 (V_{DD+}) 和第一节点118之间的第一阻抗元件110 (R1),耦接在接地134和第一节点118之间的第一电压调节器112 (U1),耦接在接地134和第一节点118之间的第一旁路电容器116 (C1),以及耦接在第一节点118和受保护的电路104之间(例如耦接在第一旁路电容器116 (C1) 和受保护的电路104之间)的第二阻抗元件114 (R2)。保护电路102的第二部分包括耦接在负电源轨132 (V_{DD-}) 和第二节点128之间的第三阻抗元件120 (R3),耦接在接地134和第二节点128之间的第二电压调节器122 (U2),耦接在接地134和第二节点128之间的第二旁路电容器126 (C2),以及耦接在第二节点128和受保护的电路104之间(例如耦接在第二旁路电容器126 (C2) 和受保护的电路104之间)的第四

阻抗元件124 (R4)。

[0043] 当通过正电源轨130 (V_{DD+}) 和通过负电源轨132 (V_{DD-}) 提供电力时,保护电路102可以提供偏置电流136 (I_{BIAS}) 到受保护的电路104。例如,正电源轨130 (V_{DD+}) 和负电源轨132 (V_{DD-}) 可以分别耦接至正电源和负电源,使得偏置电流136 (I_{BIAS}) 流过保护电路102并且流到受保护的电路104。

[0044] 偏置电流136 (I_{BIAS}) 的大小可以与第一阻抗元件110 (R1) 和第二阻抗元件114 (R2) 有关。第一阻抗元件110 (R1) 可以包括在保护电路102中提供选择的阻抗的任何电路元件。例如,第一阻抗元件110 (R1) 可以包括电阻器。如另一个实施例,第一阻抗元件110 (R1) 可以是配置为产生偏置电流136 (I_{BIAS}) 的电流源。第二阻抗元件114 (R2) 可以包括在保护电路102内的消散能量的任何电路元件,诸如电阻器。与偏置电流136 (I_{BIAS}) 有关的开关噪声可以通过使用第一旁路电容器116 (C1) 来减少。例如,第一旁路电容器116 (C1) 可以被配置为将开关噪声减小到受保护的电路104的开关噪声容许量内。

[0045] 第一节点118的电压电平可以在温度改变期间基本上是恒定的。例如,第一电压调节器112 (U1) 可以被配置为允许第一节点118的电压电平基本上与温度无关。第一电压调节器112 (U1) 可以包括能够承受在不同温度时的第一节点118的电压电平的任何设备。例如,第一电压调节器112 (U1) 可以包括诸如齐纳二极管的二极管,其在较宽的温度范围内提供基本上恒定的、独立于温度的电压。因此提供至受保护的电路104的偏压可以在不同温度时基本上恒定的。

[0046] 接收偏置电流136 (I_{BIAS}) 和偏压能够允许受保护的电路在正常操作状态中执行一个或多个功能。例如,当受保护的电路104是op-amp并且是在正常操作状态中时,op-amp能够比较两个输入电压。然而,在强电流事件期间,受保护的电路104能够从正常操作状态转变至锁定状态。强电流事件能够引起瞬时强电流流过受保护的电路104 (例如,在op-amp的电源轨之间)。当在锁定状态中时,受保护的电路104 (例如,op-amp) 会不正确地比较两个输入电压。保护电路102可以被配置为缓解强电流事件对受保护的电路104的影响。例如,保护电路102可以被配置为通过维持提供至受保护的电路104的偏置电流136 (I_{BIAS}) 的大小低于锁定保持电流值,来允许受保护的电路104能够自主地从锁定状态转变至正常操作状态。偏置电流136 (I_{BIAS}) 的大小能够基于保护电路102的一个或多个电特性来确定。

