

科技通讯

KE JI TONG XUN

新疆物理研究所

一、序言：

遵循毛主席的教导：“中国人民有志气、有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平”。我所一九七四年与新疆地质局实验室协作，研制了针对地质矿石矿物分析特点的“GDY—74 1 型光栅光谱仪光电直读系统”，后又在中国科学院北京电工所的协作下，进一步完成了“GDY型光电直读光栅光谱仪电子计算机系统”。并于一九七六年在新疆地质局实验室进行了试生产，性能良好。

我们现在编写的这份资料，比较全面的总结了过去几年在系统电气部分工作的情况，由于时间匆忙，这份资料未经新疆地质局、北京电工所有关同志的审看。我们很希望这份资料出版后能得到各兄弟单位的宝贵意见。

还应该指出为了进一步完善与提高这一系统，并投入批量生产，根据国家地质总局的意见，目前新疆地质局实验室，正进行将系统改用国产WPG—100型平面光栅摄谱仪的工作，我所配合编制多内标自动排除野点的分析程序，这些工作完成后定将大大扩展、提高整个系统的功能。

在我们几年来的研制工作中，得到了上级单位的大力支持，与国内许多兄弟单位的热情协作，在此，我们再次表示感谢。

毛主席语录

阶级斗争是纲，其余都是目。

只要我们更多地懂得马克思列宁主义，更多地懂得自然科学，一句话，更多地懂得客观世界的规律，少犯主观主义错误，我们的革命工作和建设工作，是一定能够达到目的的。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

华主席最近对科学工作的指示

科学要兴旺发达起来,要捷报频传。

前 言

英明领袖华主席最近指示：“科学要兴旺发达起来，要捷报频传”。还指示：“有毛泽东思想，有毛主席制定的革命路线，有社会主义制度，有现在这样一支科技队伍，有八亿勤劳勇敢的人民，我们应当有信心赶超世界先进水平”。华主席的指示说出了广大科技人员的心里话，给了我们无穷的力量，我们决不辜负华主席的殷切希望，在华主席、党中央“抓纲治国”的战略决策指引下，决心为实现伟大领袖毛主席和敬爱的周总理规划的四个现代化而努力奋斗。

几年来，祸国殃民的“四人帮”肆意践踏党对科学工作的方针、政策，严重地干扰、破坏了我国的科学事业，搞乱了科技战线上的路线是非，搞乱了人们的思想，严重地挫伤了广大科技人员的积极性，所有这些，科技战线的干部、科技人员都看在眼里，恨在心头。以华主席为首的党中央一举粉碎“四人帮”，科研得解放。我们一定要认真学习贯彻落实华主席对科学工作的指示。进一步深入揭批“四人帮”，把他们搞乱的路线是非纠正过来，把他们造成的损失夺回来，努力把科研工作搞上去。

为了迎接即将召开的全国科学大会，向华主席、党中央、自治区党委，汇报我所的科研工作，向大寨学习、向大庆学习，向先进的兄弟单位学习，交流科研经验，我们编印了这本“科研通讯”。

“科研通讯”是我所不定期的内部交流资料，包括放射性同位素应用、电子技术应用、半导体器件及应用三个方面的内容，今后将根据科研进展情况选登。

我所地处边疆，水平有限，交流资料中由于水平限制，可能会出现这样或那样的缺点错误，请批评指正。

中国科学院新疆分院物理研究所

目 录

一、序言

二、GDY型光电直读光栅光谱仪电子计算机系统概述

三、光电直读装置电路设计

(一) 方框图及技术指标

(二) 单元电路设计

1、积分电路与高阻衰减电路

2、测量放大电路

3、内标电路

4、元素选择电路与自动控制电路

5、模数转换电路

6、电源

(三) 技术特性测试

1、重现性测试

2、直线性测试

3、对数转换直线性测试

四、计算机系统接口电路设计

1、光电直读接口

2、光电输入接口

3、电传输入接口

4、电传输出接口

5、显示等接口

五、计算机系统的抗干扰问题

六、GDY型光电直读光栅光谱仪电子计算机系统浮点程序

(一) 浮点程序说明

- 1、数的定点及浮点表示法
- 2、浮点程序的几个规定
- 3、浮点运算的基本指令
- 4、扩展函数
- 5、输入程序
- 6、输出程序

(二) 浮点程序框图

- 1、加法框图 FLAD
- 2、乘法框图 FLMY
- 3、除法框图 FLDV
- 4、浮点输入程序框图 FLINTP
- 5、浮点输入十变二框图 DECONV
- 6、单字符输入框图 INPUT
- 7、输出打印程序框图 FLOUTP
- 8、二变十部分框图 FOUTCN
- 9、打印部分框图 TGO

