(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2021 年 12 月 9 日 (09.12.2021)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2021/243989 A1

(51) 国际专利分类号:
G01R 19/00 (2006.01) *G01R 15/20* (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2020/133573

(22) 国际申请日: 2020 年 12 月 3 日 (03.12.2020)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202010497795.7 2020年6月4日 (04.06.2020) CN

(71) 申请人: 华中科技大学(HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国湖北省武汉市洪山区珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。

(72) 发明人: 韩小涛 (HAN, Xiaotao); 中国湖北省武汉洪山区珞喻路1037号华中科技大学, Hubei 430074 (CN)。 张绍哲 (ZHANG, Shaozhe); 中国湖北省武汉洪山区珞喻路1037号华中科技大学, Hubei 430074 (CN)。 王奕霖 (WANG, Yilin); 中国湖北省武汉洪山区珞喻路1037号华中科技大学, Hubei 430074 (CN)。 谢剑峰 (XIE, Jianfeng); 中国湖北省武汉洪山区珞喻路1037号华中科技大学, Hubei 430074 (CN)。

(74) 代理人: 武汉华之喻知识产权代理有限公司 (WUHAN HUAZHIYU INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD.); 中国湖北省武汉东湖高新区佳园路2号高科大厦7028, Hubei 430074 (CN)。

WO 2021/243989 A1

(54) **Title:** FAST-RESPONSE DIRECT-CURRENT COMPARATOR BASED ON MULTI-SENSOR FUSION

(54) 发明名称: 一种基于多传感器融合的快响应直流比较仪

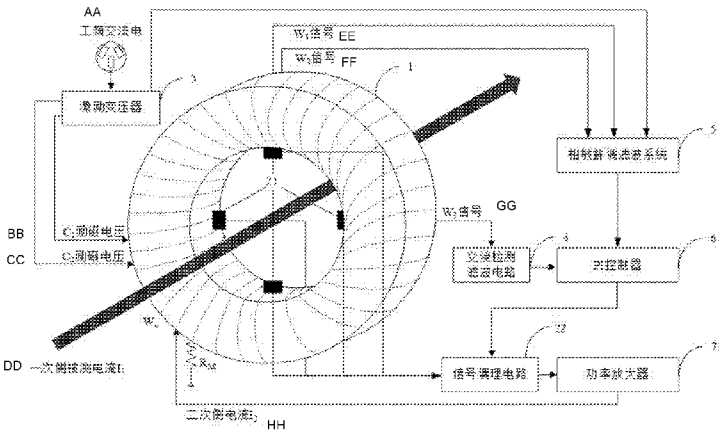


图 1

3 EXCITATION TRANSFORMER
4 ALTERNATING-CURRENT DETECTION FILTER CIRCUIT
5 PHASE-SENSITIVE DEMODULATION FILTER SYSTEM
6 PI CONTROLLER
7 POWER AMPLIFIER
22 SIGNAL CONDITIONING CIRCUIT
AA POWER-FREQUENCY ALTERNATING CURRENT
BB C_1 EXCITATION VOLTAGE
CC C_2 EXCITATION VOLTAGE
DD PRIMARY SIDE MEASURED CURRENT I_1
EE W_1 SIGNAL
FF W_2 SIGNAL
GG W_3 SIGNAL
HH SECONDARY SIDE CURRENT I_2

(57) **Abstract:** A fast-response direct-current comparator based on multi-sensor fusion, comprising: a magnetic modulation type current sensor (1), a current correction module, an excitation transformer (3), an alternating-current detection filter circuit (4), a phase-sensitive demodulation filter system (5), a PI controller (6) and a power amplifier (7), wherein the current correction module measures a primary side measured current and obtains a feed-forward signal, amplifies the feed-forward signal and a PI control signal, and then outputs same, so as to control a magnetic modulation core to rapidly exit or prevent same from entering a false balance state of magnetic saturation, and

[见续页]

(81) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的国家保护)：AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

to keep the output from the magnetic modulation type current sensor (1) stable. By means of the fast-response direct-current comparator, the magnetic modulation type current sensor (1) and a Hall current sensor are fused, such that the possibility of a failure caused by false balance due to saturation of the magnetic core is reduced; and after the false balance is generated, the magnetic core can be controlled by means of a feed-forward output current to rapidly exit a magnetic saturation state, and a system does not need to be restarted or scanned for a long time, thereby reducing the response time for restoring normal operation.

(57) 摘要：一种基于多传感器融合的快响应直流比较仪，包括：磁调制式电流传感器（1）、电流矫正模块、激励变压器（3）、交流检测滤波电路（4）、相敏解调滤波系统（5）、PI控制器（6）和功率放大器（7）；电流矫正模块测量一次侧被测电流并获得前馈信号，将前馈信号与PI控制信号进行放大后输出用于控制磁调制磁芯快速退出或避免进入磁饱和的虚假平衡状态，且使磁调制式电流传感器（1）输出保持稳定。快响应直流比较仪将磁调制式电流传感器（1）与霍尔电流传感器进行融合，降低了因磁芯饱和导致虚假平衡问题而发生故障的可能性；在虚假平衡已经产生后可通过前馈输出电流控制磁芯快速退出磁饱和状态，无需重启或长时间扫描系统，减少了恢复正常工作响应的时间。

一种基于多传感器融合的快响应直流比较仪

【技术领域】

本发明属于电流测量技术领域，更具体地，涉及一种基于多传感器融合的快响应直流比较仪。

【背景技术】

大电流（具体是指大于等于 1kA 的高强度电流）在工业生产、直流输电、高速铁路、科学实验等各行业都有广泛的应用，因此大电流测量技术一直以来都是重要研究课题。目前常见的直流大电流的测量方法有分流器、直流互感器、罗氏线圈传感器、光纤传感器、霍尔效应直流传感器等，但是绝大多数的大电流传感器存在测量精度较低、温度漂移较大等问题，无法满足直流大电流的 10ppm 级高精度快速稳定测量要求。

近几十年来，基于磁通门法的直流大电流测量技术受到了广泛研究与快速发展。其中，磁调制式直流比较仪作为现存最精确的电流传感器，测量精度可达 10ppm，并且具有极低的温度漂移和高稳定性与高灵敏度，因此目前 LEM、Hitech、Bergoz 等电流传感器巨头的精密电流传感器都是采用该类型。虽然目前磁调制式直流电流比较仪产业已经成熟，但是在虚假平衡问题的解决方案、动态响应性能等方面需要进行研究和改进。

“虚假平衡现象”是指直流比较仪磁芯材料完全饱和、磁调制式电流传感器输出为零且对任何输入均不响应，系统进入一种虚假平衡状态。产生这一现象的原因有：（1）电源上电前，穿过磁调制式电流传感器磁芯的被测电流已经存在；（2）被测电流大小超过直流电流比较仪可补偿的范围；（3）被测电流幅值大范围快速变化。此时，传感器完全无法工作，且无法从异常状态自动退出。虚假平衡大大限制了磁调制式直流电流比较仪的应用范围。

