

宽带 GaAs 三栅 MESFET 开关模型

陈新宇 陈继义 郝西萍 洪 倩 蒋幼泉 李拂晓 陈效建

(南京电子器件研究所, 南京 210016)

摘要: 提出一种三栅 MESFET 开关的模型——附加栅控开关模型, 模型是根据三栅 MESFET 开关器件的结构, 考虑了栅极对微波信号的影响, 适用于 MMIC 开关电路的设计, 具有很好的宽带微波特性。器件测试值与模型模拟值吻合较好。

关键词: 开关; 模型; 宽带; 三栅 MESFET

EEACC: 2560B; 2560S

中图分类号: TN 386.3

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2002)08-0852-03

1 引言

在 MMIC 的研制中, GaAs 器件的模型决定了单片电路的设计精度。随着 GaAs 控制单片电路的不断发展, 对 GaAs MESFET 开关模型, 特别是应用于 MMIC 设计中的开关模型, 提出了更高的要求。

在控制电路中, GaAs MESFET 作为无源器件, 其源极和漏极分别接 RF 信号, 栅极作为控制端口, 对 RF 信号视为信号开路。为了进一步降低单片集成面积, 提高开关的功率承受能力, 在单栅 MESFET 器件的基础上, 提出了多栅 MESFET 器件的概念, 以满足开关性能的要求^[1~5]。三栅 MESFET 是多栅 MESFET 的一个分支, 它相当于三个同样栅长和栅宽的单栅 FET 相串联。和传统的单栅 MESFET 相比, 三栅 MESFET 具有以下的优点: 显著缩小单片集成面积, 在相同栅长和栅宽条件下, 三栅 MESFET 的面积约是级联单栅 MESFET 面积的 30%; 减小相应的串联电阻和寄生电容; 具有良好的功率处理能力, 其功率承受能力为单栅 MESFET 的 9 倍^[5]。现有的三栅 FET 开关模型^[3~5]是在单栅开关模型的基础上发展而来, 由于没有考虑栅

极对微波信号的影响, 在宽带应用中存在局限。我们根据三栅 MESFET 器件的结构, 提出宽带三栅开关模型, 并在实验中得到了验证。

2 GaAs MESFET 开关的等效电路

通常单栅开关模型见图 1^[1,4~6], 在开、关两种状态下, R_{ch} 和 C_{ch} 分别对应开/关两种状态下沟道等效电阻和沟道等效并联电容。 R_s 、 R_d 是等效的输入、输出寄生电阻, L_s 、 L_d 是等效的输入、输出寄生电感, C_{ps} 、 C_{pd} 是等效的输入、输出寄生电容。

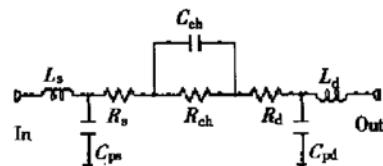


图 1 通用的 FET 开关等效电路

Fig. 1 General model circuit of switching FET

对于三栅 MESFET 器件, 其串联回路不能简单看作单个 R_{ch} 电阻, 同时考虑到高频特性, 栅极对微波不是理想开路, 为此我们根据三栅 MESFET 器件本身的物理结构及电学特性, 提出三栅开关模

陈新宇 男, 主要研究 GaAs 器件模型和 GaAs MMIC 设计。

陈继义 男, 教授, 主要从事 GaAs MMIC 设计。

2001-11-01 收到, 2002-03-06 定稿

©2002 中国电子学会

型——附加栅控三栅开关模型, 见图 2。图中 R_n 为栅栅之间的电阻。另外, 将沟道并联电容细分为 C_{js} 、 C_{jd} 几部分, 分别对应栅源结电容、栅漏结电容。在高频情况下, 栅端不能简单视为微波开路, 同时考虑在 MMIC 电路设计中所引进的布线、电阻等影响, 因此在附加栅控开关模型等效电路中, 增加了控制极的寄生参数, r_g 、 L_g 是控制极(栅极)的寄生电阻和寄生电感, R_g 是控制极的外加电阻, C_{pg-i} 是控制极内部寄生电容, C_{pg-o} 是控制极的外部寄生电容。

