

高速匀速式模拟线发生器

陈宜在

(中国科学院自动化研究所)

摘要

本文介绍的高速匀速模拟线发生器,采用匀速模拟画线原理,用一个积分器产生公用的电压斜率波,由两个数模转换乘法器 MDAC 产生严格成比例的 X, Y 轴模拟讯号,在保证画线精度的条件下获得了高速度。采用此线发生器的 GTX-A 型高速光笔图形显示器的性能为 $40 \text{ n}\cdot\text{s}/\text{r}\cdot\text{u}$, 精度接近 0.1% 。

一、引言

线发生器可根据被显示图形的坐标或增量产生相应的阶跃讯号或线段。每一线段可以由许多点组成,也可以是一条光滑的直线。线发生器产生的线段由显示器显示。

线发生器可以分为数字式线发生器和模拟式线发生器。数字式线发生器用许多位于显示屏幕坐标格上的点近似描述一条直线。数字式线发生器一般有三种形式^[1]: 1) 数字微分分析器 (DDA); 2) 同步数字微分分析器 (SDDA); 3) 二进制比例乘法器 (BRM)。数字式线发生器的优点是线路简单、定位准确,缺点是画线速度由于受图形显示器主频、数模转换器转换速度及数模转换器在转换过程中产生的干扰等因素的限制,因此难以提高。例如当主频为 $1-2\text{MC}$ 时画长为 $1000\text{r}\cdot\text{u}$ 的线约需 $500-1000\mu\text{s}$, 且在画斜线时,线段是不平滑的。

模拟线发生器是在给出需画线段的起点坐标及 X, Y 轴的增量后,用模拟积分的方法产生连续平滑的电压——时间斜率信号。

模拟线发生器分为等时间模拟线发生器与等速模拟线发生器两种。等时间模拟线发生器不论画线的长短都在相同的时间内完成,它的画线速度与线长成正比(见图1)。这

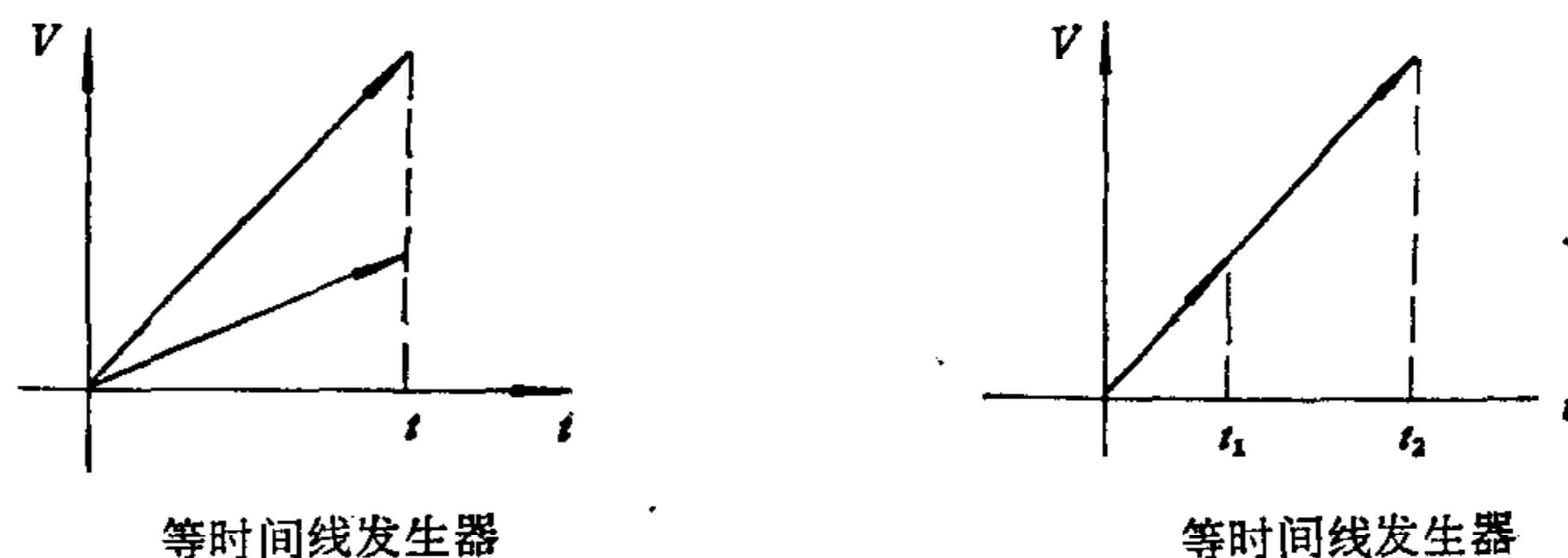


图 1

种线发生器如不对亮度讯号进行控制,则在画不同长度的线段时亮度会发生明显的变化,且不易画出不同形式的线型。等速度线发生器则可克服上述缺点。它不论画线长短,画线速度保持基本恒定,因此在画不同长度的线时不需要对亮度进行控制,且容易画出不同形式的线型。

上述两种模拟线发生器的共同优点是画线速度快。例如画上述 $1000r \cdot u$ 长度的直线仅需 $40-50\mu s$, 且线段平滑美观,缺点是技术上难度较大。

无论是数字式线发生器还是模拟式线发生器,当用于图形显示器中时必须达到下列要求: 1) 画出的线段必须平直; 2) 可见的线段必须在指令要求的地方开始与结束; 3) 线的亮度不随其长度与斜率的变化而变化; 4) 画线速度要快, 以免显示复杂图形时引起画面的闪烁(因每帧画线时间是固定的); 5) 容易画出不同的线型, 如点线、虚线、点划线等。

作者采用匀速模拟式线发生器方案^[2] 完成了高速匀速模拟线发生器的研究试制工作,并已用于 GTX-A 型高速光笔图形显示器(已由天津无线电二厂定型生产)中,其性能指标如下:

