



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104170224 A

(43) 申请公布日 2014. 11. 26

(21) 申请号 201380013933. 8

地址 荷兰艾恩德霍芬

(22) 申请日 2013. 03. 05

(72) 发明人 H·胡伊斯曼 M·L·A·卡里斯

(30) 优先权数据

61/609, 588 2012. 03. 12 US

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2014. 09. 12

代理人 王英 刘炳胜

(51) Int. Cl.

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/IB2013/051736 2013. 03. 05

H02M 1/12(2006. 01)

H02M 7/5387(2007. 01)

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/136224 EN 2013. 09. 19

H02M 7/493(2007. 01)

G01R 33/385(2006. 01)

(71) 申请人 皇家飞利浦有限公司

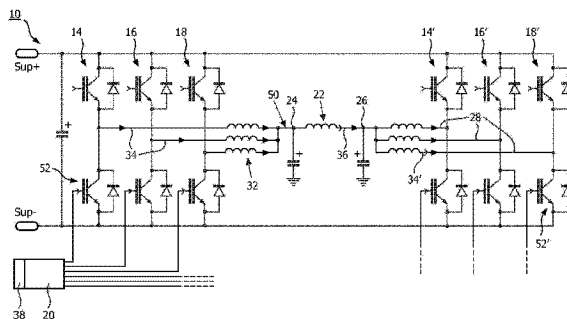
权利要求书2页 说明书7页 附图8页

(54) 发明名称

用于为 MRI 梯度线圈供电的电源转换器以及操作电源转换器的方法

(57) 摘要

一种用于为磁共振检查系统的梯度线圈 (22) 供电的电源转换器, 包括: 多个基本上相同的开关单元 (14、16、18), 每个开关单元 (14、16、18) 具有多个开关构件 (52), 所述多个开关构件 (52) 被提供为在导通状态配置和基本上非导通状态配置之间切换, 并且所述开关单元 (14、16、18) 被提供为以至少基础开关频率 f_{SW} 并且以相对于彼此的预定时间关系切换; 脉冲控制单元 (20), 其被提供为通过将开关脉冲提供给所述开关单元 (14、16、18) 的所述开关构件 (52) 来控制所述开关单元 (14、16、18) 的开关的所述预定时间关系, 其中, 所述脉冲控制单元 (20) 被提供为依据至少一个电学量来确定针对所述开关单元 (14、16、18) 的切换的所述预定时间关系的校正, 所述至少一个电学量每个为所述多个开关单元 (14、16、18) 中的每个的电学量, 并且所述脉冲控制单元 (20) 被提供为根据所确定的校正来调节所述预定时间关系, 使得电源转换器输出的至少一个电学量在基础开关频率 f_{SW} 基本上具有零幅值; 以及一种操作电源转换器以补偿电感不对称性的方法, 所述电源转换器特别地用于为磁共振检查系统的梯度线圈 (22) 供电。



1. 一种用于为磁共振检查系统的梯度线圈 (22) 供电的电源转换器, 包括:

多个基本相同的开关单元 (14、16、18), 每个开关单元 (14、16、18) 具有多个开关构件 (52), 所述多个开关构件 (52) 被提供为在导通状态配置与基本非导通状态配置之间切换, 并且所述开关单元 (14、16、18) 被提供为以至少一个基础开关频率 f_{SW} 并且以相对于彼此的预定时间关系切换;

脉冲控制单元 (20), 其被提供为通过将开关脉冲提供给所述开关单元 (14、16、18) 的所述开关构件 (52) 来控制所述开关单元 (14、16、18) 的切换的所述预定时间关系;

其中, 所述脉冲控制单元 (20) 被提供为依据至少一个电学量来确定针对所述开关单元 (14、16、18) 的所述切换的所述预定时间关系的校正, 所述至少一个电学量每个是所述多个开关单元 (14、16、18) 中的每个的电学量, 并且所述脉冲控制单元 (20) 被提供为根据所确定的校正来调节所述预定时间关系, 使得电源转换器输出的至少一个电学量基本上在所述基础开关频率 f_{SW} 具有零幅值。

2. 如权利要求 1 所述的电源转换器, 其中, 所述基本相同的开关单元 (14、16、18) 被并联并建立用于连接负载的公共输出端口 (24、26)。

3. 如权利要求 1 所述的电源转换器, 其中, 所述基本相同的开关单元 (14、16、18) 被串联并建立用于连接负载的公共输出端口 (24、26)。

4. 如前述权利要求中的一项所述的电源转换器, 其中, 基本相同的开关单元 (14、16、18) 的数量为三个。

5. 如前述权利要求中的任一项所述的电源转换器, 其中, 所述基本相同的开关单元 (14、16、18) 被设计为 H 桥, 所述 H 桥每个包括作为开关构件 (52) 的半导体开关以及至少一个电感器 (32)。

6. 一种磁共振检查系统的梯度线圈单元, 包括如前述权利要求中的任一项所述的至少一个电源转换器以及至少一个梯度线圈 (22)。

7. 如权利要求 6 所述的梯度线圈, 还包括软件模块 (38), 所述软件模块 (38) 驻留于所述脉冲控制单元 (20) 内并且能由所述脉冲控制单元 (20) 执行, 并且所述软件模块 (38) 表示如权利要求 8 所述的方法。

8. 一种操作电源转换器的方法, 所述电源转换器特别地用于为磁共振检查系统的梯度线圈 (22) 供电, 所述电源转换器包括: 多个基本相同的开关单元 (14、16、18), 每个开关单元 (14、16、18) 具有多个开关构件 (52), 所述多个开关构件 (52) 被提供为在导通状态配置与基本非导通状态配置之间切换, 并且所述开关单元 (14、16、18) 被提供为以至少一个基础开关频率 f_{SW} 并且以相对于彼此的预定时间关系切换; 以及脉冲控制单元 (20), 其被提供为通过将开关脉冲提供给所述开关单元 (14、16、18) 的所述开关构件 (52) 来控制所述开关单元 (14、16、18) 的切换的所述预定时间关系, 所述方法包括以下步骤:

- 确定至少一个电学量, 所述至少一个电学量每个是所述多个开关单元 (14、16、18) 中的每个的电学量;

- 依据所述多个开关单元 (14、16、18) 中的每个的所述电学量来确定针对所述开关单元 (14、16、18) 的所述切换的所述预定时间关系的校正, 其中, 所述电学量能被单独地分配给所述开关单元 (14、16、18);

- 根据所确定的校正来调节提供给所述开关单元 (14、16、18) 的所述开关构件 (52) 的

所述开关脉冲的预定时间关系,使得电源转换器输出的至少一个电学量基本上在所述基础开关频率 f_{SW} 具有零幅值。

9. 一种被提供为控制电源转换器的开关单元 (14、16、18) 的切换的预定时间关系的软件模块 (38),所述电源转换器特别地被提供用于为磁共振检查系统的梯度线圈 (22) 供电,所述电源转换器包括脉冲控制单元 (20),所述脉冲控制单元 (20) 被提供为通过将开关脉冲提供给所述开关单元 (14、16、18) 的所述开关构件 (52) 来控制所述开关单元 (14、16、18) 的切换的所述预定时间关系,并且所述开关单元 (14、16、18) 被提供为以至少基础开关频率 f_{SW} 切换,从而执行以下步骤:

- 确定至少一个电学量,所述至少一个电学量每个是多个开关单元 (14、16、18) 中的每个的电学量;

