



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108702082 B

(45) 授权公告日 2021.11.19

(21) 申请号 201780014774.1

(72) 发明人 库尔特·戈艾普弗里希

(22) 申请日 2017.02.02

胡贝特·席尔林

(65) 同一申请的已公布的文献号

(74) 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限公司 11240

申请公布号 CN 108702082 A

代理人 余刚 李慧

(43) 申请公布日 2018.10.23

(51) Int.CI.

(30) 优先权数据

H02M 1/12 (2006.01)

16159163.1 2016.03.08 EP

H02M 5/458 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

(56) 对比文件

2018.08.31

US 2003079486 A1, 2003.05.01

(86) PCT国际申请的申请数据

CN 1753294 A, 2006.03.29

PCT/EP2017/052240 2017.02.02

CN 101960702 A, 2011.01.26

(87) PCT国际申请的公布数据

CN 105162316 A, 2015.12.16

W02017/153096 DE 2017.09.14

CN 103314513 A, 2013.09.18

(73) 专利权人 西门子股份公司

CN 102484424 A, 2012.05.30

地址 德国慕尼黑

审查员 刘飞

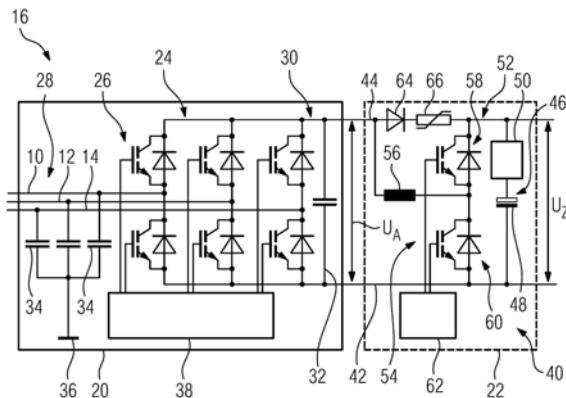
权利要求书2页 说明书9页 附图4页

(54) 发明名称

能回收能量的整流器设备

(57) 摘要

本发明涉及一种用于接入到交流电网(8)上的能回收能量的整流器设备(16)、尤其工业设施(2)的整流器设备，所述整流器设备具有能回收能量的整流器(24)和与能回收能量的整流器(24)的直流电流侧(30)并联的缓冲电容(46)。在缓冲电容(46)和能回收能量的整流器(24)之间接入升压变换器(52)。本发明还涉及一种用于运行能回收能量的整流器设备(16)的方法(86)和一种具有能回收能量的整流器设备(16)的工业设施(2)。



1. 一种用于运行能回收能量的整流器设备(16)的方法,所述能回收能量的整流器设备用于接入到交流电网(8)上,具有能回收能量的整流器(24)和与所述能回收能量的整流器(24)的直流电流侧(30)并联的缓冲电容(46),其中,在换相的时间点(92),降低在所述能回收能量的整流器(24)和所述缓冲电容(46)之间的电流,其中,将在所述能回收能量的整流器(24)与所述缓冲电容(46)之间的电流降低到一值(100),所述值是调制系数(96)和未降低的电流值的乘积。

2. 根据权利要求1所述的方法(86),其中,所述能回收能量的整流器设备(16)是工业设施(2)的整流器设备。

3. 根据权利要求1所述的方法(86),其中,降低从所述缓冲电容(46)到所述直流电流侧(30)的电流。

4. 根据前述权利要求1至3任一项所述的方法(86),其中,与在直流电流侧施加在所述能回收能量的整流器(24)上的输出电压(U_a)相比,施加在所述缓冲电容(46)上的中间电路电压(U_z)被提高。

5. 根据前述权利要求1至3任一项所述的方法(86),其中,在电网侧的电压骤降(106)的情况下,降低在所述能回收能量的整流器(24)和所述缓冲电容(46)之间的电流。

6. 根据前述权利要求4所述的方法(86),其中,在电网侧的电压骤降(106)的情况下,降低在所述能回收能量的整流器(24)和所述缓冲电容(46)之间的电流。

7. 根据权利要求1所述的方法(86),其中,使用 $1 + \frac{[DCA - DCA_{min}]}{(DCA_{max} - DCA_{min})}$ 中较小的值作为调制系数(96),其中

-DCA对应于未降低的电流值,

-DCA_{min}对应于在换相的时间点(92)的未降低的电流值,以及

-DCA_{max}对应于在时间上平均的未降低的电流值。

8. 一种用于接入到交流电网(8)上的能回收能量的整流器设备(16),所述整流器设备具有能回收能量的整流器(24)和与所述能回收能量的整流器(24)的直流电流侧(30)并联的缓冲电容(46),其中,在所述缓冲电容(46)和所述能回收能量的整流器(24)之间接有升压变换器(52),所述能回收能量的整流器设备(16)包括调节电路(62),并且借助于所述调节电路(62)根据权利要求1至7中任一项所述的方法(86)来运行所述能回收能量的整流器设备。

9. 根据权利要求8所述的能回收能量的整流器设备(16),其特征在于,所述能回收能量的整流器设备(16)是工业设施(2)的整流器设备。

10. 根据权利要求8所述的能回收能量的整流器设备(16),其特征在于,在所述缓冲电容(46)和所述直流电流侧(30)之间接入第一可控开关元件(58)。

11. 根据权利要求10所述的能回收能量的整流器设备(16),其特征在于,所述第一可控开关元件(58)以脉冲频率运行。

12. 根据权利要求8至11中任一项所述的能回收能量的整流器设备(16),其特征在于,所述升压变换器(52)包括升压斩波器(54)和电子平滑电感(68),或所述升压变换器(52)包括电感在 $100\mu H$ 至 $500\mu H$ 之间的扼流圈(56)。

13. 根据前述权利要求8至11中任一项所述的能回收能量的整流器设备(16),其特征在于,所述缓冲电容(46)具有两个串联的缓冲电容器(48、80),所述缓冲电容器的中点(82)被

引导电容性地接地(36)。

14. 根据权利要求12所述的能回收能量的整流器设备(16),其特征在于,所述缓冲电容(46)具有两个串联的缓冲电容器(48、80),所述缓冲电容器的中点(82)被引导电容性地接地(36)。

15. 一种工业设施(2),具有能回收能量的整流器设备(16),所述整流器设备根据权利要求1至7中任一项所述的方法(86)运行,并且所述整流器设备具有5kW和250kW之间的功率。

16. 根据权利要求15所述的工业设施(2),其特征在于,所述整流器设备具有10kW和200kW之间的功率。

能回收能量的整流器设备

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于接入到交流电网上的能回收能量的整流器设备。能回收能量的整流器设备具有能回收能量的整流器并且尤其是工业设施的组成部分。本发明还涉及一种用于运行能回收能量的整流器设备的方法和一种具有能回收能量的整流器设备的工业设施。