[0047] 为了缓解强电流事件对受保护的电路104的影响,保护电路102能够基于受保护的电路104的一个或多个电特性设计 (例如,可以选择保护电路102的一个或多个电特性)。受保护的电路104的一个或多个电特性能够通过分析受保护的电路104、分析与受保护的电路104有关的经验数据或者上述组合来确定。一个或多个电特性能够通过研究在与受保护的电路相同 (或者相似) 的测试电路上模拟的强电流事件来确定。例如,可以使用激光模拟测试电路中的强电流事件 (测试电路可以包括与受保护的电路104相同类型的op-amp)。在模拟的强电流事件期间,可以使用诸如示波器的一个或多个工具来研究测试电路,并且可以获取诸如电流电平、电压电平、温度、能量水平或者其组合的测量结果。测量结果可以用于确定与受保护的电路104的一个或多个特性对应的测试电路的一个或多个电特性。例如,锁定保持电流值和阈值电流值能够基于表示测试电路何时进入锁定状态 (例如当流过测试电路的电流增加时) 的测量结果来确定。模拟的强电流事件能够引起导致测试电路内的潜在故障的瞬时强电流。阈值能量水平、阈值温度、潜在损坏阈值锁定时长或者上述的组合能够

基于潜在故障发生时测试电路的电压、电流、能量水平、温度、将模拟强电流事件施加到测试电路与发生潜在故障之间的时间长度、或者上述的组合来确定。

[0048] 保护电路102可以基于受保护的电路104的一个或多个电特性来设计,以使保护电路102能够缓解强电流事件对受保护的电路104的影响。在保护电路102的设计过程中,保护电路102的一个或多个电路元件可以基于受保护的电路104的一个或多个电特性选择。例如本文中进一步描述的,第一阻抗元件110 (R1) 的第一阻抗值可以基于受保护的电路104的工作电流范围和锁定保持电流值选择。具有第一阻抗的特定阻抗元件可以基于选择而包含在保护电路102中。其它电路元件的其它电特性可以在设计过程中以相似方法选择。

[0049] 第一阻抗值可以基于与受保护的电路104相关联的工作电流范围以及基于与受保护的电路104相关联的锁定保持电流值选择。第一阻抗值可以被选择为允许偏置电流136 (I_{BIAS}) 的大小不超过特定值(例如,在特定范围内)而不管受保护的电路104是在正常操作状态还是锁定状态。例如,可将第一阻抗元件110 (R1) 的第一阻抗值选择得足够高以使偏置电流136 (I_{BIAS}) 的大小低于锁定保持电流值并且选择得足够低以使偏置电流136 (I_{BIAS}) 的大小在与受保护的电路104相关联的工作电流范围内。在具体的实施方式中,第一阻抗元件110 (R1) 的第一阻抗值可以大于或等于2千欧姆。例如,当保护电路102通过正13伏特电源和负13伏特电源供电时,受保护的电路104的最小工作电流为5毫安 (mA), 以及锁定保持电流值为10mA, 第一阻抗值可以近似于2.5千欧姆。在这种情况下,使用近似于2.5千欧姆的电阻器作为第一阻抗元件110 (R1) 会使偏置电流136 (I_{BIAS}) 的大小高于5mA(例如,在受保护的电路104的工作电流范围内) 并且低于10mA(例如,锁定保持电流值)。第一阻抗元件110 (R1) 的第一阻抗值可以进一步基于与第一电压调节器112 (U1) 相关联的不同工作电流范围选择。例如,第一阻抗值可以被适宜地选择为允许偏置电流136 (I_{BIAS}) 的大小在受保护的电路104的工作电流范围之内,在第一电压调节器112 (U1) 的不同工作电流范围之内以及低于锁定保持电流值。当偏置电流136 (I_{BIAS}) 的大小在不同的工作电流范围之内时,第一电压调节器112 (U1) 会处于调节状态中(例如,第一电压调节器112 (U1) 能够调节第一节点118的电压电平)。受保护的电路104的工作范围以及第一电压调节器112 (U1) 的不同的工作范围可以重叠,以使得偏置电流136 (I_{BIAS}) 的大小可以在两个范围之内。

[0050] 第一旁路电容器116 (C1) 的第一电容值可以被选择为减少与偏置电流136 (I_{BIAS}) 相关联的开关噪声以及减少受保护的电路104处于锁定状态中的时长。例如,在受保护的电路104进入锁定状态之后,提供至受保护的电路104的能量可以因第一旁路电容器116 (C1) 的放电而产生。受保护的电路104处于锁定状态中的时长可基于提供至受保护的电路104的能量的量,其中该能量的量可以与通过第一旁路电容器116 (C1) 放电的能量相关。例如,当额外的能量提供至受保护的电路104时,流过受保护的电路104的瞬时强电流会保持在锁定保持电流值之上。当受保护的电路104接收能量时(例如,当受保护的电路104保持在锁定状态中时),受保护的电路104的温度增加。

