

为人民服务

毛泽东

毛泽东选集



资料5

采样器及模拟-数字转换器

一机部热工仪表科学研究所

一九七〇年三月

毛 主 席 语 录

工人阶级必须领导一切。

... 中国是一个具有九百六十万平方公里土地和六万万人口的国家，中国应当对于人类有较大的贡献。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

抓革命，促生产，促工作，促战备。

备战、备荒、为人民。

目 录

第一部分 采样器	1
§ 1 概 述	1
§ 2 干簧继电器的接通原理及性能	2
§ 3 采样矩阵	3
§ 4 电流译码电路	5
§ 5 采样器的主要问题	6
附页 JAG-2 型干式舌簧继电器	7

第二部分 模拟-数字转换器	8
§ 1 概 述	8
§ 2 模拟-数字转换器的分类	8
§ 3 模拟伺服型简介	9
§ 4 数字伺服型简介	11
§ 5 逐次比较型简介	12
§ 6 斜坡型简介	13
§ 7 阶梯锯齿波型简介	14
§ 8 单积分型简介	15
§ 9 双积分型简介	18
§10 调制型简介	20
§11 积分电位差计型简介	25
§12 模拟-数字转换器的现状及将来的动向	27

第三部分 逐次比较电压反馈编码型模拟-数字转换器	29
§ 1 概 述	29
§ 2 总的工作原理	30
§ 3 数-模网络	32
3-1 数-模网络的基本性质	33

3 - 2	数 - 模网络的误差分析 - - - - -	35
-------	------------------------	----

§ 4	电压比较器 - - - - -	44
4 - 1	工作原理 - - - - -	44
4 - 2	线路介绍 - - - - -	45
总图一	模拟 - 数字转换器工作原理图 - - - - -	53
总图二	$U_{\lambda}=500\text{mV}$ 时波形图 - - - - -	54
总图三	单稳态触发器时间关系图 - - - - -	55
总图四	比较器线路图 - - - - -	56
总图五	模数精密电源 - - - - -	57

第四部分	积分式直流数字电压表 - - - - -	58
------	----------------------	----

§ 1	工作原理 - - - - -	58
§ 2	动作程序说明 - - - - -	59
§ 3	主要部件 - - - - -	63
3 - 1	前置放大器 - - - - -	63
3 - 2	积分器 - - - - -	64
3 - 3	开 关 - - - - -	65
3 - 4	检零器 - - - - -	66
§ 4	本机性能 - - - - -	68

结束语

最 高 指 示

要抓革命促生产，促工作，促战备，把各方面的工作做得更好。

* ~ * ~ * ~ * ~ * ~ * ~ * ~ * ~ * ~ * ~ * ~ *

第一部分 采 样 器

§ 1 概 述：

采样器是一个快速多点切换开关，它将不同的被测信号按规定的次序和速度传送给测量仪表。

采样器由逻辑控制部分和信号传输部分组成。逻辑控制部分是保证一定的速度和有秩序地选择被测信号的输入，信号传输部分是使各种信号互不影响地加到测量仪表的输入端。

对采样器切换元件的基本要求是被测信号通过采样切换元件引起的误差尽可能地小，即在接通时接触电阻要求非常小，而断开时开路电阻要求非常大。另外要求干扰影响小，工作可靠性高，寿命长，目前采用小信号切换元件有下列几种：

- | | |
|------------|-----------|
| (1)电磁继电器 | (2)电刷切换器 |
| (3)步进选择器 | (4)纵横选择器 |
| (5)水银喷射切换器 | (6)湿簧继电器 |
| (7)干簧继电器 | (8)磁元件切换器 |
| (9)晶体管切换器 | |

前四种切换器由于机械结构的惯性大，速度慢，触点不是密封的，容易磨损等缺点所以很少用。第(5)种速度快，但容易产生静电干扰，水银容易氧化，又会蒸发，对人体健康不利，结构复杂，维护困难，也很少用，第(8)，(9)是无触点开关，速度很高，工作可靠，但是它的开路电阻与闭路电阻值之比很小，精度不高，现正在进一步研究之中。湿簧继电器因为是液面接触，所以无颤动现象，触点功率大，但工作频率低，安装有一定方向制造工艺复杂，因此只有在被测信号功率较大和希望颤动小的情况下采用，一般来说干簧继

电器运用较广泛，下面对干簧继电器作介绍。

§ 2 干簧继电器的接通原理及性能

干簧继电器系常开触点，平时触头之间有间隙，当绕在干簧外面的线圈两端加上足够的电压时，线圈中便产生了足以使触头吸合的电流，电流产生了磁场，而簧片是由导磁材料坡莫合金制成，在磁场作用下，迫使簧片所处位置改变、将原来不顺着磁场的方向变成顺着磁场的方向，在这个方向上簧片触头就吸合上，被测信号通过簧片的触点进入测量仪表，当所加的电压消除时，触点依靠簧片的本身弹力而断开，被测信号就被切断。

