

《现代化煤矿采煤与机械设备丛书》

现代化煤矿采煤

新工艺、新技术与新标准实用全书



现代化煤矿采煤新工艺、新技术 与新标准实用全书

于文景 李富群 主编

第四册

当代中国音像出版社

凡属原始模拟信号以及经过模拟调制(包括 AM、FM)的都称作模拟通信。现以脉频调制信号为例简述其数字显示原理。

图 11-5-32 为某矿井集中监测系统的部分框图。当输入信号为脉频调制[$\phi\text{PFM}(t)$],信号 $\phi\text{PFM}(t)$ 在单位时间内脉冲个数的多少,表示被测物理量的大小。该电路由门电路、计数器、打印寄存器、译码寄存器及译码显示器五部份组成。门电路受逻辑电路脉冲控制,定时开启、关闭,计数器对门电路开启瞬间进行计数,将结果储存到打印寄存器和译码寄存器,经译码驱动显示器显示。

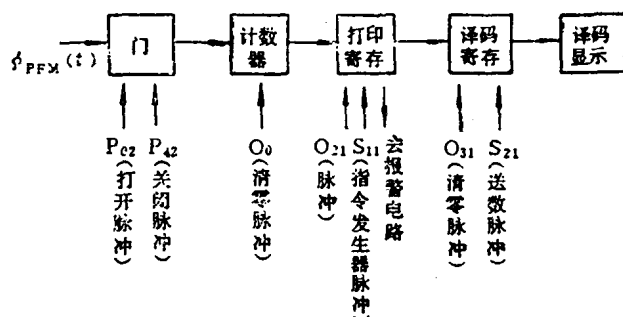


图 11-5-32 模拟信号数字显示举例

例如:井下瓦斯含量 1%,它所对应的脉频调制信号 $\phi\text{PFM}(t)$ 是每秒 125 个脉冲。门电路受打开脉冲 P_{c2} 及关闭脉冲 P_{c2} 的控制,两脉冲相隔 0.8s 交替发出,门电路每次开启时间即为 0.8s,其间通过计数器的脉冲是 $125 \times 0.8 = 100$ 个脉冲,打印寄存器同时记录下 100 个脉冲,译码器译码显示为 1%。

显然,瓦斯含量愈大,输入门电路的脉冲数目就愈多,译码显示数字也就愈大。

每显示一次,计数器均需清零一次再重新计数。所以,计数器由清零脉冲 D_0 控制。

打印寄存器分两路输出,一路送入报警电路,经判断如瓦斯超限,指令发生器发出脉冲 S_{11} 启动打印机,报警、打印后寄存器清零,由清零脉冲 O_{21} 控制;另一路送给译码寄存器,由此送译码显示器,显示各个地点瓦斯浓度值。

2. 数字信号的数字显示

图 11-5-33a 是数字信号开关量显示框图。由主机输入的数据信号根据选通信号选通某路锁存器。锁存器开通后将锁存数据送入驱动器(或显示器),驱动器可以是一组继电器,各继电器可控制设备开/停以及故障信号等。

图 11-5-33b 是数字信号模拟量显示框图。送入锁存器的有数据线信号 $g_{PCM}(t)$ 及地址线地址码。数据编码信号反映测点物理量的量值或状态,地址编码则表示测点位置。输入的数据按选通地址,由指定的锁存器输出数据,经电平转换进入显示单元。

