



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))。

(57) 摘要: 本发明公开了一种微差法与比例法结合的电阻高精度测量系统与方法, 其中系统包括: 恒流源、参考电阻、第一差分放大器、可编程增益放大器、模数转换器、微处理器、数模转换器和被测电阻接口; 被测电阻接口接入被测电阻; 参考电阻与被测电阻串联构成串联支路, 连接于恒流源和地之间; 第一差分放大器的两个输入端分别与参考电阻两端连接, 输出端与模数转换器的电压参考端连接; 可编程增益放大器, 第一输入端用于接入被测电阻的对地单端电压, 第二输入端被控地与数模转换器的模拟输出端或地连接, 输出端与模数转换器的模拟输入端连接, 模数转换器和数模转换器的数字输出端均与微处理器连接; 本发明系统能克服电源波动影响, 成本低、测量精度高。

一种微差法与比例法结合的电阻高精度测量系统与方法

技术领域

本发明涉及传感器与检测技术及仪器仪表领域，具体属于一种微差法与比例法结合的低成本高精度电阻测量系统与方法。

背景技术

电阻的准确测量是电阻型传感器实现高精度测量的基础。电阻型传感器在实际工程中应用非常之多，其中需要对传感的电阻进行高精度测量的场合也常见。

在自动检测系统中，对电阻的高精度测量多采用数字化测量方式，测量装置一般都包含有微处理器(CPU)、模数转换器(ADC)、信号输入电路。数字化测量系统的精度则主要取决于ADC的精度或位数，一般位数越多，系统分辨力越高、精度越高，但价格也越高。以美国TI公司MSP430F系列的微控制器为例，含12位ADC的MSP430F5524的价格比含10位ADC的MSP430F5510的价格要高出许多，两者的性能参数基本相同，但前者的千片价格为3.05\$，后者为1.70\$（两者仅非易失存储器的参数不同，通过比较MSP430G2755和MSP430G2855，易知存储器方面对价格的影响较小）。测量系统中常常需要使用数模转换器(DAC)，但DAC的价格相对ADC而言较为低廉，8位DAC如DAC101S101、10位DAC如DAC081S101价格在0.5\$左右（上述价格数据均来自器件公司的网上报价）。由此可见，数字化测量系统的精度、成本很大程度上是受ADC影响。这种情况造成实际应用中对电阻的高精度测量要求受到用户或厂商的低成本要求的制约，因此，如何以低成本实现高性能的问题就成为基于电阻测量的检测系统研发所需要着重解决的一个关键问题。

现有的自动检测系统，一般采用的是数字化电测技术，其实质仍是通过对能反映电阻变化的相应电压变化信号的测量来实现。在传感器与测量技术领域，为了减小或消除测量误差，常常采用替代法、比例法和微差法等方法来提高或改善测量精度，虽然每种方法各有其特点，但均存在相应的技术缺陷：

比例测量法(简称比例法)是利用被测量与已知量的比例关系计算确定被测量的量值的一种方法。应用时将被测电阻与已知标准电阻串联，利用两电阻的端电压和两电阻阻值的比例关系即可求出被测电阻阻值，电路简单，成本较低。以其实现高精度测量的优点是只有保证流过被测电阻与参考电阻串联支路的电流在短期内稳定，对具体数值却没有高要求。另外，以该方法实现高精度测量的条件实际还是包括了对电压测量的高精度要求。

微差测量法(简称微差法)是将被测量与同它只有微小差别的已知其量值的同种量或同性质标准量相比较，通过测量这两个量值之间的差值以确定被测量的量值的测量方法。用这种

方法测量时，只需测量两者的差值，并且由于标准量的误差很小，因此即使采用精度相对低的测量仪表，也能获得高的测量精度。采用精度相对低的测量仪表可以获得精度相对高的测量结果，这是微差法的主要优点。但是该方法在实际中是受到限制的，因为要获得与被测量相差很小的同类标准量是不容易的，有时是得不到的。

因此，单一使用比例法或微差法均很难在实现高精度电阻测量的同时又能降低测量系统的成本。

发明内容

针对上述问题本发明提供一种微差法与比例法结合的电阻测量系统与方法，实现高精度电阻测量的同时又能降低测量系统的成本。

为实现上述技术目的，本发明采用如下技术方案：

一种微差法与比例法结合的电阻高精度测量系统，包括恒流源、参考电阻、第一差分放大器、可编程增益放大器、模数转换器、微处理器、数模转换器和被测电阻接口；

所述被测电阻接口，用于接入被测电阻；

所述参考电阻与被测电阻串联构成串联支路，所述串联支路的一端与所述恒流源连接，所述串联支路的另一端接地；

所述第一差分放大器的两个输入端分别与所述参考电阻的两端连接，输出端与所述模数转换器的电压参考端连接；

所述可编程增益放大器，第一输入端用于接入所述被测电阻的对地单端电压，第二输入端被控地选择连接数模转换器的模拟输出端或地其中之一，可编程增益放大器的输出端与模数转换器的模拟输入端连接；所述被测电阻的对地单端电压，与被测电阻两端的电势差对应；

模数转换器的数字输出端和数模转换器的数字输入端均与微处理器连接。

本发明采用参考电阻与被测电阻串联构建串联支路，并由恒流源供电，然后巧妙地利用第一差分放大器、可编程增益放大器、模数转换器以及数模转换器的连接关系，以采用比例法与微差法相结合对被测电阻进行测量，从而可以将两个串联电阻的电压和电阻的比例关系转化为：第一差分放大器与可编程增益放大器之间的比例关系以及模数转换器的转换结果与其最大转换输出值之间的比例关系，进而将被测电阻的阻值与参考电阻的阻值、第一差分放大器的放大倍数、可编程增益放大器的放大倍数以及模数转换器的最大转换输出值建立关系，从而能克服被测电阻因电流变化对测量精度的影响以及电源波动对模数转换结果的影响；同时可降低对测量系统中模数转换器的精度要求，并且有效提高对被测电阻的测量精度。

