



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115668418 A

(43) 申请公布日 2023. 01. 31

(21) 申请号 202180035310.5

(74) 专利代理机构 中国商标专利事务所有限公司 11234

(22) 申请日 2021.05.12

专利代理师 曾海艳

(30) 优先权数据

FR2004854 2020.05.15 FR

(51) Int.Cl.

H01F 30/02 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

H01F 30/14 (2006.01)

2022.11.14

H02M 1/12 (2006.01)

(86) PCT国际申请的申请数据

H02M 5/14 (2006.01)

PCT/FR2021/050837 2021.05.12

H02M 7/06 (2006.01)

(87) PCT国际申请的公布数据

W02021/229190 FR 2021.11.18

(71) 申请人 赛峰集团

地址 法国巴黎

(72) 发明人 雷米·比奥若

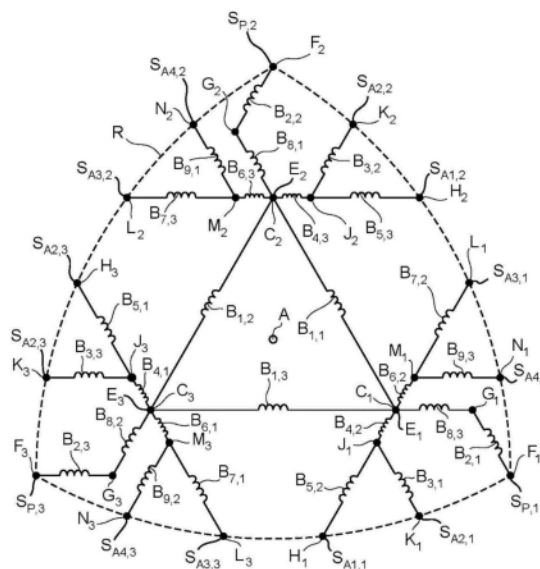
权利要求书2页 说明书8页 附图5页

(54) 发明名称

自耦变压器、自耦变压器-整流器单元以及通过自耦变压器-整流器单元将电气设备连接到三相电网的方法

(57) 摘要

本发明涉及一种三相自耦变压器 (8), 包括三个输出端组和三个输入端 (E<sub>1</sub>、E<sub>2</sub>、E<sub>3</sub>), 每个输入端通过线圈连接到相应的输出端组的每个输出端, 所述线圈被配置为, 当每个输入都施加了相应的输入电压时, 三个输入电压具有相同的输入振幅, 彼此相位相差120°并定义中性点: 对于每个输出端组, 在所述输出端组的主输出端和中性点之间获得的主输出电压的振幅大于输入振幅; 并且, 所述自耦变压器的输出电压属于同一个鲁洛多边形, 每个输出端电压与相应的输出端相关联并且等于所述输出端和中性点之间的电压。



1. 一种三相自耦变压器(8),包括三个输入端( $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ )、三个输出端组和分布成三个绕组的多个线圈,同一绕组的线圈彼此磁耦合,每个绕组组与各自的相位关联,

所述自耦变压器(8)的特征在于,每个输出端组包括五个输出端,每个输入端( $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ )与相应输出端组的每个输出端相关联,

每个输入端( $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ )通过包括至少一个线圈的相应电路路径连接到每个相应的输出端,以及

对于每个输入(端 $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ ),一方面所述输入端( $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ )和相应输出端之间的电路路径,另一方面所述输入端和同一输出端组的任何其他输出端之间的电路路径包括至少一个不同的线圈,

所述线圈被配置为,当每个输入端( $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ )都施加了相应的输入电压时,三个输入电压具有相同的输入振幅,彼此相位相差 $120^\circ$ 并定义中性点:

-对于每个输出端组,主输出端电压等于相应主输出端和中性点之间的电压,其振幅大于输入振幅,形成主输出振幅;并且

-自耦变压器的所有输出电压在菲涅耳(Fresnel)图中属于同一个鲁洛(Reuleaux)多边形,每个输出端电压与相应的输出端相关联并且等于所述输出端和中性点之间的电压。

2. 根据权利要求1所述的自耦变压器,其中,所述线圈被配置为,当每个输入端( $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ )都施加了相应的输入电压时,三个输入电压具有相同的输入振幅,彼此相位相差 $120^\circ$ 并定义中性点:

-三个主输出电压相位彼此相差 $120^\circ$ ;并且

-对于主输出端中给定不同的第一主输出端和第二主输出端,以及对于每个辅助输出端,所述输出端和预定点之间的电压具有相同的振幅,所述每个辅助输出端的相应辅助电压等于所述辅助端输出和中性点之间的电压,具有所述第一主输出端的主输出电压的相位和所述第二主输出端的主输出电压的相位之间的相位;

3. 根据权利要求2所述的自耦变压器(8),其中,所述预定点是第三主输出端,其不同于所述第一主输出端和所述第二主输出端。

4. 根据权利要求2所述的自耦变压器(8),其中,所述预定点是所述中性点。

5. 根据权利要求4所述的自耦变压器(8),其中,每个输出端和中性点之间的电压是不同的,并且彼此之间的相位相差 $24^\circ$ 的整数倍。

6. 根据权利要求1至5中任一项所述的自耦变压器(8),其中,每个主输出的振幅等于输入振幅与1.85至2之间的预定系数的乘积,优选1.9和1.95之间,例如等于1.93。

7. 根据权利要求1至6中任一项所述的自耦变压器(8),其中,对于所述第一主输出端、所述第二主输出端,和所述辅助输出端中的每一个,所述输出端和所述第三主输出端之间的电压是不同的,并且彼此之间的相位相差 $12^\circ$ 的整数倍,所述每个辅助输出的相应辅助电压具有所述第一主输出端的主输出电压的相位和所述第二主输出的主输出电压的相位之间的相位。

8. 根据权利要求1至7中任一项所述的自耦变压器(8),其中,输入端( $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ )和相应输出端组的任何输出端之间的电路路径包括至少两个线圈,每个线圈属于不同的绕组组。

