



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107624209 B

(45)授权公告日 2019.08.20

(21)申请号 201680027957.2

(22)申请日 2016.05.12

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107624209 A

(43)申请公布日 2018.01.23

(30)优先权数据
15275138.4 2015.05.14 EP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2017.11.14

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2016/060751 2016.05.12

(87)PCT国际申请的公布数据
W02016/180940 EN 2016.11.17

(73)专利权人 通用电器技术有限公司

地址 瑞士巴登

(72)发明人 哈恒旭
S.S.斯里戈帕拉克里什纳默蒂

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 郑浩 刘春元

(51)Int.Cl.
H02H 7/26(2006.01)
G01R 31/02(2006.01)
G01R 31/08(2006.01)
G01R 31/11(2006.01)

审查员 郑悦

权利要求书2页 说明书10页 附图2页

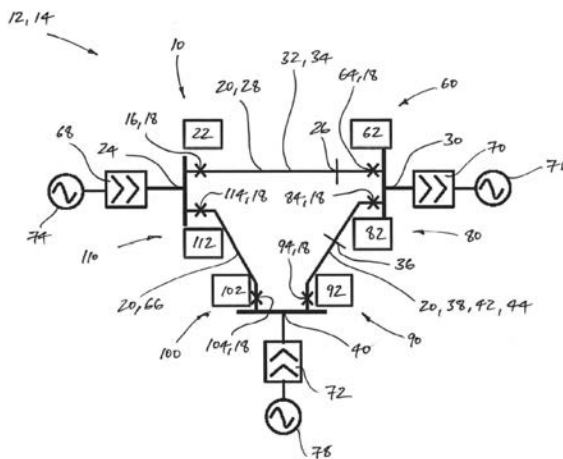
(54)发明名称

直流电距离保护系统的改进或其相关改进

(57)摘要

本发明提供一种DC距离保护系统(10;60;80;90;100;110),应用于DC电力网的领域,用于保护所述DC电网(12)内的DC电力传输介质(20)。所述DC距离保护系统(10;60;80;90;100;110)包括在使用中连接到DC电力传输介质(20)的保护装置(16;64;84;94;104;114)。所述保护装置(16;64;84;94;104;114)可操作以保护所述DC电力传输介质(20)免于电气故障。所述DC距离保护系统(10;60;80;90;100;110)还包括用以选择性地测量所述DC电力传输介质(20)的电流(i_m)和电压(u_m)的测量设备。另外,所述DC距离保护系统(10;60;80;90;100;110)还包括经编程以进行以下操作的控制器(22、62、82、92、102、112):(i)使用所述测得的电流(i_m)和电压(u_m)来计算所述DC电力传输介质(20)的工作电压(u_{op});(ii)执行所述计算出的工作电压(u_{op})与所述测量电压(u_m)之间的瞬态比较;以及(iii)在所述瞬态比较满足预定义准则的情况下,操作

所述保护装置(16;64;84;94;104;114)以保护所述DC电力传输介质(20)。



1. 一种DC距离保护系统,用于保护DC电力网内的DC电力传输介质,所述DC距离保护系统包括:

保护装置,其在使用时连接到DC电力传输介质,所述保护装置可操作以保护所述DC电力传输介质免于电气故障;

测量设备,其用以选择性地测量所述DC电力传输介质的电流和电压;以及

控制器,其经编程以:

(i) 使用所述测得的电流和电压来计算所述DC电力传输介质的工作电压;

(ii) 执行所述计算出的工作电压与所述测量电压之间的瞬态比较;以及

(iii) 在所述瞬态比较满足预定义准则的情况下,操作所述保护装置以保护所述DC电力传输介质,

其中,所述保护装置、所述测量设备和所述控制器中的每一个在使用中操作性地与定位有所述DC电力传输介质的相关联DC电力网的第一终端相关联,且所述控制器经编程以计算所述DC电力传输介质在所述DC电力传输介质中的第一点处的工作电压,所述第一点位于在所述相关联DC电力网的所述第一终端与第二终端之间延伸的所述DC电力传输介质的第一区段中。

2. 根据权利要求1所述的DC距离保护系统,其中,所述第一点与所述第一终端间隔所述第一区段的总长度的80%与95%之间。

3. 根据权利要求1所述的DC距离保护系统,其中,所述保护装置、所述测量设备和所述控制器中的每一个在使用中操作性地与定位有所述DC电力传输介质的相关联DC电力网的第一终端相关联,且所述控制器经编程以计算所述DC电力传输介质在所述DC电力传输介质中的第二点处的工作电压,所述第二点位于在所述相关联DC电力网的第二终端与第三终端之间延伸的所述DC电力传输介质的第二区段中,所述第二终端通过所述DC电力传输介质的第一区段与所述DC电力网的所述第一终端间隔开。

4. 根据权利要求3所述的DC距离保护系统,其中,所述第二点与所述第二终端间隔所述第二区段的总长度的20%与50%之间。

5. 根据权利要求1所述的DC距离保护系统,其中,所述控制器经编程以使用所述DC电力传输介质的以下模型中的一个来计算工作电压:

电阻电感模型;

分布参数线模型;以及

频率相依性分布参数线模型。

6. 根据权利要求1所述的DC距离保护系统,其中,所述控制器经编程以使用以下中的一个来执行所述计算出的工作电压与所述测量电压之间的瞬态比较:

所述电压的幅度比较;以及

所述电压的相关性。

7. 根据权利要求6所述的DC距离保护系统,其中,所述控制器在使所述电压相关时经编程以比较所得相关系数与阈值,且在所述相关系数低于所述阈值时操作所述保护装置。

8. 根据权利要求3所述的DC距离保护系统,其中,所述控制器经编程以在相对于在所述DC电力传输介质中的所述第一点处计算出的第一工作电压的第一瞬态比较满足预定义准则,或相对于在所述DC电力传输介质中的所述第二点处计算出的第二工作电压的第二瞬态