- 依据所述多个开关单元 (14、16、18) 中的每个的所述电学量来确定针对所述开关单元 (14、16、18) 的所述切换的所述预定时间关系的校正,其中,所述电学量能够被单独地分配给所述开关单元 (14、16、18);

- 根据所确定的校正来调节提供给所述开关单元 (14、16、18) 的所述开关构件 (52) 的所述开关脉冲的所述预定时间关系,使得电源转换器输出的至少一个电学量基本上在所述基础开关频率 f_{SW} 具有零幅值;

其中,所述步骤被转换成程序代码,所述程序代码能够实现于所述电源转换器的所述脉冲控制单元 (20) 中并且能够由所述电源转换器的所述脉冲控制单元 (20) 执行。

用于为 MRI 梯度线圈供电的电源转换器以及操作电源转换器的方法

技术领域

[0001] 本申请涉及用于为磁共振 (MR) 检查系统的梯度线圈供电的电源转换器以及操作电源转换器以补偿电感不对称性的方法。

背景技术

[0002] 在电源转换器领域中,已知的是采用允许电流的不同方向的配置在开关单元中的半导体开关。半导体开关由以可变占空比进行脉冲宽度调制的基础开关频率的开关脉冲控制。

[0003] 在许多类型的电源转换器中,期望获得尽可能高的有效的脉冲宽度调制 (PWM) 频率。这样的高频率总体上有利于获得高反应速度 (高带宽) 以及准确的信号构造。另外,这样的高频率能够造成更小的电感和电容存储元件,从而减小系统尺寸、重量以及成本。

[0004] 实际半导体电源开关具有针对每个开关事件的特定能量损耗的特征。该能量损耗取决于所使用的技术和材料 (金属氧化物半导体 (MOS)、双极型晶体管;硅 (Si)、碳化硅 (SiC)、氮化镓 (GaN))、设备的额定电压以及电路状态;即,在开关事件前和后紧接施加的电压和电流。由于该能量损耗,半导体电源开关仅能够被理智地使用截至特定开关频率。对于可关断晶闸管 (GTO),该频率通常为几百赫兹 (Hz),对于中压的绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 为几 kHz,并且对于中压 MOS 场效应晶体管 (MOSFET) 为几十到几百 kHz。这些不意味着是绝对数值。然而,超过标示级别的频率导致设备中的耗散增加,从而降低电路效率,以及进入不可工作的电路的极限。

[0005] 交错多级电路提供了解决该设计问题的方法。在这种电路中,多个基本上相同的开关单元被并行和/或串行操作。单个开关单元被以相对于彼此的 T_{sw}/N 的时间偏移操作,其中 T_{sw} 是单个开关单元的开关周期时间,并且 N 是单元的数量。从而,显然的开关频率增加了 N 倍。每个单个开关单元以适度的开关频率操作并处理总功率的 $1/N$,这允许模块化设计。

[0006] 术语“交错”常用于并行操作的开关单元,即,系统的输出电流是单个开关单元的电流的 N 倍,然而,电压对于系统与开关单元而言是相同的。“多级”被用于使用单元电压的求和的系统,即,系统的输出电压是 N 倍大于单个单元的输出电压,但是开关单元电流是相等的。在图 1 中示出了两种电路拓扑结构的范例。

[0007] 交错电源转换器的校正操作很大程度上取决于开关单元的对称性。这样,每单元的电感量对于获得理论上可能的功能是至关重要的。该电感量取决于分立的电感器的电学性质,所述电感量通常表现出在它们的正常值周围 5% 到 10% 的公差。另外,由于电路几何结构,诸如连接导线和汇流条的额外的电感量被引入到电路中,在大多数情况下不能在经济上合理的努力中使得这些额外的电感量在单元之间完全相等。

[0008] 因此,对于高 N 值以合理的成本开发交错概念的全部潜能是不可能的。因此,需要克服由电路容差造成的不对称性的方法。在现有技术 [1] 下,已经建议基于纹波电流的幅

值来选择激发开关单元的顺序。该方法造成基础开关频率的一些抑制,但总体上没有造成基础开关频率的完全湮没。

发明内容

[0009] 因此,本发明的一个目的是提供具有对源于电源转换器固有的公差电源转换器输出的基础开关频率部件的改进的补偿的电源转换器。

[0010] 在本发明的一个方面中,该目的由用于为磁共振 (MR) 检查系统的梯度线圈供电的电源转换器完成,所述电源转换器包括:

[0011] 多个基本上相同的开关单元,每个开关单元具有多个开关构件,所述多个开关构件被提供为在导通状态配置与基本上非导通状态配置之间切换,并且所述开关单元被提供为以至少基础开关频率并且以相对于彼此的预定时间关系切换;

[0012] 脉冲控制单元,其被提供为通过将开关脉冲提供给开关单元的开关构件来控制开关单元的切换的预定时间关系;

[0013] 其中,所述脉冲控制单元被提供为依据至少一个电学量来确定针对所述开关单元的切换的所述预定时间关系的校正,所述至少一个电学量每个是所述多个开关单元中的每个的电学量,并且所述脉冲控制单元被提供为根据所确定的校正来调节预定时间关系,使得电源转换器输出的至少一个电学量基本上在基础开关频率具有零幅值。

[0014] 在本申请中使用的词组“电学量”应当被理解为具体包括电流、电压以及电阻。其还可以包括电流在特定频率或在各种频率的分量或电压或电阻在特定频率或在各种频率的分量,其中,“频率”可以包括频带内的离散频率以及中心频率。在该申请中使用的词组“基本上零幅值”应当被具体地理解为幅值相比于所述量在不同频率处的最大幅值小了至少 20 的因数,优选地至少 50 的因数。

[0015] 为说明本发明的优势,以用于为磁共振 (MR) 检查系统的梯度线圈供电的电源转换器的应用作为范例。在这样的系统中,尤其梯度电流纹波的积分对于图像质量是最重要的。积分标准对于诸如上述提到的基础开关频率十分敏感。在最新的用于 MR 梯度线圈的电源转换器中,开关电源转换器的输出电压在被应用到梯度线圈之前通过非耗散 LC 滤波器,如图 1 中所示。LC 滤波器和梯度线圈的组合充当三阶滤波器。对于开关单元电流的加和中的纹波,滤波动作的有效阶数比所述三阶滤波器小一,即,净滤波器是二阶的。积分标准能够被理解为额外的滤波动作。因此,组合的操作充当三阶滤波器,以有效地抑制较高的谐波,但是对于较低的谐波不太有效。

[0016] 作为范例,考虑这样一种情况,其中 5kHz 的输出滤波器的截止频率位于远低于 10kHz 的电源半导体的基础开关频率。这里,所有谱成分,包括基础开关频率,将由在波特图中具有 -3 的斜率的一部分滤波特性处理,如图 5 中所示。

[0017] 基础频率的衰减被标记为 A (在该范例中, A 等于 0.24254),第二谐频的衰减将会是 $A/2^3 = A/8$ 。对于第三谐频,衰减将会是 $A/3^3 = A/27$ 。换言之,具有只有第三谐频的幅值的第二十七分之一的幅值的基础频率,对于图像质量将具有可比较的影响。对于不同的滤波器设置,数值结果可能有些不同,但是在大多数实际情况下,基础频率的甚至小部分的消除都将会对于图像质量具有显著的有益的影响。

[0018] 在本发明的另一方面中,基本相同的开关单元被并联并且建立用于连接负载的公

共输出端口。可以有利地使用具有交错开关单元的电源作为用于为负载供电的电流源。

[0019] 在本发明的又另一方面中,所述基本相同的开关单元被串联并且建立用于连接负载的公共输出端口。具有交错开关单元的电源可以被有利地用作用于为负载供电的电压源。

