



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104246518 B

(45)授权公告日 2017.08.11

(21)申请号 201380020937.9

(22)申请日 2013.04.17

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 104246518 A

(43)申请公布日 2014.12.24

(30)优先权数据  
12002766.9 2012.04.20 EP  
12002767.7 2012.04.20 EP  
12004124.9 2012.05.29 EP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2014.10.20

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/EP2013/001133 2013.04.17

(87)PCT国际申请的公布数据  
WO2013/156153 EN 2013.10.24

(73)专利权人 ABB 技术有限公司  
地址 瑞士苏黎世

(72)发明人 J.帕斯卡尔 R.迪塞尔恩克特  
F.楚尔弗卢 B.德克

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公  
司 72001

代理人 叶晓勇 姜甜

(51)Int.Cl.

G01R 15/18(2006.01)

(56)对比文件

US 2008/0007249 A1,2008.01.10,全文.  
US 2006/0176140 A1,2006.08.10,全文.  
US 6624624 B1,2003.09.23,全文.  
CN 102288932 A,2011.12.21,全文.  
CN 102044863 A,2011.05.04,全文.  
CN 101713815 A,2010.05.26,全文.  
CN 101216542 A,2008.07.09,全文.  
US 2004/0140879 A1,2004.07.22,全文.  
P.C. Saroj et al..Development and  
Calibration of Rogowski Coils for Pulsed  
Power Systems.《in Proceeding of the 2011  
IEEE International Vacuum Electronics  
Conference(IVEC)》.2011,第471-472页. (续)

审查员 王晓涵

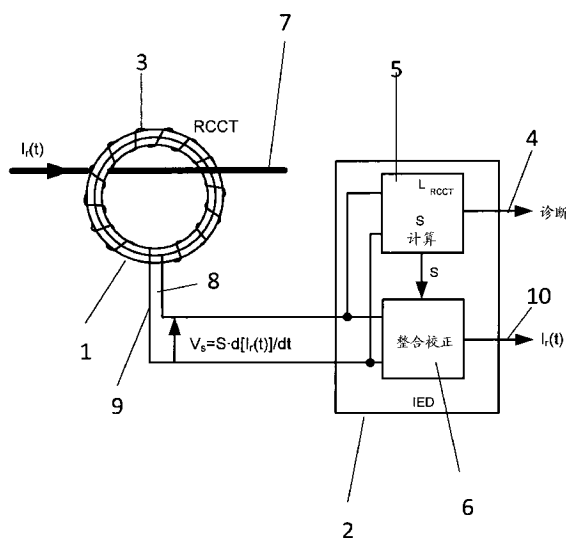
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

用于校准罗果夫斯基类型的电流换能器的方法

(57)摘要

本发明关于用于校准包括罗果夫斯基线圈传感器和电子装置的罗果夫斯基类型的电流换能器的方法,通过使用电子装置的线圈的自感  $L_{RCCT}$  的测量来确定并且校正罗果夫斯基类型的电流换能器的灵敏度。



CN 104246518 B

[转续页]

[接上页]

**(56)对比文件**

John D. Ramboz.Machinable Rogowski  
Coil, Design, and Calibration.《EEE  
TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND  
MEASUREMENT》.1996,第45卷(第2期),第511-515  
页.

John D. Ramboz.Machinable Rogowski  
Coil, Design, and Calibration.《EEE  
TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND  
MEASUREMENT》.1996,第45卷(第2期),第511-515  
页.

1. 一种用于校准包括罗果夫斯基线圈传感器(1)和电子装置(2)的罗果夫斯基类型的电流换能器的方法,其特征在于,通过使用所述电子装置(2)对所述罗果夫斯基线圈传感器(1)的自感 $L_{RCCT}$ 的测量来确定并且校正罗果夫斯基类型的所述电流换能器的灵敏度。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中利用叠加到所述罗果夫斯基线圈传感器(1)的绕组(3)的测试电流或测试电压来测量所述自感。

3. 根据权利要求2所述的方法,其中由要利用所述罗果夫斯基线圈传感器(1)来测量的初级电流所生成的输出电压与所述罗果夫斯基线圈传感器(1)的所述自感的测量同时来测量。