9. 一种自耦变压器-整流器单元(6),包括根据权利要求1至8中任一项所述的自耦变压器(8)和整流器级(10),所述整流器级(10)包括十五个输入端( $E_R$ )和两个输出端( $S_1$ 、 $S_2$ ),所

述整流器级(10)的每个输入端端( $E_R$ )连接到所述自耦变压器(8)的相应输出端。

10.一种通过根据权利要求9所述的自耦变压器-整流器单元(6)将电气设备(2)连接到三相电网(4)的方法,所述电气设备被设计成具有作为输入的预定额定电压,所述三相电网(4)提供三个电压,每个电压具有相应的输入振幅,

所述方法包括以下步骤:

- 将所述自耦变压器的每个输入端( $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ )连接到所述三相电网(4)的相应相;和
  - 将所述电气设备(2)连接在所述整流器级(10)的两个输出端( $S_1$ 、 $S_2$ )之间,
- 所述预定标称电压等于输入电压的 $6\sqrt{6}/\pi$ 倍。

## 自耦变压器、自耦变压器-整流器单元以及通过自耦变压器-整流器单元将电气设备连接到三相电网的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种三相自耦变压器,包括三个输入、三个输出组和分布成三个绕组的多个绕线圈,同一绕组的线圈相互磁耦合,每个绕组与各自的相位关联。

[0002] 本发明还涉及一种自耦变压器-整流器单元,以及一种通过这种自耦变压器将电气设备连接到三相电网的方法。

[0003] 本发明适用于电工领域,特别是适用于向机载电气设备,尤其是飞行器上的电气设备供应电力。

### 背景技术

[0004] 通常,飞行器的机载电网是三相电网,能够提供振幅为115V(伏特)的单电压。

[0005] 在下文中,术语“单电压”是指给定点(例如,电路的端子,或甚至三相电网的一个相)和用作电位参考的预定中性点之间的电压,特别是三相电网的三相连接点。

[0006] 为了向需要直流电压(通常接近540V)进行运行的机载电气设备提供电能,AC/DC转换器被放置在所述电气设备和机载电网之间,该转换器的输出限定了直流电压总线。这种电气设备例如是发动机控制转换器。

[0007] 传统上,这种AC/DC转换器是传统上已知的所谓“18脉冲整流器”转换器。这样的转换器具有总体尺寸小且便宜的优点。

[0008] 在这种情况下,自耦变压器布置在三相电网和整流器之间,以便从三相电网的三相向18脉冲整流器提供九个输入电压。布置在其输入端的整流器和自耦变压器的这种组合通常称为“自耦变压器-整流器单元”或ATRU。

[0009] 然而,这样的ATRU并非在所有情况下都完全令人满意。

[0010] 事实上,在一些情况下,例如,希望在已经存在的机载电网上增加电气功能(即电气负载),并且新功能相对于与所述电网相关联的发电机所提供的电力而言消耗大量的电力,客户可能要求新功能所吸收的失真率低于传统航空标准(例如,D0160第16节),以达到例如低于1%的水平。这样的性能通常不能由包括18个脉冲转换器的ATRU实现。

[0011] 因此,本发明的目的是提供一种ATRU,允许连接到115V交流电网的电气设备,如前面描述的那些设备,其总体尺寸小,价格便宜,具有令人满意的能源效率,并作为输出,提供低谐波失真率的直流电。

### 发明内容

[0012] 为此,本发明的一个目的是上述类型的自耦变压器,其中每个输出端组包括五个输出端,包括一个主输出端和四个辅助输出端,

[0013] 每个输入端与相应输出端组的每个输出端相关联,

[0014] 每个输入端通过包括至少一个线圈的相应电路路径连接到每个相应输出端,并

[0015] 且

[0016] 对于每个输入端,一方面在所述输入端和相应输出端之间的电路路径,另一方面在输入端和同一输出端组的任何其他输出端之间的电路路径,包括至少一个不同的线圈,

[0017] 所述线圈被配置为,当每个输入端都施加了相应的输入电压时,三个输入电压具有相同的输入振幅,彼此相位相差 $120^\circ$ 并定义中性点:

[0018] -对于每个输出端组,主输出端电压等于相应主输出端和中性点之间的电压,其振幅大于输入振幅,形成主输出振幅;并且

[0019] -自耦变压器的所有输出电压在菲涅耳(Fresnel)图中属于同一个鲁洛(Reuleaux)多边形,每个输出电压与相应的输出相关联并且等于所述输出端和中性点之间的电压。

[0020] 实际上,这种自耦变压器的整体尺寸很小,因为线圈数量少。线圈数量少还导致制造成本低。此外,在使用整流器后,15个输出相的存在导致直流电压的谐波失真率与之前提出的要求相兼容。

[0021] 根据本发明的其他有利方面,自耦变压器包括以下一个或多个特征,可单独使用或根据任何技术上可能的组合:

[0022] -所述线圈被配置为,当每个输入端都施加了相应的输入电压时,三个输入电压具有相同的输入振幅,彼此相位相差 $120^\circ$ 并定义中性点:

[0023] • 三个主输出端电压相位彼此相差 $120^\circ$ ;并且

[0024] • 对于主输出端中给定不同的第一主输出端和第二主输出端,以及对于每个辅助输出端,所述输出端和预定点之间的电压具有相同的振幅,所述每个辅助输出端的相应辅助电压等于所述辅助输出端和中性点之间的电压,具有所述第一主输出端的主输出电压的相位和所述第二主输出端的主输出电压的相位之间的相位;

[0025] -所述预定点是不同于所述第一主输出端和所述第二主输出端的第三主输出端;

[0026] -所述预定点是所述中性点;

[0027] -每个输出端和中性点之间的电压是不同的,并且彼此之间的相位相差 $24^\circ$ 的整数倍;

[0028] -每个主输出端的振幅等于输入振幅与1.85至2之间的预定系数的乘积,优选1.9至1.95之间,例如等于1.93;

[0029] -对于所述第一主输出端、所述第二主输出端和所述辅助输出端中的每一个,所述输出端和所述第三主输出端之间的电压是不同的,并且彼此之间的相位相差 $12^\circ$ 的整数倍,所述每个辅助输出端的相应辅助电压具有所述第一主输出端的主输出电压的相位和所述第二主输出端的主输出电压的相位之间的相位;

