



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107078627 A

(43)申请公布日 2017.08.18

(21)申请号 201580048935.X

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

(22)申请日 2015.08.26

代理人 姜冰 付曼

(30)优先权数据

14275190.8 2014.09.11 EP

(51)Int.Cl.

H02M 1/32(2007.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

H02H 9/02(2006.01)

2017.03.10

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2015/069562 2015.08.26

(87)PCT国际申请的公布数据

W02016/037854 EN 2016.03.17

(71)申请人 通用电器技术有限公司

地址 瑞士巴登

(72)发明人 B.鲁卡斯科 F.J.莫雷诺穆尼奥斯

D.R.特赖纳 C.D.M.奥亚茨

J.斯特奇斯

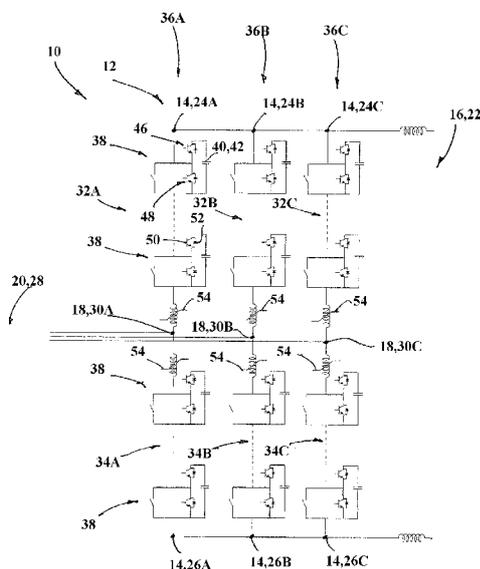
权利要求书1页 说明书7页 附图7页

(54)发明名称

电压源转换器

(57)摘要

一种用于互连第一和第二电网的电压源转换器(10;80;90)包括转换器结构(12),其包括用于到第一电网(16)的第一端子(14)以及用于到第二电网(20)的连接的第二端子(18)。转换器结构(12)还包括至少一个模块(38),其连接在第一与第二端子(14,18)之间。该或每个模块(38)包括至少一个能量存储装置(40)和至少一个开关元件(46,48)。该或每个能量存储元件(40)和开关元件(46,48)可操作以便有选择地提供电压源。转换器结构(12)更进一步包括集成无源故障电流限制器(54),其配置成在电压源转换器(10;80;90)的正常操作期间对电压源转换器(10;80;90)中流动的正常电流(I<sub>N</sub>)呈现第一阻抗,并且配置成在故障状况期间对电压源转换器(10;80;90)中流动的故障电流(I<sub>F</sub>)呈现第二阻抗。第一阻抗低于第二阻抗。



1. 一种用于互连第一和第二电网的电压源转换器,所述电压源转换器包括转换器结构,所述转换器结构包括:

第一端子,用于到所述第一电网的连接;

第二端子,用于到所述第二电网的连接;

至少一个模块,连接在所述第一与第二端子之间,该或每个模块包括至少一个能量存储装置和至少一个开关元件,该或每个能量存储元件和开关元件可操作以便有选择地提供电压源;以及

集成无源故障电流限制器,配置成在所述电压源转换器的正常操作期间对所述电压源转换器中流动的正常电流呈现第一阻抗,并且配置成在故障状况期间对所述电压源转换器中流动的故障电流呈现第二阻抗,所述第一阻抗低于所述第二阻抗。

2. 按照权利要求1的电压源转换器,其中,所述第二阻抗充分高,以便将所述故障电流的增加率限制到预定级别。

3. 按照权利要求2的电压源转换器,其中,所述第二阻抗充分高,以便还将所述故障电流限制到处于或低于该或每个模块中的该或每个开关元件的电流定额的级别。

4. 按照任一前述权利要求的电压源转换器,其中,所述故障电流限制器是或者包括按照流经其的电流的级别在第一低阻抗状态与第二高阻抗状态之间转变的材料。

5. 按照权利要求4的电压源转换器,其中,所述材料是或者包括超导材料,所述超导材料具有在流经其的电流超过电流阈值时发生变化的电阻。

6. 按照权利要求5的电压源转换器,其中,所述超导材料配置成为所述故障电流限制器提供有非线性电阻特性。

7. 按照权利要求5的电压源转换器,其中,所述超导材料配置成为所述故障电流限制器提供有非线性电感特性。

8. 按照权利要求4的电压源转换器,其中,所述材料是或者包括磁性材料,所述磁性材料随着流经其的电流增加而耗散更大量的能量。

9. 按照权利要求8的电压源转换器,其中,所述磁性材料是未磁化的,并且随着流经其的电流的级别增加而变得被磁化。

10. 按照权利要求8的电压源转换器,其中,所述磁性材料是预磁化的,并且随着流经其的电流的级别增加而变得被消磁。

11. 按照任一前述权利要求的电压源转换器,包括与该或每个模块串联连接在所述第一与第二端子之间的集成无源故障电流限制器。

12. 按照任一前述权利要求的电压源转换器,包括串联连接在所述第一端子以及使用中与所述第一端子连接的所述第一电网之间的集成无源故障电流限制器。

13. 按照任一前述权利要求的电压源转换器,包括串联连接在所述第二端子以及使用中与所述第二端子连接的所述第二电网之间的集成无源故障电流限制器。

## 电压源转换器

[0001] 本发明涉及电压源转换器。

[0002] 在高压直流 (HVDC) 输电网中, 交流 (AC) 电力通常转换成直流 (DC) 电力, 以用于经由高架线和/或海底电缆的传输。这个转换消除对于补偿输电介质 (即输电线或电缆) 所施加的 AC 电容负载效应的需要, 以及降低每公里线路和/或电缆的成本, 并且因而在电力需要通过长距离传送时变为成本有效的。

[0003] DCC 电力与 AC 电力之间的转换还用于必需互连 DC 和 AC 电网的输电网中。在任何这种输电网中, 在 AC 与 DC 电力之间的每个接口处要求转换器以实现要求的转换: AC 到 DC 或者 DC 到 AC。一种这样的转换器是电压源转换器 (VSC)。