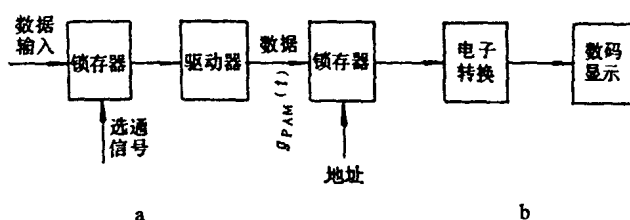


图 11-5-33 数字信号数字显示举例

a—开关量显示；b—模拟量显示

由于锁存器具有 TTL 电平或 coms 电平,而显示器则大多为 P_{MOS} 电平,二者电平不一,故需在两者间加一电平转换器。

数据显示准确度较高,无需在接收端进行调整。

三、声光显示

当被测物理量超过某一限值或低于某一阈值时,以及故障情况下,要求能发出声光报警信号。报警信号分为模拟信号报警,数字信号报警。

1. 模拟信号报警显示

报警电路将接收到的模拟信号与事先整定的继电器动作值进行比较,超过整定值,继电器动作,发出报警信号。

2. 数字信号报警

用数字电路完成此项功能。图 11-5-34 是某矿井环境监测系统的报警电路,它采用与非门,振荡器及触发器等电路组成。

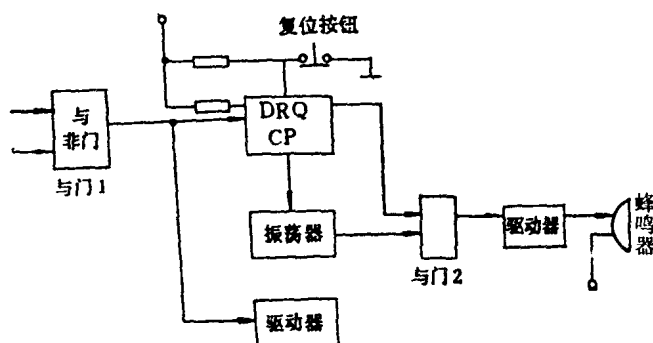


图 11-5-34 声光报警电路

与非门电路特点:与非门电路有两个特点,一是输入全为“1”态(高电平),输出为“0”(低电平),二是输入全为“0”或一脚为“0”另一脚为“1”时,输出为“1”态。因此,在无故障

状态时,与非门输入全都为“1”,输出为“0”,触发器输出为“0”蜂鸣器不响,无报警输出。在故障态时,与非门电路只要有一个输入是“0”(故障),则与非门的输出为“1”(高电平),触发器相应输出一高电平(“1”),振荡电路在高电平下开始产生“0”,“1”交互振荡,输出“0”、“1”振荡脉冲,与门2同时输出“0”、“1”交替的脉冲信号,用以触发驱动器,蜂鸣器发出断续音响。

与非门电路另一路输出是驱动灯光显示。

复位按钮是人工停止音响的按钮。

四、屏幕显示

屏幕显示有两种方式:一是通过甚高频(VHF)或特高频(VHF)天线接头与电视机相连接,二是直接向电视机的视频放大电路中输入数字化数据。但两种方式都需要一个电子控制电路产生数字信号来控制电视接收机或监视器,同时将检测信号转换为视频信号,将两种信号调制在一个载波信号上成为复合视频信号输出给监视器。如果要将复合视频信号输入到电视接收机的天线端子去,则必须让复合信号通过射频调制器产生一个能让电视机当作一个频道来接收的载波频率。如果采用视频监视器,复合视频信号可直接输入到电视接收机的视频放大器上。

屏幕显示在监测系统中是人-机对话主要窗口。

第五节 特殊信号采集技术

一、数据采样与保持

矿井监控系统首先由检测传感器对环境及工况参数进行检测,然后经检测主机或分站变换成计算机所要求的电流或电压等标准模拟信号。这些模拟信号由采样-保持器按一定周期,依一定次序逐个采入,并经放大器模/数转换器变换成相应数字量信号送入计算机,然后计算机按事先已经编好的程序进行计算或处理。

数据采样与保持是计算机从生产过程获取原始数据的关键步骤。数据的采样与保持是由采样-保持器完成的,通过采样-保持器,计算机以采样方式周期性地从生产过程获取原始信息,采样保持器使模数转换器的变换精度得到了充分发挥。

(一)采样过程与采样定理

1. 采样过程

采样就是对连续变化信号的瞬时值进行抽取的过程。采样过程可以按固定的频率进行,也可以按变化的频率或随机进行。如图 11-5-35 所示,以周期为 T 的固定频率,连续地进行采样。采样开关允许输入信号仅仅在采样周期很短的时间间隔 δ_T 内通过, δ_T 与 T 相比是很短的,因此,采样开关输出的函数 $y(t)$ 是一系列非常窄的脉冲系列,该脉冲系列的包络线与输入信号 $x(t)$ 相吻合。

