

电工测量仪表

譯文選集

(内部刊物)

第十一集

第一机械工业部电工仪表研究所

哈尔滨

1958年12月

目 录

控制论概念在电气测量装置理论中的应用.....	П.Б. 諾維茨基 (1)
运用控制论方法来提高电工测量仪表精确度的可能性.....	П.Б. 諾維茨基 (6)
关于测量过程的数律记录.....	Б.Б. 卡爾皮克 (10)
数字读数的自动直流补偿器.....	新微爾卡斯克 С. 奧爾特克尼基特捷工學院 勞動紅旗獎章獲得者助教Е.И. 切爾科夫 (13)
具有恒定测量时间的数字相位表.....	列寧格勒蘇聯科學院電機工學院 技術科學副博士Б.Б. 卡瓦列夫斯卡雅 副研究員Б.З. 別林基 (19)
多点电子式数字毫伏表.....	新西伯利亞蘇聯科學院 西伯利亞地區自動化和電氣 計量研究所技術科學副博士、研究員М.П. 柴平科 工程師А.А. 阿列 夫也夫 副研究員 Б.Б. 卡爾皮克 副研究員 А.Н. 卡斯皮洛維奇 (25)
数字读数的自动仪表.....	А.Я. 什拉姆科夫 (30)
辉光放电数字显示管.....	В.С. 皮列爾姆切爾 Ф.М. 雅勃洛斯基 Г.М. 雅紅金 (34)
高精度的自动电子电位计.....	列寧格勒精密機械和光學研究院 Е.С. 普拉居諾夫 Э.П. 丘馬克 (36)
用无线电接收100千赫标准频率的分频装置.....	Б.А. 基列舜 (39)
电子脉冲计数器在测量技术中的几种应用.....	Р.А. 瓦利托夫 Г.П. 維赫洛夫 和Б.З. 那依捷洛夫 (41)
利用阴极射线管测量均方偏离度.....	В.Н. 雙維斯基 (45)
无触点(磁环晶体三极管)继电器.....	И.В. 普蘭格士威利 (47)
电容器損失角和大电阻时间常数精密测量装置的研究.....	蘇聯部長會議標準、度量衡及測量儀器委員會全蘇科學研究院 莫斯科科學技術副博士、主任科學研究員Б.А. 彼闊夫 (52)
中频空气互感器相位误差和互感的测定.....	Н.Б. 列維茨卡娅 (55)
测量小交流电流的高灵敏变换器.....	А.М. 切波林斯基 (58)
游絲扭矩測量.....	國營 卡爾. 馬克斯市儀器厂工程師 亨利·格賴賽 (60)
仪表游絲制造工艺.....	技術科學副博士 З.А. 志莫會也瓦 (62)
特殊用途合金的真空感应熔化.....	(65)

控制論概念在电气測量裝置理論中的应用

П. В. 諾維茨基

在現今情況下，所有电气測量裝置的基本理論都應該從控制論的基本概念，特別是從信息論的基本概念出發，並以適合測量裝置的特點來發展它們。在測量裝置以及測量技術基本理論的定義中，控制論应用的實際方法是非常有前途的。

首先，這關係着測量這一概念本身的定義。整個控制論方法的武庫引誘着我們，提出測量過程全部自動化的任務。些末，什麼是測量？那些應該自動化？按照現在採用的М. Ф. 馬利可夫的定义：測量是一個認識過程，它在於人們用物理試驗的方法，將被測量與其某一個取作比較單位的數值相比，得其比值。

這個定义已經受到許多作者的批判，例如，在〔1〕中說到：《方法和裝置從檢驗過程自動化的觀點分類》應該《有利於主要從度量衡學的观点來看待檢驗裝置所做的分類》，即，從檢查方法和保持測量的一致性的觀點出發所做的分類；因為《在所給定的條件下，有着一個長長的變換鏈條》。在〔2〕的引言中指出了：《被引自度量衡學的定义在技術測量*的情況下，需補充描述測量的技術目的和測量的技術工具。技術測量是被測量為了以下目的的變換：方便的估值；極限值的顯示信號；提示凭據；數據處理；自動調節以及遠距離傳送》。

在現在，從控制論的一般觀點看，它所研究的對象是：信息的擷取、變換以及在空間和時間中傳送的規律；測量不能定義為《通過進行物理試驗而實現的認識過程》。現代的測量儀器的特點在於：由它所完成的過程進行得比認識過程更快，而《物理試驗》的內容在現代的裝置中，歸結為關於被測參數的信息擷取和

變換；不是以《試驗》的方式，而是以完全確定的預知的方式，在信息剛以需要的形式出現的時候，就被錄取和變換了。

這樣，在測量的定义中就应该反映三个方面：測量過程的內容——信息的錄取和變換；測量的目的——獲得數量的結果；以及這個結果在進一步運用時提供的最方便形式。由此，測量的定义採取了以下的格式。

測量——這是將被測量為了獲得其與測量單位比較的数量結果而進行的錄取和變換的過程，應指明，這一結果應採取對人的感覺器官感覺最方便，在空間傳送（記錄）最便利，同時便於數學加工或運用於控制的形式。

從這一測量的定义出發，任一測量裝置都將可以看成由關於被測量信息的錄取，變換和傳送這一通路所組成的測量變換器的總和。在這樣來解釋測量過程時，其首要問題是確定信息数量和損失信息之間的聯繫；從另一方面看，就是確定儀表的誤差。

測量的系統誤差由於其恒定性，可以預測，並且可以通過對引起這種誤差的原因的量的測量和自動引入校正（即用頻率校正、溫度校正、以及其它誤差校正的方法）的途徑，或通過儀器在測量過程中按標準量以給定的周期自動進行檢驗的途徑予以消除。在這種情況下，尚存的系統誤差已經不是決定於儀器本身的性質了，而決定於標準量的誤差和校驗的方法。標準量誤差的減少，校驗方法誤差的減少和儀表的結構並無關聯，這都是屬於度量衡學研究的任務以及測量單位保持的任務了。

* 原文为 Техническое измерение

偶然误差与此相反, 决定于仪表本身的性质, 不可能用检验的方法来校正和消除。它们照理都按正常规律分布的, 并且可以准确地仅用方差值 D_{np} 或均方误差 $\sigma_{np} = \sqrt{D_{np}}$ 评定。表征仪表准确等级的最大误差 γ_{np} 和均方误差 σ_{np} 的比值一般没有特殊证明而取 $\gamma_{np} = 3\sigma_{np}$ 。但是, 对于大多数仪表的实际均方误差 σ_{np} 显著地大于 $\frac{1}{3}\gamma_{np}$, 而接近于 $\frac{1}{2}\gamma_{np}$ 。这个情况与或然率理论是完全一致的。诚然, 在正常规律分布时, 误差出现的或然率大多是: 1σ 为 $0.3173 \approx 1/3$; 2σ 为 $0.0455 \approx 1/22$; 3σ 为 $0.0027 \approx 1/370$; 4σ 为 $0.00006 \approx 1/17000$ 。

这样, 为了确切地找出仪表超过 $\gamma_{np} = 3\sigma_{np}$ 的误差, 必须在其量程内的各点进行不少于 370 次的校验。实践上是从来也不进行这样高度仔细的校验的。大多是: 假如在量程内的 20—50 个不同校验点中, 在 1~2 点上误差达到了或几乎超过了允许的数值, 当然, 这个仪表是不能被当作次品的, 因为不恰当的校验应被作为失算而放过, 而在这一个点上重复的校验, 由于或然率的分布, 已经不再给出前有的误差值了。因此, 在 20~30 次校验中, 更实际近似的比值将是 $\gamma_{np} = 2\sigma_{np}$ 和 $\sigma_{np} = \frac{1}{2}\gamma_{np}$ 。