(三) 浮点程序

(四) JS—10A机指令表

- 1、指令说明
- 2、指令表

七、参考资料

二、GDY型光电直读光栅光谱仪电子计算机系统概述

光谱分析中的一种新颖方法——光电转换直读光谱是一种快速、低耗、高灵敏及准确度好的方法。它的分析速度比一般化学分析或传统光谱相板法都快得多。因此近年来得到国内外高度的重视。

对于地质矿石、矿物的分析，由于分析对象的组分复杂，被测定元素种类繁多，分析样品数量较大，而且含量变化范围很大，因此在地质工作中应用光谱光电直读这种先进方法，不论在设计思想，分析方法、仪器制造、数据处理上，都需要解决一系列技术问题，这些问题主要是：

1、各种波区光电转换元件的微型化，出射狭缝的整体化。光电头中采用元素选择机构以提高其抗干扰选择性能。

2、采用制造及使用简单、准确、快速的新光源，以及研究制订各种地质矿石、矿物的分析方法。

3、实现分析自动化，显示数字化。从而提高分析的精度与速度。

4、采用电子数字计算机，进行数据处理以期在烧样后立即打印出被分析元素的百分含量，进一步提高分析的精度与速度。为此整个系统由WDF—2型交流电弧发生器，样品引入部分WSP—2型半米光栅摄谱仪，GDY—1型，GDY—2型光电头，GDY—741型光电直读装置，JS—10A电子计算机、计算机接口、B—55电传打字机、RGK5—8—1型光电输入机、隔离变压器等组成（附图一）。

根据选定的光谱谱线的特定位置，在可见及近红外光范围内（从3900Å—8400Å）分三波段刻制了三种整体出射狭缝板共计71道，包括26种元素，光电头中采用了特制的微型CrS及CdSe光敏电阻，对应于上述波区铺设了三个光电转换元件组合。在近紫外光区仍采用光电倍增管。

在样品引入部分，同时采用撒喷结合的方法，使粉末样品分散、均匀、稳定的引入弧焰或采用喷液法喷入背景，提高测定的重现性。

光电直读装置采用电容式的电荷累积法，得到谱线的平均强度。整个装置由高阻衰减电路、积分电路、元素选择电路、测量放大电路、内标电路、自动控制电路、对数转换电路、模数转换电路、恒温电路和稳压电源等组成。

JS—10A电子计算机字长16位，内存容量4096字，运算速度3万条指令/秒。运算方法系定点、串行、单地址。共有37条指令（包括22条微指令）。中断系统共有4个中断入口、采用程序查讯方法。通过中断接口，每个入口可扩展至16个中断。JS—10A机装置了一条oc电路构成的输入输出总线，具有双向传输的性能，输入输出均通过这根总线并行工作。

为了避免定点机选取比例因子这一十分繁琐的工作，我们编制了一套浮点程序。以提高运算精度，并引进指数函数和对数函数。所谓浮点运算在此实质上是个三字长运算的问题，以一个字表示数的阶，两个字表示数的尾数。系统配用的数据分析主程序，是依据最小二乘法来算出实验曲线的斜率与截距，再按罗马金公式求出被测元素的百分含量。

系统工作时被分析试样在蒸发及激发气体发光后，摄谱仪光学系统分光展成元素的线状

光谱，投射到光电头内对应的光敏管（GDY—1型光电头）或光电倍增管（GDY—2型光电头）上，产生光电流对各路积分电容充电，形成电压讯号。测量电路对积分电压以次进行测量，可由电表输出读数。同时被转换成相应的五位十进数字直接显示出来，并经由光电直读接口电路将一组串行二进制计数脉冲送入JS—10A主机。JS—10A机根据预先编好的、由RGK 5—8—1光电输入机送入的程序进行操作和运算，而由B55型电传打字机直接打出被测矿样各元素的百分含量。

按照预先安排的操作步骤，“准备”、“预燃”、“积分”、“测量”、“换样”，整个系统即可连续自动进行分析工作，工作人员只需不断换上新的被测样品。JS—10A电子计算机在“积分”后自动启动进行数据处理，并控制B—55电传打字机不断打出新的分析结果。

整个系统的主要技术指标为：

1、整个系统总共可以测定26个元素。

2、光电直读部分最多可使用16个测量通道，第一通道可兼作内标通道，第11—15通道为低含量通道，第16通道为微含量通道。

3、测量放大电路输入阻抗不小于 $10^{10}\Omega$ 。采用同时积分，逐次测量方式。光电流累积过程与测量过程不在同时进行。

4、分析过程按“准备”、“预燃”、“积分”、“测量”、“换样”固定程序自动进行，各步时间可根据需要调节。

5、除计时曝光外。采用内标工作时，可实现内标自动曝光，自动曝光时间可以调节。也可利用计算机自动扣除背景，并以内标法 $(\lg \frac{I_1}{I_0})$ 的形式进行运算。

