



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102422174 B

(45) 授权公告日 2014. 06. 18

(21) 申请号 201080020584. 9

(22) 申请日 2010. 05. 10

(30) 优先权数据

09159946. 4 2009. 05. 11 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2011. 11. 11

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/IB2010/052059 2010. 05. 10

(87) PCT国际申请的公布数据

W02010/131187 EN 2010. 11. 18

(73) 专利权人 莱姆知识产权股份有限公司

地址 瑞士弗里堡

(72) 发明人 W·特潘 D·阿左尼

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 王朝辉

(51) Int. Cl.

G01R 33/04 (2006. 01)

G01R 33/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 5146156 A, 1992. 09. 08,

US 2005007095 A1, 2005. 01. 13,

CN 1261959 A, 2000. 08. 02,

CN 1957261 A, 2007. 05. 02,

JP 特开 2006-296829 A, 2006. 11. 02,

审查员 王改英

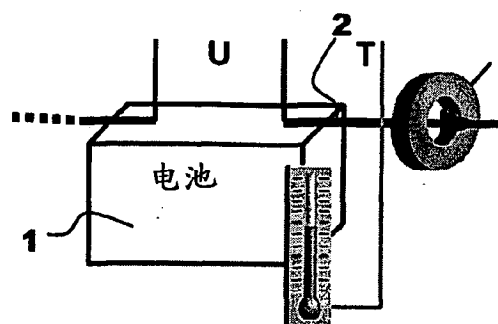
权利要求书2页 说明书8页 附图4页

(54) 发明名称

闭环磁通门电流传感器

(57) 摘要

电流传感器包括用于测量在初级导体 (2) 中流动的初级电流 I_p 的测量电路 (6) 和电感器 (4), 电感器包括由高磁导率材料制成的可饱和磁芯 (10) 和次级线圈 (12), 所述次级线圈 (12) 用于承载被构造为交替地使所述磁芯饱和的交流励磁电流 i , 所述线圈与测量电路连接。测量电路被构造为将正电压或负电压供给所述电感器, 以当达到条件信号饱和时断开所述电压, 以测量磁芯的一个方向上的饱和时间 t_1 和磁芯的另一个方向上的饱和时间 t_2 , 并从其小电流幅值确定初级电流的值, 测量电路还被构造用于对励磁电流 i 的平均值进行估计, 并从其为大电流确定初级电流的值。



1. 一种电流传感器,所述电流传感器包括用于在下述电流范围内测量在初级导体 (2) 中流动的初级电流 I_p 的测量电路 (6) 和电感器 (4),所述电流范围从最小指定电流幅值到最大指定电流幅值,所述电感器包括可饱和磁芯 (10) 和次级线圈 (12),所述可饱和磁芯 (10) 由高磁导率材料制成,所述次级线圈 (12) 用于承载被构造为交替地使所述磁芯饱和的交流励磁电流 i ,所述次级线圈与所述测量电路连接,其中,所述测量电路被构造为将正电压或负电压供给所述电感器,当达到条件信令饱和时断开所述电压,测量所述磁芯的一个方向上的饱和时间 t_1 和所述磁芯的另一个方向上的饱和时间 t_2 ,并为具有从最小指定电流到过渡幅值的第一部分电流范围中的幅值的初级电流确定初级电流 I_p 的值,所述测量电路还被构造用于对当电压被供给所述电感器时且在达到饱和条件之前的阶段期间的交流励磁电流 i 的平均值进行估计,并为具有从所述过渡幅值到最大指定电流幅值的第二部分电流范围中的幅值的初级电流确定初级电流 I_p 的值。

2. 根据权利要求 1 所述的电流传感器,其中,所述测量电路包括 DC 电压源 V_c 和由所述 DC 电压源 V_c 供电的 H 桥电路,所述 H 桥电路被构造为交替地用正电压和负电压激励所述次级线圈。

3. 根据权利要求 2 所述的电流传感器,其中,所述 H 桥电路的开关包括 MOSFET。

4. 根据权利要求 1 所述的电流传感器,其中,所述测量电路包括测量所述交流励磁电流 i 的电阻 R_m 。

5. 根据权利要求 1 所述的电流传感器,其中,所述可饱和磁芯是环形闭合的。

6. 根据权利要求 1 所述的电流传感器,还包括与所述测量电路连接的微控制器,所述微控制器包括用于测量饱和时间 t_1 、 t_2 的计时器。

7. 一种用于在从最小指定电流幅值到最大指定电流幅值的电流范围内测量在初级导体中流动的电流的方法,包括:

- 提供电流传感器,所述电流传感器包括测量电路和电感器,所述电感器包括卷绕在可饱和磁芯上的次级线圈;
- 将励磁电压施加于所述次级线圈,以交替地使所述磁芯饱和;
- 对在施加所述励磁电压的阶段期间的交流励磁电流 i 的平均值进行估计,以测量大的初级电流;和
- 分别测量交流励磁电流 i 的负信号和正信号的磁芯的饱和时间 t_1 、 t_2 ,并且对于小的初级电流,基于交替饱和时间 t_1 、 t_2 的关系确定初级电流,

其中,小的初级电流具有从最小指定电流 I_{min} 到过渡幅值的第一部分电流范围中的幅值,并且大的初级电流具有从所述过渡幅值到最大指定电流幅值 I_{max} 的第二部分电流范围中的幅值。

