



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102448797 B

(45) 授权公告日 2013. 09. 11

(21) 申请号 201080023479. 0

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2010. 04. 07

B62D 5/04 (2006. 01)

(30) 优先权数据

(56) 对比文件

0906020. 3 2009. 04. 07 GB

DE 102008034326 A1, 2009. 02. 05,

(85) PCT申请进入国家阶段日

DE 102008034790 A1, 2009. 02. 05,

2011. 11. 29

US 2002/0130631 A1, 2002. 09. 19,

(86) PCT申请的申请数据

US 2007/0249461 A1, 2007. 10. 25,

PCT/GB2010/050597 2010. 04. 07

EP 1462337 A1, 2004. 09. 29,

(87) PCT申请的公布数据

EP 1738990 A2, 2007. 01. 03,

W02010/116182 EN 2010. 10. 14

US 6577086 B2, 2003. 06. 10,

(73) 专利权人 TRW 汽车美国有限责任公司

审查员 俞观华

地址 美国密执安

(72) 发明人 M·昆达诺维斯基 A·麦克雷安

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 王莉莉

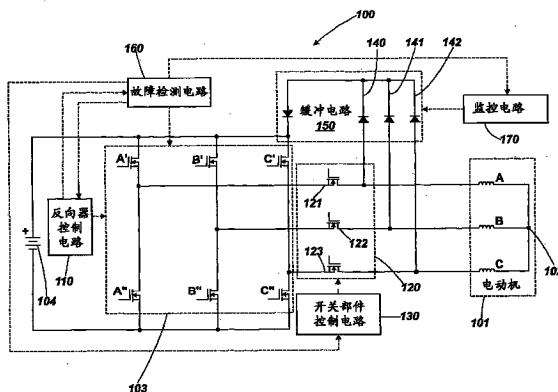
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

电动机驱动电路

(57) 摘要

电动机驱动电路包括用于连接到电池 (104) 的正供电轨和负供电轨, 电动机驱动电路包括多个电动机驱动子电路和开关部件, 每个子电路均响应于来自电动机控制电路的控制信号, 选择性地允许电流流入或流出多相电动机 (101) 的各个相, 开关部件包括与电动机的各个相串联的至少一个开关, 该至少一个开关通常闭合以允许电流流入子电路或从子电路流至电动机的各个相。故障信号检测部件 (160) 检测至少一个故障状况, 并且如果检测到故障状况, 则使至少一个开关打开。缓冲电路 (150) 与电动机关联, 并且被布置以使得在开关打开之后, 保存在电动机绕组中的能量从开关部件通过缓冲电路转移至电池。



CN 102448797 B

1. 一种电动机电路,包括:

正供电轨,用于连接到电池或其他 DC 源的正极侧,

负供电轨,用于连接到电池或其他 DC 源的负极侧,

电动机驱动电路,包括多个电动机驱动子电路,每个驱动子电路均响应于控制信号,选择性地允许电流流入或流出与电动机电路连接的多相电动机的各个相,

电动机控制电路,用于产生控制信号,

开关部件,与电动机的多个相串联设置,开关部件包括通常闭合的至少一个开关,该至少一个开关与电动机的各个相串联以使得电流流向子电路和从子电路流向电动机的各个相,以及

故障信号检测部件,用于检测至少一个故障状况,并且如果检测到故障状况,则使开关部件打开电动机的至少一个相中的至少一个开关,

其特征在于,所述电动机电路还包括

缓冲电路,与电动机的多个相中的各个相关联,缓冲电路被布置为在开关打开之后,保存在电动机的绕组中的能量从开关部件通过缓冲电路转移至电池或其他 DC 源,使得由于关联的电动机的相的绕组的感应而发生的在开关部件两端的电压的升高不超过预定的水平。

2. 根据权利要求 1 所述的电动机电路,其中,流经缓冲电路的能量通过缓冲电路消耗或被回收回到驱动电路,或者一部分通过缓冲电路消耗而另一部分被回收回到驱动电路。

3. 根据权利要求 1 所述的电动机电路,其中,开关部件包括多个固态开关,使一个开关被设置成与电动机的各个相串联。

4. 根据权利要求 1 所述的电动机电路,其中,设置多个缓冲电路,使每个开关与一个缓冲电路关联。

5. 根据权利要求 1 所述的电动机电路,其中,开关部件中的开关包括场效应晶体管 FET。

6. 根据权利要求 1 所述的电动机电路,其中,缓冲电路被布置为在开关部件闭合时,基本没有电流流经与电动机的该相关联的缓冲电路。

7. 根据权利要求 1 所述的电动机电路,其中,电动机的每个相具有开关部件和关联的缓冲电路。

8. 根据权利要求 1 所述的电动机电路,其中,对于电动机的各个相,缓冲电路包括相应的电通路,该电通路将开关部件和电动机的各个相之间的节点电连接到驱动电路的负载或可供选择的部分。