背景技术

[0002] 工业设施通常具有多个驱动器,这些驱动器分别包括一电动马达。在此,电动马达的通电借助于变流器进行,其具有整流器、中间电路和逆变器。逆变器与电动马达电接触并且用于设定电动马达的转速和功率。而整流器连接到交流电网上,其具有三个相,这些相分别引导交流电流,其中,各个相通常彼此相差 120° 。在最简单的设计方案中,整流器具有六个二极管,这些二极管在所谓的桥式电路中彼此接触。桥式电路的整流器侧与中间回流电容器并联连接,借助该中间电路电容器应稳定了施加在逆变器和整流器之间的中间电路电压。

[0003] 在工业设施运行时,出现如下时间窗口,在该时间窗口之内应当使电动马达制动。为了确保工业设施相对有效的运行,电动马达在此以发电机方式运行并因此将旋转能量转换成电能。借助于该电能对中间电路电容器馈电。在一个改进形式中,整流器设计为能回收能量的,使得回收的电能重新馈入到交流电网中,进而提供给交流电网的其他的负载。由于此,实现中间电路电容器的更小的尺寸设计。

[0004] 为了将整流器设计为能回收能量的,借助于半导体开关将二极管桥接,因此该半导体开关与这些半导体并联。该电流馈入到交流电网的三个相中的具有最高电压的相中,以便实现尽可能大的能量传输。由于此,在从一个相连接到另一相上(换向)的时间点,接入了相对大的电流。由于相对突然的开关和由于可能存在的电感,在回收能量的电流之内可能形成不期望的振荡。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于,提供一种尤其适合的能回收能量的整流器设备以及一种尤其适合用于运行能回收能量的整流器设备的方法还有一种具有能回收能量的整流器设备的尤其适合的工业设施,其中,优选地在运行时降低在回收能量的电流之内形成的振荡。

[0006] 所述方法用于运行能回收能量的整流器设备,该整流器设备例如是工业设施的组成部分,并且该整流器设备适合于、优选设置并且构造用于连接到交流电网上。能回收能量的整流器设备包括能回收能量的整流器和与能回收能量的整流器的直流电流侧并联的缓冲电容,其中,在安装状态下,能回收能量的整流器的交流电流侧与交流电网电接触。

[0007] 该方法提出:在转换的时间点,降低在缓冲电容和能回收能量的整流器之间的电流。转换在此尤其是从能回收能量的整流器的桥式电路的一个分支到分支中的另一个上的电流的过渡,和/或中间电路的一个分支与交流电网的相之一的电接触的变化。为了转换,

例如进行能回收能量的整流器的整流器开关元件的开关过程,其中,整流器开关元件之一断开并且另一个闭合,使得中间电路的支路之一低欧姆地与交流电流电网的另一相电接触。

[0008] 例如,在转换的时间点,降低从直流电流侧到缓冲电容或从缓冲电容到直流电流侧的电流。优选地,在转换的时间点,不仅降低从直流电流侧到缓冲电容还降低从缓冲电容到直流电流侧的电流。特别地,在回收能量的情况下,存在从缓冲电容到直流电流侧的电流,其中,在转换的时间点降低电流,例如降低到0A。

[0009] 由于降低电流,所以在转换时接入了相对较小的电流,这降低了开关损失。也降低振荡在交流电网之内的传播。有利地,电流在转换时间点之前的时间间隔内和在转换时间点之后的时间间隔内降低,其中,例如这是连续地进行的。以这样的方式,进一步降低了电振荡的传播。例如,时间间隔为2ms和0.01ms之间,尤其1ms和0.1ms之间。

[0010] 有利地,能回收能量的整流器以工频运行。换言之,能回收能量的整流器的整流器开关元件以交流电网所具有的频率驱控。有利地以脉冲频率调节或控制电流。换言之,实现了以脉冲频率对电流的调节并因此电流的降低。以这样的方式,实现了对电流的相对精确的调节。在此,借助其进行电流的调节的频率例如为大约150kHz。

[0011] 有利地,施加在缓冲电容上的中间电路电压相对于在直流电流侧施加在能回收能量的整流器的输出电压得到提高。以这样的方式,控制或调节从缓冲电容到能回收能量的整流器的电流总是可行的,而与交流电网的电流的当前要转换到其上的相的当前的相位无关。换言之,在当前要转换到的相具有最大的电压时,回收能量也是可行的。

[0012] 在本发明的一个尤其优选的设计方式中,对电网侧的电压进行监控,并且在电网侧的电压骤降的情况下,降低能回收能量的整流器和缓冲电容之间的电流。尤其地,电网侧的电压骤降被理解为相对短时间地降低交流电网的相中的至少一个的电压,其中,电压与额定值偏差一大于特定的阈值,例如10V。尤其地,降低从能回收能量的整流器到缓冲电容的电流,并且因此不从交流电网中提取任何另外的能量。以这样的方式,降低了交流电网的负荷。因此,为了能够维持安全运行,优选地,使用存储在缓冲电容之内的电能。当存在电网侧的电压骤降时,降低电流与在转换时间点降低电流无关,并且尤其视作为独立的发明。

[0013] 优选地,能回收能量的整流器和缓冲电容之间的电流、即从能回收能量的整流器到缓冲电容并且相反的电流降低到一个值上。该值是调制系数和能回收能量的整流器和缓冲电容之间的未降低的电流、即能回收能量的整流器和缓冲电容之间的最大可行的电流的乘积,当不进行电流的调节和/或设定时,其如此地设定。换言之,未降低的电流对应于能回收能量的整流器和缓冲电容之间的电流的峰值。根据施加的交流电压,该未降低的电流不是恒定的,而是弧形地在两个极限值之间波动,然而,该极限值总是大于零。在此,只要不降低电流,最小的电流在转换的时间点出现。在此,当转换到其上的相的电压具有最大值时,才出现最大的值。特别地,调制系数在零和一之间,其中,有利地,在转换的时间点调制系数等于零,使得在转换的时间点基本上没有电流流动经过能回收能量的整流器。有利地,电流总是调节或控制到调制系数和未降低的电流的乘积,其中,在转换的时间点的调整系数优选具有最小值。

[0014] 由于使用调整系数,简化了电流的设定,因为仅必须已知单个相的相位。只要对于确定调制系数使用连续函数,就避免在电流中出现,进而防止交流电网之内传播不期望的

振荡。例如,调制系数根据交流电网的相的电压来计算,其中,只要存在多个相,就根据电压计算转换的时间点并且使用适当的、尤其周期的函数,借助该函数确保:在转换的时间点,调制系数小于一。只要调制系数根据电压导出,就给出了相对鲁棒的且不受错误影响的对调制系数的确定。

