



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103329451 A

(43) 申请公布日 2013. 09. 25

(21) 申请号 201180049659. 0

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2011. 10. 10

H04B 3/46 (2006. 01)

H04B 3/54 (2006. 01)

(30) 优先权数据

12/902, 819 2010. 10. 12 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2013. 04. 12

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2011/055582 2011. 10. 10

(87) PCT申请的公布数据

W02012/051104 EN 2012. 04. 19

(71) 申请人 霍华德大学

地址 美国哥伦比亚区

申请人 圣迭戈燃气电力公司

(72) 发明人 C · J · 金

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限

公司 11127

代理人 吕俊刚 刘久亮

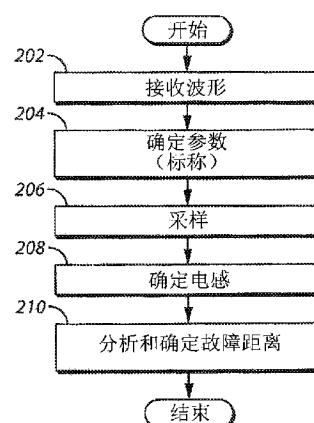
权利要求书2页 说明书20页 附图14页

(54) 发明名称

用于故障检测和位置确定的装置和方法

(57) 摘要

通过电力线接收电波形。为电力网络确定多个标称电参数，并将这多个标称电参数与网络中不存在至少一个暂时电故障的电力网络的状态相关。随后，当网络中存在至少一个暂时电故障时，对电波形的多个电参数进行采样。至少部分的基于标称电参数和多个采样的电参数的比较来确定多个电感。当网络中存在至少一个暂时电故障时，该多个电感表示网络中存在的电感。分析多个电感以确定到至少一个电故障的距离和 / 或方位。



1. 一种在电力网络中确定到电故障的距离的方法,所述方法包括以下步骤 :
在电力线上接收电波形 ;
确定电力网络的多个标称电参数,所述多个标称电参数与在网络中不存在至少一个暂时电故障的电力网络状态相关 ;
随后,当网络中存在至少一个暂时电故障时,对所述电波形的多个电参数进行采样 ;
至少部分基于所述标称电参数和多个采样的电参数的比较来确定多个电感,当在网络中存在所述至少一个暂时电故障时,所述多个电感表示所述网络中存在的电感 ;
分析所述多个电感以确定到所述至少一个电故障的距离。
2. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述多个采样的电参数包括电压和电流。
3. 根据权利要求 1 的所述方法,所述方法还包括至少部分基于所述多个采样的电参数来确定故障类型。
4. 根据权利要求 3 的所述方法,其中,所述故障类型是从由线到地故障和线到线故障组成的组中选取的。
5. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,利用多个采样的参数和多个标称电参数的比较来确定是否发生了故障。
6. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,分析的步骤包括将多个故障电感中的至少一些和电力线的已知电感特性相乘来获取到暂时故障的距离。
7. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述多个标称电参数和所述多个采样的电参数的比较包括在多个标称电参数和多个采样的电参数之间相减。
8. 根据权利要求 1 所述的方法,所述方法还包括至少部分基于所述多个标称电参数和所述多个采样的电参数的比较来确定源电感。
9. 根据权利要求 8 所述的方法,所述方法还包括确定暂时故障是否位于特定位置,所述特定位置是从由以下信息组成的组中选择的 :上游位置或下游位置,该上游位置或下游位置至少部分基于确定的源电感的极性 ;同一总线中相同或不同的线路,该相同或不同的线路至少部分基于所确定的源电感的极性 ;以及多总线配置中的相同总线或不同总线,该相同总线或不同总线至少部分基于所确定的源电感的极性。
10. 一种在电力网络中确定到电故障的距离的方法,所述方法包括以下步骤 :
确定至少一个第一网络运行参数,所述至少一个第一网络运行参数与在不存在暂时故障的网络的第一电力状况相关 ;
确定至少一个第二网络运行参数,所述至少一个第二网络运行参数和存在暂时故障的网络的第二电力状况相关 ;
至少部分基于所述至少一个第一网络运行参数和所述至少一个第二网络运行参数的比较来确定到故障的电感距离。
11. 根据权利要求 10 所述的方法,其中,确定所述至少一个第二网络运行参数包括对电压或电流进行采样。
12. 根据权利要求 10 所述的方法,所述方法还包括至少部分基于所述至少一个第一网络运行参数和所述至少一个第二网络运行参数中的至少一个来确定故障类型。
13. 根据权利要求 12 所述的方法,其中,所述故障类型是从由线到地故障和线到线故障组成的组中选取的。

14. 根据权利要求 10 所述的方法, 其中, 所述比较是用于确定是否发生了故障。

15. 一种确定故障距离的系统, 所述系统包括:

具有输入端和输出端的接口, 所述接口被配置为在输入端经由电力线接收电力波形;耦接到所述接口的处理器, 所述处理器被配置为确定电力网络的多个标称电参数, 所述标称电参数与不存在至少一个暂时电故障的电力网络状态相关, 所述处理器被配置为, 当网络中存在至少一个暂时电故障时, 随后在所述输入端对所述电力波形的多个电参数进行采样, 所述处理器被配置为至少部分基于标称电参数和多个采样的电参数的比较来确定多个电感, 当网络中存在所述至少一个暂时电故障时所述多个电感表示网络中存在的电感, 所述处理器被配置为分析所述多个电感来确定到所述至少一个暂时电故障的距离并在所述输出端呈现所述距离。

16. 根据权利要求 15 所述的系统, 其中, 所述多个采样的电参数包括电压和电流。

17. 根据权利要求 15 所述的系统, 所述系统还包括至少部分基于所述多个采样的电参数确定故障类型。

18. 根据权利要求 17 所述的系统, 其中, 所述故障类型是从由线到地故障和线到线故障组成的组中选取的。

19. 根据权利要求 15 所述的系统, 其中, 比较所述多个采样的电参数和所述多个标称电参数是用于确定是否发生了故障。

20. 根据权利要求 15 所述的系统, 其中, 通过将故障电感中的至少一些和电力线的已知电感特性相乘来确定到所述至少一个暂时故障的距离。

用于故障检测和位置确定的装置和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请是于 2010 年 10 月 12 日提交的申请号为 12/902,819 的美国专利申请的继续申请并请求该美国专利申请的优先权，该美国专利的内容通过该引用通过引用完全合并于此。

技术领域

[0003] 本申请涉及故障检测，并且更具体的涉及确定电网中的故障位置和 / 或故障的方位。

背景技术

[0004] 多年来已经使用各种方法检测和 / 或定位电网中的电气故障。在这些方法的某些中，使用电抗算法来检测和 / 或定位故障。更具体的，确定故障的相位的电压和电流的幅值以及电压和电流之间的相位角。由于通常从数据采样设备获取电压和电流数据，相位角和相位角差的计算需要电压和电流在至少两个电力周期中的稳态纯正弦波段（由于在数字化信号的幅值和相位角计算中数字信号处理的理论要求）。之后一旦获取了这些值，可以确定故障存在于何处。换言之，由于发生故障后稳态电压和电流，上面提到的之前的方法必须等待到故障经过故障行为的暂态期 (transient period) 而开始为止，并仅在此时，在获取这些值之后，为电压和电流计算幅值和相位角并由此定位故障。

[0005] 遗憾的是，很大一部分永久性故障和大多数的暂时 / 间歇的故障（通常是永久性故障的前兆）不产生期望的长故障后稳态行为。相反的，在短暂的暂态期之后未到达稳定状态这些故障就很快消失。大多数短暂的、仅暂态期的故障，无论该故障是永久的、暂时的或是间歇的，仅会持续一个周期的时间长度。例如，(地下电缆的) 地下绝缘击穿间歇性故障或架空电力线通常持续小于一个周期，大多数通常持续约 1/2 个周期或更少。需要定位可能引起永久性故障的这些子周期故障，否则随着间歇性故障发展为永久性故障会发生电力服务的损失。上述传统的故障定位方法不能定位子周期故障。实际上在大多数情况下，这些故障完全是由这些方法忽略了。因此，尚未尝试确定到 (间歇的或永久的) 这种子周期故障的距离。

附图说明

[0006] 图 1 包括根据本发明多个实施例的确定到故障的距离的系统框图；

[0007] 图 2 包括根据本发明多个实施例的确定到故障的距离的一个方法的流程图；

[0008] 图 3 包括根据本发明多个实施例的确定到故障的距离的装置框图；

[0009] 图 4 包括根据本发明多个实施例的表示故障的一个示例的电路的电路图；

[0010] 图 5A 和图 5B 包括根据本发明多个实施例的表示故障的一个示例的电路的电路图；

[0011] 图 6 包括根据本发明多个实施例的表示故障的一个示例的电路的电路图；

- [0012] 图 7 包括根据本发明多个实施例的表示故障的一个示例的电路的电路图；
[0013] 图 8 包括根据本发明多个实施例的表示故障的一个示例的电路的电路图；
[0014] 图 9A、图 9B 和图 9C 包括根据本发明多个实施例的表示故障的一个示例的电路的电路图；
[0015] 图 10 包括根据本发明多个实施例的表示故障的一个示例的电路的电路图；
[0016] 图 11 包括根据本发明多个实施例的表示故障的一个示例的电路的电路图；
[0017] 图 12 包括根据本发明多个实施例的表示故障的一个示例的电路的电路图；
[0018] 图 13 包括根据本发明多个实施例的表示计算到故障的距离并确定故障类型的方法的一个示例的流程图；
[0019] 图 14 包括根据本发明多个实施例的用于确定故障距离的电气特性图；
[0020] 图 15 包括根据本发明多个实施例的用于确定故障距离的电气特性图；
[0021] 图 16 包括根据本发明多个实施例的用于确定故障距离的电气特性图；
[0022] 图 17 包括根据本发明多个实施例的用于确定故障距离的电气特性图；
[0023] 图 18 包括根据本发明多个实施例的用于确定故障距离的电气特性图；
[0024] 图 19 包括根据本发明多个实施例的表示故障的一个示例的电路的电路图；
[0025] 图 20 包括根据本发明各个实施例的表示故障的一个示例的电路的电路图；
[0026] 图 21 包括根据本发明多个实施例的表示故障的一个示例的电路的电路图；
[0027] 图 22 包括根据本发明多个实施例的表示故障的一个示例的电路的电路图；
[0028] 图 23 包括根据本发明多个实施例的表示故障的一个示例的电路的电路图；
[0029] 图 24 包括根据本发明各个实施例的表示故障的一个示例的电路的电路图；
[0030] 图 25 包括根据本发明多个实施例的表示故障的一个示例的电路的电路图；
[0031] 图 26 包括根据本发明多个实施例的表示故障的一个示例的电路的电路图；
[0032] 图 27 包括根据本发明多个实施例的表示故障的一个示例的电路的电路图；
[0033] 图 28 包括根据本发明多个实施例的表示故障的一个示例的电路的电路图；
[0034] 图 29 包括根据本发明多个实施例的表示故障的一个示例的电路的电路图；
[0035] 图 30 包括根据本发明各个实施例的表示故障的一个示例的电路的电路图；以及
[0036] 图 31 包括根据本发明多个实施例的表示故障的一个示例的电路的电路图；
[0037] 本领域技术人员应认识到图中的元件是为了清楚和简单起见而示出的，而不必按比例绘制。例如，可能相对于其他元件放大图中某些元件的尺寸和 / 或相对位置，以有助于加深对本发明各个实施例的理解。并且，为了便于减少阻碍本发明的各个实施例的视野，通常不绘出在商业上可行的实施例中的有用或必要的、但普通而熟知的元件。还应进一步理解可以用特定的发生顺序描述或绘出特定行为和 / 或步骤，而本领域技术人员应该理解关于顺序的这种特定性实际上是不需要的。还应该理解本文使用的术语和表达具有根据关于其各相关调查研究领域的这些术语和表达的通常的含义，除非本文另外阐述了具体的含义。

具体实施方式

[0038] 提供了在电力电路中定位于周期故障（永久和间歇性两种）的方法。本文描述的方法有时采用注入方法并计算故障状况下的源阻抗。然后，计算到故障位置的线路电感，可

以将该线路电感乘以线路的已知的距离 / 电感因数以确定从测量设备到故障的实际物理距离（例如以米，英尺等为单位）。相应地，可以确定故障位于测量设备的上游或下游。还可以至少部分基于确定的源电感的极性来确定故障是否位于同一总线中的相同或不同线路上，或位于多总线配置的同一总线或不同总线上。

[0039] 在这样的实施例的许多实施例中，通过用例如在变电站上（或一些其他合适的位置）测量到的电压和电流信号，以及通过应用时域微分方程来从信号所表示的暂态波形中逆向地获取电感，来完成源电感和故障距离的计算。有利的，本文描述的方法不需要关于电路阻抗的先验信息。在这方面，能够获取变电站电路的源电感，将源电感用于故障相位识别以及由此的对故障的分类。由于处于暂态或稳态的信号本身揭示了从中获得和分析信号的电路和电路部件，因此本文描述的方法可以采用时域信号分析。

[0040] 仅考虑电路的电抗（即电感和电容），电路及其部件的简化并不显著改变信号，特别在电力电路中，其中电路部件是电抗主导。在某些方面，仅考虑电路在故障位置的电抗提供了接近实际电路的实现。本文描述的仅电抗的电路的分析方法具有其他的优点。例如，这些方法是针对在电路分析电阻（通常是用户负载）的消除而提供的，这使得方法负载独立。

[0041] 在本文描述的信号分析方法中，通常考虑净故障电压和电流，且分别通过从故障电压和故障电流中减去标称电压和标称电流来获取这些值。应用本方法理论上将短路故障状态（在故障相位和地之间具有零电压）转换为与在故障位置注入的标称值相等但相反极性的虚构电压源。故障位置的故障状况可以通过紧在故障开始时间之前在潜在的故障位置注入负极性电压来表示。在这种注入方法下，将故障状况电路视为由两个源来提供：变电站的主电力源和注入电压源。通过仅在一个源激活而另一个源去激活（反之亦然）的情况下将其部件值相加，来使用叠加原理为双源电路获取电路值（电压或电流）。由于本方法使用了净故障值（电压或电流），仅将注入电压源视作故障电路的唯一来源，而忽略可电路值计算中的主源。在假定的电抗电路的情况下注入的电压量和紧在故障开始前的时间的标称值相同。有利的，本文描述的方法仅需要变电站或某些其他适当的电压和电流的位置测量值。不需要其他除此之外的附加信息。

[0042] 进一步的，本文描述的方法获取故障距离的计算，该故障距离的计算容纳所有类型的到变电站总线的电容器组连接，例如接地的 Y 型电容器组，非接地电容器组，以及无电容器组。还可以是其他的示例。附加地，将故障距离表示为来自变电站的电感值。由于子周期故障定位的分析期包括电路的暂态行为（且其通常包括除了标称频率 $f = 60\text{Hz}$ 之外的其他频率），因此不能使用电抗的幅值（电抗的幅值（对电感 L ）定义为 $2*(\pi)*f*L$ 或（对于电容 C ）定义为 $1/(2*(\pi)*f*C)$ ）。然而，在接受轻微的误差的情况下，可使用电路的标称频率定义将作为故障距离的确定的电感粗略地理解为电抗。

[0043] 子周期故障有时对于接地故障是单线的。然而，子周期故障还可以是线到线故障或所有其他类型的故障。因此，文本针对三相电力电路系统中所有类型的故障描述了故障距离计算。也可以在其他类型电力系统中使用这些方法。

[0044] 在这些实施例的某一些实施例中，通过电力线接收电波形。为电力网络确定多个标称电参数，且将多个标称电参数与在网络中并无至少一个暂态电故障的电力网络的状态相关联。随后，当网络中存在至少一个暂态电故障时，对电波形的多个电参数进行采样。至

少部分基于标称电参数和多个采样的电参数的比较来确定多个电感。当网络中存在至少一个暂态电故障时，多个电感代表网络中存在的电感。分析多个电感以确定到至少一个电故障的距离。

[0045] 采样的电参数可以与各种各样的网络状况有关。例如，多个采样的电参数可以是电压和电流。还可以是其他的示例。

[0046] 在其他方面，至少部分基于多个采样的电参数确定故障类型。故障类型可以是线到地故障和线到线故障。还可以是其他的示例。

[0047] 在一些其他方面，使用多个采样参数和多个标称电参数的比较来确定是否发生了故障。还可以使用各种分析方法。例如，分析可以包括将多个故障电感中的至少一些乘以电力线的已知的电感特性以获取到暂时故障的实际物理距离（例如以米，英尺等为单位测量的）。该比较还可以使用各种方法和数学运算。例如，多个标称电参数和多个采样电参数的比较可以包括在多个标称电参数和多个采样电参数之间执行减法。可以是其他分析和比较的示例。

