

北京

开 方 器

KA FANG QI

开 平 积 算 器

KAI PING JI SUAN QI

DDZ-II  
DJK 型  
DXS 型

北京自动化仪表厂

---

**出版单位：**北京自动化技术研究所  
附属工厂

**地 点：**北京鼓楼西大街64号

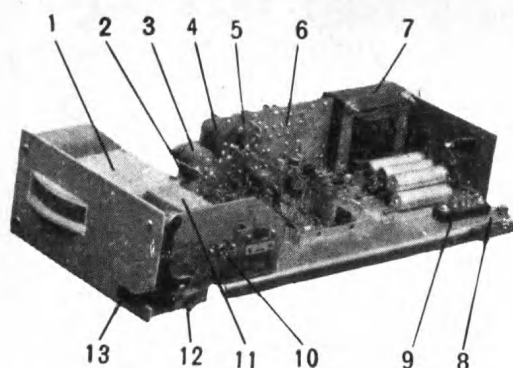
**电 话：**44.4358号

**印刷单位：**北京印刷三厂

**出版日期：**一九七三年十一月

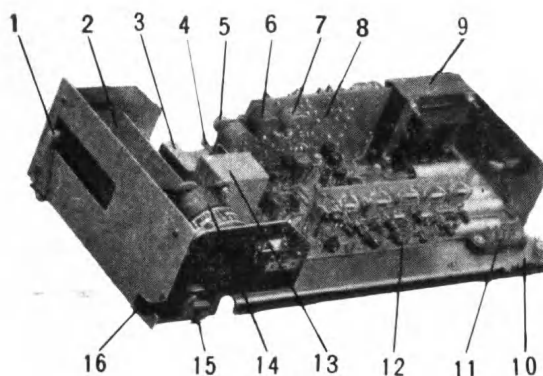
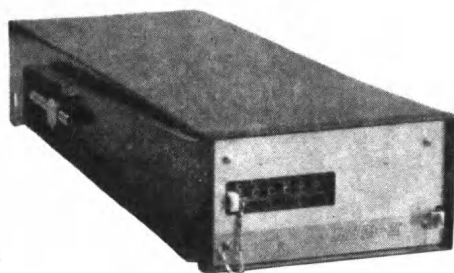
---

## 开方器外形和内部结构照片



- 1—电流输出表头
- 2—频率额定值调节电位器 $W_2$
- 3—开方关系调节电位器 $W_1$
- 4—额定电流输出值调节电位器 $W_{202}$
- 5—输出电流调零电位器 $W_{201}$
- 6—“电压—电流”变换电路
- 7—电源变压器
- 8—防脱落卡簧
- 9—插座
- 10—电流插口
- 11—“频率—电流”变换器变压器
- 12—脱扣构件
- 13—脱扣拉勾

## 开平积算器外形和内部结构照片



- 1—计数器复零按钮
- 2—六位机械计数器
- 3—充放电电容
- 4—频率 $f$ 额定值调节电位器 $W_2$
- 5—开方关系调节电位器 $W_1$
- 6—额定输出电流值调节电位器 $W_{202}$
- 7—输出电流调零电位器 $W_{201}$
- 8—“电压—电流”变换器板
- 9—电源变压器
- 10—防脱卡簧
- 11—插座
- 12—分频驱动电路板
- 13—“频率—电流”变压器
- 14—步进电机
- 15—脱扣构件
- 16—脱扣拉勾

# 目 录

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 一、用途.....                 | 1  |
| 二、技术指标.....               | 1  |
| 三、工作原理简述.....             | 3  |
| 四、线路工作原理.....             | 5  |
| 五、仪表结构与安装.....            | 13 |
| 六、仪表使用前的校验.....           | 13 |
| 七、仪表报修.....               | 14 |
| 八、仪表开箱与储藏.....            | 15 |
| 附录 1. 开方器和开平积算器线路原理图..... | 16 |
| 附录 2. 元件明细表.....          | 18 |
| 附录 3. 大印刷板图.....          | 20 |
| 附录 4. 分频驱动印刷板图.....       | 21 |
| 附录 5. V-I 变换印刷板图.....     | 21 |
| 附录 6. 内部接线图.....          | 22 |
| 附录 7. 晶体管选配参数表.....       | 23 |

## 一、用 途

DXS-202 开平方积算器是 DDZ-Ⅱ 型电动单元组合仪表的一种,属于显示计算单元。它与差压变送器配用,可累计管道中的气体、液体流量,并直接以数字显示。

本仪表带有与瞬时流量成正比的直流电流信号输出,以显示管道中流量的瞬时值及送入调节器进行流量调节;同时还带有与瞬时流量成正比的脉冲信号输出,供直接与数字控制机配用。

它在模→数→模转换过程中完成如下三个方程运算:

$$\sum_0^t f = K_1 \int_0^t \sqrt{I_{\lambda}} dt \quad (1)$$

$$I_{\text{出}} = K_2 \sqrt{I_{\lambda}} \quad (2)$$

$$f = K_3 \sqrt{I_{\lambda}} \quad (3)$$

凡需完成上述方程运算的环节,皆可采用本仪表。

DJK-10 开方器为上述仪表的派生产品,它隶属于计算单元,可以完成(2)、(3)两方程的运算,并带有流量瞬时值输出表头。

DXS-202 开平方积算器不带电流表头; DJK-10 开方器不带积算部分。

## 二、技 术 指 标

1. 输入信号: 0~10mA DC。
2. 输出电流: 0~10mA DC。
3. 截止电流: <0.2mA DC。
4. 基本误差:  $\leq \pm 0.5\%$  (在标准环境条件下; 0.5mA 以下不计精度)。
5. 负载电阻: 0~1.5K $\Omega$ 。
6. 输入阻抗:  $\leq 400\Omega$ 。
7. 显示方式: 六位机械数字显示,带手动回零。
8. 额定显示值: 1000字/小时。
9. 恒流性能: 0.5%/1.5K $\Omega$ 。
10. 供电电源: 220V、50Hz工业电网直接供电。
11. 消耗功率:  $\leq 6\text{VA}$ 。
12. 输出交流分量:  $\leq 1\%$  (对于满刻度输出)。
13. 反应时间:  $\leq 1$ 秒 (负载电阻 200 $\Omega$ 时测)。
14. 绝缘电阻:  $\geq 50\text{M}\Omega$  (室温及相对湿度 $\leq 85\%$ 条件下)。
15. 来回变异:  $\leq$ 基本误差。
16. 再现性: 仪表在切断电源 1 分钟后再通电,输出变化不大于 1/2 基本误差。
17. 环境温度变化影响: 在仪表允许使用温度范围内,温度每变化 20 $^{\circ}\text{C}$ ,仪表附加误差不大于基本误差。

