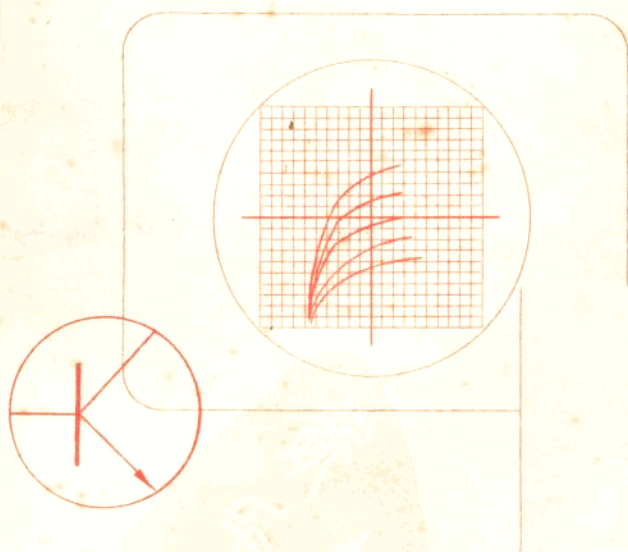


JT-1专用示波器

原理使用维修调试



上海无线电二十一厂

目 录

第一章 图示仪线路原理

一	概 述	1
	(一) 阶梯波发生器	4
	(二) 阶梯放大器	11
	(三) 水平和垂直放大器	17
二	集电极扫描电源	18
三	低压电源供给	22
四	高频高压电源及示波管电源	23
五	偏转开关作用	24
	(一) 与阶梯放大器有联系的开关	24
	(二) 垂直放大器开关	25
	(三) 水平放大器开关	26
	(四) 集电极扫描开关	27

第二章 “JT-1” 的使用

一	简单说明	28
二	各开关旋钮作用介绍	29
三	使用方法	37
四	晶体管直流参数测试原理与测试方法举例	39
	(一) 晶体管直流参数测试原理	39
	(二) 晶体管测试方法举例	48
五	场效应晶体管直流参数测试原理与测试方法举例	71
	(一) 场效应管的简单工作原理	71
	(二) 场效应管的测试原理	73
	(三) 场效应管测试方法举例	77

六	硅可控整流器直流参数测试原理与测试方法举例	85
(一)	硅可控整流器的简单工作原理	85
(二)	硅可控整流器几个主要直流参数的测试原理	86
(三)	硅可控整流器的测试方法举例	88
七	双基极二极管测试原理与测试方法举例	92
(一)	双基极二极管的简单工作原理	92
(二)	双基极二极管的几个主要直流参数的测试原理	94
(三)	双基极二极管的测试方法举例	95
八	稳压二极管、隧道二极管的测试原理与测试方法举例	98
(一)	稳压管的测试原理与测试方法举例	98
(二)	隧道二极管的特点与测试方法举例	103
(三)	其他二极管及电阻的测量	104

第三章 “JT-1” 常见故障及维修

一	各单元常见故障及维修	106
二	维修“JT-1”的方法	115

第四章 “JT-1” 的调试

一	技术规范	118
二	初 调	119
三	细 调	123

第一章 图示仪线路的原理

一 概 述

为了测定晶体管的特性曲线和各种直流参量，可以采用如图 1 线路，用逐点测试的办法描绘出特性曲线。比如，测定 PNP 型晶体三极管的共发射极的输出特性 ($V_c - I_c | I_b$ 常数)。

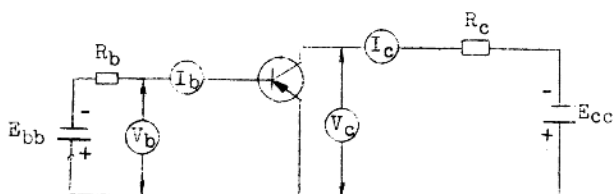


图 1-1 测试 PNP 三极管共发射极特性曲线和直流参量

只要 R_b 远大于晶体管输入电阻，则确定一个 E_{bb} ，而改变 E_{cc} ，即能够测出一定 I_b 情况下， V_c 和 I_c 的各个对应值。适当地选取座标，就可描绘出输出特性。显然，这种测试方法的缺点是速度太慢，且在测试击穿特性（如击穿电压 V_{ceo} ， V_{eer} 等）时和最大电流 I_{CM} 时容易损坏晶体管。如果 E_{cc} 是随时间连续变化的，那么，晶体管的电压 V_c 以及电流 I_c 也将是按其特性随时间变化的，而击穿电压和最大电流将是瞬时作用的，只要不过大，一般不会损坏管子。把变化的 I_c 和 V_c 通过一定线路分别加到示波器水平和垂直放大器的输入端，即可在荧光屏上显示出输出特性。然而，这也只能显示一条特性曲线。为了显示出多根曲线， E_{bb} 应该有所变化。

