



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103141018 B

(45) 授权公告日 2015. 12. 16

(21) 申请号 201080068196. 8

(22) 申请日 2010. 07. 30

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2013. 01. 22

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2010/061145 2010. 07. 30

(87) PCT国际申请的公布数据
W02012/013248 EN 2012. 02. 02

(73) 专利权人 阿尔斯通技术有限公司
地址 瑞士巴登

(72) 发明人 戴维·雷金纳德·特雷纳
威廉·克鲁克斯
蒂莫西·查尔斯·格林
米夏埃尔·马克·克洛德·梅兰

(74) 专利代理机构 北京品源专利代理有限公司
11332

代理人 杨生平 钟锦舜

(51) Int. Cl.
H02M 1/32(2006. 01)
H02J 3/18(2006. 01)
H02M 7/797(2006. 01)

(56) 对比文件
CN 1188343 A, 1998. 07. 22,
DE 10103031 A1, 2002. 07. 25,
WO 02063758 A1, 2002. 08. 15,
WO 2009149743 A1, 2009. 12. 17,
WO 2010025758 A1, 2010. 03. 11,
WO 2010051854 A1, 2010. 05. 14,
审查员 伍春燕

权利要求书2页 说明书11页 附图9页

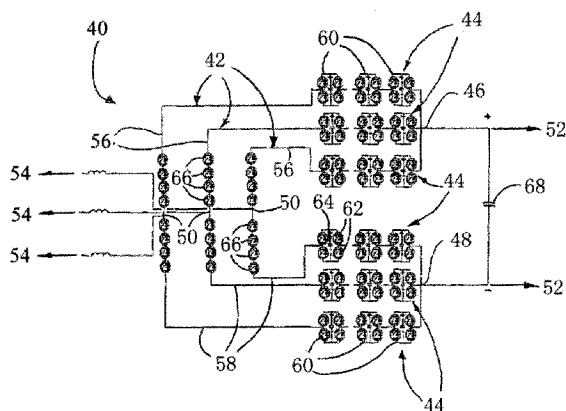
(54) 发明名称

包括用于处理 DC 侧短路的全桥单元的 HVDC 转换器

(57) 摘要

用于高压直流电力传输和无功补偿的电力电子转换器 (40) 包括三个转换器分支 (42), 每个转换器分支 (42) 都包括用于在使用中连接至 DC 网络 (52) 的第一 DC 端 (46) 和第二 DC 端 (48), 以及用于在使用中连接至三相 AC 网络 (54) 的相应相的 AC 端 (50), 每个转换器分支 (42) 都限定串联连接在所述相应的 AC 端 (60) 与所述第一 DC 端 (46) 与第二 DC 端 (48) 中的相应端之间的第一分支部分 (56) 和第二分支部分 (58), 每个分支部分 (56, 58) 都包括在使用中可控制以方便在所述 AC 网络 (52) 与 DC 网络 (54) 之间的电力转换的至少一个切换元件 (62, 66), 所述电力电子转换器 (40) 还包括多个辅助单元 (44), 每个辅助单元 (44) 都可操作地与所述 AC 网络 (52) 的相应相可操作地关联, 每个辅助单元 (44) 都包括至少一个包括电压源的模块 (60), 所述分支部分 (56, 58) 在使用中可控制以限定在星形结构中的每个支路中包括所述多个辅助单元 (44) 中的至少一个三

相静态同步补偿器, 所述第一 DC 端 (46) 和 / 或第二 DC 端 (48) 中的每一个都限定所述相应星形结构中的中性点。



1. 一种用于高压直流电力传输和无功补偿的电力电子转换器 (40), 该电力电子转换器 (40) 包括三个转换器分支 (42), 每个转换器分支都包括用于在使用中连接至 DC 网络的第一 DC 端 (46) 和第二 DC 端 (48), 以及用于在使用中连接至三相 AC 网络 (54) 的相应相的 AC 端 (50), 每个转换器分支限定串联连接在相应 AC 端 (50) 与所述第一 DC 端 (46) 与第二 DC 端 (48) 中的相应端之间的第一分支部分 (56) 和第二分支部分 (58), 每个分支部分包括在使用中被控制以方便在所述 AC 网络与 DC 网络之间的电力转换的至少一个切换元件 (66) 和至少一个辅助单元 (44), 每个辅助单元包括能够产生双方向的电压并导通双方向的电流的至少一个链接模块 (60), 第一分支部分 (56) 和第二分支部分 (58) 在使用中分别被控制以形成可变幅度和相位角的两个独立的三相电压源, 来限定至少一个三相静态同步补偿器, 该三相静态同步补偿器包括在星形结构的每个支路中的多个辅助单元 (44) 中的至少一个, 所述第一 DC 端 (46) 和 / 或第二 DC 端 (48) 中的每个都限定相应星形结构中的中性点。

2. 根据权利要求 1 所述的电力电子转换器 (40), 其中, 第一分支部分 (56) 和第二分支部分 (58) 在使用中被控制, 以同时限定第一三相静态同步补偿器和第二三相静态同步补偿器。

3. 根据权利要求 2 所述的电力电子转换器 (40), 其中, 所述第一三相静态同步补偿器和所述第二三相静态同步补偿器的每个辅助单元 (44) 在使用中是可控制的, 以使所述第一三相静态同步补偿器和所述第二三相静态同步补偿器的操作同步。

4. 根据权利要求 1 所述的电力电子转换器 (40), 其中, 所述第一分支部分 (56) 和所述第二分支部分 (58) 在使用中被控制, 以交替地限定第一三相静态同步补偿器和第二三相静态同步补偿器。

5. 根据权利要求 4 所述的电力电子转换器 (40), 其中, 所述第一三相静态同步补偿器和所述第二三相静态同步补偿器被限定为 50 :50 的占空比。

6. 根据上述权利要求中任一项所述的电力电子转换器 (40), 其中, 至少一个三相静态同步补偿器的各辅助单元 (44) 在使用中被控制, 以在所述星形结构的相应支路中产生电压波形, 所述电压波形相对于由所述相应三相静态同步补偿器的其它辅助单元产生的所述电压波形具有 120 电角度的相位角位移。

7. 根据权利要求 6 所述的电力电子转换器 (40), 其中, 每个产生的电压波形几乎接近正弦波形。

8. 根据权利要求 1 所述的电力电子转换器 (40), 其中, 每个链接模块 (60) 包括: 以至少一个能量存储装置形式的电压源; 以及用于将所述至少一个能量存储装置切换到电路中或切离电路的至少一个初级切换元件。

9. 根据权利要求 8 所述的电力电子转换器 (40), 其中, 每个链接模块 (60) 都包括与能量存储装置并联连接的两对初级切换元件以限定提供负、零或正电压并且可以沿着两个方向传导电流的四象限双极模块。

10. 根据权利要求 8 所述的电力电子转换器 (40), 其中, 每个辅助单元都包括串联连接以形成链接转换器的多个链接模块 (60)。

11. 根据权利要求 10 所述的电力电子转换器 (40), 其中, 所述链接转换器的每个链接模块 (60) 的所述至少一个初级切换元件在使用中被控制以将相应能量存储装置切换至电

路中或切离电路,以使所述链接转换器提供阶梯式可变电电压源。

12. 根据权利要求 1 所述的电力电子转换器 (40), 其中, 每个分支部分 (56、58) 都包括串联连接在连接到相应分支部分的相应 AC 端与 DC 端之间的至少一个二级切换元件。

13. 根据权利要求 1 所述的电力电子转换器 (40), 其中, 所述多个辅助单元中的一个连接到相应转换器分支的 AC 端以便在使用中连接在相应转换器分支和 AC 网络之间。

14. 根据权利要求 1 所述的电力电子转换器 (40), 其中, 每个分支部分 (56、58) 都包括所述多个辅助单元 (44) 中的一个。

15. 根据权利要求 12 或 14 所述的电力电子转换器 (40), 其中, 每个分支部分 (56、58) 包括与所述分支部分的相应辅助单元串联连接的至少一个二级切换元件。

16. 根据权利要求 15 所述的电力电子转换器 (40), 其中, 每个分支部分的辅助单元在使用中被控制来提供电压, 使得相应分支部分的所述至少一个二级切换元件上的电压最小化。

17. 根据权利要求 1 所述的电力电子转换器 (40), 其中, 每个分支部分的所述至少一个切换元件在使用中被控制, 以将相应分支部分切换至电路中或切离电路以便限定至少一个三相静态同步补偿器。

18. 根据权利要求 12 所述的电力电子转换器 (40), 其中, 每个分支部分的所述至少一个二级切换元件在使用中被控制为接通或断开以便限定至少一个三相静态同步补偿器。

19. 根据权利要求 1 所述的电力电子转换器 (40), 其中, 每个切换元件都包括至少一个半导体器件。

20. 根据权利要求 19 所述的电力电子转换器 (40), 其中, 所述至少一个半导体器件是绝缘栅双极晶体管、场效应晶体管、门极可关断晶闸管、门极换向晶闸管、绝缘门极换向晶闸管或集成门极换向晶闸管。

21. 根据权利要求 19 或权利要求 20 所述的电力电子转换器 (40), 其中, 所述至少一个半导体器件与反并联二极管并联连接。

22. 根据权利要求 1 或权利要求 8 所述的电力电子转换器 (40), 其中, 每个能量存储装置包括电容器、燃料电池、电池、光伏电池或具有关联整流器的辅助 AC 产生器。

23. 根据权利要求 1 或权利要求 8 所述的电力电子转换器 (40), 其中, 每个能量存储装置在使用中可被控制以调整其电压输出。

24. 根据权利要求 1 或权利要求 8 所述的电力电子转换器 (40), 其中, 每个链接模块 (60) 的所述至少一个切换元件在使用中被控制以调节相应能量存储装置的电压。

25. 根据权利要求 1 或权利要求 8 所述的电力电子转换器 (40), 其中, 至少一个三相静态同步补偿器在使用中被控制, 以与所述 AC 网络交换无功功率。