目前常用的虚假平衡解决方案可分为系统重启法与二次侧电流扫描法两种。系统重启法是指：关闭整个系统，然后先开启直流电流比较仪，待 PI 反馈回路开始工作后，再加载被测电流。该方法效率极低，基本无法普及使用。故目前广泛采用二次侧电流扫描法解决虚假平衡问题，即在电路中增加扫描模块，通常由低频三角波发生器与电压比较器组成。模块实时监测工作状态，当监测到虚假平衡发生时，二次绕组断开 PI 反馈回路连接扫描模块，电路进入扫描状态，试图寻找零磁通状态。一旦扫描到零磁通状态，扫描模块退出工作，将控制权交回 PI 反馈回路，电路回归工作正常状态。

虽然二次侧电流扫描法应用已经成熟，但是该方法依然存在两个问题：（1）电流扫描过程十分缓慢。当发生虚假平衡时，被测电流大小即平衡点未知，为了避免系统来不及反应而错过平衡点，扫描必须缓慢进行；且大量程直流比较仪二次线圈电感非常大，扫描速度快意味着供电电压大，而且当寻得平衡状态时，电流需要快速稳定以免再次失稳，此时可能产生较大感应电压而造成设备损坏。（2）该系统的动态响应性能未得到改善。即使脱离虚假平衡状态，被测电流再次经历同样的大范围波动，系统依旧会进入虚假平衡，必须再次开始扫描，效率较低。

【发明内容】

针对现有技术缺陷，本发明的目的在于提供一种基于多传感器融合的快响应直流比较仪，旨在不影响直流比较仪的测量精度、稳定度、时漂和温漂等稳态性能的前提下改善直流比较仪的动态响应能力，避免直流比较仪动态过程中发生虚假平衡，并实现由于带电合闸、过载等原因造成的虚假平衡状态的自动恢复，从而实现大范围动态直流大电流的精密测量。

本发明还提供了一种基于多传感器融合的快响应直流比较仪，包括：磁调制式电流传感器、电流矫正模块、激励变压器、交流检测滤波电路、相敏解调滤波系统、PI 控制器和功率放大器；磁调制式电流传感器的励磁

电压输入端连接至激励变压器的输出端，反馈输入端连接至功率放大器的输出端，用于通过励磁电压对磁调制式电流传感器的磁芯进行励磁，由第一信号输出端输出平衡判断信号给相敏解调滤波系统，由第二信号输出端输出交流感应电压信号给交流检测滤波电路；电流矫正模块用于测量一次侧被测电流并获得前馈信号，将前馈信号与 PI 控制信号进行放大后输出用于控制磁调制磁芯快速退出或避免进入磁饱和的虚假平衡状态，且使磁调制式电流传感器输出保持稳定；激励变压器的输入端用于连接工频交流电，第一输出端连接至磁调制式电流传感器的励磁电压输入端，第二输出端连接至相敏解调滤波系统的第二输入端，用于为磁调制式电流传感器提供周期性的励磁电压，并向相敏解调滤波系统提供所需方波信号；所述交流检测滤波电路的输入端连接至所述磁调制式电流传感器的第二信号输出端，用于对磁调制式电流传感器输出的交流感应电压信号进行检测与滤波；相敏解调滤波系统的第一输入端连接至磁调制式电流传感器的第一输出端，第二输入端连接至激励变压器的第三输出端，用于对平衡判断信号进行相敏解调处理并输出平衡调节信号；PI 控制器第一输入端连接至交流检测滤波电路的输出端，第二输入端连接至相敏解调滤波系统的输出端，用于对滤波后的交流感应电压信号与平衡调节信号进行比例积分控制并输出稳定的 PI 控制信号；功率放大器的输入端连接至电流矫正模块的输出端，用于对前馈信号与 PI 控制信号进行功率放大与滤波处理后输出反馈信号。

本发明中，由于采用了将磁调制式电流传感器与霍尔电流传感器进行融合，具有更强的动态响应能力，面对电流幅值大范围的变化时都能快速响应，极大程度地降低了直流比较仪因磁芯饱和导致虚假平衡问题而产生故障的可能性。另外，在虚假平衡已经产生的情况下，本发明可通过霍尔电流传感器的前馈输出电流控制磁芯快速退出磁饱和状态，无需重启或长时间扫描系统，大大减少了直流比较仪恢复正常工作响应的时间。

更进一步地，磁调制式电流传感器包括：第一磁调制磁芯 C_1、第二磁

调制磁芯 C_2、交流反馈磁芯 C_3、第一绕组 W_1、第二绕组 W_2、交流感应绕组 W_3 和二次侧绕组 W_S；第一磁调制磁芯 C_1 和第二磁调制磁芯 C_2 相互平行设置，且所述第一磁调制磁芯 C_1 和所述第二磁调制磁芯 C_2 分别由绝缘材料包裹后设置于所述交流反馈磁芯 C_3 中；所述第一绕组 W_1 绕制在所述第一磁调制磁芯 C_1 上，所述第二绕组 W_2 绕制在所述第二磁调制磁芯 C_2 上，且所述第一绕组 W_1 与所述第二绕组 W_2 串联，用于检测所述第一磁调制磁芯 C_1 和所述第二磁调制磁芯 C_2 中的磁通大小，并输出平衡判断信号；所述感应绕组 W_3 绕制于所述交流反馈磁芯 C_3 上，所述感应绕组 W_3 用于检测交流反馈磁芯中的磁通大小，并输出交流感应电压信号；所述二次侧绕组 W_S 绕制在包裹了所述交流反馈磁芯 C_3 的绝缘材料上，用于保证通过二次侧电流 I_2 产生的直流磁势与一次侧被测电流 I_1 的磁势平衡，且根据二次侧电流的大小计算待测电流值。

更进一步地，第一绕组 W_1 和第二绕组 W_2 反向串联，且第一磁调制磁芯 C_1 和所述第二磁调制磁芯 C_2 中的激励电流引起的交变磁通时刻保持大小相等方向相反。

更进一步地，第一磁调制磁芯 C_1 和所述第二磁调制磁芯 C_2 的材料均为矩形系数较高、矫顽力较小的铁磁材料。

更进一步地，第一磁调制磁芯 C_1 和所述第二磁调制磁芯 C_2 的材料均为晶粒取向的冷轧硅钢片、坡莫合金或非晶合金。

更进一步地，第一磁调制磁芯 C_1 和所述第二磁调制磁芯 C_2 的形状为圆环形，其直径由被测母线和二次侧绕组匝数决定，需保证直流大电流测量时母线可以从调制铁芯圆环内部穿过。

在本发明实施例中，电流矫正模块起到了前馈作用，根据一次侧被测电流的大小即时调整二次侧反馈电流，在一次侧被测电流范围变化时霍尔电流传感器支路和磁芯互感共同作用，功率放大器的即时输出避免了磁芯饱和，加强了磁芯互感能力，互感作用又可以使系统更快地进入零磁通状