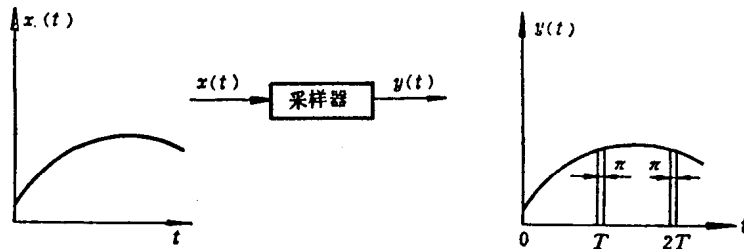


图 11-5-35 采样过程

采样过程可以被看作是脉冲调制过程,该过程是将一个连续信号波形转换成宽度非常窄而幅度由输入信号确定的脉冲序列,采样开关可以看成是一个调制器。

如图 11-5-36 所示,设采样开关输入信号是时间的连续函数 $x(t)$; $\delta(t)$ 是周期为 T 和采样时间为 δ_T 的采样函数,则采样开关输出函数 $y(t)$ 可表示为:

$$y(t) = \sum_{n=0}^{\infty} x(nt) \cdot \delta(t - nt) \quad (5-7)$$

上式表明采样函数 $y(t)$ 是由一系列脉冲组成,其数学表达式为两个函数乘积的和式。

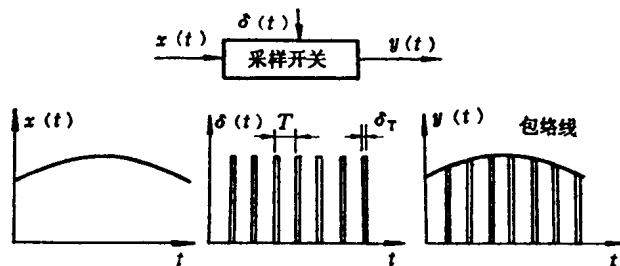


图 11-5-36 采样开关作用原理

2. 采样定理

对一个具有有限频谱($0 \sim f_c$)的连续信号进行采样,当采样频率 $f_s \geq 2f_c$ 时,由采样后得到的输出函数能无失真地恢复到原来的信号。

(二) 采样-保持器的工作过程分析

在实际应用中转换器对模拟量进行量化的过程中需要一定的时间 t ,也就是在转换

时间 t 内应保持采样点的函数值不变,才可能保证转换精度。这就是为什么采样后还要保持。简单的采样保持电路可由一只开关及一只电容器组成,如图 11-5-37 所示的电路,开关 K 闭合时,输出电压 U_{sc} 随着输入电压 U_{sr} 变化,二者相等。起动转换电路的时刻 (nT) 应把开关 K 打开,并利用电容保持电荷这一特性将 $U_{sr}(nT)$ 的电压值记忆在电容器 C 上,直到(经过时间 t)转换结束,开关又重新闭合。开关按上述规律控制的原因是因为转换过程需要转换时间。

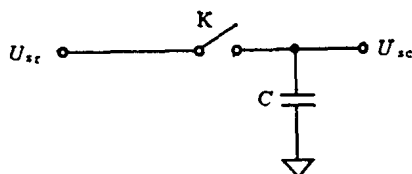


图 11-5-37 简单采样保持电路

采样-保持器工作过程可分四步:

(1) 采样

在采样期内起单位增益电压跟随器的作用;

(2) 采样到保持的过渡

在实际的采样-保持器中,从接受“保持”指令到实际打开保持开关,中间有一段延迟,因而产生一定的误差,同时开关的瞬态响应也会造成一定的误差。

(3) 保持期间

在保持期间内,其输出电压常常以近似恒定的速率随时间漂移;

(4) 保持到采样的过渡

在此期间有保持到采样之间瞬态响应及探测时间 Δt_g 的时间间隔。

采样-保持器有模拟式和数字式两种,其中数字式较精确。也有模拟及数字兼备式,但电路较复杂。

二、微弱信号的检测

微弱信号是指深埋在背景噪声中的极其微弱但有用的信号,检测这类信号需采取一定的措施,一般要通过恢复和增强信号功率、改善信噪比等方法,改善信噪比以降低信号的伴随噪声。目前研制的微弱信号放大器已可对微伏级信号进行检测。

对于存在噪声的非周期信号,通常是用滤波器来减小系统的噪声带宽,这可使有用信号顺利通过,而噪声则受到抑制,从而使信噪比得到改善。这种方法又称带宽压缩法。对于深埋在噪声中的周期重复信号,通常采用锁定放大法和取样积分法来改善信噪比。

