

利用正多项式响应曲面模型实现模拟 电路参数自动生成

高雪莲 石 寅

(中国科学院半导体研究所, 北京 100083)

摘要: 提出一种基于仿真的模拟电路参数自动生成方法, 通过利用模拟电路性能仿真数值结果生成描述电路性能与电路参数之间关系的正多项式响应曲面模型 (polynomial response surface models), 再利用若干性能曲面模型协同求出满足全部性能要求的模拟电路的参数配置. 这种方法的本质是将电路参数化问题转化为几何规划 (geometric program) 问题, 为线性或非线性电路生成达到 Spice 器件仿真级精度的性能正多项式响应曲面. 文中提出的正多项式响应曲面模型的待求参数包括正实数系数和任意实数指数, 其回归分析过程中如果模型无法满足精度要求, 可通过自动修改模型的多项式结构最终获得理想结果. 最后以运算放大器电路为例, 生成精确描述电路性能的正多项式响应曲面模型, 并通过若干正多项式响应曲面模型得到满足性能要求的参数配置.

关键词: 模拟电路; 参数生成; 凸问题; 正多项式响应曲面模型; 几何规划; 正多项式表达式

EEACC: 1205; 0260; 1130

中图分类号: TN4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-4177(2005)11-2241-07

1 引言

模拟电路自动综合研究工作开展至今, 目前广泛使用的是基于仿真的电路参数生成方法, 其基本思路是对电路参数配置进行性能仿真 (例如 Spice 数值仿真), 然后将电路仿真性能与目标性能进行比较并修正电路参数的配置, 如此重复进行, 直到获得满足电路目标性能的参数配置. ADOPT^[1]、FASY^[2] 都采用这种思路进行参数设计, 其缺点是仿真和比较的迭代次数多, 设计周期长, 并且难以保证求得的满足目标性能的参数配置就是全局最优解.

几何规划的优化求解过程收敛速度快, 求解和初始点无关, 解必为可行解, 否则无解, 所以几何规划可被应用于求解已知模拟电路拓扑结构的电路参数化问题. 利用几何规划求解电路参数问题是一种新颖的基于仿真的电路参数化方法. 文献[3]证明, 如果利用几何规划求解一个凸问题 (convex prob-

lem), 获得的局部最优解就是全局最优解, 所以利用几何规划求解电路参数化问题时, 如果能先将电路参数化问题转化为凸问题, 然后再利用某优化算法进行求解, 那么获得的解就是全局最优解.

目前已有的利用几何规划方法求解模拟电路未知参数的研究中, 例如文献[4, 5], 绝大部分电路性能可以用正多项式表达式描述, 其余电路性能只能近似描述, 所以求解出的电路参数误差比较大. 文献[7]提出的正多项式响应曲面模型的待求参数为系数和指数, 其中指数只能取值为整数, 并且只能为 -1, 0 或者 1. 文献[8]中正多项式模型的待求参数为系数, 模型的指数项为设计人员给定的固定实数. 这两种设计方法的正多项式响应曲面模型过于简单, 造成描述电路性能时产生较大的误差. 文献[9]中正多项式响应曲面模型待求参数为系数和指数, 并且指数可以为任意实数, 该方法采用的模型灵活性大, 能准确描述绝大多数电路性能与电路待求参数之间的关系. 但是利用该模型描述电路性能特征时, 如果用户提出较高的精确度要求, 只能通过增加

高雪莲 女, 1977 年出生, 博士研究生, 从事模拟电路自动综合研究.

石 寅 男, 1951 年出生, 研究员, 博士生导师, 从事新结构高速数模混合集成电路的研究.

2005-03-16 收到, 2005-05-27 定稿

迭代计算次数得到满意的正多项式响应曲面模型, 或者以失败告终. 本文提出一种在计算过程中, 根据精确度要求可修正自身多项式结构的正多项式响应曲面模型, 待求参数为正实数系数和任意实数指数. 这种新的正多项式响应曲面模型可以实现高精度的电路性能描述, 在同等精度要求的情况下, 本文提出的正多项式响应曲面模型待求参数个数少于文献 [9] 中提出的同类模型待求参数个数.

2 生成正多项式响应曲面模型

将模拟电路参数生成问题转换为几何规划的标准形式——正多项式形式, 也就是生成描述电路性能的正多项式响应曲面模型的过程, 其主要工作是提出多项式响应曲面模型, 并求解该模型的参数使该模型能够精确地描述电路性能与电路待求参数之间的关系.

