



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104350657 B

(45)授权公告日 2017.08.15

(21)申请号 201380023642.7

(22)申请日 2013.02.26

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104350657 A

(43)申请公布日 2015.02.11

(30)优先权数据

1203785.9 2012.03.05 GB

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2014.11.05

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2013/053834 2013.02.26

(87)PCT国际申请的公布数据

W02013/131782 EN 2013.09.12

(73)专利权人 通用电气技术有限公司

地址 瑞士巴登

(72)发明人 罗伯特·怀特豪斯

卡尔·大卫·巴尔克

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001

代理人 叶培勇 付曼

(51)Int.Cl.

H02H 7/26(2006.01)

(56)对比文件

US 3970898 A, 1976.07.20, (续)

审查员 余细雨

权利要求书2页 说明书8页 附图6页

(54)发明名称

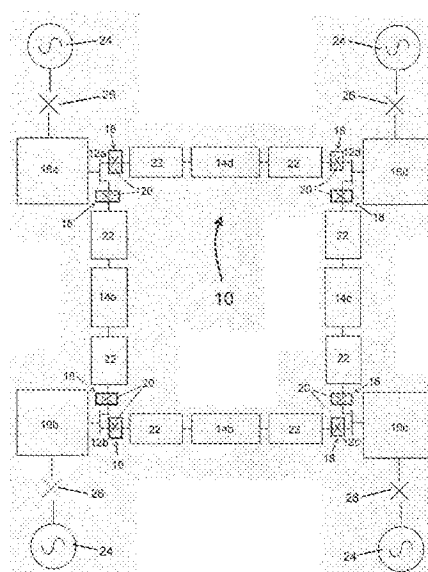
故障排除的方法

(57)摘要

一种用于DC电力网(10)故障排除的方法,其中所述DC电力网(10)包括:多个DC端子(12a、12b、12c、12d);多个DC输电介质(14a、14b、14c、14d),以将所述多个DC端子(12a、12b、12c、12d)互连;以及多个DC电路中断设备站(18),每个DC电路中断设备站(18)与所述多个DC输电介质(14a、14b、14c、14d)的相应一个和所述多个DC端子(12a、12b、12c、12d)的相应一个相关联,每个DC电路中断设备站(18)包括DC电路中断设备(20),以选择性地中断所关联的DC输电介质(14a、14b、14c、14d)中的电流流动,所述方法包括以下步骤:(i)检测发生在所述多个DC输电介质(14a、14b、14c、14d)中的一个或多个故障;(ii)在检测到所述或每个故障之后,断开所有的所述DC电路中断设备(20)以中断在所述多个DC输电介质(14a、14b、14c、14d)中的电流流动;(iii)测量每个DC输电介质(14a、14b、14c、14d)的电特性;(iv)基于所测量到的所述多个DC输电介质(14a、14b、14c、14d)的电特性,识别所述或每个故障所在的所述或每个故障DC输电介质

(14a、14b、14c、14d);以及(v)在识别所述或每个故障所在的所述或每个故障DC输电介质(14a、14b、14c、14d)之后,禁止闭合与所述或每个故障所在的所述或每个故障DC输电介质(14a、14b、14c、14d)相关联的所述或每个DC电路中断设备(20),并且闭合与所述或每个故障所不在的所述或每个非故障DC输电介质(14a、14b、14c、14d)相

(续)



[接上页]

(56)对比文件

CN 101534001 A, 2009.09.16,

CN 101752848 A, 2010.06.23,

WO 2011157305 A1, 2011.12.22,

US 5905615 A, 1999.05.18,

JP 2007116893 A, 2007.05.10,

(57)摘要

关联的所述或每个DC电路中断设备(20)。

1. 一种用于DC电力网(10;110)故障排除的方法,其中所述DC电力网(10)包括:多个DC端子(12a,12b,12c,12d);多个DC输电介质(14a,14b,14c,14d),用以互连所述多个DC端子(12a,12b,12c,12d);以及多个DC电路中断设备站(18),每个DC电路中断设备站(18)与所述多个DC输电介质(14a,14b,14c,14d)中的相应一个和所述多个DC端子(12a,12b,12c,12d)中的相应一个相关联,每个DC电路中断设备站(18)包括DC电路中断设备(20),以选择性地中断在所关联的DC输电介质(14a,14b,14c,14d)中的电流流动,所述方法包括以下步骤:

(i) 在每个DC电路中断设备站处检测发生在所述多个DC输电介质(14a,14b,14c,14d)中的一个或多个故障;

(ii) 在检测到所述故障或每个故障之后,断开检测到所述故障或每个故障的对应DC电路中断设备站的所述DC电路中断设备(20)以中断在所述多个DC输电介质(14a,14b,14c,14d)中的电流流动;

(iii) 测量每个DC输电介质(14a,14b,14c,14d)的电特性;

(iv) 基于测量到的所述多个DC输电介质(14a,14b,14c,14d)的电特性,识别所述故障或每个故障所在的所述故障DC输电介质或每个故障DC输电介质(14a,14b,14c,14d);以及

(v) 在识别所述故障或每个故障所在的所述故障DC输电介质或每个故障DC输电介质(14a,14b,14c,14d)之后,禁止闭合与所述故障或每个故障所在的所述故障DC输电介质或每个故障DC输电介质(14a,14b,14c,14d)相关联的所述DC电路中断设备或每个DC电路中断设备(20),并且闭合与所述故障或每个故障所不在的非故障DC输电介质或每个非故障DC输电介质(14a,14b,14c,14d)相关联的所述DC电路中断设备或每个DC电路中断设备(20),

其特征在于测量每个DC输电介质(14a,14b,14c,14d)的电特性的步骤包括测量从由如下构成的组中选择一个或多个电特性:

每个DC输电介质(14a,14b,14c,14d)的残留DC电压电平;

每个DC输电介质(14a,14b,14c,14d)的电压振荡频率;

在所述多个DC输电介质(14a,14b,14c,14d)中故障电流大小和方向中的差别。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中检测发生在所述多个DC输电介质(14a,14b,14c,14d)中的一个或多个故障的步骤包括:实施每个DC输电介质(14a,14b,14c,14d)的电流和/或电压特性的直接或导数测量。

3. 根据权利要求1或2所述的方法,其中每个DC电路中断设备站(18)包括故障检测装置,以检测在所关联的DC输电介质(14a,14b,14c,14d)中的一个或多个故障,其中每个DC电路中断设备(20)断开以响应由相应的DC电路中断设备站(18)的故障检测装置检测到的在所述多个DC输电介质(14a,14b,14c,14d)中的所述故障或每个故障。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中测量每个DC输电介质(14a,14b,14c,14d)的电特性的步骤包括测量在所述多个DC输电介质(14a,14b,14c,14d)中故障电流大小和方向中的差别,并且基于所测量到的所述多个DC输电介质(14a,14b,14c,14d)的电特性,识别所述故障或每个故障所在的所述故障DC输电介质或每个故障DC输电介质(14a,14b,14c,14d)的步骤包括:在不同的DC电路中断设备站(18)之间通信信息,所述信息包括在所述多个DC输电介质(14a,14b,14c,14d)中故障电流大小和方向中的差别。

