

级差音量调节电路设计

场效应管的新应用*

黄 华 灿

(电子工程系)

摘要 本文研究了场效应管构成音量调节电路的新应用,得出了这种新应用的控制特性曲线与控制电压的分布范围,为工程设计提供了依据。据此结果设计的级差音量调节电路,已成功地应用于 AA-800 与 AAC-1000 型的语言学习系统。

关键词 场效应管,特性曲线,范围,级差音量

0 引言

场效应管,不论是结型场效应管,还是绝缘栅场效应管都有类似图1的输出特性曲线。场效应管作为放大器件,它工作在夹断区(饱和区),这是大家所熟悉的。但是从图1可以看出,场效应管的整个工作区还有一块欧姆区(不饱和区),其应用却很少为人们所提起。在欧姆区中,场效应管的漏极电流随漏源极之间的电压 U_{ds} 近似成线性变化。因此,如果让场效应管工作在这个区域,它表现出线性电阻的特性。从图1还可以看出,若在场效应管的栅源极之间加上不同的 U_{gs} 电压,在欧姆区中,各曲线的斜率不同,也就是说,加上不同的 U_{gs} ,场效应管等效出的电阻值不同。这样,可以用 U_{gs} 作为控制电压,把场效应管作为一个压控可变电阻来使用,这就使场效应管得到了新的应用。下面以 N 沟道结型场效应管为例,分析场效应管的欧姆特性以及它在级差音量调节电

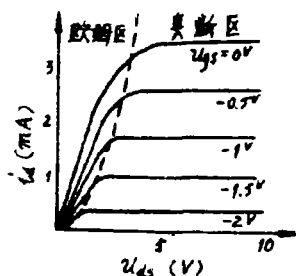


图1 N 沟道结型场效应管输出特性

* 本文1991-03-06收到

路中的应用。

1 结型场效应管的欧姆特性

N 沟道结型场效应管是在一片单晶硅上做了两个高掺杂的 P⁺ 区夹着一个低掺杂的 N 区, 形成了两个 P⁺N 结(耗尽区)。P⁺ 区杂质浓度高, N 区杂质浓度低, 耗尽区主要在 N 区内。耗尽区几乎没有载流子, 是一个高电阻区, 漏源极之间的电阻就是 N 区中 N 型半导体的体电阻。这个电阻的大小取决于沟道的宽度。图2是 N 沟道结型场效应管在漏源极之间电压 $U_{ds}=0$ 和栅源极之间电压 $U_{gs}=0$ 时沟道的情况。这时沟道最宽, 漏源极之间的电阻 R_{ds} 最小, 约为几十欧姆。

如果栅源极之间加上负电压 $-U_{gs}$, P⁺N 结反向偏置。由于它是两个 P⁺ 区夹着一个 N 区, 因此耗尽区主要在 N 区中扩展, 这时沟道变窄, R_{ds} 增大, 如图3所示。沟道的宽度随着 U_{gs} 数值的增大而变得更窄, R_{ds} 变得更大, 即 U_{gs} 越大, 沟道越窄, R_{ds} 越大。如果 U_{gs} 继续增大而达到某一数值 V_p , 上下耗尽层相碰, 沟道宽度为0, 如图4所示, 这时沟道被夹断, 在沟道被夹断的情况下, R_{ds} 最大, 约为几十千欧。

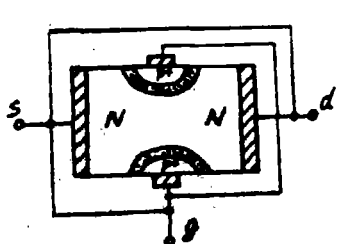


图2 $U_{gs}=0$ 和 $U_{ds}=0$ 时的沟道情况

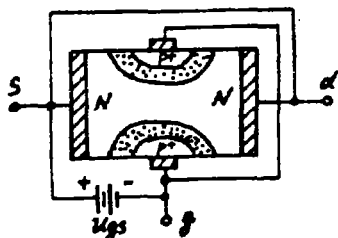


图3 U_{ds} 控制沟道的宽度

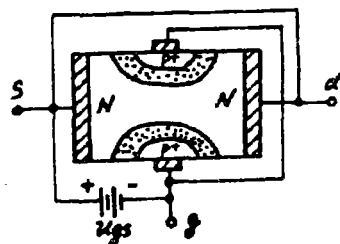


图4 $U_{gs} = -V_p$ 和 $U_{ds} = 0$ 沟道被夹断

场效应管的沟道从图2变化到图4, 即从完全开通到夹断这个区域称为欧姆区。它表现出来的电阻值可从几十欧到几十千欧变化。只要让场效应管工作在这个区域, 它就可以作为一个压控电阻来使用。然而场效应管欧姆区的范围是随着 U_{gs} 的增大而变小的, 即 U_{gs} 的数值较大时, 允许的 U_{ds} 较小。但是从图1的输出特性曲线可以看出, 即使 $U_{gs} = -2V$, 允许的 U_{ds} 也有1V 左右的范围, 这完全可以满足对较小信号控制的场合。在实际应用中, 被控制的信号是出现在漏源极之间的, 由于这个信号较小, 因此场效应管以它的欧姆特性来控制信号的幅度时, 沟道变化情况与 $U_{ds}=0$ 时的变化情况相类似。