6、与元素含量的对数成比例的积分电压可以由表头直接输出，也可以由五位十进数字管显示，（显示数值也可以自动转换为相应对数值。）

7、计算机输入，可以由穿孔纸带通过光电输入机送入。也可以由工作人员通过电传打字机键盘直接送入。必要时也可通过计算机面板板键置入。

8、计算机的输出，由B55电传打字机直接打出分析结果。

三、光电直读装置电路设计

(一) 方框图及技术指标:

本装置系采用电容的电荷累积法,以得到谱线的平均强度。整个装置由高阻衰减电路、积分电路、元素选择电路、测量放大电路、内标电路、自动控制电路、对数转换电路、模数转换电路、恒温电路、稳压电源等组成〔附图1〕,分装成五个盘。

被分析试样在蒸发及激发气体发光后,摄谱仪光学系统分光展成元素的线状光谱,投射到光电头内对应的光敏管(GDY—1型光电头)或光电倍增管(GDY—2型光电头)上,产生光电流对各路积分电容充电,形成电压信号。测量电路对积分电压依次进行测量,可由电表输出读数,同时经模数转换电路直接数字显示出来。光电流累积过程与测量过程不在同时进行。谱线强度与元素含量的对数成比例,因此测得积分电压,通过曲线作图也就间接测出了元素含量。

装置的主要技术指标为:

- 1、采用同时积分,逐次测量方式。
- 2、最多可使用16个测量通道,第1通道可兼作内标通道,第11—15通道为低含量通道,第16通道为微含量通道。
- 3、分析过程按“准备”、“预燃”、“积分”、“换样”并显示测试结果固定程序自动进行。各步时间可根据需要调节。
- 4、除“计时曝光”外,采用内标工作时,可实现“自动曝光”,自动曝光时间可以调节。
- 5、测量放大电路输入阻抗不小于 $10^{10}\Omega$ 。
- 6、模数转换电路系五位十进制数字显示。可以将输出数据转换为相应对数值。

(二) 单元电路设计:

1、积分电路与高阻衰减电路:

积分电路的目的,在于将曝光期间光电头输出的光电流进行能量储存〔附图2〕。当电容器C由恒定电流I充电时,(或者当电容积分电压 V_c 与充电电压相比可忽略时),有关系式

$$V_c = \frac{It}{C}$$

其中 t 为积分时间。显然当 C 、 t 一定时,电压 V_c 与电流 I 成正比。电压 V_c 直接反映了相应元素含量的多少。但由于电容器实际存在漏阻 R ,上式仅当积分时间(电容器充电时间) t 比电容器漏电时间常数 RC 小许多时才正确。

显然对同样电荷储存,电容器容量越小,相应充电电压将越高。即小容量积分电容有较高灵敏度。

设计中要注意选择积分电容的容量,使用的电容器要有较高绝缘电阻尽可能小的介质损耗。并注意保持积分电路的清洁、干燥、以及必要的金属外壳屏蔽密封。目前,各积分电容的容量是这样配置的:

通 道 数	采用电容量	通 道 用 途
1—10	1·5 μ f	一般含量测试
11—15	0·2 μ f	低含量测试
16	0·1 μ f	微含量测试

高阻衰减电路在高含量时使用，可对积分电压进行1：1，10：1，20：1的衰减。

2、测量放大电路

在爆光结束后，测量放大电路对积分电压依次进行测量，对测量放大电路的要求主要为〔附图3〕：

① 应具有高输入阻抗。否则在测试过程中，就将漏放积分电容器存储的电荷，带来测量误差。对1·5 μ f积分电容，损失1%的存储能量所允许的持续测试时间如下表示：

积 分 电 容 量 (微 法)	$\approx R$	$\approx \times R \cdot C$ (秒)	允许持续测试时间 (秒)
	$10^8 \Omega$	1.5×10^2	1.5
1·5	$10^{10} \Omega$	1.5×10^4	150
	$10^{12} \Omega$	1.5×10^6	15000

其中 $\approx R$ 为测量电路输入阻抗、积分电容绝缘电阻、以及其他杂散电阻（如继电器接点绝缘电阻等）的并联总和。显然可见，测量电路的输入阻抗应为 $10^{10} \Omega$ 以上，才能满足要求。