4. 根据权利要求3所述的方法,其中所述自感测量用于诊断并且校准罗果夫斯基类型的所述电流换能器。

5. 根据权利要求3所述的方法,其中通过所述罗果夫斯基线圈传感器(1)对与已知的电阻(15)串联连接的阶跃电压源的响应来测量所述自感。

6. 根据权利要求3所述的方法,其中通过利用变化频率的AC信号激励所述电流换能器以测量所述罗果夫斯基线圈传感器(1)和已知的电阻(15)的串联电路的频率响应来测量所述自感。

7. 根据上述权利要求中的任一项所述的方法,其中所述罗果夫斯基线圈传感器(1)的线圈设计参数由所述电子装置(2)自动检测。

8. 一种用于对包括罗果夫斯基线圈传感器(1)和电子装置(2)的罗果夫斯基类型的电流换能器执行诊断的方法,其特征在于,应用根据上述权利要求中的任一项所述的方法。

9. 一种包括罗果夫斯基线圈传感器(1)和电子装置(2)的罗果夫斯基类型的电流换能器,其特征在于,所述电子装置(2)配置为执行根据权利要求1到7中的任一项所述的用于校准所述电流换能器的方法。

10. 一种包括罗果夫斯基线圈传感器(1)和电子装置(2)的罗果夫斯基类型的电流换能器,其特征在于,所述电子装置(2)配置为执行根据权利要求8所述的方法。

## 用于校准罗果夫斯基类型的电流换能器的方法

### 技术领域

[0001] 本发明关于用于校准罗果夫斯基(Rogowski)类型的电流换能器的方法,以及罗果夫斯基类型的电流换能器自身。这样的电流换能器包括罗果夫斯基线圈传感器和电子装置。

### 背景技术

[0002] 与传统的电流换能器(缩写为CT,具有铁磁芯)相比,罗果夫斯基线圈电流换能器(此处称为RCCT或传感器)呈现更高的动态范围、更低的重量和大小、以及更低的生产成本。

[0003] 但是有精度问题,由于与用于计量应用的基于高度准确的CT的电流测量解决方案相比,如今已知的RCCT通常具有中等精度。已经有各种尝试来改进罗果夫斯基线圈性能并且将它关联到先进的电子设备以达到IEC60044-8标准0.5级计量精度。

[0004] RCCT的精度的改进的现有技术解决方案的这种已知状态是基于要求测量的中断或附加的参考传感器来测量罗果夫斯基线圈的灵敏度的校准技术。

[0005] 第一已知解决方案被称为“工厂中的RCCT初始校准”。此处工厂中校准罗果夫斯基线圈。它们的初始灵敏度以及它们的温度依赖性存储在传感器壳体内部的EEPROM中。智能电子装置(也称为IED)在传感器寿命期间使用此永久的、非更新的信息来基于附加的温度测量而校正温度诱导的灵敏度改变。

[0006] 另一已知的解决方案被称为“通过精密电位计的RCCT校准”。此处通过利用连接到线圈的精密电位计重新校准并且调整来补偿RCCT灵敏度漂移。

[0007] 另一已知的解决方案被称为“基于电容性放电装备的RCCT校准”。此解决方案要求已知的电压参考以及准确的电容以便提取灵敏度值。测量是基于峰值高度和振铃振荡周期的测量。它要求离线校准过程。

[0008] 在上述任一校准方法中,除了放电,要求参考电流测量。

[0009] 另一已知的解决方案被称为“使用参考电流传感器的RCCT校准”。它与上述校准方法区别在于如何作出校正。例如,参考传感器可以是分流或任何其它传感器类型。此选项包括罗果夫斯基线圈输出与参考CT或线圈的输出的比较。

[0010] 也提出了被称为“利用结合专用IED的附加绕组的RCCT在线自校准”的另一解决方案。此解决方案要求用于注入参考电流(除与额定电流的导数成正比的电压以外,它将诱导RCCT输出信号中的参考电压)的围绕罗果夫斯基线圈的附加绕组。此解决方案有助于RCCT+IED的自校准和自诊断功能。然而,它要求附加绕组,即附加的RCCT制造成本。