[0048] 可以至少部分基于多个标称电参数和多个采样电参数的比较来确定源电感。可以至少部分基于确定的源电感的极性确定暂时故障是位于上游位置还是下游位置。

[0049] 在这些实施例的其他实施例中，确定电力网络中到电故障的距离。确定至少一个第一网络运行参数，该第一网络运行参数和不存在暂时故障的网络中的第一电力状况相关。确定至少一个第二网络运行参数，该第二网络运行参数和存在暂时故障的网络中的第二电力状况相关。至少部分基于至少一个第一网络运行参数和至少一个第二网络运行参数的比较来确定到故障的电感距离。

[0050] 确定第二网络运行参数可以包括对电力电压或电力电流进行采样。进一步的，至少部分基于至少一个第一网络运行参数和至少一个第二网络运行参数中的至少一个来确定故障类型。故障类型可以是多种类型。例如，故障类型可以是线到地故障和线到线故障。还可以是其他类型的故障类型。在其他方面，使用比较来确定是否发生了故障。

[0051] 在这些实施例的另外其他的实施例中，确定故障距离的系统包括接口和处理器。接口包括输入端和输出端，并配置为在输入端经由电力线接收电波形。

[0052] 处理器与接口耦接。处理器配置为确定电力网络的多个标称电参数且，该标称电参数与不存在至少一个暂时电故障的电力网络的状态相关联。处理器还配置为，当网络中存在至少一个暂时电故障时，随后在输入端对电波形的多个电参数进行采样。处理器进一步配置为至少部分基于比较标称电参数和多个采样的电参数来确定多个电感。当网络中存在至少一个暂时电故障时，多个电感代表网络中存在的电感。处理器配置为分析多个电感来确定到至少一个暂时电故障的距离并在输出端呈现该距离。

[0053] 多个采样的电参数可以是各种各样的参数，例如电力电压和电力电流。处理器还可以配置为至少部分基于多个采样的电参数来确定故障类型。提及两种示例，故障类型可以是线到地故障和线到线故障。在其他方面，使用多个采样电参数和多个标称电参数之间的比较来确定是否发生了故障。在另外的示例中，通过将故障电感中的至少一些故障电感与电力线的已知电感特性相乘来确定到至少一个暂时故障的距离。

[0054] 现在参考图1，描述了确定到故障的距离的系统的一个示例。系统包括发电机/发送机102，发电机/发送机102经由传输线103将三相电力传输到变电站104。变电站104转

换（例如降低）传输的电力的电压或其他特性，并通过传输线 109 将电力供给消费者 120。变电站变换器 105 包括初级线圈 106、108 和 110 以及次级线圈 112、114 和 116。线圈形成变换器，该变换器将经由输入线 103 接收的电力转换到输出线（表示为 A、B 和 C）。监控设备 118 监控电力和变电站 104 的输出，并确定电故障 117 的存在以及到故障 117 的距离。

[0055] 发电机 / 发送机 102 可以是任何类型的供电装置。例如，发电机 / 发送机 102 可以是电网、电站、另一个变电站，或供给电力的任何其他类型的装置。

[0056] 消费者 120 可以是家庭、企业、办公室、学校或其他其他类型的电力消费者。虽然仅示出了一个消费者，应该认识到，还可以存在其他的消费者。此外，应该理解还可以存在其他传输线且这些传输线可以按任何架构或配置进行布置。

[0057] 监控设备 118 可以是用于确定到故障的距离的计算机硬件和软件的任意组合，在该示例中，故障是电故障 117。应该认识到电故障 117 是位于一个位置的故障的一个示例，且电故障可以存在于图 1 中任何地方的其他位置。故障 117 可以是间歇的故障，也即，故障是在电力系统或网络中偶尔并通常以不可预知的方式表现自身的物理事件。虽然能检测并定位暂时 / 间歇的故障，应该认识到本文描述的方法能定位包括永久性故障在内的所有类型的故障。

[0058] 当在系统中发生暂时 / 间歇的故障时，系统能生成错误的结果并返回常态。采用网络中发生特定电故障的典型示例，地下电缆可能被水损坏且由于潮湿渗透可能生成微小的电弧。在这一示例中，故障仅持续一个周期左右且在由短电弧蒸发了水分后快速恢复常态犹如无事发生。

[0059] 在图 1 系统的运行的一个示例中，经由电力线 109 和在监控设备 118 处接收电波形。由监控器 108 为电力网络确定多个标称电参数，并且将多个标称电参数和在网络中并无至少一个暂时电故障的电力网络的状态相关联。随后，当网络中存在至少一个暂时电故障（例如故障 117）时，对电波形的多个电参数进行采样。由监控设备 118 至少部分基于标称电参数和多个采样电参数的比较来确定多个电感。当在网络中存在至少一个暂时电故障时，多个电感代表网络中存在的电感。分析多个电感来确定到至少一个电故障 117 的距离。

[0060] 采样的电参数可以与各种各样的网络状况有关。例如，多个采样的电参数可以是电压和电流。可以是其他的示例。还可以由监控设备 118 确定至少部分基于多个采样的电参数的故障类型。故障类型可以是线到地故障和线到线故障。可以是其他示例。

[0061] 在某些其他方面，由监控设备 118 使用多个采样参数和多个标称电参数的比较来确定是否发生了故障。还可以由监控设备 118 使用用于分析的各种方法。例如，监控设备 118 的分析可以包括将多个故障电感中的至少一些与电力线的已知电感特性相乘来获得到暂时故障的距离。由监控设备 118 进行的比较还可以使用不同的方法和数学运算。例如，由监控设备 118 进行的多个标称电参数和多个采样电参数的比较可以包括在多个标称电参数和多个采样电参数之间进行减法。还可以是进行分析和比较的其他示例。

[0062] 可以由监控设备 118 至少部分基于多个标称电参数和多个采样电参数的比较来确定源电感。可以由监控设备 118 至少部分基于确定的源电感的极性来确定暂时故障是位于上游位置还是下游位置。

[0063] 在图 1 系统的运行的另一个示例中，确定电力网络中到电故障 117 的距离。由监控设备 118 确定至少一个第一网络运行参数，并将该至少一个第一网络运行参数与不存在暂

时故障的网络的第一电力状况相关。由监控设备 118 确定至少一个第二网络运行参数，并将该至少一个第二网络运行参数与存在暂时故障的网络的第二电力状况相关。由监控设备 118 至少部分基于该至少一个第一网络运行参数和该至少一个第二网络运行参数的比较而确定到故障的电感距离。

[0064] 由监控设备 118 确定第二网络运行参数可以包括对电力电压或电力电流进行采样。进一步的，可以由监控设备 118 至少部分地基于至少一个第一网络运行参数和至少一个第二网络运行参数中的至少一个确定故障类型。故障类型可以是多种类型。例如，故障类型可以是线到地故障和线到线故障。还可以是其他示例。在其他方面，用比较来确定是否发生了故障。此外，可以确定故障是在测量设备的上游还是下游。

[0065] 现在参考图 2，描述确定到故障的距离方法的一个示例。在步骤 202，从电力线（例如在三相电力系统中的线路）接收电波形。

[0066] 在步骤 204，为电力网络确定多个标称电参数，并将多个标称电参数与在网络中不存在至少一个暂时电故障的电力网络的状态相关联。

[0067] 在步骤 206，当网络中存在至少一个暂时电故障时对电波形的多个电参数进行采样。

[0068] 在步骤 208，至少部分基于标称电参数和多个采样电参数的比较来确定多个电感。当网络中存在至少一个暂时电故障时，多个电感代表网络中存在的电感。在步骤 210，分析多个电感来确定到至少一个电故障的距离。

[0069] 现在参考图 3，描述配置为确定到电故障的距离的装置的一个示例。能独立于或集成于监控设备的装置 302 包括接口 304 和处理器 306。

[0070] 接口 304 包括输入端 308 和输出端 310，并配置为在输入端 308 从电力线接收电波形 312。

[0071] 处理器 306 耦接至接口 304。处理器 306 配置为为电力网络确定多个标称电参数，并将标称电参数和不存在至少一个暂时电故障的电力网络的状态相关联。处理器 306 还配置为当网络中存在至少一个暂时电故障时，随后在输入端 308 对电波形 312 的多个电参数进行采样。处理器 306 进一步配置为至少部分基于标称电参数和多个采样电参数的比较来确定多个电感。当网络中存在至少一个暂时电故障时，多个电感代表网络中存在的电感。处理器 306 配置为分析多个电感来确定到至少一个暂时电故障的距离 314 并在输出端 310 呈现距离 314。

[0072] 多个采样电参数可以是各种各样的参数，例如电力电压和电力电流。处理器 306 还可以配置为至少部分基于多个采样的电参数来确定故障类型。提及两种示例，故障类型可以是线到地故障和线到线故障。在其他方面，由处理器 306 进行的多个采样电参数和多个标称电参数的比较是用于确定是否发生了故障。在其他示例中，可以由处理器 306 将至少一些故障电感和电力线的已知电感特性相乘来确定到至少一个暂时故障的距离。

[0073] 参考本申请的其余附图（图 5- 图 31），应该认识到示出了各种电感、电源和其他电力元件。这些针对图 4 进行了描述，通常而言不再针对其余的附图而对它们进行描述。

[0074] 现在参考图 4，从一个或多个变换器提供典型的变电站，将一个或多个电容器组 401 连接到变电站总线。从该总线，多个电路操作以提供负载（例如，用户负载、家庭、电器、企业等等）。考虑仅提供电路的变电站，在集总参数方法中，变电站和电路可以等效于三相

正弦曲线源 402、404 和 406，三相源电感器 408、410 和 412，以及三线电感器 414、416 和 418，而忽略所有的电阻元件。

[0075] 参考图 4 中的这种等效三相系统，其中在位置 X 处发生了 A 相到地的故障，现在描述针对全部故障类型中每一故障的故障距离公式的推导。ES 是相位电压源，且 LS 是相位源电感，都是从变电站变换器和 C 引出，与其它两个一起，来表示电容器组。LF 是从变电站到三相电路的假想的故障点 (X) 的电缆 (或架空线) 的相位电感，LR 是电路的、从故障点到电路端部的相位电感。

[0076] 在本分析和距离计算中忽略电路、变换器和负载当中的所有电阻元件。开关 S 表示 Y 型连接的电容器操作为在节点接地或者不接地。当从图 4 移除 C 时，则变为无电容器情况的第三种连接类型。

[0077] 再次参考图 4，用三相电流变换器 (CT) 420 和三相电压变换器 (PT) 422 作为三相电流和电压的探测器。通过用具有记录和遥测或远程访问介质的探测器完成在变电站的数据事件记录。图中在 C 相的一个 CT 和 PT 共同表示还由这样 CT 和 VT 针对其电压和电流探测其他两个相位。通过从总线抽头而进行使用记录设备的变电站测量。因此，测量的电压是总线电压，测量的电流是来自主源的电流，其指示了到连接到总线的多个电路的组合电流。对于具有三相电路的变电站，在变电站测量到的电流是通过电容器的电流和通过电路的电流的总和，后面两者通常是未知的且不可测量。如上面指出的，通过仅用变电站或测量到的适当位置，测量到的电压和电流，到点 X (其是电感 LF) 的故障距离公式推导完成任务。

[0078] 现在参考图 4 电路的 A 相以及在位置 X 的到地故障 (“AE 故障”)，针对三种不同的电容器连接类型描述故障距离 LF 的公式。当在具有零故障电阻的位置 X 在时刻 $t = t_F$ 发生了 AE 故障时，时刻 t_F 在 X 的电压 $V_{ax}(t_F)$ 变为零。在 X 处的电压零点另选地表示为在位置 X 处向系统注入在 t_F 本应正常的电压的负极性， $-V_{ax}(t_F)$ 。并且，由于本文描述的许多方法通过用叠加原理，仅使用故障引起的电压和电流变化 (而不是注入的电压和源电压两者的总电压)，从净电压的角度，在从电路中停用正弦曲线源电压后，电路中仅存在注入电压作为唯一的源。对于接地电容器的情况，用于净电压和电流分析的电压注入的叠加方法将图 4 中的电路转换为图 5A 中的电路。

[0079] 重新布置图 5A 中的电路，在由于 B 相和 C 相的两个支路等效于短接到地面而消除了 B 相和 C 相的两个支路后，使得图 5B 的电路大大简化，其仅具有源电感 (LS) 的 A 相部件以及伴随着到故障位置 X (LF) 的线电感 (LF) 的电容器 C。

[0080] 参考图 5B，在仅由注入的电压源作出贡献的变电站总线处， V_{aF} 和 I_{aF} 分别是 A 相净故障电压和电流。由于在正常 (无故障) 情况下没有电流流经 LF，在 X 处的注入电压与总线处的 t_F 时刻的正常电压相同。换言之， $V_{ax}(t_F) = V_{aN}(t_F)$ 。净故障电压和电流， V_{aF} 和 I_{aF} ，可以间接地通过在故障期间的值中减去标称值来从变电站重编码设备得到。将注入的电压作为唯一来源，当 DC 电压在时刻 t_F 转换为电流时，图 5B 的电路是简单的瞬态响应问题的主体，本领域技术人员知道其可以通过用时域微分方程方法或频域 (或 s 域) 方法来解决。

[0081] 本文描述的用于确定暂时和子周期故障定位的方法使用时域微分方程，时域微分方程用采样数据值提供更简单的实现。然而，遵循本文描述的相同等效步骤，同样可用 s 域分析。使用时域微分方程方法，根据 $V_{aF} = -LS \cdot dI_{aF}$ (其中 dI_{aF} 是 I_{aF} 的一阶导数)

的关系,将源电感公式确定为 $LS = -VaF/dIaF$ 。针对源电感的该等式仅在故障期间成立,并可以用作故障事件存在或不存在的鉴别器。在正常(无故障)条件下,由于该情况下无净故障电压和电流, LS 为不定值或零。再次参考图 5A 和 5B, LF 的故障距离公式为 : $LF = [VaF+VaN(tF)]/[dIaF-C*ddVaF]$, 其中 $ddVaF$ 是 Vaf 的二阶导数。A 相到地故障的该故障距离公式可以简单地通过使用故障的相的变量而用于其他相线到地故障。因此,对于 B 相故障, LF 公式变为 $[VbF+VbN(tF)]/[dIbF-C*ddVbF]$ 。以及,对 C 相到地故障,公式变为 $[VcF+VcN(tF)]/[dIcF-C*ddVcF]$ 。

[0082] 当断开图 4 的开关 S 时,现在 Y 型连接电容器未接地, A 相到地故障情况的电路简化为图 6 的电路。可以看到,在组合支路的节点 A 处,由于组合净故障电流从 B 和 C 流入节点 A, 通过 LF 的电流是三个净故障电流分量 ($IaF+IbF+IcF$) 的总和,反过来,该三个净故障电流分量 ($IaF+IbF+IcF$) 的总和可以表示为净故障残余电流 IrF , 其可以通过三相净故障电流总和定义。然后,针对未接地电容器组中的 A 相故障的故障距离 LF 公式为 $LF = [VaF+VaN(tF)]/dIrF$, 其中 $dIrF$ 是 IrF 的一阶导数。可以同样推导出 B 相和 C 相的公式。

[0083] 当在接地和非接地电容器组的情况下从公式中省略了电容器 C 部件时,针对没有电容器组的情况引入到公式的仅有变化位于分母中:对于 A 相到地故障,分母仅仅是 $dIaF$ 。因此,当没有电容器组时,A 相到地故障的故障距离 LF 是 $LF = [VaF+VaN(tF)]/dIaF$ 。另一相的 LF 可以用相同公式计算但使用了选定相的值,而不是相 A 的值。

[0084] 在图 7 中示出了不涉及地的线到线故障的情况,图 7 采用了与针对图 4 所使用的元件相同的元件。举一个例子,图 7 中确定的线到线故障距离是对于 A 相和 B 相故障(“AB 故障”)的。也可以用与对于 AB 故障的方式同样的方式推导出对其他线到线故障,BC 和 CA 故障,的故障距离公式。在电容器节点接地的情况下,在位置 X 处故障的电路现被简化为图 8 的电路,该电路具有注入电压、通常情况下在故障开始时间 A 和 B 之间的电压 $Vabx(tF)$, 以及仅 A 和 B 相的电感器和电容器。如本文针对 A 相到地故障公式推导所阐述的, tF 时刻注入电压 $Vabx(tF)$ 和总线处的正常线到线电压相等; $VabN(tF) = Vabx(tF)$, 其中 $VabN = VaN-VbN$ 。