2.1 利用正多项式响应曲面模型生成电路参数流程图

实现利用正多项式响应曲面模型生成电路参数的具体步骤如图 1 所示. 首先对给定的模拟电路拓扑图进行有关电路参数配置的实验设计, 并利用 Spice 仿真工具得到用于正多项式响应曲面模型参数回归分析的采样数据. 然后将电路参数设计问题转化为几何优化问题进行求解, 提出描述电路性能与电路性能之间关系的正多项式响应曲面模型, 并利用已经获得的采样数据进行模型参数的回归分析 (回归分析的求解过程将在后面详细介绍). 最后, 将获得的若干电路性能的正多项式响应曲面模型联立求解, 试图求出满足所有性能要求的若干正多项式响应曲面模型的公共解, 即得到满足性能要求的电路参数配置.

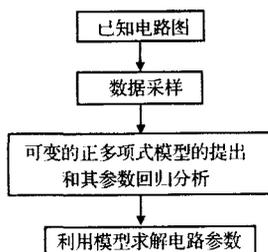


图 1 利用正多项式模型生成电路参数的流程图

Fig. 1 Flow chart of the sizing of analog circuit

2.2 正多项式响应曲面模型参数回归分析的定义

求解描述电路性能的正多项式响应曲面模型的参数问题是正多项式的参数回归分析问题 (regression analysis). 回归分析是研究一个或多个随机变量 Y_1, Y_2, \dots, Y_i 与另一些变量 X_1, X_2, \dots, X_k 之间的函数关系的统计方法. 从回归分析的定义出发, 正多项式参数的回归分析中, 变量 Y 和 X 分别是模拟电路的电路性能 p_h 和待求参数 X , 经过数据采样有:

$$\{ (X_1, p_{h,1}), (X_2, p_{h,2}), \dots, (X_a, p_{h,a}) \} \quad (1)$$

假设变量 Y 和 X 之间的函数关系用正多项式响应曲面模型 (2) 式表示为:

$$Y = f(X) = \prod_{i=1}^m (c_i \prod_{j=1}^n (x_j^{ij})) \quad c_i \in R^+, \quad ij \in R \quad (2)$$

那么正多项式参数的回归分析就是求出正多项式响应曲面模型 (2) 式的参数 (系数和指数), 使 (2) 式满足下式:

$$\min [f(X_1), f(X_2), \dots, f(X_a)] - [p_{h,1}, p_{h,2}, \dots, p_{h,a}] \quad (3)$$

并且有约束条件: 系数 $c_i \in R$, 且 $c_i > 0$, 指数 $ij \in R$.

根据几何规划的定义^[3], 这里正多项式模型的参数回归分析问题就是几何规划问题, 这样就实现了将参数生成问题转换为一个凸优化问题^[6]. 利用优化算法求解凸优化问题, 除非约束过于苛刻的情况会导致该凸优化问题无解, 否则得到的解必为可行解, 并且得到的局部最优解就是全局最优解.

2.3 回归分析中的数据采样

正多项式响应曲面模型的参数回归分析所使用的采样数据 (1) 通过对给定模拟电路的待求参数进行实验设计 (design of experiments, DOE)^[10], 得到若干次待求参数的参数配置, 再利用 Spice 进行电路仿真实验, 通过参数提取最终得到采样数据 (1).

实验过程中, 如果用全面实验 (full design) 的方法, 即对实验参数的每种取值可能构成的一切组合逐一进行实验, 付出的代价是巨大的, 有时甚至是无法完成的. 通过实验设计方法的辅助, 可以给出如何在参数的实验值范围内选择代表性参数值的方法, 通过对部分参数值进行部分实验 (fraction design), 得到能表示整个解空间性质的部分解. 均匀设计 (uniform design) 就是一种部分实验设计方法, 它的本

质是只考虑试验点在试验范围内均匀散布的一种试验设计方法. 均匀设计遵从和具有试验设计方法的共性及本质内容, 它能从全面试验点中挑选出部分代表性的试验点, 这些试验点在试验范围内充分均衡分散, 但仍能反映体系的主要特征. 均匀设计相对于另一种经常使用的部分实验设计方法——正交设计(orthogonal design)而言, 均匀性更好, 实验次数更少, 更适合多因素高水平数的实验设计. 例如假设某试验有 5 个因素, 每个因素取 31 水平, 其全部组合, 即全面实验次数为 $31^5 = 28625151$ 次, 若用正交设计实验, 至少需要做 $31^2 = 961$ 次试验, 而用均匀设计只需 31 次. 在文献[11]中, 数据采样时采用的实验设计方法就是正交设计.