[0015] 有利地,使用一(1)和(DCA-DCAmin)与(DCAmax-DCAmin)的商中的较小的元素作为调制系数。换言之,调制系数等于

[0016] $\min(1; (DCA - DCA_{min}) / (DCA_{max} - DCA_{min}))$ 。

[0017] 在此,min对应于最小值函数,DCA对应于未降低的电流,即只要不进行对能回收能量的整流器与缓冲电容之间的电流的控制或调节,就会设定的电流。DCAmin对应于在转换的时间点的未降低的电流,即只要不进行降低就会接入的电流。使用在时间上取平均值的未降低的电流作为DCAmax,即只要在转换的时间点不进行降低就会在能回收能量的整流器和缓冲电容时间平均地设定的电流。在此,电流时间上在交流电流的至少一个周期上取平均值。换言之,用于时间求值的时间区间的长度至少对应于施加在能回收能量的整流器的交流电流侧上的交流电流的周期的长度,即只要交流电网具有50Hz的频率,就尤其至少为0.02秒。有利地,使用该周期的整数倍。

[0018] 在此,当存在能回收能量的整流器的最大负载时,即尤其当提取完全借助于能回收能量的整流器提供的直流电压或者将完全施加在直流电路侧上的直流电流向回馈送到交流电网中时,即尤其将完全存在于缓冲电容之内的电能在尽可能最短的时间应回收能量时,总是测定未降低的电流,其中,在转换的时间点不进行降低。以这样的方式测定调制系数是相对不复杂的,并且能够在没有大量传感器或计算步骤的情况下实现。

[0019] 能回收能量的整流器设备优选地是工业设施的组成部分,并且例如具有5kW和20kW之间的功率以及优选地大于10kW的功率。能回收能量的整流器设备适合于、有利地设置和构造为:连接到交流电网上,其中,交流电网尤其地设计为两相或三相的。有利地,交流电网包括三个彼此相差120°的相,其中,每个相具有正弦形的电流曲线。频率例如为50Hz或60Hz。优选地,每个相具有频率相同的正弦形的交流电压,其中,幅值有利地为325V。特别地,能回收能量的整流器设备用于工业设施之内。

[0020] 能回收能量的逆变器设备包括能回收能量的整流器,该整流器具有直流侧和交流侧。交流侧在安装状态下与交流电网电接触。在直流侧和交流电流侧之间优选地布置有桥式电路,例如B4或B6电路。桥式电路的每个桥支路优选地具有二极管,该二极管并联有开关元件(整流器开关元件),该开关元件优选地是半导体开关/功率半导体开关。有利地,二极管和半导体开关统一在唯一的模块中。有利地,每个桥支路具有IGBT模块或MOSFET作为整流器开关元件。

[0021] 此外,能回收能量的整流器设备包括缓冲电容,该缓冲电容与直流电流侧并联。在缓冲电容和能回收能量到整流器之间接入升压变换器。升压变换器是DC/DC转换器,借助该DC/DC转换器直流电压被转换成另外的提高的直流电压。因此,在运行时,缓冲电容具有与施加在整流器侧上的输出电压提高的中间电路电压。例如,能回收能量的整流器在直流电流侧上包括中间电路电容器,即另一被施加输出电压的电容。该另一电容尤其地设计的相对较小,只是小于缓冲电容。特别地,借助于缓冲电容和升压变换器形成中间电路,其在运行时具有基本上恒定的中间电路电压,并因此包括两个支路,这两个支路中的一个是正电

的且剩余的一个是负电的。在此,正电支路与负电支路相比具有更大的电势。然而,中间电路至少包括缓冲电容和升压变换器。

[0022] 由于施加在缓冲电容上的提高的中间电路电压,能够设定缓冲电容和交流电网之间的电流,其中不需要电感。因此,在有利地驱控的情况下,避免了或至少减少了在回收能量的电流中的振荡的形成。

[0023] 升压变换器有利地被分配给正支路,使得正支路的电势借助于升压变换器被提高。中间电路的负支路优选地借助于能回收能量的整流器的二极管与交流电网电接触,其中,(能回收能量的)整流器例如在其交流电流侧上被引导以电容的方式对接地线、尤其是接地。因此,中间电路的负支路基本上被引导接地线,这实现了去地干扰进而提高了电磁兼容性。以这样的方式,放电电流也被引导对接地线。

[0024] 优选地,能回收能量的整流器作为一个模块来提供和实现,尤其作为具有细长的中间电路的所谓的中间电路变流器。该模块例如包括中间电路电容器,只要其存在的话。优选地,该模块与包括缓冲电容和升压变换器的另一模块电接触,并且该另一模块因此(除了能回收能量的整流器的中间电路电容器之外,只要其存在的话)基本上形成中间电路。以这样的方式,实现了模块化地建立能回收能量的整流器设备,这降低了制造成本。此外实现:动用可能已经存在的模块。

[0025] 例如,缓冲电容包括电容器、例如电解电容器。优选地,缓冲电容具有用于对电容器预充电的电路,借助该电路在能回收能量的逆变器设备运行开始时对电容器预充电。例如,在此,在所谓的待机模式中,保持施加在电容器上的电压。以这样的方式,实现了能回收能量的逆变器设备的运行模式基本上无延迟的转换,其中,不必经由能回收能量的整流器对缓冲电容进行预充电。因此,缓冲电容能够具有相对较大的电容,其中,能回馈电的整流器设备因此基本上无延迟地响应。

[0026] 能回收能量的整流器装置根据一方法运行,在该方法中,在变换的时间点降低在能回收能量的整流器与缓冲电容之间的电流。

[0027] 优选地,在缓冲电容和直流电流侧之间接入第一可控开关元件。在此,布线成,使得借助于第一可控开关元件能够控制从整流器侧到缓冲电容和从缓冲电容到整流器侧的电流。第一可控开关元件例如是升压变换器和/或正支路的组成部分。特别地,第一可控开关元件是半导体开关元件/功率半导体开关,和例如IGBT或MOSFET,尤其SiC-MOSFET。第一可控开关元件优选地设计为双向的。综上所述,第一可控开关元件是双向开关,其中,例如第一可控开关元件借助于晶体管提供,优选地有二极管与该晶体管并联,借助该二极管总是有电流能够从整流器侧到缓冲电容。在此,优选地借助于升压变换器进行电压的升压,使得例如施加在整流器侧上的输出电压或与其相比提高的中间电路电压流动经过第一可控开关元件的二极管。

[0028] 特别地,第一可控开关元件以脉冲频率运行,其中,最大的开关频率例如大于10kHz并且优选为20kHz和150kHz之间。可选地或与其结合尤其优选地,能回收能量的整流器的整流器开关元件以工频运行。因此实现:能回收能量的整流器的整流器开关元件针被优化得电穿流损失相对较小。相对地,第一可控开关元件尤其优选地优化得开关损失较小,因此提高了能回收能量的整流器设备的效率。

[0029] 由于这种驱控,另外能回收能量的整流器的施加在整流器侧上的输出电压基本上

仅以工频的方式改变,其中,改变的幅度降低了。综上所述,借助于第一可控开关元件来设定能回收能量的整流器和缓冲电容之间的电流,这由于中间电路电压的提高能够基本上不依赖于相应的相的电流的当前相位地进行。