8. 根据权利要求 7 所述的方法,其中,对于小的初级电流,所述初级电流的测量基于一个方向上的饱和时间除以两个方向上的饱和时间之和的值。

9. 根据权利要求 7 所述的测量方法,其中,用于小电流的测量方法被用于遵循以下条件的初级电流:

$$\left| \frac{I_p}{N} \right| < i_{s0} \quad (22)$$

其中, I_p 是初级电流, N 是所述次级线圈的匝数, 并且 i_{s0} 是为零的初级电流的饱和励磁电流的值。

10. 根据权利要求 7 所述的方法, 其中, 所述测量电路包括 DC 电压源 V_c 和具有由 DC 电压源 V_c 供电的晶体管的 H 桥电路, 所述 H 桥电路被构造为交替地用正电压和负电压激励所述次级线圈, 所述方法包括以下步骤:

- 接通被构造为将正电压供给次级线圈的晶体管, 从而用正电流 $+i$ 对电感器 (4) 进行充电, 直到达到所述磁芯的饱和为止, 断开所述晶体管;

- 测量达到饱和的时间 t_1 ;

- 使电感器 (4) 放电;

- 接通被构造为将负电压供给次级线圈的晶体管, 从而用负电流 $-i$ 对电感器 (4) 进行充电, 并且一旦达到所述磁芯的饱和, 就断开所述晶体管;

- 测量达到饱和的时间 t_2 ;

- 使电感器 (4) 放电。

11. 根据权利要求 10 所述的方法, 其中, 通过比较器确定达到通过测量电阻 R_m 的交流励磁电流 i 的某个阈值来检测所述磁芯的饱和。

12. 根据权利要求 11 所述的方法, 其中, 在检测所述磁芯的饱和与闭合所述晶体管之间确定饱和时间 t_1 、 t_2 。

13. 根据权利要求 12 所述的方法, 其中, 通过与所述测量电路连接的微控制器利用所述微控制器的计时器单元来计算所述饱和时间的值。

闭环磁通门电流传感器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种闭环电流传感器,具体涉及磁通门式闭环电流传感器。

背景技术

[0002] 常规的磁通门传感器通常包括高磁导率的软磁材料的磁芯,磁通门的励磁线圈使该磁芯经受交流磁场。励磁线圈的磁场以交替的方式使磁芯饱和。在存在磁场(例如由在初级导体中流动的电流产生的外部磁场)时,软磁磁芯的饱和特性(如从次级侧所见,明显地)变为不对称,并在驱动磁通门线圈的电路中产生对应的信号。所得信号与外部磁场的幅值相关。在闭环传感器中,在反馈回路中使用该信号来驱动被构造为抵消外部磁场效应的磁路上的次级线圈。闭环磁通门传感器的主要优点是它们的测量灵敏性和精确地测量小幅值电流的能力。另一方面,这样的传感器通常不是最适合于测量大幅值电流,并且像其它传感器那样,具有有限的测量范围。

[0003] 然而,某些应用要求测量大范围的电流。要求小幅值电流的精确测量和大测量范围的应用示例是电池监视。为了估计电池的状态(充电、最佳状态),电池监视可包括测量电池系统的不同参数:温度、电压、阻抗和电流[2]。通常,有必要比如在工业UPS、电信系统或电池储能系统处监视由几百个块构成的复杂系统。与电池监视应用相关的困难之一是电流测量,在电流测量中,测量范围(DC)通常可从10mA变为1000A。如今的可用的低成本电流变换器不是非常适于在支持非常大的测量范围的同时以足够的精度为小幅值电流工作,所述非常大的测量范围可从几毫安培的涓流充电(浮充)电流变为几百安培的电池放电和再充电电流。

[0004] 某些电动机、发电机和其它电驱动器也可要求测量非常大范围的电流,以精确可靠地控制驱动器或发电机。

发明内容

[0005] 本发明的目的是提供精确地测量小电流的、还具有大测量范围的电流传感器。

[0006] 有利的是,提供制造经济的电流传感器。

[0007] 有利的是,提供制造经济的、用于精确的电池监视的电流传感器。

[0008] 有利的是,提供易于实现的电流传感器。

[0009] 有利的是,提供小型可靠的电流传感器。

[0010] 通过提供根据一个实施例中的闭环磁通门传感器和根据一个实施例中的电流测量方法来实现本发明的目的。

[0011] 本文公开的是磁通门电流传感器,所述磁通门电流传感器包括用于在下述电流范围内测量在初级导体中流动的初级电流 I_p 的测量电路和电感器,所述电流范围从最小可测量或指定电流幅值 (I_{min}) 到最大可测量或指定电流幅值 (I_{max}),所述电感器包括可饱和磁芯和次级线圈,所述可饱和磁芯由高磁导率磁材料制成,所述次级线圈用于施加被构造为交替地使磁芯饱和的交流励磁电流 i ,所述线圈与测量电路连接。测量电路被构造为测量磁芯

在相对磁场方向上的饱和时间 t_1 和 t_2 , 并从其为小电流幅值确定初级电流的值, 测量电路还被构造用于估计励磁电流 i 的平均值, 并从其为大电流确定初级电流的值。

[0012] 根据本发明的在从最小指定电流幅值到最大指定电流幅值的电流范围内测量在初级导体中流动的电流的方法包括:

[0013] - 提供电流传感器, 所述电流传感器包括测量电路和电感器, 所述电感器包括卷绕在可饱和磁芯上的次级线圈;

[0014] - 将励磁电压施加于被构造为交替地使磁芯饱和的次级线圈;