态。一次侧被测电流进入稳态后，由于霍尔电流传感器的输出已经给予了功率放大器一个静态工作点，所以磁调制式电流传感器反馈回路只需提供一个较小电压保证零磁通即可。由于霍尔电流传感器在反馈环之外，不会影响零磁通的检测，所以电流的测量精度和稳定性不会受到影响。

更进一步地，电流矫正模块包括：霍尔电流传感器芯片和信号调理电路；霍尔电流传感器芯片用于检测待测电流，并根据待测电流以及功率放大器向磁调制式电流传感器提供的前馈信号来控制磁调制磁芯快速退出或避免进入磁饱和的虚假平衡状态，使磁调制式电流传感器输出保持稳定；信号调理电路用于对霍尔电流传感器芯片及 PI 控制器的输出信号进行滤波与大小调整。

更进一步地，霍尔电流传感器芯片的数量为八个，且八个霍尔电流传感器芯片分为四组互相垂直且中心对称的设置在环形的磁调制式电流传感器内侧。

更进一步地，相敏解调滤波系统包括：选频电路、同步方波电路、二阶带通滤波器、模拟乘法器和二阶低通滤波器；选频电路的输入端作为相敏解调滤波系统的第一输入端，用于提取绕组输入信号中的二次谐波信号；同步方波电路的输入端作为相敏解调滤波系统的第二输入端，用于对激励电压进行处理并保证输出的相位参考方波信号与所述选频电路输出的二次谐波信号相位同步；二阶带通滤波器的输入端连接至选频电路的输出端，用于对二次谐波信号进行滤波；模拟乘法器的第一输入端连接至二阶带通滤波器的输出端，第二输入端连接至同步方波电路的输出端，用于对滤波后的二次谐波信号以及相位参考方波信号进行相敏解调后输出平衡调节信号；二阶低通滤波器的输入端连接至模拟乘法器的输出端，用于对平衡调节信号进行滤波后输出无高频噪声的平衡调节信号。

本发明所提供的多传感器融合的直流比较仪，与现有技术相比，由于采用了与霍尔电流传感器融合的设计，具有更强的动态响应能力，面对电

流幅值大范围的变化时都能快速响应，极大程度上降低了直流比较仪因磁芯饱和导致虚假平衡问题而故障的可能性；在虚假平衡已经产生的情况下，本发明中传感器融合设计可通过霍尔电流传感器的前馈输出电流令磁芯快速退出磁饱和状态，无需重启或长时间扫描系统，大大减少了直流比较仪恢复正常工作响应的时间。

【附图说明】

图 1 为本发明实施实例提供的基于多传感器融合的快响应直流比较仪的结构原理图；

图 2 为本发明实施例提供的快响应直流比较仪中电流矫正模块中霍尔电流传感器的位置关系示意图；

图 3 为本发明实施例提供的快响应直流比较仪中磁调制式电流传感器线圈的几何结构图；

图 4 为本发明实施例提供的快响应直流比较仪中相敏解调滤波系统与激励变压器的连接关系示意图；

图 5 为本发明实施例提供的相敏解调滤波系统的模块结构示意图。

在所附图中，1 为磁调制式电流传感器，21 为点阵式霍尔电流传感器，22 为信号调理电路，3 为激励变压器，4 为交流检测滤波电路，5 为相敏解调滤波系统，6 为 PI 控制器，7 为功率放大器。

【具体实施方式】

为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施实例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

本发明提供了一种基于多传感器融合的快响应直流比较仪，可以在不影响直流比较仪的测量精度、稳定度、时漂和温漂等稳态性能的前提下改善直流比较仪的动态响应，避免了直流比较仪动态过程中发生虚假平衡，并实现由于带电合闸、过载等原因造成的虚假平衡状态的自动恢复，从而

实现动态直流大电流的精密测量。

图 1 示出了本发明实施实例提供的基于多传感器融合的快响应直流比较仪的结构，为了便于说明，仅示出了与本发明实施例相关的部分，详述如下：

基于多传感器融合的快响应直流比较仪包括：磁调制式电流传感器 1，电流矫正模块，激励变压器 3，交流检测滤波电路 4、相敏解调滤波系统 5，PI 控制器 6 和功率放大器 7；其中，磁调制式电流传感器 1 的励磁电压输入端连接至所述激励变压器 3 的输出端，反馈输入端连接至功率放大器 7 的输出端，用于通过励磁电压对所述磁调制式电流传感器 1 的磁芯进行励磁，由第一信号输出端输出平衡判断信号给相敏解调滤波系统 5，由第二信号输出端输出交流感应电压信号给交流检测滤波电路 4；电流矫正模块用于测量一次侧被测电流并获得前馈信号，将前馈信号与 PI 控制信号进行放大后输出用于控制磁调制磁芯快速退出或避免进入磁饱和的虚假平衡状态，且使磁调制式电流传感器输出保持稳定；激励变压器 3 的输入端用于连接工频交流电，第一输出端连接至磁调制式电流传感器 1 的励磁电压输入端，第二输出端连接至相敏解调滤波系统 5 的第二输入端，用于为磁调制式电流传感器 1 提供周期性的励磁电压，并向相敏解调滤波系统 5 提供所需方波信号；交流检测滤波电路 4 的输入端连接至磁调制式电流传感器 1 的第二信号输出端，用于对磁调制式电流传感器 1 输出的交流感应电压信号进行检测与滤波；相敏解调滤波系统 5 的第一输入端连接至磁调制式电流传感器 1 的第一输出端，第二输入端连接至激励变压器 3 的第三输出端，用于对平衡判断信号进行相敏解调处理并输出平衡调节信号；PI 控制器 6 第一输入端连接至交流检测滤波电路 4 的输出端，第二输入端连接至相敏解调滤波系统 5 的输出端，用于对滤波后的交流感应电压信号与平衡调节信号进行比例积分控制并输出稳定的 PI 控制信号；功率放大器 7 的输入端连接至电流矫正模块的输出端，用于对前馈信号与 PI 控制信号进行功率放大与

滤波处理后输出反馈信号。

本发明通过采用霍尔电流传感器和磁调制式电流传感器融合的方式，霍尔传感器根据一次侧被测电流的大小实时给磁芯一个反向的磁通，可以防止磁芯饱和，或者在已经饱和时，把磁芯从饱和状态“拖”出来。这样，仪器可以测量与承受的电流变化范围比原来单独磁调制式电流传感器时大了很多，即“动态响应性能提高”。由于直流比较仪的“响应时间”，就是磁芯中磁势达到平衡的时间，霍尔传感器的输出不像磁调制式电流传感器里面有很复杂的闭环，而是一有一次侧被测电流立即向磁芯提供反向磁势，所以可以令平衡更快，也即“快响应”。并且由于不需要重启或扫描，整体工作性能大大提高。

