



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107210604 B

(45)授权公告日 2020.03.03

(21)申请号 201580074879.7

G·维洛特 T·琼森 S·奥迪

(22)申请日 2015.01.30

J·约瑟夫森

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107210604 A

(74)专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

(43)申请公布日 2017.09.26

代理人 李辉

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2017.07.28

(51)Int.Cl.

H02J 1/10(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2015/051928 2015.01.30

(56)对比文件

WO 2014117813 A1,2014.08.07,

JP 2014021088 A,2014.02.03,

(87)PCT国际申请的公布数据

W02016/119875 EN 2016.08.04

审查员 蔡莹莹

(73)专利权人 ABB瑞士股份有限公司

地址 瑞士巴登

(72)发明人 R·玛朱姆德 B·伯格伦

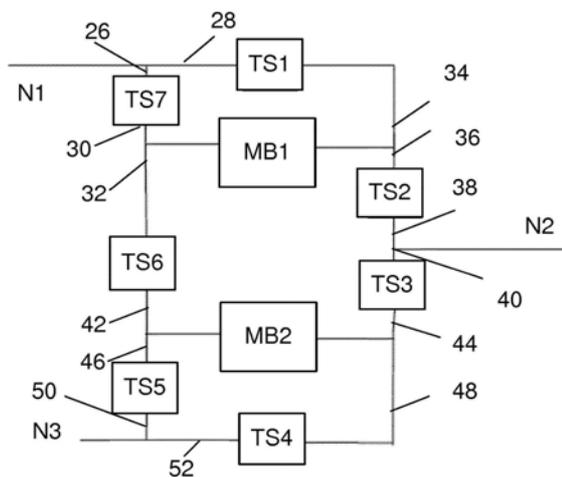
权利要求书1页 说明书11页 附图8页

(54)发明名称

用于互连直流电力网络的可缩放开关站

(57)摘要

本发明涉及用于互连直流电力网络(N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>、N<sub>3</sub>)的开关站和包括这种开关站的直流输电系统。开关站包括多个互连的实体,该多个互连的实体包括:至少两个主断路器(MB<sub>1</sub>、MB<sub>2</sub>);和多个转接开关(TS<sub>1</sub>、TS<sub>2</sub>、TS<sub>3</sub>、TS<sub>4</sub>、TS<sub>5</sub>、TS<sub>6</sub>、TS<sub>7</sub>),其中,每个网络具有到开关站的两个连接,至少一个连接经由转接开关(TS<sub>1</sub>、TS<sub>2</sub>、TS<sub>3</sub>、TS<sub>4</sub>、TS<sub>5</sub>、TS<sub>7</sub>),每个主断路器具有开关站中的四个连接,主断路器的每端有两个,并且至少一个连接经由转接开关(TS<sub>1</sub>、TS<sub>2</sub>、TS<sub>3</sub>、TS<sub>4</sub>、TS<sub>5</sub>),并且每个网络经由通过至少一个主断路器的对应路径而且经由旁通所有主断路器的对应路径与所有其它网络接合。



1. 一种用于互连至少三个直流电力网络 ( $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ ； $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ 、 $N_4$ ) 的开关站 (10)，所述开关站包括多个互连的实体，所述多个互连的实体包括：

至少两个主断路器 ( $MB_1$ 、 $MB_2$ )；和

多个转接开关 ( $TS_1$ 、 $TS_2$ 、 $TS_3$ 、 $TS_4$ 、 $TS_5$ 、 $TS_6$ 、 $TS_7$ 、 $TS_8$ )，其中：

每个网络具有到所述开关站的两个连接，每个连接经由转接开关 ( $TS_{1\_N}$ 、 $TS_{2\_N}$ ) 来提供，

每个主断路器具有在所述开关站中的四个连接：所述主断路器的每端有两个连接，每个连接经由转接开关 ( $TS_{3\_MB}$ 、 $TS_{4\_MB}$ 、 $TS_{5\_MB}$ 、 $TS_{6\_MB}$ ) 来提供，并且

每个网络经由通过至少一个主断路器的对应路径而且经由旁通所有主断路器的对应路径与所有其它网络接合，由此：

每个主断路器经由两个网络互连转接开关而连接在两个网络之间，所述主断路器的每侧上有一个所述网络互连转接开关，其中，存在与所述主断路器并联的至少一个旁路，所述旁路包括旁路转接开关，并且连接在所述两个网络互连转接开关之间，并且

在两个主断路器之间存在至少一个断路器互连支路，并且所述至少一个断路器互连支路包括断路器互连转接开关；并且

其中所述两个网络互连转接开关和所述旁路转接开关从所述多个转接开关形成。

2. 根据权利要求1所述的开关站，其中，每个网络仅具有到所述开关站的两个连接，并且每个主断路器仅具有在所述开关站中的四个连接。

3. 根据权利要求1或2所述的开关站，其中，一个实体的与另一个实体的连接接合的连接共享转接开关。

4. 根据权利要求1或2所述的开关站，其中，第一网络 ( $N_1$ ) 的第一连接 (26) 与在第一断路器的第一端处的、第一主断路器 ( $MB_1$ ) 的第一连接 (30) 接合。

5. 根据权利要求4所述的开关站，其中，所述第一主断路器 ( $MB_1$ ) 在所述第一端处的第二连接 (32) 与在第二主断路器 ( $MB_2$ ) 的第一端处的、所述第二主断路器的第一连接 (42) 接合。

6. 根据权利要求5所述的开关站，其中，所述第一网络 ( $N_1$ ) 的第二连接 (28) 与在所述第一断路器的第二端处的、所述第一主断路器的第三连接 (34) 接合。

7. 根据权利要求6所述的开关站，其中，所述第一主断路器在所述第二端处的第四连接 (36) 与第二网络 ( $N_2$ ) 的第一连接 (38) 接合。

8. 根据权利要求5所述的开关站，其中，第二网络 ( $N_2$ ) 的第一连接 (38) 与在所述第一断路器的第二端处的、所述第一主断路器的第三连接 (34) 接合，并且所述第一网络的第二连接 (28) 与所述第二网络的第二连接 (40) 接合。

9. 根据权利要求8所述的开关站，其中，所述第一主断路器在所述第二端处的第四连接 (36) 与在第二主断路器的第二端处的、所述第二主断路器 ( $MS_2$ ) 的第二连接 (44) 接合。

10. 一种直流输电系统，包括根据权利要求1-9中的任一项所述的开关站 (10)。

## 用于互连直流电力网络的可缩放开关站

### 技术领域

[0001] 本发明总体涉及直流输电。更具体地,本发明涉及用于互连至少三个直流电力网络的开关站和包括这种开关站的直流输电系统。

### 背景技术

[0002] 在直流输电系统中提供断路器长期以来由于DC电流中电流过零的缺乏而是严峻的挑战。

[0003] 解决该问题的一种方式是通过使用混合断路器。该断路器的一个示例是W02011/057675中所描述的混合断路器。该断路器包括至少一个主断路块,该至少一个主断路块包括具有多个串联连接的功率半导体开关的支路。与该支路并联地,存在非线性电阻器(诸如变阻器)。然后,主断路器可以由一系列这种主断路器块组成。与主断路器块并联地,存在超快机械切断器和负载换流开关的串联连接,该负载换流开关也由多个串联连接的功率半导体器件组成。超快机械切断器和负载换流开关一起组成转接开关。

[0004] 这一类型的混合断路器具有以下操作:

[0005] 当要断开断路器时,负载换流开关首先断开,这将电流换流给主断路器。其后,超快机械切断器断开,以便机械断开负载换流开关。最后,主断路器断开,这将电流换流到非线性电阻器中。然后还可能使用标准类型的或传统的切断器来机械分离混合断路器与DC系统。

[0006] 在W02011/057675中,每一个混合断路器包括这种转接开关,该转接开关由此具有引导电流通过主断路器的用途。

[0007] 在DC输电系统中,现今还感兴趣的是经由开关站 (switchyard) 互连多个DC网络。

[0008] 在该混合断路器的发展中,从混合断路器去除转接开关。当这么做时,可能将仅一个主断路器用于互连多个DC网络的开关站中,其中,多个转接开关用于引导电流通过该主断路器。W02013/068046中公开了将单个主断路器用于连接三个或四个DC网络的示例。

[0009] 该文献还公开了基于两个母线的使用的、两个主断路器在开关站中的使用。两个主断路器的提供看起来是为了在需要维护的情况下提供冗余而进行。

[0010] 然而,仍然存在提供使用多于一个主断路器和多个转接开关的开关站的改进的空间。更特别地,需要提供一种可容易缩放以将更多主断路器和更多DC网络连接添加到开关站的结构。

### 发明内容

[0011] 由此,本发明的一个目的是提供一种可容易缩放的开关站。

[0012] 根据本发明的第一方面,该目的由用于互连至少三个直流电力网络的开关站来实现,开关站包括多个互连的实体,该多个互连的实体包括:

[0013] 至少两个主断路器;和

[0014] 多个转接开关,其中:

- [0015] 每个网络具有到开关站的两个连接,至少一个连接经由转接开关来提供,
- [0016] 每个主断路器具有开关站中的四个连接,主断路器的每端有两个连接,至少一个连接经由转接开关来提供,并且
- [0017] 每个网络经由通过至少一个主断路器的对应路径而且经由旁通所有主断路器的对应路径与所有其他网络接合。
- [0018] 根据第二方面,该目的还由包括第一方面的开关站的直流输电系统来实现。
- [0019] 根据上述方面的本发明具有许多优点。本发明提供可容易缩放以便与更多网络和更多主断路器一起使用的灵活结构。