为了进一步说明上述结论的实用性和控制电压的分布范围, 按图5的电路对结型场效应管 K_{168} 进行实验。在图5中, C_1, C_2 为音频信号提供通路, 这样输入信号 v_i 就由 R_1 与场效应管 K_{168} 的 R_{ds} 分压后由 C_3 耦合到负载 R_L 上。 K_{168} 的源极加上 +3V 电压。从图中可以看出, 改变 W 可以使 K_{168} 的栅极获得 0—3V 的电压, 使 U_{gs} 在 -3—0V 之间变化。当输入 1KHz, 400mV 的正弦信号, 连续改变 W , 测量得到的栅极电压 V_g , 栅源电压 U_{gs} 及输出信号电压 v_o 如表1所示, 根据这些数据可描绘出图6的控制特性曲线。从曲线可以清楚也看出, U_{gs} 从 -1.8—-1.1V 之间变化时, v_o 随 U_{gs} 基本成线性变化。 U_{gs} 的这个范围就是场效应管 K_{168} 作为这种应用的控制电压分布范围。我们

可以利用它的这段特性来实现输出音量的控制。如果再配以按键式开关与适当的电路,就可以实现级差音量调节。

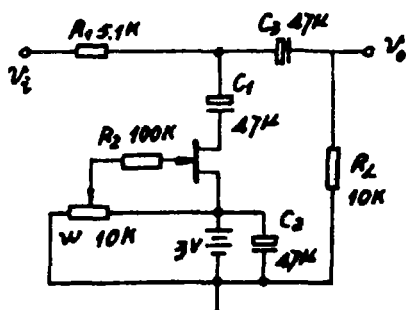


图5 场效应管控制输出幅度的实验电路

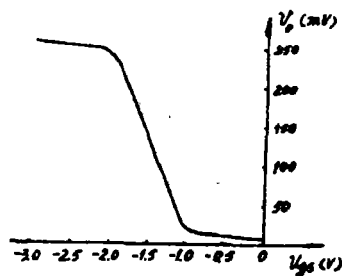


图6 U_{gs} 对输出幅度的控制特性曲线

表1 输出幅度随控制电压变化的实验数据

项 目	电 压 值										
V_o (v)	0	0.4	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0
U_{gs} (v)	-3	-2.6	-2.2	-2.0	-1.8	-1.6	-1.4	-1.2	-1.0	-0.5	0
v_o (mv)	258	254	250	246	238	190	110	38	18	12	9

为了保证场效应管工作在欧姆区,它所控制的信号幅度不能太大,因此这种音量调节电路宜放在音频放大器的前级。

2 六级可逆级差音量调节电路

用来调节音量的部件通常使用电位器,由于它是靠滑动触点来改变电阻值的,使用一段时间后经常出现接触不良现象,致使扬声器或耳机中发生刺耳的杂音。特别在语言学习系统中,学生是戴着耳机上课的,这种杂音更是难以容忍。根据场效应管的欧姆特性设计出的级差变化式的音量调节电路,代替常用的电位器,可以克服上述的缺点。

要设计一个级差变化式音量调节电路,一是要有工作在欧姆区的场效应管电路,二是要有一个能够提供级差变化控制电压的电路。图7电路是为语言学习系统设计的级差音量调节电路。图7中的 C_6, C_7 隔开直流且提供交流道路,加在场效应管 J_1 漏源极间的电压是前置放大器输出的音频信号,幅度较小,可保证 J_1 工作在欧姆区,前置放大器输出的音频信号经 R_{16} 与 J_1 的沟道电阻及 R_{15} 分压后送给功放级,只要沟道电阻改变,送入功放级的音频信号的幅度也跟着改变。从前面的分析知道,要改变结型场效应管的沟道电阻,只要在适当的范围内改变其栅源极之间的电压即可实现。这里用一只稳压二极管提供场效应管固定的源极电压 V_s ,这样就只要改变其栅极电压就可以了。 IC_1 及 IC_2 所组成的电路可以提供六级不同的控制电压加到场效

