

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102326089 A

(43) 申请公布日 2012. 01. 18

(21) 申请号 201080008962. 1

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

(22) 申请日 2010. 02. 12

代理人 汤春龙 朱海煜

(30) 优先权数据

09153167. 3 2009. 02. 19 EP

(51) Int. Cl.

G01R 31/11(2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

2011. 08. 19

H02J 3/00(2006. 01)

(86) PCT申请的申请数据

PCT/EP2010/051756 2010. 02. 12

(87) PCT申请的公布数据

W02010/094621 EN 2010. 08. 26

(71) 申请人 ABB 研究有限公司

地址 瑞士苏黎世

(72) 发明人 K·Y·哈夫纳 O·斯泰格

P·克里普纳 B·德克

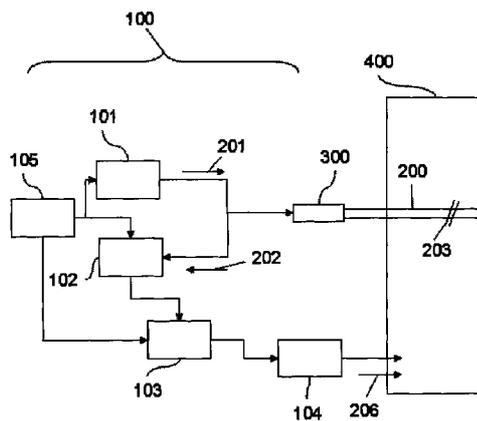
权利要求书 2 页 说明书 11 页 附图 6 页

(54) 发明名称

用于测试电力分配系统的方法和电力分配系统分析器装置

(57) 摘要

一种用于测试供电网络(400)的电力分配系统(210)的方法,包括如下步骤:将第一电气信号(201)耦合到要测试的电力分配系统(210)中;沿要测试的电力分配系统(210)传播第一电气信号(201);以及接收是在电力分配系统(210)内反射的第一电气信号(201)的一部分的第二电气信号(202)。在第一电气信号(201)与第二电气信号(202)之间测量信号变化参数,其中从测量的信号变化参数中获得供电网络(400)内危险传导段(203)的位置。确定危险传导段(203)的最大额定载荷,并提供用于控制供电网络(400)使得在危险传导段(203)上传送的电力不超过最大额定载荷的控制信号。



1. 一种用于测试供电网络 (400) 的电力分配系统 (210) 的方法,所述方法包括:  
将第一电气信号 (201) 耦合到要测试的所述电力分配系统 (210) 中;  
在要测试的所述电力分配系统 (210) 内传播所述第一电气信号 (201);  
接收是在所述电力分配系统 (210) 内反射的所述第一电气信号 (201) 的一部分的第二电气信号 (202);  
在所述第一电气信号 (201) 与所述第二电气信号 (202) 之间测量信号变化参数;  
从测量的信号变化参数中获得所述电力分配系统 (210) 内危险传导段 (203) 的至少一个位置;  
从测量的信号变化参数中获得所述危险传导段 (203) 的最大额定载荷;以及  
输出用于控制所述供电网络 (400) 使得在所述危险传导段 (203) 上传送的电力不超过所述最大额定载荷的控制信号。
2. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述信号变化参数包括时域、扩展谱时域、频域或时域、扩展谱时域、频域的组合、诸如适合于混合信号反射计的混合信号中至少一项的变化。
3. 如权利要求 1 或 2 所述的方法,其中所述第一电气信号 (201) 被耦合、优选地电容地或电流地耦合到要测试的所述电力分配系统 (210) 的电力电缆 (200) 中;并且其中优选地所述方法还包括从所述电力电缆提取电力并将提取的电力用于测试所述电力分配系统。
4. 如以上权利要求中任一项所述的方法,其中测量的信号变化参数与存储的参考信号变化参数相比较,其中根据所述比较确定所述最大额定载荷。
5. 如以上权利要求中任一项所述的方法,其中对于所述电力分配系统 (210) 的至少两个危险传导段,诸如所述电力分配系统 (210) 的两个电力电缆 (200) 和 / 或电力电缆 (200) 段,测量至少两个信号变化参数,其中测量的至少两个信号变化参数彼此比较,并且其中优选地通过比较在测量所述至少两个危险传导段的所述信号变化参数时获得的至少两个额定载荷,根据所述至少两个信号变化参数确定所述最大额定载荷。
6. 如以上权利要求中任一项所述的方法,其中所述信号变化参数包括指示阻抗变化的参数,优选为所述危险传导段 (203) 的阻抗与邻近所述危险传导段 (203) 的传导段的阻抗之间的空间阻抗变化,和 / 或指示时间变化的参数。
7. 如以上权利要求中任一项所述的方法,其中通过分析所述第二电气信号 (202) 相对于所述第一电气信号 (201) 的形状变化来获得所述电力分配系统 (210) 的操作条件,并且其中根据所述操作条件确定所述最大额定载荷。
8. 如权利要求 7 所述的方法,其中所述电力分配系统 (210) 的所述操作条件包括如下至少一项:
  - (i) 所述电力分配系统 (210) 的电力电缆断续器的操作条件;
  - (ii) 所述电力分配系统 (210) 的电力电缆 (200) 的电气性质,优选为接地、熔断丝、开路、短路、部分开路、部分短路、绝缘状态、部分放电和电弧故障中的至少一项;
  - (iii) 所述电力分配系统 (210) 的电力电缆 (200) 的电缆环境或电缆绝缘的性质,优选为周围湿度、水侵入所述电力电缆 (200) 绝缘内部、温度变化和 / 或所述电缆附近存在沙子、湿草、石子和 / 或石头中的至少一项。
9. 如以上权利要求中任一项所述的方法,还包括预测在所述危险传导段 (203) 是否存在将来故障的重大风险,所述预测基于测量的信号变化参数,并且更优选地基于所述测量

的信号变化参数的时间相关行为。

10. 如以上权利要求中任一项所述的方法,其中传播所述第一电气信号(201),而在所述电力分配系统(210)同时施加预定电气载荷。

11. 一种适合于测试供电网络(400)的电力分配系统(210)的分析器装置,所述分析器装置包括:

传送器单元,适合于传送第一电气信号(201);

耦合单元,适合于将所述第一电气信号(201)耦合到要测试的所述电力分配系统(210)中,用于在要测试的所述电力分配系统(210)内传播所述第一电气信号(201);

接收器单元,适合于接收源自在所述电力分配系统(210)内反射的所述第一电气信号(201)的一部分的第二电气信号(202);

评估单元,适合于测量所述第一电气信号(201)与所述第二电气信号(202)之间的信号变化参数,并用于从测量的信号变化参数中获得所述电力分配系统(210)内危险传导段(203)的位置和所述危险传导段(203)的最大额定载荷;以及

输出单元,适合于输出用于控制所述供电网络(400)使得在所述危险传导段(203)上传送的电力不超过最大额定载荷的控制信号。

12. 如权利要求11所述的分析器装置,其中所述传送器单元和所述接收器单元提供为整体收发器单元。

13. 如权利要求11或12所述的分析器装置,还包括:相关器单元,所述相关器单元适合于将所述第一电气信号(201)与所述第二电气信号(202)相关。

14. 如权利要求11至13中任一项所述的分析器装置,其中所述分析器装置被结合在要测试的所述电力分配系统(210)的电力电缆(200)的套管中。

15. 如权利要求11至14中任一项所述的分析器装置,其中所述耦合单元适合于将所述第一电气信号(201)耦合到要测试的所述电力分配系统(210)的电力电缆(200)中,并且其中经由所述电力电缆提供所述分析器装置的供电。

## 用于测试电力分配系统的方法和电力分配系统分析器装置

### 技术领域

[0001] 本公开一般涉及用于测试在供电网络内布置的至少一个电力电缆的方法,并且更具体地说,涉及基于供电网络的操作条件控制供电网络。而且,本公开涉及适合于测试供电网络内布置的电力电缆的电力电缆分析器装置。

### 背景技术

[0002] 电气布线的操作条件在许多应用、诸如供电网络、飞机布线、汽车中的电缆、安全相关应用(诸如电厂)等中的布线中可能是关键问题。由此,电气布线的正确运行和可能故障的检测是广泛研究的课题。具有高分辨率的布线的布线故障和/或操作条件的检测是对于采用复杂布线结构的许多电气装置的要求。