正由于本发明对恒流源的精度和稳定性要求低、对模数转换器的位数要求低，因此本发明还可有效降低测量系统的构建成本。

进一步地，所述恒流源、参考电阻、被测电阻和地，依次连接形成所述串联支路；所述可编程增益放大器的第一输入端与被测电阻的非接地端连接；

或者，

所述系统还包括第二差分放大器，所述恒流源、被测电阻、参考电阻和地，依次连接形成所述串联支路；所述第二差分放大器，两个输入端分别与被测电阻的两端连接，输出端与所述可编程增益放大器的第一输入端连接，所述第二差分放大器的增益为一倍。

进一步地，数模转换器的电压参考端与第一差分放大器的输出端连接。

使 ADC 和 DAC 的参考电压为同一基准（第一差分放大器的输出电压 U_{REF} ），从而消除因被测电阻的工作电流变化或数值不准确、以及 ADC 与 DAC 的参考电压及其变化不同所带来的电阻测量误差，即是说可以克服电源波动对被测电阻高精度测量的影响。

进一步地，所述可编程增益放大器的控制端与微处理器连接，且可编程增益放大器由所述微处理器设置放大倍数。

进一步地，所述可编程增益放大器的放大倍数满足：可编程增益放大器输出的电压值小于模数转换器的最大转换值。

进一步地，还包括第一开关元件，所述第一开关元件的控制端与微处理器连接，用于微处理器控制可编程增益放大器的第二输入端与数模转换器的模拟输出端连接或与地连接；和/或，

还包括第二开关元件，所述第二开关元件的控制端与微处理器连接，用于微处理器控制第一差分放大器的输出端与模数转换器的电压参考端之间的通断；和/或，

还包括第三开关元件，所述第三开关元件的控制端与微处理器连接，用于微处理器控制第一差分放大器的输出端与数模转换器的电压参考端之间的通断。

一种微差法与比例法结合的电阻高精度测量方法，包括以下步骤：

步骤 1，将被测电阻接入到上述任一系统的被测电阻接口，其中可编程增益放大器的第二输入端与地连接；

步骤 2，微处理器获取对应被测电阻的模数转换结果；

步骤 2.1，可编程增益放大器将被测电阻的对地单端电压 U_s 放大 $A1$ 倍，得到第一电压 $U_c * A1$ ；模数转换器对得到的第一电压 $U_c * A1$ 进行模数转换得到第一电压数字量 $D1$ ；微处

理器从模数转换器读取第一电压数字量 $D1$ ；

步骤 2.2，微处理器按数模转换器位数计算并输出一个给定电压的数字量 $D1'$ 并发送给数模转换器，数模转换器对给定电压数字量 $D1'$ 进行数模转换得到给定电压 $U1$ ；其中，

$$D1' = \left\lfloor (D1 - n) * \frac{p1}{A1} * \frac{1}{p2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{D1 - n}{A1} * \frac{p1}{p2} \right\rfloor, \quad \lfloor \rfloor \text{表示向下取整}, \quad p1 \text{ 是模数转换器的分辨率}, \quad p2$$

是数模转换器的分辨率， n 为正整数，且 $n/D1 \leq \sigma$ ， $\sigma = 1/10$ 或 $\sigma = 1/8$ ；

步骤 2.3，将可编程增益放大器的第二输入端从与地连接切换至与数模转换器的模拟输出端连接；

步骤 2.4，可编程增益放大器将被测电阻对地单端电压 U_s 和给定电压 $U1$ 进行差分放大 $A2$ 倍，得到第二电压 $(U_s - U1) * A2$ ；模数转换器对得到的第二电压 $(U_s - U1) * A2$ 进行模数转换得到第二电压数字量 $D2$ ；微处理器从模数转换器读取第二电压数字量 $D2$ ；

步骤 3，微处理器按以下公式计算被测电阻的阻值 R_s ：

$$R_s = R_N * A_{REF} * \left(\frac{D1' * p2}{p1} + \frac{D2}{A2} \right) * \frac{1}{D_{FS}};$$

式中， R_N 表示参考电阻的阻值， A_{REF} 表示第一差分放大器的放大倍数， D_{FS} 为模数转换器的最大转换输出数字。

进一步地，所述系统还包括第一开关元件，所述第一开关元件的控制端与微处理器连接；

在执行步骤 2 之前，由微处理器控制第一开关元件，使可编程增益放大器的第二输入端与地连接；在步骤 2.3 时，由微处理器控制第一开关元件，使可编程增益放大器的第二输入端与数模转换器的模拟输出端连接。

进一步地，所述系统还包括第二开关元件和第三开关元件，第二开关元件和第三开关元件的控制端均与微处理器连接；

在步骤 2 之前，由微处理器控制第二开关元件连通，使第一差分放大器的输出端与模数转换器的电压参考端连通；以及在步骤 3 之后包括，由微处理器控制第二开关元件的断开，使第一差分放大器的输出端与模数转换器的电压参考端断开；

在执行步骤 2 之前，由微处理器控制第三开关元件连通，使第一差分放大器的输出端与数模转换器的电压参考端连通；以及在步骤 3 之后包括，由微处理器控制第三开关元件的断开，使第一差分放大器的输出端与数模转换器的电压参考端断开。

进一步地，在执行步骤 2.1 之前，由微处理器设置可编程增益放大器的放大倍数为 A1；以及在执行步骤 2.2 之后且步骤 2.4 之前，由微处理器设置可编程增益放大器的放大倍数为 A2。

有益效果

本发明采用参考电阻与被测电阻串联构建串联支路，并由恒流源供电，然后巧妙地利用第一差分放大器、可编程增益放大器、模数转换器以及数模转换器的连接关系，以采用比例法与微差法相结合对被测电阻进行测量，从而可以将两个串联电阻的电压和电阻的比例关系转化为：第一差分放大器与可编程增益放大器之间的比例关系以及模数转换器的转换结果与其最大转换输出值之间的比例关系，进而将被测电阻的阻值与参考电阻的阻值、第一差分放大器的放大倍数、可编程增益放大器的放大倍数以及模数转换器的最大转换输出值建立关系，从而能克服被测电阻因电流变化对测量精度的影响以及电源波动对模数转换结果的影响；同时可降低对测量系统中模数转换器的精度要求，并且有效提高对被测电阻的测量精度。