锁定放大法是采用相敏检波及低通滤波来压缩等效噪声带宽,以抑制噪声,从而检测出深埋在噪声中的周期重复信号的幅值和相位。

取样积分法是用取样门及积分器对信号进行逐次取样并进行同步积累,以筛除噪声,从而恢复被噪声淹没的周期性重复信号的波形。

(一) 锁定放大器

锁定放大器的构成原理可用图 11-5-38 所示的简化框图表示。原则上,锁定放大器可分为三个主要部分,即信号通道、参考通道、相敏检波(PSD)及低通滤波器。

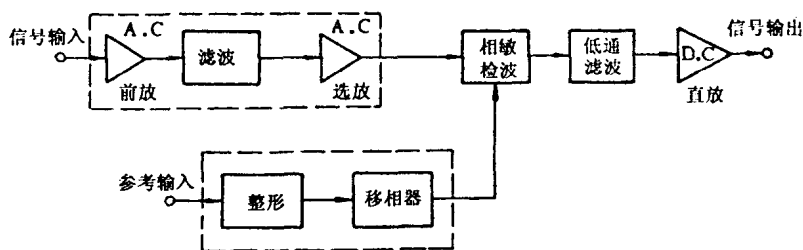


图 11-5-38 基本锁定放大器简化图

信号通道的作用是将伴有噪声的输入信号放大,并经选频放大对噪声作初步处理。参考通道的作用是提供一个与输入信号相同的方波或正弦波。相敏检波的作用是对输入信号和参考信号完成乘法运算,从而得到输入信号与参考信号的和频与差频信号。低通滤波的作用是滤除和频信号成份,这时的等效噪声带宽很窄。从而可以提取深埋在噪声中的微弱信号。

由于该放大器将被测信号和参考信号的相位锁定,故称之为锁定放大器。锁定放大器实质上是一个采用相敏检波器的交流电压表。普通交流电压表是将信号和噪声一同检出,而锁定放大器只检出输入信号及与输入信号同频且同相的噪声,结果便是噪声成分大幅度降低。

相敏检波器就电路形式而言可分为开关型、电流控制型,双平衡解调型和数字型四类。目前使用较多的有采用方波作为相敏检波器的参考输入的开关型相敏检波器,其它类型相敏检波器的发展也很快。下面介绍几种常用的相敏检波器电路。

(1) 四开关相敏检波电路

四开关相敏检波电路的基本结构如图 11-5-39 所示。 Q_1 、 Q_2 组成差分放大。 Q_3 、 Q_4 、 Q_5 、 Q_6 为开关。开关由参考信号 U_R 与 $-U_R$ 控制,并完成全波相敏检波。与 U_i 和 U_R 的相位差 φ 的余弦成比例的电流流过负载电阻 R_1 和 R_2 。所得到的相敏检波电压为:

$$U_0 \approx \frac{g_m R_L U_i}{\pi} \cos \varphi \quad (5-8)$$

式中 g_m ——晶体管 Q_1 、 Q_2 的电导；

R_L 、 R_1 、 R_2 ——集电极负载电阻， $R_L = R_1 = R_2$ 。

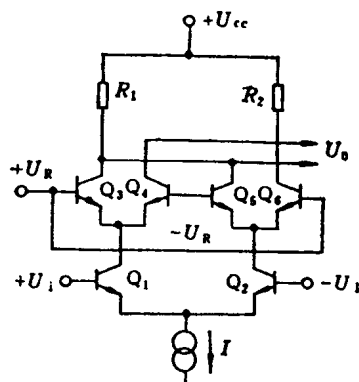


图 11-5-39 四开关相敏检波电路

四开关型相敏检波电路虽然简单，性能亦较理想，但该电路有一个很大的缺点，即输入信号为零时，输出 U_o 有较高的直流电平，因此需要将直流电平调整到零。而调整直流电平的电平变换电路会使低通滤波输出零点稳定性变差，斩波型相敏检波电路消除了这种缺点。

(2) 斩波型相敏检波电路

斩波型相敏检波电路有场效应管电流斩波型及场效应管电压斩波型等型式。

图 11-5-40 是场效应管电流斩波型相敏检波电路。被测试信号 U_i 经电压-电流变换电路(VIC)变换成电流信号，使场效应管能作为电流开关方式工作，这种电流开关方式工作主要是为了消除残余电压的影响。