在本发明实施例中，电流矫正模块用于通过电流传感器测量一次侧被测电流，所得传感器输出正比于一次侧被测电流的前馈信号以及 PI 控制器 6 输出的 PI 控制信号连接至信号调理电路输入端，经滤波、调幅处理后，前馈信号与 PI 控制信号输出至功率放大器 6 输入端，前馈信号与 PI 控制信号经放大后向磁调制式电流传感器 1 提供前馈输入与闭环反馈输入，控制磁调制磁芯快速退出或避免进入磁饱和的虚假平衡状态，使磁调制式电流传感器输出保持稳定。

如图 2 所示，作为本发明的一个实施例，电流矫正模块可以利用传感器对磁调制式电流传感器进行前馈矫正。具体地，电流矫正模块包括：霍尔电流传感器芯片 21 和信号调理电路 22；霍尔电流传感器芯片 21 用于检测待测电流，并根据待测电流以及功率放大器向磁调制式电流传感器提供的前馈信号来控制磁调制磁芯快速退出或避免进入磁饱和的虚假平衡状态，使磁调制式电流传感器输出保持稳定；信号调理电路 22 用于对霍尔电流传感器芯片的输出信号进行滤波与大小调整。

其中，霍尔电流传感器芯片 21 的数量可以为八个，且八个霍尔电流传感器芯片 21 分为四组互相垂直且中心对称的设置在环形的磁调制式电流传

感器内侧。

在本发明实施例中，霍尔电流传感器芯片 21 还可以设置在磁调制式电流传感器外侧。

在本发明实施例中，激励变压器、磁调制磁芯及其绕组作为直流比较仪的直流反馈通路，用于检测直流和低频磁场分量；磁调制式电流传感器采用差分结构，第一绕组与第二绕组反向串联绕制在两个磁调制磁芯上，用于检测与输出磁调制磁芯中的磁通大小；激励变压器的副边分别与第一绕组和第二绕组相连接；两个磁调制磁芯中的激励电流引起的交变磁通由于第一、第二绕组反向串联绕制，时刻保持大小相等方向相反，它们的对外表现合成磁通为零，所以激励电流不会使激励变压器中产生输出。

激励变压器 3 的副边分别与磁调制式传感器 1 的第一绕组 W_1 和第二绕组 W_2 相连接，第一绕组 W_1 和第二绕组 W_2 输出端连接相敏解调滤波系统，磁调制式传感器的感应绕组 W_3 输出端连接交流检测滤波电路，相敏解调滤波系统与交流检测滤波电路输出端连接 PI 控制器，PI 控制器输出端连接电流矫正模块中信号调理电路输入端，其输出端连接功率放大器，功率放大器输出端连接磁调制式传感器的二次侧绕组 W_S。

调制磁芯材料通常为矩形系数较高、矫顽力较小的铁磁材料，如晶粒取向的冷轧硅钢片、坡莫合金、非晶等。调制磁芯形状通常为圆环形，其直径由被测母线、二次侧绕组匝数等因素综合决定，需保证直流大电流测量时母线可以从调制铁芯圆环内部穿过。调制铁芯截面积的选择应保证铁芯的细长比，例如，可以选择圆环平均周长和截面积之比大于 50，最优效果根据实验确定。本实施例中，调制磁芯采用高磁导率非晶合金绕制，传感器平均直径可以为 1124mm。

图 3 示出了本发明实施例提供的磁调制式电流传感器线圈几何结构图，第一绕组 W_1 和第二绕组 W_2 反向串联绕制在第一磁调制磁芯 C_1 和第二磁调制磁芯 C_2 上，用于检测与输出磁调制磁芯中的磁通大小；感应绕组 W_3 绕

制在交流反馈磁芯 C_3 上，用于检测交流反馈磁芯中的磁通大小。

作为本发明的一个实施例，第一绕组 W_1 和第二绕组 W_2 结构参数保持一致，且反向串联绕制，第一磁调制磁芯 C_1 和第二磁调制磁芯 C_2 中的激励电流引起的交变磁通时刻保持大小相等方向相反，它们的对外表现合成磁通为零，所以激励电流不会使所述激励变压器中产生输出。

调制磁芯磁特性由材料决定，第一绕组 W_1 和第二绕组 W_2 的匝数一般可以取 1000 匝，根据励磁电流大小确定线径，根据国家标准密绕线圈电流密度不大于 2.5A/mm^2，再根据输出信号大小确定输出电阻阻值和激励电压值。本实例中第一磁调制磁芯 C_1 和第二磁调制磁芯 C_2 截面尺寸为 10mm × 8mm，其对应的激励第一绕组 W_1 和第二绕组 W_2 采用 0.2 mm 漆包线绕制，匝数为 1000 匝，激励绕组匝数没有特殊要求，只要能承载峰值磁势时所需电流安匝数即可。

铁芯屏蔽层厚度通常为 5mm，采用高导磁材料带材绕制，如晶粒取向的冷轧硅钢片、坡莫合金、非晶等。铁芯屏蔽层与调制铁芯之间的空隙用电气灌封胶或其他绝缘填充物填充。

二次侧绕组 W_S 绕制在第一磁调制磁芯 C_1 和第二磁调制磁芯 C_2 与交流反馈磁芯 C_3 上。其作用为通过流过二次侧电流 I_2 产生直流磁势与一次侧被测电流 I_1 磁势平衡，通过二次侧电流的大小计算出一次侧被测电流值。二次绕组匝数取决于一次侧被测电流大小和二次侧电流额定值。

根据零磁通原理，当磁势平衡时有 $N_1I_1=N_2I_2$，进行电流测量时一次侧被测电流母线穿过磁芯，故 $N_1=1$，即 $I_2=（N_1I_1）/N_2$。线径的选取，根据国家标准密绕线圈电流密度不大于 2.5 A/mm^2 和 I_2 确定。本实施例中测量最大电流为 30 kA，取绕组匝数为 10000，采用线径为 1.2mm 的漆包线进行绕组。

交流反馈磁芯 C_3 及其感应绕组作为直流比较仪的交流反馈通路，用于检测中频交流磁场分量及抑制系统感应纹波。感应绕组绕制在交流反馈磁芯上，用于检测交流反馈磁芯中的磁通大小；感应绕组经过交流检测滤波

电路后的输出电压和磁调制式电流传感器的输出电压和作为 PI 控制器的控制量，经过功率放大器，驱动二次侧绕组形成零磁通闭环反馈控制。

交流反馈磁芯 C_3 同时作为交流检测磁芯、互感器磁芯和磁调制磁芯的磁屏蔽，其截面壁厚为 10mm，截面高度为 45mm，截面宽度为 28mm，磁芯左上角有 1mm 绝缘填充以防止形成绕线方向上的回路产生涡流通路。交流检测感应绕组 W_3 是开路状态没有电流流过，所以对线径没有要求，本实施例中采用 0.2 mm 漆包线进行绕制，绕组匝数与交流检测支路的灵敏度相关，但是其输出信号还需要经过信号调理电路，所以匝数的选取不十分严格，本实施例中选取为 1000 匝。反馈绕组的设计需要综合考虑量程和二次侧电流的测量以确定绕组匝数，即一次电流和二次侧电流的变比。匝数多意味着二次侧电流小，有利于二次侧电流的测量，同时也意味着绕组电阻和电感大，这会增加功率放大器的设计难度，而且匝数多也会增加绕组的分部参数。