正由于本发明对恒流源的精度和稳定性要求低、对模数转换器的位数要求低，因此本发明还可有效降低测量系统的构建成本。

附图说明

图 1 为本发明实施例一的测量系统原理框图；

图 2 为本发明实施例一的恒流源和参考电压的设计电路图；

图 3 为本发明实施例一的测量装置的设计电路图；

图 4 为本发明实施例二的测量系统原理框图。

具体实施方式

下面对本发明的实施例作详细说明，本实施例以本发明的技术方案为依据开展，给出了详细的实施方式和具体的操作过程，对本发明的技术方案作进一步解释说明。

实施例一

本实施例提供一种微差法与比例法结合的电阻测量系统，其原理框图如图 1 所示，具体电路图如图 3 所示，包括被测电阻接口、恒流源、参考电阻 R_N 、第一差分放大器 Amp1、可编程增益放大器 PGA、模数转换器 ADC、微处理器 CPU、数模转换器 DAC、第一模拟开关 I、第二模拟开关 II 和第三模拟开关 III。

参考电阻的第一端与被测电阻接口的第一端连接，参考电阻的第二端与恒流源连接，被测电阻接口的第二端接地。

参考电阻的两端分别与第一差分放大器 Amp1 的两个输入端连接，第一差分放大器 Amp1 的输出端通过第二模拟开关II与模数转换器的电压参考端连接，第一差分放大器 Amp1 的输出端通过第三模拟开关III与数模转换器的电压参考端连接；其中，第二模拟开关II的控制端和第三模拟开关III的控制端均与微处理器连接，并由微处理器控制通断。在本实施例中记载的电压参考端，均是指模数转换器或者数模转换器的正端电压参考端 $V_{REF}(+)$ ，且负端电压参考端 $V_{REF}(-)$ 接地。

可编程增益放大器的第一输入端与被测电阻的第二端连接；可编程增益放大器的第二输入端与第一模拟开关 I 连接，第一模拟开关 I 的控制端与微处理器连接，并由微处理器控制可编程增益放大器的第二输入端与数模转换器的模拟输出端连接或与地连接，可编程增益放大器的输出端与模数转换器的模拟输入端连接；可编程增益放大器的控制端与微处理器连接，实现可编程增益放大器由所述微处理器控制放大倍数，且放大倍数满足：可编程增益放大器输出的电压值小于模数转换器的最大转换值。此处最大转换值，可以理解为，使模数转换器转换后刚好达到溢出的临界输入值。

模数转换器的数字输出端和数模转换器的数字输入端均与微处理器连接。

在本实施例中，微处理器 CPU 的型号为 AT89C51，模数转换器 ADC 的型号为 8 位数(二进制)的 ADC0809，数模转换器 DAC 为与模数转换器 ADC 同位数的 MAX517，可编程增益放大器 PGA 由仪表放大器 AD620 和多路开关 CD4051 及电阻元件组合而成，第一差分放大器 Amp1 的型号为 AD620，第二模拟开关 II 和第三模拟开关 III 的型号为 ADG821，第一模拟开关 I 的型号为 ADG852，电压参考源为 REF2933AIDBZT，参考电阻 R_N 选用 100 欧姆的锰铜电阻。

本实施例采用的恒流源，其电路为常用的电压参考源（电压基准源）器件结合集成运算放大器组成的负载接地恒流源电路实现方案，如图 2 所示。对于 400 欧姆以下的被测电阻，本实施例通过调整恒流源的输出，使参考电阻与被测电阻形成的串联支路的电流不超过 10mA；对于 400~1000 欧姆的被测电阻，使其电流不超过 5mA（对于工作电压为 5V 的电路而言）。

另外，本实施例中，第一差分放大器 Amp1 将参考电阻 R_N 的端电压 U_N 放大 A_{REF} 倍，并变换为以模拟地电位（即零电位）为参考的单端输出电压，作为提供给模数转换器和数模转换器的共同参考电压 U_{REF} ，从而可消除因被测电阻的工作电流变化或数值不确定、以及模数转换器和数模转换器的参考电压 U_{REF} 及其变化不同所带来的测量误差。

其中, 第一差分放大器 Amp1 的放大倍数 A_{REF} , 根据参考电阻 R_N 的端电压 U_N 的幅值大小和模数转换器以及数模转换器的允许参考电压值进行设置。

相应于上述电阻高精度测量系统, 本实施例再进一步使用该系统对被测电阻进行测量的方法进一步解释, 其具体测量方法包括以下步骤:

步骤 1, 将被测电阻接入到微差法与比例法结合的电阻高精度测量系统的被测电阻接口;

所述系统包括恒流源、参考电阻、第一差分放大器、可编程增益放大器、模数转换器、微处理器、数模转换器和被测电阻接口;

所述被测电阻接口, 用于接入被测电阻;

所述参考电阻与被测电阻串联构成串联支路, 所述串联支路的一端与所述恒流源连接, 所述串联支路的另一端接地;

所述第一差分放大器的两个输入端分别与所述参考电阻的两端连接, 输出端与所述模数转换器的电压参考端连接;

所述可编程增益放大器, 第一输入端用于接入所述被测电阻的对地单端电压, 第二输入端被控地选择连接数模转换器的模拟输出端或地其中之一, 可编程增益放大器的输出端与模数转换器的模拟输入端连接; 所述被测电阻的对地单端电压, 与被测电阻两端的电势差对应;

模数转换器的数字输出端和数模转换器的数字输入端均与微处理器连接。

在执行步骤 2 之前, 需确认可编程增益放大器的第二输入端是否与地连接, 若否, 则需要通过微处理器控制第一模拟开关 I 的控制端, 使可编程增益放大器的第二输入端与地连接;