点跳定位时间 $< 20\mu s$.	每帧画 $32r \cdot u$ 以下短线 3000—6000条。
画线速度 $3\mu s + 0.04\mu s \times L$ (L 以光栅 单位表示线长)。	线型为实线、虚线、点线、点划线。 比例为 1—7 倍。
每帧画线长度 > 120 米。	亮度为 4 个等级。

二、匀速模拟线发生器的基本原理

匀速模拟线发生器产生的线段, 不论其长短如何 ($1-1024r \cdot u$) 其画线速度保持不变。为达到此目的,在直角坐标系统中给出所需线段在 X, Y 轴两个方向的增量 $\Delta X, \Delta Y$ 后,用一个函数发生器,确定 X 方向的画线速度为: $K \cdot \Delta X / \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$, Y 方向的画线速度为: $K \cdot \Delta Y / \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$ 。它的合成画线速度为与 $\Delta X, \Delta Y$ 大小无关的常数 K 。同时由于两者速度之比为 $\Delta X / \Delta Y$, 合成矢量是一条直线。实际上没有必要得到这样的函数发生器, 因为人对较小的亮度变化感觉并不十分灵敏, 可以采用简单近似匀速的方法^[3]。在本线发生器中采用如下方法: 给定 X, Y 两个方向的增量 $\Delta X, \Delta Y$ 后, 先确定其中较大值, 如 $\Delta X > \Delta Y$, 则在画线过程中保证 X 方向的画线速度为常数 K , Y 方向的画线速度为 $K \cdot \Delta Y / \Delta X$ 。它们的速度比保持不变为 $\Delta X / \Delta Y$, 合成矢量的轨迹为一条直线, 速度为 $\sqrt{K^2 + (K \cdot \Delta Y / \Delta X)^2}$ 。它与要求的恒定速度 K 之间的误差为 $\sqrt{1 + (\Delta Y / \Delta X)^2}$ 。这是一个与 $\Delta X, \Delta Y$ 长度有关的一个变量, 其最大误差出现在 $\Delta X = \Delta Y$ 时, 最大误差值为 $\sqrt{2} = 1.414$ 倍, 即在显示屏上当画不同方向的线段时, 速度可在 $K-1.4K$ 的范围内变化。这样的速度误差所引起的光点亮度的变化人们是不易觉察到的, 且较易实现。

根据以上分析,本线发生器的工作原理如下(见图2): 首先给出画线的起点坐标 X, Y 值,经 D/A 转换器③,④,相加器⑤,⑥送至 X, Y 偏转放大器确定画线起点。接着给出所需画线的一组增量值 $\Delta X, \Delta Y$, 由数字比较器⑦比较两者的大小,如果 $\Delta X > \Delta Y$,

