



## [12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 98808216.0

[45] 授权公告日 2004 年 2 月 18 日

[11] 授权公告号 CN 1139166C

[22] 申请日 1998.6.15 [21] 申请号 98808216.0

[30] 优先权

[32] 1997. 6. 17 [33] DE [31] 19725532.9

[86] 国际申请 PCT/EP98/03579 1998.6.15

[87] 国际公布 WO98/58432 德 1998.12.23

[85] 进入国家阶段日期 2000.2.17

[71] 专利权人 瓦尔特·本德工程师股份有限两合公司

地址 德国格林贝格

[72] 发明人 M·卡默 K·-H·考尔

D·哈基

审查员 张志杰

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 郑立柱 张志醒

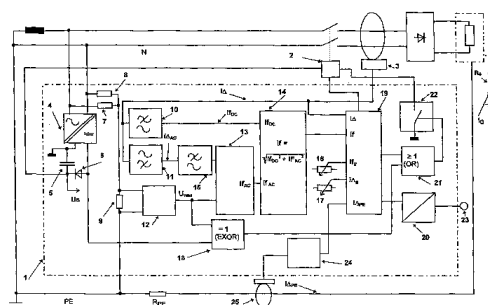
权利要求书 5 页 说明书 16 页 附图 4 页

[54] 发明名称 用于交流电网中绝缘及故障电流监控的方法及装置

[57] 摘要

本发明涉及用于交流电网中绝缘及故障监控的方法及装置,其中在交流电网中测量至少两个电网导体之间的、由矢量和构成的差值电流并当该差值电流超过一预定响应门限值时,执行对负载的关断,根据本发明指出:检测作为第一电网参数的差值电流的交流分量,检测作为第二电网参数的至少两根电网导线之间或一根电网导线及一根电位均衡导线或一根中性导线之间的电网交流电压;求出差值电流的交流电流分量的幅值与两个所检测的电网参数之间的相位角的余弦值的乘积作为阻性故障电流的量度;及当所求得的乘积超过一预定响应门限值时,执行对负载的关断。该乘积可直接计算或最好不识别单个参数地间接求得。特别有利的是,在包括差值电流直流分量的情况下对交直流传感地工作,因为现在的交流电网通常具有显著的直流分

量,其如阻性 AC 分量那样成为危及人身安全的故障电流的一部分。根据本发明可以作到同时进行人身保护及设备保护。



1. 用于交流电网中绝缘及故障电流监控的方法，其中在交流电网中测量至少两个电网导体之间的、由矢量和构成的差值电流，然后在其中求解差值电流的交流电流分量的幅值与差值电流的交流分量及至少两个电网导体间电网交流电压之间相位角 $\varphi$ 的余弦值的乘积来作为电网阻性故障电流的量度，及当阻性故障电流超过一预定响应门限值时，执行负载的关断，

其特征在于，

对交直流传感地检测交流电网中包含交流及直流分量的差值电流，  
通过一个具有低于电网频率的第一极限频率的高通滤波器来获得对交直流传感地检测到的差值电流中包含容性及阻性分量的交流分量，

通过一个具有低于第一极限频率的第二极限频率的低通滤波器来获得对交直流传感地检测到的差值电流中被评价的阻性故障电流信号的直流分量，

为了人身保护通过一个低通滤波器对高频滤波后的差值电流交流分量进行与频率相关的求值，

通过有功功率测量间接地求解差值电流幅值与相位差之间的乘积，

在有功功率测量时进行差值电流交流分量与一个乘法信号的乘法并接着构成算术平均值，其中乘法信号相应于其有效值保持恒定的电网交流电压，

为了求得阻性总故障电流信号对直流侧阻性故障电流信号与由交流电流分量求得的交流侧阻性故障电流信号进行平方和计算，及

当阻性总故障电流信号超过一预定响应门限值时，执行负载的断开。

2. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，将所求得的阻性总故障电流 ( $I_f$ ) 与一个对人身保护适用的较小响应门限值 ( $I_{fg}$ ) 相比较，

将测得的包含交流分量及可能包含附加直流分量的总差值电流 ( $I_{\Delta}$ ) 与一个对设备保护适用的较大响应门限值 ( $I_{\Delta g}$ ) 相比较，及

当至少一个响应门限值被超过时，执行负载或电网的断开 (2)。

3. 根据权利要求 2 所述的方法, 其特征在于, 较小的响应门限值和/或较大的响应门限值是可调节的。

4. 根据权利要求 3 所述的方法, 其特征在于, 用于人身保护的较小的响应门限值灵活地与运行中存在的电网情况相适应, 其中测量阻性接地电阻并这样地调节响应门限值, 即该门限值将相应于最大允许的接触电压与阻性接地电阻的商。

5. 根据权利要求 1 所述的用于设有一个电位均衡导线的交流电网的方法, 其特征在于, 为了检验电位均衡导体的功能, 对在正常状态下作为总差值电流确定分量的流过电位均衡导线的电流进行测量, 及当该电流小于该确定分量时, 执行负载或电网的断开。

6. 根据权利要求 1 所述的用于设有一个电位均衡导线的交流电网的方法, 其特征在于, 为了检验电位均衡导线的功能, 向其中耦合入一个检验电流; 检测在正常情况下流过该电位均衡导线及阻性接地电阻的检验电流; 及当识别出总接地电阻升高到超过一允许值时, 执行负载或电网的断开。

7. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 为了监控具有或不具有中性导线的一个三相交流电网, 对于三个电网导线中的每个分开地实行该方法, 其中测量作为第一电网参数的所有三相电网导线差值电流的交流分量, 其中还测量每个电网导线及一个中性导线之间的三个电网交流电压, 或在其故障情况下测量每个电网导线及一个电位均衡导线之间的三个电网交流电压, 及其中求解差值电流交流分量幅值及相位角 $\varphi$ 的余弦值之间的相应三个乘积, 其中当这些乘积中的一个超过确定的响应门限值时, 执行负载的断开。

8. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于: 执行负载或电网所有导线的断开。

9. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 在由差值电流或故障电流引起的负载或电网开断或其它原因的电网开断后, 对被开断的电网的绝缘电阻进行测量并与一个代表正常状态的门限值相比较, 并仅当所测量的电网绝缘电阻值超过门限值时, 才执行对电网的再合闸。

10. 用于实施权利要求 1 至 9 的其中一项或多项的方法的装置，具有围绕一个交流电网的至少两个电网导线的差值电流传感器 (3) 及一个差值电流继电器 (1)，一旦差值电流 ( $I_{\Delta}$ ) 超过一个确定的响应门限值时，该差值电流继电器将通过一个功率或负载开关 (2) 执行电网的断开，

5 其特征在于，

差值电流传感器 (3) 对交直流传感地检测包含交流及直流分量的差值电流 ( $I_{\Delta}$ )，

与差值电流传感器 (3) 相连接的第一低通滤波器 (10) 的输出侧输出一个故障电流信号 ( $I_{f_{DC}}$ )，它代表由直流引起的交流电网的阻性故障电  
10 流，

差值电流继电器 (1) 具有一个电子相位组件 (13)，它由通过高通滤波器 (11) 求得的差值电流 ( $I_{\Delta}$ ) 的交流分量 ( $I_{\Delta_{AC}}$ ) 及由电网交流电压导出的参考电压 ( $U_{rms}$ ) 并在考虑到相位角  $\varphi$  的情况下求出误差电流信号 ( $I_{f_{AC}}$ )，该信号代表由交流引起的交流电网的阻性故障电流，

15 在高通滤波器 (11) 及相位组件 (13) 之间接有一个对频率估值的第二低通滤波器 (15)，该低通滤波器模仿随频率增加而下降的人体频率相关性，

第一低通滤波器 (10) 及相位组件 (13) 的各输出端与一个加法组件 (14) 相连接，该加法组件对两个故障电流信号 ( $I_{f_{AC}}$ ,  $I_{f_{DC}}$ ) 求平方和，  
20 并在其输出端形成一个相应于总故障电流信号 ( $I_f$ ) 的直流电流信号，及

加法组件 (14) 的输出端与比较组件 (19) 的输入端相连接，使总故障电流信号 ( $I_f$ ) 与适用于人身保护的较小响应门限值 ( $I_{f_g}$ ) 进行比较，及当该响应门限值被超过时，控制负载开关 (2) 的释放。