本发明基于多传感器融合的快响应直流比较仪的激励放大器选取工频 50 Hz 作为磁调制激励频率，激励源直接采用市电经过带有中心抽头的工频变压器获得。

图 4 示出了本发明实施例提供的快响应直流比较仪中相敏解调滤波系统 5 与激励变压器 3 的连接关系； T_1、T_2、T_3、T_4 分别是激励第一绕组 W_1 和第二绕组 W_2 的接入端，两个绕组的差分电压经过双 T 选频网络和二阶带通滤波器输出二次谐波电压 v（$2f$），其中心频率 f_1=100 Hz，品质因数 Q_1=5。相敏解调所需方波由激励电压整流后通过比较器产生，然后经过相位调整补偿滤波器产生的相位误差，保证二次谐波电压 v（$2f$）和方波电压 v（s）的相位同步。v（$2f$）和 v（s）经过模拟乘法器 AD633 进行相敏解调，然后经过二阶低通滤波器输出，低通滤波器截止频率为 20 Hz，品质因数 Q_2=0.5。

图 5 示出了本发明实施例提供的相敏解调滤波系统的模块结构，相敏

解调滤波系统 5 包括：选频电路 51、同步方波电路 52、二阶带通滤波器 53、模拟乘法器 54 和二阶低通滤波器 55；选频电路 51 的输入端作为相敏解调滤波系统 5 的第一输入端，用于提取绕组输入信号中的二次谐波信号；同步方波电路 52 的输入端作为相敏解调滤波系统 5 的第二输入端，用于对激励电压进行处理并保证输出的相位参考方波信号与选频电路输出的二次谐波信号相位同步；二阶带通滤波器 53 的输入端连接至选频电路 51 的输出端，用于对二次谐波信号进行滤波；模拟乘法器 54 的第一输入端连接至二阶带通滤波器 53 的输出端，第二输入端连接至同步方波电路 52 的输出端，用于对滤波后的二次谐波信号以及相位参考方波信号进行相敏解调后输出平衡调节信号；二阶低通滤波器 55 的输入端连接至模拟乘法器的输出端，用于对平衡调节信号进行滤波后输出无高频噪声的平衡调节信号。

现详细说明 PI 控制器 6 和功率放大器 7 的功能作用，交流检测绕组输出信号 v_{ac} 经过 20kHz 二阶低滤波器以消除噪声干扰；v_{ac} 和 v_o 共同作为 PI 控制器输入，PI 控制器参数为 K_p=0.6，τ =0.22s；PI 控制器和霍尔电流传感器共同输出至功率放大器。

功率放大器 7 可以采用 AB 类线性放大器，其由 8 路并联的 MJL4302 和 MJL4281 互补对管组成，供电电压为±140V；为了增长系统稳定性，引入了由 RC 局部负反馈网络；设计完成后功率放大器增益 KPA=14。经功率放大器调整后的电压信号输出至磁调制式电流传感器二次绕组 Ws。

为了更进一步的说明本发明实施例提供的基于多传感器融合的快响应直流比较仪，现结合附图详述其工作过程如下：

为了便于叙述，暂不考虑频段过渡阶段各支路的耦合作用。首先介绍正常工作状态时，即当被测一次电流值不变或在小范围内变化时，动态过程中磁芯不发生饱和，互感作用不受磁芯饱和的影响，整个测量系统可以看成是线性系统时，直流比较仪的工作过程。

当一次侧电流 I_1 在较低频段（包括直流）时，一般为 $f_{ex}/2$ 以下，此时

交流检测感应绕组 W_3 输出电压为零且一次侧被测电流回路和二次绕组之间没有互感作用；其中，f_{ex} 为激励变压器的激励电压频率，一般为 50Hz。此时，点阵式霍尔电流传感器检测一次侧电流，输出恒定电压，通过信号调理电路后输入功率放大器；磁调制式放大器输出经过 PI 控制器与信号调理电路后输入功率放大器。两个传感器融合的总输出经功率放大器后，经由二次绕组 W_S 和采样电阻 R_M 形成闭环回路。当测量系统处于稳定状态时，即有 $N_1I_1=N_2I_2$，磁芯中被测磁势为零，此时磁调制式放大器输出信号为零，PI 控制器的积分作用使其保持稳定输出；而霍尔电流传感器输出仅与被测一次电流有关，故稳定输出不变。此时被测一次电流大小 $I_1=（N_2I_2）/N_1$。

当一次侧电流 I_1 在中高频段时，点阵式霍尔电流传感器检测交流电流，输出恒定电压，通过信号调理电路后输入功率放大器；磁调制式放大器支路输出电压为零，不考虑一次侧被测电流回路和二次绕组之间的互感作用，一次侧被测电流在交流检测感应绕组 W_3 中产生感应电压，经过 PI 控制器与信号调理电路后输入功率放大器。此时，磁调制式电流传感器作为交流电流比较仪维持零磁通状态。调节过程与低频时类似，只是磁通误差控制信号来自交流检测感应绕组 W_3 的电磁感应电压及点阵式霍尔电流传感器输出电压。

实际正常工作时，上述三种工作状态相互耦合。当被测信号发生变化时，霍尔电流传感器的输出与磁调制式电流传感器的互感首先起作用，互感磁芯不饱和时，在霍尔传感器与互感作用下二次绕组内可以保持零磁通状态。随着电流时间乘积（安秒积）的增大互感磁芯逐渐饱和，霍尔传感器、磁调制式电流传感器和交流检测铁芯共同作用控制功率放大器输出，驱动二次绕组，维持零磁场状态。

非正常工作状态时，即一次侧被测电流的变化范围较大，动态过程中互感磁芯的饱和导致互感能力迅速下降，如果功率放大器不能及时产生输出，来维持二次侧电流，二次侧电流就会快速下降，进而导致不平衡电流

超出磁调制式放大器的线性范围，直流比较仪闭环系统失稳而进入虚假平衡状态。

当被测一次电流大范围变化，虚假平衡已经发生时，多传感器融合系统中磁调制式放大器因磁芯饱和无法工作，点阵式霍尔电流传感器输出根据被测一次电流发生同比例变化的电压，直接控制功率放大器驱动二次绕组，使磁调制式放大器的磁芯退出磁饱，回归正常工作状态。

当被测一次电流大范围变化，虚假平衡还未发生时，霍尔电流传感器支路起到了前馈作用，当被测一次电流发生变化时，点阵式霍尔传感器和磁调制式放大器的互感作用共同工作，功率放大器的即时输出避免了互感磁芯发生饱和，加强了磁调制式放大器互感能力，互感作用又可以使系统更快地进入零磁通状态，使直流比较仪具有更强的动态响应能力，面对电流幅值大范围的变化时都能快速响应。一次电流进入稳态后，霍尔传感器的输出给予功放一个静态工作点，磁调制式电流传感器反馈回路只需提供一个较小电压保证零磁通即可。