仪表准确度的控制论特性乃是由勃利留恩 [3] 所引入的准确度的数字度量所表征, 或简单地把准确度 N_{np} 理解为在变换器或仪表输出端上被测量被分割的层的数量。分层的宽度决定于仪表或变换器的方差 D_{np} 值, 即决定于其偶然误差的实效值 $\pm\sigma_{np}$ 即近于 $2\sigma_{np}$, 准确度 N_{np} 决定以下公式:

$$N_{np} = \frac{1}{2\sigma_{np}} = \frac{1}{\gamma_{np}} = \frac{1}{\sqrt{4D_{np}}}$$

按相对单位计算, 仪表和变换器的准确度值可以以信息单位表达:

$$\begin{aligned} H_{np} &= \lg N_{np} = -\lg \gamma_{np} = -\lg 12\sigma_{np} \\ &= -\frac{1}{2} \lg (4D_{np}). \end{aligned}$$

在信息论的基本理论中, 信息的二进制单位 (与此相应, 以二为底的对数) 获得了广泛的应用, 它是信息的最小的基本单位。但是在

对测量仪表的研究中, 更为方便的还是十进制信息单位以及相应的以十为底对数的应用。在这种情况下, 仪表的准确度 H_{np} 在十进制信息单位中, 可简单地等于实在的十进制符号数。例如对于 1.0 级仪表 $N_{np} = 100$, 并且 $H_{np} = 2$ 个十进制单位, 而对于 0.1 级仪表 $N_{np} = 1000$ 和 $H_{np} = 3$ 个十进制单位, 等等。

还有另外的更严格的定义仪表准确度数量的观点 [4, 5], 它不是以分层的数目来做为准确度值的, 而取的是它们之间的界的数目, 亦即较前述数目大一个单位。此时

$$N_{np} = \frac{1}{2\sigma_{np}} + 1$$

$$\text{并且 } H_{np} = \lg N_{np} = \lg \left(\frac{1}{2\sigma_{np}} + 1 \right)$$

上述的方法在分析有杂音下接收小信号时, 是必须的, 此时杂音与符号具有同等的数量级, 因此这个单位在此就成为不可忽略的了。但是在分析测量仪表的准确度时, 这种准确性就未必是有意义的了。例如, 对于 1.0 级仪表, 可有 $N_{np} = 101$ 来代替近似值 100, 而对于 0.1 级仪表, 可有 $N_{np} = 1001$ 来代替 1000。但是这一很小的修正在引入对数中之后, 将驱废了使用信息的对数单位的所有的优点, 因为此时对数号不能方便地解开, 以致所有以后的公式在实际问题的分析中变得很不适宜。

这两种方法的原则性区别可以用提出这样的问题来阐明: 仪表在怎样的误差下, 由其所获得的信息量为零, 也即准确度 $N_{np} = 1$? 在第一种权衡方法中——是在 $\sigma_{np} = \pm 50\%$ 和 $\gamma_{np} = 100\%$ 下得到这一结果的, 而在第二种权衡方法中——是当 $\sigma_{np} = \infty$ 和 $\gamma_{np} = \infty$ 时才得到这个结果, 因此, 对于仪表制造者来说, 第一种近似的并且较严格的准确度 N_{np} 的数量权衡方法是较为常用的, 它给出了更为方便和简单的公式。第二种方法虽然更为严格, 但是用在分析测量仪表时却并不合适。

接此而后的控制论概念将是在每一个变换之后的信息中间值 $P_1, P_2, P_3 \dots$ 和信息损失

$\Delta q_1, \Delta q_2, \Delta q_3, \dots$ 以及由仪表输出端所获得的信息量 q_0 。

为了确定在测量装置的一次变换器中信息的损失 Δq_1 ，必须要有信息量的先验值 q_0 ，这个先验值原则上是包含在被测参数之中的，也即极限的。物理上可能的不确定性的程度——被测参数的熵。

实际上假如被测量确定性的程度由于某种原因而被限制，即包含于其中的信息被限制，那末为了测量它，仪表只要有某种确定的准确程度就足够了。假如仪表的准确度低于这个值，那末它就不可能让被测量所有的信息通过，也即是说，要带来信息损失；而测量的准确度实质上将决定于仪表的准确度。但是也可能有相反的情况，当仪表被改进了，其准确度已被提得高于测量本身的确定性程度，在这种情况下，粗略地讲，将并不带来信息损失。这就是说，测量的准确度将决定于被测量本身的性质，而继续提高仪表的准确度并不能改善测量的准确度。

开始的不定性程度，即被测量的熵，可以用测量的方法消除。它的数值决定于被测量的分散度或方差。

假定被测量是滚珠轴承中的滚珠，它是沿着传送带输送的。此时测量仪器是一个具有六个叶片的旋转计数仪，在其两个叶片之间可置入一个滚珠。假如旋转计数仪只记录整数转数，那末由这个仪器所测定的滚珠数将有 ± 3 个珠的误差。如果现在顺次地将转数记录的准确度提高到 $1/2, 1/3, 1/6, 1/60, 1/600$ 转等等，此时，测量的准确度在开始，即当转数记录的准确度还未达到由被测量分散度所确定的准确度（即 $1/6$ 转相应于一个珠的数目）以前，是逐级提高的。超过此一限度，继续提高转数记录的准确度，已经不能继续提高测量的准确度了。另外比如被测参数是一个 1 欧姆的电阻，由于受到起伏作用，具有偶然性的偏差，为 ± 0.01 欧姆（例如，旋转整流子电刷间的电阻，或接触不够牢靠的变阻器的电阻等等），如果用带有 10% 误差的仪表（欧姆表）来测量这个电阻，

那末测量结果的方差将决定于测量仪表的方差。但假如使用 0.02% 误差的电桥来进行测量，测量结果将有 1% 的分散，它是由被测参数本身的方差所决定的。

这样，不确定性的实际程度——任何被测物理量的熵——都是有限的，并且由物质和能量的分散度或者是被测参数本身的方差所确定。在微观世界中，这个极限由（海森堡）（Гейзенберг）的不确定性原理确定，在测量电量时——一个电子的荷电量，即 $e = 1.6 \times 10^{-20}$ 库仑。在电流测量的情况下，限制测量的将是电流的统计本性，即电流对时间的非均匀性。这个现象在测量小的离子电流的仪器制造中已经遇到过了。

单位粒子出现的或然率分布（分数效应）属于泊松型的分布，在这个条件下〔6〕，粒子流强度的方差：

$$D_0 = \frac{1}{n}$$

与平均值的均方偏离：

$$\sigma_0 = \frac{1}{\sqrt{n}}$$

这里 n ——参与粒子的总数，

对于电流的情况

$$n = \frac{Q}{e} = \frac{It}{e}$$

其中 I ——电流的平均值；

t ——观察时间，即取平均值的时间；

e —— 1.6×10^{-20} 库仑——电子的电荷。

$$\text{由此 } \sigma_0 = \frac{1}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{16 \cdot 10^{-20}}{It}} = \frac{4 \cdot 10^{-10}}{\sqrt{It}}$$