[0003] 电子电力电缆中故障的检测和定位在测量科学和技术中是重要的。电力电缆诸如用于传输中压供电区域中电能的中压电力电缆可呈现出多种故障,诸如开路、短路、水侵入电力电缆内部等。

[0004] 为了提供具有多个电力电缆的供电网络的安全而可靠的操作,有必要以即便发生上面提到的故障也不超过特定电力电缆的最大额定载荷的这种方式操作供电网络。

[0005] 由此需要改进具有经受环境压力和变化的电气条件影响的多个电力电缆的供电网络的可靠性。

### 发明内容

[0006] 鉴于以上因素,提供了根据权利要求 1 用于测试电力分配系统的方法和根据权利要求 11 的分析器装置。

[0007] 根据本发明的一个方面,用于测试供电网络的电力分配系统的方法包括:将第一电气信号耦合到要测试的电力分配系统中;在要测试的电力分配系统内传播第一电气信号;接收是在电力分配系统内反射的第一电气信号的一部分的第二电气信号;在第一电气信号与第二电气信号之间测量信号变化参数;从测量的信号变化参数中获得电力分配系统内危险传导段的至少一个位置;从测量的信号变化参数中获得危险传导段的最大额定载荷;并输出用于控制供电网络使得在危险传导段上传送的电力不超过最大额定载荷的控制信号。

[0008] 根据本发明的另一方面,适合于测试供电网络的电力分配系统的分析器装置包括:传送器单元,适合于传送第一电气信号;耦合单元,适合于将第一电气信号耦合到要测试的电力分配系统,用于在要测试的电力分配系统内传播第一电气信号;接收器单元,适合于接收源自在电力分配系统内反射的第一电气信号的一部分的第二电气信号;评估单元,适合于测量第一电气信号与第二电气信号之间的信号变化参数,并用于从测量的信号变化参数中获得电力分配系统内危险传导段的位置和所述危险传导段的最大额定载荷;以及输出单元,适合于输出用于控制供电网络使得在危险传导段上传送的电力不超过最大额定载荷的控制信号。

[0009] 一般而言,获得最大额定载荷可包含评估第一电气信号与第二电气信号之间的互相关函数。

[0010] 本发明的方面还包含用于执行所公开方法的设备和用于执行每个所描述方法步骤的设备部件。这些方法步骤可通过硬件组件、由适当软件编程的计算机、通过二者的任何组合或以任何其它方式执行。而且,还包含所描述的设备操作的方法。这包含用于执行设备的每个功能或制造设备每个部件的方法步骤。因此,很清楚,例如可由对应的设备部件实现从属权利要求 2-11 的附近方法步骤,并且从属权利要求 13-16 的附加设备特征可得到对应的方法步骤。

[0011] 另外的示范实施例根据从属权利要求、说明书和附图。

### 附图说明

[0012] 在包含附图的参考的说明书的其余部分中更具体阐述了对本领域技术人员完整而能实现的公开,包括其最佳模式,在附图中:

[0013] 图 1 示出了根据典型实施例包含经由附连电力电缆分析器装置的电力电缆连接的四个变电站的供电网络;

[0014] 图 2 描绘了电力电缆分析器装置到要测试的电力电缆的耦合;

[0015] 图 3 例证了沿要测试的电力电缆传播的探测和反射信号;

[0016] 图 4 呈现了探测信号与反射信号之间的时间差作为信号变化参数;

[0017] 图 5 示出了连接到布置在供电网络内要测试的电力电缆的电力电缆分析器装置,其中供电网络由从电力电缆分析器装置得到的控制信号控制;

[0018] 图 6 示出了根据典型实施例的电力电缆分析器装置的框图;

[0019] 图 7 示出了根据另一个典型实施例的反射电气信号(图 7(b)和 7(c))相对于作为探测信号(图 7(a))的第一电气信号的不同信号形状;以及

[0020] 图 8 是例证根据一个典型实施例用于测试布置在供电网络内的电力电缆的方法的流程图。

### 具体实施方式

[0021] 现在将详细参考各种示范实施例,其一个或多个示例在附图中例证了。每个示例通过说明提供,并且不意味着限制。例如,作为一个实施例的部分例证或描述的特征可在其它实施例上或者结合其它实施例用于得出又一个实施例。意图是,本公开包含这种修改和变化。

[0022] 下面将说明若干实施例。在这种情况下,同样的结构特征在附图中由同样的附图标记标识。附图中示出的结构未按真实比例描绘,而是仅用于更好地理解实施例。

[0023] 图 1 是根据典型实施例包含四个变电站 401、402、403 和 404 的供电网络 400 的框图。变电站经由电力电缆 200 彼此连接。分别在变电站 401-404 的出口或入口,电力电缆分析器装置 100 经由耦合单元 300 耦合到要测试的电力电缆 200。供电网络 400 中的变电站 401-404 适合于控制施加在电力电缆 200 的最大载荷。

[0024] 一般而言,如下说明书和附图涉及要测试电力电缆 200 或一部分电力电缆 200 的情况。虽然这种情况是重要的一般方面,但本发明不限于这种情况,而是还允许测试电力分

配系统 210 的其它组件,即正在其中进行测试的供电网络 400 的部件。这种其它组件可以是电力开关或断路器。例如可通过将电气信号耦合到电缆或电力分配系统的其它部件并且然后将电气信号传播到要测试的部件来测试电缆或另外组件。由此,例如可测试电力分配系统的电力电缆断路器的操作条件。

[0025] 适合于确定要测试的电力电缆 200 的适当操作的测量单元包含在电缆分析器装置 100 中。电缆分析器装置 100 可提供在要测试的电力电缆 200 的套管内。可用将在本文下面参考图 2 描述的耦合单元 300 执行从电力电缆分析器装置 100 传送的探测信号向要测试的电力电缆 200 的耦合。

[0026] 图 1 示范性示出了危险传导段 203,危险传导段 203 例如表示电力电缆 200 的电缆故障或水侵入到电力电缆 200 中。

[0027] 发明人已经发现,这种危险传导段不一定意味着电缆根本不能使用。相反,在许多情况下确保电缆载荷不过大就已足够。为此,至少一个电缆分析器装置 100 提供用于至少控制供电网络 400 的部件的控制信号,使得在危险传导段 203 上传送的电力不超过最大额定载荷(最大额定载荷通过分析电缆获得,如下面更详细说明的)。这种额定载荷可以是定义要传送的最大电力的电力额定载荷、定义可施加在电力电缆上的最大电压的电压额定载荷或定义最大可容许电流吞吐量的额定电流中的至少一项。为了调整危险传导段(203)的最大额定载荷,发出用于控制供电网络(400)使得在危险传导段(203)上传送的电力不超过最大额定载荷的控制信号,这将在本文下面参考图 5 描述。

[0028] 可以从在危险传导段 203 反射的信号与至少一个电缆分析器装置 100 已经发送的探测信号的比较中,获得供电网络 400 内沿至少一个电力电缆 200 的危险传导段 203 的位置。由于在危险传导段 203 处的反射,探测信号经受信号变化的影响,其信号变化参数取决于危险传导段 203 的性质和位置,这将在本文下面描述。

[0029] 使用用于测试布置在供电网 400 内的电力电缆 200 的方法,由此有可能确定危险传导段 203 的位置。通过适当的测量,然后有可能在供电网络 400 内分配电气载荷,使得避免损坏或部分损坏的电缆 200 的过载。

[0030] 图 2 例证了适合于将电力电缆分析器装置 100 连接到要测试的电力电缆 200 的示意性设置。类似设置还可用于将对应的分析器耦合到要测试的电力分配系统 210(见图 1)的另一部件。电力电缆 200 可以是同轴电缆、双绞线电缆、扁平带状电缆等,其适合于应用在上面参考图 1 描述的供电网络 400 内。

[0031] 图 2 中描绘了不同的连接方案。第一电力电缆分析器装置 100-1 电流地连接到要测试的同轴电力电缆 200 的内部导体和外部导体。对应的连接装置 300-1 简单地包括分别连接到同轴电缆 200 内部导体和外部导体的两个导线。

[0032] 作为另一个示例,电力电缆分析器装置 100-2(第二电力电缆分析器装置)经由电容的耦合单元 300-2 电容性地耦合到同轴电力电缆 200。电容的耦合单元 300-2 设计成使得不要求直接连接到要测试的电力电缆 200 的内部导体和/或外部导体。在电缆的未屏蔽或仅微弱屏蔽的那些部分,这种电容耦合是有效的。因此,作为一般方面,优选的是,在屏蔽减少或没有的电缆部分诸如电力电缆 200 的电缆套管处,为屏蔽的电力电缆 200 提供电容耦合。然后,有可能进入要测试的电力电缆 200,没有中断电缆和/或没有将内部和外部导线连接到电缆分析器装置 100 的连接导线。根据图 2 中示出的设置,可以分别使用电流的