利用均匀设计对给定模拟电路进行数据采样的流程如图 2 所示. 针对给定的电路拓扑结构图, 利用均匀实验设计方法求出电路中每个参考节点的电压 V_i 和电路的偏置电流 I_{bias} ; 再利用 MOS 器件模型的求解得到电路中待求参数 X_k , 例如 MOS 器件宽度、长度, 以及电流偏置; 然后将电路分配相应的电路参数, 并进行 Spice 仿真, 通过参数提取得到相应的采样数据 (X_k, f_k) .

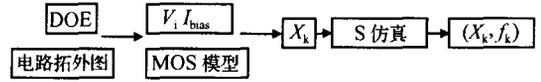


图 2 生成采样数据流程图

Fig. 2 Generation of sample data

2.4 提出正多项式响应曲面模型

文中提出的描述模拟电路性能的正多项式响应曲面模型如下, 可根据用户提出的精度要求, 在计算过程中自动对正多项式响应曲面模型进行修正.

$$\min_{C, A} f(C, A) = \sum_{i=1}^{sam} (F - p_i)^2 = \sum_{i=1}^{sam} ((\sum_{g=0}^N f_g) - p_i)^2 \quad (4)$$

其中

$$f_0 = \sum_{j=1}^{xnum} (c_j x_{i,j}^{j,1}) \quad (5)$$

$$f_g = \sum_{j=1}^{xnum} (c_j \sum_{k=1}^{xnum} x_{ik}^{j,1+(g-1)*xnum+k}) \quad (6)$$

约束

$$c_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, xnum \quad (7)$$

这里

$$C = (c_1, c_2, \dots, c_{xnum})^T \quad (8)$$

$$A = \begin{bmatrix} 11 & 1,2 & \dots & 1,xnum+1 & \dots & 1,1+(N-1)*xnum+xnum \\ 21 & 2,2 & \dots & 2,xnum+1 & \dots & 2,1+(N-1)*xnum+xnum \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ sam,1 & xnum,2 & \dots & sam,xnum+1 & \dots & sam,1+(N-1)*xnum+xnum \end{bmatrix} \quad (9)$$

式中 sam 为数据采样的数目; xnum 为电路待求参数个数; (x_i, p_i) 为采样数据; N 为正自然数, 由用户设置, N 与用户提出的精度要求呈反比, 越小 N 值越大.

初始计算时, $F = f_0$, 求解出此时模型参数矩阵 C 和矩阵 A , 如果求出的模型 f 满足用户精度要求, 就得到目标模型; 否则 $F = f_0 + f_1$, 模型参数矩阵 C 不变, 矩阵 A 中相应增加参数个数. 求解模型参数矩阵 C 和矩阵 A , 如果求出的模型 f 满足用户精度要求, 得到目标模型; 否则 $F = f_0 + f_1 + f_2$, 模型参数矩阵 C 不变, 参数矩阵 A 中相应增加参数个数. 依此类推, 直到求出满足用户高精度要求的正多项式响应曲面模型 f .

2.5 正多项式响应曲面模型参数回归分析的求解过程

正多项式响应曲面模型参数回归分析的求解过

程如图 3 所示.

利用 MATLAB 实现参数的回归分析. 首先给出 C, A 和 f_{prev} 的初始值, 并且设置 N 值. 判断 f_{prev} 是否大于, 如果条件不满足, 转向 4, 回归分析停止; 如果条件满足, 确定 $f(C, A)$ 模型(3.1), 并且利用 MATLAB 优化工具箱中的无约束多元变量最小值求解函数 fminsearch() 求解使 $f(C, A)$ 得到最小值时的 C 和 A (3.2). 判断求出的 C 值, 如果有负值, 将该相应的 C_i 赋值为零(3.3.1.1). 再判断 $C_i = 0$ 时, 如果 $\partial f / \partial C_i > 0$, 那么将该 C_i 恒赋值为零, 也就是将该 C_i 单项式从 $f(C, A)$ 中删除, 如果 $\partial f / \partial C_i < 0$, 将 C_i 赋值为零, 返回 3.2 重新求解 C 和 A . 如果(3.2)求解的 C 大于或者等于零, 那么将 f 赋值给 f_{prev} , $N = N + 1$, 然后返回 3. 依此循环, 直到求出使 $f(C, A)$ 获得最小值的 C, A , 并且满足 $C > 0$.

