

# 通用时间-幅度变换器\*

郭瑞琪 唐启明

## 提 要

本文描述一个通用的时间-幅度变换器。测量范围为  $50\text{ns}-100\mu\text{s}$ , 分11档, 并有细调。线性范围为90%, 微分线性  $< \pm 5\%$ , 积分线性  $< 1\%$ , 分辨时间为各量程的0.1%, 温度稳定性  $< 0.1\%/^{\circ}\text{C}$ , 最大输出10V(宽度可调)。本仪器可用于双探头(无负时间效应), 也可以用于一路探头一路高频。

## 一、前 言

在核物理实验中进行时间测量的方法很多。较早采用的是符合方法, 常用的符合电路单元有罗西型、加文型、贝尔型等等。利用快速二极管组成的符合电路, 时间分辨率也可以到  $10^{-10}$  秒。但使用符合电路, 要得到延迟符合曲线时, 就需要逐点测量; 在研究较复杂的时间谱时, 需要花费较多的时间, 要求仪器稳定。而且效率也低。因此只适用于一些单一时间间隔的核事件测量。为了克服单道时间分析器的缺点, 多道时间分析器得到了迅速发展。

从类别分, 多道时间分析器大致可分四种:

1. 延时器 实际上是多路延迟符合电路。缺点是道数有限, 结构复杂庞大。
2. 示波器方法 需要用照相记录等, 使用不广。
3. 游标尺原理或称时间放大法 包括脉冲游标尺和高频游标尺两种。但设备也比较复杂, 要做成通用就更为困难。
4. 时间-幅度变换方法 时间-幅度变换器通常和多道幅度分析器配合作为多道时间分析器, 在核物理实验中用来测量快中子的能谱、原子核激发态的寿命、高时间分辨率核探测器的性能等等。它结构简单, 使用方便, 不仅可以迅速地测出复杂核事件的时间谱, 而且可以使测量的精确度达到微微秒的量级。近十几年来, 由于毫微秒脉冲技术的快速发展和多道幅度分析器的普遍使用, 在这方面的的工作发展很快。

## 二、方案考虑

在时间-幅度变换器中主要采用脉冲重叠原理<sup>[1-4]</sup>和起始-停止原理<sup>[5-13]</sup>。前者一般用在双探头情况下, 而后者一般用在一路探头, 一路高频的情况下。但是不论那一种原理, 最后都是使一个电容器在恒定的电流下放电, 而放电时间则等于两个被测讯号的时间间

\* 1972年7月29日收到。

隔,或反比于被测讯号的时间间隔。由下列公式得知

$$Q = CV$$

$$\Delta V = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{1}{C} \int i dt = \frac{i}{C} t.$$

公式中  $\Delta V$  表示在放电电容  $C$  上由放电电流  $i$  所引起的电压变化。由公式可见,如果量得电容上的电压就代表了被测时间;为了得到好的变换线性、线性范围,电流  $i$  必须在整个测量时间  $t$  内保持恒流。调  $i$  或调  $C$ ,可以得到不同的变换率。

