



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102460880 B

(45) 授权公告日 2015. 09. 23

(21) 申请号 201080034729. 0

(22) 申请日 2010. 06. 03

(30) 优先权数据

61/183709 2009. 06. 03 US

12/792191 2010. 06. 02 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 02. 03

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2010/037150 2010. 06. 03

(87) PCT国际申请的公布数据

W02010/141645 EN 2010. 12. 09

(73) 专利权人 西门子工业公司

地址 美国乔治亚州

(72) 发明人 H·T·金塞尔

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 马永利 卢江

(51) Int. Cl.

H02H 3/33(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1619908 A, 2005. 05. 25, 说明书第 1 页第 20 - 28 行、说明书第 4 页第 6 行至第 27 行, 附图 1、3、7.

US 4001646 , 1977. 01. 04, 全文.

US 5940256 A, 1999. 08. 17, 全文.

US 4378579 , 1983. 03. 29, 说明书第 1 栏第 7 行至第 50 行、第 4 栏第 21 行至第 9 栏第 55 行, 附图 1 - 9.

US 5999384 A, 1999. 12. 07, 全文.

审查员 丁小汀

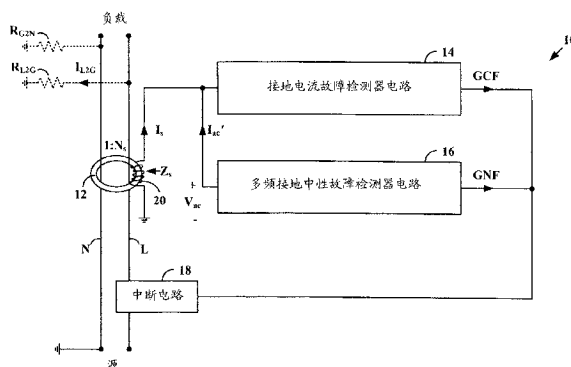
权利要求书3页 说明书15页 附图10页

(54) 发明名称

用于多频接地故障电路中断接地中性故障检测的方法和装置

(57) 摘要

在第一方面中, 提供了一种与 AC 电力系统一起使用的接地故障电路中断 (“GFCI”) 设备, 所述 AC 电力系统包括线路导体、中性导体和变压器。所述线路导体和所述中性导体中的每一个耦合在源与负载之间, 并且所述中性导体在所述源处耦合至地。所述变压器包括与所述线路导体串联耦合的第一初级绕组、与所述中性导体串联耦合的第二初级绕组、以及次级绕组。所述设备包括耦合至所述次级绕组的接地中性故障检测器电路。所述接地中性故障检测器电路: (a) 利用多频 AC 信号来驱动所述次级绕组; (b) 监测所述次级绕组中的多频负载信号; 以及 (c) 在所监测的负载信号超过预定阈值的情况下提供第一检测信号。还提供了许多其他方面。



1. 一种与 AC 电力系统一起使用的接地故障电路中断“GFCI”设备,所述 AC 电力系统包括线路导体、中性导体和变压器,所述线路导体和所述中性导体中的每一个耦合在源与负载之间,所述中性导体在所述源处耦合至地,其中,所述变压器包括与所述线路导体串联耦合的第一初级绕组、与所述中性导体串联耦合的第二初级绕组、以及次级绕组,所述设备包括:

耦合至所述次级绕组的接地中性故障检测器电路,其中,所述接地中性故障检测器电路:(a)利用多频 AC 信号来驱动所述次级绕组;(b)监测所述次级绕组中的多频负载信号;

(c)通过将所述多频 AC 信号和所述监测的多频负载信号进行混频并对该混频的信号进行低通滤波来生成 DC 信号;以及

(d)在所生成的 DC 信号超过预定阈值的情况下提供第一检测信号。

2. 根据权利要求 1 所述的 GFCI 设备,其中,所述多频 AC 信号包括多频 AC 电压信号。

3. 根据权利要求 1 所述的 GFCI 设备,其中,所述多频 AC 信号包括多频 AC 电流信号。

4. 根据权利要求 1 所述的 GFCI 设备,其中,所述多频 AC 信号包括 M 个间隔,在每个间隔中具有对应的唯一频率。

5. 根据权利要求 4 所述的 GFCI 设备,其中, M 大于或等于 3。

6. 根据权利要求 4 所述的 GFCI 设备,其中,如果在所述 M 个间隔中的至少 N 个间隔中所生成的 DC 信号超过预定阈值,则所述接地中性故障检测器电路提供所述第一检测信号,其中 N 小于或等于 M。

7. 根据权利要求 1 所述的 GFCI 设备,其中,所述多频 AC 信号包括啁啾信号。

8. 根据权利要求 1 所述的 GFCI 设备,其中,所述接地中性故障检测器电路将所述多频 AC 信号与所监测的多频负载信号进行混频。

9. 根据权利要求 1 所述的 GFCI 设备,还包括:耦合至所述次级绕组的接地电流故障检测器电路,其中,如果所述次级绕组中的电流超过预定阈值,则所述接地电流故障检测器电路提供第二检测信号。

10. 根据权利要求 9 所述的 GFCI 设备,还包括:耦合至所述线路导体的中断电路,其中,如果所述接地中性故障检测器电路提供所述第一检测信号,和/或如果所述接地电流故障检测器电路提供所述第二检测信号,则所述中断电路中断所述 AC 电力系统中的电力。

11. 一种与 AC 电力系统一起使用的接地故障电路中断“GFCI”设备,所述 AC 电力系统包括线路导体、中性导体和变压器,所述线路导体和所述中性导体中的每一个耦合在源与负载之间,所述中性导体在所述源处耦合至地,其中,所述变压器包括与所述线路导体串联耦合的第一初级绕组、与所述中性导体串联耦合的第二初级绕组、以及次级绕组,所述设备包括:

耦合至所述次级绕组的接地中性故障检测器电路,其中,所述接地中性故障检测器电路包括:(a) AC 信号源,其利用多频 AC 信号来驱动所述次级绕组;(b) 检测器电路,其监测所述次级绕组中的多频负载信号;(c) 电路,其通过将所述多频 AC 信号和所述监测的多频负载信号进行混频并对该混频的信号进行低通滤波来生成 DC 信号;以及(d) 处理器,其在所生成的 DC 信号超过预定阈值的情况下提供第一检测信号。

12. 根据权利要求 11 所述的 GFCI 设备,其中,所述多频 AC 信号包括多频 AC 电压信号。

13. 根据权利要求 11 所述的 GFCI 设备,其中,所述多频 AC 信号包括多频 AC 电流信号。

14. 根据权利要求 11 所述的 GFCI 设备,其中,所述多频 AC 信号包括 M 个间隔,在每个间隔中具有对应的唯一频率。

15. 根据权利要求 14 所述的 GFCI 设备,其中, M 大于或等于 3。

16. 根据权利要求 14 所述的 GFCI 设备,其中,如果在所述 M 个间隔中的至少 N 个间隔中所生成的 DC 信号超过预定阈值,则所述接地中性故障检测器电路提供所述第一检测信号,其中 N 小于或等于 M。

17. 根据权利要求 11 所述的 GFCI 设备,其中,所述多频 AC 信号包括啁啾信号。

18. 根据权利要求 11 所述的 GFCI 设备,其中,所述接地中性故障检测器电路将所述多频 AC 信号与所监测的多频负载信号进行混频。

19. 根据权利要求 11 所述的 GFCI 设备,还包括:耦合至所述次级绕组的接地电流故障检测器电路,其中,如果所述次级绕组中的电流超过预定阈值,则所述接地电流故障检测器电路提供第二检测信号。

20. 根据权利要求 19 所述的 GFCI 设备,还包括:耦合至所述线路导体的中断电路,其中,如果所述接地中性故障检测器电路提供所述第一检测信号,和/或如果所述接地电流故障检测器电路提供所述第二检测信号,则所述中断电路中断所述 AC 电力系统中的电力。

21. 一种与 AC 电力系统一起使用的用于接地故障电路中断“GFCI”检测的方法,所述 AC 电力系统包括线路导体、中性导体和变压器,所述线路导体和所述中性导体中的每一个耦合在源与负载之间,所述中性导体在所述源处耦合至地,其中,所述变压器包括与所述线路导体串联耦合的第一初级绕组、与所述中性导体串联耦合的第二初级绕组、以及次级绕组,所述方法包括:

(a) 在第一预定时间间隔:

(i) 监测所述次级绕组中的电流;以及

(ii) 在所监测的次级电流超过第一预定阈值的情况下提供第一检测信号;以及

(b) 在第二预定时间间隔:

(i) 利用多频 AC 电压或电流来驱动所述次级绕组;

(ii) 监测所述次级绕组中的多频负载电流或所述次级绕组两端的多频电压;

(iii) 将多频 AC 电压或电流以及所述监测的多频负载电流或电压进行混频并对该混频的信号进行低通滤波来以生成处理的信号;

(iv) 从所处理的信号提取 DC 信号;

(v) 如果所提取的 DC 信号超过第二预定阈值,则提供第二检测信号。

22. 根据权利要求 21 所述的方法,还包括:迭代地重复步骤(a) 并且然后步骤(b)。

23. 根据权利要求 21 所述的方法,还包括:响应于第一检测信号和/或第二检测信号,中断所述 AC 电力系统中的电力。

24. 根据权利要求 21 所述的方法,其中,所述第一预定时间间隔在 1 与 560 毫秒之间。

25. 根据权利要求 21 所述的方法,其中,所述第一预定时间间隔是 100 毫秒。

26. 根据权利要求 21 所述的方法,其中,所述第二预定时间间隔在 0.1 与 17 毫秒之间。

27. 一种与 AC 电力系统一起使用的接地故障电路中断“GFCI”设备,所述 AC 电力系统包括线路导体、中性导体、第一变压器和第二变压器,所述线路导体和所述中性导体中的每一个耦合在源与负载之间,所述中性导体在所述源处耦合至地,其中,所述第一变压器包

括与所述线路导体串联耦合的第一初级绕组、与所述中性导体串联耦合的第二初级绕组、以及次级绕组,所述第二变压器包括与所述中性导体串联耦合的第一初级绕组以及次级绕组,所述设备包括:

耦合至所述第二变压器的次级绕组的多频信号驱动器电路,其中,所述多频信号驱动器电路利用多频 AC 信号来驱动所述第二变压器的次级绕组;

耦合至所述第一变压器的次级绕组的接地中性故障检测器电路,其中,所述接地中性故障检测器电路包括:(a)检测器电路,其监测所述第一变压器的次级绕组中的多频负载信号;(b)电路,其通过将所述多频 AC 信号和所述监测的多频负载信号进行混频并对该混频的信号进行低通滤波来生成 DC 信号;以及(c)处理器,其在所生成的 DC 信号超过预定阈值的情况下提供第一检测信号。

28. 根据权利要求 27 所述的 GFCI 设备,其中,所述多频 AC 信号包括多频 AC 电压信号。

29. 根据权利要求 27 所述的 GFCI 设备,其中,所述多频 AC 信号包括多频 AC 电流信号。

30. 根据权利要求 27 所述的 GFCI 设备,其中,所述多频 AC 信号包括 M 个间隔,在每个间隔中具有对应的唯一频率。

31. 根据权利要求 30 所述的 GFCI 设备,其中, M 大于或等于 3。

32. 根据权利要求 30 所述的 GFCI 设备,其中,如果在所述 M 个间隔中的至少 N 个间隔中所生成的 DC 信号超过预定阈值,则所述接地中性故障检测器电路提供所述第一检测信号,其中 N 小于或等于 M。

33. 根据权利要求 27 所述的 GFCI 设备,其中,所述接地中性故障检测器电路将所述多频 AC 信号与所监测的多频负载信号进行混频。

34. 根据权利要求 27 所述的 GFCI 设备,还包括:耦合至所述第一变压器的所述次级绕组的接地电流故障检测器电路,其中,如果所述次级绕组中的电流超过预定阈值,则所述接地电流故障检测器电路提供第二检测信号。

35. 根据权利要求 34 所述的 GFCI 设备,还包括:耦合至所述线路导体的中断电路,其中,如果所述接地中性故障检测器电路提供所述第一检测信号,和 / 或如果所述接地电流故障检测器电路提供所述第二检测信号,则所述中断电路中断所述 AC 电力系统中的电力。

36. 根据权利要求 34 所述的 GFCI 设备,其中,所述接地中性故障检测器电路和所述接地电流故障检测器电路包括相同电路。

用于多频接地故障电路中中断接地中性故障检测的方法和装置

[0001] 相关申请的引用

[0002] 本申请要求保护于 2009 年 6 月 3 日提交的序列号为 61/183,709 的美国临时专利申请的权利,通过引用将该美国临时专利申请整体并入此处。

技术领域

[0003] 本申请总体上涉及用于接地故障电路中中断 (“GFCI”) 检测的方法和装置。更具体地,本申请涉及用于使用多音和 / 或多频信号进行 GFCI 接地中性故障检测以检测 AC 电力系统的电路支路中的接地中性故障的方法和装置。