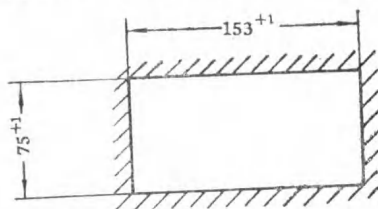
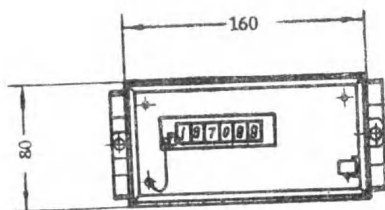
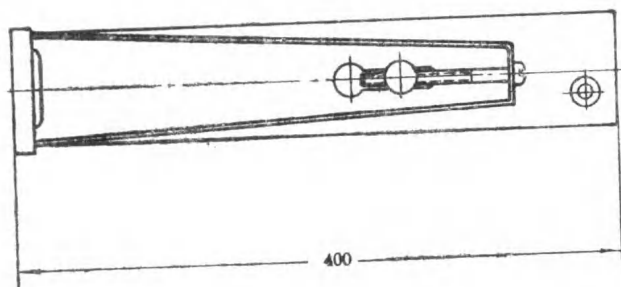


图 1a 开方器外形及开孔尺寸

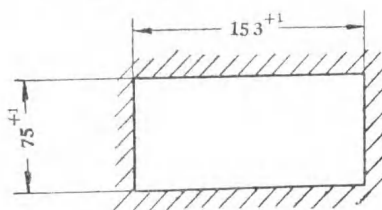
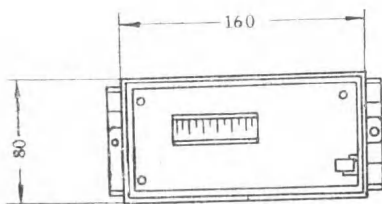
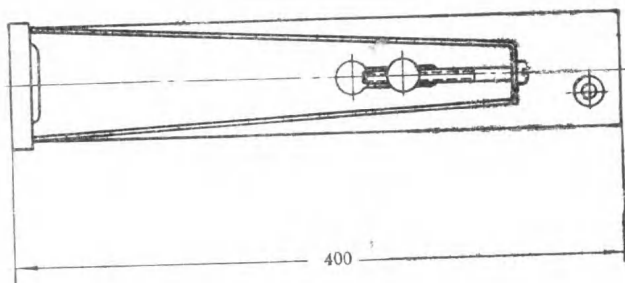


图 1b 开平积算器外形及开孔尺寸

18. 电源电压波动影响: 电源电压在  $220\text{V} \pm 20\text{V}$  范围内波动时, 仪表附加误差不大于基本误差。

19. 抗交流干扰能力: 纵向为  $220\text{V}$ ,  $50\text{Hz}$ , 内阻  $200\text{K}\Omega$ ;  
横向为  $5\text{mV}$ ,  $50\text{Hz}$ 。

20. 工作条件: (i) 环境温度:  $0 \sim +45^\circ\text{C}$ 。

(ii) 相对湿度:  $\leq 85\%$ 。

(iii) 振动: 振幅  $\leq 0.1\text{mm}$  (双振幅), 频率  $\leq 25\text{Hz}$ 。

(iv) 外磁场: 5 奥斯特 (400 安匝/米)。

(v) 周围环境中不含腐蚀性、易爆性气体。

21. 仪表重量:  $4.7\text{kg}$ 。

22. 外形尺寸:  $80 \times 160 \times 400$  (深)  $\text{mm}$ 。

23. 仪表盘开孔尺寸:  $75^{+1} \times 153^{+1} \text{mm}$ 。

### 三、工作原理简述

开平方积算器由方框图 2 所示的几个部分组成。

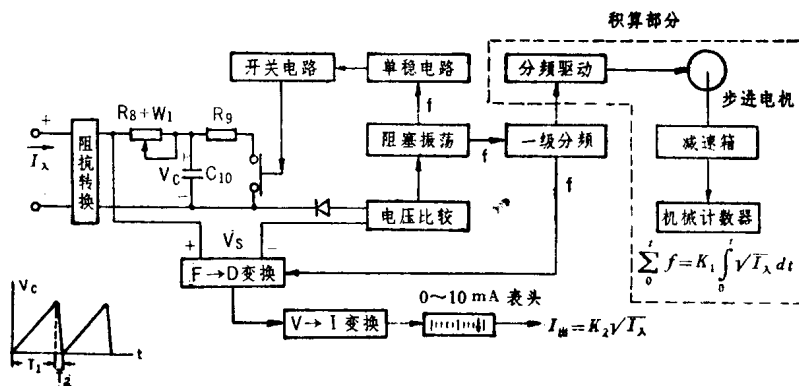


图 2

信号电流  $I_x$  经阻抗转换器向电容  $C_{10}$  充电。  $C_{10}$  上的电压  $V_c$  随时间线性增长, 即

$$V_c = \frac{I_x}{C_{10}} t,$$

当  $V_c$  上升至与频率电压变换器的输出电压

$$V_s = Kf$$

相等时, 通过电压比较器使阻塞振荡器振荡一次, 发出一个频率为  $f$  的脉冲信号, 经单稳电路使开关电路动作,  $C_{10}$  即经过  $R_9$  放电,  $V_c$  下降。一定时间后, 单稳电路又使开关电路断开,  $I_x$  又向  $C_{10}$  充电。在如此反复充放电的过程中完成如下运算:

$$f = K_3 \sqrt{I_x}$$

当  $V_c = V_s$  时, 阻塞振荡器发出的脉冲信号同时经分频驱动电路进入步进电机, 被转换成机械转角, 再经减速箱带动机械计数器, 实现对脉冲的积算和显示, 从而完成了

开方积分方程的运算:

$$\sum_0^t f = K_1 \int_0^t \sqrt{I_\lambda} dt$$

由频率-电压变换器输出部分取出电压, 经电压-电流变换器转换成  $0 \sim 10 \text{ mA}$  的输出电流, 实现如下运算:

$$I_{\text{出}} = K_2 \sqrt{I_\lambda}$$

开方方程 (3) 的推导如下:

$C_{10}$  放电终了时有一个残余电压  $V_{\infty}$ , 故

$$V_c = \frac{I_\lambda}{C_{10}} t + V_{\infty} \quad (4)$$

当  $V_c + I(R_8 + W_1) \geq V_s$  时, 阻塞振荡器振荡一次。设从充电开始到

$$V_c + I_\lambda(R_8 + W_1) = V_s \quad (5)$$

这段时间为  $T_1$ ,  $C_{10}$  短路放电时间为  $T_2$ , 则充放电频率

$$f = \frac{1}{T_1 + T_2} \quad (6)$$

在  $T_2$  终了时,  $V_c$  就等于电阻  $R_9$  上的电压降  $R_9 I_\lambda$  (此处忽略开关管  $BG_3$  的饱和压降  $V_{ces}$ ):

$$V_{\infty} = R_9 I_\lambda \quad (7)$$

当  $t = T_1$  时, 由 (4) 式得

$$T_1 = \frac{C_{10}}{I_\lambda} (V_s - V_{\infty}) \quad (8)$$

将 (5)、(7) 代入式 (8), 得

$$T_1 = \frac{C_{10}}{I_\lambda} [V_s - I_\lambda(R_8 + R_9 + W_1)] \quad (9)$$

将 (9) 代入 (6) 得

$$f = \frac{1}{\frac{C_{10} V_s}{I_\lambda} + T_2 - C_{10}(R_8 + R_9 + W_1)}$$

调节  $W_1$ , 使  $T_2 = C_{10}(R_8 + R_9 + W_1)$ , 又因

$$V_s = Kf,$$

故

$$f = \frac{I_\lambda}{C_{10} K f},$$

$$\therefore f = \sqrt{\frac{I_\lambda}{C_{10} K}} = K_3 \sqrt{I_\lambda}.$$

如  $I_\lambda$  以  $\text{mA}$  计, 则

$$K_3 = \sqrt{\frac{1}{C_{10} K}} \cdot 10^3.$$

$f = \frac{1}{T} = K_3 \sqrt{I_\lambda}$ ,  $I_{\text{出}} = K_2 \sqrt{I_\lambda}$ ,  $\sum_0^t f = K_1 \int_0^t \sqrt{I_\lambda} dt$  的系数值由以下参数选

择决定:



1. 在  $I_{\lambda}=10\text{mA}$  时, 机械计数器每小时走 1000 字。
2. 减速齿轮箱速比  $i=1:7.2$ 。
3. 步进电机步距  $12^\circ$ ;  $I_{\lambda}=10\text{mA}$  时的工作频率为 6 步/秒。
4. 采取 5 级双稳分频。
5. 选电容  $C_{10}=4\mu\text{F}$ , 在  $I=10\text{mA}$  时其充放电频率  $f=6\times 2^5=192\text{Hz}$ 。
6. 当  $I_{\lambda}=10\text{mA}$  时,  $V_s=Kf=0.0678\times 192=13\text{V}$ ,

$$\text{其中 } K = \frac{I_{\lambda}}{C_{10}f^2} = \frac{10\cdot 10^{-3}}{4\cdot 10^{-8}\times 192^2} = 0.0678.$$

7. 选放电时间  $T_2=0.4\text{ms}$ 。

$$K_3=60.7158; K_2=3.16228; K_1=316.228.$$

上列三个方程的函数关系如表 1 所示。

表 1

| $I_{\lambda}(\text{mA})$  | 1       | 4        | 7        | 10     |
|---------------------------|---------|----------|----------|--------|
| $f(\text{Hz})$            | 60.7158 | 121.4316 | 160.6388 | 192    |
| $T(\text{ms})$            | 16.4702 | 8.2351   | 6.2251   | 5.2083 |
| $I_{\text{出}}(\text{mA})$ | 3.16228 | 6.32455  | 8.3666   | 10     |
| $\Sigma f\text{字/小时}$     | 316     | 633      | 837      | 1000   |

开方关系满度相对误差,

$$\Delta f\% = \frac{|f_{\text{实测}} - f_{\text{理论}}|}{192};$$

$$\Delta I_{\text{出}}\% = \frac{|I_{\text{实测}} - I_{\text{理论}}|}{10}.$$

## 四、线路工作原理

### 1. 输入自动短接回路:

由稳压二极管  $DW_2$  和普通二极管  $D_{10}$  反向串接而成, 焊在端子板上, 接在输入信号源两端。 $DW_2$  的齐纳电压  $U_{DW_2}\approx 3\text{V}$ 。当整个线路正常工作时, 输入回路两端所加电压小于  $U_{DW_2}$ , 此时输入自动短接回路为开路, 流经电流为零; 而当本仪器发生故障或取下插头时, 差压变送器给出的信号能击穿  $DW_2$  而自动短接起来, 从而保证了差压变送器输出回路即整个 DDZ 系统正常工作。 $D_{10}$  是为了防止阻抗转换的电源电压通过稳压管  $DW_2$  的正向往  $C_{10}$  上自己充电。

### 2. 阻抗转换电路:

在  $C_{10}$  前加一级阻抗转换回路, 对此回路的要求是:

- (1) 输入阻抗低, 以便与差压变送器低负载电阻匹配;
- (2) 输出阻抗高, 以保证  $C_{10}$  这个可变性负载在充电时电压线性增加;
- (3) 要使  $C_{10}$  上的充电电流和输入信号电流相等。

因此采用两个 NPN 型晶体管共基极复合接法。具体分析如下:

### (1) 电流变换:

由定义  $\alpha = \frac{i_c}{i_b}$  及  $i_c = i_o + i_b$  得

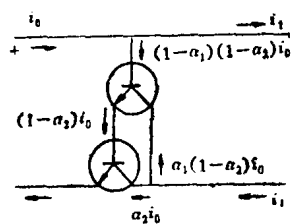


图 3

$$i_b = (1 - \alpha) i_o$$

因此线路各点电流如图 3 所示。

由图可知

$$i_i = \alpha_2 i_o + \alpha_1 (1 - \alpha_2) i_o = (\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_1 \alpha_2) i_o$$

故整个回路

$$\alpha_{\text{总}} = \alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_1 \alpha_2$$