[0004] 按照本发明的第一方面, 提供一种用于互连第一和第二电网的电压源转换器, 该电压源转换器包括转换器结构, 其包括:

用于到第一电网的连接的第一端子;

用于到第二电网的连接的第二端子;

连接在第一与第二端子之间的至少一个模块, 该或每个模块包括至少一个能量存储装置和至少一个开关元件, 该或每个能量存储元件和开关元件可操作以便有选择地提供电压源; 以及

集成无源故障电流限制器, 配置成在电压源转换器的正常操作期间对电压源转换器中流动的正常电流呈现第一阻抗, 并且配置成在故障状况期间对电压源转换器中流动的故障电流呈现第二阻抗, 第一阻抗低于第二阻抗。

[0005] 故障电流限制器的无源性质自动准许其操作, 即第一较低阻抗或第二较高阻抗的选择性呈现, 而无需例如通过人或控制算法的任何形式的有源控制, 即持续监控。

[0006] 同时, 与常规电压源转换器相比, 呈现第一较低阻抗或第二较高阻抗的所述能力改进本发明的电压源转换器的性能。

[0007] 这种改进性能是显然的, 首先因为较低的第一阻抗在电压源转换器的正常操作期间提供对电网之一中的电压的更好利用, 并且由此准许给定电力量以比否则在例如包含较高固定阻抗时会发生的损耗要低的损耗在第一与第二电网之间传递。

[0008] 其次, 第二较高阻抗在故障状况期间对第一与第二端子之间的该或每个模块中的该或每个开关元件提供一定程度的保护, 并且因此准许使用较低电流定额的开关元件 (其因而不笨重并且不太昂贵), 同时避免对附加固定阻抗的需要 (其如上所述否则在其正常操作期间会使电压源转换器的效率降级)。

[0009] 优选地, 第二阻抗充分高, 以便将故障电流的增加率限制到预定级别。

[0010] 呈现这种第二阻抗的能力允许故障电流的预定增加率被选择成使得在故障状况的开始之后提供充分延迟, 以便在故障电流超过该或每个模块中的该或每个开关元件的电流定额之前准许较慢行动的保护元件的操作, 例如电网之一中的断路器的断开。

[0011] 依靠较慢行动的保护元件的所产生能力准许从该或每个模块中省略快速行动的保护元件 (例如晶闸管), 并且由此极大地降低该或每个这种模块的复杂度和成本。

[0012] 可选地, 第二阻抗充分高, 以便还将故障电流限制到处于或低于该或每个模块中

的该或每个开关元件的电流定额的级别。

[0013] 这种第二阻抗为本发明的电压源转换器提供故障穿越能力,由此转换器能够耐受故障状况,而甚至无需操作较慢行动的保护元件(例如断路器)。避免操作这种保护元件的需要是特别期望的,因为它通常中断第一与第二电网之间的电力流,并且由此使关联输电方案的用户感到不便(因为此后需要电压源转换器在对应电网能够被重新连接之前经过启动序列和检查)。

[0014] 故障电流限制器可以是或者包括按照流经其的电流的级别在第一低阻抗状态与第二高阻抗状态之间转变的材料。

[0015] 作为或者包括这种材料的故障电流限制器合乎需要地准许第一较低阻抗或第二较高阻抗的自动呈现,而无需通过人或控制算法的任何监控,并且因此易于促进本发明的电压源转换器的复杂度的显著降低。

[0016] 在本发明的优选实施例中,材料是或者包括超导材料,其具有在流经其的电流超过电流阈值时发生变化的电阻。

[0017] 这种超导材料能够提供第一与第二阻抗之间的合乎需要的高比率,以便允许正常操作期间的电压源转换器的改进效率,同时还提供故障状况期间的高故障电流阻断性能。

[0018] 优选地,超导材料配置成为故障电流限制器提供非线性电阻特性。

[0019] 具有非线性电阻特性的故障电流限制器当交流或直流流经其时按照流经其的电流的级别在第一低阻抗状态与第二高阻抗状态之间转变,并且因此在它能够集成于转换器结构中的位置方面提供许多灵活性。

[0020] 超导材料可配置成为故障电流限制器提供非线性电感特性。

[0021] 具有非线性电感特性的故障电流限制器能够被优化成当交流电流流经其时在第一低阻抗状态与第二高阻抗状态之间转变。

[0022] 可选地,材料是或者包括磁性材料,其随着流经其的电流增加而耗散更大量的能量。

[0023] 由这种磁性材料对能量的耗散等同于电阻。因此,磁性材料能够提供期望的第一较低阻抗,以允许正常操作期间的电压源转换器的有效操作,以及在故障状况期间提供具有良好故障电流阻断性能的第二较高阻抗。

[0024] 在本发明的另一优选实施例中,磁性材料是未磁化的,并且随着流经其的电流的级别增加而变得被磁化。

[0025] 未磁化磁性材料能够被优化成当交流电流流经其时在第一低阻抗状态与第二高阻抗状态之间转变。

[0026] 优选地,磁性材料经过预磁化,并且随着流经其的电流的级别增加而变得被消磁。

[0027] 预磁化磁性材料能够被优化成当直流电流流经其时在第一低阻抗状态与第二高阻抗状态之间转变。

[0028] 可选地,电压源转换器包括与该或每个模块串联连接在第一与第二端子之间的集成无源故障电流限制器。

[0029] 按照这种方式布置第一集成无源故障电流限制器允许故障电流限制器使交流和直流的组合经过其中,并且因此增加可形成故障电流限制器或者故障电流限制器可包括的不同类型的材料的数量。

[0030] 另外,这种布置准许从第一与第二端子之间省略电抗器元件。这降低了第一与第二端子之间的电压降,并且因此类似地降低在第一与第二电网之间的给定电力量的传递期间的转换器中引起的损耗。

[0031] 电压源转换器可包括串联连接在第一端子与第一电网(其在使用中与第一端子连接)之间的集成无源故障电流限制器。

[0032] 优选地,电压源转换器包括串联连接在第二端子与第二电网(其在使用中与第二端子连接)之间的集成无源故障电流限制器。

[0033] 集成无源故障电流限制器相对于第一和第二端子其中之一或另一个的这类布置合乎需要地准许所述故障电流限制器按照流经其的电流的性质(即交流或直流)的优化。

[0034] 另外,在本发明的某些实施例中的转换器结构中多于一个无源故障电流限制器的集成允许每个这种故障电流限制器是或者包括不同类型的材料,其具有按照转换器结构中的故障电流限制器的不同位置以及流经其的电流的对应性质(即交流和/或直流)所优化的性能特性。