干簧继电器之所以能广泛地应用，是因为这种继电器具有比较多的优点和存在问题较少。它的优点有：

(1) 触点密封在玻璃管中，管内充有 1 个大气压的氮气保护，防止了由于灰尘及接触面的氧化造成的接触不良现象。

(2) 管内的簧片质量小，惯量就小，因而工作频率可以比较高，(10~40 周/秒，个别可达到 700 周/秒)。

(3) 启动时间和释放时间小 ($\leq 1\text{ms}$)。

(4) 触点是镀金的，因而接触电势小，噪声电平低，很适合小信号切换。

(5) 簧片刚性强，触头位移小，结构密闭，因此寿命长 ($> 10^8$ 次)。

(6) 开路电阻与闭路电阻大

开路电阻 $> 1000\text{M}\Omega$ 闭路电阻 $< 50\text{m}\Omega$

其比值 $> 2 \times 10^{10}$

(7) 工作位置及方向可以任意安装。

(8) 能在温度与湿度变化较大的条件下正常工作。

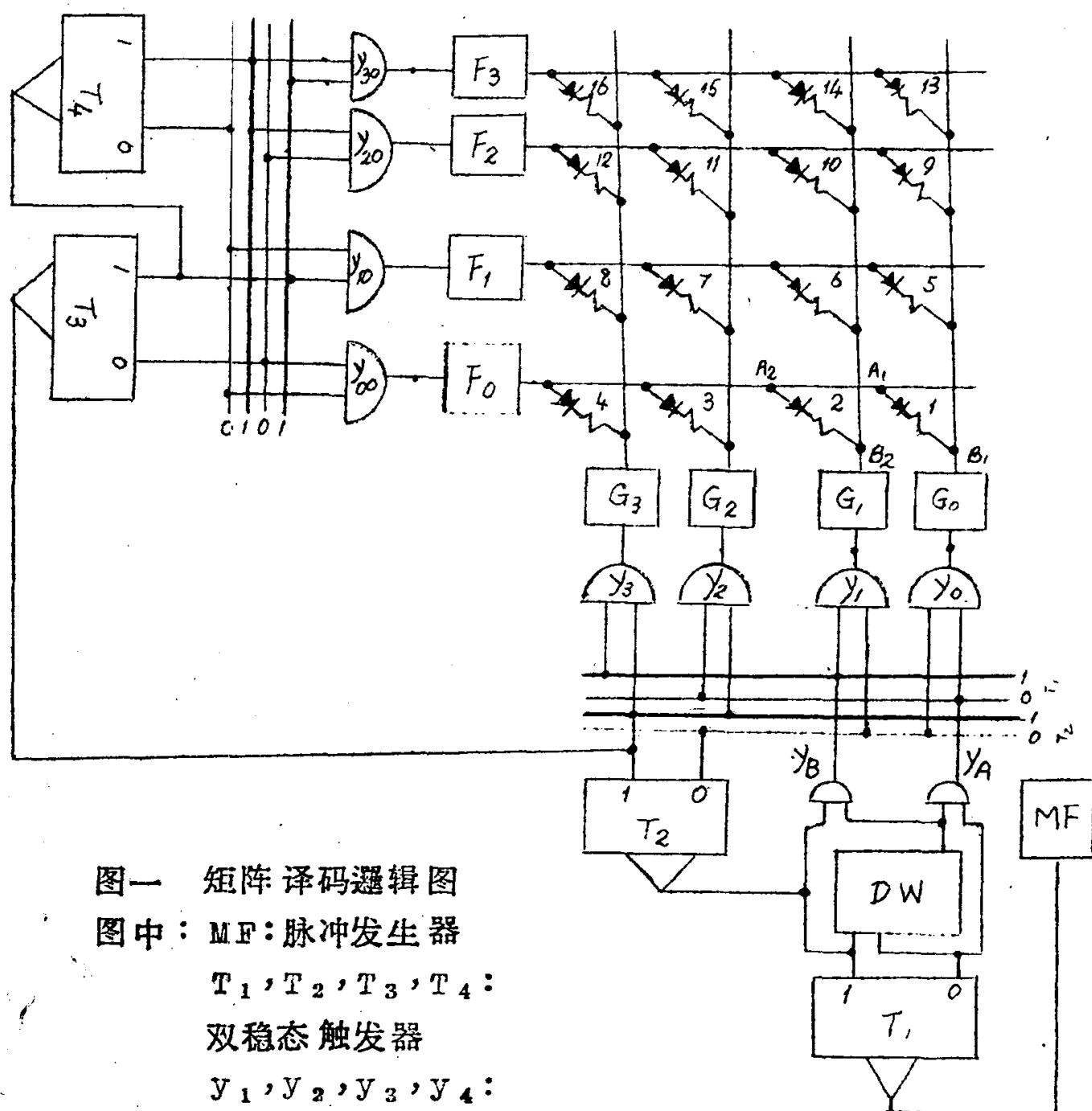
(9) 结构简单，便于连续生产，价格便宜。

(10) 使用时组合灵活。

它的缺点有：功率低，有颤动。

§ 3 采样矩阵：

采样方式有依序采样和选点采样两种，它是采用矩阵译码逻辑实现的，为了说明方便，这里举一个依序采样的例子，它的原理见图一所示。



图一 矩阵译码逻辑图

图中：MF：脉冲发生器

T_1, T_2, T_3, T_4 ：

