

10⁻⁷ 安积分电路*

石海容
(中国科学院)

提 要

在核物理实验中,往往需要测知离子流的电量与离子流强度.比较简便的方法是用积分电路来测量电量,同时可指示离子流强度.本文所介绍的是一个实用的积分电路,其中包括直流放大,触发电路,计数电路及稳定电源等.离子流的强度由仪器上电流表指出,电量由机械计数器的数字来表示.

基 本 原 理

使离子流对已知容量的电容器充电(图1),我们有

$$q = \int i dt, \quad (1)$$

$$V = \frac{q}{C} = \frac{1}{C} \int i dt. \quad (2)$$



若能测知电容两端的电压,则可得出在给定时间内离子流之电荷量.电压的测量可利用触发电路,基本原理如图2所示.当电容两端的电压被充到所选定的电压 V_0 时,触发电路动作使电容放电,同时送一脉冲至计数器记一数字.这样计数器的数字即代表电荷量.电容两端的电压变化如图2(b)所示.设触发电路的动作电压 V_0 为10伏,积分电容的容量 C 为10微法,则每一数字的电量为100微库仑,若计数器每秒记录一次,则平均电流为100微安.

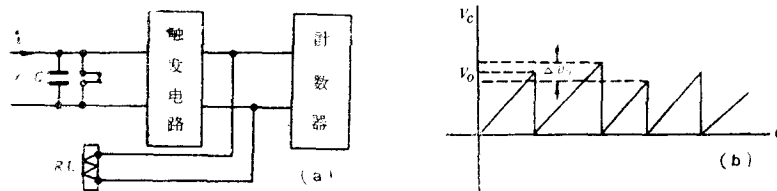


图 2

但是这样简单的电路实际上是不能应用的,因为触发电路的动作电压 V_0 的上下变动 ΔV_0 [图2(b)]将带来误差,若 ΔV_0 为0.1伏,欲使其精确度达到1%,则 V_0 应为10伏.在输入端这样大的电压变化又将带来其他的误差,如输入阻抗不够大时将引起电流的变化等.因此要求对图2的线路加以改进,通常利用图3所示的两种办法.第一种办法

* 1960年4月5日收到.

[图3(a)] 先将电流放大再积分^[1,3], 第二种改进办法是积分后再将电压放大, 然后接至触发电路^[2]. 这样可以提高仪器的灵敏度与精确度.

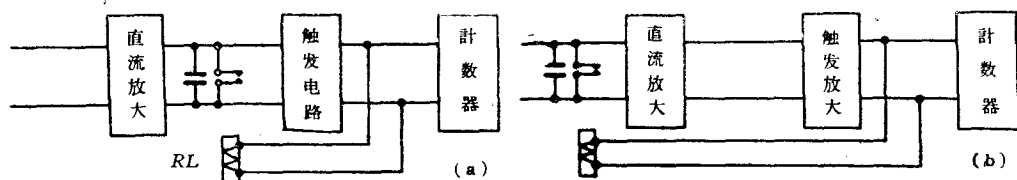


图 3

电路的一般考虑

电路方框图如图 4. 基本上是图 3 (a) 的形式. 工作原理简单, 稳定性也较好. 它的工作原理是这样的: 若将继电器 S 闭合, 左边的电路显然是一负反馈直流放大器. 输出端

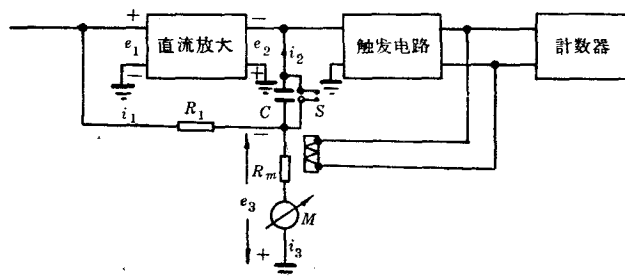


图 4

的负荷就是电流表, 设电阻为 R_m , 则在 R_m 上的电压降为

$$e_3 = A e_1 = \frac{A}{A+1} i_1 R_1, \quad (3)$$

其中 A 为放大器本身的增益, 通常 $A \gg 1$. 输入电流 i_1 可写为

$$i_1 = \frac{A+1}{A} \cdot \frac{e_3}{R_1} \approx \frac{e_3}{R_1}, \quad (4)$$

而

$$e_3 \approx i_3 R_m; \quad (5)$$

代入(4)式, 得出 i_1 与 i_3 的关系:

$$i_1 \approx \frac{R_m}{R_1} i_3, \quad i_3 \approx \frac{R_1}{R_m} i_1. \quad (6)$$

由此可见, i_3 比 i_1 大 $\frac{R_1}{R_m}$ 倍, 亦即 i_1 被放大了 $\frac{R_1}{R_m}$ 倍. 这样电表中所流过的电流 i_3 即可指示 i_1 的大小, 也就是说相当于一电子式电流计.