[0035] 下面是对附图进行参照的、作为非限制性示例的本发明的优选实施例的概要描述,附图中:

图1示出按照本发明的第一实施例的电压源转换器;

图2示意示出形成图1中所示电压源转换器的一部分的相应无源故障电流限制器中包含的第一材料的电阻特性;

图3示意示出所述无源故障电流限制器在故障状况期间对流经图1中所示电压源转换器中的相应开关元件的故障电流的影响;

图4示意示出适合于包含在图1中所示电压源转换器的相应无源故障电流限制器中的第二材料的特性;

图5示意示出适合于包含在图1中所示电压源转换器的相应无源故障电流限制器中的第三材料的特性;

图6示出按照本发明的第二实施例的电压源转换器;

图7示出在电压源转换器在使用中与其连接的第一电网中发生故障状况的情况下、在图6中所示电压源转换器的第一端子的故障电流;

图8示出按照本发明的第三实施例的电压源转换器;以及

图9示出在电压源转换器使用时与其连接的第一电网中发生故障状况的情况下、在图8中所示电压源转换器的第二端子的故障电流。

[0036] 按照本发明的第一实施例的电压源转换器一般通过引用标号10来表示。

[0037] 第一电压源转换器10具有转换器结构12,其包括:两个第一端子14,其每个在使用中与第一电网16连接;以及第二端子18,其在使用中与第二电网20连接。在所示实施例中,第一电网16是直流(DC)电网22,以及两个第一端子14定义相应第一和第二DC端子24、26。同时,第二电网20是交流(AC)电网28,并且第二端子18定义AC端子30。

[0038] 第一转换器分支(limb)部分32在第一DC端子24与AC端子30之间延伸,以及第二转换器分支部分34在第二DC端子26与AC端子30之间延伸。更具体来说,第一电压源转换器10具有转换器结构12,其包括三对36A、36B、36C的第一和第二转换器分支部分32A、34A、32B、34B、32C、34C,所述对36A、36B、36C的每个对应于三相电力系统的给定相。每个转换器分支

部分32A、34A、32B、34B、32C、34C在对应的第一或第二DC端子24A、24B、24C、26A、26B、26C与对应的AC端子30A、30B、30C之间延伸。

[0039] 在本发明的其它实施例中,电压源转换器可包括少于或多于三对第一和第二转换器分支部分,这取决于它预计在其中操作的关联电力系统的相数。

[0040] 在每个第一和第二端子14、18之间、即在对应的第一或第二DC端子24A、24B、24C、26A、26B、26C与对应的AC端子30A、30B、30C之间延伸的每个转换器分支部分32A、34A、32B、34B、32C、34C中包含的是多个串联连接模块38。

[0041] 每个模块38包括采取电容器42的形式的能量存储元件40(虽然能量存储元件的其它形式也是可能的),以及第一和第二开关元件46、48(它们与能量存储元件40、即电容器42并联连接)。

[0042] 在所示实施例中,每个开关元件46、48包括采取例如绝缘栅双极晶体管(IGBT)的形式的半导体装置50,其与反并联二极管52并联连接。但是,有可能使用其它半导体装置来代替IGBT。

[0043] 能量存储元件40和开关元件46、48可操作以便有选择地提供电压源。更具体来说,开关元件46、48按照已知半桥布置与电容器42并联连接,以定义2象限单极模块38。开关元件46、48有选择地引导电流经过电容器42,或者使电流绕过电容器42,使得模块38能够提供零或正电压,并且能够沿两个方向传导电流。

[0044] 在每个第一和第二端子14、18之间、即在对应的第一或第二DC端子24A、24B、24C、26A、26B、26C与对应的AC端子30A、30B、30C之间延伸的每个转换器分支部分32A、34A、32B、34B、32C、34C中还包含的是集成无源故障电流限制器54。每个这种集成无源故障电流限制器54与对应的多个串联连接模块38串联连接。

[0045] 集成每个无源故障电流限制器54,因为它形成第一电压源转换器10的转换器结构12的组成的完整部分。此外,在它无需通过人或控制算法的任何形式的主动控制(即持续监控)的情况下自动运转的意义上,它是无源的。

[0046] 每个无源故障电流限制器54配置成在第一电压源转换器10的正常操作期间对第一电压源转换器10中流动的正常电流 $I_N$ 呈现第一阻抗。每个无源故障电流限制器54还配置成对第一电压源转换器10中流动的故障电流 $I_F$ 呈现第二阻抗。第一阻抗低于第二阻抗,如下更详细解释的。

[0047] 每个无源故障电流限制器54包括按照流经无源故障电流限制器54的电流的级别在第一低阻抗与第二高阻抗之间转变的材料。

[0048] 在图1中所示的实施例中,每个无源故障电流限制器54包括超导材料,其具有电阻R(其在流经其的电流I超过电流阈值56时发生变化,如图2中所示)。当低电流I(即低于电流阈值56的电流)流经超导材料时,它采用超导状态58,其中其电阻R接近零,而当较高电流I(即超过电流阈值56的电流)流经超导材料时,它采用高电阻状态60,其中其电阻R很高。每个无源故障电流限制器54中的超导材料直接利用其电阻的上述变化来为每个所述对应无源故障电流限制器54提供非线性电阻特性。

[0049] 由于每个无源故障电流限制器54中的超导材料配置成为所述关联无源故障电流限制器54提供非线性电阻特性,所以每个这种无源故障电流限制器54将阻抗的变化主要表现为电阻的变化,并且因此每个这种无源故障电流限制器54能够具有针对交流和直流的电