25 11. 根据权利要求 10 所述的装置，其特征在于，比较组件 (19) 的输入侧也直接与差值电流互感器 (3) 相连接以考察总差值电流 ( $I_{\Delta}$ )；及具有两个调节部分 (16, 17)，用于预给定一个用于故障电流信号 ( $I_f$ ) 的较小响应门限值 ( $I_{f_g}$ ) 和一个用于总差值电流 ( $I_{\Delta}$ ) 的较大响应门限值 ( $I_{\Delta_g}$ )。

12. 根据权利要求 10 所述的装置，其特征在于，电子结构的差值电流

继电器(1)具有一个由交流电网供电的电源部分(4)作为电压源,并设有一个持续工作的功能自监测部分,后者在差值电流继电器(1)的功能受干扰时通过差值电流继电器(1)导致负载或电网断开。

13. 根据权利要求10所述的装置,其特征在于,在三相交流电网的情况下,差值电流继电器(1)具有一个设有电网侧冗余供电的电源部分,用于保证:当一相故障或一个中性导线故障时该差值电流继电器(1)能继续工作,即只要还有两相或一相及中性导线能供支配就行。

14. 根据权利要求10所述的装置,其特征在于,具有一个由电源部分(4)充电的储能电容器(5),它在装置内部电源故障的情况下暂时地提供使差值电流继电器(1)的各部分(18, 21, 22)工作的能量,并当在多相电网中所有电网相故障仅剩下一个电网相或在单相电网中其中性导线故障的情况下使负载开关(2)释放。

15. 根据权利要求10所述的装置,其特征在于,为了监测交流电网的电位均衡导线(PE),设有一个围绕着电位均衡导线(PE)的电流互感器或差值电流传感器(25),它与比较组件(19)相连接,其中当从电流互感器或差值电流传感器(25)的输出信号识别出接地电阻( $R_g$ )大于一个允许值时则执行负载或电网的断开。

16. 根据权利要求10所述的装置,其特征在于,为了监测交流电网的电位均衡导线(PE),使该电位均衡导线穿过两个电流互感器;第一电流互感器将一个小检验电流外加到由电位均衡导线(PE)及接地电阻( $R_g$ )构成的环路中;第二电流互感器检测该检验电流;及当第二电流互感器的输出信号小于用于识别保护导线或电位均衡导线的电阻( $R_{PE}$ )大于一个允许值的一确定分量时,执行负载或电网的断开。

17. 根据权利要求10所述的装置,其特征在于,比较组件(19)与一个数字接口(20, 23)相连接,在该接口上至少连接一个附加部分,例如:一个测量数据显示装置和/或一个绝缘监测装置,后者监测关断状态时待监控电网的绝缘电阻,亦包括与电网连接的用电器的绝缘电阻在内,和/或一个用于监测电位的均衡导体(PE)的电阻的装置。

18. 根据权利要求10所述的装置,其特征在于,故障或差值电流继电

器(1)、差值电流互感器(3)及负载或功率开关(2)被组合在一个组件中,或可分为两个组件及分离的负载开关(2)或分为三个组件。

- 5 19. 根据权利要求 10 所述的装置,其特征在于,对交流分量及直流分量进行交直流传感检测的差值电流传感器(2)以其公知的方式设有一个至少围绕待监测交流电网的两根电网导线的软磁铁芯,其带有两个相同圈数并相反绕制的线圈(W1, W2),及还设有两个交替工作的电子开关(S1, S2),其中这些部分是一个振荡回路的组成部分,及其中输出侧的振荡信号代表穿过磁心的传感交直流的总差值电流。

## 用于交流电网中绝缘及 故障电流监控的方法及装置

5 本发明涉及在交流电网中对绝缘及故障电流监控的方法及装置，其中在交流电网中测量至少两个电网导体之间的、由矢量和构成的差值电流，并在其中当该差值电流超过一预定响应门限值时，执行对负载的关断。

在电网中可能由于绝缘的故障经过地或接地保护导体流过故障电  
10 流。由于故障电流在可触及的、常规工作时电压的部件上产生的电压降可能危及人身安全（间接接触）。当直接接触到一个电流回路中敞开的电压引导部件时，可能通过人体流过故障电流，该故障电流仅能受到人体电阻的限制。除人身安全危害外，故障电流可能通过电系统的影响或故障点热量的形成引起物质损失。为了进行保护以免由故障电流引起人  
15 身危害及物质损失，除另外的保护措施外将使用故障电流保护开关（FI保护开关或 RCD's）。这种装置通过一个总电流互感器构成电网导线电流的矢量和，并由总差值电流的结果构成其幅值。该总差值电流可包含交流电流分量，并在接有直流电流耗电器、如由带有直流中间回路的变频器驱动的情况下也可包含直流分量。当该总差值电流超过一预定极  
20 限值或响应门限值时，将使具有故障的电流回路开断。

根据有关专业领域的一般知识，故障电流保护开关仅能应用在有限容量的电网中，因为否则固有的容性漏电流将大于为了人身保护所必须的故障电流的极限值。其后果将是负载的误断开或不希望或不需要的负载断开。

25 因此，本发明的任务在于：设计一种前序部分中所述类型的方法，该方法能通过使阻性故障电流与正常容性电网漏电流的区分也可毫无问题地应用于大的交流电网，及在小电网中亦可实现故障电流的精确监测。

为了解决所提出之任务，给出了一种在权利要求 1 前序部分中所述  
30 类型的方法，根据本发明，该权利要求特征部分中所描述的特征在于：检测作为第一电网参数的差值电流交流分量；检测作为第二电网参数的至少两根电网导线之间的、或一根电网导线及一根电位均衡导线或一根

中性导线之间的电网交流电压；及求出差值电流的交流电流分量的幅值与两个所检测的电网参数之间的相位角 $\varphi$ 的余弦函数值的乘积来作为阻性故障电流的量度；及当所求得的乘积超过一预定响应门限值时，执行对负载的关断。

5 这样一种方法可具有所述的多方面应用，并且可在单相或多相交流电网中可靠及精确又不受干扰影响地监控电网。这尤其也适用于具有相对大固有（容性）电网漏电流的大交流电网，在大电网的情况下至今本专业领域的观点是，借助故障电流保护开关及总电流互感器不能对此实现可靠的故障电流及绝缘监控。

10 根据权利要求 2，通过计算原则上可实现所述乘积的直接确定，而权利要求 3 至 7 的措施能以不同的方式实现该乘积的间接确定，即，根据权利要求 3、4 通过有功功率或根据权利要求 5、6 或根据权利要求 7 通过同步整流来确定。在这些还要详细描述的方法中，根据权利要求 3、4 的方法尤为有利，主要因为它们也能简单地考虑到非电网频率的故障  
15 电流。

在交流电网中不断地采用经常使用的且本身不可控的耗电器，它们可能产生直流漏电流及故障直流电流。这些直流电流可能由电子器件，如整流器、晶闸管、三端双向晶闸管或晶体管引起；这些电子器件用于交流电压至直流电压或至另一频率的交流电压的变换。在这些器件后面的绝缘故障的情况下，故障电流包含相当大的直流（DC）分量。这种装  
20 置的例子为在电子装置中日益增长地应用的、原边脉冲控制的开关电源部件，不停电电源中的变流器或电动机调速传动中的变频器。

出于可靠的原因，因此特别有利的是：不仅能考虑到电网的阻性交流电流，而且可根据权利要求 8 设置一种全电流检测的差值电流检测装置，也就是，其中也考虑总是作为阻性评价的直流电流分量的这种装置。  
25 由此即使在现今包含相当大直流分量的通用交流电网上也可实现实质上多方面及可靠的应用。

在这种情况下，可根据权利要求 9 有利地作到：将检测的对交直流传感的差值电流分解成一个 AC 分量及一个总作为故障电流估值的 DC 分量，然后由该 AC 分量根据上述方法求出阻性 AC 故障电流信号，并接着  
30 对阻性 AC 及 DC 故障电流求平方和。最好根据权利要求 10 及 11，在 AC 分量的滤出后立即经过一次用于人体保护的频率估值，例如一次模仿人