[0030] 综上所述,借助第一可控开关元件和借助于升压变换器,在有利地驱控能回收能量的整流器的整流器开关元件的情况下,避免了系统波动,因为不存在另外的电感,其中,这些整流器开关元件尤其以工频运行。只要中间电路的负的支路借助于能回收能量的整流器的二极管被引导接地线,例如电容性地引导,中间电路电压/输出电压就仅以对地三倍工频地改变。由于此,放电电流对地降低了。例如,使用调节器来调节电流。换言之,借助于调节器、尤其借助于PI调节器控制第一可控开关元件。

[0031] 例如,升压变换器包括升压斩波器,其中,优选地中间电路的支路中的一个包括电感。特别地,正的支路具有电感,例如线圈或扼流圈形式的电感,并且尤其是与二极管串联的。例如,二极管和电感借助于另一二极管和可变化的电阻桥接,该可变电阻例如是可调节的。这两个支路本身能够借助于第二可控开关元件被短路。第二可靠开关元件优选是半导体开关元件,尤其是功率半导体开关元件,如场效应晶体管、尤其MOSFET或IGBT。有利地,只要存在的话,第二可控开关元件结构上与第一可控开关元件相同。

[0032] 在运行时,借助于闭合第二可控开关元件,中间电路的两个支路被短路进而对电感充电。在第二可控开关元件断开时,电感经由二极管放电到缓冲电容上。借助这种升压斩波器,借助相对少量的构件来实现升压变换器,这使得升压变换器相对成本适宜且是鲁棒的。

[0033] 在一个对此的替选方案中,升压变换器包括电子平滑电感,该电子平滑电感尤其包括中间电路的支路中的一个。电子平滑电感(ESI)具有桥式电路,其中,桥式电路的两个输出端借助于电容器、尤其作为电解电容器的电容器彼此电接触。在此,有利地,升压变换器同样包括电感,如线圈和/或扼流圈,其有利地布置在桥式电路的朝向能回收能量的整流器的一侧上。特别地,借助于电子平滑电感也提供第一可控开关元件,使得双向的电子平滑电感的B4电路的全部桥支路分别具有可控开关元件,其尤其地借助于半导体开关来实现。在运行时,借助于驱控可控开关元件首先对电子平滑电感的电容器充电,这些电容器在驱动变化时放电到缓冲电容上,其中,电压被提高。

[0034] 优选地,升压变换器包括扼流圈,借助该扼流圈来提供电感。扼流圈在此用作为电能的存储器,该电能为了提高电压优选借助于适当的开关元件被输出给缓冲电容。扼流圈尤其具有 $100\mu\text{H}$ 和 $500\mu\text{H}$ 之间的电感。特别地,电感小于 $500\mu\text{H}$ 、 $400\mu\text{H}$ 、 $300\mu\text{H}$ 。有利地,这种扼流圈在能回收能量的整流器设备的功率为 5kW 和 10kW 之间的情况下使用。以这样的方式,实现了相对节约空间的升压变换器。

[0035] 优选地,缓冲电容包括两个串联的缓冲电容器,该缓冲电容器例如分别实施为电解电容器。由于串联连接,在中间电路电压相对较大的情况下也能够使用具有相对较小的耐压强度的电容器,这降低了制造成本。该串联电路的中点、即缓冲电容器的两个彼此电接触的电极有利地被引导接地线,尤其电容性地。换言之,在两个电容器之间形成的电势被电容性地引导接地线,并且尤其对相同的地线。以这种方式,提供对能回收能量的整流器设备的进一步去干扰,这进一步提高了电磁兼容性。

[0036] 工业设施具有能回收能量的整流器设备,该整流器设备用于连接到交流电网上。

借助能回收能量的整流器设备实现：多于的电能向回馈送到交流电网中。能回收能量的整流器设备包括能回收能量的整流器和与能回收能量的整流器的直流电流侧并联的缓冲电容。在缓冲电容和能回收能量的整流器之间接有升压变换器。可选地或与其组合地，在转换的时间点降低能回收能量的整流器与缓冲电容之间的电流。因此，借助能回收能量的整流器设备也在功率相对较大的情况下，由于借助于能回收能量的整流器设备回收能量来防止在交流电网中形成振荡。工业设施尤其具有5kW和250kW之间的功率。有利地，工业设施的功率大于10kW并且例如小于200kW。

附图说明

- [0037] 在用于运行能回收能量的整流器设备的方法的上下文中做出的实施方式和改进形式意义上也可转用于能回收能量的整流器设备和工业设施，并且反之亦然。
- [0038] 根据附图详细阐述本发明的实施例。其中示出：
- [0039] 图1示意性地示出具有能回收能量的整流器设备的工业设施，
- [0040] 图2示出能回收能量的整流器设备的第一实施方式的电路图，
- [0041] 图3示出根据图2的能回收能量的整流器设备的另一实施方式，
- [0042] 图4示出能回收能量的整流器设备的缓冲电容，
- [0043] 图5示出用于运行能回收能量的整流器设备的方法，
- [0044] 图6示出能回收能量的整流器设备之内的未降低的电流，
- [0045] 图7示出调制系数和电的相电压和未降低的电流的时间变化。
- [0046] 彼此相对应的部件在全部附图中设有相同的附图标记。

具体实施方式

[0047] 在图1中示出具有变流器4的工业设施2，该变流器具有大于10kW和例如等于100kW的功率。借助于变流器4来运行电动马达6。电动马达6用于驱动工业设施2的执行器(未详细示出)。变流器4电接入到电动马达6和交流电网8之间，该交流电网具有第一相10、第二相12和第三相14，也称作为L1、L2、L3。三个相10、12、14中的每个分别引导具有50Hz频率的正弦形交流电压和交流电流，其中，三个相分别彼此相差120°。取决于正弦形交流电流的正弦形交流电压的幅度分别为325V。

[0048] 变流器4具有能回收能量的整流器设备16，其与交流电网8的三个相10、12、14直接电接触。因此，能回收能量的整流器设备16被接入在变流器4的逆变器18与交流电网8之间。借助能回收能量的整流器设备16来提供直流电流，该直流电流借助于逆变器18被变换成交流电流。借助逆变器18生成的交流电流匹配于电动马达6的功率和转速。

[0049] 能回收能量的整流器设备16包括第一模块20以及第二模块22，它们在图2中被详细地示出。第一模块20包括能回收能量的整流器24，其包括B6电路。B6电路借助于六个整流器开关元件26来建立，这些整流器开关元件分别是具有并联了空载二极管的SiC-MOSFET。在此，将整流器开关元件26中的各两个与相10、12、14中的一个电接触，其中，借助于二极管将如下交流电压整流成直流电压，该交流电压借助于相10、12、14被引导并且施加在交流电流侧28上，该直流电压施加在能回收能量的整流器24的交流电流侧30上，并且该直流电压等于输出电压Ua。因此，B6电路在交流电流侧28与直流电流侧30之间。

