



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102882467 B

(45) 授权公告日 2016. 06. 29

(21) 申请号 201210315291. 4

CN 1289470 A, 2001. 03. 28,

(22) 申请日 2012. 07. 11

CN 101652637 A, 2010. 02. 17,

(30) 优先权数据

CN 101725423 A, 2010. 06. 09,

12151414. 5 2012. 01. 17 EP

JP 特开 2006-320177 A, 2006. 11. 24,

61/506, 401 2011. 07. 11 US

审查员 刘慧媛

(73) 专利权人 麦格纳电动汽车系统公司

地址 奥地利格拉茨

(72) 发明人 T·菲克廷格 W·保罗

C·斯平德尔伯格 J·坦恩海默

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 谢强

(51) Int. Cl.

H02P 27/06(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1289470 A, 2001. 03. 28,

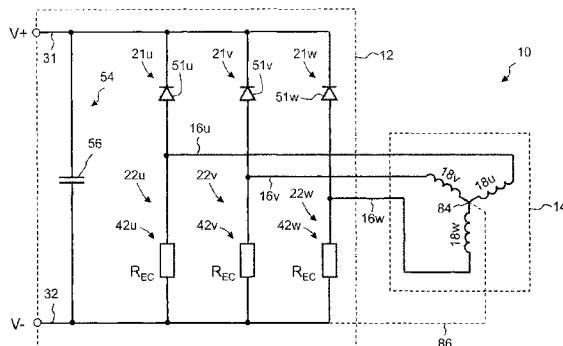
权利要求书2页 说明书8页 附图6页

(54) 发明名称

用于电机的逆变器、运行逆变器的控制器和方法

(57) 摘要

本发明涉及一种用于电机(14)的逆变器(12)，包括多个用于连接电机(14)的相线(16)，其中逆变器(12)的每个相线(16)均包括具有各一个第一半导体开关(41)和各一个第二半导体开关(42)的半桥(21, 22)，其中所述第一半导体开关(41)可用来将至少一个相线(16)暂时与逆变器(12)的第一电源线(31)电连接，并且第二半导体开关(42)可用来将相线(16)暂时与逆变器(12)的第二电源线(32)电连接。逆变器(12)可用来在第一能量回收限制模式(ERM1)下运行，在该模式下至少暂时使得第一半导体开关(41)中的至少两个同时导通。



1. 一种用于电机(14)的逆变器(12)，其中所述逆变器(12)包括多个用于连接电机(14)的相线(16)，其中所述逆变器(12)的每个相线(16)均包括具有各一个第一半导体开关(41)和第二半导体开关(42)的半桥(21, 22)，其中，所述第一半导体开关(41)用来将至少一个相线(16)暂时与逆变器(14)的第一电源线(31)电连接，并且第二半导体开关(42)用于将相线(16)暂时与逆变器(14)的第二电源线(32)电连接，其特征在于，所述逆变器(12)能用于暂时在第一能量回收限制模式(EBM1)下运行，在该模式下至少暂时使得第一半导体开关(41)中的至少两个同时导通。

2. 根据权利要求1所述的逆变器(12)，其特征在于，所述逆变器(12)能用来至少暂时在第二半导体开关(42)截止的第一能量回收限制模式(EBM1)下运行。

3. 根据权利要求1所述的逆变器(12)，其特征在于，所述逆变器(12)能用来至少暂时在第二能量回收限制模式(EBM2)下运行，在该模式下至少暂时使得第二半导体开关(42)中的至少两个同时导通。

4. 根据权利要求3所述的逆变器(12)，其特征在于，所述逆变器(12)能用来至少暂时在第一半导体开关(41)截止的第二能量回收限制模式(EBM2)下运行。

5. 根据权利要求1至4中任一项所述的逆变器(12)，其特征在于，当逆变器(12)的至少一个控制器(61)未激活时，所述逆变器(12)能用来进入第一能量回收限制模式(EBM1)或者第二能量回收限制模式(EBM2)。

6. 一种用于根据权利要求1至5中任一项所述的逆变器(12)的控制器(60)，其特征在于，所述控制器(61)能用来在逆变器(12)功能失效时启动第一能量回收限制模式(EBM1)或者第二能量回收限制模式(EBM2)。

7. 根据权利要求6所述的控制器(60)，其特征在于，所述控制器(60)能用来在无法将第一半导体开关(41)中的某一个截止时启动第一能量回收限制模式(EBM1)，和/或所述控制器(60)能用来在无法将第二半导体开关(42)中的某一个截止时启动第二能量回收限制模式(EBM2)。

8. 根据权利要求6所述的控制器(60)，其特征在于，所述控制器(60)能用来在无法将第二半导体开关(42)中的某一个导通时启动第一能量回收限制模式(EBM1)，和/或所述控制器(60)能用来在无法将第一半导体开关(41)中的某一个导通时启动第二能量回收限制模式(EBM2)。

9. 根据权利要求6至8中任一项所述的控制器(60)，其特征在于，所述控制器(60)能用来根据转速信息、扭矩信息、频率信息、温度信息、功率信息、功耗信息或者根据另一种状态参数激活第一能量回收限制模式(EBM1)，和/或所述控制器(60)能用来根据转速信息、扭矩信息、频率信息、温度信息、功率信息、功耗信息或者根据另一种状态参数激活第二能量回收限制模式(EBM2)。

10. 根据权利要求9所述的控制器(60)，其特征在于，所述控制器(60)能用来根据逆变器(12)中产生的信息和/或根据提供给逆变器(12)的外部信息激活第一能量回收限制模式(EBM1)，和/或所述控制器(60)能用来根据逆变器中产生的信息和/或根据提供给逆变器(12)的外部信息激活第二能量回收限制模式(EBM2)。

11. 根据权利要求6至8中任一项所述的控制器(60)，其特征在于，所述控制器(60)能用来交替激活第一能量回收限制模式(ERM1)和第二能量回收限制模式(ERM2)。

12. 根据权利要求11所述的控制器(60)，其特征在于，所述控制器(60)能用来根据半导体开关(41,42)之间的温度分布和/或根据半导体开关(41,42)之间的功率分配来调整第一能量回收限制模式(ERM1)的激活时间分量(81)与第二能量回收限制模式(ERM2)的激活时间分量(82)之间的时间比例(81/82)。

13. 根据权利要求6至8中任一项所述的控制器(60)，其特征在于，所述控制器(60)包括第一子控制器(61)和第二子控制器(62)，其中所述第一子控制器(61)包括第一可信度检查器(64)，该可信度检查器能用来检查第二子控制器(62)的输出是否可信，并且在识别出不可信时启动第一能量回收限制模式(ERM1)或者第二能量回收限制模式(ERM2)。