[0011] 例如,当环境状况(例如,温度、机械应变、潮湿、老化效应)改变时,在已知的方法的改进区域之间是罗果夫斯基线圈的灵敏度S的未知改变。要求关于罗果夫斯基线圈的工厂中的校准和诊断的改进,它是当今必要的并且意味着附加的生产成本。改进的另一区域是在寿命期间的精度等级传感器的损坏或超出的指示,即诊断和校准功能(目前它是不可用的)。

## 发明内容

[0012] 由于现存的现有技术,本发明的目标是创建允许将保护和计量与单个RCCT结合并且可以与基于等效CT的计量解决方案竞争的解决方案。

[0013] 问题是根据本发明由用于校准包括罗果夫斯基线圈传感器和电子装置的罗果夫斯基类型的电流换能器的方法来解决,由此通过使用电子装置的线圈的自感 $L_{RCCT}$ 的测量来确定并且校正罗果夫斯基类型的电流换能器的灵敏度。

[0014] 根据本发明的有利方面,利用叠加到线圈绕组的测试电流或测试电压来测量自感。

[0015] 根据本发明的有利方面,由要利用线圈传感器测量的初级电流所生成的输出电压被同时利用罗果夫斯基类型的电流换能器的线圈的自感来测量。

[0016] 根据本发明的有利方面,自感测量用于诊断并且校准罗果夫斯基类型的电流换能器。

[0017] 根据本发明的有利方面,通过罗果夫斯基类型的电流换能器的线圈对与已知的电阻串联连接的阶跃电压源的响应来测量自感。

[0018] 根据本发明的有利方面,通过利用变化频率的AC信号激励电流换能器以测量罗果夫斯基类型的电流换能器的线圈和已知的电阻的串联电路的频率响应来测量自感。

[0019] 根据本发明的有利方面,罗果夫斯基类型的电流换能器的线圈的线圈设计参数由电子装置自动检测。

[0020] 根据本发明的罗果夫斯基类型的电流换能器包括罗果夫斯基线圈传感器和电子装置,其特征在于,电子装置配置为执行如上所述的用于校准电流换能器的方法。

[0021] 根据本发明的方法的优点在于它允许超过MVCS性能的精度并且利用罗果夫斯基线圈电流换能器来达到IEC60044-8标准0.2级或更好的。

[0022] 使用根据本发明的方法允许罗果夫斯基线圈的灵敏度测量方法给智能电子装置(IED)可能性来以有利方式甚至持续地校准,并且在线诊断RCCT(即,没有中断额定电流测量)。因此,本发明提供罗果夫斯基线圈电流换能器,具有更容易的能力来离线校准罗果夫斯基线圈灵敏度以及持续地在线校准罗果夫斯基线圈灵敏度(即,没有中断额定电流测量)。

[0023] 具有常数绕组密度和截面面积的RCCT的灵敏度 $S$ 可以表达为

$$[0024] \quad S_{RCCT} = \mu_0 \omega N_{RCCT} A_{RCCT} / I_{RCCT}$$

[0025] 此处, $\omega$ 是相应电流分量的角频率, $N_{RCCT}$ 是RCCT的绕组线匝的数量, $A_{RCCT}$ 是线圈的截面面积并且 $I_{RCCT}$ 是它的长度。如果有任何影响(像是线圈载体的热膨胀或其围绕,由于水分摄入的膨胀或由于机械压力或老化的应变,它们影响RCCT的几何尺寸( $A_{RCCT}$ ,  $I_{RCCT}$ )),这也可根据上述式子而改变其灵敏度。