[0050] 第一模块20还具有中间电路电容器32，其具有相对较小的电容。在交流电流侧28上，每个相10、12、14借助于各一个接地电容器34被引导电容性地接地线36。第一模块20还包括驱控电路38，借助该驱控电路来加载整流器开关元件26。这根据当前对电动马达6以及借助相应的相10、12、14引导的交流电流或其交流电压的相位的要求来进行。在此，借助于驱控电路38来改变整流器开关元件26的开关状态，即也实现沿相应的续流二极管的截止方向的导通。这优选以工频进行。第一模块20有利地借助于所谓的F3E拓扑来实现，并且具有相对较小的中间电路电容器32，即细长的中间电路。

[0051] 在整流器侧30上，第二模块22与中间电路电容器32并联，该第二模块与中间电路电容器32基本上形成了变流器4的中间电路40。中间电路40具有负支路42和正支路44，其中，借助正支路44引导的电势大于负支路42的电势。负电势42的电势由于能回收能量的整流器24的续流二极管和接地电容34即基本上等于地线36。

[0052] 在负支路42和正支路44之间接有缓冲电容46，其因此与能回收能量的整流器24的直流电流侧30并联。缓冲电容46在该实例中具有第一电解电容器48。缓冲电容46包括预充电电路50，借助该预充电路能够独立于第一模块20地进行对第一电解电容器48的充电。第二模块22还包括升压变换器52，该升压变换器具有升压斩波器54，该升压斩波器具有接入正支路44中的扼流圈56，该扼流圈具有 $150\mu\text{H}$ 的电感。在扼流圈56和缓冲电容46之间接有第一可控开关元件58，其因此与扼流圈56串联。因此，在缓冲电容46与直流电流侧30之间接有为SiC-MOSFET的第一可控开关元件。

[0053] 在第一可控开关元件58和扼流圈56之间电接触有第二可控开关元件60的接口，该第二可控开关元件的另一接口与负支路42电接触。第二可控开关元件60与第一可控开关元件58结构相同，并且同样如该第一可控开关元件一样借助于调节电路62被加载有开关信号，该调节电路包括PI调节器。

[0054] 扼流圈56和第一开关元件58还借助于二极管64和与其串联的可变电阻66桥接，其中，二极管64和第一可控开关元件58在断开状态下放置从缓冲电容46到整流器侧30的电流，其中，该第一可控开关元件是双向的开关元件。借助升压变换器52，在运行时，实现电压提升，因此施加在整流器侧30上的输出电压 U_a 小于施加在缓冲电容46上的中间电路电压 U_z ，其中该输出电压施加在中间电路电容器32上。

[0055] 在升压斩波器54运行时，首先缓冲电容46被充电到输出电压 U_a ，其中，扼流圈56同样被充电。驱控第一开关元件58，使得电流仅能够从整流器侧30到缓冲电容46。换言之，第一开关元件58断开。随后，驱控第二开关元件60，使得正支路44和负支路42被短路。由于此，出现电流，并且对扼流圈56充电。一旦扼流圈56充电，就断开第二可控开关元件60。由于此，扼流圈56经由第一可控开关元件58放电到缓冲电容46，其电压因此提高。

[0056] 在图3中示出能回收能量的正路桥设备的变体方案，其中，第一模块20保持不变。缓冲电容46也不改变。仅升压变换器52变化，并且从现在开始具有代替升压斩波器54的引入正支路44中的双向的电子平滑电感68，其包括B4电路，该B4电路与保持不变的扼流圈56串联。电子平滑电感68对于桥式电路具有第一半导体开关70和第二半导体开关72，该第一和第二半导体开关相互串联并与第三半导体开关74和第四半导体开关76并联，该第三和第四半导体开关又彼此串联。电子平滑电感68的以这样的方式建立的支路与电容器78彼此电接触，该电容器的一个电极与第一和第二半导体开关70、72电接触，并且其剩余的电极与第

三和第四半导体开关74、76电接触。

[0057] 此外,第一、第二和第三半导体开关70、72、74也为第一可控开关元件58,借助该第一可控开关元件能够设定缓冲电容器46和整流器侧30之间的电流。半导体开关70、72、74、76又借助于调节电路62加载开关信号。为了产生与输出电压Ua相比提高的中间电路电压Uz,例如将全部半导体开关70、72、74、76以导电的方式接通,这引起对扼流圈56充电。在此,电容器78不充电。随此之后,第二和第三半导体开关72、74以不导电的方式接通,因此借助于二极管74对电容器78充电。一旦扼流圈56放电,就以导电的方式接通第二和第三半导体开关72、74并且借助于第一和第四半导体开关70、76以不导电的方式接通,随后,电容器78放电到缓冲电容46上,这引起中间电路电压Uz提高。

[0058] 在图4中示出缓冲电容46的另一实施方式,其中,未示出预充电电路50,然而其也可以存在。缓冲电容46具有第一电解电容器48和第二电解电容器80,它们彼此串联,并且缓冲电容器形成缓冲电容46。在两个缓冲电容器之间形成中点82,该中点的电势因此对应于两个缓冲电容器48、80的电极的各一个的电势。中点82借助于第二接地电容器84被引导电容性地接地线36。

[0059] 在图5中,示出用于运行能回收能量的整流器设备16的方法86。在第一工作步骤88中,借助升压变换器52将输出电压升压到中间电路电压Uz,该输出电压施加在能回收能量的整流器24的整流器侧30上,对此适当地运行电子平滑电感68或升压斩波器54。对此有利地使用调节电路62。第二可控开关元件60或半导体开关70、72、74、76对此有利地以脉冲频率驱控。

[0060] 在随后的第二工作步骤90中确定:借助于能回收能量的整流器24应从缓冲电容46将电路送回交流电网48中。正的支路44和负的支路42在此借助于整流器开关元件26中的一个与相12、14、16中的一个电接触。在随后的第三工作步骤91中,确定未降低的电流DCA,该电流在图6中作为时间函数示出。当驱动整流器开关元件26,使得在相10、12、14之间硬转换时,得到未降低电流DCA。换言之,分别形成如下时间点92,在该时间点处借助整流器开关元件26将正支路44或负支路42从相12、14、16中的一个切换到另一相10、12、14上,进而在其之间建立低欧姆的电连接。在转换的时间点(转换时间点)92,在此施加有未降低的电流DCAmmin,该电流借助于整流器开关元件26接入,并且该电流能够为直至100安培。因此,未降低的电流DCA在未降低的电流DCAmmin和峰值94之间变化,其中,时间变化曲线基本上以交流电网8的三倍工频变化。未降低的电流DCA的时间平均值用作为DCAmmax。根据所得出的电流DCA、DCAmmin、DCAmmax测定调制系数96,该调制系数在图7中示出。该调制系数根据公式

$$[0061] \min(1; (DCA - DCAmmin) / (DCAmmax - DCAmmin))$$

[0062] 确定,其中“min”表示最小值函数。调制系数96因此在零和一之间。

[0063] 在随后的第四方法步骤98中创建值100,该值是未降低的电流DCA和调制系数96的乘积。借助调节电路62,将能回收能量的整流器24和整流器侧30和缓冲电容46之间的电流降低到该值100,对此适当地驱动第一可控开关元件58。该第一可控开关元件58尤其以脉冲频率的方式驱动,这允许相对精细地设定电流。所使用的频率在0kHz至150kHz之间。