[0020] 在优选实施例中,基本相同的开关单元的数量是三个。在这种情况下,针对开关单元的切换的预定时间关系的校正可以用数学上闭合的解表示,使得其能够由脉冲控制单元在计算中容易地获得。

[0021] 在本发明的另一方面中,所述基本相同的开关单元被设计为 H 桥,每个包括作为开关构件的半导体开关以及至少一个电感器。因此,电源转换器可以为负载供电,具体而言,诸如梯度线圈的电感负载,使得在电源转换器输出端提供的电流可以流向任意期望方向。

[0022] 本发明的另一目的是提供磁共振 (MR) 检查系统的梯度线圈单元,其包括如本文描述的电源转换器的至少一个实施例以及至少一个梯度线圈。通过该梯度线圈单元,梯度线圈可以被实现为避免编码错误并因此避免由于低信噪比引起的图像伪影,从而提供 MR 检查系统的磁共振信号的可靠的且无错误的空间编码。

[0023] 在另一方面中,本发明涉及操作电源转换器的方法,所述电源转换器特别地用于为磁共振 (MR) 检查系统的梯度线圈供电,所述电源转换器包括:多个基本上相同的开关单元,每个开关单元具有多个开关构件,所述多个开关构件被提供为在导通状态配置与基本上非导通隔离状态配置之间切换,并且所述开关单元被提供为以至少基础开关频率并且以相对于彼此的预定时间关系切换;以及脉冲控制单元,其被提供为通过将开关脉冲提供给开关单元的开关构件来控制开关单元的切换的预定时间关系,所述方法包括以下步骤:

[0024] - 确定至少一个电学量,所述至少一个电学量每个是多个开关单元中的每个的电学量;

[0025] - 依据多个开关单元中的每个的至少一个电学量来确定针对开关单元的切换的预定时间关系的校正,其中,所述电学量能被单独地分配给所述开关单元,

[0026] - 根据所确定的校正来调节提供给开关单元的开关构件的开关脉冲的预定时间关系,使得电源转换器输出的至少一个电学量基本上在基础开关频率具有零幅值。

[0027] 在又另一方面中,本发明涉及被提供为控制电源转换器的开关单元的切换的预定时间关系的软件模块,所述电源转换器特别地被提供用于为磁共振检查系统的梯度线圈供电。电源转换器包括脉冲控制单元,所述脉冲控制单元被提供为通过将开关脉冲提供给开关单元的开关构件来控制在导通状态配置与基本上非导通状态配置之间切换开关单元的预定时间关系,并且所述开关单元被提供为以至少基础开关频率 f_{SW} 切换,从而实现以上描述的方法,其中,所述方法的步骤被转换成程序代码,所述程序代码能够被实现在电源转换器的脉冲控制单元中或能由电源转换器的脉冲控制单元执行。

[0028] [1] O. Garcia, A. de Castro, P. Zumelis, J. A. Cobios. Digital-Control-Based Solution to the effect of non-idealities of the inductors in multiphase converters. IEEE Trans. on Power Electronics, 第 22 卷, 第 66 号 (2007 年 11 月), 第 2155-2163 页。

附图说明

[0029] 参考下文描述的实施例,本发明的这些和其他方面从将是显而易见的,并且将参考下文描述的实施例来阐述本发明的这些和其他方面。这种实施例未必需要代表本发明的全部范围,而是因此作为对权利要求书以及本文做出的参考以用于解释本发明的范围。

[0030] 在附图中:

[0031] 图 1a 和 1b 示出了根据本发明的以交错 (Fig. 1a) 和多级 (Fig. 1b) 转换器配置的梯度线圈单元的实施例,

[0032] 图 2 图示了针对理想对称配置的图 1 的交错的电源转换器的输出量,

[0033] 图 3 图示了针对没有施加校正的非对称配置的如图 2 中的输出量,

[0034] 图 4 图示了图 2 和 3 的交错的电源转换器输出量的频谱,

[0035] 图 5 描绘了通常在 MRI 检查系统的梯度线圈单元中使用的电滤波器的频率响应,

[0036] 图 6 图示了根据本发明的在应用校正后的针对非对称配置的如图 3 中的输出量,

[0037] 图 7 图示了图 6 的交错的电源转换器输出量的频谱,

[0038] 图 8 图示了根据本发明的针对三重交错的转换器配置的矢量图中的校正,

[0039] 图 9 图示了根据本发明的针对四重交错的转换器配置的矢量图中的另一校正,

[0040] 图 10 图示了图 9 的四重交错的电源转换器输出量的频谱,并且

[0041] 图 11 描绘了根据本发明在时间域中应用所述方法之前和之后的电源转换器的总电流。

[0042] 附图标记列表

[0043] 10 交错配置

[0044] 12 多级配置

[0045] 14 开关单元

[0046] 16 开关单元

[0047] 18 开关单元

[0048] 20 脉冲控制单元

[0049] 22 梯度线圈

[0050] 24 输出端口

[0051] 26 输出端口

[0052] 28 输出线 (交错)

[0053] 30 输出线 (多级)

[0054] 32 电感器

[0055] 34 输出线电流

[0056] 36 输出电流

[0057] 38 软件模块

[0058] 40 三角形

[0059] 42 梯形

[0060] 44 开关单元

[0061] 46 开关单元

[0062] 48 开关单元

- [0063] 50 加和电流
[0064] 52 开关构件
[0065] f_{sw} 基础开关频率

具体实施方式

[0066] 图 1a 和 1b 示出了根据本发明的梯度线圈单元的实施例。梯度线圈单元分别包括交错配置 10 的一个电源转换器（图 1a）和多级配置 12 的另一电源转换器（图 1b）。在后文中，在对实施例的描述中将使用交错配置 10，但是本发明还能够适用于多级配置的电源转换器 12。

[0067] 电源转换器包括三个基本相同的开关单元 14、16、18，所述开关单元被设计为具有由半导体开关、反向并联二极管、电感器 32 以及滤波器形成的四个开关构件 52 的 H 桥，如由本领域技术人员通常已知。开关构件 52 被提供为在导通状态配置与基本非导通状态配置之间切换，并且开关单元 14、16、18 被提供为以至少基础开关频率 f_{sw} 并且以相对于彼此的预定时间关系切换。电源转换器包括脉冲控制单元 20，脉冲控制单元 20 被提供为通过将开关脉冲提供给开关单元 14、16、18 的开关构件 52 来控制开关单元 14、16、18 的切换的预定时间关系。为清晰起见，仅在图 1 处示意出从脉冲控制单元 20 输送开关脉冲到半导体开关所需的线。

[0068] 半导体开关在图 1 中作为 IGBT 示出，但是可以总体上被设计为 MOSFET，或者看起来适于本领域技术人员的任何其他半导体开关。

[0069] 电源转换器被提供用于为没有进一步详细示出的为磁共振（MR）检查系统的部分的梯度线圈单元的梯度线圈 22 供电。梯度线圈 22 以其两端被连接到电源转换器输出端口 24、26，电源转换器输出端口 24、26 由连接 H 桥的每个载有单个输出线电流 34 的三个输出线 28 的两个结点构成，使得流过梯度线圈 22 的总电流 36 是 H 桥输出线电流 34 的经低通滤波的叠加。