[0026] 本发明的主要原理是通过其自感 $L_{RCCT}$ 的测量来精确地确定并且校正RCCT的灵敏度的IED布置。

[0027] 通过知道RCCT的线匝数量,可以通过使用以下关系从测量的电感值来计算要求的频率 $\omega$ 的灵敏度 $S_{RCCT}$

$$[0028] \quad S_{RCCT} = \omega L_{RCCT} / I_{RCCT}$$

[0029] 此式子可以示为适合具有沿着它们的路径的足够大的常数绕组密度以及截面面积的固定形状的线圈(它不是缠绕的而只沿着路径移动而保持垂直于它)。式子的有效性不取决于截面面积的具体形状或大小或线圈内的初级导体的位置。这意味着由于不违反上述状况的尺寸改变的RCCT的灵敏度改变将完全地反映在测量电感中并且可以利用适当的比例因子来补偿。这包含一阶效应,例如由于讨论的一个影响的线圈的均匀膨胀或收缩。然而,将不完全补偿二阶效应(例如局部尺寸改变),无论如何它们对灵敏度的影响被视为很低。因此,基于RCCT的自感的测量的灵敏度漂移的补偿会显著地改进传感器精度。

## 附图说明

[0030] 将参考图来更详细地描述本发明,其中

[0031] 图1示出示意性地图示本发明的原理的框图,

[0032] 图2示出示意性地图示本发明的另外实施例的框图。

## 具体实施方式

[0033] 首先参考图1,这示出根据本发明的具有RCCT电感 $L_{RCCT}$ 并且连接到智能电子设备装置(IED)2的标准RCCT 1,它从RCCT电感 $L_{RCCT}$ 的测量来计算并且校正RCCT灵敏度 $S$ 。

[0034] 携带要测量的电流(可以是额定电流 $i_R(t)$ )的初级导体7通过传统的罗果夫斯基线圈1的中心。在次级导体绕组3的一对次级端子8、9之间有额定电流诱导的电压信号 $V_s$ ,它可以确定为 $V_s = S \times d(i_R(t))/dt$ ,其中 $S$ 是罗果夫斯基线圈的灵敏度。

[0035] 智能电子设备装置(IED)2包括测量模块5和校正模块6。智能电子设备装置(IED)2配置为测量额定电流诱导的电压信号 $V_s$ 。

[0036] 智能电子设备装置(IED)2配置为将测试电流或电压信号叠加到次级导体线圈绕组3。响应于通过次级导体线圈绕组3的测试电流或电压信号的导数,由智能电子设备装置(IED)2测量RCCT 1的电感 $L_{RCCT}$ 。

[0037] IED 2还配置为通过RCCT电感 $L_{RCCT}$ 的测量来计算RCCT灵敏度 $S$ 。

[0038] 然后IED 2经由输出信号线10传递额定电流 $i_R(t)$ 的输出值,它独立于RCCT灵敏度 $S$ 的改变。

[0039] 此外,IED经由诊断信号线4由诊断信号来分析计算的 $S$ 值以通知RCCT的状态。因此,可以识别低的制造质量以及不可接受的精度漂移。

[0040] IED2同时测量由初级电流生成的输出电压以及RCCT的电感(利用叠加到线圈绕组的测试电流或电压)。然后电感测量用于诊断并且校准RCCT。

[0041] 根据本发明的方法和装置避免RCCT的工厂中校准的需要并且因此降低生产成本。

[0042] 根据本发明的方法和装置不要求RCCT制造过程的任何改变,例如,没有附加的绕组,没有附加的连接器的。

[0043] IED通过RCCT电感 $L_{RCCT}$ 的测量来计算RCCT灵敏度 $S$ 。

[0044] 根据本发明的方法和装置允许IED 2传递额定电流 $i_R(t)$ 输出值,它在很大程度上独立于可以由外部影响(例如,温度、潮湿、机械压力、老化)诱导的RCCT的灵敏度改变。

[0045] 根据本发明的方法和装置允许IED 2检测RCCT、线缆和连接器是否被不正确地制造、或在安装和寿命期间被消费者损坏或不正确连接。为了这个目的,IED 2识别超出范围

的灵敏度值,即无法由校正模块6(参见图1)补偿的灵敏度值。然后IED经由诊断信号线4来传递诊断消息。

[0046] 现在参考图2,示出通过其阶跃响应来执行RCCT电感 $L_{RCCT}$ 的测量的实施例。

[0047] 在图2中示出的实施例中,IED 2'包括A/D转换模块13、电压阶跃生成模块14、以及功能模块A、B、C、D、E,以下将解释那些的每个功能。IED 2'具有包括A/D转换模块13和电压阶跃生成模块14的硬件领域,并且它具有包括功能模块A、B、C、D、E的软件领域。