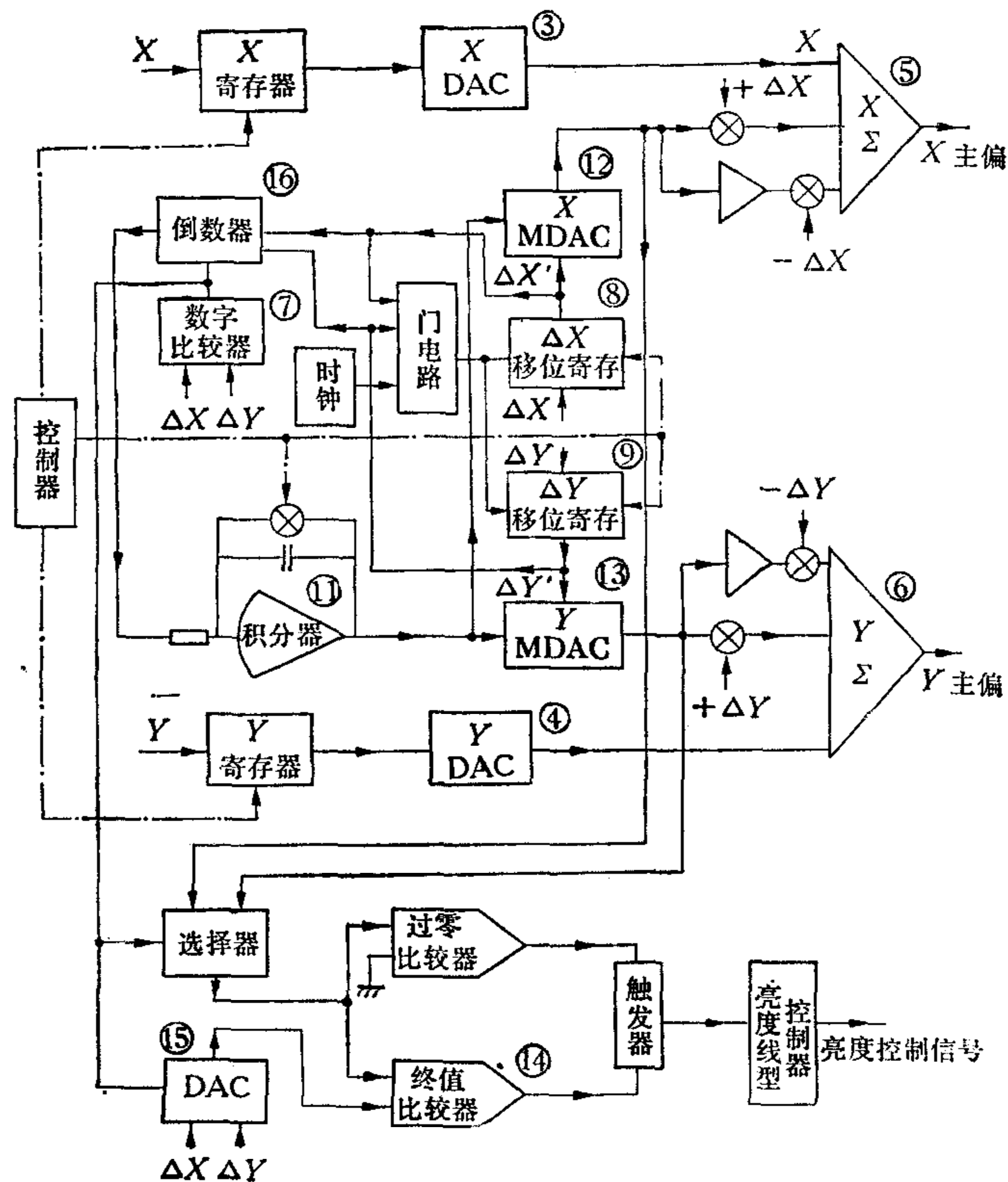


图 2

则将 ΔX 送至倒数器⑩,取倒数后送入积分器⑪,积分器的输出电压为 $K/\Delta X \cdot t$,将此值送至 X, Y 两个 MDAC⑫,⑬中分别乘以 $\Delta X, \Delta Y$.在 X MDAC⑫的输出端给出的电压值为 Kt ,在 Y MDAC⑬的输出端给出的电压值为 $(K \cdot \Delta Y/\Delta X)t$,这就达到了上述近似匀速的要求.此值分别经 X, Y 相加器⑤,⑥后,再送至偏转放大器.对画线长度的控制是通过终值比较器⑭来实现的.将 X MDAC的输出量与 ΔX 经 D/A 转换器⑮的输出量进行比较,当 X MDAC的输出值达到要求的 ΔX 值后,比较器⑭给出信号使积分器⑪停止积分,积分器回零.同时控制器将 $X + \Delta X, Y + \Delta Y$ 送入 X MDAC⑫及 Y MDAC⑬,作为画下一条线的起点.如 $\Delta Y > \Delta X$,则将 ΔY 送到倒数器⑩中,并以 ΔY 作为终值比较器的比较信号,与 Y MDAC的输出值比较,方法同上.

在画线过程中,可能要画全屏幕 $1024r \cdot u$ 的长线,也可能只画 $1r \cdot u$ 的短线,在这两种极端情况下,倒数器的输出值及积分器的积分速度可以相差1000倍,这给线路设计、系统控制及画线精度等都带来很大困难.若将 $\Delta X, \Delta Y$ 同时增加相同的倍数,使 $\Delta X' = A\Delta X, \Delta Y' = A\Delta Y$,再对 $\Delta X'$ 取倒数 $1/\Delta X' = 1/A\Delta X$,经积分器⑪送至 X MDAC⑫,及 Y MDAC⑬,分别乘以 $\Delta X', \Delta Y'$,则 MDAC⑫及⑬的输出值与 $\Delta X, \Delta Y$ 不经放大时的输出值一样仍为 Kt 及 $(K \cdot \Delta Y/\Delta X)t$.据此,当画线长度小于 $512r \cdot u$ 时,将 $\Delta X, \Delta Y$ 寄存器中的 $\Delta X, \Delta Y$ 值同时左移(放大相同倍数),直到其中任一寄存器的最高位出现“1”时为止.将移位后的值经倒数器到积分器,再送至对应的 X, Y MDAC的

输入端。用这种方法画 $1024r \cdot u$ 的长线与 $1r \cdot u$ 的短线，倒数器的输出电压及积分器的积分速度仅差两倍，这就解决了上述困难。在线路中仅需加入移位寄存器⑧,⑨。线发生器的工作流程及各主要部件的输出波形见图 3、图 4。