或电容的耦合 300-1 和 300-2 获得作为第一电气信号的探测信号的注入。

[0033] 备选地,电力电缆分析器装置 100-2 可以电感方式耦合到电力电缆 200。由于在这种情况下对于高频耦合是微弱的,因此更难以获得高空间分辨率。然而,以电感方式耦合允许还耦合在电缆的屏蔽部分,使得可以沿其长度在任何地方进入电力电缆 200。

[0034] 图 3 是例证具有危险传导段 203 的要测试的电力电缆 200 的示意图解。电力电缆 200 中的危险传导段 203 可由电力电缆 200 的修改的操作条件引起。电力电缆 200 的修改的操作条件可包含电力电缆的电气性质和电缆环境的性质中的至少一项。电力电缆 200 的电气性质可包含接地、熔断丝、开路、短路、部分开路、部分短路、绝缘状态、部分放电、电弧故障、电缆断续器的操作条件等中的至少一项。

[0035] 要测试的电力电缆 200 的电缆环境的性质可包含周围湿度、水侵入电力电缆的内部、温度变化等中的至少一项。根据典型实施例,电气探测信号、即第一电气信号 201 经由本文上面参考图 1 和 2 描述的耦合单元 300 耦合到要测试的电力电缆 200 中。这个第一电气信号 201 作为探测信号沿要测试的电力电缆 200 向电气传导段 203 传播。第一电气信号 201 作为入射信号沿要测试的电力电缆 200 传播,没有任何重大中断或反射,只要沿要测试的电力电缆 200 的阻抗保持在恒定值即可。沿着要测试的电力电缆 200 向下传送第一电气信号 201 的电气信号能量。当第一电气信号 201 沿要测试的电力电缆 200 达到电力电缆 200 的末端或任何阻抗变化时,在相反方向反射回由第一电气信号 201 传输的电气信号能量的至少一部分。是在危险传导段 203 反射的信号的电气信号 202 的能量和形状由可写为下式的反射系数 R 确定:

$$[0036] \quad R = (Z_c - Z_0) / (Z_c + Z_0) \quad (1)$$

[0037] 其中  $Z_0$  是电力电缆 200 的阻抗,而  $Z_c$  是在危险传导段 203 的阻抗。以上公式假设阻抗突变,但可一般化为沿电缆的平滑阻抗变化。这种平滑阻抗变化可视为发生阻抗变化的电缆区域内的一系列(极小的)小反射。

[0038] 因为两个信号 201、202 的传播方向(即前向传播方向 207 和后向传播方向 208)彼此相反,因此可应用 RADAR 原则以便获得沿要测试的电力电缆 200 的危险传导段 203 的位置。由此,例如工作在时域反射模式,可通过时间差测量(也见下面的图 4)确定沿要测试的电力电缆 200 的危险传导段 203 的位置。

[0039] 然而,这里要注意,在时域反射(TDR)模式的时间差测量仅是比较探测信号、即第一电气信号 201 与反射信号、即第二电气信号 202 的各种方法之一。为了确立用于测试布置在供电网络 400 内的电力电缆 200 的方法,可以接收第二电气信号 202,第二电气信号 202 源自危险传导段 203 在电力电缆 200 内反射的第一电气信号 201 的一部分。然后,在第一电气信号 201 与第二电气信号 202 之间测量信号变化参数。从信号变化参数可以获得供电网络 400 内危险传导段 203 的位置。

[0040] 信号变化参数除了用于获得位置所需的信息(例如第一信号与第二信号之间的时间延迟)还可包含附加信息(例如与第一与第二信号或其部分之间的形状、频率分配和/或相位的改变相关的信息)。因此,当提到信号变化参数时,这并不暗示使用这个参数内的全部信息,而是也包含仅使用包含在信号变化参数中的部分信息的情况。

[0041] 虽然图 3 示出了测量第一电气信号 201 与第二电气信号 202 之间时间延迟以便确定要测试的电力电缆 200 内危险传导段 203 的位置的情形,但是可应用获得位置信息的其

它方法,这将在本文下面简要概括。

[0042] 如图 3 中所示,第一电气信号 201 提供为其幅度 A 根据时间 t 改变的脉冲探测信号。如果如上所述发生在危险传导段 203 的反射,则第二电气信号 202 的总体形状可类似于第一电气信号 201 的形状,即,在后向传播方向上,幅度变化 A 相对于时间 t 是类似的。然而,在第一电气信号 201 与第二电气信号 202 之间存在时间延迟,其可用于确定危险传导段 203 的位置,这将在本文下面相对于等式 (2) 和 (3) 阐明。

[0043] 这里要注意,需要其以便获得第二电气信号 202 的反射一般源自沿要测试的电力电缆 200 的阻抗变化,其例如又可源自阻抗失配、电力电缆的电气性质改变和 / 或电缆环境的性质改变。因此,这些现象可通过所描述的技术诊断。下面给出这种现象的其它示例。

[0044] 在时域反射模式的测量得出由第二电气信号 202 相对于第一电气信号 201 的时间偏移指示的时间延迟,如图 4 中所示。而且,可在频域执行反射测量,即,可应用频域反射测定法 (FDR)。相比时域反射测定法,频域反射测定法可提供关于要测试的电力电缆 200 内危险传导段 203 的附加信息。通过使用多个频率测试电力电缆 200,可以获得有关故障位置的非常准确的信息。

[0045] 基于频域反射测定法的方法采用具有各种受控频率的信号的生成以及与反射信号中存在的频率和 / 或相位 (相对于传送信号) 相关的测量量的生成。例如,在调频连续波 (FMCW) 反射测定法中,耦合到电缆 200 中的所生成信号具有覆盖预定频率范围的快速频率扫描。

[0046] 频域反射测定法基于在反射信号与传送信号之间生成谐波。在宽频率范围上,存在引起许多周期性纹波的许多谐波。这种纹波之间的频率间隔包含危险传导段 203 的位置的信息。在频域反射计中获取的测量信号可经过快速傅里叶变换 (FFT)。可显示和分析 FFT 输出脉冲以便获得危险传导段 203 的位置。

[0047] 时域反射测定法 (TDR) 可与扩展谱技术 (SST) 组合,扩展谱技术是其中具体带宽中的电磁能量故意在频域中扩展的方法。这导致具有更宽带宽的信号。这种扩展谱时域反射测定法 (SSTDR) 技术还可用于检测要测试的电力电缆 200 内危险传导段 203。SSTDR 方法能够监视要测试的电力电缆 200 内的各种各样故障。一般而言,时域和频域谱学的组合允许组合两种方法的优点。为此,混合信号反射计 (时域和频域) 用于组合反射测定法。

[0048] 这些故障可包括但不限于接地、熔断丝、开路、短路、部分开路、部分短路、要测试的电力电缆 200 的绝缘状态、电力电缆 200 内的电弧故障或部分放电、电力电缆 200 的电力电缆断续器的操作条件等。在这些技术中,术语“部分”信号不一定指的是信号的实时部分,而是例如还可指的是信号的频域部分或任何其它部分。

[0049] 第一电气信号可提供为扩展谱信号、调制信号和脉冲信号中的至少一种。信号变化参数可包含第一电气信号与第二电气信号之间的时间延迟。此外,信号变化可包含预定频带的变化,其中第二电气信号被谱分解。

[0050] 图 4 是示出获取信号差 205 作为信号变化参数的示意图解。在图 4 所示的图解中,信号变化参数表示为第一电气信号 201 与第二电气信号 202 之间的时间延迟 205,由此指示第一电气信号 201 (入射信号) 与第二电气信号 202 (反射信号) 之间的变化。在时域反射测定法的情况下,这个信号变化参数正是可通过相关程序获得的时间差。因为第一和第二电气信号 201 和 202 的形状分别彼此类似,所以互相关函数可得出第二电气信号 202 相对

于第一电气信号 201 的时间偏移。根据时间偏移,可以使用要测试的电力电缆 200 内已知信号传播速度评估沿要测试的电力电缆 200(见上面的图 3)的危险传导段 203 的位置。

