

# 一种快速精确的 GaAs MESFET 寄生参数提取方法

刘桂云 张义门 张玉明

(西安电子科技大学微电子所, 西安 710071)

**摘要:** 提出了一种快速精确地提取 GaAs MESFET 寄生参数方法. 这种方法以两组  $S$  参数为基础, 应用解析表达式直接确定 GaAs MESFET 的九个寄生参数. 该方法适用范围广. 以一个  $0.3\mu\text{m} \times 280\mu\text{m}$  商用器件的一组寄生参数为基础, 对该方法进行了验证.

**关键词:** GaAs MESFET; 寄生参数; 提取参数

**EEACC:** 2560B; 1350F

**中图分类号:** TN402

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0253-4177(2005)04-0760-04

## 1 引言

电路的模拟精度除了依赖器件模型本身, 还取决于给定的模型参数是否精确. 因此, 能否精确地提取和确定晶体管的模型参数, 是一个重要的问题. GaAs MESFET 作为一种典型的微波大功率器件, 寄生参数对于高频性能的影响尤其重要.

近些年来, 人们对 GaAs MESFET 寄生参数提取进行了很多研究, 提出了许多很好的方法<sup>[1-5]</sup>. 但这些方法都较为复杂, 或要求大量的数据, 或需要进行优化. Lin<sup>[1]</sup>就曾提出, 以不同频率的  $S$  参数为基础, 通过解方程来确定寄生参数的初值, 再由优化程序得到参数值. 这种方法不仅复杂而且需要大量机时. 为此, 本文提供了一个简单而准确的 GaAs MESFET 寄生参数提取方法. 该方法与其它方法相比, 仅需要两组不同频率的  $S$  参数, 快而且准确, 无须进行优化.

## 2 提取方法

GaAs MESFET 大信号等效电路<sup>[2]</sup>如图 1 所示. 通常参数提取分两步进行, 首先提取外部参数, 也就是寄生参数. 然后剥离寄生电路网络, 提取内部

本征参数. 可以明显看到, 在 GaAs MESFET 参数提取过程中, 预先确定寄生参数是重要的一步. 因为它减少了需要进行最后优化的参数个数, 提高了参数提取的速度和精度. 有了寄生参数值, 就可以剥离寄生电路网络, 得到 MESFET 本征区的端特性, 从而简化提取过程.

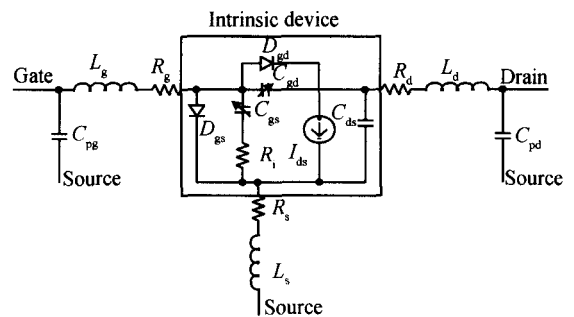


图 1 GaAs MESFET 大信号等效电路

Fig. 1 Large-signal equivalent circuit for the GaAs MESFET

当 GaAs MESFET 偏置在  $V_{ds} = 0, V_g < V_p$  的情况下, 没有沟道电流且源漏两端对称, 此时的等效电路如图 2 所示.  $R_i, L_i (i = d, g, s), C_p, C_{pd}$  分别为寄生电阻、电感和电容, 这是由于寄生效应, 电极接触, 封装等因素造成.  $C_b$  为耗尽电容, 由于栅极两边

刘桂云 男, 1979 年出生, 硕士研究生, 从事 GaAs MESFET 模型研究. Email: smartlgy@etang.com

张义门 男, 1941 年出生, 教授, 博士生导师, IEEE 高级会员, 从事器件模型、VLSI 计算机辅助设计的教学和研究工作.

张玉明 男, 1965 年出生, 博士, 教授, 博士生导师, IEEE 会员, 研究领域是宽禁带半导体 SiC 材料和器件的表征、设计、模型和研制.