14. 根据权利要求13所述的控制器(60)，其特征在于，所述第二子控制器(62)包括第二可信度检查器(64)，该可信度检查器能用来检查第一子控制器(61)的输出是否可信，并且在识别出不可信时启动第一能量回收限制模式(ERM1)或者第二能量回收限制模式(ERM2)。

15. 一种运行逆变器(12)的方法(100)，其特征在于，所述方法(100)包括以下步骤：

-提供(110)逆变器(12)，其中所述逆变器(12)包括多个用于连接电机(14)的相线(16)，其中所述逆变器的每个相线(16)均包括具有各一个第一半导体开关(41)和各一个第二半导体开关(42)的半桥(21,22)，其中所述第一半导体开关(41)能用来将相线(16)暂时与逆变器(12)的第一电源线(31)电连接，并且第二半导体开关(42)能用来将相线(16)暂时与逆变器(12)的第二电源线(32)电连接；

-监测(120)用来识别逆变器(12)功能失效的逆变器(12)的功能；并且

-如果识别出逆变器(12)功能失效：使得逆变器(12)在第一能量回收限制模式(ERM1)下运行，在该模式下至少暂时使得第一半导体开关(41)中的至少两个同时导通。

用于电机的逆变器、运行逆变器的控制器和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于电机的逆变器，其中所述逆变器包括多个用于连接电机的相线，其中逆变器的每个相线均包括具有各一个第一半导体开关和各一个第二半导体开关的半桥，其中第一半导体开关可用来将至少一个相线暂时与逆变器的第一电源线电连接，并且第二半导体开关可用来将相线暂时与逆变器的第二电源线电连接。第一电源线可以是用来与电源正极相连的逆变器正电源线；第二电源线则是用来与电源负极相连的逆变器负电源线。替换地，第一电源线也可以是用来与电源负极相连的逆变器负电源线；第二电源线则是用来与电源正极相连的逆变器正电源线。电机可以是电动机、发电机，或者是用于能量回收此外也用于将机械能转换为电能的电动-发电机。相线的数量可以是例如2、3、4或5，或者是大于1的一个自然数。半导体开关可以是例如晶闸管或晶体管，尤其可以是IGBT或者功率MOSFET。通常给每一个半导体开关并联一个续流二极管。一种有利的扩展在于，逆变器具有一个正常工作模式，在该模式下将制动能期望地回收(再生)到直流电源之中。

[0002] 本发明还涉及一种用于逆变器的控制器。

[0003] 此外，本发明还涉及一种运行逆变器的方法。

背景技术

[0004] DE 298 13 080 U1描述了一种具有逆变器、保护装置和永磁电机的装置。保护装置可用来避免由于中间电路电容重置以及由于超过换流阀截止电压引起的逆变器损坏。在电机和逆变器之间将保护装置连接到电机相线上。保护装置包括用来发出存在有害反向电压信号的信号生成构件以及用于电机端子电压短路的构件，其中所述短路构件的导通电阻起到制动负载作用。保护装置也可以具有没有提及的以下应用优点：如果在同步电机(例如永磁电机)中将相相互短路，则在电机内产生的扭矩只有在极小的电机转速下才会很高。在高于该极小电机转速的情况下，短路时在电机内产生的扭矩明显小于具有欧姆负载的电机运行时产生的扭矩。

[0005] 现在首先从技术角度论证同步电机的这一特性，以利于理解本发明的可行性和作用原理。相短路时还处在回路中的唯一欧姆电阻是绕组欧姆电阻。对于作为电源的同步电机而言，其同步电抗即为该电源的内电阻。由于电机的同步电抗与转速成正比(参见Wippich, K.: Elektrische Maschinen und Antriebe II, Vorlesung an der FH Oldenburg, 第150页)，因此同步电抗上的电压降随着转速增大而越来越超过绕组欧姆电阻上的电压降。作为电源的同步电机的内电阻(同步电抗)与耗电器电阻(绕组电阻)之间的这种失配会在短路时大大削弱从驱动轴传递到欧姆电阻之中的能量。附加地，由于短路时的电枢反应比较大(参考Wippich, 出处同上)，还会在短路时减小驱动轴与欧姆电阻之间传递的能量。

[0006] 本发明使用同步电机短路时的这种扭矩削弱效果来减小在不期望的能量回收时出现的不期望的危及安全的扭矩(再生扭矩)。除了减小扭矩并非DE 298 13 080 U1中建议的措施(将相相互短路)的目的之外，DE 298 13 080 U1中所建议的保护装置的制造成本和

所需空间也很大。

发明内容

[0007] 本发明要解决的技术问题在于,为了避免不期望的危及安全的扭矩提供一种具有相应保护作用的装置,其制造成本比已知的装置更加低廉。此外本发明要解决的技术问题还在于,提供一种运行逆变器的方法,该方法能够以更加低廉的成本制造具有相应保护作用的装置。

[0008] 上述技术问题通过独立权利要求来解决。本发明构思的有利扩展是从属权利要求的内容。

[0009] 按照本发明,对已知的逆变器进行了改进,方法是使得逆变器可用来暂时在第一能量回收限制模式下工作,在该模式下至少暂时使得第一半导体开关中的至少两个同时导通。这样就能将保护功能集成到逆变器之中,并且附加地还可节约保护装置的制造费用和所需空间。优选地,在第一能量回收限制模式下使得所有第一半导体开关导通,并且以这种方式将所有相线相互短路。当转速不太低的时候,同步电抗就会由于短路而超过欧姆电阻,其中欧姆电阻主要由串联的绕组欧姆电阻和导通半导体的发射极-集电极段或者源极-漏极段的欧姆电阻构成。通过这种故意利用短路使得同步电抗与欧姆电阻之间暂时失配的方式,大幅度减小在驱动轴和短路时在相应相电路中剩余欧姆电阻之间传递的能量。根据已知的关系式 $M=P/2\pi f$ 可知,利用这种减小能量传递的方式也可以在逆变器停止工作时大幅度减小危及安全的扭矩变化 dM/dt (M :=扭矩; P :=单位时间内传递的能量; f :=驱动轴的转速)。

[0010] 逆变器可用来至少暂时在第二半导体开关截止的第一能量回收限制模式下工作。这样就能在第一能量回收限制模式下避免第一和第二电源线之间短路。

[0011] 逆变器可用来至少暂时在第二能量回收限制模式下工作,在该模式下至少暂时使得第二半导体开关中的至少两个同时导通。优选地,在第二能量回收限制模式下使得所有第二半导体开关导通,从而将所有相线相互短路。如果第二半导体开关中的某一个短路,则最好以导通第二半导体开关的方式替代导通第一半导体开关,从而避免第一和第二电源线之间短路。