5. 根据权利要求1所述的方法,其中测量每个DC输电介质(14a,14b,14c,14d)的电特性的步骤包括测量在所述多个DC输电介质(14a,14b,14c,14d)中故障电流大小和方向中的差

别,并且所述DC电力网(110)还包括控制站(30),以与所述多个DC电路中断设备站(18)通信,其中基于所测量到的多个DC输电介质(14a,14b,14c,14d)的电特性,识别所述故障或每个故障所在的所述故障DC输电介质或每个故障DC输电介质(14a,14b,14c,14d)的步骤包括在每个DC电路中断设备站(18)与控制站(30)之间通信信息,所述信息包括在所述多个DC输电介质(14a,14b,14c,14d)中故障电流大小和方向中的差别。

6.根据权利要求1所述的方法,其中基于所测量到的多个DC输电介质(14a,14b,14c,14d)的电特性,识别所述故障或每个故障所在的所述故障DC输电介质或每个故障DC输电介质(14a,14b,14c,14d)的步骤包括:确定所述故障DC输电介质或每个故障DC输电介质(14a,14b,14c,14d)内所述故障或每个故障的位置。

7.根据权利要求1所述的方法,其中所述DC电力网(110)还包括控制站(30),以与所述多个DC电路中断设备站(18)通信,其中闭合与所述故障或每个故障所不在的所述非故障DC输电介质或每个非故障DC输电介质(14a,14b,14c,14d)相关联的所述DC电路中断设备或每个DC电路中断设备(20)的步骤包括:将来自所述控制站(30)的控制信号发送至与所述非故障DC输电介质或每个非故障DC输电介质(14a,14b,14c,14d)相关联的所述DC电路中断设备站或每个DC电路中断设备站(18),以启动闭合与所述非故障DC输电介质或每个非故障DC输电介质相关联的所述DC电路中断设备(20)或每个DC电路中断设备。

8.根据权利要求1所述的方法,其中闭合与所述故障或每个故障所不在的所述DC输电介质或每个DC输电介质(14a,14b,14c,14d)相关联的所述DC电路中断设备或每个DC电路中断设备(20)的步骤包括:在断开检测到所述故障或每个故障的对应DC电路中断设备站的所述DC电路中断设备(20)之后的预定时延之后闭合与所述非故障DC输电介质或每个非故障DC输电介质(14a,14b,14c,14d)相关联的所述DC电路中断设备或每个DC电路中断设备(20)。

9.根据权利要求1所述的方法,其中所述DC电力网(110)还包括控制站(30),以与所述多个DC电路中断设备站(18)通信,其中禁止闭合与所述故障或每个故障所在的所述故障DC输电介质或每个故障DC输电介质(14a,14b,14c,14d)相关联的所述DC电路中断设备或每个DC电路中断设备(20)的步骤包括:将来自所述控制站(30)的控制信号发送至与所述故障DC输电介质或每个故障DC输电介质(14a,14b,14c,14d)相关联的所述DC电路中断设备站或每个DC电路中断设备站(18),以禁止闭合与所述故障DC输电介质或每个故障DC输电介质相关联的所述DC电路中断设备或每个DC电路中断设备(20)。

故障排除的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于DC电力网故障排除的方法。

背景技术

[0002] 如地理上分散的可再生形式的发电所需要的,正在考虑将一种新的高压直流(HVDC)输电网络用于长距离移动大量电力,并用于增加能够支持现代电交易要求的具有智能电网智力和特征的AC输电网络的现有能力。这种网络有时被称为DC电力网。

[0003] DC电力网需要HVDC转换器的多端子互连,从而能够使用并联运行的三个或更多HVDC转换器在DC侧交换电力。如所需要地,每个HVDC转换器在交换电力的同时,作为源或蓄能库(sink)以维持网络的整个输入-输出的电力平衡。

[0004] US 3,970,898公开一种用于自动地隔离供电网络的电力线路故障部分的方法和设备。随着出现过电流,电力线路被适配为连接到至少一个能量来源并且由开关暂时地被分割为几部分,并且将电力线路的正常运行部分自动地重新连接到至少一个能量来源。从过电流通过之后自动断开的至少一个开关的位置传输信号。通过电力线路非故障部分将信号传输到至少一个其他开关(通过该开关至少部分过电流传递到现在已经断开的开关,并且该开关也是自动断开的)。信号的接收对于闭合其他开关来说是基本的要求。

发明内容

[0005] 根据本发明的方面,提供一种用于DC电力网故障排除的方法,其中所述DC电力网包括:多个DC端子;多个DC输电介质,用以互连所述多个DC端子;以及多个DC电路中断设备站,每个DC电路中断设备站与所述多个DC输电介质的相应一个和所述多个DC端子的相应一个相关联,每个DC电路中断设备站包括DC电路中断设备,以选择性地中断在所关联的输电介质中的电流流动,所述方法包括以下步骤:

[0006] (i) 检测发生在所述多个DC输电介质中的一个或多个故障;

[0007] (ii) 在检测到所述或每个故障之后,断开所有的所述DC电路中断设备以中断在所述多个DC输电介质中的电流流动;

[0008] (iii) 测量每个DC输电介质的电特性;

[0009] (iv) 基于所测量到的所述多个DC输电介质的电特性,识别所述或每个故障所在的所述或每个故障DC输电介质;以及

[0010] (v) 在识别所述或每个故障所在的所述或每个故障DC输电介质之后,禁止闭合与所述或每个故障所在的所述或每个故障DC输电介质相关联的所述或每个DC电路中断设备,并且闭合与所述或每个故障所不在的所述或每个非故障DC输电介质相关联的所述或每个DC电路中断设备,

[0011] 其特征在于测量每个DC输电介质的电特性的步骤包括测量从由如下构成的组中选择的一个或多个电特性:

[0012] 每个DC输电介质的残留DC电压电平;

[0013] 每个DC输电介质的电压振荡频率；

[0014] 在多个DC输电介质中故障电流大小和方向中的差别。

[0015] 对于本说明书而言，断开电路中断设备指的是使用电路中断设备来断开已闭合电路以中断该电路中的电流流动，同时闭合电路中断设备指的是使用电路中断设备来闭合已断开的电路以允许电路中的电流流动。

[0016] DC电路中断设备可以是能够中断DC电路中的直流电流流动的任意设备。这种DC电路中断设备可以是DC电路断路器，但不限于此。

[0017] DC输电介质可以是能够在两个或更多DC端子之间传输电功率的任意介质。这种介质可以是水下DC输电电缆、架空DC输电线路或电缆以及地下DC输电电缆，但不限于此。

[0018] 发生在多个DC输电介质中的一个或多个故障的发生可以导致流过DC电力网的一个或多个故障电流。故障可以例如是在DC输电电缆两端具有低阻抗的短路形式。由于绝缘的损坏或击穿、雷击、导体的移动或其他由于外部物体导致的导体之间的意外桥接，可能发生上述情况。