本仪器的设计由于考虑到通用性(既可双探头使用,又可一路探头一路高频使用)和较宽的测量范围,因此采用了双稳态成形电路。仪器的工作原理见图1(方框图)。

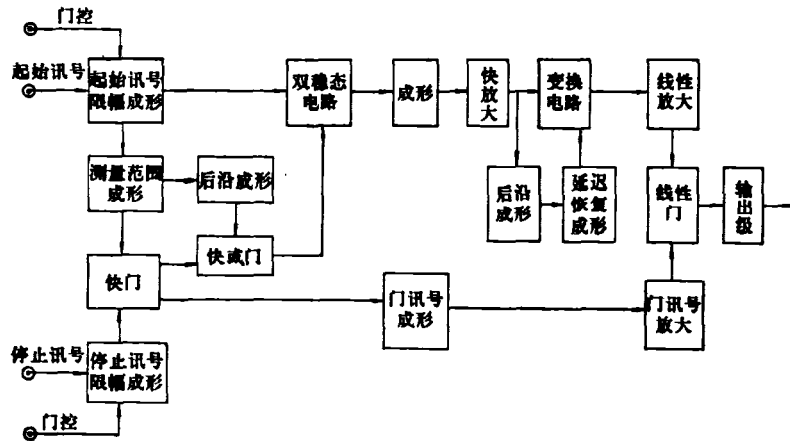


图1 通用时间-幅度变换器方框图

输入的起始脉冲和停止脉冲(高频讯号或探头讯号)先经过限幅和成形电路,成为宽度一定、幅度不随输入讯号而变化的负脉冲。起始成形脉冲分别送到双稳态电路和单稳态电路(测量范围成形电路)。快门电路由单稳态电路的输出脉冲所打开(开门时间就是测量范围),停止脉冲经过限幅、成形后就通过快门(如果没有起始讯号,快门关闭,停止成形脉冲将通不过快门),并加到双稳态电路。因此双稳态电路的输出脉冲宽度相当于起始和停止讯号的间隔时间。如果在被测时间范围内没有输入停止讯号(在使用双探头时经常有此种情况),启开快门的开门脉冲的后沿所成形的脉冲就通过快“或门”电路去触发双稳态电路使它还原。此时双稳态电路虽有输出脉冲,但是由于没有停止讯号输入,线性门电路不被打开,因此变换器将没有输出。双稳态电路输出的矩形脉冲,经过进一步成形和放大后被送到变换电路。变换电路是一个共基极电路,平时处于截止状态,因此集电极上的电容器将充电到电源电压。当发射极上有负脉冲输入时变换晶体管就导通,电容器通过它恒流放电,直到发射极上的负脉冲结束为止。电容器上的负脉冲经过线性放大器和线性门电路到输出级。为了提高变换器的计数率,必须使放电电容器尽快的恢复。因此,将变换电路输入脉冲的后沿成形,再经过固定延迟,产生一个正脉冲加到电容器上,使电容器在放电完  $3-5\mu s$  后就恢复到正常状态。线性门的作用不仅使没有停止脉冲时不输出讯号,而且也使变换器在各种被测时间间隔内输出的脉冲形状(前沿及宽度)保持不变。因为线性门的开门时间,正好是以放电电容器放电后为开始的平顶部分,因此输出脉冲总

是平顶的,而且宽度可调(改变开门讯号的宽度),以满足多道幅度分析器的需要。为了增加仪器的通用性,在起始和停止讯号输入成形电路中,设有外加门控制。

### 三、线路说明

时间-幅度变换器的整个线路图如图2和图3中所示。可分五部分加以说明。

1. 输入限幅成形电路 在起始和停止讯号两路中采用了相同的限幅成形电路。起始输入的负讯号,先经过二极管  $D_1$ 、 $D_2$  限幅,再由共基极电路  $T_1$  进一步限幅。 $T_1$  平时流过 5mA 电流,当输入负脉冲使它截止时,其输出不超过 1V。经过限幅的脉冲,由两级隧道二极管  $TD_1$  和  $TD_2$  的成形,成为宽度小于 10ns、幅度基本不变的负脉冲,最后通过快射极跟随器  $T_2$  和  $T_3$ 。

在第二级隧道二极管  $TD_2$  上有外加门控制,当外加正讯号输入时,  $TD_2$  就不再被触发,限幅成形电路就不再有输出。

2. 测量范围成形和快门电路 测量范围成形是由一个发射极耦合式的单稳态触发电路 ( $T_5$ ,  $T_6$ ) 来完成。改变单稳态触发电路的耦合电容器  $C_M$  (见附表),使测量范围由 50ns 变到 100 $\mu$ s。它的输出幅度为 0.4V。前后沿小于 10ns。

晶体管  $T_{12}$  组成快门电路。它的基极接单稳态触发电路的正输出脉冲;射极接停止成形的负输出脉冲。当基极没有正脉冲时,射极虽加上负脉冲,但是由于  $T_{12}$  截止较深,仍无讯号输出。也就是说,只有在起始讯号输入后的一定时间范围内,停止讯号才能加到双稳态电路中去。

3. 双稳态电路及快放大 双稳态电路由隧道二极管  $TD_3$  构成。 $TD_3$  的工作电流由三极管  $T_{13}$  的部分集电极电流供给。调节电位器  $P_3$ ,可以调整  $TD_3$  的工作点。平时  $TD_3$  处在低压状态;起始成形脉冲使它触发到高压状态;经过  $T_{13}$  电流放大的停止成形脉冲的触发使它恢复到低压状态。双稳态电路的输出脉冲,再由隧道二极管  $TD_4$  成形一次,得到了前后沿小于 5ns、幅度约为 0.2V 的矩形电压脉冲。