[0051] 图 5 是布置在供电网络 400 处以便测试供电网络 400 内要测试的电力电缆 200 的电力电缆分析器装置 100 的框图。虽然仅示出一个要测试的电力电缆 200,但是供电网络 400 可包含适合于在变电站 401-404(见图 1)上分配电力的多个电力电缆 200。在图 5 中示出的典型实施例中,示出了要测试的一个电力电缆 200 的测试。电力电缆分析器装置 100 经由可提供为电容的耦合单元或电流的耦合单元之一的耦合单元 300 连接到要测试的电力电缆 200。

[0052] 耦合单元 300 由此提供信号到要测试的电力电缆 200 的电流的或电容的耦合。电力电缆分析器装置 100 实质上经由两个信号路径,即经由在前向传播方向上 207 的前向路径并经由在后向传播方向上 208 的后向路径,连接到耦合单元 300。第一电气信号 201 表示探测信号,并且这个信号在前向传播方向 207 上朝在其中它耦合到要测试的电力电缆 200 中的耦合单元 300 传播。如果在要测试的电力电缆 200 内发生由于阻抗失配等而引起的任何反射(这已经在本文上面相对于图 3 描述了),则可获得反射信号,其提供为朝电力电缆分析器装置 100 的后向传播方向 208 上的后向传播路径上的第二电气信号 202。

[0053] 电力电缆分析器装置 100 接收是在要测试的电力电缆 200 内反射的第一电气信号 201 的一部分的第二电气信号 202。在将在本文下面相对于图 6 描述的评估单元中,建立第一电气信号 201 与第二电气信号 202 之间的关系。电力电缆分析器装置 100 然后能够在第一电气信号 201 与第二电气信号 202 之间测量信号变化参数。从测量的信号变化参数中可以获得供电网络 400(见图 1)内危险传导段 203(本文上面相对于图 3 描述)的位置。

[0054] 然后,可获得危险传导段 203 的最大额定载荷,并输出用于控制供电网络 400 使得在危险传导段 203 上传送的电力不超过最大额定载荷的控制信号 206。控制信号 206 经由控制线路 209 传送到供电网络 400。在供电网络 400 内,可采取适当措施以便避免在危险传导段 200 上传送的电力超过相应电力电缆 200 的最大额定载荷。

[0055] 将在本文下面相对于图 6 描述信号变化参数的测量、供电网络 400 内危险传导段 203 的位置的得到和危险传导段 203 的最大额定载荷的确定。

[0056] 图 6 是例证根据典型实施例的电力电缆分析器装置 100 的功能框图的框图。电力电缆分析器装置 100 连接到供电网络 400。电力电缆分析器装置 100 包含提供第一电气信号 201 的传送器单元 101。

[0057] 这里要注意,虽然本文已经在上面相对于图 2 和 3 描述了相对于 TDR 和 SSTDR、FDR 的不同信号,但是根据本实施例,脉冲形状的第一电气信号 201 提供为探测信号。本文将在下面相对于图 7 描述反射信号的信号形状和相应的信号形状变化。朝要测试的电力电缆 200 经由耦合单元 300 传播第一电气信号 201。本文在上面已经相对于图 2 描述了将第一电气信号 201 耦合到电力电缆 200 中,并且在此不重复了,以便避免多余描述。

[0058] 危险传导段 203 可存在于要测试的电力电缆 200 中,使得获得反射信号作为第二电气信号 202,其经由耦合单元 300 传送到电力电缆分析器装置 100 的接收器单元 102。此外,电力电缆分析器装置 100 包含适合于控制传送器单元 101 和接收器单元 102 的控制单元 105。

[0059] 这里要注意,虽然图 6 中未示出,但是传送器单元 101 和收发器单元 102 可提供为

整体收发器单元。接收器单元 102 的输出信号被传送到评估单元 103, 评估单元 103 也由控制单元 105 控制。评估单元 103 适合于在第一电气信号 201 与第二电气信号 202 之间建立关系, 并适合于在第一电气信号 201 与第二电气信号 202 之间测量信号变化参数。

[0060] 信号变化参数可包含但不限于第一电气信号 201 的一部分与第二电气信号 202 的对应部分之间的时间延迟。而且, 信号变化参数可包含反射的、第二电气信号 202 的形状和 / 或幅度分配的变化, 这将在本文下面相对于图 7(b) 和 7(c) 描述。评估单元 103 可包含存储校准测量信号形状的存储器单元。在测试要测试的电力电缆 200 之前可存储这种校准测量的信号形状, 使得实际测量的信号形状可与存储在评估单元 103 的存储器单元中的信号形状相比较。由此, 有可能根据第二电气信号 202 相对于第一电气信号 201 的实际测量的信号形状与信号形状的校准曲线的比较来评估实际额定载荷。

[0061] 具体地说, 测量的信号变化参数可与预先存储在存储器单元中的参考信号变化参数相比较。然后, 可根据这个比较和在之前测量对于参考信号变化参数获得的参考额定载荷来确定最大额定载荷。参考信号变化参数可存储在提供在评估单元中的存储器单元中。例如, 可通过在参考电力电缆执行反射测量获得参考信号变化参数, 参考电力电缆的最大额定载荷已知。参考电缆的这个额定载荷可用作参考额定载荷。典型地, 评估单元包含适合于比较测量信号变化参数之前所获得的参考信号变化参数与实际测量的信号变化参数的比较单元, 参考信号变化参数优选为预先存储在存储器单元中。

[0062] 而且, 可对于至少两个电力电缆测量至少两个信号变化参数, 其中所测量的信号变化参数彼此比较, 并且其中根据至少两个信号变化参数的比较确定最大额定载荷。典型地, 在测量至少两个电力电缆 (200) 的信号变化参数时获得的至少两个额定载荷优选通过比较单元彼此比较。

[0063] 信号变化参数可表示电力电缆的阻抗与危险传导段的阻抗之间的阻抗变化信号, 更具体地说是危险传导段 203 的阻抗与邻近危险传导段 203 的传导段的阻抗之间的空间阻抗变化。优选地, 以时间函数测量阻抗变化, 该时间函数允许指示要获得的时间变化的参数。阻抗变化信号的至少一个特征可用于评估最大额定载荷, 优选为阻抗变化信号的时间导数、最大信号值、最小信号值、信号方差、阻抗变化的持续时间等中的至少一项。例如, 如果对于特定电力电缆 200 测量的实际测量的阻抗变化信号超过最大信号值, 则对于这个特定电力电缆 200 可容许的最大额定载荷被减小到更低值。由此, 可避免这个电力电缆 200 的过载。

[0064] 还有, 有可能预测危险传导段中可能的将来故障事件。具体地说, 可预测在危险传导段 203 是否存在将来故障的重大风险。这里, 可例如通过给出风险的概率估计和 / 或通过指示风险高于给定阈限风险来指示重大风险。该预测可基于所测量的信号变化参数, 例如通过比较所测量信号变化参数与对应故障风险估计指配给的所存储信号变化参数。优选地, 风险预测基于所测量信号变化参数的时间相关行为。因此, 例如, 时间上的强改变或波动可指示升高的风险。

[0065] 基于所测量信号变化参数的信息 (最大载荷, 以及适用时的将来故障风险等) 被传送到输出单元 104, 该输出单元 104 适合于输出供电网络内危险传导段 203 的位置, 并适合于输出用于控制供电网络 400 使得在危险传导段 203 上传送的电力不超过最大额定载荷的控制信号 206。

[0066] 本文在下面相对于图 7(b) 和 7(c) 论述在要测试的电力电缆 200 的危险传导段 203 反射的第二电气信号 202。由此可通过准备具有不同危险传导段 203 的多个不同电力电缆 200 来校准电力电缆分析器装置 100。通过在准备的危险传导段 203 的第一电气信号 201 的反射获得的第二电气信号 202 然后可用作要测试的未知电力电缆 200 的实际测量的参考。差测量可作为校准测量存储在电力电缆分析器装置 100 的评估单元 103 内。

[0067] 控制信号 206 由此含有关于信号变化参数的信息。信号变化参数中含有的信息可包含第一电气信号 201 的一部分与第二电气信号 202 的对应部分之间的时间延迟和 / 或关于第二电气信号 202 的对应部分相对于第一电气信号 201 的该部分的形状变化的信息中的至少一项。

