

# 如何选择与探测器匹配的前置放大器\*

郭震宁 叶天水

(华侨大学电气技术系, 泉州 362011)

**摘要** 从噪声理论入手, 给出热释电探测器-结型场效应管系统低频最佳匹配时, JFET 输入电阻的选择原则, 介绍为获得系统最佳匹配而采用的仿真反馈技术.

**关键词** 最佳匹配, 最佳输入电阻, 仿真反馈

**分类号** TN 386.6

PED (Pyroelectric Detector) 有很高的源电阻 (通常  $>10^8 \Omega$ ), 它多采用高输入电阻的低噪声前置放大器如 JFET 与之匹配. 由于当前主要根据阻抗匹配的原则选择, 未有从理论上分析 PED-JFET 最佳匹配所要求的 JFET 的输入电阻, 因而使 PED 的性能受到限制. 本文根据噪声理论, 探求 PED-JFET 低频最佳匹配时 PED 的最佳源电阻, 从而得出 JFET 的最佳输入电阻.

## 1 JFET 最佳输入电阻的导出

图 1 为 PED-JFET 系统的连接电路, 图 2 为该系统的低频交流等效电路. 由噪声理论可知, PED-JFET 系统的总噪声电压为<sup>[1]</sup>

$$U_n^2 = U_{nT}^2 + U_{nJ+\delta}^2 + U_{ni}^2 + U_{nA}^2 \quad (1)$$

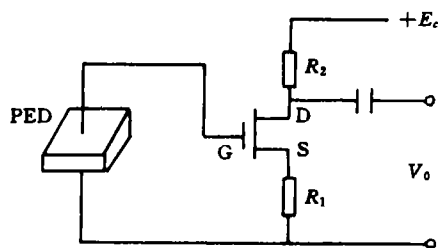


图 1 PED-JFET 连接电路

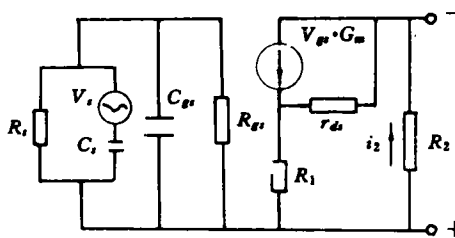


图 2 PED-JFET 低频交流等效电路

式中  $U_{nT}$  为 PED 的温度噪声电压. 由 PED 的频率响应特性<sup>[1]</sup> (图 3) 可见, 在低频时 ( $f \ll 1/\tau_T$ ),  $R_v$  很小. 由温度噪声电压与频率的关系和响应度与频率的关系相同<sup>[2]</sup>, 可知低频时 PED 的温度噪声很小. 在使用时, 通常把 PED 放在制冷装置中, 使温度噪声进一步得到抑制. 因

\* 本文 1993-10-20 收到

此,在低频时可以不考虑  $U_{nr}^2$ ;  $U_{nJ+s}^2$  为 PED-JFET 的热噪声和介质损耗噪声的电压. 在低频时介质损耗噪声很小可略去,以 PED 的源电阻  $R_s$  上的热噪声  $U_{ns}^2$  及 JFET 的输入电阻  $R_{gs}$  上的热噪声电压  $U_{ng}^2$  为主;  $U_{ni}^2 = 2eI_G\Delta f|z|^2$  为 JFET 的栅漏电流散粒噪声电压.  $I_G$  约为  $10^{-7} \sim 10^{-9}$  A,  $U_{ni}^2$  的量值很小可略去<sup>[3]</sup>;  $U_{nA}^2$  为 JFET 的沟道热噪声电压.

从以上讨论,可得相应于图 2 的 PED-JFET 低频噪声等效电路,如图 4 所示.

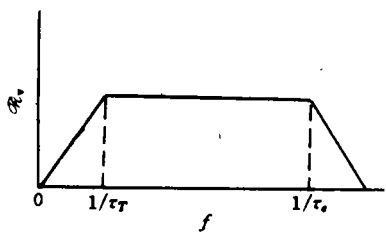


图 3 PED 频率响应特性

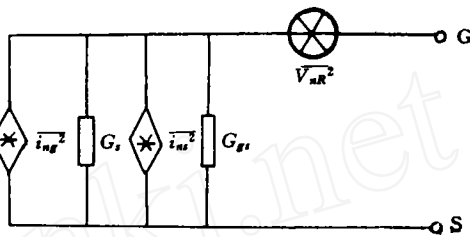


图 4 PED-JFET 低频噪声等效电路

图中,  $G_s$  为 PED 的源电导,  $G_{gs}$  为 JFET 的输入电导,  $U_{nA}^2$  为折合到 JFET 输入端的输出沟道热噪声电压. 由此可知, PED 源电导热噪声( $i_{ns}^2$ )在 JFET 的 G, S 两端, 所产生的噪声电压为

$$U_{ns}^2 = \frac{\bar{i}_{ns}^2}{(G_s + G_{gs})^2} = 4KT\Delta f_N \cdot \frac{G_s}{(G_s + G_{gs})^2} \quad (2)$$

JFET 输入电导在 G, S 两端产生的噪声电压为

$$U_{ng}^2 = \frac{\bar{i}_{ng}^2}{(G_s + G_{gs})^2} = 4KT\Delta f_N \cdot \frac{G_{gs}}{(G_s + G_{gs})^2} \quad (3)$$

JFET 输出沟道热噪声折合到 G 极的热噪声电压

$$U_{nA}^2 = 4KT\Delta f_N \cdot R_n \quad (4)$$

其中,  $R_n$  为折合后等效的噪声电阻(低频时取  $R_n = 1/G_m$ ,  $G_m$  为 JFET 的跨导).