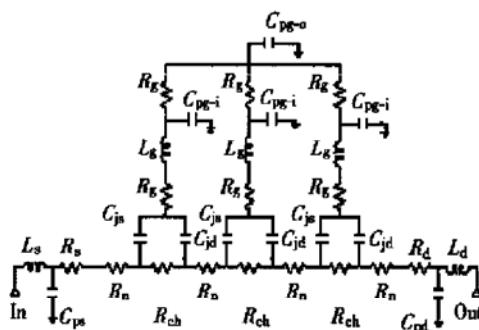


图 2 三栅开关模型等效电路

Fig. 2 Model of triple gate switching FET

3 GaAs 三栅 MESFET 开关模型的验证

三栅 GaAs MESFET 开关采用 75mm 全离子注入 GaAs MESFET MMIC 工艺, 器件栅长 $0.7\mu\text{m}$, 总栅宽 $2200\mu\text{m}$, 栅极的外加电阻 R_g 为 $4\text{k}\Omega$ 。为了准确地反映器件本身的物理特性, 用微波在片测试系统对开关芯片进行了性能测试和模型提取, 测试频率是 $0.1\sim 20\text{GHz}$ 。微波在片测试系统包括 Witrtron 360B 网络分析仪、MM 探针台等, 采用 HP-GPIB 总线连接, 计算机软件控制技术。测试过程中, 开态栅控电压取 0V , 关态栅控电压取 -5V 。

采用附加栅控模型进行器件的模拟, 对模拟结果和测试结果进行对比。其中三栅 MESFET 开关器件测试的 S 参数、Smith 圆图和采用附加栅控开关模型的模拟参数见图 3 和图 4(开态和关态)。开关器件的 S_{11} 和 S_{21} 模值的测试值和模拟值见图 5 和图 6(开态和关态)。从 Smith 圆图和模值图中得出, 测试值和器件模拟值在 $0.1\sim 20\text{GHz}$ 整个频段内基本吻合。在开态状况下, S_{21} 的模拟值和测试值相差小于 0.08dB , 见图 5。

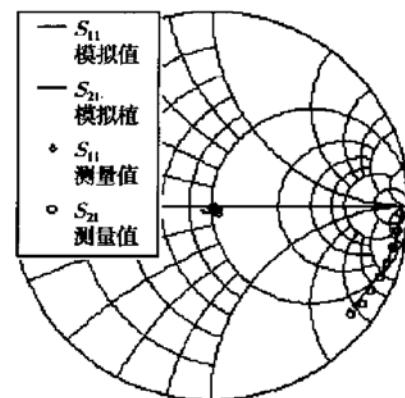
图 3 开态 S_{11} 、 S_{21} 的测量值和模拟值

Fig. 3 Measured and simulated value (on-state)

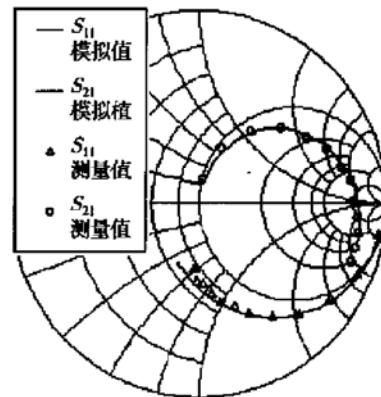
图 4 关态 S_{11} 、 S_{21} 的测量值和模拟值

Fig. 4 Measured and simulated value (off-state)

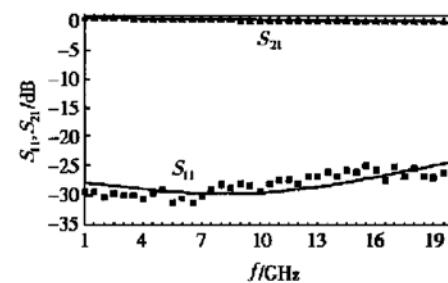
图 5 开态 S_{21} 、 S_{11} 的测量值和模拟值

Fig. 5 Measured and simulated value (on-state)