双稳态触发器

Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 ：

二极管二端与门

G_0, G_1, G_2, G_3 ：

射极跟随器

F_0, F_1, F_2, F_3 ：

反相器

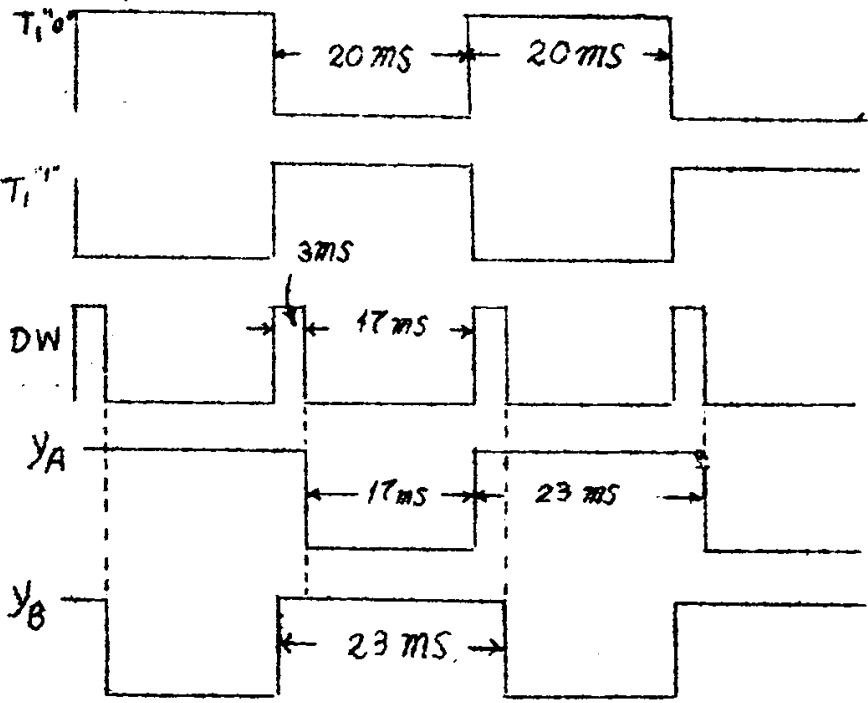
MF 发出固定频率的脉冲，这些脉冲进入 T_1, T_2, T_3, T_4 组成的计数器，计数器就进行计数工作，每进入一个脉冲，计数器便改变一种状态，用与门将这个状态译出就可以控制某一对（也只可能有一对）干簧触点吸合，从而达到采入某一信号的目的。

当 Y_0 与 Y_{00} 有输出时，相应的 G_0 和 F_0 就导通，其他的 G 和 F 均不具备导通条件，因而电流就从 F_0 通过 $A_1 B_1$ 由 G_0 流出，控制了干簧1触点吸合，第一路被测信号就被接入测量仪表，MF 连续发出节拍脉冲，实现干簧在一定时间间隔中，依次将不同的被测信号接入测量仪表的功能。

由于不同继电器触点吸合时间和释放时间不一致，有可能出现前一个触发器还未释放掉而后一个继电器已吸合的现象，在这瞬间两个被测信号同

时送到仪表的输入端。这就出现在某一瞬时有二个被测信号同时被接入测量仪表的情况，破坏了采样器的工作。解决的办法是在采样计数器的第一个双稳态触发器 T_1 的二个输出端放一个单稳态触发器，使 T_1 的输出脉冲宽度