### 附图说明

- [0020] 现在将关于附图更详细地描述本发明,附图中:
- [0021] 图1示意性示出了经由开关站互连的三个DC网络;
- [0022] 图2示意性示出了转接开关;
- [0023] 图3示意性示出了传统切断器;
- [0024] 图4示出了包括多个主断路器块的主断路器;
- [0025] 图5示出了由连接在两个机械切断器之间的单个主断路器块组成的主断路器;
- [0026] 图6示意性示出了将DC网络连接到开关站的原理;
- [0027] 图7示出了将主断路器连接在开关站中的原理;
- [0028] 图8示出了连接到三个DC网络且包括两个主断路器的第一开关站配置的示例;
- [0029] 图9示出了连接到四个DC网络且也包括两个主断路器的第二开关站配置的示例;
- [0030] 图10示出了第三网络中的故障期间第一开关站配置的操作;
- [0031] 图11示出了针对相同故障的故障电流切断操作期间第一开关站配置的操作;
- [0032] 图12示出了隔离相同故障之后第一开关站配置的操作;
- [0033] 图13示出了第一网络中的故障期间第一开关站配置的操作;
- [0034] 图14示出了第二网络中的故障期间第一开关站配置的操作;
- [0035] 图15示出了在由主断路器进行的故障电流共享的情况下在第二网络中的故障期间第二开关站配置的操作;以及
- [0036] 图16示出了使用主断路器中的仅一个、在第二网络中的故障期间第二开关站配置的操作。

### 具体实施方式

[0037] 在以下描述中,为了说明而非限制的目的,阐述具体细节,诸如特定架构、接口、技术等,以便提供对本发明的透彻理解。然而,将对本领域技术人员显而易见的是,本发明可以在脱离这些具体细节的其他实施例中实践。在其他实例中,省略对周知设备、电路以及方法的详细描述,以便不会由于不必要的细节而使本发明的描述模糊。

[0038] 本发明涉及提供一种用于互连不同直流(DC)网络的开关站,其中,DC网络可以为DC传输线,该DC传输线连接到远程能量源或诸如转换成DC和从DC转换的转换器之类的能量源。

[0039] 图1示意性示出了包括经由开关站10互连的多个DC网络的DC输电系统。在附图中,

存在三个DC网络：第一网络 $N_1$ 、第二网络 $N_2$ 以及第三网络 $N_3$ 。如将从以下描述变得明显的，可以存在连接到开关站10的若干更多DC网络。

[0040] 开关站10被示出为具有三个DC网络端子，每个端子连接到对应的DC网络，以便将各种网络选择性地彼此连接和断开。为了这样做，开关站包括多个转接开关、主断路器和切断器。此外，各种DC网络可以连接在DC电网中。

[0041] 存在实现这些开关的不同可能的开关站结构（例如，单个断路器单个母线、双断路器双母线等）。此外，连接到开关站端子的各DC网络在故障电流的源方面的强度可以因DC网络的不同而不同。

[0042] 在下文中，开关站将基本上被描述为由断路器和转接开关组成，并且用于连接DC网络端子。在所有情况下暗示这些DC端子借助DC网络连接到转换器（诸如高电压直流（HVDC）站中的转换器）。开关站可以包括其他组件（诸如切断器）。为了聚焦于本发明的细节，将很少示出这些其他组件。然而，假定切断器被部署在必要地点处以用于隔离。

[0043] 图2示意性示出了一个例示转接开关TS。该转接开关包括与负载换流开关LCS串联的超快切断器UDIS。负载换流开关LCS有利地以多个串联连接的功率半导体器件（诸如功率晶体管）的形式来实现。它们比如可以被实现为绝缘栅双极型晶体管（IGBT）。此外，每个这种晶体管装配有反并联二极管（anti-parallel diode）。应认识到，存在可以用于负载换流开关的多个不同组件（诸如集成门极换流晶闸管（IGCT）、双模式绝缘栅晶体管（BIGT）等）。此外，超快切断器UDIS是被设置为在近零电流条件下实现电流隔离的机械切断器。如名称暗示的，快速获得该电流分离（在这种情况下这可以在1ms或几ms内（诸如2ms内））。

[0044] 图3示意性示出了一个例示传统切断器DIS。该切断器通常为被设置为机械中断其连接到的导体的传导路径的机械开关。传统切断器DIS还被设置为在零电流条件下获得电流隔离。然而，它远远慢于超快切断器。比如它可以在一秒或几秒内获得电流分离。

[0045] 由此，超快切断器显著快于传统切断器。作为示例，超快切断器可以比传统切断器快至少99倍。

[0046] 开关站还由主断路器组成。更具体地，开关站包括至少两个主断路器。

[0047] 图4示出了主断路器MB的一个示例。图4中的主断路器MB包括多个主断路器部分的串联连接。在该附图中，示出了第一部分18、第二部分20以及第n部分22。每个部分包括串联连接的功率半导体器件的串。在这种情况下，功率半导体器件还可以被实现为具有反并联二极管的功率晶体管（诸如具有反并联二极管的IGBT）。同样地，这里，存在可以用于主断路器中的多个不同组件（诸如IGCT、BIGT等）。

[0048] 在每个部分中，还存在与功率半导体组件的串并联连接的非线性电阻器，这种非线性电阻器有利地可以为变阻器（varistor）。

[0049] 如可以从上述内容看到的，相同类型的开关组件用于转接开关和主断路器中。这些组件之间的主要差异是：为了能够在阻断这些功率半导体器件时承受全系统电压，主断路器具有比转接开关多得多的串联连接的功率半导体器件。因为负载换流开关仅需要承受主断路器的正向电压降，所以负载换流开关中的功率半导体器件的数量可以显著更少。

[0050] 为了切断电流，转接开关连同主断路器一起操作。这通常通过以下来进行：首先断开转接开关TS的负载换流开关LCS，这将电流换流到关联的主断路器MB。其后，断开同一转接开关TS的超快机械切断器UDIS，以便机械断开负载换流开关LCS。最后，断开主断路器MB，

这将电流换流到非线性电阻器中。

[0051] 图5示意性示出了包括功率半导体器件的仅一个串24的主断路器的另一个版本,该串与电涌吸收器(surge arrester)(诸如变阻器25)并联连接。这里还示出了在主断路器的第一端处的第一切断器DIS<sub>1</sub>和在主断路器的第二端处的第二切断器DIS<sub>2</sub>。同样,这些切断器被提供用于获得主断路器与它连接到的导体的电流分离。可以这么做以便隔离主断路器。此外,同样地,这些切断器可以为传统切断器。

[0052] 图4和图5中的主断路器之间的另一个差异是:图5中的主断路器是单向的,而图4中的主断路器是双向的。这意味着图4中的主断路器能够切断电流,而不管通过它的电流方向,而图5中的主断路器仅能够切断一个方向上的电流。应认识到,这些类型中的任何类似可以用于开关站中。使用哪种类型可以取决于开关站要求。

[0053] 转接开关和主断路器是形成开关站的主要构建块。

[0054] DC网络以特定方式或根据特定连接原理连接到开关站。同样,主断路器以特定方式或根据特定连接原理连接到开关站。

[0055] 图6示出了如何将DC网络连接到开关站的原理,并且图7示出了如何将主断路器连接在开关站中的原理。

[0056] 如在图6中可以看到的,第一网络N<sub>1</sub>使用两个连接来连接到开关站,其中,每个连接经由对应的转接开关TS<sub>1\_N</sub>和TS<sub>2\_N</sub>来进行。由此,存在在网络N与开关站之间的包括一个转接开关TS<sub>1\_N</sub>的第一连接26、以及在网络N与开关站之间的包括另一个转接开关TS<sub>2\_N</sub>的第二连接28。

[0057] 如在图7中可以看到的,第一主断路器MB<sub>1</sub>经由四个连接(每端有两个)来连接在开关站中。由此,存在主断路器MB<sub>1</sub>的第一端处的第一连接30和第二连接32(每个连接包括对应的转接开关TS<sub>3\_MB</sub>和TS<sub>4\_MB</sub>)、以及主断路器MB<sub>1</sub>的第二端处的第三连接34和第四连接36(每个连接包括对应的转接开关TS<sub>5\_MB</sub>和TS<sub>6\_MB</sub>)。

[0058] 然后,上面公开的连接原理用于将多个网络连接到包括两个或更多主断路器的开关站。然而,当互连两个实体(DC网络或主断路器)时,那么共享这些连接的转接开关。互连两个连接的路径仅包括一个转接开关。由此,两个接合的连接共享转接开关。应该知道,还可能的是,每个这种连接经由一个或两个切断器(转接开关的每侧上一个)来进行。此外,还应该知道,每个主断路器可以如图5示出的连接在两个切断器之间。

[0059] 图8示出了具有两个主断路器、互连三个不同DC网络N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>以及N<sub>3</sub>的第一开关站配置的示例。

[0060] 可以看到,第一网络N<sub>1</sub>的第一连接26与第一主断路器MB<sub>1</sub>的第一端处的、第一主断路器MB<sub>1</sub>的第一连接30接合,而第一网络N<sub>1</sub>的第二连接28与第一主断路器MB<sub>1</sub>的第二端处的、第一主断路器MB<sub>1</sub>的第三连接34接合。

[0061] 此外,第一主断路器MB<sub>1</sub>的第一端处的、第一主断路器MB<sub>1</sub>的第二连接32与第二主断路器MB<sub>2</sub>的第一端处的、第二主断路器MB<sub>2</sub>的第一连接42接合,而第一主断路器MB<sub>1</sub>的第二端处的第四连接36与第二网络N<sub>2</sub>的第一连接38接合。