由上述可得 PED-JFET 系统的噪声系数为

$$F = \frac{U_{ns}^2 + U_{ng}^2 + U_{nA}^2}{U_{ns}^2} = 1 + \frac{G_{gs}}{G_s} + \frac{G_n}{G_s}(G_s + G_{gs})^2$$

为使该系统获得最佳匹配, 必须使噪声系数最小. 此时的源电导称为最佳源电导  $G_{s0}$ , 则最佳源电阻  $R_{s0} = 1/G_{s0}$ . 令  $dF/dG_s = 0$ , 有

$$R_{s0} = (G_{gs}^2 + G_{gs}/R_n)^{1/2}$$

因 JFET 输入电阻  $R_{gs}$  很大, 一般地有  $R_n G_{gs} \ll 1$ , 故

$$R_{s0} = \sqrt{G_{gs}/R_n}$$

或

$$R_{s0} = \sqrt{R_n/G_{gs}} = \sqrt{R_{gs}/G_m} \quad (5)$$

对于给定的 PED, 其  $R_{s0}$  是恒定值. 因此, 要实现 PED-JFET 的最佳匹配, 应根据  $R_{gs} = R_{s0}^2 \cdot G_m$  关系来选择 JFET.

## 2 仿真反馈技术

由上述讨论可知, 要使 PED-JFET 系统获得最佳匹配, 应选用输入电阻满足  $R_{gi} = G_m \cdot R_o^2$  的 JFET. 但是, PED 的  $R_o$  通常很大, 一般 JFET 的输入电阻很难满足要求. 例如, 对于  $R_o = 10^8 \Omega$  的 PED, 要求  $R_{gi}$  的最佳值为  $R_{gi} = 10^{12} \sim 10^{14} \Omega$  (JFET 的  $G_m = 0.1 \sim 10 \text{ mA} \cdot \text{V}^{-1}$ ). 而通常 JFET 的  $R_{gi} = 10^6 \sim 10^8 \Omega$ . 为了实现最佳匹配, 必须提高 JFET 的输入电阻, 因此有必要采用仿真反馈网络.

JFET 漏极仿真反馈的情形, 如图 5 所示. 它是由 JFET<sub>2</sub> 构成的源极跟随器, 作为仿真反馈网络. 对交流信号, JFET 的 G 极电位与 S 极电位相跟随. 图中, JFET<sub>2</sub> 的 G 极与 JFET<sub>1</sub> 的 S 极同电位, 而 JFET<sub>2</sub> 的 S 极与 JFET<sub>1</sub> 的 D 极同电位, 这就使得 JFET<sub>1</sub> 的 S 极电位和 D 极电位, 在幅度和相位上均接近它的 G 极电位 (即 S, D 极电位对 G 极仿真). 这样, JFET<sub>1</sub> 的输入电导变小, 使得其输入电阻增大, 以满足 PED-JFET 最佳匹配对  $R_{gi}$  的要求.

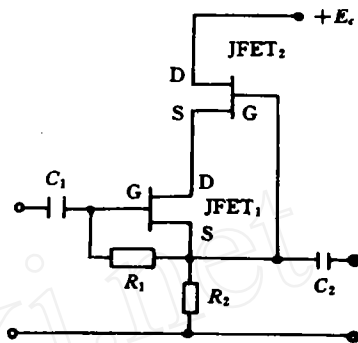


图 5 仿真反馈网络

## 3 结束语

本文从理论上证明了 PED-JFET 系统在选用 JFET 输入电阻满足  $R_{gi} = G_m R_o^2$  条件和运用仿真反馈技术的情况下, 可以实现低频最佳匹配, 从而为提高 PED-JFET 系统的性能提供了一种新的途径.

## 参 考 文 献

- 1 陈 衡. 红外物理学. 北京: 国防工业出版社, 1985. 426~429
- 2 陈继述. 红外探测器. 北京: 国防工业出版社, 1986. 87~88
- 3 曾庆勇. 微弱信号检测. 浙江: 浙江大学出版社, 1986. 20~22

## How to Choose a Preamplifier Matching for a Detector

Guo Zhenning Ye Tianshui

(Dept. of Electric Technique, Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

**Abstract** Starting with the theory of noise, the authors dealt with a Pyroelectric Detector-Joint Field Effect Transistor (PED-JFET) system. the presentation centres on the principle of choosing JFET input resistance when the system is in low frequency match; and on the technology of analog feedback for achieving the optimal match of the system.

**Keywords** optimal match, optimal input resistance, analog feedback