

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int.Cl<sup>7</sup>

G01R 27/02

G01R 27/08

## [12]发明专利申请公开说明书

[21]申请号 99111480.9

[43]公开日 2000年1月26日

[11]公开号 CN 1242522A

[22]申请日 1999.7.14 [21]申请号 99111480.9

[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司  
代理人 邹光新 傅康

[30]优先权

[32]1998.7.17 [33]FR [31]98/09161

[71]申请人 皇家菲利浦电子有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

[72]发明人 J·N·V·L·拉马尔霍

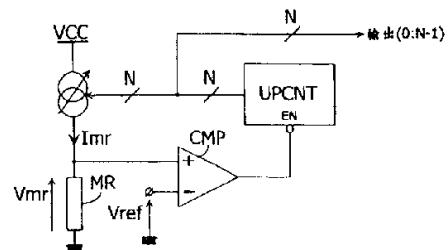
G·W·德永 J·A·M·拉梅克斯  
E·皮雷尔茨

权利要求书2页 说明书8页 附图页数2页

[54]发明名称 自动测量电阻的装置

[57]摘要

本发明涉及一种用于通过流过电阻上的偏流  $I_{mr}$  和出现在电阻两端的偏压  $V_{mr}$  来测量电阻  $MR$  的装置。按照本发明，该装置包括：电压比较器  $CMP$ 、上计数/下计数装置  $UPCNT$  和馈送其值代表由所述电流源在连接到上计数/下计数装置  $UPCNT$  的控制输入端接收的数字值  $OUT(0:N-1)$  的偏流  $I_{mr}$  的电流源。本发明能够自动地测量电阻的数字值。本发明可用于包含在用于读取磁信息的读取头中的磁阻棒的静态电阻的测量。



ISSN 1 0 0 8 - 4 2 7 4

---

权利要求书

---

1. 一种用于利用通过电阻的偏流和在电阻两端产生的偏压测量电阻值的装置，该装置的特征在于包括：
- 5 -具有用于分别接收偏压和参考电压的第一和第二输入端和具有输出端的电压比较器；
- 具有连接到该比较器的输出端的选通输入端和具有形成该装置的输出的数字输出端的上计数/下计数装置；和
- 电流源，用于馈送其值代表由所述电流源在控制输入端接收的数字值的偏流，所述控制输入端被连接到上计数/下计数装置的输出端。
- 10 2. 一种用于给电阻施加一个偏压和从而产生一个偏流来测量电阻值的装置，该装置的特征在于包括：
- 具有用于分别接收代表偏流和参考信号的第一和第二输入端和具有输出端的电流比较器；
- 15 -具有连接到比较器的输出端的选通输入端和具有形成该装置输出端的数字输出端的上计数/下计数装置；和
- 用于馈送其值代表由电压源在控制输入端接收的数字值的偏压的电压源，所述控制输入端被连接到上计数/下计数装置的数字输出端。
- 20 3. 一种通过在电阻上流过偏流和在电阻两端产生偏压来测量电阻值的装置，该偏流和偏压同时受控于用于控制由该电阻消耗的功率的模块，该装置的特征在于包括：
- 用于接收第一电流、代表偏流的第二电流、和代表偏压的第三电流的电流乘法器，该乘法器用于产生具有其值正比于第三电流和第二电流的商被第一电流相乘的第四电流；
- 25 -具有分别用于接收第四电流和一个参考信号的第一输入端和第二输入端和具有一个输出端的电流比较器；
- 具有连接到该比较器的输出端的选通输入端和具有形成该装置的输出的数字输出端的上计数/下计数装置；和
- 用于馈送其值代表由所述电流源在控制输入端接收的一个数字值的第一电流的电流源，该控制输入端被连接到上计数/下计数装置的数字输出端。
- 30

4. 一种用于读出磁信息的装置，该装置具有至少一个读出头，该读出头包括至少一个产生代表由该头读出的信息的数据脉冲的磁性棒，其特征在于：该装置还包括一个按照权利要求1到3中的任何一个所要求的用于测量磁阻棒的电阻的数字值的装置。

## 说 明 书

## 自动测量电阻的装置

5 本发明涉及一种通过使偏置电流流过电阻和在电阻两端产生偏置电压来  
测量电阻值的装置。

最常用的测量方法是基于欧姆定律的应用，按照欧姆定律电阻值等于施加  
到这个电阻两端的电压值和流过这个电阻的电流值的商。因此，只要测量偏置  
10 电流和电压，就可以直接得到电阻的数值。虽然这种方法可以实现比较容易地  
测量一个分离元件的电阻值，但这种方法不太适合测量集成在一个单元上的  
一个元件的电阻值，而在单元中的元件则是根本不能从该单元的外部访问的。情  
况是这样的，例如，被集成在用于读出磁信息的读取头上的磁阻棒的静态电阻  
15 的测量，在这种测量期间，显而易见与磁阻棒并联连接一个电压表和与所述磁  
阻棒串联连接一个电流表是不可能的。另外，如果这样使用，则测量结果，即  
电阻值将按电信号的形式表示，而在许多情况下电阻值是采用数字形式表示  
的。