[0012] 逆变器可用来至少暂时在第一半导体开关截止的第二能量回收限制模式下工作。这样就能在第二能量回收限制模式下避免第一和第二电源线之间短路。

[0013] 当逆变器的至少一个控制器未激活、尤其当逆变器的至少两个控制器未激活时,逆变器可用来进入第一或者第二能量回收限制模式。这样即使当逆变器的控制器完全或者至少部分不能发挥作用时(例如因为失去了控制器的电源电压),也能可靠利用逆变器来减小不期望的再生扭矩。

[0014] 按照本发明,对已知的控制器进行了改进,方法是使得控制器可用来在逆变器功能失效时启动第一或者第二能量回收限制模式。这样就能根据工作状态的复杂评估来减小再生扭矩,其中对逆变器控制器进行评估。

[0015] 控制器可用来在无法将第一半导体开关中的某一个截止时启动第一能量回收限制模式,和/或控制器可用来在无法将第二半导体开关中的某一个截止时启动第二能量回收限制模式。这样就能避免两个电源线之间短路,方法是选择一种与无法将其截止的半导

体开关的位置相配的能量回收限制模式。

[0016] 控制器可用来在无法将第二半导体开关中的某一个导通时启动第一能量回收限制模式,和/或控制器可用来在无法将第一半导体开关中的某一个导通时启动第二能量回收限制模式。这样就能避免两个电源线之间短路,方法是选择一种与无法使其导通的半导体开关的位置相配的能量回收限制模式。

[0017] 控制器可用来根据转速信息、扭矩信息、频率信息、温度信息、功率信息、功耗信息或者根据其它状态参数来激活第一能量回收限制模式,和/者控制器可用来根据转速信息、扭矩信息、频率信息、温度信息、功率信息、功耗信息或者根据其它状态参数来激活第二能量回收限制模式。这样就能与逆变器或者整体系统的工作状态匹配地激活以及必要时选择能量回收限制模式。例如适配某种工作状态可以有助于避免出现驾驶员难以操控或者危及其它交通参与者的骤然扭矩变化。除此之外,适配某种工作状态还可以有助于避免汽车或者系统组件过载。可以将传感器直接检测的信息或者从一个或多个传感器的数据导出或者算出的信息用来适配某种工作状态。

[0018] 控制器可用来根据逆变器中产生的信息和/或根据提供给逆变器的外部信息来激活第一能量回收限制模式,和/或控制器可用来根据逆变器中产生的信息和/或根据提供给逆变器的外部信息来激活第二能量回收限制模式。可以考虑逆变器内部传感器的数据,以可靠方式实现传感器数据的充分兼容性和可用性。可以考虑从外部提供给逆变器的外部信息,以特别有前瞻性和/或更有利于面向应用的方式激活或者选择能量回收限制模式。

[0019] 控制器可用来交替激活第一和第二能量回收限制模式。这样就能更好利用逆变器的性能,方法是将导通半导体开关中的功耗分摊到较大量数的半导体开关。

[0020] 控制器可用来根据半导体开关之间的温度分布和/或根据半导体开关之间的功率分配,调整第一能量回收限制模式的激活时间分量与第二能量回收限制模式的激活时间分量之比。该措施可以有助于(在兼顾安全标准的情况下)挖掘逆变器的性能,方法是在第一和第二半导体开关之间合理分配功耗。

[0021] 控制器可以包括第一和第二子控制器,其中所述第一子控制器包括第一可信度检查器,该可信度检查器可用来检查第二子控制器的输出是否可信,并且在识别出不可信时启动第一或者第二能量回收限制模式。一旦识别出第二子控制器的输出不可信,就使得逆变器转入某一个能量回收限制模式,这样就能提高逆变器在控制器以错误方式控制逆变器之前切换到安全工作模式之中的概率。

[0022] 第二子控制器可以包括第二可信度检查器,该可信度检查器可用来检查第一子控制器的输出是否可信,并且在识别出不可信时启动第一或者第二能量回收限制模式。一旦识别出第一子控制器的输出不可信,就使得逆变器转入某一个能量回收限制模式,这样就能进一步提高逆变器在控制器以错误方式控制逆变器之前切换到安全工作模式之中的概率。

[0023] 按照本发明,对已知的使逆变器工作的方法进行了改进,方法是使得该方法包括以下步骤:提供一个逆变器,其中所述逆变器包括多个用来连接电机的相线,其中逆变器的每个相线均包括具有各一个第一半导体开关和各一个第二半导体开关的半桥,其中所述第一半导体开关可用来将相线暂时与逆变器的第一电源线电连接,并且第二半导体开关可用来将相线暂时与逆变器的第二电源线电连接;监测逆变器的功能以用于识别逆变器功能失

效；并且如果识别出逆变器功能失效：使得逆变器在第一能量回收限制模式下工作，在该模式下至少暂时使得第一半导体开关中的至少两个同时导通。通过应用该方法可以将用来避免不期望的危及安全的扭矩的保护功能集成到逆变器之中，并且还可节约保护装置的制造费用和所需空间。

附图说明

- [0024] 以下将根据示意附图所示的实施例，对本发明进行详细解释。附图中：
- [0025] 图1示出了逆变器与连接在逆变器上的电机的示意性电路框图；
- [0026] 图2示出了第三半桥的正极支路断开时处在第一能量回收限制模式中的逆变器的示意性等效电路图；
- [0027] 图3示出了针对电机的一相和一种能量回收限制模式绘制的相回路示意性等效电路图；
- [0028] 图4示出了第三半桥的正极支路短路时处在第二能量回收限制模式中的逆变器的示意性等效电路图；
- [0029] 图5示出了正极支路短路时处在第一能量回收限制模式中的逆变器的示意性等效电路图；
- [0030] 图6示出了针对逆变器的一种实施方式表示第一和第二能量回收限制模式如何变换的示意性时序图；以及
- [0031] 图7示出了运行逆变器的方法的第一种实施方式的示意性流程图。
- [0032] 在附图中分别将相同的附图标记用于相应的组件。因此只要没有其它说明，与附图标记相关的解释均适用于所有附图。为了简明起见，即使没有相标识，也使用有u、v、w相标识的附图标记。