比较满足预定义准则的情况下操作所述保护装置。

9. 根据权利要求8所述的DC距离保护系统,其中,所述控制器还经编程用于当所述第二瞬态比较满足所述预定义准则时,延迟操作所述保护装置。

10. 根据权利要求1所述的DC距离保护系统,其中,所述控制器另外经编程以在接收到外部跳闸信号后就操作所述保护装置。

11. 一种DC电力网,其包括多个根据前述权利要求中任一项所述的DC距离保护系统。

直流电距离保护系统的改进或其相关改进

技术领域

[0001] 本发明涉及直流电 (DC) 距离保护系统和包括多个此类系统的DC电力网。

背景技术

[0002] DC电力网,例如DC电网等通常包括多个终端,所述终端中的每一个可操作性地与电力转换器相关联,以将DC电力传输网与相应交流电 (AC) 网互连。

[0003] 相应的终端对通过DC电力传输介质的区段,例如传输线或电缆互连。在故障的情况下操作例如断路器和继电器等保护装置以保护DC电力网。

发明内容

[0004] 根据本发明的第一方面,本发明提供DC距离保护系统一种用于保护DC电力网内的DC电力传输介质,所述DC距离保护系统包括:

[0005] 保护装置,在使用时连接到DC电力传输介质,所述保护装置可操作以保护所述DC电力传输介质免于电气故障;

[0006] 测量设备,用于选择性地测量所述DC电力传输介质的电流和电压;以及

[0007] 控制器,其经编程以:

[0008] (i) 使用所述测得的电流和电压来计算所述DC电力传输介质的工作电压;

[0009] (ii) 执行所述计算出的工作电压与所述测量电压之间的瞬态比较;以及

[0010] (iii) 在所述瞬态比较满足预定义准则的情况下操作所述保护装置以保护所述DC电力传输介质。

[0011] 本发明的DC距离保护系统准许对故障的检测和保护装置的随后操作,即借助于计算出的工作电压与测量电压之间的瞬态比较,以仅需要获得DC电力传输介质的测得的电流和电压的方式。

[0012] 可局部地获得此类测量,即紧邻与DC电力传输介质的特定部分相关联的控制器和保护装置,并且因此本发明能够在无需与原本会需要以提供远离所述控制器和保护装置长距离出现故障指示的一个或多个远程元件建立通信链路的情况下,保护DC电力传输介质的完整长度。

[0013] 当DC电力传输介质的可观长度,例如数百千米,意味着与一个或多个远程元件的通信不可靠,或建立在通信后接收信息的所得延迟使得相关联保护装置无法足够快速地操作以提供有意义的保护时,前述功能性特别合乎需要。

[0014] 此外,仅仅依赖于局部电流和电压测量准许本发明的保护系统极其快速地,例如在故障出现的1毫秒内,操作保护装置。

[0015] 优选地,保护装置、测量设备和控制器中的每一个在使用中操作性地与定位有DC电力传输介质的相关联DC电力网的第一终端相关联,且所述控制器经编程以计算DC电力传输介质在DC电力传输介质中的第一点处的工作电压,所述第一点位于在相关联DC电力网的所述第一终端与第二终端之间延伸的DC电力传输介质的第一区段中。

- [0016] 先前布置理想地保护DC电力传输介质的第一区段,例如可形成DC电网的一部分。
- [0017] 根据需要,第一点与第一终端间隔第一区段的总长度的80%与95%之间。
- [0018] 以前述方式定位第一点有助于可靠地在DC电力传输介质的第一区段内的故障与DC电力传输介质中例如可形成DC电网的另一部分的某一其它区段中的故障之间进行区分。
- [0019] 在本发明的优选实施例中,所述保护装置、所述测量设备和所述控制器中的每一个在使用中操作性地与定位有所述DC电力传输介质的相关联DC电力网的第一终端相关联,且所述控制器经编程以计算所述DC电力传输介质在所述DC电力传输介质中的第二点处的工作电压,所述第二点位于在所述相关联DC电力网的第二终端与第三终端之间延伸的所述DC电力传输介质的第二区段中,所述第二终端通过所述DC电力传输介质的第一区段与所述DC电力网的所述第一终端间隔开。
- [0020] 使得所述控制器经编程以计算DC电力传输介质在所述第二点处的工作电压有利地进一步有助于在即如在第一终端与第二终端之间延伸的DC电力传输介质的第一区段内的故障与第二终端与第三终端之间的DC电力传输介质的第二区段中的故障之间进行区分。
- [0021] 所述第二点可与所述第二终端间隔第二区段的总长度的20%与50%之间。
- [0022] 以此方式布置第二点理想地有助于可靠地在DC电力传输介质的前述第一区段内的故障与第二终端与第三终端之间的DC电力传输介质的所述第二区段中的故障之间进行区分。
- [0023] 根据需要,控制器经编程以使用DC电力传输介质的以下模型中的一个来计算工作电压:
- [0024] 电阻-电感模型;
- [0025] 分布参数线模型;以及
- [0026] 频率相依性分布参数线模型。
- [0027] 根据DC电力传输介质的总长度,先前模型中的每一个在接近DC电力传输介质的性能特性的方式方面提供所要程度的准确度。
- [0028] 优选地,控制器经编程以使用以下中的一个来执行计算出的工作电压与测量电压之间的瞬态比较:
- [0029] 所述电压的幅度比较;以及
- [0030] 所述电压的相关性。
- [0031] 此类瞬态比较可易于通过呈例如可编程微控制器等等形式的控制器来进行。
- [0032] 所述控制器可在使所述电压相关时经编程以比较所得相关系数与阈值且在所述相关系数低于所述阈值时操作保护装置。
- [0033] 以此方式编程所述控制器有助于确保所述控制器能够可靠且反复地在DC电力传输介质的第一区段中的故障与DC电力传输介质的某一其它区段中的故障之间进行区分,且由此避免保护装置的非所需操作。
- [0034] 在本发明的另一优选实施例中,控制器经编程以在相对于在DC电力传输介质中的第一点处计算出的第一工作电压的第一瞬态比较满足预定义准则或相对于在DC电力传输介质中的第二点处计算出的第二工作电压的第二瞬态比较满足预定义准则的情况下操作保护装置。
- [0035] 使得所述控制器以先前方式经编程使得本发明的DC距离保护系统在DC电力传输