[0015] - 对在当开启电压源时的阶段期间流过电感器的励磁电流的平均值进行估计, 以测量大的初级电流; 和

[0016] - 分别测量交流励磁电流的负信号和正信号的磁芯的饱和时间 t_1 、 t_2 , 并且对于小电流, 基于交替饱和时间 t_1 、 t_2 的关系确定初级电流。

[0017] 小的初级电流具有从最小指定电流 $I_{\min}$ 到过渡或中间幅值的第一部分电流范围中的幅值, 大的初级电流具有从过渡幅值到最大指定电流幅值 $I_{\max}$ 的第二部分电流范围中的幅值。在从第一测量方法转变为第二测量方法的情况下, 中间幅值的值可根据 $I_{\min}$ 和 $I_{\max}$ 的值而变化。

[0018] 根据本发明的基于类型“磁通门”的技术的电流传感器在制造和实现上经济, 而且在提供优良精度的同时还具有大的测量范围。传感器使用由在可饱和电感器上作用的初级电流形成的磁场。通过测量达到饱和的间隔和电感器负载电流并使用合适的微控制器, 可精确地为高电流电平和低电流电平这二者估计初级电流的值。

[0019] 对于小的初级电流 I_p , 可基于一个方向上的饱和时间除以两个方向上的饱和时间之和的值 (I_p 与 $t_1/(t_1+t_2)$ 成比例) 来确定初级电流的值。

[0020] 用于小电流的测量方法优选地被用于遵循以下条件的初级电流:

$$[0021] \quad \left| \frac{I_p}{N} \right| < i_{s0}$$

[0022] 其中, I_p 是初级电流, N 是次级线圈的匝数, 并且 i_{s0} 是用于为 0 的初级电流的饱和励磁电流的值。

[0023] 对于大的初级电流, 初级电流的测量可基于励磁电流的平均值的估计。

附图说明

[0024] 从本发明实施例及附图的以下详细描述, 本发明的进一步的目的是和有利特征将变得清楚, 在附图中:

[0025] 图 1 是指示测量参数的电池监视系统的简化图示;

[0026] 图 2 是根据本发明实施例的电流传感器的可饱和电感器及其主要参数;

[0027] 图 3 是电感器的理想化特性 $B(H)$ 的图解图示;

[0028] 图 4 是作为在电感器的次级线圈中流动的电流 I 的函数的磁链的理想化特性 $\Psi(i)$ 的图解图示;

[0029] 图 6 是用于大于零的初级电流 (将被测量的电流) ($I_p > 0$) 的电感值的偏移的图解图示;

[0030] 图 7 示出根据本发明的电流传感器的测量电路的实施例的电路图;

[0031] 图 8a 和 8b 是示出电感值的偏移（分别地，正初级电流 ($I_p > 0$) 的饱和时间 t_1 和 t_2 ）的简化图；

[0032] 图 9a 和 9b 是作为电流（分别地，作为用于正初级电流的时间的函数的电流）的函数的电感的图解图示，该函数描绘初级电流与励磁电流之间的关系；

[0033] 图 10a 和 10b 与图 9a、9b 类似，但是是用于负初级电流；

[0034] 图 11 是示出用于为 0 的初级电流的正励磁电流信号 P 和负励磁电流信号 N 的饱和时间的示波器的抓屏；

[0035] 图 12 是初级电流为 1000 安培时的电压 U_m 的示波器的抓屏；

[0036] 图 13 至图 15 示出根据本发明制作的原型电流传感器的测试结果，其中，图 13 示出 -1 至 +1 安培范围中的初级电流的以毫安培为单位的测量电流误差，图 14 示出范围为 -15 至 15 安培的初级电流的以百分比表示的传感器误差，并且图 15 示出范围为 -1000 至 +1000 安培的初级电流的以百分比表示的传感器误差。

具体实施方式

[0037] 参照图 1、2 和 7，根据本发明的电流传感器的实施例，用于测量在初级导体 2 中流动的初级电流 I_p ，初级导体 2 例如与电池 1 或者其它电气设备或电动机连接，所述初级电流与电池的充电或放电电流或者电动机的驱动电流对应。传感器包括电感器 4，电感器 4（用电感 L 表示）与测量电路 6 连接。电感器包括磁路 8 和次级线圈（在本文中也称为励磁线圈）12，磁路 8 包括由高磁导率材料（软磁材料）制成的磁芯 10，次级线圈 12 卷绕在可饱和磁芯 10 的至少一部分上。次级线圈 12 与测量电路 6 连接，测量电路 6 通过次级线圈馈送励磁电流 $+i$ 、 $-i$ ，所述励磁电流被构造为交替地使磁芯在一个方向上饱和、然后使磁芯在相反方向上饱和。在所示的实施例中，磁芯是具有初级导体延伸通过其的中心通道 14 的环形闭环的形式。

[0038] 初级导体被显示为笔直通过磁芯的中心通道的单个导体，然而，还可具有这样的初级导体，该初级导体具有围绕可饱和铁心的一部分的一匝或多匝（绕组）。初级导体的一部分可与电流传感器集成，并包括用于与将被测量的系统的外部初级导体连接的连接端子。初级导体还可与传感器分离，并插入通过传感器。磁芯可具有除圆形之外的其它形状，例如，矩形、正方形、多边形或其它形状。而且，导体的磁芯还可形成非闭合电路，例如条杆或者具有气隙的几乎闭合的磁芯的形式。磁芯还可由多于一个部分形成，例如由围绕初级导体组装在一起的两个半部分或者两个部分形成。此外，电流传感器可包括不具有初级导体延伸通过其的中心通道的磁芯，由此初级导体可被定位在磁芯附近或者用一匝或多匝围绕磁芯的一部分卷绕。在这些各种构造中，功能原理基本上保持相同，由此次级线圈中的励磁是使磁芯在交替方向上饱和的交流电，并且其中，初级电流产生影响磁芯的饱和特性的磁场。