流限制效果。

[0050] 在第一电压源转换器10的正常操作期间,组合电压在每个转换器分支部分32A、32B、32C、34A、34B、34C中经由多个模块38(其中每个模块38提供其自己的电压)的电容器42的插入来建立,它比从每个单独模块38可用的电压要高。以此方式,每个转换器分支部分32A、32B、32C、34A、34B、34C能够提供阶跃的可变电压源,其准许使用逐步逼近来生成跨所述转换器分支部分32A、32B、32C、34A、34B、34C的电压波形。转换器分支部分32A、32B、32C、34A、34B、34C按照此方式的操作在每个相应AC端子30A、30B、30C生成AC电压波形,并且由此使第一电压源转换器10能够在AC与DC电网28、22之间传递电力。

[0051] 在第一电压源转换器10的这种正常操作期间,正常电流 $I_N$ 在流经上述电容器42、对应开关元件46、48并且进而流经每个对应无源故障电流限制器54。

[0052] 如图3中示意所示,这个正常电流 $I_N$ 小于电流阈值56,并且因此每个无源故障电流限制器54中包含的超导材料采用其超导状态58。因而,每个无源故障电流限制器54对所述正常电流 $I_N$ 呈现极低的第一阻抗。这种低的第一阻抗比常规电压源转换器的每个分支部分中正常包含的固定阻抗要低,并且因此实现例如DC电网22中的DC电压的更好利用,由此准许给定电力量在DC与AC电网22、28之间传递,其中具有比常规电压源转换器中会产生的损耗要低的损耗。

[0053] 在例如DC电网22中的短路故障62的情况下,所产生故障电流 $I_F$ 能够流经相应转换器分支部分32A、32B、32C、34A、34B、34C中的每个模块38的第二开关元件48中的反并联二极管52。

[0054] 当故障电流 $I_F$ 超过每个对应无源故障电流限制器54中包含的超导材料的电流阈值58时,所述超导材料转变为高电阻状态60。相应无源故障电流限制器54此后对故障电流 $I_F$ 呈现极高的第二阻抗。由每个这种无源故障电流限制器54所呈现的第二阻抗充分高,以便限制故障电流 $I_F$ 的增加率以及更具体来说还将故障电流 $I_F$ 限制到低于每个开关元件46、48的电流定额64(即,在故障状况期间故障电流 $I_F$ 所流经的每个反并联二极管52的电流定额)的级别,如图3中所示。

[0055] 无源故障电流限制器54的这种操作准许从每个模块38中省略快速行动的保护元件(例如晶闸管),并且还提供故障穿越能力,由此第一电压源转换器10能够耐受故障状况,而甚至无需操作AC电网28中的较慢行动的保护元件(例如断路器),即,如图3中所示,故障电流 $I_F$ 甚至在故障状况发生后的20毫秒之后也没有超过开关元件46、48的电流定额64(即,关联反并联二极管52的电流定额)。

[0056] 在本发明的其它实施例(未示出)中,每个无源故障电流限制器54中包含的超导材料转而可配置成在故障状况期间呈现第二阻抗,其充分高以便仅将故障电流 $I_F$ 的增加率限制到预定级别,使得在故障状况的开始之后提供充分延迟,以便在故障电流 $I_F$ 超过每个模块38中的每个开关元件46、48的电流定额64之前准许较慢行动的保护元件的操作,即AC电网26中的断路器的断开。

[0057] 在本发明的进一步实施例中,无源故障电流限制器54的一个或多个中包含的超导材料转而可配置成为对应无源故障电流限制器54提供非线性电感特性,使得该或每个这种对应无源故障电流限制器54将阻抗的变化主要表现为电感的变化。更具体来说,超导材料的电阻的变化可用来构建非线性电感。电感的阻抗效应在交流存在的情况下是显然的,并

且因此包括超导材料(其配置成为所述无源故障电流限制器54提供非线性电感特性)或者由其所形成的无源故障电流限制器54能够被优化成对交流具有限制效果。

[0058] 在本发明的还有的进一步实施例中,无源故障电流限制器54的一个或多个限制器中包含的材料或者可从其来形成故障电流限制器54的一个或多个限制器的材料可以是磁性材料,其随着流经它的电流增加而耗散更大量的能量。

[0059] 这种磁性材料的第一示例是最初未磁化并且随着流经它的电流的级别增加而变得被磁化的磁性材料。更具体来说,并且如图4中所示,当低电流(即,例如将在按照本发明的电压源转换器的正常操作期间流动的正常电流)流经材料时,电流的级别没有大到足以磁化材料。因此,在对应的正常状况磁滞回路 $L_N$ 中耗散的能量(其中所耗散能量相当于所述回路 $L_N$ 所包围的面积)是小的。此外,由于所耗散能量能够被等同于电阻,所以对应无源故障电流限制器54的所产生阻抗也是低的。

[0060] 但是,当流经未磁化材料的电流开始上升(即,如对于产生于例如本发明的电压源转换器可与其连接的DC电网中的短路的故障电流 $I_F$ 所发生)时,未磁化材料的特性转变到宽故障状况磁滞回路 $L_F$ ,也如图4中所示。如上所述,当未磁化材料围绕故障状况磁滞回路 $L_F$ 来循环时,装置中耗散的能量相当于回路 $L_F$ 所包围的面积,它因此是大的,并且因此等同于高阻抗。未磁化材料的这种操作要求材料围绕故障状况磁滞回路 $L_F$ 来循环,并且因此阻抗主要表现为一种形式的电感。因此,这种未磁化材料完全适合限制交流。

[0061] 这种磁性材料的第二示例是最初预磁化并且随着流经它的电流的级别增加而变得被消磁的磁性材料。

[0062] 如图5中所示,当低电流流经材料时,即在按照本发明的电压源转换器的正常操作期间,预磁化材料操作在第一操作点66,以及流经它的电流没有大到对所述预磁化材料消磁。极少能量被材料耗散,并且因而其中包含预磁化材料的关联无源故障电流限制器54的阻抗是低的。

[0063] 当流经预磁化材料的电流开始上升(即,如对于产生于例如本发明的电压源转换器可与其连接的DC电网中的短路的故障电流 $I_F$ 所发生)时,预磁化材料开始被消磁,并且其特性跟随关联宽故障状况磁滞回路 $L_F$ 的上曲线。