[0030] -输入端和相应输出端组的任何输出端之间的电路路径包括至少两个线圈,每个线圈属于不同的绕组。

[0031] 本发明的另一个目的是一种自耦变压器整流器单元,包括如上所述的自耦变压器和整流器级,整流器级包括十五个输入端和两个输出端,整流器级的每个输入端连接到自耦变压器的相应输出端。

[0032] 此外,本发明的一个目的是一种通过如上定义的自耦变压器-整流器单元将电气设备连接到三相电网的方法,该电气设备被设计成具有作为输入的预定额定电压,三相电网提供三个电压,每个电压具有相应的输入振幅,该方法包括以下步骤:

- [0033] -将所述自耦变压器的每个输入端连接到所述三相电网的相应相;和
- [0034] -将所述电气设备连接在所述整流器级的两个输出端之间,
- [0035] 所述预定标称电压等于输入电压的 $6\sqrt{6}/\pi$ 倍。

### 附图说明

[0036] 使用以下描述将更好地理解本发明,该描述仅作为非限制性示例给出并参考附图进行,其中:

[0037] 图1是通过根据本发明的ATRU连接到电网的电气设备的示意图;

[0038] 图2是说明图1的ATRU的自耦变压器的第一实施例中涉及的电压的菲涅耳图;

[0039] 图3是表示与包括18脉冲整流器的现有技术的ATRU提供的电流相比,图1中ATRU提供的电流的谐波失真率随谐波数变化的曲线图;

[0040] 图4是说明图1的ATRU的自耦变压器的第二实施例中涉及的电压的菲涅耳图;和

[0041] 图5是说明图1的ATRU的自耦变压器的第三实施例中涉及的电压的菲涅耳图。

### 具体实施方式

[0042] 在图1中,表示通过根据本发明的自耦变压器-整流器单元6(称为“ATRU”)连接到电网4的电气设备2。

[0043] 电气设备2是被配置为提供具有预定标称值(例如540V)的直流电压的设备。

[0044] 电气设备2连接到ATRU 6的输出端 $S_1$ 、 $S_2$ 。

[0045] 电网4是三相电网,例如115V交流电网。通常,电网4包括三个相5,每个相能够输送相应的电压。优选地,电网4是所谓的“平衡”电网,由电网4提供的三个电压具有相同的所谓的“输入振幅”,并且彼此的相位相差 $120^\circ$ 。

[0046] 由电网4提供的三个电压限定了中性点,优选地对应于三相5的连接点。中性点在图2和图4中表示为A,其中它定义了一个电位参考。

[0047] 电网4的每个相5连接到ATRU 6的相应输入端 $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ 。

[0048] ATRU 6被配置为将电力从电网4传送到电气设备2。更准确地说,ATRU 6被配置为当电网4向ATRU 6的每个输入端 $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ 施加交流电压时在其两个输出端 $S_1$ 、 $S_2$ 之间传递直流电压。

[0049] ATRU 6包括自耦变压器8和整流器级10。

[0050] 自耦变压器8包括形成ATRU 6的输入端 $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ 的三个输入端 $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ 。此外,自耦变压器8包括十五个输出端。

[0051] 自耦变压器8被配置为将来自三相电网4并且施加到其输入端 $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ 中的每一个的电压传送到十五个交流电压,这些十五个交流电压中的每一个在自耦变压器8的十五个输出端中的相应的输出端处可用。

[0052] 自耦变压器8的输出端被分布为三个输出端组,每个输出端组包括五个输出端。更准确地说,每个输出端组包括一个主输出端,表示为 $S_p$ 和四个辅助输出端,表示为 $S_{A1}$ 至 $S_{A4}$ 。

[0053] 自耦变压器8的每个输入端 $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ 与相应的输出端组相关联,特别是与相应输出端组的五个输出端中的每一个相关联。

[0054] 整流器级10是已知的30脉冲整流器(也称为“30脉冲桥”),优选不受控制的30脉冲

整流器。

[0055] 整流器级10包括十五个输入端 $E_R$ ，每个输入端连接到自耦变压器8的相应输出端。此外，整流器级10包括形成ATRU 6的输出端 $S_1$ 、 $S_2$ 的两个输出端 $S_1$ 、 $S_2$ 。

[0056] 整流器级10被配置为在其输出端 $S_1$ 、 $S_2$ 之间输送直流电压，该直流电压来自自耦变压器8的相应输出端分别施加到其输入端 $E_R$ 的电压。

[0057] 优选地，对于自耦变压器8的每个输出端，整流器级10包括相应的臂，每个臂连接在ATRU 6的输出端 $S_1$ 和输出端 $S_2$ 之间。

[0058] 每个臂包括第一二极管16A和第二二极管16B。更准确地说，第一二极管16A的阴极连接到输出 $S_1$ ，第二二极管16B的阳极连接到输出 $S_2$ 。此外，第二二极管16B的阴极和第一二极管16A的阳极在中点处彼此连接。结果，整流器级10形成全波整流器。

[0059] 在这种情况下，自耦变压器8的每个输出端连接到相应臂的中点。

[0060] 现在将更详细地描述自耦变压器8，特别是参考图2。

[0061] 自耦变压器8包括分布成三个绕组的多个线圈。同一绕组的线圈彼此磁耦合，例如通过磁芯，同一绕组的线圈围绕该磁芯缠绕。

[0062] 每个绕组与电网4的一个相位关联，在操作中，绕组的一个线圈连接到电网4。

[0063] 对于每个绕组，定义正方向，对应于当磁通量的时间导数为负时产生穿过所述绕组的线圈的磁通量的磁场的方向。在这种情况下，对于每个绕组：

[0064] -电压朝正方向的线圈称为“沿正方向定向”；和

[0065] -电压方向与正方向相反的线圈称为“沿负方向定向”。

[0066] 线圈的布置使得，当自耦变压器8连接到电网4时，对于任何给定的绕组，沿正方向定向的线圈两端的电压同相，并且与沿负方向定向的线圈两端的电压反相。

[0067] 此外，线圈的配置应确保，对于任何给定的绕组，沿正、负方向定向的相应绕组两端的电压与沿其他两个绕组中的每一个的正、负向定向的线圈两端电压相位相差 $120^\circ$ 。

