



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102623968 B

(45) 授权公告日 2014. 07. 02

(21) 申请号 201210066058. 7

CN 1235675 A, 1999. 11. 17,

(22) 申请日 2012. 03. 14

审查员 刘亚花

(73) 专利权人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路 800 号

(72) 发明人 郑晓冬 邵能灵 杨光亮 陈安鹏

(74) 专利代理机构 上海交达专利事务所 31201

代理人 王毓理

(51) Int. Cl.

H02H 7/26 (2006. 01)

H02H 3/52 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102163837 A, 2011. 08. 24,

CN 101701985 A, 2010. 05. 05,

CN 102347616 A, 2012. 02. 08,

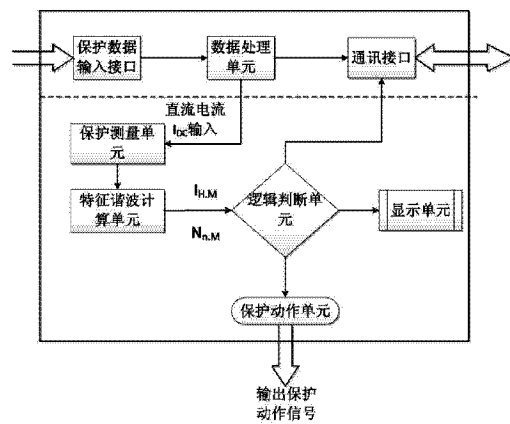
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

基于特征谐波的高压直流输电线路保护方法及其系统

(57) 摘要

一种电力系统直流输电线路继电保护技术领域的基于特征谐波的高压直流输电线路保护方法及其系统基于特征谐波的高压直流输电线路保护方法,通过对直流线路两侧的直流电流进行同步采样得到实时电流数据并进行离散傅里叶变换,得到线路两端电流特征谐波;然后对特征电流谐波进行计数 $N_{n,m}$ ,并计算加权指数 $I_{H,M}$ ,最后将加权指数 $I_{H,M}$ 和特征电流谐波数 $N_{n,m}$ 与整定值 $I_{H,set}$ 和 $N_{n,set}$ 进行逻辑判断,得到故障类型;本发明能够不受分布电容电流影响,不仅克服了传统高压直流线路差动保护的缺陷,并且耐受过渡电阻能力强,对采样频率无特殊要求,运算简单,易于实现,动作速度快、可靠性高。



1. 一种基于特征谐波的高压直流输电线路保护方法,其特征在于,通过对直流线路两侧的直流电流进行同步采样得到实时电流数据并进行离散傅里叶变换,得到线路两端特征电流谐波;然后对特征电流谐波进行计数  $N_{n,M}$ ,并计算加权指数  $I_{H,M}$ ,最后将加权指数  $I_{H,M}$  和特征电流谐波数  $N_{n,M}$  与整定值  $I_{H,set}$  和  $N_{n,set}$  进行逻辑判断,得到故障类型;

所述的实时电流数据包括:直流线路两端保护测量装置实时采集的直流电流  $I_m$  和  $I_n$ ;  
所述的逻辑判断是指:

a) 当电网系统正常运行,则线路两端特征电流谐波的加权指数低于整定值,即: $I_{H,M} < I_{H,set}$ ;

b) 当电网系统存在故障,线路两端特征电流谐波的加权指数高于整定值,即: $I_{H,M} > I_{H,set}$ ,进而:

b1) 当: $\begin{cases} I_{H,M} > I_{H,set} \\ N_{n,M} > N_{n,set} \end{cases}$ ,说明直流线路内部存在连续特征电流谐波,判断为直流线路内部故障;

b2) 当: $\begin{cases} I_{H,M} > I_{H,set} \\ N_{n,M} < N_{n,set} \end{cases}$ ,则保护判为直流线路外部故障;

利用特征电流谐波作为直流线路的主保护,来判定直流线路是否发生接地故障。

2. 根据权利要求1所述的保护方法,其特征是,所述的离散傅里叶变换是指:将实时电流数据进行 DFT 变换,并提取出 12 次、24 次和 36 次特征电流谐波电流,即  $I_{12,M}$ ,  $I_{24,M}$  和  $I_{36,M}$ ,单位:p.u.。