在执行步骤 2 之前, 还需要确认第一差分放大器 Amp1 的输出端是否与模数转换器的电压参考端以及数模转换器的电压参考端连接, 若模数转换器或数模转换器中任意一个的电压参考端未与第一差分放大器 Amp1 的输出端连接, 均需要通过微处理器控制相应的模拟开关的控制端, 使模数转换器和数模转换器的电压参考端均与第一差分放大器 Amp1 的输出端连通, 以接收第一差分放大器 Amp1 提供的参考电压 U_{REF} ;

步骤 2, 微处理器获取阻值计算数据;

步骤 2.1, 可编程增益放大器将被测电阻的对地单端电压 U_s 放大 $A1$ 倍, 得到第一电压 $U_s * A1$; 模数转换器对得到的第一电压 $U_s * A1$ 进行模数转换得到第一电压数字量 $D1$; 微处理器从模数转换器读取第一电压数字量 $D1$;

在该步骤 2.1 之前还包括, 通过微控制器与可编程增益放大器的控制端之间的连接, 设置可编程增益放大器的放大倍数为 $A1$;

步骤 2.2, 微处理器按数模转换器位数根据第一电压数字量 $D1$ 计算并输出一个给定电压

数字量 $D1'$ ，并发送给数模转换器，数模转换器对给定电压数字量 $D1'$ 进行数模转换得到给定电压 $U1$ ；其中， $D1' = \left\lfloor (D1 - n) * \frac{p1}{A1} * \frac{1}{p2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{D1 - n}{A1} * \frac{p1}{p2} \right\rfloor$ ， $\lfloor \rfloor$ 表示向下取整， $p1$ 是模数转换器的分辨率， $p2$ 是数模转换器的分辨率， n 为正整数，且 $n / D1 \leq \sigma$ ， $\sigma = 1/10$ 或 $\sigma = 1/8$ ；

微处理器按上式输出给定电压数字量 $D1'$ ，可使得 DAC 的输出电压（即给定电压 $U1$ ）与被测电压 U_s （即被测电阻的对地单端电压 U_s ）接近但略小一点，从而形成微差以完成高精度电阻测量。

步骤 2.3，通过微处理器控制第一模拟开关 I 的控制端，将可编程增益放大器的第二输入端从与地连接切换至与数模转换器的模拟输出端连接；

步骤 2.4，可编程增益放大器将被测电阻的对地单端电压 U_s 和给定电压 $U1$ 进行差分放大 $A2$ 倍，得到第二电压 $(U_s - U1) * A2$ ；模数转换器对得到的第二电压 $(U_s - U1) * A2$ 进行模数转换得到第二电压数字量 $D2$ ；微处理器从模数转换器读取第二电压数字量 $D2$ ；

其中，在执行步骤 2.2 之后且步骤 2.4 之前还包括，由微处理器控制可编程增益放大器的放大倍数为 $A2$ ；

在设置可编程增益放大器的放大倍数 $A1$ 时，根据可编程增益放大器的增益档位进阶数值调整放大倍数，使得在执行步骤 2.1 的模数转换结果，即第一电压数字量 $D1$ ，不产生溢出；同时为使电阻测量更精确，要求可编程增益放大器的放大倍数 $A1$ 尽量更大，因此放大倍数 $A1$ 还需满足：使得第一电压数字量 $D1$ 的最高位尽可能为 1（对于二进制模数转换器）。即是说，在本实施例中，根据可编程增益放大器的增益档位进阶数值调整放大倍数 $A1$ ，在且满足第一电压数字量 $D1$ 不产生溢出的情况下，放大倍数越大越好，从而使模数转换器的转换无溢出保证模数转换的准确性，而且最大程度提高电阻测量的精度。

同时，在设置可编程增益放大器的放大倍数 $A2$ 时，根据测量系统对测量准确度的提高，要求所对应的 ADC 转换数字结果的有效数字位数的增加部分，不超过 ADC 的自身位数（即不超过 ADC 的分辨能力），PGA 的放大倍数则按其增益档位进阶数（二进制或十进制）进行相应调整，并保证 PGA 的输出不超过 ADC 的输入上限或位数。

步骤 3，微处理器按以下公式计算被测电阻的阻值 R_s ：

$$R_s = R_N * A_{REF} * (D1' * p2 / p1 + D2 / A2) / D_{FS}；$$

式中， R_N 表示参考电阻的阻值， A_{REF} 表示第一差分放大器的放大倍数， D_{FS} 为模数转换器的最大转换输出数字。

其中被测电阻 R_S 的阻值根据串联支路按比例法进行推算，其推算过程为：

$$\begin{aligned}
 R_S &= R_N * \frac{U_S}{U_N} \\
 &= R_N * \frac{U_S}{U_{REF} * A_{REF}^{-1}} \\
 &= R_N * A_{REF} * \frac{U1 + (U_S - U1)}{U_{REF}} ; \\
 &= R_N * A_{REF} * \left(\frac{D1'}{D_{FS1}} + \frac{D2}{A2} * \frac{1}{D_{FS}} \right) \\
 &= R_N * A_{REF} * \left(\frac{D1'}{D_{FS1}} * D_{FS} + \frac{D2}{A2} \right) * \frac{1}{D_{FS}} \\
 &= R_N * A_{REF} * \left(\frac{D1' * p2}{p1} + \frac{D2}{A2} \right) * \frac{1}{D_{FS}}
 \end{aligned}$$

式中， $D1' = \left\lfloor (D1 - n) * \frac{p1}{A1} * \frac{1}{p2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{D1 - n}{A1} * \frac{p1}{p2} \right\rfloor$ ， D_{FS} 是模数转换器的最大输出数字， D_{FS1}

是数模转换器的最大输入数字， $D_{FS1} = 1/p2$ ， $D_{FS} = 1/p1$ 。

步骤 4，通过微处理器控制第一模拟开关 I 的控制端，使可编程增益放大器的第二输入端与地连接；通过微处理器控制第二模拟开关 II 的控制端和第三模拟开关的控制端 III，使第一差分放大器 Amp1 的输出端与模数传感器以及数模传感器的电压参考端断开。