背景技术

[0004] 典型地,单相 AC 电力系统的电路支路使用包括耦合在源与负载之间的线路导体和中性导体的电气线缆,其中,中性导体在源处接地。GFCI 设备安装在一种电路支路中,以在检测到来自在负载处接地的线路导体的接地电流故障以及中性导体与负载处的地之间的接地中性故障 (例如,低阻抗连接故障) 时中断电力。GFCI 设备提供免于触电死亡的安全保护,并主要用在其中水或湿气可造成触电死亡的风险的厨房、浴室和户外区域中的插座中。GFCI 设备还用在保护这些相同区域的断路器中。

[0005] 典型地,GFCI 设备使用差动电流变压器来在线路和中性导体中感测由从线路导体经过与中性导体不同的非预期接地电路路径返回至源的接地泄漏电流产生的电流不平衡。为了防止来自电击的损伤,GFCI 设备必须在线路和中性导体中的电流差动低至 5 毫安时发起电路中断。

[0006] 如果发生接地中性故障,则差动电流变压器可能不会检测到接地泄漏电流的真实量值。具体地,由于中性导体典型地在源处接地,因此接地泄漏电流的一部分可以通过中性导体返回至源。结果,差动电流变压器中的电流差动将不会精确对应于接地泄漏电流的实际量值。因此,接地中性故障可能对差动电流传感器不敏感,以使得 GFCI 设备将仅响应于显著更高的接地泄漏电流电平而跳闸。

[0007] 为了解决该问题,许多先前已知的 GFCI 设备在中性导体上使用第二变压器来检测接地中性故障。在这种设备中,如果在中性导体与地之间存在低阻抗连接故障,则 GFCI 设备形成振荡器,使用第二电压器将该振荡器的输出信号耦合至差动电流变压器。然后,使用振荡器信号来检测接地中性故障。在检测到接地中性故障时,GFCI 设备中断 AC 电力系统中的电力。

[0008] 备选地,一些先前已知的 GFCI 设备使用单个变压器来检测接地电流故障和接地中性故障。例如,名称为 “Ground Fault Circuit Interrupter Utilizing A Single Transformer” 的 Howell 美国专利 No. 4,001,646 描述了一种 GFCI 设备,其使用单个变压器来检测接地电流故障和接地中性故障。具体地,Howell 使用负电阻网络来形成振荡信号,除非在中性导体与地之间存在低阻抗连接故障,否则该振荡信号增长。

[0009] 其他单变压器 GFCI 设备（例如，在于 2010 年 5 月 13 日提交的名称为“METHOD S AND APPARATUS FOR GROUND FAULT CIRCUIT INTERRUPT DETECTION USING A SINGLE TRANSFORMER”的序列号为 12/779,406 的共同待审美国专利申请中描述的 GFCI 设备，出于所有目的通过引用将该美国专利申请整体并入此处）通过使用 AC 源（例如 AC 电压源）驱动单个变压器并监测变压器中的负载电流，来检测接地中性故障。

[0010] 在一些先前已知的双变压器和单变压器 GFCI 设备中，振荡器或 AC 源连续地、周期性、或仅在发生接地中性故障时进行操作。大多数先前已知的 GFCI 设备使用振荡器或 AC 源以及比较器，该振荡器或 AC 源使用相对较高的单频 AC 信号，该比较器在超过阈值电平的情况下跳闸。许多这种 GFCI 设备易受干扰信号影响，干扰信号可以防止对接地中性故障的检测，或者可以被错误地检测为接地中性故障，从而不必要地中断 AC 电力（通常称为误跳闸 (nuisance trip)）。

[0011] 具体地，AC 电力系统可以具有产生干扰 GFCI 设备的信号的负载电路。例如，电动机（尤其是可变速电动机）在调光器或风扇速度控制器中旋转切换，并且，荧光灯器具可以产生这种干扰信号。典型地，干扰信号在频率上比 50 或 60Hz 的 AC 电力系统频率更高很多。典型地，GFCI 设备中用于检测接地泄漏电流的电路包括低通滤波，该低通滤波防止高频干扰信号扰乱检测器。然而，使用更高单频 AC 信号检测方法的接地中性故障检测器易受这种高频干扰信号影响。

[0012] 因此，期望改进的 GFCI 设备。

发明内容

[0013] 在本发明的第一方面中，提供了一种与 AC 电力系统一起使用的 GFCI 设备，所述 AC 电力系统包括线路导体、中性导体和变压器。所述线路导体和所述中性导体中的每一个耦合在源与负载之间，并且所述中性导体在所述源处耦合至地。所述变压器包括与所述线路导体串联耦合的第一初级绕组、与所述中性导体串联耦合的第二初级绕组、以及次级绕组。所述设备包括耦合至所述次级绕组的接地中性故障检测器电路。所述接地中性故障检测器电路：(a) 利用多频 AC 信号来驱动所述次级绕组；(b) 监测所述次级绕组中的多频负载信号；以及 (c) 在所监测的负载信号超过预定阈值的情况下提供第一检测信号。还提供了许多其他方面。

[0014] 在本发明的第二方面中，提供了一种与 AC 电力系统一起使用的 GFCI 设备，所述 AC 电力系统包括线路导体、中性导体和变压器。所述线路导体和所述中性导体中的每一个耦合在源与负载之间，并且所述中性导体在所述源处耦合至地。所述变压器包括与所述线路导体串联耦合的第一初级绕组、与所述中性导体串联耦合的第二初级绕组、以及次级绕组。所述设备包括耦合至所述次级绕组的接地中性故障检测器电路。所述接地中性故障检测器电路包括：(a) AC 信号源，其利用多频 AC 信号来驱动所述次级绕组；(b) 检测器电路，其监测所述次级绕组中的多频负载信号；以及 (c) 处理器，其在所监测的负载信号超过预定阈值的情况下提供第一检测信号。

[0015] 在本发明的第三方面中，提供了一种与 AC 电力系统一起使用的用于 GFCI 检测的方法，所述 AC 电力系统包括线路导体、中性导体和变压器。所述线路导体和所述中性导体中的每一个耦合在源与负载之间，并且所述中性导体在所述源处耦合至地。所述变压器包

括与所述线路导体串联耦合的第一初级绕组、与所述中性导体串联耦合的第二初级绕组、以及次级绕组。所述方法包括：(a) 在第一预定时间间隔，(i) 监测所述次级绕组中的电流，以及 (ii) 在所监测的次级电流超过第一预定阈值的情况下提供第一检测信号；以及 (b) 在第二预定时间间隔，利用多频 AC 电压或电流来驱动所述次级绕组；(ii) 监测所述次级绕组中的多频负载电流或所述次级绕组两端的多频电压，以及 (iii) 对多频驱动信号与多频监测信号进行处理，以确定低阻抗接地中性故障是否小于第二预定阈值。

[0016] 在本发明的第四方面中，提供了一种与 AC 电力系统一起使用的 GFCI 设备，所述 AC 电力系统包括线路导体、中性导体、第一变压器和第二变压器。所述线路导体和所述中性导体中的每一个耦合在源与负载之间，并且所述中性导体在所述源处耦合至地。所述第一变压器包括与所述线路导体串联耦合的第一初级绕组、与所述中性导体串联耦合的第二初级绕组、以及次级绕组。所述第二变压器包括与所述中性导体串联耦合的第一初级绕组以及次级绕组。所述设备包括耦合至所述第二变压器的次级绕组的多频信号驱动器电路以及耦合至所述第一变压器的次级绕组的接地中性故障检测器电路。所述多频信号驱动器电路利用多频 AC 信号来驱动所述第二变压器的次级绕组。所述接地中性故障检测器电路包括：(a) 检测器电路，其监测所述第二变压器的次级绕组中的多频负载信号；以及 (b) 处理器，其在所监测的负载信号超过预定阈值的情况下提供第一检测信号。

[0017] 根据下面的详细描述、所附权利要求书和附图，本发明的其他特征和方面将变得更加完全显而易见。

附图说明

[0018] 根据在下面结合附图考虑的具体实施方式，可以更加清楚地理解本发明的特征，其中相同的参考数字始终指示相同的元件，并且在附图中：

[0019] 图 1 是根据本发明的示例性单变压器多频 GFCI 设备的框图；

[0020] 图 2 是根据本发明的与 GFCI 设备一起使用的示例性多频信号的图；

[0021] 图 3 是根据本发明的与 GFCI 设备一起使用的备选示例性多频信号的图；

[0022] 图 4 是根据本发明的示例性单变压器多频 GFCI 设备的更详细框图；

[0023] 图 5 是与图 4 的示例性设备一起使用的示例性全波整流器混频器；

[0024] 图 6 是根据本发明的备选示例性单变压器多频 GFCI 设备的框图；

[0025] 图 7 是根据本发明的示例性双变压器多频 GFCI 设备的框图；

[0026] 图 8 是根据本发明的示例性双变压器多频 GFCI 设备的更详细框图；

[0027] 图 9 是根据本发明的另一备选示例性单变压器多频 GFCI 设备的框图；以及

[0028] 图 10 是根据本发明的备选示例性双变压器多频 GFCI 设备的框图。

具体实施方式

[0029] 本发明提供了改进的 GFCI 设备，其使用多音和 / 或多频 AC 信号来检测 AC 电力系统中的接地中性故障。具体地，根据本发明的 GFCI 设备包括变压器、接地电流故障检测器电路和接地中性故障检测器电路。在第一预定时间间隔，接地电流故障检测器电路监测所述变压器的次级绕组中的第一电流，以确定接地泄漏电流是否超过第一预定阈值。如果超过第一阈值，则 GFCI 设备中断 AC 电力系统。

[0030] 在第二预定时间间隔期间,接地中性故障检测器电路利用多频 AC 信号(例如电压或电流)来驱动变压器的次级绕组,并检测变压器的次级绕组中的多频 AC 信号(例如负载电流或感应电压),以确定低阻抗地至中性故障是否小于第二预定阈值。具体地,接地中性故障检测器电路对多频驱动信号与检测到的多频信号进行处理(例如混频或互相关),以在存在干扰信号和/或噪声的情况下改进检测。

[0031] 参照图 1,描述根据本发明的第一示例性 GFCI 设备。GFCI 设备 10 包括变压器 12、接地电流故障检测器电路 14、多频接地中性故障检测器电路 16 和中断电路 18。变压器 12 是具有环形磁芯和次级绕组 20 的差动电流变压器。本领域普通技术人员将理解,可以使用其他差动电流变压器。

[0032] AC 电力系统的线路导体 L 和中性导体 N 经过变压器 12 的作为单匝初级绕组的环形磁芯。本领域普通技术人员将理解,备选地,线路导体 L 和中性导体 N 可以被配置为变压器 12 的多匝初级绕组。线路导体 L 和中性导体 N 中的每一个耦合在源(“SOURCE”)与负载(“LOAD”)之间,并且中性导体 N 在源处耦合至地。

[0033] 次级绕组 20 耦合至接地电流故障检测器电路 14 的输入端子和多频接地中性故障检测器电路 16 的输出端子。次级绕组 20 可以是具有 N_s 匝的单个绕组,如图 1 所示。备选地,次级绕组 20 可以包括:具有 N_{s1} 匝的第一次级绕组,其耦合至接地电流故障检测器电路 14 的输入端子;以及具有 N_{s2} 匝的第二次级绕组,其耦合至多频接地中性故障检测器电路 16 的输入端子。

[0034] 在其他实施例中,次级绕组 20 可以包括单个绕组,该单个绕组包括耦合至接地电流故障检测器电路 14 的输入端子的第一抽头输出端和耦合至多频接地中性故障检测器电路 16 的输入端子的第二抽头输出端。本领域普通技术人员将理解,可以使用其他类似绕组配置。

[0035] 根据本发明,GFCI 设备 10 通过监测变压器 12 的次级绕组 20 处的信号来检测负载处的线路至地故障(被指示为 R_{L2G})和负载处的低阻抗地至中性故障(被指示为 R_{G2N})。

[0036] 具体地,流经线路至地故障 R_{L2G} 的接地泄漏电流 I_{L2G} 产生经过变压器 12 的差动电流。差动电流使次级绕组 20 引导与接地泄漏电流 I_{L2G} 乘以次级绕组 20 上的匝数 N_s 的倒数相关的电流 I_s :

$$[0037] \quad I_s = \frac{I_{L2G}}{N_s} \quad (1)$$

[0038] 因此,通过监测次级电流 I_s 并知道匝数比 N_s ,可以根据等式(1)确定接地泄漏电流 I_{L2G} 。

[0039] 此外,可以通过利用多频 AC 信号(例如电压或电流)驱动次级绕组 20 并监测变压器 12 的次级绕组 20 处的对应负载信号(例如电流或电压)来确定低阻抗地至中性故障 R_{G2N} 。