本领域的技术人员容易理解，以上所述仅为本发明的较佳实施例而已，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

权 利 要 求

1、一种基于多传感器融合的快响应直流比较仪，其特征在于，包括：磁调制式电流传感器（1）、电流矫正模块、激励变压器（3）、交流检测滤波电路（4）、相敏解调滤波系统（5）、PI 控制器（6）和功率放大器（7）；

所述磁调制式电流传感器（1）的励磁电压输入端连接至所述激励变压器（3）的输出端，反馈输入端连接至所述功率放大器（7）的输出端，用于通过励磁电压对所述磁调制式电流传感器（1）的磁芯进行励磁，由第一信号输出端输出平衡判断信号给相敏解调滤波系统（5），由第二信号输出端输出交流感应电压信号给交流检测滤波电路（4）；

所述电流矫正模块用于测量一次侧被测电流并获得前馈信号，将所述前馈信号与 PI 控制信号进行放大后输出用于控制磁调制磁芯快速退出或避免进入磁饱和的虚假平衡状态，且使所述磁调制式电流传感器输出保持稳定；

所述激励变压器（3）的输入端用于连接工频交流电，第一输出端连接至所述磁调制式电流传感器（1）的励磁电压输入端，第二输出端连接至所述相敏解调滤波系统（5）的第二输入端，用于为所述磁调制式电流传感器（1）提供周期性的励磁电压，并向所述相敏解调滤波系统（5）提供所需方波信号；

所述交流检测滤波电路（4）的输入端连接至所述磁调制式电流传感器（1）的第二信号输出端，用于对所述磁调制式电流传感器（1）输出的交流感应电压信号进行检测与滤波；

所述相敏解调滤波系统（5）的第一输入端连接至所述磁调制式电流传感器（1）的第一输出端，第二输入端连接至所述激励变压器（3）的第三输出端，用于对平衡判断信号进行相敏解调处理并输出平衡调节信号；

所述 PI 控制器（6）第一输入端连接至所述交流检测滤波电路（4）的

输出端，第二输入端连接至所述相敏解调滤波系统（5）的输出端，用于对滤波后的交流感应电压信号与所述平衡调节信号进行比例积分控制并输出稳定的 PI 控制信号；

所述功率放大器（7）的输入端连接至所述电流矫正模块的输出端，用于对所述前馈信号与 PI 控制信号进行功率放大与滤波处理后输出所述反馈信号。

2、如权利要求 1 所述的快响应直流比较仪，其特征在于，所述磁调制式电流传感器（1）包括：第一磁调制磁芯 C_1、第二磁调制磁芯 C_2、交流反馈磁芯 C_3、第一绕组 W_1、第二绕组 W_2、交流感应绕组 W_3 和二次侧绕组 W_S；

所述第一磁调制磁芯 C_1 和所述第二磁调制磁芯 C_2 相互平行设置，且所述第一磁调制磁芯 C_1 和所述第二磁调制磁芯 C_2 分别由绝缘材料包裹后设置于所述交流反馈磁芯 C_3 中；

所述第一绕组 W_1 绕制在所述第一磁调制磁芯 C_1 上，所述第二绕组 W_2 绕制在所述第二磁调制磁芯 C_2 上，且所述第一绕组 W_1 与所述第二绕组 W_2 串联，用于检测所述第一磁调制磁芯 C_1 和所述第二磁调制磁芯 C_2 中的磁通大小，并输出平衡判断信号；

所述感应绕组 W_3 绕制于所述交流反馈磁芯 C_3 上，所述感应绕组 W_3 用于检测交流反馈磁芯中的磁通大小，并输出交流感应电压信号；

所述二次侧绕组 W_S 绕制在包裹了所述交流反馈磁芯 C_3 的绝缘材料上，用于保证通过二次侧电流 I_2 产生的直流磁势与一次侧被测电流 I_1 的磁势平衡，且根据二次侧电流的大小计算待测电流值。

3、如权利要求 2 所述的快响应直流比较仪，其特征在于，所述第一绕组 W_1 和所述第二绕组 W_2 反向串联，且所述第一磁调制磁芯 C_1 和所述第二磁调制磁芯 C_2 中的激励电流引起的交变磁通时刻保持大小相等方向相反。

4、如权利要求 2 或 3 所述的快响应直流比较仪，其特征在于，所述第

一磁调制磁芯 C_1 和所述第二磁调制磁芯 C_2 的材料均为矩形系数较高、矫顽力较小的铁磁材料。

5、如权利要求 4 所述的快响应直流比较仪，其特征在于，所述第一磁调制磁芯 C_1 和所述第二磁调制磁芯 C_2 的材料均为晶粒取向的冷轧硅钢片、坡莫合金或非晶合金。

6、如权利要求 2-5 任一项所述的快响应直流比较仪，其特征在于，所述第一磁调制磁芯 C_1 和所述第二磁调制磁芯 C_2 的形状为圆环形，其直径由被测母线和二次侧绕组匝数决定，需保证直流大电流测量时母线可以从调制铁芯圆环内部穿过。

7、如权利要求 1 或 2 所述的快响应直流比较仪，其特征在于，所述电流矫正模块包括：霍尔电流传感器芯片（21）和信号调理电路（22）；

所述霍尔电流传感器芯片（21）用于检测待测电流，并根据所述待测电流以及所述功率放大器（7）向所述磁调制式电流传感器（1）提供的前馈信号来控制磁调制磁芯快速退出或避免进入磁饱和的虚假平衡状态，使所述磁调制式电流传感器输出保持稳定；

所述信号调理电路（22）用于对所述霍尔电流传感器芯片（21）及所述 PI 控制器（6）的输出信号进行滤波与大小调整。

8、如权利要求 7 所述的快响应直流比较仪，其特征在于，所述霍尔电流传感器芯片（21）的数量为八个，且八个霍尔电流传感器芯片（21）分为四组互相垂直且中心对称的设置在环形的磁调制式电流传感器内侧。

9、如权利要求 1-8 任一项所述的快响应直流比较仪，其特征在于，所述相敏解调滤波系统（5）包括：选频电路（51）、同步方波电路（52）、二阶带通滤波器（53）、模拟乘法器（54）和二阶低通滤波器（55）；

所述选频电路（51）的输入端作为所述相敏解调滤波系统（5）的第一输入端，用于提取绕组输入信号中的二次谐波信号；

所述同步方波电路（52）的输入端作为所述相敏解调滤波系统（5）的

第二输入端，用于对激励电压进行处理并保证输出的相位参考方波信号与所述选频电路输出的二次谐波信号相位同步；

所述二阶带通滤波器（53）的输入端连接至所述选频电路（51）的输出端，用于对所述二次谐波信号进行滤波；

所述模拟乘法器（54）的第一输入端连接至所述二阶带通滤波器（53）的输出端，第二输入端连接至所述同步方波电路（52）的输出端，用于对滤波后的二次谐波信号以及相位参考方波信号进行相敏解调后输出平衡调节信号；所述二阶低通滤波器（55）的输入端连接至所述模拟乘法器的输出端，用于对平衡调节信号进行滤波后输出无高频噪声的平衡调节信号。