介质的第一区段与第二区段中的故障之间进行区分,以及提供本发明的DC距离保护系统的选项以充当例如与DC电力传输介质的第二区段相关联的根据本发明的另一DC距离保护系统的备份保护。

[0036] 所述控制器可进一步经编程以在第二瞬态比较满足预定义准则时延迟操作保护装置。

[0037] 以此方式配置所述控制器有助于在由基本上与本发明的DC距离保护系统相同的第二DC距离保护系统保护的DC电力传输介质的第二区段中出现故障时避免保护装置的错误操作。

[0038] 根据需要,所述控制器另外经编程以在接收到外部跳闸信号后就操作保护装置。

[0039] 在有可能在例如DC电力网中的远程终端之间适度通信的情形下,此配置有利地扩展了本发明的保护系统的功能性。

[0040] 根据本发明的第二方面,提供一种DC电力网,其包括如上文所描述的多个DC距离保护系统。

[0041] 此DC电力网共享与其中所包括的DC距离保护系统相关联的益处。

附图说明

[0042] 下面是借助于非限制性实例参考以下附图对本发明的优选实施例的简要描述,在附图中:

[0043] 图1所示为根据本发明的相应实施例的包括多个DC距离保护系统的DC电力网的示意图;

[0044] 图2为示意性示出图1中所示的DC距离保护系统中的每一个的一部分的控制器的示意图;以及

[0045] 图3为示意性示出图2中所示的控制器的一部分的工作电压计算块的示意图。

具体实施方式

[0046] 根据本发明的第一实施例的DC距离保护系统大体上由参考标号10指定,且形成呈DC电网14形式的DC电力网12的一部分,如图1中示意性地示出。

[0047] 第一DC距离保护系统10包括第一保护装置16,在所示的实施例中,第一保护装置16是断路器18,但例如继电器等其它类型的保护装置也是可能的。保护装置16,即断路器18,在使用中电连接到DC电力传输介质20,即与DC电力传输介质20串联布置;且可操作以保护DC电力传输介质20免于电气故障。

[0048] DC距离保护系统10还包括第一测量设备(图未示),所述第一测量设备能够选择性地测量DC电力传输介质20的电流和电压。

[0049] 另外,DC距离保护系统10包括第一控制器22,其经编程以:

[0050] (i) 使用所述测得的电流和电压来计算所述DC电力传输介质20的工作电压;

[0051] (ii) 执行所述计算出的工作电压与所述测量电压之间的瞬态比较;以及

[0052] (iii) 在所述瞬态比较满足预定义准则的情况下操作第一保护装置16以保护所述DC电力传输介质20。

[0053] 更具体地说,第一保护装置16、第一测量设备和第一控制器22中的每一个操作性

地与DC电力网12的第一终端24相关联,且第一控制器22经编程以计算DC电力传输介质20在DC电力传输介质20中的第一点26处的工作电压 u_{op}^1 。

[0054] 第一点26位于在DC电力网12,即DC电网14,的第一终端24与第二终端30之间延伸的DC电力传输介质20的第一区段28中。在所示的实施例中,DC电力传输介质20的第一区段28由第一传输线32界定,且更具体地说由第一双极性传输线34界定,即结合在不同极性下操作的两个导体(图未示)的传输线。在其它实施例(图未示)中,DC电力传输介质20的第一区段28可替代地由第一传输电缆界定,所述第一传输电缆可能或可能不为双极性且可为单极性,即可结合在单一极性下操作的单一导体。第一区段28还可由单极性传输线界定。

[0055] 第一点26与第一终端24间隔第一区段28的总长度的80%与95%之间,即第一双极性传输线34的总长度的80%与95%之间,使得所述第一点距第一终端24第一距离 D_{Set}^1 。

[0056] 除前文之外,第一控制器22还经编程以计算DC电力传输介质20在DC电力传输介质20中的第二点36处的工作电压 u_{op}^2 。

[0057] 第二点36位于在DC电力网12中的第二终端30与第三终端40之间延伸的DC电力传输介质20的第二区段38中。

[0058] DC电力传输介质20的第二区段38类似地由呈第二双极性传输线44形式的第二传输线42界定。在本发明的另外的实施例中,第二区段38可为单极性,且可由传输电缆或其它介质界定。

[0059] 第二点36与第二终端30间隔DC电力传输介质20的第二区段38的总长度的20%与50%之间,即第二双极性传输线44的总长度的20%与50%之间。因此,第二点36与第一终端24相距第二距离 D_{Set}^2 ,其中第二距离 D_{Set}^2 由DC电力传输介质20的第一区段28的总长度以及第二区段38的长度的前述20%到50%组成。

[0060] 第一控制器22经编程以分别计算DC电力传输介质20在第一点26和第二点36中的每一个处的工作电压 u_{op}^1 、 u_{op}^2 。此类计算利用在第一终端24,即第一控制器22操作性地相关联的终端处测得的电流和电压值。

[0061] 由于DC电力传输介质20的第一区段28和第二区段38中的每一个由相应双极性传输线34、44界定,因此可获得正电压 $u_{mP}(n)$ 和正电流 $i_{mP}(n)$ 以及负电压 $u_{mN}(n)$ 和负电流 $i_{mN}(n)$ 的测得的样本。此外,可例如由下式给出取样周期 T_s :