2004-04-18 收到, 2004-09-17 定稿

耗尽层宽度变化而引起。

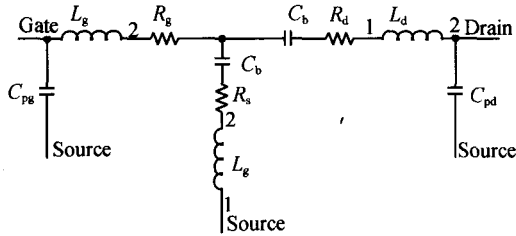


图 2 GaAs MESFET 偏置在  $V_{ds} = 0, V_g < V_p$  时的等效电路  
Fig. 2 Equivalent circuit for the GaAs MESFET at zero drain bias voltage and gate voltage lower than the pinchoff voltage

图 2 中有 9 个未知量,二端口网络参量只能构成 8 个方程,直接解是不可能的. 这里在电容提取过程中采用一次近似求解,从而使参数提取变得简单,且精度高。

### 2.1 寄生电容提取

显然,电路的  $Y$  参数的虚部只与电感和电容相关. 而电感和电容的阻抗分别为  $jL$  和  $1/jC$ ,可以看出频率越低电容阻抗越大而电感阻抗越小,这与 Dambrine<sup>[3]</sup> 的方法刚好相反. 从寄生参数的数量级判断,当频率为 50M 左右时,电容阻抗将是电感阻抗的 1 万倍以上. 所以,在 10M 时测得偏置在  $V_{ds} = 0, V_g < V_p$  情况下的 GaAs MESFET  $S$  参数并将其转换成  $Y$  参数,则此时  $Y$  参数的虚部只与电容相关. 其关系如下:

$$\begin{cases} \text{Im}(Y_{11}) = j(C_{pg} + 2C_b) \\ \text{Im}(Y_{12}) = \text{Im}(Y_{21}) = -jC_b \\ \text{Im}(Y_{22}) = j(C_{pd} + C_b) \\ C_b = -\text{Im}(Y_{12})/j \\ C_{pg} = \text{Im}(Y_{11})/j - 2C_b \\ C_{pd} = \text{Im}(Y_{22})/j - C_b \end{cases}$$

Dambrine 曾经用过这种方法,但他认为频率达到 GHz 数量级时,才可以进行近似. 而此时电感的影响相对较大,造成了提取电容值的少许误差. 但这些误差对电感的影响却非常大,因为电感相对于电容的阻抗小很多. 这样无法直接利用提取的电容值来提取电感参数,这在后面的验证中将会看到. 所以, Dambrine 采用了其它方法来提取电感和电阻参数,从而使提取过程变得复杂。

### 2.2 寄生电感和电阻提取

为了准确得到寄生电感值,必须使电感和电容的阻抗相差越小越好. 所以要选用尽量高的测试频率,这样电感的阻抗才不会被忽略掉. 在 10G 时测得偏置在  $V_{ds} = 0, V_g < V_p$  情况下的 GaAs MESFET  $S$  参数并将其转换成  $ABCD$  参数. 由于寄生电容已知,可以剥离寄生电容网络,其电路如图 3 所示。

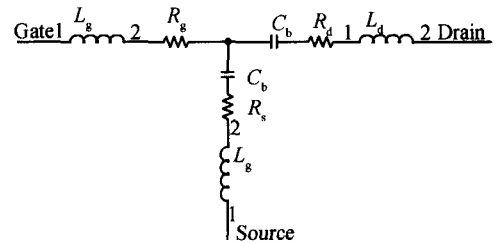


图 3 剥离寄生电容网络后的电路  
Fig. 3 Circuit after de-embedding the parasitic capacitors

得到新网络的  $ABCD$  参数为:

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{\text{new}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ jC_{pg} & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ jC_{pd} & 1 \end{bmatrix}^{-1}$$

图 3 可简化等效为图 4,它的  $ABCD$  参数为:

$$\begin{bmatrix} 1 + \frac{Z_g}{Z_s} & Z_g + Z_d + \frac{Z_g Z_d}{Z_s} \\ \frac{1}{Z_s} & 1 + \frac{Z_d}{Z_s} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{\text{new}}$$

很容易得到:

$$\begin{cases} Z_s = \frac{1}{C} \\ Z_g = (A - 1) Z_s \\ Z_d = (D - 1) Z_s \end{cases}$$

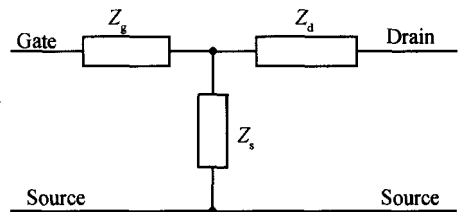


图 4 图 3 的简化等效电路  
Fig. 4 Simplified circuit of Fig. 3

由图 3 与图 4 的等效关系有:

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{Re}[Z_g] = R_g \\ \operatorname{Im}[Z_g] = j L_g \\ \operatorname{Re}[Z_d] = R_d \\ \operatorname{Im}[Z_d] = j L_d + \frac{1}{j C_b} \\ \operatorname{Re}[Z_s] = R_s \\ \operatorname{Im}[Z_s] = j L_s + \frac{1}{j C_b} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} R_g = \operatorname{Re}[Z_g] \\ L_g = \operatorname{Im}[Z_g]/j \\ R_d = \operatorname{Re}[Z_d] \\ L_d = \frac{\operatorname{Im}[Z_d] - 1/j C_b}{j} \\ R_s = \operatorname{Re}[Z_s] \\ L_s = \frac{\operatorname{Im}[Z_s] - 1/j C_b}{j} \end{array} \right.$$

### 3 验证

验证程序由两部分组成,一部分是  $S$  参数扫描程序,输入电路元件参数原值和频率,输出二端口网络的  $S$  参数;第二部分是参数提取程序,输入二端口网络的  $S$  参数,输出电路元件参数值.所有程序皆由 MATLAB 编写.由参数原值与提取值对比来

确定该提取方法的精度,并与文献[3]中提取寄生电容的方法进行比较.本文采用的第一组原始寄生参数值来源于文献[3],其它组原始参数值由第一组变化而来,目的在于检验该方法的适用范围.

由于 MESFET 的栅长有着数量级的变化,导致电容和电感的变化,为检验该方法的适用范围,第二组的电容和电感数值增加一个数量级,第三组减小一个数量级.

表 1 中,新取值是由本文提出的方法提取的值,旧取值是由文献[3]中提取的寄生电容值.由表 1 可以看出新方法的精度非常高,尤其在寄生参数数量级变大时仍有相当高的精度,适用范围更广.而且,如果把旧方法的电容提取值直接用于电感和电阻提取,结果将相差甚远.

表 1 两种参数提取方法结果对照表

Table 1 Comparison of the extracted parameters using two methods

数据组	$L_s/\text{nh}$	$L_g/\text{nh}$	$L_d/\text{nh}$	$R_s/$	$R_g/$	$R_d/$	$C_{pg}/\text{fF}$	$C_{pd}/\text{fF}$	$C_b/\text{fF}$
第一组数据									
原始值	0.039	0.27	0.38	1.5	1.4	1.5	48	92	150
新提取值	0.039	0.27	0.38	1.5	1.4	1.5	48	92	150
旧提取值	0.916	0.001	0.917	1.45	1.4	1.48	47.222	91.386	152.09
第二组数据									
原始值	0.39	2.7	3.8	1.5	1.4	1.5	480	920	1500
新提取值	0.39	2.7	3.8	1.5	1.4	1.5	480	920	1500
旧提取值							517.68	469.15	- 858.9
第三组数据									
原始值	0.0039	0.027	0.038	1.5	1.4	1.5	4.8	9.2	15
新提取值	0.0039	0.027	0.038	1.5	1.4	1.5	4.8	9.2	15
旧提取值							4.7992	9.1994	15.002

提取频率的影响在这里尤为重要.本文重点在于用较低频率测试来提取电容,较低频率是针对电容和电感的数量级差距而言,在本文中只要小于 300M 就可以.从较坏的情况考虑,频率越低越好.图 5 显示了用不同频率提取的电容,进而提取电感的情况,其理想值为表 1 中第一组数据的原始值.提取电感的  $S$  参数的频率都是 10G,而且频率在 10G 左右或更高时对提取的结果没有影响.提取电容的频率若小于 300M 也对提取结果没有影响.

由图 5 可以看出,若提取电容的频率大于 300M 时,提取电容的误差随提取频率的增加而变大,所以以较低的频率来提取电容值是非常重要的.同样,以较高的频率来提取电感值也是重要的,这里不再进一步讨论.