[0051] 第一旁路电容器116 (C1) 的第一电容值的适宜的选择能够减少提供至受保护的电路104的能量的量以及受保护的电路104处于锁定状态中的时长。例如,可以将第一电容值选择为足够低来减少受保护的电路104处于锁定状态中的时长,并且选择被足够高来允许开关噪声在受保护的电路104的开关噪声容许量的范围之内。在具体的实施方式中,第一电容值可以选择为使开关噪声能够在受保护的电路104的开关噪声容许量的范围之内

电容值。例如,第一电容值可以小于或等于0.1微法。如另一个实施例,第一电容值可以小于1微法旁路电容器至少一个量级。

[0052] 第二阻抗元件114 (R2) 的第二阻抗值可以被选择为允许保护电路102减少提供至受保护的电路104的能量。减少提供至受保护的电路104的能量能够在受保护的电路104处于锁定状态中使流过受保护的电路104的瞬时强电流减少到锁定保持电流值之下,而无需从保护电路102断开一个或多个电源。例如,第二阻抗元件114 (R2) 可以被配置为通过消散来自保护电路102的能量的一部分而不提供该部分(例如,消散的部分)能量到受保护的电路104,来减少提供至受保护的电路104的能量。如以上说明的,当受保护的电路104处于锁定状态时,能量通过第一旁路电容器116 (C1) 释放,并且第二阻抗元件114 (R2) 能够在保护电路102内消散一部分能量以减少提供至受保护的电路104的能量。例如,第二阻抗元件114 (R2) 能够通过将该部分能量转换为热量,在保护电路102中消散部分能量。然而,在第一旁路电容器116 (C1) 和受保护的电路104之间包括第二阻抗元件114 (R2) 会增加受保护的电路104的开关噪声。可以选择足够高的第二阻抗值,以在保护电路102中消散能量而不会导致开关噪声超过受保护的电路104的开关噪声容许量。在具体的实施方式中,第二阻抗值可以小于或等于10欧姆。在另一个实施方式中,第二阻抗值可以近似于0欧姆(例如,第二阻抗元件114 (R2) 可以不包含在保护电路102中)。第二阻抗值可以进一步被选择为,在受保护的电路104处于锁定状态时使得第二阻抗元件114 (R2) 的阻抗大于受保护的电路104的阻抗。

[0053] 受保护的电路处于锁定状态的时长可以基于第一旁路电容器116 (C1) 的第一电容值以及第二阻抗元件114 (R2) 的第二阻抗值来确定。例如,时长可以与第一电容值和第二阻抗值、以及受保护的电路104的锁定特性(例如,锁定保持电流值或者锁定保持电压值)相关。时长还可以与提供至受保护的电路104的偏置电流136 (I_{BIAS}) 的大小相关联。时长还可以与第一阻抗元件110 (R1) 的第一阻抗值相关联。在具体的实施方式中,时长和第一阻抗值之间的关系可以是二阶关系。通过适宜地选择第一电容值和第二阻抗值(以及第一阻抗值),保护电路102可以被配置为减少提供至受保护的电路104的能量并且防止时长超过潜在损坏阈值锁定时长。阈值时长可以与受保护的电路104内的潜在故障相关联。减少提供至受保护的电路104的能量能够使受保护的电路104在超过潜在损坏阈值锁定时长之前自主地退出锁定状态。此外,减少提供至受保护的电路104的能量能够防止能量超过阈值能量水平并且能够防止受保护的电路104的温度超过阈值温度。阈值能量水平以及阈值温度可以与受保护的电路104内的潜在故障相关联。如以上说明的,潜在损坏阈值锁定时长、阈值能量水平以及阈值温度能够通过测量与在相似于受保护的电路104的测试电路出现潜在故障相关联的值确定。例如,当测试电路的温度超过400°摄氏度(C)时,潜在故障会出现在测试电路中。潜在故障可以包括在测试电路中的区域之间的掺杂原子移动。在该示例中,第一电容值和第二阻抗值可以被选择为使得受保护的电路104的温度不超过400°C。如另一个实施例,潜在故障可以包括当提供至测试电路的能量的量超过阈值能量水平时,测试电路中的一个或多个金属线的电迁移。阈值能量水平可以与测试电路的阈值电流密度对应。在该示例中,第一电容值和第二阻抗值可以被选择为,使得提供至受保护的电路104的能量的量不超过阈值能量水平。因此,第一电容值和第二阻抗值可以基于潜在损坏阈值锁定时长、阈值能量水平、阈值温度或者其组合来选择。通过减少提供至受保护的电路104的能量,保护电路102能够防止一个或多个受保护的电路104超过与受保护的电路104内的潜在故障相关联