“JT-1”型晶体管特性曲线图示器中的基极源电压 E_{bb} 或基极电流 I_b 的波形是阶梯式的变化，每一级阶梯就代表一定的电压或电流。在一级阶梯时间内集电极电源电压 E_{cc} 是正弦半波式的变化。二者的对应关系有一种如图 2 所示。

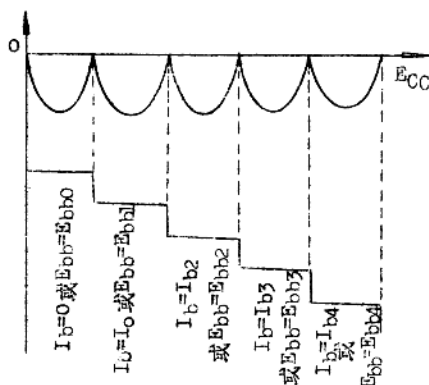


图 1-2 基极源电压 E_{bb} 或基极电流 I_b (频率为 100 周) 和集电极源电压 E_{cc} 的波形

这样, 集电极电压 V_c 和集电极电流 I_c 按其特性随时间变化。 V_c 加到示波器水平放大器, I_c 通过取样电阻 R_f 变成电压加到示波器垂直放大器 (图 3)。

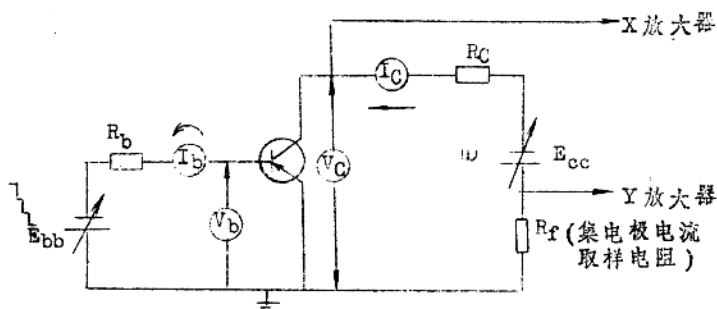


图 1-3 显示 PNP 三极管共发射极特性线路

适当调节放大器灵敏度和示波器辉度, 在荧光屏上将五条特性曲线显示出来 (图 4)。当 $I_b=0$ 时, V_c 沿水平方向变化, 光点由零扫描到最大, 再从最大返回到零, 而在这段时间内对应于 V_c 的任一

值都有一个 I_c 值, I_c 的大小决定于晶体管本身特性。 I_c 在取样电阻 R_T 上产生的电压使光点在垂直方向偏转一定距离。当第二个正弦半波进行扫描时, I_b 已经跳变到 I_{b1} , 因此, 第一条线是 $I_b=0$ 时的 V_c-I_c 特性, 第二条代表 $I_b=I_{b1}$ 时的 V_c-I_c 特性, 第三条代表 $I_b=I_{b2}$, 第四条代表 $I_b=I_{b3}$, 第五条代表 $I_b=I_{b4}$ ……。

在荧光屏上显示的曲线族之所以能够稳定地出现, 是因为曲线在一秒内重复出现多次, 而扫描光点有一定的余辉, 以及人们眼睛的视觉停留。阶梯波和正弦半波电压频率愈高, 则特性曲线愈稳定; 在波形频率一定下, 特性曲线根数愈少, 特性曲线族愈稳定, 闪烁的感觉愈少。在“JT-1”中, 选取阶梯波的频率是“100”周和“200”周, 半波正弦始终是“100”周。每一组阶梯波的级数最多是12级(特性曲线族13条), 而最少是4级(特性曲线族5条)。