[0064] 只要电流大于在时间上取平均值的未降低的电流DCAmmax,驱动该第一可控开关元件,使得电流不降低。换言之,可控开关元件58处于导电状态。一旦未降低的电流DCA小于降低的在时间上取平均值的电流DCAmmax,就借助于调节电路62基于调制系数96强烈地降低实

际的电流,对此第一可控开关元件58被加载有特定的脉冲频率。在此,中间电路电容器32和扼流圈56起平滑作用,因此,实际流动的电流基本上连续地下降。

[0065] 在随后的第五工作步骤102中,进行转换92。在此,整流器开关元件26借助于驱控电路38驱控,使得至今为止导电的整流器开关元件26转移到不导电的状体并且整流器开关元件26中的另外两个转移到导电状态下。由于调制系数96,在该时间点92实际的电流为0A,使得基本上在能回收能量的整流器24之内不出现开关损失。

[0066] 在随后的第六工作步骤104中,进行对电流的再次提高,因为调制系数96重新大于零。在回收能量期间,以工频运行整流器开关元件26。换言之,仅在转换的时间点92改变整流器开关元件26的开关状态。在回收能量持续期间,电通络借助于调节电路62调节到值100,其中,调制系数96相应地改变。

[0067] 只要出现电网侧的、如在图7中示出的电压扰动106,其中,第二相12具有电压的相对短时间的降低,由于使用未降低的电流DCA来计算调制系数96,值100等于0A。因此,也不当原本借助于交流电网8进行缓冲电容46的馈电时,不从交流电网8中提取电能。由于此,降低了交流电网8的负荷。

[0068] 由于改变使用调制系数96,能回收能量的整流器设备16的电流消耗对于交流电网8而言是相对的负荷,因为一方面存在相对小的电流上限阈值。另一方面,用于模仿的“欧姆”特性,只要存在电网侧的电压扰动106,就不对该交流电网加负荷。电动马达6的运行在此借助于缓冲电容46实现。

[0069] 综上所述,第一模块20的整流器开关元件26能够被优化成相对较小的通流损失,因为该整流器开关元件基本上与电网同步地开关。而第二模块22的半导体开关以脉冲频率时钟控制,并且针对尽可能小的开关损失优化。借助能回收能量的整流器设备16,还以三倍网络频率改变相对地线36的中间电路电压Uz,因为负支路42借助于二极管和相应的接地电容器34被引导接地线36。在此,改变的幅度相对小并且放电电流同样被引导接地线36。

[0070] 本发明不限制于上面描述的实施例。本领域技术人员能够从中推导出本发明的其他的变型形式而没有偏离本发明的保护范围。特别地,全部在各个实施例的上下文中描述的单独特征也还能够以不同方式彼此组合,而没有偏离本发明的主题。