[0068] 从图2可以看出，自耦变压器8的每个输入端 $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ 通过包括至少一个线圈的相应电路路径连接到对应输出端组的每个输出端。

[0069] 此外，对于每个输入端 $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ ，一方面所述输入端 $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ 与对应的输出端之间的电路路径，另一方面所述输入端 $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ 与同一输出端组的任何其他输出端之间的电路路径，包括至少一个不同的线圈。

[0070] 当自耦变压器8连接到电源4时，电路路径是这样的：

[0071] -对于每个输出端组，主输出端电压等于相应主输出端 $S_p$ 和中性点A之间的电压，具有所谓的“主输出振幅”，大于输入振幅；并且

[0072] -自耦变压器的输出端电压属于同一个鲁洛多边形，每个输出端电压与相应的输出相关联并且等于所述输出端和中性点之间的电压。

[0073] 从下面的描述中将变得明显，这样的鲁洛多边形例如是鲁洛三角形或者甚至是圆形。

[0074] 有利地，当自耦变压器8连接到电源4时，电路路径还被配置为使得：

[0075] -三个主输出端电压相位相差 $120^\circ$ ；并且

[0076] -对于主输出端 $S_p$ 中给定不同的第一主输出端和第二主输出端，以及对于每个辅助输出端 $S_A$ ，所述输出端和预定点之间的电压具有相同的振幅，每个辅助输出端 $S_A$ 的相应辅

助电压等于所述辅助输出端 $S_A$ 和中性点A之间的电压,具有所述第一主输出端的主输出电压的相位和所述第二主输出端的主输出电压的相位之间的相位。

[0077] 此外,三个主输出端电压优选地与电网4的单个电压同相。

[0078] 有利地,预定点是第三主输出端,其不同于第一主输出端和第二主输出端。这对应于图2的实施例。

[0079] 在这种情况下,从该图中可以明显看出,在菲涅耳图上,每个输出端和中性点A之间的电压属于鲁洛三角形R,其顶点是主输出端电压。这导致在由自耦变压器8传输的功率与其质量之间产生特别有利的折衷的效果。

[0080] 有利地,对于所述第一主输出端、所述第二主输出端和所述辅助输出端中的每一个,所述输出端和所述第三主输出端之间的电压是不同的,并且彼此之间的相位相差 $12^\circ$ 的整数倍,所述每个辅助输出端的相应辅助输出电压具有所述第一主输出端的主输出电压的相位和所述第二主输出端的主输出电压的相位之间的相位。

[0081] 优选地,每个主输出端的振幅等于输入振幅与1.85至2之间的预定系数的乘积,优选1.9至1.95之间,例如等于1.93。因此,自耦变压器8是升压变压器。

[0082] 预定系数的这种值,特别是1.93,是有利的,因为它导致了自耦变压器8令人满意的紧凑性,以及通过减少获得15相所需的线圈数量来简化结构,同时允许ATRU6在连接到输入振幅等于115V的三相电网时提供接近540V的直流电压(预定系数等于1.93时约为520V)。

[0083] 此外,所提供的电压等于520V这一事实本身并无害处,因为ATRU 6通常在输出端连接到逆变器。因此,逆变器只需针对该电压水平进行设计(这意味着电流需求的增加和电压需求的降低),520V和540V之间的差异足够小,对逆变器的影响可以忽略不计。如果ATRU 6要为分布式电网供电,这可能是有害的,因为它必须满足电网标准。

[0084] 自耦变压器8的优选实施方式如图2所示。

[0085] 在下文中,i是1、2或3。此外:

[0086] -如果i等于1,则i-1等于3;并且

[0087] -如果i等于3,则i+1等于1。

[0088] 自耦变压器8包括三个连接点 $C_1$ 、 $C_2$ 和 $C_3$ 。准确地说,自耦变压器8的输入端 $E_i$  (i取1到3的所有值) 连接到连接点 $C_i$ 。

[0089] 绕组i (i为1、2或3) 在连接点 $C_i$ 和连接点 $C_{i+1}$ 之间包括线圈 $B_{1,i}$ 。这样,线圈 $B_{1,i}$ 是三角连接的。

[0090] 优选地,线圈 $B_{1,i}$ 是相同的。

[0091] 输出端组i的主输出端,表示为 $S_{p,i}$ ,连接到绕组i的线圈 $B_{2,i}$ 的第一端子,表示为 $F_i$ 。线圈 $B_{2,i}$ 的另一个端子连接到绕组i-1的线圈 $B_{8,i-1}$ 的对应端子,例如与在表示为 $G_i$ 的端子处相同的端子。

[0092] 线圈 $B_{8,i-1}$ 的另一端连接到连接点 $C_i$ ,例如与连接点 $C_i$ 相同。

[0093] 线圈 $B_{2,i}$ 沿与绕组i相关联的负方向定向。此外,线圈 $B_{8,i-1}$ 沿与绕组i-1相关联的正方向定向。

[0094] 输出端组i的第一辅助输出端,表示为 $S_{A1,i}$ ,连接到绕组i+1的线圈 $B_{5,i+1}$ 的第一端子,表示为 $H_i$ 。线圈 $B_{5,i+1}$ 的另一个端子连接到同一绕组i+1的线圈 $B_{4,i+1}$ 的对应端子,例如与在表示为 $J_i$ 的端子处相同的端子。