[0068] 尽管时间延迟由要测试的电力电缆 200 的危险传导段 203 的位置确定,但是形状变化可含有关于电力电缆 200 的操作条件的信息。电力电缆 200 的操作条件可包含电力电缆的至少一个电气性质。电力电缆的至少一个电气性质可包含接地、熔断丝、开路、短路、部分开路、部分短路、绝缘状态、部分放电、电弧故障和电力电缆断续器的操作条件中的至少一项。

[0069] 而且,电力电缆 200 的操作条件可包含电缆环境的至少一个性质。电缆环境的至少一个性质可包含周围湿度、水侵入电力电缆 200 的内部、环境条件(诸如沙子、湿草、石子和石头)中的至少一项。

[0070] 此外,电力电缆分析器装置 100 可包含适合于将第一电气信号 201 与第二电气信号 202 相关的相关器单元。通过获得相关函数,可以获得第一电气信号 201 和第二电气信号 202 的相似性的度量。从所获得的相关系数中可以获得第二电气信号 202 的对应部分相对于第一电气信号 201 的该部分的形状变化。这里要注意,信号变化可包含预定频带的变化,其中第二电气信号 202 然后被谱分解。

[0071] 因为电缆分析器装置 100 可在供电网络 400 操作期间应用在供电网络 400,因此有可能获得在施加在电力电缆 200 上的预定电气载荷处要测试的电力电缆 200 内的故障信息。为了提供在供电网络 400 操作期间在任何时间的测量数据,整个电力电缆分析器装置 100 都可结合在要测试的电力电缆 200 的套管中。要测试的电力电缆 200 的这种套管可提供足够的空间以便容纳电力电缆分析器装置 100 的组件,它们被示出且已经在本文上面相对于图 6 描述了。而且,因为电力电缆分析器装置 100 适合于测试电力电缆 200,因此可经由要测试的电力电缆 200 提供电力电缆分析器 100 本身的供电。因此,可从电力分配系统,更具体地说是从要测试的电力电缆,提取用于测试电力分配系统的至少一些电力。这具有不需要单独电源的优点。

[0072] 图 7 示出了根据典型实施例例证用于测试要测试的电力电缆 200 的信号波形的三个图形。图 7(a) 例证了第一电气信号 201 的典型波形。这里,第一电气信号 201 的幅度 A 描绘为时间 t 的函数。这里要注意,尽管图中未示出,但是可以提供第一电气信号 201 的任意波形。作为根据典型实施例用于测试电力电缆 200 的方法的说明,已经选择了第一电气信号 201 的相对于时间 t 的脉冲形状。

[0073] 然而,有可能使用不同的反射测定法技术,诸如但不限于,扩展谱时分反射测定法(SSTDR)和频域反射测定法(FDR),这之前已经描述了。图 7(a)、7(b) 和 7(c) 中示出的反射测定法过程基于时域反射测定法(TDR),但是本公开不限于时域反射测定法。

[0074] 图 7(b) 和 7(c) 示出了在要测试的电力电缆 200 的危险传导段 203 反射的第二电气信号 202 的信号形状。这里, 反射信号的幅度表示为  $A_r$ , 并且时间由  $t$  指示。根据以上等式 (1), 反射系数以及由此反射的信号可根据电力电缆阻抗  $Z_0$  与危险传导段 203 阻抗 ( $Z_c$ ) 之间的阻抗失配改变。此外, 可从以上等式 (1) 中看出, 反射系数可以是正的或负的。图 7(b) 分别示出了正反射系数的信号波形和形状变化, 即, 第二电气信号 202 的信号波形 202-1、202-2 和 202-4。根据以上等式 (1), 反射系数在这种情况下是正的, 因为危险传导段 203 的阻抗超过电力电缆的阻抗 ( $Z_0$ )。危险传导段 203 的阻抗  $Z_c$  超过电力电缆 200 的阻抗  $Z_0$  越多, 图 7(b) 中的幅度  $A_r$  越大。由此, 最大阻抗失配导致附图标记 202-1 指示的第二电气信号, 其中附图标记 202-2 和 202-3 分别指示中等阻抗失配和低阻抗失配。

[0075] 图 7(c) 示出了根据以上等式 (1) 的负反射系数的情形。负反射系数以及由此的第二电气信号 202 的负幅度  $A_r$  源自阻抗失配, 其中危险传导段 203 的阻抗  $Z_c$  小于要测试的电力电缆 200 的阻抗。对于图 7(c) 中所示的信号波形, 附图标记 202-4 指示的第二电气信号对应于最大阻抗失配, 其中附图标记 202-5 和 202-6 指示的信号波形分别对应于中等阻抗失配和低阻抗失配。

[0076] 根据图 7(b) 和 7(c) 中示出的第二电气信号 202 的信号波形相对于第一电气信号 201 的信号波形的比较, 可使用图 6 中示出的评估单元 103 确定阻抗失配的量 and 性质。如以上等式 (1) 指示的, 图 7(b) 中示出的曲线对应于开路或至少部分开路, 其中图 7(c) 中示出的曲线对应于短路或至少部分短路。这种阻抗失配可由要测试的电力电缆 200 的不同操作条件引起。这些操作条件可基于电力电缆 200 的电气性质和 / 或电缆环境的性质。这些性质已经在本文上面描述了, 但不限于本公开中提到的性质。

[0077] 除了第二电气信号 202 相对于第一电气信号 201 的形状分析, 还可以获得第一电气信号 201 与第二电气信号 202 之间的时间延迟 205。时间延迟 205 是电力电缆 200 内危险传导段 203 的位置的直接度量。可在第一电气信号 201 输入到的电缆的输入位置与电缆内反射部分的位置之间测量时间差或时间延迟 205。可使用输入部分与反射部分之间的已知距离校准系统, 该距离假设为  $D$ 。然后, 使用时间延迟 205 ( $\Delta t$ ), 可根据如下等式 (2) 确定要测试的电力电缆 200 内第一电气信号 201 和第二电气信号 202 的传播速度  $c$ :

$$[0078] \quad c = 2D / \Delta t \quad (2)$$

[0079] 使用这个校准, 可以使用如下等式 (3) 获得要测试的电力电缆 200 内危险传导段 203 的位置:

$$[0080] \quad L = c \cdot \Delta t / 2 \quad (3)$$

[0081] 上面等式 (3) 中的  $\Delta t$  是将第一电气信号 201 传送到要测试的电力电缆 200 中与在同一位置接收第二电气信号 202 之间测量的时间延迟。上面等式 (3) 中的长度  $L$  由此指示信号输入 / 输出位置与危险传导段 203 的位置之间的地理距离。

[0082] 为了提供已经相对于图 6 描述的控制信号 206, 可以执行电力电缆分析器装置 200 的校准, 其中校准可按如下提供。为了确定要测试的电力电缆 200 内危险传导段 203 的位置, 使用上面提到的等式 (2) 和 (3)。这个时间差  $\Delta t$  (附图标记 205) 是第一电气信号 201 的一部分与第二电气信号 202 的对应部分之间的第一信号变化参数。

[0083] 另一个信号变化参数是形状变化。更具体地说, 相对于第一电气信号 201 的那部分, 存在第二电气信号 202 的对应部分的形状变化, 如图 7(b) 和 7(b) 所示。这个形状变化

允许根据上面的等式 (1) 确定阻抗变化或阻抗失配的量。由此, 危险传导段 203 可相对于其位置及其性质或对电力电缆 200 上传送的电力的影响进行评估。如果信号形状变化已经存储在评估单元 103 的存储器单元中, 并且如果已经使用具有不同阻抗变化的电力电缆作为参考测量执行了测试, 则获得实际测试的电力电缆 200 的危险传导段 203 的最大额定载荷。

[0084] 由此, 可以输出控制信号 206, 以便控制供电网络 400 使得在关键传导段 203 上传送的电力不超过这个最大额定载荷。最大额定载荷从在测试电力电缆 200 之前可执行的测量中获得。这里, 可以使用任意引入参考电力电缆 200 的适当阻抗失配。由此, 实际测试的电力电缆 200 可与之前已经测量的电力电缆 200 相比较。

[0085] 已经参考信号的实时形状描述了用于获得最大额定载荷的电缆的以上比较和校准。再者, 相反可以使用例如频域中的评估。为此目的, 可以评估和 / 或比较傅里叶变换的信号或部分傅里叶变换的信号。这里, 信号变化参数例如可包含不同频率的第一信号与第二信号之间的信号强度比和 / 或不同频率的第一信号与第二信号之间的相位偏移。

