

# 同步键控器

邹铁辉

(中国科学院东海研究站)

同步键控器是为水声、超声的理论研究、设备研制、试验和测量研制的实验仪器。它有经过延迟和不经延迟的方脉冲输出，脉冲的重复周期和宽度有很宽的调节范围和较好的稳定性；开关电路有很高的键控量，频率响应好；仪器有五种工作状态，能满足多种试验和精密测量的要求。本机体积小、重量轻，可交、直流供电，操作简单，可供从事水声、超声和电子工作的科研、工厂、学校的实验室使用。

## 一、主要技术指标

1. 脉冲重复周期： $100\mu\text{s}\sim 10\text{s}$ ，分五档，连续可调；
2. 输出脉冲宽度：
  - (1) 键控脉冲： $10\mu\text{s}\sim 1\text{s}$ ，分五档，连续可调；
  - (2) 选通脉冲： $10\mu\text{s}\sim 1\text{s}$ ，分五档，连续可调；
3. 选通脉冲相对于键控脉冲的延迟时间： $100\mu\text{s}\sim 10\text{s}$ ，分五档，连续可调(延迟脉冲在面板上有监测端，可用它输出正极性脉冲)；
4. 输出脉冲幅度：当负载不小于  $10\text{k}\Omega$  时，大于  $12\text{V}$ ；
5. 输出脉冲极性：键控脉冲和选通脉冲都有正、负极性的脉冲输出；
6. 开关电路的键控量：大于  $110\text{db}$ ；
7. 填充信号的频率响应： $200\text{c/s}\sim 200\text{kc/s}$ ，起伏小于  $1\text{db}$ ；
8. 输出信号幅度：当负载不低于  $600\Omega$  时，大于  $3\text{V}$ ；
9. 工作方式：键控、连续、外控、外触

发和手控五种；

10. 体积： $290\times 170\times 180\text{mm}^3$ ；
11. 重量： $5\text{kg}$ ；
12. 电源电压： $220\text{V}$  交流或  $24\text{V}$  直流。

## 二、仪器方框图

整机方框图如图 1 所示。

输入信号经输入电路隔离后分成三路：一路经放大整流后作输入信号的幅度监视；一路经同步电路放大、整形后作为触发脉冲的同步信号；另一路经放大和两级开关电路、一级输出电路后作为所需的信号输出。延迟单稳态和键控单稳态同时由机内触发信号或外接正脉冲触发，得到相应的方脉冲信号输出。延迟脉冲触发选通单稳态，得到正、负选通方脉冲输出。开关电路的控制信号可以由机内的键控脉冲或外接正脉冲得到，也可以是固定的或由手动提供的高电平得到，它们和触发信号一起由同一个“工作状态选择”开关切换，以得到各种不同的工作状态。电表在“手控”时监视电源电压，在其它工作状态均监视输入信号的幅度，以防输入信号过大而引起非线性失真。

