

用准确检测超声波传播时间的方法 提高超声测量仪表的精度

利用超声波的测量仪表多数是根据超声波信号在被测介质中传播时间的变化来测量其物理量。因此，超声波仪表的精度和所检测到的传播时间的准确度密切相关。

本文所介绍的超声波传播时间的检测方法能够和超声波的衰减无关，准确地检测出超声波在介质中的传播时间，因此能广泛地应用于超声波流量计、超声波测厚计和超声波料位计。下面以这种方法已实用于超声波流量计为实例来阐述本方法的独特性能。

图1所示是传播时差法(TLL法)超声波流量计的结构图，其简单工作原理如下：

在时钟脉冲控制下，压控振荡器VCO₁(VCO₂)输出的频率f₁(f₂)由N计数器计数，每计到设定数N就输出一个脉冲，其输出由双脉冲形成电路形成其时间间隔为N/f₁(N/f₂)的二个脉冲，第一脉冲驱动发射电路使超声波换能器1(2)顺流体方向(逆流体方向)发射超声波。经过时间t₁(t₂)后到达换能器2

(1)而使之产生输出信号P，经放大后加到时间检测电路。该电路在误触发检测电路输出的H、L信号控制下，输出时间信号Z至时间差检测电路。另一方面，第二脉冲经延迟电路延迟τ_d后也被送到时间差检测电路，该电路根据两者的时间差产生信号S送到控制器1(2)，后者控制压控振荡器VCO₁(VCO₂)使其频率f₁(f₂)发生变化，最后使测量系统处于稳定状态。系统稳定时，下述诸式成立：

$$\frac{N}{f_1} = t_1 = \frac{D}{(C - V \sin \theta) \cos \theta} \quad (1)$$

$$\frac{N}{f_2} = t_2 = \frac{D}{(C + V \sin \theta) \cos \theta} \quad (2)$$

式中，D为管道直径；

θ为管轴的垂直面和声波方向所成的角；

C为水中声速。

由(1)、(2)两式可求得流量Q：

$$\begin{aligned} Q &= \frac{\pi D^2}{4} V = \frac{\pi D^3}{4} \cdot \frac{f_1 - f_2}{N \sin 2\theta} \\ &= \frac{\pi D^3}{4N \sin 2\theta} \cdot \Delta f \end{aligned} \quad (3)$$

上式表明，流量Q与频差Δf成比例，而与声速C无关，这正是传播时间差法流量计之优点。可是，当超声波由于被测介质中含有较多杂质和气泡或由于多次反射而受到衰减时，则到达换能器2(1)的超声波信号的幅度要减小，而且这种幅度衰减率在波形起始点变化较大。如图2(C)所示，即使输出信号P被放大到其最大峰值等于设定的第二基准电压E₂，其第一个波也不可能达到设定的第