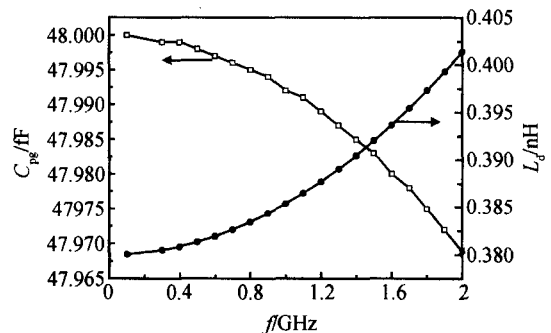


图 5 不同频率时提取的电容  $C_{pg}$  和电感  $L_d$

Fig. 5 Extracted capacitor  $C_{pg}$  and inductance  $L_d$  versus frequency

电容的提取误差会对电感提取结果带来影响.由图 5 可以看出,电容的微小误差会导致电感较大

的偏差,所以提取电容的精度是非常重要的.如果以文献[3]中的提取电容的方法,则无法用于电感的提取.正如表1所示,第一组数据中旧提取值的电感和电阻值就是由它的电容值直接提取的,显然是错误的.所以文献[3]中采用了其它方法来提取电感和电阻参数,从而使提取过程变得复杂.电容的提取误差对电阻提取结果有同样的影响,这里不再作讨论.

## 4 结论

本文提出了一种快速精确的 GaAs MESFET 寄生参数提取方法.这种方法以两组  $S$  参数为基础,直接确定 GaAs MESFET 的九个寄生参数.与以往的方法相比,它需要的测试数据少,只需要两组  $S$  参数;提取过程简单,用 MATLAB 实现只有 40 行语句左右;提取结果精度高;寄生参数的数量级影响相对较小,适用范围广.

## 参考文献

- [1] Lin Fujiang. FET model parameter extraction based on optimization with mutiplane data-fitting and bidirection search-A new concept. *IEEE Trans Microw Theory Tech*, 1994, 42(7): 1114
- [2] Ooi B L, Ma J Y, Leong M S. A new MESFET nonlinear model. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2001, 29(4): 226
- [3] Dambrine G, Cappy A, Heliodore F, et al. A new method for determining the FET small-signal equivalent circuit. *IEEE Trans Microw Theory Tech*, 1988, 36(7): 1151
- [4] Chen Jun, Liu Xunchun. HFET small model extraction from  $S$  parameters using simulated annealing algorithm. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2001, 22(1): 79 (in Chinese) [陈俊, 刘训春. 用模拟退火算法从  $S$  参数提取 HFET 小信号等效电路参数. *半导体学报*, 2001, 22(1): 79]
- [5] Zhang Youtao, Xia Guanqun, Gao Jianfeng, et al. Precise extraction of GaAs MESFET small signal model using improved genetic algorithm. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2004, 25(7): 869 (in Chinese) [张有涛, 夏冠群, 高建峰, 等. 用改进的遗传算法精确提取 GaAs MESFET 小信号等效电路参数. *半导体学报*, 2004, 25(7): 869]
- [1] Lin Fujiang. FET model parameter extraction based on opti-

# Fast and Accurate Extraction of Parasitic Parameters for GaAs MESFET Device Models

Liu Guiyun, Zhang Yimen, and Zhang Yuming

(Microelectronic Institute, Xidian University, Xi'an 710071, China)

**Abstract:** A novel fast and accurate method for extracting parasitic parameters of GaAs MESFET's is presented. Nine parameters can be directly extracted based on two groups of  $S$  parameters with high efficiency and very good accuracy. This can be widely used in extraction technique. Finally, the verification is done with a commercial FET device of  $0.3\mu\text{m} \times 280\mu\text{m}$ .

**Key words:** GaAs MESFET; parasitic parameter; extracting parameter

**EEACC:** 2560B; 1350F

**Article ID:** 0253-4177(2005)04-0760-04

Liu Guiyun male, was born in 1979, master candidate. His current research interest is GaAs MESFET model. Email: smartlgy@etang.com  
 Zhang Yimen male, was born in 1941, professor. His research interest is in field of device modeling and simulation in VLSI, VLSI CAD, quantum well devices and IC and high temperature microelectronics in wide band gap semiconductor.  
 Zhang Yuming male, was born in 1965, professor. His research field is in design, modeling, fabrication, and electrical characterization of SiC materials and electronic devices for high-temperature and high-power operation.

Received 18 April 2004, revised manuscript received 17 September 2004

©2005 Chinese Institute of Electronics