[0039] 在本发明中，对于小电流，测量电路测量作为励磁电流的函数的电感特性的偏移，该偏移基本上与初级电流的幅值成比例。然而，对于大的初级电流，由于在无任何次级（励磁）电流的情况下磁芯已经完全饱和并且关系 $t_1/(t_1+t_2)$ 的结果不再改变，所以不再利用这个测量原理。对于大电流，测量电路因此利用另一种测量方法，该方法包括在供给励磁电压的时间（即，如此后更详细描述的和初级电流的幅值对应的 t_1 或 t_2 ）期间对次级线圈励

磁电流的平均值进行估计。

[0040] 有利的是,单个简单的低成本的传感器可如此被用于测量非常大的电流范围。

[0041] 图 1 和 2 示出具有闭环电流传感器的电池监视系统的参数,其中:

[0042] N 是次级匝数

[0043] l_{Fe} 是平均磁路长度

[0044] S_{Fe} 是磁路截面

[0045] i 是励磁电流

[0046] I_p 是(将被测量的)初级电流,和

[0047] Φ 是磁通量。

[0048] 由于电流可在非常大的范围内变化(从几毫安培的涓流充电(浮充)电流到几百安培的电池放电和再充电电流),所以这种类型的应用的主要困难是电流的测量。

[0049] 在图 2 中定义了可饱和电感器的主要参数。尽管已知磁芯的特性 $B(H)$ 以及磁路的几何参数,但是电感值可被定义为励磁电流 i 的函数。

[0050] 如图 3 所示,可近似磁路的理想特性 $B(H)$ (作为磁场 H 的函数的磁感应 B)。对于在 $+H_s$ 与 $-H_s$ 之间变化的磁场值,磁芯不饱和,所以用公知的方程 (1) 表示 $B(H)$:

$$[0051] \quad B(H) = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H \quad \text{如果 } -H_s < H < +H_s \quad (1)$$

[0052] 其中, μ_0 是空气的磁导系数,并且 μ_r 是电路的磁材料的相对磁导系数。

[0053] 图 4 示出作为电流的函数的磁链的理想化特性 $\Psi(i)$ 。磁路的几何参数以及匝数 N 使得可确定磁链 Ψ 与励磁电流 i 之间的关系。

$$[0054] \quad H = \frac{N}{l_{Fe}} i \quad (2)$$

$$[0055] \quad \Psi = \Phi \cdot N = B \cdot S_f \cdot N \quad (3)$$

[0056] 通过将 (2) 代入 (1),我们可得到:

$$[0057] \quad B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N}{l_f} i \quad (4)$$

[0058] 并且通过将 (4) 代入 (3),我们得到:

$$[0059] \quad \Psi = \left(\mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N}{l_f} \cdot i \right) \cdot S_f \cdot N \quad (5)$$

[0060] 并且最后:

$$[0061] \quad \Psi(i) = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot S_f \cdot N^2}{l_f} \cdot i \quad (6)$$

[0062] 通过推导作为电流的函数的 (6),我们得到如 (7) 的电感值:

$$[0063] \quad L_f(i) = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot S_f \cdot N^2}{l_f} \quad \text{如果 } -i_s < i < +i_s \quad (7)$$

[0064] 图 5 示出作为励磁电流的函数的理想化电感值。当磁材料不饱和时,该值可从以下方程获得:

$$[0065] \quad L_f = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot S_f \cdot N^2}{l_f} \quad (8)$$

[0066] 一旦达到饱和,就可用以下方程描述电感值:

$$[0067] \quad L_e = \frac{\mu_0 \cdot S_f \cdot N^2}{I_f} \quad (9)$$

[0068] 电感值 L_f 是 L_e 的 μ_r 倍。例如,在测试原型中, $L_f=22\text{H}$,而 $L_e=2\text{mH}$ 。以下,我们将假设电感的饱和值 L_e 为零。采取图 2 中所示的电流流动方向,通过将正电流施加于初级导体,特性 $L(i)$ 偏移到左,在负初级电流的情况下,该特性偏移到右。该偏移与初级电流相关,并且如以下所证明的,理论上与初级电流成比例。

[0069] 电感特性的偏移:

[0070] 考虑 H_p ,由初级电流形成的磁场强度。我们可写为:

$$[0071] \quad B(H) = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot (H - H_p) \quad (10)$$

[0072] 通过将 (2) 代入 (10) 中,我们得到:

$$[0073] \quad B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \left(\frac{N}{I_f} i - \frac{1}{I_f} \cdot I_p \right) \quad (11)$$

[0074] 通过将 (11) 代入 (3) 中,我们得到:

$$[0075] \quad \psi = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \left(\frac{N}{I_f} i - \frac{1}{I_f} \cdot I_p \right) \cdot S_f \cdot N \quad (12)$$

$$[0076] \quad \psi(i) = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot S_f \cdot N^2}{I_f} \cdot \left(i - \frac{I_p}{N} \right) \quad (13)$$