[0062] 还可以看到,第二主断路器MB<sub>2</sub>的第二端处的、第二主断路器MB<sub>2</sub>的第二连接44与第二网络N<sub>2</sub>的第二连接40接合,而第二主断路器MB<sub>2</sub>的第一端处的、第二主断路器MB<sub>2</sub>的第三连接46与第三网络N<sub>3</sub>的第一连接50接合。第二主断路器MB<sub>2</sub>的第二端处的、第二主断路器MB<sub>2</sub>的

第四连接48与第三网络N<sub>3</sub>的第二连接52接合。

[0063] 可以看到,在以该方式彼此接合的两个实体之间存在转接开关。由此,存在连接在第一网络N<sub>1</sub>的第二连接28与第一主断路器MB<sub>1</sub>的第三连接34之间的第一转接开关TS<sub>1</sub>、连接在第一主断路器MB<sub>1</sub>的第四连接36与第二网络N<sub>2</sub>的第一连接38之间的第二转接开关TS<sub>2</sub>、连接在第二网络N<sub>2</sub>的第二连接40与第二主断路器MB<sub>2</sub>的第二连接44之间的第三转接开关TS<sub>3</sub>、连接在第二主断路器MB<sub>2</sub>的第四连接48与第三网络N<sub>3</sub>的第二连接52之间的第四转接开关TS<sub>4</sub>、连接在第二主断路器MB<sub>2</sub>的第三连接46与第三网络N<sub>3</sub>的第一连接50之间的第五转接开关TS<sub>5</sub>、连接在第一主断路器MB<sub>1</sub>的第二连接32与第二主断路器MB<sub>2</sub>的第一连接42之间的第六转接开关TS<sub>6</sub>、以及最后的连接在第一网络N<sub>1</sub>的第一连接26与第一主断路器MB<sub>1</sub>的第一连接之间的第七转接开关TS<sub>7</sub>。

[0064] 图9示出了具有两个主断路器MB<sub>1</sub>和MB<sub>2</sub>、互连四个不同DC网络N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>、N<sub>3</sub>以及N<sub>4</sub>的第二开关站配置的示例。

[0065] 在这种情况下,第一网络N<sub>1</sub>的第一连接26与第一主断路器MB<sub>1</sub>的第一端处的、第一主断路器MB<sub>1</sub>的第一连接30接合,并且第一网络N<sub>1</sub>的第二连接28与第二网络N<sub>2</sub>的第二连接40接合。

[0066] 在第一主断路器MB<sub>1</sub>的第一端处的、第一主断路器MB<sub>1</sub>的第二连接32与在第二主断路器MB<sub>2</sub>的第一端处的、第二主断路器MB<sub>2</sub>的第一连接42接合。

[0067] 第二网络N<sub>2</sub>的第一连接38与第一主断路器MB<sub>1</sub>的第二端处的、该第一主断路器MB<sub>1</sub>的第三连接34接合,而第一主断路器MB<sub>1</sub>的第二端处的、第一主断路器MB<sub>1</sub>的第四连接36与第二主断路器MB<sub>2</sub>的第二端处的、第二主断路器MB<sub>2</sub>的第二连接44接合。第二主断路器MB<sub>2</sub>的第一端处的、第二主断路器MB<sub>2</sub>的第三连接46与第三网络N<sub>3</sub>的第一连接接合,而第二主断路器MB<sub>2</sub>的第二端处的、第二主断路器MB<sub>2</sub>的第四连接48与第四网络N<sub>3</sub>的第一连接54接合。最后,第三网络的第二连接52与第四网络N<sub>4</sub>的第二连接56接合。

[0068] 这里还可以看到,彼此接合的两个实体之间存在转接开关。由此,存在连接在第一网络N<sub>1</sub>的第二连接28与第二网络N<sub>2</sub>的第二连接40之间的第一转接开关TS<sub>1</sub>、连接在第一网络N<sub>1</sub>的第一连接26与第一主断路器MB<sub>1</sub>的第一连接30之间的第二转接开关TS<sub>2</sub>、连接在第一主断路器MB<sub>1</sub>的第二连接32与第二主断路器MB<sub>2</sub>的第一连接42之间的第三转接开关TS<sub>3</sub>、连接在第二主断路器MB<sub>2</sub>的第三连接46与第三网络N<sub>3</sub>的第一连接50之间的第四转接开关TS<sub>4</sub>、连接在第三网络N<sub>3</sub>的第二连接52与第四网络N<sub>4</sub>的第二连接56之间的第五转接开关TS<sub>5</sub>、连接在第二主断路器MB<sub>2</sub>的第四连接48与第四网络N<sub>4</sub>的第一连接54之间的第六转接开关TS<sub>6</sub>、连接在第一主断路器MB<sub>1</sub>的第四连接36与第二主断路器MB<sub>2</sub>的第二连接44之间的第七转接开关TS<sub>7</sub>、以及最后地连接在第二网络N<sub>2</sub>的第二连接38与第一主断路器MB<sub>1</sub>的第三连接34之间的第八转接开关TS<sub>8</sub>。

[0069] 当研究这两种不同的开关站配置或拓扑时,可以进行一些观察。比如可以看到:经由通过至少一个主断路器的对应路径,而且经由旁通所有主断路器的对应路径,每个网络与所有其他网络接合。换句话说,可以看到:每个主断路器经由两个网络互连转接开关(主断路器的每侧上一个)而连接在两个网络之间,其中,存在与主断路器并联的至少一个旁路,该旁路包括旁路转接开关,并且连接在两个网络互连转接开关之间。在该上下文中,还假定所有主断路器操作(即,可能被控制用于电路切断操作)。这意味着在所有主断路器操

作时,旁路可以存在于所有网络之间。

[0070] 在图8中,第二转接开关TS<sub>2</sub>和第七转接开关TS<sub>7</sub>形成用于第一主断路器MB<sub>1</sub>的网络互连转接开关,并且第一转接开关TS<sub>1</sub>形成对应的旁路转接开关。以类似的方式,第三转接开关TS<sub>3</sub>和第五转接开关TS<sub>5</sub>形成用于第二主断路器MB<sub>2</sub>的网络互连转接开关,并且第四转接开关TS<sub>4</sub>形成对应的旁路转接开关。在图9中,第二转接开关TS<sub>2</sub>和第八转接开关TS<sub>8</sub>形成用于第一主断路器MB<sub>1</sub>的网络互连转接开关,并且第一转接开关TS<sub>1</sub>形成对应的旁路转接开关。这里,第四转接开关TS<sub>4</sub>和第六转接开关TS<sub>6</sub>形成用于第二主断路器MB<sub>2</sub>的网络互连转接开关,并且第五转接开关TS<sub>5</sub>形成对应的旁路转接开关。两个断路器之间还存在至少一个断路器互连支路,并且该至少一个断路器互连支路包括断路器互连转接开关。在图8中,仅存在包括第六转接开关TS<sub>6</sub>的一个这种断路器互连支路,而在图9中,存在包括第三转接开关TS<sub>3</sub>和第七转接开关TS<sub>7</sub>的两个断路器互连支路。

[0071] 根据上述原理构造的开关站具有在有限数量的主断路器和转接开关情况下的非常高的操作灵活性。更具体地,开关站可以在DC输电系统的操作期间被选择性地控制,以在执行故障电流切断操作时,比如基于故障电流的强度,使故障电流通过主断路器中的一个或多个。

[0072] 这里应认识到,在一些情形下,限制对开关站灵活性的要求,在这种情况下,可以减少转接开关的数量。比如可能的是,经由转接开关进行网络连接中的仅一个,并且经由转接开关提供主断路器连接中的仅一个。作为另选方案,可能的是,经由转接开关提供每侧上的主断路器连接中的至少一个。

[0073] 现在将给出处理图8和图9的两个配置或拓扑中的故障的几个示例。

[0074] 现在将参照图10至图12给出处理三网络开关站配置的第三网络N<sub>3</sub>中的故障的第一示例,其中,图10示出了故障期间的操作,图11示出了故障电流切断操作期间的操作,并且图12示出了故障隔离之后的操作。在这里由第一网络N<sub>1</sub>和第二网络N<sub>2</sub>例示的两个健康网络同样强(即,向故障网络N<sub>3</sub>输送在同一范围内的故障电流)时,对这一类型的操作感兴趣。

[0075] 在示例中,存在控制转接开关和主断路器的操作的控制单元58。该控制单元还可以控制开关站中的切断器。还存在连接在第三网络N<sub>3</sub>与第四和第五转接开关之间的切断器60。可以为传统切断器的该切断器60被提供用于在故障电流隔离之后断开第三网络N<sub>3</sub>。这里应认识到,所有网络可以经由这种切断器连接到开关站。

[0076] 控制单元58被提供用于在网络中出现故障时选择从健康网络到具有故障的网络的、通过开关站的故障电流路径,然后控制转接开关设立故障电流路径。

[0077] 在该示例中,为了使主断路器共享总故障电流,控制开关站的转接开关。从而,每个断路器可以处理由一个DC网络输送的故障电流。这意味着在第三网络N<sub>3</sub>中检测到故障(比如通过第三网络N<sub>3</sub>接收地电位)时,控制单元58控制转接开关,使得来自其他网络的故障电流通过两个主断路器。

[0078] 为了这么做,控制单元58可以断开第二转接开关TS<sub>2</sub>、第四转接开关TS<sub>4</sub>以及第七转接开关TS<sub>7</sub>。如可以看到的,这可以涉及控制单元58断开转接开关以便保证健康网络彼此不具有直接链路,但经由主断路器与提供故障的网络连接。在该具体示例中,还涉及引导由健康网络输送的故障电流通过不同的主断路器。从而,两个健康网络N<sub>1</sub>和N<sub>2</sub>还彼此隔离。