本发明的一个目的是通过提供用于测量电阻值的装置来满足这些要求，其  
中测量在装置内自动进行，而无须任何外部的介入，所述测量的结果直接是数  
字形式的。

20 为此，按照本发明，在开头一段所限定类型的磁信息读出装置的特征在于  
包括：

- 具有用于分别接收偏压和参考电压的第一和第二输入端和具有一个输出  
端的电压比较器，
- 具有连接到该比较器的输出端的选通输入端和具有形成该装置输出端的  
25 数字输出端的上计数/下计数装置，和
- 电流源，用于馈送其值代表由所述电流源在控制输入端接收的数字值的  
偏流，所述控制输入端被连接到上计数/下计数装置的数字输出端。

这种测量装置的操作是基于这样一个事实，即它的输出信号确定了该电阻  
的偏流的值。因此，这个电流是逐渐变化的，直至在该偏流的作用下由电阻产  
30 生的电压等于参考电压的电压。然后，上计数/下计数装置被停止和其输出馈送

代表该电阻值的一个数字值。

本发明的一种变形提供一个测量电阻值的装置，该装置施加一个偏压和用于产生一个偏流，该装置的特征在于它包括：

5 -具有用于分别接收代表偏流电流和参考信号的第一和第二输入端和具有一个输出端的电流比较器，

-具有连接到该比较器的输出端的选通输入端和具有形成该装置输出端的数字输出的上计数/下计数装置，和

-用于馈送其值代表由电压源在控制输入端接收的数字值的偏压的电压源，所述控制输入端被连接到上计数/下计数装置的数字输出端。

10 在本发明的这个变形中，电阻被该偏压偏置，和在这个偏压的作用下产生一个偏流，这个偏流的目的是为了与参考信号进行比较。该装置的输出信号确定偏压的值。因此，这个电压逐渐地变化，直至该偏流的值等于参考信号的值。然后，上计数/下计数装置被停止和它输出馈送一个代表电阻值的数字值。

本发明的另外一个变形提供一种通过在电阻上流过一个偏流和在该电阻15 两端产生一个偏压进行测量电阻值的装置，通过一个用于控制该电阻消耗的功率的模块可同时控制该偏流和偏压的值，该装置的特征在于包括：

-用于接收第一电流、代表偏流的第二电流、和代表偏压的第三电流的电流乘法器，该乘法器用于产生具有其值正比于第三电流与第二电流的商被第一电流相乘的第四电流，

20 -具有分别用于接收第四电流和参考电流的第一输入端和第二输入端，和具有一个输出端的电流比较器，

-具有连接到比较器输出端的选通输入端，和具有形成该装置的输出的数字输出端的上计数/下计数装置，和

-用于馈送代表由所述电流源在一个控制输入端接收的数字值的第一电流25 的电流源，该控制输入端被耦合到上计数/下计数装置的数字输出端。

在本发明的这个另外一种变形中，通过控制模块确定偏压和偏流值并且不被该测量装置单独影响。只有这两个值之间的比值是有用的，因为它始终保持为常数。因此，电流乘法器的作用是产生一个代表这个比值的信号，该信号是由第四电流形成的并取决于其值由该装置的输出确定的第一电流。第一电流以及第四电流逐渐地改变，直至所述第四电流的值变为等于参考信号的值。然

后，上计数/下计数装置被停止和其输出馈送一个代表该电阻值的数字值。上述测量装置有利于在用于读出磁信息的装置中使用，该装置至少具有一个读出头，该读出头包括至少一个用于产生代表由该读出头读出的信息的数据脉冲的磁阻棒。

5 这种读出装置通常用于读出存储在计算机硬盘中的信息。这些盘一般具有一种被读出头扫描的磁阻的表面。旋转运动传递给盘，同时该读出头被连接到一个向读出头传递径向运动的臂上。盘的表面被分为多个子表面，在子表面中存在一个局部的磁场，该磁场的符号代表二进制信息的内容。

10 用户读出装置的操作基于这样一个事实，即当一个磁阻棒暴露在一个磁场中时其阻值改变。

在大多数现有的磁信息读出装置中，在电阻的变化产生一个电压脉冲的情况下，借助一个预定值直流偏流偏置磁阻棒，该电流流过所述磁性阻棒，或者在电阻的变化产生一个电流脉冲的情况下，借助于施加在所述棒两端的预定值的直流电压偏置磁阻棒。