3. 根据权利要求2所述的保护方法,其特征是,所述的加权指数  $I_{H,M}$  是指: $I_{H,M} = k_{12} \times I_{12,M} + k_{24} \times I_{24,M} + k_{36} \times I_{36,M}$ ,其中: $k_{12}$ 、 $k_{24}$  和  $k_{36}$  分别为 12 次、24 次和 36 次特征电流谐波的修正指数。

4. 一种实现上述任一权利要求所述方法的保护系统,其特征在于,包括:保护测量单元、特征电流谐波计算单元、逻辑判断单元、保护动作执行单元和显示单元,其中:保护测量单元与直流线路上的直流互感器装置相连接,接收直流互感器实时测得的线路直流电流并传输实时电流信息到特征电流谐波计算单元;实时直流电流信息在特征电流谐波计算单元中被分析,该特征电流谐波计算单元计算出保护所需的特征电流谐波并将此信息传送到逻辑判断单元;根据上述逻辑判断表达式,保护做出正确的逻辑判断并将此判断结果传输到相应的保护动作执行单元和显示单元。

## 基于特征谐波的高压直流输电线路保护方法及其系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及的是一种电力系统直流输电线路继电保护技术领域的方法和装置,具体是一种超/特高压直流输电线路的基于特征谐波的高压直流输电线路保护方法及其系统。

### 背景技术

[0002] 高压直流 (HVDC) 输电以其传输功率大,控制性能好等优点,在远距离、大功率输电中占有重要的地位,世界发达国家都把它作为大容量、远距离送电和异步联网的主要手段。在我国,自 1987 年舟山直流输电工程竣工以来,我国直流输电工程数量与日俱增。伴随着“西电东送,南北互供,全国联网”的坚强智能电网的建设,今后十年将会是我国直流输电建设的高潮期。

[0003] 高压直流输电线路一般作为区域电网的联络线,它的安全性和可靠性不仅关系到本区系统的稳定性,而且将直接影响到与其相连区域电网甚至整个大电网的稳定运行。高压直流输电线路是直流输电系统中最重要元件之一,其特点是输电线路长,故障发生概率高,因此提高直流输电线路继电保护的运行水平对保证直流输电系统的安全性与可靠性意义重大。

[0004] 在各种直流线路的保护方案中,行波保护和电流差动保护的应用最为广泛。现有直流线路行波保护存在诸多不足,如可靠性差、只能用于故障暂态的波过程期间、整定理论不完备等。对于长距离高压直流输电线路而言,在故障发生的暂态过程中,直流线路会产生分布电容电流,可能引起线路差动保护的误动,降低保护的可靠性。因此,有必要对直流输电线路保护进行改进,提升保护动作性能,保证直流线路保护在线路内部故障时可以正确快速动作,外部故障时可靠不动作。

[0005] 经过对现有技术的检索发现,张保会等在《电力系统保护与控制》,第 38 卷,15 期,2010 年 8 月中发表了名为:高压直流线路单端暂态量保护研究(Research on transient-based protection for HVDC lines)的文献,该文献提出了仅采用单端暂态电压信号的直流线路保护方案。通过对直流线路两端安装的平波电抗器和直流滤波器组的幅频特性分析,构造了暂态量保护的主元件——边界元件的原理和算法,并在此基础上形成了启动元件、雷电干扰识别元件和故障极判别元件的动作判据以及它们与主元件间的逻辑配合关系。但是该现有技术需要计算保护线路上的高频,中频和低频的“平均能量和”,算法复杂,计算量大。

### 发明内容

[0006] 本发明针对现有技术存在的上述不足,提供一种基于特征谐波的高压直流输电线路保护方法及其系统,能够不受分布电容电流影响,不仅克服了传统高压直流线路差动保护的缺陷,并且耐受过渡电阻能力强,对采样频率无特殊要求,运算简单,易于实现,动作速度快、可靠性高。

[0007] 本发明是通过以下技术方案实现的：

[0008] 本发明涉及一种基于特征谐波的高压直流输电线路保护方法，通过对直流线路两侧的直流电流进行同步采样得到实时电流数据并进行离散傅里叶变换，得到线路两端电流特征电流谐波；然后对特征电流谐波进行计数  $N_{n,M}$ ，并计算加权指数  $I_{H,M}$ ，最后将加权指数  $I_{H,M}$  和特征电流谐波数  $N_{n,M}$  与整定值  $I_{H,set}$  和  $N_{n,set}$  进行逻辑判断，得到故障类型。