[0070] 在电源转换器的现有技术中，开关单元 14、16、18 的切换的预定时间关系被设计使得在由 H 桥输出线 28 中的输出线电流 34 给出的开关单元 14、16、18 的每个的电学量之间存在相移，相移为 360 度的整分数。对于在图 1 中示出的三重交错转换器配置，相移将是 $360/3 \text{ 度} = 120 \text{ 度}$ 。

[0071] 在电源转换器的交错配置 10 中，三个基本相同的开关单元 14、16、18 被并行连接并且将输出端建立为公共输出端口 24、26 以用于连接梯度线圈 22。

[0072] 在电源转换器的多级配置 12 中，三个基本相同的开关单元 44、46、48 被串行连接并且将输出端建立为公共输出端口 24 •、26 • 以用于通过使用 H 桥的输出线 30 在串行配置的末端处连接负载。

[0073] 图 2 图示了在假定理想对称配置的情况下由图 1 的交错电源转换器的 H 桥输出线电流 34 给出的开关单元 14、16、18 的每个的输出量；即，三个开关单元 14、16、18 具有相同的电学性质并且，具体而言，各电感器 32 具有相同的电感值。图 2 的上面部分示出了单个输出线电流 34，图 2 的下面部分示出了作为三个输出线电流 34 的叠加的加和电流 50。开关单元 14、16、18 被以 10kHz 的基础开关频率 f_{sw} （等同于 0.1ms 的周期长度）并以 20% 的占空比和 120 度的相移切换。因此，加和电流 50 示出了 30kHz 的最低频率成分（图 4）。

[0074] 图 3 是示出了除了电感器 32 的电感值中的 $\pm 10\%$ 的变化之外具有相同的开关单元 14、16、18 的电源转换器的配置。开关单元电感器 32 的不等性导致每个开关单元 14、16、18 的不同的电流纹波幅值,并从而导致加和电流 50 的基础开关频率 f_{sw} (第一谐波)的不完整消除。在图 3 中清晰可见在开关单元输出线电流 34 之间的差异。

[0075] 比在时域中的展示更能说明问题的关于对称的与非对称的配置之间的差异是针对这两个配置的电源转换器加和电流 50 的频谱,如图 4 中所示。

[0076] 加和电流 50 在 10kHz 的基础开关频率的分量在理想对称配置中不存在(图 4 的上面部分),然而在不等电感器 32 的情况下的加和电流 50 的频谱中清晰可见(图 4 的下面部分)。在典型的电源转换器中,基础开关频率 f_{sw} 在某些情况下能够变得被放大,导致更差的信号质量和潜在的不稳定性。为了防止这种情况发生,根据电源转换器的操作的现有技术,电源转换器将需要以减少的控制带宽和/或降低的系统质量被操作,破坏了起初应用交错所寻求的优点。

[0077] 根据本发明,然而,脉冲控制单元 20 被提供为依据至少一个电学量来确定针对由 120 度的相移给出的开关单元 14、16、18 的切换的预定时间关系的校正,所述至少一个电学量每个是开关单元 14、16、18 中的每个的电学量。这些电学量例如可以是单个开关单元 14、16、18 的电感器 32 的电感值或者可以使用任何可用的方法测得的三个开关单元输出线电流 34 的纹波幅值。

[0078] 根据本发明,脉冲控制单元 20 还被提供为根据所确定的校正来调节预定时间关系,使得电源转换器输出的至少一个电学量,例如在这个实施例中的加和电流 50,基本上在基础开关频率 f_{sw} 具有零幅值。

[0079] 为此,脉冲控制单元 20 包括软件模块 38(图 1),其中,根据本发明所述的方法被转换成程序代码,所述程序代码能被实现在脉冲控制单元 20 中并能由脉冲控制单元 20 执行。软件模块 38 驻留于脉冲控制单元 20 内。一般地说,软件模块 38 还可以驻留于作为 MRI 检查系统的部分的其他任何控制单元中并可以由作为 MRI 检查系统的部分的其他任何控制单元执行,并且数据通信器件可以被建立在脉冲控制单元 20 与可以驻留软件模块 38 的控制单元之间。

[0080] 在图 6 中示出了将所述方法适用于图 3 中给出的非对称配置的结果。再次地,图 7 中的谱图,具体而言,相较于图 4 的下面部分,更清晰地示出了加和电流 50 在基础开关频率 f_{sw} 的分量已经被调节为基本零值。图 7 清晰地示出了在基础开关频率 f_{sw} 的分量已经被完全消除,在这个范例中以其他谐频的适度增加为代价。对于谐频是经频率加权的那些情况,如以上针对梯度线圈应用讨论的,净信号质量能够被极大地改进。为说明这一点,针对两种加权方法表示含有校正的谐频(图 7)和不含校正的谐频(图 4)。所述两种加权方法为:常用的 RMS(均方根)电流纹波水平,表示从 17.22A 到 17.05A 的减少,以及如将被适用于 MRI 检查系统的频率加权的度量,表示从 0.296 减少到 0.112;即,几乎三的因子。

[0081] 为了消除加和电流 50 中的在基础开关频率 f_{sw} 的电学量,单个开关单元输出线电流 34 的幅值的矢量和需要加起来为零。利用给出的单个开关单元输出线电流 34 的相对幅值,这能够通过构建闭合的三角形并以三角形的边的长度等于单个开关单元输出线电流 34 的幅值来完成。

[0082] 对于经脉冲宽度调制的开关脉冲的特定占空比,假定对于所有三个开关单元 14、

16、18 其相等,单元输出线电流 34 在基础开关频率 f_{sw} 的幅值到在基础开关频率 f_{sw} 的其峰到峰电流纹波的比率是固定数值。由于该固定比率,从矢量和中得出的三角形将与能够从纹波的幅值中构建的另一三角形 40 具有相同的形状,从而避免了傅里叶分析,并因此更易于实施。

[0083] 这样构建的三角形 40 的外角直接表示三个开关单元 14、16、18 之间的相对相移 (图 8)。图 8 的左部分表示针对对称配置构建的三角形 40:获得的三角形 40 是等边的,并且所有外角等于 120 度,或者 $2 \cdot \pi/3$ 弧度。对于具有一个输出线电流 34 的幅值比平均值大 10% 并且其他两个的幅值比平均值低 5% 的配置,得出具有 125.38 度、109.25 度和 125.38 度的外角的等腰三角形 40 (图 8 的中间部分;示出的角度值化为整数)。对于又另一种情况,其中一个输出线电流 34 的幅值比平均值小 5% 并且另一输出线电流 34 的幅值比平均值高 5%,得出具有 120.25 度、114.90 度和 124.85 度的外角的三角形 40 (图 8 的右边部分)。因为三角形由所有边的长度毫无疑义地确定,所以总是存在使矢量和接近于三角形的唯一的解。通过这样做,总是能够通过调节外角 (即,相移) 来使三个开关单元电流纹波在基础开关频率 f_{sw} 的矢量和等于零。

[0084] 对于基本相同的开关单元 14、16、18 的数量超过三个的情况,根据本发明的方法仍然有效,但是对于这些情况能够使用现存的额外的自由度以消除所选择的另外的谐频。

[0085] 例如,考虑具有四个开关单元 14、16、18 的配置。该配置除了添加了另一开关单元 14、16、18 与具有三个开关单元 14、16、18 的配置相同,使得对该配置的说明不提供另外的信息并为简单起见因此被省略。一个输出线电流 34 的幅值比其他三个大 10%。在图 9 中示出了本发明的方法的应用结果。在该特殊情况下,等腰三角形 42 显然地是最对称的结构。仔细检查该结构显示三角形 42 的底的外角被给定为 $\arccos(0.05) = 87.1$ 度。尽管本方法发现的外角仅稍微不同于其中所有外角等于 90 度的对称配置的外角,但是对于加和电流 50 在基础开关频率 f_{sw} 的幅值的影响是大的,如能够从图 10 中得出的。