晶体管  $T_{22}$  和  $T_{23}$  组成了负反馈的快放大器。放大倍数由电阻  $R_{103}$  和  $R_{100}$  决定,约 7 倍左右。因此输出是前后沿小于 10ns、幅度约 1.5V 的正脉冲,被送到变换电路。

4. 变换电路 变换电路主要由晶体管  $T_{26}$  组成。其特点是电路简单稳定;当输入脉冲顶部较平时,有较好的线性。从成形部分来的脉冲先经过限幅倒相器  $T_{24}$  和射极跟随器  $T_{25}$ ,再加到  $T_{26}$  的发射极。变换率的粗调是靠改变变换电容器  $C_{60}$  来完成(共 11 档,见附表)。用调节电位器  $P_{14}$  来改变  $T_{26}$  发射极的电位,也就是改变变换电流的大小,以达到变换率的细调。 $T_{26}$  发射极电位用稳压二极管  $D_7$  来稳定。在  $T_{26}$  基极上串接的二极管  $D_8$  和  $D_9$ ,是作为温度补偿之用的。

为了使放电电容器  $C_{60}$  很快恢复到原状,将  $T_{26}$  输出的负脉冲,经射极跟随器  $T_{35}$  后,用电容器  $C_{68}$  加以微分,用微分后沿触发单稳态电路  $T_{37}$  和  $T_{38}$  (用后沿触发的目的,就是为使单稳态电路输出脉冲的前沿正好对应于  $C_{60}$  放电结束的时刻)。从  $T_{38}$  集电极上输出的正脉冲(其宽度决定了  $C_{60}$  放电后维持电位不变的时间),经  $C_{69}$  微分后,用微分后沿再触发单稳态电路  $T_{39}$  和  $T_{40}$ 。最后在倒相器  $T_{41}$  集电极上得到一个正脉冲,并向  $C_{60}$  充电