[0009] 所述的实时电流数据包括：直流线路两端保护测量装置实时采集的直流电流  $I_m$  和  $I_n$ 。

[0010] 所述的离散傅里叶变换是指：将实时电流数据进行 DFT 变换，并提取出 12 次、24 次和 36 次特征电流谐波电流，即  $I_{12,M}$ 、 $I_{24,M}$  和  $I_{36,M}$ ，单位：p.u.。

[0011] 所述的加权指数  $I_{H,M}$  是指： $I_{H,M} = k_{12} \times I_{12,M} + k_{24} \times I_{24,M} + k_{36} \times I_{36,M}$ ，其中： $k_{12}$ 、 $k_{24}$  和  $k_{36}$  分别为 12 次、24 次和 36 次特征电流谐波的修正指数。

[0012] 所述的逻辑判断是指：

[0013] a) 当电网系统正常运行，则线路两端电流特征电流谐波值低于整定值，即： $I_{H,M} < I_{H,set}$ ；

[0014] b) 当电网系统存在故障，线路两端电流特征电流谐波值高于整定值，即： $I_{H,M} > I_{H,set}$ ，进而：

[0015] b1) 当： $\begin{cases} I_{H,M} > I_{H,set} \\ N_{n,M} > N_{n,set} \end{cases}$ ，说明直流线路内部存在连续特征电流谐波，判断为直流线路内

[0016] 部故障；

[0017] b2) 当： $\begin{cases} I_{H,M} > I_{H,set} \\ N_{n,M} < N_{n,set} \end{cases}$ ，则保护判为直流线路外部故障。

[0018] 利用特征电流谐波作为直流线路的主保护，来判定直流线路是否发生接地故障。

[0019] 本发明涉及上述方法的实现系统，包括：保护测量单元、特征电流谐波计算单元、逻辑判断单元、保护动作执行单元和显示单元，其中：保护测量单元与直流线路上的直流互感器装置相连接，接收直流互感器实时测得的线路直流电流并传输实时电流信息到特征电流谐波计算单元；实时直流电流信息在特征电流谐波计算单元中被分析，该单元计算出保护所需的特征电流谐波并将此信息传送到逻辑判断单元；根据上述逻辑判断表达式，保护做出正确的逻辑判断并将此判断结果传输到相应的保护动作执行单元和显示单元。

[0020] 本发明有效地克服现有直流线路行波保护的不足，如可靠性差、只能用于故障暂态的波过程期间、整定理论不完备、仅依靠仿真进行整定等。通过直流输电线路分布参数，本发明进行了时域补偿。克服了传统差动保护可靠性差，容易误动的缺点。利用线路边界特性，采用特征电流谐波这一概念，有效的克服了仅依靠故障信号的单一频率信息来判断故障的不全面的缺陷；特征电流谐波保护算法简单，利用离散傅里叶变换提取电流信号中的特征电流谐波信息。此外，长距离直流输电线路发生高阻接地故障时，电量的突变幅值会降低，对于传统的直流差动保护算法而言，可能无法准确捕捉故障点行波传递至保护侧的波头信号，从而引起保护拒动。本保护只需要检出直流线路内部故障时的特征电流谐波，在直流线路内部发生高阻接地故障时，两端保护单元仍能可靠检测出线路上的特征电流谐波，而外部故障时由于线路边界特性，特征电流谐波被有效排除在保护单元外侧，所以保护

单元测量不到连续的特征电流谐波。因此,利用特征电流谐波可以有效抑制高阻接地对线路保护的影响。本发明的特征电流谐波保护具有动作速度快、可靠性高、计算简单等特点,能够取代行波保护和差动保护,作为直流线路保护的主保护。

### 附图说明

[0021] 图 1 是本发明系统示意图。

[0022] 图 2 是特征电流谐波保护的算法实现的软件流程图。

[0023] 图 3 是实施例应用示意图。

### 具体实施方式

[0024] 下面对本发明的实施例作详细说明,本实施例在以本发明技术方案为前提下进行实施,给出了详细的实施方式和具体的操作过程,但本发明的保护范围不限于下述的实施例。