26. 根据权利要求 25 所述的电力电子转换器 (40), 其中, 至少一个三相静态同步补偿器在使用中被控制, 以向所述 AC 网络提供滞后或超前无功功率。

包括用于处理 DC 侧短路的全桥单元的高压直流 (HVDC) 转换器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于高压直流 (HVDC) 电力传输和无功补偿的电力电子转换器。

背景技术

[0002] 在电力传输网络中,交流 (AC) 电通常被转换为直流 (DC) 电以便经由高架线和 / 或海底电缆传输。这种转换去除了对由传输线或电缆施加的交流电容负载效应进行补偿的需要,并且由此减少了每公里电线和 / 或电缆的成本。因此,当电力需要远距离传输时,从 AC 到 DC 的转换变得节约成本。

[0003] 从 AC 电到 DC 电的转换也被用在有必要将以不同频率工作的 AC 网络互连的电力传输网络。

[0004] 在任何这种电力传输网络中,在 AC 电和 DC 电之间的每个接口都需要转换器以实现要求的转换,并且一个此种形式的转换器是电压源转换器 (VSC)。

[0005] 如图 1 所示,电压源转换器的一个实例是使用具有使 DC 网络 22 和 AC 网络 24 互连的绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 20 的六开关 (两级) 和三级多级转换器的拓扑。IGBT 装置 20 被串联地连接和切换,以使能够实现 10MW 至 100MW 的高额定功率。

[0006] 这种传统的方法需要复杂的和有源的 IGBT 驱动,并且可能需要大型的无源缓冲组件来补偿,以确保在转换器切换期间,一 IGBT 装置 20 串联串上的高电压被适当地分配。此外,IGBT 装置 20 需要以高电压在每个 AC 供电频率周期上连通和断开多次,来控制供给 AC 网络 24 的谐波电流。

[0007] 电压源转换器的另一个示例存在于连接 DC 网络 22 和 AC 网络 24 的多级转换器布置中,如图 2 中所示的。在传统的多级转换器中,转换器桥或单元 26 被串联连接,每个单元 26 在不同时间被切换。每个单元 26 包括一对在半桥布置中与电容器 30 并联的半导体开关 28,以限定二象限单极模块,该二象限单极模块能够提高零电压或正电压并且能够在两个方向上都导通电流。传统的多级转换器布置消除了直接切换串联的 IGBT 装置相关的问题,因为单个桥接单元 26 不同时切换,并且转换器电压阶跃相对小。

[0008] 然而,在 HVDC 电力传输网络操作期间,电压源转换器容易遭受表现在 DC 电力传输线或电缆上具有低阻抗的短路的 DC 侧故障。这种故障可以由于绝缘的毁坏或损坏、导体的移动或者因外来物在导体间出现其它意外桥接而发生。

[0009] DC 电力传输线或电缆上出现的低阻抗对电压源转换器是有害的,因为这可能引起在电压源转换器中流经的电流增大至高于其初始值很多倍的故障电流水平。在电压源转换器的电流水平仅被设计为容忍低于故障电流水平的情况下,这种高故障电流就会损坏电压源转换器的组件。

[0010] 传统地,为了减小短路对装置产生的风险,应当打开一个或多个开关以将装置隔离电路。然而,诸如在图 3 中所示的电压源转换器的电压源转换器的切换元件,通常包括当绝缘栅双极晶体管 20 打开时保持导电的反并联二极管 32。因此,即使当绝缘栅双极晶体管 20 打开时,二极管 32 也允许从连接到电压源转换器的 DC 网络 38 中的短路 36 产生的故障

电流 34 如图 3 所示持续地流经转换器。

[0011] 用于减小短路对电压源转换器产生的风险的另一个选择是将电压源转换器设计为容忍导致的故障电流,使得有足够的时间来检测故障并通过打开另一侧(电压源转换器的 AC 侧)的断路器来消除电流。

[0012] 然而,连接到电压源转换器的 DC 网络中的短路所产生的故障电流通常大于转换器额定值的许多倍。为了增大电压源转换器的容忍度,导通转换器二极管的尺寸和容量必须增加,必须并联若干转换器二极管或者必须包括能够承载高故障电流的快速旁路装置。在任何情况下,无论采用哪种选择,几乎都一定需要额外的电感元件来限制高故障电流,并且元件的增加导致了转换器尺寸和重量的增加。这转而导致了相关 HVDC 变换器站的尺寸和面积的增加。

[0013] 此外,打开电压源转换器的相对侧(无故障侧)的断路器是不利的,因为这将其它网络从 HVDC 电力传输网络上断开了。因此,当故障被修复之后,在其它网络能被重新连接至 HVDC 电力传输网络之前,转换器站必须经历启动序列和一系列检查。这导致了潮流中断的延长以及那些依赖于电源供应方案的电力传输方案因此而不可利用。

[0014] 另一个选择是打开电压源转换器 DC 侧的断路器以允许 DC 网络中的故障被隔离并被修复。然而,当使用传统的机械电路断开触头时,在电压源转换器中流过的非零直流导致了持续电弧的形成。因此,必须使用昂贵的、专用的 DC 电路断开设备来中断 DC 侧故障电流,这导致了转换器尺寸、重量和成本的增加。

发明内容

[0015] 根据本发明的一个方面,提供了一种用于高压直流电力传输和无功补偿的电力电子转换器,该电力电子转换器包括三个转换器分支,每个转换器分支都包括用于在使用中连接至 DC 网络的第一 DC 端和第二 DC 端,以及用于在使用中连接至三相 AC 网络的相应相的 AC 端,每个转换器分支限定在相应的 AC 端与第一 DC 端和第二 DC 端中的相应端之间串联连接的第一分支部分和第二分支部分,每个分支部分都包括在使用中可控制以方便在 AC 网络与 DC 网络之间的电力转换的至少一个切换元件,该电力电子转换器进一步包括多个辅助单元,每个辅助单元都可操作地与 AC 网络的相应状态可操作地关联,每个辅助单元都包括至少一个包括电压源的模块,分支部分在使用中是可控制的以限定在星形结构的每个支路上包括所述多个辅助单元中的至少一个的至少一个三相静态同步补偿器,每个第一 DC 端和 / 或第二 DC 端都限定相应星形结构的中性点。

[0016] 在电力电子转换器中提供多个辅助单元和分支部分允许如果在 DC 网络发生故障的情况下,电力电子转换器可以以受控的方式与 AC 网络一起继续交换无功功率。由多个辅助单元形成的所述或每个三相静态同步补偿器的操作独立于 DC 网络,这允许在不影响电力电子转换器的情况下使 DC 网络中的故障能够被隔离并且修复。一旦故障被修复,便可以控制辅助单元以恢复 AC 与 DC 网络之间的电力转换。

[0017] 如前面概述的,在 DC 网络中诸如短路故障的出现,可能导致在电力电子转换器中的高故障电流。然而,所述或每个三相静态同步补偿器的形成提供了对电力电子转换器中流过的电流的控制,并且由此使电力电子转换器组件损坏的风险最小化。此外,所述或每个三相静态同步补偿器可以操作为使从与 AC 网络交换无功功率的相应中性点流到 DC 网络的

电流最小化。这减小了 DC 网络组件损坏的风险,而且还防止了能量流动到由 DC 网络中的故障产生的任何电弧中。

[0018] 省略所述多个辅助单元将会使得有必要将电力电子转换器从 AC 网络断开连接,这不仅导致电力电子转换器由于前面概述的原因的离线时期的延长,还导致可能不利地影响电力电子转换器的突然的电压扰动。

[0019] 分支部分可以如以下操作,以形成电力电子转换器的多种结构,以根据 AC 网络的特性限定所述或每个静态同步补偿器。

[0020] 在本发明的实施例中,分支部分可以是在使用中可控制的,以同时限定具有星形结构的第一三相静态同步补偿器和第二三相静态同步补偿器,所述第一 DC 端和第二 DC 端限定相应星形结构的中性点。在这种实施例中,第一三相静态同步补偿器和第二三相静态同步补偿器的每个辅助单元在使用中可以是可控制的,以使第一静态同步补偿器和第二静态同步补偿器的操作同步。

[0021] 第一三相静态同步补偿器和第二三相静态同步补偿器的形成都是有利的,这使得能够从 AC 网络中提取高达两倍的额定无功电流,这可以被用来减小存在于 AC 网络中的大电压瞬变。使第一三相静态同步补偿器和第二三相静态同步补偿器的操作同步允许在它们相应中性点处的电压大约相等,这使存在于 DC 网络中的电压最小化。

[0022] 在其它实施例中,分支部分可以是在使用中可控制的,以交替地限定第一三相静态同步补偿器和第二三相静态同步补偿器。在这种实施例中,分支部分可以是在使用中可控制的,以便以 50 : 50 的占空比交替地限定第一三相静态同步补偿器和第二三相静态同步补偿器。

[0023] 在另外的实施例中,所述或每个三相静态同步补偿器的各辅助单元在使用中都是可控制的,以在星形结构的相应支路中产生电压波形,该电压波形相对于由相应三相静态同步补偿器的其它辅助单元产生的其它电压波形具有 120 电角度的相位角位移。优选地,每个产生的电压波形几乎近似于正弦波形。

[0024] 在所述或每个三相静态同步补偿器的中性点上的电压等于在相应星形结构的每个支路中产生的平均电压。这样,当产生的电压波形接近具有相等幅度并且相距 120 电角度的理想的正弦曲线时,中性点电压将名义上为零,这使流入 DC 网络的电流量最小化。

[0025] 优选地,每个模块包括:以至少一个能量存储装置形式的电压源;以及用于将所述或每个能量存储装置切换至电路中或切离电路的至少一个初级切换元件。

[0026] 在该实施例中,每个模块都可以包括与能量存储装置并联的两对初级切换元件,以限定提供负电压、零电压或正电压并且可以沿着两个方向传导电流的四象限双极模块。

[0027] 提供零电压、正电压或负电压的四象限双极模块的能力与相应的三相静态同步补偿器的星形结构的每个支路中的 AC 电压波形的产生兼容。

[0028] 在本发明的实施例中,每个辅助单元都可以包括用于限定链接转换器的串联连接的多个模块。

[0029] 链接转换器的结构允许经由每个都将电压提供到链接转换器中的多个模块的插入积累高于由单个模块提供的电压的结合电压。通过改变结合电压的值,链接转换器可以被操作以产生可变振幅和相位角的电压波形。