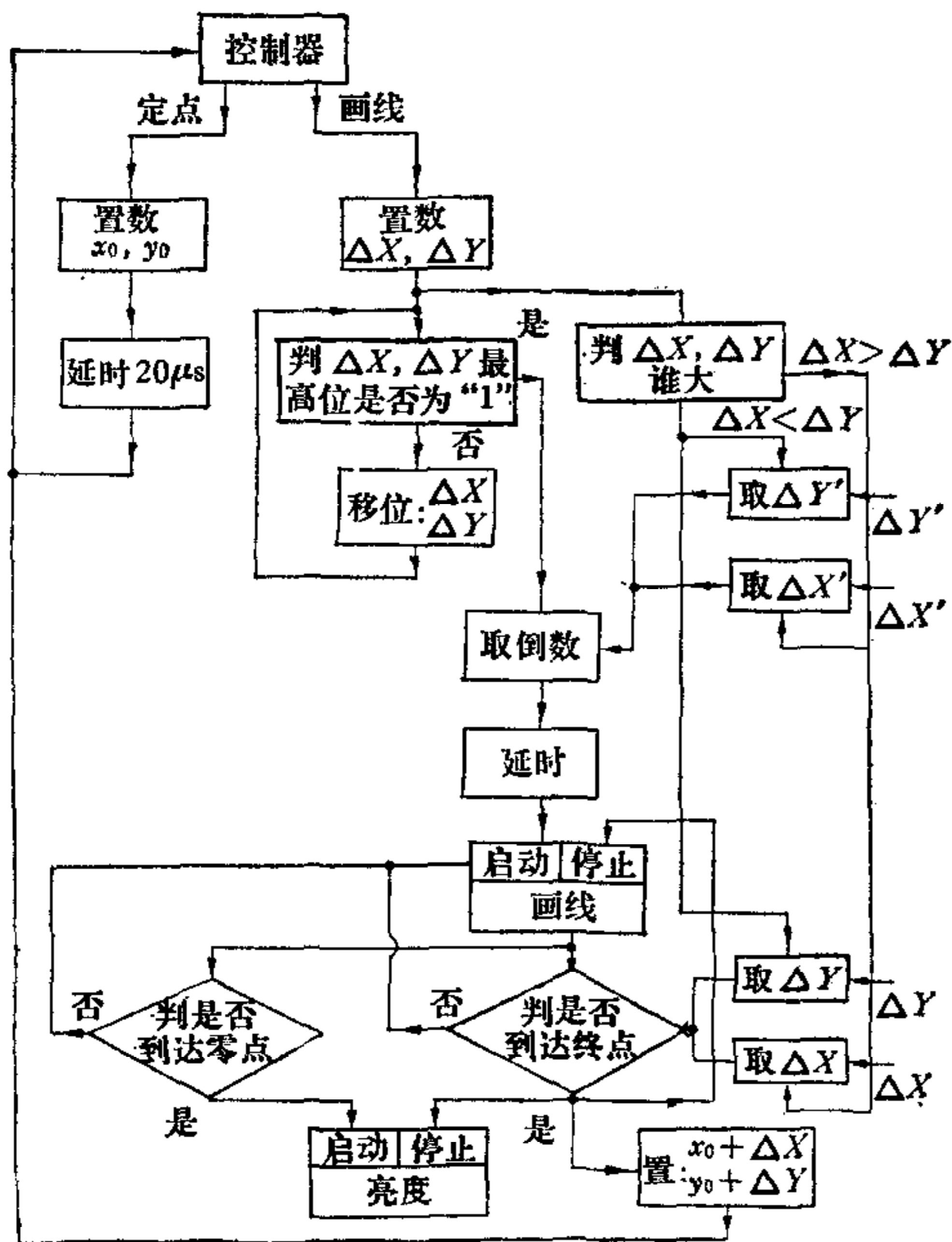


图 3

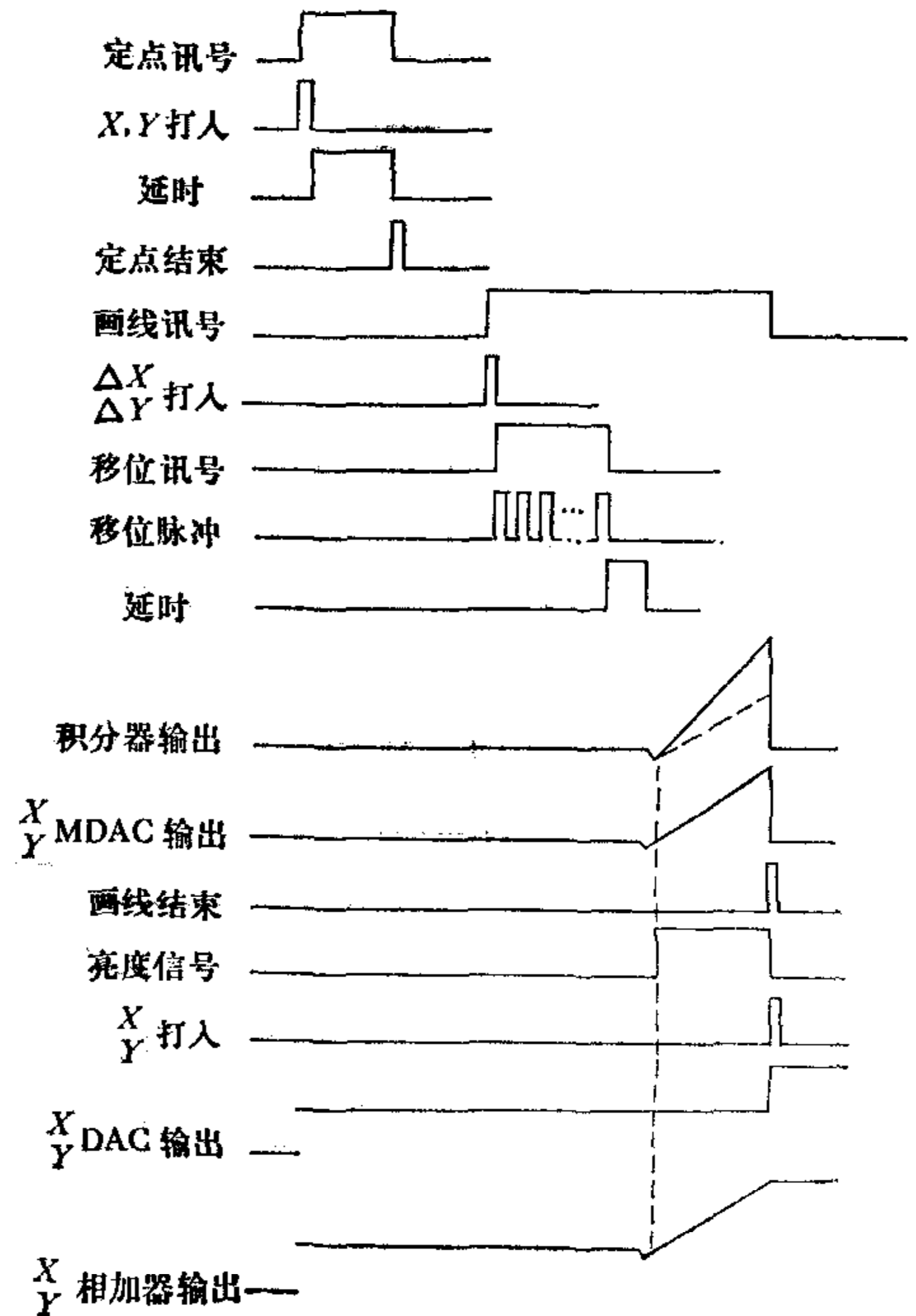


图 4

三、几个关键问题

由于线发生器中模拟部件工作频率高(数字部分的工作频率高达 10 兆),基准电平低(仅 4 伏),精度要求高 (< 0.05%), 因此,一些在一般模拟装置中本来已是十分麻烦的问题变得更为突出。这些问题是:

1. 模拟开关

在图 2 的模拟通路中采用了大量模拟开关,由于模拟通路中模拟信号本身最大幅度较小,电流较大,且有频率和幅度的变化,因此,要求这些开关既保证模拟讯号流通的正确性,又需有一定的开关速度。在本方案中用 MOS 型场效应晶体管作为模拟开关。

众所周知, MOS 型场效应管是一种较理想的模拟开关,它有许多优点,但在模拟输入信号及室温变化时,场效应管的阻值会发生相应的变化。在本方案中,开关经常处于图 5 所示的状态,其中 $R = 2K$, 因此开关电阻只要有 2Ω 的变化,就会引起 0.1% 的误差。这是不允许的。

MOS 型场效应管的导通电阻决定于 $R_{ON} = 1/K(V_{GS} - V_{Th})$, 其中, $V_{Th} = \sqrt{V_{SB}/1.3}$, K 是与沟道的几何尺寸及管子所用的材料有关的常数^[3]。因此导通电阻决定于源-栅电压 V_{SG} 及源-基电压 V_{SB} 。实验证明,如能保证 V_{SB} 非常小,且不随输入信号变化而变化,同时 V_{SG} 足够大,则当输入讯号变化时(如 0—4V 之间), R_{ON} 值的变化可小于 0.5Ω 。如