由于参数求解过程中,如果 C_i 小于零,那么 C_i 被赋值为零,使得多项式响应曲面模型(4)中相应的 C_i 项被去掉,减少了待求解未知指数的个数,运算过程被简化,使获得理想解成为可能.

```

1. 设置初始值,  $C=1, A=1, f_{prev} = +$  ;
2. 设置  $N=0$ ;
3. while  $f_{prev} >$ 
    3.1  $f(C, A) = \frac{\text{sam}}{i=1} ((\sum_{g=0}^N f_g) - p_i)^2$ 
    3.2  $f_{\text{minsearch}}(f(C, A))$ ;
    3.3 If  $C < 0$ 
        3.3.1 For  $i=1$  num
            3.3.1.1 If  $C_i < 0$ 
                 $C_i = 0$ 
            End
            3.3.1.2 If  $C_i = 0 | \partial f / \partial C_i > 0$ 
                 $C_i = 0$ 
            3.3.1.3 Else if  $C_i = 0 | \partial f / \partial C_i < 0$ 
                 $C_i = 0$ 
            End
        End
        3.3.2 Turn to 3.2
    3.4 Else
         $f_{prev} = f$ 
    End
    3.5  $N = N + 1$ 
End
4. Stop
    
```

图 3 正多项式模型参数的求解

Fig. 3 Generation of the coefficients and exponents of polynomial model

为了衡量正多项式响应曲面模型描述电路性能的能力,定义曲面模型的质量系数^[9]:

$$q = \frac{\sqrt{\frac{\text{sam}}{i=1} (f(X_i) - p_i)^2}}{C + (\max_{i=1}^{\text{sam}} p_i - \min_{i=1}^{\text{sam}} p_i)} \quad (10)$$

式中 C 为常数. 如果性能范围近似为零,选取适当 C 值,保证分母不为零,否则 C 等于零.

3 电路参数设计实例

以图 4 所示为以 CMOS 运放电路为例进行电路参数设计,步骤如图 1 所示. 图 4 所示电路由 14 个 MOS 器件组成,使用 $0.35\mu\text{m}$ CMOS 工艺, nMOS 器件开启电压 $V_{Tn} = 0.6053\text{V}$, pMOS 器件开启电压 $V_{Tp} = -0.845\text{V}$,工作电压 5V . 电路性能要求是增益 60dB ,带宽 100MHz ,相位裕度 60° . 电路

待求参数为 MOS 器件的长、宽值,以及偏置电流 I_{b1}, I_{b2} 和 I_{b3} .

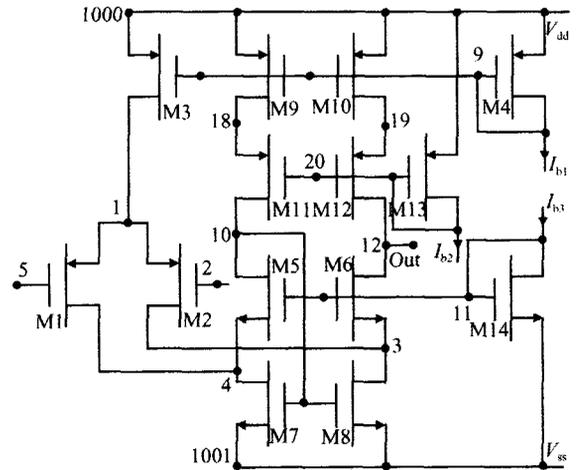


图 4 折叠 CMOS 运算放大电路

Fig. 4 CMOS operation amplifier

以电路增益要求 60dB 为例,说明电路性能参数采样.