若打开 S , 放大器的输出电流将使电容 C 充电, 电容的充电电流 $i_2 = i_1 + i_3$, 因 $i_3 \gg i_1$, 故可将 i_1 忽略, 得电容两端的电压

$$V_c \approx \frac{1}{C} \int i_3 dt = \frac{1}{C} \cdot \frac{R_1}{R_m} \int i_1 dt, \quad (7)$$

即 i_1 被放大了 $\frac{R_1}{R_m}$ 倍后再来积分, 当电容两端的电压到达一选定数值时, 触发电路动作, 使继电器动作闭合 S 让电容放电, 同时送一脉冲至计数器, 使计数器动作一次, 这样, 计数器每记一个数字就相当于电容上电荷到达某数值一次, 所以计数器的数字即可代表电荷量. 积分的误差可以从以下比较中得出, 由(3)式得

$$i_1 R_1 = e_3 + \frac{e_3}{A}. \quad (8)$$

积分时 S 打开, 则

$$e_2 = A e_1 = V_c + e_3 \quad (9)$$

及

$$i_1 R_1 = e_3 + e_1, \quad (10)$$

即

$$i_1 R_1 = e_3 + \frac{e_3}{A} + \frac{V_c}{A}. \quad (11)$$

比较(8)与(11), 可见误差决定于 V_c/A 项, 如果 e_3 是 1 伏, V_c 从零到 100 伏, 为了使误差小于 1%, 那么 A 要大于 10000.

由于在某些量程上, i_1 不是小于 i_3 很多, 对电容器 C 的充电电流是 $i_1 + i_3$ 而且方向相同, 电容充电的速度将比 i_3 单独充电时快, 因此在大量程的几挡触发电压是分别调整的, 这样可以补偿由 i_1 充电的电量, i_1 比 i_3 大时这个线路就不适用了.

每一量程所测量的范围, 由继电器动作与电容的漏电来决定, 通常应用时以离子流的强度约使积分电路每秒动作一次为宜, 因为若动作次数太多, 则继电器的动作时间将带来误差, 与动作次数太少每次间隔时间(即积分时间)太长, 则电容的漏电将带来误差. 在考虑电路时应考虑到这些因素. 虽然如此, 将仪器的精确度校准到 1% 以上也是很困难的, 这需要在最初运用的数星期内仔细地调整.

电 路 分 析

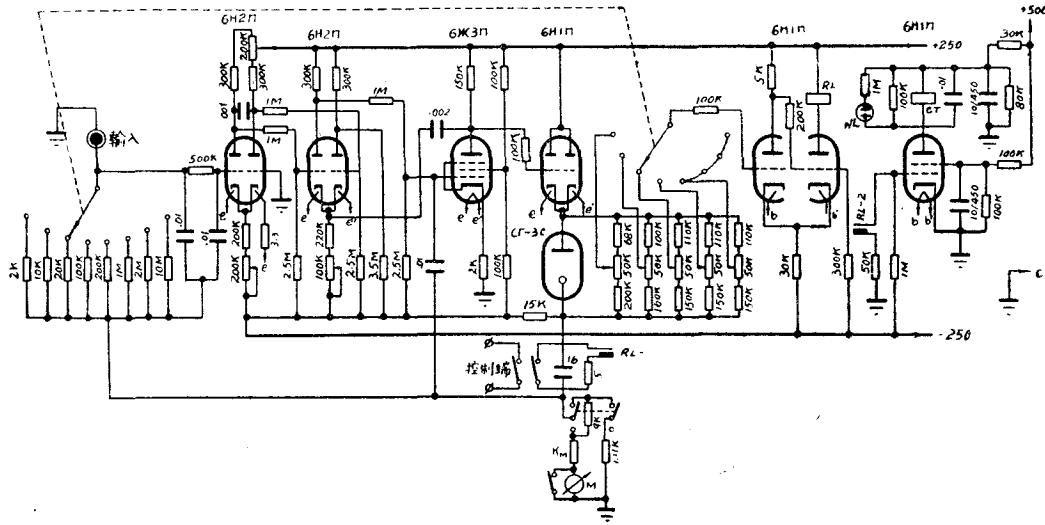
整个仪器的电路如图 5, 其中包括稳定电源, 直流放大, 触发电路和计数电路.