[0040] 低阻抗地至中性故障 R_{G2N} 表现为次级绕组 20 处的相对较低的阻抗。具体地,假定 R_{L2G} 比 R_{G2N} 更大很多,那么变压器 12 的阻抗 Z_s 针对次级而表现为:

$$[0041] \quad Z_s = N_s^2 R_{G2N} \quad (2)$$

[0042] 因此,如果利用多频 AC 电压 V_{ac} 来驱动次级绕组 20,则驱动次级绕组 20 所需的负载电流 I_{ac} 是:

$$[0043] \quad I_{ac} = \frac{V_{ac}}{Z_s} \quad (3)$$

[0044] 因此,通过监测负载电流 I_{ac} ,可以根据等式 (2) 和 (3) 计算 R_{G2N} 。

[0045] 根据本发明,接地故障检测器电路 14 通过监测变压器 12 中的差动电流来检测接地泄漏电流 I_{L2G} 。具体地,在第一预定时间间隔 $T1$,接地故障检测器电路 14 监测次级绕组 20 中的电流 I_s 。第一预定时间间隔 $T1$ 可以是约 100 毫秒,更一般地,在约 1 与 560 毫秒之间,尽管可以使用其他时间间隔。通过监测次级电流 I_s 并知道匝数比 N_s ,可以根据等式 (1) 确定接地泄漏电流 I_{L2G} 。

[0046] 因此,如果所监测的次级电流 I_s 指示接地泄漏电流 I_{L2G} 已经超过第一预定值,则接地电流故障检测器电路 14 在输出端子处生成第一检测信号 GCF,该第一检测信号 GCF 使中断电路 18 将线路导体 L 开路,并从而中断 AC 电力系统。

[0047] 例如,GCF 信号通常可以为低 (LOW),但是,如果接地泄漏电流 I_{L2G} 超过第一预定值,则 GCF 信号可以从低切换至高 (HIGH)。本领域普通技术人员将理解,备选地,GCF 信号通常可以为高,但是,如果接地泄漏电流 I_{L2G} 超过第一预定值,则 GCF 信号可以从高切换至低。

[0048] 在第一预定时间间隔 $T1$ 之后,多频接地中性故障检测器电路 16 在第二预定时间间隔 $T2$ 内利用多频 AC 信号来驱动次级绕组 20,以监测低阻抗地至中性故障 R_{G2N} 。第二预定时间间隔 $T2$ 可以是约 5 毫秒,更一般地,在约 0.1 与 17 毫秒之间,尽管可以使用其他持续时间。例如,在第二预定时间间隔 $T2$,多频接地中性检测器电路 16 利用具有指定量值和指定频谱的多频 AC 电压来驱动次级变压器 20。

[0049] 在图 2 中图示了示例性多频 AC 电压信号 V_{ac} 。在所示的示例中,多频 AC 电压信号 V_{ac} 包括三个间隔 INT1、INT2 和 INT3,具有与每个间隔相关联的对应唯一频率。因此,在第一间隔 INT1 中,电压信号 V_{ac} 具有第一频率 f_1 。在第二间隔 INT2 中,电压信号 V_{ac} 具有与第一频率 f_1 不同的第二频率 f_2 。在第三间隔 INT3 中,电压信号 V_{ac} 具有与第一频率 f_1 和第二频率 f_2 不同的频率 f_3 。

[0050] 例如,频率 f_1 、 f_2 和 f_3 可以分别是 40kHz、50kHz 和 60kHz,并且,间隔 INT1、INT2 和 INT3 可以在持续时间上基本上相等。间隔 INT1、INT2 和 INT3 中的每一个可以是约 1.2 毫秒,更一般地在约 0.03 与 5.6 毫秒之间,尽管可以使用其他时间间隔。本领域普通技术人员将理解,可以使用其他波形(如方波、三角波和其他波形),可以使用其他频率,可以使用多于或少于三个间隔,并且间隔的持续时间不需要相等。

[0051] 驱动次级绕组 20 所需的负载电流 I_{ac} 等于多频 AC 电压信号 V_{ac} 除以变压器 12 的阻抗 Z_s ,如以上在等式 (3) 中阐述的那样。根据等式 (2) 和 (3),可以将负载电流 I_{ac} 写为:

$$[0052] \quad I_{ac} = \frac{V_{ac}}{(N_s^2 R_{G2N})} \quad (4)$$

[0053] 理想地, R_{G2N} 是无穷大,且负载电流 I_{ac} 是 0。然而,如果存在低阻抗地至中性故障,则 R_{G2N} 是非无穷大,且可以相当低。随着 R_{G2N} 减小,负载电流 I_{ac} 增大。因此,通过确定负载电流 I_{ac} ,可以检测低阻抗地至中性故障 R_{G2N} 。

[0054] 理想地,在次级绕组 20 中流动的非零电流对应于负载电流 I_{ac} 。然而,次级绕组 20 还可以引导由于干扰信号(例如,来自附近负载,诸如用于荧光照明的镇流器、可变速速度电动

机、旋转调光器开关,或者其他类似干扰信号)引起的电流 I_{int} ,并且,干扰电流可以损害对负载电流 I_{ac} 的检测。因此,检测到的负载电流 I'_{ac} 可以被表达为:

$$[0055] \quad I'_{ac} = I_{ac} + I_{int} \quad (5)$$

[0056] 其中, I_{ac} 是与低阻抗地至中性故障 R_{G2N} 相对应的负载电流,并且 I_{int} 是不需要的干扰信号。

[0057] 在传统 GFCI 设备中,干扰信号 I_{int} 的存在可能防止对低阻抗地至中性故障的检测,或可能引起对这种故障的误检测。相比之下,根据本发明的方法和装置允许在存在干扰信号的情况下检测低阻抗地至中性故障,并且基本上减少了由于这种干扰信号而引起的对低阻抗地至中性故障的误检测。

[0058] 具体地,AC 电压信号 V_{ac} 的多频特性便于检测负载电流 I_{ac} ,即使在存在干扰信号 I_{int} 的情况下也是如此。与 AC 电压信号 V_{ac} 类似,负载电流 I_{ac} 是多频信号。例如,如果使用图 2 所示的示例性三间隔多频 AC 电压信号 V_{ac} 来驱动次级绕组 20(并假定线性),则负载电流 I_{ac} 将类似地具有三个间隔,具有与每个间隔相关联的对应的唯一频率。负载电流 I_{ac} 的多频特性允许将该信号与可在检测到的负载电流 I'_{ac} 中存在的干扰信号 I_{int} 区分开来。

[0059] 如以下更详细描述,可以使用多种技术将负载电流 I_{ac} 与干扰信号 I_{int} 区分开来。在一种示例性技术中,可以将检测到的负载电流 I'_{ac} 与 AC 电压信号 V_{ac} 进行混频,并且可以将混频输出信号的 DC 分量与预定阈值进行比较。

[0060] 例如,如果使用图 2 的示例性多频 AC 电压信号 V_{ac} 来驱动次级绕组 20,则多频 AC 电压信号 V_{ac} 和负载电流 I_{ac} 二者均将包括三个间隔,在每个间隔中具有对应的唯一频率 f_1 、 f_2 和 f_3 。如果干扰信号 I_{int} 具有频率 f_{int} ,以及如果将检测到的负载电流 I'_{ac} 与多频 AC 电压信号 V_{ac} 进行混频(例如复用),并假定在 AC 电压信号 V_{ac} 与检测到的负载电流 I'_{ac} 之间没有相位延迟,那么所得到的三间隔混频输出信号具有以下频率分量:

[0061] 表 1:混频输出信号频率分量

[0062]

间隔	V_{ac}	I_{ac}'	$V_{ac} \times I_{ac}'$
1	f_1	$f_1 + f_{int}$	$DC + 2f_1 + (f_1 + f_{int}) + (f_1 - f_{int})$
2	f_2	$f_2 + f_{int}$	$DC + 2f_2 + (f_2 + f_{int}) + (f_2 - f_{int})$
3	f_3	$f_3 + f_{int}$	$DC + 2f_3 + (f_3 + f_{int}) + (f_3 - f_{int})$

[0063] 因此,在每个间隔,混频输出信号包括 DC 分量,加上更高频率分量。如果 f_{int} 不等于 f_1 、 f_2 或 f_3 ,则每个间隔中的 DC 分量等于:

[0064]

$$DC \text{ 分量} = \frac{1}{2} \frac{1}{(N_s^2 R_{G2N})} \quad (6)$$

[0065] 如果间隔中的 DC 分量超过预定阈值信号(指示 R_{G2N} 小于第二预定阈值),则可以存在低阻抗地至中性故障。为了避免在 f_{int} 接近于 f_1 、 f_2 或 f_3 中的一个或多个的情况下可得到的错误肯定,可以针对所有三个间隔执行该比较。如果在这三个间隔中的至少两个中

DC 分量超过预定阈值,则接地中性检测器电路 16 在输出端子处生成第二检测信号 GNF,这使中断电路 18 将线路导体 L 开路,且从而中断 AC 电力系统。

[0066] 例如,GNF 信号通常可以为低,但是,如果负载电流 I_{ac} 超过第二预定阈值,则 GNF 信号可以从低切换至高。本领域普通技术人员将理解,备选地,GNF 信号通常可以为高,但是,如果负载电流 I_{ac} 超过第二预定阈值,则 GNF 信号可以从高切换至低。

[0067] 一般地,AC 电压信号 V_{ac} 可以包括 M 个频率间隔,其中,M 可以是 3、4、5、...,并且,接地中性检测器电路 16 可以在这 M 个间隔中的每一个中将所提取的 DC 分量与预定阈值进行比较。如果在这 M 个不同间隔中的至少 N 个间隔中超过预定阈值,其中 $N \leq M$,则接地中性检测器电路 16 可以在输出端子处生成第二检测信号 GNF,这使中断电路 18 将线路导体 L 开路,且从而中断 AC 电力系统。

[0068] 本领域普通技术人员将理解,备选地,多频接地中性检测器电路 16 可以利用具有指定量值 I_{ac} 和指定频谱的多频 AC 电流来驱动次级绕组 20,并可以监测次级绕组 20 两端的驱动电压 V_{ac} 。可以将所监测的驱动电压 V_{ac} 与驱动电流 I_{ac} 进行混频,并且可以在多个间隔中将所得到的输出信号的 DC 分量与预定阈值信号进行比较,如上所述。

[0069] 在根据本发明的备选示例性技术中,可以使用互相关技术来检测低阻抗接地中性故障 R_{G2N} 。这种技术可以有益于将多频负载电流 I_{ac} 与干扰加噪声区分开来,并可以降低对多频 AC 电压信号 V_{ac} 与检测到的负载电流 I'_{ac} 之间的相位差的灵敏度。

[0070] 在互相关技术中,将检测到的负载电流 I'_{ac} 与多频 AC 电压信号 V_{ac} 进行互相关,以产生互相关输出信号。例如,可以将负载电流 I'_{ac} 的数字样本与多频 AC 电压信号 V_{ac} 的数字样本进行互相关。如果互相关输出信号超过预定阈值,则接地中性检测器电路 16 可以在输出端子处生成第二检测信号 GNF,这使中断电路 18 将线路导体 L 开路,且从而中断 AC 电力系统。

[0071] 除了使用互相关技术以外,可以增加多频 AC 电压信号 V_{ac} 的频谱,这可以进一步改进检测性能。例如,图 3 示出了基本上以“啁啾(chirp)”信号的形式备选示例性多频 AC 电压信号 V_{ac} 。啁啾信号连续改变频率,并包含无穷多数目的频率。

[0072] 本领域普通技术人员将理解,可以使用其他类似技术和其他类似多频 AC 信号来将多频负载电流 I_{ac} 与不需要的干扰和 / 或噪声区分开来。

[0073] 再次参照图 1,在第二预定时间间隔 T2 之后,多频接地中性故障检测器电路 16 停止驱动次级绕组 20,并且接地电流故障检测器电路 14 重新开始监测在变压器 12 中流动的差动电流。该过程以迭代的方式重复,以便连续检测线路至地故障和低阻抗地至中性故障。

[0074] 本领域普通技术人员将理解,备选地,多频接地中性故障检测器电路 16 可以在连续的第二预定时间间隔 T2 期间利用不同 AC 信号频率来驱动次级绕组 20。例如,以下是可能的:

[0075]

第一 T1 间隔	接地电流故障检测器电路 14 监测在变压器 12 中流动的差动电流
第一 T2 间隔	多频接地中性故障检测器电路 16 利用频率 f_1 处的 AC 信号来驱动次级绕组 20
第二 T1 间隔	接地电流故障检测器电路 14 监测在变压器 12 中流动的差动电流

[0076]

第二 T2 间隔	多频接地中性故障检测器电路 16 利用频率 f_2 处的 AC 信号来驱动次级绕组 20
第三 T1 间隔	接地电流故障检测器电路 14 监测在变压器 12 中流动的差动电流
第三 T2 间隔	多频接地中性故障检测器电路 16 利用频率 f_3 处的 AC 信号来驱动次级绕组 20
...	...