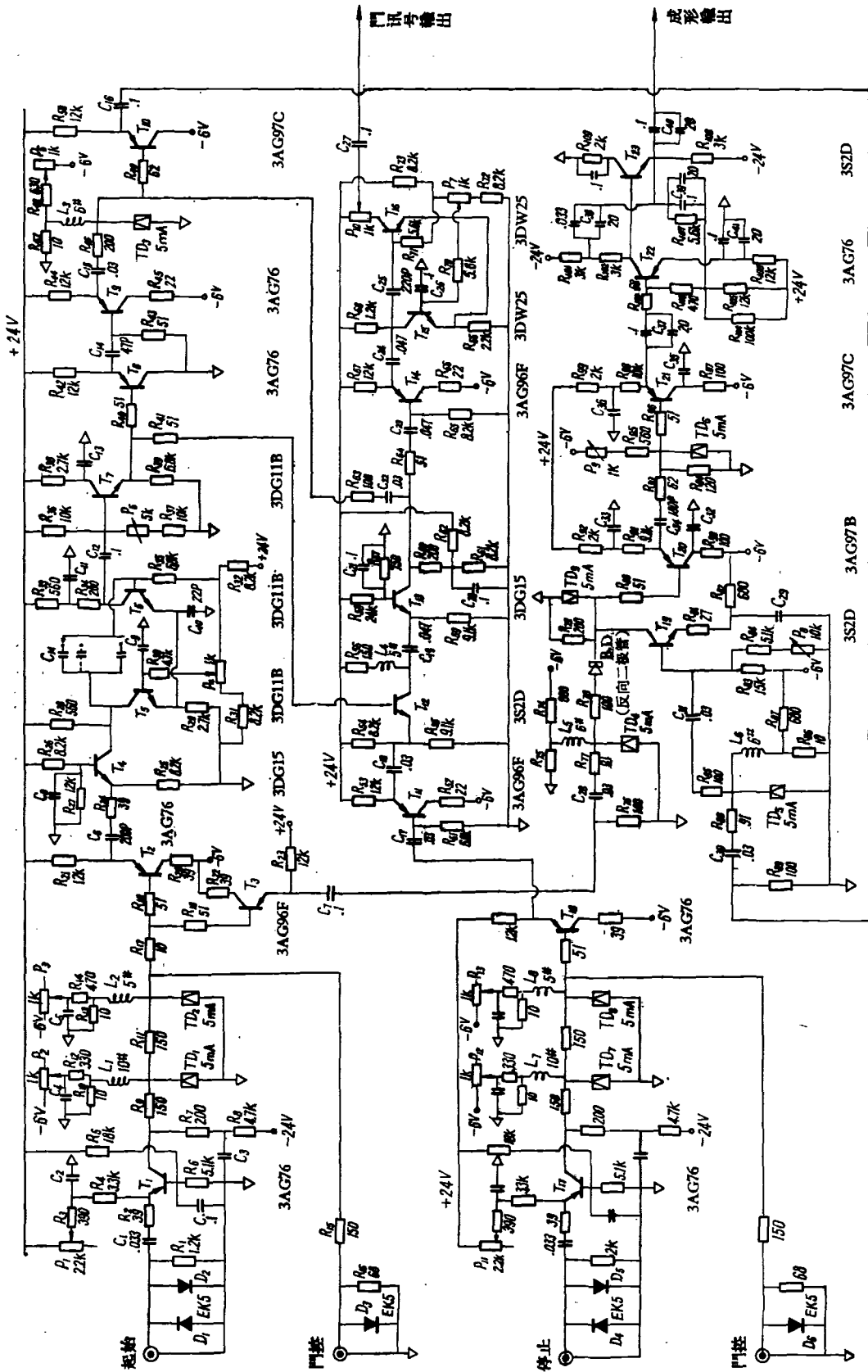


图 2 成形部分电路图

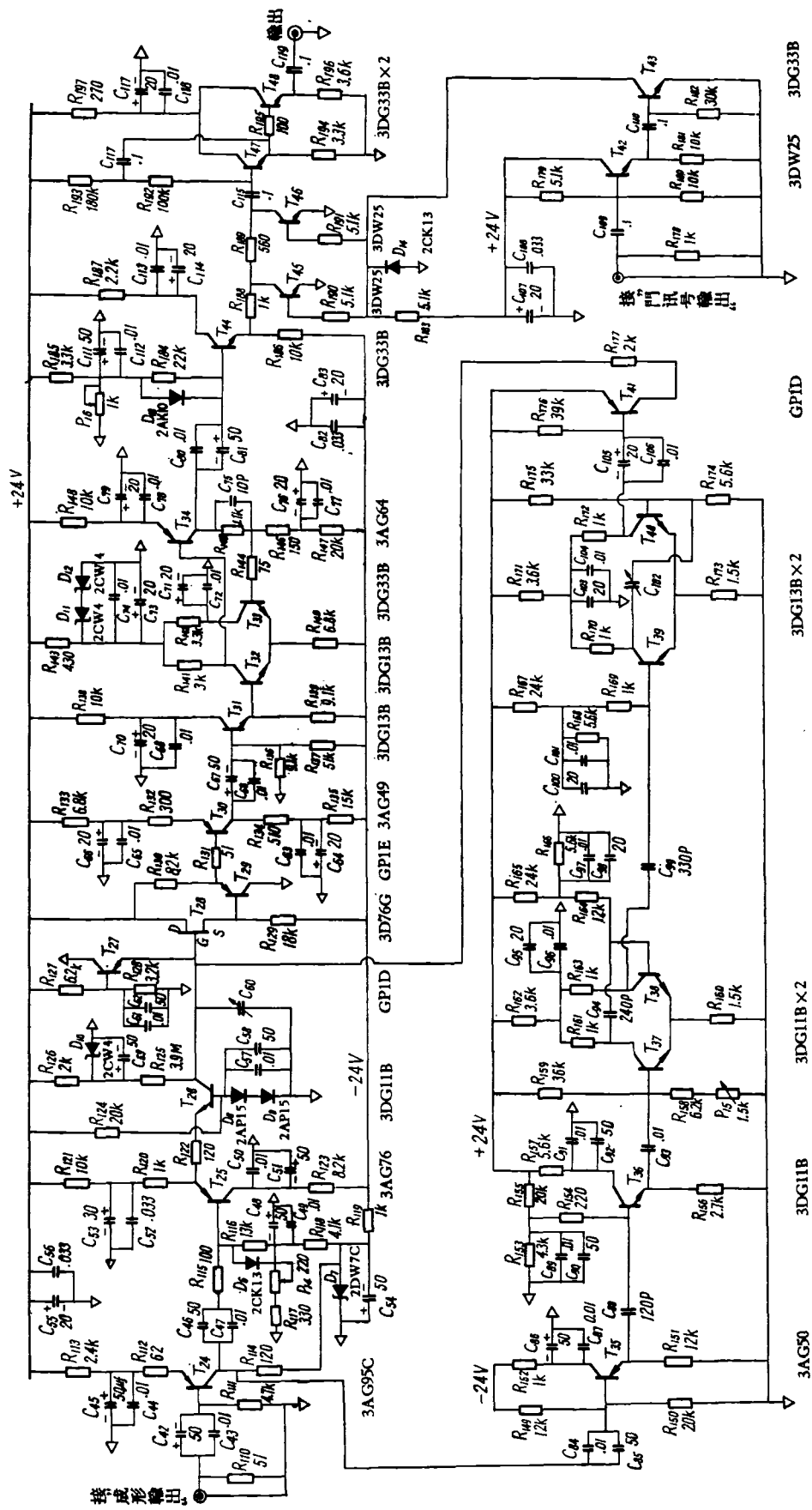


图3 变换、放大和线性门电路图

使它恢复到原状。由于测量范围的不同所用的  $C_{60}$  就不同, 因此充电脉冲的宽窄也应该相应变化。这个用改变  $T_{39}$  和  $T_{40}$  之间的耦合电容器  $C_{102}$  (见附表) 来达到。  $T_{41}$  用 PNP 硅三极管, 它平时截止, 漏电流极小, 不影响  $C_{60}$  放电后的电压波形。  $T_{27}$  起箝位作用, 以防止充电过份。它平时是截止的。

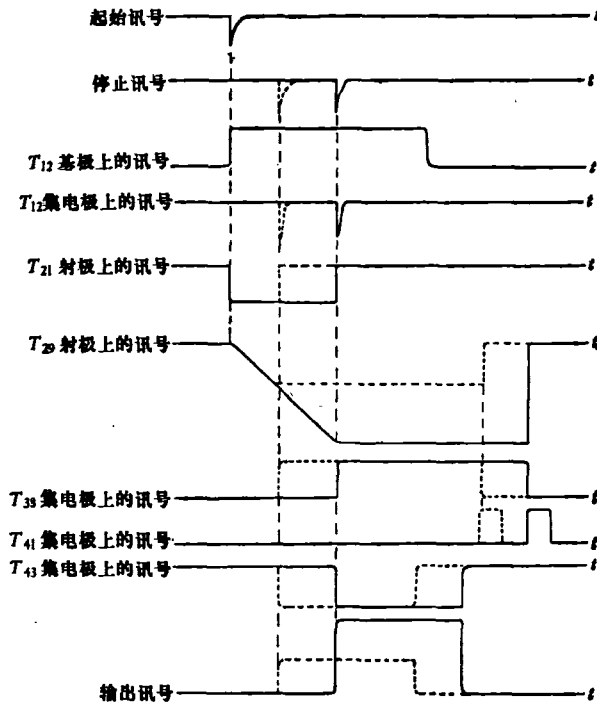


图4 电路中各主要点的波形

在变换电路后采用高输入阻抗的场效应晶体管跟随器  $T_{28}$ , 为使放电电容上等效的并联电阻尽可能的大, 这样在放电时 (尤其在  $50\mu s$ ,  $100\mu s$  较宽量程时), 可以保持更好的线性。

线性放大器由  $T_{32}$ 、 $T_{33}$  和  $T_{34}$  组成。为了保持好的线性和稳定性, 采用了较深的负反馈。

5. 线性门电路 为了不使超测量范围的变换脉冲输出, 采用线性门来控制。线性门电路主要由两个开关管  $T_{45}$  和  $T_{46}$  组成。它们平时饱和导通, 因此讯号经  $R_{188}$  和  $R_{189}$  衰减后没有输出。当门控制脉冲加入时,  $T_{45}$  和  $T_{46}$  就完全截止, 讯号可线性地通过。  $T_{47}$  和  $T_{48}$  是具有高输入阻抗的两级射极跟随器。变换