- [0095] 线圈 $B_{4,i+1}$ 的另一端连接到连接点 $C_i$ ,例如与连接点 $C_i$ 相同。
- [0096] 线圈 $B_{4,i+1}$ 、 $B_{5,i+1}$ 都沿与绕组 $i+1$ 相关的正方向定向。
- [0097] 输出端组 $i$ 的第二辅助输出端,表示为 $S_{A2,i}$ ,连接到绕组 $i$ 的线圈 $B_{3,i}$ 的第一端子,表示为 $K_i$ 。线圈 $B_{3,i}$ 的另一个端子连接到绕组 $i+1$ 的线圈 $B_{4,i+1}$ 的端子 $J_i$ ,例如与端子 $J_i$ 相同。
- [0098] 线圈 $B_{3,i}$ 沿与绕组 $i$ 相关联的负方向定向。
- [0099] 输出端组 $i$ 的第一辅助输出端,表示为 $S_{A3,i}$ ,连接到绕组 $i+1$ 的线圈 $B_{7,i+1}$ 的第一端子,表示为 $L_i$ 。线圈 $B_{7,i+1}$ 的另一个端子连接到同一绕组 $i+1$ 的线圈 $B_{6,i+1}$ 的对应端子,例如与在表示为 $M_i$ 的端子处相同的端子。
- [0100] 线圈 $B_{6,i+1}$ 的另一端连接到连接点 $C_i$ ,例如与连接点 $C_i$ 相同。
- [0101] 线圈 $B_{6,i+1}$ 、 $B_{7,i+1}$ 都沿与绕组 $i+1$ 相关联的负方向定向。
- [0102] 输出组 $i$ 的第四辅助输出,表示为 $S_{A4,i}$ ,连接到绕组 $i-1$ 的线圈 $B_{9,i-1}$ 的第一端子,表示为 $N_i$ 。线圈 $B_{9,i-1}$ 的另一个端子与绕组 $i+1$ 的线圈 $B_{6,i+1}$ 的端子 $M_i$ 连接,例如与端子 $M_i$ 相同。
- [0103] 线圈 $B_{9,i-1}$ 沿在与绕组 $i-1$ 相关联的正方向定向。
- [0104] 优选地,线圈 $B_{5,i+1}$ 和 $B_{7,i+1}$ ,线圈 $B_{4,i+1}$ 和 $B_{6,i+1}$ ,分别是相同的,从而在操作中它们两端的电压绝对值相同。
- [0105] 优选地,线圈 $B_{3,i}$ 和 $B_{9,i-1}$ 是相同的,从而在操作中它们两端的电压绝对值相同。
- [0106] 甚至更优选地,线圈 $B_{2,i}$ 和 $B_{8,i-1}$ 是相同的,从而在操作中它们两端的电压绝对值相同。
- [0107] 如前所述,选择线圈使得每个输出端和中性点A之间的电压在菲涅耳图上属于鲁洛三角形R,其顶点是主输出端电压。
- [0108] 具体地,每个辅助输出端 $S_{A4,i}$ 、 $S_{A3,i}$ 、 $S_{A1,i+1}$ 和 $S_{A2,i+1}$ 与中性点A之间的电压在鲁洛三角形R的同一弧上,所述弧在分别与主输出端 $S_{P,i}$ 和 $S_{P,i+1}$ 的每一个中的主输出电压之间。换句话说,一方面,辅助输出端 $S_{A4,i}$ 、 $S_{A3,i}$ 、 $S_{A1,i+1}$ 和 $S_{A2,i+1}$ 中的每一个与主输出端 $S_{P,i}$ 、 $S_{P,i+1}$ 以及另一方面,主输出端 $S_{P,i-1}$ 之间的电压具有相同的振幅。
- [0109] 此外:
- [0110] -辅助输出端 $S_{A4,i}$ 和主输出端 $S_{P,i-1}$ 之间的复合电压比主输出端 $S_{P,i}$ 和主输出端 $S_{P,i-1}$ 之间的复合电压相位超前 $12^\circ$ ;
- [0111] -辅助输出端 $S_{A3,i}$ 和主输出端 $S_{P,i-1}$ 之间的复合电压比辅助输出端 $S_{A4,i}$ 和主输出端 $S_{P,i-1}$ 之间的复合电压相位超前 $12^\circ$ ;
- [0112] -辅助输出端 $S_{A1,i+1}$ 和主输出端 $S_{P,i-1}$ 之间的复合电压比辅助输出端 $S_{A3,i}$ 和主输出端 $S_{P,i-1}$ 之间的复合电压相位超前 $12^\circ$ ;
- [0113] -辅助输出端 $S_{A2,i+1}$ 和主输出端 $S_{P,i-1}$ 之间的复合电压比辅助输出端 $S_{A1,i+1}$ 和主输出端 $S_{P,i-1}$ 之间的复合电压相位超前 $12^\circ$ ;并且
- [0114] -主输出端 $S_{P,i+1}$ 和主输出 $S_{P,i-1}$ 之间的复合电压比辅助输出端 $S_{A2,i+1}$ 和主输出端 $S_{P,i-1}$ 之间的复合电压相位超前 $12^\circ$ 。
- [0115] 换句话说,每个输出端 $S_{P,i}$ 、 $S_{P,i+1}$ 、 $S_{A4,i}$ 、 $S_{A3,i}$ 、 $S_{A1,i+1}$ 和 $S_{A2,i+1}$ 与主输出端 $S_{P,i-1}$ 之间的电压是不同的并且彼此相位相差 $12^\circ$ 的整数倍,特别是在 $0^\circ$ 和 $60^\circ$ 之间。
- [0116] 通过明智地选择形成每个电路路径的线圈12,特别是通过明智地选择线圈12之间的相对匝数来保证前述的相位和振幅关系。

[0117] 具有如图2所示结构的自耦变压器8是有利的,因为这样的结构导致输入功率与输出到电气设备2(形成负载)的功率的比率低于其他结构。这导致整体尺寸小、质量轻,以及相对于其他架构减少的绕组长度,因此与其他自耦变压器架构相比,生产成本更低。

[0118] 此外,从图3可以明显看出,由根据本发明的ATRU 6输送的电流的谐波失真率(灰条)比由耦合到18脉冲整流器、具有提供九个输出端的自耦变压器的ATRU输送的电流的谐波失真率(黑条)好得多。

[0119] 根据本发明的ATRU 6提供的电流的总谐波失真率约为0.95%,而耦合到脉冲整流器、具有提供九个输出端的自耦变压器的ATRU的总谐波失真率约为3.54%。