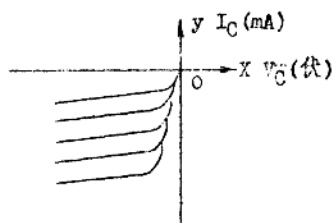


图1-4 PNP三极管
的共发射极特性曲
线图示

因此, “JT-1”作为区别于一般通用示波器的是: 扫描电压不是直线性较好的锯齿波, 而是半波正弦。得到半波正弦线路比得到锯齿波线路简单得多; 另外, 还有一个阶梯波发生器和放大器。为了能够测出不同型号(NPN型和PNP型)、不同接法(共发、共基、共集电极)的不同特性曲线(输入、输出、转换、 β 参数、 α 参数等特性曲线)以及反向饱和电流 I_{CBO} 、 I_{CEO} 、 I_{EBO} 、击穿电压 BV_{CBO} 、 BV_{CEO} 、 BV_{EBO} 等等, 还要配备多个比较复杂转换开关、极性开关等, 通过这些开关使仪器各个单元联系起来。

关于本仪器的使用, 将详细地举例说明。因其具有直接显示读测简便以及不会使晶体管过载损坏等特点, 因此, 广泛用于晶体管试制和生产线中, 以及在电路设计时合理应用晶体管。

共发射极特性曲线和各种参数是最常用的, 因此, 本仪器有关部

分和面板上文字含义都以共发射极晶体管参数命名，下面的原理介绍也全以共发射极为例，如果是共基极或共集电极接法时，有关的文字应该相应改变〔见使用部分〕。

本机的附属设备是“JT-3”，二者配合使用可以测试大功率的晶体管。本机原理方框图如图5。共分成七个部分：阶梯波发生器、阶梯波放大器、水平和垂直放大器、集电极扫描电源发生器、主电源供给、高频高压及示波管控制电路、偏转作用开关等。通过偏转作用开关把各个单元联系起来就构成了方框图，在后面介绍了作用开关就不难理解方框图。因此，我们就不单独介绍方框图了。

(一) 阶梯波发生器

本单元是要产生能代表基极电流或基极源电压 E_{bb} 值的阶梯波形。其频率是100周和200周，它和集电极扫描电压（100周半波正弦）有一定的对应关系（图1—6和图1—7）。

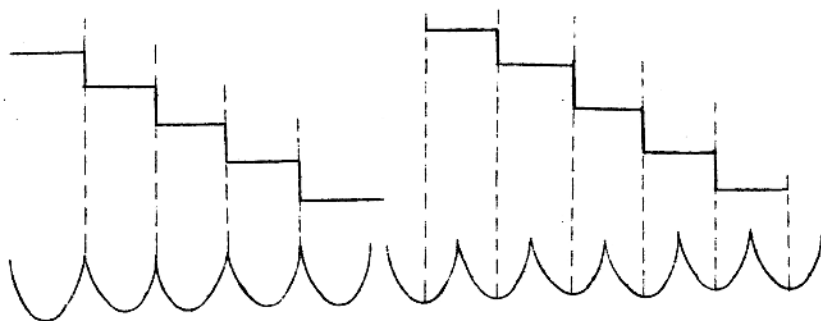


图1—6 阶梯波形频率为100周时
与集电极扫描电压的对应关系

为了测试准确，要求每一级阶梯幅度相等，波形顶部平坦，即要每级代表 I_b （或 E_b ）值误差足够小。并且要可以调节一族曲线的根数。

产生阶梯波的信号源用 50 周市电，集电极扫描电压用 50 周市电整流。线路可分成两个部分：脉冲形成（ G_{101A} 、 G_{102A} 、 G_{103} 、 G_{104} 、 G_{101B} 、 G_{102B} 及 G_{105A} ）以及阶梯形成（ G_{110A} 、 B 、 G_{111} 、 G_{105B} 、 G_{106A} 、 B 、 G_{107} 、 G_{108} 、 G_{109A} 、 B ）。

变压器 T_{601} 的两个抽

头 19、21，输出 50 周 35 伏的电压经移相网络 W_{101} 、 C_{101} 和 W_{102} 、 C_{102} 及低通网络 R_{101} 、 C_{103} 和 R_{102} 、 C_{104} 输出两个正弦信号，加到 G_{101A} 和 G_{102A} 的栅极。要求一个信号与集电极扫描信号同相，而两个信号间相位差 $\pi/2$ （见图 1-9 波形图）。