被测量的分层数自然由相似于准确度的数值（在勃利留恩的意义上），即以宽度为 $2\sigma_0$ 的分割带的数目确定。即

$$N_0 = \frac{1}{2\sigma_0} = \frac{1}{\sqrt{4D_0}}$$

此时被测量的熵值 q_0 在对数单位中表示为：

$$q_0 = \lg N_0 = -\lg(2\sigma_0) \\ = -\frac{1}{2} \lg(4D_0)$$

在某些电流测量的情况下,

$$N_0 = \frac{1}{2\sigma_0} = \frac{1}{\sqrt{4D_0}} = \frac{\sqrt{I_t}}{8 \times 10^{-10}}$$

$$q_0 = \lg N_0 = -\lg(2\sigma_0) = -\lg \frac{8 \times 10^{-10}}{\sqrt{I_t}} \\ = 9.1 + \frac{1}{2} \lg(I_t)$$

现在来研究测量过程各参数之间的以及测量仪表和传送信息之间的数学关系。可以给出在测量仪表中信息变换的整个过程的数学描述。设想第一变换器的方差 $D = \sigma_1^2$, 它与被测量的方差 $D_0 = \sigma_0^2$ 无关, 于是在第一变换器输出端上的总方差等于 $D_0 + D_1$ 。由此, 在第一变换器输出端上的信息量,

$$q_1 = -\frac{1}{2} \lg(4(D_0 + D_1))$$

而在第一变换器中信息的损失,

$$\Delta q = q_0 - q_1 = \frac{1}{2} \lg \frac{D_0 + D_1}{D_0} = \frac{1}{2} \lg \left(1 + \frac{D_1}{D_0} \right)$$

相应地, 在第二级变换以后

$$D = D_0 + D_1 + D_2$$

$$q_2 = -\frac{1}{2} \lg(4(D_0 + D_1 + D_2))$$

$$\Delta q_2 = \frac{1}{2} \lg \left(1 + \frac{D_2}{D_0 + D_1} \right)$$

在一般的情况下, 在几次变换之后

$$q_n = -\frac{1}{2} \lg \left(4 \sum_{c=0}^n D_i \right)$$

$$\Delta q_n = \frac{1}{2} \lg \left(1 + \frac{D_n}{\sum_{i=1}^{n-1} D_i} \right)$$

对于整个仪表, 把它当作一个总的变换器, 其方差 D_{np} , 可得:

$$D_{\alpha} = D_0 + D_{np}$$

$$q_{\alpha} = -\frac{1}{2} \lg(4D_{\alpha})$$

$$\Delta q = \frac{1}{2} \lg \left(1 + \frac{D_{np}}{D_0} \right)$$

测量仪表还有两个十分有趣的成为一整体的信息特性。这就是比值 $\eta = \frac{q_{\alpha}}{q_0}$ 它, 表示进入仪表的信息被利用的系数, 可以叫作仪表的信息效率, 用百分数表达之, 这一非常明显的通用指标对于进行各种类型的仪表的相互比较是十分方便的, 并且可以指出测量仪表进一步改善的相对可能性。

另一个特性表示出所给仪表尚未被利用的改善的可能性, 这就是仪表中信息损失的总和 Δq 。和准确度相似, 它可以表示为信息的对数单位 Δq , 也可以表示成准确度的相对单位

$$\kappa = \frac{N_0}{N_{np}}$$

这些量的数学表达式如下;

$$\eta = \frac{q_{\alpha}}{q_0} = \left(1 - \frac{\Delta q}{q_0} \right) = \frac{\lg(4D_{np})}{\lg(4D_0)}$$

$$\Delta q = q_0 - q_{\alpha} = \lg = \frac{1}{2} \lg \left(1 + \frac{D_{np}}{D_0} \right)$$

$$= \frac{N_0}{N_{np}} = 10^{\Delta q}$$

为了用表格说明, 列举了用一系列仪表测量电流时所示的信息参数。

这里 I ——在仪表最大灵敏度下, 电流量限;

γ ——仪表的引换算差;

t ——测量时间, 亦即仪表的快速性 (Характеристика быстродействия)。

$$\text{被测电流的精度 } q_0 = \lg 8 \frac{8 \times 10^{-10}}{\sqrt{I_t}} \text{ 是仪}$$

表灵敏度和快速性的函数, 而输出的信息量 q_{α} , 对于一个测量值, 实际上等于对数单位中的准确度。

$$q_{\alpha} \approx H_{np} = -\lg \gamma$$

它是仪表准确度的函数。

由此, 仪表的信息效率和准确度储备是综合式的特性, 它在相应的关系中同时估计到仪

表的灵敏度,快速性以及准确度。

在讨论以下的表格时,应该注意到,仪表的起始参数(例如,在手动平衡的补偿器上的

测量时间为50秒)是按已知的等级任取的,因此所引用的表格仅仅是一个大概的情况。

仪 表 型 式	I (安)	γ %	t (秒)	q_0 (十进 单位)	$q\alpha$ (十进 单位)	η %	Δq (十进 单位)	$\alpha = \frac{N_0}{N_{np}}$
电测放大器ЭМУ-3	2×10^{-14}	5	4	2.55	1.3	51	1.25	18
电子示波器25И	2×10^{-6}	10	10^{-6}	3.25	1.0	31	2.25	180
电子数字伏特表	10^{-4}	0.1	10^{-3}	6.10	3.0	27	3.10	1200
电机械式数字伏特表	10^{-6}	0.1	2	6.25	3.0	48	3.25	1800
半自动补偿器P ₂	3×10^{-3}	0.02	4	7.25	3.7	26	3.55	3600
直流补偿器	10^{-4}	0.01	50	8.00	4.0	50	4.0	10000
微安表M95	10^{-6}	1.0	4	6.4	2.0	31	4.4	25000
МПО-2示波器的Ⅷ号振子	2×10^{-3}	2.0	4×10^{-3}	6.55	1.7	51	4.85	70000
МПО-2示波器的Ⅰ号振子	0.1	2.0	4×10^{-4}	6.95	1.7	24	5.25	200000
微安表M24	10^{-4}	1.0	4	7.4	2.0	49	5.4	250000
电动式安培表Д57	0.5	1.0	6	9.35	3.0	32	6.35	2.2×10^6
电磁式安培表Э12	5	2.5	4	9.75	1.6	16	8.15	1.4×10^8

结论 这篇文章并没有企图解决控制论的方法应用在电气测量装置的基本理论方面的所有问题。

信息效率和准确度的信息储备概念的应用,允许很方便地对现有已制造的各种仪表的相对完善性进行比较,并且指明了,对于现代各种仪表,这种完善性是极不均衡的。按准确度的信息储备来比较,我们将会看到,譬如,电机械式数字伏特表($\alpha=1800$)就比手动平衡的直流补偿器($\alpha=10000$)高过五倍,但是,它们在完善性方面落后于电子示波器($\alpha=180$)十倍,并在结果指示的灵敏性,准确性和快速性方面落后于系列电测放大器 ЭМУ—3 ($\alpha=18$)一百倍。这些都是准确度的信息储备。从另外一方面看,这种比较表明,大多数仪表的准确度以使其完善的方法可以提高

一千倍。又比如ЭМУ—3放大器的准确度已经不能提高比18倍更高了。

按仪表的信息效率来比较它们也是极有趣的,它表明了,现代的仪表十分明显地地分为两类;第一类,信息效率值已经达到48~51%;第二类,信息效率才达到24~32%。由此,具有效率的特征,即信息效率按这样大约20%提高,在所有仪表中都是通过同一途径来达到的,即利用带深反馈的平衡变换方法,也即带少量欠补偿的平衡变换方法。