[0077] 从 (13) 可见,通量特性的偏移量为 I_p/N 。

[0078] 图 6 示出用于正初级电流 ($I_p > 0$) 的电感值的偏移。电流 i_{s0} 是用于 $I_p = 0$ 的饱和励磁电流的值。在这种情况下,特性 $L(i)$ 是对称的,并且 $+i_{s0} = -i_{s0}$ 。对于非零初级电流 I_p ,正饱和电流是 i_1 ,而负饱和电流是 i_2 。在这种情况下,特性 $L(i)$ 不再是对称的。对于正初级电流: $i_1 < |i_2|$,特性的参数可被计算为:

$$[0079] \quad i_{s0} = \frac{\psi_s}{L_f} = \frac{B_s \cdot S_f \cdot N \cdot I_f}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot S_f \cdot N^2} = \frac{B_s \cdot I_f}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot N} \quad (14)$$

$$[0080] \quad |i_1| = i_{s0} - \frac{I_p}{N} \quad (15);$$

$$[0081] \quad |i_2| = i_{s0} + \frac{I_p}{N} \quad (16)$$

[0082] 作为示例,在以 $+i_{s0}=7\text{mA}$ 和 $N=1000$ 进行测试的原型中,1A 的初级电流引起 $i_1=(0.007-1/1000)\text{A}=6\text{mA}$ 的正饱和极限。

[0083] 测量电路

[0084] 图 7 示出根据本发明的传感器的实施例的测量电路布局。将被测量的电流是具有合适的环形磁芯的电流变换器的初级电流。次级(测量)电路由 DC 电压源 $V_c=12\text{V}$ 构成,该 DC 电压源为由 MOSFET 构成的 H 桥电路设计供电。H 桥交替地用正电压和负电压激励次级线圈。线圈电阻是 R_s 。通过电阻 R_m 来测量励磁电流。测量循环可包括四个步骤。在测量序列开始时,“卸载”电感,即,绕组中的电流为零,并且打开所有开关。

[0085] 步骤 1) 接通 MOSFET “P”。根据图 7 中所示的方向,用正电流 $+i$ 对表示电感 L 的电感器 4 进行充电。一旦达到饱和,就断开晶体管。

[0086] 步骤 2) 电感通过“N”开关的续流二极管自放电。在转到下一个步骤之前,优选地使电感完全放电。

[0087] 步骤 3) 接通 MOSFET“N”。这次,电感中的负电流升高。当达到饱和时,断开开关。

[0088] 步骤 4) 电感通过“P”开关的续流二极管自放电。再次,优选地在开始下一个序列之前,使电感完全地放电。

[0089] 达到饱和的时间 t_1 、 t_2 和分别在阶段 P 和 N 期间的平均励磁电流 i_{average} 的测量值被用于计算初级电流。在两个充电周期期间,可通过与测量电路连接的微控制器(未显示)(例如利用微控制器的 ADC 单元和计时器)来执行这些操作。当达到饱和时,可通过比较器检测通过测量电阻 R_m 的励磁电流 i 的迅速增大。在开关的闭合与饱和的检测之间计算饱和时间 t_1 、 t_2 。然后可计算励磁电流 i_{average} 的平均值。对于零初级电流,测量序列需要例如大约 180ms。

[0090] 用于低初级电流的测量方法

[0091] 通过施加正初级电流,在采取图 2 中所示的电流流动方向的情况下,电感特性 $L=L(i)$ 朝左偏移。可证明该偏移与初级电流 I_p 成比例。如果初级电流 (I_p/N) 为负,则电感特性朝右偏移。在图 8 中, t_1 是正电流的饱和时间, t_2 是负电流的饱和时间, i_1 是正饱和电流,并且 i_2 是负饱和电流。该偏移与电感器的饱和时间有因果关系(图 8)。

[0092] 为了计算这个电路的时域行为,可忽视电路的电阻部分 ($R=R_s+R_m$)。事实上,与时间常数 ($L_f=22\text{H}$ 和 $R=5\Omega$) 相比,饱和时间小(通常为 20ms)。然后,在应用电压步骤之后,我们获得线性关系:

$$[0093] \quad i(t) = \frac{V_c}{L_f} \cdot t \quad (17)$$

[0094] 励磁电流与初级电流线性直接相关。一旦达到饱和,电流瞬时 ($L_e=0$) 增大到高达其稳态值:

$$[0095] \quad i(t) = \frac{V_c}{R} \quad (18)$$

[0096] 初级电流是饱和时间的函数。在图 8 中,显示了正初级电流的行为。图 8 示出正初级电流的饱和时间 t_1 和 t_2 。

$$[0097] \quad \frac{|i_1|}{t_1} = \frac{|i_2|}{t_2} \quad (19)$$

[0098] 通过将 (15) 和 (16) 代入 (19) 中,我们得到

$$[0099] \quad \frac{i_{s0} - \frac{I_p}{N}}{t_1} = \frac{i_{s0} + \frac{I_p}{N}}{t_2} \quad (20)$$

[0100] 并且通过将 (14) 代入 (20) 中,我们得到

$$[0101] \quad I_p = \frac{B_s \cdot I_f}{\mu_0 \cdot \mu_r} \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{t_1}{t_1 + t_2}\right) \quad (21)$$

[0102] H 桥供给电压 V_c 没有在该方程中明确地出现,所以不要求该电压的精确稳定。一旦达到饱和,励磁电流就获得 V_c/R 的稳态值。作为示例,在测试原型中,该值为 $V_c/R=2.4\text{A}$,然而,由于应用不需要更高的电流值,所以在大约 $1.25\text{A}(i_{\text{threshold}})$ 时断开 MOSFET。

