

# 一种新颖的具有 HEMT 和 GaAs MMIC 的 Ku 波段低噪声放大器\*

戴永胜

(南京电子器件研究所,南京 210016)

**摘要** 本文介绍了一种具有高电子迁移率晶体管 (HEMT) 和砷化镓单片微波集成电路 (GaAs MMIC) 的 Ku 波段低噪声放大器。在 11.7~12.2GHz 频率范围内,该放大器的噪声系数小于 1.9dB,相关增益大于 27dB,输入和输出驻波比小于 1.4。放大器第一级采用了 HEMT 和微波串联电感反馈技术,放大器末级采用了 Ku 波段 GaAs MMIC。设计的关键是采用微波串联电感反馈方法同时获得最佳噪声和最小输入驻波匹配。放大器的输入端和输出端均为 BJ-120 波导。

**关键词** 低噪声放大器;高电子迁移率晶体管(HEMT);砷化镓单片微波集成电路(GaAs MMIC);微波串联电感反馈

## 1. 引言

通常低噪声放大器中的共源器件 (MESFET, HEMT) 的输入级均为最佳噪声匹配以获得最小噪声系数或最小噪声量度匹配。但由于最佳噪声导纳和输入导纳在放大器输入端不一致,使得最佳噪声匹配的结果是增益变低和输入驻波比较高。对微波低噪声 HEMT 放大器将一个无耗串联反馈电感接在 HEMT 源电极与地之间,可同时获得最佳噪声匹配和最小输入驻波匹配。

## 2. 基本理论<sup>[1-4]</sup>

众所周知,最佳噪声源导纳只是该线性二口网络噪声参数的函数与负载导纳 ( $Y_L$ ) 无关;最小噪声量度只是该线性二口网络信号和噪声参数的函数也与负载导纳无关;输入导纳是该线性二口网络信号参数和负载导纳的函数。因此有可能选取合适的负载导纳和串联反馈电感值以改变该网络的信号和噪声参数,使其在某个点频上构成新网络的输入导纳 ( $Y_{in}$ ) 和最佳噪声导纳 ( $Y_{opt}$ ) 满足方程:

$$Y_{opt} = Y_{in} \quad (1)$$

即同时实现最佳噪声匹配和最小输入驻波匹配。

器件加串联反馈电感 ( $L_s$ ) 的简化等效电路如图 1 所示。图 1 电路的输入阻抗  $Z_{in}$  可近似表达为

1991.05.09 收到,1992.04.16 定稿。

\* 国家“七·五”攻关配套应用研究课题。

$$\left. \begin{aligned} Z_{in} &= R_{in} + jXC_{in} \\ R_{in} &= r_i + \frac{L_s g_m}{C_{gs}(1 + Y_{ds}/Y_L)}, (|Y_L| \gg |Y_{ds}|) \\ X_{in} &= \frac{1}{j\omega C_{gs} + j\omega L_s} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

器件加  $L_s$  的最佳噪声源阻抗可近似表达为<sup>[1]</sup>

$$Z_{s,opt} = Z'_{s,opt} - j\omega L_s, \quad |Z'_{s,opt}| \gg \omega L_s \quad (3)$$

其中  $Z'_{s,opt}$  为器件的本征最佳噪声源阻抗。

图2给出了器件加串联反馈阻抗网的散射络参数计算方法。器件加串联反馈阻抗  $Z_f = R_f + jX_f$  的网络如图3所示。该网络噪声参数可由下式求得：

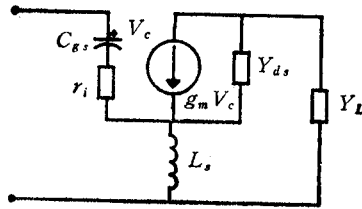


图1 器件加串联反馈电感( $L_s$ )的简化等效电路

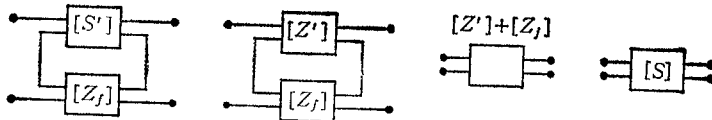


图2 器件加串联反馈网络散射参数的计算

图中  $[S']$  为器件散射参数矩阵,  $[Z_f]$  为串联反馈网络阻抗矩阵.  $[S']$  先转换成阻抗矩阵与  $[Z_f]$  相加后, 再转换成新网络的散射参数矩阵  $[S]$