[0085] 现在再次参考图 8 的电路,在两个节点 A 和 B 处的两个电流等式可以被确定为在之后用于 LF 等式: $Ia1F = IaF-C*dVaF$ (在节点 A 处)以及 $Ib1F = IbF-C*dVbF$ (在节点 B 处)。围绕不包括电容器的主回路的电压等式引出如下的 LF 的等式: $LF*[dIa1F-dIb1F] = [VaF-VbF]-VabN(tF)$, 其中 $dIa1F$ 和 $dIb1F$ 分别是 $Ia1F$ 和 $Ib1F$ 的一阶导数。应用 $VaF-VbF = VabF$ 以及 $Ib1F = -Ia1F$ 的关系,LF 的等式可以确定为: $LF = [VabF-VabN(tF)]/[2*(dIaF-C*ddVaF)]$ 。另选的,进一步将图 8 中的电路简化为具有组合的 LF 和 LS 的单回路电路,供选择的等式可确定为略有不同但类似的格式, $LF = [VabF-VabN(tF)]/[(dIabF-C*ddVabF)]$, 其中 $IabF = IaF-IbF$ 。

[0086] 具有未接地的 Y 型连接电容器组的针对 AB 故障的电路能够简化为图 9A 所示的电路。参考图 9A,两个 Y 型连接部件、节点 n 处的源电感器和节点 n' 处的电容器可以转换为两个 delta 部件,并进一步转换为一个 $2*LS$ 的电感器和一个 $C/2$ 的电容器的并联部件。在图 9B 中示出简化的电路,其可以通过组合电路的两个 LF 而进一步简化为图 9C 中的电路。

[0087] 参考图 9C,通过在节点 A 处组合电流等式 $Ia1F = IabF/2-[C*dVabF]/2$, 和主回路中的电压等式 $VabF+2*LF*dIa1F+VabN(tF) = 0$, 针对非接地电容器情况下的 AB 故障的故障

距离 LF 公式可以被确定为 $LF = [VabF - VabN(tF)] / [(dIabF - C*ddVabF)]$, 其和接地电容器组的情况下相同。忽视具有电容器 C 的项, 无电容器组情况下的 AB 故障公式被确定为 $LF = [VabF - VabN(tF)] / dIabF$ 。

[0088] 三线故障 (“ABC” 故障) 的情况和 AB 故障公式在故障距离计算上类似。这可以通过和上述的 AB 故障情况类似的分析而证实。针对 ABC 故障的故障距离的 LF 公式与针对三个电容器连接情况中每个情况的 AB(或者任何线到线) 故障的公式相同。

[0089] 图 10 中图示出 3 相电路系统中的 AB 相到地故障, 作为典型的但同样可应用于其他线到线到地故障“ABE 故障”。由于 X 点在两条线中相同点处结合, 图 10 的电路图可以用具有相同幅值的针对 A 相和 B 相的两个注入电压而简化为图 11 的电路。围绕主回路和内回路的两个独立的电压等式分别针对 LF 生成两个等效的故障距离公式, 均和 A(或 B) 相到地故障的故障距离公式相同。具体地, 针对 LF 的等效的两个电压等式被确定为 :

[0090] $LF = [VaF + VaN(tF)] / [(dIaF - C*ddVaF)] = [VbF + VbN(tF)] / [dIbF - C*ddVbF]$ 。电路图的进一步简化生成不同形式的 LF 等式, 但其仅是此处描述的公式的变形。因此, 用具有不同项的各种形式的其他另选公式是可能的, 但是它们和本文明确描述的那些公式是相同的。

[0091] 对于非接地电容器的情况, ABE 故障电路可以图示为图 12 中的电路, 可以在两个主回路中推导出两个电压等式 :一个主回路仅包括 A 相电感器并接地, 且另一个主回路仅包括 B 相电感器并接地。此外, 再次参考图 12, 在节点 n, 两个线电流之和与流入到源电感的三相电流之和之间的关系可以描述为 $Ia1F + Ib1F = IaF + IbF + IcF = IrF$ 。组合这两个电压等式和电流关系引出如下的故障距离 LF 的公式 :

[0092] $LF = [VaF + VaN(tF) + VbF + VbN(tF)] / dIrF$ 。该 LF 公式可以用两个常见的项来表示, 其和 A(和 B) 相到地故障的公式相同 : $LF = [VaF + VaN(tF)] / dIrF + [VbF + VbN(tF)] / dIrF = LF(AE \text{ 故障公式}) + LF(BE \text{ 故障公式})$ 。再次, 电路图或表示的进一步简化, 例如应用 $VaN(tF) = VbN(tF)$ 条件 (由于其在故障开始时间时具有相同的电压) 能生成和此处描述的不同形式的 LF, 但这仅是公式的变形。因此, 正如已经指出的那样, 可以是具有不同项的各种形式的其他公式, 并可以和本文明确描述的公式类似。

[0093] 忽略具有电容器 C 的项, 无电容器组情况下的 ABE 故障公式被确定为 $LF = [VaF + VaN(tF)] / dIaF = [VbF + VbN(tF)] / dIbF$, 其和 AE 或 BE 故障的 LF 公式相同。

[0094] 通过应用在 ABE 故障示例中应用的相同的分析和电路简化方法, 三线到地故障 (“ABCE 故障”) 的故障距离公式如下。对于接地电容器的情况, 故障距离与任意单相到地故障的故障距离相同 :

[0095] $LF = [VaF + VaN(tF)] / [dIaF - C*ddVaF] = [VbF + VbN(tF)] / [dIbF - C*ddVbF]$ 。对于非接地电容器的情况, 故障距离是 AE、BE 和 CE 故障的三个 LF 的总和 :

[0096] $LF = [VaF + VaN(tF)] / dIrF + [VbF + VbN(tF)] / dIrF + [VcF + VcN(tF)] / dIrF$ 。另一方面, 无电容器情况的公式可以从去除了 C 的接地情况简单地推导出来 :

[0097] $LF = [VaF + VaN(tF)] / dIaF = [VbF + VbN(tF)] / dIbF = [VcF + VcN(tF)] / dIcF$ 。

[0098] 如上所述, 故障距离公式适于特定并相关的故障类型或分类。作为故障距离公式的概要, 如下表示了在三种不同类型的电容器组连接方法 (接地 (GC) 非接地 (UC) 以及无电容器组 (NC)) 中每种故障类别的故障距离公式 :

- [0099] AE 故障 :
- [0100] GC : [VaF+VaN(tF)] / [dIaF-C*ddVaF]
- [0101] UC : [VaF+VaN(tF)] / dIrF
- [0102] NC : [VaF+VaN(tF)] / dIaF
- [0103] BE 故障 :
- [0104] GC : [VbF+VbN(tF)] / [dIbF-C*ddVbF]
- [0105] UC : [VbF+VbN(tF)] / dIrF
- [0106] NC : [VbF+VbN(tF)] / dIbF
- [0107] CE 故障 :
- [0108] GC : [VcF+VcN(tF)] / [dIcF-C*ddVcF]
- [0109] UC : [VcF+VcN(tF)] / dIrF
- [0110] NC : [VcF+VcN(tF)] / dIcF
- [0111] AB 故障 :
- [0112] GC : [VabF-VabN(tF)] / [2*(dIabF-C*ddVabF)]
- [0113] UC : [VabF-VabN(tF)] / [(dIabF-C*ddVabF)]
- [0114] NC : [VabF-VabN(tF)] / dIabF
- [0115] BC 故障 :
- [0116] GC : [VbcF-VbcN(tF)] / [2*(dIbcF-C*ddVbcF)]
- [0117] UC : [VbcF-VbcN(tF)] / [(dIbcF-C*ddVbcF)]
- [0118] NC : [VbcF-VbcN(tF)] / dIbcF
- [0119] CA 故障 :
- [0120] GC : [VcaF-VcaN(tF)] / [2*(dIcaF-C*ddVcaF)]
- [0121] UC : [VcaF-VcaN(tF)] / [(dIcaF-C*ddVcaF)]
- [0122] NC : [VcaF-VcaN(tF)] / dIcaF
- [0123] ABE 故障 :
- [0124] GC : [VaF-VaN(tF)] / [(dIaF-C*ddVaF)]
- [0125] UC : [VaF+VaN(tF)] / dIrF+ [VbF+VbN(tF)] / dIrF
- [0126] NC : [VaF+VaN(tF)] / dIaF
- [0127] BCE 故障 :
- [0128] GC : [VbF-VbN(tF)] / [(dIbF-C*ddVbF)]
- [0129] UC : [VbF+VbN(tF)] / dIrF+ [VcF+VcN(tF)] / dIrF
- [0130] NC : [VbF+VbN(tF)] / dIbF
- [0131] CAE 故障 :
- [0132] GC : [VcaF-VcaN(tF)] / [(dIcaF-C*ddVcaF)]
- [0133] UC : [VcF+VcN(tF)] / dIrF+ [VaF+VaN(tF)] / dIrF
- [0134] NC : [VcF+VcN(tF)] / dIcF
- [0135] ABC 故障 :
- [0136] GC : [VabF-VabN(tF)] / [(dIabF-C*ddVabF)]
- [0137] UC : [VabF-VabN(tF)] / [(dIabF-C*ddVabF)]

[0138] NC : [VabF-VabN(tF)]/dIabF

[0139] ABCE 故障 :

[0140] GC : [VaF+VaN(tF)]/[(dIaF-C*ddVaF)]

[0141] UC : [VaF+VaN(tF)]/dIrF+[VbF+VbN(tF)]/dIrF+[VcF+VcN(tF)]/dIrF

[0142] NC : [VaF+VaN(tF)]/dIaF

[0143] 根据多种不同的算法、软件和 / 或软件结构,可以实现每个特定故障类别的故障距离公式。本文描述的示例性实现仅是为了例示的目的,以强调子周期故障定位系统为了适当的生成作为最终输出的故障类别和故障距离而要采用的要求和必要步骤。

[0144] 现在针对图 13 的流程图描述子周期故障距离定位方法的一个示例。在流程图中,在公式中生成所需的项所需的数据和顺序步骤通过带箭头的线连接,用于要采用的步骤的有序进展。

[0145] 在步骤 1302,当发生预定义事件(例如,诸如断电警告的警告)或在预定的时间或间隔,从在网络中发生扰动时获得并选择性的存储变电站总线的实时电压和电流数据的设备读取出捕获的原始数据。所有三个电压和电流的原始数据分别表示为 Va、Vb、Vc、Ia、Ib 和 Ic。在可以由普通保护设备或传统故障定位方法检测出或检测不出的短时暂态偏移的情况下,对子周期故障进行分类。可使用数据收集设备和数字继电器来以高采样率捕获海量数据。通过设置触发器,可以有选择的捕获数据,例如,仅针对电压或电流的某种异常行为,而无论其来源,故障或非故障。通常,除了故障事件之外,数字继电器和数据收集设备记录短时暂态事件,即使可以将事件驱动记录数据用于保护或故障检测和定位。

[0146] 参考图 14,在一个示例和一个典型情况下,记录的原始数据包括电压和电流的正常部分(称作“故障前数据”)和故障发生后的部分(“故障后数据”),有时具有扰动开始的清晰时间戳(tF)。

[0147] 再次参考图 13,在步骤 1304 进行正常(无故障)数据提取。针对 LF 计算而需要的和形成的正常数据通常是从原始数据的最初的数据开始采用的故障前数据的多个后续的一周期长度的样本。换言之,从原始数据形成的正常数据是通过重复故障前数据的第一个 1 周期的采样,直到其具有和原始数据相同数量的样本数而生成的。正常数据是针对电压和电流(VaN, VbN, VcN, IaN, IbN 和 IcN)的所有相而形成的。通过将所有的三相正常电流相加来获得正常残余电流(IrN)。因此,原始数据中的样本长度和新形成的正常电压和电流数据相同。

[0148] 在步骤 1306,进行净故障数据形成。通过从各相的电压(或电流)的原始数据中减去对于各相的电压(或电流)的正常数据可以获取针对各相的电压(或电流)的净故障值。例如,相 A 净故障电压(VaF)可以逐个样本地从 Va 中减去 VaN 来获取。正如期望的,故障前净值接近于零,且在故障后,由于电抗主导电路的实际假设和现实性,净电压和净电流将显示出将近 90 度的失相。图 15 示出了净故障相电压,净故障电流,以及相到地故障(phase to ground fault)的净残余电流,还图示了净故障电压跨零情况下的净相电流峰值。

[0149] 在步骤 1308,出现净故障值的微分。在本文使用的公式中,包括用于源电感的一个公式,需要净故障值(电压或电流)的一阶导数。现在描述采样信号的微分过程。可以从时变信号的一阶导数为信号随时间变化率这样的定义来推导采样信号的数

值微分,其可以理解为在每个采样点处的信号切线的斜率。设相邻采样点之间的时间间隔 Δt 为常量,例如用于在采样时间 j 计算电压 V 的一阶导数(称为 dV)的最简算法为:
 $dV(j) = [V(j+1)-V(j)]/\Delta t$ 。前述的微分算法被称为一阶导数的一阶前向微分公式。另选的,通过应用泰勒扩展,针对一阶导数的二阶中心微分公式可以被获得为:
 $dV(j) = [V(j+1)-V(j-1)]/(2*\Delta t)$ 。一阶导数的又一另选形式,四阶近似,可被获取为:
 $dV(j) = [V(j-2)-8*V(j-1)+8*V(j+1)-V(j+2)]/(12*\Delta t)$ 。在一个示例中,对于从变电站获取的每周期 128 个样本的实际数据,通常认为二阶一次微分是最佳的选择。

[0150] 然而,对其他情况这可能不正确。因此,必须选择适当的顺序。使用数字一阶导数方法的净值过程的一阶导数针对变量的所有采样应用于所有的净故障相电压和电流以及净剩余故障电流。在图 16 中的图示表示净 B 相故障电压的一阶导数 $dVbF$ 、净 B 相电流的一阶导数 $dIbF$,以及 B 相到地故障的净剩余故障电流的一阶导数 $dIrF$ 。

[0151] 在步骤 1310,进行净故障电压的二次微分。在一些故障距离公式中,尤其是当在变电站中连接电容器组时,公式的分母包括净故障电压的二阶导数。即使可以将专门开发的直接从采样信号推导二阶导数的算法用于净故障电压的二阶导数,传统的选项将是使用上述一阶导数两次。使用该传统选项,获取如下的二阶导数: $ddVaF$ 、 $ddVbF$ 、 $ddVcF$ 、 $ddVabF$ 、 $ddVbcF$ 以及 $ddVcaF$ 。

[0152] 在步骤 1312,确定故障开始时间(tF)。仅在准确获得了故障开始时间 tF 时,能够获取在故障发生时间 tF 在理论公式中的注入量 $V(tF)$ 。从表达式 $V(tF)$,变量 V 表示相或相之间的任何电压。当(电压或电流或两者的)净故障值超过特定阈值时,可以通过查找最早时间来确定故障开始时间。可以用多种方式设置阈值,其中的两种是在预定固定点设置阈值以及在电压(或电流)标称值的固定百分点设置阈值。在第一种方式中,电压的故障开始的阈值在 12000 伏特电路中例如可以设定为 500 伏特。在第二种方式中,阈值例如可以设置为标称电压级别的 5%。在 12000 伏特分布中,5% 的阈值可以是 600 伏特。除了这两种示例方式之外,可以按经验在系统的特定情况下所获取的方式设置阈值。对于变量,可以单独使用净故障电压,或可以使用净电流,或可以使用这两种净值。

[0153] 由于在电力系统中存在三相,所以用阈值设置方法独立地获取所有三个故障开始时间。查找一个或仅有的故障开始时间的实际方式是在三个相的三个可能的故障开始时间中找到最小的正值。正数的条件是非故障相不具有高于设定的阈值的任何值,导致其故障开始时间为零(过程的初始时间)。

[0154] 在步骤 1315,确定 $V(tF)$ 。已知 tF ,可以从时间 tF 的标称电压中获取注入电压 $V(tF)$: $V(tF) = VN(tF)$ 。不查找故障开始时间(tF)也不在查找到的故障开始时间读取标称电压而确定 $V(tF)$ 的另一方式是采用标称峰值电压作为注入电压。本方法基于这样的事实,在正的或负的峰值电压点发生暂时绝缘击穿或间歇子周期故障。优选的,应存在确定故障在哪一正的或负的峰值电压开始的方法。其中确定峰值电压极性的多种方式中的一种方式是遵循净故障电流的极性。换言之,在出现故障之后,当计算了净故障电流时,净故障电流的极性应该和峰值电压的极性相同。