[0103] 用于小初级电流的以上测量方法可被用于遵循以下条件的初级电流：

$$[0104] \quad \left| \frac{I_p}{N} \right| < i_{s0} \quad (22)$$

[0105] 作为示例,在测试原型中,该条件表示 $\pm 7A$ 的测量范围(初级电流)。对于更高的初级电流值,使用不同的测量方法。

[0106] 用于高初级电流的测量方法

[0107] 如果 $|I_p/N| > i_{s0}$, 则特性 $L(i)$ 平移到远左。这意味着在没有任何励磁电流流动的情况下电感已饱和。在大的负初级电流的情况下,现象相同、但是相反(偏移到右)。图 9 示出 I_p 与 $i_{average}$ 之间的关系。可不再使用为以上论述的小的初级电流的测量而建立的关系。在这种情况下,可通过对阶段“P”或“N”期间的励磁电流的平均值进行估计来进行测量。图 9 中所示的特性的平均值 $i_{average}$ 表示 I_p/N , $i_{average}$ 对应于当磁芯 10 不饱和时的电感器电流。为了获得初级电流,我们可计算励磁电流的平均值(i_n 与 i'_n 之间的值),并将它乘以匝数。

$$[0108] \quad |I_p| = i_{average} \cdot N \quad (23)$$

[0109] 示例

[0110] 示例性实施例具有以下特性。

[0111] 测量范围: $0..+1000A$ DC

[0112] 误差 @ $T_a=25^\circ C$: $\pm 10mA$ (对于 $I_p=0$) 到 $\pm 1A$

[0113] : $\pm 1\%$ (对于 $I_p=1 \pm 1000A$)

[0114] 供给电压: $12V$

[0115] 供给电流: $250mA$ (平均值)

[0116] 稳定时间: $\leq 1s$

[0117] 输出类型: 数字

[0118] 测量信号

[0119] 图 11 显示零初级电流的饱和时间。P(分别地, N) 信号强行开始正(分别地, 负)充电阶段。 U_m 信号是测量电阻 R_m 上的电压。

[0120] 在这种情况下, 从 (17) 我们可求得：

$$[0121] \quad t_1 = t_2 = \frac{i_{s0}}{\frac{V_c}{L_f}} = \frac{7 \cdot 10^{-3}}{\frac{12}{20}} = 12.8ms$$

[0122] 对于 $I_p=0$ ：

[0123] 这个时间之后, 由于电感器饱和, 所以电压 U_m 达到开关的打开电压。

$$[0124] \quad U_m = i \cdot R_m \quad (24)$$

$$[0125] \quad U_{moff} = i_{off} \cdot R_m = 1.25 \cdot 2 = 2.5V$$

[0126] 此后, 二极管的续流电流强加于负电压 U_m 。

[0127] 图 11 示出 $I_p=0$ 的饱和时间。

[0128] 图 12 显示初级电流为 $+1000A$ 时的测量电压, 并示出 $I_p=+1000A$ 时的电压 U_m 。对于正励磁电流, 立即达到阈值, 并且这使得可确定初级电流的流动方向。对于负励磁电流, 关系 (23) 使得可计算其平均值：

[0129]
$$i_{average} = \frac{|I_P|}{N} = \frac{1000}{1000} = 1A$$

[0130] 根据 (24), 电压 U_m 为

[0131]
$$U_m = 1 \cdot 2 = 2V$$

[0132] 测试结果

[0133] 每个测量循环, 变换器的数字输出发送初级电流的值。图 13、14 和 15 表示作为以上论述的测试原型的初级电流 ($T_a=25^\circ\text{C}$) 的函数的变换器电流的误差。图 13 示出 $-1A \leq I_p \leq 1A$ 的变换器电流误差 (mA); 图 14 示出 $-15A \leq I_p \leq 15A$ 的变换器电流误差 (%); 并且图 15 示出 $-1000A \leq I_p \leq 1000A$ 的变换器电流误差 (%)。

[0134] 参考文献

[0135] [1] W. Teppan, "Transfer Functions of Current Sensors", 5th Int. IMEKO, TC-4 Symposium on Electrical Measuring Instruments for Low and Medium Frequencies, Vienna, Austria, 8-10 April 1992

[0136] [2] Waltari, T. Suntio: "Survey and evaluation of battery monitoring methods and results from user's viewpoint", 21st International Telecommunications Energy Conference, 1999. INTELEC '99, 6-9 June 1999 Page(s): 7pp.