在本线路中

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 0.95,$$

故

$$\alpha_{\text{总}} = 0.9975 \approx 1.$$

### (2) 阻抗变换:

共基极线路具有较低的输入阻抗及较高的输出阻抗。一般发射结伏安特性的正偏动态电阻  $r_e \approx 10^2 \Omega$ , 集电结伏安特性曲线的反偏动态电阻  $r_c \approx 10^8 \Omega$ 。

在本接法情况下, 输入阻抗  $\approx 2r_e$ , 输出阻抗  $\approx r_c$ 。

共基极线路中集电极电压对发射极电流的影响, 即晶体管内部电压负反馈系数  $h_{12} < 10^{-4}$ , 所以当充放电电容的电压有伏特级的变化时, 其输入端只引起不到毫伏的变化, 因此能满足要求。

### 3. 单稳电路、开关电路和充放电回路:

线路如图 4 所示。

单稳触发器静态时,  $BG_5$  导通,  $BG_4$  截止; 此时  $R_{10}$ 、 $R_{11}$  分压, 在  $BG_3$  基极上造成一负电位, 使  $BG_3$  充分截止, 保证信号流  $I$  入向  $C_{10}$  充电。

当有一正脉冲信号输入时, 单稳电路翻转,  $BG_5$  截止,  $BG_4$  导通, 此时  $BG_3$  基极形成一正电位, 使  $BG_3$  充分导通, 将  $C_{10}$  上电荷放电。

$BG_3$  的导通时间, 即  $C_{10}$  放电时间决定于单稳触发脉冲的宽度  $T_2$ 。 $T_2$  的选择应满足放电回路的要求:  $T_2 > 3\tau$ ,

式中  $\tau$  为放电关系式

$$V_c = V_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (V_0 \text{—放电时的初始电压})$$

中的系数, 由图 4 知

$$\tau = (R_9 + r_{ce}) C_{10} = 0.1 \text{ 毫秒},$$

式中  $r_{ce}$  为集电极饱和电阻。

根据经验公式取

$$T_2 = 0.7 R_{14} C_{12} \approx 0.4 \text{ 毫秒}.$$

### 4. 频率——电压变换电路:

频率——电压变换电路是将阻塞振荡器送来的脉冲信号变换为直流电压  $V_s$ ,  $V_s$  与脉冲频率  $f$  成正比, 即  $V_s = Kf$ 。

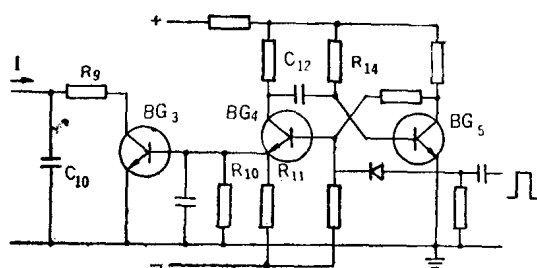


图 4

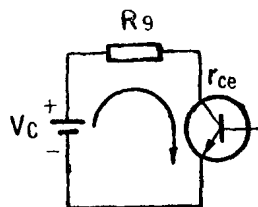


图 5

为了避免阻塞振荡器自激振荡，要求本回路能在 4 KC 时给出一定的直流电压值。  
频率——电压变换电路由双稳触发器、变换器和输出器三部分组成。线路如图 6 所示。

### (1) 双稳触发器：

线路如图 6 所示。各点波形如图 7 所示。双稳触发器接受阻塞振荡器线圈  $W_D$  的输出信号，除分频后给分频电路信号外，还给出幅度为  $+1V \sim -0.5V$  的矩形波（参见图 7, a），使推挽式变换器的两个晶体管轮流导通。

### (2) 变换器：

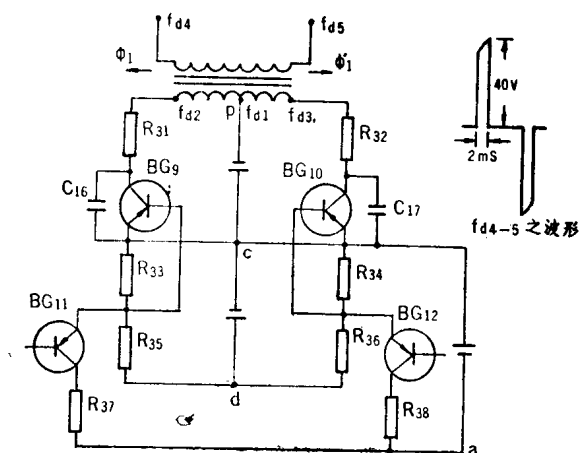


图 6

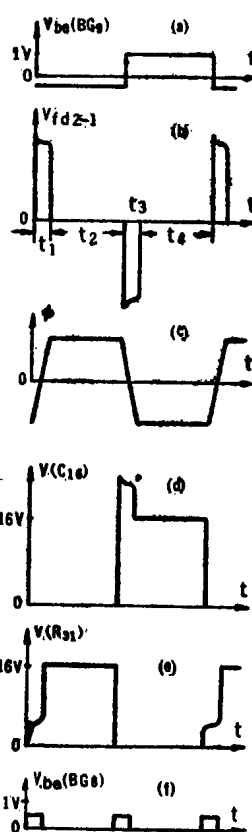


图 7

变换器部分的晶体管  $BG_9$ 、 $BG_{10}$  工作于开关状态，由双稳触发器给出的信号  $V_{fc}$ 、 $V_{ec}$  控制轮流导通，再经  $R_{31}$ 、 $R_{32}$  使  $F \rightarrow D$  变压器原边线圈两臂 ( $fd_1 - fd_2$ ， $fd_1 - fd_3$ ) 经线圈中心抽头  $fd_1$  轮流接通至电源  $P (-16V)$ 。这样使铁芯中磁场变化（参见图 7, c）；在磁通变化过程中 ( $+\phi_m \rightarrow -\phi_m$ )，线圈中感应出电势。具体过程是在线圈某一臂接通、另一臂断开的过程中 ( $t_1$ )，磁通变化为  $-\phi_m \rightarrow +\phi_m$ ，在某一臂感应出一近似的矩形脉冲电势（图 7, b）