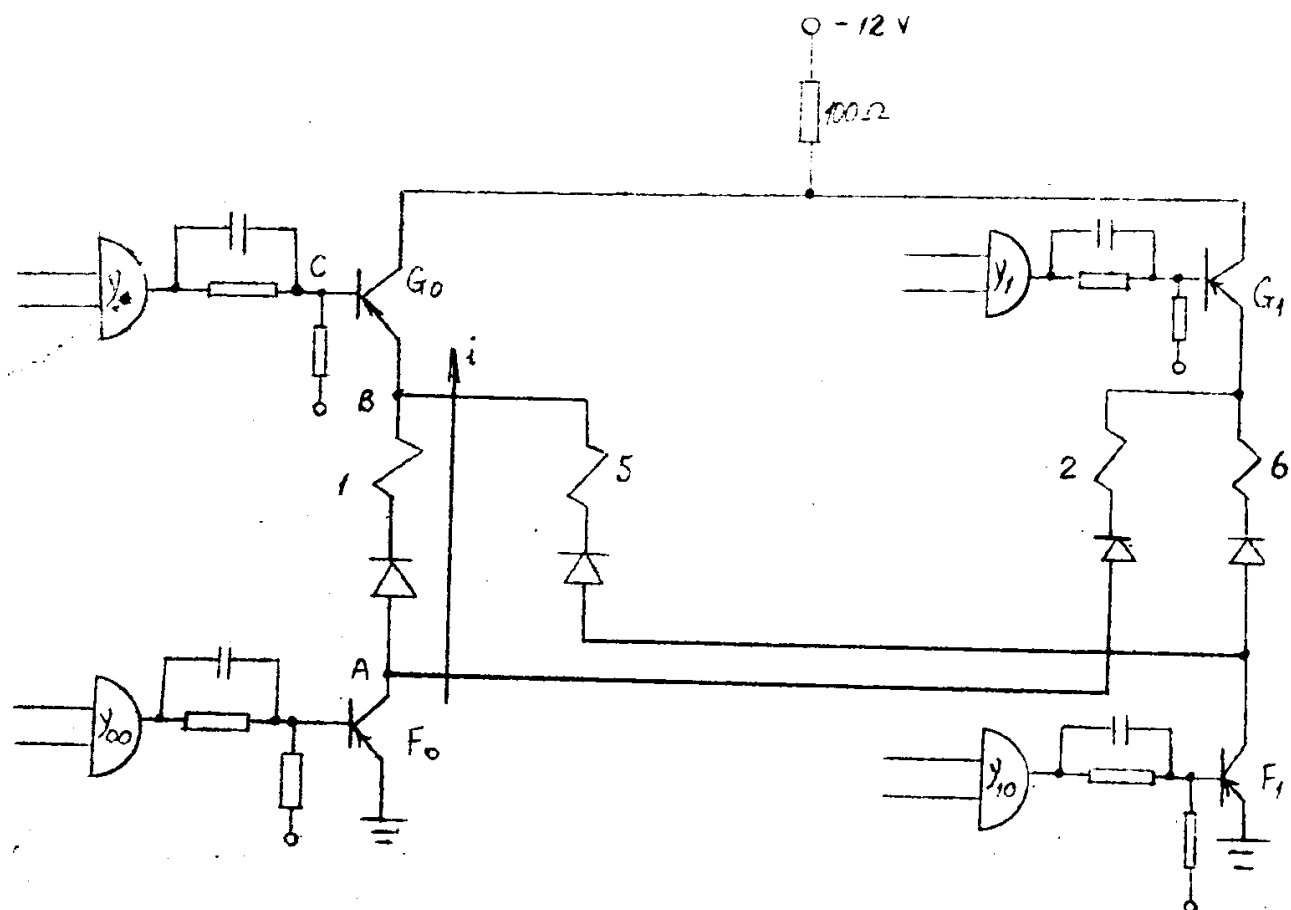
变窄，而周期不变，译码出来的采样时间即为 T_1 的输出脉冲宽度。如图二。



图二 改进部分逻辑波形图

§ 4 电流译码电路

上述逻辑图的电路实现见图三。



图三 电流译码电路原理图

在 Y_0 和 Y_{10} 有输出的情况下， G_0 和 F_0 就具备了导通条件。这种情况下， Y_1 和 Y_{11} 就不可能有输出， G_1 和 F_1 也就不具备导通条件。如果 F_0 的三极管导通的话A点电位就接近于0， G_0 是一个射极跟随器，B点电位就跟随C点电位而变化，即B点电位接近C点电位，此时C点电位为 $-10V$ ，则B点电位亦为 $-10V$ ，因而 $U_{AB} \approx 10V$ ， $10V$ 的电压加于继电器的线圈上，在线圈中产生足够大的电流，而使干簧1吸合，其它各路由于 F_i 和 G_i ($i=1, 2, 3-i \neq 0$) 总有一个不具备导通条件而不能吸合。

继电器线圈上串联的二极管是为了在任何时候只有一对干簧触点被接通而安置的。因为矩阵译码会产生这种情况，就是加在继电器线圈A B两端的电压极性相反，那末在继电器线圈中产生的电流亦相反，只要此电流足够大，同样也能使继电器触点吸合，这样就

不能保证每个触点在一个检测周期中只吸合一次，而是多次吸合。对于整个触点矩阵而言，同一个瞬间不是只有一对触点吸合，而是很多对触点同时吸合，这就破坏了各通道的独立性，因而无法进行正确的采样，二极管的串入彻底根除了上述的可能性。

对二极管除了要求有良好的开关特性（正向电阻 $\leq 400\Omega$ ，反向电阻 $\geq 1M\Omega$ ）外，还要求允许的整流电流大。（ $\geq 20ma$ ），这是因为流过线圈的工作电流大（工作电流为 $20ma$ ）的缘故。