15 在上述两种情况下，随着预定值的升高，产生的被称为数据脉冲的脉冲幅度将升高。因此，似乎尽可能高地选择该预定值更有利，以便获得尽可能高的信噪比。但是，该预定值还支配磁阻棒所消耗的功率。因此，太高的预定值由于过度的持续消耗引起的焦耳 (Joule) 效应可能导致磁阻棒的过早报废。再有，从这种选择导致的高数据脉冲幅度可能使呈现的功率脉冲太高不能被磁阻棒无20 损害地耗散并能导致磁阻棒的破坏。因此，该预定值的选择将是一种折衷，即在一方面优化数据脉冲的信噪比而另一方面减小磁阻棒的损坏和击穿，即减小所述棒的功耗。

25 在目前使用选择该预定值的现有技术方法的状态下，当这个磁阻棒未遇到任何磁信息时，利用磁阻棒电阻假设的值。当然，在一方面，称为静态电阻的这个值基本上用于计算该数据脉冲将具有的幅度，另一方面计算在磁阻棒上的功耗。因此，为了确定最佳的折衷，根据上面说明的原理静态电阻的值被认为是必不可少的。

但是，静态电阻的值构成对其它目的有用的信息，而不仅仅是磁阻棒的偏置。例如，静态电阻代表了磁阻棒的损坏情况。因此，通过在整个读出装置的30 寿命期间按规定的时间周期比较连续测量的结果所检测的磁阻棒的电阻值的明

显降低，表明所述磁阻棒的性能恶化。这个信息可以用作一种警告：通过预防措施，存储在表面的数据将被设置有磁阻棒的读出头进行扫描，被转移到盘的另外的区域或另外的盘上，然后禁止存取原来的区域。

本发明还涉及一种用于读出磁信息的装置，该装置具有至少一个读取头，  
5 该读取头包括至少一个用于产生代表由该头读出的信息的数据脉冲的磁阻棒，其特征在于，还包括用于测量如上所述的磁阻棒的电阻的数字值的装置。

借助于下面参照各附图以非限制性例子给出的描述，全面地理解本发明，其中：

图 1 是代表根据本发明的测量装置的部分功能图；

10 图 2 是代表根据本发明的一种变形的测量装置的部分功能图；

图 3 是代表根据本发明的另一种变形的测量装置的部分功能图；

图 4 是代表该测量装置中包括的一个电流乘法器的电路图。

图 1 是代表用于测量电阻 MR 值的装置的功能图，该装置是通过流过电阻一个偏流  $I_{mr}$  和在电阻两端产生一个偏压  $V_{mr}$  进行测量的。这个装置包括：

15 -电压比较器 CMP，具有安排为分别接收偏压  $V_{mr}$  和预定值的参考电压  $V_{ref}$  的第一和第二输入端，和具有一个输出端；

-上计数/下计数装置 UPCNT，具有连接到比较器 CMP 输出端的选通输入端 EN，和具有 N 比特编码的数字输出，所述数字输出形成该装置的输出；和

20 -一个电流源，适于馈送其值代表由所述电流源在控制输入端接收的数字值 OUT (0: N-1) 的偏流  $I_{mr}$ ，该控制输入端被耦合到上计数/下计数装置 UPCNT 的数字输出端。

在参照图 1 描述的例子中，上计数/下计数装置 UPCNT 是由一个上计数器构成的。但是，它们也可能类似地由适于从一个预置的计数值开始递减的下计数器构成，在这种情况下，比较器的各输入端互换。馈送偏流  $I_{mr}$  的电流源可以 25 用本专业技术人员公知的多种方案实施。另外，电阻 MR 可以由用于读出磁信息的读取头的磁阻棒构成，希望知道该棒的静态电阻。这个装置是按如下方式工作的：当供电时，电流源馈送其值比较小的偏流  $I_{mr}$ ，计数器 UPCNT 的输出信号 OUT (0: N-1) 被初始化为 0。由电阻 MR 产生的偏压值则小于参考值  $V_{ref}$ 。比较器 CMP 的输出处于对应于“逻辑 0”的低电平状态。因此使计数器 UPCNT 30 开始计数。计数器 UPCNT 的输出信号 OUT (0: N-1) 的数字值连续输出该装置