如是,控制论概念在测量技术理论的基本问题中的应用,使得可以进行对仪表制造的各种发展方向所能达到的结果进行比较,并由此将为仪表制造未来发展的方向和途径的科学选择开辟了广泛的可能。

有专用的设备)。但是另一方面在计量和检验事业上,提高精确度就在于仔细地完成对研究程序的测量和检查,及对其结果加工方面耗费较多的时间相联系着,在按着数律进行加工时,这个程序可以以装在仪表中固定的控制设备来自动地完成现时计量机关中人们所完成的工序并可以得到接近计量的测量精确度。

从这个思想出发就可以提出运用控制论原理来提高测量精确度的问题。

以数律这条道路来提高精确度,就在于把我們感到兴趣的某一个量的测量用系列测量来代替之。这个系列测量既可以得到被测量值的数据;又可以得到容许测量误差的数据。并且以这些数据为根据从测量结果中消除发现的误差。对此,正如众所周知的,测量误差分为系统误差和偶然误差两种。系统误差是用按照标准量度或工作量度对仪表进行检查的方法所找出来的。偶然误差——用多次测量和对其结果进行统计的方法找出来。这样,这些计量方法的数律按相应的规律和要求所表现的公式已达到完全自动化,充分地达到了现代计算技术的发展水平的程度。

运用控制论方法来提高电工测量仪表的准确度所能达到的可能性就决定于在完成必要的测量程序上所允许的耗时间。一次技术测量的时间由测量仪表指示器的稳定时间来决定,这个时间一般的规定不超过数秒。为了能够得到计量的准确度所进行的测量往往花费几个月的时间。当然当运算过程自动化时,这个时间可以大大的缩短,但这时时间的消耗是由以控制论方法最大限度的提高测量仪表精确度的一些因素来决定。为了解决这个问题,需要对测量精确度的提高和必要的时间消耗之间的关系进行具体的分析。

用按标准量度检验仪表的方法来消除系统误差所耗费的时间与检验疏密程度有关。譬如对于一般通用仪表为保持统一的测量,测量一致性的法定检验周期为一年。0.1级仪表就不可能使其能保持5~10年等级不变,因此就要求每年检验。但是,如果检验周期大大缩短,

譬如,对0.1级仪表每星期进行一次检验,则其系统误差降到0.05%;也可能降低到0.02%。尤其是,如果将设备的检验周期缩短到一个小时,一分钟,一秒钟等等,则除了系统误差可以大大减小,同时设备的偶然误差也可以大大减小,因为一些偶然误差的发生和消失(例如因电源网路电压的无规则振荡所产生的误差)不是瞬时的,而是带有一定的结束恒定时间。例如,电子管仪表由于灯丝加热,电压的瞬时变化所产生的误差就不是随着电压的变化而瞬时消失,而是根据阴极热惯性恒定时间逐渐地消失;从整流器所得到的电压变化速度决定于它的平滑滤波器的恒定时间等。所以,如果检验周期选择小于这些固定的时间,则是可以消除一部份偶然误差的。实际上以这样的周期进行检验人是不可能胜任的,这个任务只有委托自动设备来完成。

用缩短检验周期的办法可能取得的效果,可以在现代化电视中表示出来。假设电视图象扫描为500行,而屏宽,也就是每行长为200毫米,则光束掠过的总长度(就是说这个仪表刻度盘的总长度)便是 $200 \times 500 = 10^5$ 毫米。如果这时图象上某一个部份的位置误差用稳定地标准锰铜电阻和标准电池固定住了,譬如如是0.20%,则按其绝对值它是 $10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 20$ 毫米。也就是说图象某个部份(例如播音员的眼睛)在屏上相对于其他部分(例如播音员的脸)可能移动了20毫米。但是在传送电视图象时的实际误差大约是2毫米或者为0.002%。这个精确度的取得不是采用稳定元件的方法(所有的电视元件都有10~20%的公差),而是采用借助于图象扫描每一行上的所谓匹配脉冲对光束的位置随时进行检验和修正的方法,即每秒15000次对光束的位置进行检验和修正。这样时时检验的结果就把误差由10~20%降低到0.001~0.002%。

实际上,在检验的时候仪表是不进行测量的,所以检验所相对耗费的时间就限制了最大检验次数。如果用在检验上相对时间消耗的值取检验持续时间和检验周期之比,对于指针

仪表，在检验周期为一年时，其检验耗费时间为一个小时，这个比值差不多靠近0.01%，对于ЭПП型自动补偿器每两小时进行一次检验，每次检验估时六秒钟，相对的是0.1%，而对于电视用于检验耗费时间的相对值已经是8%。这样，相对耗费时间就限制了最大的检验次数。因为如果检验所耗费的时间很大，甚至至于比测量的时间还大，则再进一步的提高检验次数就再不是经济合理的了。但是，决定相对耗费时间最佳的问题还要逐个地、仔细地来研究。

绝大多数实际使用的测量仪表或测量转换器的转换函数用下式来表示：

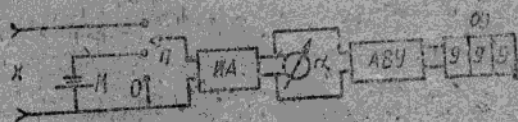
$$a = A + SX^n$$

式中 a ——仪表或转换器的输出参数值；

X ——被测量或输入参数的值。

这时转换器或仪表的系统误差事实上或者只表现在开始输出水平 A 的变化上，也就是表现为仪表的零位误差，或者表现为其灵敏度 S 的变化，也就是当因次 n 为常数时即仪表的标尺特性（线性的，平方关系的等等）成为不变的时候，表现为灵敏度的误差形式，就象仪表的系统误差出现以后那样。这样，为了消除系统误差的检验工序和仪表的标尺特性无关（ $n=1/$ ，1或2等等），而变为对仪表的零点和灵敏度进行检验。

带有自动检验零点和灵敏度并能自动进行检验和消除仪表系统误差的仪器设备原理线路如图上所示：



图中 X ——被测参数； M ——标准或工作度量； Π ——按一定程序转换测量设备 IA 检验零点和灵敏度的自动转换器； ABY ——对测量和检验结果进行必要加工的自动计算设备和 OY ——仪器的读数设备。

如果被测参数 X 的测量结果 $a(X)$ ，我们并设标准量 M 的测量结果是 $a(M)$ 和零点检验结果为 $a(O)$ ，则被测参数的实际值这样来求得，例如当仪表的标尺为线性时，也就是当 $n=1$ 时：

$$X = M \frac{a(X) - a(O)}{a(M) - a(O)},$$

而在一般情况下当 n 等于任意值时，

$$X = M \sqrt[n]{\frac{a(X) - a(O)}{a(M) - a(O)}}.$$

计算这个函数并把它作为自动计算设备 ABY 的课题。

最多只能在每次测量之前对零点和零敏度进行一次检验，并且每次的测量所消耗的时间为 $3t_i$ 。式中 t_i ——仪表指示器的稳定时间。此时，用在检验的相对消耗时间最大值可能达到67%。由现在所使用的每次检验的相对消耗时间（一般为0.01；0.1；8%等等）很显然可以看出用消除系统误差的办法来实现对测量精准确度的提高还有很大的余地。