附加栅控开关模型考虑了宽带单片电路的研制要求和单片电路中所带的寄生效应影响, 在高频和宽带的开关单片应用中, 模型模拟值和测试值基本吻合, 在 $0.1\sim 20\text{GHz}$ 的频率范围内有较高的模拟精度。主要模型参数见表 1。等效开态电阻为 4.2Ω , 关态电容 0.21pF ($R_{on} = 9.24\Omega/\text{mm}$, $C_{off} =$

0.0985pF/mm).

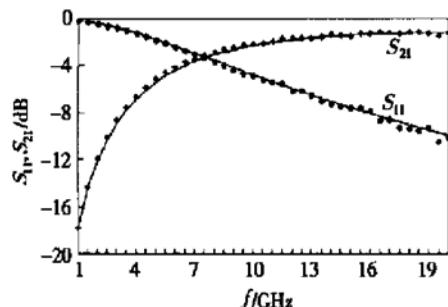


图 6 关态 S_{21} 、 S_{11} 的测量值和模拟值

Fig. 6 Measured and simulated value(off-state)

表 1 2200μm 栅宽的三栅 MESFET 开关的模型参数表

Table 1 Parameters of triple gate MESFET switch model

R_{ch-on}	1.0Ω	R_s	0.4Ω
C_{js-off}	1.3pF	R_d	0.4Ω
C_{jd-off}	1.3pF	C_{ps}	0.04pF
L_s	0.11nH	C_{pd}	0.04pF
L_d	0.13nH	R_g	4kΩ

4 结论

采用新的附加栅控三栅 MESFET 开关模型,

在 0.1~20GHz 频带内, 可以准确地模拟宽带的 MESFET 开关特性, 使其在 MMIC 电路的设计上, 具有很好的应用价值。采用新的测试系统, 此模型可以扩展到更高的频带。目前此模型已应用于南京电子器件研究所单片产品的设计中。

致谢 对南京电子器件研究所 GaAs 加工中心的全体人员表示衷心的感谢。

参考文献

- [1] Shifrin M B, Katzin P J. Monolithic FET structures for high power control component applications. IEEE Trans Microw Theory Tech, 1989, 37(12)
- [2] Schindler M J, Kazio T E. A high power 2~18GHz T/R switch. IEEE Microw Theory Tech Digest, 1990
- [3] T Bryant D. A monolithic reduced size ku-band SPDT FET switch. IEEE Trans Microw Theory Tech, 1988: 371
- [4] Sun H J, Ewan J. A 2~18GHz monolithic variable attenuator using novel triple-gate MESFETs. IEEE Microw Theory Tech Digest, 1990
- [5] McGrath F, Varmazis C, Kermarrec C. Multi gate FET power switches. Applied Microwave Summer, 1991: 77
- [6] Yalcin Ayasli. Microwave switching with GaAs FETs. Microw J, 1982, 25(11): 61

Broadband Model of GaAs Triple Gates MESFET

Chen Xinyu, Chen Jiayi, Hao Xiping, Hong Qian, Jiang Youquan, Li Fuxiao and Chen Xiaojian

(Nanjing Electronic Devices Institute, Nanjing 210016, China)

Abstract: A model of switch using GaAs triple-gates MESFET is described. Based on the structure of the triple gates MESFET and the effect of the gate to RF transmitting, the model is suitable for MMIC design with broad frequency characteristic. The simulation and measurement results are in excellent agreement with each other.

Key words: switch; model; broadband; triple gates MESFET

EEACC: 2560B; 2560S

Article ID: 0253-4177(2002)08-0852-03

Chen Xinyu male. His research interest is in models of GaAs devices, design of GaAs MMIC.

Chen Jiayi male, professor. He is engaged in design of GaAs MMIC.

Received 1 November 2001, revised manuscript received 6 March 2002

©2002 The Chinese Institute of Electronics