的一个或多个阈值。

[0054] 保护电路102的第二部分的电特性(诸如第三阻抗元件120(R3)的第三阻抗值、第四阻抗元件124(R4)的第四阻抗值、以及第二旁路电容器126(C2)的第二电容值)可以以分别与第一阻抗元件110(R1)的第一阻抗值、第二阻抗元件114(R2)的第二阻抗值以及第一旁路电容器116(C1)的第一电容值类似的方式选择。然而,保护电路102的第二部分能够缓解负极性强电流事件的影响,而保护电路102的第一部分能够缓解正极性强电流事件。

[0055] 在强电流事件缓解电路100的操作中,保护电路102可以通过电源轨130和132耦接至一个或多个电源,以提供偏置电流136(I_{BIAS})到受保护的电路104。偏置电流136(I_{BIAS})的大小可以在与受保护的电路104相关联的工作电流范围之内并且低于锁定保持电流值。在强电流事件期间,受保护的电路104能够进入锁定状态并且瞬时强电流可以流过受保护的电路104。偏置电流136(I_{BIAS})的大小保持在锁定保持电流值之下。保护电路102能够通过消散来自保护电路102的能量的部分而不提供消散的能量部分到受保护的电路104,来减少提供至受保护的电路104的能量。通过维持偏置电流136(I_{BIAS})的大小在锁定保持电流值之下并且通过在保护电路102中消散部分能量,当强电流事件结束时,保护电路102能够使流过受保护的电路104的电流的大小低于锁定保持电流值。当流过受保护的电路104的电流的大小低于锁定保持电流值时,受保护的电路104自主地从锁定状态转变至正常操作状态。

[0056] 通过提供偏置电流136(I_{BIAS})到受保护的电路104,以使得偏置电流136(I_{BIAS})不超过锁定保持电流值,当强电流结束时,保护电路102能够使受保护的电路104自主地退出锁定状态而不需断开受保护的电路104。因为保护电路102是无源电路,保护电路102提供了比感测电流电平或者电压电平并且从一个或多个电源断开集成电路的有源锁定恢复电路更快的锁定恢复。此外,保护电路102提供了比使用开关来控制偏压或者偏置电流、或者执行电力循环的有源锁定恢复电路更快的锁定恢复。因此,保护电路102与感测强电流电平、从一个或多个电源断开集成电路、执行电力循环、或者使用开关控制偏压或者偏置电流以促进集成电路退出锁定状态的有源锁定恢复电路相比,可以减少成本和复杂度。更快的锁定恢复以及减少的成本和复杂度能够使保护电路102用在经受由与带电粒子碰撞所引起的强电流事件的环境中,诸如经受辐射的环境中。此外,通过在保护电路102中消散部分能量(例如通过第二阻抗元件114(R2)),保护电路102能够防止受保护的电路104超过与受保护的电路104内的潜在故障相关联的一个或多个阈值。因此,通过使用包括保护电路102的强电流事件缓解电路100,经受锁定状态的集成电路可以包括在被配置为用在经受强电流事件的诸如太空中或者在电离辐射的环境中的设备中。

[0057] 图2是示出缓解强电流事件的方法200的具体实施方式的流程图。强电流事件能够通过使用诸如图1中的强电流事件缓解电路100的强电流事件缓解电路来缓解。强电流事件缓解电路能够用在受保护的电路经受瞬时强电流的环境中。例如,强电流事件缓解电路能够包括在被配置为在太空或者电离辐射环境中使用的设备中,这些环境经受由高能粒子或者离子冲击所引起的强电流事件。

[0058] 方法200包括在202提供偏置电流到受保护的电路。例如,偏置电流可以包括图1的偏置电流136(I_{BIAS}),以及受保护的电路可以包括图1的受保护的电路104。偏置电流由耦接至受保护的电路的保护电路提供。例如,保护电路可以包括图1的保护电路102。保护电路可以是无源电路(例如,保护电路可以不包括诸如开关或者晶体管的有源元件)。偏置电流的