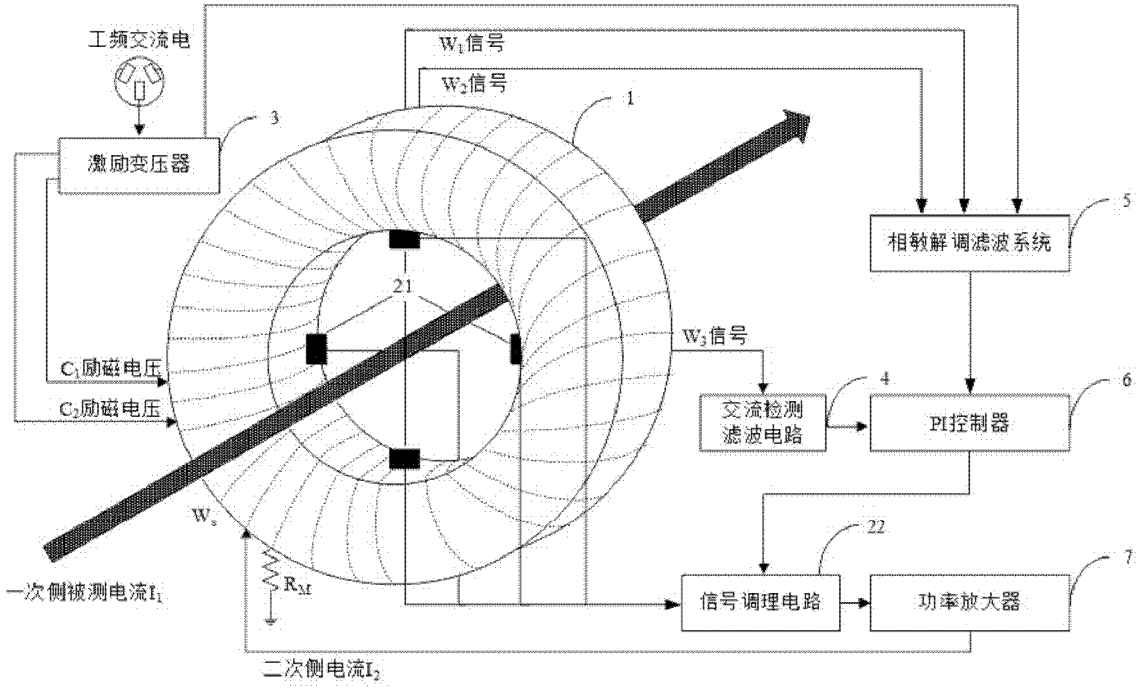

工频交流电
W1信号
W2信号
1
3
激励变压器
5
相敏解调滤波系统
21
W3信号
C1励磁电压
C2励磁电压
4
交流检测
滤波电路
6
PI控制器
Ws
22
7
RM
一次侧被测电流I1
信号调理电路
功率放大器
二次侧电流I2