[0062] $T_s = 1/96000$ 秒

[0063] 如果此类正样本和负样本待获取,那么第一控制器22此后必需根据以下相模变换来针对第一正模式 m_1 (其也可被称为‘航空’模式)和第二零模式 m_0 (其也可被称为‘陆地’模式)计算电压 u_{m1} 、 u_{m0} 和电流值 i_{m1} 、 i_{m0} :

$$[0064] \quad \begin{cases} u_{m1} = u_{mP} - u_{mN} & i_{m1} = i_{mP} - i_{mN} \\ u_{m0} = u_{mP} + u_{mN} & i_{m0} = i_{mP} + i_{mN} \end{cases}$$

[0065] 其中,

[0066] u_{mP} 为正极性线的测得电压;

[0067] i_{mP} 为正极性线的测得的电流;

[0068] u_{mN} 为负极性线的测量电压;以及

[0069] i_{mN} 为负极性线的测得的电流。

[0070] 在本发明的实施例中,操作性地与由单极性传输线或电缆界定的DC电力传输介质

20的第一区段28与第二区段38相关联,第一控制器22无需经编程以进行前述相模变换。

[0071] 在上文所提及的相模变换之后,第一控制器22经编程以接着分别计算DC电力传输介质20在第一点26处的第一工作电压 u_{op}^1 和DC电力传输介质20在第二点36处的第二工作电压 u_{op}^2 。

[0072] 在所示的实施例中,第一控制器22经编程以使用DC电力传输介质20的电阻-电感模型来计算第一操作电压 u_{op}^1 和第二操作电压 u_{op}^2 中的每一个。此模型在第一双极性传输线34和第二双极性传输线44中的每一个相对较短,例如小于大致100km(或在DC电力传输介质20替代地由地下传输电缆界定的情况下小于大致30km)的情况下尤其合适,即提供所要程度的准确度。

[0073] 更具体地说,第一控制器22包括第一工作电压计算块46¹与第二工作电压计算块46²,如图2所示,其中的每一个处理前述相模变换和第一工作电压 u_{op}^1 和第二工作电压 u_{op}^2 中的对应一个的计算。

[0074] 相应第一工作电压 u_{op}^1 与第二工作电压 u_{op}^2 的每一此类计算是基于微分方程式,

$$[0075] \quad u_{op}(t) = u_m(t) - R_{set}i_m(t) - L_{set} \frac{di_m(t)}{dt}$$

[0076] 其可由以下实施:

$$[0077] \quad u_{op}(n) = \frac{[u_m(n) + u_m(n-1)]}{2} - R_{set} \frac{[i_m(n) + i_m(n-1)]}{2} - L_{set} \frac{[i_m(n) - i_m(n-1)]}{T_s}$$

[0078] 其中,

[0079] u_{op} 在相应第一点26或第二点36处产生对应正模式工作电压 u_{op1} 或零模式工作电压 u_{op0} ;

[0080] u_m 分别为正模式的测量电压 u_{m1} 或零模式的测量电压 u_{m0} ;

[0081] i_m 分别为正模式的测得的电流 i_{m1} 或零模式的测得的电流 i_{m0} ;

[0082] R_{set} 为从第一终端24到对应第一点26或第二点36的DC电力传输介质20的电阻,即

[0083] R_{set}^1 为从第一终端24到第一点26的DC电力传输介质20的第一区段28,即第一双极性传输线32的电阻,且

[0084] R_{set}^2 为从第二终端30到第二点36的DC电力传输介质20的整个第一区段28的电阻加上第二区段38的电阻,即第二双极性传输线32的电阻;以及

[0085] L_{set} 为从第一终端24到对应第一点26或第二点36的DC电力传输介质20的电感,即

[0086] L_{set}^1 为从第一终端24到第一点26的DC电力传输介质20的第一区段28,即第一双极性传输线32的电感,且

[0087] L_{set}^2 为从第二终端30到第二点36的DC电力传输介质20的整个第一区段28的电感加上第二区段38的电感,即第二双极性传输线32的电感。

[0088] 可由DC电力传输介质20上的技术数据,例如如由DC电力网12的运营商所提供,和对应第一点26与第二点36距第一终端24的已知第一距离 D_{set}^1 与第二距离 D_{set}^2 来建立上文所提及的电阻值 R_{set} 和电感值 L_{set} 中的每一个。

[0089] 此后,由于DC电力传输介质20的第一区段28和第二区段38中的每一个由相应双极性传输线34、44界定,因此第一控制器22必需确定传输线34、44的正线和负线中的每一个的实际工作电压 u_{opP} 、 u_{opN} 。

[0090] 第一控制器22经编程以通过反转前述相模变换,即根据以下来进行此操作:

$$[0091] \quad \begin{cases} u_{opP} = u_{op1} + u_{op0} \\ u_{opN} = u_{op1} - u_{op0} \end{cases}$$

[0092] 同样,在本发明的实施例中,操作性地与由单极性传输线或电缆界定的DC电力传输介质20的第一区段28与第二区段38相关联,第一控制器22无需经编程以进行前述反转相模变换。

[0093] 第一控制器22的工作电压计算块46¹、46²中的每一个经编程以进行的操作的概述示意性地在图3中所示。

[0094] 具体来说,图3所示每一工作电压计算块46¹、46²包括:

[0095] 针对正模式 m_1 和零模式 m_0 中的每一个计算电压 u_{m1} 、 u_{m0} 和电流值 i_{m1} 、 i_{m0} 的相模变换子块48;