[0048] 将RCCT 1连接到IED的输入端子11、12。在硬件领域(HW)中,将具有高输入电阻(例如,若干兆欧姆)的模数转换模块13和电压阶跃生成模块14都连接到这些端子12、13。

[0049] 阶跃生成模块14将连续的电压脉冲序列叠加到RCCT 1的输出电压 $V_s$ ,并且由此在其绕组中诱导电流脉冲序列。

[0050] 为了从初级电流获得好的频率隔离,电压脉冲的宽度需要远小于根据数据率1(见以下)的采样间隔。然而,它应该大于诱导的电流脉冲的时间常数(其示出指数形态)。

[0051] 在阶跃生成模块14的开关断开的期间,在IED 2的输入处将有失真的信号,因为a)应用附加的DC电压、以及b) RCCT 1的输出几乎短路,它导致线圈电阻 $R_{RCCT}$ 上的压降。因此,脉冲序列应该具有非常低的占空比,以便限制在DC处和在低频处产生的电流错误。

[0052] 可以利用简单的低温度系数电阻 $R_{CAL}$  15、一对开关16、17(例如,模拟CMOS开关)、以及DC电压源来构造阶跃生成模块14。要求 $R_{CAL}$ 测量由阶跃电压生成的电流脉冲并且它具有大约是RCCT电阻 $R_{RCCT}$ 的量值的低欧姆值-其值可以用于控制电流信号的幅度和时间常数。

[0053] A/D转换模块13将从具有不同的数据率(即数据率1 18和数据率2 19)的总RCCT输出电压 $V_s$ 来生成两个数据流。为了这样做,可以实现具有高采样率的单个sigma-delta转换器和两个不同的数字抽取滤波器。

[0054] 作为时间参考,可以使用准确的嵌入式振荡器或受控于外部参考振荡器(例如, GPS时钟(例如,秒脉冲PPS时钟))的振荡器。

[0055] 选择数据率1来满足用于采样额定电流 $I_r(t)$ 的要求。典型地,每个周期会有80或256个样本,如在IEC 60044-8中描述的。在此数据流中,已经过滤出阶跃响应信号(因为其频率高于抽取滤波器截止频率)。

[0056] 数据率2可以选择为远高于数据率1。以此方式,RCCT 1的阶跃响应在数字数据流中是可测量的。然而,数据率2不一定必须高于数据率1。

[0057] 软件(SW)模块A将适当的控制信号应用到开关。通过断开开关来应用电压阶跃以便生成电流脉冲。从此脉冲的测量形状,模块C将确定自感 $L_{RCCT}$ 和线圈电阻 $R_{RCCT}$ 。只要执行阶跃响应评估,模块A打开开关使得RCCT 1将只连接到A/D转换单元13。

[0058] SW模块B包括RCCT的线匝数量 $N_{RCCT}$ 。备选地,模块B可以从位于RCCT 1壳体中的EEPROM存储器中读取此信息,它包含RCCT 1参数(例如, $N_{RCCT}$ )。

[0059] 模块C评估RCCT 1的电阻 $R_{RCCT}$ 和电感 $L_{RCCT}$ 。重要的是注意 $L_{RCCT}$ 评估的精度只取决于 $R_{CAL}$ 精度和时间参考精度。在其大部分诱导的行为期间,通过分析阶跃响应,由于线缆、绕组、印刷电路板(PCB)或连接器的所有寄生电容和杂散电感变得可以忽略。 $R_{RCCT}$ 评估的精度只取决于 $R_{CAL}$ 。这是本发明与现有技术之间的重要差别,其中灵敏度估计精度取决于时间参考和电阻精度,也取决于电压和电容值。

[0060] 模块D根据上面给出的式子来计算RCCT的实际灵敏度S。此值是定期更新来补偿在RCCT上起作用的外部干扰(例如,温度、老化、潮湿、机械压力)。

[0061] 此外,模块D可以用于分析灵敏度或其它参数是否在根据应用定义的可接受的范围内。如果不是这种情况,则可以经由诊断信号线4来生成诊断消息以通知必须在安装上执行维护。