[0155] 在步骤 1317,描述了从非接地故障分离接地故障以用于故障分类。对于特定类别的故障,故障距离公式是特定的,且通过识别故障的相以及故障是接地故障还是非接地故障来进行故障分类。在本节中,描述了接地故障和非接地故障的识别。从非接地故障分离

接地故障的多种方式中的一种方式是检查残余电流 I_r 的级别,或检查净故障残余电流 I_{rF} 的级别,或同时检查这两者,其中残余电流是三相电流的总和 ($I_a+I_b+I_c$),净故障残余电流是三个净故障相电流的总和 ($I_{aF}+I_{bF}+I_{cF}$)。当在故障路径中涉及地时, I_r 和 I_{rF} 两者都流动;在正常情况下,在平衡系统中三相电流的和为零。

[0156] 由于从故障开始时间开始电流逐渐增加, I_r 或 I_{rF} 的测量时间可以不设置在故障开始时间而设置在一段时间之后的时间(例如 $1/4$ 周期时间)。因此,如果选择了变量 g 来表示接地故障 ($g = 1$) 或非接地故障 ($g = 0$),对 $g = 1$ 的情况可以设置为例如每个周期具有 128 个样本的情况: $|I_r(tF+31)| > thrIr$ 或 $|I_{rF}(tF+31)| > thrIrF$, 其中 $thrIr$ 和 $thrIrF$ 分别是最小残余电流和净故障残余电流的阈值。 $thrIr$ 的示例值可以设置为正常残余电流级别峰值的三倍 ($thrIr = 3*\max(IrN)$)。 $thrIrF$ 的值可以类似地设置。然而应该理解可以用经验、电力流研究以及负载情况以多种方式设置阈值。

[0157] 在步骤 1319,发生用于故障分类而从非接地故障对接地故障的分离。作为对用于识别故障是否接地或非接地的残余电流或净故障残余电流的另选,可采用相的源电感值和两个相的源电感值的比较。通过定义, A 相的源电感定义为 $LSa = -VaF/dIaF$, 以及 A 相和 B 相的(虚拟)源电感定义为 $LSab = -VabF/dlabF = -[VaF-VbF]/[dIaF-dIbF]$ 。在 AB 故障(不涉及接地)中,由于 $VaF = -VbF$, 以及 $dIaF = -dIbF$, 两个相 A 和 B 的源电感和 A 相的源电感相同: $LSab = -[2*VaF]/[2*dIaF] = LSa$ 或 LSb 。另一方面,在具有接地路径的 ABE(AE 或 BE) 故障中,两相的源电感 $LSab$ 比相源电感 LSa 小得多。虚拟双相源电感和相电感相比减少的量根据电路配置而变化,特别是在电容器组连接和接地实践中。具有真实数据的 A(或 B) 相到地故障下的平均观测值 $LSab$ 为 LSa (或 LSb) 的 50% 至 70%。如果通过观察和体验特定网络情况适当的确定了接地 / 非接地故障分离的该另选方法,则用指示符变量 g (对接地故障为 $g = 1$ 或对非接地故障为 $g = 0$) 可以应用如下的接地 / 非接地故障分离的规则:{ 如果 $LSx > LSxy$ 则 $g = 1$ 以及如果 $LSx = LSxy$ 则 $g = 0$ }。

[0158] 下标 x 和 y 分别表示故障相位和非故障相位,且它们并不相同。在很多情况下,对于 $g = 0$ 情况下的示例,质量检查必须提供某种容限,以在数据收集的采样或数字化中容纳信号中的噪声和固有近似值。通过引入诸如 $errLS$ 的容限变量,可以将接地 / 非接地故障分离规则重写为:如果 $\{LSx > (errLS*LSxy)\}$ 则 $g = 1$ 以及如果 $\{(LSxy*errLS) < LSx < (errLS*LSxy)\}$ 则 $g = 0$ 。 $errLS$ 的一个示例值为 1.1,其提供了 10% 的容限。

[0159] 在步骤 1315,求净故障电流的一阶导数。在步骤 1316,确定源电感和定了范围的源电感。在之前对作为从非接地故障中分离接地故障的工具的源电感的讨论中,假设已经获取了其数值。然而,是通过任何适当的数据管理过程来获取源电感的数值。确定源电感的数值不仅对分离是必要的,而且对此后描述的下一个主题,识别用于故障分类的故障相,也是必要的。正如本文其他部分中讨论的,例如用 $LSb = -VbF/dIbF$ 来计算 B 相的源阻抗。如果 B 相是故障相,则 LSb 在故障持续期间具有一致的取值。另一方面,由于近零净故障电压和非故障相中净故障电流的一阶导数,非故障相的 LSa 或 LSc 处于不确定状态。

[0160] 然而,如图 17 所示 (LSb (故障相位) 和 LSa (非故障相位) 的情况),由于所施加的电流的周期性质以及净故障电压和电流的周期性质,甚至故障相位源电感 LSb 在故障持续时间之内也不能保持恒定值。因此,一旦净故障电流的一阶导数(该情况下为 $dIbF$) 为零或接近零,则 LSb 呈现极值。排除极值,对源电感的数值仅考虑极值之间的一致值。这是

使用定范围实践有利的地方。由于源电感通常可用（作为变电站变换器等效电感），可以遵循变换器等效电感设置有效 LS 的范围。采用表示给定变电站的有效源电感值的段范围值 bandLS，可以在每个采样点通过将高于 bandLS 的 LS 值转换为用于 rLS 的 bandLS，以及将低于 bandLS 的 LS 值转换为 -bandLS 而从 LS 获取定了范围的值 rLS，同时把 LS 之间的值保持为 rLS 的值。bandLS 的示例值为 2.0。

[0161] 在步骤 1316 和 1318，针对故障分类而通过定了范围的源电感确定故障相。如之前讨论的，在正常（非故障）情况下，没有电压和电流的变化，因此这两种变化率生成非一致的并通常为随机的值。再次参考图 17，可以看出故障相的源电感比非故障相的源电感一致得多。因此，可以通过分析所有三个相的源电感的形状，通过选择其源电感值一致（作为示例测量来说这意味着低方差）并沿实际源电感范围内的线停留（作为示例测量来说，意味着其均值接近实际源电感）的相来确定故障相。因此，作为示例，可以通过故障开始后在采样空间期间使用每个相的源电感方差和平均值，来建立故障相确定规则。针对关于相 p 的定了范围源电感 rLSp 的统计测量（均值 avgrLSp 和方差 varrLSp）的采样空间长度可以是定了范围的源电感的 1/4 个周期、1/2 个周期或 1 个周期。因此，变量 p 作为表示故障相的变量（如果 p 是故障相则 p = 1，以及如果不是则 p = 0），于是 p = 1 的情况可以写为：[varrLSp < thrvarrLS] & {minLS < avgrLSp < maxLS}，其中符号 & 表示逻辑 AND 运算。变量 thrvarrLS 是为 varrLSp 设置的阈值，用于测量 rLSp 的一致性。范围极值 minLS 和 maxLS，分别表示给定变电站的实际源电感的最低和最高值。thrvarrLS、minLS 以及 maxLS 的示例值分别为 0.5、0.3 和 2.0。通过对所有三相应用逻辑规则，生成故障相指示或 a、b 和 c，a、b 和 c 对于故障相为逻辑值 1，对非故障相为 0。三个指示符的组合，例如 (a = 1, b = 0, c = 0)，表示 A 相故障，而另一个组合，例如 (a = 1, b = 1, c = 0)，表示 AB 相故障。

[0162] 即使当实际源电感未知或不可用时，由于源电感的一致性是故障的主要指示符，因而在故障相确定中可以仅应用方差测量，而不用平均值测量。此外，在方差 varrLS 的置换中，可以应用定了范围的源电感的标准差 stdrLS 以及标准差的阈值 thrstdrLS，这是由于这两种统计测量都表示接近或远离样本均值的程度。样本越均匀表示越接近零方差或标准差。thrstdrLS 的示例值为 0.5。

[0163] 在步骤 1322，进行故障分类。通过识别故障相并认出故障是接地的还是非接地的而获取故障分类。在一个示例中，可以通过结合基于残余电流的（或基于源电感的）接地 / 非接地故障分离以及通过源电感的一致性测量的故障相位确定来建立故障分类规则。四个指示符（来自接地 / 非接地故障分离的 g，以及来自故障相识别的 a、b 和 c）和其等形式是此处描述的示例性故障分类规则的主要参数。可以通过结合四个参数来实现故障分类的计算简化和结构化算法，每个参数以 a、b、c 和 g 的顺序占用一个 4 位二进制数的数位位置。

[0164] 每个参数的数位位置可以以任何选定的顺序变化。现在四位二进制数可以表示所有可能的故障，从 0000（正常）到 1111（3 相到地故障）。例如二进制数 0101 表示 B 相到地故障。即使故障类别的二进制数标识在分类上方便并简单，但分类的输出并不必须是二进制数的形式；其可以在任何数字系统中。二进制值的十进制等值将是故障分类输出的更常用形式。例如，在故障分类算法中二进制数 1110 为 ABC 故障，其十进制等值 14 可以是从用于为用户显示故障类别或用于向本文描述的故障距离计算公式模块提供故障类别的算法

的实际输出。

[0165] 在故障分类中的 16 种情况中,有四个可能的数字不能和实际故障情况相关连: 0001(十进制等值为 1) 作为无相位到地故障,一组 1000(十进制等值为 8)、0100(十进制等值为 4)、0010(十进制等值为 2) 分别为 a, b 或 c 相故障,而不涉及地。如果不用于故障分类或故障距离计算,这四种类别也可用于其他有用目的。例如,十进制数 1 可以解释为触地的塌丝 (sagging wire) 或接地物,第二组十进制数 2、4 和 8 可以解释为具有甚高故障阻抗、可能有高阻抗故障的单相故障。然而,这四种情况的准确理解必须鉴于经验和特定网络情况经仔细和适当的分析而使用。

[0166] 在步骤 1324,进行故障距离公式的选择性应用。在已经做出故障分类之后,选择、执行故障类别的特定故障距离公式,将生成故障距离 LF 的结果。

[0167] 在步骤 1326,进行用于故障距离输出的定范围 (rLF 生成)。参考图 18,由于所应用的电压的周期性质以及由此的净故障电压和电流以及其一阶和二阶导数、由于故障距离公式的分母为零或接近零的值生成的极值,故障距离输出 LF (“到故障电感”) 和源电感 LS 一样,在针对故障相的故障持续期间表示出一致值然而不可变。

[0168] 在图 18 中可见,从故障开始时间 tF 直到故障征兆结束的时间,故障相的源电感具有一致值。垂直轴表示电感值,水平轴表示时间。值 tF 是故障开始的时间。LS 是源电感 (以亨利 (H) 为单位),LF 是计算的故障电感 (以亨利 (H) 为单位,并表示到故障的距离)。如本文所说明的,本文的方法可以利用来自电缆或电线的到电感距离图表的信息来确定到故障的距离。

[0169] 对具有伪极值的 LF,如在源电感调节中,其还须被调节以排除伪值以及另外平滑噪声值。正的 LF 值是调节的主体。例如,可以通过和对源电感定范围同样的方式但通过略有不同的定范围的方法来消除极值。设置范围值 bandLF 来指示对给定变电站和其电路而言到故障值的距离段,可以在每个采样点通过针对 rLF 将高于 bandLF 的 LF 值转换为 0(零) 并将低于 -bandLF 的 LF 值转换为 0(零),同时将 LF 之间的值保持为 rLF 的值,而从 LF 获得定了范围的值 rLF。bandLF 的示例值为 15,其可以由来自变电站总线的电路长度准确的确定。

[0170] 在步骤 1328,对定了范围的故障距离进行平滑 (sLF 生成)。计算 LF 涉及获取净故障值的二阶导数,因此 LF 输出更易产生信号噪声和数字化误差以及数值微分。因此 LF 的一致性和源电感相比更不突出。

[0171] 在连续或稳定的持续时间查找 LF 需要用平滑过程对 rLF 值进行附加调节。对于平滑,可以使用许多不同的有效方法。如果 rLF 值位于相对恒定宽度的段时,关于基于高斯核对本地加权平均值的计算的平滑是有用的。另一方面,如果 rLF 沿着宽度大幅波动的段而分散,则自适应平滑器可能更为合适,其使用对称最近邻居线性最小二乘拟合过程。另选的,计算残差 (residual) 并平滑 rLF 残差的中值平滑器被已知是最健壮的,由于其最不可能受噪声 rLF 值的伪值影响。可以通过设置比 LF 的采样长度小的平滑窗口长度来实现中值平滑器。例如,对 rLF 的 1/2 周期的采样长度 (例如对信号的 128 个样本 / 周期采样为 64 个样本的情况),可以设置 1116 周期的平滑窗口 (亦即,在 128 样本 / 周期的上述采样方法中为 8 个样本) 来在每个采样点平滑 rLF 值,以生成 sLF 样本的平滑的故障距离。

[0172] 在步骤 1330,对平滑的故障距离值进行平均 (fLF 生成)。如本文别处所述,一旦

故障距离等式的分母为零或接近零，在故障距离中存在极值，亦即在两个极值之间存在稳定的和一致的值。如果故障仅有一个稳定的和一致的故障距离值，则该距离可以生成成为最终的故障距离 (fLF)。然而，在故障持续多于半个周期的情况下，如果 (sLF 计算的) 选定的采样窗口足够长以能够容纳两个或多个稳定的和一致的值段，则通常有该两个或多个稳定的和一致的值段。例如，如图 18 中可见，存在多个稳定的 LF 曲线 1802、1804、1806 和 1808。

[0173] 在这个情况下，有多个可选项来生成最终故障距离。第一选项是挑出第一稳定分段，例如图 18 中的曲线 1802，无论在故障距离计算的采样窗口中存在多少个这样的稳定 / 一致值分段。该位置基于这一观念，即故障的正好开始和故障情况下电路的正好第一特性都包含在第一分段中。当只有两个分段时该位置也是可用的。第二选项是使用采样窗口中故障距离的所有稳定 / 一致值的平均，这是基于这一观念，即该组合值能更接近电路的本应稳态的故障后状态。当有三个或更多个稳定 / 一致值分段时，采用第三个选项，第三选项采用第一和第二选项之间的折中位置：在所有可能的配对中挑出一对最小差异分段值并得到这一对的平均值。例如，可以通过第三选项从 sLF 生成最终故障距离 fLF。

[0174] 在步骤 1332，向用户呈现故障距离和类型。可以利用最终故障距离的输出和故障分类，用于快速的故障定位和恢复调度。此外，由于子循环扰动的暂时和断续的故障性质以及定位这种非永久性故障的能力，本方法还有助于在暂时事件引起永久性故障之前预防性地维持线路和电缆。该能力使得能在瞬态 / 暂时故障发展为永久性故障 / 中断之前很早的定位瞬态 / 暂时故障。在绝缘击穿的城市地下电缆中或在具有浓密的灌木丛的农村林区中的并易受大风影响的零星电弧放电的高架线中的断续 / 暂时故障的定位，能消除造成电力网络中断的大部分根源。

[0175] 可以用各种方式应用本文描述的方法，用于子循环故障定位的标准目的和诸如电力线状况监控、地下电缆绝缘监控，以及电力线通道中的植被控制和管理灯的其他相关目标。本文描述的方法还通过永久性和瞬态故障的快速和准确定位的手段，有效地给用户提供了对中断的不太频繁和更短的响应时间，以及改进的可靠性，以及提供了有效控制中断根源的后续好处。

[0176] 本文描述的子循环故障定位方法可以在具有任何类型的计算机代码或实现这些算法的编码方案的任何计算机平台（例如具有相关电路的微处理器）上安装和实现。该计算机平台可以用计算机平台能使用和处理的任何介质、格式和 / 或形式接收变电站事件监控数据。

[0177] 无需使用任何其他的在用户周边可用或运行的故障 / 中断控制或管理工具或从任何其他的在用户周边可用或运行的故障 / 中断控制或管理工具中接收帮助，就可以将确定的故障距离和故障类别输出应用为子循环故障定位的独立 (stand-alone) 系统。在该独立应用中，子循环故障定位系统以多于一种的可读或可识别的下列格式生成这两个输出：通告，光，文本等。

[0178] 进一步的，本文描述的关于确定故障距离和故障分类的方法可以与在每个重要节点生成电路的电感和物理位置的表的电路分析 / 建模系统结合地使用。另选地，如果可用而不和电路分析 / 建模系统互联，子循环故障定位系统可以与这样的电感 - 位置表格协作。优选的，对于快速子循环故障定位，可以更有效的使用将电路阻抗和每个极点、人孔、手孔或电路的任何重要点相关的电路表。用提供的故障类别和故障距离（表示为电感），该表格