[0025] 实施例

[0026] 如图 1 所示,本实施例通过以下结构的系统得以实现,该系统包括:保护测量单元、特征电流谐波计算单元、逻辑判断单元、保护动作执行单元和显示单元,其中:保护测量单元与直流线路上的直流互感器装置相连接,接收直流互感器实时测得的线路直流电流并传输实时电流信息到特征电流谐波计算单元;实时直流电流信息在特征电流谐波计算单元中被分析,该单元计算出保护所需的特征电流谐波并将此信息传送到逻辑判断单元;根据上述逻辑判断表达式,保护做出正确的逻辑判断并将此判断结果传输到相应的保护动作执行单元和显示单元。

[0027] 如图 2 所示,本发明通过以下步骤实现特征电流谐波保护:安装在直流线路两端的保护测量装置实时数据采集,直流保护装置采集提取线路两端电流特征电流谐波,并与整定值比较,可以得到系统状况与故障类型。

[0028] 1. 保护测量单元对直流线路两侧的直流电流进行同步采样,收集实时电流数据进入特征电流谐波保护的缓存。

[0029] 所述的实时电流数据包括:直流线路两端保护测量装置实时采集的直流电流  $I_m$  和  $I_n$ 。

[0030] 2. 从缓存中读取实时电流信息,利用离散傅里叶算法(DFT)提取线路两端特征电流谐波(12次,24次,36次特征电流谐波电流)。

[0031] 所述的离散傅里叶变换是指:将实时电流数据进行 DFT 变换,并提取出 12 次、24 次和 36 次特征电流谐波电流,即  $I_{12.M}$ ,  $I_{24.M}$  和  $I_{36.M}$  (单位:p.u.)。

[0032] 3. 保护中的特征电流谐波计算单元对两端保护提取的特征电流谐波进行计数  $N_{n.M}$ 。以 500kV 电压等级的高压直流输电线路为例,对 12 次电流谐波脉波计数。

[0033] 4. 计算线路两端电流特征电流谐波:

$$[0034] \quad I_{H.M} = k_{12} \times I_{12.M} + k_{24} \times I_{24.M} + k_{36} \times I_{36.M} \quad (8)$$

[0035] 式中,  $k_{12}$ ,  $k_{24}$  和  $k_{36}$  为 12 次, 24 次, 36 次特征电流谐波的修正指数,分别为:  $k_{12} = 1$ ,  $k_{24} = 2$ ,  $k_{36} = 3$ ;  $I_{12.M}$ ,  $I_{24.M}$  和  $I_{36.M}$  为 12 次, 24 次, 36 次特征电流谐波测量值。

[0036] 5. 将上述步骤三与四所得测量值  $N_{n.M}$  和  $I_{H.M}$  与整定值  $N_{n.set}$  和  $I_{H.set}$  比较,判

断故障类型。以 500kV 电压等级 2000km 的高压直流输电线路为例，线路正常运行时， $I_{H.M} \approx 0.0012p.u.$ ；根据线路实际工程需要可以设置  $I_{H.set} = 0.01 \sim 0.08p.u.$ ， $N_{12.set} = 12$ 。

[0037] 所述的整定值  $I_{H.set}$  和  $N_{n.int}$  的获得方式为：

$$[0038] \quad I_{H.set} = k_{int} \times k_{line} \times k_{fault.r} \times I_{H.int} \quad (6)$$

$$[0039] \quad N_{n.set} = N_{n.int} \quad (7)$$

[0040] 其中： $k_{int}$  为特征波保护影响因子， $k_{int} = 0.8 \sim 1.3$ ； $k_{line}$  为线路参数影响因子， $k_{line} = 0.2 \sim 1.9$ ； $k_{fault.r}$  为特征波保护影响因子， $k_{fault.r} = 0.6 \sim 1.2$ ； $I_{H.int}$  为特征波保护特征电流谐波初始设定值； $I_{H.set}$  为特征波保护特征电流谐波整定值； $N_{n.int}$  为特征波保护特征电流谐波脉波数初始设定值，12、24、36 次特征波保护特征电流谐波脉波数初始设定值分别为  $N_{12.int} = 12$ ， $N_{24.int} = 24$ ， $N_{36.int} = 36$ 。