[0077] 如上所述,中断电路 18 被用于将线路导体 L 开路,并且从而分别基于第一和第二检测信号 GCF 和 GNF 来中断 AC 电力系统。具体地,中断电路 18 具有:第一输入端子,其在源处耦合至线路导体 L;第二输入端子,其耦合至接地电流故障检测器电路 14 的输出端子和多频接地中性故障检测器电路 16 的输出端子;以及输出端子,其耦合至变压器 12 的线路导体 L 初级绕组。

[0078] 第一输入端子通常耦合至中断电路 18 的输出端子,除非第二输入端子处的信号具有预定值(例如高)。因此,如果 GCF 和 GNF 二者均为低,则源处的线路导体 L 耦合至变压器 12 的线路导体 L 初级绕组。如果 GCF 或 GNF 变为高(分别指示接地电流故障或接地中性故障),则源处的线路导体 L 从变压器 12 的线路导体 L 初级绕组断开。

[0079] 本领域普通技术人员将理解,备选地,中断电路 18 可以位于变压器 12 与负载(Load)之间。在这种备选实施例中,如果 GCF 和 GNF 二者均为低,则变压器 12 的线路导体 L 初级绕组在负载处耦合至线路导体 L。如果 GCF 或 GNF 变为高(分别指示接地电流故障或接地中性故障),则变压器 12 的线路导体 L 初级绕组在负载处从线路导体 L 断开。

[0080] 根据本发明的 GFCI 设备(诸如 GFCI 设备 10)可以在数字电路、模拟电路或者数字和模拟电路的组合中实现。现在参照图 4,描述使用数字电路实现的示例性 GFCI 设备 10a。GFCI 设备 10a 包括变压器 12、接地电流故障检测器电路 14a、多频接地中性故障检测器电路 16a 和中断电路 18a。

[0081] 示例性接地电流故障检测器电路 14a 包括缓冲器(或放大器)30(这里被称作“缓冲器/放大器 30”)、复用器(“MUX”)32、模拟到数字转换器(“ADC”)34、处理器 36 和控制器 38。控制器 38 可以是微处理器或其他类似控制器电路。缓冲器/放大器 30 具有耦合至次级绕组 20 的输入端子和耦合至 MUX 32 的第一输入端子 IN1 的输出端子。MUX32 具有

第二输入端子 IN2、耦合至控制器 38 的控制端子和耦合至 ADC34 的输入端子的输出端子。ADC 34 还具有耦合至控制器 38 的控制端子,并且具有耦合至处理器 36 的输入端子的输出端子。

[0082] 在第一预定时间间隔 T1 期间,控制器 38 对多频接地中性故障检测器电路 16a 进行去激活,驱动信号 V_{ac} 为 0,且检测到的负载电流 I'_{ac} 为 0。因此,缓冲器/放大器 30 的输出是所监测的次级电流 I_s ,其耦合至 MUX32 上的输入端子 IN1。控制器 38 将控制信号提供给 MUX 32,以将 IN 1 输入端选择为 MUX 32 的输出端。ADC 34 对经过缓冲(或放大)的次级电流 I_s 信号进行采样,并将与次级电流 I_s 相对应的数字计数提供给处理器 36。

[0083] 处理器 36 可以是微处理器集成电路或其他类似处理器。备选地,可以将 ADC 34 和处理器 36 组合到包括微处理器和模拟到数字转换器的单个设备(诸如,加利福尼亚的圣何塞的 Atmel Corporation 的 ATTINY461A 微控制器或者德克萨斯州的达拉斯的 Texas Instruments 组合公司的 MSP430s 微控制器)中。处理器 36 对转换后的 I_s 数据进行处理,以确定接地泄漏电流 I_{L2G} 是否超过第一预定阈值。

[0084] 如果接地泄漏电流 I_{L2G} 超过第一预定阈值,则处理器 36 将输出信号提供给控制器 38 以指示存在接地电流故障。控制器 38 进而将第一检测信号 GCF 提供给中断电路 18a。在所示的实施例中,中断电路 18a 包括晶闸管 60,该晶闸管 60 耦合至跳闸线圈 62 并具有耦合至控制器 38 的控制输入。中断电路 18a 还包括耦合至跳闸螺线管 62 的接触件 64。第一检测信号 GCF 使晶闸管 60 导通,这进而给跳闸螺线管 62 通电,并且使接触件 64 断开,并且从而中断 AC 电力系统。

[0085] 如前所述,在第一预定时间间隔 T1 期间,控制器 38 对多频接地中性故障检测器电路 16a 进行去激活。在第一预定时间间隔 T1 之后,控制器 38 在第二预定时间间隔 T2 内对多频接地中性故障检测器电路 16a 进行激活。

[0086] 具体地,多频接地中性故障检测器电路 16a 包括:数字信号发生器 40,其具有耦合至数字到模拟转换器(“DAC”)42 的输入端子的输出端子;第一低通滤波器(“LPF”)44,其具有耦合至 DAC 42 的输出端子的输入端子;驱动器 46,其具有耦合至 LPF 44 的输出端子的输入端子;混频器 48,其具有耦合至驱动器 46 的输出端的输入端子;第二 LPF 50,其具有耦合至混频器 48 的输出端子的输入端子;以及 MUX 32,其具有耦合至 LPF 50 的输出端的第二输入端子 IN2。多频接地中性故障检测器电路 16a 还包括上述 ADC 34、处理器 36 和控制器 38。

[0087] 在第一预定时间间隔 T1 之后,控制器 38 接通数字信号发生器 40,该数字信号发生器 40 将数字数据提供给 DAC 42 以生成具有指定量值和频谱的模拟输出信号。根据本发明,数字信号发生器 40 和 DAC 42 可以用于生成多频 AC 信号,诸如,图 2 的示例性多频输出信号 V_{ac} 。

[0088] DAC 42 的输出由 LPF 44 进行平滑,该 LPF 44 提供多频输出信号 V'_{ac} 。驱动器 46 接收输出信号 V'_{ac} ,并利用多频输出信号 V_{ac} 来驱动次级绕组 20,该多频输出信号 V_{ac} 与 V'_{ac} 基本上相等。在图 4 的示例性实施例中,多频接地中性故障检测器电路 16a 利用多频 AC 电压 V_{ac} 来驱动次级绕组 20,并监测由次级绕组 20 引导的检测到的负载电流 I'_{ac} 。

[0089] 具体地,驱动器 46 可以包括电流镜像,该电流镜像提供与检测到的负载电流 I'_{ac} 基本上相等的镜像负载电流 I''_{ac} 。混频器 48 将镜像负载电流 I''_{ac} 与多频输出信号 V'_{ac} 进行混频,以

提供由 LPF 50 滤波的混频输出信号。

[0090] 混频器 48 可以是任何传统混频器电路。例如,混频器 48 可以是开关全波整流器混频器,诸如,图 5 所示的示例性开关全波整流器混频器 48a。具体地,混频器 48a 包括放大器,其具有分别为输入端 A (INPUT A) 和输入端 B (INPUT B) 的反相和非反相输入端子。镜像负载电流 I_{ac}'' 可以耦合至输入端 A 和输入端 B,并且备选地,开关可以在多频输出信号 V_{ac}' 的过零处切换反相和非反相输入端。本领域普通技术人员将理解,可以使用其他混频器电路。

[0091] 再次参照图 4,多频 AC 输出信号 V_{ac}' 和镜像负载电流 I_{ac}'' 中的每一个包括三个间隔,在每个间隔中具有对应的唯一频率 f_1 、 f_2 和 f_3 。如果干扰信号 I_{int} 具有频率 f_{int} ,以及如果将镜像负载电流 I_{ac}'' 与多频 AC 电压信号 V_{ac}' 进行混频,并假定在 AC 电压信号 V_{ac}' 与镜像负载电流 I_{ac}'' 之间没有相位延迟,那么所得到的三间隔混频输出信号具有以下频率分量:

[0092] 表 2:混频输出信号频率分量

[0093]

间隔	V_{ac}'	I_{ac}''	$V_{ac}' \times I_{ac}''$
----	-----------	------------	---------------------------

[0094]

1	f_1	f_1+f_{int}	$DC+2f_1+(f_1+f_{int})+(f_1-f_{int})$
2	f_2	f_2+f_{int}	$DC+2f_2+(f_2+f_{int})+(f_2-f_{int})$
3	f_3	f_3+f_{int}	$DC+2f_3+(f_3+f_{int})+(f_3-f_{int})$

[0095] 因此,在每个间隔,混频输出信号包括 DC 分量,加上更高频率分量。

[0096] 混频器 48 的输出由低通滤波器 50 滤波。如果 LPF 50 具有比表 2 中的差频中的任一个更小很多的带宽,以及如果 f_{int} 不等于 f_1 、 f_2 或 f_3 ,则 LPF 50 的输出 DC_{out} 等于每个间隔中的 DC 分量,如以上在等式 (6) 中阐述。 DC_{out} 耦合至 MUX 32 的第二输入端 IN2。

[0097] 在第二预定时间间隔 T2 期间,控制器 38 将控制信号提供给 MUX 32 以将 IN2 输入端选择为 MUX 32 的输出端。ADC 34 对 DC_{out} 进行采样并将与 DC_{out} 相对应的数字计数提供给处理器 36。处理器 36 对转换后的 DC_{out} 数据进行处理,以确定在 M 个间隔中的至少 N 个间隔(例如,3 个间隔中的至少 2 个间隔)中混频器输出的 DC 分量是否超过预定值(指示 R_{G2N} 已经降至第二预定阈值以下)。

[0098] 如果在 M 个间隔中的至少 N 个间隔中 DC_{out} 超过预定值,则处理器 36 将输出信号提供给控制器 38 以指示存在接地中性故障。控制器 38 进而将第二检测信号 GNF 提供给中断电路 18a。第二检测信号 GNF 使晶闸管 60 导通,这进而给跳闸螺线管 62 通电,并且使接触件 64 断开,且从而中断 AC 电力系统。

[0099] 在第二预定时间间隔 T2 之后,控制器 38 关断数字信号发生器 40,并且接地电流故障检测器电路 14 重新开始监测在变压器 12 中流动的差动电流。该过程以迭代的方式重复,以便连续检测线路至地故障和低阻抗地至中性故障。

[0100] 如前所述,备选地,根据本发明的 GFCI 设备可以使用模拟电路而实现。现在参照图 6,描述使用模拟电路实现的示例性 GFCI 设备 10b。GFCI 设备 10b 包括变压器 12、接地电流故障检测器电路 14b、多频接地中性故障检测器电路 16b、中断电路 18a 和受控开关 94。

变压器 12 具有次级绕组 20, 该次级绕组 20 具有 N_{sa} 匝的第一抽头输出端 20a 和 N_{sb} 匝的第二抽头输出端 20b。

[0101] 示例性接地电流故障检测器电路 14b 包括缓冲器 (或放大器) 30 (这里被称作“缓冲器 / 放大器 30”), 该缓冲器 (或放大器) 30 具有通过受控开关 94 耦合至次级绕组 20 的输入端子, 并且示例性接地电流故障检测器电路 14b 具有耦合至 LPF 54 的输入端子的输出端子。LPF 54 具有耦合至峰值检测器 60 的输入端子的输出端子, 该峰值检测器 60 具有耦合至比较器 62 的输入端子的输出端子。比较器 62 具有耦合至晶闸管 60 的输入端子的输出端子。

[0102] 在第一预定时间间隔 T1 期间, 定时器电路 (控制器 / 定时器 64, 以下描述) 闭合受控开关 94, 并对多频接地中性故障检测器电路 16b 进行去激活。由此, 驱动信号 V_{ac} 为 0, 并且检测到的负载电流 I'_{ac} 为 0。因此, 缓冲器 / 放大器 30 的输出是所监测的次级电流 I_s , 其由 LPF 54 进行平滑, 并且经过平滑的次级电流 I_s 信号耦合至峰值检测器 60 的输入。峰值检测器 60 提供与次级电流 I_s 的峰值相等的 DC 输出电压。峰值检测器输出是作为去到比较器 62 的输入而提供的。

[0103] 比较器 62 提供以下输出信号: 如果峰值次级电流 I_s 具有超过第一预定阈值除以 N_{sa} 的值 (即, 如果接地泄漏电流 I_{L2G} 超过第一预定阈值), 则该输出信号改变状态 (例如从低切换至高)。因此, 比较器 62 将第一检测信号 GCF 提供给中断电路 18a。第一检测信号 GCF 使晶闸管 60 导通, 这进而给跳闸螺线管 62 通电, 并且使接触件 64 断开, 且从而中断 AC 电力系统。

[0104] 如前所述, 在第一预定时间间隔 T1 期间, 多频接地中性故障检测器电路 16b 是不活动的。在第一预定时间间隔 T1 之后, 接地电流故障检测器电路 14b 是不活动的, 并且多频接地中性故障检测器电路 16b 在第二预定时间间隔 T2 是活动的。

[0105] 具体地, 多频接地中性故障检测器电路 16b 包括差动放大器 80、混频器 48、LPF 50、比较器 86、跳闸积分器 88、跳闸比较器 90、控制器 / 定时器 64、AC 信号发生器 66、可编程除法器 68、相位比较器 70、环路滤波器 72、驱动器 46、感测电阻器 R_{SENSE} 和电容器 C_R 。在第一预定时间间隔 T1 之后, 控制器 / 定时器 64 断开受控开关 94, 这有效地对接地电流故障检测器电路 14b 进行去激活并对 AC 源 66 进行激活。

[0106] AC 源 66 可以是将多频 AC 信号 (例如 AC 电压或 AC 电流) 提供给驱动器 46 的振荡器。AC 源 66 可以生成正弦信号, 或者备选地可以生成非正弦波形, 如方波、斜波 (ramp) 或其他类似波形。