此后，进入某一臂稳定导通过程 ( $t_2$ )，磁通为某一定值  $\phi_m$ ，感应电势为零；同样，在某一臂断开、另一臂接通的过渡过程中 ( $t_3$ )，磁通变化  $+\phi_m \rightarrow -\phi_m$ ，感应出反向的矩形脉冲电势。 $t_4$  为另一臂稳定导通的过程。适当选择  $R$ 、 $L$  和原、副边匝比，使副边线圈矩形脉冲电压宽度为 2 毫秒，幅度约为 40 伏。经过全波整流，就产生出与阻塞振荡器给定的频率相同的矩形正脉冲。频率变化时仅表现在脉冲的间距变化，而单个的矩形脉冲波形的宽度、幅度都不变。

F-D 变压器铁芯选用 79H、0.35mm 厚的 II-8 型冲片。

### (3) 输出器：

输出器的作用是将变换器产生的恒宽恒幅的电压脉冲转换成恒宽恒幅的电流脉冲，加到 RC 并联电路上。 $BG_8$  按矩形正脉冲信号在开关状态下工作，导通时所得恒宽恒幅

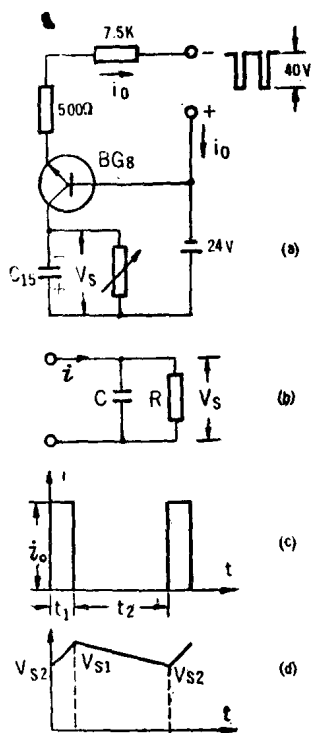


图 8

所以经简化得

$$V_s \approx \frac{t_1 i_0 R}{t_1 + t_2} + 0.5 \frac{t_1 t_2}{t_1 + t_2} i_0 R \approx \frac{t_1}{t_1 + t_2} i_0 R (1 + 0.5 t_2).$$

当  $f = 50\text{Hz}$  时,  $t_2 = 0.018$ 。则

$$V_s \approx \frac{t_1}{t_1 + t_2} i_0 R (1 + 0.009).$$

上式第二项在  $f > 50\text{Hz}$  时可以忽略, 故

$$V_s \approx \frac{t_1 i_0 R}{t_1 + t_2} = K f.$$

结合原理图,

$$R = W_2 + R_{29} + R_{30},$$

所以

$$K = t_1 i_0 (W_2 + R_{29} + R_{30}).$$

经计算可知, 在  $R C \gg t_1$  及  $R C \gg t_2$  的条件下, 本回路可以保证整个线路在信号电流为  $0.2 \sim 10\text{mA}$  情况下的精度要求。

### 5. 比较电路和阻塞振荡器:

比较电路和阻塞振荡器形成一个振荡控制式电压比较器。比较电路线路如图9所示, 主要由三极管  $BG_7$ 、二极管  $D_{12}$  及预埋电压  $V_R$  ( $V_R$  为  $BG_7$  射极电阻  $R_{21}$ 、 $R_{22}$  上的压降)、预埋电阻  $R_8 + W_1$  组成。

参阅波形图10, 比较电路各电压关系如下。

当  $t < t_0$  时,  $C_{10}$  在起始充电过程中 (图9, a)

集电极电流经电容、电阻平滑, 得出所需电压  $V_s$  (参见图8, a)。

$V_s$  的确定可由下式推出 (参见图8, b, c, d):

$$C \frac{dV_s}{dt} + \frac{V_s}{R} = i,$$

结合图8边界条件

解得

$$A = \frac{i_0 R \left( 1 - e^{-\frac{t_2}{RC}} \right)}{e^{-\frac{t_2}{RC}} - e^{-\frac{t_1}{RC}}}$$

$$V_s = \frac{V_{s1} + V_{s2}}{2}$$

在本线路中

$$RC \approx 12 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-6} \Rightarrow 1.2 \text{秒},$$

$$t_1 = 2 \text{毫秒},$$

$$i_0 \approx 5\text{mA}.$$

因为

$$RC \gg t_1, \quad RC \gg t_2,$$

$$\therefore e^{-\frac{t}{RC}} \approx 1 + \frac{t}{RC} \approx 1 + t.$$

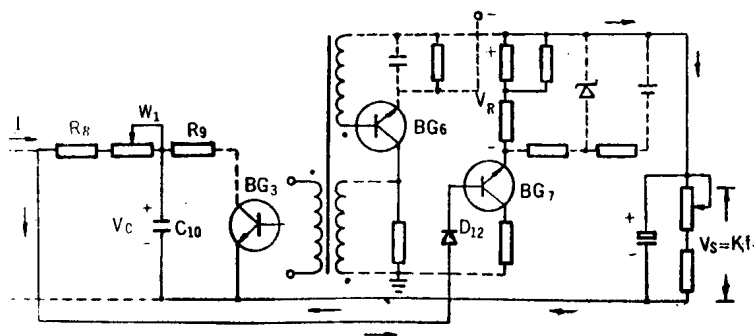


图 9

$$V_c + V_{co} + I_{\lambda}(R_8 + W_1) < V_s + V_{ob} + V_{pn} - V_R \quad (10)$$

其中  $V_c = \frac{I_{\lambda}}{C_{10}}t$ ,  $C_{10}$  上的充电电压;

$V_{co} = I_{\lambda}R_9 + V_{ces}$ , 放电后  $C_{10}$  上剩余电压;

$V_R = V_{R0} \approx 1V$ ,  $t \leq t_0$  时  $V_R$  值;

$V_{ces}$ —BG<sub>3</sub> 饱和压降;

$V_{ob}$ —BG<sub>7</sub> 正向压降;

$V_{pn}$ —D<sub>12</sub> 正向压降。

此时 BG<sub>7</sub> 和 D<sub>12</sub> 被反向偏置, 都处于截止状态。

当  $t = t_0^-$  时, BG<sub>7</sub> 基极和射极电位相等,  $V_{ob} + V_{pn} = 0$ ; BG<sub>7</sub> 和 D<sub>12</sub> 还处于截止状态。(10)式成为

$$\frac{I_{\lambda}}{C_{10}}t_0 + I_{\lambda}(R_8 + R_9 + W_1) + V_{ces} = V_s - V_{R0}$$