[0041] 为简化保护逻辑为在此选择  $N_{12.int} = 12$  为特征波保护的电流波脉波数初始整定值； $N_{n.set}$  为特征波保护特征电流谐波脉波数整定值。

[0042] 所述的逻辑判断是指：

[0043] 当：

$$[0044] \quad I_{H.M} < I_{H.set} \quad (9)$$

[0045] 系统无故障。

[0046] 否则，有：

$$[0047] \quad I_{H.M} > I_{H.set} \quad (10)$$

[0048] 系统存在故障。

[0049] 进而，若有：

$$[0050] \quad \begin{cases} I_{H.M} > I_{H.set} \\ N_{n.M} < N_{n.set} \end{cases} \quad (11)$$

[0051] 则系统故障为直流线路外部故障。

[0052] 否则：

$$[0053] \quad \begin{cases} I_{H.M} > I_{H.set} \\ N_{n.M} > N_{n.set} \end{cases} \quad (12)$$

[0054] 说明是直流线路内部故障，特征电流谐波保护立即动作。

[0055] 利用特征电流谐波作为直流线路的主保护，来判定直流线路是否发生接地故障。由(6)式可计算线路特征电流谐波电流值，进而用线路特征电流谐波值判断系统故障类型。线路内部故障时，线路两端谐波保护单元可以检测到周期性特征电流谐波，即：

$$[0056] \quad \begin{cases} I_{H.M} > I_{H.set} \\ N_{n.M} > N_{n.set} \end{cases}$$

[0057] 线路外部故障时，由于线路边界作用，有：

$$[0058] \quad \begin{cases} I_{H.M} > I_{H.set} \\ N_{n.M} < N_{n.set} \end{cases}$$

[0059] 因此，可以通过直流线路两端电流特征电流谐波来判定直流线路的故障性质。

[0060] 如图 3 所示，为本实施例具体应用示意图：直流线路两端的保护测量装置对线路

两端电流电压量进行实时监控,通过站间通讯交互数据信息。(单极高压直流输电线路同样适用)

[0061] 本方法基于线路边界特性,采用特征电流谐波概念,利用离散傅里叶变换提取电流信号中的特征电流谐波信息,只需要检出直流线路内部故障时的特征电流谐波,在直流线路内部发生高阻接地故障时,两端保护单元仍能检测出线路上的特征电流谐波,而外部故障时由于线路边界特性,特征电流谐波被排除在保护单元外侧,所以保护单元测量不到连续的特征电流谐波。因此,利用特征电流谐波可以有效抑制高阻接地对线路保护的影响。以上提到的 500kV 电压等级 2000km 的高压直流输电线路为例,本保护动作准确,灵敏度高,保护处理时间可控制在 15ms 以内。与行波保护和电压突变量相比,特征电流谐波保护更灵敏,可靠。

[0062] 基于上述分析,可以利用特征电流谐波作为直流线路的主保护,来判定直流线路是否发生接地故障。线路两端特征电流谐波与系统故障存在紧密联系。线路内部故障时,线路两端电流信号中可以检出连续的特征电流谐波电流,幅值与脉冲个数均超过整定值。而在线路外部故障时,线路两端电流信号中检测不出连续脉冲个数的特征电流谐波电流。因此,可以通过线路电流信号中的特征电流谐波电流来判定直流线路内外部故障。