[0096] 在受关注的相应第一点26或第二点36处产生正模式工作电压 u_{op1} 和零模式工作电压 u_{op0} 的电压计算子块50;以及

[0097] 确定正线和负线中的每一个在受关注的所述第一点26或第二点36处的实际工作电压 u_{opP} 、 u_{opN} 的反转相模变换子块52。

[0098] 在本发明的其它实施例(图未示)中,第一控制器22可替代地经编程以通过使用DC电力传输介质20的分布参数线模型或DC电力传输介质20的频率相依性分布参数线模型来计算第一点26和第二点36中的一个或另一个处的工作电压 u_{op} 。

[0099] 在第一控制器22经编程以使用DC电力传输介质20的分布参数线模型来计算工作电压 u_{op} 的实施例中,假设频率参数与例如50Hz或100Hz等一个代表频率的参数相同,使得

$$[0100] \quad u_{op}(t-T_p) = [K_p f_m(t-2T_p) + b_m(t) / K_p] / 2$$

[0101] 其中,

[0102] u_{op} 为工作电压;

[0103] f_m 为在保护装置16的位置处,即在第一终端24处的正向电压行波;以及

[0104] b_m 为在保护装置16的位置处,即在第一终端24处的反向电压行波

[0105] f_m 和 b_m 由以下给定:

$$[0106] \quad \begin{cases} f_m(t) = u_m(t) + Z_c i_m(t - T_z) \\ b_m(t) = u_m(t) - Z_c i_m(t - T_z) \end{cases}$$

[0107] 其中,

[0108] $Z_c = |\sqrt{z/y}|$ 为浪涌阻抗,其根据需要由第一传输线32和/或第二传输线42的每一单位的阻抗 z (ohm/km) 和导纳 y (S/km) 计算出;

[0109] $T_z = \text{phase}(\sqrt{\frac{z}{y}}) / \omega_0$,其中 ω_0 为代表频率,即DC电力网12工作时的频率;

[0110] $T_p = \text{imag}(D_{\text{set}}\sqrt{zy})/\omega_0$ 为从定位保护装置16之处,即第一终端24到受关注的对应第一点26或第二点36的传播时间,其中 D_{set} 为第一点26或第二点36距第一终端24的呈km的等效距离,即如上文所描述的第一距离 D_{set}^1 或第二距离 D_{set}^2 ;

[0111] $K_p = \exp(-\text{real}(D_{\text{set}}\sqrt{zy}))$,为从定位保护装置16之处,即第一终端24到受关注的对应第一点26或第二点36的衰减因数。

[0112] 上文所提及的性能值同样可由由DC电力网12的运营商所提供的技术数据和第一点26和第二点36距第一终端24的已知第一距离 D_{set}^1 与第二距离 D_{set}^2 而建立。

[0113] 作为替代系统,如果第一传输线32和第二传输线42并未失真,那么可再次利用上文陈述的主要方程式,但可替代地计算出以下参数:

[0114] $Z_c = \sqrt{L/C}$ 为浪涌阻抗,其中L为传输线32、42的每一单位长度的电感(H/km)且C为传输线32、42的每一单位长度的电容(F/km);

[0115] $T_z=0$,即忽略浪涌阻抗的相移;

[0116] $T_p = D_{\text{set}}/(1/\sqrt{LC})$,为从定位保护装置16之处,即第一终端24到受关注的对应第一点26或第二点36的传播时间;

[0117] $K_p = \exp(-RD_{\text{set}}/Z_c)$,为从定位保护装置16之处,即第一终端24到受关注的对应第一点26或第二点36的衰减因数,其中R为传输线32、34的每一单位长度的电阻(ohm/km)。

[0118] 类似地,这些性能值同样可由由DC电力网12的运营商所提供的技术数据和第一点26和第二点36距第一终端24的已知第一距离 D_{set}^1 与第二距离 D_{set}^2 而建立。

[0119] 在任何情况下,使得第一控制器22经编程以使用DC电力传输介质20的分布参数线模型来计算工作电压 u_{op} 有助于更长的传输线32、42,即在大致100km与200km之间(或在DC电力传输介质20由地下电缆界定的情况下在大致30km与80km之间)的线,这是由于其能够考虑到所述线内的电压波形行进的任何传播时间延迟。

[0120] 在另外的实施例中,其中第一控制器22经编程以使用DC电力传输介质20的频率分布参数线模型来计算工作电压 u_{op} ,第一控制器22首先根据以下方程式计算正向行波 f_m 和反向行波 b_m :

$$[0121] \quad f_m(t) = u_m(t) + Z_c(t) * i_m(t)$$

$$[0122] \quad b_m(t) = u_m(t) - Z_c(t) * i_m(t)$$

[0123] 其中,

[0124] $Z_c(t)$ 为频率相依性的浪涌阻抗,且其在频域中可由以下描述

$$[0125] \quad Z_c(z) = Z_{c0} \frac{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_N z^{-N}}{1 + b_1 z^{-1} + \dots + b_N z^{-N}}$$

[0126] 其中

[0127] Z_{c0} 为浪涌阻抗的常数部分;以及

[0128] a_k 和 b_k 为频域中浪涌阻抗的系数 $Z_c(z)$ 。

[0129] 前述 a_k 和 b_k 系数可由例如由DC电力网12的运营商所提供的DC电力传输介质20上的技术数据通过卡尔森(Carlson)的方程式而计算出。

[0130] 同时,符号*表示卷积的数学运算,其中可假设浪涌阻抗 z_c 具有3阶。

[0131] 第一控制器22接着其次根据以下计算在受关注的相应第一点26或第二点36处的正向行波 f_{op} 和反向行波 b_{op} :

$$[0132] \quad f_{op}(t-T_{pSet}) = f_m(t-2T_{pSet}) * h_{set}(t)$$

$$[0133] \quad b_{op}(t-T_{pSet}) = b_m(t) * h_{set}^{-1}(t)$$

[0134] 其中,

[0135] T_{pSet} 为从定位保护装置16之处,即第一终端24到受关注的对应第一点26或第二点36的位置的最小传播时间;