$$\left. \begin{aligned} R'_n &= R_n |n_{11} + n_{12} Y_c|^2 + G_n |n_{12}|^2 \\ G'_n &= \frac{G_n R_n}{R'_n} |n_{11} n_{22} - n_{12} n_{21}|^2 \\ Y'_c &= \frac{R_n}{R'_n} (n_{21} + n_{22} Y_c) \cdot (n_{11}^* + n_{12}^* Y_c^*) + \frac{G_n}{R'_n} n_{22} n_{12}^* \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$n_{11} = 1, \quad n_{21} = 0, \quad n_{12} = Z_0 \frac{S_{21} M - S'_{21} N}{S_{21} C'_1 + S'_{21} C_1}, \quad n_{22} = \frac{S_{21} C'_1}{S_{21} C'_1 + S'_{21} C_1}.$$

$R_n, G_n, Y_c$  为器件本征噪声参数,  $R'_n, G'_n, Y'_c$  为器件加  $Z_f$  的噪声参数;  $R_n$  为噪声电阻;  $G_n$  为噪声电导;  $Y_c = G_c + jB_c$  为相关导纳;  $Z_0$  为测试系统的特性阻抗 (通常为  $50 \Omega$ ).

$$[S]_{\text{器件}} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix}$$

$$S'_{11} = S'_{22} = \frac{-1}{1 + 2Z_f}, \quad S'_{12} = S'_{21} = \frac{2Z_f}{1 + 2Z_f}$$

$$\begin{aligned} M &= (1 + S'_{11})(1 - S'_{22}) + S'_{12} S'_{21}, & N &= (1 + S_{11})(1 - S_{22}) + S_{12} S_{21} \\ C_1 &= (1 - S_{11})(1 - S_{22}) - S_{12} S_{21}, & C'_1 &= (1 - S'_{11})(1 - S'_{22}) - S'_{12} S'_{21} \end{aligned}$$

线性二口网络噪声系数可表达为

$$F = 1 + \frac{G_n}{G_s} + \frac{R_n}{G_s} |Y_s + Y_e|^2 \quad (5)$$

或

$$F = F_{min} + \frac{R_N}{G_s} |Y_s - Y_{opt}|^2 \quad (6)$$

上两式的关系可参看文献[1]。

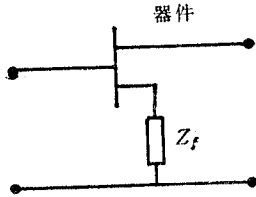


图3 器件加串联反馈阻抗网络

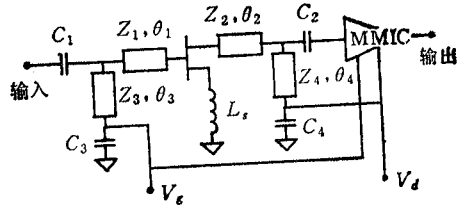


图4 具有 HEMT 和 GaAs MMIC 的 Ku 波段低噪声放大器框图

借助于计算机和相应的程序可以确定满足(1)式的串联无耗反馈电感元件值,  $L_s$  和匹配电路的优化是以放大器的综合性能最佳为目标。最终给出  $L_s$  值及相应的匹配电路参数, 使得微波低噪声串联电感反馈放大器的综合性能最佳。应用反馈方法使微波低噪声放大器噪声系数和驻波比同时实现最佳化, 可参看文献[1]。需要指出的是在 Ku 波段由于寄生参数的影响, 经优化后的电感值与实际值略有偏差, 须经实验稍加调整。

综上所述, 串联电感反馈的实现对于低噪声放大器设计具有以下优点。器件中合适的串联电感可提高输入阻抗的实部, 增强器件的稳定性。在输出端接合适的负载导纳, 可使器件的共轭输入导纳( $Y_{in}^*$ )与最佳噪声源导纳趋于一致, 能同时获得最佳噪声和最小输入驻波匹配; 还可减少等效噪声电阻  $R_N$ , 展宽器件噪声匹配带宽, 改善器件本征特性, 减小匹配灵敏度。当只考虑无耗反馈元件时, 无耗反馈不改变该网络的最小噪声量度值, 仅改变最小噪声量度源导纳值。