② 积分电容器电压由于被测元素含量的差异，可有3—4个数量级的变化。因此测量放大电路应适应信号的大动态范围变化。

③ 较好的重复性和线性。

在设计测量放大电路时，我们首先比较了场致效应管J—FET,MOSFET以及电子管等器件。J—FET输入阻抗一般仅可作到 $10^8 \Omega$ ，不能满足测量要求。MOSFET输入阻抗可以达到 $10^{13} \Omega$ ，一般也可达 $10^8 \Omega$ ，但其栅极对感应电压极其敏感，不允许栅极瞬时悬空，而电路又要求一次积分多通道轮流测试，这就给电路设计带来了困难。采用场致效应管，电源电压不可选得过高，在满足信号的大动态范围（主要是高含量时）也会有一定的困难。而一般电子管栅极与其它各极间的漏电阻为 $10^{12} \Omega$ — $10^{13} \Omega$ 数量级，其栅流在适当选择工作点后，可小到 $10^{-8} \sim 10^{-9}$ A甚至 10^{-10} A。采用阴极跟随器电路，在满足动态范围时，也较容易。因此，我们最后选用国产6N1双三极管组成阴极跟随器电路。

对于这种直流电压测量电路，提高供电电压的稳定性显然是非常有必要的。同样重要的一个问题是如何选用本身稳定度很高的电路。在各种稳定度很高的放大电路中，首先应推选平衡式或桥式电路。本仪器采用6N1组成差分阴极跟随器，（附图3）即为一种典型的平衡式

电路。当波段开关 K_3 在“测量”挡上，被测通道的积分电容即通过镀金插头S33—3接到电子管 τ 的左栅极上。其右栅极固定接0V，两个板极通过另点粗调电位器接+100V稳压电源。两个阴极通过2个150K金属膜电阻与另点细调电位器接-100V电源。由两个阴极对地平衡输出。

当在测量位置时，积分电容器的绝缘电阻就构成此时电子管的高阻值栅漏电阻。由于接成阴极输出器形式，不仅具有高输入阻抗，低输出阻抗的特点。而且使测量放大电路可以容许最大的信号动态范围和具有较好的直线性。

这种平衡式的差分电路，只要电路满足完全对称的条件，供电电源的变化将不会影响输出电位。对于发生在电子管内部的那些由于阴极发射不稳，栅极与阴极接触电位差的改变等所引起的变化，可以用分别作用在两个电子管阴极电路里的等效干扰电压来表示。当两个电子管完全一样时，这两个干扰电压也一样大，因而差分跟随电路的输出将没有漂移。实际上将选不到两个特性完全一致的电子管。因此差分跟随器的输出仍有一定的另点漂移，但比一般电路要小得多。这样就使测量数据有较好的重现性。

电子管两阴极间负载电阻的实际大小，将影响此差分跟随器的输入阻抗数值，从而影响测试期间积分电容器储能的消耗。这在11—16通道，由于积分电容器容量较小，而表现更为明显。实际工作中，在插孔I可以接入微安表，读取电流数值，也可以接入直流电压表，读取电压数值。后者对输入阻抗的影响较小，且有较电流读数大得多的线性。