9. 根据权利要求 8 所述的电动机电路,其中,缓冲电路的各个电通路包括从节点至负载的至少一个电通路,使得顺着通路流动的电流流经消耗能量的负载。

10. 根据权利要求 8 所述的电动机电路,其中通路将节点连接到驱动电路的正供电轨或负供电轨,使得沿着通路流动的电流被回收回电池中。

11. 根据权利要求 8 所述的电动机电路,其中,缓冲电路的每个通路包括至少一个隔离二极管,该二极管被定向为使得二极管仅当在通路的开关端的电压达到预定限制时才导通电流,并且当电压低于该水平时,基本上防止电流沿着任一方向流经通路。

12. 根据权利要求 11 所述的电动机电路,其中,在从节点至负载或正供电轨或负供电

轨的每个通路中串联连接多于一个二极管,每个二极管被沿着相同的方向正向偏置。

13. 根据权利要求 1 所述的电动机电路,该电动机电路包括监控部件,监控一个或多个缓冲电路的完整性。

## 电动机驱动电路

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电动机驱动电路的改进,特别是(但非排他性地)在电动助力转向组件中使用的电动机驱动电路。

### 背景技术

[0002] 已知的电动助力转向系统的类型为:电动机向转向装置中的一部分施加辅助扭矩,以辅助车辆的驾驶员转动方向盘。通常,电动机可以作用于转向杆,或者可以通过将减速箱作用于转向齿条。当驾驶员转动方向盘时向转向装置施加的扭矩的大小被传递至产生扭矩需求信号的处理器,所述扭矩需求信号接着被用于控制电动机,以产生所需要的辅助扭矩。通过施加与驾驶员所施加的扭矩的方向相同的辅助扭矩,降低了转动方向盘所需的费力程度。

[0003] 通过电动机控制电路和电动机驱动电路来控制诸如多相永磁体电动机之类的电动机,所述电动机可以是星形或“Y”形连接的电动机。电动机驱动电路包括开关,可以响应于由控制电路提供的控制模式打开或闭合这些开关,以将电动机的各个相连接到DC源,如电池或地面。具体地讲,通过顶部晶体管将各相连接到正供电轨,当顶部晶体管导通时,其将电动机的相电动机连接到与正供电轨连接的电池的正极端子。类似地,通过底部晶体管将各相连接到负供电轨。当底部晶体管导通时,其将相连接到负供电轨,所述负供电轨接着连接到电池的负极或地面。顶部晶体管和底部晶体管这两个晶体管形成作为驱动电路核心的多臂桥接电路中的一个臂。通过使开关打开和闭合,可以选择性地且独立地引导电流通过电动机的各相。

[0004] 控制电路包括数字或模拟电路或二者的组合。控制电路的功能是向桥式晶体管提供控制信号,以使其以某种模式打开和闭合,这种模式进而根据给定的电动机扭矩和速度的要求使电流流过各相。通常将由控制电路根据电动机的位置和扭矩传感器在转向系统中测到的扭矩来设计所述模式。通常,用于桥的每个臂的模式包括脉宽调制波形。

[0005] 这种系统的问题在于可能出现以下的故障模式:桥的一个臂中的顶部晶体管和桥的另一个臂中的底部晶体管可能均被保持在闭合位置,从而导致来自电池的DC电流通过正供电轨、通过电动机的至少两个相并返回到负供电轨的永久性通路。出现这种情况的原因有多种,比如,控制电路中的故障导致正应用于驱动电路的控制模式错误地指示晶体管保持闭合。当出现这种故障情况时,电动机抑制转动,使得驾驶员难以转动方向盘。

[0006] 附图中的图1示出了典型的现有技术的电动机电路的实例和这种类型的故障模式。电池向具有顶部开关2、3、4和底部开关5、6、7的三相桥供电,这些开关给三相永磁体电动机8供电。如果一个顶部开关2和一个底部开关7保持闭合,则这将导致DC钳位电流流经电动机的两相。

[0007] 已经提出了多种用于减少由这种故障情况导致的潜在危险的策略。可以在电动机和转向装置与其连接的那部分之间设置离合器。当检测到故障时,可以打开离合器,使电动机和转向装置的其余部分断开。在可供选择的策略中,已知的是,提供与电动机的相的绕组

串联设置的机械式继电器,如果检测到故障状况,可以打开继电器以断开扭矩产生电流。通常继电器是闭合的,但当检测到故障时会打开,从而断开电流的通路。图 1 中示出了这种情况的实例,其中示出了与电动机的两个相串联的两极继电器 9。然而,提供这种继电器的不利之处在于,机电装置存在可靠性问题、在整个寿命中接触电阻可变、易受震动 / 温度影响并且电感性负载电流开关能力有限。