实施例二

在实施例一中，由于被测电阻的一端接地，因此被测电阻与参考电阻的共同连接端的电压，即为与被测电阻两端之间电势差对应的对地单端电压，可直接输入至可编程增益放大器的第一输入端。在本实施例二中，相对于实施例一的区别点在于，本实施例将参考电阻与被测电阻接口交换位置，以及在被测电阻与可编程增益放大器之间设置第二差分放大器，如图 4 所示。本实施例二中，由于被测电阻的两端均有电势，故需要在被测电阻与可编程增益放大器的第一输入端之间设置一个增益为一倍的第二差分放大器 Amp-2，将被测电阻两端之间的电势差转换为对地的单端电压，然后再输入至可编程增益放大器进行增益放大计算。其余均与实施例一的方案相同，在此不再赘述。

在本实施例中，使用本发明测量系统和本发明测量方法，采用的模数转换器和数模转换器的位数均为 8 位，也即两者的分辨率相同，均为 1/255，选择 8 组不同阻值的被测电阻进行测量，并在 proteus7.8 软件环境下进行了仿真测试，其中设置 $A1 = 2$ ， $A_{REF} = 10$ ， $D_{FS} = 255$ 。所测量的电阻值、由 DAC 转换引起的误差修正量、测量电阻的修正值、测量值的绝对误差、

相对误差、相应的放大增益 $A2$ 的值以及数字量 $D1'$ 、第一电压数字量 $D1$ 、第二电压数字量 $D2$ 如表 1 所示（表中 n 取值依次为：3,5,6,0,2,9,3,12）。

表 1

序号	实际电阻/ Ω	测量电阻/ Ω	修正量/ Ω	修正值/ Ω	绝对误差/ Ω	相对误差/%	$A2$	$D1'$	$D1$	$D2$
1	100	100.3370	0.3676	99.969	0.031	0.031	128	18H	33H	CBH
2	150	150.5515	0.5515	150.000	0.000	0.000	64	24H	4DH	99H
3	200	200.7966	0.7353	200.061	0.061	0.031	64	30H	66H	CDH
4	220	220.8333	0.8578	219.976	0.024	0.011	64	38H	70H	14H
5	240	240.9314	0.9181	240.013	0.013	0.005	64	3CH	7AH	5CH
6	300	301.1029	1.1029	300.000	0.000	0.000	32	48H	99H	99H
7	350	351.3480	1.3480	350.000	0.000	0.000	32	58H	B3H	33H
8	400	401.4706	1.4706	400.000	0.000	0.000	32	60H	CCH	CCH

另外，选择 10 位 DAC 器件 TLC5615 替换实施例 1 中的 8 位 DAC 器件 MAX515，由于其转换电压范围为 0-2 倍参考电压，考虑其不能超过电源电压，使其参考电压为 $U_{REF}/2$ ，做相同的测试，各测试结果如表 2 所示。由表 2 可知，对 DAC 的转换结果无需修正，这里为了区分分别对应 10 位和 8 位 DAC 的数字量，记 CPU 给 10 位 DAC 的输入数字量为 $D0$ ，它是按 8 位 DAC 对 $D1''=(D1-n)/A1$ 变换为 10 位后取整的数字量($D0=\lfloor D1''*p1/p2 \rfloor=\lfloor D1''*1024/255 \rfloor$)， $R_S=R_N*A_{REF}*(D0*p2/p1+D2/A2)/D_{FS}$ ，此处 $p2/p1=255/1024\approx 1/4$ 。

由表 1 和表 2 得知，8 个测试点的平均绝对误差为 0.016Ω ，最大绝对误差不超过 0.1Ω ，平均相对误差为 0.00975% ，最大相对误差不超过 0.05% 。可以看出本发明对电阻的测量能达到高精度测量的目的，具有较优的测试效果。

表 2

序号	实际电阻/ Ω	测量电阻/ Ω	绝对误差/ Ω	相对误差/%	$A2$	$D1''$	$D0$	$D1$	$D2$
1	100	99.969	0.031	0.031	128	18H	60H	33H	CBH
2	150	150.000	0.000	0.000	64	24H	90H	4DH	99H
3	200	200.061	0.061	0.031	64	30H	C0H	66H	CDH
4	220	219.975	0.024	0.011	64	38H	E0H	70H	14H
5	240	240.012	0.013	0.005	64	3CH	F0H	7AH	5CH
6	300	300.000	0.000	0.000	32	48H	121H	99H	99H
7	350	350.000	0.000	0.000	32	58H	161H	B3H	33H
8	400	400.000	0.000	0.000	32	60H	181H	CCH	CCH

以上实施例为本申请的优选实施例，本领域的普通技术人员还可以在此基础上进行各种变换或改进，在不脱离本申请总的构思的前提下，这些变换或改进都应当属于本申请要求保

护的范围之内。

权 利 要 求 书

1、一种微差法与比例法结合的电阻高精度测量系统，其特征在于，包括恒流源、参考电阻、第一差分放大器、可编程增益放大器、模数转换器、微处理器、数模转换器和被测电阻接口；

所述被测电阻接口，用于接入被测电阻；

所述参考电阻与被测电阻串联构成串联支路，所述串联支路的一端与所述恒流源连接，所述串联支路的另一端接地；

所述第一差分放大器的两个输入端分别与所述参考电阻的两端连接，输出端与所述模数转换器的电压参考端连接；数模转换器的电压参考端与第一差分放大器的输出端连接；

所述可编程增益放大器，第一输入端用于接入所述被测电阻的对地单端电压，第二输入端被控地选择连接数模转换器的模拟输出端或地其中之一，可编程增益放大器的输出端与模数转换器的模拟输入端连接；所述被测电阻的对地单端电压，与被测电阻两端的电势差对应；