的输出信号，然后逐渐地增加。可以表示为  $I_{mr}=I_0 \cdot VAL$  的偏流  $I_{mr}$ ，其中  $VAL=(OUT_0+2 \cdot OUT_1+4 \cdot OUT_2+\dots+2^i \cdot OUT_i+\dots+2^{N-1} \cdot OUT_{N-1})$  和  $I_0$  是已知的恒定电流， $I_{mr}$  也在递增直至偏压  $V_{mr}$  的值变得等于参考电压。然后比较器 CMP 的输出变成高电平状态，从而中断计数器 UPCNT，该计数器存储输出信号 OUT (0: N-1) 5 最后的值。然后输出信号可以被写为  $R_{mr} = V_{ref}$ ，其中  $R_{mr}$  是待测量的电阻值，或另外一种情况下， $R_{mr} = V_{ref} / (I_0 \cdot VAL)$ 。因此，该装置的输出信号自动地提供数字信号 OUT (0: N-1)，该信号的值  $VAL$  代表待测电阻  $R_{mr}$  的值。

图 2 表示用于测量到受一个偏压  $V_{mr}$  并产生一个偏流  $I_{mr}$  的电阻  $MR$  的值的装置。这个装置包括：

- 10 - 比较器 (Mk、R0、CMP)，该比较器具有分别用于接收偏流  $I_{mr}$  和参考信号的第一和第二输入端，和具有一个输出端；
- 上计数/下计数装置 UPCNT，具有连接到比较器 (Mk、R0、CMP) 的输出端的选通输入端，具有形成该装置的输出的 N 比特编码的数字输出；和
- 15 - 适于馈送偏压  $V_{mr}$  的电压源，该偏压值代表由所述电压源在其控制输入端接收的数字值  $OUT(0:N-1)$ ，该控制输入端被连接到上计数/下计数装置 UPCNT 的数字输出。

在参照图 2 所描述的例子中，上计数/下计数装置 UPCNT 是由上计数器构成的。但是该计数器同样适合于由从预置计数值递减的下计数器构成，在这样一种情况下，比较器 (Mk、R0、CMP) 的各输入端被交换位置。另外，电阻  $MR$  20 可以由用于读出磁信息的读取头的磁阻棒形成，希望知道该棒的静态电阻。比较器 (Mk、R0、CMP) 包括具有系数  $k$  和用于在馈送到电压比较器 CMP 前再生偏流  $I_{mr}$  的倍增电流镜象电路 MK，电压比较器 CMP 在一个输入端接收参考电压  $V_{ref}$  和在另一输入端接收一个电压，该电压是由偏流  $k \cdot I_{mr}$  的象和一个已知预定值的电阻  $R_0$  的积产生的。因此，这个比较器具有其值为  $I_{mr_{th}} = V_{ref} / (k \cdot R_0)$  25 的转换阈值。提供偏压  $V_{mr}$  的电压源也可以利用本专业技术人员公知的多种方法实现。这个装置按如下方式操作：当供电时，电压源馈送其值比较低的偏压  $V_{mr}$ ，计数器 UPCNT 的输出信号 OUT (0: N-1) 被初始化为 0。由电阻  $MR$  产生的偏流  $I_{mr}$  值小于转换阈值  $I_{mr_{th}}$ 。比较器 CMP 的输出处于对应于“逻辑 0”的低电平状态。因此使计数器 UPCNT 进行计数。构成该装置的输出信号的计数器 30 UPCNT 的输出信号 OUT (0: N-1) 的数字值逐渐增加。还增加可以表示为

V<sub>mr</sub>=V<sub>0</sub>. VAL 的偏压 V<sub>mr</sub>, 其中 VAL= (OUT<sub>0</sub>+2. OUT<sub>1</sub>+4. OUT<sub>2</sub>+…+2<sup>i</sup>. OUT<sub>i</sub>+…+2<sup>N-1</sup>. OUT<sub>N-1</sub>) 和 V<sub>0</sub> 是一个常数, 直至偏流 I<sub>mr</sub> 的值已经等于比较器 (Mk、R0、CMP) 的转换阈值 I<sub>mr\_th</sub> 的值。然后比较器 (Mk、R0、CMP) 的输出变成高电平状态, 从而停止计数器 UPCNT, 该计数器存储输出信号 OUT (0: N-1) 的最后值。然后  
5 可能写为: I<sub>mr</sub>= V<sub>mr</sub>/R<sub>mr</sub>=V<sub>ref</sub>/ (k. R0), 其中 R<sub>mr</sub> 是待测量的电阻值, 或另外一种情况下, R<sub>mr</sub>=VAL. (k . R0. V0) / V<sub>ref</sub>。该装置的输出信号自动地提供数字信号 OUT (0: N-1), 其值 VAL 代表待测量的电阻 R<sub>mr</sub> 的值。