[0019] 在每个DC电路中断设备站处可以局部地执行所述或每个故障的检测，以能够快速检测相关联的DC输电介质中的故障。例如，通过使用检测在多个DC输电介质中发生的故障的步骤包括执行相关联的DC输电介质的电流和/或电压特性的直接或导数测量的方法的实施例，可以实现这种快速检测。

[0020] 优选地，每个DC电路中断设备站包括故障检测装置，以检测在相关联的DC输电介质中的一个或多个故障，其中每个DC电路中断设备站以响应由相应的DC电路中断设备站的故障检测装置检测到多个DC输电介质中的所述或每个故障。

[0021] 当在直接连接到DC电路中断设备的电路中检测到故障时，DC电路中断设备通常被设计为按照命令断开，即跳闸。

[0022] DC电力网的低阻抗性质导致DC电力网的所有DC端子受发生在多个DC输电介质中的所述或每个故障影响。这使得在每个DC电路中断设备站处均局部地检测到所述或每个故障。在根据本发明的方法中，这会自动地使每个DC电路中断设备跳闸。

[0023] 当检测到发生在多个DC输电介质中的所述或故障时断开所有的DC电路中断设备，这样能够快速中断DC电力网中的所述或每个故障电流，同时所述或每个故障电流仍然在每个DC电路中断设备的电流中断能力内。这防止所述或每个故障电流水平的上升到超过每个DC电路中断设备的电流中断能力。在故障电流超过DC电路中断设备的电流中断能力的情况下，则无法断开DC电路中断设备。

[0024] 图1示出在DC电力网中电流的相对大小。可以看出在DC电力网故障期间，具有1.0单位电流的正常运行值的DC输电介质电流在5ms内可以超过具有6.0单位额定电流的典型DC电路断路器的电流中断能力，并且在10ms内可以达到10.0单位电流的DC转换器故障电流并且在50ms内可以达到数倍于DC转换器故障电流的DC电力网故障电流。因此，为了确保DC电力网中电流流动的成功中断，有必要立即断开所有的DC电路中断设备。

[0025] 在检测到所述或每个故障之后断开所有的DC电路中断设备的步骤的优点还在于：这个步骤消除了操作AC电路断路器来中断DC电力网中电流流动的需要，操作AC电路断路器会不利地影响通过DC电力网的完整输电能力的持续时间。这是因为在很多传统的转换器拓扑中，使用二极管形成部分电力晶体管以用于电力电子开关中，导致通过转换器的固有传

导路径。因此,在DC电力网中故障的情况下,放电电流可以经由DC电力网通过导电路径从AC电力网流向故障处。放电电流的流动意味着不能断开电路隔离开关以隔离DC电力网的故障部分直到放电电流的大小已经下降到电路隔离开关的电流中断能力之下。因此,在使用电路隔离开关以断开DC电力网的故障部分并且然后给DC电力网的剩余部分重新供给能量之前,有必要首先使连接到DC电力网的所有转换器的AC电路断路器跳闸,以将转换器从相关联的AC网络隔离。但是,从相关联的AC网络隔离转换器并且然后重新闭合AC电路断路器以重新连接转换器将花费一段有限的时间。通常地,AC电路断路器能够快速跳闸但是花费三倍或四倍长的时间以重新关闭。

[0026] 在断开所有的DC电路中断设备之后,执行对所述或每个故障所在的所述或每个故障DC输电介质的识别。这是可能的,因为每个故障DC输电介质将承受低阻抗并且通常具有平均地零残留DC电压电平。同时,由于存在陷阱电荷,所以每个非故障DC输电介质将具有非零残留DC电压电平。很容易测量故障和非故障DC输电介质的电特性方面的这种差别,以提供信息使得直截了当地识别所述或每个故障DC输电介质。

[0027] 在每个DC电路中断设备站处可以局部地测量每个DC输电介质的电特性,而无需不同电路中断设备站之间或与中央控制站的通信,由此导致所述或每个故障DC输电介质的简单和快速识别。其优势在于最小化DC电力网中零功率传输的时间量,最小化DC电力网终端用户的不便。

[0028] 在断开所有的DC电路中断设备之后,可以以多种不同的方式执行测量每个DC输电介质的电特性的步骤。

[0029] 测量每个DC输电介质的电特性的步骤可以包括测量每个DC输电介质的残留DC电压电平。

[0030] 测量每个DC输电介质的电特性的步骤可以包括测量每个DC输电介质的电压振荡频率。

[0031] 以这种方式测量每个DC输电介质的电压特性允许识别所述或每个故障DC输电介质。

[0032] 测量每个DC输电介质的电特性的步骤可以包括测量在多个DC输电介质中故障电流大小和方向中的差别。

[0033] 在这种实施例中,基于测量到的多个DC输电介质的电特性,识别所述或每个故障所在的所述或每个故障DC输电介质的步骤可以包括在不同的DC电路中断设备站之间通信信息,该信息包括在多个DC输电介质中故障电流大小和方向中的差别。

[0034] 在其他这种实施例中,其中,DC电力网还包括控制站,以与多个DC电路中断设备站通信,基于测量到的多个DC输电介质的电特性,识别所述或每个故障所在的所述或每个故障DC输电介质的步骤可以包括在每个DC电路中断设备站与控制站之间通信信息,该信息包括在多个DC输电介质中故障电流大小和方向中的差别。

[0035] 测量多个DC输电介质中故障电流大小和方向中的差别还允许识别所述或每个故障DC输电介质。

[0036] 基于测量到的多个DC输电介质的电特性,识别所述或每个故障所在的所述或每个故障DC输电介质的步骤可以包括确定所述或每个故障DC输电介质内所述或每个故障的位置。

[0037] 测量每个DC输电介质的电压特性可以允许识别所述或每个故障DC输电介质内故障的位置。

[0038] 一旦识别出所述或每个故障输电介质,与所述或每个故障DC输电介质相关联的所述或每个DC电路中断设备被禁止闭合,以防止在DC电力网内所述或每个故障电流流动,同时通过闭合所述或每个相应的DC电路中断设备来恢复所述或每个非故障DC输电介质的正常运行。

[0039] 在识别出所述或每个故障DC输电介质之后,可以以多种不同的方式操作DC电力网以执行禁止闭合和断开每个DC电路中断设备的步骤。

[0040] 在本发明的实施例中,其中,DC电力网还包括控制站,以与多个DC电路中断设备站通信,闭合与所述或每个故障所不在的所述或每个非故障DC输电介质相关联的所述或每个DC电路中断设备的步骤可以包括将来自控制站的控制信号发送至与所述或每个非故障DC输电介质相关联的所述或每个DC电路中断设备站,以启动闭合所述或每个相应的DC电路中断设备。

[0041] 在本发明的其他实施例中,闭合与所述或每个故障所不在的所述或每个非故障DC输电介质相关联的所述或每个DC电路中断设备的步骤包括在断开所有DC电路中断设备之后的预定时延之后闭合与所述或每个非故障DC输电介质相关联的所述或每个DC电路中断设备。