当  $t = t_0^+$  时, BG<sub>7</sub> 和 D<sub>12</sub> 开始导通,  $V_{ob} + V_{pn}$  上升, BG<sub>7</sub> 集电极电流逐渐增大 (图 10, d)。这使  $V_R$  逐渐减小 (图 10, b)。在  $t_0$  到  $t_1$  这一时间内, 由于阻塞振荡器尚未工作,  $C_{10}$  继续充电至  $\frac{I_{\lambda}}{C_{10}}t_{1c}$  到  $t = t_1$  时, BG<sub>7</sub> 的射极电流增大到足以使阻塞振荡器进入自振, 其第一个输出脉冲立即使单稳翻转, 而使开关管 BG<sub>3</sub> 导通。这使  $C_{10}$  放电,  $V_c$  电压下降。

当  $t = t_3$  时,  $V_{ob} + V_{pn} = 0$ , BG<sub>7</sub> 又截止。

由于  $t_3 - t_1$  小于阻塞振荡器本身的自振周期, 故保证了比较电路工作一次, 阻塞振荡器仅给出一个脉冲。

在  $t = t_1$  时, (10)式成为

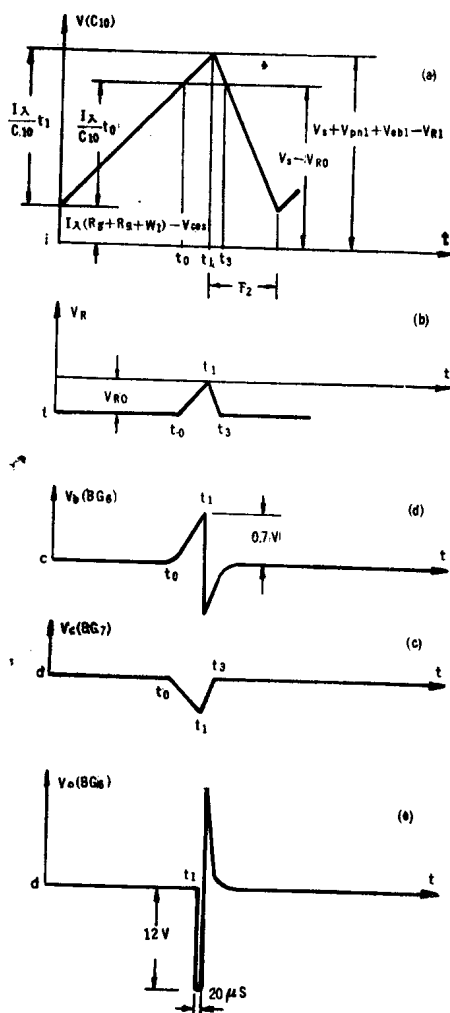


图 10

$$\frac{I_{\lambda}}{C_{10}}t_1 + I_{\lambda}(R_8 + R_9 + W_1) + V_{ces} = V_s + V_{eb1} + V_{pn1} - V_{R1},$$

式中  $V_{eb1}$ 、 $V_{pn1}$ 、 $V_{R1}$  分别为  $t=t_1$  时的  $V_{be}$ 、 $V_{pn}$ 、 $V_R$  的相应值。

$$\text{因} \quad f = \frac{1}{t_1 + T_2}, \quad V_s = Kf,$$

所以

$$f = \frac{1}{\frac{C_{10}Kf}{I_{\lambda}} + \frac{C_{10}}{I_{\lambda}}(V_{eb1} + V_{pn1} - V_{R1} - V_{ces}) + T_2 - C_{10}(R_8 + R_9 + W_1)}$$

调整  $V_R$ , 使  $(V_{eb1} + V_{pn1} - V_{R1} - V_{ces}) = 0$ ,

$$V_{eb1} + V_{pn1} - V_{ces} = V_{R1},$$

调整  $W_1$ , 使  $T_2 - C_{10}(R_8 + R_9 + W_1) = 0$ ,

即得

$$f = \sqrt{\frac{I_{\lambda}}{KC_{10}}} = K_3 \sqrt{I_{\lambda}}$$

如  $I_{\lambda}$  以 mA 计, 则

$$K_3 = \frac{1}{\sqrt{K \cdot C_{10} \cdot 10^3}}.$$

## 6. 分频及驱动线路:

由频率-电压变换线路双稳触发器输出信号给分频电路。分频电路本身系由四级双稳触发器和驱动回路组成。

驱动回路见原理线路图。由最后一级触发器两管  $BG_{109}$ 、 $BG_{110}$  的截止和导通来控制驱动回路相应的两管  $BG_{111}$  和  $BG_{112}$  的基极电位 ( $\pm 1V$ ), 使  $i$  轮流导通, 从而使步进电机两绕组亦轮流导通, 控制电机转动。

由于步进电机线圈电感较大, 在两相线圈轮流断电时, 会产生较大的感应电势。为了保护晶体管 and 加速步进电机线圈磁场的变化, 在步进电机线圈两端分别并连二极管  $D_{111}$  和  $D_{112}$ ; 这样可使线圈断电时的感应电势经二极管短接, 将磁能衰减在线圈内。

步进电机采用我厂产品 YB 1-20 型两相永磁步进电机, 其技术指标如下:

- (1) 步距  $12^\circ$ ,
- (2) 输出力矩 5 gcm,
- (3) 工作频率 20 Hz,
- (4) 电压 18 VDC。

## 7. 开方关系 $f = K_3 \sqrt{I_{\lambda}}$ 的调整方法:

由于频率较低, 为了提高测量精度, 用测量周期来进行调整。周期  $T$  的测量方法是用数字频率计接至接线端子的“脉冲输出”端 (参见图14)。

由(11)式得

$$T = \frac{C_{10}Kf}{I_{\lambda}} + \frac{C_{10}}{I_{\lambda}}(V_{eb1} + V_{pn1} - V_{R1} - V_{ces}) + T_2 - C_{10}(R_8 + R_9 + W_1),$$

如  $B = C_{10}(V_{eb1} + V_{pn1} - V_{R1} - V_{ces}) = 0$ , 即  $V_{R1} = V_{eb1} + V_{pn1} - V_{ces}$ ,

$$C = T_2 - C_{10}(R_8 + R_9 + W_1) = 0,$$

开方关系即可建立:

$$T = \frac{C_{10}Kf}{I_{\lambda}} = \frac{C_{10}K}{I_{\lambda}} \sqrt{\frac{I_{\lambda}}{KC_{10}}} = \frac{\sqrt{C_{10}K}}{\sqrt{I_{\lambda}}} = \frac{A}{\sqrt{I_{\lambda}}},$$

如  $I_{\lambda}$  以 mA 计,  $A = \sqrt{C_{10} \cdot K \cdot 10^3}$ 。

因此, 一台未调好的仪表, 其  $T$  值可看作由三个部分组成:

$$T = \frac{A}{\sqrt{I_{\lambda}}} + \frac{B}{I_{\lambda}} + C$$

调整的要求是:

调  $W_1$ , 使  $C=0$ ;

调  $W_2$ , 使  $K=0.0678$ , 因  $K=t_{1i_0}(W_2 + R_{29} + R_{30})$  (参阅第四节);

调整  $R_{23}$ , 改变  $V_{R0}$ , 使  $B=0$ ;  $R_{23}$  是一固定电阻, 其阻值已选择适当, 调整中一般不需要变换。

下表列出  $I_{\lambda}$  为 1、4、7、10mA 时  $T$  的理论值和  $T$  理论值  $\pm 0.5\%$  误差的  $T$  值。

$$T_{\text{理} \pm 0.5\%} = \frac{1}{f_{\text{理} \pm 0.5\%}} = \frac{1}{f_{\text{理} \pm 192 \cdot \frac{5}{1000}}}$$

| $I_{\lambda}$ (mA)     | 1      | 4      | 7      | 10     |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|
| $T_{\text{理}} + 0.5\%$ | 16.214 | 8.1705 | 6.1882 | 5.1824 |
| $T_{\text{理}}$ (mS)    | 16.470 | 8.2351 | 6.2251 | 5.2083 |
| $T_{\text{理}} - 0.5\%$ | 16.735 | 8.3007 | 6.2626 | 5.2343 |

由(12)式得:

$$\frac{dT}{dW_1} = -1; \quad \frac{dT}{dW_2} = \frac{1}{\sqrt{I_{\lambda}}}; \quad \frac{dT}{dV_{R1}} = -\frac{1}{I_{\lambda}}.$$

以上三式说明:

(1) 调整  $W_1$  时,  $T$  值变化与信号电流  $I_{\lambda}$  无关,  $W_1$  增大时  $T$  值减小。就是说, 改变  $W_1$ , 可使开方曲线  $f = K_3 \sqrt{I_{\lambda}}$  沿  $T$  轴位移 (参见图11)。

调整  $W_2$  时,  $T$  值的变化正比于  $\frac{1}{\sqrt{I_{\lambda}}}$ 。

调整  $R_{23}$  (改变  $V_R$ ) 时,  $T$  值的变化正比于  $\frac{1}{I_{\lambda}}$ 。  
 $R_{23}$  增加 ( $V_R$  减小),  $T$  增加。

(2) 设  $T_{(1)}$ 、 $T_{(4)}$ 、 $T_{(7)}$ 、 $T_{(10)}$  分别为  $I_{\lambda} = 1、4、7、$

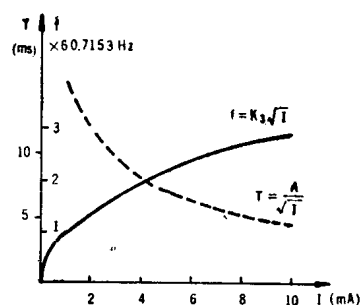


图 11

10mA时的周期值。

如在  $I_{\lambda}=10\text{mA}$  时调  $W_2$ , 使  $T_{(10)}$  改变  $\Delta T$ , 则相应于  $I_{\lambda}=1、4、7\text{mA}$  的  $T$  值增量。

$$\Delta T_1 = \frac{\sqrt{10}}{1} \Delta T = 3.2\Delta T; \Delta T_4 = \frac{\sqrt{10}}{\sqrt{4}} \Delta T = 1.6\Delta T; \Delta T_7 = \frac{\sqrt{10}}{\sqrt{7}} \Delta T = 1.2\Delta T。$$

(3) 如在  $I_{\lambda}=10\text{mA}$  时调整  $R_{23}$ , 使  $T_{(10)}$  改变  $\Delta T$ ,

则 
$$\Delta T_1 = \frac{10}{1} \Delta T = 10\Delta T; \Delta T_4 = \frac{10}{4} \Delta T = 2.5\Delta T; \Delta T_7 = \frac{10}{7} \Delta T = 1.4\Delta T。$$

(4) 如调整  $W_1$ , 使  $T_{(10)}$  增加  $\Delta T$ , 然后再调  $W_2$ , 使  $T_{(10)}$  减少  $\Delta T$ , 则总起来  $T_{(10)}$  没有变化, 而  $T_{(1)}$ 、 $T_{(4)}$ 、 $T_{(7)}$  分别减少了  $2.2\Delta T$ 、 $0.6\Delta T$ 、 $0.2\Delta T$ 。

(5) 如调整  $W_1$  使  $T_{(10)}$  增加  $\Delta T$ , 调整  $R_{23}$  使  $T_{(10)}$  减少  $\Delta T$ , 则  $T_{(10)}$  无变化, 而  $T_{(1)}$ 、 $T_{(4)}$ 、 $T_{(7)}$  分别减少了  $9\Delta T$ 、 $1.5\Delta T$ 、 $0.4\Delta T$ 。

由此可见, 两个不同调整量配合起来, 可使  $T_{(1)}$ 、 $T_{(4)}$ 、 $T_{(7)}$ 、 $T_{(10)}$  得到不同的  $T$  值变化, 从而使仪表调整到精度范围之内。

现将  $W_1$ 、 $W_2$ 、 $R_{23}$  改变时  $T$  值变化的规律列于下表:

| 项 号      | 调整量                                 | $I_{\lambda}$<br>$T$                   | 1 mA                           | 4 mA                           | 7 mA                           | 10mA                                        |
|----------|-------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------|
| (1)      | $W_1 \uparrow$                      | $\Delta T \downarrow$                  | $\Delta T$                     | $\Delta T$                     | $\Delta T$                     | $\Delta T$                                  |
| (2)      | $W_2 \uparrow$                      | $\propto \frac{1}{\sqrt{I_{\lambda}}}$ | $3.2\Delta T$                  | $1.6\Delta T$                  | $1.2\Delta T$                  | $\Delta T$                                  |
| (3)      | $R_{23} \uparrow$                   | $\propto \frac{1}{I_{\lambda}}$        | $10\Delta T$                   | $2.5\Delta T$                  | $1.4\Delta T$                  | $\Delta T$                                  |
| (1), (2) | $W_1 \uparrow$<br>$W_2 \uparrow$    |                                        | $\Delta T_{(1)} = 2.2\Delta T$ | $\Delta T_{(4)} = 0.6\Delta T$ | $\Delta T_{(7)} = 0.2\Delta T$ | $\Delta T_{(10)} = \Delta T - \Delta T = 0$ |
| (1), (3) | $W_1 \uparrow$<br>$R_{23} \uparrow$ |                                        | $\Delta T_{(1)} = 9\Delta T$   | $\Delta T_{(4)} = 1.5\Delta T$ | $\Delta T_{(7)} = 0.4\Delta T$ | $\Delta T_{(10)} = \Delta T - \Delta T = 0$ |

调整步骤如下:

(1)  $I_{\lambda}=10\text{mA}$  时调电位器  $W_2$  (需要时也可调  $W_1$ ), 使  $T_{(10)}=5.2083\text{ms}$ ; 然后检查  $T_{(1)}$ 、 $T_{(4)}$ 、 $T_{(7)}$ , 如都在  $\pm 5\%$  精度范围内, 开方关系就算调好。

(2) 如  $T_{(1)}$ 、 $T_{(4)}$ 、 $T_{(7)}$  都超过  $\pm 5\%$ ,  $\Delta T_1 > \Delta T_4 > \Delta T_7$ , 且大致符合  $\Delta T_1 = 2.2\Delta T$ ,  $\Delta T_4 = 0.6\Delta T$ ,  $\Delta T_7 = 0.2\Delta T$  的规律, 则说明  $W_1$ 、 $W_2$  未调好。

在  $I_{\lambda}=10\text{mA}$  时, 调  $W_1$  使周期增加  $\Delta T_{10} = \frac{\Delta T_1}{2.2}$ , 然后调  $W_2$ , 使周期回至原值, 再检查  $T_{(1)}$ 、 $T_{(4)}$ 、 $T_{(7)}$ , 经过一二次调整后就可使  $T$  进入  $5\%$  精度。

(3) 如  $\Delta T_1 > \Delta T_4 > \Delta T_7$ , 且大致按  $\Delta T_1 = 9\Delta T$ ,  $\Delta T_4 = 1.5\Delta T$ ,  $\Delta T_7 = 0.4\Delta T$  的规律, 则说明  $W_1$  和  $R_{23}$  需要调整。

可将  $R_{23}$  改变一阻值焊上。减少  $R_{23}$ , 使  $T_{10}$  减少,  $\frac{\Delta T_1}{9}$  再减少  $W_1$ , 使  $T_{(10)}$  增至原值, 复查  $T_{(1)}$ 、 $T_{(4)}$ 、 $T_{(7)}$ 。

(4) 如按(2)调整后,  $T_{(10)}$ 、 $T_{(1)}$  都符合精度要求, 但  $T_{(4)}$ 、 $T_{(7)}$  偏高, 则  $W_1$ 、 $W_2$ 、 $R_{23}$  都需要调整。先减少  $R_{23}$ , 使  $T_{(1)}$  大幅度下降, 再增加  $W_2$ , 使  $T$  值上升, 必要时



再配合调整  $W_1$ 。

### 8. 电压-电流变换器及其调整方法:

电压-电流变换器线路如图 12 所示。它是一个强负反馈的高电平直流放大器，将  $0 \sim 3$  V 直流电压经两级差动放大，再经功率放大，得到稳定的  $0 \sim 10$  mA 直流输出。

$BG_{201}$  和  $BG_{202}$  组成共发射极差动式电路，信号由  $BG_{201}$  的基极输入，反馈电压输入至  $BG_{202}$  的基极。

$BG_{203}$  和  $BG_{204}$  组成单端输出的差动式电路。由  $BG_{205}$  功率放大后输出。

$W_{201}$  是调零电位器，在正常工作时，当  $I_{\text{入}} = 0$ ，即  $V_{\text{入}} = 0$  时，把  $I_{\text{出}}$  由大往小调至  $20 \mu\text{A}$  左右停止（勿再调小）。

$W_{202}$  是负反馈电阻，调节  $W_{202}$ ，可使  $I_{\text{入}} = 10 \text{ mA}$  时  $I_{\text{出}} = 10 \text{ mA}$ 。

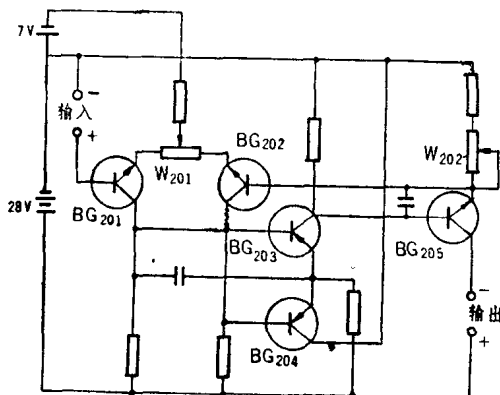


图 12

## 五、仪表结构与安装

本仪表采用面板嵌入式结构（外形图见封三）。

仪表门框尺寸:  $160 \times 80 \text{ mm}$ , 机壳尺寸:  $150 \times 74 \times 400 \text{ mm}$ , 开孔尺寸:  $153^{+1} \times 75^{+1} \text{ mm}$ 。安装时由支撑螺栓紧固在仪表盘上。仪表内部结构见封三。

开方器和开平积算器的出线端子如图 13 所示，插座插上后，电源、输入、输出均与接线端子接通。

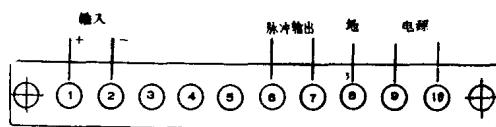


图 13

## 六、仪表使用前的校验

首先按图 14 标志接线，并在输出端接  $0 \sim 1.5 \text{ K}$  模拟负载。然后进行如下校验。

1.  $I_{\text{出}} = K_2 \sqrt{I_{\text{入}}}$  的校验:

输入信号按 1、4、7、10 mA 给定，输出直流电流应按表 1 对应给出。

2.  $\sum_{0}^t f = K_1 \int_0^t \sqrt{I_{\text{入}}} dt$  关系的校验:

输入信号按 1、4、7、10 mA 给定，使计数器复零后计时，其对应数字应按表 1 相应得出。