[0030] 在这样的利用使用包括至少一个能量存储装置和至少一个初级切换元件的至少

一个模块的实施例中,每个链接转换器的各模块的所述或每个初级切换元件在使用中可以是可控制的,以使相应的能量存储装置切换到电路中或切离电路以使链接转换器提供阶梯式可变电电压源。

[0031] 该多级布置允许通过调整对连接转换器中的每个模块的切换操作的时序使具有不同形状的电压波形合成。通过改变结合电压的值,链接转换器可以操作为产生可变振幅和相位角的电压波形。

[0032] 当链接转换器包括一个或多个四象限双极模块时,四象限双极模块提供正电压或负电压的能力意味着所述或每个链接转换器上的电压可以从提供正电压或负电压的模块的结合积聚。因此,通过控制模块在正电压或负电压之间交替使得在单个能量存储装置中的能量级别可以保持在最佳级别。

[0033] 在其它实施例中,每个分支部分都可以包括在连接到相应分支部分的相应的 AC 端与 DC 端之间串联连接的至少一个二级切换元件。

[0034] 在每个分支部分中的所述或每个二级切换元件都可以操作为执行整流和逆变处理,以在 AC 网络与 DC 网络之间传送电力。

[0035] 在其它实施例中,所述多个辅助单元中的一个可以被连接至相应转换器分支的 AC 端以便在使用中连接在相应转换器分支与 AC 网络之间。

[0036] 该布置使以第一 DC 端和 / 或第二 DC 端作为相应星形结构的中性点限定所述或每个三相静态同步补偿器所需要的辅助单元的数量最小化。

[0037] 每个分支部分都可以包括所述多个辅助单元中的一个。

[0038] 将辅助单元集成到分支部分中允许分支部分能执行电力转换和所述或每个静态同步补偿器的形成。这导致在硬件尺寸、重量和成本方面上的节省。

[0039] 每个分支部分可以包括与分支部分的相应的辅助单元串联连接的至少一个二级切换元件。

[0040] 在每个部分中与辅助单元串联连接的一个或多个二级切换元件的串联结合是有利的,因为其减少了用于在 AC 和 DC 网络之间执行电压转换所需要的辅助单元中组件的数量。

[0041] 在利用在每个分支部分中都使用辅助单元的实施例中,各分支部分的辅助单元在使用中都可以是可控制的以提供电压,以使相应分支部分的所述或每个二级切换元件上的电压最小化。

[0042] 在不形成三相静态同步补偿器的一部分的各分支部分中,当分支部分还包括与辅助单元串联连接的至少一个二级切换元件时,以这种方式的每个分支部分的辅助单元的操作也可以不仅被用来使所述或每个打开的二级切换元件上的电压应力最小化,而且当分支部分不形成三相静态同步补偿器的一部分时,还使相应的反并联二极管保持在反向偏置和非导通状态。

[0043] 在本发明的实施例中,每个分支部分的所述或每个切换元件在使用中都可以可控制的,以将相应的分支部分切换至电路中或切离电路,以便限定所述或每个三相静态同步补偿器。

[0044] 在其它实施例中,每个分支部分的所述或每个二级切换元件可以在使用中可控制为接通或断开以限定所述或每个三相静态同步补偿器。

[0045] 切换元件以这种形式的操作导致了具有星形结构的所述或每个静态同步补偿器的形成,其中,第一 DC 端和 / 或第二 DC 端限定了相应星形结构的中性点。

[0046] 优选地,每个切换元件都包括至少一个半导体器件。这种半导体器件可以是优选地与反并联二极管并联连接的绝缘栅双极晶体管、场效应晶体管、门极可关断晶闸管、门极换向晶闸管、绝缘门极换向晶闸管或集成门极换向晶闸管。

[0047] 半导体器件的使用是有利的,因为这种器件尺寸和重量小并且具有相对低的功率损耗,这使得对制冷设备的需要最小化。因此,其导致了电力转换器成本、尺寸和重量上的显著减少。

[0048] 该半导体器件的快速切换能力允许电力电子转换器合成复杂的波形以便注入电力电子转换器的 AC 侧和 / 或 DC 侧。这种复杂波形的注入可以被用于,例如使通常与基于线性换向晶闸管的电力电子转换器相关的谐波失真的等级最小化。此外,包含这种半导体器件允许辅助单元快速响应 DC 侧故障的发展,并由此改进电力电子转换器的故障保护。

[0049] 在利用使用包括至少一个能量存储装置的至少一个模块的实施例,各能量存储装置都包括电容器、燃料电池、电池、光伏电池或具有相关整流器的辅助 AC 发生器。

[0050] 能量存储装置可以是能够存储与释放其电能以提供电压的任何装置。在其中设备的性能可以根据地点或运输难度而变化的不同地点设计转换器站时该灵活性是有用的。例如,在近海风电场,能量存储装置可以是与风轮机连接的辅助 AC 发生器。

[0051] 在采用了使用至少一个能量存储装置的其它实施例中,每个能量存储装置都可以在使用中是可控制的以调整其电压输出。

[0052] 这允许电力电子转换器产生不同幅度的 AC 电压波形以便修正提供给 AC 网络的无功功率。例如,每个能量存储装置的电压输出可以增加,以允许转换器产生比 AC 网络更高幅度的电压波形以便提供超前无功功率。这去除了对包括额外的辅助单元模块的需要,其中,该辅助单元模块仅为增加电压波形的幅度而被需要,但是在 AC 网络与 DC 网络之间的电力转换期间保持未使用。这由此导致了硬件尺寸、重量和成本上的减少。

[0053] 在利用使用至少一个能量存储装置的其它实施例中,每个模块的所述或每个切换元件都可以在使用中可被控制以调整相应的能量存储装置的电压。

[0054] 电压电平的调整对每个模块的能量存储装置的电压电平提供了额外的控制。这种形式的控制可以用于例如平衡单个模块的电压电平。这是有利的,因为其意味着任何特定模块的电压都可以被保持约等于平均模块电压以简化控制并且提高使用平均模块电压作为反馈以控制辅助单元的模块的切换的电压源转换器的性能。

[0055] 在本发明的实施例中,所述或每个三相静态同步补偿器在使用中可以是可控制的以与 AC 网络交换无功功率。在这种实施例中,所述或每个三相静态同步补偿器在使用中是可控制的以向 AC 网络提供滞后或超前无功功率。

[0056] 在电力电子转换器与 AC 网络之间的无功功率交换允许由 AC 和 DC 网络之间的真实潮流的突然中断产生的或是由于 DC 网络中的故障的开始和 / 或去除从其它连接的负载或电源中发生的变化产生的任何电压扰动都能够稳定。

[0057] 在其它实施例中,所述或每个三相静态同步补偿器都可以在使用中是可控制的,以便在使用中在 DC 网络中发生故障的情况下向 DC 网络供电。

[0058] 向 DC 网络中的故障点供电不仅使操作者能够确定 DC 网络中的故障位置,而且还

允许与 DC 网络相关的保护设备能够正常工作。

[0059] 在其它实施例中,电力电子转换器可以进一步包括具有可操作地连接到每个 AC 端以便在使用中连接在相应的转换器分支与 AC 网络之间的星形结构的包括多个绕组的三相变压器。

[0060] 在星形结构中提供多个绕组允许第一 DC 端或第二 DC 端通过连接到多个绕组的星形结构的中性点而被接地。直接连接到接地 DC 端的分支部分可以由此被控制以限定静态同步补偿器的电压。

附图说明

[0061] 现将通过非限制性的实例,参照附图对本发明的优选实施例进行描述,在附图中:

[0062] 图 1 和图 2 以示意的形式示出了现有技术的电压源转换器;

[0063] 图 3 示出了在连接的 DC 网络中发生故障之后在三相电压源转换器中故障电流的形成;

[0064] 图 4 示出了根据本发明第一实施例的电力电子转换器;

[0065] 图 5 示出了使用链接转换器的 50Hz 电压波形的合成;

[0066] 图 6 示出了阶梯近似的正弦电压波形;

[0067] 图 7 至图 10 示出了在图 4 的电力电子转换器中的第一三相静态同步补偿器和/或第二三相静态同步补偿器的形成;

[0068] 图 11 示出了根据本发明第二实施例的电力电子转换器;

[0069] 图 12 示出了根据本发明第三实施例的电力电子转换器;以及

[0070] 图 13 示出了图 4 中的电力电子转换器的第一 DC 端到变压器的多个绕组的中性点的连接。

具体实施方式

[0071] 在图 4 中显示了根据本发明第一实施例的电力电子转换器 40。

[0072] 电力电子转换器 40 包括三个转换器分支 42 和多个辅助单元 44。

[0073] 每个转换器分支 42 包括第一 DC 端 46 和第二 DC 端 48 以及 AC 端 50。

[0074] 在使用中,在每个转换器分支中,第一 DC 端 46 和第二 DC 端 48 被分别连接到 DC 网络 52 的正端子和负端子,正端子和负端子分别承载 $+V_{dc}/2$ 和 $-V_{dc}/2$ 电压,而 AC 端 50 被连接到三相 AC 网络 54 的相应相。

[0075] 每个转换器分支 42 都限定第一分支部分 56 和第二分支部分 58。在每个转换器分支 42 中,第一分支部分 56 在第一 DC 端 46 和 AC 端 50 之间串联连接,而第二分支部分 58 在第二 DC 端 48 和 AC 端 50 之间串联连接。

[0076] 各转换器分支 42 的第一分支部分 56 和第二分支部分 58 中的每一个包括辅助单元 44。每个分支部分 56、58 的辅助单元 44 都包括用于限定链接转换器 44 的串联连接的多个模块 60。通过相应分支部分 56、58 需要的额定电压确定每个链接转换器 44 中模块 60 的数量。每个模块 60 包括两对与电容器 64 并联连接的初级切换元件 62 以限定提供负电压、零电压或正电压并可以沿着两个方向传导电流的四象限双极模块 60。