具体实施方式

[0033] 图1所示的系统10包括逆变器12和电动机14。电动机14利用三个相线16u、16v、16w连接到逆变器12。电动机14是永磁励磁的。(附图中没有绘出的)电动机14的永久磁铁通常被固定在(图中没有绘出的)电动机14转子之中，而电动机14的绕组18u、18v、18w均排列在电动机14的定子之中。附图中所示为如何以星形接法将绕组18连接在相线16上。附图中没有绘出的另一种可选方案是以三角形接法将绕组18连接在相线16上。逆变器12每个相线16均包括用来将相线16与具有正电势V+的电源线31暂时相连的第一开关电路21u、21v、21w。此外逆变器12每个相线16还包括用来将相线16u、16v、16w与具有负电势V-的电源线32暂时相连的第二开关电路22u、22v、22w。每个第一开关电路21均包括第一半导体开关41u、41v、41w和续流二极管51u、51v、51w。每个第二开关电路22均包括第二半导体开关42u、42v、42w和续流二极管52u、52v、52w。具有正电势V+的电源线31和具有负电势V-的电源线32可以是逆变器12中间电路54的一部分。中间电路54可以包括用来平滑电压波动的中间电路电容56。

[0034] 半导体开关41(或42)通常是晶闸管、IGBT或者功率MOSFET。此外，半导体开关41(或42)还各自包括续流二极管51(或52)，该续流二极管与半导体开关41(或42)的主电流通道(例如集电极发射极段)反并联。所谓“反并联”指的是续流二极管51(或52)的导通方向在

并联电路中与半导体开关41(或42)的主导通方向相反。如果半导体开关41(或42)是MOSFET，则续流二极管51(或52)在最简单的情况下可以由MOSFET 41(或42)的体二极管组成。

[0035] 为了减小安全风险，按照一种改进方案，逆变器12的控制器60包括第一子控制器61和第二子控制器62。然后通过控制线59将第一半导体开关41和第二半导体开关42的每个栅极58或每个基极不仅与逆变器12的第一子控制器61相连，而且也与其第二子控制器62相连。两个子控制器61、62中的每一个均包括可信度检查器64。从图中也可看出，第一子控制器61与内部温度传感器66相连，以便获得至少一个半导体开关41、42区域中的温度信息。此外，第一子控制器61还与内部频率传感器68相连，以便获得至少一个相线16的频率信息。除此之外，第一子控制器61还与外部温度传感器70相连，以便获得电动机14的至少一个绕组18区域中的温度信息。此外，第一子控制器61还与外部转速传感器72相连，以便获得电动机14的转速信息。为了简明起见，图中没有明确绘出，第二子控制器62可从同一个传感器66、68、70、72或者其它传感器获得相同的信息。

[0036] 第一开关电路21经过适当布置，从而当第一半导体开关41导通时使得电流从正电源端子31在第一半导体开关41的主导通方向经由第一半导体开关41流向相线16进入电动机14的相应绕组18之中。第二开关电路22经过适当布置，从而当第二半导体开关22导通时使得电流从电动机14的绕组18流过相应的相线16，然后在第二半导体开关22的导通方向流过第二半导体开关22。借助(第一半导体开关41导通期间的)时间和(同一个相线的第二半导体开关42导通期间的)直接相邻的时间之间的(图中未示出的)死区时间，(至少在正常工作状态下)可保证同一个相线16的两个半导体开关41、42不会在任何时刻同时导通。

[0037] 在(图中没有绘出的)电动机14转子旋转过程中如果由于逆变器12中的故障或者由于运行故障而使得逆变器12停止工作，则电动机14的作用如同发电机。这时旋转的磁场(旋转磁场)就会在电动机14的绕组18中感应出电压(电动势)，(与转子一起旋转的)永久磁铁在电动机14中产生旋转磁场。如果由于逆变器12停止工作而使得所有第一半导体开关41和第二半导体开关42均截止，则只有续流二极管51、52在其主导通方向中导通。由于续流二极管的方向性，这在供电侧或者中间电路54上虽然不会导致极性反接，但是可能会引起下述其它麻烦。一方面(例如当快速下坡行驶时)旋转磁场可能会在绕组18u、18v、18w中感应出比中间电路电容56的耐压强度更高的电压。另一方面给中间电路电容56充电(直至达到其耐压强度的极限)也意味着将产生扭矩，该扭矩等于能量流(利用能量回收得到的制动功率)除以转速f。如果以这种方式使得与汽车驱动轴驱动的电动机14相连的逆变器12停止工作，那么汽车的推进力将会由于扭矩突然变化而过快、过于强烈并且以危及交通安全的方式改变。

[0038] 图2示出了逆变器12与所连接的电动机14的等效电路图，相当于控制器60在第三半桥21w、22w的正极支路21w断开时设置的第一EBM1能量回收限制模式。除了损坏的半导体开关41w之外，所有其它第一半导体开关41u、41v均截止，并且所有其它第二半导体开关42均导通。然后第二半导体开关42就会具有很低的导通电阻REC。为了简化起见，在等效电路图中假设在该工作状态下可以近似忽略存在(与第二半导体开关42反并联的)续流二极管52。假设该布置(相对于旋转磁场)旋转对称(辐射对称)，则该等效电路图等同于电机14的中性点84处在与负电源线31相同电势上的等效电路图，在附图中以虚线86提示这种情况。

[0039] 图3示出了第一能量回收限制模式EBM1下的相线u、v或w的回路85的等效电路图。回路85主要包括电源 $U_P(f)$ 、同步电抗 $X_d(f)$ 、绕组欧姆电阻 R_L 和半导体开关41或42的导通电阻 R_{EC} 。电源 $U_P(f)$ 具有开路电压,其交变电压 $U_P(f)$ 相应于绕组18u、18v、18w的电动势(EMK)。与之前所论证的一样,电动机14的同步电抗 $X_d(f)$ 在很宽的转速范围内与转速f大致成正比。一旦转速f并非很低,那么在逆变器12的第一能量回收限制模式EBM2下出现的扭矩 M_R (再生扭矩)与所有功能正常的半导体开关41u、41v、42均截止时相比就会由于之前所述的原因而小得多,因此安全危险也小得多。

[0040] 为了充分减弱扭矩 M_R ,在此假设欧姆电阻 R_{EC} 与绕组电阻 R_L 的总和明显小于同步电抗 $X_d(f)$ 。同步电抗 $X_d(f)$ 与欧姆电阻 R_{EC} 和绕组电阻 R_L 的总和之比 $r = X_d(f) / (R_L + R_{EC})$ 在第一能量回收限制模式EBM1和/或第二能量回收限制模式EBM2下优选至少为5,尤其优选至少为10或20,特别优选至少为50或100。同理也适用于第二能量回收限制模式EBM2。在等效电路图中符号(f)提示不仅同步电抗 $X_d(f)$ 而且电动势 $U_P(f)$ 均与转速有关。