体频率相关性的低通滤波。

根据有利的权利要求 12 至 14, 设置了两个不同大小的极限值或响应门限值, 即用于与求得的阻性故障电流比较的较小门限值, 如 30mA; 及用于与传感交直流地测得的总差值电流相比较的较大门限值, 如 300mA。当该门限值被超过时, 将执行负载或电网的断开。该门限值可被调节, 并根据权利要求 14 可灵活地适应于届时的电网状态。

在大容量电网中, 使用迄今设有人身保护门限值的故障电流保护装置已不能进行保护, 因为由于设备结构引起的或在许多情况下无法减小的固有漏电流超过了保护装置的门限值。在许多应用方面, 例如在具有工作中可能受损坏的电缆的施工场所是非常成问题的并在现今仍时常导致事故。由于在本方法中, 对作为总差值电流的阻性故障电流有目的地求值并估价, 就首次地实现了对人身保护及设备保护相应的区别对待及分开监控。类似地, 也未知道装置的技术解决方案, 尽管自从具有配电网以来, 使得 FI 或故障保护开关不能进行人身保护的大漏电电流问题就已经存在。

设置了两种不同的极限值或响应门限值, 为了能同时地实现人身保护及设备保护, 对它们也进行不同的频率估值。迄今仅能单独使用具有较低门限值 (如 30mA) 的故障电流保护措施用于人身保护或单独使用具有较高门限值 (如 300mA) 的设备保护措施。并且在公知的无源保护装置中至今也不能作到用低通滤波器对于人身保护进行频率估值及用宽带滤波器对于设备保护进行频率估值, 因为这些无源装置由于所需的灵敏度必须优化到电网频率上并由此具有很小的带宽 (约 30Hz 至最大 1KHz)。仅在用有源故障电流保护装置 (使用辅助电压及电子电路) 尝试的情况下, 频率范围需通过一个低通滤波器向上限制到约 1KHz, 因为在具有高次谐波的电网中该保护装置需要由此产生的容性漏电流 (及非阻性故障电流) 的高次谐波来导致故障释放。

权利要求 15 及 16 的有利特征可以在一个设有电位均衡导线的交流电网上实现其功能检验。这出于可靠性原理是特别有利的, 因为在电位均衡导线故障时总电网漏电流或传感交直流地检测到的总差值电流会成为对人身有危险的故障电流。这种危险情况可根据权利要求 15 这样地检测, 在电位均衡导线中确定一个相对大的电流下降、在最坏情况下下降到零。在正常状态下, 总的差值电流被相应地分为保护导线或电位均

衡导线中电阻上的电流及一个附加接地线中电阻（接地电阻）上的电流。因此在正常情况下在总差值电流及电位均衡导线中的电流之间存在正比关系。

5 权利要求 17 中的特征可实现本方法用于三相交流电网的合乎目的的扩展。

出于可靠性的原因，根据权利要求 18 在故障状态下负载或电网所有导线均断开即全开断是很可取的。这也尤其适合于根据权利要求 19 的进一步构型，因为由此可以避免：虽然仍具有绝缘故障还可以执行重合闸。如果没有该措施，将会产生多余的且危险的重复复合闸及跳闸。

10 本发明还具有的任务是，即建立一种能实施根据本发明方法的合适装置。为此目的，设置了一种装置，它具有围绕一个交流电网的至少两个电网导线的差值电流传感器及一个差值电流继电器，一旦差值电流超过一确定的响应门限值时，该差值电流继电器将通过一个功率或负载开关执行负载或电网的断开，根据本发明该任务通过权利要求 20 特征部分  
15 的特征来实现，即该装置的特征在于：差值电流继电器具有一个电子相位组件，它由通过高通滤波器求得的差值电流的交流分量及由电网交流电压或由其推导出的参考电压并在考虑相位角 $\varphi$ 的情况下求出误差电流信号，该信号代表由交流引起的交流电网的阻性故障电流，及在相位组件后接有一个比较组件，它将故障电流信号与一个适用于人身保护的  
20 较小响应门限值相比较，及当该响应门限值被超过时，控制负载开关释放。

该装置利用相位组件能有效也实施及实现根据本发明的方法。这也尤其适合与权利要求 21 的对交流传感的进一步构型的优选特征相结合，因为由此可开辟实质上更广的应用范围并可得到显著增强的可靠性。这  
25 也适合于权利要求 22 的特征及由此相关的对人身保护（用较小阻性故障电流）及设备保护（用较大的总差值电流，它也包括随电网容量上升的大容性漏电流）的分离监测。

基于总电流或差值电流电磁测量原理的故障保护电路自 20 年代就已公知。但在 60 年代才达到一定的响应灵敏度，它基本上可作到用低  
30 的响应门限值（10 至 60mA）实现人身保护。在德国直至目前仅在标准中描述及采用了对于保护人身直接或间接接触的与电网电压无关的故障电流保护装置。这种与电网电压无关的故障电流保护装置借助一个磁芯

检测电网的差值电流，通过电流的电网导线穿过该磁芯，及磁芯具有一个次边线圈，在该次边线圈中当出现差值电流时感应出一个电压。次边侧这样地连接，以致其感应电压可以产生出足够大的电流，该电流然后操作一个开关机构，后者用开关触头使电网分断。开关的释放系统在电  
5 磁上被这样整定，以使得在一个固定响应门限值时进行释放（对于人身保护通常为 30mA）。对于开关触头的分离，该所能提供的相对小的操作能量需要在传感部分及包括机械部分的电磁系统之间非常灵敏的整定。为了避免灵敏的机械部分通过时效关系变得“难以动作”并在一定情况下响应门限值变高到不能释放开关，故该系统必须有规律地“试动作”。  
10 这将通过一个试验按钮的操作来进行，其模拟差值电流并释放故障电流保护开关。但实践中该故障电流保护开关不会如要求那样进行试验，因此，在故障状态下常不能使保护措施得以保证。

在其中不存在上述缺点的依赖辅助电压的电子系统至今由于可靠性的原因而不允许被使用。至今的出发点是，由于电子部件可能出现故障  
15 在故障状态下将不能使其保护措施得以保证。

但是本发明的故障保护装置将会克服这种偏见，在这方面它涉及一种特别安全的由待监控电网供电的依赖辅助电压的电子系统。通过不同的措施—尤其是在权利要求 23 至 27 中所述类型的措施—将会实现极高的功能可靠性，它大大地超过了那些传统的保护装置。因此，根据权利  
20 要求 23，该系统具有持续的功能自监测并当出现装置故障时使负载或电网断开。根据权利要求 24 设有冗余的供电电压，它在部分故障时仍可保持功能有效。还可根据权利要求 25 仅当供电电压故障时由一个储能电容器供电，以便仍能可靠关断。

借助权利要求 26 的措施可以可靠地监测电位均衡导线的功能。该  
25 过程可以（但不一定要）对交直传感来实现。同样地，借助权利要求 27 的措施也能可靠地监测电位均衡导线的功能。

权利要求 28 的有利措施，即使用一个数字接口，这首次地通过电子电路技术的应用实现并开避了一种崭新的可能性。由此也可以完全使用另外的、在其它方面公知的与可靠性相关的测量作为另外的关断判据  
30 使用。这譬如适用于已关断电网的绝缘电阻或故障电流保护装置中的接地电阻。由仅在绝缘的 IT 电网上公知的绝缘监测与故障电流保护装置的这种组合（可使用于接地并绝缘的电网上）是新颖的并导致了令人意

想不到的组合效果。此外，该新型的故障电流保护装置今后可以通过监测绝缘电阻的变坏执行预防性监测的新任务。因此现在具有这样的可能性，即通过预先的维护或故障查寻可预防即将到来的跳闸。这由此也特别适合于仅用来预示设备变差，因为可合乎要求地选择故障电流。