模数转换器的数字输出端和数模转换器的数字输入端均与微处理器连接。

2、根据权利要求1所述的系统，其特征在于，所述恒流源、参考电阻、被测电阻和地，依次连接形成所述串联支路；所述可编程增益放大器的第一输入端与被测电阻的非接地端连接；

或者，

所述系统还包括第二差分放大器，所述恒流源、被测电阻、参考电阻和地，依次连接形成所述串联支路；所述第二差分放大器，两个输入端分别与被测电阻的两端连接，输出端与所述可编程增益放大器的第一输入端连接，所述第二差分放大器的增益为一倍。

3、根据权利要求1所述的系统，其特征在于，所述可编程增益放大器的控制端与微处理器连接，且可编程增益放大器由所述微处理器设置放大倍数。

4、根据权利要求1所述的系统，其特征在于，所述可编程增益放大器的放大倍数满足：可编程增益放大器输出的电压值小于模数转换器的最大转换值。

5、根据权利要求1所述的系统，其特征在于，还包括第一开关元件，所述第一开关元件的控制端与微处理器连接，用于微处理器控制可编程增益放大器的第二输入端与数模转换器的模拟输出端连接或与地连接；和/或，

还包括第二开关元件，所述第二开关元件的控制端与微处理器连接，用于微处理器控制第一差分放大器的输出端与模数转换器的电压参考端之间的通断；和/或，

还包括第三开关元件，所述第三开关元件的控制端与微处理器连接，用于微处理器控制第一差分放大器的输出端与数模转换器的电压参考端之间的通断。

6、一种微差法与比例法结合的电阻高精度测量方法，其特征在于，包括以下步骤：

步骤 1, 将被测电阻接入到权利要求 1-4 任一所述系统的被测电阻接口, 其中可编程增益放大器的第二输入端与地连接;

步骤 2, 微处理器获取对应被测电阻的模数转换结果;

步骤 2.1, 可编程增益放大器将被测电阻的对地单端电压 U_s 放大 $A1$ 倍, 得到第一电压 $U_s * A1$; 模数转换器对得到的第一电压 $U_s * A1$ 进行模数转换得到第一电压数字量 $D1$; 微处理器从模数转换器读取第一电压数字量 $D1$;

步骤 2.2, 微处理器按数模转换器位数计算并输出一个给定电压的数字量 $D1'$ 并发送给数模转换器, 数模转换器对给定电压数字量 $D1'$ 进行数模转换得到给定电压 $U1$; 其中,

$$D1' = \left\lfloor (D1 - n) * \frac{p1}{A1} * \frac{1}{p2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{D1 - n}{A1} * \frac{p1}{p2} \right\rfloor, \lfloor \rfloor \text{表示向下取整, } p1 \text{ 是模数转换器的分辨率, } p2$$

是数模转换器的分辨率, n 为正整数, 且 $n / D1 \leq \sigma$, $\sigma = 1/10$ 或 $\sigma = 1/8$;

步骤 2.3, 将可编程增益放大器的第二输入端从与地连接切换至与数模转换器的模拟输出端连接;

步骤 2.4, 可编程增益放大器将被测电阻对地单端电压 U_s 和给定电压 $U1$ 进行差分放大 $A2$ 倍, 得到第二电压 $(U_s - U1) * A2$; 模数转换器对得到的第二电压 $(U_s - U1) * A2$ 进行模数转换得到第二电压数字量 $D2$; 微处理器从模数转换器读取第二电压数字量 $D2$;

步骤 3, 微处理器按以下公式计算被测电阻的阻值 R_s :

$$R_s = R_N * A_{REF} * \left(\frac{D1' * p2}{p1} + \frac{D2}{A2} \right) * \frac{1}{D_{FS}};$$

式中, R_N 表示参考电阻的阻值, A_{REF} 表示第一差分放大器的放大倍数, D_{FS} 为模数转换器的最大转换输出数字。

7、根据权利要求 6 所述的方法, 其特征在于, 所述系统还包括第一开关元件, 所述第一开关元件的控制端与微处理器连接;

在执行步骤 2 之前, 由微处理器控制第一开关元件, 使可编程增益放大器的第二输入端与地连接; 在步骤 2.3 时, 由微处理器控制第一开关元件, 使可编程增益放大器的第二输入端与数模转换器的模拟输出端连接。

8、根据权利要求 6 所述的方法, 其特征在于, 所述系统还包括第二开关元件和第三开关元件, 第二开关元件和第三开关元件的控制端均与微处理器连接;

在步骤 2 之前, 由微处理器控制第二开关元件连通, 使第一差分放大器的输出端与模数

转换器的电压参考端连通；以及在步骤 3 之后包括，由微处理器控制第二开关元件的断开，使第一差分放大器的输出端与模数转换器的电压参考端断开；

在执行步骤 2 之前，由微处理器控制第三开关元件连通，使第一差分放大器的输出端与数模转换器的电压参考端连通；以及在步骤 3 之后包括，由微处理器控制第三开关元件的断开，使第一差分放大器的输出端与数模转换器的电压参考端断开。

9、根据权利要求 6 所述的方法，其特征在于，在执行步骤 2.1 之前，由微处理器设置可编程增益放大器的放大倍数为 A1；以及在执行步骤 2.2 之后且步骤 2.4 之前，由微处理器设置可编程增益放大器的放大倍数为 A2。