§ 5 采样器的主要问题：

5 - 1 抗干扰：

因为输入被测信号是小信号，所以要有抗干扰措施。

线圈要进行静电屏蔽和磁屏蔽，防止干扰信号对被测信号的影响。

通大电流的线圈引线要与通小信号的干簧触点引线远离，以减少它们之间的相互影响。

干簧继电器前的输入被测信号应根据不同的现场情况进行滤波，减小噪音的影响。

5 - 2 绝 缘：

以免逻辑信号漏入被测输入信号而引起误差。

对干簧触点外的玻璃管要进行绝缘处理，以免通过玻璃管漏电。接线板也要进行绝缘处理。

5 - 3 浮 空：

为了消除共变干扰采样盒的外壳要浮空，不与机箱短路。

5 - 4 分布电容：

分布电容减小，可以减小共变干扰的影响。

导线的布线，长短，粗细，内壳和外壳的相对位置，以及连接对象对分布电容都有关系，在设计时应考虑到它的影响，力求达到减小分布电容的目的。

附 页
JAG-2 型干式舌簧继电器

使用条件：

环境温度：-10°~+55°C

相对湿度：达95%，温度为+20±5°C

工作位置：任意。

主要技术要求：

1. 接触电阻：不大于 0.07Ω。

2. 绝缘电阻：接触簧片间的开路绝缘电阻不小于10⁴MΩ。

3. 耐振动强度：振频40HZ，振幅0.25mm，振动1小时。

4. 耐冲击强度：冲频40~80次/分，加速度5g，冲击2000次。

5. 寿命：在触点开路电压为直流25V，通过触点的电流不大于20ma的纯电阻负荷时，工作寿命达10⁷次。

6. 外形尺寸：JAG-2-4H: Ø21×90

JAG-2-2H: 90×35×16

JAG-2-1H: Ø10×90

7. 重 量：JAG-2-4H: 50g

JAG-2-2H: 50g

JAG-2-1H: 15g

规格数据表：

规 格	最高 频率 HZ	绕组参数		电 流 参 数 ma			时 间 参 数 ms		
		电阻 Ω	匝数	额 定	吸合	释放	吸合	释放	抖动
AG-2-4H	200	255	4000	24	5~15	≥ 4	≤ 2	≤ 0.8	≤ 0.35
AG-2-2H	250	270	4000	20	4~12	≥ 3	≤ 1.6	≤ 0.6	≤ 0.3
AG-2-1H	300	320	4000	18	≤ 10	≥ 2.5	≤ 1	≤ 0.5	≤ 0.3

最 高 指 示

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，
赶上和超过世界先进水平。

* ~ * ~ * ~ * ~ * ~ * ~ * ~ * ~ * ~ * ~ * ~ * ~ *

第二部分 模拟 - 数字 转换器

§ 1 概 述：

模拟-数字转换器的主要功能是将模拟量转换为与其相对应的数字量。

模拟-数字转换器不但是数字电压表中主要部件，而且可供数据处理装置及工业控制计算机作为输入装置使用。在数字化仪表和工业数字自动化领域中模拟-数字转换器，已成为不可缺少的装置。

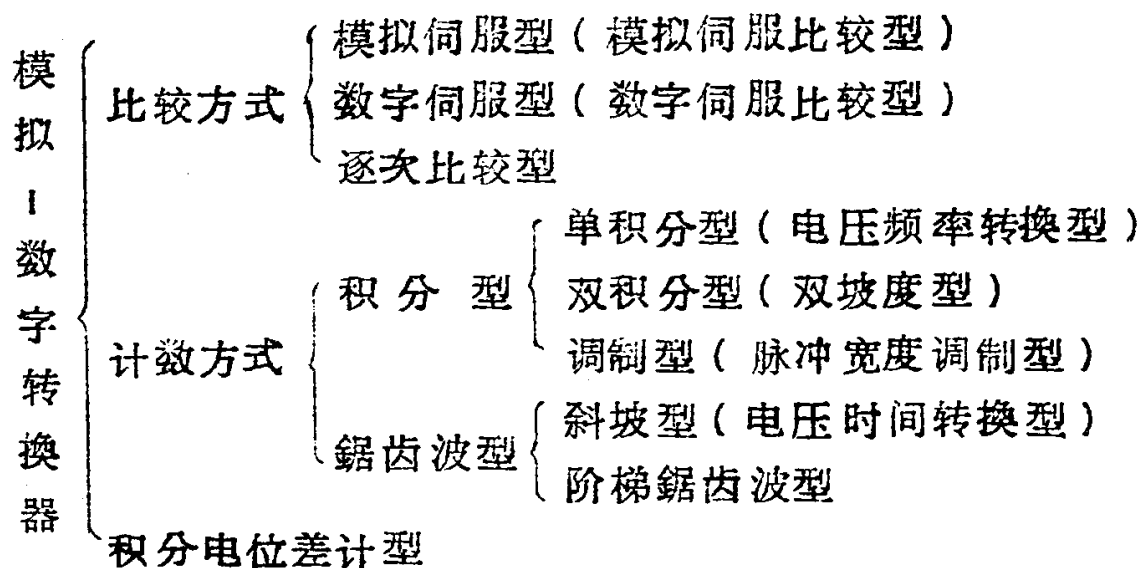
随着工业生产力和技术水平的提高，对自动化水平要求也就提高。现在数字化仪表装置已逐渐在工业自动检查，测量和工业自动化控制系统中获得广泛地使用。

模 拟 - 数 字 转 换 器 主 要 由 以 下 几 个 方 面 进 行 评 价；测量范围，输出信号的编码，输出信号的位数输入阻抗，灵敏度，零点漂移，精密度，正确度，转换时间等。

模拟-数字转换器的种类很多，这部分将对几种有代表性的模拟-数字转换器作原理和特点的一般介绍，以供读者参考，作方案上的比较。

§ 2 模拟-数字转换器的分类：

基于模拟-数字转换器的各种特征，从不同的角度去对仪表进行分类，便有很多不同的称呼。目前一般以其动作原理及性能进行分类，根据这个出发点，并在实际上已经实现了的模拟-数字转换器，大致有以下几类：