5 根据权利要求 29，该装置的各个部分可组合成不同的组件。

权利要求 30 给出了一种以振荡回路方式实现交直流传感地工作的差值电流传感器的可能性。

以下将参照多个附图来详细解释本发明，附图为：

图 1：根据本发明的装置的一个电路框图；

10 图 2：用于求解有功或故障电流的、带有转换符号的同步整流器的电路框图；

图 3：用于求解有功或故障电流的、带有乘法器的同步整流器的电路框图；

图 4：基于有功功率测量求解有功或故障电流的电路框图；

15 图 5：以简化电路框图表示的根据本发明的装置；以及

图 6：用于检测交流及直流分量的一种对交直流传感的差值电流传感器的电路的原理图。

首先根据由图 5 所示的一个简化电路框图对本发明原理作一般描述。该图表示一个接地的单相交流电网，它具有两根导线 - 即一根导线  
20 L 及一根中性导线 N - 并具有一根电位均衡导线 PE。C<sub>E</sub> 及 R<sub>E</sub> 表示交流电网（及电网的一个可能的直流侧）的固有容性及阻性或带有电阻的电网漏电（电网漏阻抗）。该交流电网经过一个全极的、在该情况下为二极的隔离开关或负载开关 2 与一个用电装置形式的负载 V 相连接。该连接根据图示可经由一个整流器 GL 的中间电路来实现。这里 C<sub>E</sub><sup>+</sup> 和 R<sub>E</sub><sup>+</sup> 及  
25 C<sub>E</sub><sup>-</sup> 和 R<sub>E</sub><sup>-</sup> 表示交流电网的直流侧的固有容性及阻性或带有电阻的电网漏电（电网漏阻抗）。该用电器的外壳附带接地，在图中用接地电阻 R<sub>G</sub> 表示。在这里它涉及在电网中所有接地点的总接地电阻。电位均衡导线 PE 的导线电阻用 R<sub>PE</sub> 表示并实际上与接地电阻 R<sub>G</sub> 相关联。

这两根导线 L 及 N 穿过一个总电流互感器或差值电流传感器 3，它  
30 构成导线 L 及 N 中电流的矢量和，也即它们的差值电流。该差值电流应尽可能小，及电网漏阻抗愈小，该差值电流愈大。该差值电流由阻性及容性分量组成，其中阻性分量构成故障电流，及容性分量构成不可避免

的、尤其随电网容量增长的容性漏电流。

差值电流可能（例如在后接整流器或逆变器的情况下）除纯交流电流分量外还包括直流电流分量。当差值电流传感器也应检测到直流电流分量时，它必须被设计成能对交直流传感。这种能对交直流传感的差值  
5 电流互感器其本身是公知的，并能够如结合图 6 所描述地工作。

由差值电流传感器 3 检测的差值电流被现有的电位均衡导线 PE 分流，并流经接地电阻  $R_G$  及流经电位均衡导线的线路电阻  $R_{PE}$ 。

根据图 5，将在一个电网供电差值电流或故障电流继电器形式的求值电路 1 中，首先测出作为第一电网参数的电网导线 L 及中性线 N 的差值  
10 电流的交流分量。接着在该差值电流或故障电流继电器 1 测得作为第二电网参数的电网导线 L 及中性线 N 或另一导线之间的电网交流电压。然后在差值电流继电器 1 中可以确定出第一及第二电网参数之间的相位角  $\varphi$ 。最后，在该差值电流继电器 1 中求出差值电流交流分量的幅值及测得的两个电网参数之间相位角  $\varphi$  的余弦值之间的乘积。该乘积可由  
15 测出的各个值直接计算，或不用这种单个值求解（例如相位角  $\varphi$ ）而用间接方式求解。对于这种间接求解将要在后面详细说明。

此外，在差值电流或故障电流继电器 1 中对以传感交直流方式检测到的差值电流的直流分量进行求值及考察，- 只要该差值电流传感器 3 是以传感交直流方式工作的。这个直流电流分量总是作为故障电流评价的，并能以平方的方式与交流侧的故障电流相加。在对交流及直流电流  
20 不同边界值的情况下也可在一个分离求值电路中进行处理。

差值电流的交流电流分量的幅值和相位角  $\varphi$  余弦的乘积、也即交流侧阻性故障电流（在必要时与阻性 DC 故障电流相加后）与一个给定的、必要时可调整的极限值或响应门限值相比较。只要一旦该乘积超出门限值，该差值电流继电器 1 将控制一个功率或负载开关 2 的继电器，该负载开关将使负载 V 的所有端子与交流电网分离。  
25

图 1 表示一个详细电路图，尤其是图 5 中差值电流继电器 1 的详图及一个待监控的交流电网。该电网可以是接地的（如现在的情况）或非接地的，它也可涉及具有或没有直接连接的整流器或逆变器的单相电网或三相电网。通过以交直流传感方式测量的方法将测得差值电流  $I_\Delta$ ，它由电网 AC 或电网交流部分中的固有容性漏电流组成，及它也包含由于电网 AC 或 DC 部分中绝缘故障形成的故障电流。  
30

三相交流电网装置的区别仅在于：电网部件由所有三相供电，及对于每相均具有将要说明的部件 7, 9, 12, 13, 18。

该装置测量电网的差值电流，其为电网对地阻抗的量度。差值电流可包含阻性分量（故障电流），它是由阻性绝缘故障引起的。

5 在该例中，该装置的组成为：一个差值或故障电流继电器 1；一个交直流传感的差值电流传感器 3，用于检测电网差值电流  $I_{\Delta}$ ；第二电流互感器 25，用于检测电网的电位均衡导线 PE 中的（漏）电流；及一个功率或负载开关 2，当故障电流或总差值电流的门限值被超过时，该负载开关使电网全部导线与供电部分分离。

10 在差值电流传感器 3 的输出端（见图 1）形成一个测量信号  $I_{\Delta}$ ，其正比于穿过该传感器的导线 L, N 的差值电流，及包括差值电流的 AC 分量并在一定情况下也包括其 DC 分量。在一个其极限频率低于电网频率、例如极限频率为 10Hz 的低通滤波器 10 中，使 DC 分量  $I_{f_{DC}}$  分离出来，该 DC 分量总是作为阻性故障电流来估价。

15 在一个其极限频率高于低通滤波器 10 的极限频率、例如其极限频率为 15Hz 的高通滤波器中，分离出差值电流  $I_{\Delta}$  的交流（AC）分量  $I_{\Delta_{AC}}$ 。接着，该 AC 分量  $I_{\Delta_{AC}}$  经过一个适合频率求值的低通滤波器 15，该低通滤波器模仿人体对频率的相关性。它将实现  $I_{\Delta_{AC}}$  的相应频率求值。低通滤波器 15 用于在对电流的接触敏感性方面模仿人体对频率的相关性（例如描述在 IEC 60479 中）。

差值电流  $I_{\Delta}$  的 AC 分量  $I_{\Delta_{AC}}$ （也在频率求值后）包含（固有的）容性漏电流及可能存在的阻性故障电流  $I_{f_{AC}}$ 。这两个量可借助于 AC 差值电流及 AC 电网电压之间的相位关系由滤出的 AC 分量来求得。对此具有许多可能性，后面再详述。

25 在该例中，为了求得  $I_{f_{AC}}$ ，将通过一个双相耦合的、电网及电位均衡导体 PE 之间的分压器 7, 8, 9 及通过一个电路部分 12 在其输出端产生一个参考电压或等效电压  $U_{rms}$ ，它代表具有恒定有效值的电网电压  $U$ 。在一个相位组件 13 中将这样处理等效电压  $U_{rms}$  及差值电流  $I_{\Delta}$  经频率求值的 AC 分量  $I_{\Delta_{AC}}$ ，即在其输出端形成阻性故障电流  $I_{f_{AC}}$  的直流分量。

30 这意味着，在相位组件 13 中以间接方式（即不用计算）求解代表有功分量的、差值电流  $I_{\Delta}$  的交流分量  $I_{\Delta_{AC}}$  的幅值及相位角  $\varphi$  余弦之间的乘积。该原理最好依靠有功功率的测量，而不是以单独求得相位角  $\varphi$  为前提的，

并将结合附图 4 详细说明。

当需要时，在相位组件 13 中除阻性故障电流外还将求得工作电流（作为差值电流  $I\Delta$  的 AC 分量  $I\Delta_{AC}$  的容性分量）。

5 在一个加法组件 14 中，将阻性 DC 分量  $I_{f_{DC}}$  及阻性 AC 分量  $I_{f_{AC}}$  通过求平方和合成一个总故障电流或总故障电流信号  $I_f$ 。该故障电流信号  $I_p$  及未处理的总差值电流  $I\Delta$  被导入一个比较组件 19，该比较组件可构成为分立的电路、微控制器或 ASIC。该比较组件 19 包括两个调节部分 16, 17，用于预给定对于故障电流信号  $I_f$  的一个较小响应门限或极限值  $I_{f_g}$  及对于总差值电流  $I\Delta$  的一个较大响应门限或极限值  $I\Delta_g$ 。一旦其  
10 中的一个响应门限或极限值被超过，该比较组件 19 将通过一个逻辑或部件 - 或门 21 控制开关 22，后者操作功率或负载开关 2 及执行与电网分断。