[0064] 这个过程耗散相当于例如对应转换器分支部分32A、32B、32C、34A、34B、34C中的关联无源故障电流限制器54所呈现的大阻抗的能量。

[0065] 一旦对应转换器分支部分32A、32B、32C、34A、34B、34C暂时断开,所述无源故障电流限制器54中的材料将沿相反方向来磁化,并且无源故障电流限制器54端子(未示出)的极性将必须反转。

[0066] 因此,这种无源故障电流限制器适合于限制直流,但是仅沿一个方向。

[0067] 按照本发明的第二实施例的电压源转换器80在图6中被示意示出。第二电压源转换器80与第一电压源转换器相似,并且相似特征共用相同引用标号。

[0068] 第二电压源转换器80与第一电压源转换器10的不同之处在于,不是每个转换器分支部分32A、32B、32C、34A、34B、34C包括无源故障电流限制器54,无源故障电流限制器54转而串联连接在每个第一端子14与第一电网16之间,即第一和第二DC端子24A、24B、24C、26A、26B、26C的每个与DC电网22之间。

[0069] 在所述DC电网22中的短路62的情况下,每个这种无源故障电流限制器54具有流经

它的故障电流 $I_F$ ,其最初上升,并且然后安定到稳态电流级别,即,如图7中所示。

[0070] 鉴于流经每个无源故障电流限制器54的故障电流 $I_F$ 的稳态性质,即故障电流 $I_F$ 的基本直流性质,应当从其制作每个所述无源故障电流限制器54的材料或者每个所述无源故障电流限制器54应当包括的材料是将阻抗的变化主要表现为其电阻的变化的材料或者是以其它方式特别优化以用于限制直流的材料。

[0071] 按照本发明的第三实施例的电压源转换器90在图8中被示意示出。第三电压源转换器90与第一和第二电压源转换器10、80的每个相似,并且相似特征共用相同的引用标号。

[0072] 第三电压源转换器90与第一和第二电压源转换器10、80的每个的不同之处在于,无源故障电流限制器54转而串联连接在每个第二端子18与第二电网20之间,即与每相对应的AC端子30A、30B、30C与AC电网28之间。

[0073] 在DC电网22中的短路62的情况下,每个这种无源故障电流限制器54具有流经它的故障电流 $I_F$ ,其沿第一和第二相反方向振荡,即,如图9中所示。

[0074] 鉴于流经每个无源故障电流限制器54的故障电流 $I_F$ 的振荡性质(即交流性质),应当从其制成每个所述无源故障电流限制器54的材料或者每个所述无源故障电流限制器54应当包括的材料能够是将阻抗的变化主要表现为其电阻的变化或者其电感的变化的材料。

[0075] 按照本发明的还有的进一步实施例的电压源转换器(未示出)可包括无源故障电流限制器54,其按照上文所述的第一、第二和第三电压源转换器10、80、90中采用的定位的任何组合来布置。

[0076] 例如,按照本发明的一实施例的另一电压源转换器可包括每个转换器分支部分中的第一无源故障电流限制器以及串联连接在该或每个AC端子与AC电网之间的第二无源故障电流限制器。

[0077] 这种实施例中的所述第一和第二无源故障电流限制器均可相同,即,均可以是或者包括相同材料,或者它们可以是或者包括不同材料,其经过优化以便按照电压源转换器中的故障电流限制器的位置来限制流经其的电流的特定类型(即交流或直流),即,当串联连接在AC端子与AC电网之间时的交流、当串联连接在DC端子与DC电网之间时的直流以及当连接在转换器分支部分中时的交流和直流的组合。