[0136] $h_{set}(t)$ 为从定位保护装置16之处,即从第一终端24到受关注的对应第一点26或第二点36的位置的行波的传播函数,其在频域中可由以下描述

$$[0137] \quad H_{set}(z) = \frac{c_0 + c_1 z^{-1} + \dots + c_{N-1} z^{-(N-1)}}{1 + d_1 z^{-1} + \dots + d_N z^{-N}}$$

[0138] 其中,

[0139] c_k 和 d_k 为传播函数的系数 $H_{set}(s)$ 。

[0140] 前述 c_k 和 d_k 系数同样可由通过DC电力网12的运营商所提供的技术数据通过卡尔森的方程式计算出。

[0141] 最后,第一控制器22根据以下计算工作电压:

$$[0142] \quad u_{op} = f_{op} + b_{op}$$

[0143] 使得第一控制器22经编程以使用DC电力传输介质20的频率相依性分布参数线模型来计算工作电压 u_{op} 有助于特长传输线32、42,即超过大致200km长(或在DC电力传输介质20由地下电缆界定的情况下超过80km长)的线,这是由于它能够考虑到在相当大的程度上使具有此长度的传输线中的行波的波形失真的频率相依性参数(例如集肤效应)。

[0144] 同时,返回到所示的实施例,第一控制器22经编程以使用计算出的工作电压 u_{op} 与测量电压 u_m 的幅度比较来执行所述电压 u_{op} 、 u_m 之间的瞬态比较。

[0145] 更具体地说,对于第一点26和第二点36中的每一个,第一控制器22包括用以进行所述幅度比较的对应第一瞬态相位比较块54¹与第二瞬态相位比较块54²。

[0146] 仍更具体地说,由于DC电力传输介质20的第一区段28和第二区段38中的每一个由相应双极性传输线34、44界定,因此每一所述瞬态相位比较块54¹、54²进行以下比较:

$$[0147] \quad ||u_{opP} + u_{mP}|| < ||u_{opP} - u_{mP}||$$

$$[0148] \quad ||u_{opN} + u_{mN}|| < ||u_{opN} - u_{mN}||$$

[0149] 其中 $|| \quad ||$ 指示RMS值,即如由以下给定:

$$[0150] \quad ||x(n)|| = \sqrt{\frac{1}{W} \sum_{k=0}^{W-1} |x(n-k)|^2}$$

[0151] 其中,

[0152] W 为时间窗口长度,例如如果时间窗口为0.5ms且取样周期 T_s 如上文所陈述为1/96000,那么窗口长度通过下式给出:

[0153] $W=0.0005/(1/96000)=48$ 。

[0154] 在本发明的其它实施例中, $|| \quad ||$ 可指示绝对值的总和, 即如由以下给定:

$$[0155] \quad ||x(n)|| = \frac{1}{W} \sum_{k=0}^{W-1} |x(n-k)|$$

[0156] 其中,

[0157] W 同样是时间窗口长度。

[0158] 在任一情况下, 如果瞬态比较满足预定义准则, 即如果前述比较中的一个有效

[0159] $||u_{opP+u_{mP}}|| < ||u_{opP-u_{mP}}||$; 或

[0160] $||u_{opN+u_{mN}}|| < ||u_{opN-u_{mN}}||$

[0161] 那么第一控制器22操作第一保护装置16。

[0162] 在本发明的其它实施例中, 操作性地与由单极性传输线或电缆界定的DC电力传输介质20的第一区段28与第二区段38相关联, 第一控制器22的对应第一瞬态相位比较块54¹或第二瞬态相位比较块54²仅需要进行以下形式的更简单的幅度比较:

[0163] $||u_{op+u_m}|| < ||u_{op-u_m}||$

[0164] 以确定是否操作第一保护装置16。

[0165] 在本发明的类似的此类单极性实施例中, 第一控制器22可替代地经编程以使用计算出的工作电压 u_{op} 、测量电压 u_m 的相关性来执行所述电压 u_{op} 与 u_m 之间的瞬态比较。

[0166] 由于以此方式编程, 因此此类第一控制器22使工作电压 u_{op} 与测量电压 u_m 信号相关以建立以下形式的相关系数:

$$[0167] \quad R_{Cor}(n) = \frac{\sum_{k=n-W+1}^n u_{op}(k)u_m(k)}{\sqrt{\sum_{k=n-W+1}^n u_{op}^2 \sum_{k=n-W+1}^n u_m^2}}$$

[0168] 其中,

[0169] W 同样是时间窗口长度。

[0170] 此后, 此类第一控制器22比较所得相关系数 R_{Cor} 与阈值 R_{set} 且将在相关系数 R_{Cor} 低于阈值 R_{set} , 即在预定义准则为以下时操作第一保护装置16:

[0171] $R_{Cor}(n) < R_{set}$

[0172] 作为实例, R_{set} 可具有-0.5的值。

[0173] 在本发明的其它实施例中, 正工作电压 u_{opP} 与正测量电压 u_{mP} 的相应相关性或负工作电压 u_{opN} 与负测量电压 u_{mN} 的相关性也可通过控制器进行。

[0174] 返回到所示且上面详细地描述的特定实施例, 即其中第一控制器22经编程以进行相对于在DC电力传输介质20中的第一点26处计算出的第一工作电压 u_{op}^1 的第一瞬态比较, 以及进行相对于在DC电力传输介质20中的第二点36处计算出的第二工作电压 u_{op}^2 的第二瞬态比较, 第一控制器22在使用中经编程以在第一瞬态比较或第二瞬态比较满足预定义准则, 即满足前述幅度比较的情况下操作第一保护装置16。