[0041] 图4示出了逆变器12与所连接的电动机14的等效电路图,其相当于控制器60在第三半桥21w、22w的正极支路21w短路时设置的第二能量回收限制模式EBM2。除了损坏的、导通的第一半导体开关41w之外,所有其它第一半导体开关41u、41v均导通,并且所有其它第二半导体开关42均截止。第一半导体开关41具有较低的导通电阻 R_{EC} 或 R_{KW} 。为了简化起见,在等效电路图中假设在该工作状态下可以近似忽略存在(与第一半导体开关41反并联的)续流二极管51。

[0042] 假设该布置(相对于旋转磁场)旋转对称(辐射对称),则该等效电路图等同于中性点84处在与负电源线32相同电势上的等效电路图。在附图中以虚线86提示这种情况。然后每一相u、v、w的回路85的等效电路图均基本上包括其交变电压 U_P 相应于电动势(EMK)的电源、以及相u、v、w的绕组18u、18v、18w的绕组欧姆电阻 R_L 以及相应于半导体开关41的导通电阻的欧姆电阻 R_{EC} 。一旦转速f并非很低,那么在逆变器12的第一能量回收限制模式EBM1下出现的扭矩 M_R (再生扭矩)与所有功能正常的半导体开关41u、41v、42均截止时相比小得多,因此安全危险也小得多。

[0043] 图5所示的布置处在控制器60在第三半桥21w、22w的正极支路21w短路时同样也可选择(但是并非与第一能量回收限制模式EBM1同时)设置的第二能量回收限制模式EBM2。除了损坏的第一半导体开关41w之外,所有其它第一半导体开关41u、41v均截止,并且所有第二半导体开关42均导通。第二半导体开关42具有很低的导通电阻 R_{EC} 。为了简化起见,在等效电路图中假设在该工作状态下可以近似忽略存在(与第二半导体开关42反并联的)续流二极管52。一旦转速f并非很低,那么在逆变器12的第二能量回收限制模式EBM2下出现的扭矩 M_R (再生扭矩)与所有功能正常的半导体开关41u、41v、42均截止时相比小得多,因此安全危险也小得多。

[0044] 图6所示为逆变器12的一种实施方式在第三半桥21w、22w的正极支路21w短路时如何时间上交替变换第一能量回收限制模式EBM1和第二能量回收限制模式EBM2的示意性时序图。按照一种改进实施方式,可以利用控制器60调整第一能量回收限制模式EBM1的激活时间81与第二EBM2能量回收限制模式的激活时间82之间的时间比例81/82。可以根据半导体开关41、42之间的温度分布和/或根据半导体开关41、42之间的功率分配来调整时间比例81/82。借助(第一半导体开关41导通期间的)时间81和(同一个相线的第二半导体开关42导

通期间的)直接相邻的时间82之间的(在附图中未示出的)死区时间,(至少在正常工作状态下)可保证同一个相线16的两个半导体开关41、42不会在任何时刻同时导通。

[0045] 作为图6所示方案的替换或结合的改进实施方式,控制器60循环取消以及激活第一能量回收限制模式EBM1和/或第二能量回收限制模式EBM2,从而以这种方式实现平均扭矩值。例如在电动机14由于有效制动已经处在再生模式并且应在能量回收限制模式下(“无缝”)调整制动作用(平均扭矩)使之与最后执行的有效制动的扭矩匹配的过程中,如果逆变器12出现功能失效,那么这种实施方式就很有好处。

[0046] 图7示出了运行逆变器12的方法100,包括以下步骤110、120、130。在第一个步骤110中按照之前所述的实施方式提供逆变器12。用来识别逆变器12功能失效的逆变器12的功能(例如可信度检查器64)在第二个步骤120中监测逆变器12是否存在功能失效。在第三个步骤130中如果识别出逆变器12功能失效,则使得逆变器12在第一能量回收限制模式EBM1下工作,在该模式下至少暂时将第一半导体开关41中的至少两个41u、41v同时导通。优选地,在第一能量回收限制模式EBM1下以这种方式将所有相线16短路。

[0047] 为了在控制器60的组件或者其电源出现故障时减小安全风险,按照改进的实施方式,当逆变器12的至少一个控制器60未激活时,尤其当逆变器12的至少两个控制器61、62未激活时,逆变器12可用来进入第一能量回收限制模式EBM1或者第二能量回收限制模式EBM2。逆变器12的这一功能称作“被动短路相线16”。

[0048] 第一子控制器61可以包括第一可信度检查器64,该可信度检查器可用于检查第二子控制器62的输出是否可信,并且在识别出不可信时启动第一能量回收限制模式EBM1或者第二能量回收限制模式EBM2。逆变器12的这一功能称作“主动短路相线16”。除此之外,第二子控制器62还可以包括第二可信度检查器64,该可信度检查器可用于检查第一子控制器61的输出是否可信,并且在识别出不可信时启动第一能量回收限制模式EBM1或者第二能量回收限制模式EBM2。

[0049] 也能以相反的极性应用同样的电路原理。作为替代或补充方案,也可以将实施例中表示为电压的模拟和/或数字电信号表示为(外加)电流。可以利用放大器或者转换器使得本说明部分中提及的电压或者电流在其流出源至流入接收器的路径上重新改变大小。可以按照已知的方法或者按照当今未知的方法,对表示为电压或电流的模拟或数字信号进行线性或非线性编码。可应用的编码方法例如有脉冲宽度调制和脉码调制。可以通过电路、光路或者无线电传输模拟和/或数字信号。可以按照空分复用(即利用不同的线路)、时分复用或者码分复用方式传输模拟和/或数字信号。可以通过一个或多个总线系统传输模拟和/或数字信号。

[0050] 附图标记列表

- [0051] 10 系统
- [0052] 12 逆变器
- [0053] 14 电动机;电机
- [0054] 16 相线
- [0055] 18 绕组
- [0056] 21 第一开关电路
- [0057] 22 第二开关电路

[0058]	31	第一电源线
[0059]	32	第二电源线
[0060]	41	第一半导体开关
[0061]	42	第二半导体开关
[0062]	51	第一开关电路中的续流二极管
[0063]	52	第二开关电路中的续流二极管
[0064]	54	中间电路
[0065]	56	中间电路电容
[0066]	58	半导体开关的栅极
[0067]	59	控制线
[0068]	60	控制器
[0069]	61	第一子控制器
[0070]	62	第二子控制器
[0071]	64	可信度检查器
[0072]	66	内部温度传感器
[0073]	68	内部频率传感器
[0074]	70	外部温度传感器
[0075]	72	外部转速传感器
[0076]	81	将第一半导体开关41导通期间的时间
[0077]	82	将第二半导体开关42导通期间的时间
[0078]	84	中性点
[0079]	85	能量回收限制模式下某一相的等效电路
[0080]	86	虚线
[0081]	100	运行逆变器的方法
[0082]	110	提供逆变器
[0083]	120	监测逆变器的功能
[0084]	130	在能量回收限制模式下工作
[0085]	EBM1	第一能量回收限制模式
[0086]	EBM2	第二能量回收限制模式
[0087]	f	转速
[0088]	M_R	再生扭矩
[0089]	R_{EC}	导通半导体开关的电阻
[0090]	R_{KW}	损坏半导体开关的短路电阻
[0091]	R_L	绕组欧姆电阻
[0092]	u	第一相
[0093]	v	第二相
[0094]	w	第三相
[0095]	U_P	感应器电压;电动势(EMK)
[0096]	X_d	同步电抗