将快速匹配在极点、人孔、手孔或重要点处或邻近处的故障位置。

[0179] 更优选的,子循环故障定位系统可以用作中断管理系统的关健故障定位器和预测器,为了快速故障定位和快速恢复以及预防性维护的目的,中断管理系统可以用通过地理信息系统和灵活的信息基础设施的远程计量和远程监控来访问和控制整个电力网络。子循环故障位置提供的故障距离可以用作永久性故障的唯一信息或其他确认信息,并可以用作其他未上报但必定间歇的故障的、对中断管理系统必要的信息。关于永久性故障的信息会增强修复活动,并且关于间歇故障的信息会改进基于状况的、对电缆和电线以及其他相关设备或树木 / 植被控制的维护。

[0180] 上述申请,独立或组合,能通过提供用于显示和传达故障距离结果和故障类别的所有介质来实现。子循环故障定位系统的两个输出的数据格式可以是任何与驻留有表格(或表格生成)且进行表格匹配和 / 或地理地显示匹配结果的系统兼容并与中断管理系统兼容的格式。

[0181] 在另外的示例中,故障定向(或指示)和定位可以从同一线路或同一总线的不同线路上的测量点得到。在变电站,通常许多线路(或馈线)连接到渡线(junction line)(即总线)。由源为总线提供服务。因此,由同一个源供应总线中所有的线路。故障定向在不同情况下的含义可以是不同的,或基于其在电力系统保护和控制中的使用。

[0182] 具有多个总线的变电站中故障定向的一个目的是识别故障是在测量点所位于的同一个总线线路上还是不同的总线线路上,在该测量点执行故障定位和故障定向。这种故障定向的情况可以称作故障的“总线区分”。在单总线多线路配置中,故障定向(或指示)可以意在区分在测量点所位于的同一线路上的故障,故障定位和故障定向从故障不同的线路指导,故障不同的线路都是用同一总线供应的。故障定向的这种情况在本文称作“同一总线故障的线路区分”。

[0183] 另一方面,当重点在同一线上时,故障定向(或指示)可以意在查找故障是在相对于指导故障定位和故障定向的测量点位置并由该测量点位置分开的源侧,还是在负载(线路末端)侧。前者称作“上游故障”且后者称作“下游故障”。本方法可以针对故障(例如间歇的或永久的)提供同一线路的上游 / 下游区分。

[0184] 现在描述在上述三个典型情况下的故障定向和故障定位。这些情况包括:同一线路故障的上游 / 下游区分和定位;同一总线故障的线路区分和定位;以及总线区分和故障定位。

[0185] 通过在线路上的位置测量电压和电流,能够得到故障的两个方位,下游或上游,并能够查找出从测量点到故障的距离。相对于测量点的下游故障表示在比测量点距电源更远的位置发生的故障。另一方面,上游故障是在比测量设备更接近源的位置发生的故障。在说明书上述讨论的其中测量设备位于变电站的情况下,所有的故障都是下游故障。在那些下游故障中,用公式 $LSa = -[VaF/dIaF]$ 针对 A 相到地故障情况计算源电感。由于 LSa 不能为负值,项 $[VaF/dIaF]$ 必须为具有幅值 LSa 的负数。因此,下游故障可以用项 $[VaF/dIaF]$ 的负极性来表示。

[0186] 如下的描述进一步扩展了项 $[VaF/dIaF]$ 的极性,以指示同一线路中的故障方位并就来自设置在线路上的位置的测量点的线电感而言对故障进行定位。在如下的示例中,假设测量点 M 位于远离变电站的位置且在变电站和测量点之间的位置 x 发生上游故障,且

在另一时刻在测量点和线路末端之间的 y 处发生下游故障,如图 19 所示。为了简化,考虑单相等效(或 A 相)电路,而忽略了线路电阻和负载。

[0187] 对于上游故障,可以用如下变量组成等效电路:Lu1,从故障位置到变电站(A)的线电感;Lu2,在故障位置和测量点之间的线电感;Ld,从测量点到线路末端的线电感;以及 CE,在线路和地之间的电容,其在线路末端集总。应用叠加和信号注入方法,在图 20 中示出等效电路。

[0188] 当 CE 较小且只有微量的故障电流流过 Ld 时,由于主故障电流流过源阻抗和 Lu1 的环路(其在现实中通常是这样的情况),所以在测量点处的电压方程可以确定为: $V_{aF} = Ld * dIaF$ 。

[0189] 然后 $V_{aF}/dIaF = Ld$ 。由于电感 Ld 为正, $[V_{aF}/dIaF]$ 的极性也是正的。在这一条件和假设下,也可以确定故障距离。

[0190] 由于 $V_{ax}(0) = -(Lu2+Ld)*dIaF$,且 $Ld = V_{aF}/dIaF$,从测量点的故障距离 Lu2 可以通过下式获得: $Lu2 = -V_{ax}(0) = -[V_{ax}(0)-V_{aF}]/dIaF$ 。

[0191] 从该公式中, $V_{ax}(0)$ 可以等于 $V_{aMN}(tF)$,在故障开始时间 tF 在 M 处的标称电压。

[0192] 对 y 处的下游故障,可以用如下的变量组成等效电路:Lu,从测量点到变电站(A)的线电感;Ld1,在故障位置和测量点之间的线电感;以及 Ld2,从故障位置到线路末端的线电感。应用叠加和信号注入方法,在图 21 中示出了等效电路。

[0193] 电压方程和测量点是 $V_{aF} = -(Ls+Lu)*dIaf$,生成 $V_{aF}/dIaf = -(Ls+Lu)$ 。

[0194] 因此, $[V_{aF}/dIaf]$ 的极性是负的。从 $V_{ay}(0) = (Ls+Lu+Ld)*dIaf$ 和 $V_{aF}/dIaf = -(Ls+Lu)$ 推导出故障距离。因此,从测量点的故障距离 Ld1 通过下式来获得:

[0195] $Ld1 = [V_{ay}(0)+V_{aF}]/dIaf$ 。

[0196] 从公式中, $V_{ay}(0)$ 可以等于 $V_{aMN}(tF)$,在故障开始时间 tF 在 M 处的标称电压。

[0197] 对上游故障,从线路上的测量点获取的 $[V_{aF}/dIaf]$ 的极性为正,且由 $Lu2 = -[V_{ax}(0)-V_{aF}]/dIaf$ 给出距测量点的故障距离。

[0198] 对下游故障,从线路上的测量点获取的 $[V_{aF}/dIaf]$ 的极性为负,且由 $Ld1 = [V_{ax}(0)+V_{aF}]/dIaf$ 给出距测量点的故障距离。

[0199] 假设总线具有两条线路,故障定向意味着区分故障是在测量点所位于的同一线路上还是总线的不同线路上。为了简化,考虑如图 22 所示的单总线 2 线路配置的单相等效(或 A 相)电路,而忽略线路电阻和负载。

[0200] 即使等效电路具有两个测量点,M1 和 M2,然而对于故障区分和定位的描述仅使用一个测量点(在此为 M1),因为一个测量点就足以实现预想的目的。然后,x 处的故障是相同线路的故障,且在 y 处的故障是不同线路的故障。

[0201] 对 x 处的相同线路的故障,可以用如下变量组成等效电路:Ls,源阻抗;L11,测量点和故障位置 x 之间的线电感;以及 L12,在故障位置和线路 1 末端之间的电感。应用叠加和信号注入方法,可以获得如图 23 中所示的等效电路。其可以简化为图 24 所示的电路。

[0202] 测量点 M1 处的电压方程为: $V_{aF} = -Ls * dIaf$ 。因此, $V_{aF}/dIaf = -Ls$ 。因此 $[V_{aF}/dIaf]$ 的极性是负的。用电感 L11 表示从公式 $V_{ax}(0) = (Ls+L11)*dIaf$ 获得的故障位置,表示为 $L11 = [V_{ax}(0)+V_{aF}]/dIaf$ 。

[0203] 对从线路 1 上的 M1 来看的在线路 2 上的 y 处的不同线路的故障,可以用如下变量

以类似的形式形成等效电路 :L21 作为变电站和故障位置 y 之间的电感, L22 作为故障位置 y 和线路 2 末端之间的电感, 以及 C1 作为线路 1 到地之间的电容, 其在线路 1 末端集总。应用叠加和信号注入方法, 可以获得如图 25 所示的等效电路。该电路可以简化为如图 26 所示。

[0204] 忽略在故障刚开始之后 C1 两端的电压, 在 M1 处的电压方程计算为 : $V_{aF} = L_1 * dI_{aF}$ 。因此, $[V_{aF}/dI_{aF}]$ 的极性为正且幅值为 L_1 , 线路 1 的总线电感。关于电感 L_{21} 的距变电站的故障距离可以根据如下的方程确定 :

[0205] $V_{aF} = L_s * dI_{sF} = L_1 * dI_{aF} = L_{21} * dI_{2F} - V_{ay}(0)$, $dI_{sF} = V_{aF}/L_s$, $dI_{aF} = V_{aF}/L_1$, 以及 $I_{2F} = -(I_{sF} + I_{aF})$ 。

[0206] 根据所述公式, 如图 26 所示, I_{sF} 是 L_s 处的净故障电流, I_{2F} 是 L_{21} 处的净故障电流。

[0207] 对它们重组生成如下方程的故障距离 L_{21} 的公式 :

[0208] $L_{21} = -[V_{aF} + V_{ay}(0)] / [dI_{aF} + V_{aF}/L_s]$ 。

[0209] 结论性的, 在相同总线故障的线路区分和故障定位上, 相同线路的故障具有 $[V_{aF}/dI_{aF}]$ 的负极性, 其是从线路上的测量点获取的, 且距测量点的故障距离由 $L_{11} = [V_{ax}(0) + V_{af}] / dI_{aF}$ 给出。

[0210] 对不同线路故障, 从线路上的测量点获取的 $[V_{aF}/dI_{aF}]$ 的极性是正的, 且距测量点的故障距离由 $L_{21} = -[V_{aF} + V_{ay}(0)] / [dI_{aF} + V_{aF}/L_s]$ 给出。

[0211] 在另一个示例中, 将故障定向和定位指向具有多个总线的变电站。为了简化, 假设配置的是具有单线路到每个总线的双总线系统。然后, 故障指示是为了识别故障是位于和测量点相同的总线线路上还是不同总线线路上。如图 27 所示, 在 x 处的故障是相同总线线路故障, 在 y 处的故障是不同总线线路故障。假设两个电源在中点 n 处相连, 并随后通过接地电感 L_g 接至地。即使等效电路具有两个测量点 M1 和 M2, 对于描述总线区分和定位而言仅使用一个测量点 (此处为 M1), 因为一个测量点就足以实现预想的目的。

[0212] 对于 x 处的相同总线故障, 使用如下的变量形成等效电路 : L_g , 接地电感 ; L_{s1} , 总线 1 源电感 ; L_{s2} , 总线 2 源电感 ; L_{11} , 在测量点和故障位置 x 之间的线路 1 的电感 ; L_{12} , 在故障位置和总线线路 1 末端之间的线电感 ; 以及 L_2 , 健康总线线路 2 的电感。叠加和信号注入方法形成了如后面图 28 中所示的等效电路。图 28 的电路可以进一步简化为图 29 的电路。

[0213] 根据图 29 的简化等效电路, 确定如下的关系 : $V_{aF} = -(L_{s1} + L_g) * dI_{aF}$ 。因此, $[V_{aF}/dI_{aF}]$ 的极性是负的。可以从 $V_{ax}(0) = (L_g + L_{s1} + L_{11}) * dI_{aF}$ 确定距测量点的故障距离。用已知的接地电感值, 用 $L_{11} = [V_{ax}(0) + V_{af}] / dI_{aF}$ 来给出故障距离 L_{11} 。

[0214] 对于 y 处的不同总线故障, 用如下变量形成等效电路 : L_g , 接地电感 ; L_{s1} 作为总线 1 源电感 ; L_{s2} 作为总线 2 源电感 ; L_1 作为健康总线线路 1 的电感 ; L_{21} 作为测量点 M2 和故障位置 y 之间的线电感 ; L_{22} 作为故障位置 y 和总线线路 2 末端之间的线电感 ; 以及 C_1 作为总线 1 到地的电容, 在线路末端集总。叠加和信号注入方法形成图 30 的等效电路。图 30 的电路可以简化为图 31 的简化电路。

[0215] 忽略在故障刚开始之后 C1 两端的电压, 在 M1 处的电压方程计算为 : $V_{aF} = L_1 * dI_{aF}$ 。因此, 不同总线线路故障的 $[V_{aF}/dI_{aF}]$ 的极性为正。用 L_{21} 表示的到总线的故

障距离可以用如下的方程获取。

[0216] $Vay(0) = -(L1+Ls1)*dIaF + (Ls2+L21)*dI2F$, 且

[0217] $Vay(0) = -Lg*dIgF + (Ls2+L21)*dI2F$ 。

[0218] 上述两个方程的差产生 : $dIgF = -\{[L1+Ls1]/Lg\}*dIaF$ 。由于 $I2F = -(IaF+IgF)$,上述 $Vay(0)$ 的两个方程之一可以变化为 :

[0219] $Vay(0) = -(L1+Ls1+Ls2+L21)*dIaF - \{[(L1+Ls1)*(Ls2+L21)]/Lg\}*dIaF$,

[0220] 整理上述公式给出 $L21$ 为 :

[0221] $L21 = -[Vay(0)*Lg]/[LB*dIaF] - LA/LB$, 其中

[0222] $LA = Lg*(L1+Ls1+Ls2) + Ls2*L1 + Ls1*L12$ 以及 $LB = Lg + L1 + Ls1$ 。

[0223] 结论性的,对于相同总线故障,从线路上的测量点获取的 $[VaF/dIaF]$ 的极性是正的,且距测量点的故障距离由 $L11 = [Vax(0)+VaF]/dIaF$ 给定。

[0224] 对于不同总线故障,从线路上的测量点获取的 $[VaF/dIaF]$ 的极性是正的,且距测量点的故障距离用 $L21 = -[Vay(0)*Lg]/[LB*dIaF] - LA/LB$, 其中