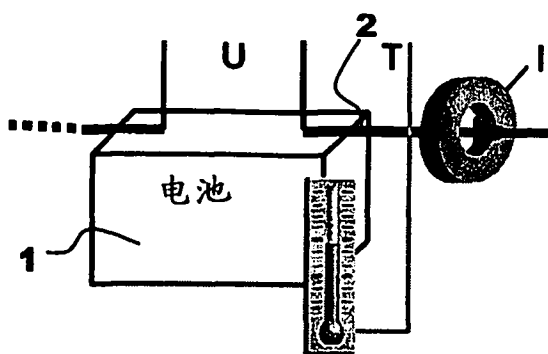


图 1

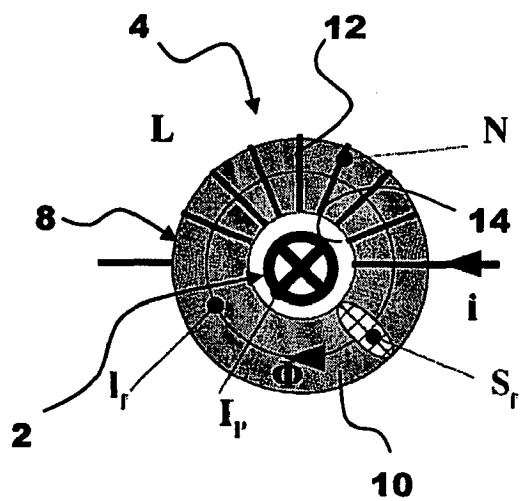


图 2

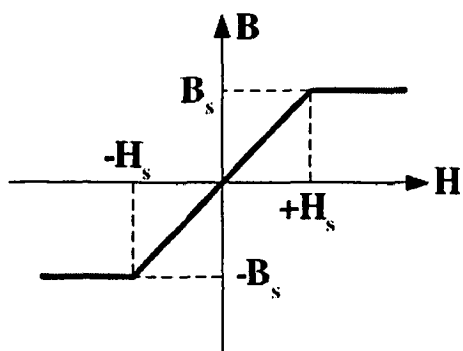


图 3

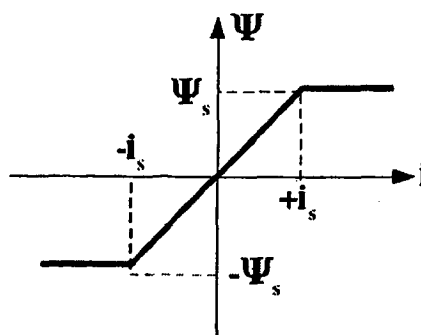


图 4

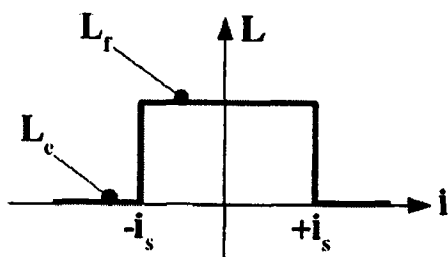


图 5

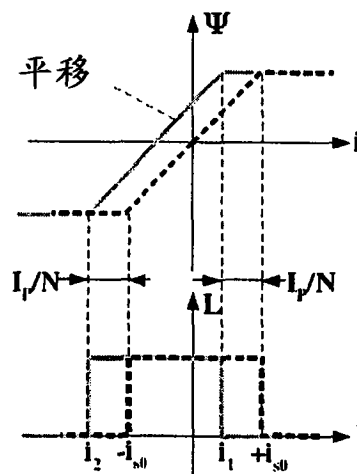


图 6

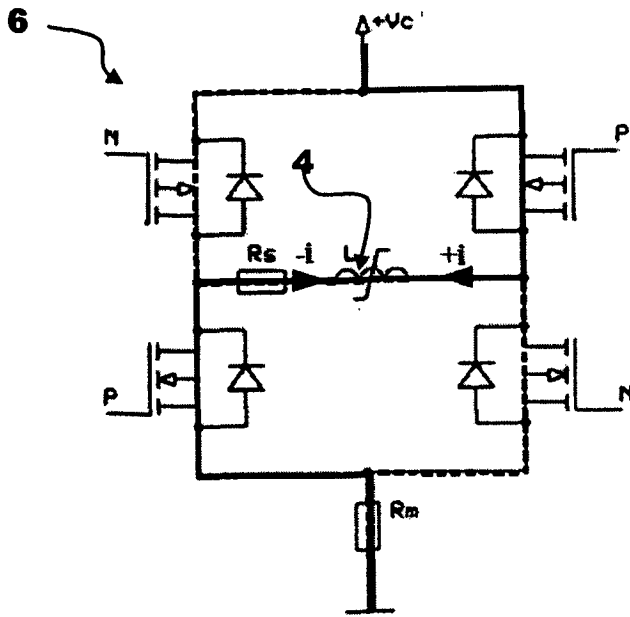


图 7

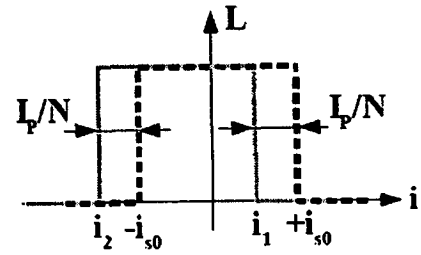


图 8a

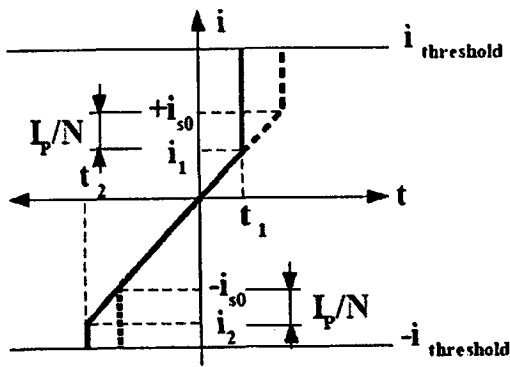


图 8b

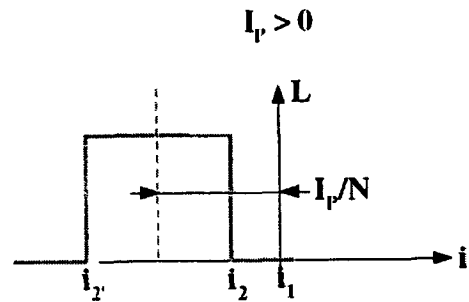