[0107] 根据本发明, AC 源 66 生成具有指定量值和指定频谱的多频 AC 信号。具体地, 控制器 / 定时器 64 可以将可编程除法器 68、相位比较器 70、环路滤波器 72 和 AC 源 66 编程为产生具有指定间隔处的指定信号频率的多频 AC 信号。

[0108] 在图 6 所示的实施例中, AC 源 66 将多频 AC 电压信号 V'_{ac} 提供给驱动器 46, 该驱动器 46 将多频 AC 输出信号 V_{ac} (例如, 图 2 的示例性三间隔 AC 信号 V_{ac}) 提供给次级绕组 20 的第二抽头输出端 20b。因此, 在第二预定时间间隔 T2 期间, 多频接地中性故障检测器电路 16b 利用多频 AC 电压信号 V_{ac} 来驱动次级绕组 20。

[0109] 差动放大器 80 测量感测电阻器 R_{SENSE} 两端的电压, 以检测由驱动器 46 供给的负载电流 $I'_{ac} \cdot R_{SENSE}$ 可以具有约 1 与 10 欧姆之间的值, 然而根据次级绕组的匝数、驱动器、以及检

测电路的灵敏度,可以使用其他电阻值。差动放大器 80 将输出感测负载电流 I_{ac}'' 提供给混频器 48。混频器 48(诸如,图 5 的示例性混频器 48a) 将感测负载电流 I_{ac}'' 与多频 AC 电压信号 V_{ac}' 进行混频。

[0110] 多频 AC 输出信号 V_{ac}' 和感测负载电流 I_{ac}'' 中的每一个包括三个间隔,在每个间隔中具有对应的唯一频率 f_1 、 f_2 和 f_3 。如果干扰信号 I_{int} 具有频率 f_{int} ,以及如果将感测负载电流 I_{ac}'' 与多频 AC 电压信号 V_{ac}' 进行混频,并假定在 AC 电压信号 V_{ac}' 与感测负载电流 I_{ac}'' 之间没有相位延迟,那么所得到的三间隔混频输出信号具有以下频率分量:

[0111] 表 3:混频输出信号频率分量

[0112]

间隔	V_{ac}'	I_{ac}''	$V_{ac}' \times I_{ac}''$
1	f_1	f_1+f_{int}	$DC+2f_1+(f_1+f_{int})+(f_1-f_{int})$
2	f_2	f_2+f_{int}	$DC+2f_2+(f_2+f_{int})+(f_2-f_{int})$
3	f_3	f_3+f_{int}	$DC+2f_3+(f_3+f_{int})+(f_3-f_{int})$

[0113] 因此,在每个间隔,混频输出信号包括 DC 分量,加上更高频率分量。

[0114] 混频器 48 的输出由低通滤波器 50 滤波。如果 LPF 50 具有比表 2 中的差频中的任一个更小许多的带宽,以及如果 f_{int} 不等于 f_1 、 f_2 或 f_3 ,则 LPF 50 的输出 DC_{out} 等于每个间隔中的 DC 分量,如以上在等式 (6) 中阐述。 DC_{out} 耦合至比较器 86、跳闸积分器 88 和跳闸比较器 90。

[0115] 比较器 86 提供以下输出信号:如果 DC_{out} 超过预定值(指示 R_{G2N} 已经降至第二预定阈值以下),则该输出信号改变状态(例如从低切换至高)。跳闸积分器 88 累积比较器 86 的输出,并且跳闸比较器 90 将累积输出与预定阈值进行比较。如果在 M 个间隔中的至少 N 个间隔(例如 3 个间隔中的至少 2 个间隔)中 DC_{out} 超过预定值,则跳闸比较器 90 将第二检测信号 GNF 提供给中断电路 18a。第二检测信号 GNF 使晶闸管 60 导通,这进而给跳闸螺线管 62 通电,并且使接触件 64 断开,并且从而中断 AC 电力系统。

[0116] 根据本发明的方法和装置还可以与双变压器 GFCI 设备一起使用。具体地,现在参照图 7,描述根据本发明的另一备选示例性 GFCI 设备 100。GFCI 设备 100 包括第一变压器 12、接地电流/接地中性故障检测器电路 14、多频信号驱动器电路 24、中断电路 18 和第二变压器 26。第二变压器 26 具有环形磁芯和次级绕组 28。本领域普通技术人员将理解,可以使用其他变压器。

[0117] 中性导体 N 经过第二变压器 26 的作为单匝初级绕组的环形磁芯。本领域普通技术人员将理解,备选地,中性导体 N 可以被配置为第二变压器 26 的多匝初级绕组。

[0118] 次级绕组 20 耦合至接地电流/接地中性故障检测器电路 22 的输入端子。根据本发明,GFCI 设备 100 通过监测第一变压器 12 的次级绕组 20 处的信号来检测负载处的线路至地故障(被指示为 R_{L2G}) 和负载处的低阻抗地至中性故障(被指示为 R_{G2N})。

[0119] 具体地,流经线路至地故障 R_{L2G} 的接地泄漏电流 I_{L2G} 产生经过第一变压器 12 的差动电流。该差动电流使次级绕组 20 引导电流 I_s ,该电流 I_s 与接地泄漏电流 I_{L2G} 乘以次级绕

组 20 上的匝数 N_{sa} 的倒数相关：

$$[0120] \quad I_s = \frac{I_{L2G}}{N_{sa}} \quad (7)$$

[0121] 因此,通过监测次级电流 I_s 并知道匝数比 N_{sa} ,可以根据等式 (7) 确定接地泄漏电流 I_{L2G} 。

[0122] 此外,可以通过以下操作来确定低阻抗地至中性故障 R_{G2N} :利用多频 AC 信号 (例如电压或电流) 驱动第二变压器 26 的次级绕组 28,并监测第一变压器 12 的次级绕组 20 处的对应负载信号 (例如电流或电压)。

[0123] 低阻抗地至中性故障 R_{G2N} 表现为次级绕组 28 处的相对较低的阻抗。具体地,假定 R_{L2G} 比 R_{G2N} 更大很多,那么变压器 26 的阻抗 Z_{sb} 针对次级而表现为：

$$[0124] \quad Z_{sb} = N_{sb}^2 R_{G2N} \quad (8)$$

[0125] 因此,如果利用多频 AC 电压 V_{ac} 来驱动次级绕组 28,则驱动次级绕组 28 所需的负载电流 I_{ac} 是：

$$[0126] \quad I_{ac} = \frac{V_{ac}}{Z_{sb}} \quad (9)$$

[0127] 该负载电流磁耦合至中性导体 N 中。具体地,中性导体 N 引导电流 I_n ,该电流 I_n 与负载电流 I_{ac} 乘以次级绕组 28 上的匝数相关：

$$[0128] \quad I_n = N_{sb} I_{ac} = N_{sb} \left(\frac{V_{ac}}{Z_{sb}} \right) = \frac{V_{ac}}{N_{sb} R_{G2N}} \quad (10)$$

[0129] 中性电流 I_n 通过第一变压器 12 磁耦合至次级绕组 20。具体地,次级绕组 20 引导电流 I_s ,该电流 I_s 与中性电流 I_n 乘以次级绕组 20 上的匝数 N_{sa} 的倒数相关：

$$[0130] \quad I_s = \frac{I_n}{N_{sa}} = \frac{V_{ac}}{N_{sa} N_{sb} R_{G2N}} \quad (11)$$

[0131] 因此,通过监测次级电流 I_s 并知道匝数比 N_{sa} 和 N_{sb} ,可以根据等式 (11) 计算 R_{G2N} 。

[0132] 根据本发明,接地电流 / 接地中性检测器电路 22 通过监测第一变压器 12 中的差动电流来检测接地泄漏电流 I_{L2G} 。具体地,在第一预定时间间隔 T1,接地电流 / 接地中性检测器电路 22 监测次级绕组 20 中的电流 I_s 。第一预定时间间隔 T1 可以是约 100 毫秒,更一般地,在约 1 与 560 毫秒之间,尽管可以使用其他时间间隔。通过监测次级电流 I_s ,并知道匝数比 N_{sa} ,可以根据等式 (7) 确定接地泄漏电流 I_{L2G} 。

[0133] 因此,如果所监测的次级电流 I_s 指示接地泄漏电流 I_{L2G} 已经超过第一预定值,则接地电流 / 接地中性检测器电路 22 在输出端子处生成检测信号 GCF/GNF,这使中断电路 18 将线路导体 L 开路,并且从而中断 AC 电力系统,如上所述。

[0134] 在第一预定时间间隔 T1 之后,多频信号驱动器电路 24 在第二预定时间间隔 T2 内利用多频 AC 信号来驱动第二变压器 26 的次级绕组 28,以监测低阻抗地至中性故障 R_{G2N} 。第二预定时间间隔 T2 可以是约 5 毫秒,更一般地在约 0.1 与 17 毫秒之间,尽管可以使用其他持续时间。例如,在第二预定时间间隔 T2,多频信号驱动器电路 24 利用具有指定量值和指定频谱的多频 AC 电压 (诸如,图 2 和 3 的示例性信号) 来驱动次级变压器 28。

[0135] 例如,如果使用图 2 的示例性多频 AC 电压信号 V_{ac} 来驱动次级绕组 28,则变压器 12 的多频 AC 电压信号 V_{ac} 、负载电流 I_{ac} 和次级电流 I_s 中的每一个将包括三个间隔,在每个

间隔中具有对应的唯一频率 f_1 、 f_2 和 f_3 。如果干扰信号 I_{int} 具有频率 f_{int} ，以及如果将检测到的次级电流 I_s 与多频 AC 电压信号 V_{ac} 进行混频（例如复用），并假定在 AC 电压信号 V_{ac} 与检测到的次级电流 I_s 之间没有相位延迟，那么所得到的三间隔混频输出信号具有以下频率分量：

[0136] 表 4：混频输出信号频率分量

[0137]

间隔	V_{ac}	I_s	$V_{ac} \times I_s$
1	f_1	$f_1 + f_{int}$	$DC + 2f_1 + (f_1 + f_{int}) + (f_1 - f_{int})$
2	f_2	$f_2 + f_{int}$	$DC + 2f_2 + (f_2 + f_{int}) + (f_2 - f_{int})$
3	f_3	$f_3 + f_{int}$	$DC + 2f_3 + (f_3 + f_{int}) + (f_3 - f_{int})$

[0138] 因此，在每个间隔，混频输出信号包括 DC 分量，加上更高频率分量。如果 f_{int} 不等于 f_1 、 f_2 或 f_3 ，则每个间隔中的 DC 分量等于：

[0139]

$$DC \text{ 分量} = \frac{1}{2} \frac{1}{(N_{sa} N_{sb} R_{G2N})} \quad (12)$$

[0140] 如果间隔中的 DC 分量超过预定阈值信号（指示 R_{G2N} 小于第二预定阈值），则可以存在低阻抗地至中性故障。为了避免在 f_{int} 接近于 f_1 、 f_2 或 f_3 中的一个或多个的情况下可能产生的错误肯定，可以针对所有三个间隔执行该比较。如果在这三个间隔中的至少两个中 DC 分量超过预定阈值，则接地电流 / 接地中性故障检测器电路 22 在输出端子处生成检测信号 GCF/GNF，这使中断电路 18 将线路导体 L 开路，并且从而中断 AC 电力系统，如上所述。

[0141] 一般地，AC 电压信号 V_{ac} 可以包括 M 个频率间隔，其中，M 可以是 3、4、5、……，并且，接地电流 / 接地中性故障检测器电路 22 可以在这 M 个间隔中的每一个中将所提取的 DC 分量与预定阈值进行比较。如果在这 M 个不同间隔中的至少 N 个间隔中超过预定阈值，其中 $N \leq M$ ，则接地电流 / 接地中性故障检测器电路 22 可以在输出端子处生成检测信号 GCF/GNF，这使中断电路 18 将线路导体 L 开路，并且从而中断 AC 电力系统。

[0142] 本领域普通技术人员将理解，备选地，可以使用互相关技术来检测低阻抗接地中性故障 R_{G2N} ，如上所述。

[0143] GFCI 设备 100 可以在数字电路、模拟电路或者数字和模拟电路的组合中实现。现在参照图 8，描述使用数字电路实现的示例性 GFCI 设备 100a。GFCI 设备 100a 包括变压器 12、接地电流 / 接地中性故障检测器电路 22a、多频信号驱动器电路 24a 和中断电路 18a。

[0144] 示例性接地电流 / 接地中性故障检测器电路 22a 包括缓冲器 / 放大器 30、开关全波整流器混频器 48a、LPF 54、ADC 34、处理器 36 和控制器 38。在第一预定时间间隔 T1 期间，控制器 38 对多频信号驱动器电路 24a 进行去激活，驱动信号 V_{ac} 为 0，并且负载电流 I_{ac} 为 0。因此，缓冲器 / 放大器 30 的输出是所监测的次级电流 I_s ，其经过全波整流器混频器 48a，由 ADC 34 采样，并且然后由处理器 36 处理，以确定接地泄漏电流 I_{L2G} 是否超过第一预