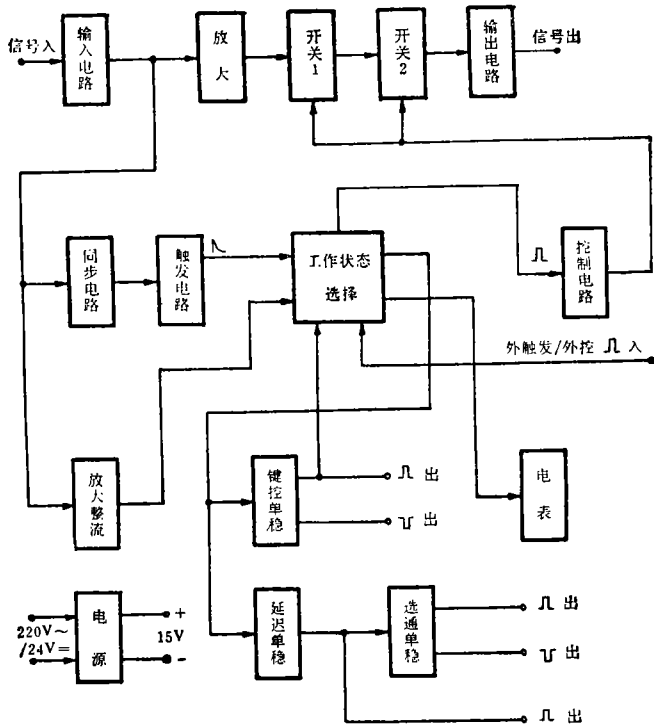


图1 整机方框图

### 三、键控原理和键控量的计算

开关电路由一个并联——串联 FET 开关和一个有较高开环增益的运算放大器组成,其原理电路和开关等效电路如图 2 所示。在图 2(a)电路中,并联开关  $BG_1$  的控制信号和串联开关  $BG_2$  的控制信号相位相反,因此,  $BG_1$  和  $BG_2$  的通导状态相反:当  $BG_1$  截止时,  $BG_2$  导通,信号能顺利通过,开关“接通”;  $BG_1$  导通时,  $BG_2$  截止,信号不能通过,开关“关断”。这就是键控原理。

利用运算放大器输入端的“虚地”原理,可以保证在输入信号较大时,开关仍能正常工作,并有较大的不失真输出动态而又不增加电路的输出噪声。

在图 2(a)电路中,当  $BG_1$  的栅极加上一个负脉冲时,  $BG_2$  的栅极即被加上一个正脉冲,因此  $BG_1$  截止,  $BG_2$  导通,图 2(b)

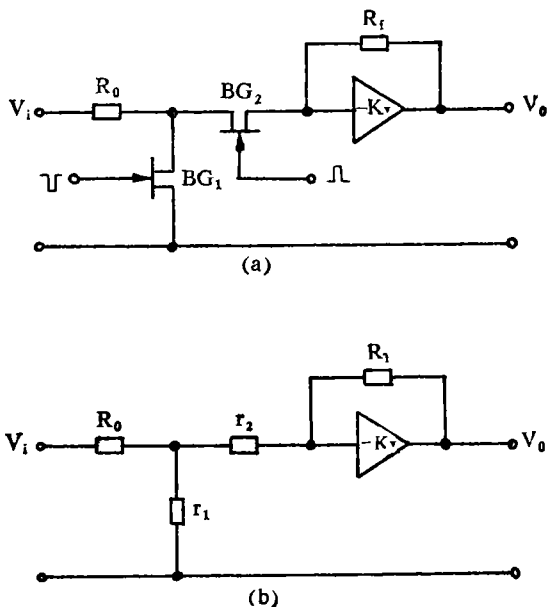


图2 开关原理电路(a)及其等效电路(b)

中的  $r_1$  等于  $BG_1$  的夹断电阻  $r_{d1}$ ,  $r_2$  等于  $BG_2$  的导通电阻  $r_{f2}$ , 并且有:

$$r_{b1} \gg R_0, r_{f2} \ll R_0 \quad (1)$$

这样,  $r_1$  和  $r_2$  均可被忽略。根据运算放大器的理论, 这时电路的传输系数  $K_{on}$  为:

$$K_{on} = \frac{Z_L(Z_0 - K_V R_f)}{K_V Z_i Z_L + (Z' + Z_L)(R_f + Z_0 + Z_S)} \cdot \frac{Z_i}{(Z_i + R_0)} \quad (2)$$