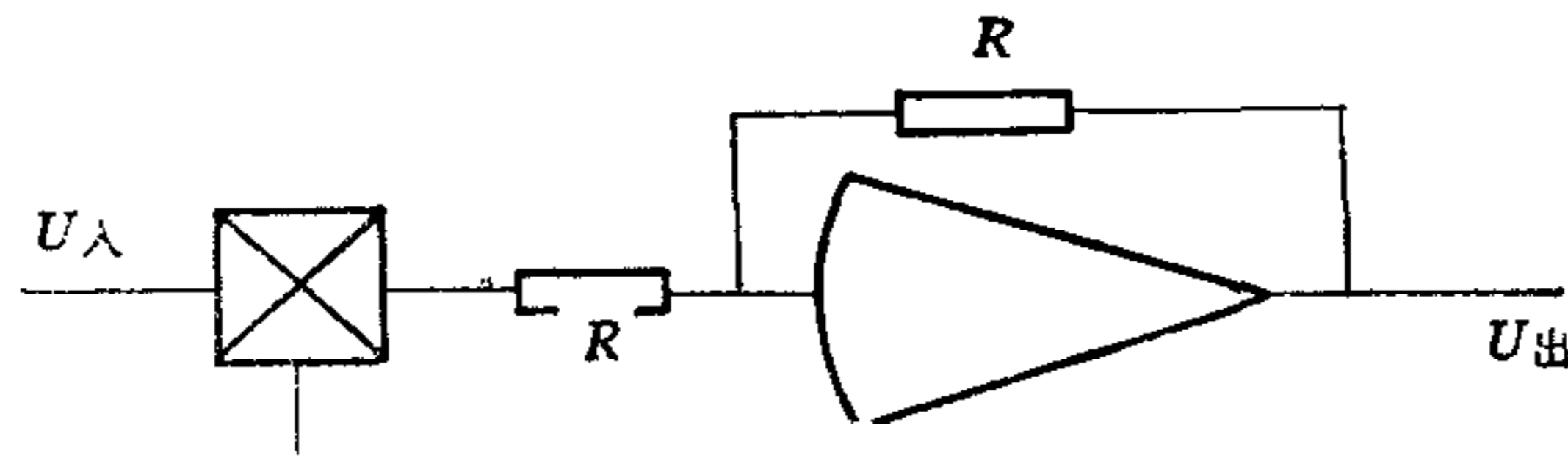


图 5

同时对开关管进行温度补偿，则开关完全能满足精度要求，其静态动态误差都小于 0.025%。

2. 积分器的控制

由线发生器的工作原理可知，当积分器开始积分时画线也就开始。积分器的工作是由开关来控制的，见图 6。

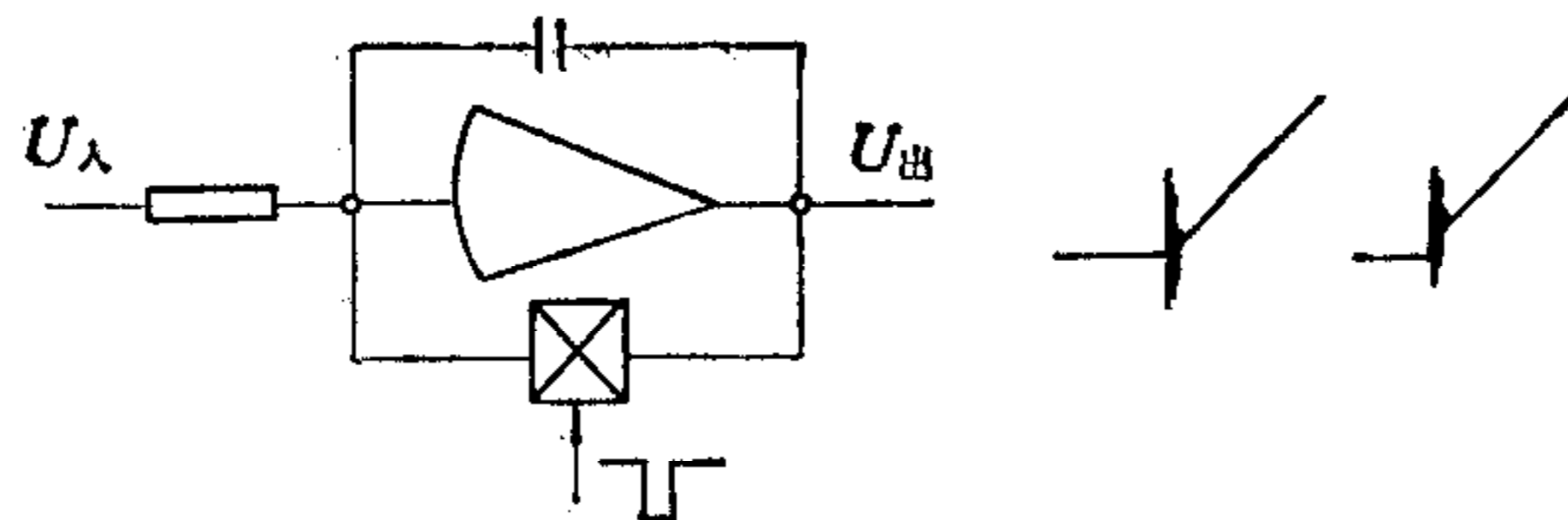


图 6

由于开关驱动信号的电压较高及分布参数的存在，使积分器的输出在积分开始时发生跃变或产生很大的毛刺(见图 6 右)。较大的毛刺可使偏转放大器饱和。即使积分器输出一个理想的积分信号，因主偏转放大器是一个有较大电感、电阻的惯性环节，所以它的输出相对积分信号有一定的时延。时延的大小与输入积分信号的斜率有关。时延的存在使发生的线段在开始部分发生弯曲或亮度变大。

为了避免上述情况的产生，令积分器不从零电压开始积分，而从负值向正值积分，同时在线路中增加一个积分过零比较器，当积分信号达到零值时，过零比较器给出信号使显示屏辉亮；当积分信号达到要求值时，终值比较器给出信号使显示屏亮度消失，由此达到线段平直，亮度均匀(见图 7)。