稳压电源为一般的电子稳压线路, 它的特点是直流放大器的放大倍数很大, 由 6119C 作差分放大后再经五极管 6X3 放大, 最后输出至控制管 6П6C. 这样稳压电路装的好, 话, 稳定度可达万分之几, 它和所用参考电压的稳定度有很大关系. 电路中以 CF-3C 含气管的电压作为参考电压. 若用 85A1 或 85A2 作参考电压管, 则稳定度还可提高. 但因为目前国内尚未生产这类稳压管, 为了便于推广, 还是采用 CF-3C 为宜.

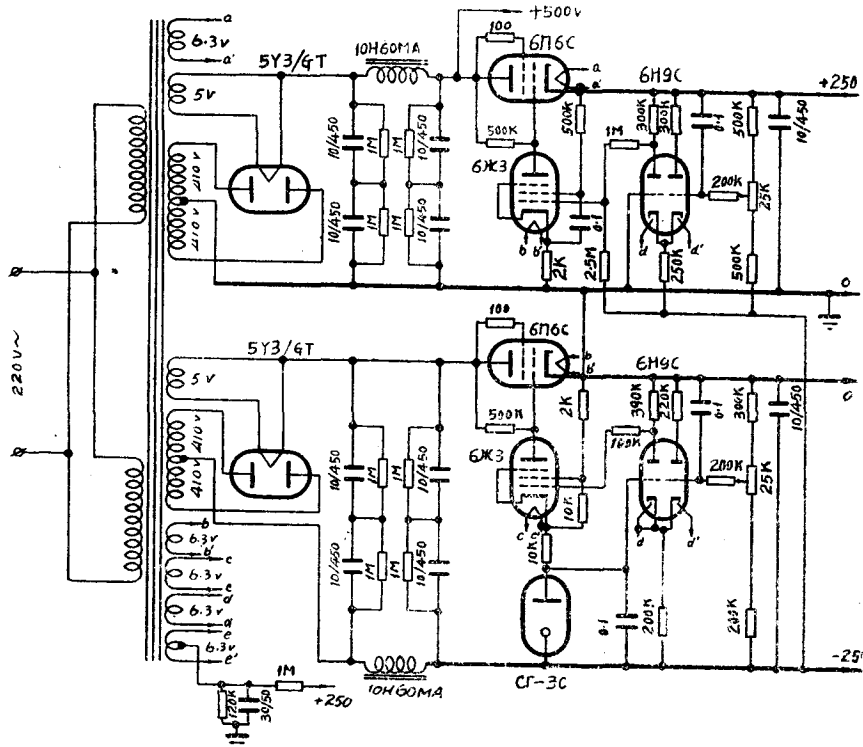
稳压电源的第二个特点是正负电压是相关连的, 从图中可以看出, 正稳压部分的取样电阻接在负压上, 这样当负压变化时, 正电压也相应地变化, 用这种接法, 当负压向负变化时, 正电压向正变化. 这样对积分电路的直流放大器是有利的.

积分电路的直流放大器由三级直流放大一级阴极输出组成, 前两级直流放大以双三

极管 6H2Π 作差分放大, 第三級以五极管 6Ж3Π 放大以得到足够大的放大倍数, 最后以 6H1Π 并联作阴极输出器. 在阴极输出的阴极接有含气管 CF-3C, 这样使得输出点的电位在沒有輸出时为零.



(a)



(b)

图 5

第一个差分放大管 $6H2\Pi$ 的灯丝电路里串着一个电阻,它的作用是减少 $6H2\Pi$ 的栅流。所有放大管的灯丝共用一组 $6.3V$ 电源。为了免除交流 50 周的影响,将中点接在直流 $+25-30$ 伏的电位处。这样可以大大减少在阴极上的 50 周噪音。整个放大器各级间都有交流的负反馈。压低高频响应,防止由于相移而产生振荡。

触发电路是由 $6H1\Pi$ 构成的斯密特触发电路,右面三极管板极电路里接着一个有两组接点的继电器。平时左面三极管通右面截止,当被触发时则右面通而使继电器动作,继电器动作后,一组接点使积分电容放电,另一组使记数电路动作。