[0077] 每个分支部分 56、58 进一步包括与分支部分 56、58 的辅助单元 44 串联连接的多个串联连接的二级切换元件 66。可以假想的是,在其它实施例中,在每个分支部分 56、58 中的串联连接的二级切换元件 66 的数量可以变化。

[0078] 在多个串联连接的二级切换元件 66 和与第一分支部分 56 和第二分支部分 58 中的每一个的辅助单元 44 之间的串联意味着,在其它实施例中,它们可以在 AC 端 50 和相应的 DC 端 46、48 之间以相反的顺序连接。

[0079] 电力电子转换器 40 还包括串联连接在第一端 46 与第二 DC 端 48 之间并且与各转换器分支 42 并联连接的 DC 连接电容器 68。

[0080] 每个链接转换器 44 的模块 60 的初级切换元件 62 在使用中是可操作的,使得每个链接转换器 44 都提供阶梯式可变的电压源,并且在接近 AC 网络的基本频率被切换。

[0081] 每个模块 60 的电容器 64 可以通过改变初级切换元件 62 的状态而绕过或插入到相应的链接转换器 44 中。

[0082] 当成对的初级切换元件 62 被构造为在模块 60 中形成短路时,每个模块 60 的电容器 64 都被绕过,致使电力电子转换器 40 中的电流通过短路并且绕过电容器 64。这使模块 60 能够提供零电压。

[0083] 当成对的第二切换元件 66 被构造为允许转换器电流流入和流出电容器 64 时,每个模块 60 的电容器 64 被插入相应的链接转换器 44 中,该电容器 64 随后能够对其存储的能量充电或放电并提供电压。四象限双极模块 60 的双向特性意味着电容器 64 可以以前向或反向方向被插入模块 60 中以便提供正电压或负电压。

[0084] 因此,能够在链接转换器 44 上经由多个模块 60 的电容器的插入积累高于从每个单个模块 60 可获得电压的结合的电压,其中,每个模块 60 都提供其自身的电压到链接转换器 44 中。

[0085] 四象限双极模块 60 提供正电压或负电压的能力意味着每个链接转换器 44 上的电压可以从提供正电压或负电压的模块 60 的结合积聚。因此,可以通过控制模块 60 在提供正电压或负电压之间交替使单个电容器 64 中的能量等级保持在最佳等级。

[0086] 还可以改变用于每个模块的切换操作的时序,使得插入和 / 或绕过链接转换器中的单个模块的电容器导致产生电压波形。在图 5 中示出了使用链接转换器产生电压波形的实例,其中,单个模块的电容器的插入是交错的,以产生 50Hz 的正弦波形。通过调整对链接转换器中的每个模块的切换操作的时序,可以产生其它波形形状。

[0087] 在图 4 中所示的实施例中,每个切换元件 62、66 都包括与反并联二极管并联连接的绝缘栅双极晶体管。

[0088] 设想在其它实施例中,每个切换元件 62、66 可以包括例如场效应晶体管、门极可关断晶闸管、绝缘门极换向晶闸管、集成门极换向晶闸管或其它强制换向或自换向半导体开关的优选地与反并联二极管并联连接不同的半导体器件。

[0089] 该半导体器件的快速切换能力允许电力电子转换器 40 能够合成复杂波形,以便注入到电力电子转换器 40 的 AC 侧和 / 或 DC 侧。这种复杂波形的注入可以被使用,例如以使通常与基于线性换向晶闸管的电压源转换器相关的和谐失真的等级最小化。此外,包含这种半导体器件允许辅助单元 44 快速响应 DC 侧故障的发展,并且由此改进电力电子转换器 40 的故障保护。

[0090] 还假想,在其它实施例中,每个模块 60 的电容器 64 可以被例如燃料电池、电池、光伏电池或具有相关整流器的辅助 AC 发生器的不同的能量存储装置替换。

[0091] 在使用中,第一分支部分 56 和第二分支部分 58 的二级切换元件 66 和链接转换器 44 可操作为将每个链接转换器 44 切换至相应 DC 端 46、48 与 AC 端 50 之间的电路中或切离电路。链接转换器 44 可操作为在相应 AC 端 50 产生电压波形以方便 AC 网络 52 和 DC 网络 54 之间的电力转换。

[0092] 链接转换器 44 优选地可操作为使用阶梯近似产生正弦电压波形。由于他们能够提供以增加或减少在相应 AC 端 50 的输出电压的电压阶梯,因此链接转换器 44 适于在阶梯波的形成中使用。

[0093] 参照图 6 对图 4 的电力电子转换器的运行进行描述。

[0094] 如前面所描述的,在模块 60 中的切换操作可以构造为使得电容器 64 的插入与绕过交替以形成如图 6 中所示的正弦波形 70 的阶梯近似。可以通过使用较高数量的具有较低电压电平的模块 60 以增加电压阶梯 72 的数量改进电压波形 70 的阶梯近似。

[0095] 如图 7 至图 12 中所示,在 DC 网络 52 中发生故障 79 的情形中,串联连接的二级切换元件 66 和分支部分 56、58 的辅助单元 44 可以操作为形成电力电子转换器 40 的不同构造,以便限定在星形结构的每个支路中包括多个辅助单元 44 中的一个的至少一个静态同步补偿器,第一 DC 端 46 和 / 或第二 DC 端 47 限定相应星形结构的中性点。

[0096] 在图 7 中,第一分支部分 56 和第二分支部分 58 的二级切换元件 66 分别接通与断开。这导致具有星形结构的第一三相静态同步补偿器 80 的形成,其中,每个第一分支部分 56 的各辅助单元 44 位于星形结构的相应支路中,并且第一 DC 端 46 限定星形结构的中性点。

[0097] 当第一三相静态同步补偿器 80 形成时,每个第一分支部分 56 的各辅助单元 44 被控制以产生相对于由其它第一分支部分 56 的辅助单元 44 产生的其它电压波形具有 120 电角度的相位角度位移的几乎近似的正弦电压波形。这导致在第一三相静态同步补偿器 80 的星形结构的中性点 46 处几乎为零的电压,这是由于中性点电压等于在星形结构的各支路中产生的电压的平均值。

[0098] 因此,电流仅在第一分支部分 56 内以及 AC 端 50 与 AC 网络 54 之间流动。由于流入 DC 网络 52 的电流是零或最小,因此存在对 DC 网络组件损坏减小的风险,而且也防止了能量流到由 DC 网络 52 中的故障 79 产生的任何电弧中。

[0099] 以这种方式的第一三相静态同步补偿器 80 的操作允许在 DC 网络 52 中发生故障 79 的情形中,电力电子转换器 40 继续与 AC 网络 54 交换无功功率。在使用中,第一三相静态同步补偿器 80 的辅助单元 44 可以被控制以向 AC 网络 54 提供滞后或超前无功功率。电力电子转换器 40 与 AC 网络 54 之间的无功功率交换允许从 AC 网络 54 和 DC 网络 52 之间的真实潮流的意外中断或者从由于在 DC 网络 52 中的故障 79 的开始和 / 或去除在其它连接负载或电源中发生的变化产生的任何电压干扰的稳定。

[0100] 由多个辅助单元 44 形成的第一三相静态同步补偿器 80 的操作独立于 DC 网络 52,这允许在不影响电力电子转换器 40 的情况下 DC 网络 52 中的故障 79 能够被隔离与修复。一旦故障 79 被修复,分支部分 56、58 便可以控制以恢复 AC 与 DC 网络 54、52 之间的电力转换。

[0101] 在图 7 中,第二分支部分 58 被切离电路并且由此不形成第一三相静态同步补偿器 80 的一部分。每个第二分支部分 58 的辅助单元 44 可以被控制以提供电压以便不仅仅使相应第二分支部分 44 的打开次级切换元件 66 上电压应力最小化,而且还使相应的反并联二极管保持在反向偏置与不导电状态中。

[0102] 在图 8 中,第一分支部分 56 和第二分支部分 58 的二级切换元件 66 相应地被关闭与打开。这导致了具有星形结构的第二三相静态同步补偿器 82 的形成,其中,每个第二分支部分 58 的各辅助单元 44 位于星形结构的相应支路中,并且第二 DC 端 48 限定星形结构的中性点。

[0103] 第一三相同步补偿器 80 的操作在细节上作必要的修改后应用于第二三相同步补偿器 82 的操作。

[0104] 在图 9 中,第一分支部分 56 和第二分支部分 58 的二级切换元件 66 接通。这导致第一三相静态同步补偿器 80 和第二三相静态同步补偿器 82 的形成。同时形成的第一三相静态同步补偿器 80 和第二三相静态同步补偿器 82 的操作与上述单独形成的第一相静态同步补偿器 80 和第二三相静态同步补偿器 82 中的每个的操作相似。

[0105] 第一三相静态同步补偿器 80 和第二三相静态同步补偿器 82 的形成都是有利的,因为这使得高达两倍的额定无功电流能够从 AC 网络 54 中输出,这可以被用来减少 AC 网络 54 中大电压瞬间的出现。

[0106] 在 DC 网络 52 中的故障 79 可能采取将第一 DC 端 46 接地到 DC 网络 52 的接地端 84 的形式,如图 10 所示。第二 DC 端 48 未接地并且由此继续承载其工作电压。

[0107] 第一分支部分 56 的辅助单元可以被操作为形成具有星形结构的第一三相静态同步补偿器 80,其中,接地的 DC 端 46 限定了星形结构的中性点,同时通过断开相应的串联连接的二级切换元件 66,与未接地的 DC 端 48 直接连接的第二分支部分 58 被切离电路。在这种情况下,直接连接到未接地 DC 端 48 的每个分支部分 58 都必须充分地定额以经受在未接地 DC 端 48 与相应 AC 端 50 处呈现的交流电压之间的电压差。

[0108] 两组分支部分还可以操作为形成具有星形结构的第一静态同步补偿器和第二静态同步补偿器,其中,接地的 DC 端形成第一静态同步补偿器和第二静态同步补偿器之一的星形结构的中性点,未接地 DC 端形成第一静态同步补偿器和第二静态同步补偿器中的另一个的星形结构的中性点。在这种情况下,与未接地 DC 端直接连接的每个分支部分的辅助单元必须充分地定额,以经受未接地 DC 端与在相应 AC 端呈现的交流电压之间的电压差。为了提供所需的分支部分的额定电压,辅助单元可以包括额外的模块以增加其额定电压。