图 3 表示用于测量流过偏流 I<sub>mr</sub> 和在其两端产生偏压 V<sub>mr</sub> 的电阻 MR 的值的装置, 偏流 I<sub>mr</sub> 和偏压 V<sub>mr</sub> 的值由控制电阻 MR 消耗的功率的模块 REG 装置同时控制。这个装置包括:

- 用于接收第一电流 I<sub>1</sub>、代表偏流 I<sub>mr</sub> 的第二电流 I<sub>2</sub> 和代表偏压 V<sub>mr</sub> 的第三电流 I<sub>3</sub> 的电流乘法器 MULT, 该乘法器 MULT 用来产生具有其值正比于第三电流 I<sub>3</sub> 和第二电流 I<sub>2</sub> 的值的商被第一电流 I<sub>1</sub> 的值相乘的第四电流 I<sub>4</sub>;
- 比较器 (R0、CMP1), 具有分别安排接收第四电流 I<sub>4</sub> 和一个参考信号的第一输入端和第二输入端, 和具有一个输出端;
- 上计数/下计数装置 UPCNT, 具有连接到比较器 (R0、CMP1) 的输出端的选通输入端 EN, 和具有形成该装置的输出的数字输出; 和
- 电流源, 用于馈送其值代表由所述电流源在控制输入端接收的数字值 OUT (0: N-1) 的第一电流 I<sub>1</sub>, 该控制输入端连接到上计数/下计数装置 UPCNT 的数字输出端。

在参照图 3 描述的例子中, 上计数/下计数装置 UPCNT 是由上计数器构成的。但是, 该计数器同样也可以由从一个预置计数值开始递减的下计数器构成, 在这种情况下, 比较器 (R0、CMP1) 的各输入端被交换。另外, 电阻 MR 可以由读出磁信息的读取头的磁阻棒形成, 希望知道该棒的静态电阻。比较器 (R0、  
25 CMP1) 包括第一电压比较器 CMP1。该电压比较器的一个输入端接收参考电压 V<sub>ref</sub> 和在另一个输入端接收由第四电流 I<sub>4</sub> 与一个预定值 R0 的已知电阻的积产生的电压。因此, 这个电流比较器具有其值为 I<sub>4\_th</sub>= V<sub>ref</sub>/ R0 的转换阈值。馈送偏流 I<sub>mr</sub> 的电流源可以利用本专业技术人员公知的多种方式实施。

在参照图 3 描述的本发明的变形中, 偏压 V<sub>mr</sub> 和偏流 I<sub>mr</sub> 是由设置点信号 P<sub>reg</sub> 的值确定的, 该信号限定了由电阻 MR 所消耗的功率并且该信号是从控制  
30

模块 REG 外部获得的。因此，偏压  $V_{mr}$  和偏流  $I_{mr}$  不受测量装置个别地干扰。只有这两个值  $V_{mr}/I_{mr}$  之间的比是有用的，因为该比保持恒定。电流乘法器 MULT 的功能是产生一个代表该比值的信号，该信号是由第四电流  $I_4$  形成的并取决于第一电流  $I_1$ ，该信号的值是由该装置的输出确定的。第二电流  $I_2$  是偏流  $I_{mr}$  的再生和是经由被系数  $k$  相乘的电流镜象电路  $M_k$  获得的，产生： $I_2=k \cdot I_{mr}$ 。第三电流  $I_3$  正比于偏压  $V_{mr}$ ， $I_3=k' \cdot V_{mr}/R_0$ ，常数  $k'$  的值取决于第二比较器 CMP2 和晶体管  $T_0$  的增益系数，增益系数被用于按照本专业技术人员所公知的技术产生第三电流  $I_3$ 。第四电流  $I_4$  的值正比于第三电流  $I_3$  和第二电流  $I_2$  的商乘以第一电流  $I_1$  的值，这可以写为  $I_4=k'' \cdot I_1 \cdot I_3/I_2$ 。在上述表达式中替换 5 第二和第三电流  $I_2$  和  $I_3$  的值，产生  $I_4=k'k'' \cdot (I_1/V_{mr}) / (k \cdot R_0 \cdot I_{mr})$ 。按照欧姆定律， $R_{mr}=V_{mr}/I_{mr}$ ，使得  $I_4=k'k'' \cdot (I_1/R_{mr}) / (k \cdot R_0)$  或者 10  $I_4=K \cdot I_1 \cdot R_{mr}/R_0$ 。其中  $K$  是综合了常数  $kk'$  和  $k''$  的一个相乘常数。