大小可以与保护电路的第一阻抗元件的第一阻抗值以及保护电路的电源电压相关。第一阻抗元件可以包括图1的第一阻抗元件110 (R1)。第一阻抗被选择为使保护电路能够维持偏置电流的大小在与受保护的电路相关联的锁定保持电流值之下。

[0059] 在204,可以在强电流事件期间将能量在保护电路内消散。强电流事件会导致受保护的电路进入锁定状态。例如,强电流事件会导致瞬时强电流流过受保护的电路,这使得受保护的电路由于瞬时强电流超过锁定电流阈值而进入锁定状态。从保护电路提供至受保护的电路的能量还可以促使受保护的电路进入锁定状态。受保护的电路可以保持在锁定状态中,直至流过受保护的电路的电流不再超过锁定保持电流值。保护电路可以被配置为允许受保护的电路在强电流事件结束后自主地退出锁定状态而不是保持在锁定状态中。

[0060] 保护电路能够消散足够的能量以允许受保护的电路自主地退出锁定状态。当流过受保护的器件的电流在锁定保持电流值以下时,受保护的电路能够自主地退出锁定状态。例如,当强电流事件结束(例如,消散)时,流过受保护的电路的电流会降到锁定保持电流值之下(基于提供至受保护的电路的偏置电流的大小以及保护电路中的能量的减少)。因此,保护电路可以被配置为消散能量,以使得受保护的电路在强电流事件结束之后不保持在锁定状态中。例如,保护电路可以包括被配置为减少提供至受保护的电路的能量的第二阻抗元件。第二阻抗元件可以包括图1中的第二阻抗元件114 (R2)。第二阻抗元件能够通过保护电路中消散一部分能量而不将该部分能量提供至受保护的电路,来减少提供至受保护的电路的能量,诸如通过转换部分能量成为热量。在保护电路中消散的能量的量可以与第二阻抗元件的第二阻抗值相关联。通过在保护电路中消散部分能量并且通过维持偏置电流的大小在锁定保持电流值以下,在强电流事件结束之后流过受保护的电路的电流降到锁定保持电流值以下,并且受保护的电路自主地退出锁定状态。

[0061] 此外,减少提供至受保护的电路的能量能够缓解强电流事件对受保护的电路的影响。对受保护的电路的损坏(诸如潜在故障)可基于强电流事件的电流密度以及受保护的电路的后续锁定。例如,具有较大电流密度的强电流事件会比具有较小电流密度的强电流事件给受保护的电路更快的带来损坏。减少提供至受保护的电路的能量能够减少与受保护的电路相关联的电流密度,并且能够减少受保护的电路处于锁定状态中的时长。例如,当提供至受保护的电路的能量超过阈值能量水平时,当受保护的电路的温度超过阈值温度时,或者当受保护的电路处于锁定状态中的时长超过潜在损坏阈值锁定时长时,潜在故障会出现在受保护的电路中。提供至受保护的电路的能量的量可以与第二阻抗元件的第二阻抗值和保护电路的旁路电容器的电容值相关联。旁路电容器可以包括图1中的第一旁路电容器116 (C1)。因此,适宜地选择第二阻抗值和电容值能够防止提供至受保护的电路的能量超过阈值能量水平。适宜地选择第二阻抗值和电容值也可以防止受保护的电路的温度超过阈值温度和/或防止时长超过潜在损坏阈值锁定时长。

[0062] 通过在保护电路中消散足够的能量,图2中的方法200能够允许在强电流事件之后受保护的电路自主地退出锁定状态。例如,在强电流事件结束之后,当流过受保护的电路的电流由于在保护电路中能量的消散以及由于偏置电流的大小保持在锁定保持电流值以下而降到锁定电流保持值以下时,受保护的电路能够自主地退出锁定状态。此外,比使用有源电路(诸如感测电流电平、从集成电路断开电源、或者使用一个或多个开关控制电压或者电流电平的电路)相比,通过使用无源电路消散能量,方法200会使受保护的电路更快地自主