[0120] 自耦变压器8的第二实施例如图4所示。该实施例与图2的实施例的不同之处在于,预定点是中性点A。

[0121] 此外,与图2所示的第一实施例不同,在第二实施例中,第一辅助输出端 $S_{A1,i}$ 通过绕组i的线圈 $B_{10,i}$ 连接到端子 $H_i$ 。此外,第三辅助输出端 $S_{A3,i}$ 通过绕组i-1的线圈 $B_{11,i-1}$ 连接到端子 $L_i$ 。

[0122] 绕组 $B_{10,i}$ 沿负方向定向,而绕组 $B_{11,i-1}$ 沿正方向定向。

[0123] 在这种情况下,如图所示,在菲涅耳图上,每个输出端和中性点A之间的电压属于以中性点A为中心的圆。

[0124] 因此,每个输出端和中性点之间的电压是不同的,并且彼此之间的相位相差 $24^\circ$ 的整数倍;

[0125] 自耦变压器8的第三实施例如图5所示。如图4所示的第二实施例,这里的预定点是中性点A。

[0126] 在该第三实施例中,自耦变压器8包括三个连接点 $C_1$ 、 $C_2$ 和 $C_3$ 。

[0127] 绕组i(i为1、2或3)包括在连接点 $C_i$ 和连接点 $C_{i+1}$ 之间串联的六个线圈 $\beta_{1,i}$ 至 $\beta_{6,i}$ 。线圈 $\beta_{1,i}$ 至 $\beta_{6,i}$ 沿正方向定向。

[0128] 优选地,线圈 $\beta_{1,i}$ 和 $\beta_{6,i}$ 相同。甚至更优选地,线圈 $\beta_{2,i}$ 和 $\beta_{5,i}$ 相同。甚至更优选地,线圈 $\beta_{3,i}$ 和 $\beta_{4,i}$ 相同。

[0129] 在这种情况下,自耦变压器8的输入端 $E_i$ (i取1到3的所有值)连接到线圈 $\beta_{3,i}$ 和 $\beta_{4,i}$ 之间的连接点。

[0130] 输出端组i的主输出端 $S_{p,i}$ 电连接至连接点 $C_i$ 。

[0131] 输出端组i的第一辅助输出端 $S_{A1,i}$ 通过绕组i-1的线圈 $\beta_{7,i-1}$ 电连接到线圈 $\beta_{1,i}$ 和 $\beta_{2,i}$ 之间的连接点,线圈 $\beta_{7,i-1}$ 沿正方向定向。

[0132] 输出端组i的第二辅助输出端 $S_{A2,i}$ 通过绕组i+1的线圈 $\beta_{8,i+1}$ 电连接到线圈 $\beta_{2,i}$ 和 $\beta_{3,i}$ 之间的连接点,线圈 $\beta_{8,i+1}$ 沿负方向定向。

[0133] 输出端组i的第三辅助输出端 $S_{A3,i}$ 通过绕组i-1的线圈 $\beta_{9,i-1}$ 电连接到线圈 $\beta_{4,i}$ 和 $\beta_{5,i}$ 之间的连接点,线圈 $\beta_{9,i-1}$ 沿正方向定向。

[0134] 输出端组i的第四辅助输出 $S_{A4,i}$ 通过绕组i+1的线圈 $\beta_{10,i+1}$ 电连接到线圈 $\beta_{5,i}$ 和 $\beta_{6,i}$ 之间的连接点,线圈 $\beta_{10,i+1}$ 沿负方向定向。

[0135] 上述线圈被配置为,当自耦变压器8连接到平衡电网4时,每个输出端和中性点之间的电压是不同的,具有相同的振幅,并且彼此相位相差 $24^\circ$ 的整数倍。

[0136] 现在将描述通过ATRU 6将电气设备2连接到电网4。

[0137] 如前所述,电气设备2被设计为具有作为输入的预定标称输入电压,通常等于电网4提供的输入电压的 $6\sqrt{6}/\pi$ 倍。例如,对于115V交流电网,电气设备2被设计为具有大约等于540V的标称输入电压作为输入。

[0138] ATRU 6设计为,对于电网4施加的给定输入振幅,自耦变压器8的主输出电压的振幅等于输入振幅乘以预定系数的乘积。

[0139] 电网4的每一相都连接到ATRU 6的相应输入端。此外,ATRU 6的输出端 $S_1$ 、 $S_2$ 连接到电气设备2。

[0140] 在运行中,自耦变压器8向整流级10提供十五个电压。在这些电压中,自耦变压器8的每个输出组的主输出处的主输出电压的振幅等于输入振幅乘以预定系数的乘积。