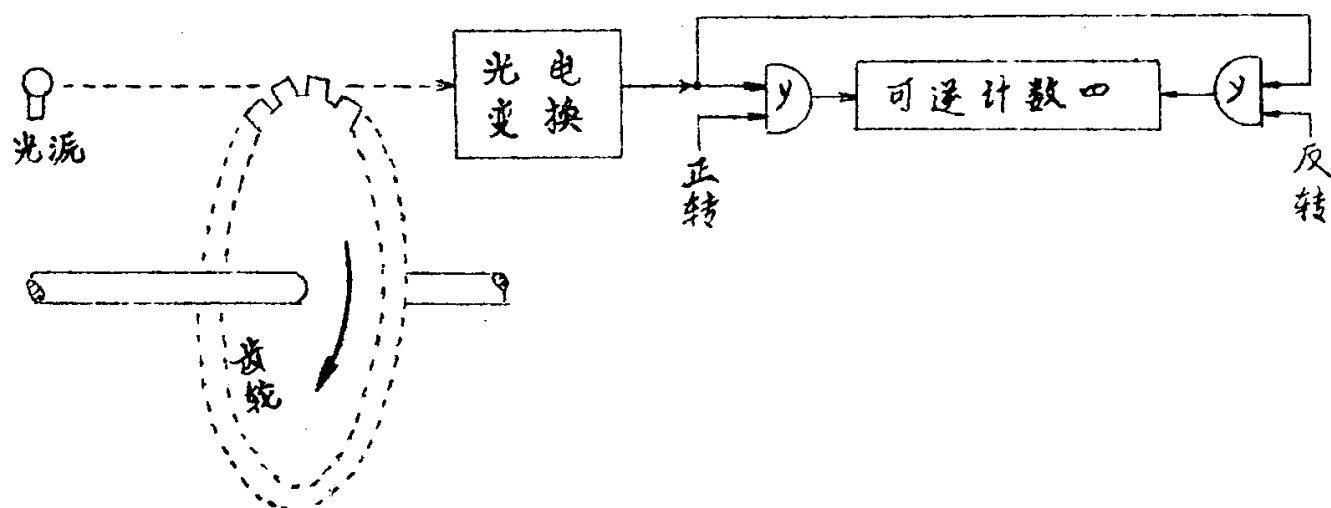


下面将对上述几类仪表作简要说明。

§ 3 模拟伺服型简介：

这种仪表数字码读数是直接追随输入模拟量的变化而变化的。不同的模拟量输入有不同的空间位置，相应于这个空间位置给出数字码，从而数字码便反映了模拟量的大小。而这种类型的仪表又有两种实现办法：一种是计数的办法，一种是数码板的办法。

3 - 1 计数的办法：



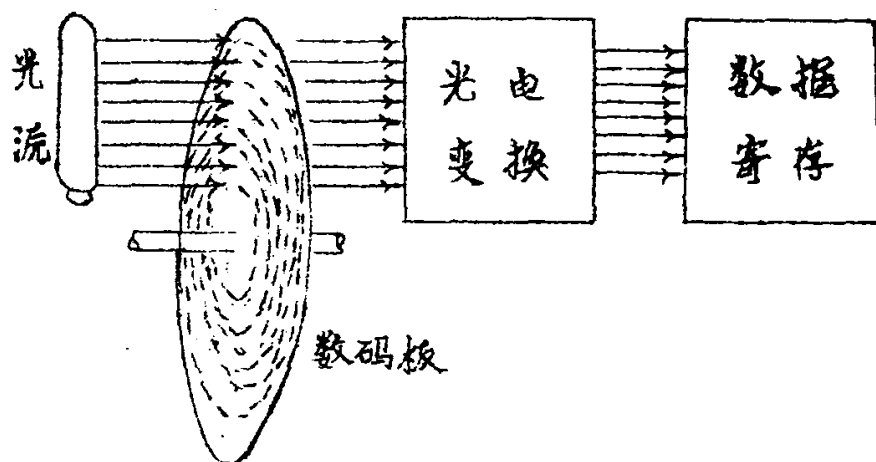
图一 计数法模拟伺服比较型原理示意图

当齿轮从某一个起始点开始转动时，光通周期地被齿所切断，

于是光电元件输出端产生脉冲，脉冲数等于扫过光通的齿数，脉冲数在可逆计数器中代数相加，计数器中的数码值相应于齿轮的转角，也就相应于输入模拟量的大小。

3-2 数码板的办法：

数码板上有许多同心的透明和不透明部分组成的码道。对应每一个码道有一个光电元件，光源发出的狭长光束按径向投射在码盘上。当光束通过数码板的透明部分，



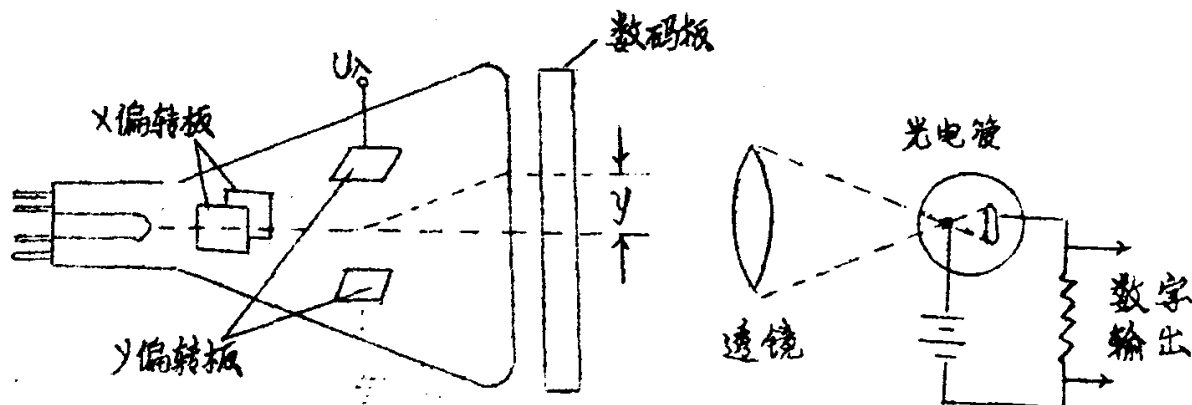
作用于光电元件时，就产生信号，同一个径向的所有码道组成了一定的数字量，某一径向的数字量对应于某一输入的模拟量。