[0079] 如在图10中可以看到,存在从第一网络N<sub>1</sub>到第三网络N<sub>3</sub>、经由第一转接开关TS<sub>1</sub>、

第一主断路器MB<sub>1</sub>、第六转接开关TS<sub>6</sub>以及第五转接开关TS<sub>5</sub>的第一故障电流路径。以类似的方式,存在从第二网络N<sub>2</sub>经由第三转接开关TS<sub>3</sub>、第二主断路器MB<sub>2</sub>以及第五转接开关TS<sub>5</sub>到第三网络N<sub>3</sub>的第二故障电流路径。

[0080] 一旦已经经由两个主断路器、通过转接开关的选择性断开而建立这些故障电流路径,然后控制单元58断开主断路器MB<sub>1</sub>和MB<sub>2</sub>,这在图11中指示。如可以看到的,该主断路器断开在转接开关TS<sub>2</sub>、TS<sub>4</sub>以及TS<sub>7</sub>断开时执行。

[0081] 主断路器MB<sub>1</sub>和MB<sub>2</sub>的断开使得故障电流通过这些断路器的电涌吸收器,从而得到熄灭。然后控制单元58可能如图12示出的断开切断器60。该断开使故障网络N<sub>3</sub>与开关站分离,从而可以重新闭合主断路器MB<sub>1</sub>和MB<sub>2</sub>,同样地可以重新闭合断开的转接开关TS<sub>2</sub>、TS<sub>4</sub>以及TS<sub>7</sub>,这也在图12中示出。从而可能恢复仅使用第一网络N<sub>1</sub>和第二网络N<sub>2</sub>的有限操作。

[0082] 可以注意的一个明显方面是:故障清除期间彼此分离的网络的数量取决于用于清除故障的主断路器的数量。在上面给出的其中由两个主断路器进行电流共享的示例中,在故障清除期间,两个健康网络彼此分离。在清除故障之后,健康网络借助转接开关和主断路器重新连接。如果该故障电流共享原理应用于更大开关站(多于三个端子),则分离将为两组网络中的分离。然而,分离将仅在故障清除期间保持在适当的位置,并且在清除故障之后,所有健康网络将重新连接,以便正常操作。

[0083] 这里还可以提及的是,假定由健康DC网络输送的故障电流之间的相同关系,在第一网络N<sub>1</sub>或第二网络N<sub>2</sub>中存在故障的情况下,可以提供类似的操作。

[0084] 在图13所示出的在第一网络N<sub>1</sub>中存在故障的情况下,第一转接开关TS<sub>1</sub>、第三转接开关TS<sub>3</sub>以及第五转接开关TS<sub>5</sub>可以以类似的方式断开,以便提供经由第二转接开关TS<sub>2</sub>、第一主断路器MB<sub>1</sub>以及第七转接开关TS<sub>7</sub>的、从第二网络N<sub>2</sub>到第一网络N<sub>1</sub>的第一故障电流路径,以及经由第四转接开关TS<sub>4</sub>、第二主断路器MB<sub>2</sub>、第六转接开关TS<sub>6</sub>以及第七转接开关TS<sub>7</sub>的、从第三网络N<sub>3</sub>到第一网络N<sub>1</sub>的第二故障电流路径。

[0085] 在图14所示出的在第二网络N<sub>2</sub>中存在故障的情况下,第一转接开关TS<sub>1</sub>、第四转接开关TS<sub>4</sub>以及第六转接开关TS<sub>6</sub>可以断开,以便提供经由第七转接开关TS<sub>7</sub>、第一主断路器MB<sub>1</sub>以及第二转接开关TS<sub>2</sub>的、从第一网络N<sub>1</sub>到第二网络N<sub>2</sub>的第一故障电流路径,以及经由第五转接开关TS<sub>5</sub>、第二主断路器MB<sub>2</sub>以及第三转接开关TS<sub>3</sub>的、从第三网络N<sub>3</sub>到第二网络N<sub>2</sub>的第二故障电流路径。

[0086] 图15中示意性示出了在第二网络N<sub>2</sub>中存在故障时,连接到四个不同网络的开关站中的类似类型的操作。在这种情况下,第一转接开关TS<sub>1</sub>、第三转接开关TS<sub>3</sub>以及第六转接开关TS<sub>6</sub>断开,以便提供经由两个主断路器MB<sub>1</sub>和MB<sub>2</sub>到故障网络N<sub>2</sub>的三个故障电流路径。在这种情况下,存在:经由第二转接开关TS<sub>2</sub>、第一主断路器MB<sub>1</sub>以及第八转接开关TS<sub>8</sub>的、从第一网络N<sub>1</sub>到第二网络N<sub>2</sub>的第一故障电流路径,经由第四转接开关TS<sub>4</sub>、第二主断路器MB<sub>2</sub>以及第七转接开关TS<sub>7</sub>的、从第三网络N<sub>3</sub>到第二网络N<sub>2</sub>的第二故障电流路径,以及经由第五转接开关TS<sub>5</sub>、第四转接开关TS<sub>4</sub>、第二主断路器MB<sub>2</sub>以及第七转接开关TS<sub>7</sub>的、从第四网络N<sub>4</sub>到第二网络N<sub>2</sub>的第三故障电流路径。

[0087] 在其他网络中的任何网络中存在故障的情况下,类似类型的操作是可能的。

[0088] 可以注意,在上面给出的故障电流处理示例中,在选择故障电流路径时,控制单元选择至少两个主断路器,该至少两个主断路器要在他们之间分割故障电流路径,使得至少

一个故障电流路径行进通过所选主断路器中的一个,并且另一个故障电流路径行进通过另一个所选主断路器。

[0089] 在图15所描绘的情形下,还可以注意,第二和第三故障电流路径两者都通过第二主断路器MB<sub>2</sub>。由此,来自多于一个网络的故障电流可以通过一个主断路器。

[0090] 通过主断路器的多于一个故障电流路径的提供还可以用于第一配置的开关站中。比如,可能使图10中由第一和第二网络向故障网络N<sub>3</sub>输送的故障电流通过一个主断路器(比如通过第一主断路器MB<sub>1</sub>)。这可以通过控制单元58断开第三转接开关TS<sub>3</sub>、而不是断开第二转接开关TS<sub>2</sub>来实现。另选地,通过在断开第六转接开关TS<sub>6</sub>的同时第二转接开关TS<sub>2</sub>和第三转接开关TS<sub>3</sub>两者保持闭合(其中,第四和第七转接开关已经断开),可以使用第二主断路器MB<sub>2</sub>。

[0091] 图16中示出了用于第二开关站配置的不同原理的示例,其中,在第二网络N<sub>2</sub>中的故障的情况下,第一转接开关TS<sub>1</sub>、第六转接开关TS<sub>6</sub>以及第七转接开关TS<sub>7</sub>断开,同时第二转接开关TS<sub>2</sub>、第三转接开关TS<sub>3</sub>、第四转接开关TS<sub>4</sub>、第五转接开关TS<sub>5</sub>以及第八转接开关TS<sub>8</sub>闭合。

[0092] 如在图16中可以看到的,存在:经由第二转接开关TS<sub>2</sub>、第一主断路器MB<sub>1</sub>以及第八转接开关TS<sub>8</sub>的、从第一网络N<sub>1</sub>到第二网络N<sub>2</sub>的第一故障电流路径,经由第四转接开关TS<sub>4</sub>、第三转接开关TS<sub>3</sub>、第一主断路器MB<sub>1</sub>以及第八转接开关TS<sub>8</sub>的、从第三网络N<sub>3</sub>到第二网络N<sub>2</sub>的第二故障电流路径,以及经由第五转接开关TS<sub>5</sub>、第四转接开关TS<sub>4</sub>、第三转接开关TS<sub>3</sub>、第一主断路器MB<sub>1</sub>以及第八转接开关TS<sub>8</sub>的、从第四网络N<sub>4</sub>到第二网络N<sub>2</sub>的第三故障电流路径。

[0093] 从而,所有故障电流路径通过第一主断路器MB<sub>1</sub>,而不使用第二主断路器MB<sub>2</sub>。这还意味着在这种情况下,由控制单元执行的故障电流路径的选择包括选择所有故障电流路径要通过的主断路器。该操作具有健康网络始终保持彼此连接的另外优点。

[0094] 实际上控制单元可能基于健康DC网络的故障电流输送性质来确定要使用多少主断路器以及使用哪些主断路器。

[0095] 由此,对于每个健康DC网络,在选择故障电流路径时,控制单元58可以基于该DC网络的至少一个故障电流输送特性来选择对应故障电流路径要通过的主断路器。

[0096] 由DC网络输送的故障电流的形状可以取决于网络的强度以及该网络的电流源距开关站的距离。这意味着故障电流的幅度可以取决于DC网络的强度,而到这一幅度的上升时间可以取决于从电流源的线路强度(诸如健康DC网络的能量源与开关站的对应DC端子之间的传输线路长度,该能量源可以为生成故障电流的转换器)。由此,故障电流幅度可以为一个故障电流输送特性,并且网络的能量源与开关站之间的距离是另一个故障电流输送特性。这里还应认识到,因为DC网络连接到强或弱AC网络,所以该DC网络可以为强或弱的。