集电极扫描信号电源取自变压器 T_{501} 、 T_{502} （见集电极扫描电源原理图），由于分布参数的影响，整流输出后难免有一定的相位变化。为使产生的阶梯波和集电极扫描信号间有如图 6、7 所对应的关系，因此，在移相网络中，调节电位器 W_{101} 使 G_{101A} 输入信号与集电极扫描信号同相。又为了使产生 200 周的阶梯波每级持续时间一样，适当选取移相和低通网络参量后，调节电位器 W_{102} 使 G_{102B} 输入信号与上一个输入信号相位差 $\pi/2$ 。

G_{101A} 和 G_{102A} 为倒相器，板极和阴极负载电阻相等，输出相位相反，幅值相等的两个信号。 G_{102} 和 G_{104} 构成全波整流，将

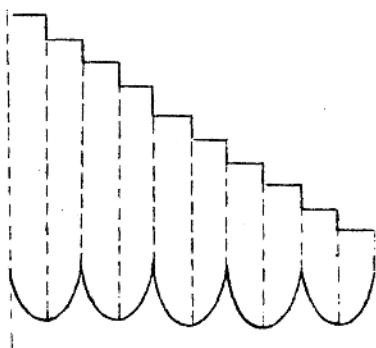


图 1-7 阶梯波形频率为 200 周时与集电极扫描电压的对应关系

前面来的50周信号整流成100周负半波正弦电压。 G_{103} 和 G_{104} 的板极(即 $G_{101}B$ 、 $G_{102}B$ 的栅极)有稍大于零的电位(100伏通过 R_{113} 和 R_{114} 加入),是使 $G_{101}B$ 、 $G_{102}B$ 输出的窄脉冲期间完全导电。

当级/秒开关 SW_{101} 置上“100”时, -150伏电压通过 R_{117} 加在 $G_{102}B$ 的栅极,而使其截止。而 $G_{101}B$ 工作,对 G_{103} 输出的半波正弦上、下限幅和放大,其板极输出为100周的脉冲。当开关置下“100”时, $G_{101}B$ 截止, $G_{102}B$ 工作。 $G_{102}B$ 板极输出100周的脉冲。由于两正弦波幅值相近,相位差 $\pi/2$,所以两个100周的脉冲幅值相等,相差 $\pi/2$,也即两波形的间隔一致,但相互交错。这样,当开关 SW_{101} 置“200”时,即 $G_{101}B$ 和 $G_{102}B$ 同时导通时,在公共的板极上形成重复频率为200周,间隔相等的脉冲(见图1-9), $G_{101}B$ 和 $G_{102}B$ 共板极的电位高低影响到脉冲的幅度,因此调节电位器 W_{103} 即调节了脉冲幅度的大小,从而调节阶梯波每级幅度。 $G_{105}A$ 为阴极输出器,不仅起到阻抗转换隔离的作用,而且,还能整形脉冲波形:在负脉冲形成期间,当 $G_{101}B$ 或 $G_{102}B$ 导通时,其板极电位低于 $G_{105}A$ 阴极电位, $G_{105}A$ 截止,输出负脉冲,顶部固定在 $G_{105}A$ 阴极电平上(50伏)。当 $G_{101}B$ 或 $G_{102}B$ 截止时, $G_{105}A$ 阴极跟随 $G_{101}B$ 或 $G_{102}B$ 的板极电位。因此 $G_{105}A$ 输出脉冲波形顶部平坦。

阶梯波形成电路是由许密特双稳态触发电路($G_{106}A$ 、 G_{107}),密勒积分电路(G_{111} , $G_{105}B$),释抑电路($G_{106}B$),定位二极管($G_{110}A$ 、 $G_{110}B$),错位二极管($G_{109}A$ 、 $G_{109}B$)以及电子管 G_{108} (6J1)所组成。当阶梯作用 SW_{102} 置“关”时,电阻 R_{135} 下端接地, $G_{106}A$ 的栅极电位能使 $G_{106}A$ 处于导通状态, G_{107} 截止。 G_{107} 板极电位较其导通时较高,通过 G_{108} 使二极管 $G_{109}B$ 导通,而加至密勒管 G_{111} 的栅极。 G_{111} 管始终工作在放大状态,此时板极电位较低,通过氛管使阴极输出器 $G_{105}B$ 的阴极处于低电位,于是二极管 $G_{109}A$ 充分导通, G_{105} 的阴极电位