除了对人身接触安全性起决定作用的阻性故障电流  $I_f$  外，总工作电流及总差值电流也可用作电网安全状态的量度。对于一个电网工作的  
15 安全性有意义的是通过总差值电流来监视其视在功率。对此将不需要如差值电流  $I\Delta$  的交流分量  $I\Delta_{AC}$  那样用低通滤波器对差值电流  $I\Delta$  进行频率求值。

通过将阻性故障电流  $I_f$  与如 30mA 的第一个较小的响应门限或极限值  $I_{f_g}$  以及将总差值电流  $I\Delta$  与如 300mA 的第二个较大的响应门限或极限  
20 值  $I\Delta_g$  的分开比较可以在一个装置中组合了人身保护及设备保护。

门限值或极限值的预给定值可以是固定的或可变的。它们也可灵活地适应于相关的设备状态。例如，对于一个电设备部分的可接触判据是所谓的接触电压。国际上规定其最大极限值为 AC SOV 或 DC120V，并在持续加载的情况下是无伤害的。为了保持该极限值，工作时漏电流及总的  
25 接地电阻  $R_{erdung}$  的乘积（ $R_{erdung} = R_G$  及  $R_{PE}$  的并联电阻）总是小于一个电压或上述电压值。这个条件的保持需要在电网投入运行时，在设备安装时及以规律的周期进行测量检查。

如果通过一个数字接口 20、23 连接一个附加装置，该装置连续地测量工作中的总接地电阻并将当前测量值通过数字接口传送给故障电流  
30 防护装置，则漏电流的极限值可由下列计算构成：

$$I\Delta_{gAC} = 50V / R_{erdung}$$

$$I\Delta_{gAC} = 120V / R_{erdung}$$

其导线电阻以  $R_{PE}$  表示的低阻值电位均衡导线 PE 在一个无故障的电网中将保证接触电压及由此接触电流小于允许值。然而，当电位均衡导线 PE 断路时，电网的固有漏电流可能成为故障电流。例如这适合于这样的情况；当一个人接触地并又接触到电网正常情况下接地的部分。该接地部分可能由于 PE 断路上升到一个高的接触电压上，由此可能形成危险的故障电流。

在此电位均衡导线 PE 断开的情况下，故障电流几乎是纯容性的，并不能由上述本发明部分来获知。为了在此情况下也能可靠地开断电网，可以通过电流互感器或差值电流传感器 25 附加地检测电位均衡导线 PE 中的电流  $I_{\Delta_{PE}}$  并通过用作测量值匹配的电路部分 24 传送到比较组件 19。

除电系统可接触部分的接地外，可通过与地导电连接点或通过其它导电机械连接（例如用于冷却的水管）使这些部分附加地接地。由这种附加接地得到的接地电阻用  $R_G$  表示。

由差值电流传感器 3 测得的总差值电流包括两种电流  $I_{\Delta_{PE}}$  及  $I_{\Delta_G}$  的和。其中在保护导线或电位均衡导线 PE 上测得的电流  $I_{\Delta_{PE}}$  根据关系式  $I_{\Delta_{PE}} = I_{\Delta} - I_{\Delta_G}$  将正比于总电流  $I_{\Delta}$ 。在电网运行时，我们可以假设在电位均衡导线电阻  $R_{PE}$  及附加接地电阻  $R_G$  之间具有恒定比例。因此总差值电流的变化总表现为正比于电位均衡导线中电流的变化。该事实可被利用来：当电位均衡导线 PE 故障使漏电流变为故障电流时也能使电网可靠地分断。

此外，可以通过未示出的穿过电位均衡导线 PE 的一个第二电流互感器在  $R_{PE}$  及  $R_G$  的环路中加入一个小电流，并通过未示出的也穿过 PE 的一个第三电流互感器来监测由两电阻  $R_{PE}$ 、 $R_G$  的串联形成的环路电阻。

在故障电流防护装置中应以尽可能高的可靠性及工作安全性为前提。为此传统的装置具有一个检验按钮，它被周期地操作，以检验保护措施的可投入使用性。但通常这种必要的检验极少被应用。这将导致通常由电磁作用操作的故障电流防护开关在故障情况下经常不能释放。

这里描述的装置具有多种监测机构，它们能保证工作的可靠性。因为该装置涉及一种与电网电压相关的装置，故必须保证，对超过极限值的故障电流总能导致电网分断，并也能在装置出现功能故障可能导致故障状态下不能分断的情况下也能使电网分断。该任务将通过以下措施来



解决：对差值及故障电流继电器的供电通过三相电网形成冗余方式。由此可保证，在相故障或中性线故障时能使该装置继续工作，只要还有两相或一相及中性导线能供支配就行。

5 为了当所有相故障直只剩下一个相或当单相系统中的中性线故障时也可保证其保护功能，将由一个电网供电的电源部件 4 的直流供电电压通过一个去耦二极管对储能电容器 5 充电。当内部供电电压中断时将由该储能电容器经由  $U_s$  在一定时间间隔上对电路部分 18, 21, 22 后备地供电。在这段时间间隔上通过分压器 7, 8, 9 确定是否对地还存有一个电网导线电压。如果是这样，将通过异或门 (EXOR) 18 及再经过或门 (OR) 10 21 和开关 22，用来自储能电容器 5 的能量释放该开关。如果当整个电网故障时，由于 EXOR 门将不会使功率开关 2 分断。

对差值电流互感器连接检验在交直流传感测量方法中可这样简单地进行：对传感器中的存在的振荡波形进行监测并当振荡频率改变或振荡暂停时可辨认出故障。

15 为了保证功率开关 2 真正地闭合，将借助一个叠加的小直流电流持续地测量它的线圈电阻。利用同样的措施可持续地检验差值电流互感器 3 及 25 的连接。

20 在数字接口 20、23 上可连接绝缘监测装置，它在分断状态下对待监测电网的绝缘电阻进行监测，并当绝缘电阻低于一给定值时，避免功率开关 2 的合闸。由此一直避免电网再合闸，直至绝缘电阻再具有可接收的最小值时。在数字接口 20、23 上还可连接一个已述的用于监测电位平衡导线 PE 的电阻  $R_{PE}$  的装置及连接一个用于对该保护装置的测量数据进行显示或数字处理的装置。

25 阻性的 AC 故障电流  $I_{f_{AC}}$  是一个有功电流  $I_w$ 。它相当于差值电流交流分量的幅值与相位角  $\varphi$  余弦的乘积，并可直接地计算或间接地求得。

30 在直接计算该有功电流  $I_w$  时，将使用比较器及时间测量装置来求得差值电流  $I_{\Delta}(t)$  的交流分量  $i(t) = I_{\Delta_{AC}}(t)$  及电网交流电压  $U(t)$  之间的相位角  $\varphi$ 。例如可以对过零点及斜率方向求值。通过具有相同斜率符号的两个过零点之间的时间测量可以确定作为第一个参数的交流电压周期  $T$ 。并可确定出作为第二个参数的电网交流电压  $U(t)$  的一个过零点及随后的交流电流分量  $I_{\Delta_{AC}}(t)$  (具有相同斜率符号) 过零点之间的时间  $t$ 。其相位角则可由公式  $\varphi = t \cdot 2\pi/T$  计算出。在求出差值电流  $I_{\Delta}(t)$  的交

流分量  $I\Delta_{AC}(t)$  的幅值（例如通过峰值测量）后，可由下列公式计算出有功电流  $I_w$ ，即交流侧阻性故障电流  $I_{f_{AC}}$ ：

$$I_w = \hat{i} \cos(\varphi)$$

- 5 在三相电网中对于每个电网相进行相位角  $\varphi$  的确定及根据公式 2 的计算；将每个结果进行平方和计算或将具有最大值的单个结果作为结果值。

实际上这种直接计算有功电流  $I_w$  的方法仅可应用于尽可能正弦的信号。随后高次谐波及噪音分量的增加，正确过零点的确定及与此相关的相位角求解仅能带有大误差地实现。