[0086] 图 8 是例证用于测试布置在供电网络内的电力电缆的方法的流程图 (其中要理解, 该方法可能更一般地用于测试电力分配系统)。该过程开始于步骤 S1, 并且然后进行到步骤 S2, 在此第一电气信号被耦合到要测试的电力电缆 200 中。在随后的步骤 S3, 沿要测试的电力电缆 200 传播第一电气信号 201。如果要测试的电力电缆 200 包含其中存在阻抗失配使得发生信号反射的危险传导段 203, 则在步骤 S4 可以接收是第一电气信号 201 的一部分的第二电气信号 202。

[0087] 过程进行到步骤 S5, 在此通过本文在上面相对于图 6 描述的评估单元 103 确定第一电气信号 201 的一部分与第二电气信号 202 的对应部分之间的关系。在随后的步骤 S6, 测量第一电气信号 201 的该部分与第二电气信号 202 的对应部分之间的信号变化参数。然后, 过程进行到步骤 S7, 在此从测量的信号变化参数中获得供电网络内危险传导段的位置。在随后的步骤 S8, 通过例如相对于其与第一电气信号 201 比较的形状变化分析反射信号即第二电气信号 202, 获得危险传导段的最大额定载荷。

[0088] 然后, 过程进行到步骤 S9, 在此输出控制信号, 该控制信号适合于控制供电网络 400, 使得在危险传导段 203 上传送的电力不超过最大额定载荷。然后, 过程在步骤 S10 结束。

[0089] 这里要注意, 已经相对于供电网络描述了用于测试电力电缆 200 的方法和电力电缆分析器装置 100 的应用。然而, 有可能在其它应用诸如飞机、电厂、汽车等中使用分析器装置用于测试电气电缆。

[0090] 已经基于将附图中示出并且还涌现出另外优点和修改的实施例描述了本发明。然而, 该公开不限于用具体术语描述的实施例, 而是可以适当方式修改和改变。以适当方式组合一个实施例的各个特征和特征组合与另一个实施例的特征和特征组合以便得到另外的实施例的位于该范围内。

[0091] 基于本文的示教, 对本领域技术人员将显而易见的是, 可以在不脱离本公开及其更广方面的情况下进行改变和修改。也就是说, 本文上面阐述的所有示例都用于示范而非限制。

[0092] 附图标记

- [0093] 标号部件 / 步骤
- [0094] 100 电力电缆分析器装置
- [0095] 101 传送器单元
- [0096] 102 接收器单元
- [0097] 103 评估单元
- [0098] 104 输出单元
- [0099] 105 控制单元
- [0100] 200 电力电缆 /
- [0101] 201 第一电气信号
- [0102] 202 第二电气信号
- [0103] 203 危险传导段
- [0104] 204 电缆连接部
- [0105] 205 时间延迟
- [0106] 206 控制信号
- [0107] 207 前向传播方向
- [0108] 208 后向传播方向
- [0109] 209 控制线路
- [0110] 210 要测试的电力分配系统
- [0111] 300 耦合单元
- [0112] 400 供电网络
- [0113] 401 变电站
- [0114] 402 变电站
- [0115] 403 变电站
- [0116] 404 变电站