[0086] 图 10 以示范性方式示出了针对 0.3 的占空比和 10kHz 的基础开关频率 f_{sw} 的谱图。最上面的图形适用于具有相等开关单元输出线电流纹波的开关单元 14、16、18 的对称配置,其中仅存在编号为 4 的整数倍的谐波。在中间的图形中,输出线电流纹波幅值中的一个已经被增加 10%,导致使得频谱中在基础开关频率 f_{sw} 出现显著的幅值部分。在下面的图像中,已经应用了根据所确定的校正来调节预定时间关系的方法。这里,在基础开关频率 f_{sw} 的幅值消失了,以在第三、第五以及更高谐频中的轻微升高为代价。最终,在图 11 中,针对以上描述的三个配置的开关单元输出线电流 34 的加和电流 50、50 $\cdot$ 、50 $\cdot\cdot$ 被示出在时域中。

[0087] 尽管已经在附图和前面的描述中详细说明和描述了本发明,但这样的说明和描述被认为是说明性或示范性的而非限制性的;本发明不限于所公开的实施例。本领域的技术人员通过研究附图、说明书和权利要求书,在实践请求保护的本发明时能够理解和实现对所公开的实施例的其他变型。在权利要求中,词语“包括”不排除其他元件或步骤,并且,限定词“一”或“一个”不排除多个。尽管在互不相同的从属权利要求中记载了特定措施,但是这并不表示不能有利地使用这些措施的组合。权利要求中的任何附图标记都不应被解释为对范围的限制。