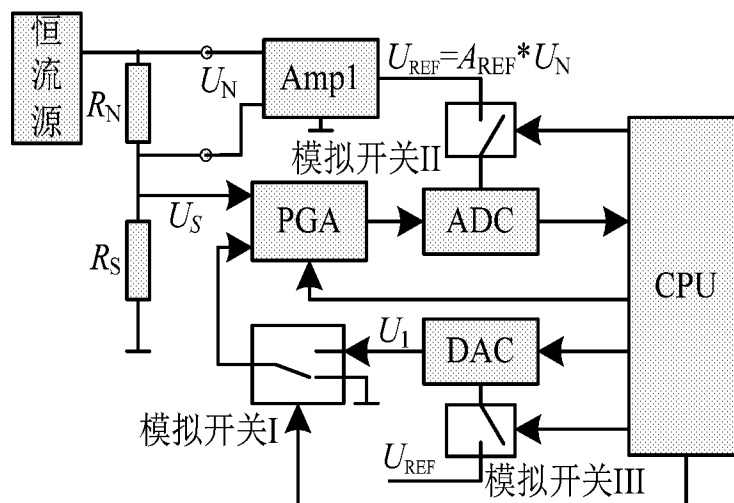


图 1

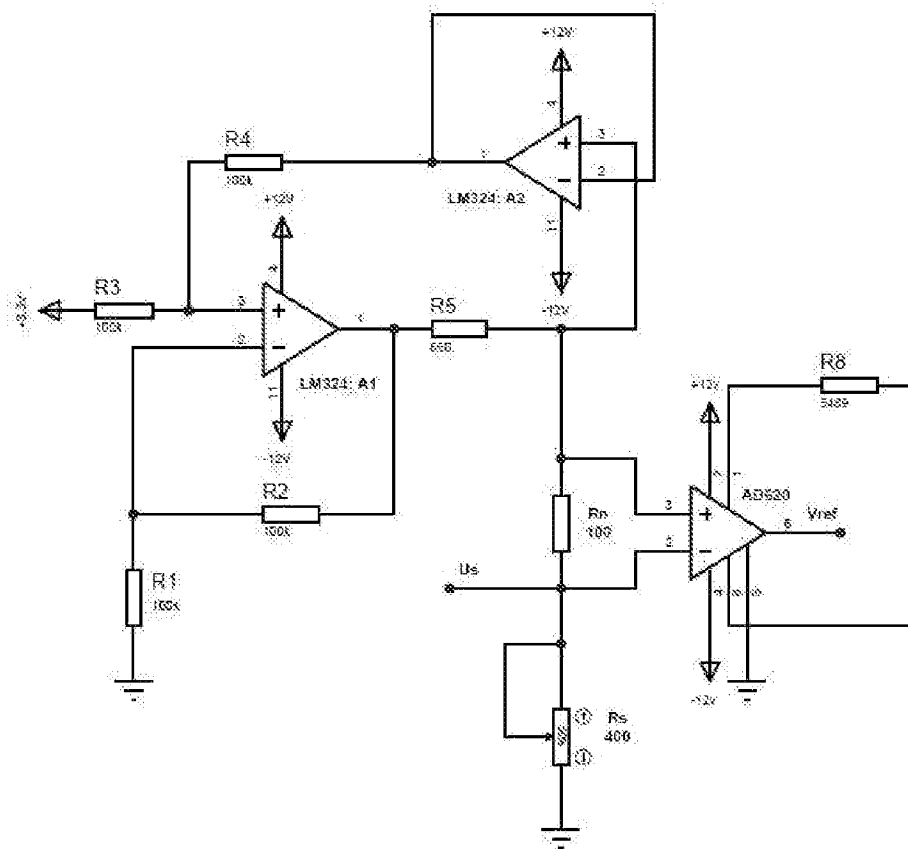


图 2

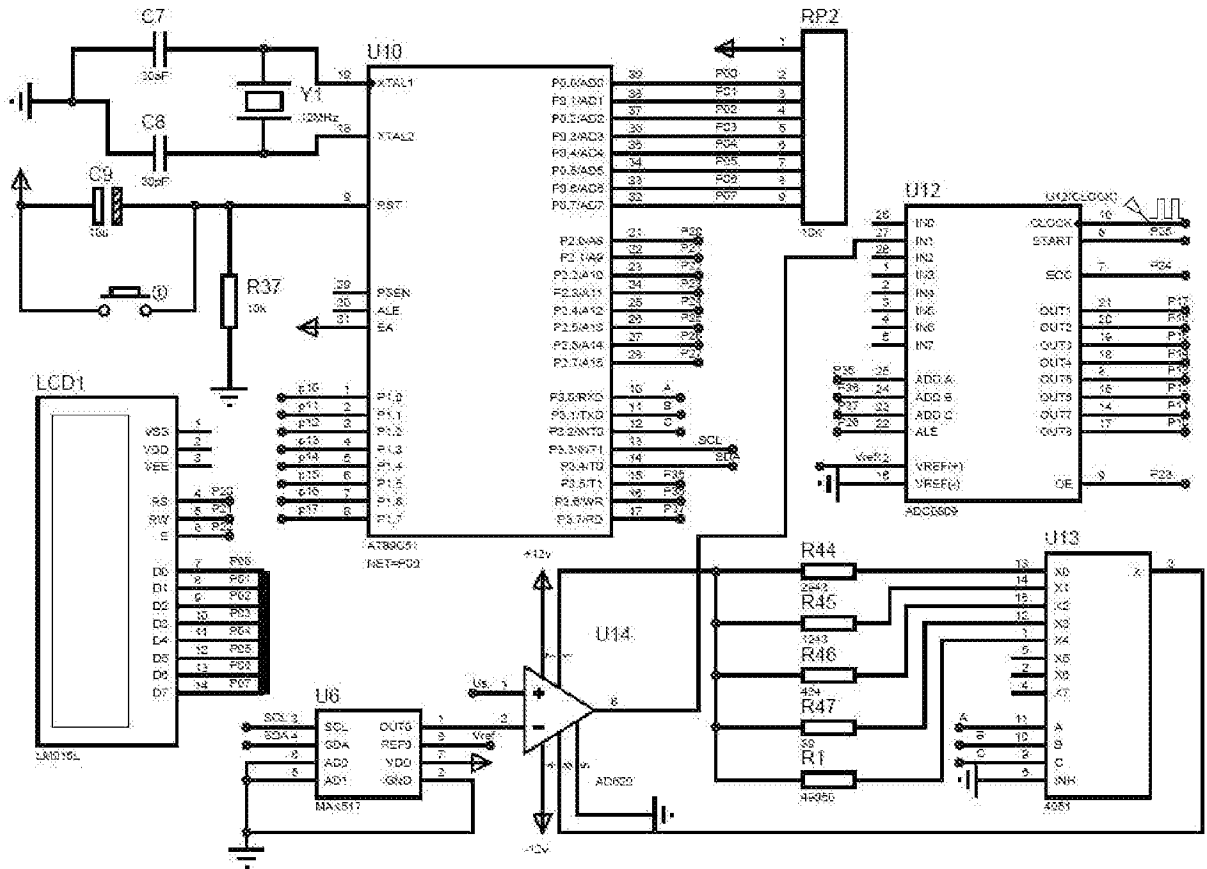


图 3

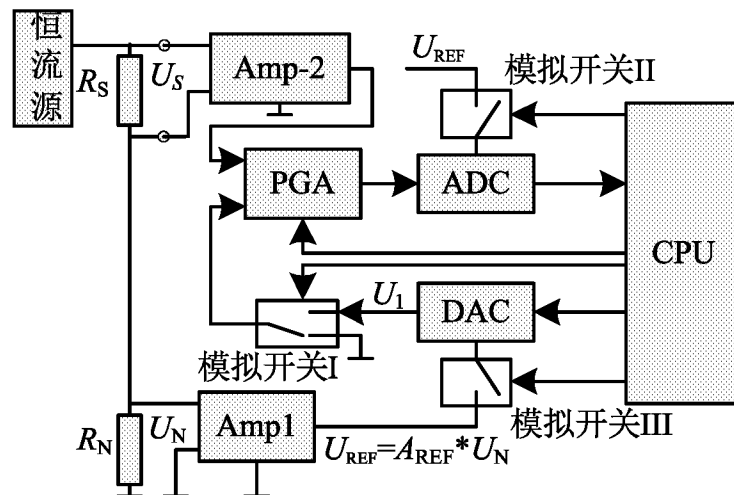


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/094604

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 27/14(2006.01)i; G01R 1/20(2006.01)i; G01R 1/30(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

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)

CNABS; CNTXT; CNKI; VEN; USTXT; EPTXT; WOTXT: 电阻, 测量, 微差, 比例, 组合, 复合, 基准, 高精度, 恒流源, resistance, different+, proportion, combination, ADC, DAC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 110161313 A (CENTRAL SOUTH UNIVERSITY) 23 August 2019 (2019-08-23) claims 1-10, description, paragraphs [0053]-[0091], figures 1-4	1-9
A	CN 102317798 A (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.) 11 January 2012 (2012-01-11) description, paragraphs [0026]-[0067], and figures 1-10	1-9
A	CN 106383272 A (BEIJING INSTITUTE OF ELECTRONIC SYSTEM ENGINEERING) 08 February 2017 (2017-02-08) entire document	1-9
A	CN 2702317 Y (ZHAO, Jun) 25 May 2005 (2005-05-25) entire document	1-9
A	US 4160949 A (CALIFORNIA INSTR CORP) 10 July 1979 (1979-07-10) entire document	1-9
A	JP H0989952 A (TOSHIBA MICRO ELECTRONICS et al.) 04 April 1997 (1997-04-04) entire document	1-9
A	US 5469071 A (TOSHIBA KK) 21 November 1995 (1995-11-21) 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

28 July 2020

Date of mailing of the international search report

26 August 2020

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Authorized officer

Facsimile No. (86-10)62019451

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2020/094604

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	110161313	A	23 August 2019	None			
CN	102317798	A	11 January 2012	WO	2011137708	A3	23 February 2012
				WO	2011137708	A2	10 November 2011