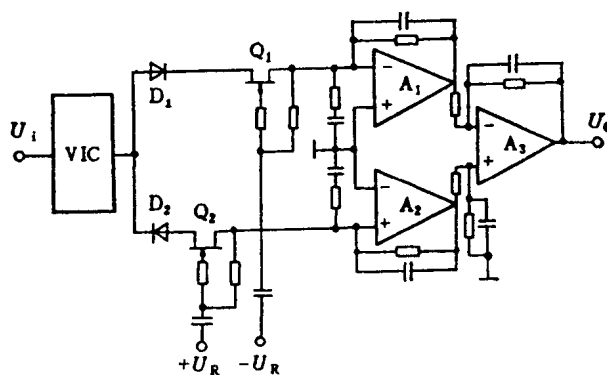


图 11-5-40 场效应管电流斩波型相敏检波电路

U_i 变换成相应的电流以后，通过场效应管完成相敏检波。场效应管的开关状态由

参考方波 $+U_R$ 、 $-U_R$ 控制,参考方波使场效应管交替开关达到相敏斩波的目的。场效应管作为电流开关选择的是 I_{DSS} 大而 U_P 小的器件。 A_1 、 A_2 选择失调电流尽可能小的集成运算放大器作为微电流放大器。 A_1 、 A_2 的反馈电阻($4.99k\Omega$)上并联 $0.01\mu F$ 的电容,以滤除高频成分。 R 、 C 值的大小可根据使用的频率范围加以选择。 A_3 的作用是将两个极性相反的半波相敏检波合成为全波相敏检波。

此电路由于相敏斩波及 $A_1 \sim A_3$ 的输入电平不需转换,且为单端全波相敏检波输出,因此给后续低通滤波带来方便并降低了零点漂移,使测量更加准确。

图 11-5-41 是场效应管电压斩波型相敏检波电路原理图。参考信号经两级差分放大后驱动一个双稳态触发器,以提供比较满意的方波。斩波器对输入电压进行相敏检波,然后再进行放大和低通滤波。

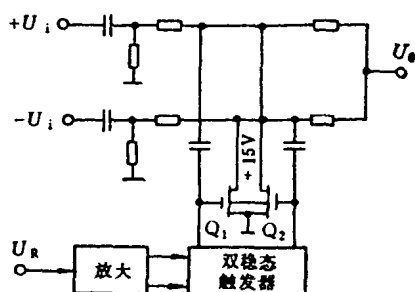


图 11-5-41 场效应管电压斩波型相敏检波电路

(二) 取样积分器

取样积分器有两种工作方式:定点式和扫描式。定点式用于测量脉冲信号的幅值,扫描式用于恢复和记录被测信号的波形。

1. 定点式取样积分器结构原理

定点式取样积分器有两种结构形式:门控低通滤波器式和门控积分器式。门控低通滤波器式取样积分器采取的工作模式是指数平均式,其结构原理如图 11-5-42 示。而门控积分器式取样积分器采取的工作模式是线性积累式,其结构原理如图 11-5-43 示。其工作原理是:被测信号 U_i 经缓冲放大器送到取样门 K 。当有取样脉冲(也称门脉冲)到来时,取样门 K 开通,对输入信号 U_i 的瞬时值进行取样,并通过 RC 低通滤波器(或 RC 积分器)进行指数平均(或线性积累);当门脉冲过后,取样门关闭,由于输出缓冲放大器具有极高的输入阻抗,使电容 C 上的电压得以保持,一直到下一个门脉冲到来为止。通常选择积分时间常数 $T_c = RC$ 比门脉冲宽度 T_g 大得多。

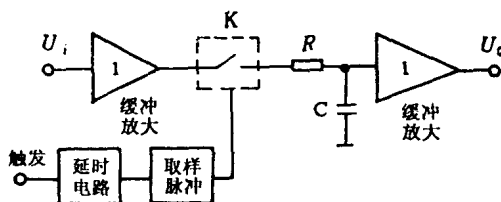


图 11-5-42 门控低通滤波器式取样积分器

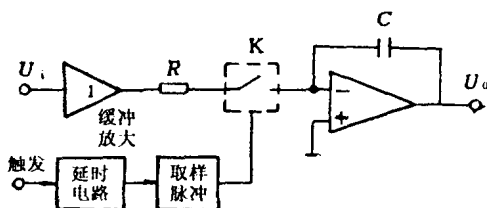


图 11-5-43 门控积分式取样积分器

如果在一次测量中取样次数为 n ，一次取样的时间为 T_s ，则经过 n 次取样后，对于门控低通滤波式，其电容 C 上的电压 U_c 以指数平均模式接近与门脉冲对应处的输入信号平均值，对于门控积分式，其电容 C 上的电压按线性积累模式增长，结果使信噪比得到改善。定点式取样积分器的工作模式如图 11-5-44 所示。