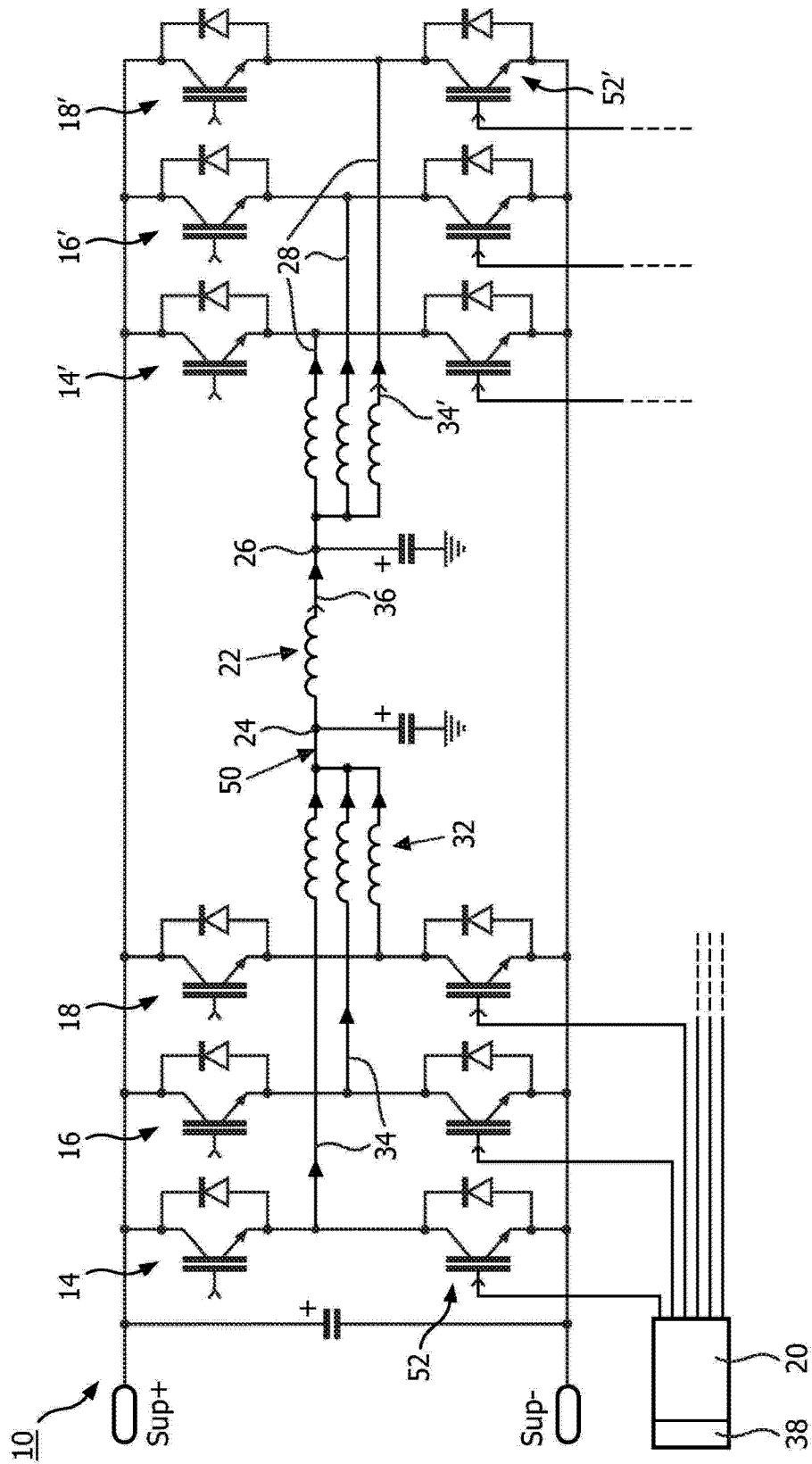


图 1a

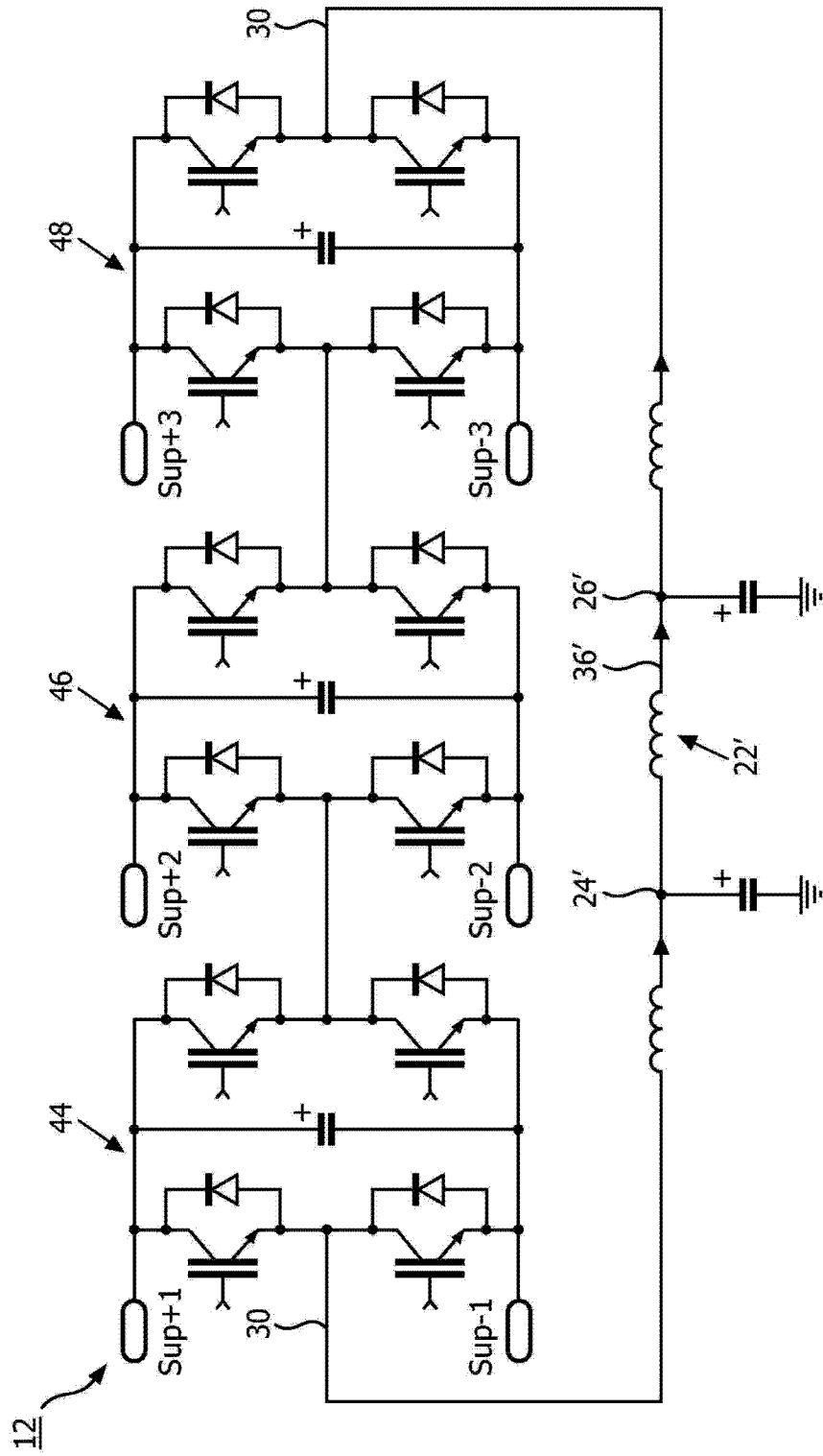


图 1b

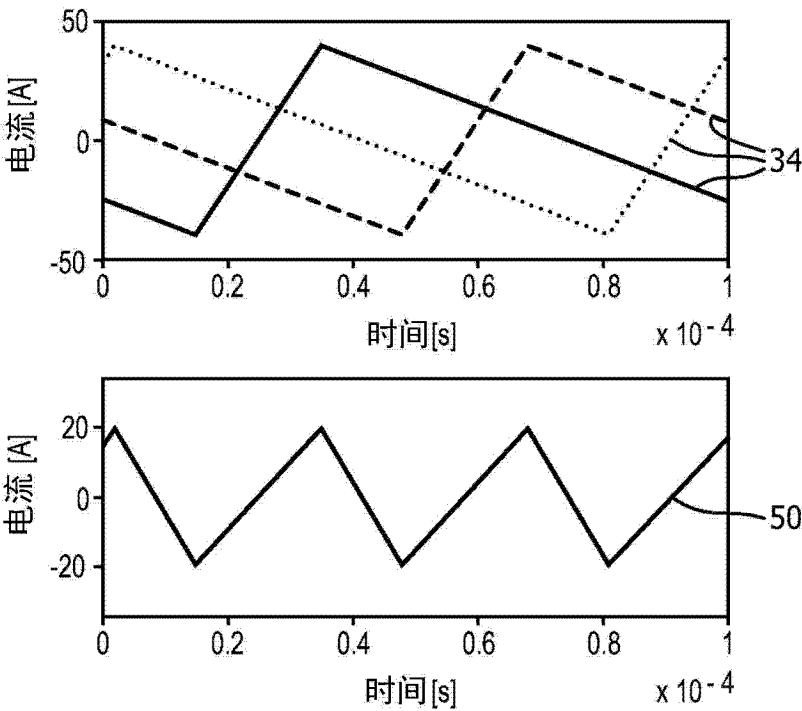


图 2

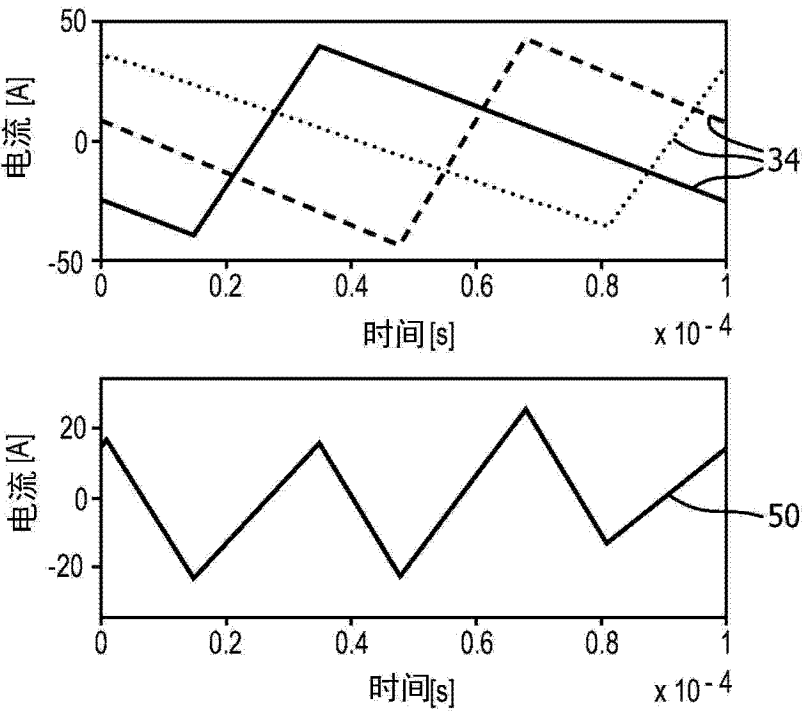


图 3