[0109] 在其它实施例中,在 DC 网络中的故障可以采取将第二 DC 端接地到 DC 网络的接地端的形式,而第一 DC 端保持未接地并且由此继续承载其工作电压。在这样的实施例中,分支部分可以在使用中可控制以限定第一三相静态同步补偿器和 / 或第二三相静态同步补偿器。

[0110] 在图 11 中示出了根据本发明第二实施例的电力电子转换器 40。除了图 10 中的电力电子转换器 40 的各分支部分 56、58 省略了串联连接的二级切换元件以外,该实施例与电力电子转换器 40 的第一实施例相似。

[0111] 为了限定第一三相静态同步补偿器,每个第二分支部分 58 的每个辅助单元 44 可以被操作来产生电压波形,以抵消在相应的 AC 端 50 处的电压,来最小化流经每个第二分支

部分 58 的电流。

[0112] 相似地,为了限定第二三相静态同步补偿器,每个第一分支部分 56 的每个辅助单元 44 可以操作为产生电压波形以抵消在相应 AC 端 50 处的电压以使流经每个第一分支部分 56 的电流最小化。

[0113] 分支部分 56、58 的辅助单元 44 还可以操作为限定第一三相静态同步补偿器和第二三相静态同步补偿器。

[0114] 当在 DC 网络中的故障采取将第一 DC 端或第二 DC 端中的一个的接地到接地端,并且未接地 DC 端保持未接地并且由此继续承载其工作电压时,每个分支部分的辅助单元在使用中都是可控制的以切换相应的分支部分到电路中以及切离电路以限定具有星形结构的第一和 / 或第二三相静态同步补偿器,其中,接地和 / 或未接地 DC 端限定相应星形结构的中性点。

[0115] 在本发明第二实施例中的第一三相静态同步补偿器和第二三相静态同步补偿器的辅助单元 44 的操作与本发明第一实施例中的第一三相静态同步补偿器和第二三相静态同步补偿器的辅助单元 44 的操作相同。

[0116] 在图 12 中示出了根据本发明第三实施例的电力电子转换器 40。除了图 11 中的电力电子转换器 40 的各分支部分 56、58 省略了辅助单元以外,该实施例与电力电子转换器 40 的第一实施例相似。

[0117] 在图 11 中的电力电子转换器 40 还包括连接到相应转换器分支 42 的 AC 端 50 的多个辅助单元 44 中的一个,以便在使用中连接在相应的转换器分支 42 和 AC 网络 54 之间。

[0118] 为了限定第一三相静态同步补偿器,第一分支部分 56 和第二分支部分 58 的二级切换元件 66 分别接通或断开。这导致形成具有星形结构的第一三相静态同步补偿器,其中,连接到每个 AC 端 50 的各辅助单元 44 都位于星形结构的相应支路中并且第一 DC 端 46 限定星形结构的中性点。

[0119] 为了限定第二三相静态同步补偿器,第一分支部分 56 和第二分支部分 58 的二级切换元件 66 被分别地断开与接通。这导致了具有星形结构的第二三相静态同步补偿器的形成,其中,连接至每个 AC 端 50 的每个辅助单元 44 位于星形结构的相应支路中并且第二 DC 端 48 限定星形结构的中性点。

[0120] 为了限定第一三相静态同步补偿器和第二三相静态同步补偿器,第一分支部分 56 和第二分支部分 58 的二级切换元件 66 接通。这导致具有星形结构的第一三相静态同步补偿器和第二三相静态同步补偿器的形成,其中,连接至每个 AC 端 50 的各辅助单元 44 位于星形结构的相应支路中并且第一 DC 端 46 和第二 DC 端 48 限定了相应星形结构中的中性点。

[0121] 这种布置以第一 DC 端 46 和 / 或第二 DC 端 48 作为相应星形结构的中性点使限定第一三相静态同步补偿器和 / 或第二三相静态同步补偿器所需要的辅助单元 44 的数量最小化,并因此降低了硬件尺寸、重量和成本。

[0122] 在本发明第三实施例中的第一三相静态同步补偿器和第二三相静态同步补偿器的辅助单元 44 的操作与本发明第一实施例中的第一三相静态同步补偿器和第二三相静态同步补偿器的辅助单元 44 的操作相同。

[0123] 当 DC 网络中的故障表现出将第一或第二 DC 端中的一个接地到接地端的形式并且未接地 DC 端保持未接地而由此继续承载其工作电压时,分支部分的二级切换元件在使用

中可以是可控制的以接通或断开以切换相应的分支部分到电路中或切离电路以限定具有星形结构的第一三相静态同步补偿器和 / 或第二三相静态同步补偿器, 其中, 接地的和 / 或未接地的 DC 端限定相应星形结构的中性点。

[0124] 在本发明的实施例中, 当第一三相静态同步补偿器和第二三相静态同步补偿器都形成时, 当产生 AC 电压波形以使在第一 DC 端与第二 DC 端 (即第一三相静态同步补偿器与第二三相静态同步补偿器的相应中性点) 处的电压大约相等以使 DC 网络上出现的电压差最小化时, 可以使第一三相静态同步补偿器与第二三相静态补偿器的辅助单元的切换操作同步。

[0125] 在其它实施例中, 分支部分在使用中是可控制的, 以便以 50 : 50 的占空比交替地限定第一三相静态同步补偿器和第二三相静态同步补偿器。

[0126] 第一静态同步补偿器和 / 或第二静态同步补偿器在使用中是可控制的以在 DC 网络中使用中在故障的情况下向 DC 网络供电。

[0127] 向 DC 网络中的故障点供电不仅允许操作者确定 DC 网络中的故障位置, 还允许与 DC 网络相关的保护设备正常工作。

[0128] 在其它实施例中, 电力电子转换器可以进一步包括星形结构的包括多个绕组的三相变压器, 所述三相变压器可操作地连接到每个 AC 端以便在使用中连接在相应转换器分支与 AC 网络之间。

[0129] 如在图 13 中所示的, 在星形结构中多个绕组 86 的提供允许第一 DC 端 46 通过连接到所述多个绕组 86 的星形结构的中性点 88 而被接地。直接连接到接地 DC 端 46 的分支部分 56 可以因此被控制以限定第一静态同步补偿器。在此情形中, 未接地 DC 端 48 将承载与 DC 网络 52 的工作电压相等的电压。这意味着, 直接连接到未接地 DC 端 48 的分支部分 58 必须充分地定额, 以承受在未接地 DC 端 48 的电压与在相应 AC 端 50 的交流电压之间的电压差。

[0130] 可以假想的是, 在其它实施例中, 第二 DC 端可以通过连接到所述多个绕组的星形结构的中性点接地, 并且直接连接到接地 DC 端的分支部分可以被控制以限定第二静态同步补偿器, 同时第一 DC 端保持未接地。

[0131] 在其它实施例中, 每个模块的每个能量存储装置在使用中都可以是可控制的以调整其电压输出。例如, 每个能量存储装置的电压输出都可以增加, 以允许转换器产生比 AC 网络更高幅度的电压波形, 以便提供超前无功功率。这消除了在每个辅助单元中包括额外模块的需要, 所述额外模块仅被增加电压波形的幅度所需要, 但是在 AC 网络与 DC 网络之间电力转换期间保持未使用。因此, 这导致了硬件尺寸、重量和成本的减少。