决定了 G_{107} 板极电位。由于密勒电容 C_{114} 两端联接的 G_{109A} 和 G_{109B} 的这种状态而使从 G_{105A} 不断输出的负脉冲通过 C_{113} ，对 C_{114} 不起作用。因此， C_{111} 管的栅极和板极电位不变，即不可能形成阶梯波形。阶梯波发生环路处于相对静止。

当阶梯作用 SW_{102} 置“单族”时，电容 C_{110} 一端碰地一下，在此瞬间 C_{110} 上的电荷将通过 C_{110} 、 R_{125} 、 R_{126} 、 R_{135} 等组成的回路放电。所产生的负尖顶脉冲使双稳态电路翻转，即 G_{106A} 截止， G_{107} 导通。 G_{107} 板极电位降低。通过 G_{108} 而使二极管 G_{109B} 板极电位大大降低， G_{109A} 、 G_{109B} 充分截止，失去对积分电容 C_{114} 的钳制作用。于是，从 G_{105A} 管不断输出的负脉冲，将通过 C_{113} 、 G_{110A} 、 C_{114} 以及 G_{105B} 的等效输出阻抗和电源所组成的回路对 C_{114} 负向充电。 G_{111} 管栅极电位迅速降低，板极电位迅速上升。前面每来一个负脉冲， G_{111} 管栅极和板极电位都要跳变一次，形成阶梯上升输出电压。板极电位的每次上升，一方面通过电容 C_{114} 返回 G_{111} 栅极，使栅压下降幅度大大减少。另一方面又通过氖管 N_{101} 、 G_{105B} 以及 R_{150} 、 W_{104} 、 W_{105} 、 W_{106} 、 R_{151} 的分压引起 G_{106B} 栅极电位阶梯式地升高，抑制电容 C_{115} 跟随逐渐充电，到一定的电平时，会使 G_{106A} 导电，双稳态电路翻转， G_{107} 板极电位升高，先后使 G_{109B} 和 G_{109A} 导通，电路恢复“关”的状态，输出一次阶梯式电压信号后，即阶梯发生波环路又处于相对静止。

为什么负脉冲对密勒电容 C_{114} 充电会形成阶梯波形，而不是产生锯齿式扫描波呢？

原因就在于：在负脉冲对 C_{114} 充电期间， G_{110A} 充分导通，其内阻小。另外，从 G_{105A} 输出的负脉冲幅度很大，约108伏，而脉冲持续时间短暂，因此， C_{114} 充电速度是很快的。 G_{111} 栅极电位形成跳变。跳变到一定电平后，到正脉冲期间， G_{110A} 立刻截止， C_{114} 下端没有通路， C_{114} 所充电荷不会放掉， G_{111} 栅极电平能够保持住不变。等待下一个负脉冲过来后， G_{110A} 导通， C_{114} 又充电一次， G_{111} 栅极电平再继续跳变一次。负脉冲不断从

$G_{105}A$ 输出, 于是 G_{111} 栅极电位就形成阶梯式的下降, 而板极电位阶梯式的上升。

在 $G_{105}A$ 输出正脉冲期间, 只有电容 C_{113} 通过 $G_{110}B$ 放电, 放掉在负脉冲期间所充的电荷, 使其后来的负脉冲, 能够方便地经 C_{113} , 通过 $G_{110}A$ 对 C_{114} 再行充电。

由于密勒积分电路 (G_{111} 、 $G_{105}B$) 的深负反馈作用, G_{111} 栅极电位每次跳变的幅度是不大的 (约 0.08 伏), 就是说二极管 $G_{110}A$ 板极电位每次下降不多, 再加从 $G_{105}A$ 输出的脉冲达 108 伏这样大 (见波形图), $G_{110}A$ 的从截止到导通不会影响到对 C_{114} 充电的幅度。这就使得每次对 C_{114} 所充电荷量基本上是一样的, 即 G_{111} 栅极电位每次跳变幅度相同, 从而 $G_{105}B$ 阴极所输出的阶梯幅度每级也是相同的。