- 10 以下将参照图 2 至 4 来描述间接求解（即不用计算）交流侧阻性故障电流  $I_{f_{AC}}$ 、即有功电流  $I_w$  的三种方法。

- 在图 2 中  $i(t)$  相应于漏电流或差值电流  $I\Delta(t)$  的交流分量： $i(t)=I\Delta_{AC}(t)$  及  $U(t)$  相应于电网交流电压。比较器 32 的参考电压  $U_{Ref}$  在以下将规定为 0V。如果交流电压大于 0V，比较器的输出电压  $U_s$  将控制一个相连的系数单元 30，以使得交流电流分量或交流侧漏电流与一个恒定系数如 +1 相乘。如果交流电压小于 0V，比较器 32 的输出电压这样地控制，即对  $i(t)$  有效的系数具有相同的幅值但具有相反符号，例如为 -1。低通滤波器 31 在理想情况下构成在  $U(t)$  的一个周期上系数单元 30 的输出信号的算术平均值。

- 20 该同步整流器的输出信号因而由交变的系数（具有一幅值 +1/-1 的矩形波）及漏电流  $i(t)$  相组合。该交变系数矩形波的频谱线是输入信号的一个信号分量，它表现为其值为频谱线幅值的输出信号分量。这意味着，在幅值为 1 的系数矩形中  $i(t)$  的所有奇数频率分量如下地求值：

$$\bar{I}_o = \frac{2}{\pi \cdot m} \hat{i} \cdot \cos(\varphi_m)$$

25

对于所有  $m=2*n+1$  及  $n=0, 1, 2, 3 \dots$

理想上，应该所有相应于  $u(t)$  频率奇数倍的  $i(t)$  信号分量被抑制。DC 分量也将被抑制。这意味着，相应于一个对称矩形波的频谱分量的  $i(t)$  中较高频高次谐波分量仅视为被衰减。

- 30 除了该频率选择性外存在以上等式中  $\cos(\varphi)$  项的相位值特性。

如果  $u(t)$  及  $i(t)$  为相位移  $0^\circ$  的同步信号及  $i(t)$  为一个纯正弦波形的交流电流, 则有  $m=1$ ,  $\cos(\varphi)=1$ , 由上式可得:

$$\bar{I}_a = \frac{2}{\pi} \cdot \hat{i}$$

- 5        这相应于一个全波整流信号的算术平均值。如果  $u(t)$  及  $i(t)$  为  $90^\circ$  相移的同步信号及  $i(t)$  为一个纯正弦波形的交流电流, 则有  $m=1$ ,  $\cos(\varphi)=0$ , 由上式可得  $I_a = 0$ 。这意味着, 漏电流中的容性分量 ( $90^\circ$  相位移) 被抑制。

- 10       图 2 中方法相对直接计算方法的优点在于, 在漏电流中的噪声及干扰信号得到很好的抑制。但该方法对  $u(t)$  中的噪音及干扰信号的响应灵敏。并也应考虑  $i(t)$  中的高次谐波, 故会导致结果值的错误。

在三相电网中对电网每相应使用一个同步整流器。作为结果值将使用所有输出信号的平方和或具有最大值的输出信号。

- 15       在图 3 中  $i(t)$  同样相应于漏电流或差值电流  $I\Delta(t)$  的交流分量  $i(t) = I\Delta_{AC}(t)$ 。低通滤波器 41 具有与图 2 中低通滤波器 31 具有相同功能。如果信号  $U(t)$  选择为一个与电网交流电压同步的具有其幅值为 1V 及其 DC 分量为 0 的矩形波信号, 则该电路的特性完全相应于图 2 中的电路特性。如果  $u(t)$  相对于地为一个纯正弦、无 DC 分量、恒定幅值并与电网同步的电压, 则由该电路仅是信号  $i(t)$  的基波用于相位求值。DC 分量、  
20       高次谐波、噪音或干扰信号将被抑制。

假定  $u(t)$  幅值为 1V 及使用一个无系数的乘法器 40, 对于  $i(t)$  的电网频率基波来确定有功电流  $I_w$ , 有:

$$I_w = \frac{1}{2} \cdot \hat{i} \cdot \cos(\varphi)$$

- 25       直至系数为  $1/2$  时, 该等式才对应于结合直接计算中所述的等式。这里, 也同样使用了  $\cos(\varphi)$  来求解有功电流  $I_w$ , 但无需知道  $\varphi$  或  $\cos(\varphi)$  的值。

该方法的缺点是局限在对  $i(t)$  基波的求值上。但有利的是对于干扰电压及噪音不敏感。并且在  $u(t)$  中具有噪音不象以上所述方法中那样要

紧。

在图 4 中,  $i(t)$  相应于漏电流或差值电流  $I\Delta(t)$  的交流分量  $i(t) = I\Delta_{AC}(t)$  及  $u(t)$  相应于电网交流电压。功能框 52 至 55 将用于由电网电压  $U(t)$  产生出它的保持恒定有效值的模拟信号  $u'(t)$ 。在此情况下设  
5 有下列功能框: 乘法器 50, 低通滤波器 51, 可调衰减器 52, 调节放大器 53, 差值形成器 54, RMS 值形成器 55。

如果  $u(t)$  直接与  $i(t)$  相乘, 其结果为  $p(t)$ , 即在漏阻抗中转换的瞬时功率。如果将  $p(t)$  在一个电网周期的整数倍上积分 (低通滤波器 51), 则得到在漏阻抗上转换的有功功率。

10

$$P = \frac{1}{T} \cdot \int_{-n \cdot T}^{n \cdot T} i(t) \cdot u(t) dt$$

如果  $u(t)$  项现在为具有恒定 RMS 值 (有效值) 的  $u'(t)$ , 则由乘及积分得到的结果为用于在漏阻抗上转换功率的电流, 即有功电流  $I_W$ 。

$$I_W = \frac{1}{T} \cdot \int_{-n \cdot T}^{n \cdot T} i(t) \cdot \frac{u(t)}{U_{RMS}} dt$$

15

在  $i(t)$  中存在的有功分量的正确检测应在这样的宽频带上进行, 即如所使用的电路中所允许的, 应包括所有直流及高次谐波分量在内。但直流分量的正确检测会这样地受到不良的影响: 在实际实施时不仅使用了作为  $U(t)$  的产生漏电流的电压源, 而且也使用了作为其模拟电压的网  
20 压。

在三相电网中每个电网每相构成一个图 4 的电路。作为其结果量或是使用所有输出信号的平方和或是使用具有最大值的输出信号。

图 6 表示一个可以检测差值电流的 AC 和 DC 分量的、传感交直流地工作的差值电流传感器的实施例原理图。对于传感交流及脉冲的差值电  
25 流测量一般使用总电流传感器, 它根据变压器原理来检测被测量。差值直流电流不能使用该测量方法测量, 因为直流电流不能产生变换所需的磁通变化。

一种测量差值直流电流的可能性是对铁芯的磁化强度（磁通密度  $B$ ）求值。磁化曲线（ $B-H$  曲线）以公知方式给出了一种软磁材料的磁通密度  $B$  与磁场强度  $H$  的关系。在此情况下磁化曲线的变化基本上是零点对称的。

- 5        在一个总电流互感器中，差值电流产生出磁场强度  $H$ ，该磁场强度与流过电流的线圈的圈数及铁芯中间路径长度有关。该磁场强度在铁芯中产生出磁通  $B$ ，由该磁通并根据铁芯的横截面积可构成磁通密度  $B$ 。如果差值电流为零，磁通密度  $B$  同样为零（忽略磁滞效应）。如果总电流传感器的磁心被差值直流电流磁化，则由磁场强度  $H$  产生出一个磁通
- 10       密度  $B$ ，它与所使用的芯体材料有关。

- 图 6 表示也能检测差值直流电流的电路的原理图。该测量的基础是一个振荡回路，其中总电流传感器用作产生振荡的单元。根据图 6，该总电流传感器由二个具有相同圈数但相反绕制的线圈  $W1$  及  $W2$  组成。由于相反绕制的线圈，磁心在两个方向上被交替地磁化，由此使磁化曲线
- 15       在两个方向上完全地被扫过。当磁心被流过线圈的电流饱和时，电路翻转。当磁心饱和时线圈中的电流不发生变化（线圈电感小到可以忽略），由此在转换开关的控制输入端上不会感应出电压。开关的断开将引起：在现在断开的开关的控制输入端上形成电压  $U_0$ （固定的直流电源电压），对此在现在关断的线圈中形成感应电压。因此又使现在断开的开关闭
- 20       合。