[0008] 我们也获知 US 6,577,086B2 中的教导,其中在电动机驱动电路桥的各臂和其各相之间设置开关。这个开关通常也是闭合的,但如果出现故障情况则打开,以断开通路。然而,申请人已认识到,这种布置具有一些明显的局限性,并且看起来这种电路不被推荐作为此处考虑到的问题的解决方案,而实际上这种电路仅适于当没有电流流动时防止在电动机内出现闭环短路。为了理解在 US 6,577,086B2 中公开的电路的局限性,考虑具有代表性的基于 12 伏供电电池的自动应用。当顶部晶体管和底部晶体管保持在闭合位置时,流动的故障电流可以是 250 安或更高的大电流。一旦检测到这种故障情况,任何打开固态开关的尝试将立刻产生由于电动机的相感应而产生的反电动势所导致的晶体管上的“截止状态”电压。在这种情况下,FET 漏-源 (D-S) 端上形成的电压可以足以导致 FET 进入雪崩击穿状况。在这种情形下,与晶体管的 D-S 端上的高电压组合的高电流导致在晶体管中消耗大量的能量。这种雪崩能量通常可以达到 5 焦耳或更大。这种能量消耗的水平超过了大部分市售的经济上切实可行的 FET 开关的能力。

## 发明内容

[0009] 根据本发明的第一个方面,提供了一种电动机电路,该电动机电路包括:

[0010] 正供电轨,用于连接到电池或其他 DC 源的正极侧,

[0011] 负供电轨,用于连接到电池或其他 DC 源的负极侧,

[0012] 电动机驱动电路,包括多个电动机驱动子电路,每个驱动子电路均响应于控制信号,选择性地允许电流流入或流出与电动机电路连接的多相电动机的各个相,

[0013] 电动机控制电路,用于产生控制信号,

[0014] 开关部件,与电动机的多个相串联设置,开关部件包括通常闭合的至少一个开关,该至少一个开关与电动机的各个相串联以使得电流流向子电路和从子电路流向电动机的各个相,

[0015] 故障信号检测部件,用于检测至少一个故障状况,并且如果检测到故障状况,则使开关部件打开电动机的至少一个相中的至少一个开关,以及

[0016] 缓冲电路,与电动机的多个相中的各个相关联,缓冲电路被布置为在开关打开之后,保存在电动机的绕组中的能量从开关部件通过缓冲电路转移至电池或其他 DC 源,使得由于关联的电动机的相的绕组的感应而在开关部件端上发生的电压升高不超过预定的水平。

[0017] 流经缓冲电路的能量可以通过缓冲电路消耗或被回收回到驱动电路,或者一部分通过缓冲电路消耗而另一部分被回收回到驱动电路。

[0018] 因此,本发明针对电动机的相以组合形式提供用于断开故障电流的开关部件和能量消耗或回收缓冲电路,所述故障电流可能流过电动机,所述缓冲电路使原本必须在开关部件中消耗的能量安全地从开关部件释放。因此可以避免在开关装置的雪崩模式操作和 /

或过多的能量消耗。这使得能够在不存在开关装置失效的危险和不进行高电流切换的情况下,提供经济上切实可行的开关部件。

[0019] 开关部件可以包括多个固态开关,使一个开关被设置成与电动机的各个相串联。类似地,也可以设置多个缓冲电路,使一个缓冲电路与每个开关关联。

[0020] 在设置多于一个缓冲电路的情况下,电路之间可以共用组件和电通路。例如,可以存在每个与相应开关关联的电路的并联通路,并且该通路可以与共用通路部分串联连接。可以布置每个缓冲电路,使得在开关打开之后,保存在电动机绕组中的能量(电流)从开关部件转移并且通过合适的部件消耗或者被回收到电池或其他 DC 电源,使得由于关联的电动机的相的绕组的感应而在开关部件端上发生的电压升高不超过预定水平。

[0021] 开关部件的开关可以包括场效应晶体管 FET。

[0022] 缓冲电路(或多个缓冲电路中的每个)可以防止开关的关联的 D-S 端子上的电压超过预设水平,该预设水平等于开关将进入雪崩击穿状况的水平。

[0023] 缓冲电路可以被布置为在开关部件闭合时,基本没有电流流经与电动机的该相关联的缓冲电路。另外,缓冲子电路可以构造和布置为,使得在电路中不引入不想要的单点失效或可能发生的多点失效。

[0024] 可以将电动机的每个相均设置成具有开关部件和相关的缓冲电路。例如,对于三相电动机,可以有三个缓冲电路。当检测到电路故障时,会有可能同时或基本同时地打开所有的开关。

[0025] 对于电动机的各个相,缓冲电路可以包括相应的电通路,该电通路将开关部件和电动机的各个相之间的节点电连接到驱动电路的负载或可供选择的部分。这使得按照可以期望的方式在负载中消耗能量或使能量被回收回驱动电路。