3. 线段的精度

为保证线段长度的准确与稳定，必须：

- 1) 过零及终值比较器时延小，翻转速度快，温度漂移小，且当进行比较的两个信号值接近相等时，比较器本身不发生振荡。

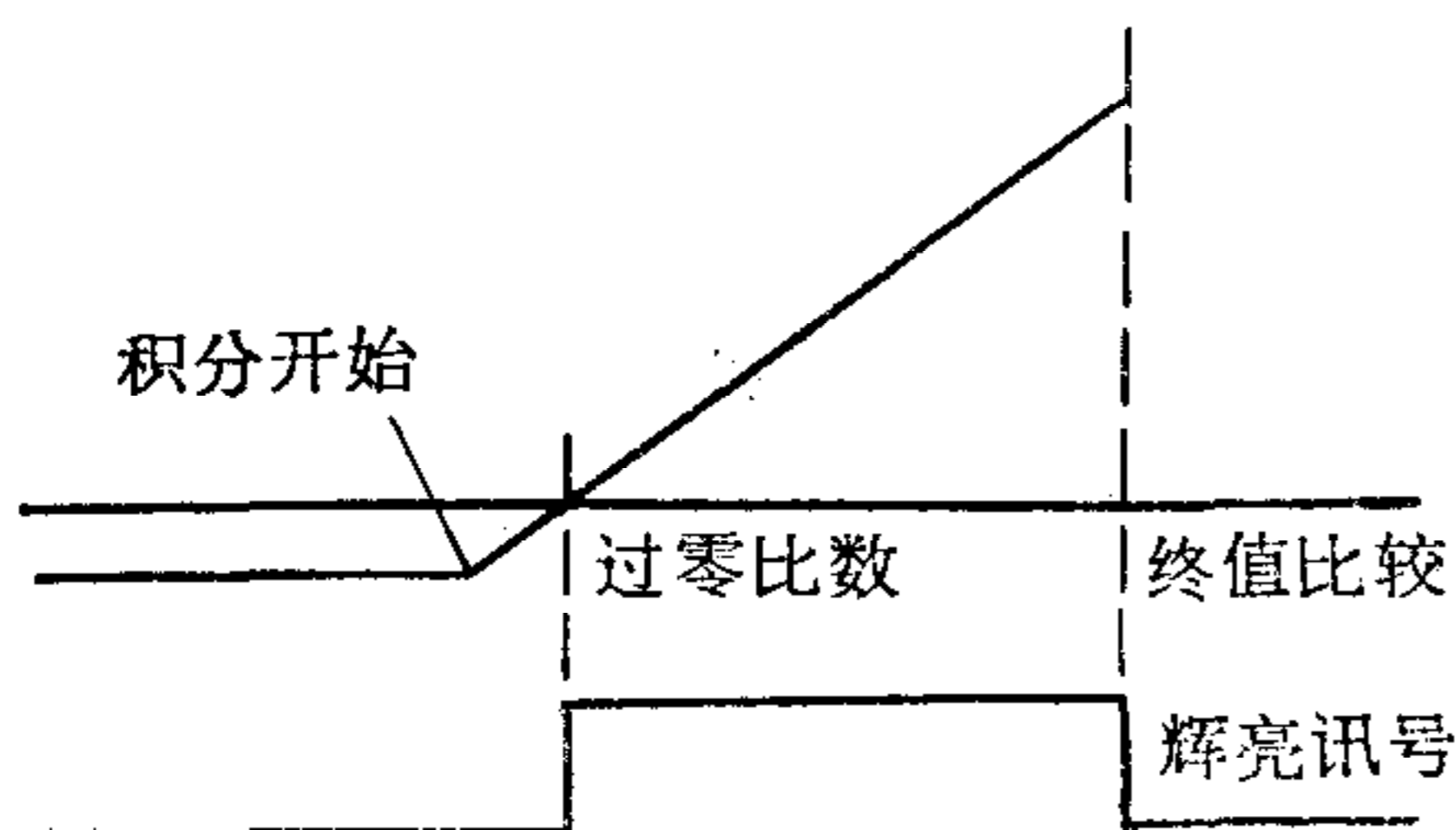


图 7

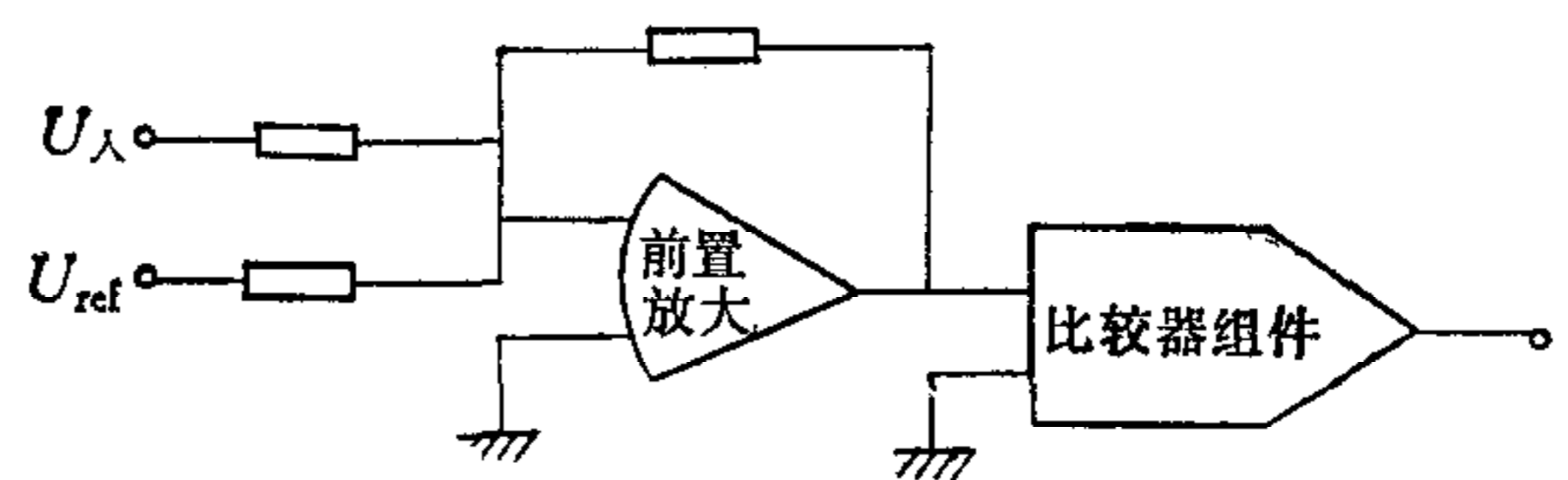


图 8

比较器组件的主要问题是当输入比较信号接近相等时比较器本身发生振荡,为此在比较器线路中加入一级前置放大,将比较信号进行预放大,只要前置放大器有足够的放大倍数,就可以有效地使比较器不发生振荡(见图8)。

2) 因 X, Y 两个方向的画线信号是由两个模拟通路产生的,且在 X, Y 两个通路中又各有正反两个画线方向,由此组成四种画线方向 ($+X, +Y, +X, -Y, -X, +Y, -X, -Y$), 分别通过四个通路进入 X, Y 相加放大器的输入端。除必须保证以上各个通路中各个部件(如开关、倒相器、相加器等)本身的静态、动态精度外,还必须使各个通道之间的静态、动态误差相同。如通道之间的相移误差为 $40\text{ns}—80\text{ns}$, 就会给显示出的图形带来可观察到的畸变。为此,除了对各部件提出严格的静、动态误差要求外,并在各个