定阈值。如果接地泄漏电流 I_{L2c} 超过第一预定阈值,则处理器 36 将输出信号提供给控制器 38 以指示存在接地电流故障。控制器 38 进而将检测信号 GCF/GNF 提供给中断电路 18a 以中断 AC 电力系统。

[0145] 在第一预定时间间隔 T1 之后,控制器 38 在第二预定时间间隔 T2 内对多频信号驱动器电路 24a 进行激活。多频信号驱动器电路 24a 包括数字信号发生器 40、DAC 42、LPF 44 和驱动器 46。在第一预定时间间隔 T1 之后,控制器 38 接通数字信号发生器 40,该数字信号发生器 40 将数字数据提供给 DAC 42 以生成具有指定量值和频谱的模拟输出信号。

[0146] 根据本发明,数字信号发生器 40 和 DAC 42 可以用于生成多频 AC 信号,诸如,图 2 的示例性多频输出信号 V_{ac} 。驱动器 46 利用多频 AC 电压 V_{ac} 来驱动第二变压器 26 的次级绕组 28,并且,接地电流 / 接地中性故障检测器电路 22a 检测次级电流 I_s ,将其与多频输出信号 V_{ac} 进行混频,并且然后处理混频信号,以确定在 M 个间隔中的至少 N 个间隔(例如,3 个中的 2 个)中 DC 分量是否超过预定阈值。如果是,则接地电流 / 接地中性故障检测器电路 22a 在输出端子处生成检测信号 GCF/GNF,这使中断电路 18a 将线路导体 L 开路,并且从而中断 AC 电力系统。

[0147] 如前所述,本发明的备选示例性实施例使用互相关技术来检测低阻抗接地中性故障 R_{G2N} 。在图 9 和 10 中图示了根据本发明的利用这种互相关技术的示例性 GFCI 设备。

[0148] 具体地,图 9 图示了与图 4 的 GFCI 设备 10a 类似但不包括混频器 48 的示例性单变压器 GFCI 设备 10c。在 GFCI 设备 10c 中,在第二间隔 T2 期间,处理器 36 将镜像负载电流 I_{ac}'' 的样本与多频 AC 电压信号 V_{ac} 的样本进行互相关,以产生互相关输出信号。如果互相关输出信号超过预定阈值,则处理器 36 将输出信号提供给控制器 38 以指示存在低阻抗接地中性故障。控制器 38 进而将第二检测信号 GNF 提供给中断电路 18a。

[0149] 图 10 图示了与图 8 的 GFCI 设备 100a 类似但不包括 FWR 混频器 48a 的示例性双变压器 GFCI 设备 100b。在 GFCI 设备 100b 中,在第二间隔 T2 期间,处理器 36 将检测到的次级电流 I_s 的样本与多频 AC 电压信号 V_{ac} 的样本进行互相关,以产生互相关输出信号。如果互相关输出信号超过预定阈值,则处理器 36 将输出信号提供给控制器 38 以指示存在低阻抗接地中性故障。控制器 38 进而将检测信号 GCF/GNF 提供给中断电路 18a。