[0026] 缓冲电路的各个电通路可以包括从节点至负载的至少一个电通路,使得顺着通路流动的电流流经消耗能量的负载。在开关部件上施加的电压不能超过 DC 链路源的电压加上与缓冲子电路中的二极管的正向导通相关的电压。

[0027] 可供选择地,通路可以将节点连接到驱动电路的正供电轨或负供电轨,使得沿着通路流动的电流被回收回到电池中。

[0028] 缓冲电路的每个通路可以包括至少一个隔离二极管,该二极管被定向为使得二极管仅当在通路的开关端的电压达到预定限制时才导通电流,并且当电压低于该水平时,基本上防止电流沿着任一方向流经通路。通过提供通过二极管至负载的这个通路,施加在开关部件上的电压不会超过电池或其他 DC 源的电压加上与在缓冲子电路的通路中的二极管的正向导通相关的电压。

[0029] 可以在从节点至负载或者正供电轨或负供电轨的每个通路上串联连接多于一个二极管,每个二极管被沿着相同的方向正向偏置。在提供多个缓冲电路的情况下,该多个缓冲电路可以包括包含被指定到各缓冲电路的至少一个二极管和由所有的缓冲电路共享的至少一个另外串联连接的二极管的通路。因此,用于任何缓冲电路的完整通路将穿过两个或更多个串联连接的二极管。

[0030] 在每个缓冲子电路中的两个或更多个串联连接的二极管保证避免单点失效。串联连接的二极管还保证在闭合开关部件的正常操作期间避免正向导通。

[0031] 可以设置监控一个或多个缓冲电路的完整性的监控部件。如果监控部件确定在这

个通路中的缓冲电路或诸如二极管之类的组件存在缺陷时,则可以关闭电动机装置。如果二极管变为基本开路,则可以认为二极管存在缺陷,这可以由监控部件测量二极管上的正向压降或其阻抗来确定。因为缓冲电路中的第二短路故障可能接着导致不想要的双点失效,所以短路电路故障将会成为问题。如果二极管变为基本短路,则可以认为二极管存在缺陷。在这种情况下,监控部件可以通过测量二极管上的反向压降来确定短路。因为开路将有效地使能量消耗电路不出现打开开关部件的相关开关可能导致由于其必须消耗能量而失效的危险,所以开路故障将成为问题。

[0032] 监控装置可以在启动或运行时确定完整性,如果认为缓冲电路存在缺陷,则可以中止装置的操作。这样处理的益处在于保证系统不在某个状态运行,由此通过在不毁坏开关的情况下成功地将能量传送至缓冲电路,将完成任何打开开关部件的开关以断开 DC 钳位状况的尝试。它还可以保证装置不会运行在其他故障可能导致危险的状态下。

[0033] 可以布置故障信号检测部件,以检测所有明显的电动机电路故障状况。

### 附图说明

[0034] 现在,将只通过举例的方式参照附图并如附图所示地描述本发明的三个实施例,其中:

[0035] 图 1 是用于汽车电动助力转向系统中的现有技术的电动机电路的总体示意图。

[0036] 图 2 是本发明的第一实施例的示意图,其中,设置开关部件和相关的能量回收缓冲电路,以使得能够消除电动钳位故障模式。

[0037] 图 3 是本发明的第二实施例的示意图,其中,设置开关部件和相关的能量消耗缓冲电路,以使得能够消除电动钳位故障模式。

[0038] 图 4 是本发明的第三实施例的示意图,其中,设置开关部件和相关的能量消耗缓冲电路,以使得能够消除电动钳位故障模式。

### 具体实施方式

[0039] 如图 2 中所示,示出了用于电动助力转向系统中的电动机电路 100。电动机 101 包括三相电动机,其具有在公共星形点 102 连接在一起的三个相 A、B 和 C。每个相不与星形点连接的末端通过相隔离开关装置连接到驱动电路 103 的各个支路。每个支路包括通过顶部 FET 开关 A'、B' 或 C' 将电动机连接到电池电源 104 的正极侧的上部以及通过底部 FET 开关 A''、B'' 或 C'' 将电动机的相连接到电池电源的负极侧的下部。每个臂中的顶部开关和底部开关使得通过闭合顶部晶体管并同时打开底部晶体管将相连接到正极侧。它们也使得能够通过闭合底部晶体管并同时打开顶部晶体管而将相接地。类似地,它们使得通过同时打开顶部和底部晶体管而使相左移 (left floating)。

[0040] 由基于微处理器和桥式驱动器的控制电路 110 通过应用于开关的开关模式来控制顶部和底部晶体管的打开和闭合。所述模式指示在任何时刻是否应该打开和闭合每个开关。当如图所示地使用 FET 开关时,所述模式可以只包括在晶体管的栅-源端之间施加的用于闭合晶体管的正电压或者当要闭合开关时在栅-源端之间施加的零电压。对开关模式的选择取决于在任何给定时刻电动机的位置、将获得的所需的电动机扭矩和所需的电动机速度。假设测量了电动机位置和速度并将其与表示电动机所需扭矩的扭矩需求信号一起馈