[0042] 在预定时延之后,当每个DC电路中断设备自动闭合时,有必要主动地禁止与所述或每个故障DC输电介质相关联的所述或每个DC电路中断设备。

[0043] 使用在相应的DC电路中断设备站处的局部控制,可以实现主动禁止闭合与所述或每个故障DC输电介质相关联的所述或每个DC电路中断设备。可选地,其中DC电力网还包括控制站,以与多个DC电路中断设备站通信,禁止闭合与所述或每个故障所在的所述或每个故障DC输电介质相关联的所述或每个DC电路中断设备的步骤可以包括:将来自控制站的控制信号发送至与所述或每个故障DC输电介质相关联的所述或每个DC电路中断设备站以禁止闭合所述或每个相应的DC电路中断设备。

[0044] 因此,根据参照本发明的方法操作DC电力网实现具有最小离线时间的可靠和稳定的DC电力网。这是因为该方法使得在DC电力网中的所述或每个故障能够从其余的DC电力网快速隔离和分离,以便允许其余的DC电力网恢复正常运行。

附图说明

[0045] 现在将通过非限制示例,参照附图描述本发明的优选实施例,其中:

[0046] 图1示出DC电力网中电流的相对大小;

[0047] 图2以示意图形式示出四个DC端子的DC电力网的示例;

[0048] 图3示出当在一个DC输电线的中心处发生极-对-极故障时,形成图2的DC电力网的一部分的多个DC输电线的电压特性的曲线图;

[0049] 图4示出图3所示的曲线图的特写;

[0050] 图5示出当在一个DC输电线的一端处发生极-对-极故障时,形成图2的DC电力网的一部分的多个DC输电线的电压特性的曲线图;以及

[0051] 图6以示意图形式示出包括控制站的四个DC端子的DC电力网的另一个示例。

具体实施方式

[0052] 参照图2至图5,根据本发明的实施例的用于DC电力网10的故障排除的方法描述如下。

[0053] DC电力网10包括四个端子12a、12b、12c、12d和四个DC输电线14a、14b、14c、14d。每个DC端子12a、12b、12c、12d连接到电力转换器16a、16b、16c、16d,同时四个DC输电线14a、14b、14c、14d布置为与DC端子互连,如下所示。

[0054] 第一DC输电线14a的第一端连接到第一DC端子12a,同时第一DC输电线14a的第二端连接到第二DC端子12b。

[0055] 第二DC输电线14b的第一端连接到第二DC端子12b,同时第二DC输电线14b的第二端连接到第三DC端子12c。

[0056] 第三DC输电线14c的第一端连接到第三DC端子12c,同时第三DC输电线14c的第二端连接到第四DC端子12d。

[0057] 第四DC输电线14d的第一端连接到第四DC端子12d,同时第四DC输电线14d的第二端连接到第一DC端子12a。

[0058] 用以互连四个DC端子12a、12b、12c、12d的DC输电线14a、14b、14c、14d的使用允许DC电力网10的不同DC端子12a、12b、12c、12d之间的电力转移。

[0059] DC电力网10还包括多个DC电路断路器站18。每个DC电路断路器站18包括在相应的一个DC端子12a、12b、12c、12d与相应的一个DC输电线14a、14b、14c、14d的一端之间连接的DC电路断路器20,使得一对DC电路断路器20位于每个DC输电线14a、14b、14c、14d的相对立的两端处。

[0060] 可以设想,在其他实施例中,每个DC电路断路器20可以被替换为另一类型的电路中断设备。

[0061] 以这种方式配置的DC电力网10允许每个DC电路断路器20选择性地中断在相应的DC输电线14a、14b、14c、14d中的电流流动,即每个DC电路断路器20被控制为或中断或允许在相应的DC输电线14a、14b、14c、14d中的电流流动。

[0062] DC电力网10还包括多个DC电抗器22。每个DC电抗器22连接在相应的一个DC电路断路器20与相应的一个DC输电线14a、14b、14c、14d的一端之间,使得一对DC电抗器22位于每个DC输电线14a、14b、14c、14d的相对立的两端处。

[0063] DC电抗器22的用途是限制在相应的DC输电线14a、14b、14c、14d中直流电流动的变化率。

[0064] 在DC电力网10的其他布置中,应设想到可以省略DC电抗器22。

[0065] 每个DC电路断路器站18还包括故障检测装置(未示出),以局部地执行相应的DC输电线14a、14b、14c、14d的电流和电压特性的直接测量或导数测量(derivative measurement)。当故障导致被测量的电流和电压特性落在他们的正常运行范围之外时,这允许迅速检测到发生在相应的DC输电线14a、14b、14c、14d中的故障。当由相应的DC电路断路器站18的故障检测装置检测到故障时,每个DC电路断路器20跳闸。

[0066] 每个电力转换器16a、16b、16c、16d还经由相应的AC电路断路器26连接到相应的AC网络24。

[0067] 使用PSCAD®/EMTDC™仿真软件执行在极-对-极故障期间DC电力网10的故障运行的仿真。

[0068] 在第一个仿真中,发起极-对-极故障使得其发生在第四DC输电线14d的中心处。

[0069] 如上所述,DC电力网10的低阻抗性质导致DC电力网10的所有DC端子12a、12b、12c、12d受施加到第四DC输电线14d的极-对-极故障影响。这进而允许每个DC电路断路器站18的故障检测装置局部地检测极-对-极故障的发生,并且从而使所有的DC电路断路器20自动跳闸。

[0070] 如上所述,在检测到故障之后断开所有的DC电路断路器20防止最终的故障电流上升至超过每个DC电路断路器20的电流中断能力的水平。这进而防止DC电力网10受到不能被中断的高故障电流的影响。

[0071] 图3所示的曲线图示出在第一个仿真中发生极-对-极故障之前和之后由每个DC电路断路器站18的故障检测装置所测量的每个DC输电线14a、14b、14c、14d的电压特性 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 。

[0072] 在发生极-对-极故障之后,可以发现在第一DC输电线14a、第二DC输电线14b和第三DC输电线14c中的DC电压电平 V_1 、 V_2 、 V_3 保持接近于它们的正常运行电压电平。这是在每个第一DC输电线14a、第二DC输电线14b和第三DC输电线14c中存在由于陷阱电荷(trapped charge)导致的非零残留DC电压。

[0073] 相反地,在发生极-对-极故障之后,可以发现在第四DC输电线14d中的电压电平 V_4 具有以带有大量AC电压分量的名义(nominally)零DC电压形式的零残留DC电压。

[0074] 在第四DC输电线14d与其他DC输电线14a、14b、14c之间的电压特性 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 中的重要差别意味着可以直截了当地识别第四DC输电线14d为极-对-极故障所在的故障DC输电线。图4示出在电压振荡频率的一个周期内此差别是明显的。由此,能够快速识别故障DC输电线。