在内标电路中由于输入也要求高输入阻抗电路，故也由6N1组成差分跟随器，其二阴极间的平衡输出信号，再送到专门的内标电路去进行处理。

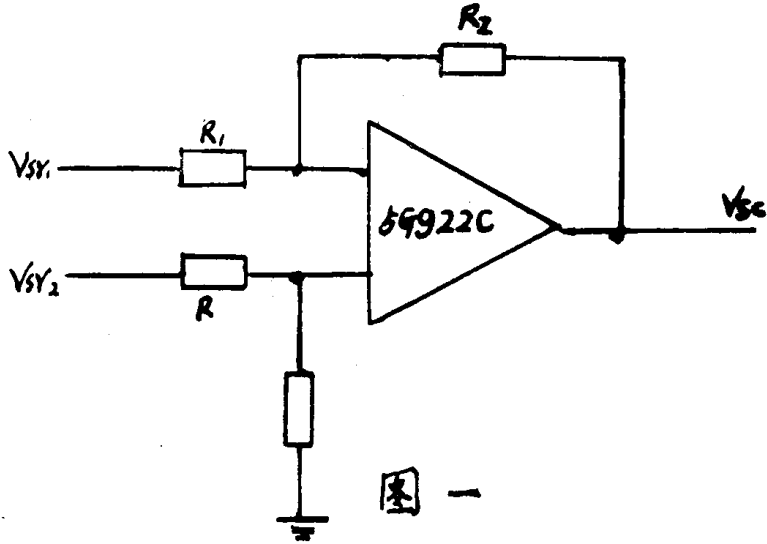
3、内标电路

内标电路一般采用相敏放大器方案来实现。本仪器采用线性集成电路5G922组成差动比较器来完成内标功能。〔附图3〕

当线性集成电路（运算放大器）接成差动输入时（图一），有基本关系式为：

$$V_{sc} = -\frac{R_2}{R_1}(V_{sr1} - V_{sr2})$$

其中 V_{sc} 为电路输出电压， V_{sr1} 、 V_{sr2} 为电路的差动输入电压



显然, 当 $V_{sr1} = V_{sr2}$ 时, 则 $V_{sc} = 0$ 。而当 $V_{sr1} > V_{sr2}$ 则 V_{sc} 为负值, $V_{sr1} < V_{sr2}$, V_{sc} 为正值。实际 V_{sr1} V_{sr2} 由差分跟随级 τ 输出提供 (附图3), τ 右边栅极接内标电平, 由波段开关 K32 送上一个可逐挡调节的负电位, τ 左边栅极经波段开关 K33 接到 τ 左栅极上, 从而与内标专用积分电容器连通 (即与第一通道积分电容器连通)。运算放大器的输出推动由晶体管 3DK2B 组成的反相器来带动微型继电器 JRC—5 M 工作, JRC—5 M 的接点完成仪器要求的自动曝光控制。

积分开始前, 内标积分电容电压为零, 左右栅极输入严重不平衡, 相当于 $V_{sr1} > V_{sr2}$ 情况, 运算放大器 5G922C 输出负饱和值 ($-6V$), 反相器 3DK2B 截止, 继电器 JRC—5 M 释放, 控制盘板上内标小灯不亮。当积分开始后, 光电流给积分电容器充电, 电容电压逐渐升高, 当电容电压与内标电位相等时, 运算放大器输出为零。只要电容电压超过内标电位, 运算放大器输出即为正值。反相器开关电平设计为 $+7V$ 当运算放大器输出超过此值时, 反相器翻转, 晶体管 3DK2B 饱和导通继电器 JRC—5 M 激励, 内标小灯亮, 自动曝光结束。电路中选择 R 为 $10K\Omega$, R 为 $5.6M\Omega$, 因此, 差动比较器的放大倍数为 560 倍。即只要电容电压超过内标电位 $\frac{7V}{560} = 12.5mV$, 内标电路即动作, JRC—5 M 激励。

内标电路中反馈电容 $0.022\mu f$, 起积分作用, 可以抑制外界交流干扰。当此电容失效时, 在外干扰作用下, 内标继电器 JRC—5 M 将连续动放, 内标小灯则不断闪亮。对于来自电弧产生器的干扰该积分作用不大, 为此可以调节反相器开关电平, 或在运算放大器输入端, 电子管 τ 栅极对地并接电容。

当不要求自动曝光控制时, 电子管 τ 右栅极接最负内标电压, 从而封锁内标电路使不受外界或其他因素影响。

4、元素选择于与自动控制电路

元素选择与自动控制电路可使光谱分析程序实现连续的自动控制。元素选择电路共有 19 个通道, 一次可以最多分析 16 个元素。

元素选择与电路的主要部件是步进旋转器。它有八排半园形的旋转开关, 每排共有 27 个接点, 将八排镀钨接点并联成四排用, 每排的作用如下:

PF 1 · 5 的作用是:

- ①在预燃和积分阶段内使继电器 S / 4 激励。
- ②积分结束后, 使步进旋转器从第三端点连续步进到第十八端点。

PF 2 · 6 的作用是:

- ①位于第一端点时, 使积分电容器放电, 清另。
- ②位于第二端点时, 使延时线路在曝光时不工作, 积分结束后, 才开始步进到第三端点。
- ③从第三端点依次步进到第十八端点的过程中, 使积分电容分别接入测量放大电路。

PF 3 · 7 的作用是: 使在测量每个通道时, 测量盘面板上相应的指示灯同时亮。

PF 4 · 8 作用是: 使各通道的灵敏度电位器, 分别串入电表回路中去。

自动控制电路使光谱分析过程分成了四个阶段即工作准备阶段, 预燃阶段, 积分阶段, 换样并输出测试数据阶段。

此电路具体工作过程如下:

- ①在工作准备阶段内: 先使 1 / 2 激励, 然后使时间继电器 SJ 开始计时。计时结束

后,使Q/2激励,进入预燃阶段。

2、预燃阶段:

由于Q/2激励,使C/4激励。同时T/4失电。使延时线路复原。使接地继电器F接地,将积分电容放电。使予燃时钟开始计时。

③积分阶段:

由于C/4带电,使积分指示灯亮。使积分时钟SJ₃开始计时。积分电容开始充电。当积分时钟结束时使T/4激励,进入了各个元素的测量阶段。

④换样并输出测试数据阶段:

由于A/5失电使预燃、积分时钟复原。并且由于C/4失电,使积分电容在测量记录阶段也不会充电。由于N和N₂继电器激励,使步进旋转器到第3端点后又依次步进到第18端点,依次把十六个通道的测量结果记录下来。