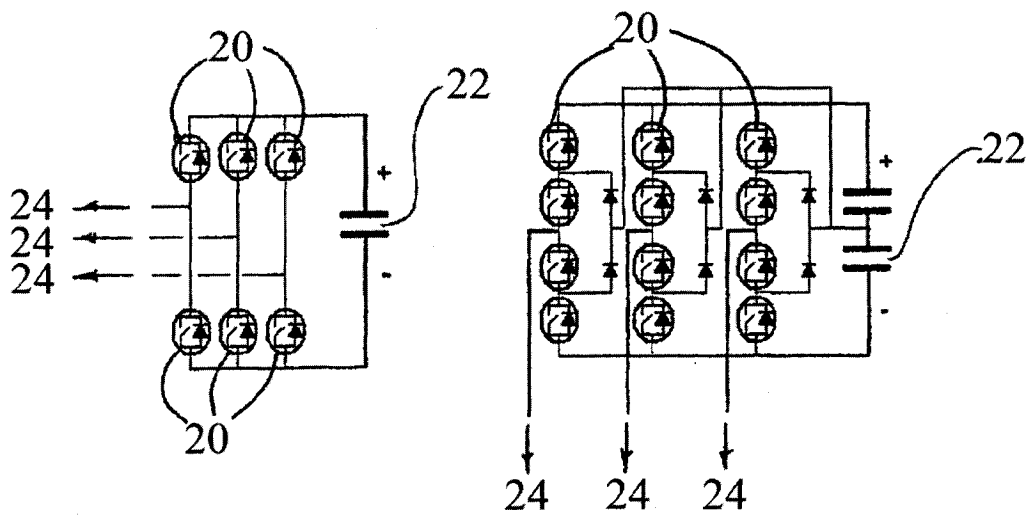


图 1

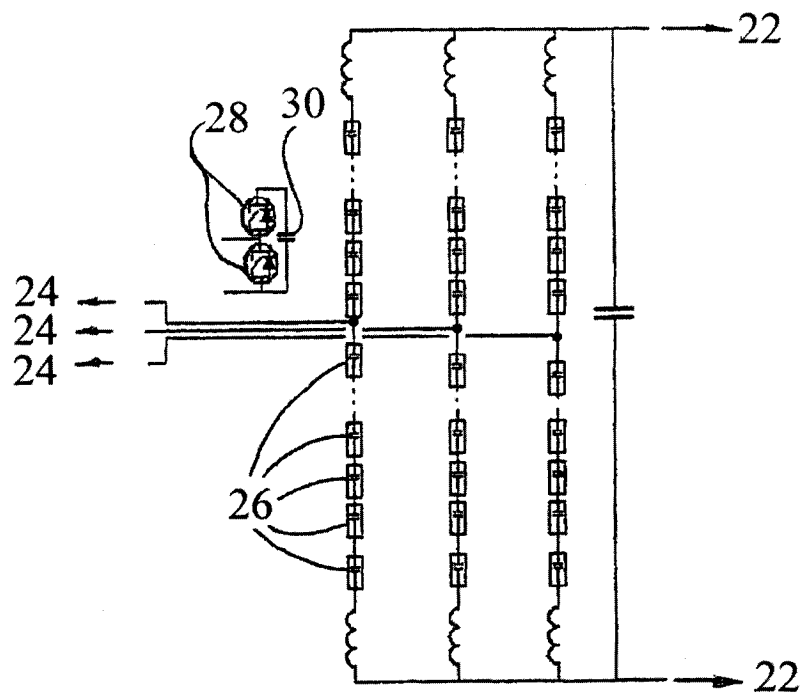


图 2

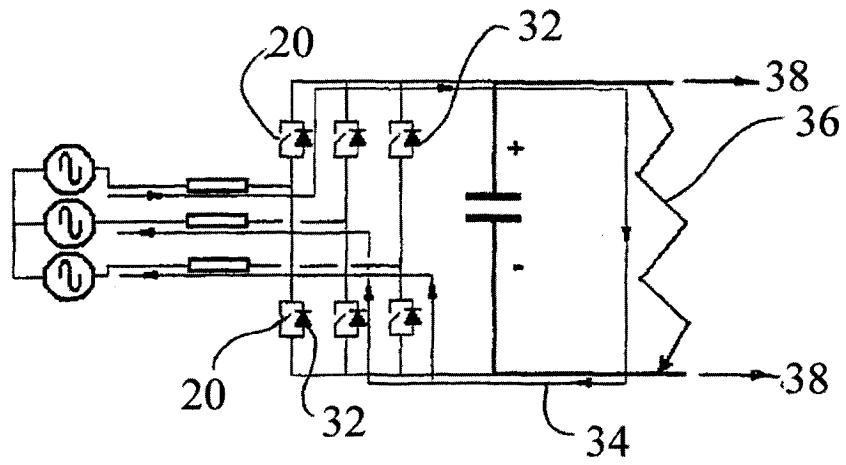


图 3

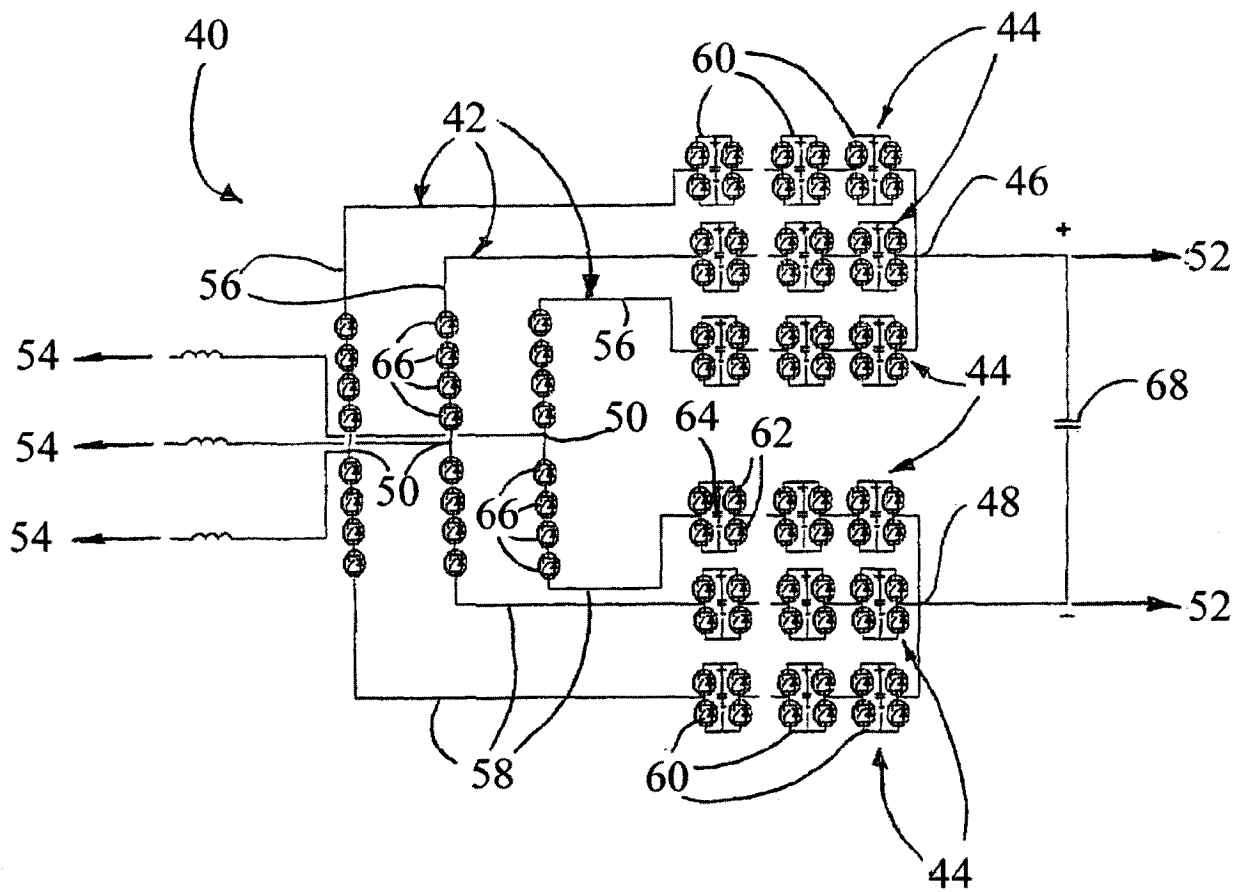


图 4