[0075] 一旦识别出故障DC输电线,连接到第四DC输电线14d的DC电路断路器20被禁止重新闭合,同时连接到第一DC输电线14a、第二DC输电线14b和第三DC输电线14c的DC电路断路器20被闭合。因此,这使得第一DC输电线14a、第二DC输电线14b和第三DC输电线14c恢复正常运行,同时第四输电线14d保持离线以允许修理或去除极-对-极故障。

[0076] 在第二个仿真中,发起极-对-极故障使得其发生在第四DC输电线14d的第一端处。

[0077] 图5所示的曲线图示出在第二个仿真中发生极-对-极故障之前和之后由每个DC电路断路器站18的故障检测装置所测量的每个DC输电线14a、14b、14c、14d的电压特性 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 。

[0078] 在发生极-对-极故障之后,可以发现在第一DC输电线14a、第二DC输电线14b和第三DC输电线14c中的DC电压电平 V_1 、 V_2 、 V_3 保持接近于它们的正常运行电压电平。如上所述,这是在每个第一DC输电线14a、第二DC输电线14b和第三DC输电线14c中存在由于受陷阱电荷导致的非零残留DC电压。

[0079] 相反地,在发生极-对-极故障之后,DC电路断路器站18的故障检测装置测量在第四DC输电线14d的第二端处的电压 V_4 为以具有大量AC电压分量的名义零DC电压形式的零残留DC电压 V_{42} 。同时,DC电路断路器站18的故障检测装置测量在第四DC输电线14d的第一端处的电压 V_4 为无AC电压分量的零残留DC电压 V_{41} 。

[0080] 从第四DC输电线14d与其他DC输电线14a、14b、14c之间的电压特性 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 中的重要差别显而易见地,可以直截了当地识别第四DC输电线14d为极-对-极故障所在的故障DC输电线。另外,在第四DC输电线14d的第一端和第二端处测量的电压 V_{41} 、 V_{42} 之间电压振荡频率方面的差别意味着可以直截了当地确定极-对-极故障位于第四DC输电线14d的第一端处。

[0081] 使用根据本发明的故障保护的方法,不仅允许快速和准确地识别故障所在的故障输电线,还能识别故障DC输电线内故障的具体位置。

[0082] 可以设想测量到的DC输电线14a、14b、14c、14d的电压特性可以被用来确定位于故障DC输电线内任何位置处的故障位置。

[0083] 参照图6,根据本发明的第二实施例的用于电力网110的故障清除的方法描述如下。

[0084] 图6的DC电力网110与图2的DC电力网10在结构和操作上类似,并且相似的特性使用相同的附图标记。图6的DC电力网110与图2的DC电力网10的不同之处在于图6的DC电力网110还包括控制站30以与每个DC电路断路器站18通信。

[0085] 根据本发明的第二个实施例的方法与根据本发明的第一个实施例的方法类似,不同的是,在第二个方法中通过测量在DC电力网110中流动的故障电流的大小和方向,而不是测量每个DC输电线14a、14b、14c、14d的电压特性来识别在图6的DC电力网110中的故障DC输电介质。

[0086] 在极-对-极故障发生在第四DC输电线14a中的事件中,每个DC电路断路器站18的故障检测装置不仅检测极-对-极故障,还测量流过相应的DC输电线14a、14b、14c、14d的故障电流的大小和方向。

[0087] 在第四DC输电线14a中发生极-对-极故障的情况下,每个DC电路断路器站18的故障检测装置不仅检测极-对-极故障,还测量流过相应的DC输电线14a、14b、14c、14d的故障电流的大小和方向。

[0088] 在发生极-对-极故障期间,第四DC输电线14d的两端都有故障电流的流入。同时,每个第一DC输电线14a、第二DC输电线14b和第三DC输电线14c的一端将有故障电流的流入,同时每个第一DC输电线14a、第二DC输电线14b和第三DC输电线14c的另一端将有故障电流的流出。

[0089] 随着检测到极-对-极故障,在断开所有的DC电路断路器20之后,每个DC电路断路器站18经由控制站30与其他DC电路断路器站18通信信息。所通信的信息包括较早测量的在DC输电线14a、14b、14c、14d中流动的故障电流的大小和方向。

[0090] 在第四DC输电线14d和其他DC输电线14a、14b、14c中故障电流大小和方向方面的差别允许将第四DC输电线14d识别为极-对-极故障所在的故障DC输电线。

[0091] 一旦识别出故障DC输电线,连接到第四输电线14d的DC电路断路器20被禁止重新闭合,同时连接到第一DC输电线14a、第二DC输电线14b和第三DC输电线14c的DC电路断路器20被闭合。因此,这使得第一DC输电线14a、第二DC输电线14b和第三DC输电线14c恢复正常运行,同时第四输电线14d保持离线以允许修理或去除极-对-极故障。

[0092] 在本发明的其他实施例中,应设想到DC电力网110可以省略控制站30,并且在断开所有的DC电路断路器20之后,每个DC电路断路器站18可以与其他DC电路断路器站18直接通

信信息。

[0093] 因此,使用根据本发明的第一和/或第二方法实现了可靠和稳定的DC电力网10、110。

[0094] 可以设想,在其他实施例中,可以结合第一方法和第二方法来清除DC电力网中一个或多个故障。

[0095] 可以理解地是,根据本发明的方法适用于具有不同数量的DC端子和用以互连DC端子的DC输电线的不同布置的DC电力网。这种DC电力网可以是网格状连接(mesh-connected)的DC电力网或辐射状连接(radial-connected)的DC电力网,但不限于此。

[0096] 参照分别如图2和图6所示的DC电力网10、110如上描述的实施例以使用DC输电线14a、14b、14c、14d为例。可以设想,在其他实施例中,该方法可以被用在诸如包括其他DC输电介质(例如水下DC输电电缆、架空DC输电线路或电缆以及地下DC输电电缆)的DC电力网中。