[0150] 以上仅说明了本发明的原理,并且在不脱离本发明的范围和精神的情况下,本领域普通技术人员可以进行各种修改。

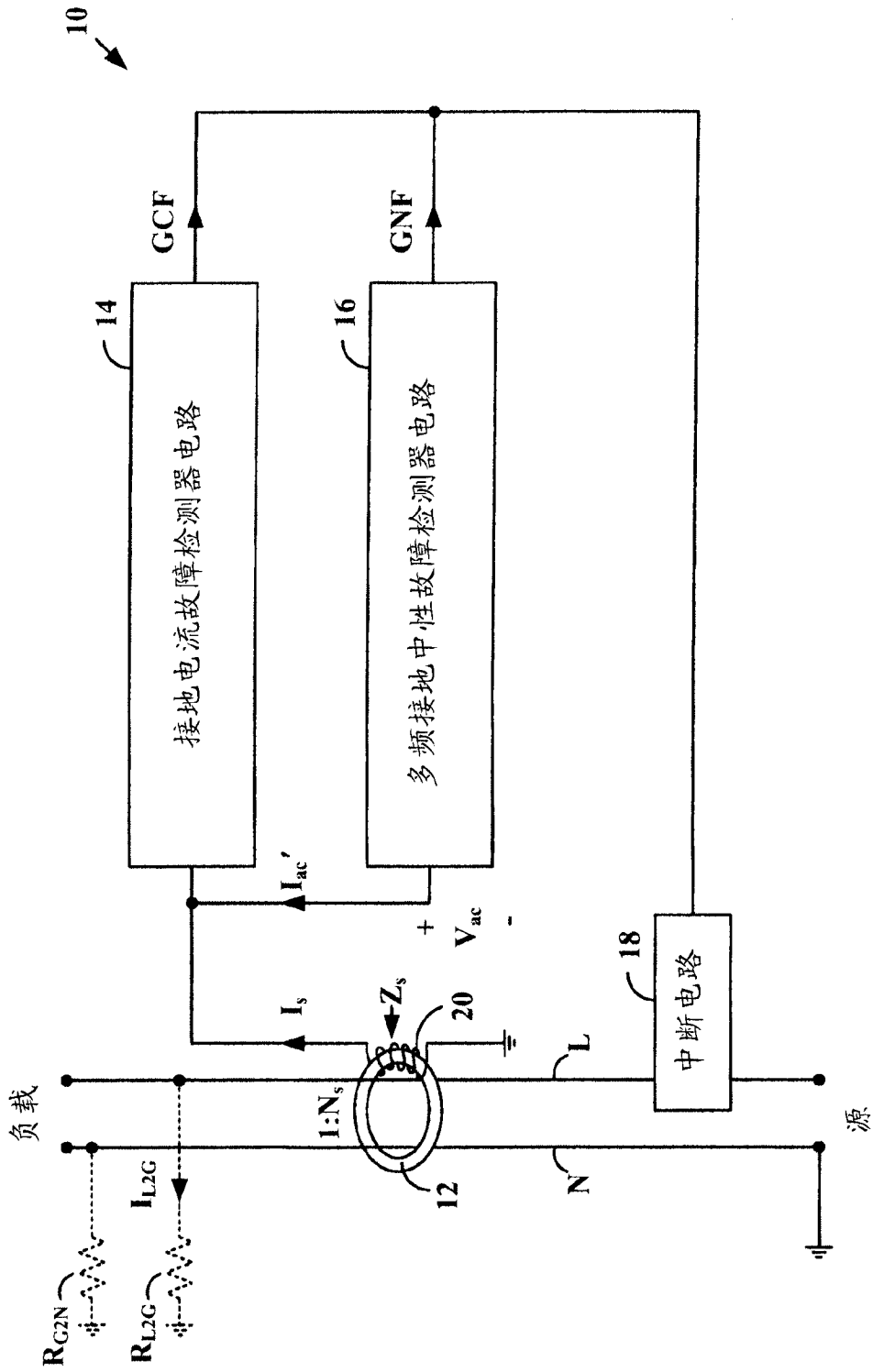


图 1

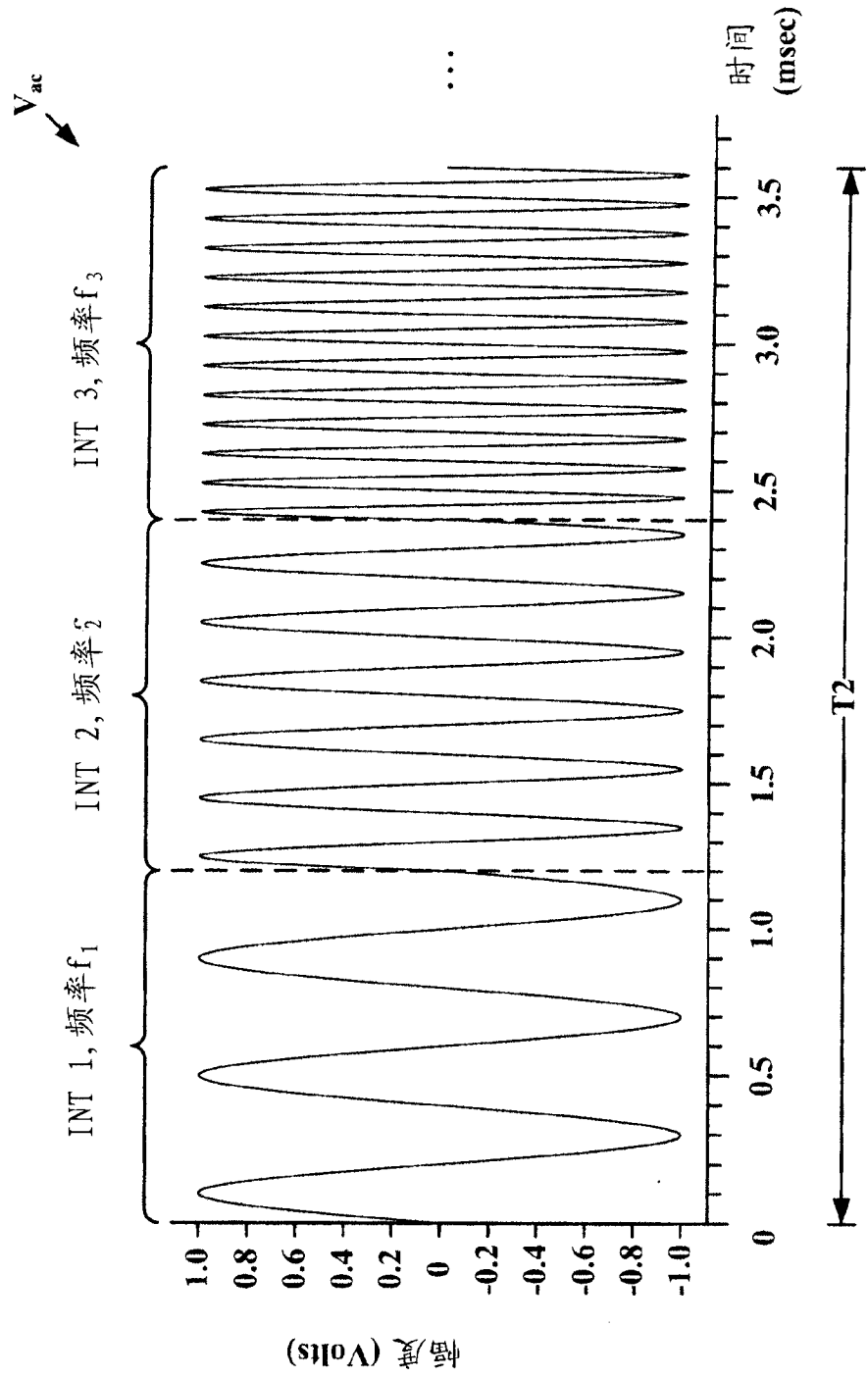


图 2

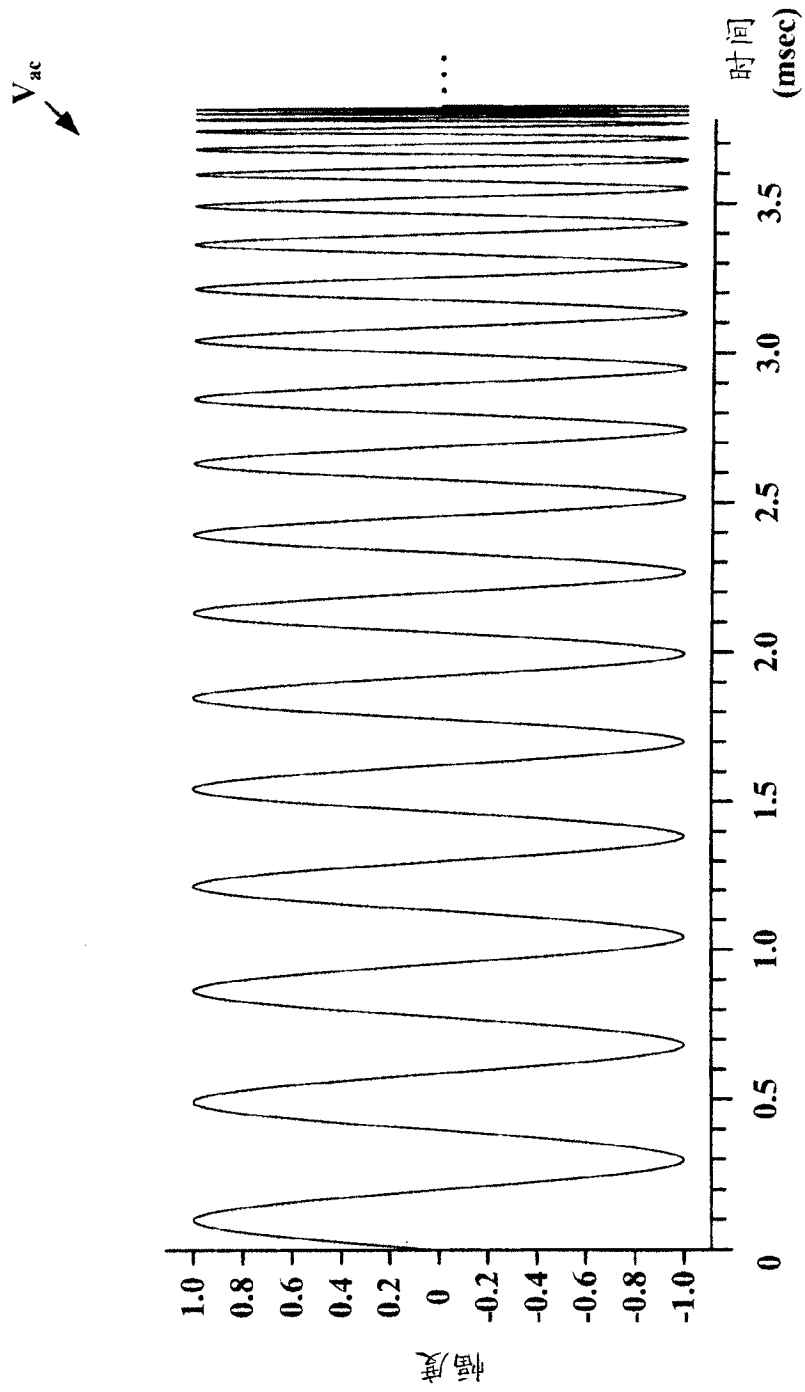


图 3

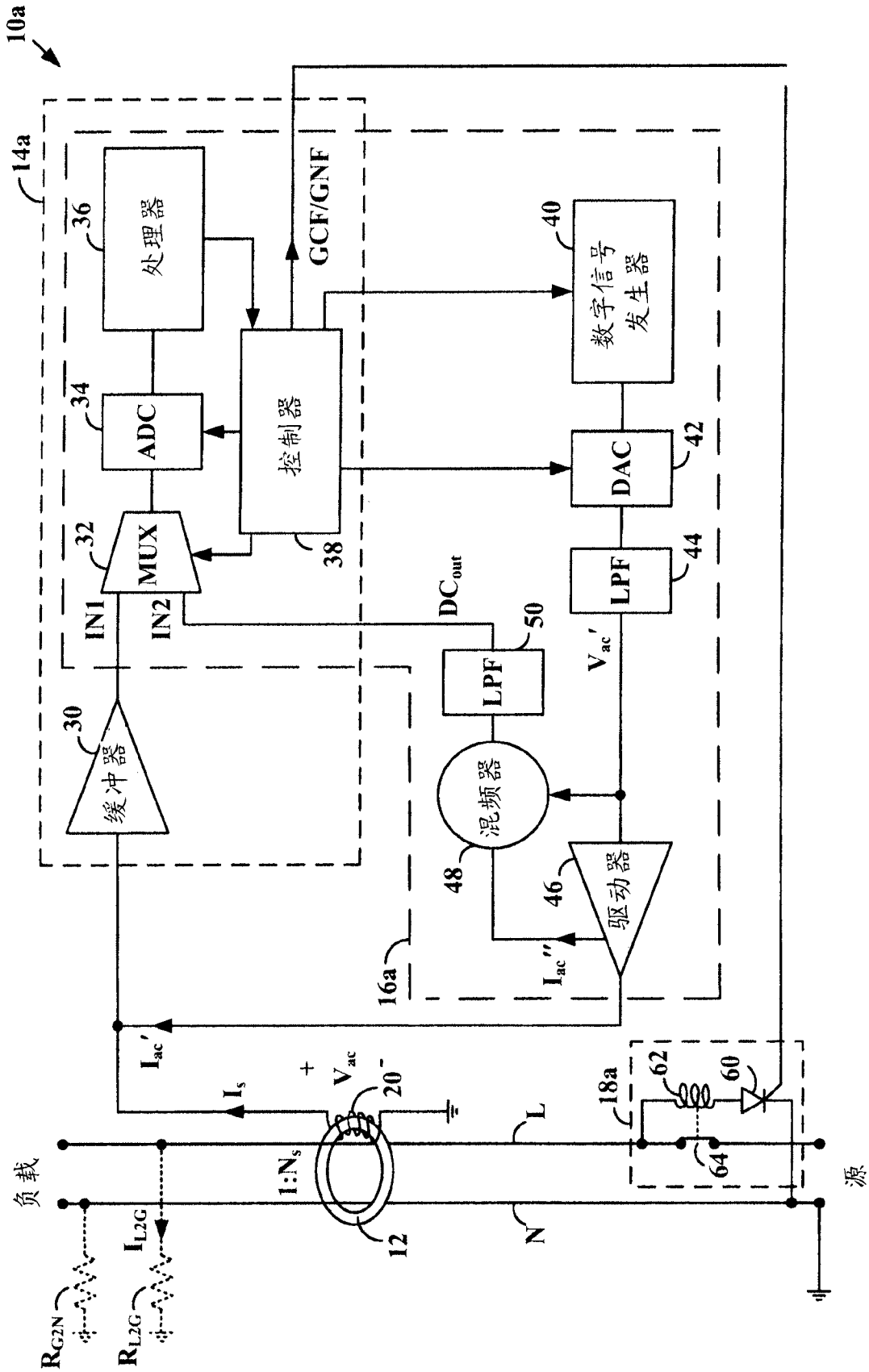


图 4