除上述方案外，还有采用示波管的方案。

示波管的方案是根据阴极射线偏转距 y 和加在 y 偏转板上的电压 U_y 成正比的原理而得到的。即

$$y = KU_y$$

它的原理示意图如图三所示。



图三 阴极射线偏转数码板原理示意图

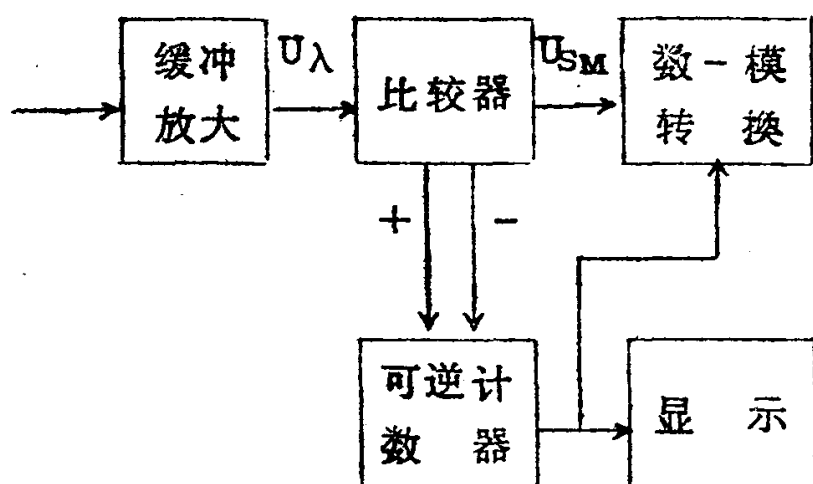
为了实现数码输出，X偏转板上加上锯齿波扫描电压，数码板（或荧光屏）上有由透明和不透明部分组成的码道，扫描电压的光束通过码道的透明部分而被荧光屏前的光电元件接受时，即产生脉冲讯号输出，而得到对应于输入被测电压的数码输出。

这种转换器是速度最快的一种转换器，转换速度主要取决于光电管及示波管荧光屏恢复时间。这种转换器每秒钟可以进行一仟次转换。它的精度主要取决于Y轴方向的偏转与输入电压之间的线性关系。

数码板法是按格兰码进行编码的。

§ 4 数字伺服型简介：

这是量子化的参考电压的改变是追随输入被测电压变化的方式，是一种连续比较的方式。这种方式实际上是数字伺服的平衡方式。量子化参考电压是以稳压电源、数据寄存器以及数-模转换器所构成。其工作原理见图四。