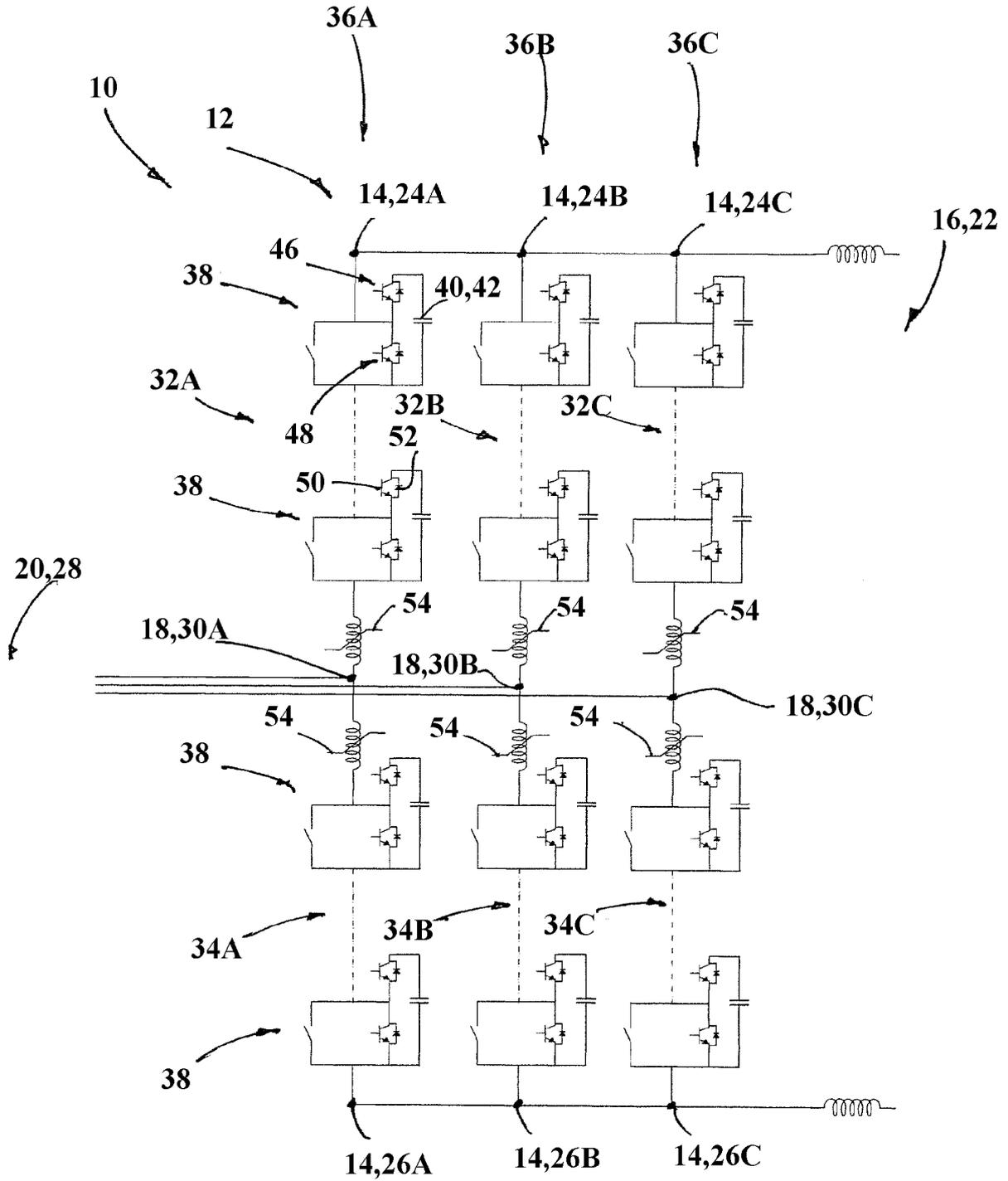


图 1

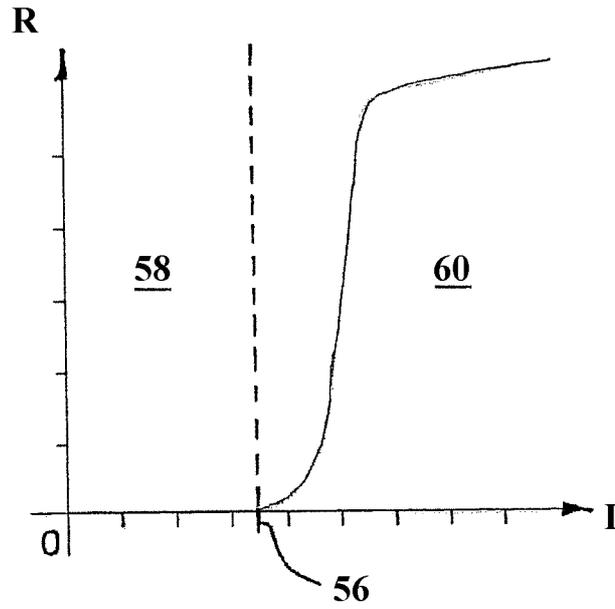


图 2

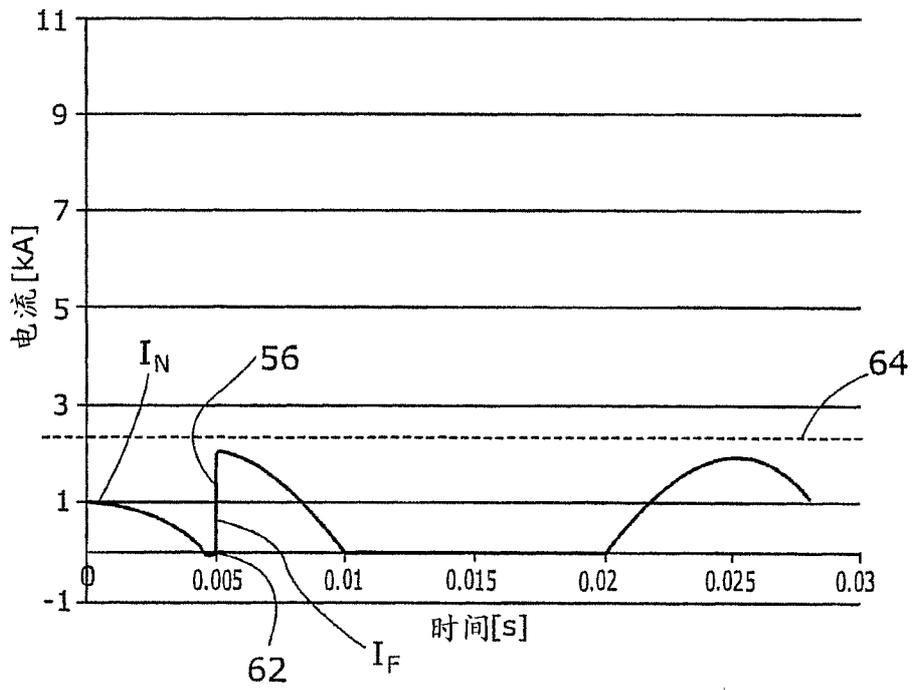


图 3