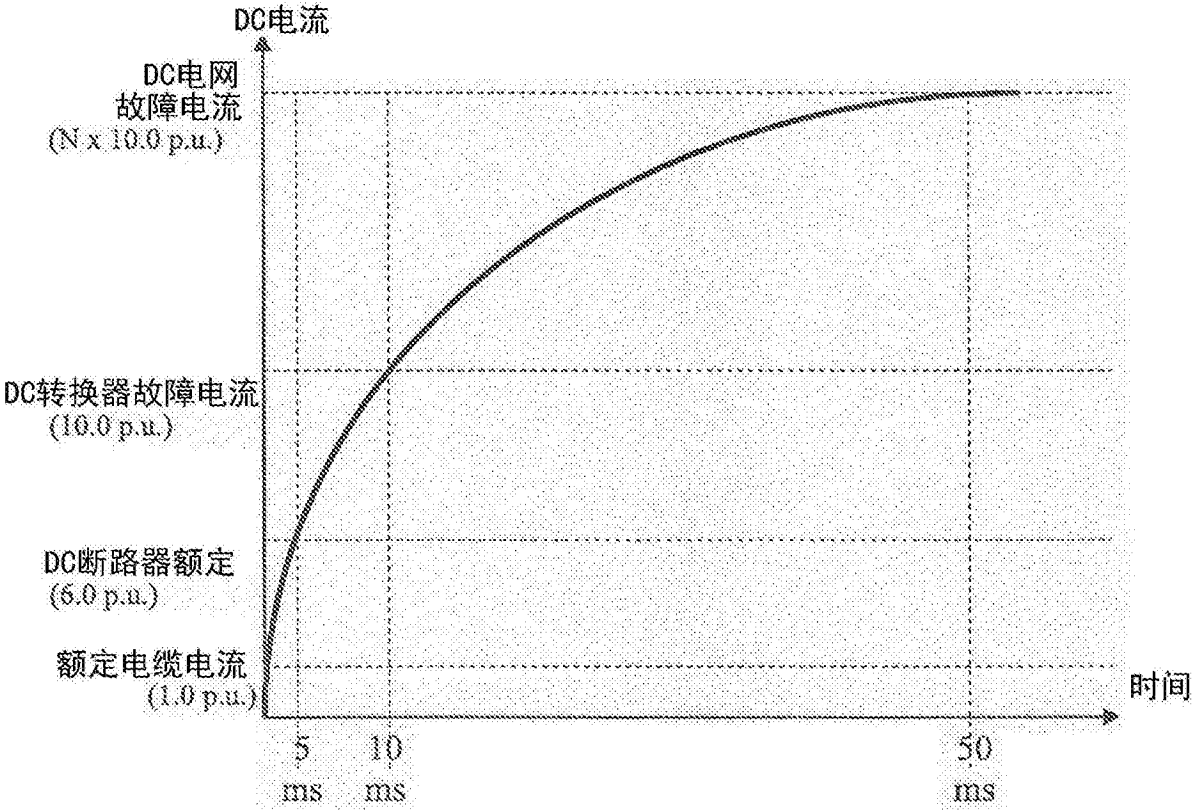


图1

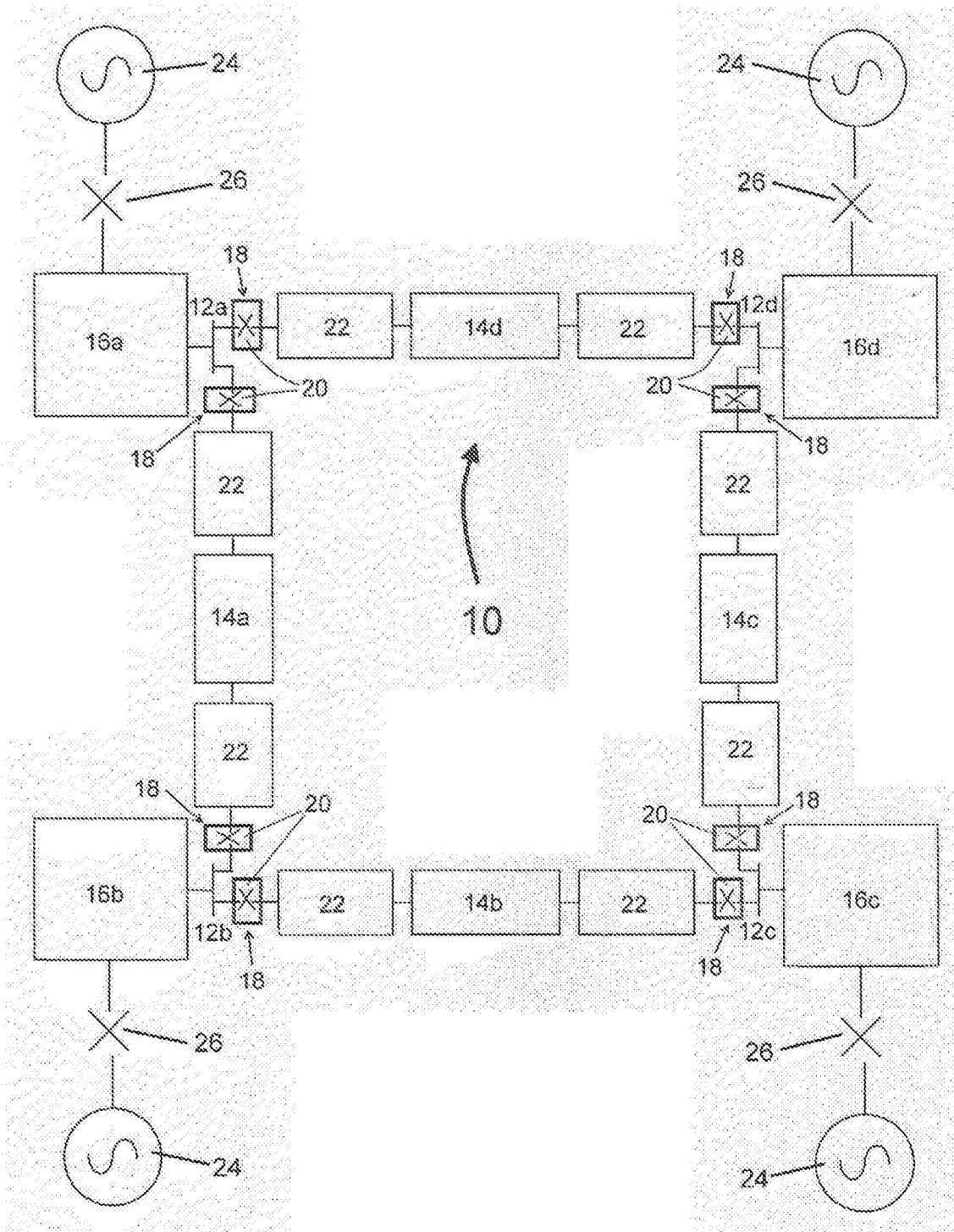


图2