400

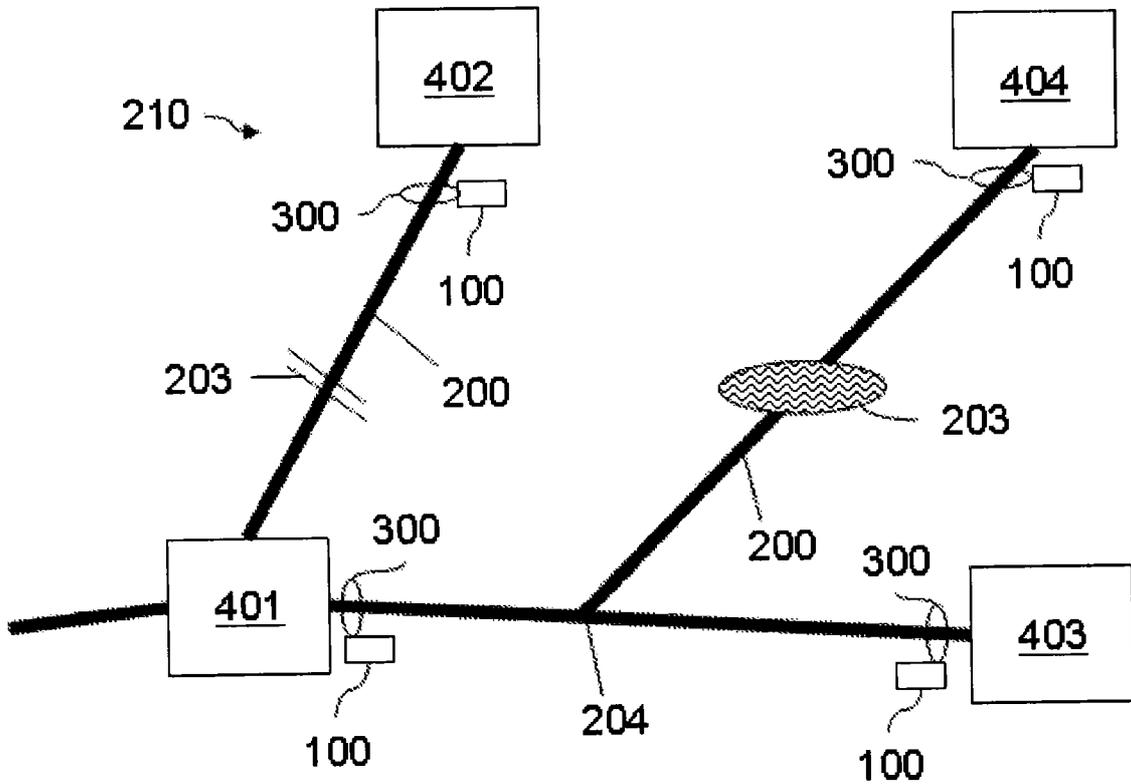


图 1

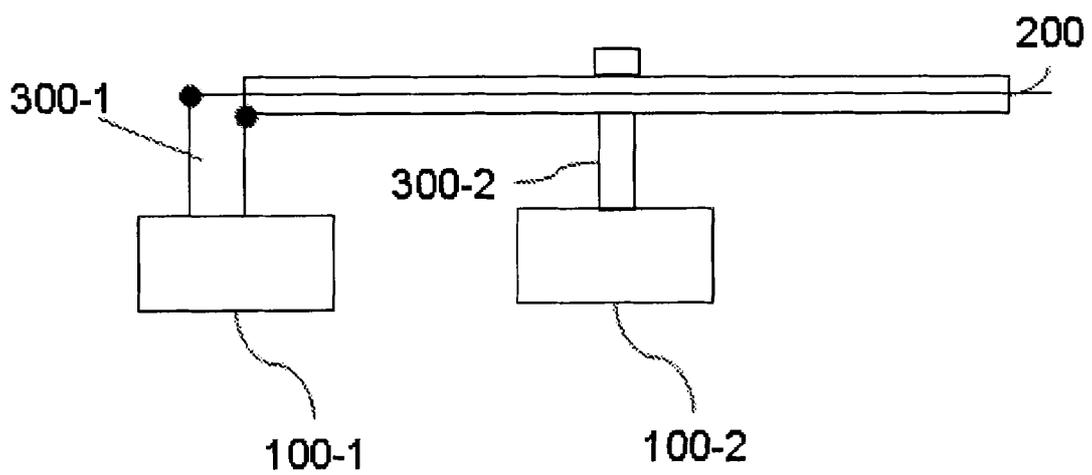


图 2

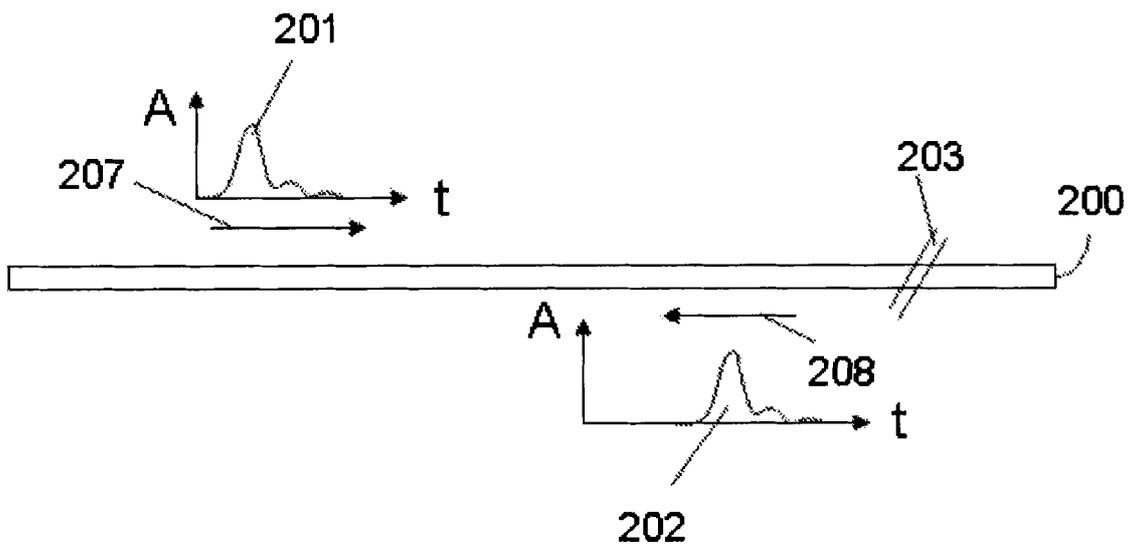


图 3

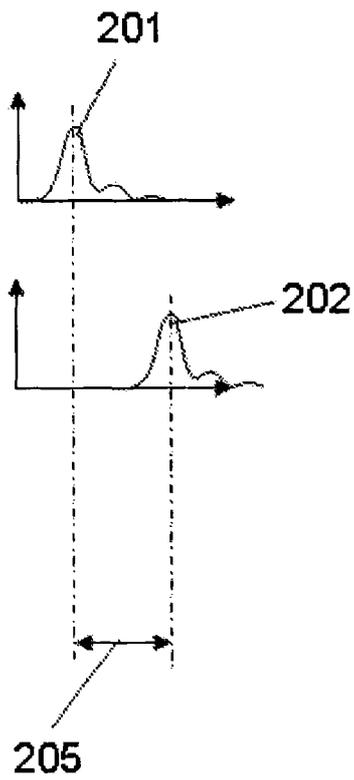