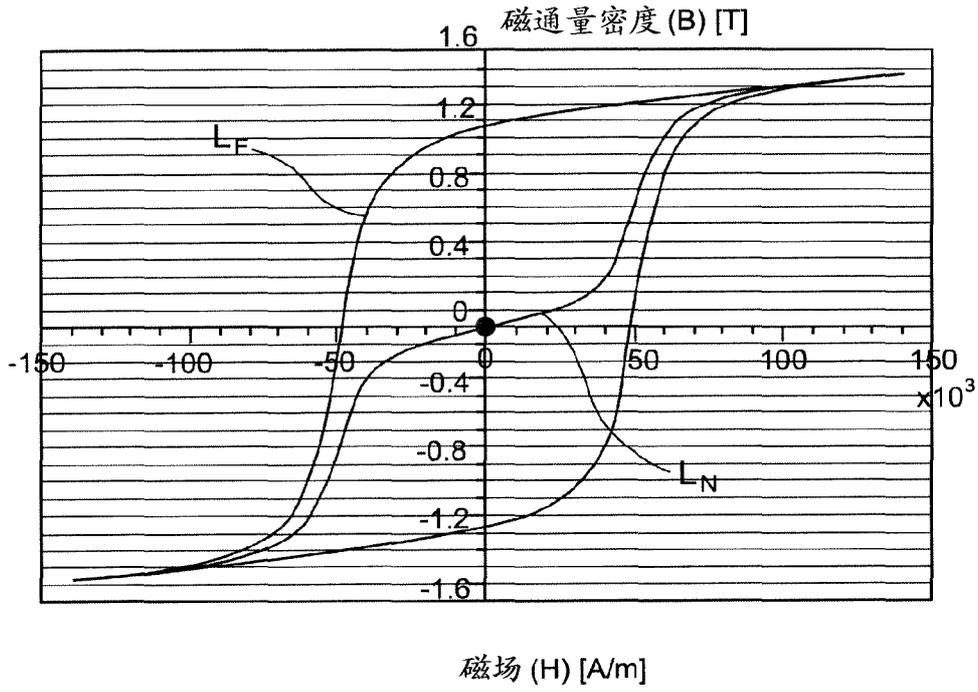


图 4

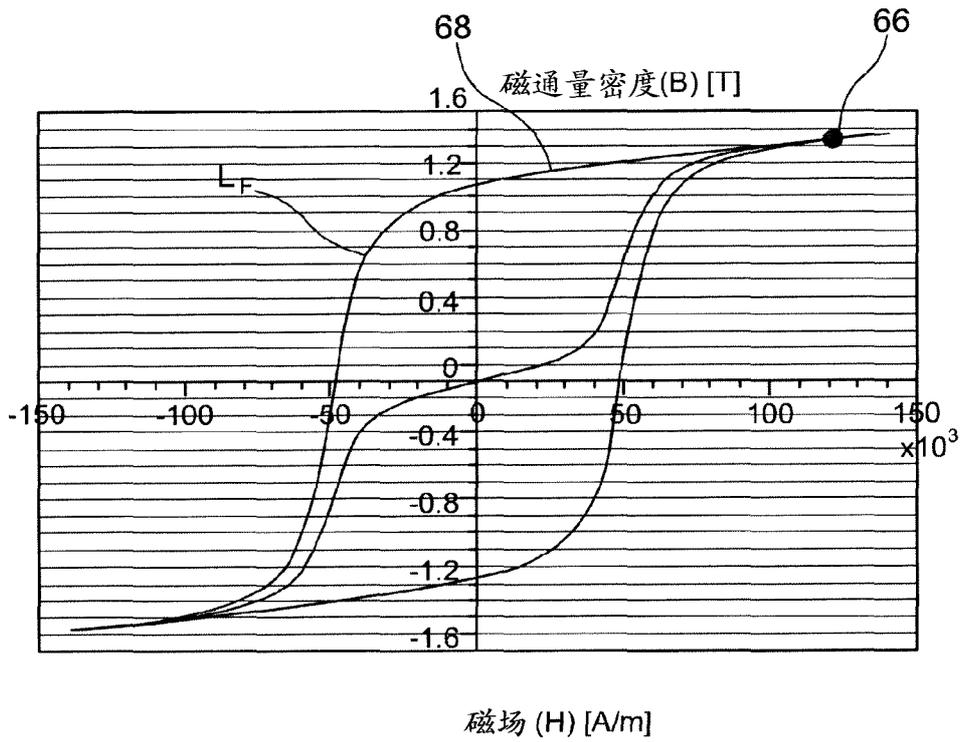


图 5

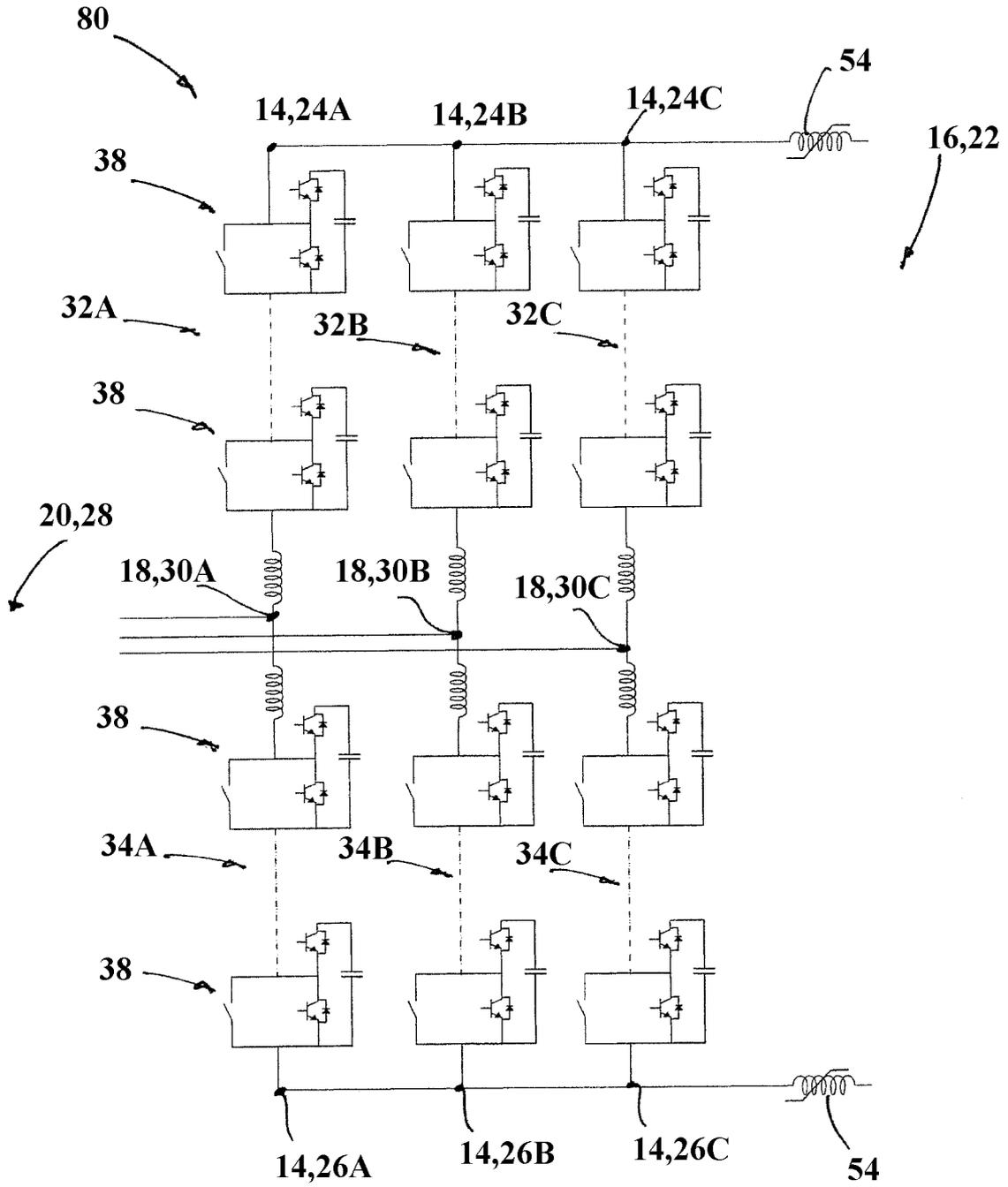


图 6