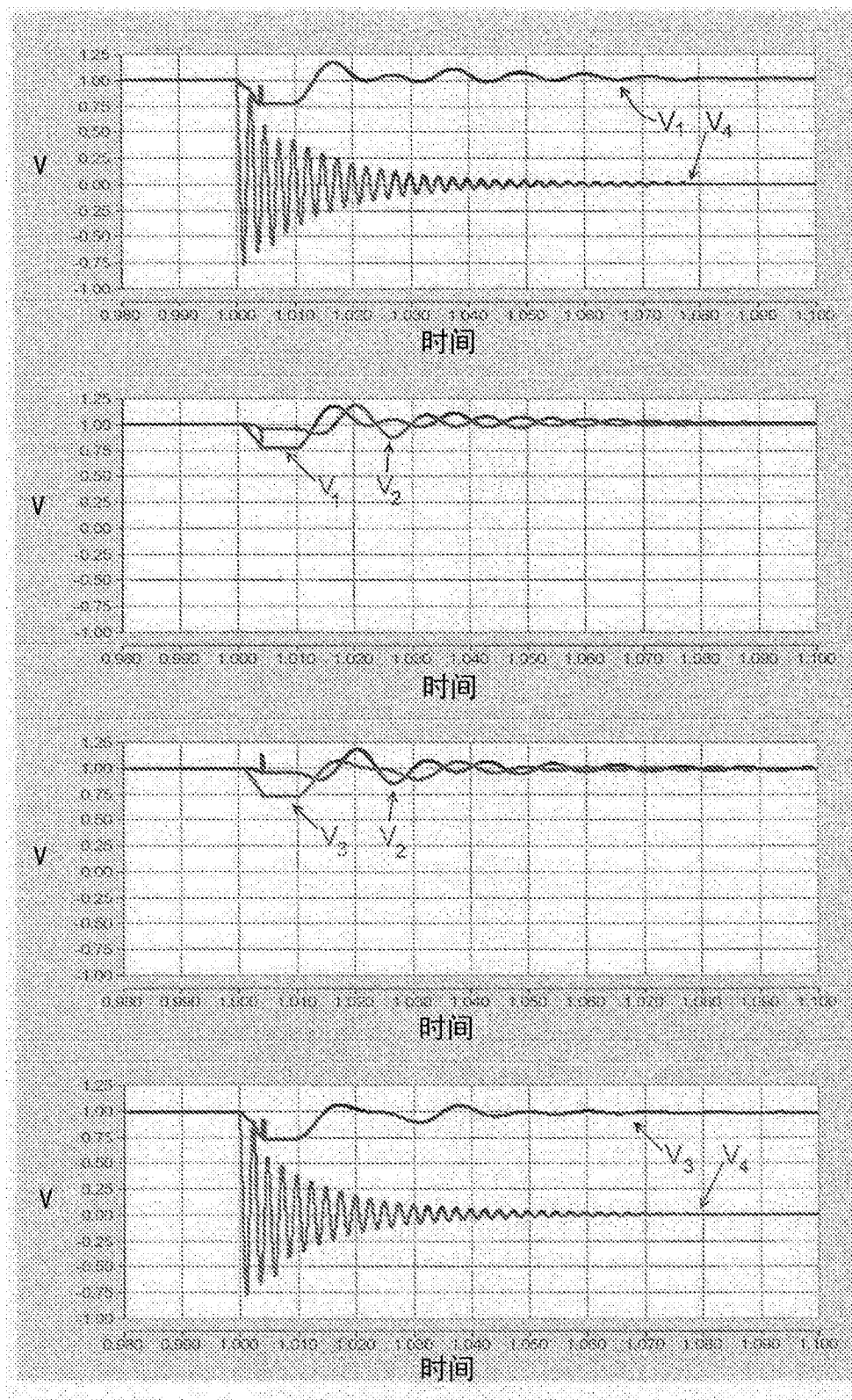


图3

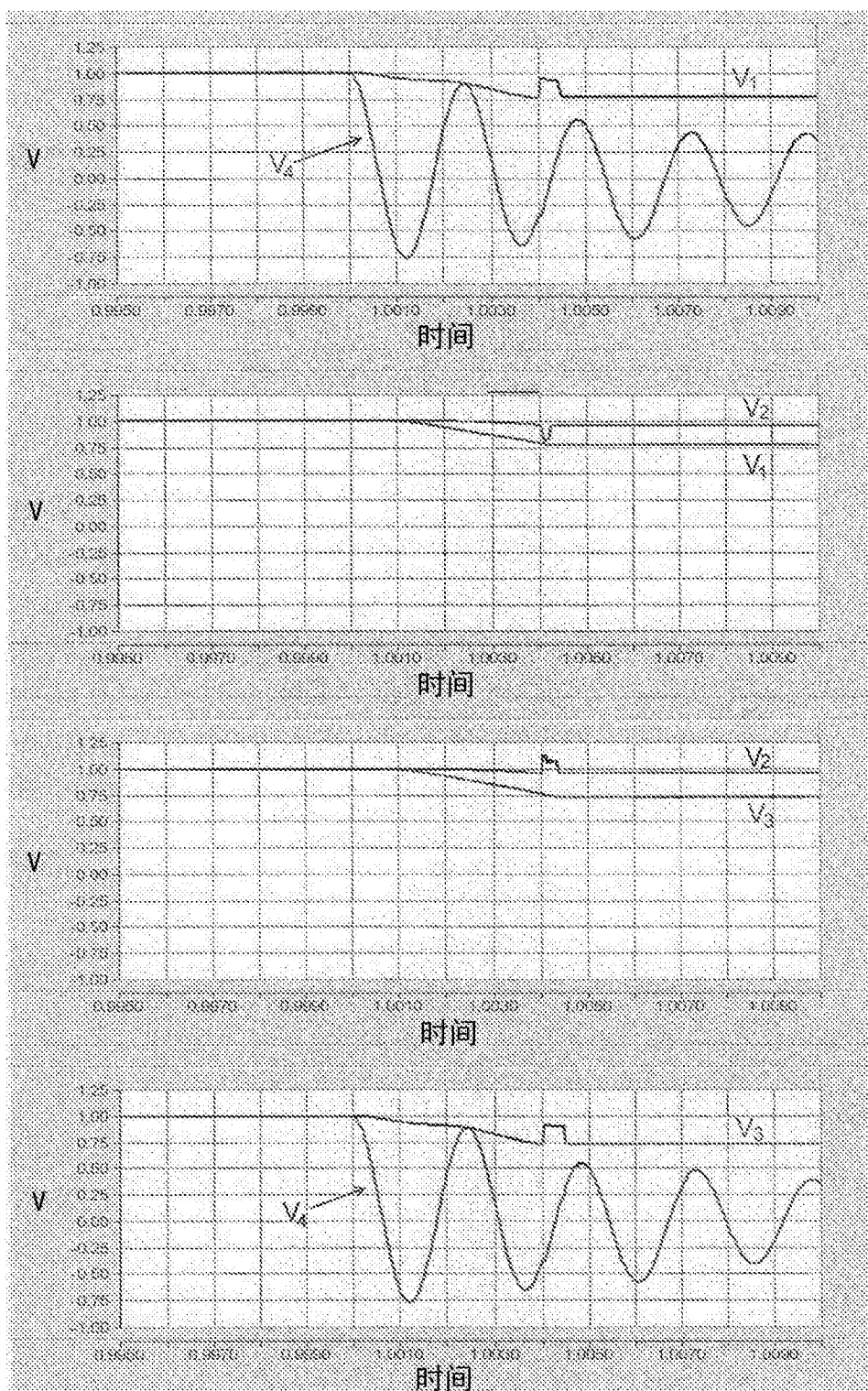


图4