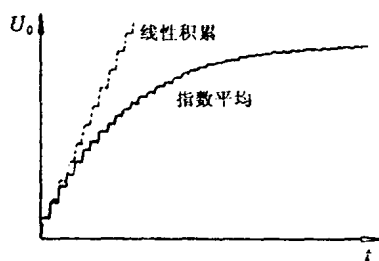


图 11-5-44 定点式取样积分器的工作模式

定点式取样积分器的工作波形如图 11-5-45 所示。由波形图可以看出，与被测信号同步的触发脉冲经延时电路延时后去触发取样脉冲电路，使其产生一定宽度的取样脉冲，并以此脉冲控制取样门，对输入信号的瞬时值取样，然后在积分电容上进行积累和平均。输出信号幅度随取样次数增加而增加。根据不同被测信号的要求，延时 τ 和门脉冲宽度 T_s 都是可调的。

定点式取样积分器信噪比的改善是以增加测量时间为代价的，随着取样次数的增加而增加。门控积分器式电路的等效带宽不为常数，而是随着取样次数的增加而变小。

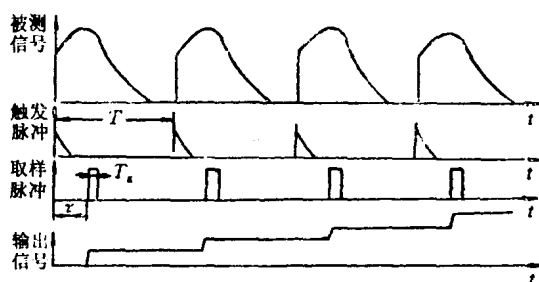


图 11-5-45 定点式取样积分器的波形图

2. 扫描式取样积分器

扫描式取样积分器的框图如图 11-5-46 所示,其信号处理过程的波形如图 11-5-47 所示。

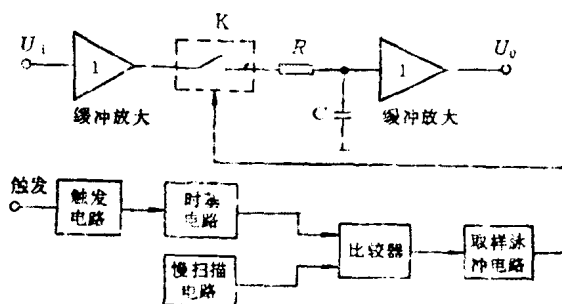


图 11-5-46 扫描式取样积分器框图

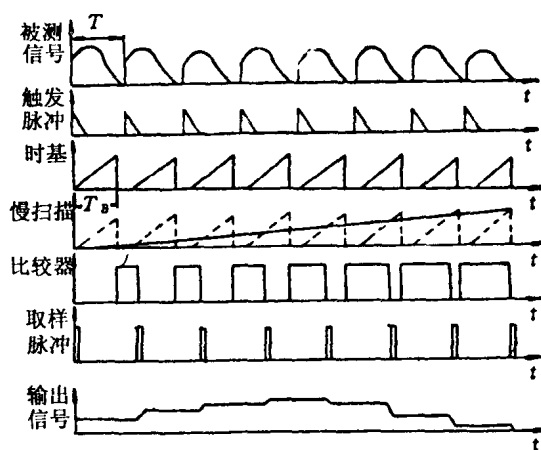


图 11-5-47 扫描式取样积分器信号处理波形图

与定点式比较,扫描式取样积分器的特点是,取样脉冲相对触发脉冲的延时是逐渐增加的,因而它能够恢复被检信号的波形。

扫描式取样积分器的工作原理是:触发输入信号经触发电路转换成触发脉冲信号,然后用此触发脉冲去触发时基电路。时基电路产生随时间线性增长的宽度 T_B 小于或等于信号周期 T 的时基电压。时基电压与慢扫描电压经电压比较器进行比较,产生矩形脉冲。由图 11-5-47 可见,随着慢扫描电压逐渐增加,该矩形脉冲的宽度逐渐增加。用此矩形脉冲的后沿去触发单稳电路,形成宽度恒定的取样脉冲。这样形成的取样脉冲相对触发脉冲的时延是逐渐增加的。从而在输入信号波形上的取样位置是从前向后逐渐移动的,经过足够长的时间就得到了形状与输入信号相同,而在时间上大大放慢了的输出信号。