- 由于开关的交替闭合，在测量电阻  $R_m$  上的电流形成一个电压降，其频率相当于振荡频率。通过这两个电压降差值的形成可以对振荡器两支路求值。差值电压  $U_{dif}$  原则上考虑为方波电压。当无差值电流时，其脉冲占空比为 50%，这因为从磁化曲线的零点开始总是需要相同的时间来达到饱和点（振荡电路的翻转点）。
- 25       如上所述，差值直流电流引起了磁心的预磁化。在预磁化方向上的饱和从时间上将快于由磁化曲线零点开始的反向饱和的达到。只要差值电流不使总电流互感器饱和，现在该脉冲占空比将不等于 50%，然后可由差值电流和电压  $U_{dif}$  的脉冲占空比的线性关系来计算差值电流。两个
- 30       电压降的差值构成将导致其占空比为一个振荡电路支路求值时的两倍。

由于磁心磁化的零点对称，图 6 中的电路原理也适用于差值交流电流的测量。差值交流电流将“调制”磁化方波电压；只要差值电流的频

率小于方波电压频率的一半，就能进行正确的求值。

因此，这种电路原理可作为交直流传感的测量原理，其中通过一个低通滤波器可由方波电压  $U_{\text{dif}}$  分解出差值电流的 AC 及 DC 分量。以上所述的原理也可有所改变。例如，可以仅使用一个线圈，该线圈利用持续  
5 反相变换的直流电压使磁心正向及反向地变换磁化方向。