[0141] 非受控整流器级10将施加到其输入端 $E_r$ 的十五个电压整流成等于相间输入有效电压的大约1.4倍的直流电压。

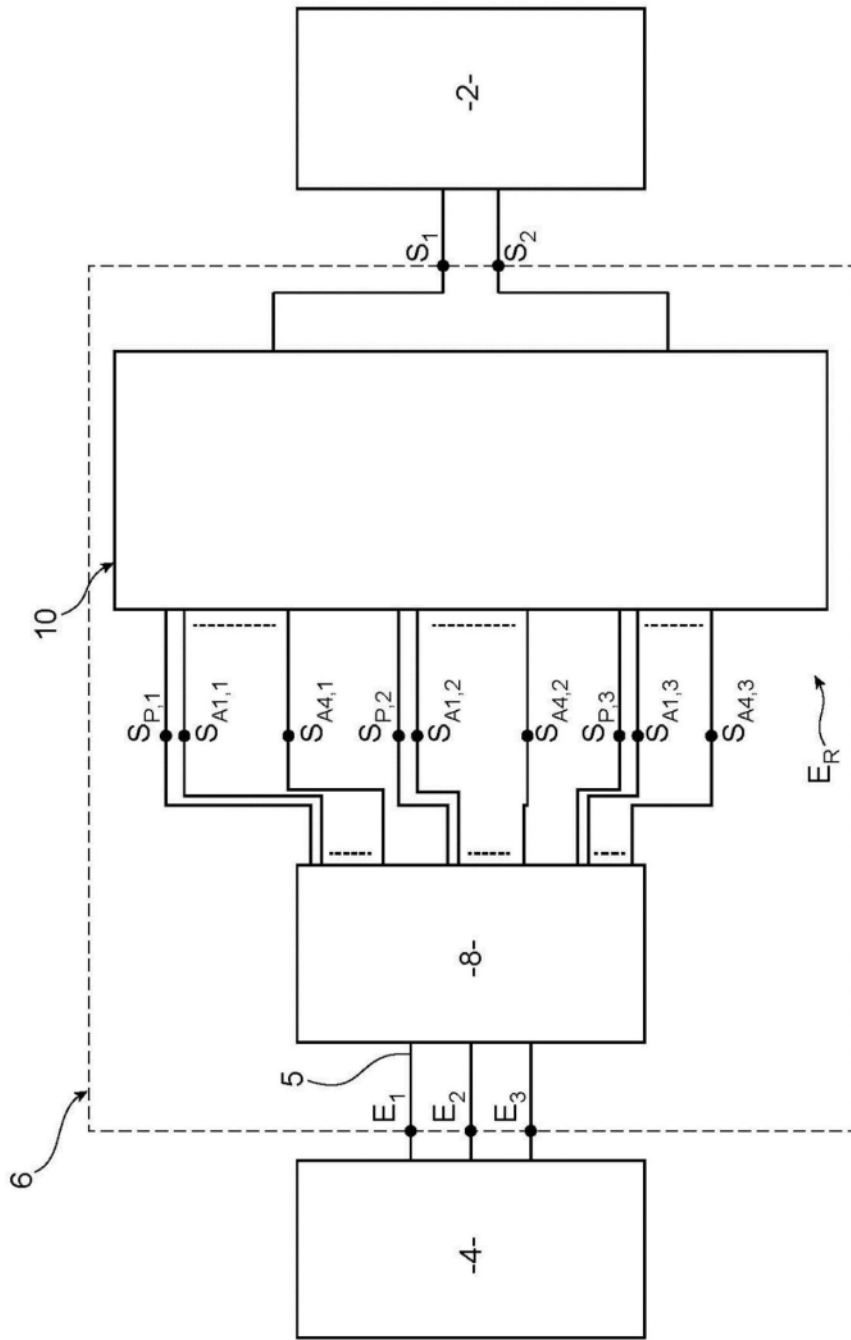


图1