送到微处理器。由微处理器处理这些测量和信号,以产生所需的模式。可以使用另外的信号来确定所需的反相器开关模式。这种控制电路是本领域熟知的,因此在此将不再讨论任何细节。

[0041] 如图 2 中可以看到,电动机的各相通过各个开关 121、122 和 123 连接到其相应的驱动电路支路。每个开关包括通常闭合的 FET 晶体管。所述开关形成开关部件 120 的一部分,并且由一些控制逻辑(被标注为开关电路 130)响应于从故障检测部件输出的信号来控制该部分。在通常闭合的状态下,除了在闭合的 FET 上提供压降外,每个开关对电路工作的影响不大。当开关电路中的所有开关保持打开时,防止了电流流入或流出电动机 101。

[0042] 另外,缓冲电路 140、141 和 142 与每个开关 121、122 和 123 和相关联。每个缓冲电路包括电通路的第一部分,每个缓冲电路均从各个 FET 和电动机的相之间的点延伸至连接回到电池的正供电轨的第二公共链路。因此,串联连接每个通路和由每个缓冲电路共用的公共链路。

[0043] 在将节点串联至电池的正供电轨的二极管位于每个第一通路内。公共通路还包括在重新连接正供电轨之前的另外的二极管,因此对于从节点至供电轨的每个完整通路,电流必须流经两个二极管。在由每个缓冲电路共用的第二通路部分中的额外二极管的功能主要是,不仅保证没有因为缓冲电路而引入危险的单点失效,而且在通路的两端之间引入另外的压降,以保证开关端的电压必须超过电池电压减去顶部开关上的压降和开关部件 FET 上的压降。这样保证了在正常桥工作期间,当开关部件闭合时,电流将不流经缓冲电路,但是当打开任何开关部件以将电池和桥与电动机的相隔离时,电流将自动开始流动。

[0044] 每个支路和电动机的各个相之间的开关部件的 FET 开关 121、122 和 123 防止在出现故障情况时电流在相中流动。设置了故障检测部件 160 或故障检测电路(被示出为独立于控制电路 110 的微处理器)、桥电路 103、开关控制部件电路 130 和监控电路 170。控制电路 110 控制反相器桥 FET 的打开和闭合,并且故障检测部件 160 监控桥控制电路的行为,以保证正在应用正确的打开/闭合模式。如果确定模式是不正确的,则给出错误标志。

[0045] 故障检测电路 160 还检查桥开关和开关电路的状况。如果确定这些开关中的任何一个出现故障(例如,保持闭合),则也给出错误标志。开关装置监控错误标志的状况。当错误标志降低时,开关部件的开关保持在常规闭合状态。当错误标志上升时,开关部件打开开关以将电动机的相与电池隔离。当隔离电动机时,电动机不可能被卡在原位(由于永久性电池 DC 电流流经它)或不发生旋转。

[0046] 要注意的是,当 FET 121、122 和 123 闭合时,在正常工作期间,来自电池 104 的电流可以流经闭合的顶部桥式晶体管、闭合的 FET 和电动机的相、第二电动机的相、第二闭合的 FET 并返回到底部桥式晶体管,到达负供电轨。因为根据传导感应需要,开关端的电压将小于相对于电池正供电轨的两个串联的二极管的电位差,所以电流将不流经电压限制子电路。

[0047] 当 FET 121、122 和 123 打开时,相不再连接到等于电源电压减去闭合的桥式开关上的压降所得的电压。事实上,由于电动机绕组的感应,FET 的相侧的电压将在 FET 打开之后的瞬间升高,这是因为在其打开的瞬间之前流经 FET 的电流试图继续流动。FET 的开关端的电势将试图升高。然而,这将会把 FET 上的电压带到高于缓冲器和二极管上的感应所需的压降的水平。通过限制电压这样升高,缓冲电路保证开关不会出现雪崩。



[0048] 通过设置电流从电动机的相流出、经过可以被循环回驱动电路的缓冲电路的通路来实现对电压上升的限制。只要节点处的电压超过每个缓冲电路中两个串联的二极管的正偏压,那么电流将开始流经这个通路。通过这样做,保护 FET 不出现导致其雪崩的潜在毁坏状况。如果没有这个通路,电流将试图流经 FET,并且当 FET 上的电压被允许升高至足以导致雪崩击穿的高水平时,FET 可能被毁坏。