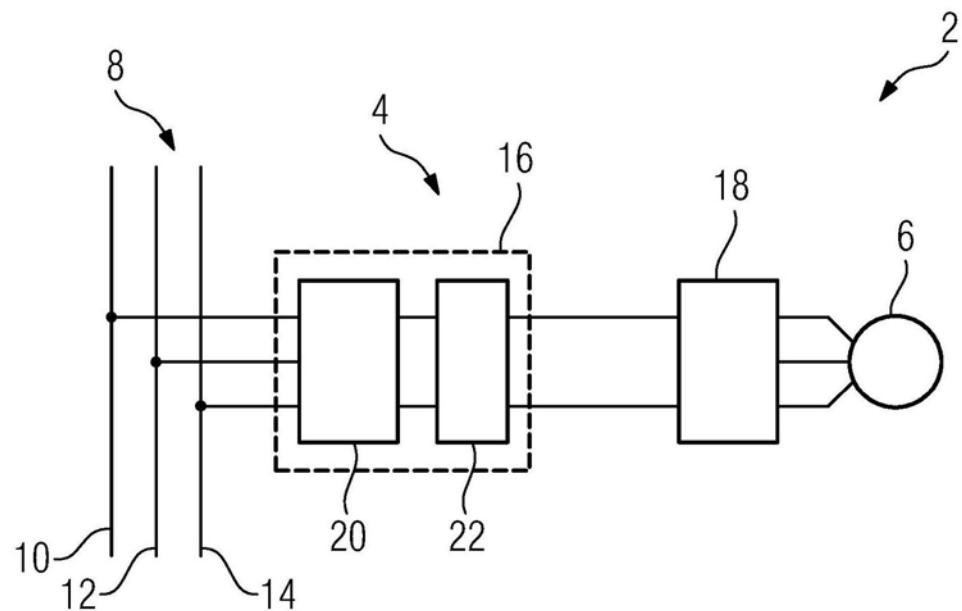


图1

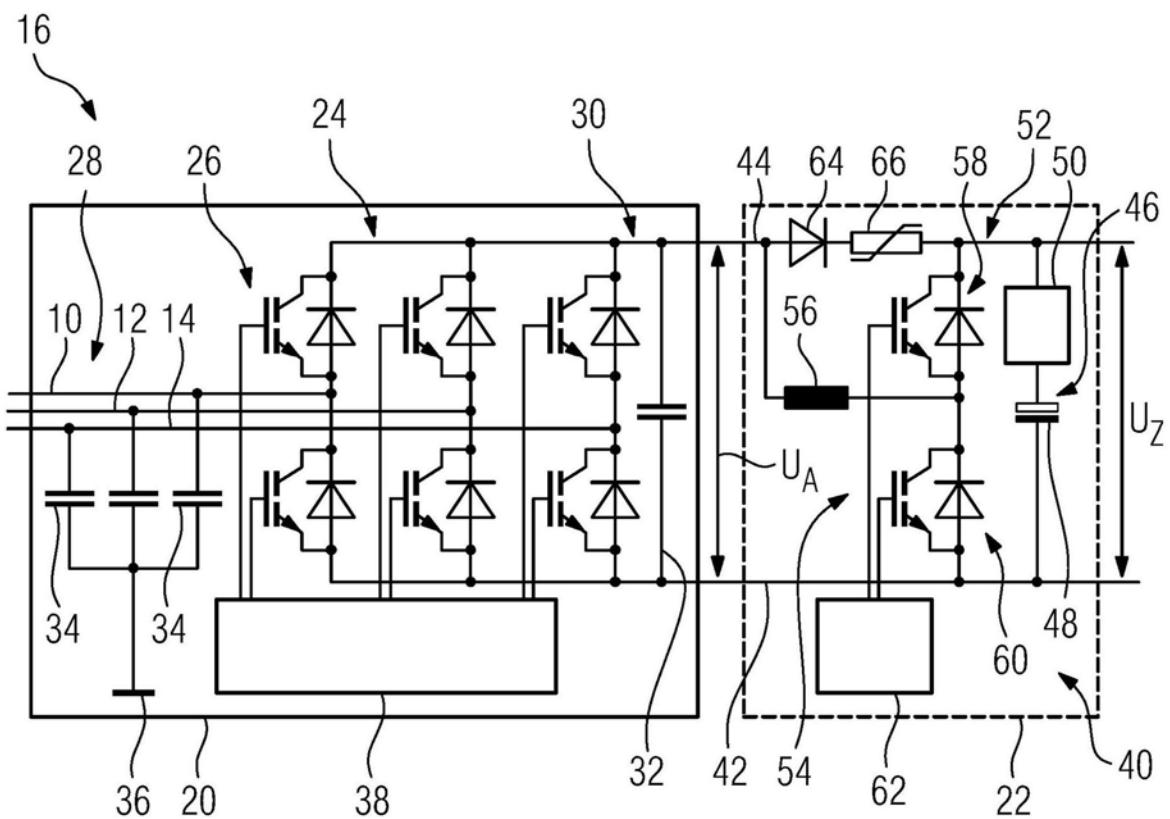


图2

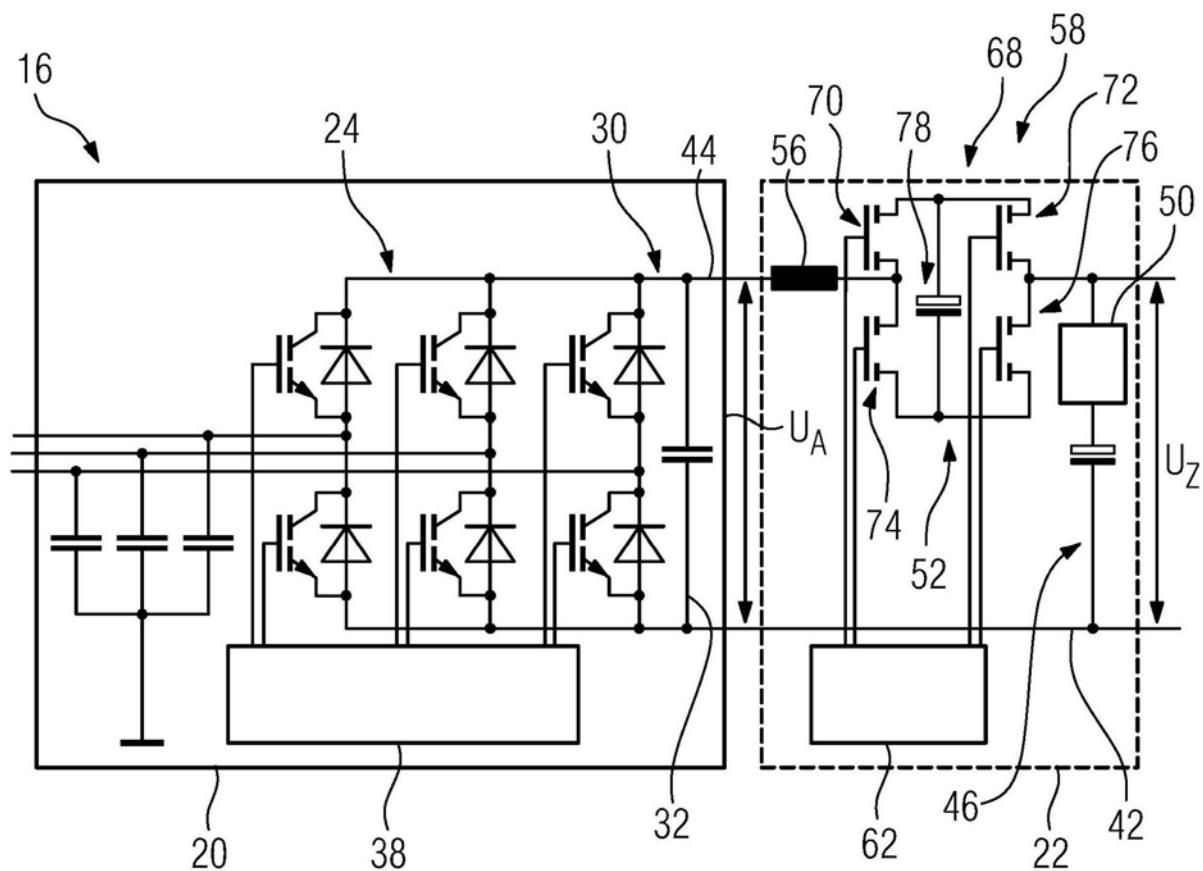


图3

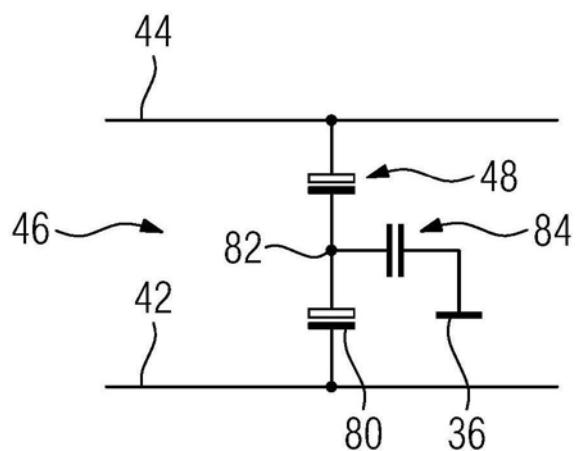