[0062] 模块E读取S的计算值并且根据传感器的特定灵敏度来校正RCCT的1输出信号。以此方式,增加了数字输出 $I_r(t)$ 的精度并且它变得独立于初级传感器的任何灵敏度变化。

[0063] 在下文中,描述在图2中示出的实施例的一些变化,然而它们未图示在图中。

[0064] 为了在阶跃电压单元的开关的打开期间限制诱导的电压峰值,电压限制装置(齐纳二极管,等)可跨IED输入端子而连接。

[0065] 代替使用具有非常低的占空比的阶跃电压,可通过利用两个开关反转DC电压的极性来使用具有接近50%的占空比的双极脉冲序列。在此情况下,低通滤波器(例如,基于电容)需要与开关串联放置以便防止RCCT的输出短路。其截止频率需要在额定电流频率与脉冲序列的频率之间是良好的。以此方式,将避免DC和低的频率分量并且将不需要电压限制装置。

[0066] 如果需要利用长线缆将RCCT连接到IED,则线缆阻抗可影响在高的测量频率处的灵敏度校准的精度。为了补偿寄生阻抗,如果在线缆中有超过两个导线可用,则可应用四端子感测技术。在此情况下,将利用两个线来连接每个线圈端子,其中一个用于阶跃电压的应用(此电路包括电阻 $R_{CAL}$ )并且另一个用于穿过线圈的电压的测量。可以利用每个上述变化(低或高的占空比)来应用此方法。

[0067] 另一实施例涉及通过其频率响应的RCCT电感的测量。在本实施例中,类似于上述实施例,模块步骤(参见图2)被另一模块X(图中未示出)代替,生成精确的已知频率(即,受控于时间参考或外部时钟)的振荡(例如,方形、正弦)信号。在本实施例中,模块C会通过识别关于电压和截止频率的电流的幅度和相位来分析频率响应,而由模块A将频率扫描应用到模块X。通过分析在数据率2处传递的数据的幅度可以找到截止频率。

[0068] 类似于上面的实施例,A/D转换低通数字抽取滤波器从数据率1中滤出通过电阻 $R_{CAL}$ 的模块X的线圈的激励。

[0069] 以下再次总结本发明的主要特征。

[0070] 新的IED布置测量罗果夫斯基线圈电感并且计算线圈灵敏度。因为连接到IED的罗果夫斯基线圈设计是已知的或被自动检测的(EEPROM、连接器配置、线圈电阻率等),所以IED知道线圈中的线匝的数量并且可以从测量的电感来计算灵敏度。

[0071] IED并行地执行灵敏度估计和额定电流测量。

[0072] 以此方式,IED不断地更新灵敏度值,使得它补偿由于温度、机械压力、潮湿或老化的灵敏度改变。

[0073] 此后者IED能力避免了工厂中的校准和传感器的温度特性描述。

[0074] 利用相同的原理,IED可以执行诊断来检测损坏的传感器、线缆或连接器,以及在安装和寿命期间出现的错误连接或超出范围漂移。

[0075] 实现想法的最佳模式是通过与位于IED中的已知的电阻串联连接的线圈(然后我们有RL电路)的阶跃响应来测量电感。



[0076] 备选解决方案是通过利用变化频率的AC信号来退出传感器而测量RL电路的频率响应。

[0077] 本发明的主要优势包括：

[0078] 1) 本发明使罗果夫斯基电流传感器更准确(IEC标准0.2级或更好)