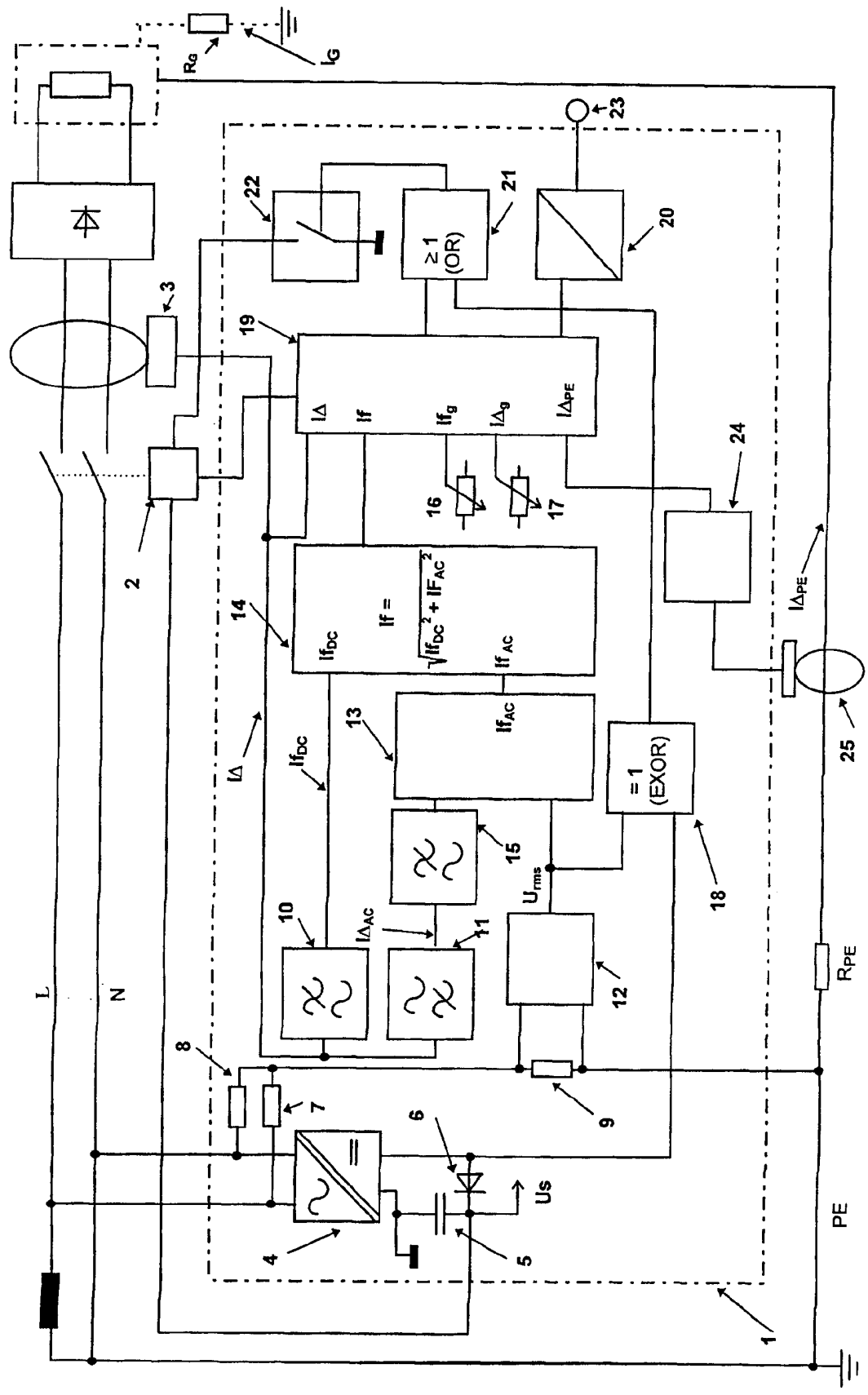


图 1

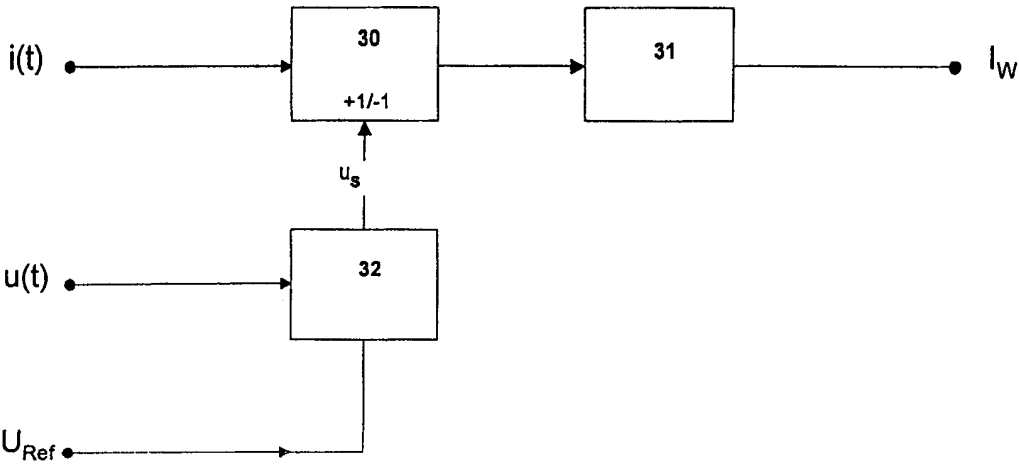


图 2

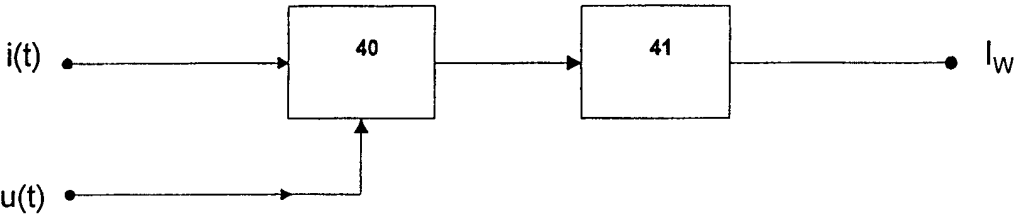


图 3

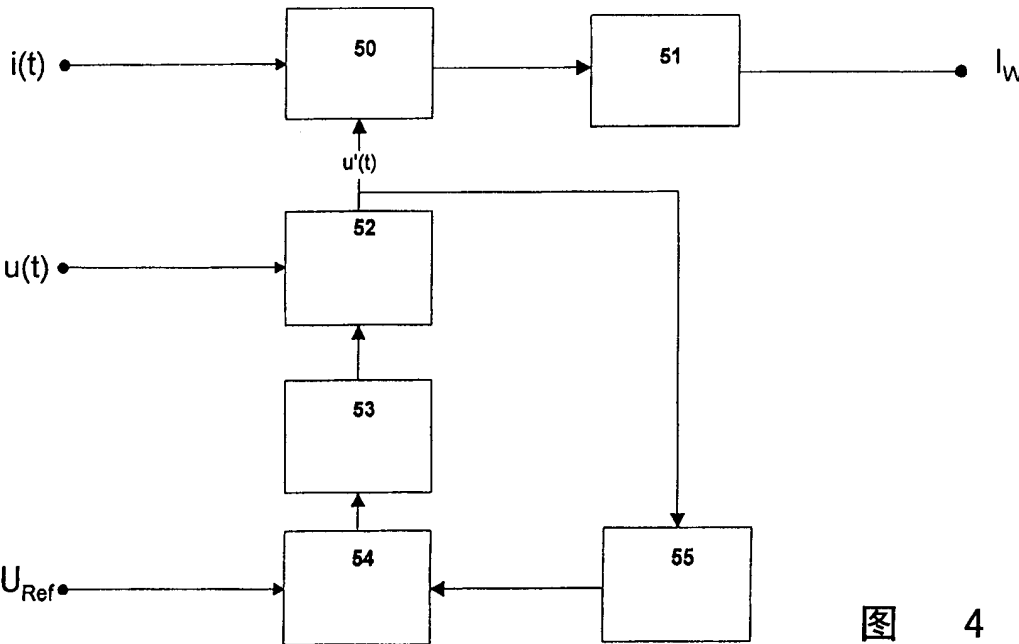


图 4



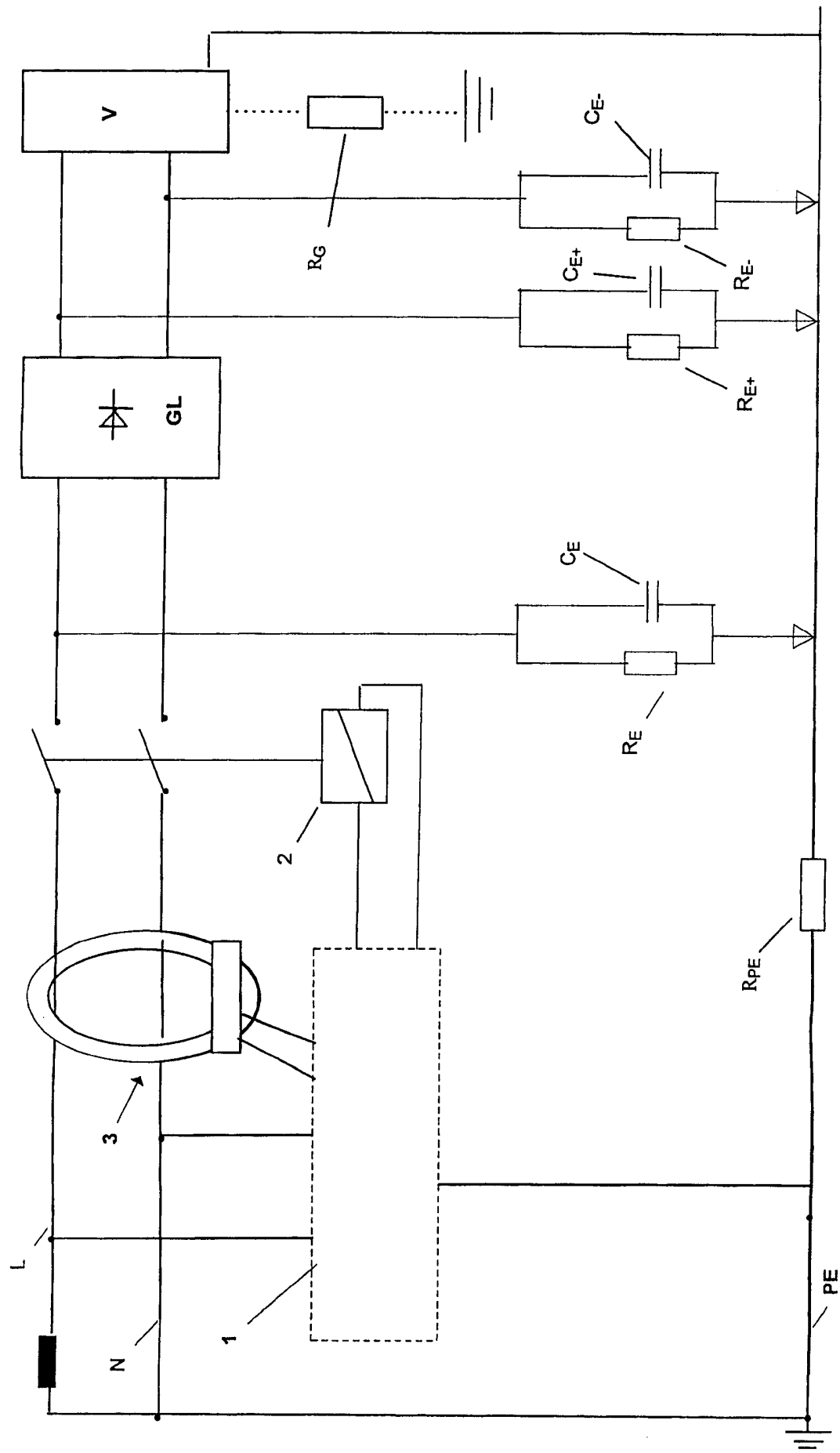


图 5

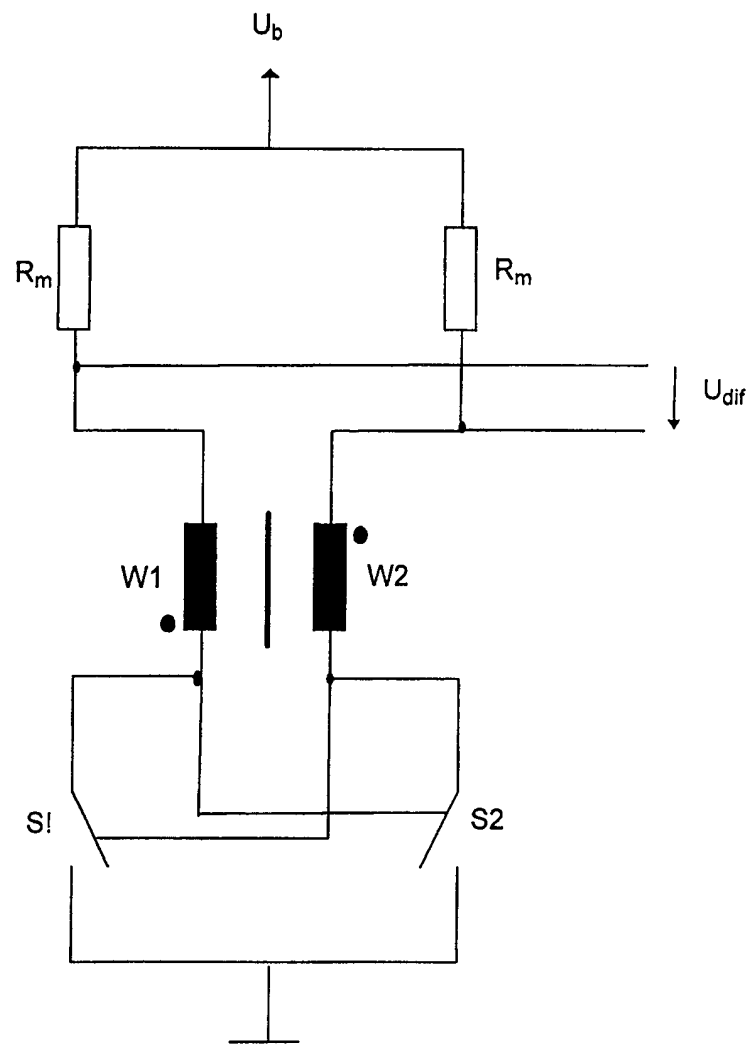


图 6