图4

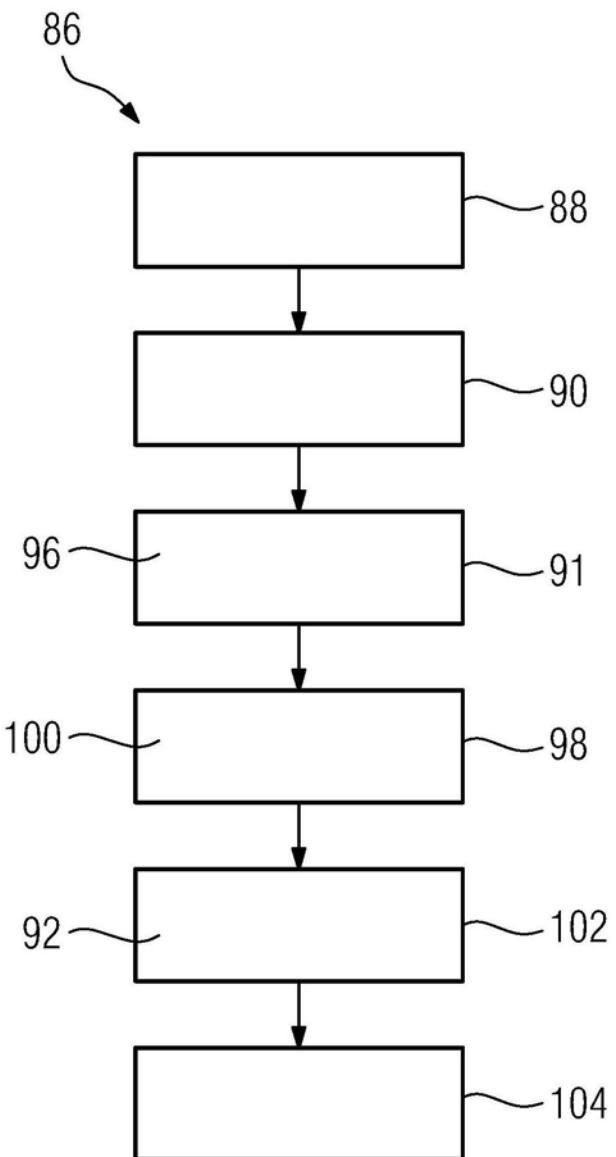


图5

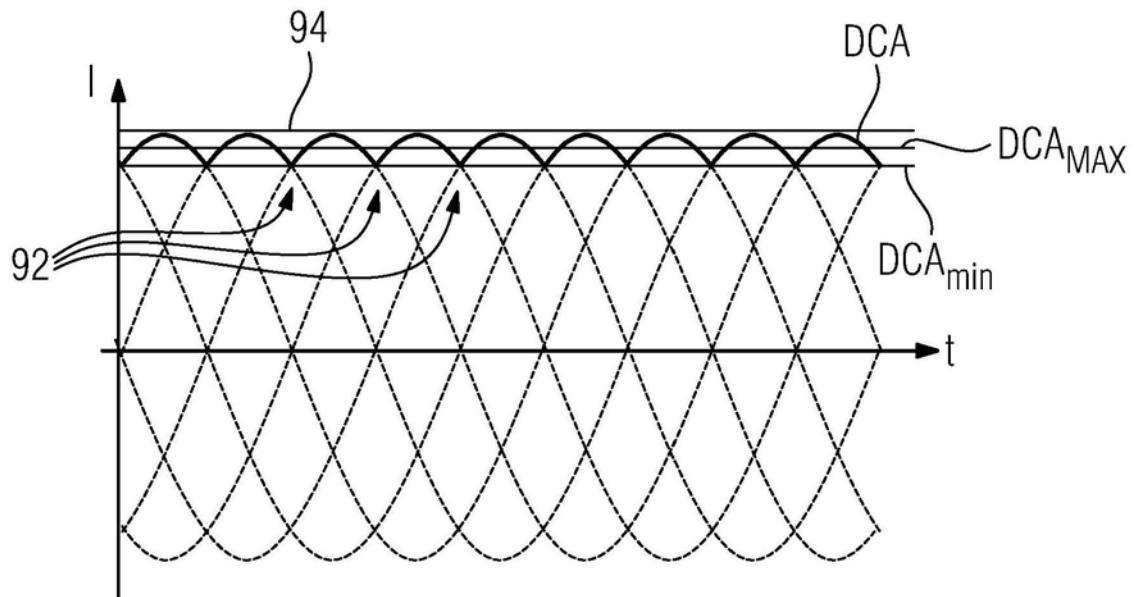


图6

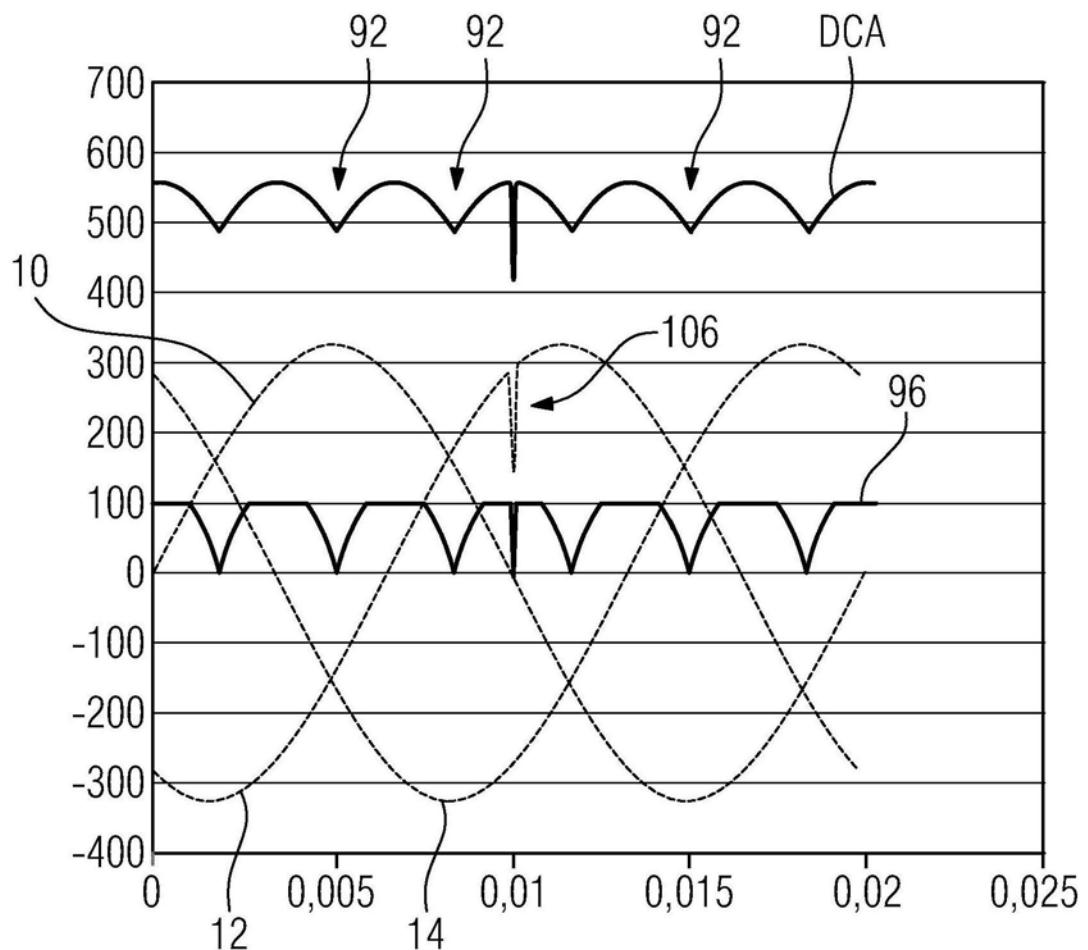


图7