图 4

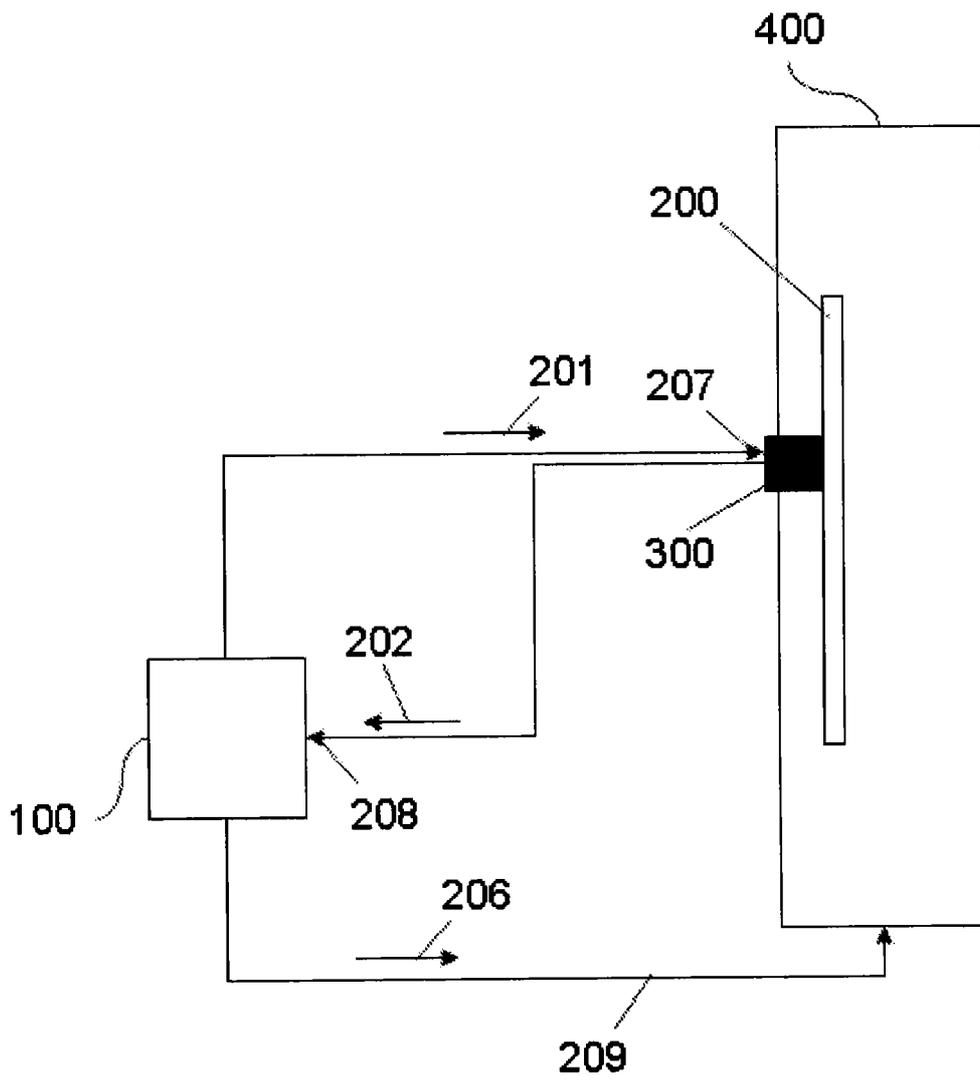


图 5

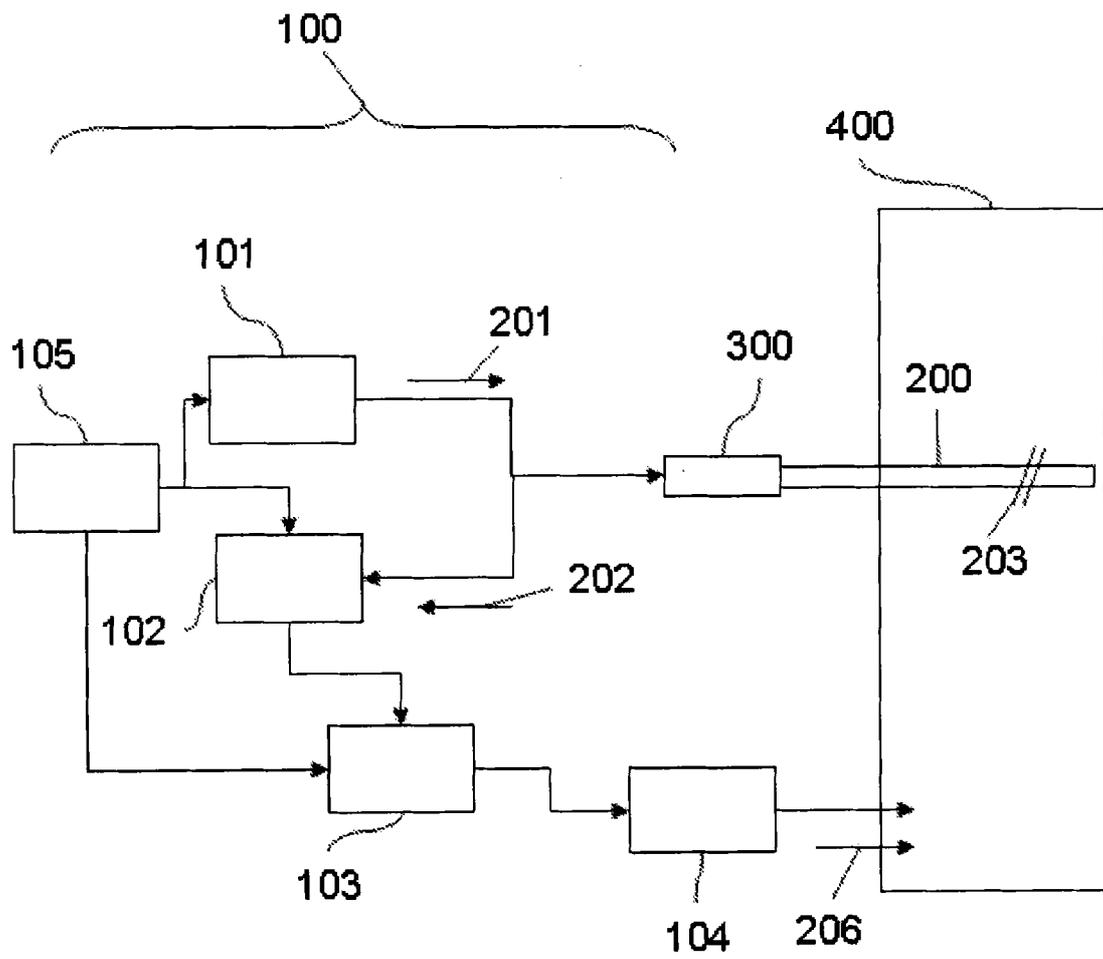


图 6

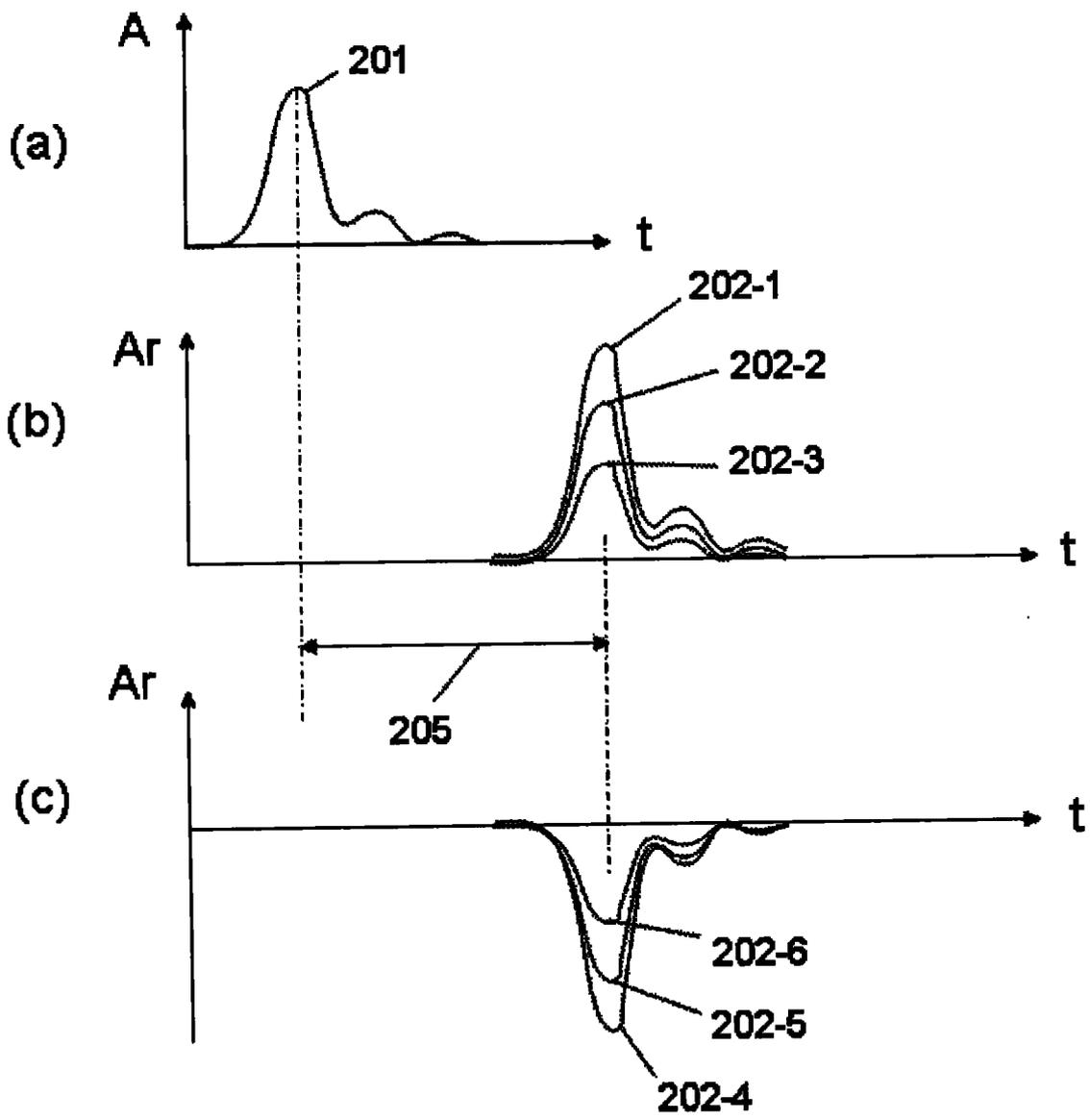


图 7

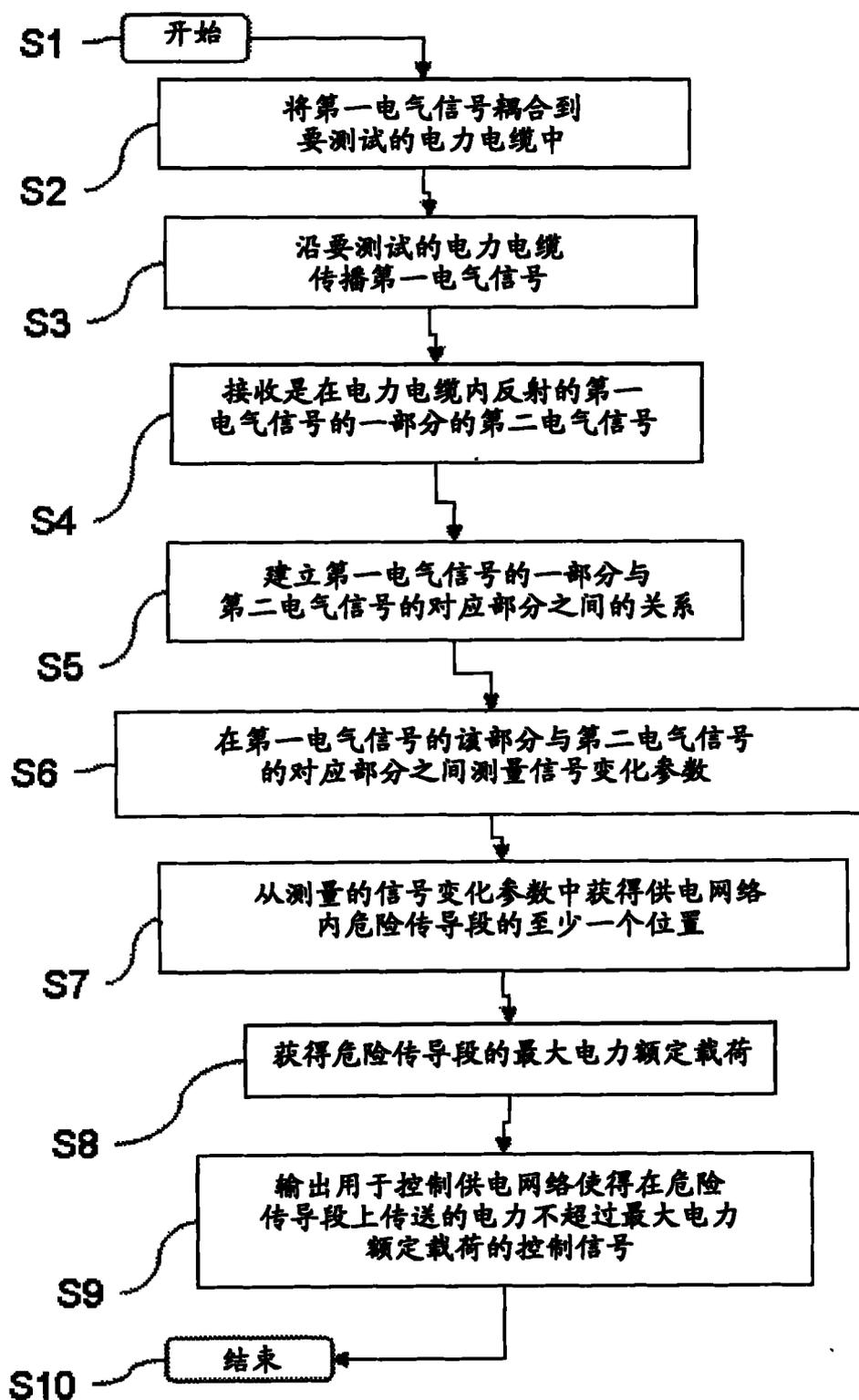


图 8