[0175] 此外, 第一控制器22另外经编程以在第二瞬态比较满足预定义准则时延迟操作第一保护装置16。此延迟可总计约5到10ms。

[0176] 另外, 第一控制器22将在例如从在DC电力传输介质20的第一区段28的另一端处与

第二终端30相关联的第二控制器62接收到外部跳闸信号56后就操作第一保护装置16,且被配置成操作呈另一断路器18形式的第二保护装置64。以此方式,第二控制器62和第二保护装置64连同第二测量设备(图未示)一起界定第二DC保护系统60,其为DC电力传输介质20的第一区段28提供重叠保护。

[0177] 图1中所示的DC电力网还另外包括在第三终端40与第一终端24之间延伸的DC电力传输介质20的第三区段66。每一终端24、30、40经由前述DC电力网12,即前述DC电网14将对第一电力转换器68、第二电力转换器70或第三电力转换器72与相关联的第一AC网74、第二AC网76或第三AC网78电互连。

[0178] 第二终端30还具有操作性地与其相关联的第三DC保护系统80,其中所述第三DC保护系统80包括第三控制器82、第三保护装置84(呈又一断路器18形式)和第三测量设备(图未示)。

[0179] 以类似方式,第三终端40具有操作性地与其相关联的第四DC保护系统90,其中所述第四DC保护系统90同样类似地包括第四控制器92、第四保护装置94(呈又一断路器18形式)和第四测量设备(图未示)。

[0180] 第三DC保护系统80和第四DC保护系统90为DC电力传输介质20的第二区段38提供重叠保护。

[0181] 第三终端40另外具有操作性地与其相关联的第五DC保护系统100,其包括相称的第五控制器102、第五保护装置104(同样为断路器18和第五测量设备(图未示)),而第一终端24具有操作性地与其相关联的第六DC保护系统110,其类似地具有相称的第六控制器112、第六保护装置114(同样为断路器18)和第六测量设备(同样图未示)。

[0182] 第五DC保护系统100和第六DC保护系统110为DC电力传输介质20的第三区段66提供重叠保护。

[0183] 在图1中所示的DC电力网12,即DC电网14的实施例中,第二DC保护系统60、第三DC保护系统80、第四DC保护系统90、第五DC保护系统100和第六DC保护系统110与上面所描述的第一DC保护系统10相同。然而,在其它实施例中,DC保护系统10、60、80、90、100、110中的一个或多个可包括根据本文中所描述的替代配置中的一个或多个而经编程的对应控制器22、62、82、92、102、112。然而,在任何情况下,各种DC保护系统10、60、80、90、100、110彼此合作以为DC电力传输介质20的第一区段28、第二区段38和第三区段66提供额外、重叠保护。