计数电路是由 $6\Pi1\Pi$ 构成常用的一种计数电路。平时栅极电位很负,管子截止,计数时由于栅极经继电器接点接地而电位突然上升。管子流过一很大的脉冲电流,而使接在板极电路的机械记数器动作。为了便于观察在板极电路中接着一个氖泡,每记数一次即亮一次。

机械记数器是国产四位数字水平型计数器,这个仪器的全部零件完全是国产的。

在电表电路中接着分流器,当需要仔细读数时,将分路去掉可扩大指针偏转度数十倍,而对积分电路是没有影响的,表头是 $0-100$ 微安的。加上分流器时为 $0-1$ 毫安。电表的阻抗,即负载电阻配成 1000 欧姆。如没有 100 微安的表头,用 1000 欧姆内阻 1 毫安的表头也是一样的。

电路的按装与调整

电路中所有的另件都是一般通用的另件,电阻是炭膜电阻与线绕电阻。零件的数值如图中所示误差只要不太大即可。电容器就是一般的纸介电容与电解电容,继电器要灵敏度较高的一种,动作电流 $6-8$ 毫安即可。

电子管除了差分放大所用的电子管要挑选一下外,都是一般的电子管,直流放大中所用的电子管要进行老化,电源中取样电阻也要预先老化一下。

另件选择好了要进行一次检查与测量,差分放大对称部分所接的零件数值要一样,第一个管子栅极上所接的电阻(即变换量程的电阻 R_1)要用电桥测量,因为这些电阻直接影响着仪器的精确度,因此要求误差在 1% 以下。

仪器的按装并没有什么特殊要求,和一般仪器一样不外乎排列整齐、零件分布合理、散热通风良好及外形美观等。在按装过程中所要特别注意的是直流放大器的屏蔽。最好放大器部分的灯丝与栅极引线都采用金属屏蔽线。其他都如焊接一般仪器一样,不再赘述。

仪器装好以后,经过检查核对无误即可进行调整。调整工作从电源开始,先调好电源,然后再插上其他电子管。触发电路和计数电路是比较容易调整的,困难的是直流放大器部分。直流放大器部分需要从前往后,从后往前,往返进行数次调整。如电源纹波太大,或外界干扰未能很好屏蔽都会影响调整工作的进行,如果调来调去总不能得到满意的结果,可用示波器看一看 $6K3\Pi$ 板极的电压,看看是否有很大交流成份存在。如果有的话,则须先将这些干扰设法消除,然后再进行调整。

仪器调好以后,即可进行校准,校准时以一高内阻的电流源,串一标准电流计进行校准,如图 6 所示。先校准各电流量程,然后校准积分后的触发电路。在校准时,若电流计指

示数字不准,可以调整各挡的 R_1 数值来补偿。在电流指示小量程的一挡 10^{-7} 安可用电

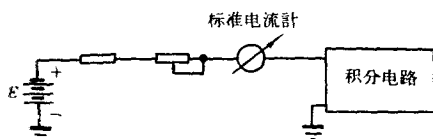


图 6

流时间法^[4]来校准。但是一般在前几挡校准之后,这一挡只要电阻测量得足够准确,误差是不会很大的。电流指示校准好以后,将开关打开使其积分,调整各挡的触发水平,使在电流表满量程时计数器每秒动作一次,观察 100 秒以上不差一次

即可。

仪器的量程分为八挡, R_1 分别为 2K, 10K, 20K, 100K, 200K, 1M, 2M 与 10M 欧姆。相当于电流 500, 100, 50, 10, 5, 1, 0.5 与 0.1 微安。在各挡积分计数器所指的数字即为电量,例如在 5 微安一挡每一数字为 5 微库仑。

参 考 文 献

- [1] Higinbotham, W. A. and Rankowitz, S., *Rev. Sci. Inst.* **22** (1951), 688.
- [2] Lewis, I. A. D. and Collinge, B., *Rev. Sci. Inst.* **24** (1953), 1113.
- [3] Raphael Littauer, *Rev. Sci. Inst.* **25** (1954), 148.
- [4] Herbert N. Royden and David O. Caldwell, *Rev. Sci. Inst.* **27** (1956).

ИНТЕГРАТОР ТОКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ 10^{-7} АМПЕРА

Шн Хай-жун

(Академия Наук Китая)

Резюме

В работе представлена практическая схема интегратора тока, для измерения интенсивности и кулона ионного тока, которые будут показаны соответственно на амметре и механическом счетчике. В схеме включаются усилитель постоянного тока, триггерная схема, счетчик импульсов и стабилизированный источник питания.