图 9a

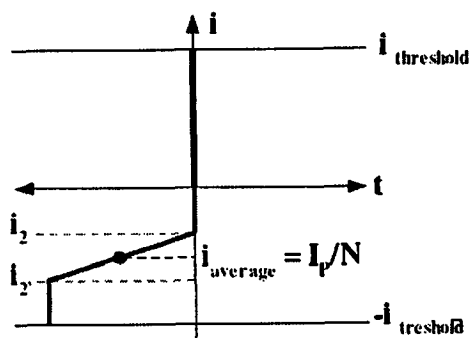


图 9b

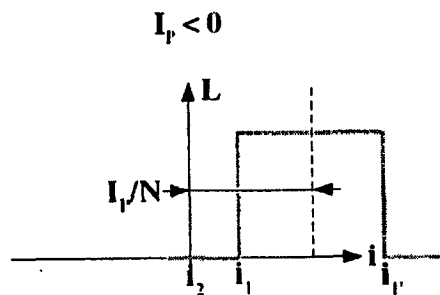


图 10a

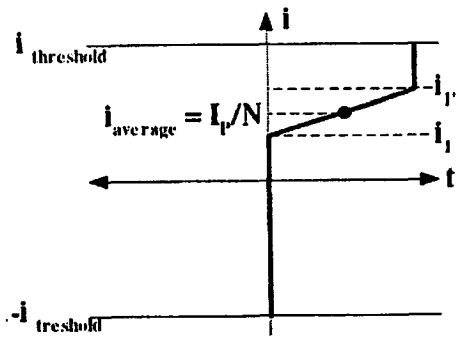


图 10b

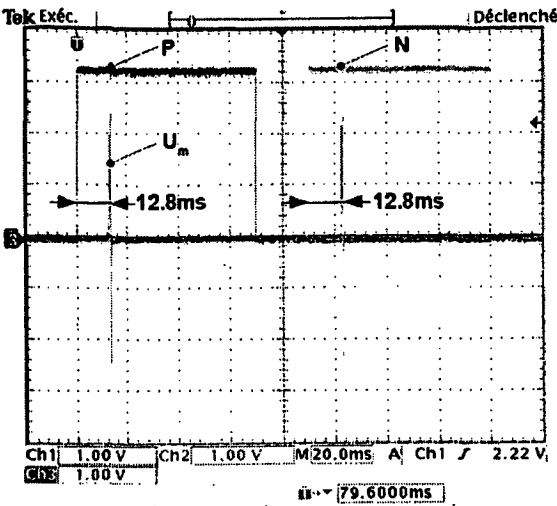


图 11

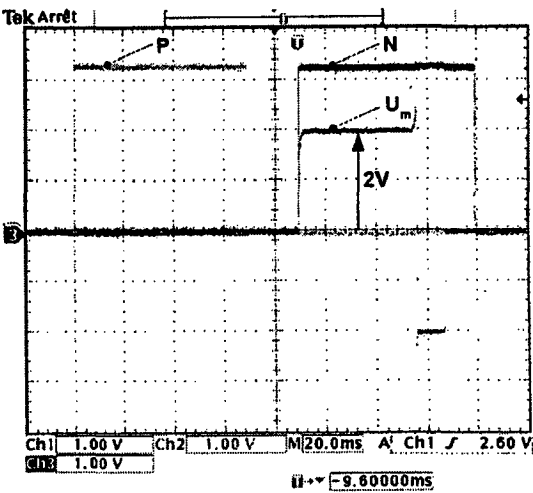
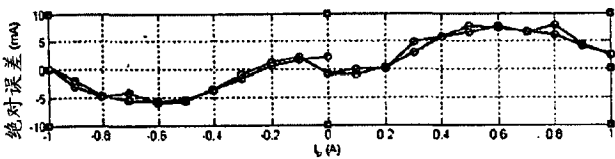


图 12



$-1A \leq I_p \leq 1A$ 的传感器电流误差 (mA)

图 13

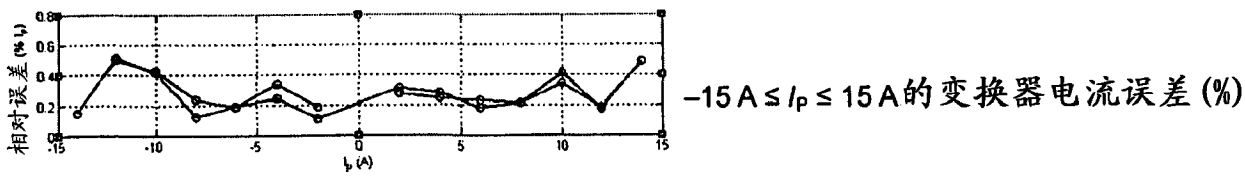


图 14

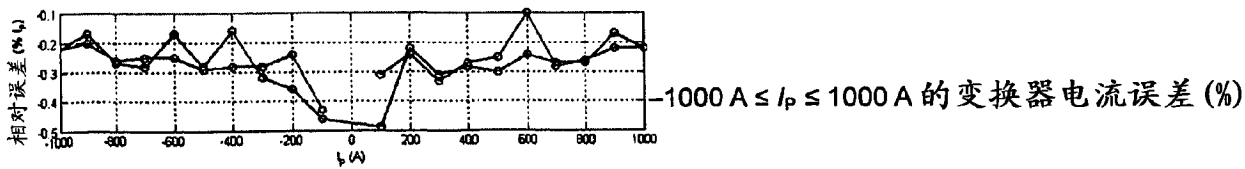


图 15