首先介绍偏置 CMOS 器件的一个重要规则^[12]. 一个 MOS 器件的栅源电压可以表示成两部分:

$$V_{GS} = V_{OD} + V_T \quad (11)$$

其中 V_T 为开启电压; V_{OD} 为过驱动电压. 从而得到漏源最小饱和电压:

$$V_{DS(\text{sat})} = V_{GS} - V_T = V_{OD} \quad (12)$$

分析图 4 所示运放电路,在电路中增加对称约束,可以有效减少待求解参数个数. 例如 M9 和 M10 组成的电流源子电路中,如果 M9 和 M10 对称(宽、长值相等),那么两者的栅源电压和漏源电压也分别相等. 所以节点电压 V_{18} 和 V_{19} 相等. 根据图 2 电路性能采样流程,并考虑电路的对称性质,首先给出图 4 所示电路的部分节点电压和偏置电流取值范围,如表 1 所示,其中 V 为电源电压 5V , V_{ODn} (V_{ODp}) 为 nMOS (pMOS) 过驱动电压. 利用均匀实验设计,生成 11 因素均匀设计实验表,依照该表对图 4 电路分配直流操作点. 根据直流操作点的不同,求出每个 MOS 器件的漏电流 I_d 、栅源电压 V_{gs} 和漏源电压 V_{ds} ,然后再根据 MOS 管在 Spice 中的 BSIM3 模型,求出每个 MOS 器件的长、宽值. 根据电路的对称约束限制,图 4 所示电路的待求参数共 15 个. 对该电路分配相应的参数值,分别代入 Spice 中进行仿真,最终得到参数与性能的数据.

表 1 图 4 电路的节点电压和偏置电流范围

Table 1 Range of node voltage and bias current of Fig. 4

节点	最小取值	最大取值
V1	$V_{ODn} + V_{ODp} $	$V - V_{ODp} $
V4	V_{ODn}	$\text{Min}\{V1 - V_{ODp} , V10 - V_{ODp} , V - 2 V_{ODp} - V_{ODn}\}$
V18	$2V_{ODn} + V_{ODp} $	$V - V_{ODp} $
V10	$V_{TN} + V_{ODn}$	$\text{Min}\{V18 - V_{ODp} , V - 2 V_{ODp} \}$
V12	$2V_{ODn}$	$\text{Min}\{V18 - V_{ODp} , V - 2 V_{ODp} \}$
V9	$\text{Max}\{V - V_{Tp} , V18 + V_{Tp} \}$	V20
V20	$\text{Max}\{V18 - V_{Tp} , V10 + V_{Tp} , V12 + V_{Tp} \}$	V11
V11	$V4 + V_{TN}$	$V12 + V_{TN}$
I_{b1}	1mA	100mA
I_{b2}	1mA	100mA
I_{b3}	1mA	100mA

根据获得的采样数据,利用图 3 所示算法求解正多项式模型(4),得到电路增益的正多项式模型如下:

$$f(C, A) = C_1 X_1^{1.1} + C_1 X_3^{1.4} X_4^{1.5} X_8^{1.9} X_9^{1.10} + C_1 X_1^{1.17} X_3^{1.19} X_{10}^{1.26} + C_3 X_3^{3.1} + C_3 X_7^{3.8} X_9^{3.10} X_{10}^{3.11} + C_3 X_4^{3.20} X_{12}^{3.28} X_{14}^{3.30} + C_{11} X_{11}^{1.1} + C_{11} X_2^{11.3} X_{11}^{1.12} X_{12}^{11.13} + C_{11} X_5^{11.21} X_6^{11.22} X_9^{11.25} X_{12}^{11.28} + C_{15} X_{15}^{1.1} + C_{15} X_5^{15.6} X_{11}^{15.12} + C_{15} X_4^{15.20} X_{10}^{15.26} \quad (13)$$

电路增益的正多项式模型(13)的系数和指数参数的求解过程和结果如表 2 所示.其中 $\epsilon = 0.01$,正多项式模型经过两次结构的修正得到满足精度要求的结果.

同样方法,经过数据采样和模型参数回归分析,求出其余的电路性能正多项式模型.根据用户提出的性能要求,求出令所有正多项式模型满足相应用户要求的参数值,即电路参数设计结果.表 3 给出图 4 所示电路的参数设计结果.

文中正多项式响应曲面模型和文献[9]中正多项式模型待求解参数都是正实数系数和任意实数指数参数,两者的差别只是文中正多项式响应曲面模型可根据精度要求在计算过程中改变,而文献[9]中正多项式模型固定.利用图 4 所示电路得到的采样数据,根据(10)式模型质量系数,比较了用户提出的不同正多项式响应曲面模型精度要求时增益模型的模型质量系数,结果见图 5.