阶梯波每级幅值一定, 所产生阶梯级数决定于 $G_{106}A$ 刚导电时栅极电位和起始电位 (开始产生阶梯波时 $G_{106}A$ 栅极的电位) 的差值。而 $G_{106}A$ 起始电位又决定于 $G_{106}B$ 栅极的电位。因此, 调节“级/族”电位器 W_{105} 就能够调节阶梯级数。 $G_{106}B$ 栅极电位调节得愈高, 则级数愈少, 此时电位器 W_{104} 较 W_{106} 对其影响大, 因而调节 W_{104} 校正最少级数 (4 级/族)。反之, $G_{106}B$ 栅极电位愈低, 则级数愈多, W_{106} 对其影响较 W_{104} 影响大, 因而, 调节 W_{106} 校正最多级数 (12 级/族)。

在这里还要注意的, 一族的阶梯结束后, 电路恢复到“关”的状态时, G_{111} 板极电位恢复到起始低电位, 而 $G_{106}B$ 栅极电位降低, $G_{106}B$ 截止, 释抑电容 C_{115} 将通过 R_{135} 、 R_{143} 、-150 伏组成的回路放电, $G_{106}B$ 阴极或 $G_{106}A$ 栅极电位又重新降低。但由于 R_{135} 一端接地, 因此, C_{115} 放电而引起 $G_{106}A$ 栅极电位降低不会导致双稳态电路翻转, 即停留在 $G_{106}A$ 导电, G_{107} 截止。电路能保持“关”状态。

但当阶梯作用 SW_{102} 置“重复”时, R_{135} 接地端断开。那么, C_{115} 通过只有 R_{143} 、-150 伏组成的回路放电, $G_{106}B$ 阴极或 $G_{106}A$ 栅极电位将会降得更低, 而致 $G_{106}A$ 截止, 双稳态电路翻

原书缺页

转： G_{107} 板压降低，于是，阶梯波产生。阶梯波出现时， $G_{106}B$ 栅极电位和“单族”时一样，也是阶梯式的上升，而致 C_{115} 充电， $G_{106}A$ 栅极电位升高。当 $G_{106}B$ 栅极电位升高到使其导电时，双稳态又行翻转，致使 G_{107} 板极电位升高， $G_{103}B$ 、 $G_{103}A$ 导通，密勒电容 C_{114} 放电，使 G_{111} 板极恢复到起始低电位。 $G_{106}B$ 截止，释抑电容 C_{115} 又放电。整个阶梯形成环路就这样反复循环，而使阶梯波不断产生。通过跟随器 $G_{105}B$ 输出。从阶梯波形成环路中各点波形（图9）中，可以更清楚了解电路的工作过程。

从前面叙述以及波形图中，可以看出释抑电容 C_{115} 的充放电，是使电路状态重复变化而输出阶梯波的关键。为使第一级阶梯持续时间和其他级阶梯持续时间一样，必须使 C_{115} 放电而致双稳态 $G_{106}A$ 和 G_{107} 翻转这段时间要小于每级阶梯时间（即 $1/100$ 秒或 $1/200$ 秒）。

阶梯波起始电平固定，是由于二极管 $G_{109}A$ 的钳位作用，在电路向起始状态恢复时，密勒电容 C_{114} 放电，输出阶梯波电压由末级电平下降，在二极管 $G_{109}A$ 阴极电位低于板极电位时，充分导通。则 $G_{105}B$ 阴极电位由 G_{107} 板极电位钳住，即使每族阶梯波第一级电平一致。

氛管 N_{101} 起到直流耦合和降压的作用， N_{101} 上的电压稳定在约65伏左右，使 $G_{105}B$ 栅极有适当电位。又当 G_{111} 板极电位有一个跳变； $G_{105}B$ 栅极也有同样一个跳变。因此，可以把 G_{111} 管板极阶梯波信号没有损失地传送出去。

从波形图中，还可以了解到 G_{108} 的作用。不仅 G_{107} 板极电位通过 G_{108} 控制二极管 $G_{109}B$ ；而且 G_{108} 板极和 $G_{101}B$ 、 $G_{102}B$ 板极接在一起，在阶梯波产生过程中，负脉冲对 C_{114} 充电时， G_{108} 板极电位较低，从而更保证了二极管 $G_{109}B$ 截止。当双稳态电路翻转到 $G_{106}A$ 导电， G_{107} 截止，阶梯波恢复到起始电位时， G_{108} 充分导电，致 $G_{101}B$ 、 $G_{102}B$ 和 G_{108} 共板极电位较低，而使 $G_{105}A$ 在阶梯波起始一级时间内都是截止的。这相当于脉冲形成电路与阶梯形成环路在这段时间内完全分离开来。使得后面各电子管工