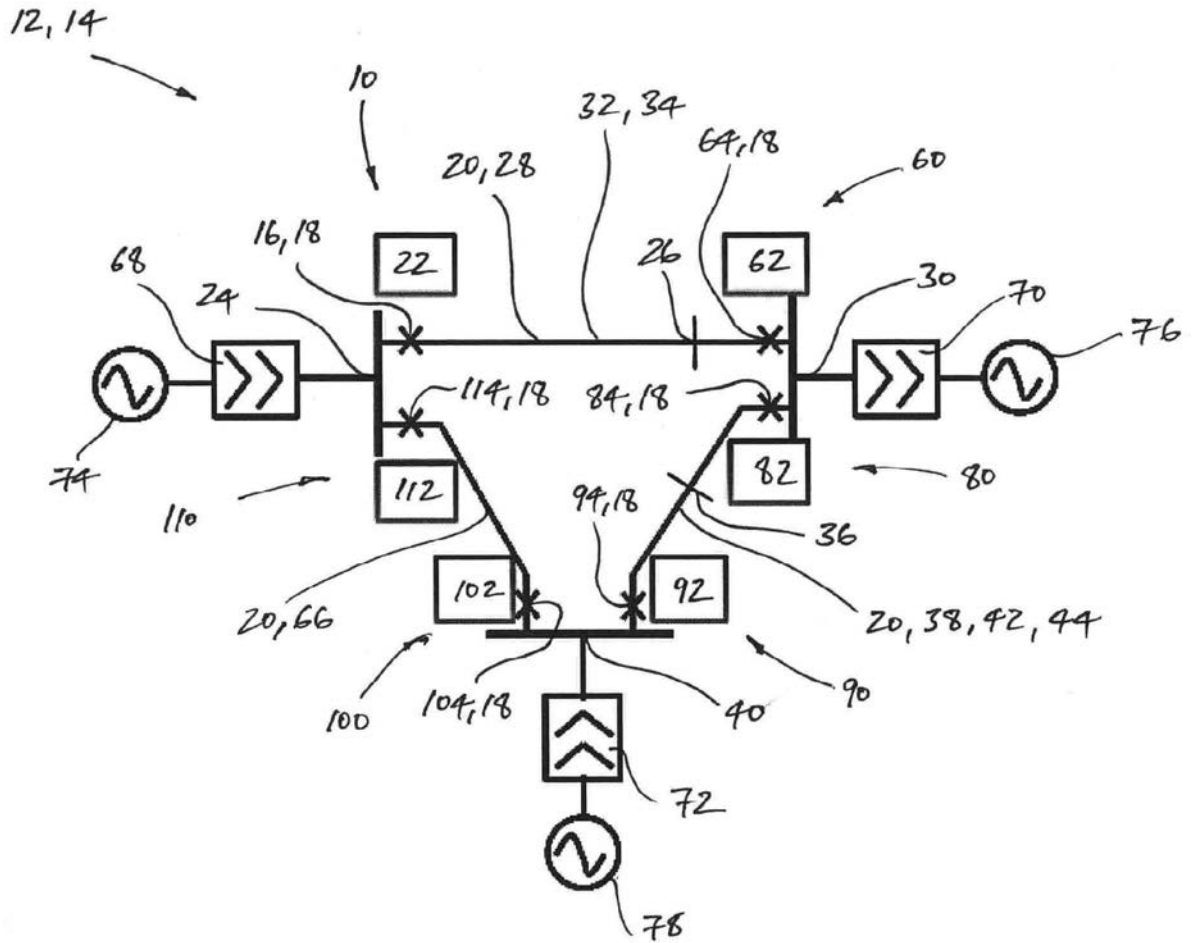


图1

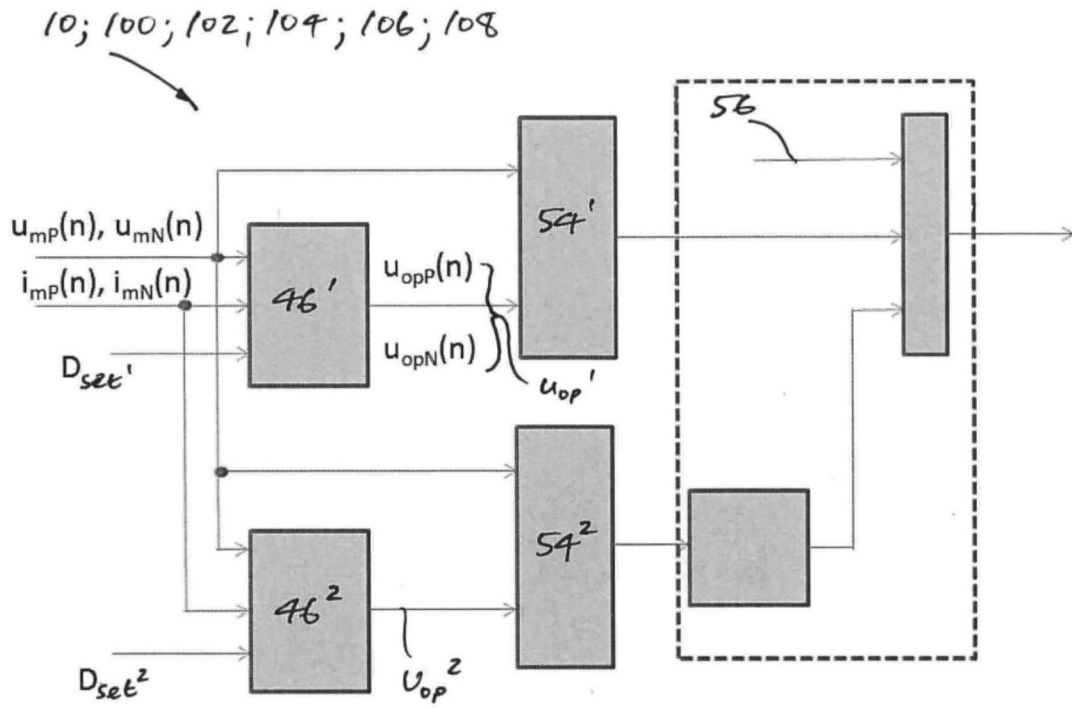


图2

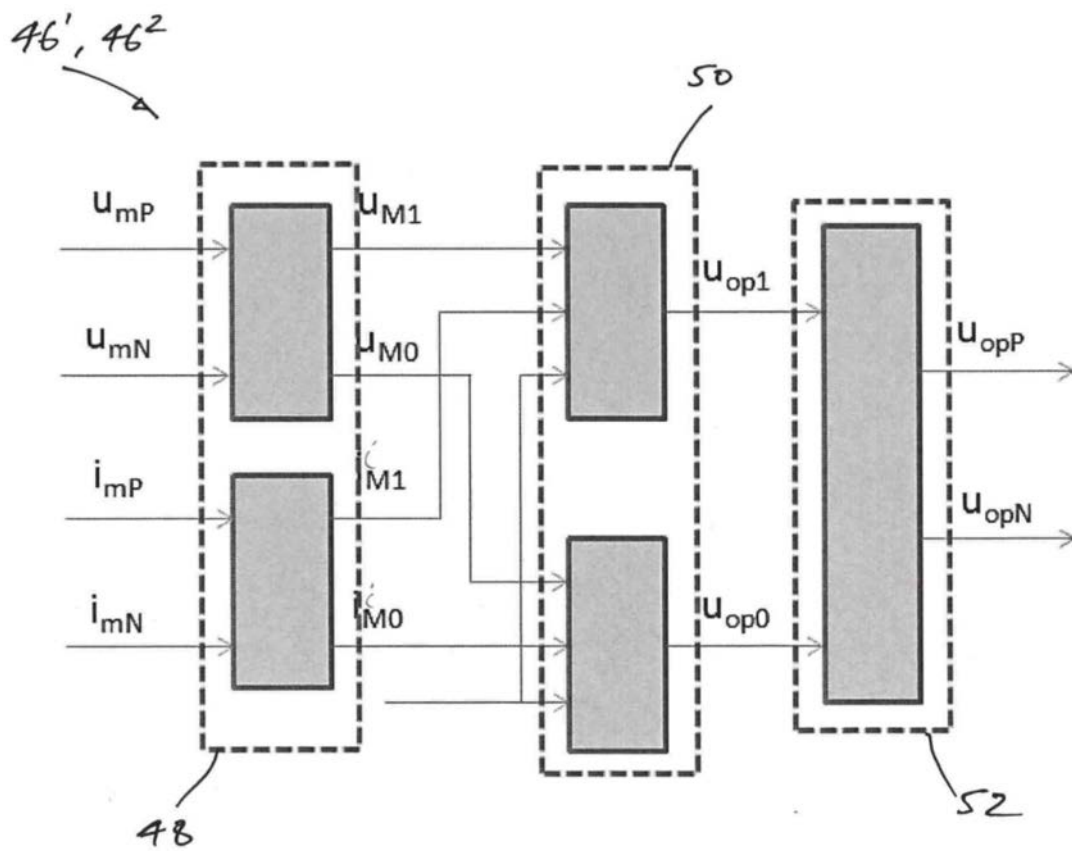


图3