当对不定值指数 n 进行自动校正的情况下（例如为了调整非线性， $n=1$ 时），按所示线路用仪表测量的剩余误差（Остаточная погрешность）由所用量度的误差 γ_m 和在测量或检验时所引起的仪表偶然误差 σ 构成。因为在由计算设备完成的算式中仪表的偶然误差是四次被引入，所以计算结果的最终偶然误差将由仪表的 σ^4 四倍来决定。因此，在 $n=1$ 时测量的剩余误差之合就等于

$$\gamma = \gamma_m + \sqrt{4\sigma^2} = \gamma_m + 2\sigma,$$

而当指数 n 为任意值时

$$\gamma = \gamma_m + \frac{2\sigma}{n}.$$

这样换算方法的结果，在仪表的偶然误差为平常的两倍时，就用所用量度的系统误差 γ_m 取代了仪表的所有系统误差（对于固定的检验周期）。

消除偶然误差的计量方法就是把待测量按

多次测量结果进行数学值的计算。在偶然误差或然率 (Вероятность) 对称的分布时, 在大多数实际情况下, 可以归结于平均算术值的计算。也就是简单地取其多次测量的平均结果。大家知道, 由别赛里 (Бессель) 公式平均结果误差等于:

$$\gamma_t = \frac{\gamma_i}{\sqrt{n-1}} \approx \frac{\gamma_i}{\sqrt{n}} = \frac{\gamma_i}{\sqrt{\frac{t}{t_i}}} \\ = \sqrt{\frac{\gamma_i^2 t_i}{t}} = \sqrt{\frac{\tau}{t}}$$

式中 γ_t —— 平均结果误差;

γ_i —— 在一次测量时测量仪表的误差;

n —— 平均的测量次数;

t_i —— 一次测量所费时间;

t —— 全部测量所费时间, 也就是平均时间;

$\tau = \gamma_i^2 t_i$ —— 仪表的快速性和精确度的综合特性。它在时间 t 的情况下, 也就是消除偶然误差所花费的时间为已知时。决定最后总的平均结果的误差。

就这样, 如果仪表的自动计算设备 ABY 不仅仅单纯为了消除仪表的系统误差而进行运算, 而同时来平均一系列的测量结果, 则整个计量提高测量精确度的效率便是完成了。同时仪表本身的误差由于相应的时间消耗可以做到相当之小。在这种情况下, 测量的结果误差将不是由仪表的误差来决定, 而是仅仅由用来检验仪表的指标度量 M 的误差来决定。

一次测量是在完全固定的关系中进行时, 为了得到给定的平均结果误差所必需的时间消耗, 仅由仪表的误差 γ_i 和快速性 t_i 来决定, 就是说 $\gamma_i^2 t_i = \tau$ 。所以当带有自动计算设备, 或者是带有数字计算机的仪表进行工作时, 并不是它的一次测量误差很小; 而是它的高的快速性的配合使误差相当小。这个解释原则上开辟了

一条提高精确度的新方向。这个新方向如果可以这样表示的话, 那就是拿快速性的转变来表现精确度。这就由 τ 的公式看出了快速性单位误差, 或者相反之相对重要性, 因为减小误差相当于提高快速性的平方。

在这时应该注意到当运用信息概念来记录 τ 值的测量过程就象仪表的快速性和精确度的综合特性那样, 有着十分完整的物理意义。决定精确度之值并确实地把测量结果之各种不同程度, 我们利用在参考文献 [1] 中所采用的关系式来 (除了零) 表现为数目形式。

$$N_t = \frac{1}{26} = \frac{1}{\gamma_t}$$

当测量平均结果误差等于

$$\gamma_t = \sqrt{\frac{\gamma_i^2 t_i}{t}} = \sqrt{\frac{\tau}{t}},$$

在任意时间 t 时, 我们得到精确度等于

$$N_t = \frac{1}{\gamma_t} = \sqrt{\frac{t}{\tau}},$$

而为了得到在任何情况下的 N_t 的测量结果所必需的时间 $t = N_t^2 \tau$ 。这样为得到第一个任意水平 (除了零); 也就是 $N_t = 1$ 时, 所相应的时间 $t = \tau$ 。

因此, 仪表快速性和精确度的综合特性 τ 是在测量结果中用仪表发现的第一个确实水平的相应时间。

运用控制论方法来提高精确度的实际得到结果可以拿一系列的仪表来作为例子。如果有条件地采用仪表的级的精确度一半是由系统误差构成, 而另一半是由偶然误差和在测量结果用计量的处理时仪表的本身误差所构成 (非线性误差和在检验仪表时所用度量的误差不计算在内), 则在一次测量时的误差 $\gamma_i = 26$, 就是等于仪表偶然误差的两倍, 干脆它就是所用仪表精确度的等级。这样计算的结果, 对于多数快速仪表其平均时间 $t = 2$ 秒, 其余参数列入表中:

仪 表 型 号	每秒钟测量次数	γ_t 单 位	t_t 秒	τ 秒	γ_t %
电机械式数字伏特表	0.5	10^{-3}	2	$2 \cdot 10^{-6}$	0.1
表面编码的电机械式示波器	2000	$2 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-7}$	0.03
表面编码的电子管示波器	10^3	10^{-1}	10^{-6}	10^{-8}	0.007
电子式数字伏特表	100	10^{-3}	10^{-2}	10^{-8}	0.007
同 上	1000	10^{-3}	10^{-3}	10^{-9}	0,002

在 2 秒钟内由这些仪表所得到的测量结果经度量衡加工处理之后的值和精确度是显著不同的, 比如电机械式数字伏特的精确度, 它在 2 秒钟内只来得及测量一次, 实际上一般是不能再提高了。在同样时间内象有较好的 τ 的其他仪表的精确度在 2 秒钟内就是比它要高些, 可高出 3 ~ 14 ~ 50 倍。同时, 加工处理测量结果所得到的精确度对具有 10% 误差的电子管示波器和具有 0.1% 的电子管数字伏特表都是一样。因为这些仪表 τ 的值都是一样。

结尾:

1、测量和计算技术的发展已使得运用控制论方法来提高电工测量设备的精确度完全达到了现实阶段。

2、运用这些方法可以减少测量装备的系统误差和偶然误差, 而它的精确度是提高了几十倍。

3、在这样的情况下, 带有发现第一个水平时间 τ 较小的仪表是大有希望的, 这时仪表的精确度和快速性是互为转换参数。因为平分的提高快速性等就相当于提高精确度。

4、特别快速测量仪表的研究、探讨是设计机构最有前途的重大任务问题之一。

5、带有控制设备并把它误差降低到 0.01 ~ 0.02% 的仪表有着在最近期间内出现的实际可能性。这就在我们度量衡机构面前提出了一个刻不容缓的任务: 研究为了自动检验这种仪表所必须具有的精度的电流、电动势和电阻的度量。

参 考 文 献

- 1、諾維茨基П.Б. 测量技术1962年第一期
赵瑞然译自《测量技术》№ 4, 1992年
王 鑑校对

关于测量过程的数律记录

Б.Б. 卡尔皮克

现代测量信息系统的出现和发展, 也就是装配、加工、保存和发送系统的出现和发展提出了一系列关于分析和综合这种系统的任务; 特别是分析和综合的函数结构线路, 为顺利地解决这些任务, 必须假定这些系统, 整个地,