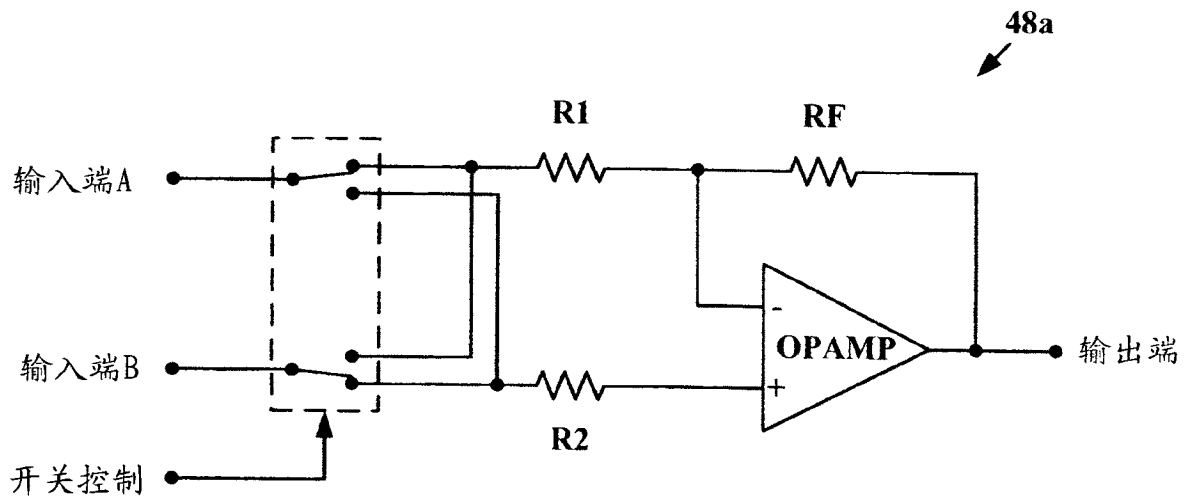


图 5

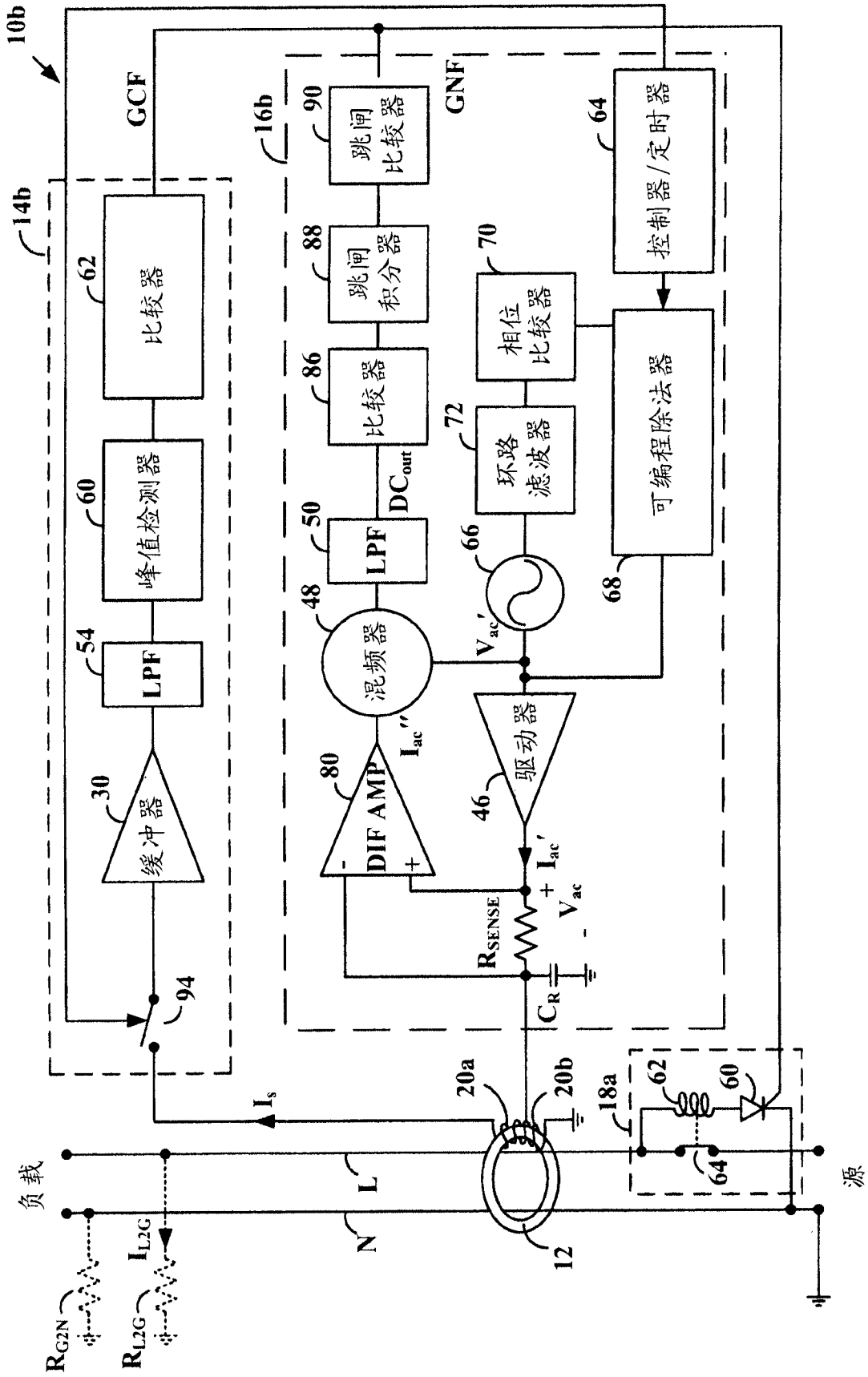


图 6

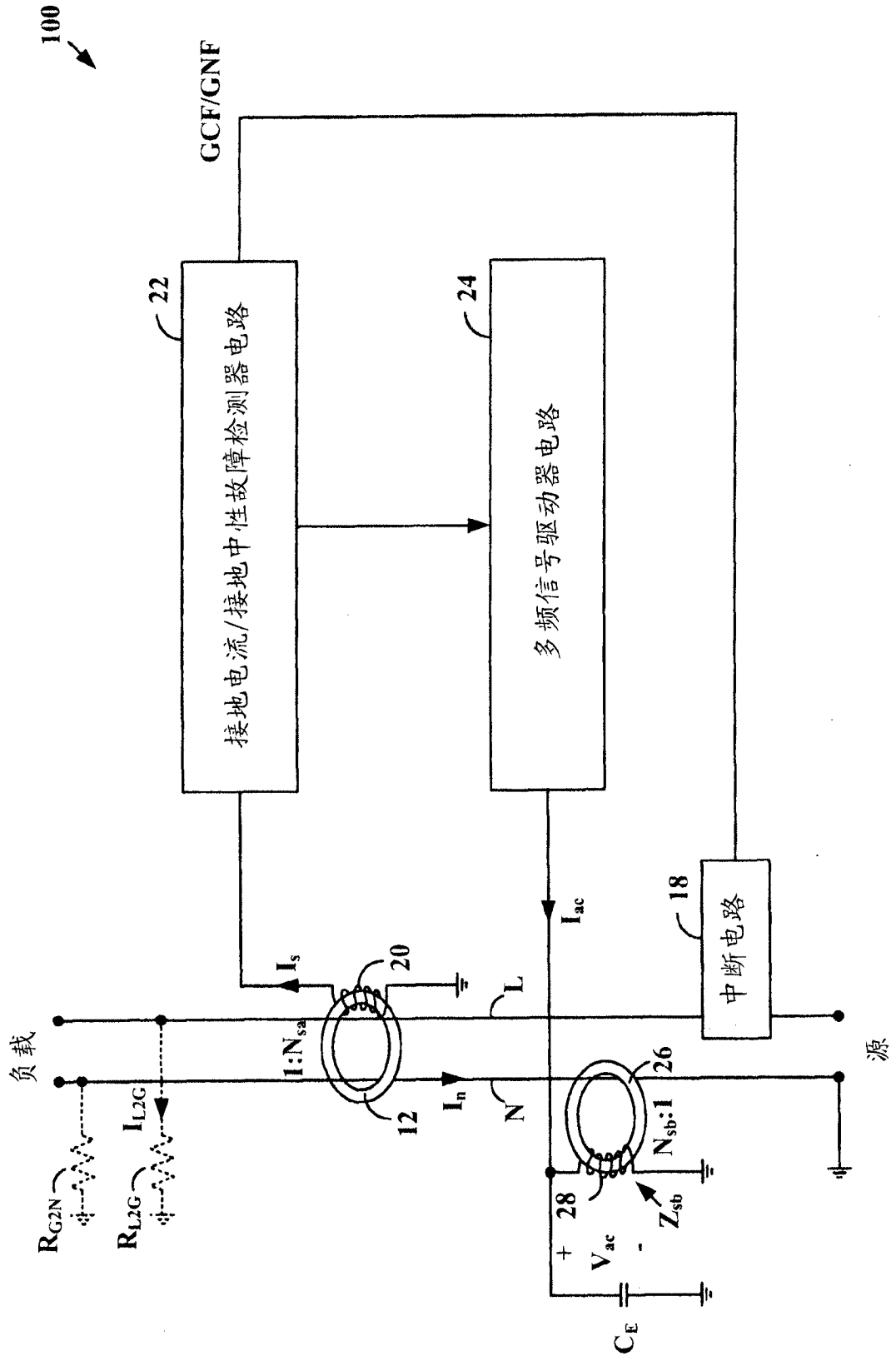


图 7

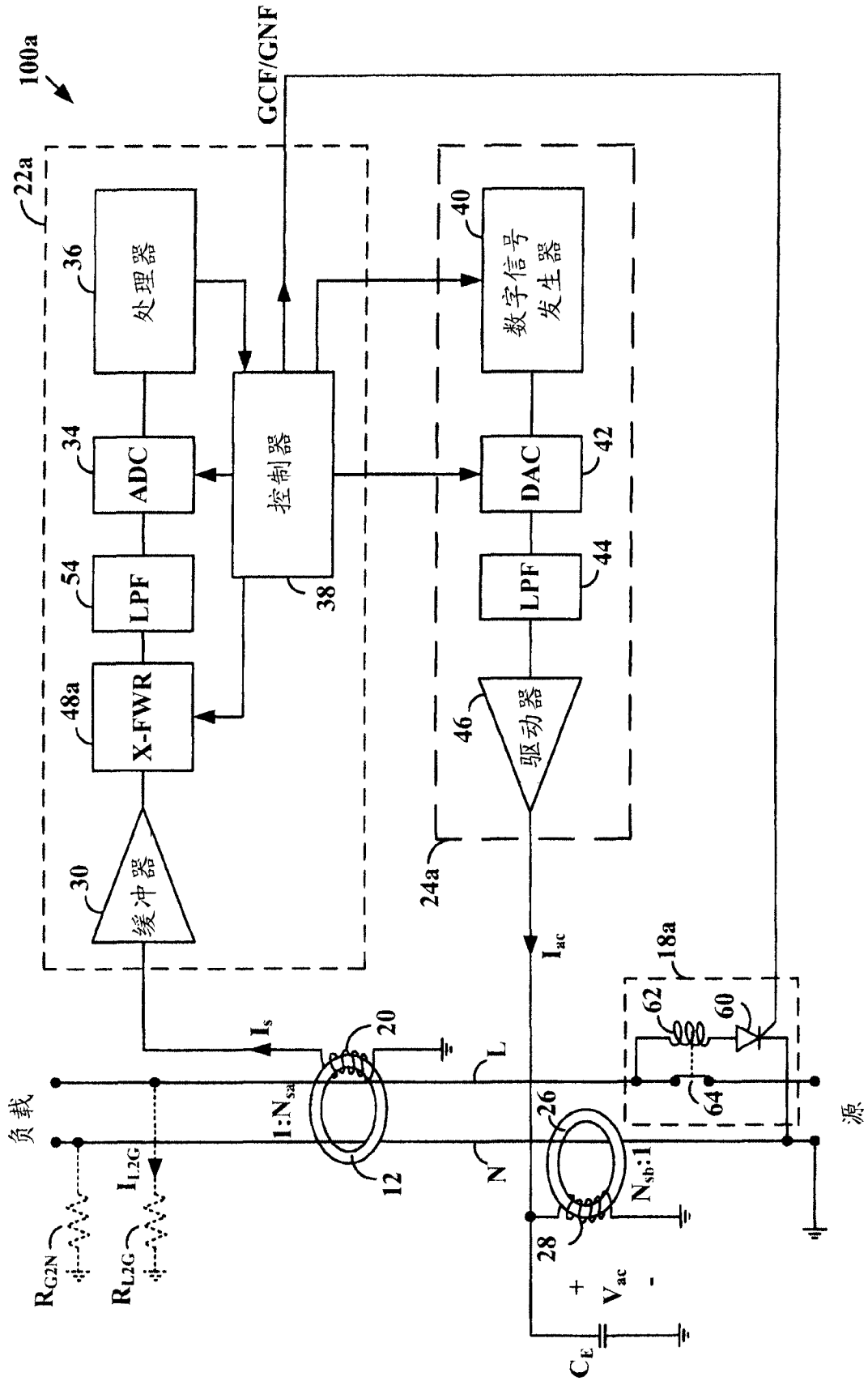


图 8

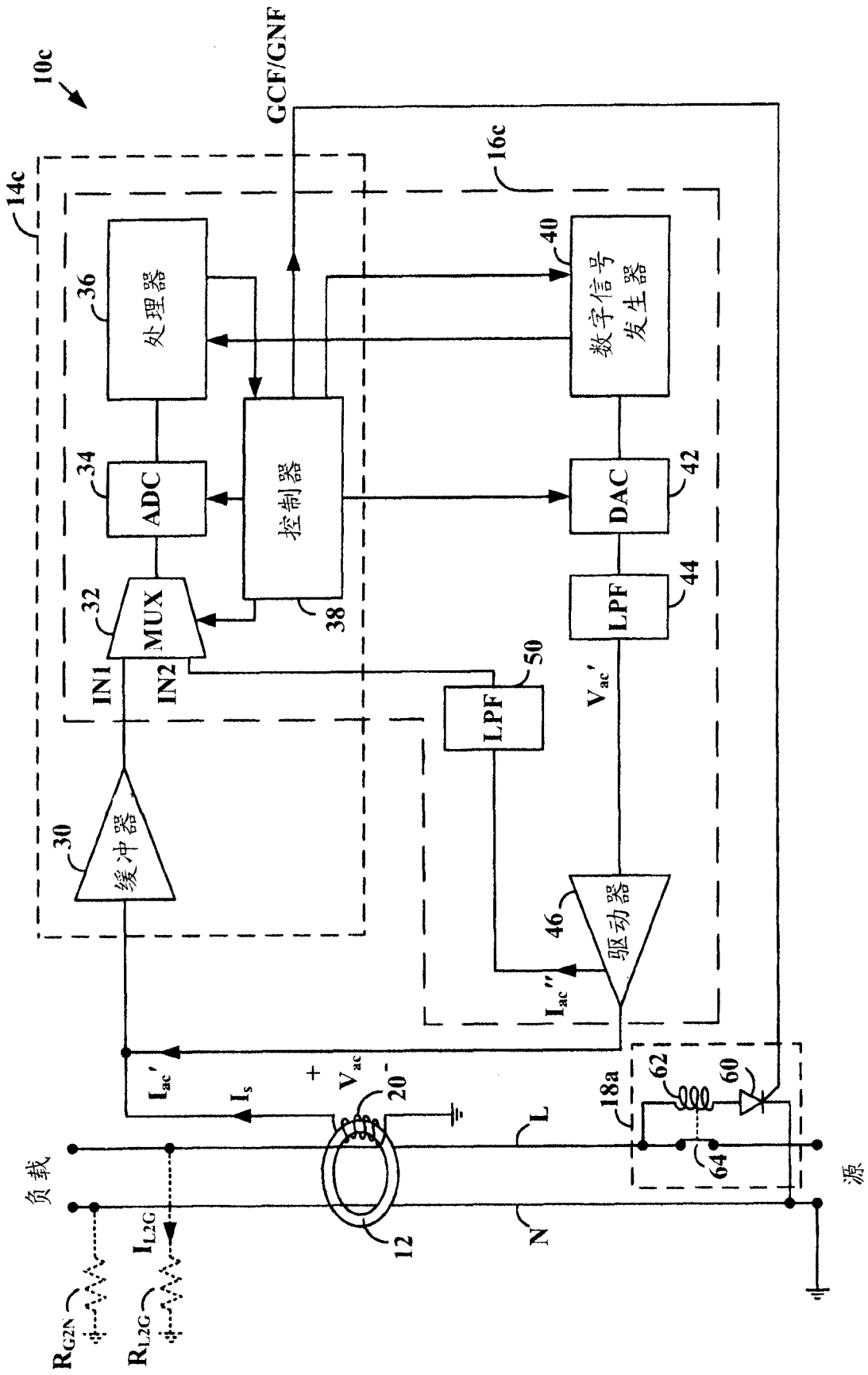


图 9

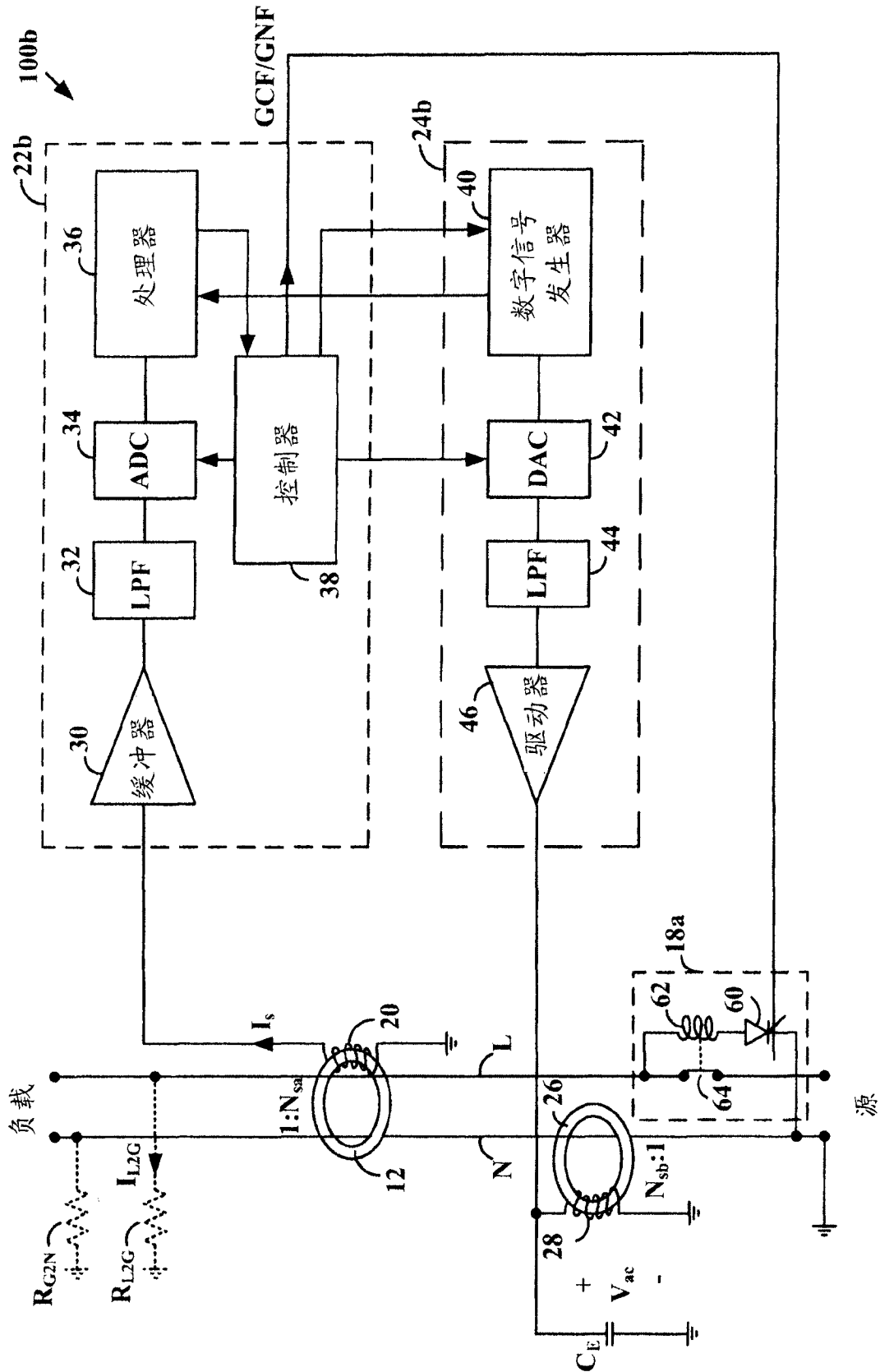


图 10