[0049] 图 2 中清楚可见的另一个特征是提供监控电路 170,监控电路 170 监控与每个相关联的缓冲电路的每条通路中二极管的状态。监控部件在启动电动机之前核查二极管不处于表现为开路的故障状况。如果检测到这种故障,则将电动机驱动电路设置在不向电动机施加电流的故障状况。这样做的原因在于,保证电动机不运行在如下的这种状况下,即,由于缓冲电路不能回收能量,导致如果尝试打开开关部件的开关,则将承受开关失效的风险。监控电路 170 也能检测二极管已失效使得其表现为短路的状况。如果检测到这种故障,则电动机驱动电路被设置在不向电动机施加电流的故障状况。这样做的原因在于,保证电动机不工作于(缓冲电路中的第二装置的)另外的故障将会导致危险的这种状况。

[0050] 在本发明的范围内还可能有可供选择的布置。图 3 和图 4 提供了可能的变型的两个实例。已使用相同的附图标记标注了与图 2 中的部件的功能相同的部件,并且为了清晰起见,已省略了控制和驱动电路的一些部件,但可以按其它方式假设这些部件与图 2 中所需的相同。

[0051] 图 3 示出了由缓冲电路 350 消耗能量的布置,缓冲电路 350 包括与针对每个各自的相的每条通路串联连接的 MOV。在这种情况下,一旦 FET 的电压水平超过通路中的二极管电压(约 0.7 至 1 伏)与 MOV 电压(约 10 伏)之和,就将限制 FET 的电压水平。在 MOV 中作为热消耗能量。

[0052] 图 4 示出了图 3 中电路的可供选择的形式。此电动机电路和图 3 中的电动机电路的操作在功能上仅有的重大区别在于,开关部件的极性被反向,并且缓冲电路 250 被偏置到电池负供电轨。电动机电路以非常类似的方式发挥其他作用,当开关部件打开时,可以通过负供电轨消耗能量或将能量回收到电池。为了清晰起见,此图中省略了诸如控制电路和故障检测部件和监控部件之类的特征,但要理解,它们以图 2 中的实施例提到的方式发挥作用。