或其中单独一部分的函数和作用原理采用相应的数字记录方法。

对于测量系统函数和作用原理的数字记录采用数律理论[1]和数律的对数线路仪器[2]是有很大发展远景的, 目前在数字计算器进行

程序工作〔3、4及其他〕时的计算技术中广泛地使用这一理论，亦即是用于加工、保存和发送信号的信息系统，但对于我们尚未获悉的工作，就是要研究测量过程数律记录的问题，亦即是和测量信息装配及用各种不同的测量装置来完成有关的测量信息系统的函数。

目前已作过这样的试验，拟定出不连续平衡^①的数律过程的逻辑线路（即是不连续阶梯式变化的已知值和被测值的平衡）这种线路在数字测量装置中已有所应用。

所有各种测量过程，特别是不连续已知值（ДИБ）和未知值（ИБ）的不连续平衡过程，可以分为若干阶段，我们称其为算符，我们把它分为非逻辑算符（可称为作用算符），它包括：如接入HB，接入一定程度的ДИБ，记下读数 and 逻辑算符或宾位的操作（如检查条件 $HB \approx ДИБ$, $HB > ДИБ$ 等等）。非逻辑算符用大拉丁字母表示，而逻辑算符用小希腊字母表示，我们还需选择辅助标记 $\overset{1}{\lfloor}$ $\overset{1}{\rfloor}$ ($i = 1, 2, 3 \dots$)，称其为左、右相应的下半个括号，和 $\overset{1}{\lceil}$ $\overset{1}{\rceil}$ ——左、右相应的上半个括号。

我们将以相乘的形式来表示顺次完成的算符，同时后一个算符放于右边，这样，由数个阶段组成的过程（作用过程），将算符一行一行的写下来，这些算符按一定的顺序性完成。例如，ABC一行，意思即是应按算符A、B和C的顺序完成，此后过程就结束了。假如在算符行内，经过几个非逻辑算符之后，出现左上半括号 $\overset{1}{\lceil}$ ，带指数1，则这说明，此算符完成后，永远应由位于右方的右上半括号，带同一指数1的算符来完成。例如，在行内 $A \overset{1}{\lceil} BC \overset{1}{\rceil} D$ ，完成算符C后，应完成算符B，亦即是算符完成顺序为ABCBCBC……，此过程的延续是无止境的，而算符D将不再完成。

假如算符行内有一逻辑算符（宾位）a，在这个字后放一左下半括号 $\overset{1}{\lfloor}$ ，带指数平方1，以及假如逻辑算符已完成，亦即是实宾位三次方应直接由下一右方算符来完成。假如是虚宾位，则应由在右下半括号，带同一指数1，右

方位置的算符完成之，例如，完成算符行的顺序为：

$$Aa \overset{1}{\lfloor} B \overset{1}{\rfloor} CD$$

当 $a=1$ 得 ABCD
而当 $a=0$ ACD

由表征非逻辑和逻辑算符及右半括号和左半括号符号组成的最终一行，对于带指数1的每一左半括号包括于此行内，仅仅求出一个带有同样指数1的右半个括号，反之，这即称为数律的逻辑线路〔2〕。

现在来研究不连续平衡过程数律逻辑线路的编制，为此将平衡过程分为以下几个阶段（算符）：

а) 作用算符：

A_x ——接入HB

A_i ——接入ДИБ i—й阶段；

B_i ——断开ДИБ i—й阶段；

C——比较HB和ДИБ；

D_1 ——停顿；

D_2 ——记下读数；

E——断开ДИБ各个阶段；

$F(i)$ ——使指数i增加一个单位的改变发送位置的算符〔5〕；

$\bar{F}(i)$ ——指数i，减少一个单位的改变发送位置的算符；

$\{1 \rightarrow i\}$ ——指数i开始值形成算符，表明将此算符代替i单位。

б) 逻辑算符：

α ——检验完成条件 $HB \geq ДИБ$ 的算符；

β ——检验完成条件 $HB = ДИБ$ 的算符；

γ ——检验完成条件 $HB > ДИБ$ 的算符；

δ ——检验完成条件 $i < n$ 的算符，

式中 n ——ДИБ各个阶段数

①在作者М.П.Цапенко的面前曾提出这一任务。

②宾位a的右方是左半个括号 $\overset{1}{\lfloor}$ ，带指数i称为对数条件 $a \overset{1}{\lfloor} [2]$ 。

③实宾位用1标记，而虚宾位—0。

大家知道〔6〕，不连续平衡分为三种方法：扫描的，分等级的和跟踪的，而且此外，扫描平衡可以是周期性的和非周期性的〔7〕，根据这些，利用上述标记，记录下用下列形式平衡数律的逻辑线路。

扫描周期性平衡：

$$A_x \{1 \rightarrow 1\} \left[\begin{array}{c} 2 \\ 1 \end{array} \right] A_1 C \beta L D_2 \left[\begin{array}{c} 3 \\ 1 \end{array} \right] F(1) \left[\begin{array}{c} 2 \\ 1 \end{array} \right] E \left[\begin{array}{c} 2 \\ 1 \end{array} \right]$$

扫描非周期性平衡：

$$A_x \{1 \rightarrow 1\} \left[\begin{array}{c} 2 \\ 1 \end{array} \right] A_1 C \beta L D_2 \left[\begin{array}{c} 3 \\ 1 \end{array} \right] E \left[\begin{array}{c} 2 \\ 1 \end{array} \right] F(1) \left[\begin{array}{c} 2 \\ 1 \end{array} \right]$$

分等级平衡：

$$A_x \{1 \rightarrow 1\} \left[\begin{array}{c} 2 \\ 1 \end{array} \right] A_1 C \alpha \left[\begin{array}{c} 3 \\ 1 \end{array} \right] \delta L F(1) \left[\begin{array}{c} 2 \\ 1 \end{array} \right] E \left[\begin{array}{c} 2 \\ 1 \end{array} \right] D_1 D_2$$

跟踪平衡：

$$A_x \{1 \rightarrow 1\} \left[\begin{array}{c} 3 \\ 6 \end{array} \right] A_1 \left[\begin{array}{c} 4 \\ 1 \end{array} \right] C \beta L \left[\begin{array}{c} 2 \\ 1 \end{array} \right] F(1) \left[\begin{array}{c} 2 \\ 1 \end{array} \right] D_1 D_2$$

$$\left[\begin{array}{c} 4 \\ 2 \end{array} \right] B_1 C \beta L \left[\begin{array}{c} 7 \\ 5 \end{array} \right] F(1) \left[\begin{array}{c} 7 \\ 6 \end{array} \right]$$

上述数律线路中，算符的特征表明对数的负数，使用带数个指数的半括号的目的是为了简化记录，这样，如两个半括号 $\left[\begin{array}{c} 1 \\ 1 \end{array} \right]$ 用一个半括号代替 $\left[\begin{array}{c} 1 \\ 1 \end{array} \right]$ ，半括号 $\left[\begin{array}{c} 1 \\ 1 \end{array} \right]$ 用括号 $\left[\begin{array}{c} 1 \\ 1 \end{array} \right]$ 代替之等等。