当步进到第19端点时,+27V经J:3常闭点,PHF 2·6使PF线包不断地有电,从而步进旋转器一下子很快地进到第27个端点。又使Y/2激励,从而进入换样阶段。

由于Y/2激励,使换样指示灯亮。

当换样时间继电器SJ₄结束时,使I/2有电,准备指示灯亮SJ₁准备时间继电器开始计时,I:1闭合,自锁。I:2闭合,SJ₁开始计时。当SJ₁计时结束时,Q/2激励:Q:1闭合,使S/4激励。A:2打开,使T/4失电,SJ₁复原。从而第二次光谱分析开始。这样循环往复,达到自动控制的目的。【附图4】

5、模数转换电路:

模拟数字转换电路的实现方案很多,今采用线性电压比较法,即VL型电压—数字转换电路,对模拟量电压进行数字转换。(附图5)整个转换电路由三部分构成:第一部分是输入电路,它将由差分阴极跟随器两阴极来的平衡输入信号转换为单端不平衡信号,同时进行了必要的幅度压缩、极性变换,第二部分是线性电压发生器(锯齿波发生器)信号比较器与另比较器,它将电压转换成时间间隔。第三部分是晶体振荡器与数字显示电路。晶体振荡器提供一个频率高度稳定脉冲源,作为时间间隔整量化的基准单位。数字显示电路,记录并显示与输入电压成正比的时间间隔内的脉冲数目,这样就使输入电压转换成数字量显示出来。整个转换过程由取样速率及复另电路进行控制。

转换过程是这样进行的:转换开始时,取样速率控制电路使线性电压发生器输出锯齿波电压,从负到正变化。当锯齿波电压过另时($t=t_1$ 时)另比较器动作输出一个负脉冲为门电路的开门信号。当输入电压— V_{sr} (负值)在 t_1 时和线性电压的幅值相等,极性相反,这时信号比较器动作,输出一个正脉冲为关门信号,计数电路停止计数,显然 t_2-t_1 ,这段时间间隔直接正比于输入电压— V_{sr} 的绝对幅值。所以

$$V_{sr} = K(t_1 - t_2) = K\tau$$

由此可见,时间间隔 τ 和输入电压— V_{sr} 成正比。 K 为转换系数,当电路参数决定后,为一常数。在时间间隔 τ 内数字显示电路所显示的数就是输入电压的数字量。

从上面的原理分析可见, $V\tau$ 型电压数字转换电路的转换精度主要取决于 $V-\tau$ 转换器的精度与 τ 的数字测量精度。当采用石英晶体振荡器时,其频率稳定度很高, τ 的测量精度可以作得较好。而 $V-\tau$ 转换精度提高则取决于线性电压的线性精度以及信号与另值比较器的灵敏度,这些在电路设计上是必须认真加以考虑的问题。

① 晶体振荡电路与门电路:

由于振荡器频率稳定度指标直接影响时间间隔 τ 的测量精度。为此电路设计中采用石英晶体控频振荡电路(附图5)。电路中将石英晶体作为串联谐振元件来使用。由于其输入阻抗小,输出阻抗大,石英晶体直接串入放大器会不起振。所以又用一级3DG6射极输出器T2来提供必要的阻抗匹配。

这里石英晶体起着开关作用,即只有当振荡频率恰为石英晶体固有频率时才能通过它,形成能量反馈。否则将由于石英晶体呈现大阻抗而使反馈回路实际处于开路状态。这样,通过石英晶体的选频网路作用,振荡器只工作于石英晶体的固有频率上。

调节与石英晶体串联的电阻阻值,可以调节反馈量的大小。反馈量太小,将停振。反馈量太大,波形成为矩形状。仔细调正反馈量,可使输出脉冲的前后沿大大得到改善。

在T₂射极输出器之后,安排了微分、削波,整形放大电路,从而可以有一串稳定且规则的脉冲波(附图5)输出给门电路,其频率决定于采用的石英晶体,目前电路采用的为400KC晶体,振荡电路本身适应100KC—1MC的石英晶体工作。

测试表明,振荡电路的频率稳定度可以达到 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 。

为提高抗干扰能力,门电路由分立元件组成的一般与非门电路构成,其输出由开关二极管2CK13箝位在+5V上,有四个输入端分别接到信号比较器,另比较器,晶体振荡器的输出,第四个输入端连接到采样速率继电器J1的一组接点的中心接点上,防止在矩齿波回扫时,数字显示电路错误计数。其相应波形如附图5示。

② 锯齿波发生器:

电容反馈锯齿波发生器(图二)将反馈电容跨接在运算放大器输出与输入之间,从而保证了电容C的恒定充电。

$$\text{其基本关系式为: } V_{sc} = -KE \left\{ 1 - \left[1 - \frac{t}{RC(1+K)} + \frac{1}{2} \left(\frac{t}{RC(1+K)} \right)^2 \dots \dots \right] \right\}$$