应管的栅极,场效应管可以有六种不同的沟道电阻,系统便有六级音量可供选择。

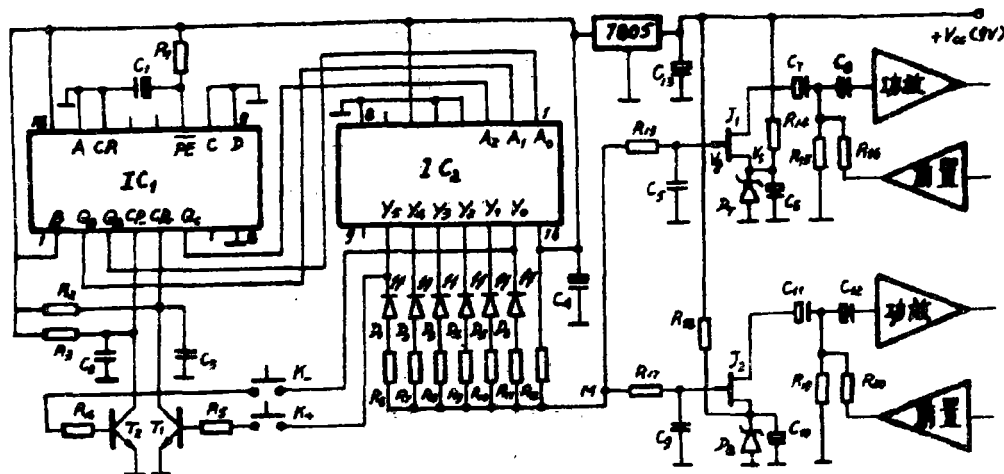


图7 六级可逆差音量调节电路

IC_1 是可预置可逆十进制计数器 CD40192, IC_2 是 3 线—8 线译码器 74LS138。 IC_1 的加计数输入端 CP_+ 每出现一次低电平到高电平的跳变, 输出做加 1 递增, CP_- 端每出现一次低电平到高电平的跳变, 输出做减 1 递减。 IC_1 输出端 Q_4-Q_0 分别接向 IC_2 的输入端 A_2-A_0 , 这样当 IC_1 的计数结果在 000 与 101 之间变化时, IC_2 的 y_0-y_5 就有一端为低电平。这时与该端相连接的电阻与 R_{12} 分压, 在 M 点处得到相应的电压 V_M 。这个电压通过 R_{13} 加到场效应管 J_1 的栅极。场效应管内的 P+N 结是工作在反向状态的, 栅极电流几乎为 0, 其栅极电压 $V_g \approx V_M$ 。我们选择 $R_6 > R_7 > R_8 > R_9 > R_{10} > R_{11}$, 这样当 y_0-y_5 端分别出现低电平时, 相应的栅极电压 $V_{g0} > V_{g1} > V_{g2} > V_{g3} > V_{g4} > V_{g5}$ 。栅源极之间的电压 $U_{gs} = V_g - V_s$, 只要合理地选择 R_6-R_{10} 与稳压二极管 D_1 , 就可以使 U_{gs} 在 $-1.1-1.8V$ 之间均匀地分布为六级。从表 1 及图 6 可以看出, 输入功放级的音频信号将有六级的幅度, 即音频系统有六级音量。

语言学习系统的录音机是双声道的, J_2 场效应管电路是另一声道的音量调节电路。 J_2 的栅极同时受 IC_2 的控制, 实现了两个声道音量的同步调节, 取代了双连电位器。

我们总是希望开机时系统能处于中等音量, 这里 IC_1 的数据输入端接成 $A=0, B=1, C=0$, 置数端 \overline{PE} 通过 C_1 接地, 这样开机时 \overline{PE} 为低电平, 输出端便置成 $Q_4=0, Q_0=1, Q_c=0$ 。 IC_2 输出端 y_2 为低电平, 其余输出端为高电平, 系统处于第三级音量。 C_1 通过 R_1 充电以后, \overline{PE} 为高电平, IC_1 进入计数状态。

进行音量调节的时候, 我们希望在音量递增到最大音量时, 再按音量递增按钮 K_+ 应不起作用; 而音量递减到最小时, 再按递减按钮 K_- 也不起作用。因此, 在计数输入端 CP_+ 与 CP_- 接入 T_1 与 T_2 。 T_1 受 K_+ 控制, K_+ 接向 IC_2 的 y_5 端, 在音量不是最大时, y_5 端总是高电平, 按下 K_+ , T_1 饱和导通, CP_+ 为低电平, 放开 K_+ , T_1 由饱和变为截止, CP_+ 由低电平跳变为高电平, IC_1 输出端

递增加1,音量增加一级。在音量最大时, y_5 端为低电平,再按 K_+ , T_1 保持截止状态不变, CP_+ 端得不到由低电平到高电平的跳变脉冲, IC_1 不再作递增计数,音量保持最大状态不变。这时只有按递减按钮 K_- ,音量才作递减变化。 T_2 受 K_- 控制, K_- 接向 IC_2 的 y_0 端,在音量减至最小时, y_0 为低电平,再按 K_- , T_2 不再导通, IC_1 不作递减计数,音量保持最小状态不变。这时只有按递增按钮 K_+ ,音量才作递增变化。而音量处于中间任何一级,按 K_+ 或 K_- ,音量都作一级递增或递减。

y_0 — y_5 六个输出端各串入一个发光二极管,那一个输出端出现低电平,对应的发光二极管发光,起到了指示音量级别的作用。同时这些发光二极管又有效地隔离各输出端,阻止高电平输出端的电流流向低电平输出端。

3 四级循环级差音量调节电路

为了降低产品的成本,AA-800型语言学习系统中的听音机采用图8的四级循环级差音量调节电路。

在图8电路中, IC_1 是顺序脉冲发生器 CD4017。它的(15)脚是复位端,通过 C_1 接到 $+V_{cc}$ 上,开机时,(15)脚获得正脉冲, IC_1 复位, θ_0 端为高电平,其余输出端为低电平。 IC_1 的(13)脚是输入端,连续触动按钮开关 K , θ_1 — θ_4 端顺序出现高电平。在这里 IC_1

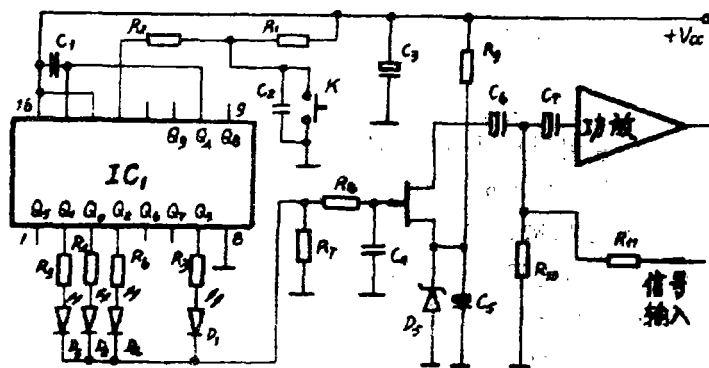


图8 四级循环级差音量调节电路

的 θ_4 端接向复位端(15)脚,在 θ_4 端出现高电平时, IC_1 复位,又出现 θ_0 为高电平。因此 IC_1 实际上接成了一个四级循环脉冲输出电路。

θ_0 — θ_3 的一端出现高电平时,与该端相连接的电阻与 R_7 分压,在 A 点处得到相应的电压 V_A ,这个电压通过 R_{11} 加到场效应管的栅极。选择 $R_3 < R_1 < R_5 < R_6$,所以 $\theta_3, \theta_0, \theta_1, \theta_2$ 分别出现高电平时,相应的栅极电压 $V_{g3} > V_{g0} > V_{g1} > V_{g2}$ 。只要合理地选择 R_3 — R_7 与稳压二极管 D_5 ,就可以使 U_{gs} 在 -1.1 — $-1.8V$ 之间均匀分布为四级。由于控制脉冲是循环出现的,因此系统可获得四级循环音量调节。

另外,由于 θ_0 端接的电阻 R_1 的大小处在 R_3 — R_6 的第二位,所以开机时系统音量处在第二级。发光二极管的作用与上述可逆音量调节电路中发光二极管的作用是一样的。

4 结束语

对于场效应管的这种控制特性,这里只是介绍了它在音量调节电路中的作用,当然还可以应用在其它一些小信号的调节场合。另外,有了图6的场效应管控制特性曲线和控制电压的分布范围,我们可以根据需要进行设计出输出级差变化是线性的、对数的、指数的等形式的电路。

参 考 文 献

- [1] 南京工学院编写组,电子线路,人民教育出版社,(1979).
- [2] 江丕桓、周国云等,场效应晶体管及其集成电路,国防工业出版社,(1976).
- [3] 阎石主编,数字电子技术基础,高等教育出版社,(1989).
- [4] Barni, A. and Porat, D. I. *Integrated Circuits in Digital Electronics*, John Wiley and Sons, (1973).
- [5] Lee, S. C., *Digital Circuits and Logic Design*, Prentice-Hall, (1976).

Circuit Design for a Range Volume Adjuster

A New Application of Fieldistor

Huang Huacan

(Department of Electronic Engineering)

Abstract The application of fieldistor as a component in the circuit of volume adjuster is studied in this paper. The first achievement lies in the control characteristic curve and the range of control voltage. This provides a scientific basis for engineering design. The circuit design of range volume adjuster based on this study has been successfully applied to the AA-800 and AAC-1000 type language learning system.

Key words fieldistor, characteristic curve, range, stage-differential volume