[0053] 当然,虽然图 3 示出打开的 FET 上的能量通过连接通路转移到 MOV 负载,但是在本发明的范围内可能以其他方式转移该能量。

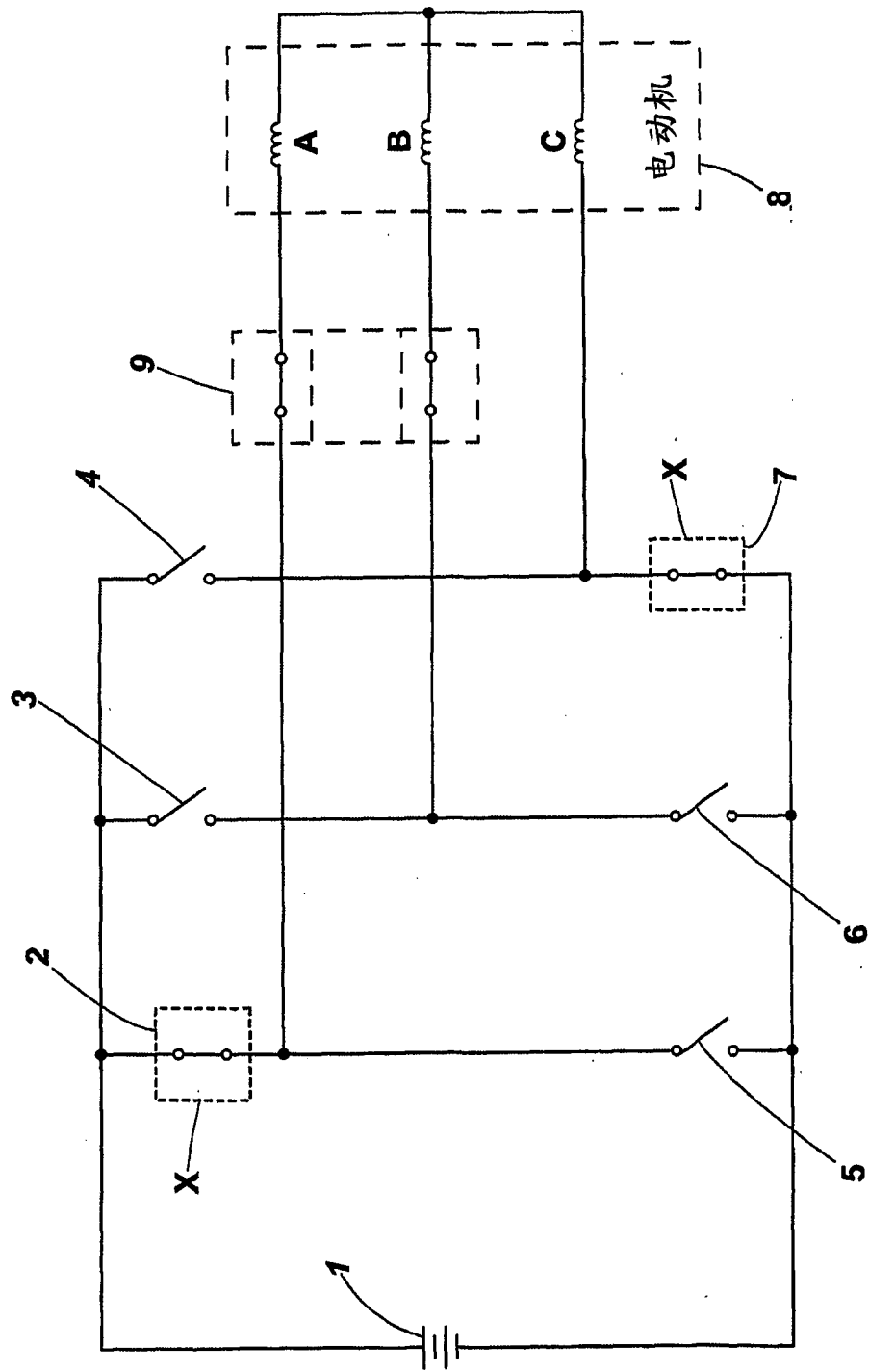


图 1