[0225] $LA = Lg*(L1+Ls1+Ls2) + Ls2*L1 + Ls1*L12$ 且 $LB = Lg + L1 + Ls1$ 给定。

[0226] 虽然已经通过特定实施例及其应用描述了本文公开的本发明,但本领域技术人员可以对其作出大量的改变和变化而不脱离本发明的范围。

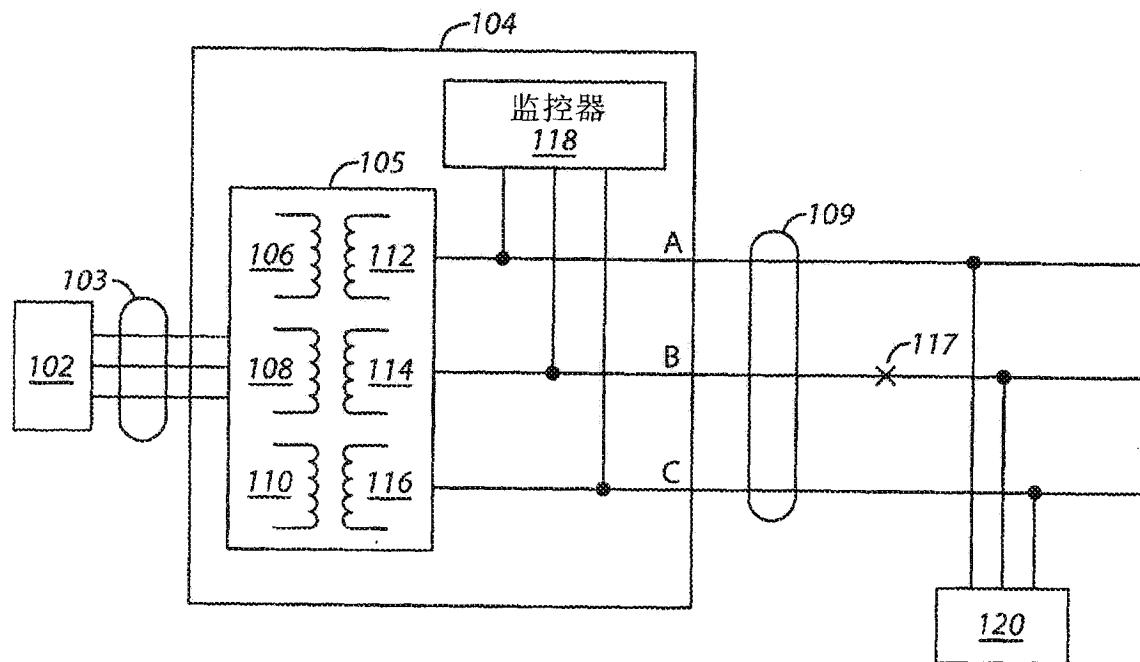


图 1

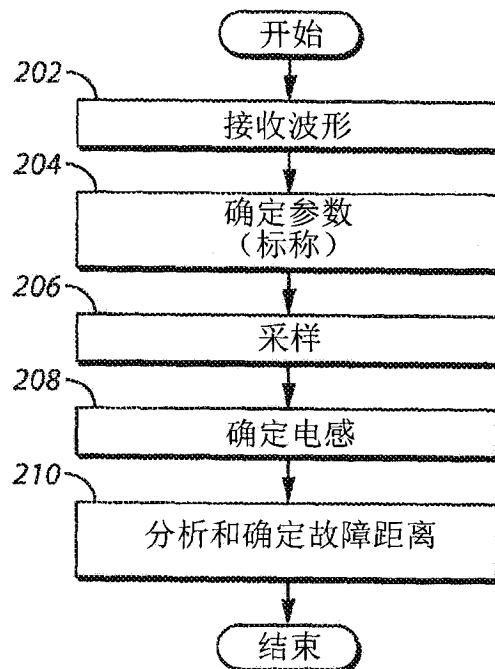


图 2

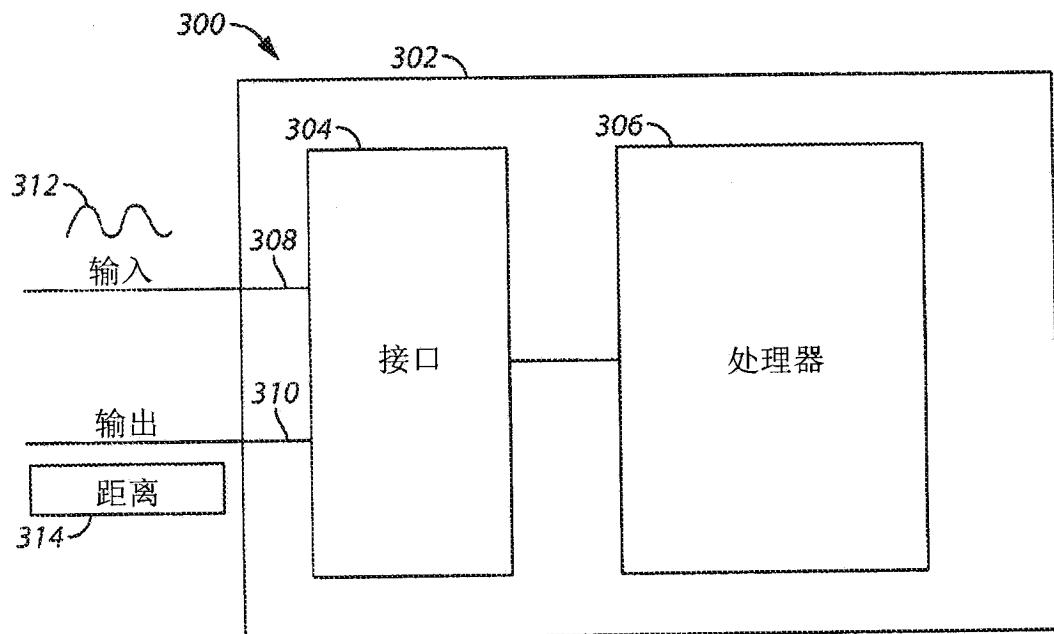


图 3

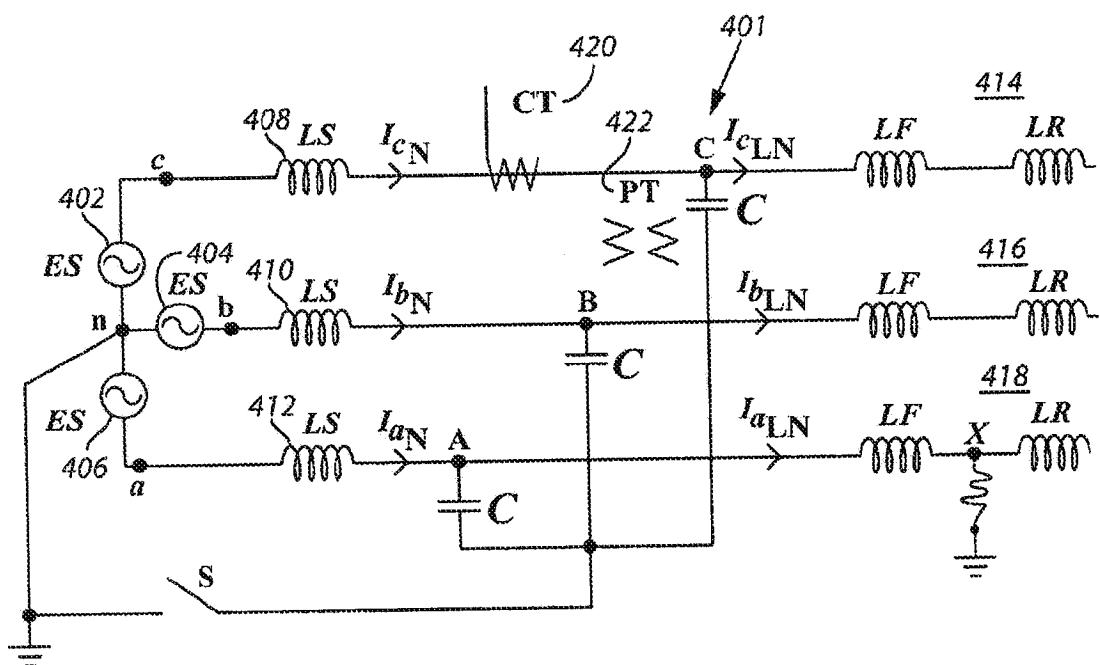


图 4

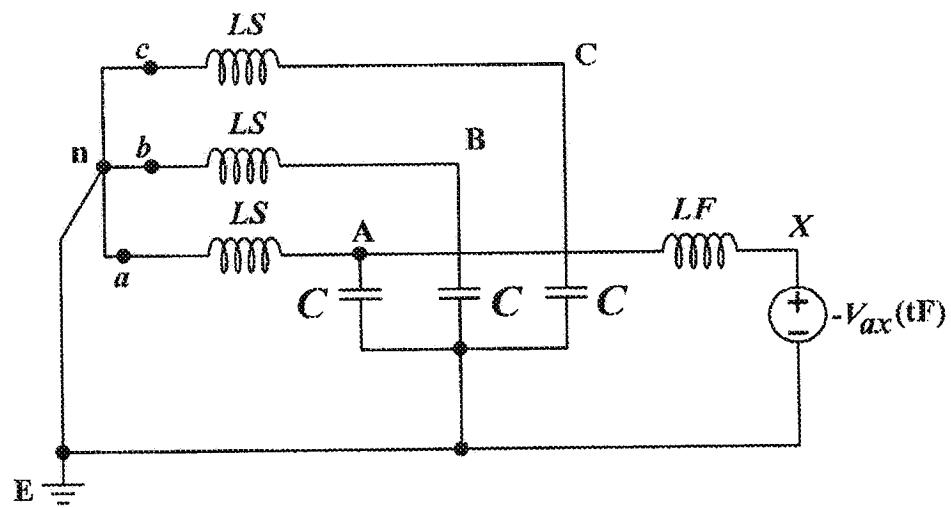


图 5A

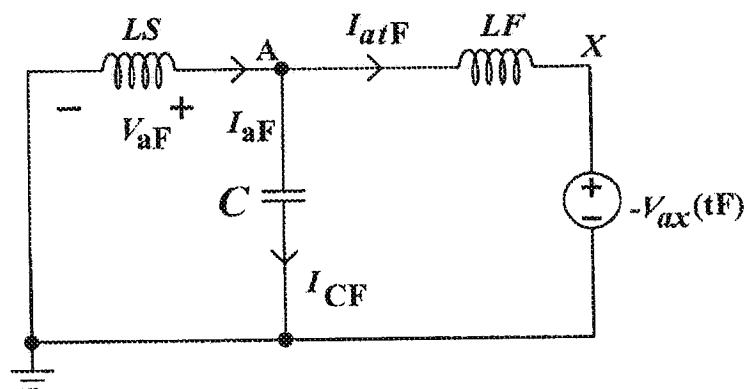


图 5B

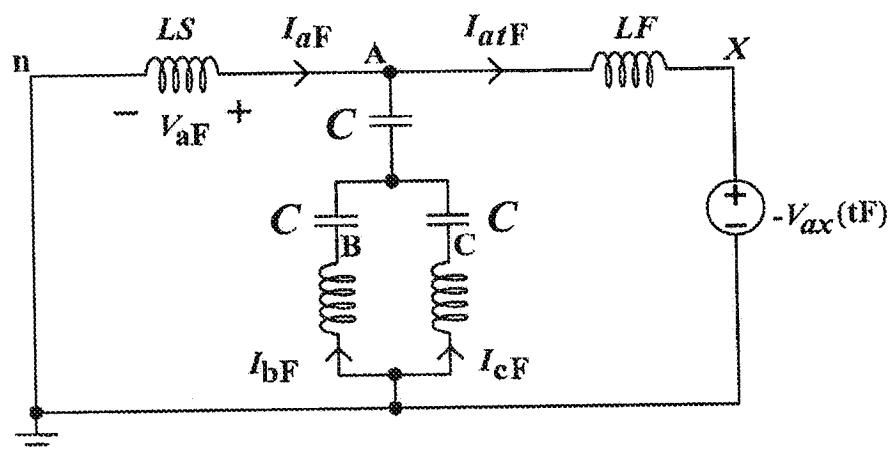


图 6