### 3. HEMT 和 GaAs MMIC

所采用的 WC90HEMT 和 WD63 Ku 波段 GaAs MMIC 均为南京电子器件研究所研制。用于 HEMT 的外延晶片由分子束外延 (MBE) 技术生长, AlGaAs/GaAs 超晶格在半绝缘 GaAs 衬底上生长。HEMT 总栅宽为  $200\mu\text{m}$ , 栅长  $0.4\mu\text{m}$ , 为凹槽结构。Ku 波段 GaAs MMIC 芯片由半绝缘 GaAs 衬底上的 MESFET 管芯, MIM 电容, 微带线和空气桥等构成。芯片尺寸约为  $1.4\text{mm} \times 4.5\text{mm}$ , 芯片厚度为  $200\mu\text{m}$ 。图 4 给

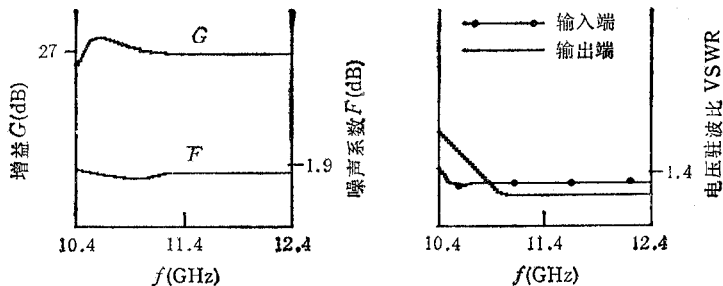


图5 具有 HEMT 和 GaAs MMIC Ku 波段低噪声放大器电性能

出了具有 HEMT 和 GaAs MMIC Ku 波段低噪声放大器的框图。

#### 4. 性能

图 5 给出了具有 HEMT 和封装的 GaAs MMIC Ku 波段低噪声放大器的测试结果。在 11.7—12.2GHz 频率范围内,噪声系数小于 1.9dB,相关增益大于 27dB,输入和输出驻波比小于 1.4。放大器输入和输出端均为 BJ-120 波导。该放大器已用于 Ku 波段卫星直播电视接收系统中,改善了接收系统的灵敏度,使接收的图像更清晰。

#### 5. 结语

开发了一种新颖的具有 HEMT 和 GaAs MMIC 的 Ku 波段低噪声放大器。放大器第一级采用了 HEMT 和串联电感反馈技术,以同时获得最佳噪声和最小输入驻波匹配。放大器末级采用的是 GaAs MMIC,其输入和输出端均为 BJ-120 波导。本文所讨论的串联电感反馈技术可在 MIC 和 MMIC 低噪声放大器中广泛应用。

### 参 考 文 献

- [1] 戴永胜等,固体电子学研究进展,7(1987)2,150—156.
- [2] H. Rothe, W. Dahlke. *Proc. IRE*, 44(1956) 6, 811—818.
- [3] S. Lversen *Proc. IEEE*. 64(1975) 3. 540—542.
- [4] Sander Weinreb, *IEEE Trans. on MTT*, MTT-30 (1982) 6, 849—853.
- [5] 戴永胜,固体电子学研究进展,7(1987)1,84—85.
- [6] 戴永胜,固体电子学研究进展,10(1990)4,406—407.

## A NOVEL Ku-BAND LOW NOISE AMPLIFIER WITH HEMT AND GaAs MMIC

Dai Yongsheng

(Nanjing Electronic Devices Institute, Nanjing 210016)

**Abstract** A novel Ku-band low noise amplifier with high electron mobility transistor (HEMT) and GaAs monolithic microwave integrated circuit (MMIC) has been demonstrated. Its noise figure is less than 1.9dB with an associated gain over 27dB and an input-output VSWR less than 1.4 in the frequency range of 11.7—12.2 GHz. The HEMT and the microwave series inductance feedback technique are used in the first stage of the amplifier, and the Ku-band MMIC is used in the last stage. The key to this design is to achieve a simultaneous optimum noise match and a minimum input VSWR match by using the microwave series inductance feedback method. The BJ-120 waveguides are used in both input and output of the amplifier.

**Key words** Low noise amplifiers; High electron mobility transistor (HEMT); GaAs monolithic microwave integrated circuit (MMIC); Microwave series inductance feedback