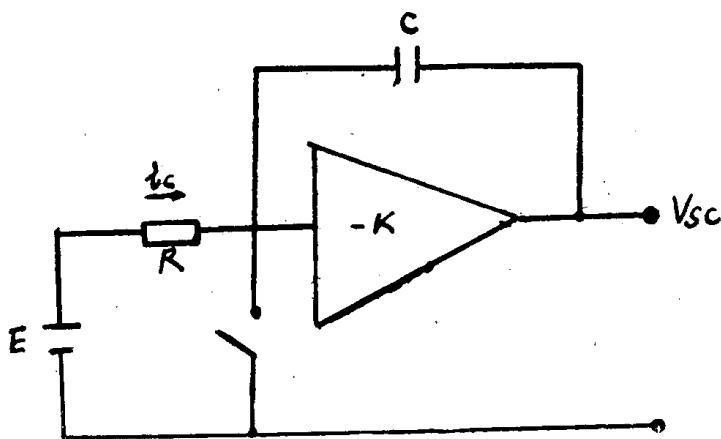


图 二

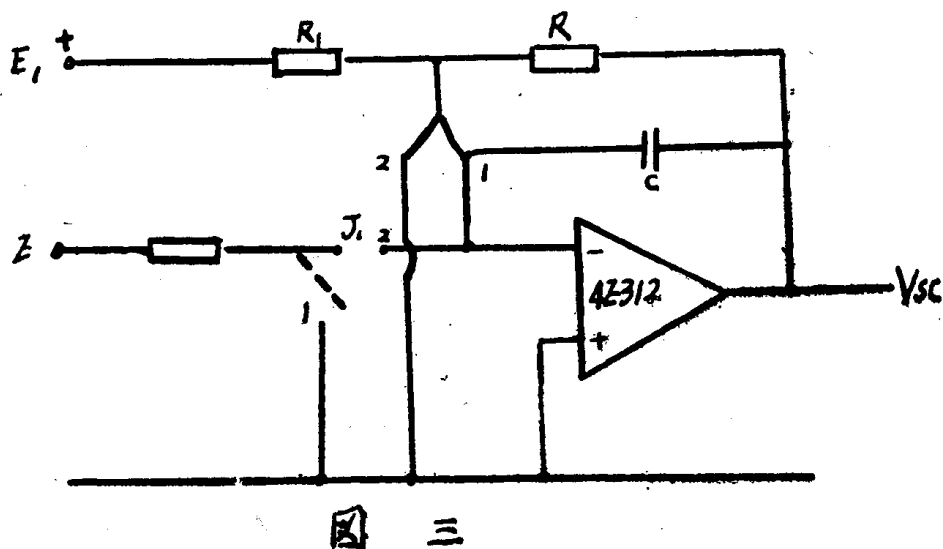
显然,只有当 $t \ll (1+K)RC$,电路输出电压 V_{sc} 与时间 t 才成线性关系,也即要求电路的放大元件输入阻抗要足够高,放大倍数 K 也要足够大,上式才能进一步化为

$$V_{sc} = -\frac{E}{RC} t$$

锯齿波电压的变化率，可对上式取时间微分，即 $\frac{dV_{sc}}{dt} = -\frac{E}{RC}$ ，一般用非线性失真系数

δ 来表征锯齿波的线性度，可以证明 $\delta = V_m/E$ ，其中 V_m 为锯齿波的输出幅度， E 为锯齿波电路外接参考电位。显然当 E 越大，实际使用的输出幅度 V_m 越小，则非线性失真系数越小，锯齿波的线性越好。

本仪器采用 4E312 线性集成运算放大器作积分放大元件，原理图见（图三）



输出电压 V_{sc} 的一般关系式如：

式中： $V_{sc} = -\left(\frac{1}{RC} \int_0^t E dt + V_{sc} \Big|_{t=0}\right)$ 其中： $V_{sc} \Big|_{t=0} = -\frac{R_2}{R_1} E_1$ 当 E 为恒定电压

时，可进一步写成为： $V_{sc} = -\frac{E}{RC} t + \frac{R_2}{R_1} E$ 实际选取 $E_1 = +6V$ ， $E = -6V$ ， R_1 选择

$8.2K$ ， $R_2 = 3K$ ， $R = 100K$ ， $C = 0.5$ 微法。两组继电器接点为取样速率继电器 J_1 的接点。

这样当电路工作瞬间，输出一个恒为：

$\frac{R_2}{R_1} E \approx \frac{3K}{8.2K} (-6V) \approx -2V$ ，实测数据为 $-2.6V$ 。当接点转换后，就以