这个装置是按如下进行操作的：当加电时，电流源馈送其值比较小的第一电流  $I_{mr}$ ，计数器 UPCNT 的输出信号 OUT (0: N-1) 被初始设置为 0。由电流乘法器 MULT 产生的第四电流  $I_4$  的值小于转换阈值  $I_{4th}$ 。而后，第一比较器 CMP1 的输出处于对应于“逻辑 0”的低电平状态，因此使计数器 UPCNT 进行计数。构成该装置的输出信号的计数器 UPCNT 的输出信号 OUT (0: N-1) 数字值逐渐递增。可以表达为  $I_1=I_0 \cdot VAL$  的第一电流的值可递增直至第四电流  $I_4$  的值变为等 15 比较器 ( $R_0$ 、CMP1) 的转换阈值  $I_{4th}$ ，其中  $VAL=(OUT_0+2 \cdot OUT_1+4 \cdot OUT_2+\dots+2^1 \cdot OUT_1+\dots+2^{N-1} \cdot OUT_{N-1})$  和  $I_0$  是已知的常数。然后，第一电压比较器 CMP1 的输出变成高电平状态。因此中断计数器 UPCNT 的计数，并存储输出信号 OUT (0: N-1) 的最后值。因此，可能写为： $I_4=K \cdot I_1 \cdot R_{mr}/R_0=V_{ref}/R_0$ ，其中  $R_{mr}$  是待测 20 量的电阻值，或另外一种情况下， $R_{mr}=V_{ref}/(K \cdot I_0)$ ，或者  $R_{mr}=V_{ref}/(K \cdot I_0 \cdot VAL)$ 。因此，该装置的输出信号自动提供其值  $VAL$  代表待测量的  $R_{mr}$  值的数字 25 信号 OUT (0: N-1)。

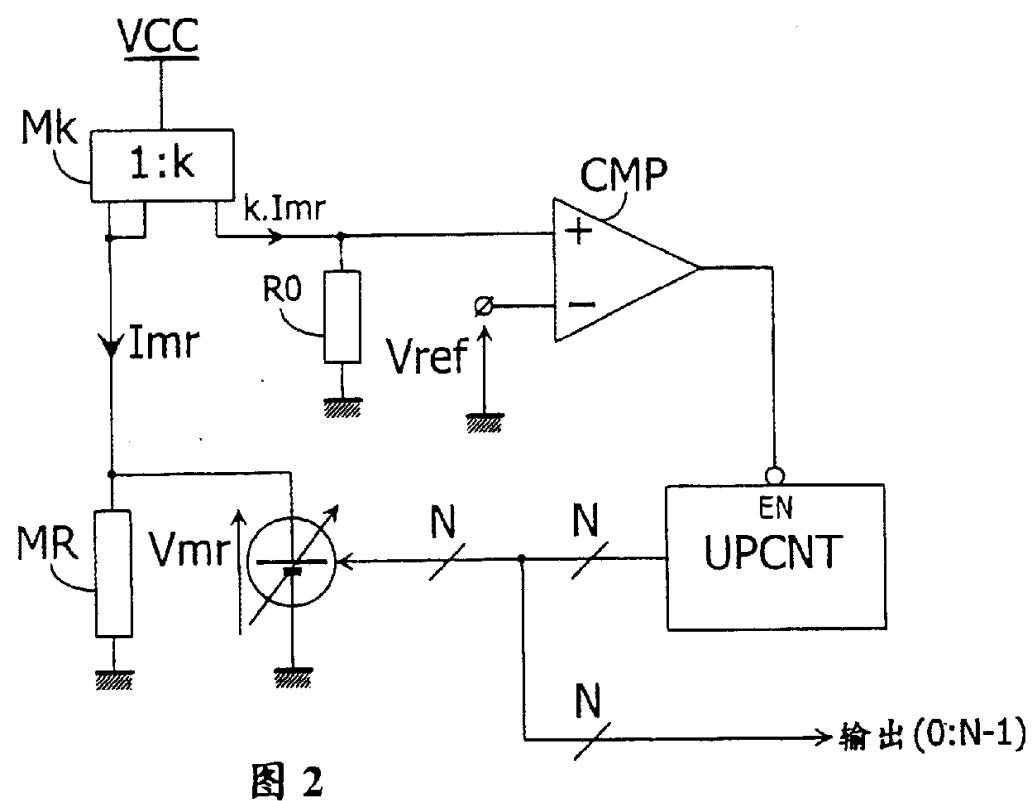
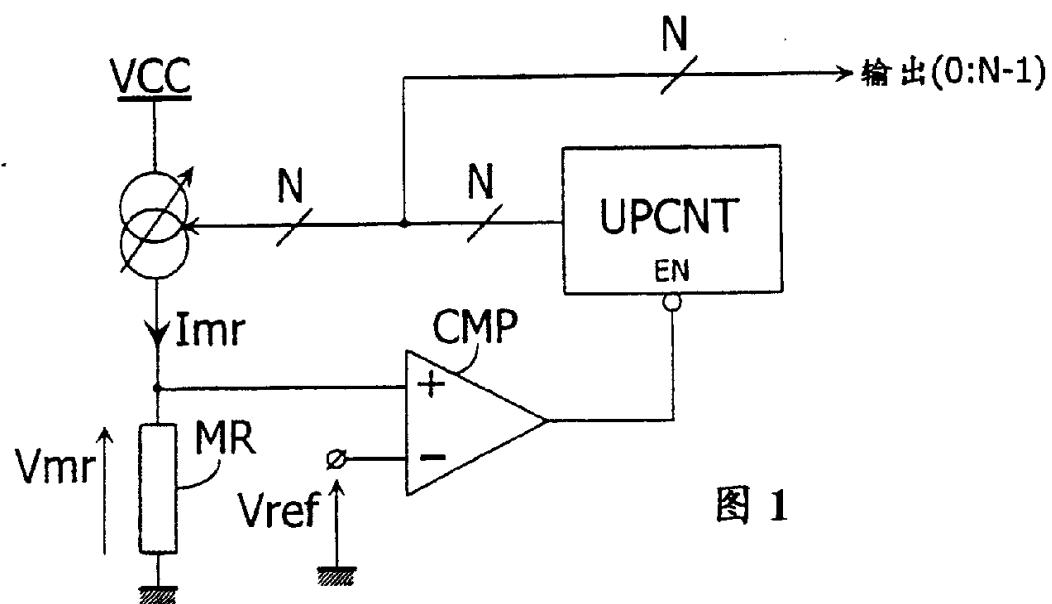
图 4 是表示电流乘法器 MULT 的变形的电路图。显然，还有各种本专业技术人员所熟悉的变形。在本变形中，该乘法器 MULT 包括：