器的最后输出, 不论测量范围在那一档, 最大幅度都是正 10V 的脉冲。

本仪器各主要点的波形见图 4。

## 四、指标及测量

### 1. 本仪器的主要指标

(1) 测量范围 共 11 档, 即  $50ns$ ,  $100ns$ ,  $200ns$ ,  $500ns$ ,  $1\mu s$ ,  $2\mu s$ ,  $5\mu s$ ,  $10\mu s$ ,  $20\mu s$ ,  $50\mu s$ ,  $100\mu s$ 。并有细调。

(2) 分辨本领(电子线路) 用 512 道幅度分析器测得各档都小于 1 道。

(3) 积分线性  $< 1\%$  (见图 5)。

(4) 微分线性  $< \pm 5\%$ 。

(5) 线性范围 90% (50ns 档 80%)。

(6) 温度稳定性 温度从  $26^\circ C$  变到  $47^\circ C$  时不超过 1 道 (用百道分析器测), 或为  $0.05\%/^\circ C$ 。

(7) 输入讯号要求 负极性; 幅度  $100mV-10V$ ; 宽度  $< 50ns$ ; 一路高频时频率可到  $20mc/s$  (50ns 档)。门控:  $0.5-2V$  的正脉冲。

(8) 没有起始讯号时, 停止讯号输入不起作用(即无负时间效应)。超测量范围, 无输出。

(9) 输出 幅度最大正 10V; 宽度 2 $\mu$ s(可调); 上升时间 < 0.2 $\mu$ s。

(10) 最高重复频率 ~ 15kc/s。

(11) 电源 +24V, 150mA; -24V, 50mA; -6V, 90mA。要求长期稳定度在0.1%。

2. 测量方法<sup>[14-16]</sup>

(1) 微分线性的测量 用两个脉冲产生器, 一个产生起始脉冲, 另一个产生停止脉冲, 输出幅度都调到 1V 左右, 宽度 < 50ns, 将起始脉冲产生器的重复频率调到 5kc/s 左右, 改变停止脉冲产生器的频率, 配合多道分析器就可以测出仪器的微分线性。如果停止脉冲产生器的频率为 20mc/s 时, 在多道分析器上测量的结果就是在 50ns 档的微分线性; 相应地在 100ns 档时, 停止脉冲产生器的频率应为 10mc/s; ... 在 100 $\mu$ s 档时, 停止脉冲产生器的频率应为 10kc/s。由于两个产生器之间脉冲的产生是无联系的, 因此测得的结果基本上代表了变换器的微分线性。如果能用乱脉冲(如放射源和光电倍增管)代替产生器, 将更好些。在 100ns 和 2 $\mu$ s 两档测得的结果, 见图 6 和图 7。