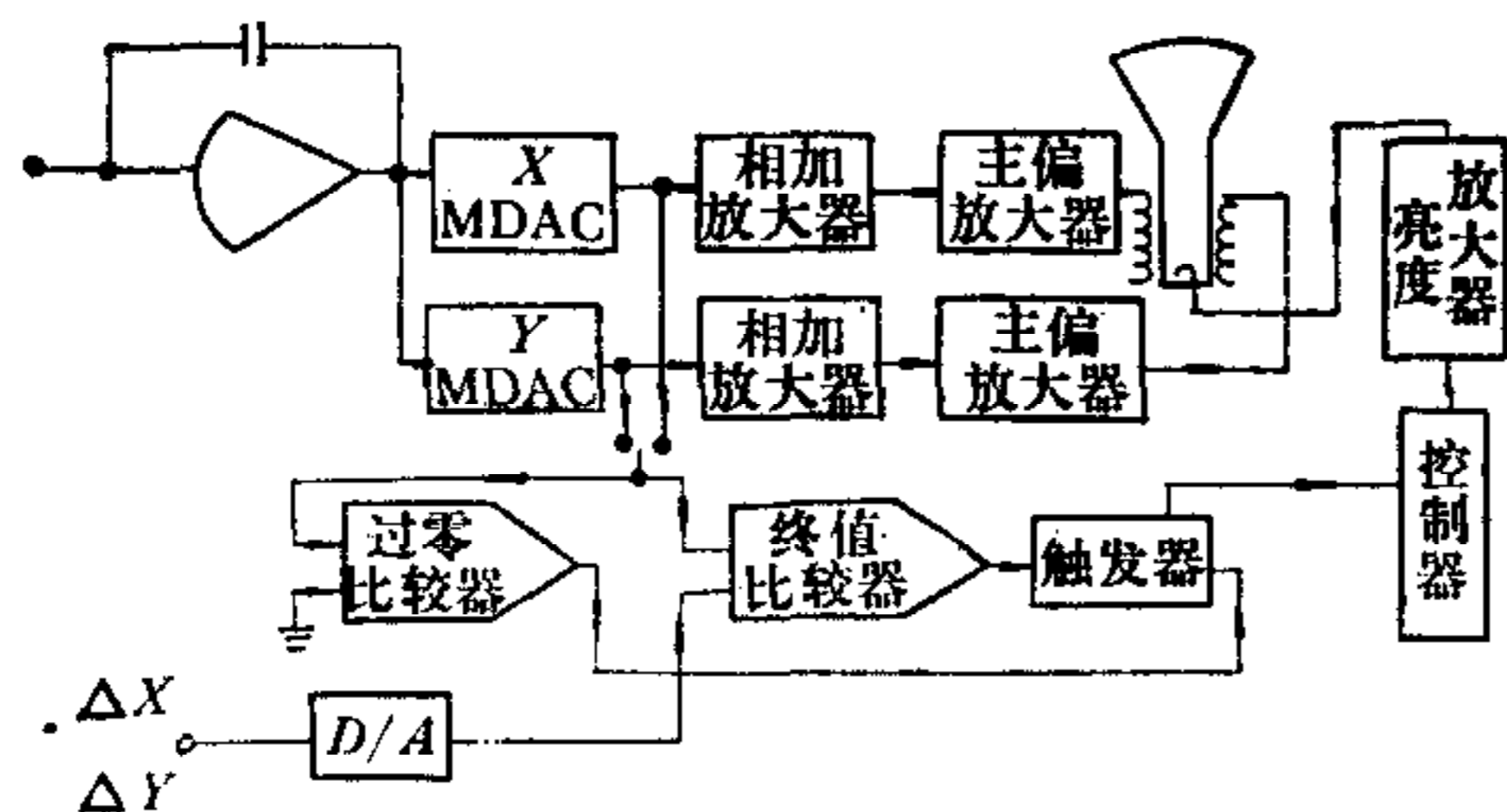


图 9

通路中加入相移校正网路,对输出讯号的动态误差进行精细的调整,以保证各路之间的动态误差小于 40ns 。

3) 由于显示屏上亮点的移动是由显象管主偏放大器控制的,而亮点的亮度是过零及终值比较器输出的辉亮信号经触发器、控制器后由亮度放大器控制的(见图9),它们之间如有 $40—80\text{ns}$ 的误差,在显示屏上就会

产生不连续的线段。因此,除了必须对过零及终值比较器本身进行精确的调整外,还必须对三个通路进行仔细的补偿与调整,以使亮点的亮度控制与亮点的移动能够同步。

4. 屏蔽与接地

在 GTX-A 型图形显示器中,有大量的数字部件,主频为 10MC , 在线发生器中也有大量的数字控制部件、开关部件及开关驱动部件等,有的工作电压达 20V 。由于交联感应,在线发生器的输出讯号上叠加了一个很大的高频干扰信号,使显示屏上显示的线段很粗,甚至使一些模拟部件或整个系统不能正常工作。为排除交联感应对系统的干扰,必须: 1) 将数字部件、模拟部件使用的电源、地线严格区分开来并进行去耦; 2) 将线发生器加以严密的屏蔽,尤其是将模拟部分加以多层屏蔽; 3) 对进入线发生器的所有控制线及线发生器中数字部分到模拟部分的所有控制线进行高频去耦。

由于采取了上述措施,大大提高了线发生器的抗干扰能力。考机鉴定时,在共用一个电源的 16 寸风扇及 13mm 电钻各启停 30 次的情况下,线发生器仍能正常工作,显示的图形不受任何影响。

四、结 束 语

本线发生器实际上是一个数模混合系统。它每次画线的起点与终点是由数字量直接通过 D/A 转换来控制的,因此不存在积分器误差积累,图形的重复性很好,画线速度快,画面清晰,精度基本上达到要求(目前画直径 $8r\cdot u$ 的小圆尚有可分辨的畸变),线段平滑美观,并能画出较复杂的图形^[9]。

模拟式线发生器的实现在技术上远比任何一种数字式线发生器困难得多,但它速度高,线段美观,使光笔图形显示器可以付诸实用。采用此线发生器的 GTX-A 型高速光

笔图形显示器的性能为 $40\text{ns}/r\cdot u$, 精度接近 0.1% 。

参加此项任务的还有胡海涛、曹柱卿及天津无线电二厂宫振玲等同志, 并得到陈由迪同志许多宝贵的指导。

参 考 文 献

- [1] William M. Newman, Robert F. Sproull, *Principles of Interactive Computer Graphics*, 1973, McGraw-Hill Inc.
- [2] Leonard F. Haliu, A Lowcost. High Performance Constant-velocity Vector Generator. *SID Journal*, 11(1974), No. 4.
- [3] 江丕恒等五人合编, 场效应晶体管及其集成电路. 国防工业出版社.
- [4] Samuel Davis, *Computer Data Displays*, 1969, Prentice-Hull Inc.
- [5] Jim R. Naylor, Testing *D/A And A/D Converters*, *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, Cas-25 (1978) No. 7.
- [6] Granino A. Korn, Theresa M. Korn, *Electronic Analog And Hybrid Computers*, 1964, McGraw-Hill Inc..
- [7] 朱培基, 模拟计算技术及其应用, 1964年, 科学出版社.
- [8] 陈震初、徐宇春、魏凤铤, 董安芬, 快速、高精度电流开关型数/模、模/数转换器. *微电子学与计算机*, (1978) No. 4.
- [9] 陈由迪等, GTX-A 型高速图形显示装置, *自动化学报*, 4 (1982), No. 4.

A HIGH SPEED ANALOG VECTOR GENERATOR BASED ON CONSTANT VELOCITY

CHEN YIZAI

(*Institute of Automation Academia Sinica*)

ABSTRACT

The vector generator is the key unit for determining the drawing speed, precision and performance of a random scanning graphic display device.

In this paper, a high speed analog vector generator is described. In this scheme, a well designed integrator with MOS-FET electronic switches is used to generate the ramp voltage-time waveform which is shared by two multiplier D/A converters (MDAC). The strictly proportional X axis and Y axis deflecting signals with both high speed and precision are derived from these two MDAC. A graphic display device GTX-A equipped with this vector generator has performances as follows: $120\text{ m}/30\text{ ms}$ and nearly 0.1% precision.