- 第一和第四 PNP 型晶体管  $T_1$  和  $T_4$ ，具有安排为分别允许第一和第四电流  $I_1$  和  $I_4$  通过的集电极，和具有其连接到正电源端 VCC 的发射极；
- 30 -第二和第三 NPN 型晶体管  $T_2$  和  $T_3$ ，它们的基极连接在一起，它们的集电

极连接到正电源端 VCC，发射极分别连接到第一和第二晶体管 T1 和 T4 的基极，该各发射极被安排为分别允许第二和第三电流 I2 和 I3 通过。

乘法器 MULT 的操作基于下面的等式：一方面， $\sum V_{bei} = 0$ ，其中  $V_{bei}$  是晶体管  $T_i$  的基极-发射极的电压，和另一方面， $V_{bei} = V_T \ln(I_{ci}/I_{os})$ ，其中  $V_T$  等于波尔滋曼常数和绝对温度之积，通过这种方式，区分此基本的电荷， $I_{ci}$  是晶体管  $T_i$  的集电极电流和  $I_{os}$  是其值直接相关于晶体管  $T_i$  的面积的恒定电流，因为构成乘法器 MULT 的各晶体管具有基本相等的大小和第二和第三电流  $I_2$  和  $I_3$  分别等于  $k \cdot I_{mr}$  和  $k' \cdot V_{mr}/R_0$ 。专家可以容易地表示第四电流  $I_4$  为  $I_4 = K_1 \cdot (I_1 \cdot V_{mr}) / (R_0 \cdot I_{mr})$ ，或者  $I_4 = K_1 \cdot I_1 \cdot R_{mr} / R_0$ ，因为  $V_{mr} = R_{mr} \cdot I_{mr}$ ，  
K1 综合了常数 k 和 k'。