地退出锁定状态。因此,用于执行方法200的保护电路与有源锁定恢复电路相比,能够减少成本和复杂度。由于速度和复杂程度带来的优势,方法200能够用于在经受与带电粒子碰撞的环境中缓解强电流事件。此外,通过在保护电路中消散足够的能量,方法200能够维持受保护的电路处于锁定状态中的时长低于潜在损坏阈值锁定时长。

[0063] 上述的示例是示意性的但并不限制本公开。应当被理解的是,根据本公开的原理能够有很多的变形和变化。因此,本公开的范围由以下权利要求及其等同物来限定。

[0064] 本文中描述中的示例的说明旨在提供对各种实施方式的结构和逻辑的总体理解。说明不旨在充当对使用本文中描述的结构或者方法的设备和系统的所有元件和特征的完整叙述。在阅读本公开之后,许多其它的实施方式对本领域中的技术人员显而易见。其它实施方式可以被使用利用并且从本公开得到,使得可以进行结构和逻辑的替代和改变,而没有背离本公开的范围。例如,方法步骤可以以与图中所示的不同的顺序进行或者可以省去一个或多个方法步骤。因此,本公开和附图被视为说明性的而不是限制性的。

[0065] 此外,尽管在本文中已经示出和描述了特定示例,应当理解,被设计成实现相同的或者相似的结果的后续布置可以替代示出的特定实施方式。本公开旨在涵盖各种实施方式的任何以及全部的后续的改编或者变化。在阅读本说明书之后,在本文中未具体描述的以上实施方式的组合及其他实施方式对本领域的普通技术人员显而易见。

[0066] 本公开的摘要用于进行理解而不是用于解释或者限制权利要求的范围或者含义。此外,在上述具体实施方式中,为了使本公开合理化,各种特征可以被组合到一起或者在单个实施方式中描述。如以下权利要求反映的,所要求保护的主体可以少于公开的实例中的任一个的所有特征。