举一例子来研究某种平衡方法的数律作用，例如，按等级平衡的：

令 $n=10$ ，即是 $\delta=1$ ，当 $i=1, 2, \dots, 9$ ，和 $\delta=0$ ，当 $i=10$ 。

并令 $\alpha=1$ ，当 $i=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ ，和 $\alpha=0$ ，当 $i=7, 10$ ，即 HB 值与 $1, 2, 3, 4, 5, 6, 8$ ，和 ДИВ 第 9 级值的总和相适应。此时平衡工序的顺序写成一行形式

$$A_x A_1 CA_2 CA_3 CA_4 CA_5 CA_6 CA_7 CB_1$$

$$A_2 CA_3 CA_{10} B_1 D_1 D_2$$

所有 ДИВ 各阶梯，除 7 和 10 级以外，读取读数的瞬间是接通的。

编制上述不连续平衡过程数律的逻辑线路，是测量技术中利用数律逻辑线路示例中的其中一个示例。

对于以已知值不断变化平衡 HB 以及重合法为基础的测量过程和装置，也可编制类似线路。

应说明一点，将过程划分为阶段式（就是算符的选择）可以按各种方法来完成，可举一个例，将平衡过程划分为极细的各个工序，类似 Тьюринга 机器内的各个计算工序；可以将过程划分为这样的阶段，其中每一阶段将由数个工序组成。确定将过程划分为工序方法的目的，是在编制时跟踪数律的逻辑线路，例如，当在信息测量系统中记录产生过程时，宜利用与结束函数作用相符合的并由数个工序联结成的工序，为说明系统结构，使用可以由数个单个元件完成的最合适，例如触变器，放大器，比较线路，端钮等等，还可以利用各种逻辑条件。

结论：对于测量信息系统的数学记录，使用数律和数律逻辑线路，其中特别是数字测量装置，可以用一种方便的形状表示出函数和结构。

利用数律逻辑线路〔2〕的等量变化，可以获得信息系统的多种结构方案，评价其复杂性，在一定的意义范围内建立最佳结构系（例如，包括最少的元件数量）。

参 考 文 献

1. Марков А.А. Теория алгоритмов, Труды математического института им. В.А.Стеклова, 1954, XL11
2. Янов Ю.И. Проблемы кибернетики, 1958, В.1.
3. Ляпунов А.А. ИВУЗ, Радиофизика, 1958, №1.
4. Китов А.И. и Криничкий А.А. Элек-

тронные цифровые машины и программирование, ФМ, М, 1959.

5、Ляпунов А.А. Проблемы кибернетики, 1958, В.1

6、Цапенко М.П. Измерительная техника.

1961, №5

7、Темников Ф.Е. Автоматические регистрирующие приборы, Машгиз, М. 1960.

云山譯自(苏)《测量技术》1962年第1期
赵瑞然校对

數字讀數的自动直流補償器

新切尔卡克С. 奥尔特尧尼基特捷工学院

勞動紅旗獎章獲得者 助教 Е.И. 切聶科夫

在各种科学和技术领域中, 数字读数仪表正获得比较广泛的发展。测量准确度高和速度快、能以数字形式记录测量结果, 而这些还远不是这种仪表的所有优点。

数字读数仪表可分为两类: 电子式的和机械式的。第一类具有极大的快速作用, 第二类具有极高的准确度。

新切尔卡斯工学院自动和测量装置教研室试制了几种机械式数字读数的自动直流补偿器的方案。

在试制时, 提出要最大限度地利用已由工业生产的自动装置元件来构成仪表。

图1所示为仪表的方块图。这种仪表可以使测量过程完全自动化, 以及不需要操作者作专门准备工作。

简单谈一下自动补偿器每个元件的用途。

自动判定被测电压的极性, 并指示于读数装置的屏幕上。

对于被测之量值的范围很大, 制作一个量限的高准确度仪表是困难的, 因此要选择一个从0.1到1伏的基本量限(在测量时, 必须利用第一个十进器)。借助分压器来自动扩大量限。

补偿部件是一个补偿线路, 靠它来使被测电压与在标准电阻上的电位降进行比较。

被测电压和补偿电压之差值被送到测量机构(ИО)的輸入端。根据这一差值的符号, ИО控制着自动装置的线路。

ИО由下列基本部件所组成:

а)、把直流电压变为交流的转换器(利用工作频率为160~180赫芝的ПП-4型极化继电器作为转换器);

б)、电压放大器;

в)、往极化继电器输出的相敏级;

г)、发生器。

因为使被测电压与在电阻上的电位降进行比较, 所以应使一定值的工作电流完全通过电阻。借助控制可逆电动机的继电器—电子线路的示踪系统, 经过一定的时间间隔自动进行调整电流值。

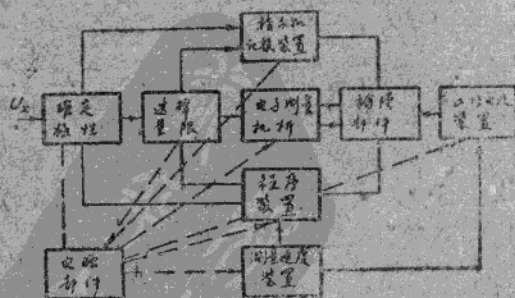


图1 数字讀數的自动直流補償器的方块图

调整测量速度的部件是一个电子瞬间继电器，经过一定的时间间隔它可以进行一系列测量，或进行单个测量。

调整测量速度的部件是一个电子继电器，用来把测量结果表示在屏幕上和记录测量结果（表示和记录部分可以放入仪表内，或放在仪表外）。

除了补偿电路之外，线路的所有元件均由电源部件供电，这个电源部件是由一些整流和稳定元件所组成的。自动补偿器的作用原理以动态的过补偿跟返回欠补偿做为基础。这个原理在于当被测之量不连续平衡（成比例或不成比例）时，测量机构发觉经过平衡状态的过渡瞬间，即过补偿。根据ИО的指令，操纵元件使线路返回欠补偿状态，之后进行连续平衡，但是已经在较小级值的十进器上进行了。

过补偿元理的主要优点是，在于很大的快速作用的同时，并能得到高的准确度。

线路返回欠补偿状态可由下列方法来实现：

- 1) 从补偿量中减出进行平衡的十进器的级；

- 2) 把下一个十进器加在补偿量上。

在设计数字补偿器时，测量线路和自动装置线路的选择是重要的。从得到最大快速作用和最小误差的观点来进行选择。

在被测之量不连续平衡时，可以由《从上面》，《从下面》，或《从中间》来接近每个十进器上的平衡位置。

可以制作十进制，二进制或其他某种计数制，使被测之量转换为不连续系列。十进制和复合制，即二一十进制在数字读数仪表中获得了极广泛的应用。在二一十进制中，以二进制电码（称它为四步距电码）进行测量数的十进制《数》位中或十进器中的平衡，而在整数中，以十进制电码进行平衡。

在这些计数制中，过补偿瞬间之前，在十

进器中的最大步距数如下：在十进制中为10，在二进制中为4，按步距数，《从中间》平衡，佔中间位置，因为需要6个步距。

因而，从快速作用观点来看，二一十进制产生最好的效果。但是不是所有测量路线都能按这种电码完成的。

任何平衡均分为两个阶段。第一阶段（查讯）在于被测之量与不连续变化的补偿量依次比较。第二阶段是固定补偿值的排列（作出指示）。

在大多数的比较仪表中，这两个阶段相配合，对于准确度不高的仪表来说，是合算的。在高准确度的数字读数仪表（十进制的四步距电码线路的）中，最好按下列几个原因把查询作用和线路复元分为：a)、操纵继电器只是在查询后工作；б)、集结继电器的消除只在测量周期末了才实现；в)、如在作用兼併的仪表中一样，不是所有继电器依次工作，而只是必须的。