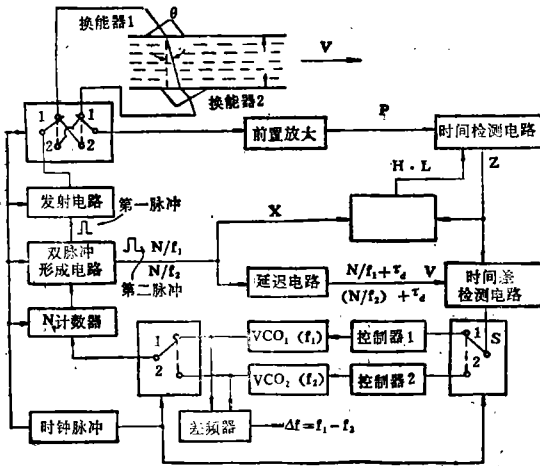


图1

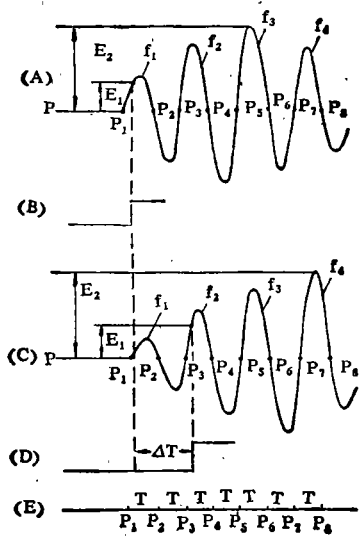


图 2

一基准电压 E_1 。这种情况如图2(D)所示,例如在第二个波 f_2 超过第一基准电压 E_1 的时刻产生接收信号。这样,在超声波没有受到衰减(图2(A))和受到衰减[图2(C)]的二种情况下,在产生接收信号的時刻上将存在 ΔT 时间的误差。从而造成测量误差。

为了消除这种误差,采用图3、图4所示的电路分别作为图1中的时间检测电路和误触发检测电路可达此目的。因为由图2可见,超声波受衰减其幅度减小,但各波 f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 ……之间的时间宽度(半周期)是与衰减无关的常数 T [见图2(E)]。换言之,无论是图2(A)还是图2(C),例如第三个波 f_3 朝正方向通过 OV 的 P_5 时刻点是相同的。因此,如果检测出信号 P 过 OV 的某时刻点(例如 P_5 时刻点),以该时刻点作为超声波到达换能器的时刻,则能够与超声波的衰减无关,准确地检测出超声波的传播时间,从而保证测量的精确性。图3、图4所示电路正是基于这一考虑而具有独特性能的电路。

图3所示为时间检测电路的结构图,主要由比较器10、20和计数器及控制电路构成。计数器由J、K触发器30、40组成,它对比较器20输出的信号计数。控制电路由三个与非

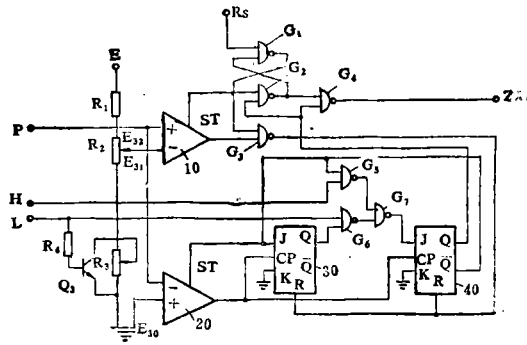


图 3

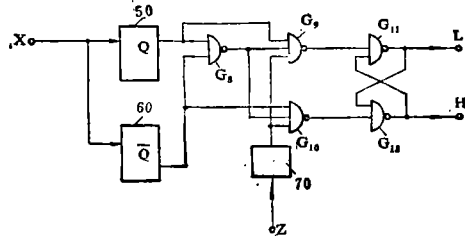


图 4

门 G_5 、 G_6 和 G_7 组成,它根据图4所示的误触发检测电路的输出信号 H 、 L 控制计数器,使其计数到所定数时产生输出信号。当 L 为1信号时,晶体管 Q_3 导通,比较器10被设定在基准电压 E_{31} 。相反,当 L 为0信号时, Q_3 截止,比较器10被设定在基准电压 E_{32} 。从基准电压 E_{31} 、 E_{32} 中选择哪一个值将如后述那样,视超声波的衰减率而定。时间检测电路中还设计了由 $G_1 \sim G_4$ 构成的逻辑电路,其中 G_1 、 G_2 构成 $R-S$ 触发器, R_S 是和第一脉冲同步的置0信号。

图4所示为误触发检测电路的结构图,由三个单稳电路50、60、70和非门 $G_8 \sim G_{12}$ 组成,其中 $G_9 \sim G_{12}$ 构成时钟 $R-S$ 触发器。50、60的输出脉宽 T_1 、 T_2 分别被设计成比图1中延迟电路的延迟时间 τ_d 长 W_1 和 W_2 ,即 $T_1 = \tau_d + W_1$, $T_2 = \tau_d + W_2$,且 $W_1 = 3T$, $W_2 = T$ (T 为超声波信号的半周期)。该误触发检测电路在图1双脉冲形成电路产生与第二脉冲同步的 X 信号并经过所设定的时间 T_2 后,能形成宽度为 $2T$ 的 W 信号,在该脉冲出现的时

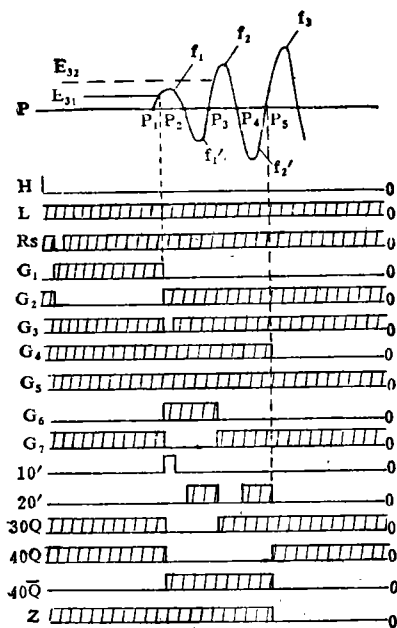


图 5

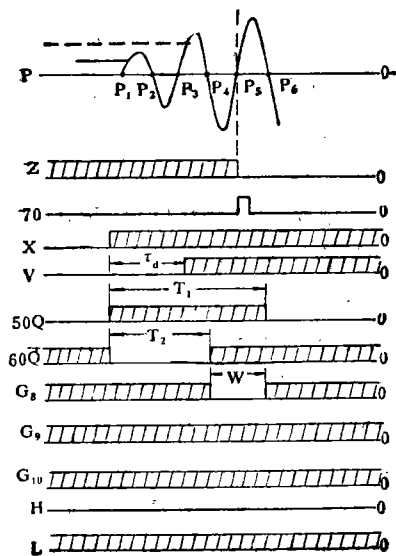


图 6

间内，如果图 3 所示的时间检测电路产生输出信号 Z ，就认为超声波传播是正常的。下面参照图 5 ~ 图 9 说明上述电路的有关动作原理。

图 5 是超声波传播正常时图 3 各部分的输出波形图，图 6 是相同情况下图 4 各部分的输出波形图。

首先，设图 3 中比较器 10 的基准电压设定在 E_{31} ，图 4 的 L 信号为 1。在每一测量周期开始，置 0 信号 R_s 使 G_1 的输出为 1，由此，比较器 10 的选通门解锁而处于准备状态，这时 G_4 为 1。这以后，超声波到达换能器 2(1)，其输出信号经放大后加到比较器 10 的同相输入端，当 P 的第一个波 f_1 超过基准电压 E_{31} 时，比较器 10 输出 1 信号， G_3 输出 0 信号使触发器 30、40 均复 0，其 Q 输出端均变为 0， \bar{Q} 输出端均变为 1，由 40 的 \bar{Q} 输出将比较器 20 的选通门解锁。另一方面，40 的 Q 输出使 G_2 的输出端又回到 1，由此， G_1 的输出又回到 0，比较器 10 的输出又被锁定。结果，比较器 10 在信号 P 超过基准电压 E_{31} 的极短时间内输出 1 电平窄脉冲。另一方面，因为 L 为 1，故 G_6 的输出由于 30 的 Q 端输出 0 而变为 1， G_7 的输出则变为 0。这以后，因比较器 20 已处于准备状态，当信号 P 的第一个波 f_1' 负向过 OV 时，20 输出 1 信号。之后，随着 f_1' 正向过 OV ，20 输出端变 0 而输出第 1 个脉冲，其后沿使触发器 30 的 Q 端变为 1，结果 G_7 的输出变为 1。在这以后，信号 P 的第二个负波 f_2' 使比较器 20 产生第二个脉冲，其后沿使触发器 40 的 Q 端回到 1，结果使 G_4 输出 0，由于信号 P 第 5 次过 OV 时，接收信号 2 由 1 变为 0，所以 P_5 时刻点就表示超声波到达换能器 2(1) 的时刻。

当接收信号 Z 在 P_5 时刻点为 0 时，如图 6 所示，误触发检测电路单稳 70 在 G_8 输出脉宽为 W 的 0 脉冲时间内产生 1 信号，则 G_9 、 G_{10} 的输出信号不变化，即误触发检测电路的输出信号 H 、 L 仍然不变，表示超声波在正常传播，下一次测量仍可继续使用 E_{31} 作为比较器 10 的基准电压。

图 7 是超声波受到衰减时图 3 各部分的输出波形图，图 8 是相同情况下图 4 各部分的输出波形图。首先，复 0 信号 R_s 一到，比较器 10 被选通门解锁。但这时信号 P 的第一个波达不到基准电压 E_{31} ，所以比较器 10 在信号 P 的第二个波 f_2 超过基准电压 E_{31} 时才产生

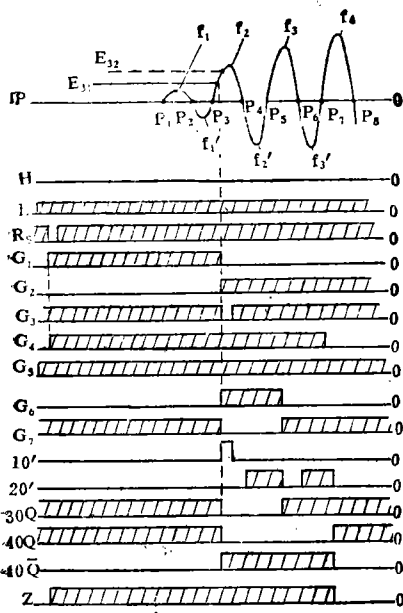


图 7

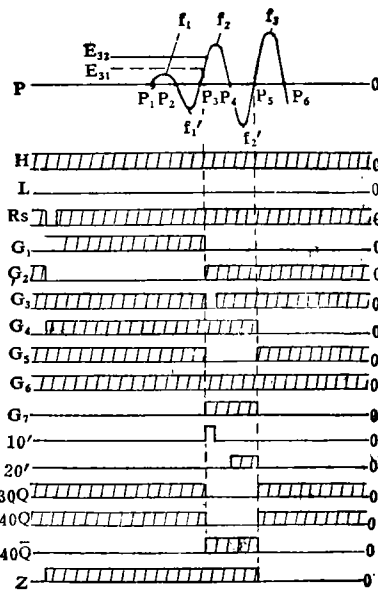


图 9

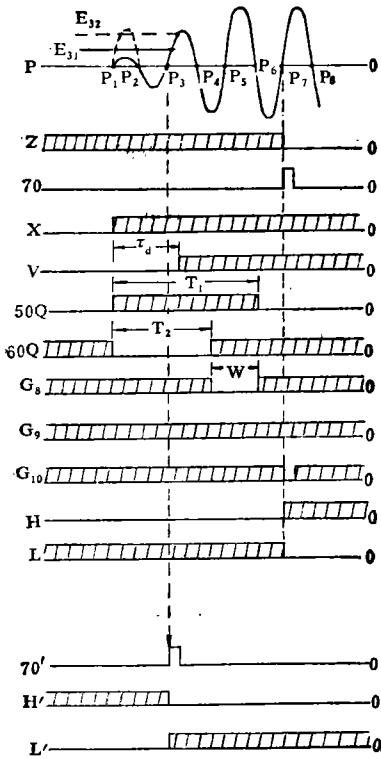


图 8

过OV产生输出脉冲,因此接收信号Z在时刻 P_7 点变为0信号。正因为这样,实际的传播时间既使相同,但电路上检测出来的表观上的传播时间比实际传播时间要多出 P_5-P_6 、 P_6-P_7 即 $2T$ 时间,这 $2T$ 时间就造成测量误差。但是如图8所示,由于在时刻 P_7 点产生输出信号,在该时刻点 G_8 已不产生0W输出信号,所以当单稳70在时刻 P_7 点输出1窄脉冲时, G_{10} 输出0窄脉冲,结果图4所示误触发检测电路的L变为0信号,H变为1信号。因此从下一次测量开始,比较器10的基准电压被设定在 E_{32} 。这样,由于超声波的衰减致使接收信号Z的形成出现错误时,在下一次测量时可进行修正。亦即如果超声波继续受到衰减和比较器10的基准电压被设定在 E_{32} ,则图3所示时间检测电路将按图9所示动作:复0信号 R_5 一到,比较器10被选通门解锁,当信号P的第二个波 f_2 超过基准电压 E_{32} 时,比较器10输出信号。结果如图9所示,进行和前述相同的动作。但是,在此情况下,由于H为1, G_3 在信号P的第二个波 f_2 超过基准电压 E_{32} 时刻而输出0窄脉冲使触发器30、40复0后, G_7 输出1信号使触发器40的J端为1,

输出信号。这以后,如图7所示。进行和前述相同的动作。在这种情况下,因为比较器20是接信号P的负向第二个波 f_2' 和第三个波 f_3'

所以当比较器20由于负向第二个波 f_2 而产生输出脉冲时触发器40的Q端将由0变1(如图9 40Q), 其结果在 P_5 时刻点形成接收信号Z。这样, 即使超声波受到衰减, 由于适当改变了比较器10的基准电压, 从下次测量开始, 又能够进行正确的测量。

另一方面, 当比较器10的基准电压为 E_{s2} 时, 如果由于某种原因, 信号P的第一个波 f_1 如图8虚线所示变大而超过 E_{s2} 时, 则就不可能进行和图9所示相同的动作, 接收信号在 P_3 点业已形成。在这种情况下也同样会造成 P_3-P_4 、 P_4-P_5 即 $2T$ 时间的误差。然而, 出现这种情况时, 如图8的 $70'$ 、 H' 、 L' 所示, 即误触发检测电路根据检测到的误触发其L

又变为1, 因此, 从下次测量开始, 又按5所示的动作进行测量。