[0097] 此外,所连接DC网络的这些特性可以事先已知,因此还可能事先知道从健康DC网络到故障DC网络的故障电流贡献。这种知道可以用于选择在特定网络上的故障的情况下要接收故障电流的主断路器的数量和哪些主断路器要接收故障电流。作为另选方案,比如通过测量故障电流,可能确定故障发生时的特性。

[0098] 由此,可以看到,控制单元可以基于故障电流强度来分割或组合通过主断路器的故障电流。

[0099] 在一些情况下,感兴趣的是为了维护而临时断开主断路器。可能通过使用如图5中

示出的切断器DIS<sub>1</sub>和DIS<sub>2</sub>来断开主断路器连接在其中的整个支路。

[0100] 如果比如为了维护而断开根据图9中所示出的第二配置的开关站中的第一主断路器MB<sub>1</sub>,则在没有包括第一主断路器MB<sub>1</sub>的支路的情况下、在所有转接开关和所有剩余主断路器MB<sub>2</sub>闭合的情况下,可以继续正常操作。

[0101] 如果在这种情况下在第一网络N<sub>1</sub>中存在故障,则转接开关TS<sub>1</sub>和TS<sub>4</sub>可以由控制单元操作为将故障电流换流到第二主断路器MB<sub>2</sub>。然后通过断开第二主断路器MB<sub>2</sub>来执行故障清除。故障网络通过连接在第一网络N<sub>1</sub>与第一转接开关TS<sub>1</sub>和第二转接开关TS<sub>2</sub>之间的切断器(未示出)而被断开,然后,第一转接开关TS<sub>1</sub>和第四转接开关TS<sub>4</sub>可以重新闭合。连接剩余的健康网络,并且开关站准备针对另一个故障而行动。

[0102] 类似地,根据图8的第一配置的开关站可以用一个主断路器来操作,而另一个主断路器被取走以便维护。

[0103] 还可能处理在存在网络故障时断路器故障的情况。这意味着控制单元可以控制转接开关将行进通过故障主断路器的故障电流路径改变为代替地行进通过起作用的主断路器。

[0104] 现在将关于两个不同类型的开关站操作来描述断路器故障的处理。在故障电流由主断路器共享的情况或在故障电流行进通过单独的主断路器的情况这两者下,断路器故障可能发生。

[0105] 这可以对于图8中的第一开关站配置来例示。

[0106] 在第二网络N<sub>2</sub>中的故障的情况下,在例如来自第一网络N<sub>1</sub>和第三网络N<sub>3</sub>两者的故障电流要通过第二主断路器MB<sub>2</sub>的情况下,转接开关TS<sub>1</sub>、TS<sub>2</sub>以及TS<sub>4</sub>可以被操作为将电流换流为通过MB<sub>2</sub>。由此,转接开关TS<sub>1</sub>、TS<sub>2</sub>以及TS<sub>4</sub>断开。现在假定第二主断路器MB<sub>2</sub>未能断开且因此需要向第一主断路器MB<sub>1</sub>传送总电流。在控制单元检测到这种主断路器故障时,控制单元然后控制第二转接开关TS<sub>2</sub>闭合,并且控制第三转接开关TS<sub>3</sub>断开。从而,故障电流不再可以通过第二主断路器MB<sub>2</sub>,而是代替地必须行进通过第一主断路器MB<sub>1</sub>。如上所述的,一旦清除并隔离故障,则MB<sub>2</sub>可以停止服务,以便维护。

[0107] 在第二网络N<sub>2</sub>中的故障的情况下,在来自第一网络N<sub>1</sub>的故障电流要通过第一主断路器MB<sub>1</sub>且来自第三网络N<sub>3</sub>的故障电流要通过第二主断路器MB<sub>2</sub>的情况下,转接开关TS<sub>1</sub>、TS<sub>4</sub>以及TS<sub>6</sub>被操作为将电流换流在两个主断路器MB<sub>1</sub>和MB<sub>2</sub>中。由此,这些转接开关TS<sub>1</sub>、TS<sub>4</sub>以及TS<sub>6</sub>断开。

[0108] 如果现在假定第二主断路器MB<sub>2</sub>未能断开且需要向第一主断路器MB<sub>1</sub>传送总电流,则控制单元可以闭合第六转接开关TS<sub>6</sub>并断开第三转接开关TS<sub>3</sub>。从而,第三网络N<sub>3</sub>的总故障电流被引导通过第一主断路器MB<sub>1</sub>。

[0109] 类似地,在第一主断路器MB<sub>1</sub>的故障的情况下,电流可以借助MB<sub>2</sub>来旁通。在这种情况下,控制单元可以闭合第六转接开关TS<sub>6</sub>,并且断开第二转接开关TS<sub>2</sub>。

[0110] 如上所述的,一旦清除并隔离故障,则可以取走故障主断路器,以便维护。

[0111] 在这种情况下可以看到,转接开关还被控制为使一个接着另一个的(back-to-back)断开和闭合循环最少化(即,避免转接开关被操作为紧接在先前断开和闭合之后再次断开)。在两种情况下,在由于断路器故障而改变故障电流路径时,闭合一个转接开关,并且断开另一个转接开关。可能避免任何转接开关首先断开、然后由于所选主断路器故障而必

须闭合、其后再次断开以便重新引导故障电流通过开关站。由此,在这种情况下,尽管所选主断路器故障,关于故障电流处理和故障网络隔离,所有转接开关可以被操作为最多断开和闭合仅一次。

[0112] 主断路器的电流切断能力影响组件的成本。全额定断路器(该全额定断路器能够切断总故障电流)提高可维护性和故障电流幅度方面的保护范围。然而,成本增加。可能将主断路器的额定降低至更低的电流切断能力(即,降低讨论中的断路器的额定)。这可以节省成本,但用于主断路器故障的可维护性或备用断路器可能不可用。

[0113] 取决于应用和故障电流源方面的所连接网络强度,可以可能的是,将不同额定的主断路器组合在一个开关站中。这用下面的示例来说明。

[0114] 再次参照图9中示出的三网络开关站,其中第一主断路器MB<sub>1</sub>是降低额定的主断路器,该降低额定的主断路器与第二主断路器MB<sub>2</sub>相比,具有更低的额定,由此具有更低的电流切断能力。在这种情况下可能的是,第二主断路器MB<sub>2</sub>能够切断总故障电流,而第一主断路器MB<sub>1</sub>被假定为仅能够切断故障电流的一部分。

[0115] 这可以在网络中的一些网络比其他网络弱的情况下是有利的,在这种情况下,可能使具有更低额定电流的断路器用于来自这种更弱网络的故障电流。

[0116] 所提出的开关站可缩放且可适于变化(诸如另外的DC网络和主断路器的添加)。组件(主断路器和转接开关)的数量取决于连接的数量以及(可维护性、断路器故障等方面的)服务质量。

[0117] 开关站中所需的转接开关的数量更具体地可以被表达为:

$$[0118] \quad x=y+2*z,$$

[0119] 其中,x是转接开关的数量,y是网络的数量,并且z是主断路器的数量。

[0120] 本发明具有许多优点。为了构建在同时保证可维护性以及断路器故障的备用的同时具有电流共享可能性的开关站,本发明组合两个或更多主断路器与多个转接开关。此外,通过开关站的故障电流流动可以取决于故障位置和所连接网络的强度来改变。

[0121] 本发明还具有许多另外的优点。

[0122] 因为主断路器的维护可以在不中断开关站操作的情况下发生,所以提高可维护性。

[0123] 与传统开关站配置相比,用更少数量的主断路器(在主断路器故障和备用断路器可用的情况下)保证N-1安全。

[0124] 主断路器之间的故障电流共享保证故障电流方面的更高保护范围。

[0125] 因为与传统开关站相比使用更少数量的主断路器,且因为不同额定可以用于这些断路器,所以减少所用组件的数量。

[0126] 由此,可以看到,提出了用混合DC断路器进行的不同类型的故障电流处理。电流共享可以借助转接开关的适当操作来控制。故障电流共享和主断路器使用的灵活性还可以提供两种不同的可能操作策略:

[0127] 使用全额定断路器:主断路器的可维护性、用于断路器故障的备用断路器、和故障电流方面的更高保护范围。

[0128] 使用降低额定的断路器:降低主断路器的额定以降低成本。

[0129] 还可以基于应用使用全额定和降低额定的断路器的组合。

[0130] 此外,控制单元可以以具有关联程序存储器(包括用于执行控制单元功能的计算机程序代码)的处理器形式来提供。

[0131] 计算机程序还可以为计算机程序产品,比如为承载具有计算机程序代码的这种计算机程序的计算机可读存储介质或数据载体(像CD ROM盘或记忆棒)的形式,计算机程序代码将实施上述控制单元的功能。

[0132] 虽然已经结合目前被认为是最实用且优选的实施例的内容描述了本发明,但要理解,本发明不限于所公开的实施例,而是相反,本发明旨在涵盖各种修改和等同布置。因此,本发明仅由所附权利要求限制。

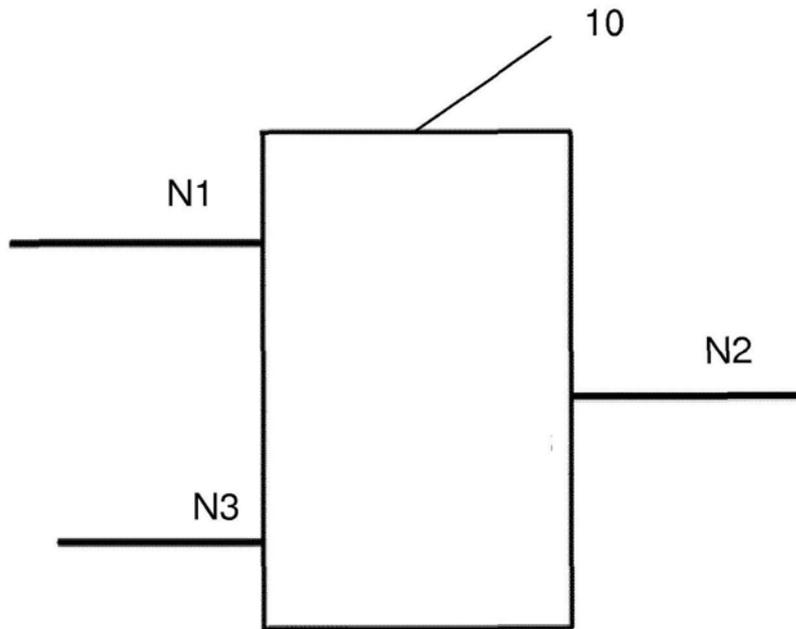


图1

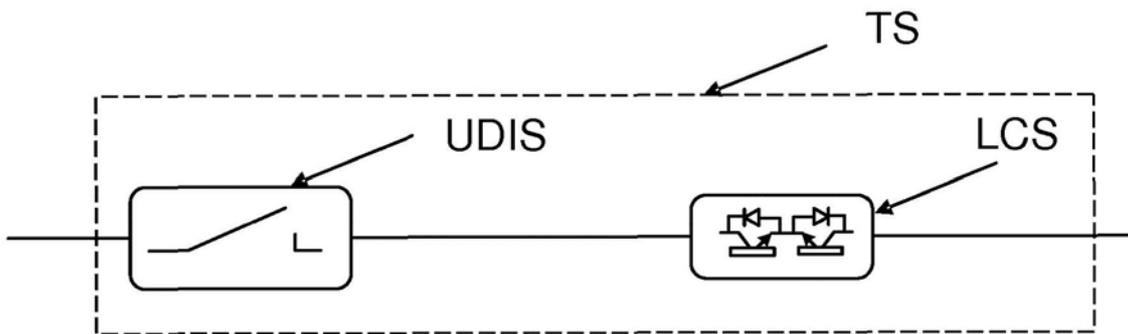


图2

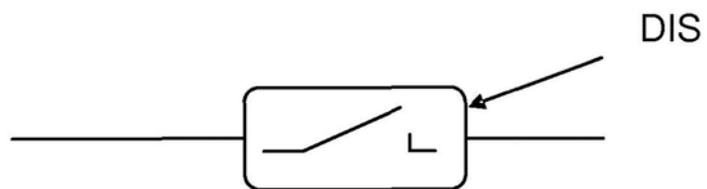


图3

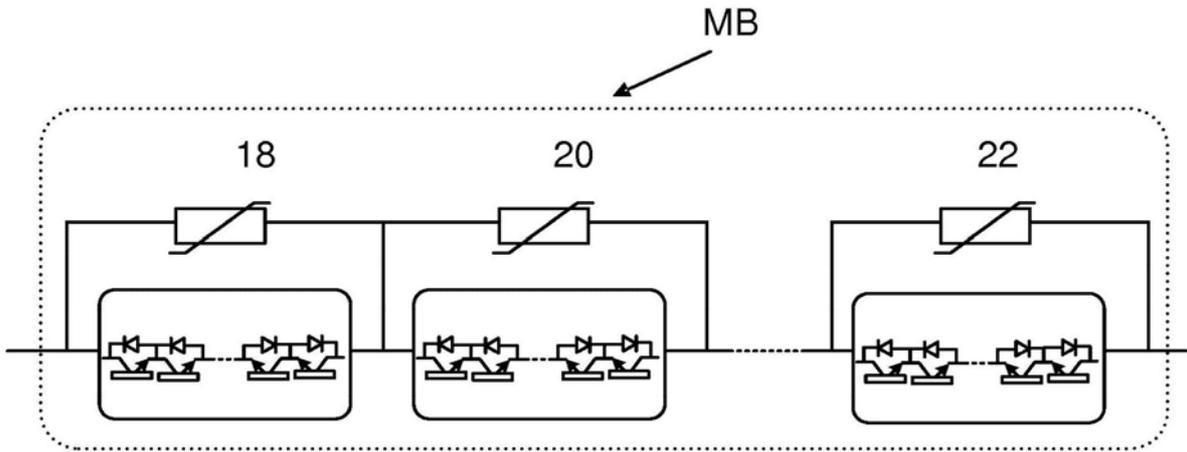


图4

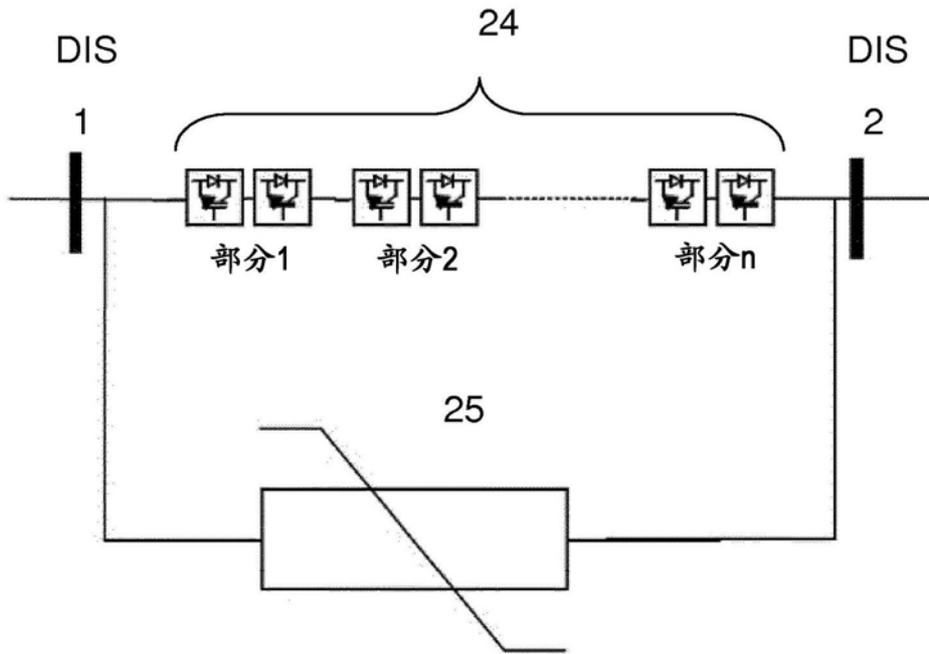


图5