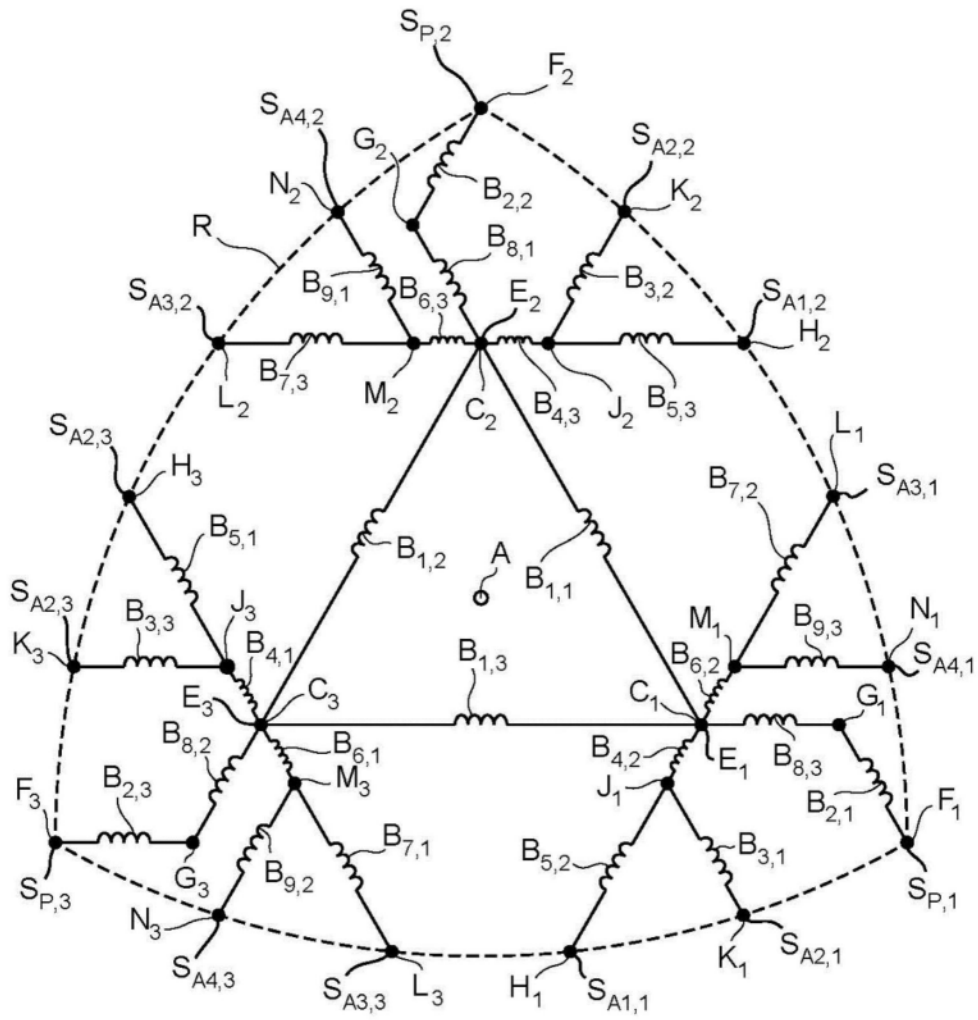


图2

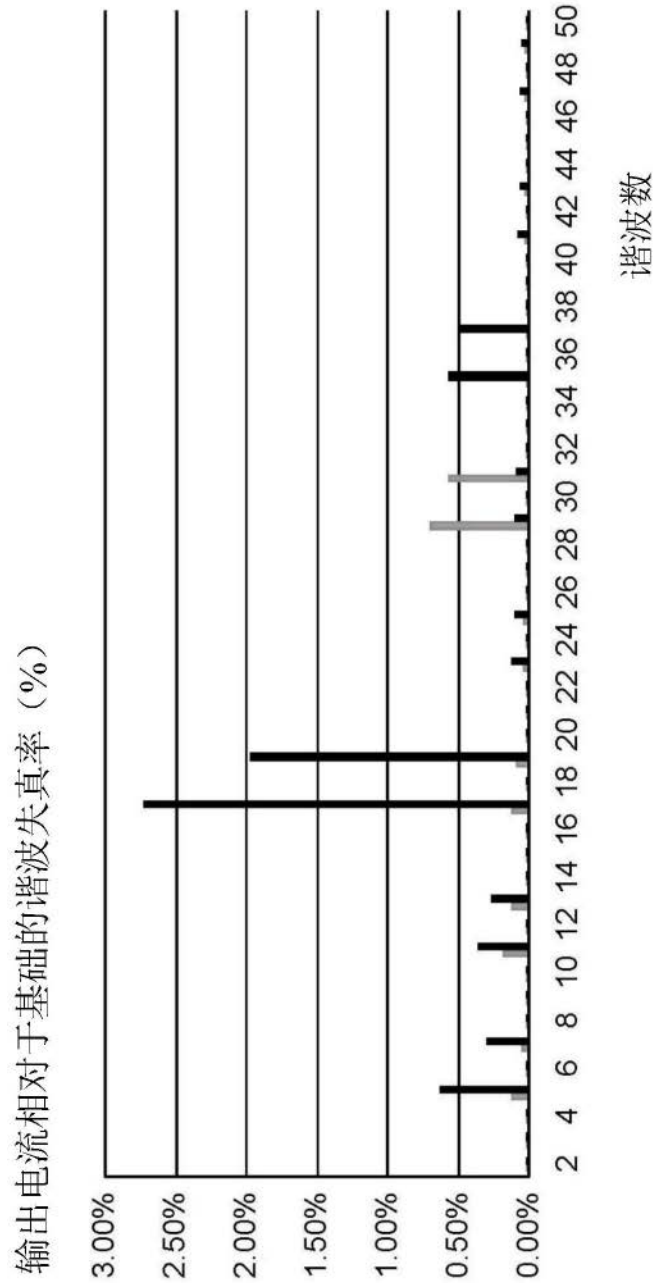


图3



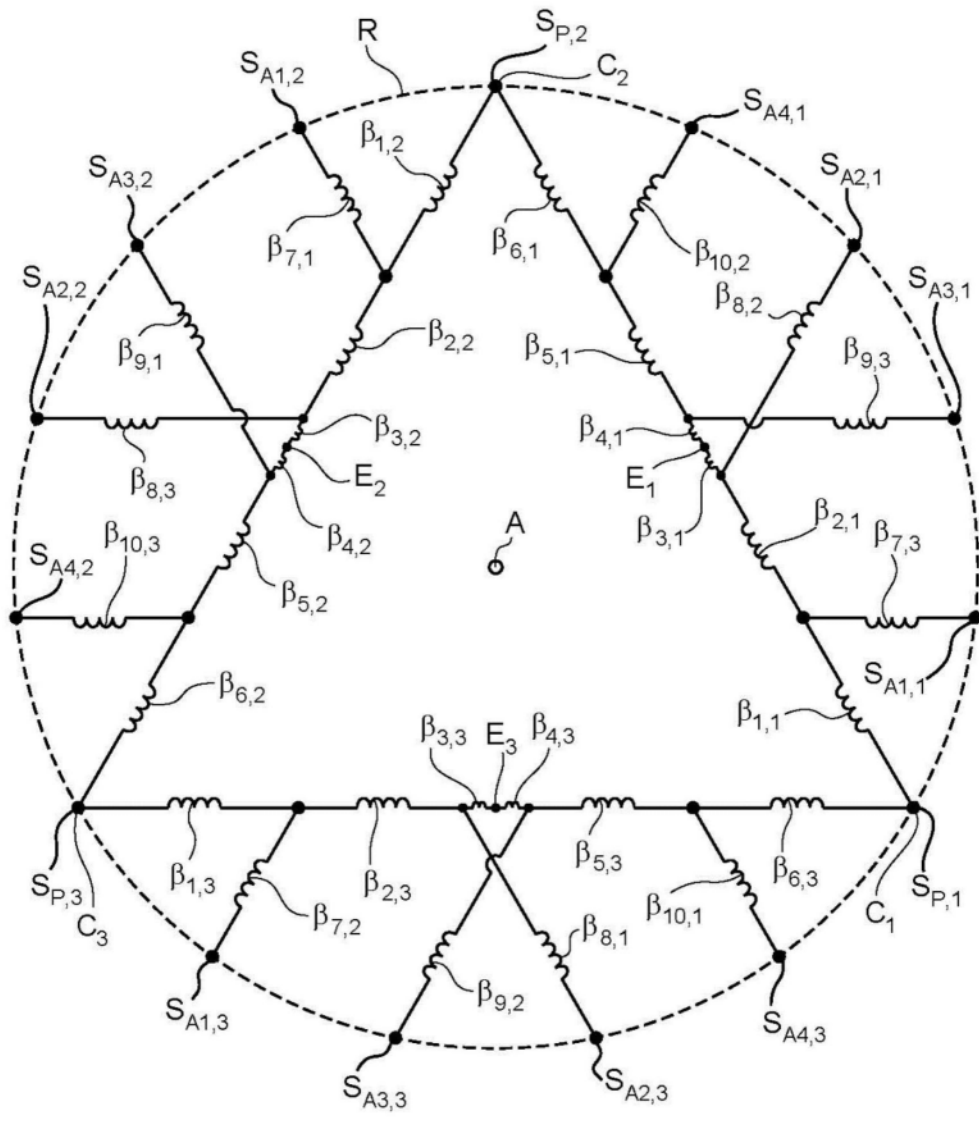


图5