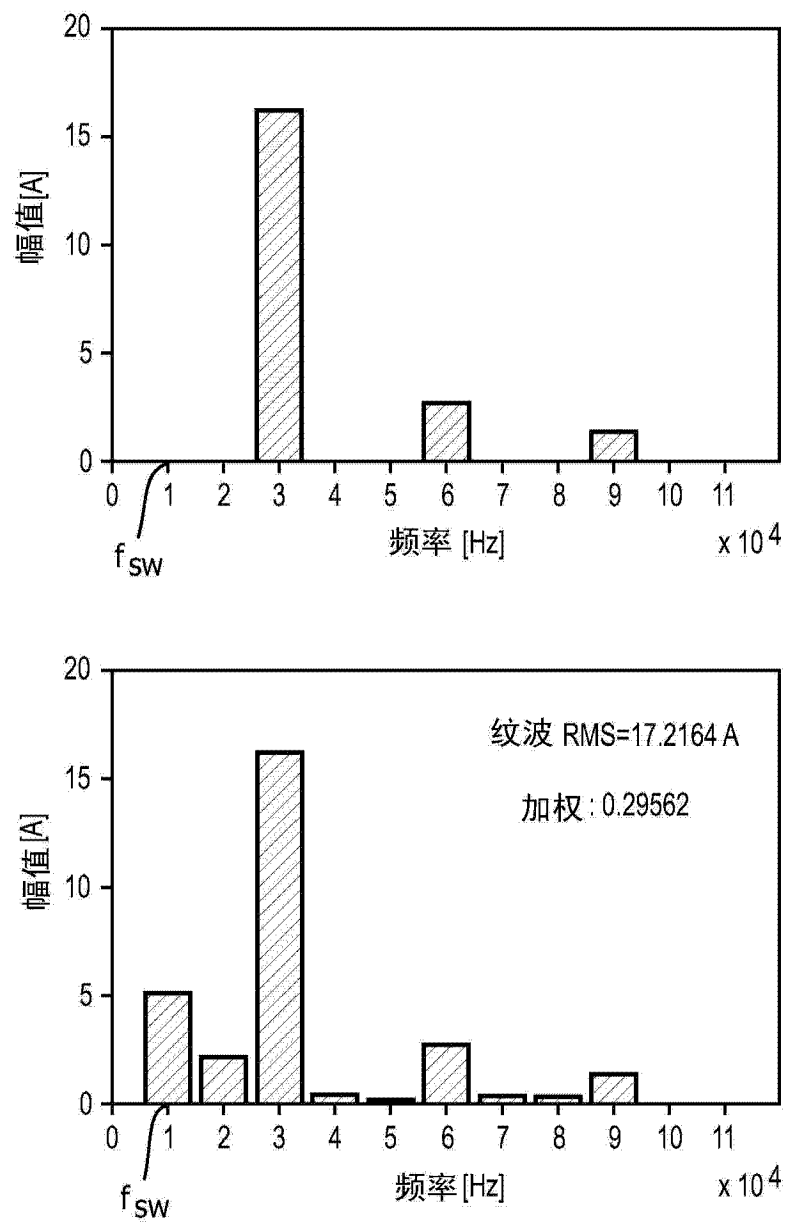


图 4

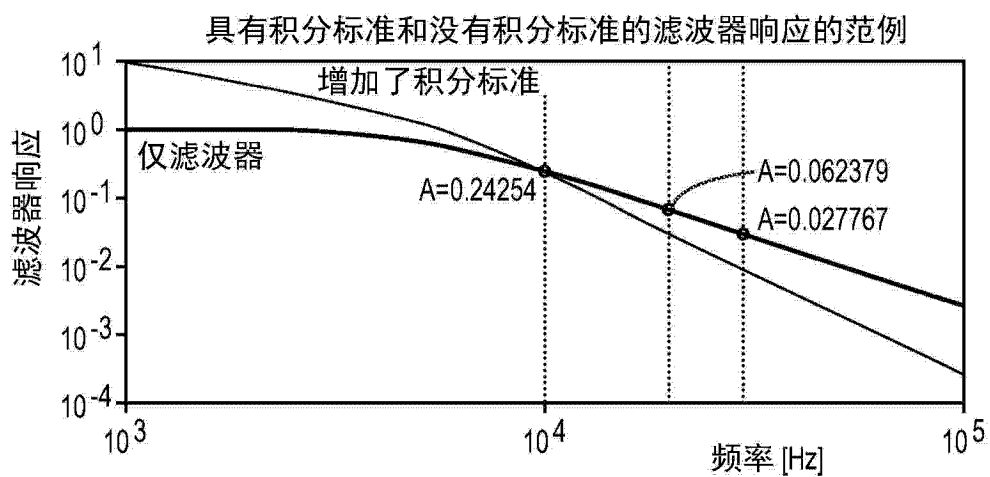


图 5

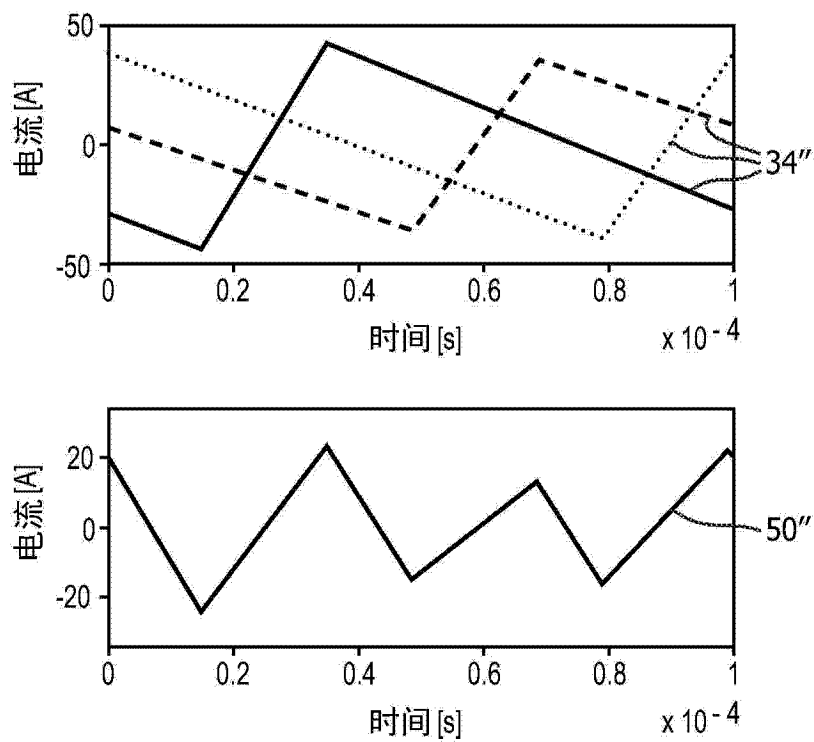


图 6

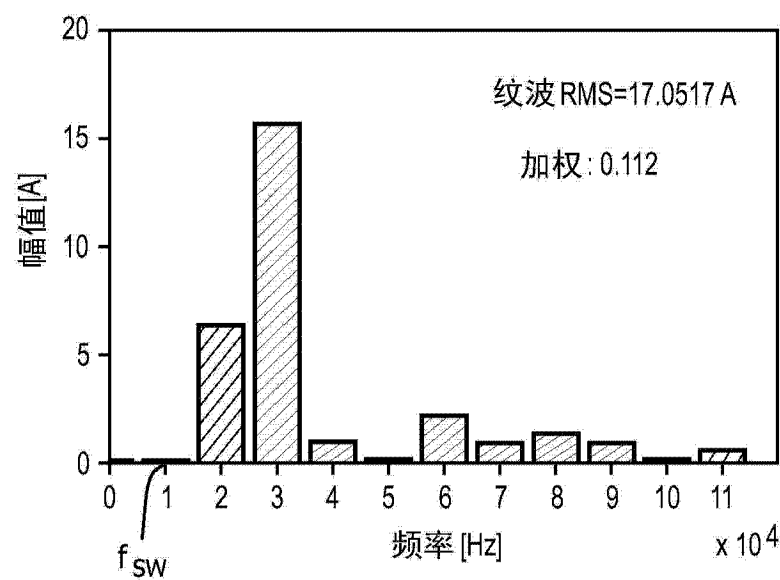


图 7