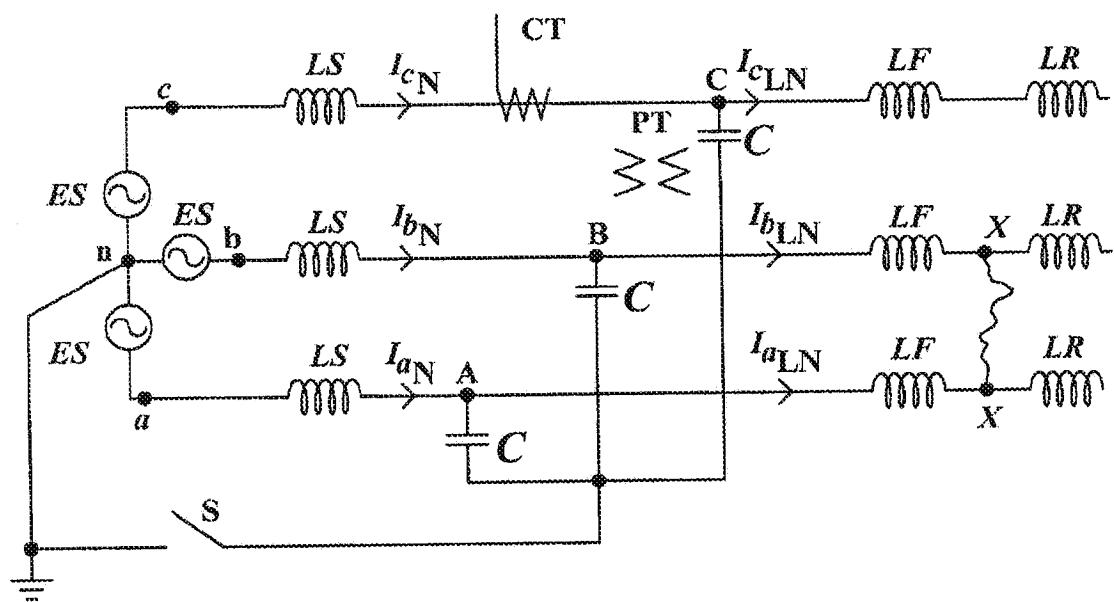


图 7

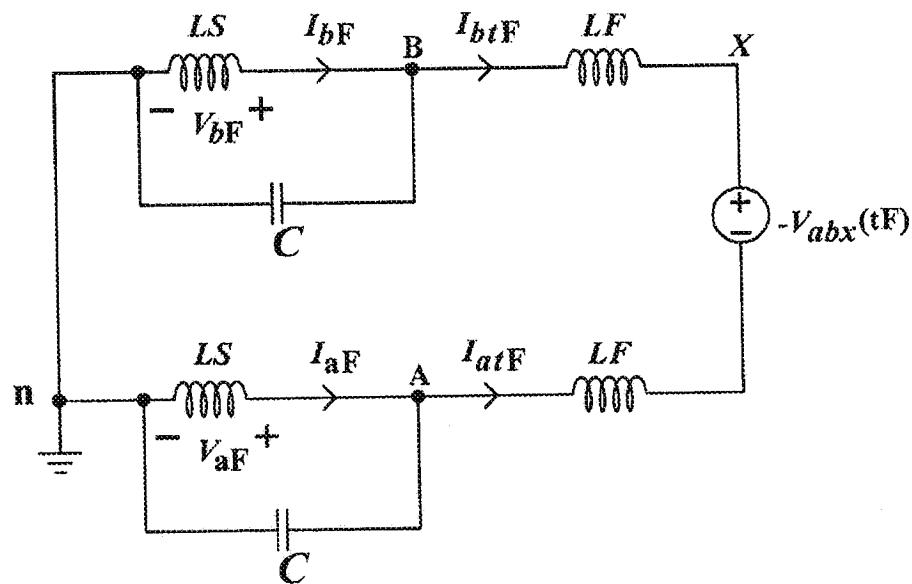


图 8

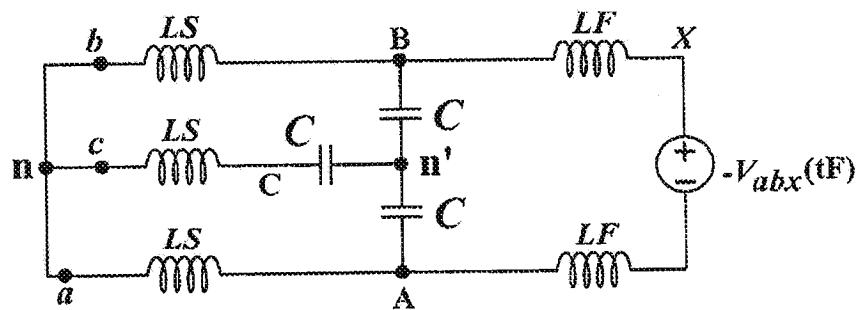


图 9A

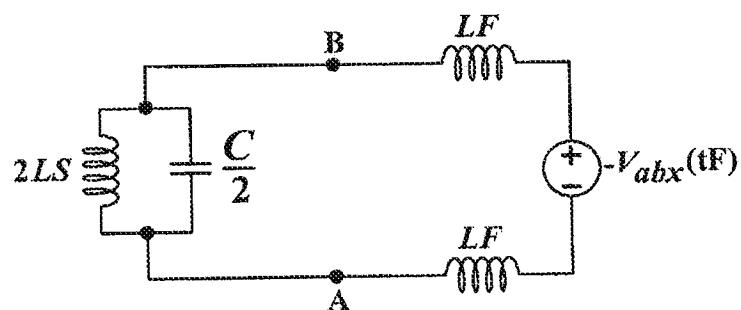


图 9B

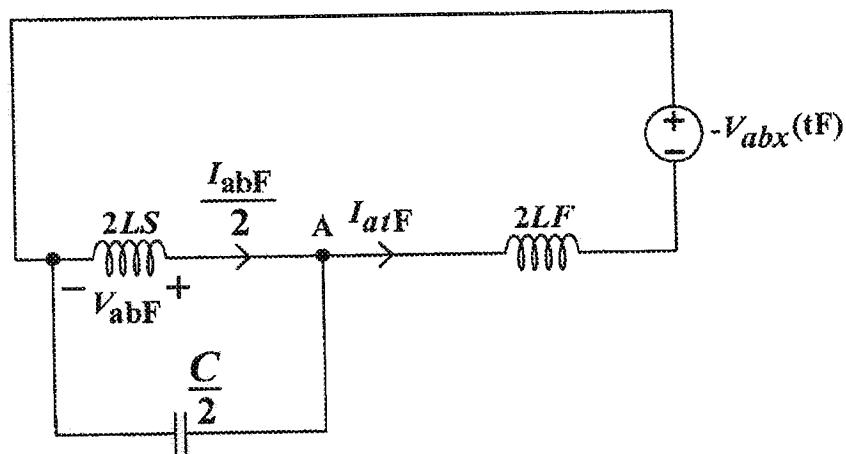


图 9C

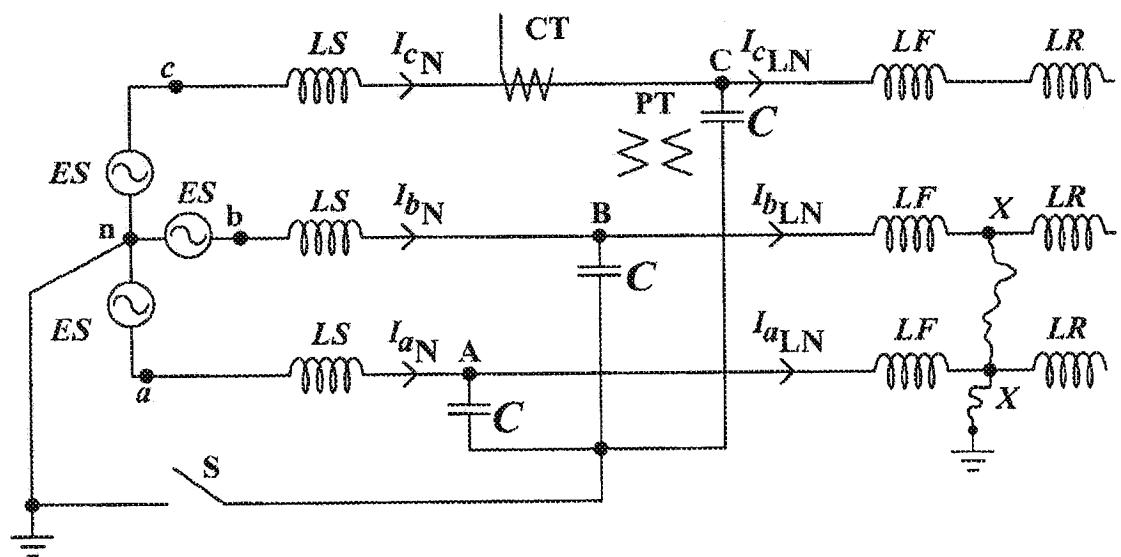


图 10

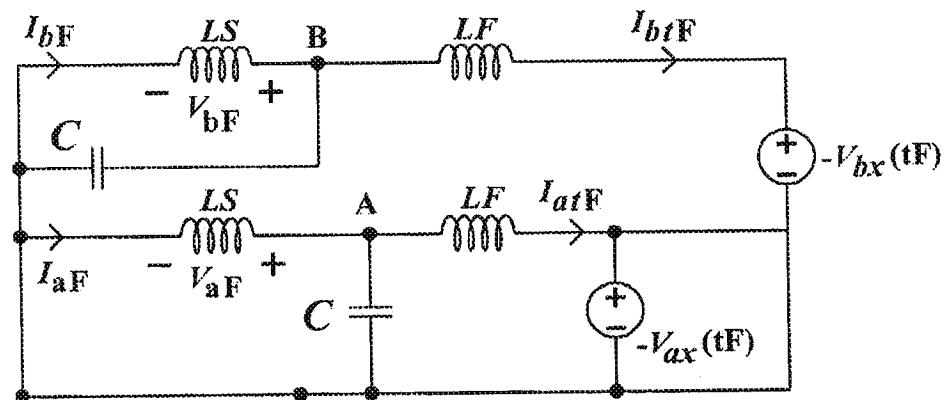


图 11

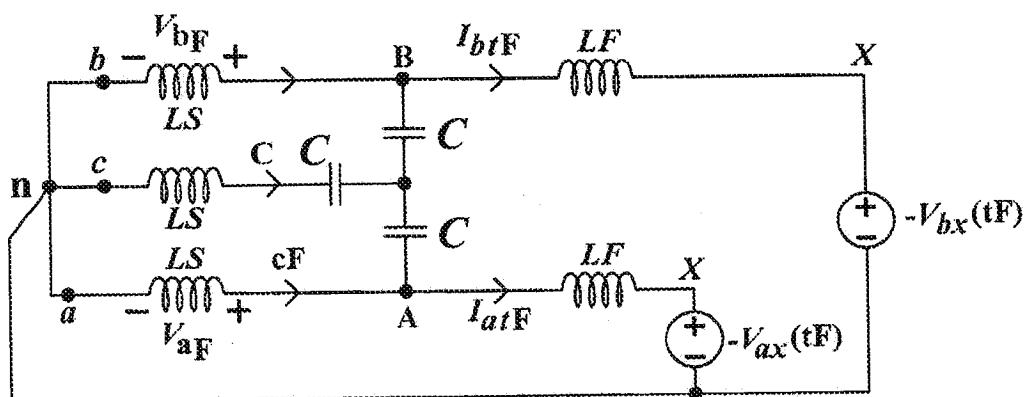


图 12

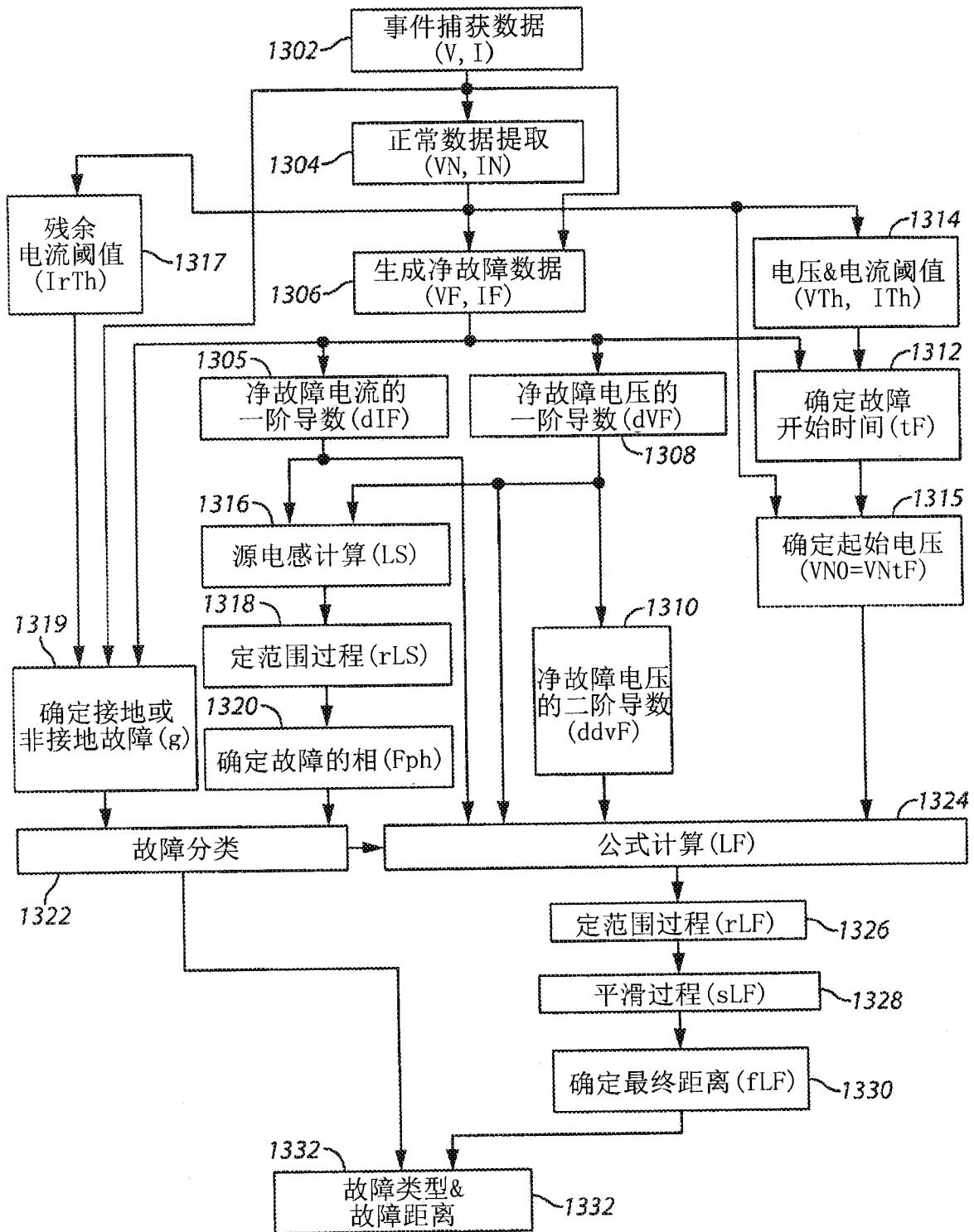
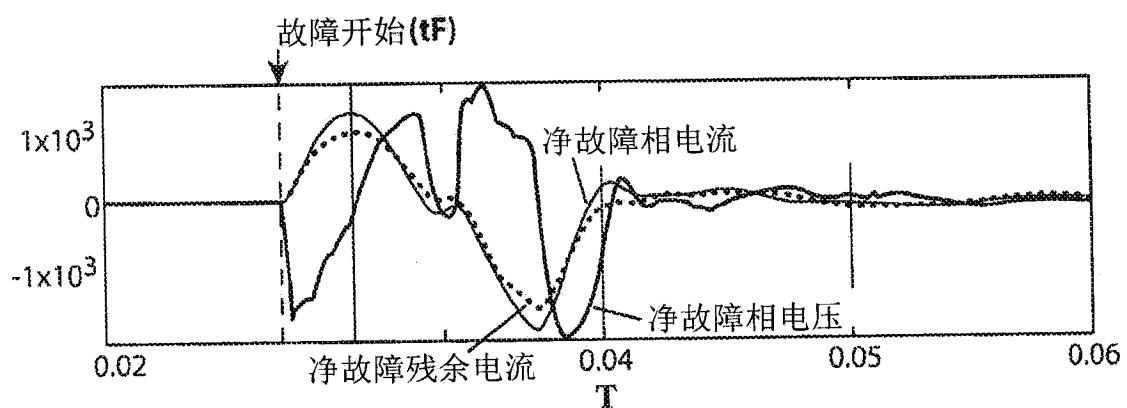
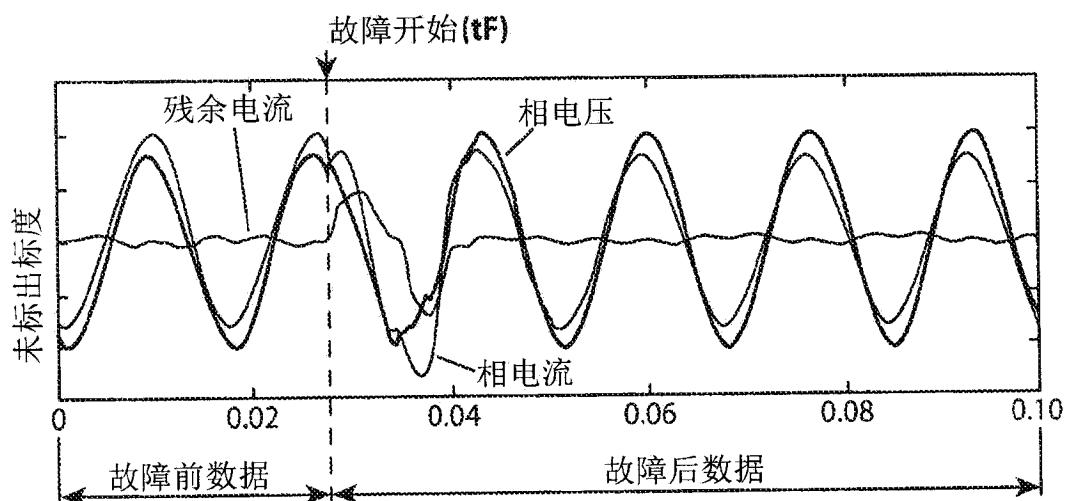