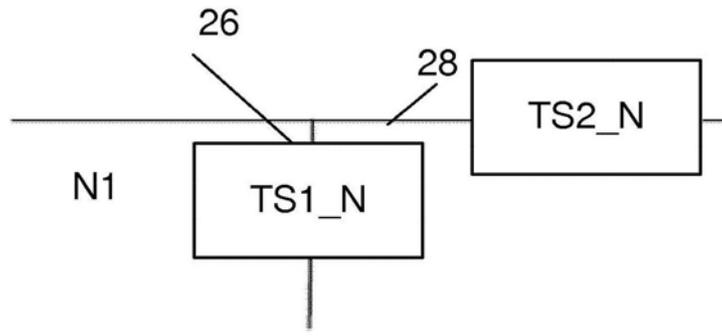


图6

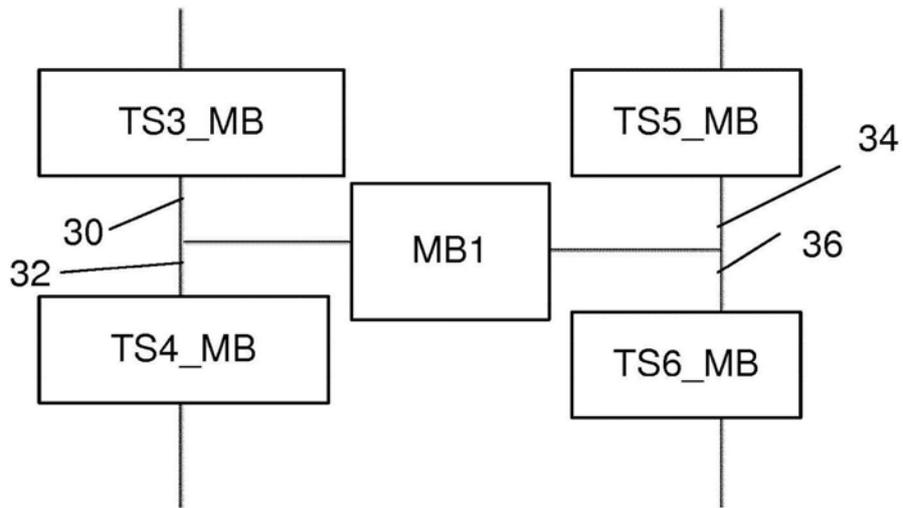


图7

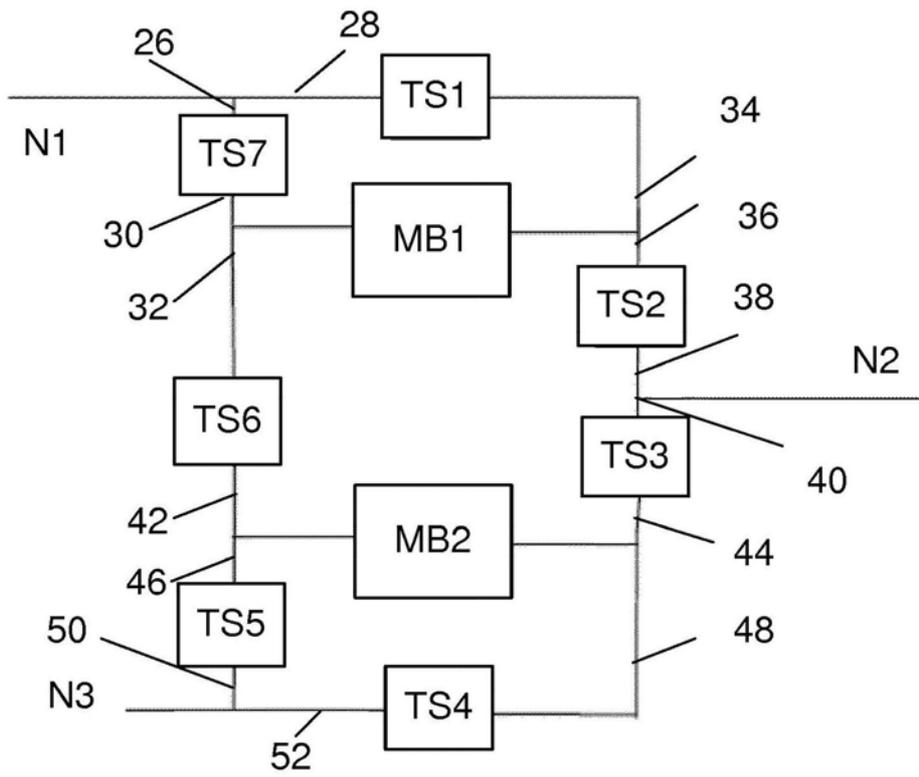


图8

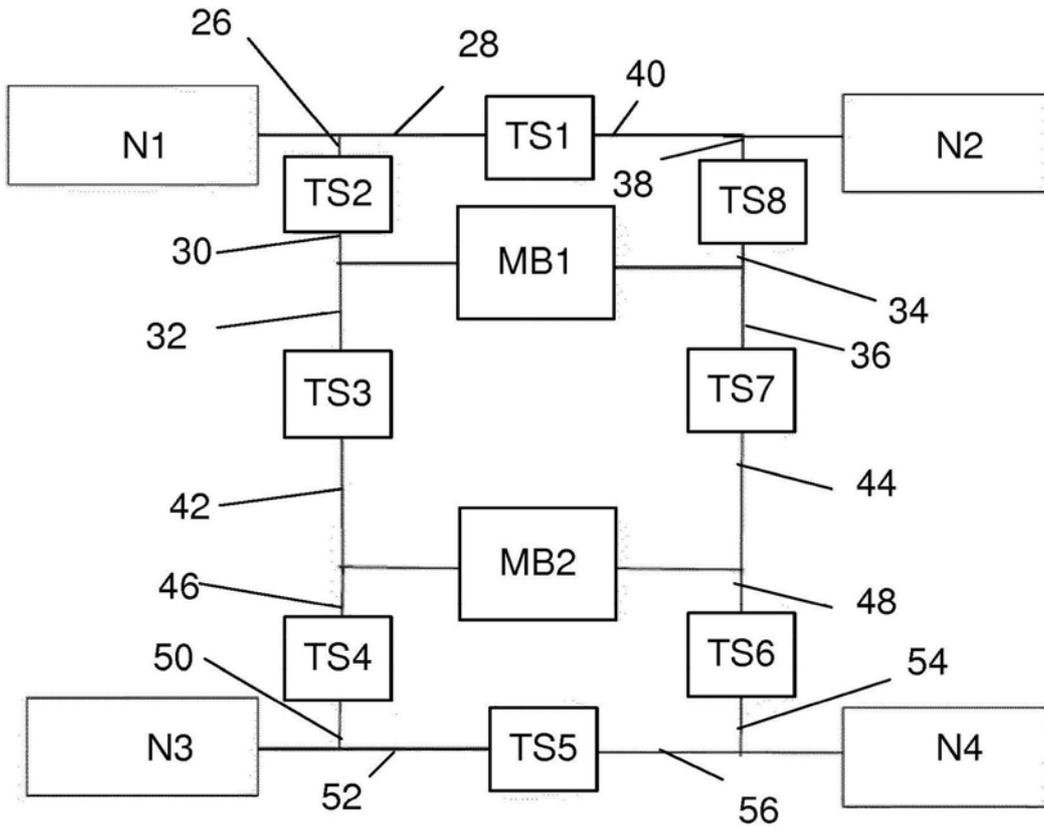


图9

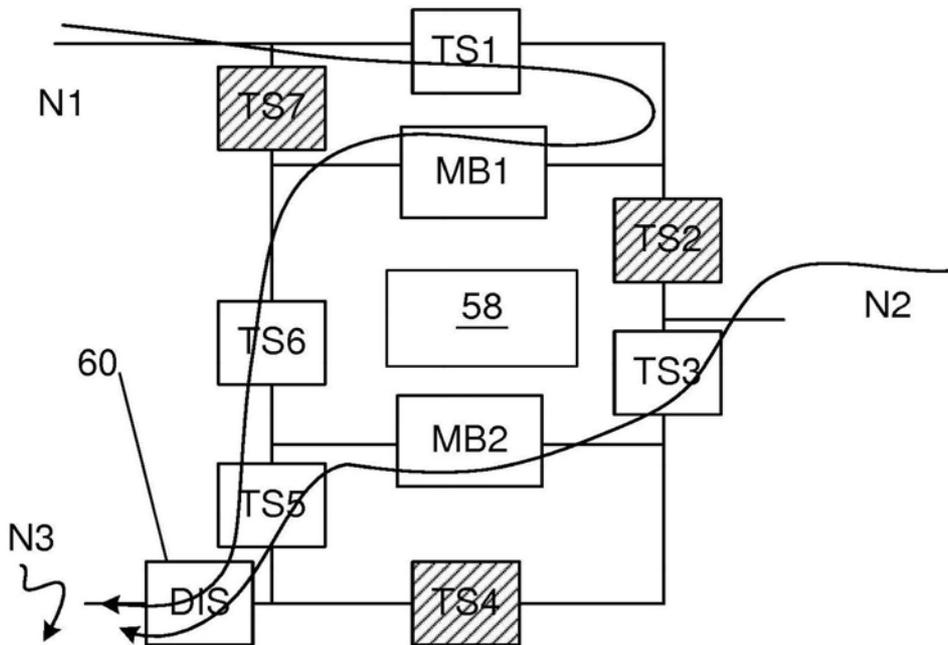


图10

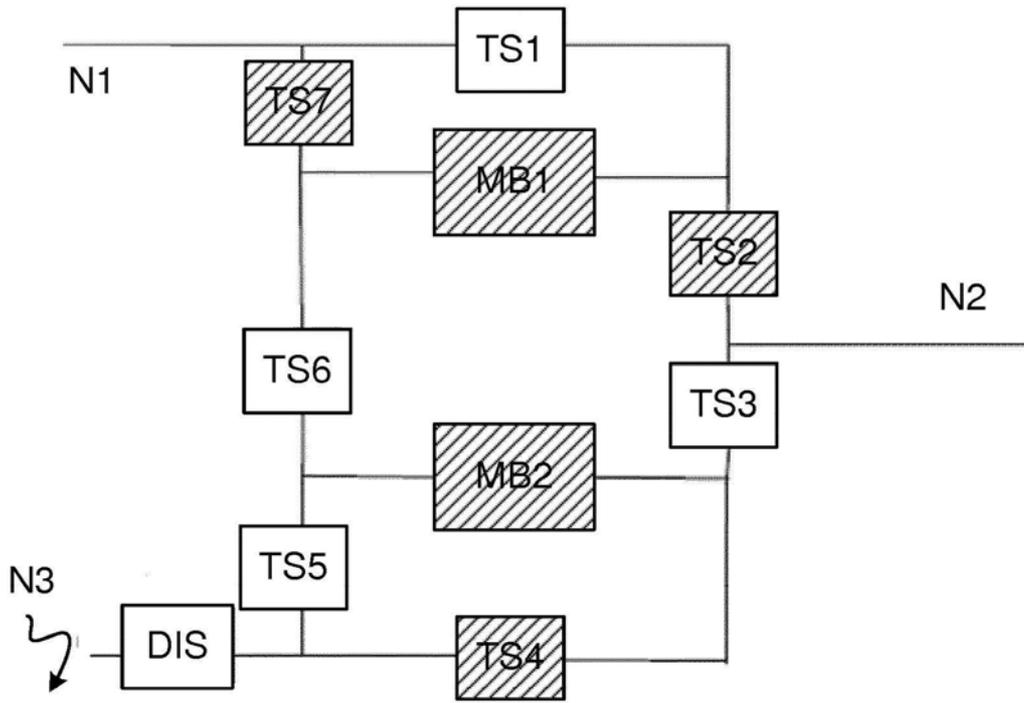