作状态有足够的时间恢复到起始状态，不受前面电路的影响。这对于电路稳定地工作是有利的。

(二) 阶梯放大器

从阶梯发生器所产生的阶梯波还不能直接作为被测晶体管注入电流。因为被测晶体管有各种类型和不同的功率以及不同的接法（共发、共基、共集）。需要的电流是不一样的。阶梯波必须要有足够大的不同档级的电流输出。晶体三极管还有PNP、NPN型之分，阶梯波的极性要能变换。此外，各种晶体管输入电阻不同，就是同一只晶体管其输入电阻与注入电流有关。晶体管还存在内部反馈（例如集电极电压对基极电压有影响）。阶梯波必须不受这些因素影响，放大器正好解决了上述问题。

本单元由分差放大器 G_{201} 和 G_{202} ，电流放大 G_{203} 、 G_{204} 和 G_{205} 以及反馈放大网络 G_{207} 、 G_{206} 、 $G_{203}B$ 所组成。其输出的是正、负极性和电流大小可以变更的恒定阶梯电流，即对每级阶梯波而言，相当于一个恒流源。

阶梯波发生器输出的每级15.1伏阶梯电压经 R_{201} 和 R_{202} 分压后，输入到 G_{201} 栅极。由 G_{201} 倒相放大后经氩管 N_{201} 耦合至 $G_{203}A$ ，连续经 $G_{203}A$ 、 G_{204} 和 G_{205} 三次电流放大。在极性开关 SW_{201} 置“—”时，输出阶梯电压几乎全部负反馈至输入端，这是很深的负反馈，因而输出的阶梯电压没有放大。但却可输出比较大的阶梯电流。基极电流取样电阻 $R_{230} \sim R_{246}$ 的阻值决定了输出阶梯电流的大小。

为了抵消负载（即被测晶体管）对输出阶梯电流的影响，因此，把被测晶体管基极上电压经反馈放大网络 G_{207} 、 G_{206} 及 $G_{203}B$ 后，输入到分差放大器另一个输入端即 G_{202} 栅极。则在放大网络的输出端（基极电流取样电阻 $R_{230} \sim R_{246}$ 上端）又有一个和被测管基极电位大小、相位一致的电压。即 $R_{230} \sim R_{246}$ 上的阶梯电压与外负载是无关的，输出的阶梯电流值不受负载影响。可以简单证明一下，先看反馈网络中的分差放大器。（图1-10）

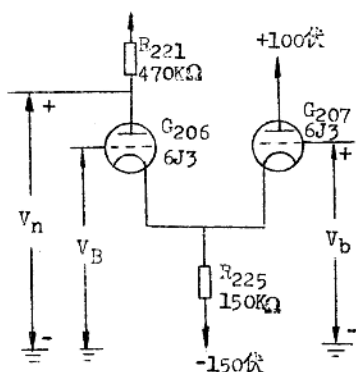


图 1-10 分差
放大器

设 V_b 被测晶体管基极电压信号

V_B G_{206} 栅极电压信号

V_n G_{206} 板极输出电压

K G_{206} 、 G_{207} 分差放大器的放大倍数

根据等效电路

$$V_n = (V_b - V_B) K \quad \dots\dots\dots (1)$$

又网络中 $G_{203} B$ 是阴极输出器，其放大倍数近于 1，其阴极输出的电压信号值和 V_n 看作相等。

$$\begin{aligned} \text{故 } V_B &= \frac{R_{213} + R_{214}}{R_{212} + R_{213} + R_{214}} V_n \\ &= \frac{0.22K\Omega + 10K\Omega}{0.33K\Omega + 0.22K\Omega + 10K\Omega} V_n \\ &= \frac{10.22}{10.55} V_n \\ &= \beta_f \cdot V_n \quad \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

$$\text{其中: } \beta_f = \frac{10.22}{10.55}$$

将(2)代入(1)，则：

$$V_n = \frac{K}{1+K\beta_f} V_b \quad \dots\dots\dots (3)$$

由等效电路方法，可求出：

在 $(1+\mu)R_k \gg R_i$ 时 ($R_k=R_{225}=150K\Omega$)