$\frac{E}{RC} = 120V/\text{秒}$ 变化率线性增长 $100ms$ 后 J_1 接点再次转换，完成一个锯齿波产生过程，

锯齿波正向最大值决定于运算放大器 4E312 正向最大输出电压值。（一般为 $+11V$ 左右）

实测为 $+11V$ 但实际与锯齿波电压比较的信号电压幅值受输入级中所采用的运算放大器 4E312 的反向最大输出电压值的限制（一般为 $4.5V$ 左右）即锯齿波实际使用的范围一般均为 0 到 $+4.5V$ 。这显然大大有利于非线性系数的改善。

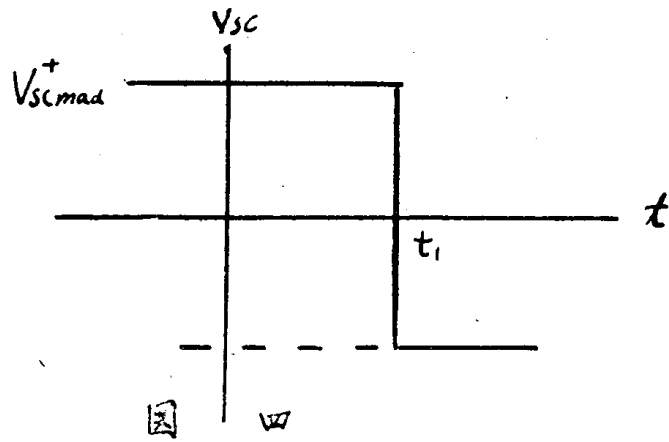
为了进一步提高锯齿波的稳定性，两个参考电压分别利用标准稳压管 2DW7B 对 $\pm 12V$ 稳压电源再进行一次稳压后提供，电阻 R 采用金属膜电阻，电容 C 使用高质量精密金属化聚苯乙烯薄膜电容器，电阻 $R_1 R_2$ 对电压转换精度影响不大可采用一般元件， R_2 同时为积分电容 C 提供了放电回路。

必须注意采用集成电路运算放大器作积分器时，其直流反馈回路的时间常数必须小于

相应取样频率的周期时间，以使失调电压在产生限制作用之前，不能连续地对反馈电容充电。

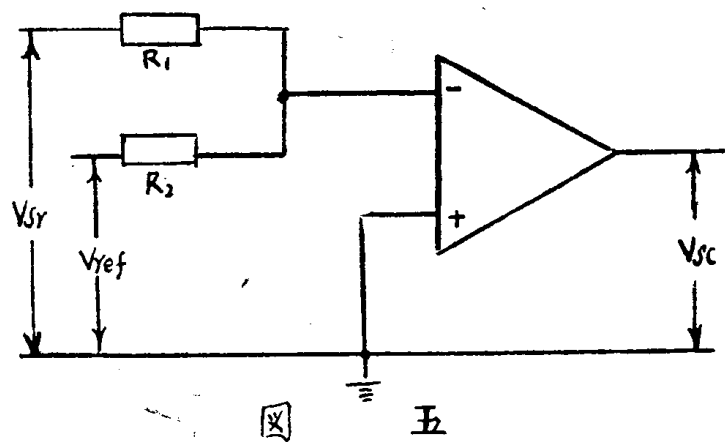
③ 比较器：

信号比较器与另值比较器的灵敏度直接关系到 $V - \tau$ 转换精度的提高。电路设计时采用线性集成运算放大器 4 E312，其开环放大倍数可达10000倍。可以如同内标电路那样选择差分比较电路（图四）但开环工作输入电压 $V_{sr} < \text{参考电平 } V_{sef}$ 时，输出 V_{sc} 为 V_{scmax}^+ （运算放大器正向饱和值）。



当 $t = t_1$ 时，输入电压 V_{sr} 恰等于和大于参考电平时，输出电位即发生跳变，为 V_{scmax}^- （运算放大器负向饱和值）即电路的输入门限电平恰等于外接参考电平 V_{ref} 。如果将向输入电压连到运算放大器同相端，参考电压 V_{ref} 连至反相端，输出 V_{sc} 极性也将相反变化。但电路中 V_{ref} 不允许超过实际使用的运算放大器的最大共模电压，这是必须注意的。

另一种比较电路为单端输入电路（图五）



此时输入电压与参考电平通过适当电阻加到运算放大器的同一个输入端，（可以是反相输入端，也可是同相端）运算放大器另一个输入端接地，从而不存在共模电压限制的问题。电路反极性输入门限电平可以证明为 $-V_{ref} \frac{R_1}{R_2}$ ，显然门限电平大小可以通过调整电阻 R_1 、 R_2 数值来决定。

比较器的输出可以根据需要箝位到一个适当的电平，而不使用运算放大器最大输出饱和