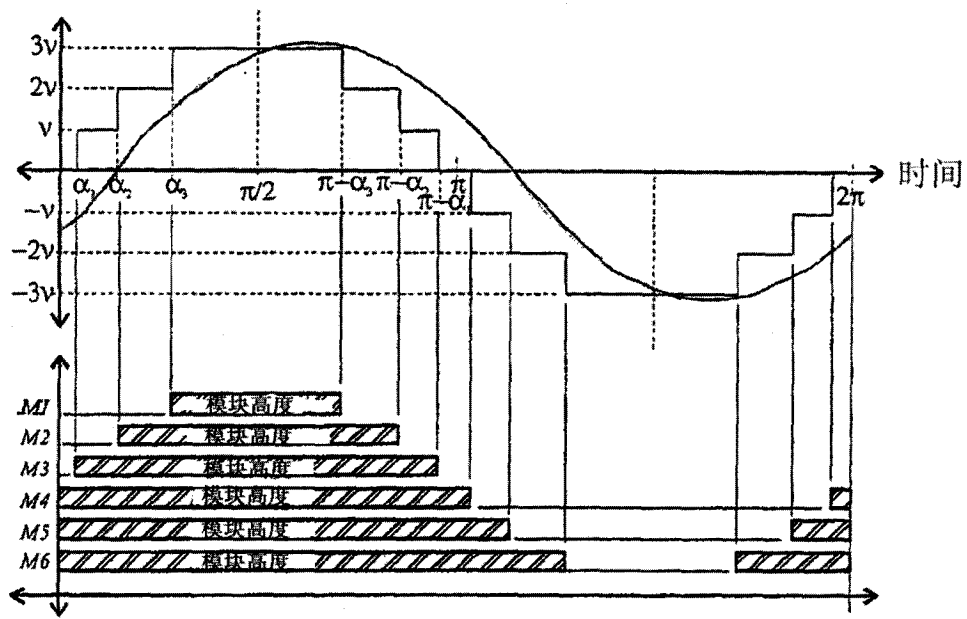


图 5

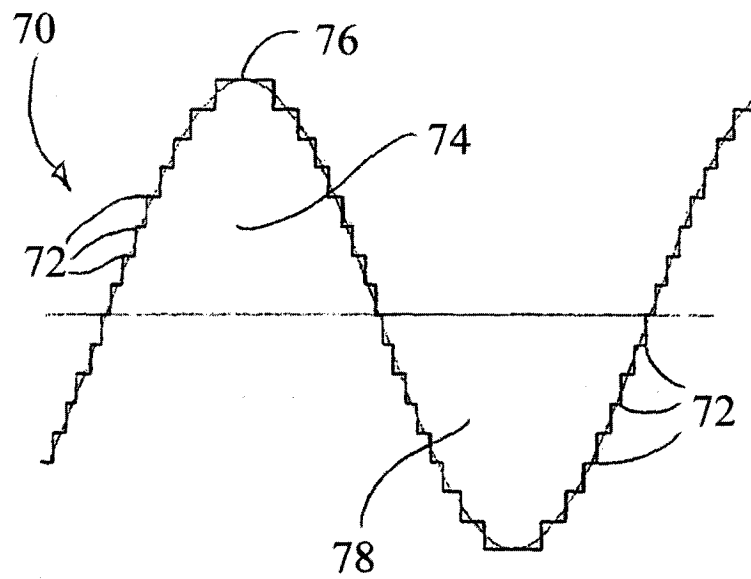


图 6

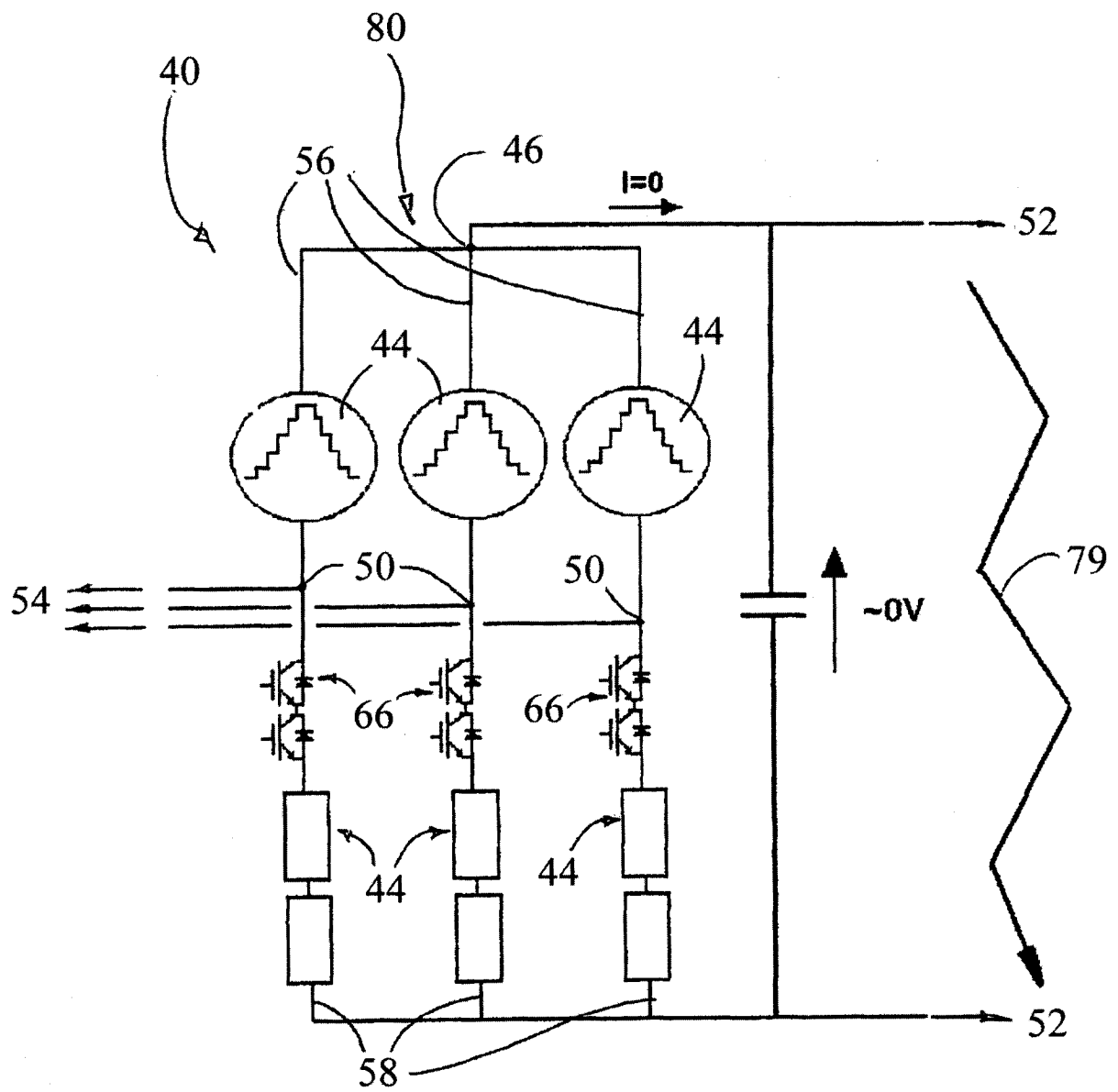


图 7

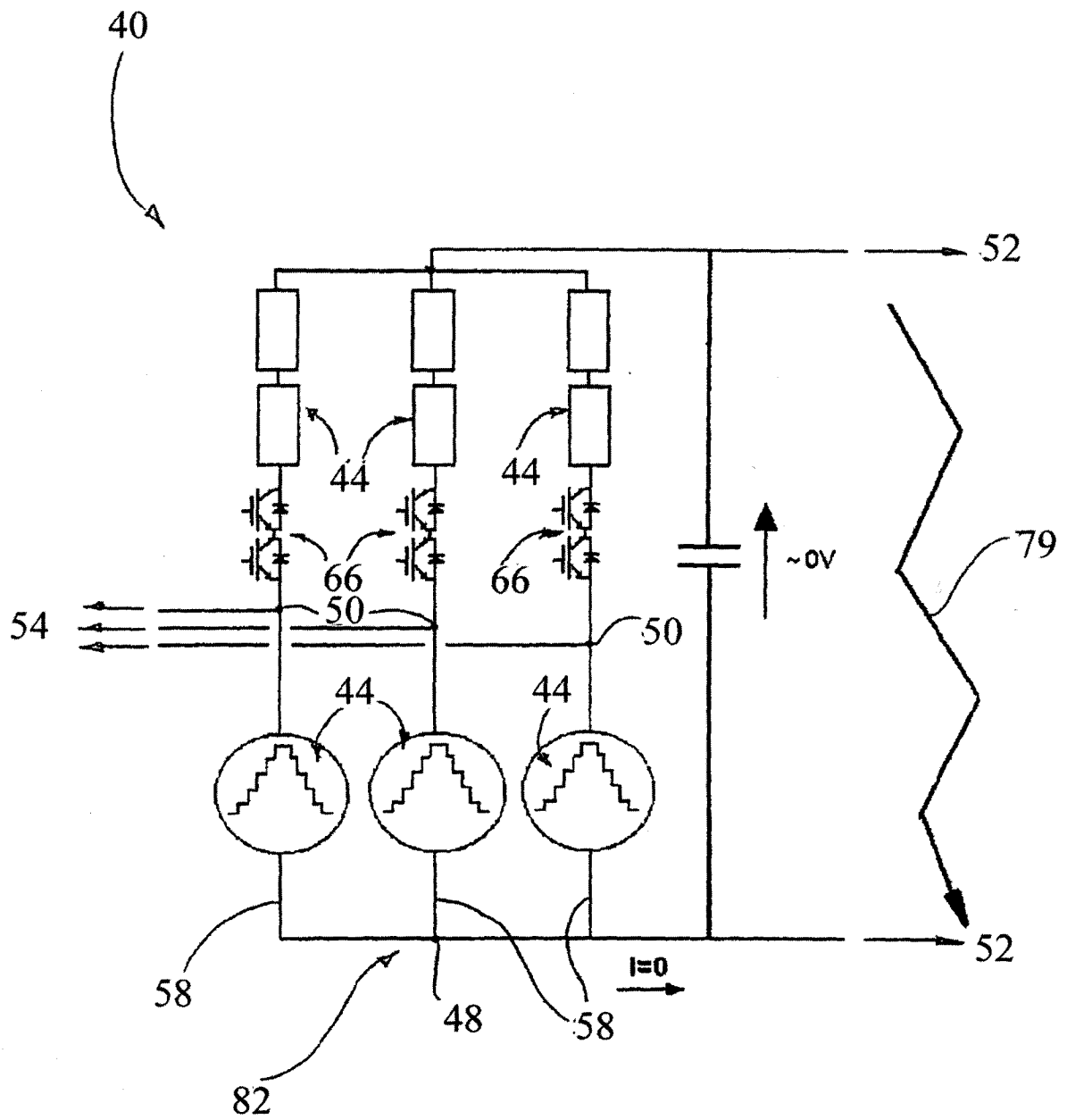


图 8