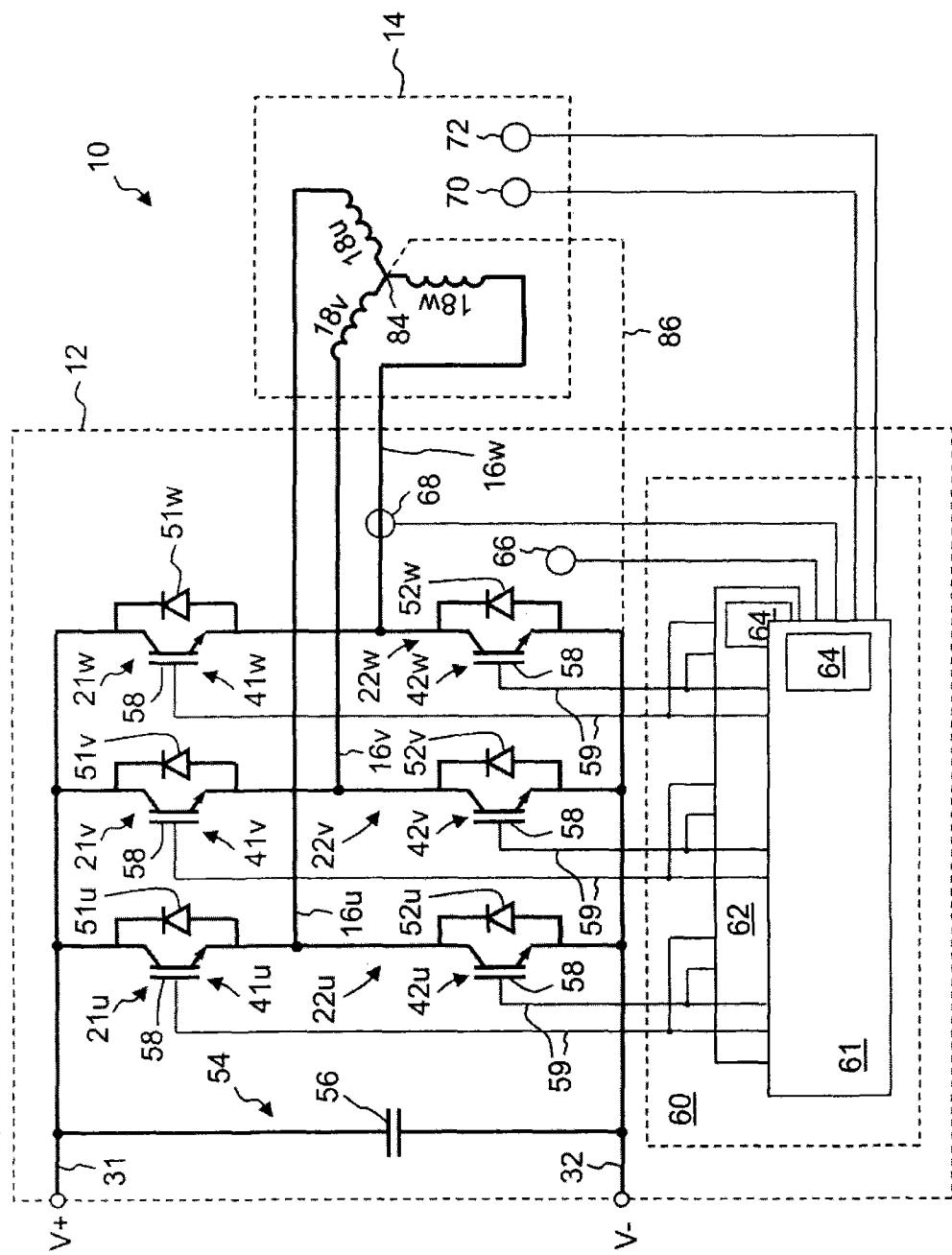


图1

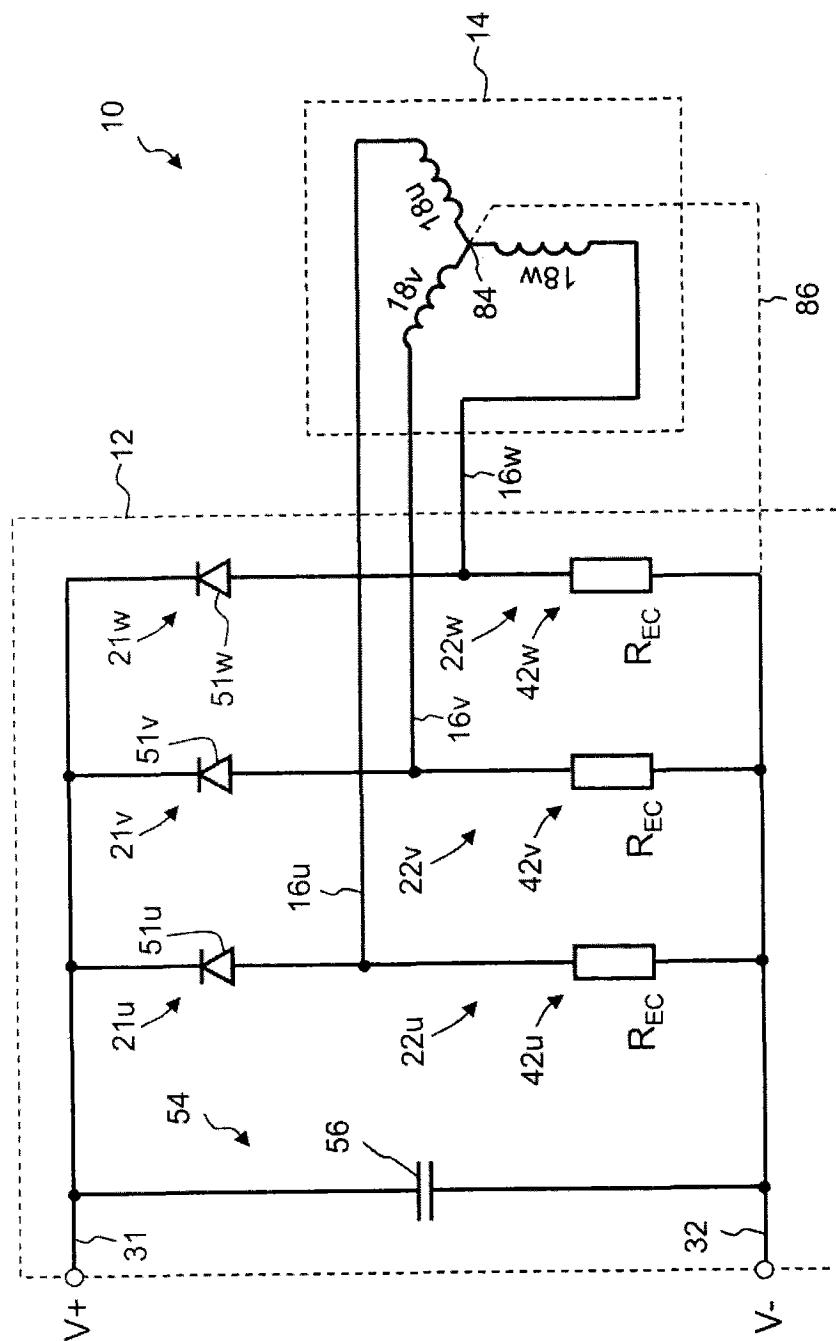


图2