由于取样积分器一般用于检测毫微秒的窄脉冲信号,要保证输入脉冲不失真地送到取样门,其脉冲的前后沿不容加宽,为此,输入放大器应采用宽带式放大。通常取增益为 1,频带宽度为 0~30MHz 以上,这就是说,取样积分器对其输入缓冲放大器的要求是较高的。

取样积分电路实质上是采样-保持电路,因为采样-保持电路存在探测时间和孔径时间,所以,对于取样门的要求是,使取样脉冲宽度 T_g 稍小于取样门的开通时间。

取样脉冲宽度决定输入信号波形的频率分量,所以,最窄取样脉冲宽度就决定了重现输入信号波形的最高频率分量。为了检测极短脉冲信号,要求取样脉冲宽度尽量窄些,目前国际水平是 10ns。但另一方面,增大取样脉冲宽度可以改善信噪比,所以,对于前后沿不是十分窄而信噪比很差的脉冲信号,可以适当增大脉冲宽度,但应保持一定的时间分辨率。由上述分析可见,一台设计优良的取样积分器,应使取样脉冲可调,从而获取最佳设定数据。

三、反馈测量技术

反馈是指电子线路中,把输出端信号能量的一部份输送给同一电路输入端的过程。

反馈已在放大器和控制系统中获得了广泛的应用。将反馈技术引入到检测技术中去,不仅可以提高测量精度、改善测量系统性能,而且能解决某些用传统测量系统无法解决的问题。

典型的反馈测量系统原理框图如图 11-5-48 所示。由图可知,它与一般测量系统的区别在于,有一个由逆传感器构成的反馈电路。它将系统输出的电量信号变成非电量,然后与非电被测物理量进行比较,比较结果产生一个偏差信号,再把这一偏差信号通过正向通路中的传感器变成电量,经过测量放大电路,最后输出给指示或记录单元。

反馈测量系统的特性基本上是由逆传感器的特性所决定的。反馈测量系统所采用的多为比较和平衡方式,如力和力矩平衡、电流平衡、电压平衡、热流平衡、温度平衡等等。

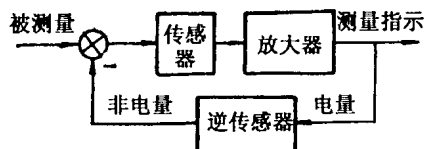


图 11-5-48 反馈测量系统原理方框图

四、非线性特性线性化

在设计测量仪表时,希望仪表的输出与输入之间呈线性关系,但在实践中,大多数传感器的特性曲线总是存在一定的线性度误差,使输出电量与被测参数之间呈非线性关系。其原因有二:其一是传感器本身的非线性,如转换原理的非线性,象电涡流传感器的线圈阻抗与距离的关系;热电偶传感器的输出热电势与被测温度之间的关系,均属非线性。其二,非电量转换电路也会产生非线性因素,如在 CH_4 的检测中,检测电桥的输出电压与 CH_4 浓度之间也呈非线性关系。

为了提高系统的控制精度,保证系统输出线性化,必须对传感器及其电路进行线性化处理。非线性特性的线性化处理方法分为硬件和软件两种。采用软件的方法处理,一般用计算法、查表法和插值法等补偿方法,采用硬件处理时,则是对敏感元件或转换电路进行线性化处理,目前采用线性集成电路为线性化处理元件,既简单又可靠。下面介绍一下非线性特性硬件处理的基本方法。

(一)非线性特性的补偿方法

测量仪表静特性的非线性补偿方法有三,它们是:开环式非线性特性补偿法、非线性反馈补偿法及增益控制式非线性特性补偿法。

1. 开环式非线性特性补偿法

采用开环式补偿法的测量仪表,其结构原理可用图 11-5-49 所示框图表示。传感器将被测物理量 x 变换成电量 U_1 ,这一变换属非线性变换,但由于电量 U_1 的电平较低,故, U_1 尚需经放大器放大成电平较高的 U_2 (放大器一般具有线性特性)。传感器存在的非线性作用,通过线性化补偿,从而使整台仪表的输入-输出 (U_0 与 x) 之间存在线性关系。