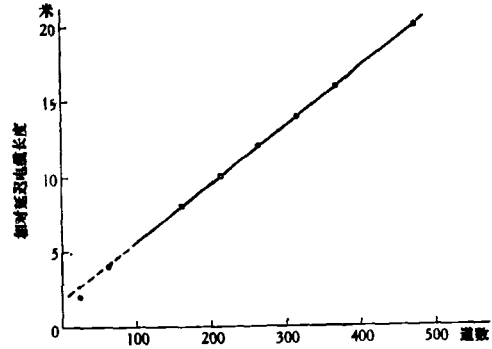


图5 100ns 档积分线性

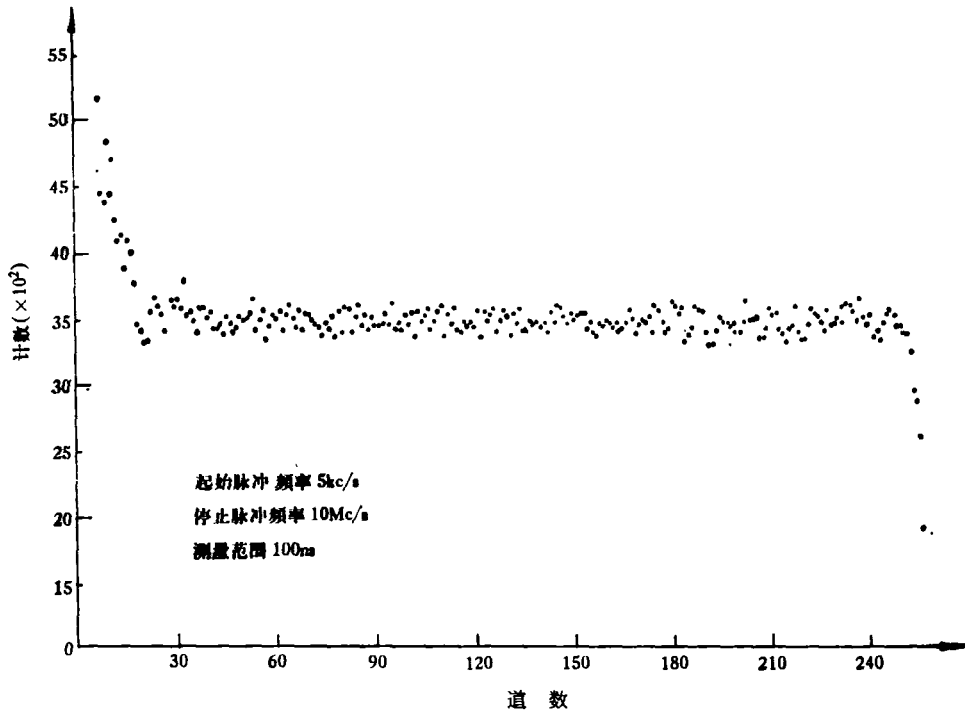
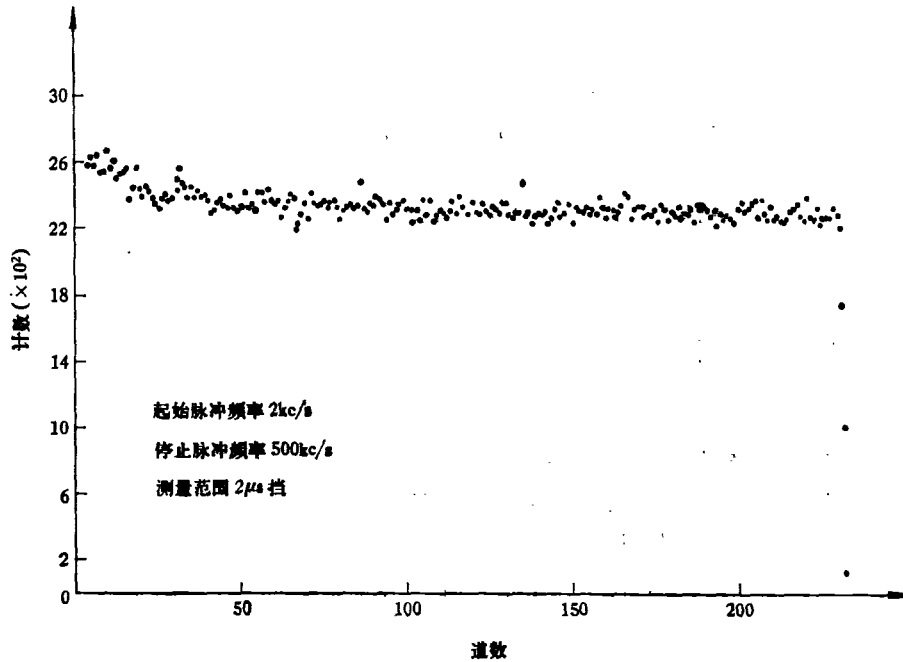


图6 100ns 档微分线性

(2) 分辨本领和稳定性的测量 利用一台水银开关产生器, 产生一个宽度 ~ 10ns、

图 7  $2\mu\text{s}$  档微分线性

幅度为 2V 左右的负脉冲。将此脉冲“三通”分成两路，一路接变换器的起始脉冲输入端，另一路经过 100ns 延迟（20m 电缆）接到停止脉冲输入端（见图 8）。将变换器放在 100ns 档，输出接近 10V，送到 512 道分析器时，始终在 1 道之内。说明电子学分辨不大于 1 道。