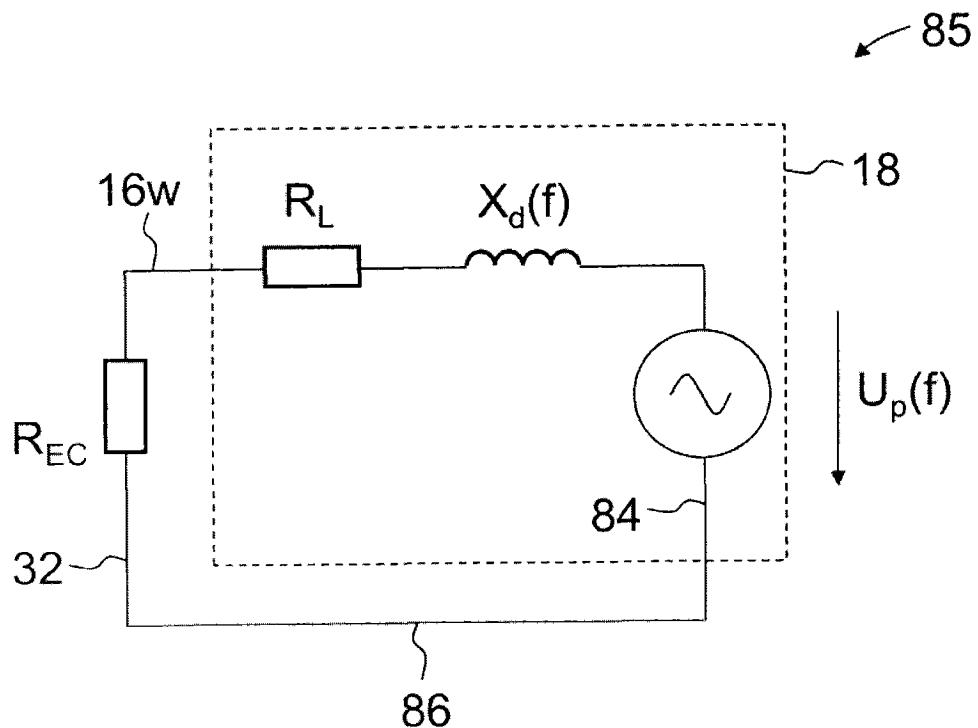


图3

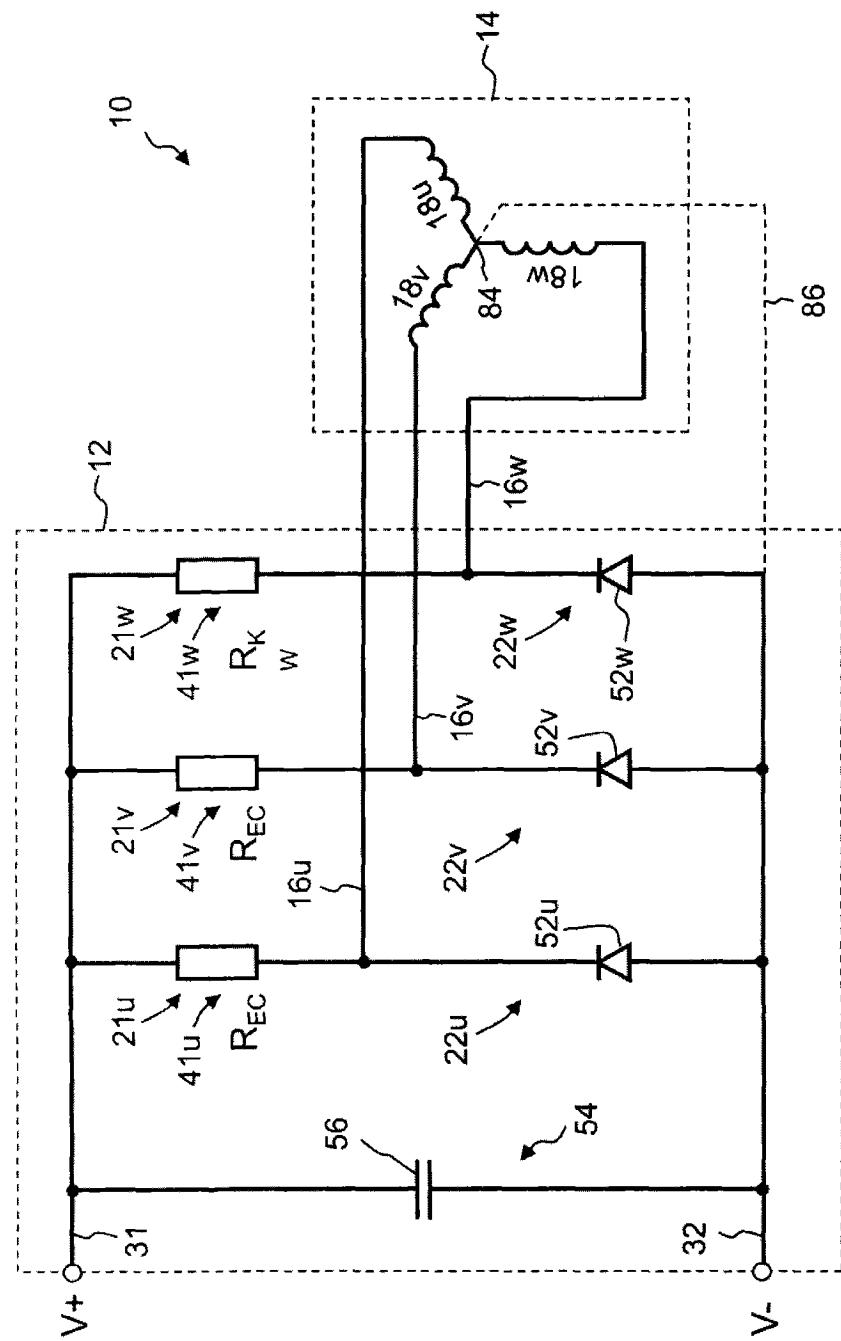


图4

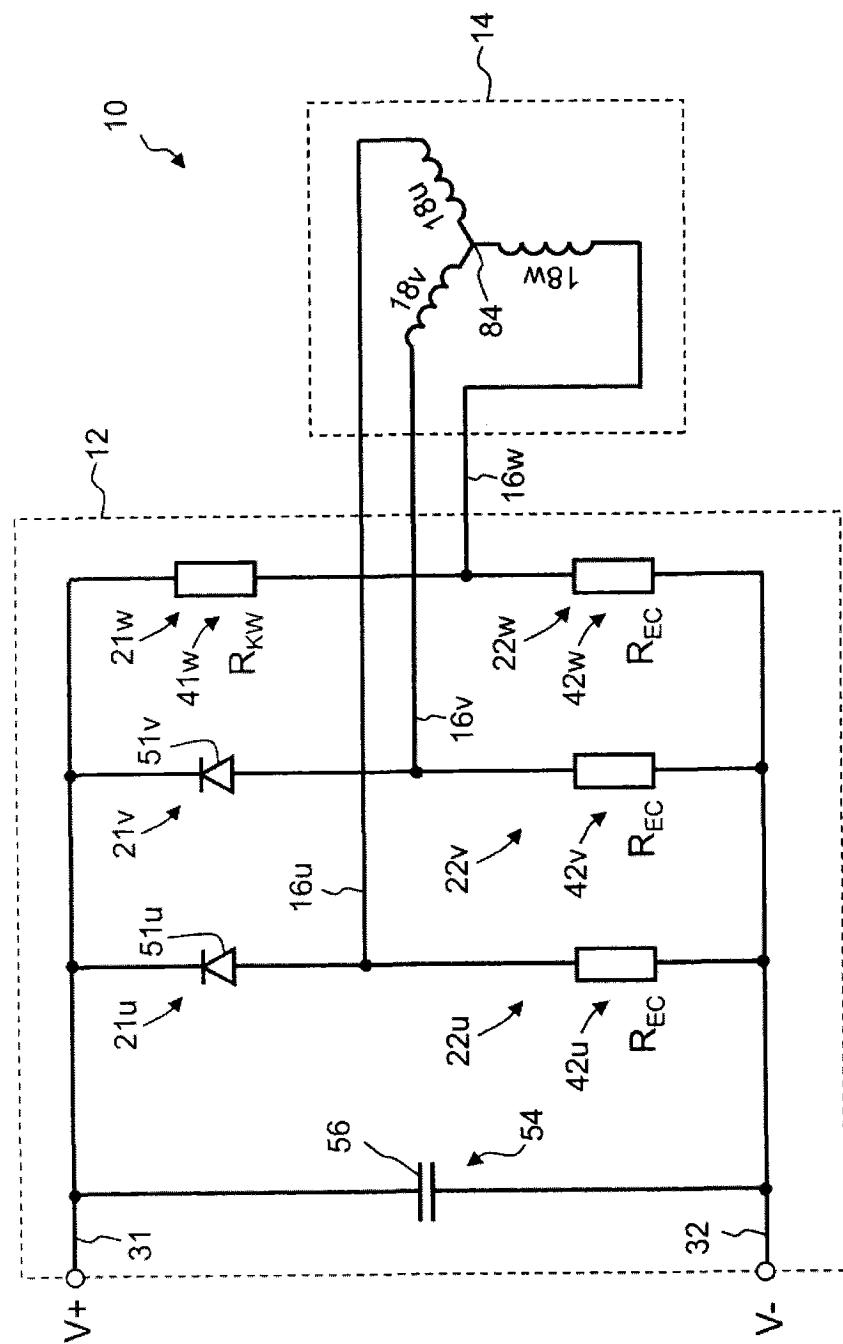


图5

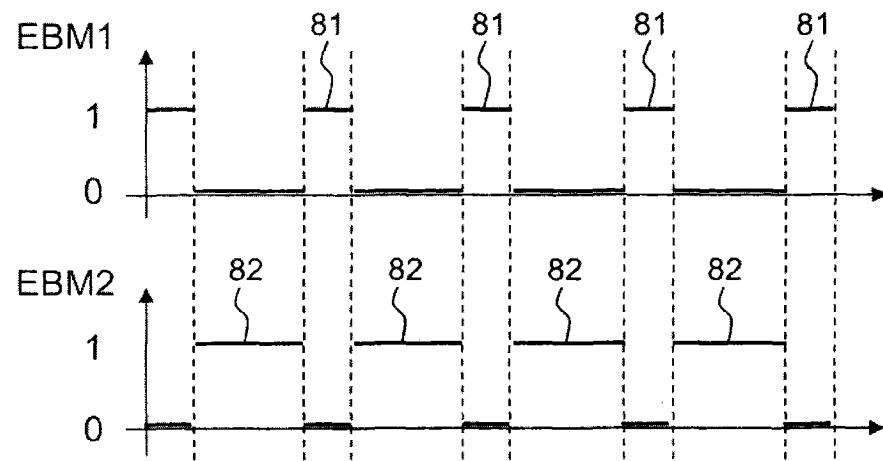


图6

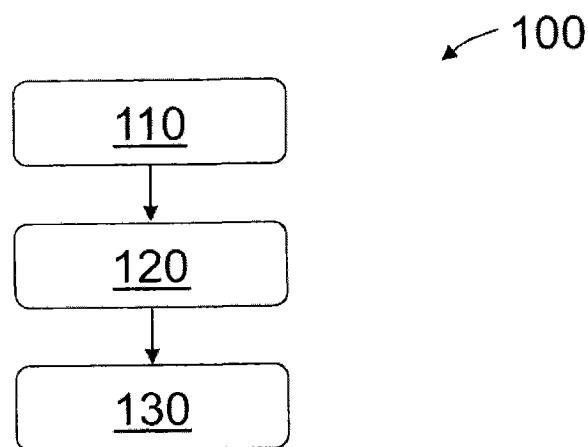


图7