由上所述可知, 图3和图4所示的电路是利用换能器输出信号P过OV(例如第五个时刻点 P_5)来检测出超声波到达接收换能器的时刻。因此与超声波的衰减无关, 能够正确地检测出超声波传到接收换能器的时刻, 所以能提高超声波测量仪表的精度。

(王规生 编译)

参 考 文 献

- [1] 中川行雄、贺田康夫, <超音波传搬时间检出回路装置>昭55-23476[公开昭和55年(1980年)]
- [2] 鷺见哲雄, <超音波受信信号の检出方法及V'装置>昭54-41783[公开昭和54年(1978)]

(上接第42页)

自动控制。

总之, 近年来V(Z)技术在理论和应用上都有不少新的进展, 必将赢得人们更多的关注。

参 考 文 献

- [1] Weglein R. D. "A model for predicting acoustic material signatures" A. P. L., vol. 34, No. 3, p. 179(1979)
- [2] Weglein R. D. "Characteristic material signatures by acoustic microscope" E. L., vol. 14, No. 12, p. 352(1978)
- [3] Atalar. A "A physical model for acoustic signatures" J. A. P., vol. 501, No. 2, p. 8237 (1979)
- [4] Parmon W. "Ray interpretation of the mate-

rial signature in the acoustic microscope" E. L., vol. 15, No. 21, p. 684(1979)

- [5] Smith I. R. "Theoretical analysis of V(Z) curves measured by acoustic line-focus beam" Ultrasonics Symposium, p. 623(1982)
- [6] Weglein R. D. "Rayleigh wave absorption via acoustic microscope" E. L., vol. 18, No. 1, p. 20(1982)
- [7] Quate C. F. "Microwaves, acoustic and scanning microscopy" Scanned Image Microscopy, p. 23(1980)
- [8] Smith I. R. "Elastic constants measurement in the acoustic microscope" Ultrasonic Symposium p. 644(1982)
- [9] Smith I. R. "SAW attenuation measurement in the acoustic microscope" E. L., vol. 18, No. 22, p. 955(1982)
- [10] Atalar A. "An angular-spectrum approach to contrast in reflection acoustic microscope" J. A. P., vol. 49, No. 10, p. 5130(1978)