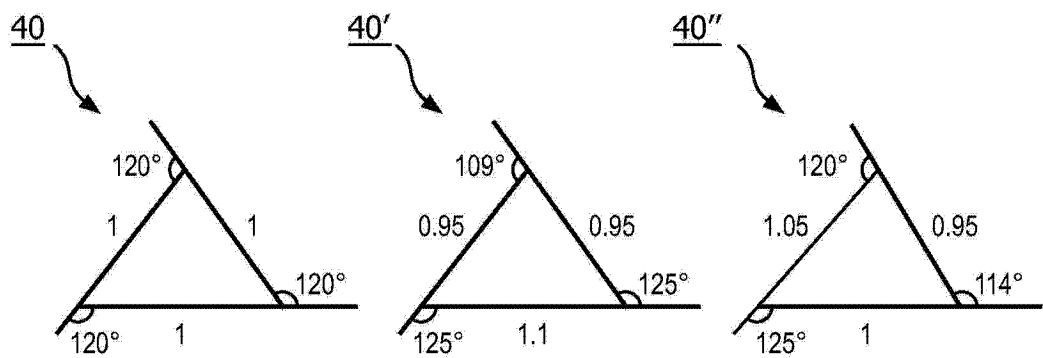


图 8

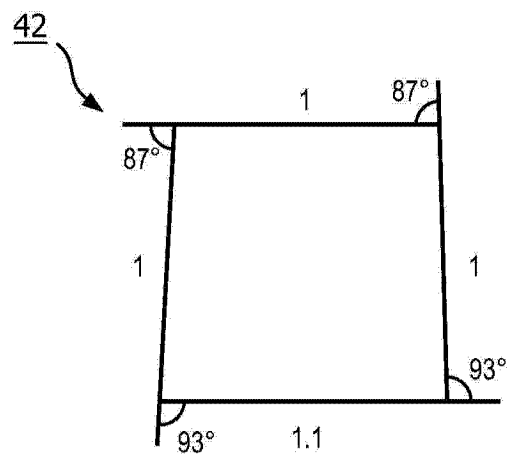


图 9

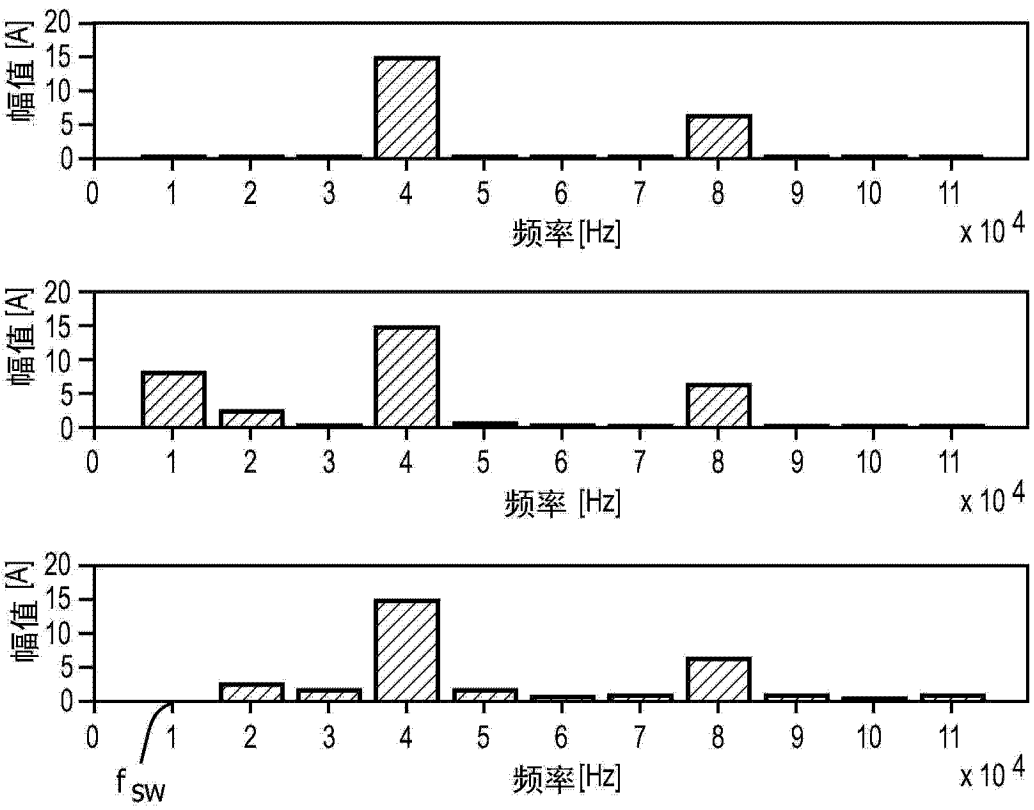


图 10

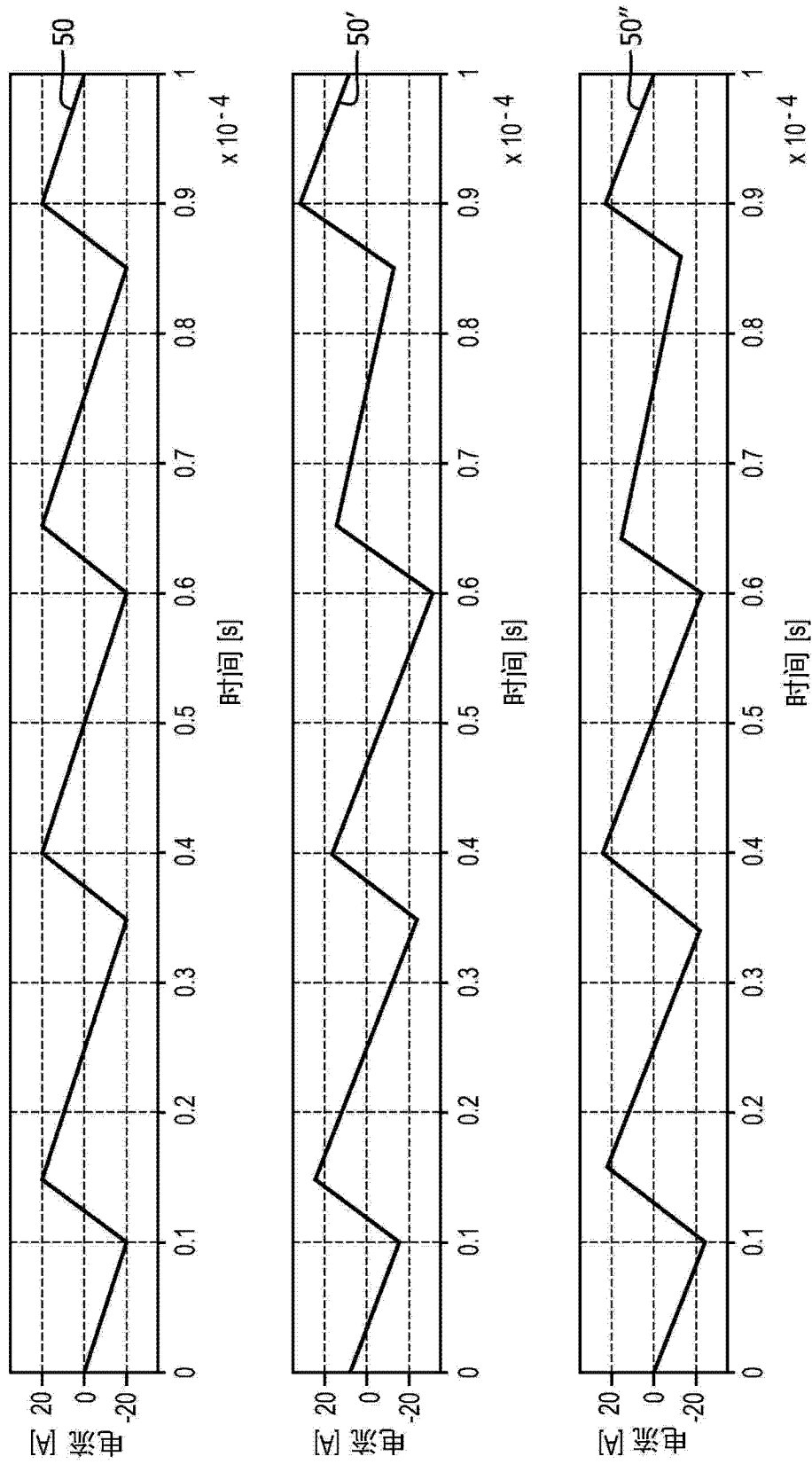


图 11