				CN	102317798	B	26 June 2013
CN	106383272	A	08 February 2017	CN	106383272	B	14 December 2018
CN	2702317	Y	25 May 2005	None			
US	4160949	A	10 July 1979	None			
JP	H0989952	A	04 April 1997	None			
US	5469071	A	21 November 1995	KR	0137086	B1	01 June 1998

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/094604

A. 主题的分类

G01R 27/14(2006.01)i; G01R 1/20(2006.01)i; G01R 1/30(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

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))

CNABS;CNTXT;CNKI;VEN;USTXT;EPTXT;WOTXT: 电阻, 测量, 微差, 比例, 组合, 复合, 基准, 高精度, 恒流源, resistance, different+, proportion, combination, ADC, DAC

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 110161313 A (中南大学) 2019年 8月 23日 (2019 - 08 - 23) 权利要求1-10, 说明书第[0053]-[0091]段, 图1-4	1-9
A	CN 102317798 A (华为技术有限公司) 2012年 1月 11日 (2012 - 01 - 11) 说明书第[0026]-[0067]段, 图1-10	1-9
A	CN 106383272 A (北京电子工程总体研究所) 2017年 2月 8日 (2017 - 02 - 08) 全文	1-9
A	CN 2702317 Y (赵军) 2005年 5月 25日 (2005 - 05 - 25) 全文	1-9
A	US 4160949 A (CALIFORNIA INSTR CORP) 1979年 7月 10日 (1979 - 07 - 10) 全文	1-9
A	JP H0989952 A (TOSHIBA MICRO ELECTRONICS 等) 1997年 4月 4日 (1997 - 04 - 04) 全文	1-9
A	US 5469071 A (TOSHIBA KK) 1995年 11月 21日 (1995 - 11 - 21) 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

2020年 7月 28日

国际检索报告邮寄日期

2020年 8月 26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

授权官员

张明辰

电话号码 (86-512) 88996651

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/094604

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	110161313	A	2019年 8月 23日	无			
CN	102317798	A	2012年 1月 11日	WO	2011137708	A3	2012年 2月 23日
				WO	2011137708	A2	2011年 11月 10日
				CN	102317798	B	2013年 6月 26日
CN	106383272	A	2017年 2月 8日	CN	106383272	B	2018年 12月 14日
CN	2702317	Y	2005年 5月 25日	无			
US	4160949	A	1979年 7月 10日	无			
JP	H0989952	A	1997年 4月 4日	无			
US	5469071	A	1995年 11月 21日	KR	0137086	B1	1998年 6月 1日