图11

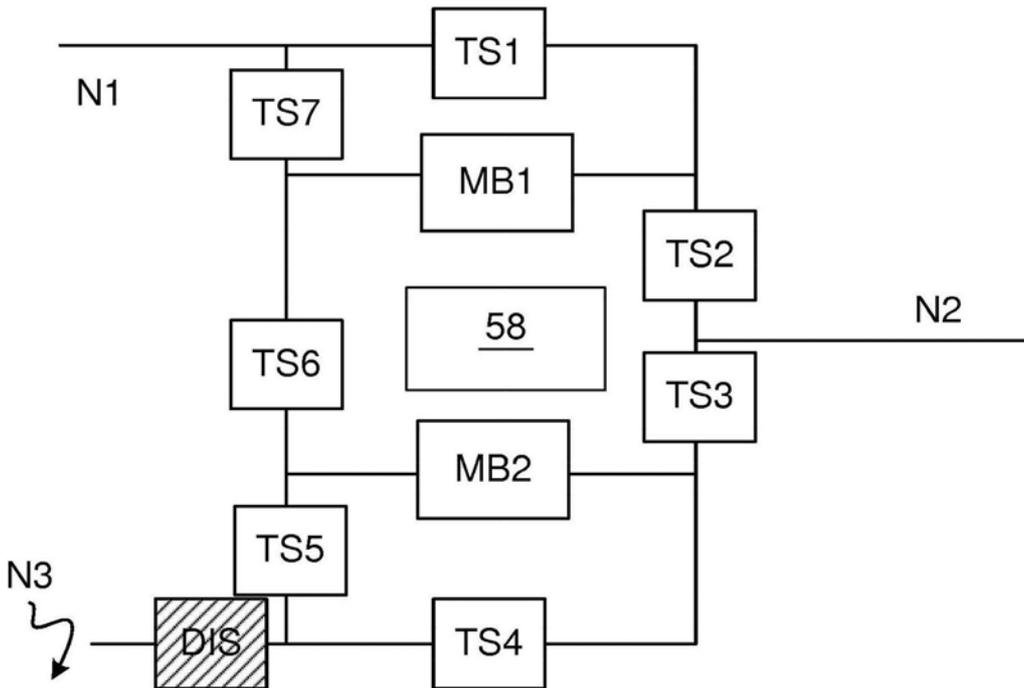


图12

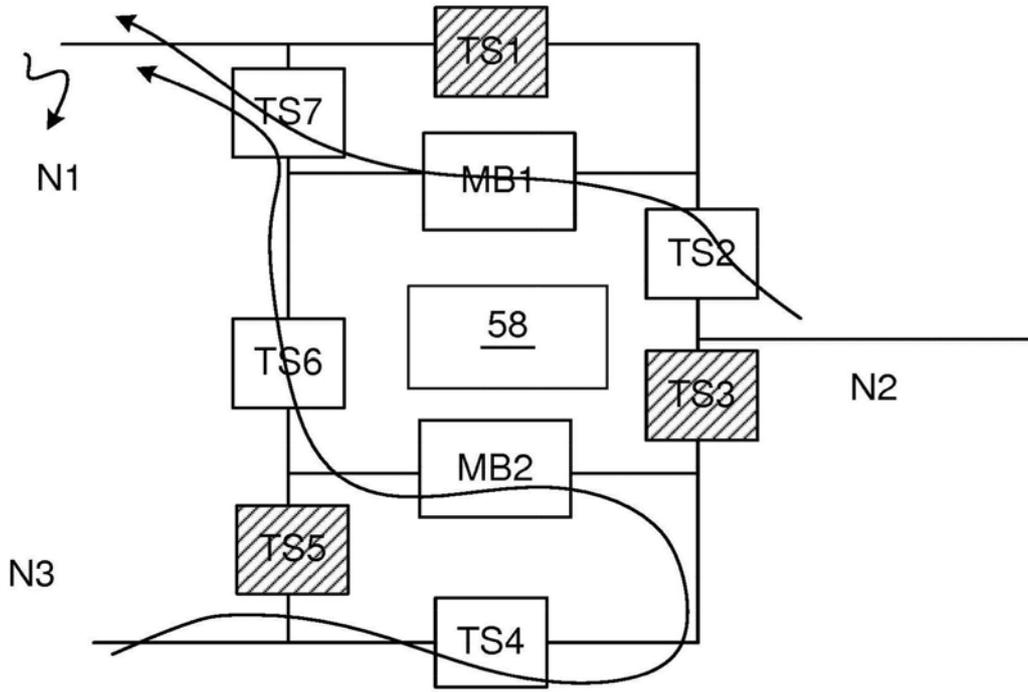


图13

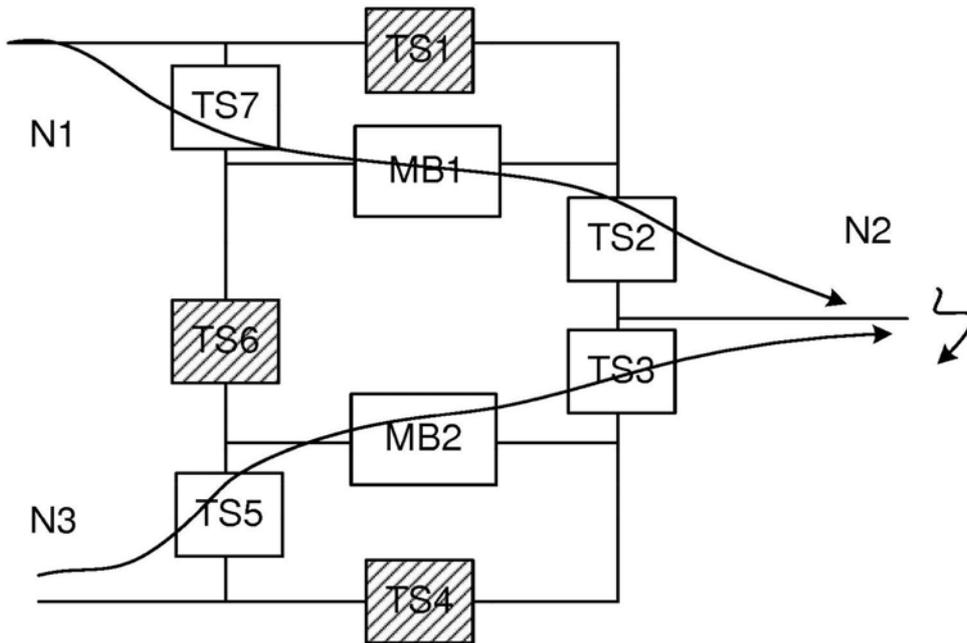


图14

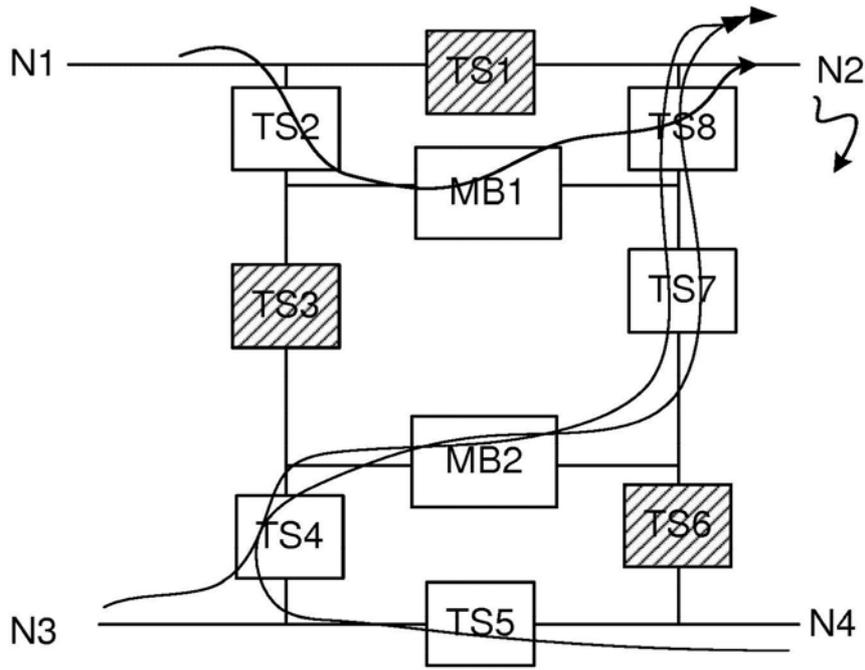


图15

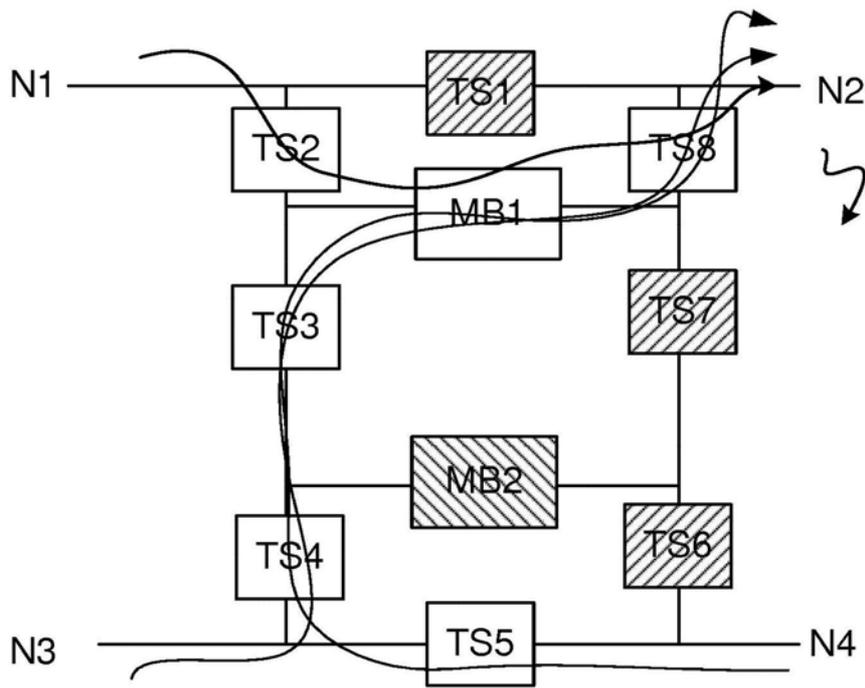


图16