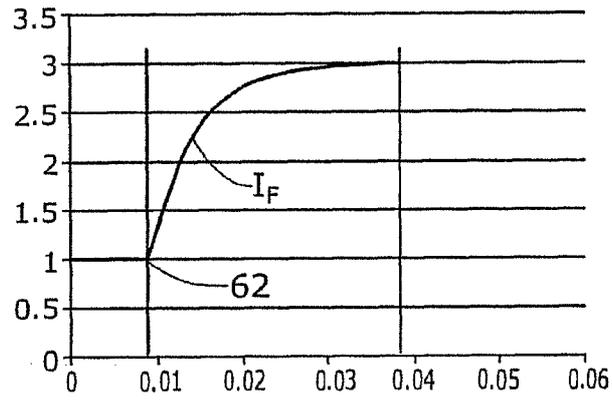


图 7

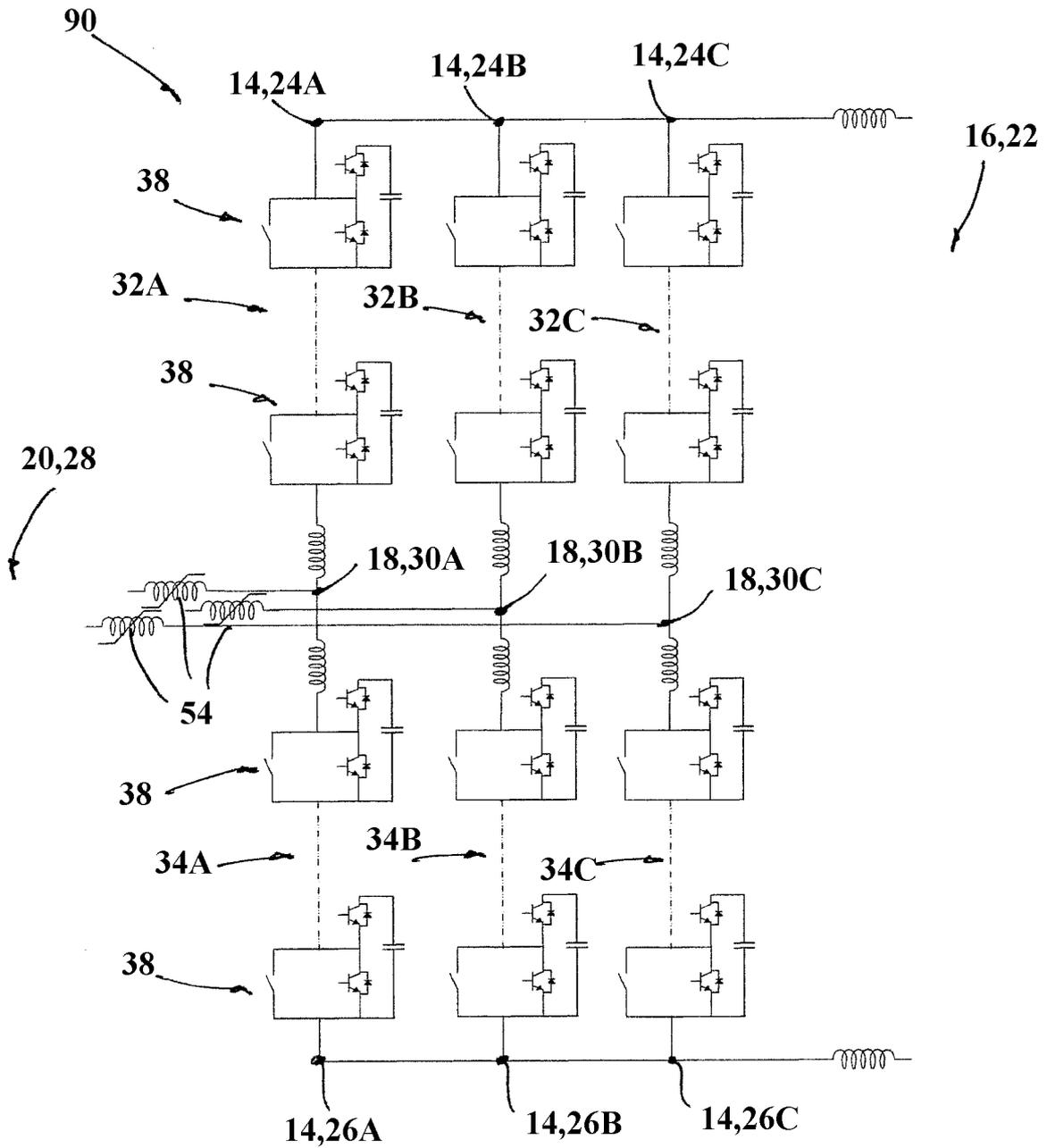


图 8

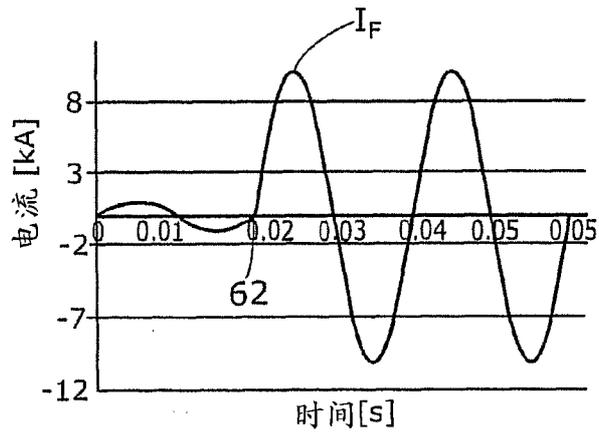


图 9