继电器在查询之后的工作和被测量之后的消除都能帮助大大降低由于继电器的切换而在线路中引起的干扰电平。仅是所必须的继电器的动作对其触头的寿命有重要影响。

作测量周期的程序用的查询装置是由低功率电动机（1~2瓦特）传动的换接器构成的。对换接器没提出特殊要求，是因为其触头串接在输入电阻约为100~200千欧电子测量机构的电路内。

对于十进器中的补偿电阻的不同级值，可以采用四步距电码。从十进器中的继电器的和每个单独继电器的动作的总数量的观点，来谈谈几个四步距电码。

假定，在以同一频率测量时，可能在数位中出现任一数字。要讨论一下，在继电器动作若干次内，会从0到9之间选出数字，以及如何确定继电器的动作次数。结果列入表中，表中的（+）号表示继电器的动作次数。

表

数 字										继电器上的 负 载 (耗损)	继电器 总耗损
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
电码 8, 4, 2, 1											
+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	8	25
+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	6	
+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	6	
+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	5	
电码 5, 3, 2, 1											
+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	5	25
+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	6	
+	+	-	-	+	+	+	-	+	+	8	
+	-	+	+	-	+	-	+	+	-	6	
电码 5, 2, 2, 1											
+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	5	23
+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	4	
+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	8	
+	-	+	-	+	+	-	+	-	+	6	
电码 2, 4, 2, 1											
+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	2	19
+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	6	
+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	6	
+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	5	
电码 5, 1, 2, 1											
+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	5	19
+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	2	
+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	6	
+	+	-	+	-	+	+	-	+	-	6	

当分析各种四步距电码时，可以作出下列结论：

1、根据四步距电码构成的十进器可具有 (9~15) R 的补偿电阻。等于 9R 或 10R 的补偿电阻的电码，对于数字读数补偿器是最合适的。

2、在以等于 9R 或 10R 的补偿电阻从 0 到 9 进行测量时，继电器动作的次数应在从 19 到 23 的范围之内。最好利用继电器动作次数最少的电码，这样能增大继电器的寿命。

电码 2, 4, 2, 1 和 5, 1, 2, 1 能满足这个要求。根据继电器上的负载，电码近于同值。

对于四步距电码，采用查询和作出指示作用兼併的线路时，可以看出，为了测量十进器中任一数字，虽然所必须的继电器保持在吸引状态中。但是，四个继电器都应该动作。因此，在从 0 到 9 测量数字时，继电器应动作四

十次，这样，继电器的寿命比查询和作出指示作用分开的减少两倍。

3、在译解测量结果时，电码 5, 1, 2, 1 是比较简单的，因为把数字 5 加到从 0 到 4 之间的相应数字上的方法，可以在从 5 到 9 之间得到任一数字。

对于宽测量范围的高准确度补偿器来讲，工作电流为 10^{-4} 安的高阻线路是最适宜的。

高阻线路的选择取决于自动装置的标准元件，特别是继电器及供电电池的放电电流值。

对于提高读数准确度高阻补偿器有两种电阻接入法：分流电阻（分流十进器的）的接入法，双电阻（双十进器的）的接入法。

双十进器的线路是比较方便的，因为补偿器的灵敏度根据被测量的值变化比较小，但是在这种情况下，对转换装置的要求提高了，因为其触头串接在全工作电流电路上的缘故。

在研究测量电路时，对于利用高阻测量机

构的数字读数自动补偿器来讲，灵敏度问题将不再存在。在110的输入电阻为100~200千欧时，补偿器灵敏度变化很小，而对转换装置触头的过渡电阻之要求提到首位。很显然，在数字读数补偿器中，得到如在手动平衡的仪表中同样的触头过渡电阻值是很困难的。

从减小过渡电阻影响的观点来看，分流十进器的线路是最适宜的线路，在这种线路中，以与过渡电阻串联较大附加电阻的方法，来降低过渡电阻的影响是极其简单的。过渡电阻对基本工作电流的影响是不显著的，因为各触头接入十进器中，十进器中的工作电流比基本工作电流小几十倍和几百倍。

用具体例子来谈谈继电器各触头的过渡电阻对《零位》电阻（继电器接入测量电路中的各接线的过渡触头的电阻）和五个十进器的补偿器中的工作电流值的影响。再谈谈根据十进制制作成的，工作电流 $I=10^{-4}$ 安和量限为1伏的补偿器。假定，接线电阻等于零，补偿电路的电阻等于10000欧，工作电流的电路中的调节电阻等于零，而继电器接触装置的电阻等于0.04欧。PCM和PC型继电器接触装置的这个电阻值，在继电器动作 10^{-2} 之后可以得到。

双十进器的线路 继电器的5个触头接入补偿电路中。此时，零位电阻将等于：

$$R_H = 5 \cdot \gamma = 5 \cdot 0.04 = 0.2 \text{ 欧}$$

在测量范围的最低值0.1伏（补偿电阻等于1000欧姆）测量时考虑由于这些电阻所产生的误差 γ_H ：

$$\gamma_H = \frac{0.2 \cdot 100}{1000} = 0.02\%$$

继电器的十个触头接入工作电流电路中，其电阻为0.4欧。工作电流变化的误差 γ_T 为：

$$\gamma_T = \frac{0.4 \cdot 100}{R} = \frac{0.4 \cdot 100}{10000} = 0.004\%$$

分流十进器的线路 假定，第一和第二十进器串联，第三、第四和第五十进器分流前一个十进器。

继电器的各触头不接入第一和第二十进器中，它们接入工作电流减小为几百倍的第三、

第四和第五十进器中。

即使取第四、第五十进器中的电流等于第三十进器的电流，零位电阻的误差约为0.0012%。

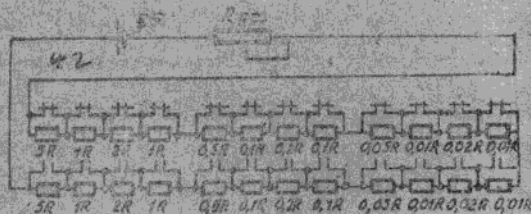


图2 双十进器的电位差计的补偿线路图

继电器的各触头对工作电流值影响很小，因为它们不接入基本工作电流的电路中。当在分流十进器中接有附加电阻时，这个影响还要大大减小。

在四步距电码的电路中，可以看出，分流十进器的线路不可以被利用。仅双十进器的线路可被利用，因为借助于十进器的四个电阻不同组合，可以从0到9之间选出电阻（图2）。

在十进器（给三个十进器的线路）中，每个电阻由固有继电器的各触头来分流，因此接入零位电阻电路中的不是5个继电器的触头，而是19个（考虑一个电阻在第一十进器不被分流）。

此时

$$R_H = 19 \cdot \gamma = 0.76 \text{ 欧}$$

$$\gamma_H = \frac{0.76 \cdot 100}{1000} = 0.076\%$$

20个触头将影响工作电流值，相应

$$R = 20 \cdot \gamma = 0.8 \text{ 欧}$$

而各触头电阻影响的电流误差将为：

$$\gamma_T = \frac{0.8 \cdot 100}{10000} = 0.008\%$$

从所得到的结果中可以看出，这种测量线路对于高准确度的仪表很少适用。

对于四步距电码或其他电码〔3〕，我们曾建议过一种新的十进器连接线路，（图3）。

这种线路的特点是，双十进器接入分流十进器中，从而使继电器的各触头过渡电阻的影