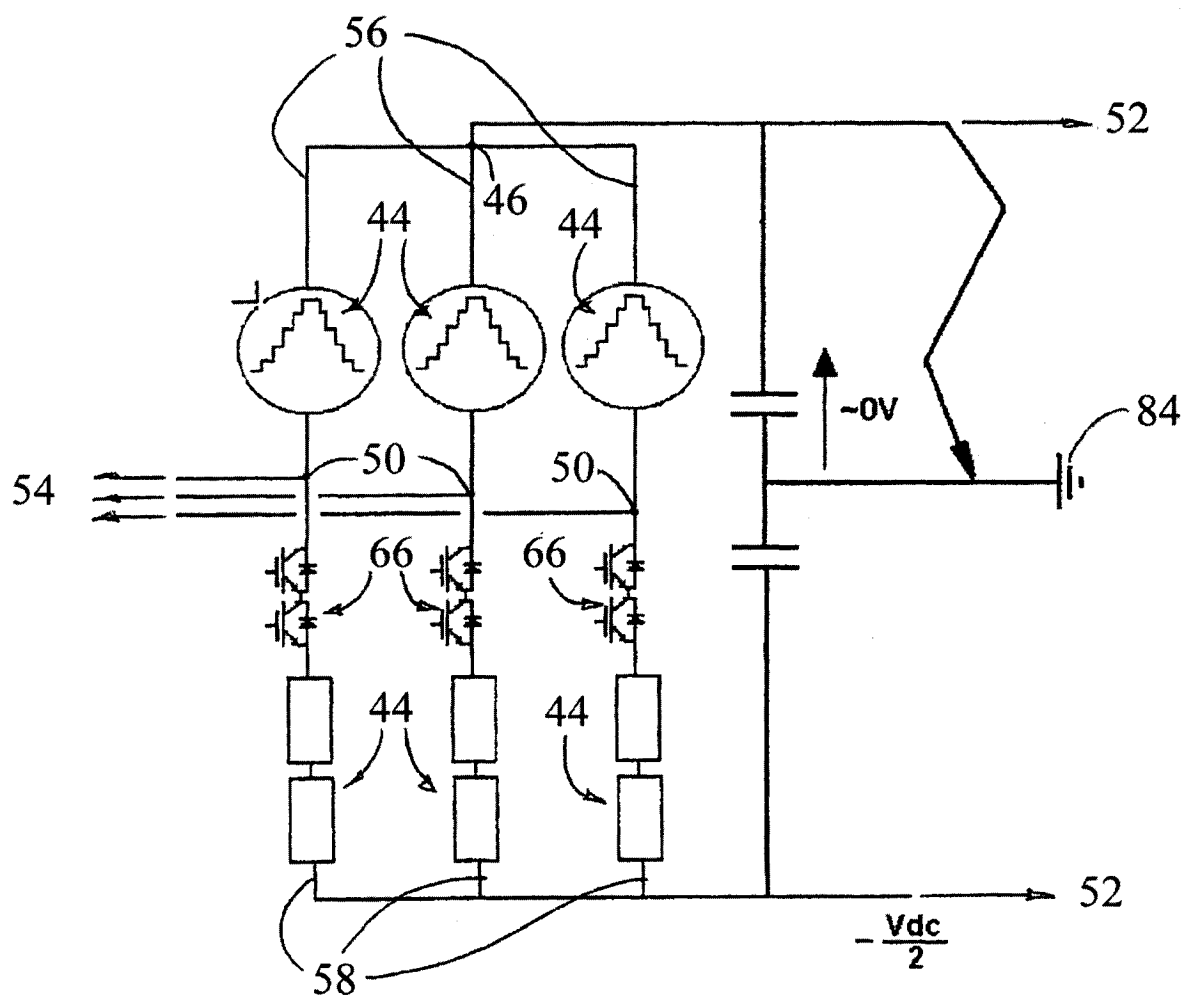


图 10

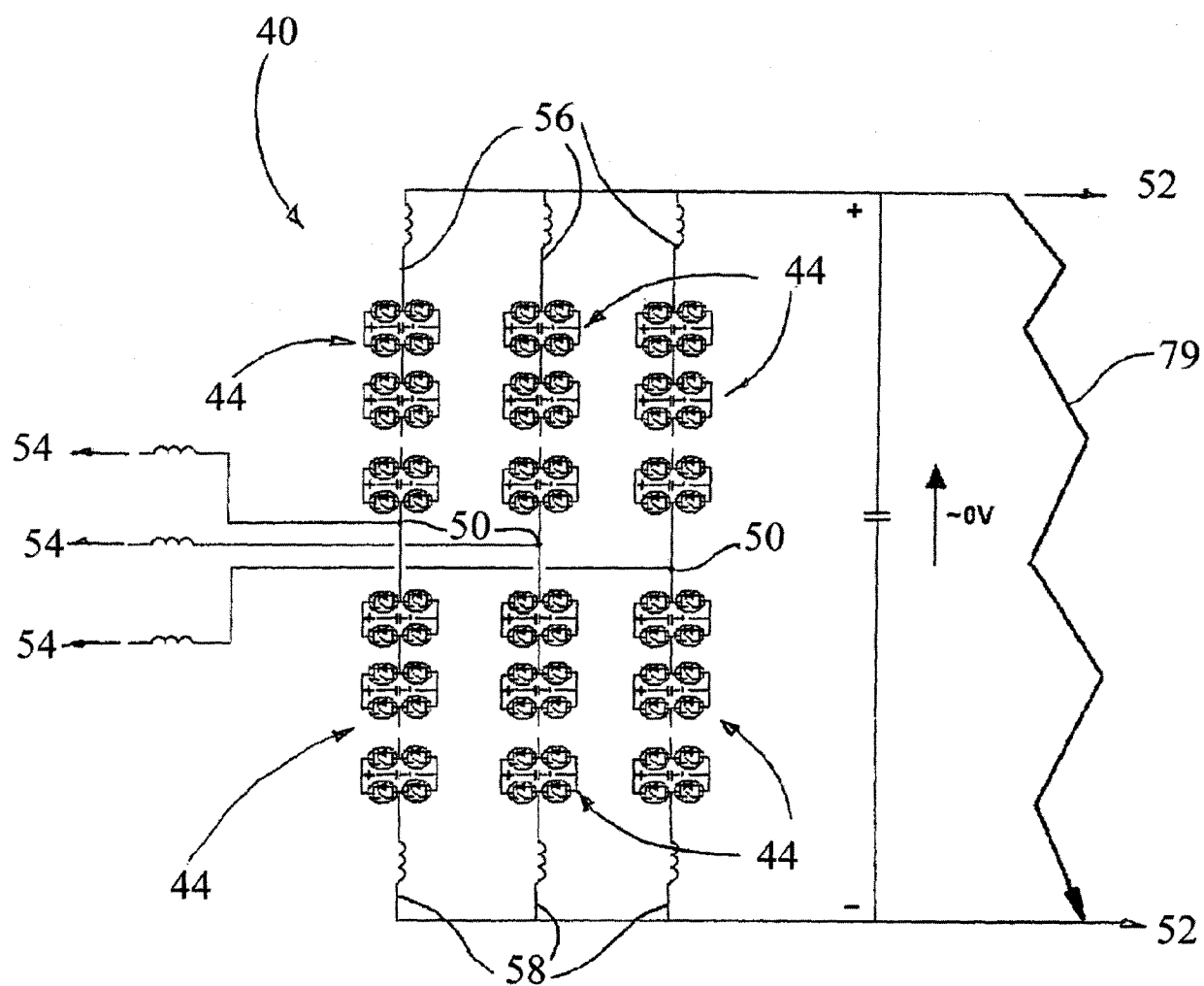


图 11

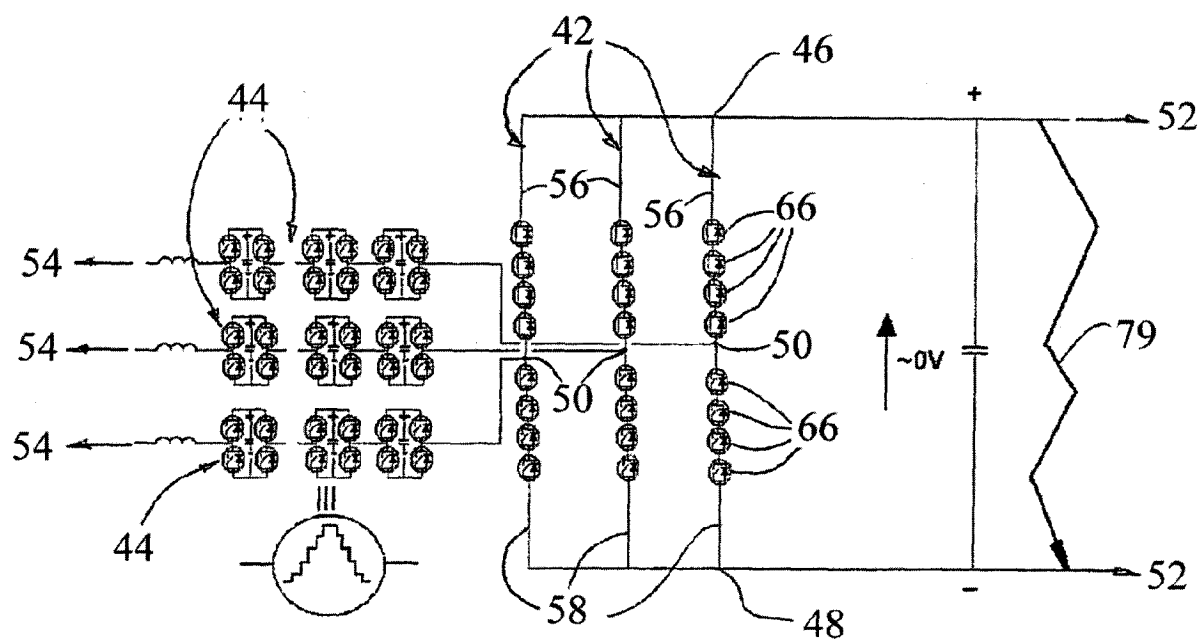


图 12

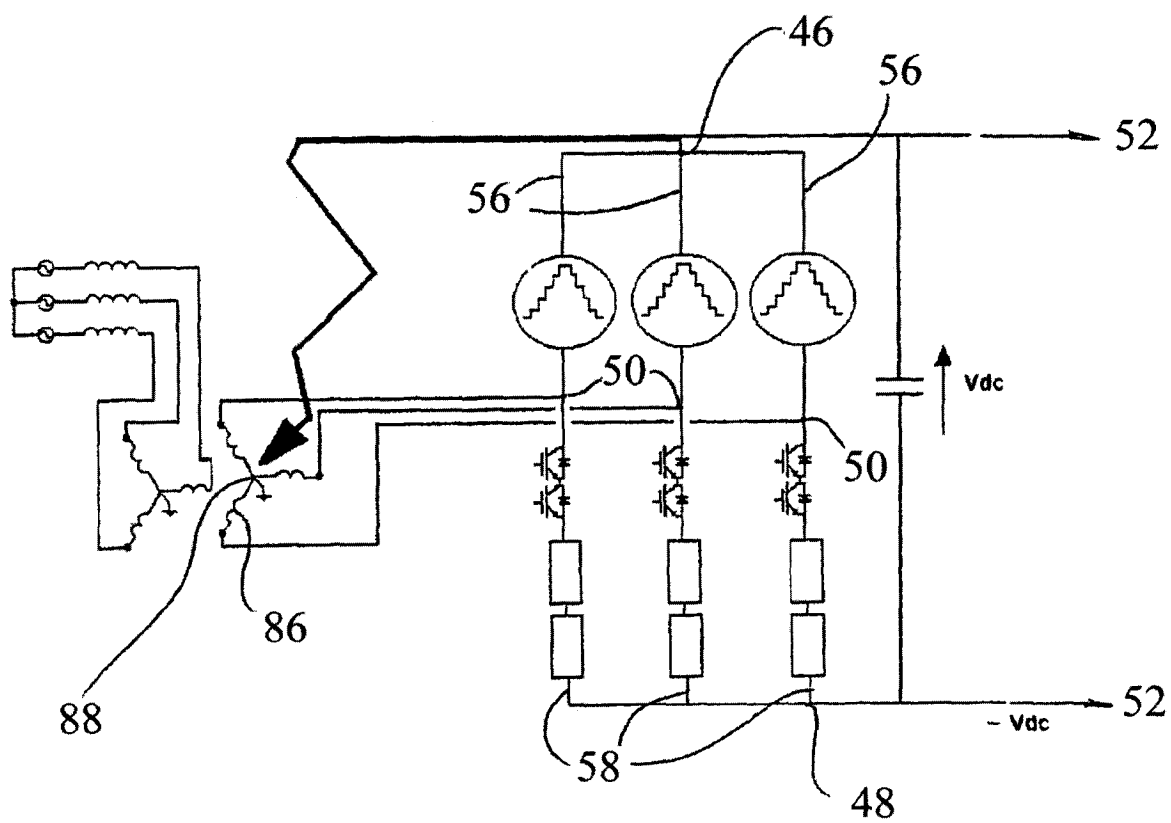


图 13