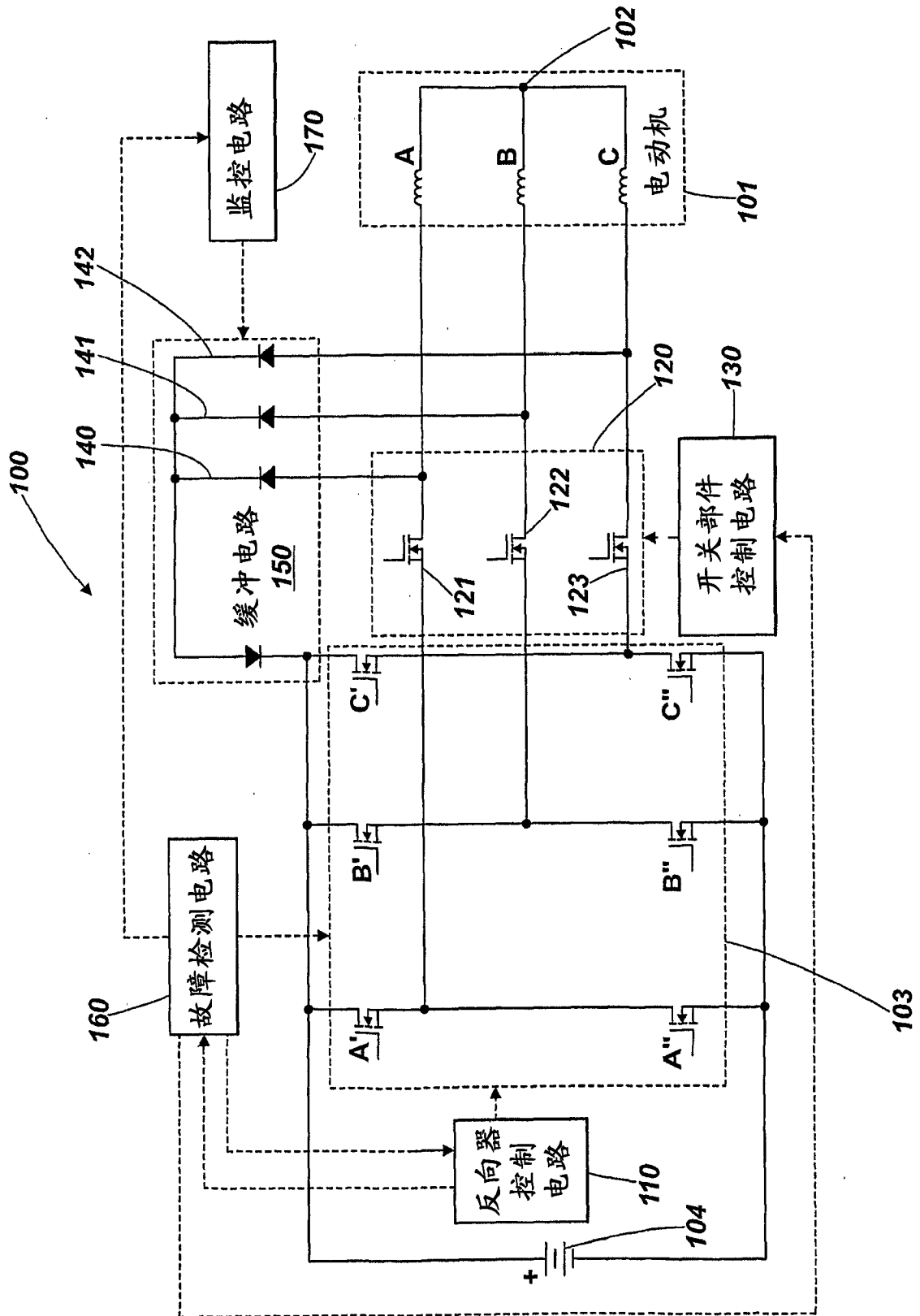


图 2

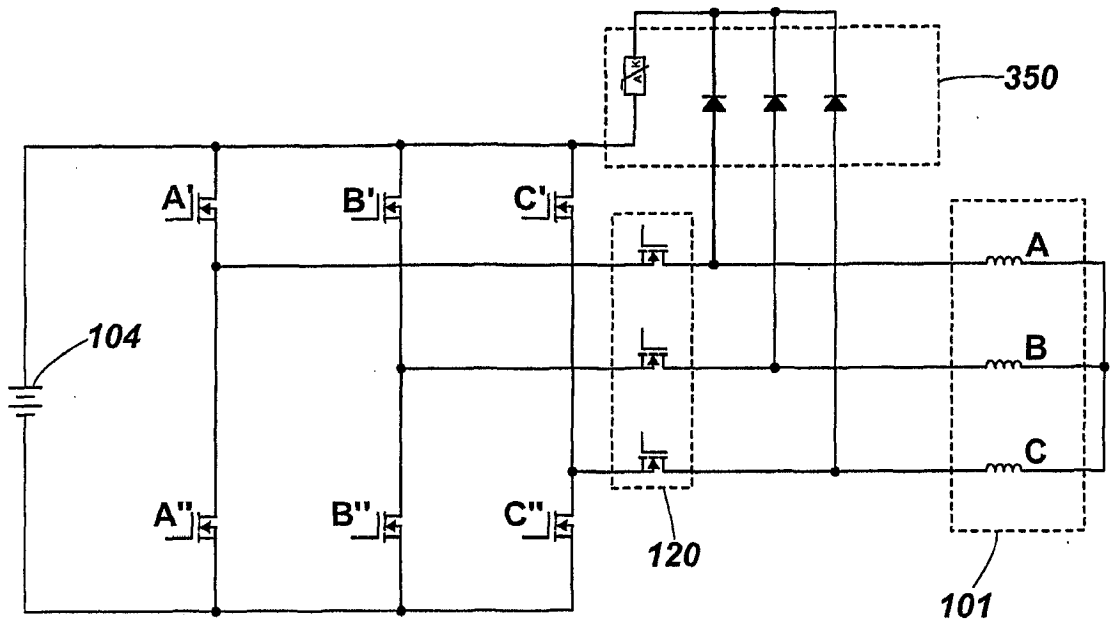


图 3

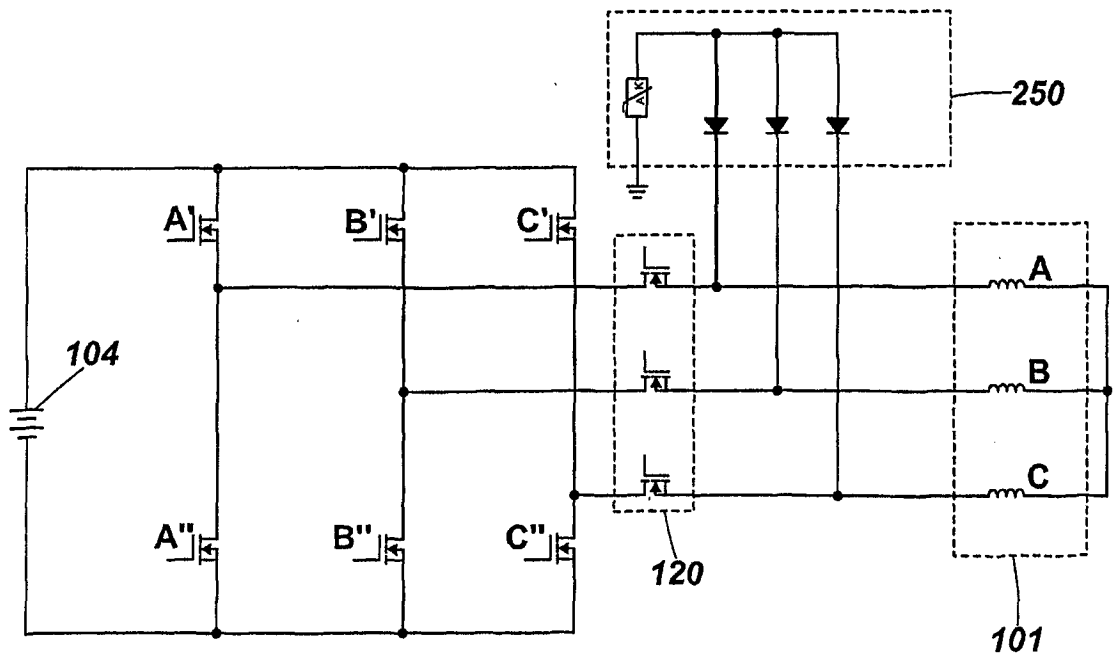


图 4