式中,  $Z_i$ 、 $Z_0$  分别是无反馈时运算放大器的输入、输出阻抗;  $Z_L$  为负载阻抗;  $K_V$  为运算放大器的开环增益;  $Z_S$  和  $Z'$  分别为:

$$Z_S = R_0 Z_i / (R_0 + Z_i) \quad (3)$$

$$Z' = R_0 (R_f + Z_S) / (R_0 + R_f + Z_S) \quad (4)$$

一般情况下,  $K_V \gg 1$ ,  $Z_i \gg R_0$ , 因此,

$$Z_S \doteq R_0 \quad (5)$$

所以,

$$K_{on} \doteq -R_f / R_0 \quad (6)$$

在控制脉冲结束以后,  $BG_1$  导通,  $BG_2$  截止,  $r_1$  变为  $BG_1$  的导通电阻  $r_{f1}$ ,  $r_2$  变为  $BG_2$  的夹断电阻  $r_{b2}$ , 且有  $r_{f1} \ll R_0$ ,  $r_{b2} \gg R_0$ , 可以推导出这时电路的传输系数  $K_{off}$  为:

$$K_{off} = -\frac{R_f}{R_0} \cdot \frac{r_{f1}}{r_{b2}} \quad (7)$$

由此, 单级开关电路的键控量  $\alpha_1$  为

$$\alpha_1 = 20 \lg K_{on} / K_{off} \doteq 20 \lg r_{b2} / r_{f1} \quad (8)$$

式(8)中,  $r_{f1}$  是  $BG_1$  导通时的源漏电阻, 一般为数百欧;  $r_{b2}$  是  $BG_2$  夹断时的源漏电阻, 一般在一百兆欧以上, 两者量级悬殊, 因而键控量是很大的。

然而, (8)式的结果是没有考虑电路的分布参数的情况下得出的。实际上, 由于  $BG_2$  不可避免地存在极间电容  $C_{DS}$ 、 $C_{GS}$  和  $C_{DG}$ , 电路也存在分布电容  $C_o$ 。在频率较高时, 这些电容的容抗  $X_C$  将远小于  $r_{b2}$ , 在开关“关断”时, 电路的传输系数  $K_{off}$  主要取决于  $X_C$ 。可以证明, 这时  $K_{off}$  为

$$K_{off} \doteq -2\pi f C_2 r_{f1} R_f / R_0 \quad (9)$$

式中,  $f$  是工作频率,  $C_2$  是极间电容和分布电容的总和。这时电路的键控量为

$$\alpha_1' \doteq 20 \lg (2\pi f C_2 r_{f1})^{-1} \quad (10)$$

由(10)式可见, 在决定了电路结构和开关元件以后(这时  $C_2$  已被确定), 开关电路的键控量随工作频率的增加而减小。为了解决这一问题, 可考虑带有补偿系统的开关电路。

整个电路的键控量, 等于各级开关电路的键控量之和:

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n \quad (11)$$

但是, 开关电路级数的增加是有限制的。如果在开关“开断”时, 电路的输出背景噪声大于开关的泄漏, 则级数的增加已无助于键控量的提高了。这时, 电路的键控量由输出“信噪比”决定:

$$\alpha = 20 \lg S_{on} / N_{off} \quad (12)$$

式中,  $S_{on}$  是开关“接通”时输出信号的幅度,  $N_{off}$  是开关“关断”时电路的输出背景噪声(包括空间感应、地线电流等)。为了提高键控量, 应尽量减小电路的输出背景噪声。这是本机把电路的增益主要放在开关之前的原因。

## 四、结束语

同步键控器的研制工作是一九七九年完成的。三年多以来, 三台研制样机已在本站的各种科研工作中发挥了重要的作用。据使用过该机的一些同志反映, 该机功能较全, 性能较好, 能适应多种实验、测量的需要, 是一种实用的实验仪器。

参加同步键控器研制工作的还有郭祥生等同志, 并得到许振夏、向大威同志的帮助, 在此表示衷心的感谢。

## 参 考 资 料

1. 复旦大学物理系编,《半导体线路(上册)》, 上海人民出版社, (1972年9月)。
2. Walter A. Sowa, James A. Toole 著, 上无十七厂译,《专用半导体器件》, 科学出版社, (1972年6月)。