[0079] 2) 本发明使罗果夫斯基线圈制造过程更便宜,因为它避免了工厂中的校准和温度特性描述。

[0080] 3) 与现存的IED相比,可以利用低成本的电子设备来实现本发明。

[0081] 4) 本发明增加传感器寿命并且添加一些诊断功能来检测错误安装、损坏或超出范围漂移。

[0082] 参考符号列表

[0083] 1 RCCT线圈传感器

[0084] 2、2' 智能电子装置IED

[0085] 3 次级导体绕组

[0086] 4 诊断信号线

[0087] 5 测量电路

[0088] 6 校正电路

[0089] 7 初级导体

[0090] 8 次级端子

[0091] 9 次级端子

[0092] 10 输出信号线

[0093] 11 输入端子

[0094] 12 输入端子

[0095] 13 A/D转换模块

[0096] 14 电压阶跃生成模块

[0097] 15 电阻

[0098] 16 开关

[0099] 17 开关

[0100] 18 数据率1

[0101] 19 数据率2

[0102] A 功能模块

[0103] B 功能模块

[0104] C 功能模块

[0105] D 功能模块

[0106] E 功能模块。

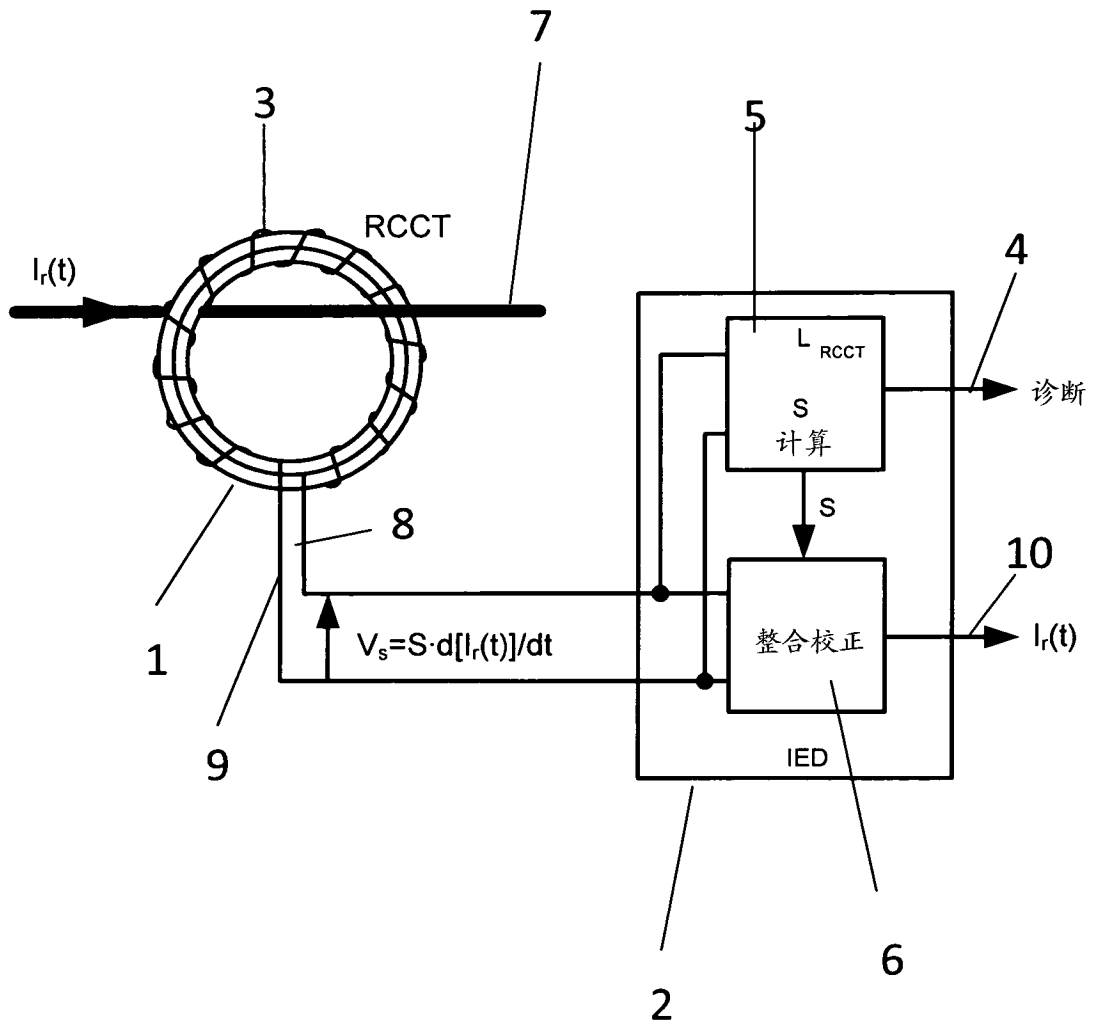


图 1

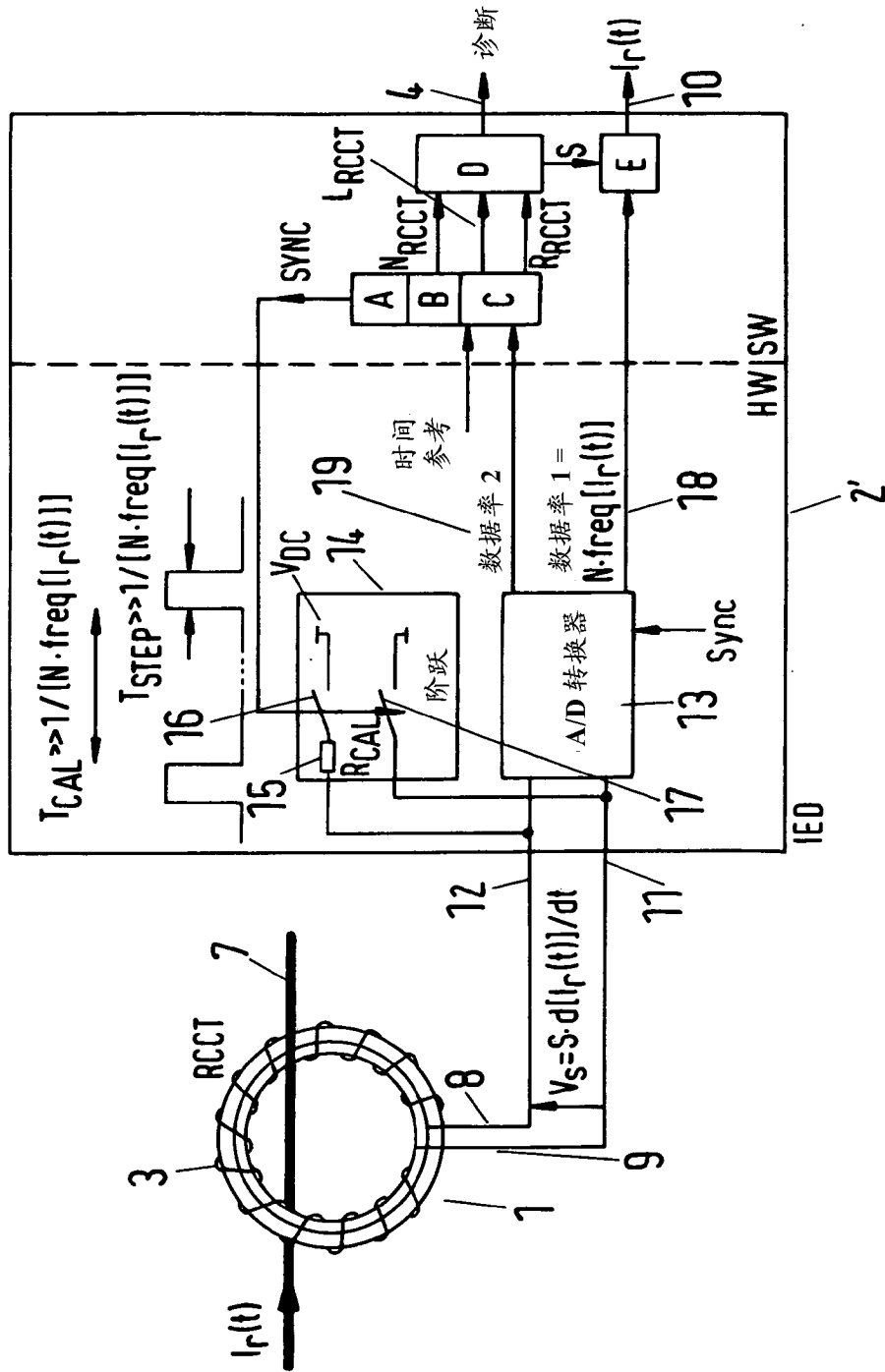


图 2