图 1

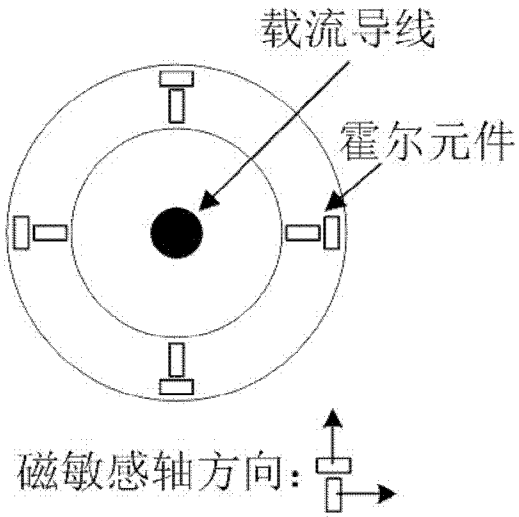

载流导线
霍尔元件
磁敏感轴方向：

图 2

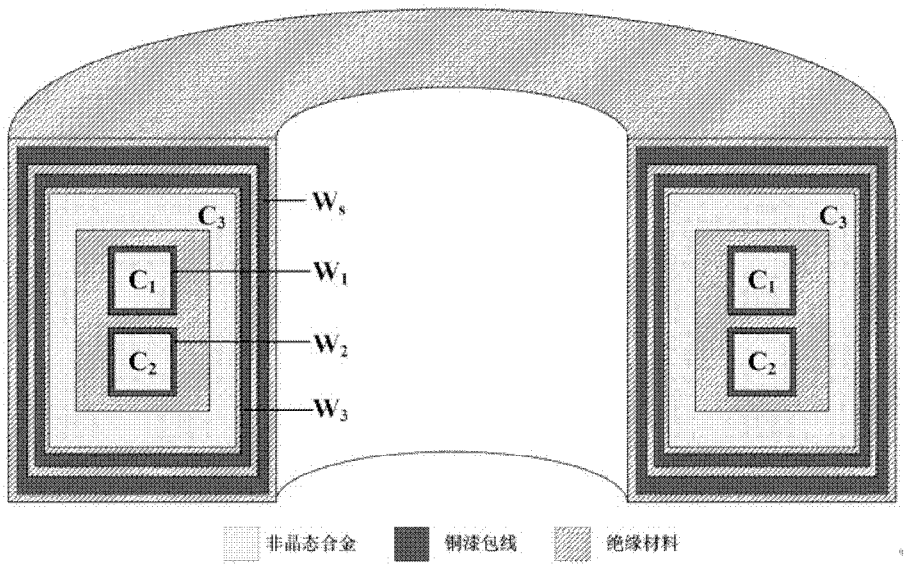

C3
C1
C2
Ws
W1
W2
W3
非晶态合金
铜漆包线
绝缘材料

图 3

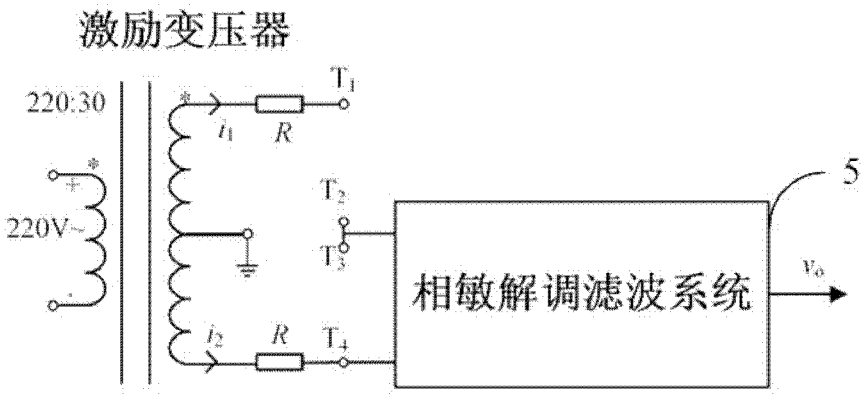

激励变压器
220:30
220V~
T1
T2
T3
T4
R
R
i1
i2
相敏解调滤波系统
5
Vo

图 4

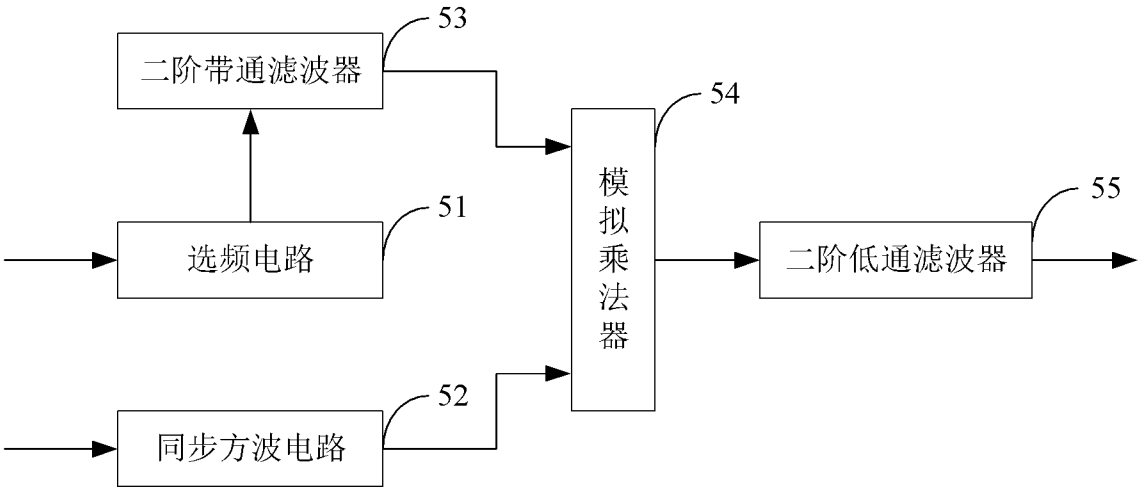

二阶带通滤波器
53
选频电路
51
同步方波电路
52
模拟乘法器
54
二阶低通滤波器
55

图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2020/133573

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 19/00(2006.01)i; G01R 15/20(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01R 19/-; G01R 15/-

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, WPI, EPODOC, CNKI: 华中科技大学, 韩小涛, 王奕霖, 张绍哲, 谢剑峰, 直流, 比较, 磁调制, 电流, 交流, 感应, 电压, 一次侧, 激励, 变压器, 相敏, 解调, PI, 控制, 功率放大, 功放, 励磁, 前馈, 磁饱和, 假平衡, magnet+, saturation, balance, current, core, winding, coil, voltage, AC, DC, modulation, feedback

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 111398650 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 10 July 2020 (2020-07-10) description, paragraphs [0024]-[0045], and figures 1-3	1-9
A	任士炎 等 (REN, Shiyan et al.). "双重磁检测器直流大电流比较仪的稳定性研究 (The Stability of High DC Current Compartator with Double Magnetic Detector)" *华中科技大学学报 (Journal of Huazhong University of Science and Technology),* Vol. 29, No. 11, 30 November 2001 (2001-11-30), ISSN: 1671-4512, pp. 83-84	1-9
A	CN 1580788 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 16 February 2005 (2005-02-16) entire document	1-9
A	CN 107942124 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 20 April 2018 (2018-04-20) entire document	1-9

☑ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
01 February 2021	**25 February 2021**

Name and mailing address of the ISA/CN	Authorized officer
China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088** **China**	
Facsimile No. **(86-10)62019451**	Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 108132375 A (CENTRAL RESEARCH INSTITUTE, TIANJIN BENEFO MACHINERY EQUIPMENT GROUP CO., LTD.) 08 June 2018 (2018-06-08) entire document	1-9
A	CN 109709385 A (HANGZHOU YINHU ELECTRIC EQUIPMENT CO., LTD.) 03 May 2019 (2019-05-03) entire document	1-9
A	JP 2002022774 A (JAPAN SYSTEM ENGINEERING K. K.) 23 January 2002 (2002-01-23) entire document	1-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2020/133573

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	111398650	A	10 July 2020	CN	111398650	B	09 October 2020
CN	1580788	A	16 February 2005	CN	100394199	C	11 June 2008
CN	107942124	A	20 April 2018		None		
CN	108132375	A	08 June 2018	CN	108132375	B	27 March 2020
CN	109709385	A	03 May 2019		None		
JP	2002022774	A	23 January 2002	JP	3502982	B2	02 March 2004

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2020/133573

A. 主题的分类

G01R 19/00(2006.01)i; G01R 15/20(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G01R 19/-; G01R 15/-

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用））

CNPAT,WPI,EPODOC,CNKI: 华中科技大学，韩小涛，王奕霖，张绍哲，谢剑峰，直流，比较，磁调制，电流，交流，感应，电压，一次侧，激励，变压器，相敏，解调，PI，控制，功率放大，功放，励磁，前馈，磁饱和，假平衡，magnet+, saturation, balance, current, core, winding, coil, voltage, AC, DC, modulation, feedback

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 111398650 A (华中科技大学) 2020年 7月 10日 (2020-07-10) 说明书第[0024]-[0045]段、图1-3	1-9
A	任士炎 等. "双重磁检测器直流大电流比较仪的稳定性研究" 华中科技大学学报, 第29卷，第11期，2001年 11月 30日 (2001-11-30), ISSN：1671-4512, 第83-84页	1-9
A	CN 1580788 A (华中科技大学) 2005年 2月 16日 (2005-02-16) 全文	1-9
A	CN 107942124 A (华中科技大学) 2018年 4月 20日 (2018-04-20) 全文	1-9
A	CN 108132375 A (天津百利机械装备集团有限公司中央研究院) 2018年 6月 8日 (2018-06-08) 全文	1-9
A	CN 109709385 A (杭州银湖电气设备有限公司) 2019年 5月 3日 (2019-05-03) 全文	1-9

☑ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

"A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

"E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

"L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

"O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

"P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

"T" 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

"X" 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

"Y" 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

"&" 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2021年 2月 1日	2021年 2月 25日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	受权官员 林婷 电话号码 86-(10)-53962439

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2020/133573

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	JP 2002022774 A (JAPAN SYSTEM ENGINEERING K.K.) 2002年 1月 23日 (2002-01-23) 全文	1-9

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2020/133573

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	111398650	A	2020年 7月 10日	CN	111398650	B	2020年 10月 9日
CN	1580788	A	2005年 2月 16日	CN	100394199	C	2008年 6月 11日
CN	107942124	A	2018年 4月 20日		无		
CN	108132375	A	2018年 6月 8日	CN	108132375	B	2020年 3月 27日
CN	109709385	A	2019年 5月 3日		无		
JP	2002022774	A	2002年 1月 23日	JP	3502982	B2	2004年 3月 2日