图 13



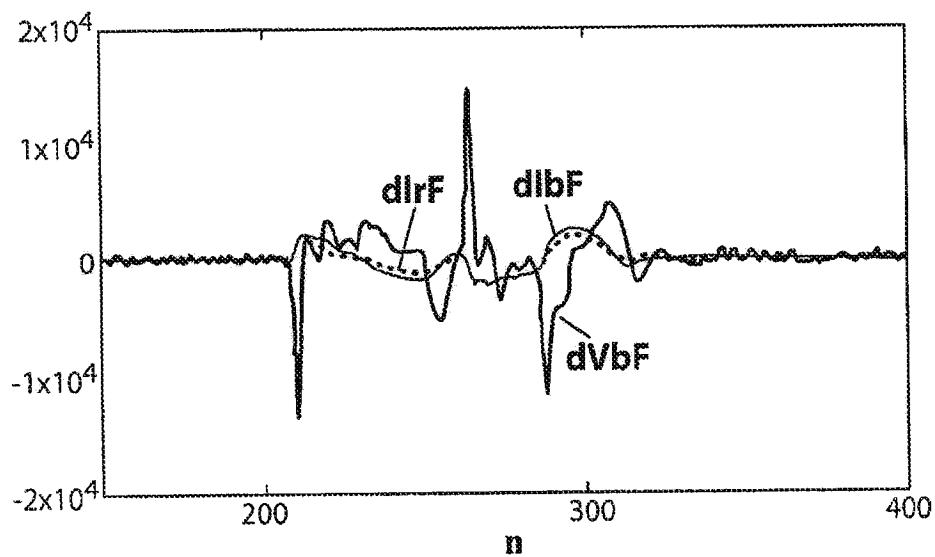


图 16

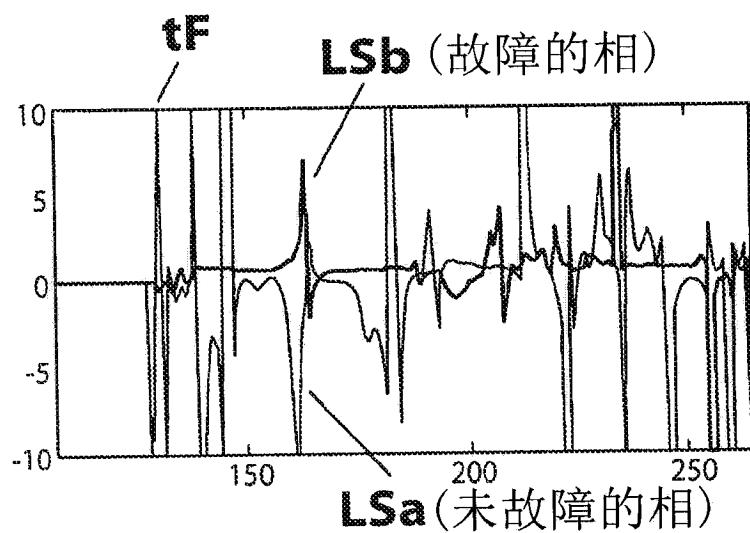


图 17

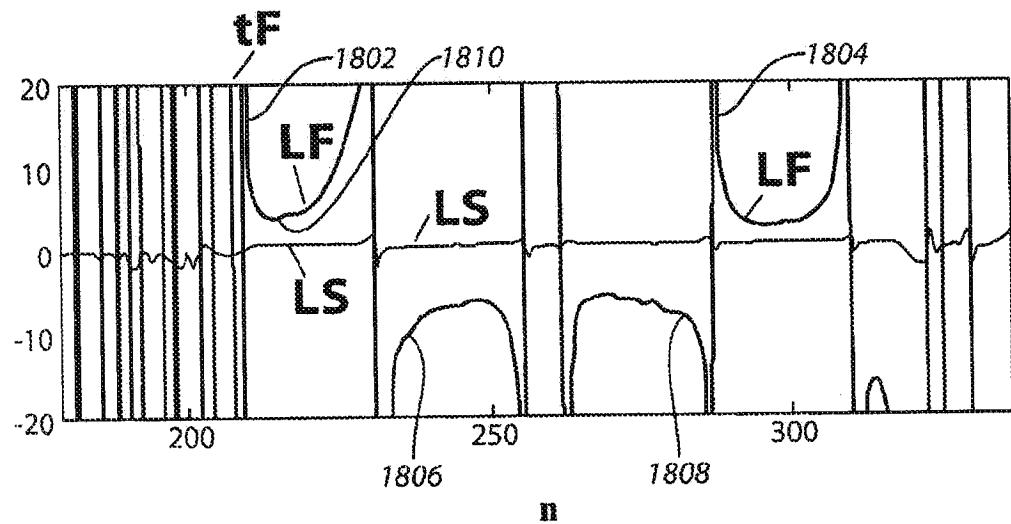


图 18

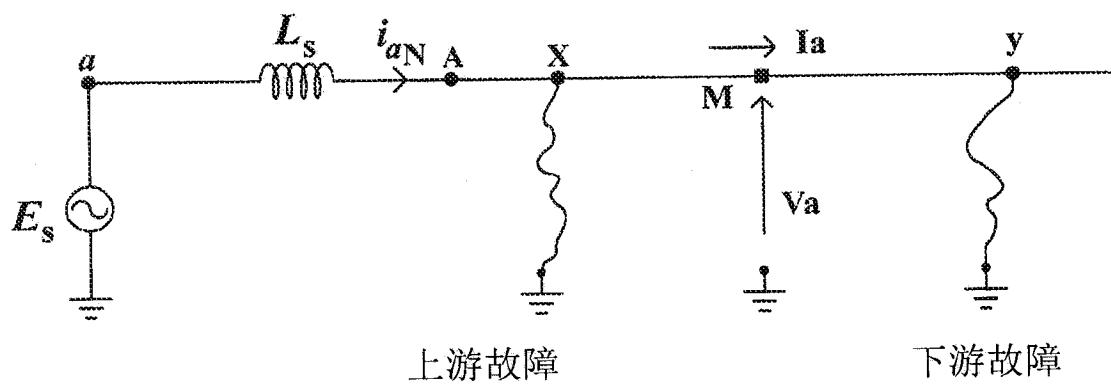


图 19

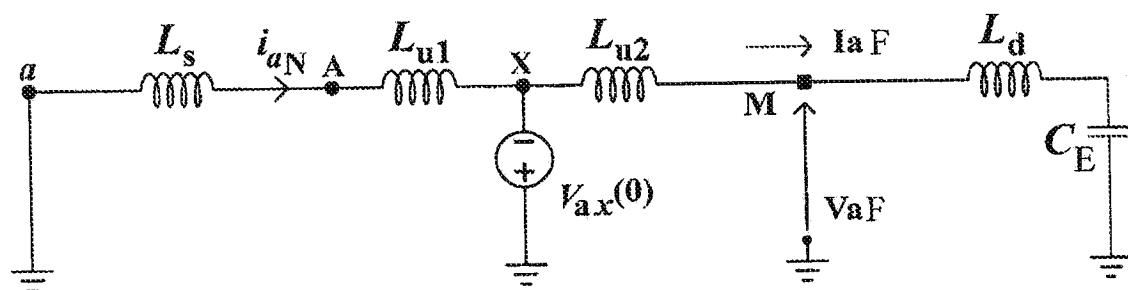


图 20

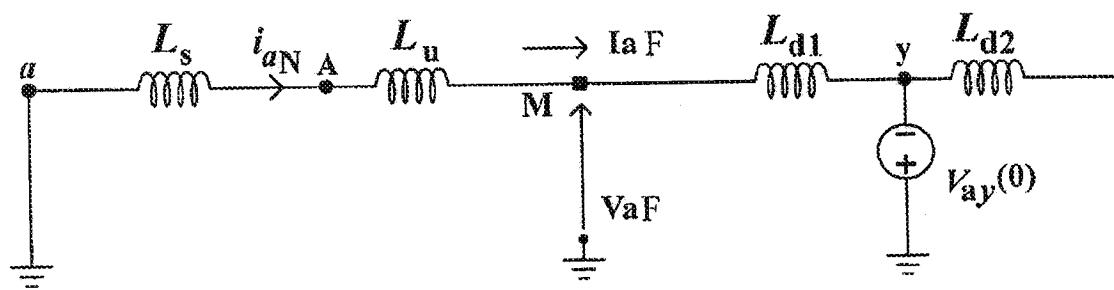


图 21

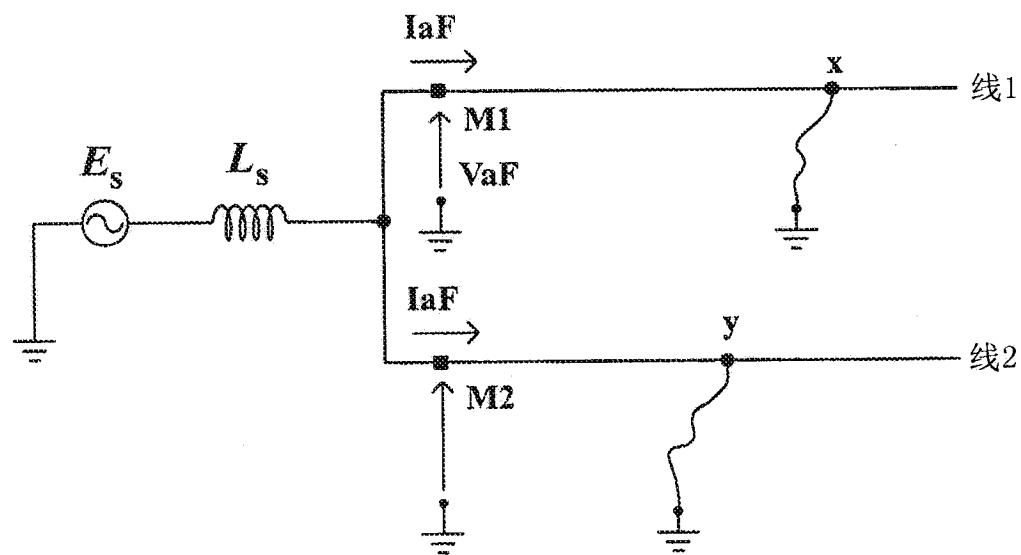


图 22

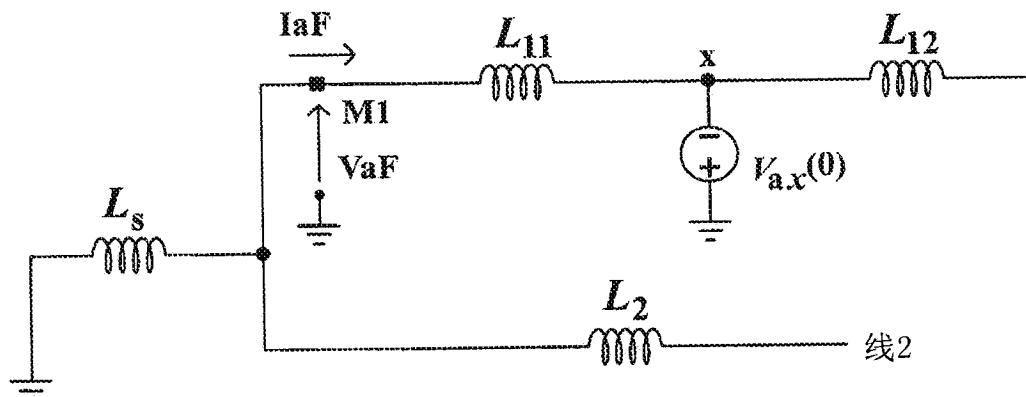


图 23

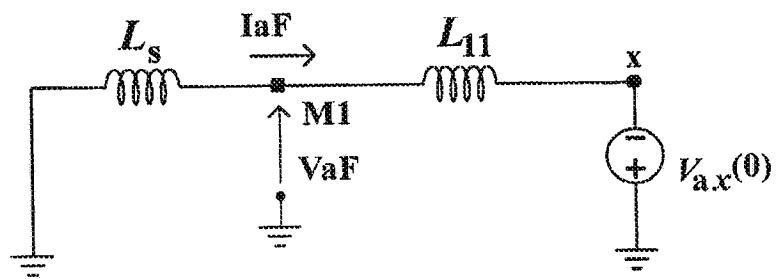


图 24

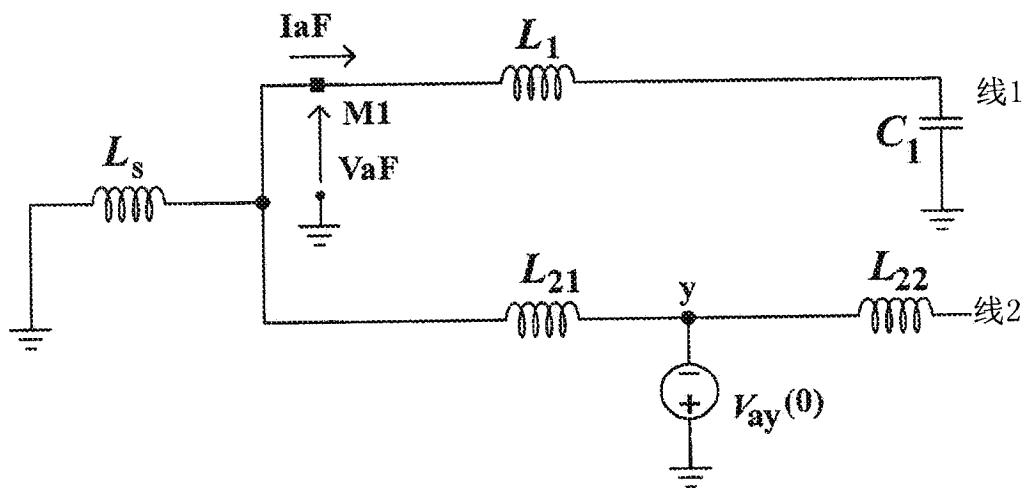


图 25

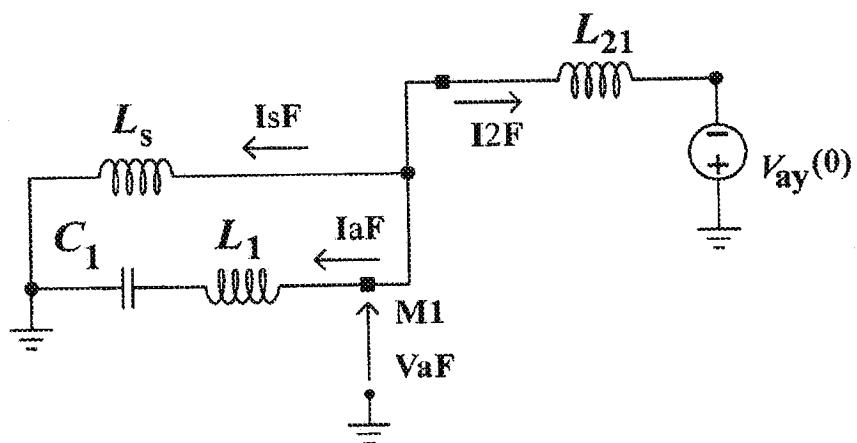


图 26

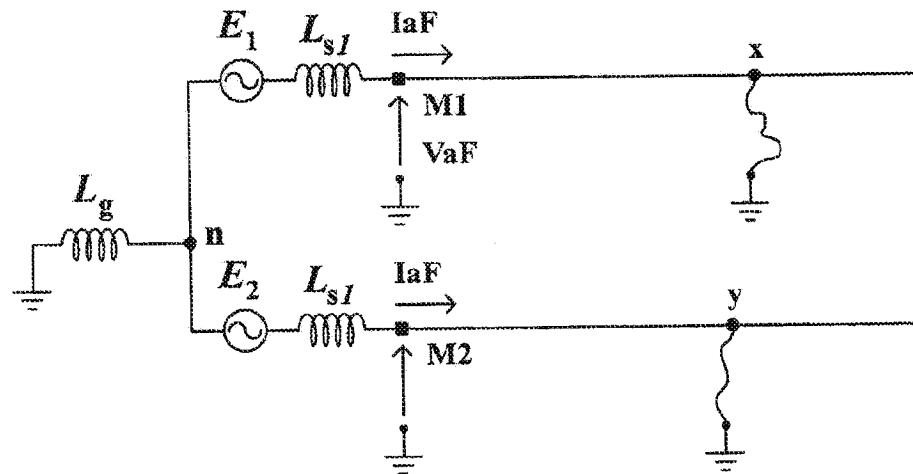


图 27

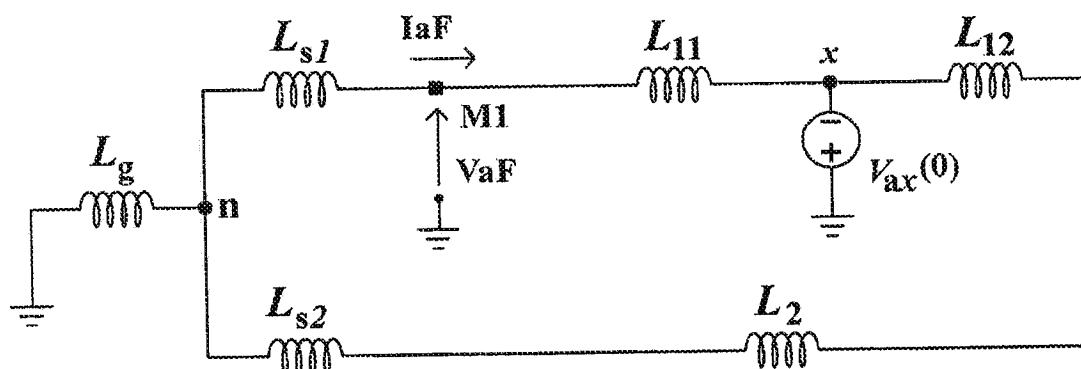


图 28

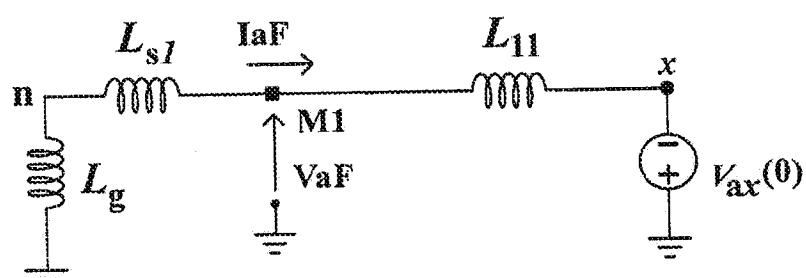


图 29

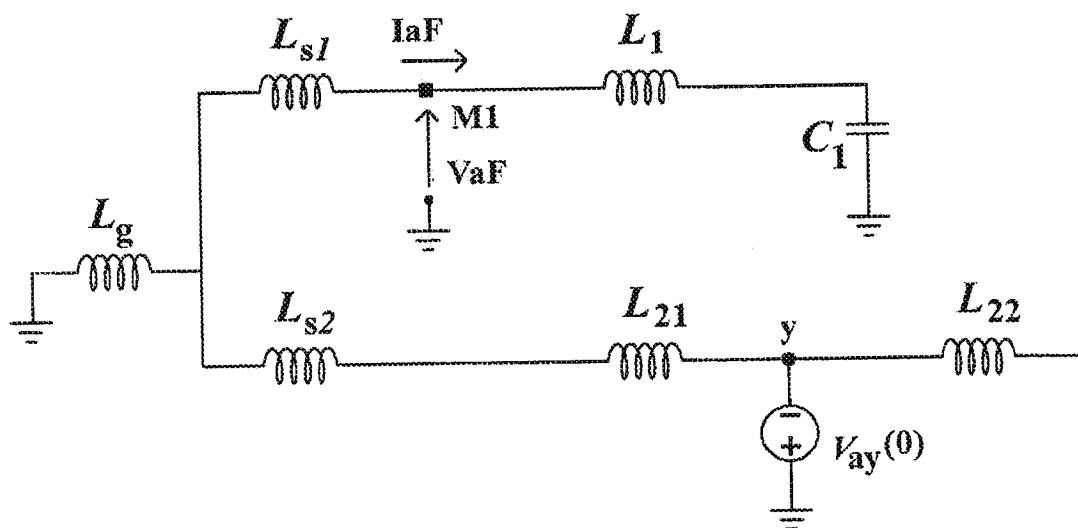


图 30

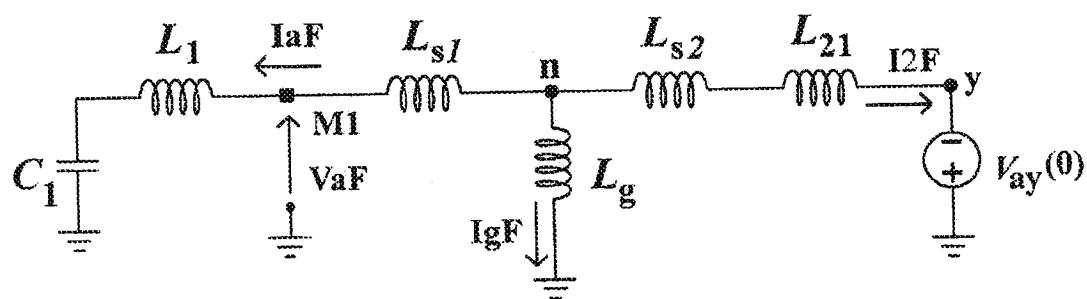


图 31