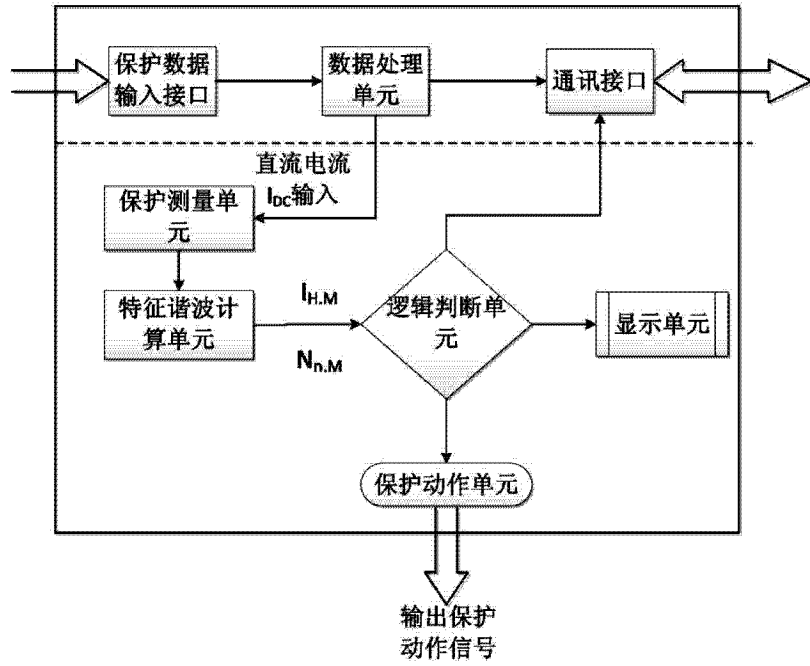


图 1

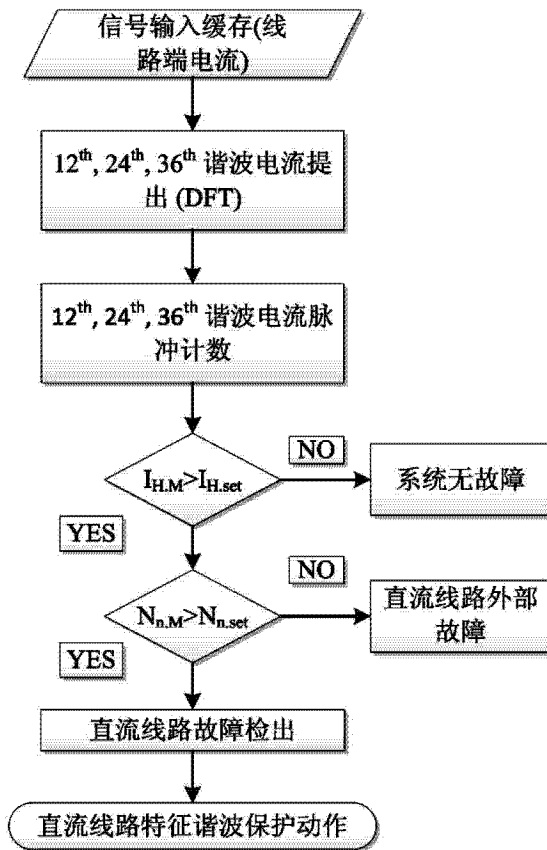


图 2



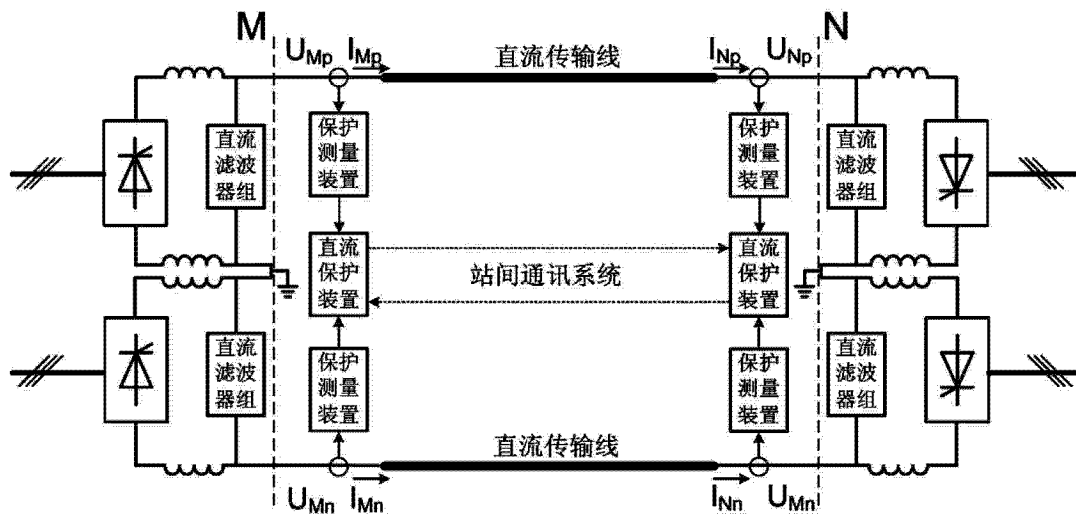


图 3