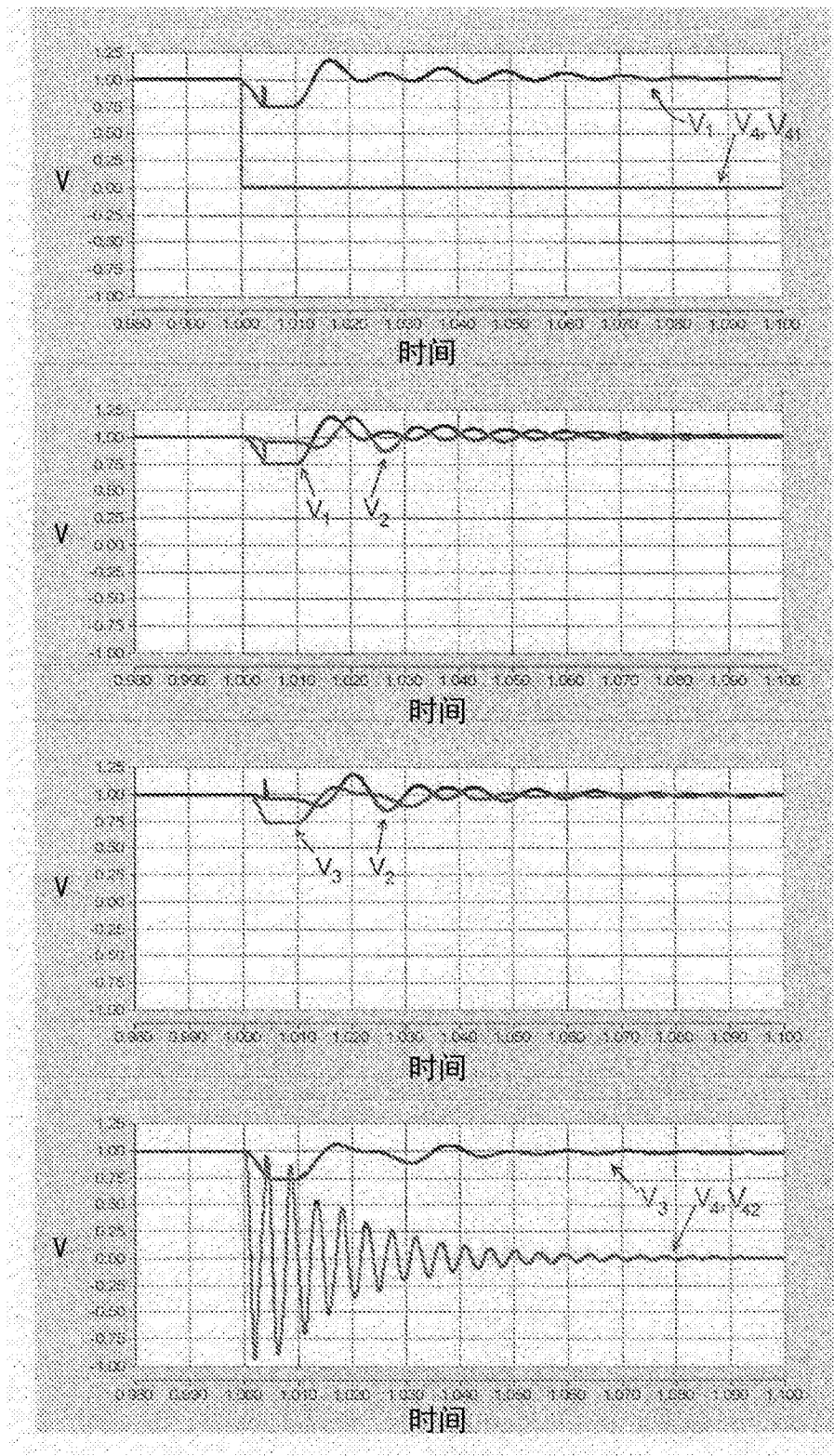


图5

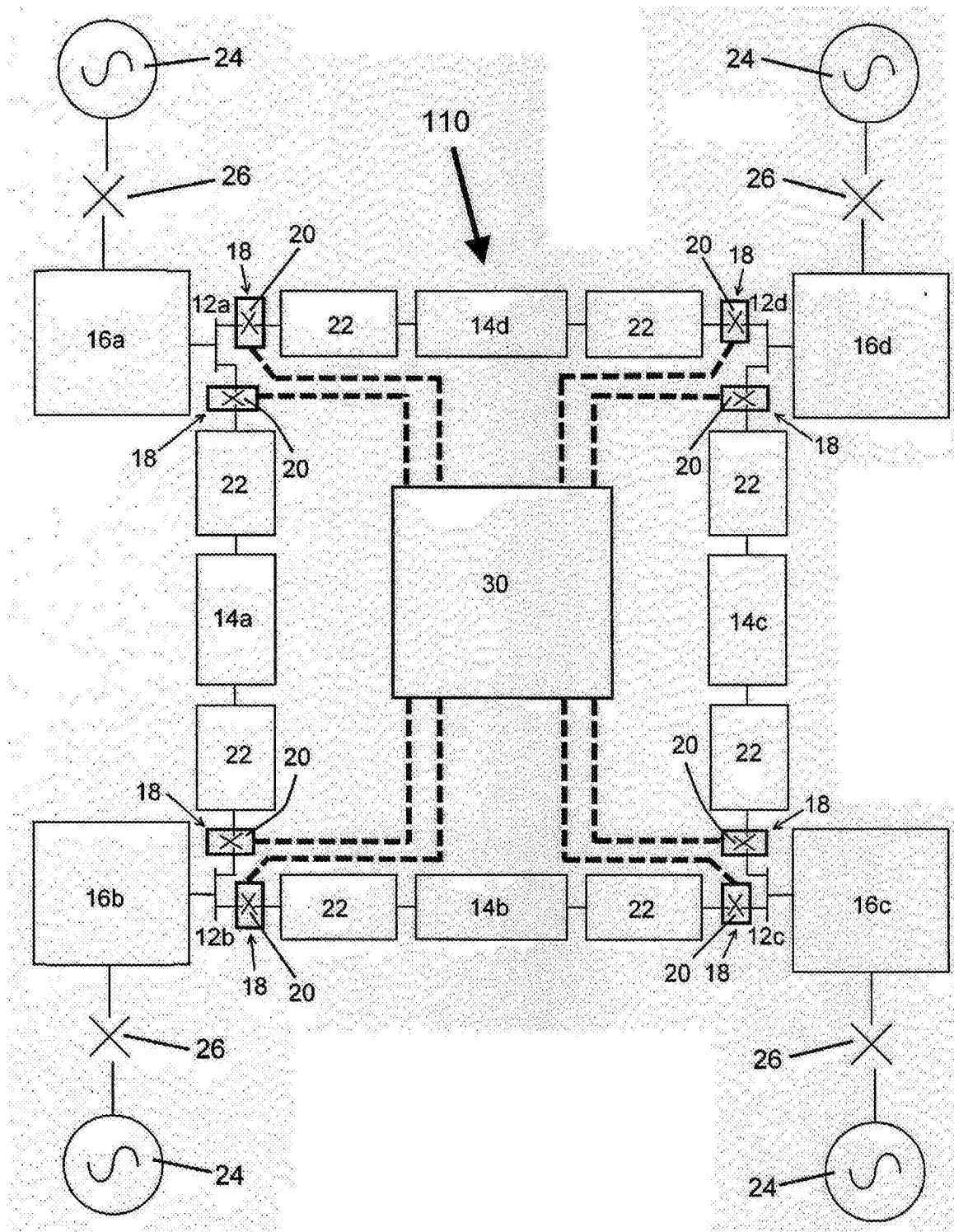


图6