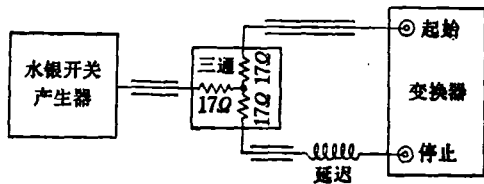


图 8

分辨时间的进一步测量方法如下：把变换器调到 50ns 档，细调调到输出最大，减少起始和停止脉冲之间的延迟时间，并固定在 20 ns 左右，用示波器测得输出幅度约 4V，改变相对延迟 1ns 后，测得输出幅度约 3.8V，此时变换率为 0.2V/ns。同时用示波器观察输出

波形平顶线的宽度或起伏  $< 10\text{mV}$ 。因此初步估计分辨时间  $< 50\text{ps}$ 。也就是在最快档(50ns)时，分辨为全量程的 0.1%。如果配合 1024 道分析器时将不超过 1 道。

稳定性的测量方法和上面相同。把仪器放入烤箱内，改变温度，观察多道分析器上的计数变化情况，就会知道温度的稳定性如何。如果温度变化了  $20^\circ\text{C}$ ，在百道分析器上(接近 100 道处)变化了 1 道，温度的稳定性就是  $0.05\%/^\circ\text{C}$ 。

## 五、问题讨论

1. 在限幅成形部分，当输入脉冲太宽或太大时，由于电缆上多少会有反射存在，而隧道二极管触发死时间又极快，因此可能会有多次触发存在，影响仪器的正常工作。此外，



在输入脉冲前沿不够快而幅度变化较大时,引起的时延晃动将很大。而要求分辨率较高时,就应当在探测器和变换器之间加定时电路(例如过零甄别器等)。

2. 计数率对变换器的影响,在测量微分线性时发现当起始脉冲的频率增加时,变换率有明显变化。因此在使用时计数率最好保持不变。

3. 在温度升到 45°C 以上时,有时双稳态电路工作失常。但调整一下电位器  $P_8$  (10K $\Omega$ ) 即可恢复正常。其原因是隧道二极管的温度特性不好。

电容器  $C_M$ 、 $C_{60}$ 、 $C_{102}$  配值附表

测量范围选择部分		变 换 部 分			
测量范围 ( $\mu s$ )	测量范围成形 电容器 $C_M$ ( $pF$ )	变 换 率 ( $v/\mu s$ )	变换电容器 $C_{60}$ ( $pF$ )	延迟恢复成形 电容器 $C_{102}$ ( $pF$ )	变换输出幅度 ( $v$ )
100	10K	0.1	400K	26.7K	1
50	4.7K	0.2	200K	11K	1
20	2K	0.5	88K	4.2K	1
10	1K	1	48K	2.2K	1
5	510	2	22K	1K	1
2	220	5	8.8K	360	1
1	110	10	4.3K	100	1
0.5	47	20	2K	33	1
0.2	18	50	900	22	1
0.1	11	100	390	12	1
0.05	5	200	180	12	1

## 参 考 文 献

- [1] P. Vergezac, *Nucl. Instr. and Meth.*, **26** (1964), 317.
- [2] H. Weisberg, *Nucl. Instr. and Meth.*, **32** (1963), 133.
- [3] G. A. Grin, *Nucl. Instr. and Meth.*, **24** (1963), 331.
- [4] P. Sen, *Nucl. Instr. and Meth.*, **60** (1968), 335.
- [5] D. Ophir, *Nucl. Instr. and Meth.*, **28** (1964), 237.
- [6] D. L. Wieber, *Nucl. Instr. and Meth.*, **24** (1963), 269.
- [7] Ronald G. Roddick, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, **NS-11/3** (1964), 399.
- [8] D. Maydan, *Nucl. Instr. and Meth.*, **34** (1965), 229.
- [9] H. Brafman, *Nucl. Instr. and Meth.*, **34** (1965), 239.
- [10] C. Dardini, *Nucl. Instr. and Meth.*, **47** (1967), 233.
- [11] D. Bloess, *Nucl. Instr. and Meth.*, **28** (1964), 286.
- [12] H. L. Weisberg, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, **NS-11/3** (1964), 406.
- [13] W. Schweimer, *Nucl. Instr. and Meth.*, **32** (1965), 190.
- [14] C. A. Baker, *Nucl. Instr. and Meth.*, **59** (1968), 125.
- [15] J. F. Boulter, *Nucl. Instr. and Meth.*, **77** (1970), 163.
- [16] Z. H. Cho, *Nucl. Instr. and Meth.*, **84** (1970), 327.