G_{206} 、 G_{207} 分差放大器的放大倍数约为

$$K \approx \frac{2R_a}{2R_i+R_k} \mu \quad R_a=R_{221}=470K\Omega$$

$$6J3 \text{ 的放大因数 } \mu=270 \quad R_i=600K\Omega$$

$$\text{故 } K \approx 2 \frac{470K\Omega \times 270}{2 \times 600 + 150} = 188$$

$$\text{这样，在第(3)式中，} K\beta=188 \times \frac{10.22}{10.55} \approx 188 \gg 1$$

$$\text{即 } V_n = \frac{K}{1+K\beta_f} V_b \approx \frac{K}{K\beta_f} V_b = \frac{V_b}{\beta_f} = \frac{10.55}{10.22} V_b$$

上式表明，在反馈网络中，从 G_{203} B 阴极输出的信号比输入信号（即被测晶体管基板上电压信号）稍许大一些。这个输出信号经 R_{212} 、 R_{213} 和 R_{214} 分压后，加到 G_{202} 栅极，作为分差放大器另一端的输入信号 $V_{\lambda 2}$ 。

$$\begin{aligned} V_{\lambda 2} &= V_n \frac{R_{214}}{R_{212}+R_{213}+R_{214}} = \frac{10}{10.55} V_n \\ &= \frac{10}{10.22} V_b \quad \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

根据同样方法，可证明阶梯放大器在基极电流取样电阻 R_f 上的电压并没有放大，等于阶梯发生器输出信号 V 发在 R_{202} 上产生的电压，与被测晶体管无关，因而使输出电流保持恒流状态。把放大器列

成如下方框图（极性开关置“-”）。

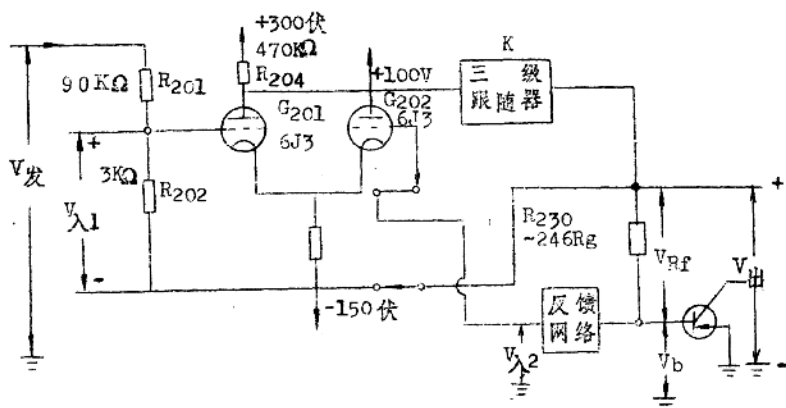


图 1-11 阶梯放大器方框图示（极性“-”）

设 K 是分差放大 (G_{201} 和 G_{202}) 和三级跟随器总的放大倍数, 跟随器的放大倍数一般近似于 1, 因此, K 可看作就是分差放大器的放大倍数, 前面已算出了其数值, 但极性相反, 应为 -188。

根据图 1-11, 显然有

$$(V_{\lambda 1} + V_{\text{出}} - V_{\lambda 2})K = V_{\text{出}}$$

$$\begin{aligned} \text{而 } V_{\lambda 1} &= (V_{\text{发}} - V_{\text{出}}) \frac{R_{202}}{R_{201} + R_{202}} \\ &= (V_{\text{发}} - V_{\text{出}}) \frac{3K\Omega}{90K\Omega + 3K\Omega} \\ &= \frac{1}{31} V_{\text{发}} - \frac{1}{31} V_{\text{出}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{故 } \left(\frac{1}{31} V_{\text{发}} - \frac{1}{31} V_{\text{出}} + V_{\text{出}} - V_{\lambda 2} \right) K &= V_{\text{出}} \\ \left(\frac{1}{31} V_{\text{发}} - V_{\lambda 2} \right) K &= V_{\text{出}} \left(1 - \frac{30}{31} K \right) \\ &\sim 14 \sim \end{aligned}$$