如图 5 所示,随着用户提出的多项式响应曲面模型精度要求越来越精确,本文模型的质量系数 q 比文献[9]中模型质量系数变化平缓,说明在精度要求比较高的情况下,本文模型精确度比文献[9]中模型精确度高,也就是本论文模型更适合用户提出高精度要求的情况.

表 2 电路增益的正多项式模型(13)参数结果($\epsilon = 0.01$)

Table 2 Coefficients and exponents of model (13) ($\epsilon = 0.01$)

	系数	指数
$\epsilon = 0.01$ $f_{prev} = 0.77385$ $q = 1.249$	$C_1 = 0.0187;$ $C_3 = 0.0671;$ $C_4 = 0.0549;$ $C_8 = 0.0118;$ $C_9 = 0.0642;$ $C_{11} = 0.0226;$ $C_{15} = 0.0386;$	$a_{1,1} = -0.174;$ $a_{3,1} = -0.278;$ $a_{4,1} = 0.245;$ $a_{8,1} = -0.148;$ $a_{9,1} = 0.512;$ $a_{11,1} = -0.475;$ $a_{15,1} = -0.247;$
$\epsilon = 0.01$ $f_{prev} = 0.08639$ $q = 0.618$	$C_1 = 0.0205;$ $C_3 = 0.0686;$ $C_4 = 0.0476;$ $C_8 = 0.0245;$ $C_{11} = 0.0301;$ $C_{15} = 0.0682;$	$a_{1,1} = -0.324; a_{1,2} = 0.545;$ $a_{1,5} = 0.257; a_{1,12} = -0.447;$ $a_{3,1} = -0.345; a_{3,4} = -0.247;$ $a_{3,8} = 0.145; a_{3,15} = -0.434;$ $a_{4,1} = 0.327; a_{4,5} = -0.041;$ $a_{4,11} = -0.872; a_{8,1} = 0.014;$ $a_{8,3} = 0.536; a_{8,5} = -0.802;$ $a_{11,1} = -0.563; a_{11,5} = 0.162;$ $a_{11,8} = -0.215; a_{11,9} = 0.296;$ $a_{15,1} = -0.339; a_{15,3} = 0.336;$ $a_{15,5} = -0.435;$
$\epsilon = 0.01$ $f_{prev} = 0.00937$ $q = 0.0851$	$C_1 = 0.0265;$ $C_3 = 0.0812;$ $C_{11} = 0.0385;$ $C_{15} = 0.0791;$	$a_{1,1} = -0.302; a_{1,4} = -0.418;$ $a_{1,5} = -0.2; a_{1,9} = 0.152;$ $a_{1,10} = 0.189; a_{1,17} = 0.109;$ $a_{1,19} = -0.416; a_{1,26} = 0.206;$ $a_{3,1} = -0.4; a_{3,8} = 0.115;$ $a_{3,10} = 0.175; a_{3,11} = -0.344;$ $a_{3,20} = 0.361; a_{3,28} = -0.294;$ $a_{3,30} = 0.179; a_{11,1} = -0.611;$ $a_{11,3} = -0.372; a_{11,12} = 0.219;$ $a_{11,13} = 0.138; a_{11,21} = 0.225;$ $a_{11,22} = 0.139; a_{11,25} = -0.251;$ $a_{11,28} = -0.201; a_{15,1} = -0.489;$ $a_{15,6} = 0.42; a_{15,12} = -0.317;$ $a_{15,20} = 0.467; a_{15,26} = -0.395;$

表 3 图 4 所示电路的参数设计结果

Table 3 Sizing results of Fig. 4

M1 (M2)	$W = 62\mu\text{m},$ $L = 0.35\mu\text{m}$	M3 (M4)	$W = 43.6\mu\text{m},$ $L = 0.35\mu\text{m}$
M5 (M6, M14)	$W = 35\mu\text{m},$ $L = 1.8\mu\text{m}$	M7 (M8)	$W = 1.5\mu\text{m},$ $L = 0.8\mu\text{m}$
M9 (M10)	$W = 53\mu\text{m},$ $L = 1.2\mu\text{m}$	M11 (M12, M13)	$W = 0.45\mu\text{m},$ $L = 1.4\mu\text{m}$
I_{b1}	8mA	I_{b2}	1mA
I_{b3}	5mA		
性能	增益(60dB)	带宽(100MHz)	相位裕度(60°)
	65dB	147MHz	78°

