

件。由上述分析可知，波导测试法具有一定的实用意义。

本文的工作曾得到中国科学院物理研究所潘习哲、俞伯良、陈伟力等同志的帮助，并与林昌禄、叶云裳等同志进行过有益的讨论，北京市宣武区红波塑料厂协作研制测试样品，谨此致谢。

### 参 考 文 献

[1] 中国科学院物理研究所微波吸收材料组，物理，1-2

(1972)，117。

- [2] 吴大伟，国外电子技术，4 (1980)，51。
- [3] W. H. Emerson, *IEEE Trans. on A.P.* 21-4(1973), 484.
- [4] S. Galagan, *MicroWaves*, 9-4 (1970), 47.
- [5] Б. А. Введенский и др., *Радиоволноводы*, ГОСТ-ЕХИЗДАТ, (1946).
- [6] I. Deutsch, *Zeit. fur angew. Physik*, 20-6 (1966), 511.
- [7] Б. Ф. Алинин, *Зарубежная Радиоэлектроника*, 2 (1977), 88.

## 行波型高速模拟数字转换器

吕俊锡

(中国科学院物理研究所)

高速模拟数字转换器 A/D 在视频图像信号的采集和处理系统、活动目标的雷达自动跟踪系统、数码通讯、数码电视、科学实验和工程技术中的快速瞬变过程信息的采集以及电子仪器等现代化科学和现代国防中都有广泛的应用。我们曾用行波型方案，全部采用国产 TTL 元件研制成功采样速率达 13.3 MHz，精度七位，满刻度 0—2048 mV 的高速 A/D 样机。这里简单介绍这种 A/D 的原理及它的测试方法，并给出测试结果。

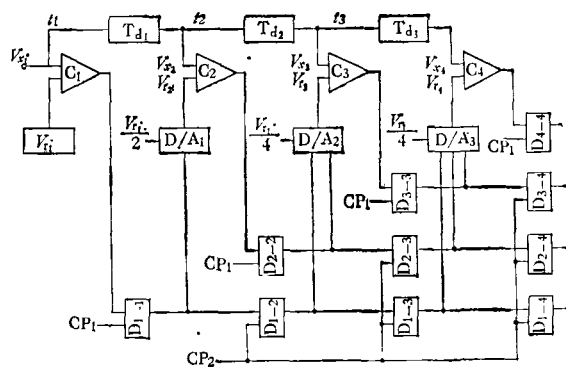


图 1 行波型 A/D 逻辑图

### 一、工作原理<sup>[1,2]</sup>

以四位满刻度 0—2000 mV 为例。图 1 是一种结构简单，不需要采保电路和编码器的 A/D。图中  $T_{d1}—T_{d3}$  是高精度视频延迟线， $C_1—C_4$  是比较器， $D_{1-1}—D_{3-3}$  是 D 触发器， $D/A_1—D/A_3$  是不同节数的电流开关型数模转换器。工作过程如下：

输入信号  $V_{x1}$  在  $t_1$  时刻送入比较器  $C_1$  与固定参考电压  $V_{r1} = 1000\text{mV}$  比较。结果暂时存入寄存器  $D_{1-1}$  用来做为  $D/A_1$  的控制信号电平。当  $D/A_1$  根据  $D_{1-1}$  的数据而建立的参考电压  $V_{r1}$  稳定后，便与经过 75ns 延迟到  $t_2$  时刻的信号  $V_{x2}$  进行第二次比较。当然，从第

一次比较  $t_1$  到  $V_{r2}$  建立之间的时间要小于 75 ns。然后把第二次比较结果存入寄存器  $D_{2-2}$  同时  $D_{1-1}$  所存数据也移入  $D_{1-2}$ ，并重新接收  $C_1$  新的比较结果的数据。在  $t_3$  时刻  $D/A_1$  和  $D/A_2$  产生参考电平  $V_{r2}$  和  $V_{r3}$ ，并且与经过延迟到达  $C_2$  和  $C_3$  的信号  $V_{x2}$  及  $V_{x3}$  进行比较。这样，当输入信号以 75 ns 的速度一级一级传送时，各比较器也相应以 75 ns 进行一次又一次新的比较工作，并把结果分别存入相应的寄存器。到第四拍结束时， $t_1$  时刻的输入信号  $V_{x1}$  的幅度就由最后一排寄存器用二进制数码形式并行输出。从第四拍以后的每一拍就有一组代表  $n - 3$  拍前的输入信号  $V_{xn}$  的幅度用二进制数码形式输出。下面举出两个例

子。

(1) 输入直流电平为 1135 mV。在  $t_1$  时刻, 因为  $V_{x_1} > V_{r_1}$  (1000 mV), 所以  $C_1 = 1$ , 并存入  $D_{1-1}$  后使  $D/A_1$  产生  $V_{r_1} = 1500\text{mV}$ 。在  $t_2$  时刻,  $V_x$  移至  $V_{x_2}$ , 因为  $V_{x_2} < V_{r_1}$ , 所以  $C_2 = 0$ , 并存入  $D_{2-2}$ 。同时上一拍的  $D_{1-1}$  数据也移入  $D_{1-2}$ 。这样  $D/A_2$  产生  $V_{r_2} = 1250\text{mV}$ 。在  $t_3$  时刻,  $V_x$  移至  $V_{x_3}$ , 因为  $V_{x_3} < V_{r_2}$ , 所以  $C_3 = 0$ , 并存入  $D_{3-3}$ 。同时前一拍的  $D_{1-2} = 1, D_{2-2} = 0$ , 也移入  $D_{1-3}$  和  $D_{2-3}$ , 使  $D/A_3$  产生  $V_{r_3} = 1125\text{mV}$ 。在  $t_4$  时刻, 因为  $V_{x_4} > V_{r_3}$ , 所以  $C_4 = 1$ 。同样前拍  $D_{1-3}, D_{2-3}, D_{3-3}$  的数据也移入  $D_{1-4}, D_{2-4}, D_{3-4}$ 。结果在  $t_4$  后输出端就出现  $D_{4-4} = 1, D_{3-4} = 0, D_{2-4} = 0, D_{1-4} = 1$ , 即等于 1125 mV, 和输入信号 1135mV 相差 10mV, 在分辨率之内。

表 1

T	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$	$t_7$
$V_{x_1}(\text{mV})$	260	630	1270	760			
$V_{r_1}(\text{mV})$	1000	1000	1000	1000			
$D_{1-1}$	0	0	1	0			
$V_{x_2}(\text{mV})$		260	630	1270	760		
$V_{r_2}(\text{mV})$		500	500	1500	500		
$D_{2-2}$		0	1	0	1		
$D_{1-2}$		0	0	1	0		
$V_{x_3}(\text{mV})$			260	630	1270	760	
$V_{r_3}(\text{mV})$			250	750	1250	750	
$D_{3-3}$			1	0	1	1	
$D_{2-3}$			0	1	0	1	
$D_{1-3}$			0	0	1	0	
$V_{x_4}(\text{mV})$				260	630	1270	760
$V_{r_4}(\text{mV})$				375	625	1375	875
$D_{4-4}$				0	1	0	0
$D_{3-4}$				1	0	1	1
$D_{2-4}$				0	1	0	1
$D_{1-4}$				0	0	1	0

(2) 输入信号可变情况。设有一组以 75 ns 变化着的电平 260mV, 630 mV, 1270 mV, 760mV, ... 的输入信号  $V_x$ , 比较器的输出状态由  $D_{n-m}$  代表。其工作过程不难从表 1 看

出。

行波型 A/D 需要一种高精度延迟线 (图 2),  $F_1, F_2$  是运算放大器。

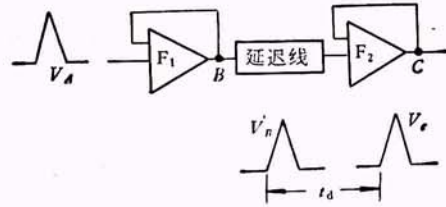


图 2 视频延迟线

它应满足三点要求: (1)延迟时间要精确; (2)有足够的频宽; (3)通过它的信号不能有衰减和畸变。图 3 照片是一快速窄脉冲通过延迟线前后的波形。

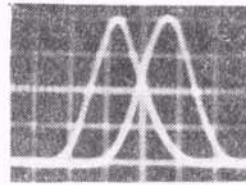


图 3 窄脉冲通过延迟线前后波形

右为延迟前 左为延迟后;  
y 为 1V/格; x 为 100 ns/格。

D/A 采用电流开关电阻型结构。不同位数的 D/A, 其节数不等, 但基本结构一样, 从开关信号至  $V_{r_i}$  建立所需时间  $\leq 30\text{ns}$ 。图 4 是  $D/A_2$  线路原理。D/A 的转换公式是

$$A = (a_1 + a_2 2^{-1} + a_3 2^{-2} + \dots + a_n 2^{-n+1} + 2^{-n}) V_{r_1}$$

其中  $V_{r_1}$  为满刻度的 1/2。  $a_i = "1"$  或  $"0"$  决定于比较器输出状态。

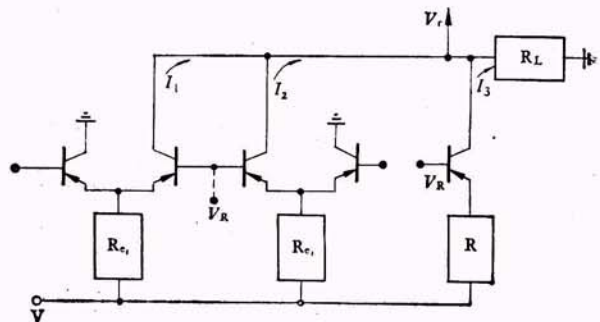


图 4

A/D 中主要器件选用北京半导体器件厂产品,其中比较器用 BG317, 放大器用 BG313, D 触发器用 BG 575.

## 二、A/D 的测试

由于 A/D 的品种多,性能差别大,所以对其性能的测定也就比较复杂,目前还没有统一的标准.例如单一项误差分析,从不同的角度出发就有量化误差、刻度误差、增益误差、偏置误差、直线性误差、非线性误差、非单值性误差、噪声误差等等不下十种说法.此外,还有环境因素,例行试验等项目.如果各项参数都进行计算和分析,那就太复杂,而且也没必要.我们是从总的结果来判断其性能是否达到主要指标的.

对 A/D 的测试往往少不了 D/A, 所以用一台七位高速 D/A 和滤波器来配合 A/D 组成如图 5 的测试系统对 A/D 的静态和动态性能进行测试.

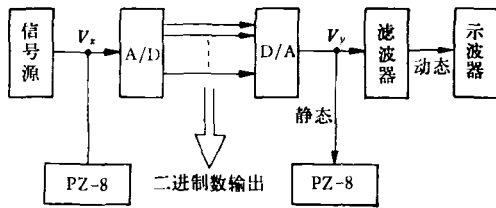


图 5

### 1. 静态性能的测试

所谓静态性能是指输入到 A/D 转换器的信号是一个没有迭加噪声的不随时间变化的直流信号  $V_x$  与输出数码  $D_x$  的关系特性. 因为与 D/A 连成系统, 所以相当于测定输入信号  $V_x$  与转换后输出信号  $V_y$  的关系. 通常可以用图 6 中的曲线来说明.

(1) 曲线 A 是理想状态. 输入信号每增加一个量化值  $V_g$ ,  $V_y$  也相应增加一个量化值  $V_g$ . 即

$$V_x = \left(x \pm \frac{1}{2} \text{LSB}\right) V_g; \text{ 有 } V_y = x V_g.$$

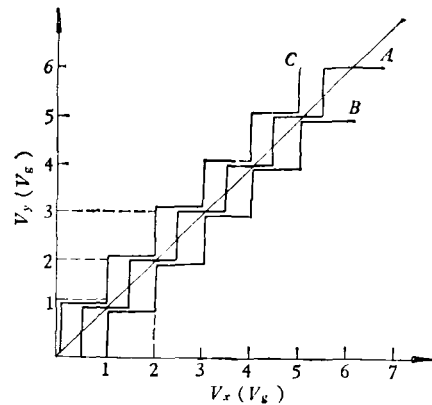


图 6 静态性能曲线

(2) 曲线 B 表示在某一范围内产生 +1LSB 的偏差. 即  $V_x = (x + 1 \text{LSB}) V_g$ ; 有  $V_y = x V_g$ .

(3) 曲线 C 表示产生 -1LSB 的偏差, 即  $V_x = (x - 1 \text{LSB}) V_g$ ; 有  $V_y = x V_g$ .

曲线 B, C 的偏差也都满足最低位 LSB 量化误差的要求. 从图中可以看到, 在  $V_x = 2$  和  $V_y = 2$  时, 有可能出现  $\pm 1 \text{LSB}$  的偏差, 这是允许的. 在鉴定会上抽样测量结果如表 2 所示. 从表中数据说明在 0—2048 mV 范围内静态性能符合以上分析结果.

表 2 (单位: mV)

输入 $V_x$	16	32	192	256	512	1024	1488	1728	1904	1920	2032
输出 $V_y$	16	32	194	257	514	1026	1490	1731	1891	1923	2034

### 2. 动态特性测试<sup>[3]</sup>

所谓动态特性主要是指 A/D 允许输入信号电压的最大上升速率和动态线性度二点. 我们用两种方法测试:

(1) 快速窄脉冲方法, 测其速度性能. 根据采样定理和视频信号对 A/D 的要求允许倾斜过负载系数为 2—3. 这里选用上升下降都为 150 ns, 幅度为 2V 的窄脉冲做信号源. 测试结果见图 7.

(2) 三角波方法, 测其动态线性度. 如果是理想状态, 三角波斜率又足够慢, 在理想状态  
(下转第 507 页)