比较器是将输入被测电压与数-模转换器输出的参考电压进行比较，确定可逆计数器的计数方式并给出计数脉冲。

当 $U_{\lambda} > U_{SM}$ 时，比较器就发出“+”的信号，使可逆计数器作加法计数，从而可逆计数器所累积的数码便增加。

当 $U_{\lambda} < U_{SM}$ 时，比较器就发出“-”的信号，使可逆计数器作减法计数，从而可逆计数器所累积的数码便减少。

当 $U_{\lambda} = U_{SM}$ 时，比较器没有信号给出，可逆计数器中所累积的数码也就没有改变。

当 U_{λ} 发生变化时，即失去平衡，比较器给出信号，改变寄存器累积数码直到平衡为止，因此可逆计数器中所寄存的数码值是跟

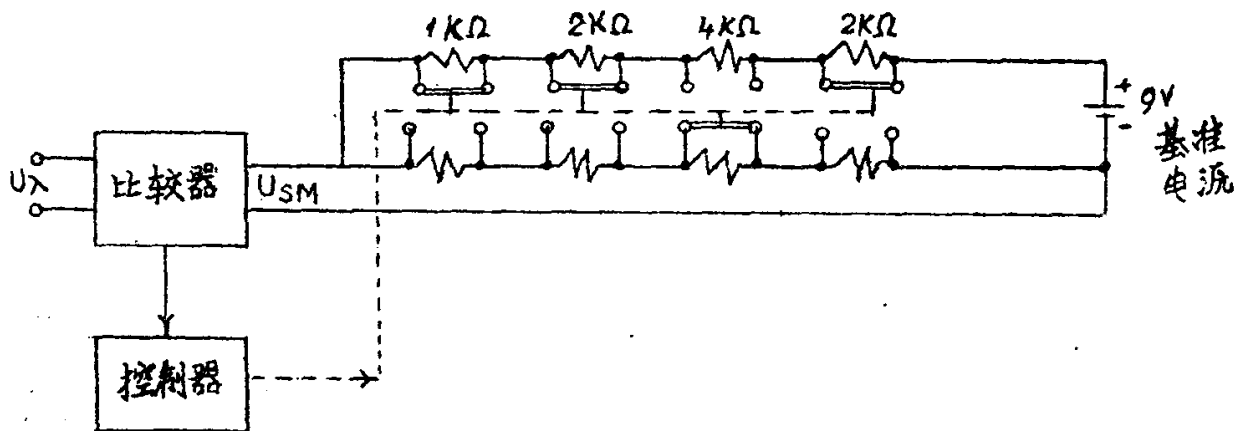
随输入被测电压而变化的。

输入被测电压不稳定或有噪音输入的情况，因不能平衡而不易测试。

§ 5 逐次比较型简介：

这种仪表的工作原理好似用天平称物体重量一样。

它的原理如图五所示。



图五 逐次比较型原理示意图

被测电压 U_{λ} 和量子化参考电压 U_{SM} 在电压比较器中进行比较，量子化参考电压 U_{SM} 是由高位首先进行比较的，这由控制器进行控制。

当 $U_{SM} > U_{\lambda}$ 时比较器发出脉冲，将此码子捨掉。

当 $U_{SM} \leq U_{\lambda}$ 时比较器没有脉冲输出，此码子保留。

直到量子化参考电压的总和与被测电压 U_{λ} 相等时（即量子化参考电压已比较到最小时）转换结束。

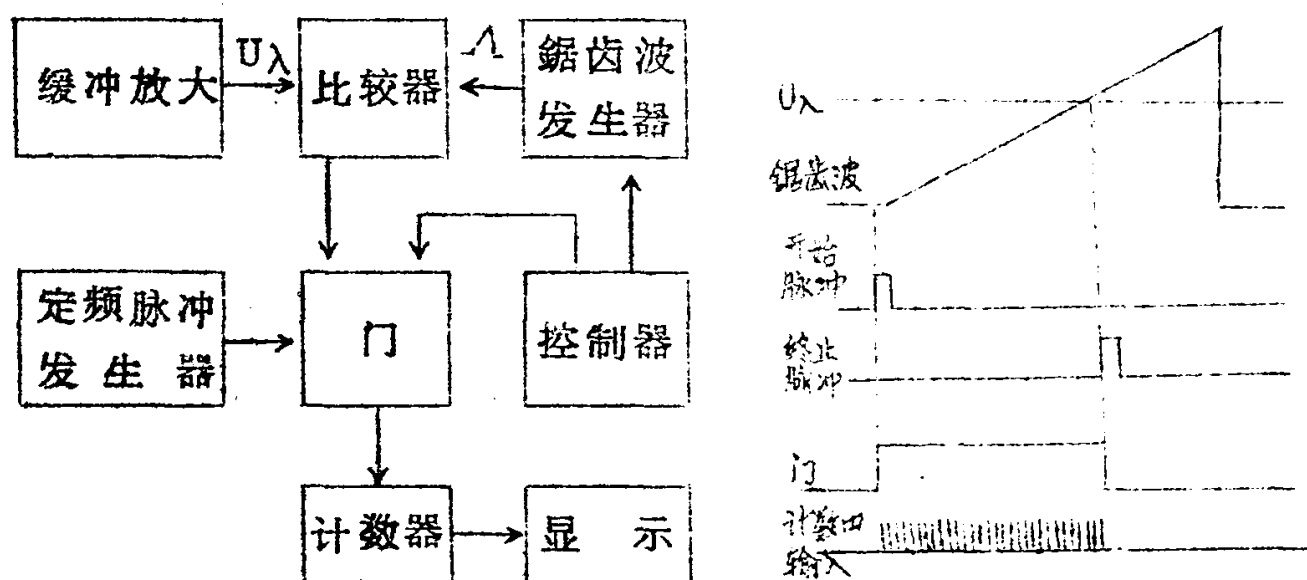
这里为了使基准电流不因负载变化而引起变化，采用了两组分压箱。

这种仪表测试速度快，精确度高，测试时间恒定。它的缺点是对噪音干扰抑制能力差。

第三部将深入研究这种型式的仪表，这里不再详叙。

§ 6 斜坡型简介：

这种型式的转换器是计数方式中历史较久的一种，转换速度是比较快，它是将稳定的输入被测电压与线性的锯齿电压相比较，锯齿波电压从零达到输入信号电平为止的时间间隔，用计数器所测量的时间间隔来反映输入被测量的大小。



图六 斜坡型原理框图及波形图

动作过程如下：开始脉冲使锯齿波产生，锯齿波电压与输入被测电压 U_x 相比较，这个比较是在比较器中进行的，当锯齿波电压和输入被测电压相等时，比较器发出终止脉冲。开始脉冲与终止脉冲的时间间隔 τ 与 U_x 成正比。在时间间隔 τ 的一段时间中门被打开，计数器接受定频脉冲发生器发出的脉冲而进行计数工作，从而得到与输入信号成正比的计数值。

这种仪表的测试速度不固定。输入需要接滤波器，以提高噪声抑制能力，其精度主要决定于锯齿波电压的线性，和稳定性。但结构简单、价格低廉是其优点。