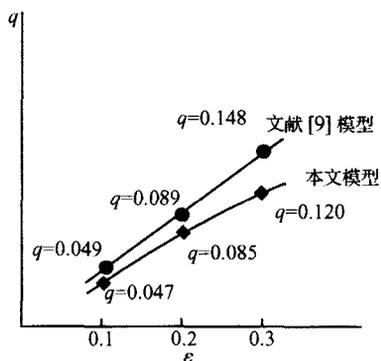


图 5 两种增益正多项式模型的质量比较

Fig. 5 Compare of two gain polynomial models

4 总结

本文提出一种利用几何规划实现模拟电路参数自动生成的方法,通过将模拟电路参数化问题转换为生成描述电路性能与电路参数之间关系的正多项式响应曲面模型问题,再利用获得的正多项式响应曲面模型协同求解满足性能要求的电路参数.本文提出的正多项式响应曲面模型的待求参数包括正实数系数和任意实数指数.在描述电路性能时,该曲面模型可自动修正自身结构以满足用户提出的更高精度要求.最后本文利用该正多项式响应曲面模型成功描述了一个运放电路的性能,并将该模型与同类模型作比较,得到良好结果.

参考文献

- [1] Lai J C, Kueng J S. ADOPT-A CAD tool for analog circuit design. IEEE Circuits and Devices Magazine, 1988, 4(2) : 29
- [2] Tarralba A, Ch áez J. FASY: A fuzzy-logic based tool for analog synthesis. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 1996, 15(7) : 705
- [3] Duffin R J, Zener C, Peterson E L. Geometric programming: theory and application. New York: John Wiley & Sons, 1967
- [4] Mandal P, Visvanathan V. CMOS op-amp sizing using a geometric programming formulation. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 2001, 20(1) : 22
- [5] Hershenson M, Boyd S P, Lee T H. Optimal design of a CMOS op-amp via geometric programming. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 2001, 20(1) : 1
- [6] Boyd S, Vandenberghe L. Convex optimization. London: Cambridge University Press, 2003
- [7] Daems W, Gielen G, Sansen W. A fitting approach to generate symbolic expressions for linear and nonlinear analog circuit performance characteristics. Proceedings of the Design, Automation and Test in Europe Conference and Exhibition, 2002: 268
- [8] Deams W, Gielen G, Sansen W. An efficient optimization-based technique to generate polynomial performance models for analog integrated circuits. Proceedings of the Design, Automation Conference and Exhibition, 2002: 431
- [9] Eeckelaert T, Daems W, Gielen G, et al. Generalized posynomial performance modeling. Proceedings of the Design, Automation and Test in Europe Conference and Exhibition, 2003: 250
- [10] Montgomery D C. Experiment design and analyse translated by Wang Renguan, Chen Rongzhao. Beijing: Publishing House of Chinese Statistic, 1998 (in Chinese) [Montgomery D C. 实验设计与分析. 汪仁官, 陈荣昭, 译. 北京: 中国统计出版社, 1998]
- [11] Leyn F, Gielen F, Sansen W. An efficient DC root solving algorithm with guaranteed convergence for analog integrated CMOS circuits. Proceedings IEEE/ACM International Conference on Computer Aided Design, 1998: 304
- [12] Phillip E A. CMOS analog circuit design. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002

Generation of Polynomial Response Surface Models for Sizing of an Analog IC

Gao Xuelian and Shi Yin

(*Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China*)

Abstract : This paper presents a new method for analog circuit sizing to generate polynomial response surface models of the performance characteristics of an analog IC. This method generates a performance model with SPICE device-level accuracy for linear or nonlinear circuits and composes a geometric program that fully describes the analog circuit sizing problem. The unknown parameters of the polynomial response surface models are positive real coefficients and random real exponents. And this model is changeable to realize the limits of precision. Results validate the effectiveness of this approach to generate polynomial response surface models for an op-amp circuit.

Key words : analog circuit ; sizing ; convex problem ; polynomial response surface models ; geometric program ; polynomial format

EEACC : 1205 ; 0260 ; 1130

Article ID : 0253-4177(2005)11-2241-07

Gao Xuelian female ,was born in 1977 ,PhD candidate. Her research interests focus on analog circuit automatic synthesis.

Shi Yin male ,was born in 1951 ,professor. His research interests are high speed analog-digital mixed signal IC design.

Received 16 March 2005 ,revised manuscript received 27 May 2005

©2005 Chinese Institute of Electronics