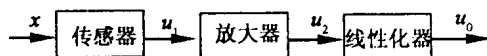


图 11-5-49 开环式非线性特性补偿法

2. 非线性反馈补偿

反馈补偿法测量仪表的结构原理如图 11-5-50 所示。在被测物理量 x 经传感器进行非线性变换为 u_1 的过程中,引入一个非线性反馈环节,利用反馈环节本身的非线性静特性去补偿传感器的非线性,从而使整台仪表的输入-输出特性(即刻度特性) $x-u_0$ 具有线性的特性。

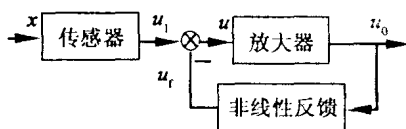


图 11-5-50 非线性反馈补偿仪表框图

在 $x-u_1$ 变换过程中的非线性规律,是由传感器工作时所依据的物理定律决定的。另外,为保持在正常工作时,放大器的输入信号 Δu 尽量小,主线放大器应具有足够大的倍数,并满足 Δu 远远小于 u_1 。

3. 增益控制式非线性特性补偿法

增益控制式补偿法的测量仪表结构原理一般可用图 11-5-51 框图表示。

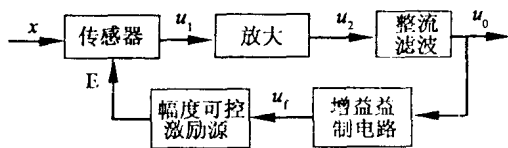


图 11-5-51 增益控制式非线性补偿仪表框图

被动式传感器在激励源的激励下,将被测物理量 x 非线性变换为 U_1 ,其非线性规律同样服从传感器工作时所依据的物理定律。将增益控制电路置放在反馈线上,以实现激励源输出幅值 E 的控制,从而完成特性的线性化处理。

电路中的放大、整流、滤波环节均为线性环节。

(二)实际非线性特性线性化电路

非线性函数关系可用折线近似逼近方法实现线性化,图 11-5-52 表示近似逼近原理。近似逼近的精确度由所取折线段数决定,折线段数越多,逼近的精确度越高。折线上的每个小线段表示一个线性元件,如将线段转折点的电压和斜率各不相同的小线段特性相加,便可以实现对所需函数特性的逼近。

将非线性元件与运算放大器进行适当的组合,即可实现非线性函数的关系变换。非线性元件与运算放大器的组合方式有三种:

(1)将非线性元件接在运算放大器的反相输入端。如图 11-5-53 所示。

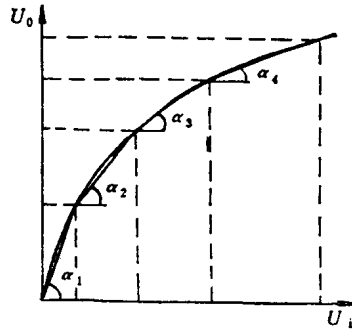


图 11-5-52 非线性函数的折线近似逼近

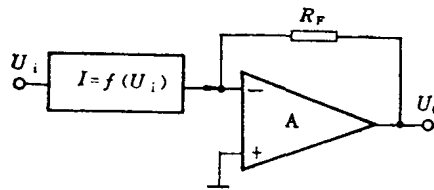


图 11-5-53 非线性元件接在“运放”反相输入端

$$U_o = -R_F \cdot f(U_i)$$

式中, $f(U_i)$ 表示非线性元件的输入 - 输出关系, 其非线性规律与非线性元件的非线性规律相同。

(2) 将非线性元件接在单端反相输入运算放大器的反馈回路, 如图 11-5-54 所示。

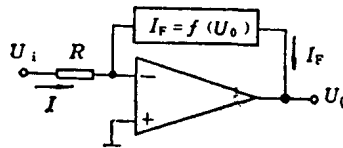


图 11-5-54 非线性元件接在反相放大反馈回路

并存在下列关系:

$$U_o = -f^{-1}\left(\frac{U_o}{R}\right) \quad (5-9)$$

图中, $I_F = f(U_o)$ 为非线性元件的输入 - 输出关系

由式 5-9 可见, 这种结构方案电路所实现的非线性变换关系是非线性元件本身的非线性函数关系的反函数。

(3) 将非线性元件接在同相单端运算放大器的反馈回路。如图 11-5-55 所示, 并存在下列关系式: