

## 场效应管噪声特性的分析\*

方志豪  
(武汉大学物理系)

鉴于目前缺乏场效应管的低噪声设计公式,作者通过详细推导得到场效应管(结型)的几组噪声特性表达式,列于表1.

表中:  $I_g$  为栅极散粒噪声电流,  $I_g^2 = 2qI_G\Delta f$ ;

$$I_t \text{ 为沟道热噪声电流, } I_t^2 = 4kT \left( \frac{2}{3} g_m \right) \Delta f;$$

$$I_f \text{ 为 } 1/f \text{ 噪声电流, } I_f^2 = K_0 \frac{1}{f} \Delta f.$$

上述关系中  $q$  为电子电荷等于  $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ ,  $k$  为玻尔兹曼常数  $1.38 \times 10^{-23} \text{J/}^\circ\text{K}$ ,  $T$  为绝对温度 ( $^\circ\text{K}$ ),  $f$  为频率等于  $(\omega/2\pi)$ ,  $\Delta f$  为频宽,  $K_0$  为常系数,  $g_m$  为场效应管跨导 ( $\sim 10^{-3} \text{mo}$ ),  $I_G$  为栅极泄漏电流(结型场效应管的  $I_G$  约为  $10^{-7}$ — $10^{-9} \text{A}$ ). 另外,

$$g_{gs} = \frac{1}{R_{gs}},$$

$$g_{gd} = \frac{1}{R_{gd}},$$

$$g_{ds} = \frac{1}{R_{ds}}.$$

分别为相应极间导纳;对于结型场效应管通常有  $R_{gs} \geq 10^7 \Omega$ ,  $R_{gd} = 10^9 \Omega$ ,  $R_{ds} = 10^5$ — $10^6 \Omega$ ;  $C_{gs}$ ,  $C_{gd}$ ,  $C_{ds}$  分别为相应极间电容,均是 pF 数量级.

根据上面得出的最小噪声系数  $F_{\min}$ 、最佳源电阻  $(R_s)_{opt}$  及相关系数  $\gamma$  的表示式,我们可以得到低噪声设计中正确选取场效应管的一些原则.表2中给出减小噪声系数对场效应管参数的要求:表中:  $|V_p|$  为夹断电压,  $V_{gs}$  为栅源间电压,其它符号的意义同前.

在  $F_{\min}$ 、 $(R_s)_{opt}$ 、 $\gamma$  的表示式中,通过数值计算可以得到下面几点结论:

(1)场效应管三种组态的噪声系数,在低、中频段(除中频高端外)是完全相同的,而在高频段则有差异:共栅最小,共源次之,共漏最大,并且频率愈高这种差别愈大.噪声系数随频率的变化是中频段最小,低频段稍大,高频段最大.所以,国产场效应管目前仅能用在低频—视频段低噪声放大器中.

(2)三种组态的最佳源电阻,在低、中频段(除中频高端外)是完全相同的,而在高频段,共源、共漏一致,共栅则要大一些.最佳源电阻随频率的变化是低频段最大,中频段次之,高频段最小.所以,场效应管适合于用在高阻抗低噪声放大器中.

\* 1979年7月21日收到.

表 1

	低频 ( $f < 1\text{KH}_z$ )	中频 ( $n\text{KH}_z \leq f \leq n\text{MH}_z$ )	高频 ( $f > n\text{MH}_z$ )
共 源	$(R_s)_{opt}$	$R_{gs}$	$\left[ \frac{I_g^2}{I_i^2} (g_m^2 + \omega^2 C_{gd}^2) + \omega^2 (C_{gs} + C_{gd})^2 \right]^{-1/2}$
	$F_{min}$	$1 + \frac{I_i + I_j}{kT\Delta} \frac{I_i^2}{R_{gs}g_m^2}$	$1 + (1 + \gamma) \frac{4g_m}{3(g_m^2 + \omega^2 C_{gd}^2)} (R_s)_{opt}$
	$\gamma$	$1$	$\left[ \frac{I_g}{I_i} \frac{g_m^2 + \omega^2 C_{gd}^2}{\omega^2 (C_{gs} + C_{gd})^2} + 1 \right]^{-1/2}$
共 栅	$(R_s)_{opt}$	$R_{gs}$	$\left[ \frac{I_g^2}{I_i^2} (g_m^2 + \omega^2 C_{gd}^2) + \omega^2 C_{gs}^2 \right]^{-1/2}$
	$F_{min}$	$1 + \frac{I_i + I_j}{kT\Delta} \frac{I_i^2}{R_{gs}g_m^2}$	$1 + (1 + \gamma) \frac{4g_m}{3(g_m^2 + \omega^2 C_{gd}^2)} (R_s)_{opt}$
	$\gamma$	$1$	$\left[ \frac{I_g^2 (g_m^2 + \omega^2 C_{gd}^2)}{I_i^2 \omega^2 C_{gs}^2} + 1 \right]^{-1/2}$
共 漏	$(R_s)_{opt}$	$R_{gs}$	$\left[ \frac{I_g^2 (g_m^2 + \omega^2 C_{gd}^2)}{I_i^2 \omega^2 C_{gs}^2} + 1 \right]^{-1/2}$
	$F_{min}$	$1 + \frac{I_i + I_j}{kT\Delta} \frac{I_i^2}{R_{gs}g_m^2}$	$1 + (1 + \gamma) \frac{I_g + I_j}{2kT\Delta / (g_m^2 + \omega^2 C_{gd}^2)} (R_s)_{opt}$
	$\gamma$	$1$	$\frac{I_g^2 (g_m^2 + \omega^2 C_{gd}^2)^{1/2} + I_j \omega (C_{gs} + C_{gd})}{I_g + I_j} (R_s)_{opt}$

(3) 三种组态的相关系数在低、高频段是相同的,而在中频段则有差异: 共源、共漏稍有不同,共栅则小一些. 相关系数随频率的变化是低、高频段比中频段大,前两者等于 1,后者低端部分近似为零. 所以,在噪声计算中不能一概忽略噪声模型  $E_n$ 、 $I_n$  之间的相关性.

表 2

		$R_{gs}$	$C_{gs}$	$C_{gd}$	$C_{ds}$	$I_G$	$I_f$	$g_m$	$ V_p $	$V_{gs}$
共源	低频	大					小	大	小	$\sim 0$
	中频	大	小	小		小		大	小	$\sim 0$
	高频		小	小		小		大	小	$\sim 0$
共栅	低频	大					小	大	小	$\sim 0$
	中频	大	小			小		大	小	$\sim 0$
	高频		小		小	小		大	小	$\sim 0$
共漏	低频	大					小	大	小	$\sim 0$
	中频	大	小	小		小		大	小	$\sim 0$
	高频		小	小		小		大	小	$\sim 0$

## ANALYSIS OF NOISE CHARACTERISTICS OF FET'S

Fang Zhi-hao

(Physics Department of Wuhan University)

Noise sources of the junction type FET and formulas for them are presented. These are practical formulas for common source, common grid and common drain for the FET in low, medium and high frequency regions, they being obtained by use of the Y admittance model. Also, a comparison is made of noise characteristics of the three configurations of the FET, from which certain principles in low noise design are suggested.