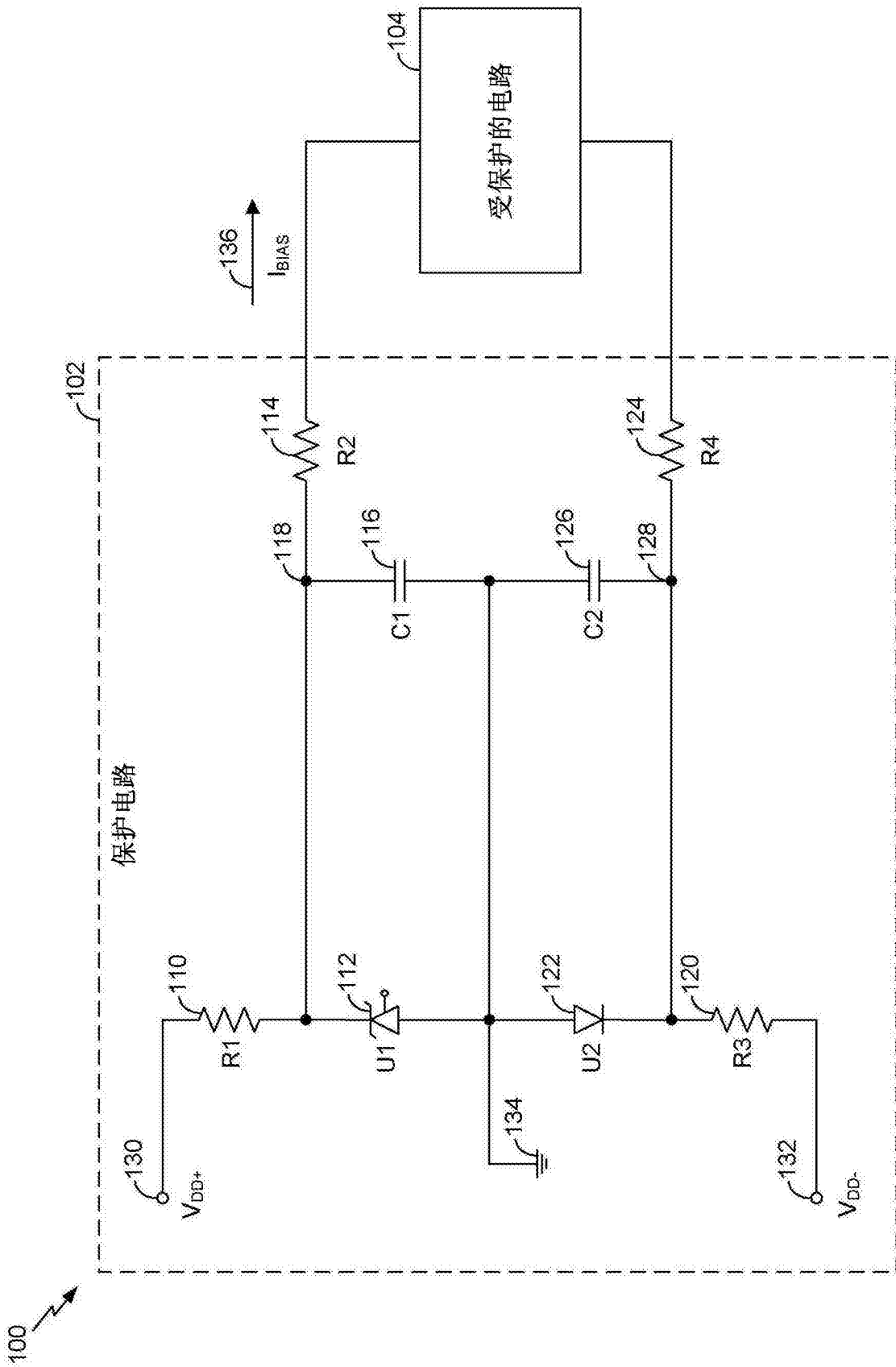


图1

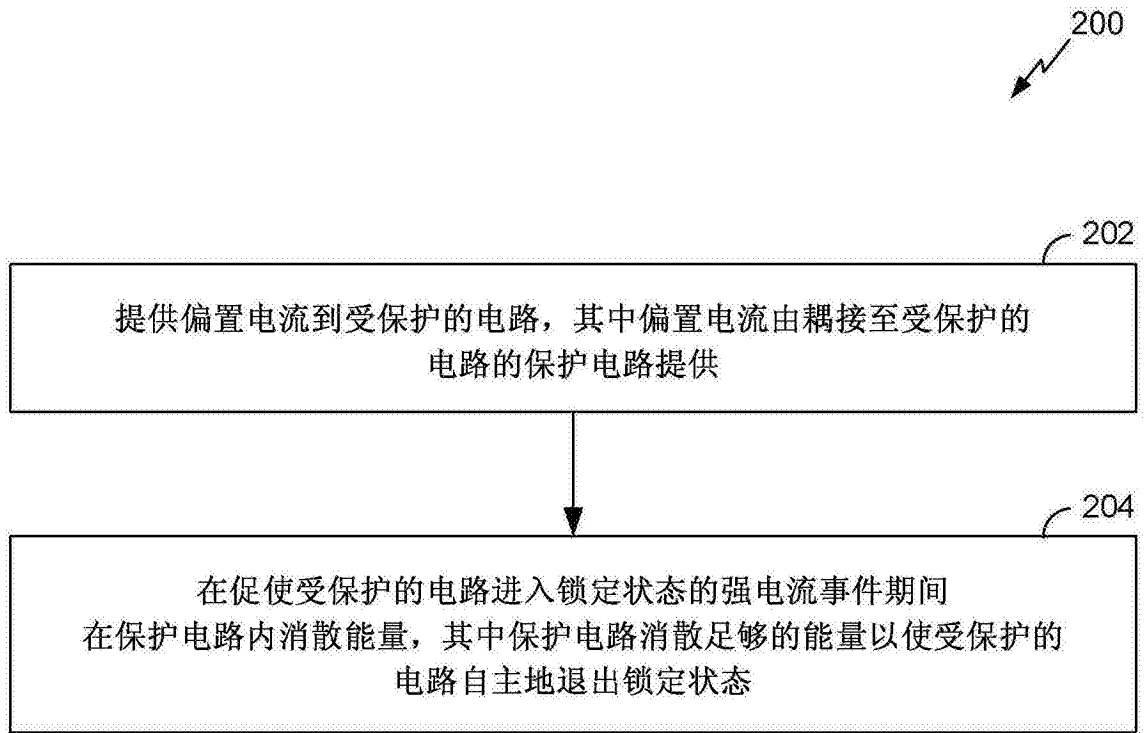


图2