说 明 书 附 图



2019-07-19

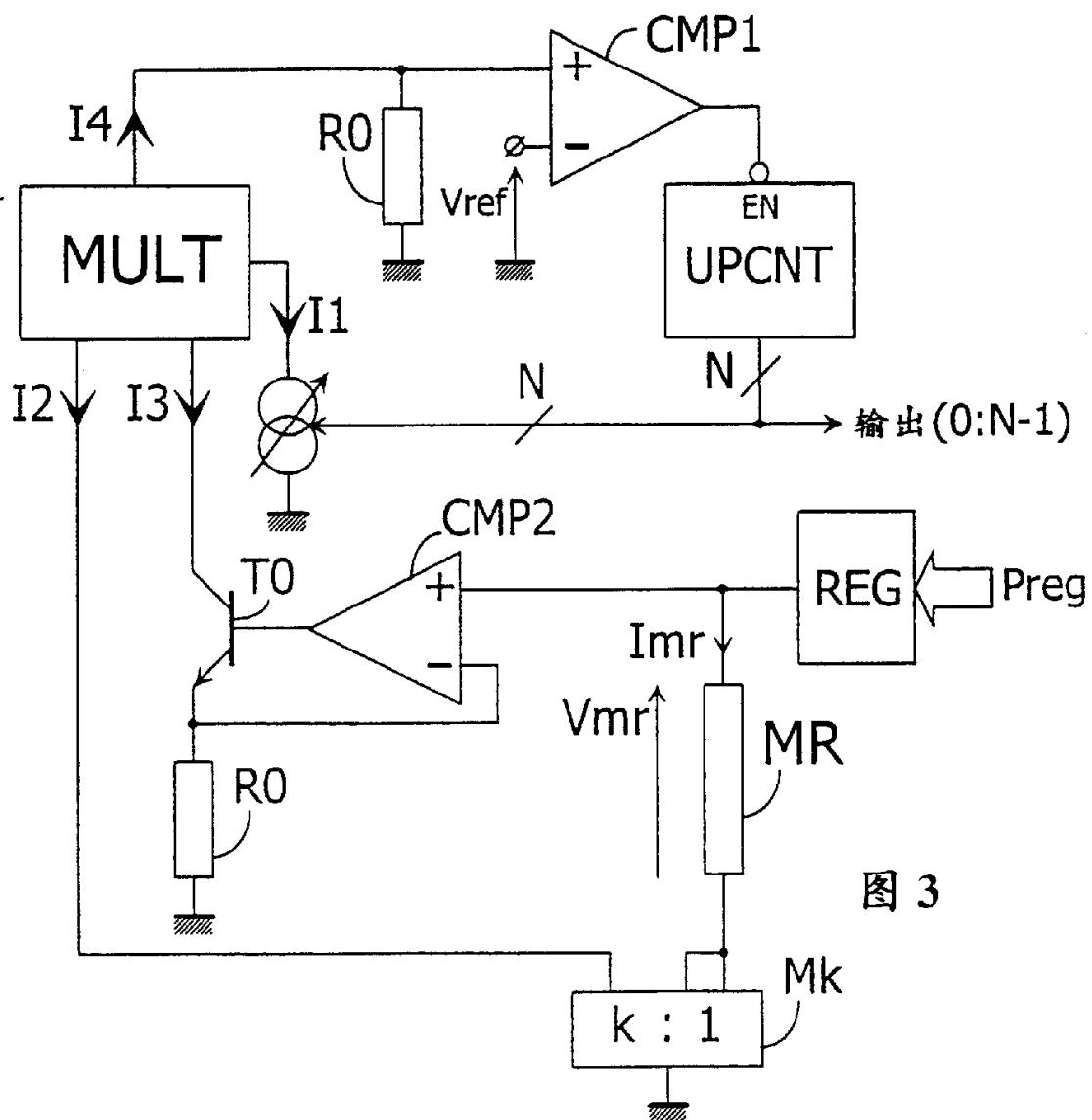


图 3

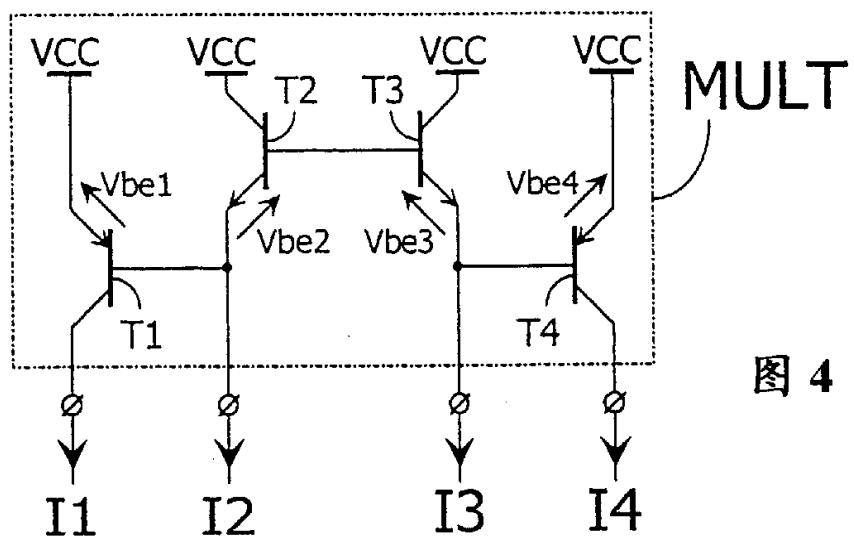


图 4