

一种基于电压比较器衬底噪声的测试方法*

师奕兵** 陈光禡 王厚军

(电子科技大学自动化工程学院 成都 610054)

Jiann S. Yuan

(美国中佛罗里达大学工程与计算机科学学院 奥兰多 FL32816)

【摘要】 论述了一种测试混合信号集成电路衬底噪声波形的办法。采用电压比较器，利用衬底电压对比较器状态的影响，对噪声作出统计测试。根据测试结果，重建噪声波形，设计了一测试系统的原理框图，推导出了用于衬底噪声波形重建的表征取样噪声电压的平均电压和表征测试误差的均方根值的计算公式，建立了模拟实验电路，给出了SPICE模拟实验结果。

关键词 混合信号集成电路；衬底噪声；电压比较器；测试

中图分类号 TN453；TN710.9

在许多多媒体应用中，单片系统(SOC—System On Chip)集成是实现低成本、高性能系统的一个重要途径。除能够实现数字电路的大规模集成外，现时的SOC方案亦能实现模拟电路和混合信号电路的单片集成。

实际应用中的混合信号集成电路是将高速模拟电路和大规模数字电路制作于同一硅衬底上，如一个用于便携通信系统的RF电路芯片。在这种集成电路中，数字电路所产生的噪声通过衬底形成寄生电流传输到集成在同一芯片上的模拟电路，从而在模拟电路中引入不容许的噪声信号。衬底中的寄生电流称为衬底噪声，衬底噪声将严重降低混合信号集成电路的性能。因此，为了研究衬底噪声，以及控制衬底噪声在混合信号集成电路的实现中的影响，重要的一环是对衬底噪声进行测试。

文献[1~4]采用了单个晶体管放大器测试混合信号集成电路中的切换噪声。文献[3]从实验角度描述了几种降低衬底噪声的办法，并在测试结果的基础上对降噪效果进行了讨论。但其所测噪声值包含了实验方案中晶体管放大器外部寄生阻抗的影响。为了剔除这种寄生作用，评价数字噪声对同一芯片上模拟电路的影响，本文论述一种基于电压比较器的测试办法，同时阐述测试系统的设计以及基于测试的衬底噪声波形的重建等问题。

1 测试系统设计

图1所示为测试办法的原理框图。作为噪声检测器的集成电路片上比较器对于数字电路的实际切换噪声能快速反应，其输出测试逻辑的“高”或“低”取决于输入电压 V_{in} 相对于参考电压 V_{ref} 的电平。如果比较器几近理想且无耦合噪声，则输出“高”出现的概率将由0%~100%急剧变化或为50%(当 $V_{in}=V_{ref}$ 时)。若噪声加至比较器，则概率将改变，如图2所示。噪声产生一亚稳定区，在亚稳定区“高”电平与“低”电平相混合。因此，通过观测比较器输出的事件并计算亚稳定性的概率，就能对噪声作出统计测试。

2001年10月8日收稿

* 国家留学基金管理委员会基金资助项目，编号：97339004

** 男 36岁 博士生 副教授

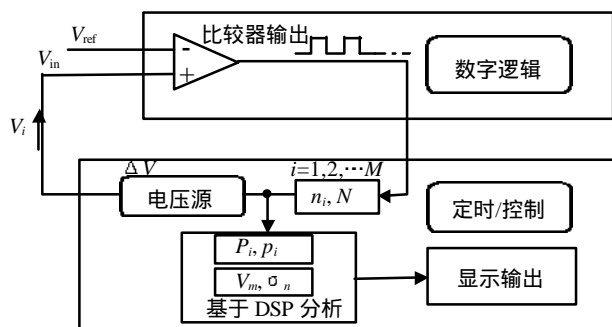


图1 数字噪声测试原理图

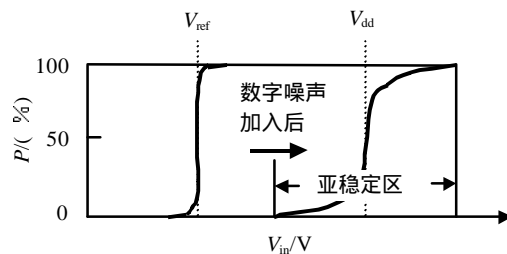


图2 比较器测量的概率

2 衬底噪声的测试及波形重建

测试中，比较器 V_{ref} 固定，输入至比较器 V_{in} 的电压步进值为 ΔV ，对于每一给定的 V_{in} ，采集比较器输出数据 N 次。第 i 次测试中，即 $V_{in} = V_i (= \Delta V_i + V_{ref})$ 时， V_{in} 高于 V_{ref} ，如果输出数据“高”出现 n_i 次，则亚稳定性的概率为 $P_i = n_i / N$ 。于是，概率密度函数 p_i 可计算如下

$$P_i = \sum_{j=1}^i p_j \Delta V = \frac{n_i}{N} \quad (1)$$

$$p_i = \frac{P_i - P_{i-1}}{\Delta V} = \frac{n_i - n_{i-1}}{N \Delta V} \quad (2)$$

此概率分布的均值 V_m 和标准偏差 s 为

$$V_m = \sum_{i=1}^M V_i p_i \Delta V \quad (3)$$

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^M (V_i - V_m)^2 p_i \Delta V} \quad (4)$$

式中 M 为测试的总次数。

无数字噪声的 V_m 或 s 与有数字噪声的 V_m 或 s 间的差即是噪声分布的均值和标准偏差。因此，数字噪声可以利用比较器的等效输入电压进行测试。

利用集成电路片上电压比较器测试衬底噪声，同时也可以重建衬底噪声波形。一噪声波形如图3所示，波形中，正向噪声脉冲出现在数字时钟的上升和下降跃变处，此噪声是由快速的切换电流噪声所产生，通过衬底耦合至比较器，产生噪声的数字电路如图4所示。为了重建噪声波形，采用电压比较器(如单端斩波型电压比较器^[5])，该比较器与数字电路同步，而数字电路由一时钟信号触发。黑圆点代表采样点，为了测试采样值，重复选取同一点 t_1 。分布密度为 p_1 的平均电压 V_{m1} 给出取样噪声电压，而均方根值 s_1 代表测试的误差， V_{m1} 和 s_1 利用式(3)和式(4)计算得出。衬底噪声波形可由每个采样值重建，采样值通过将比较器的采样时间偏移 Δt 测试获得。

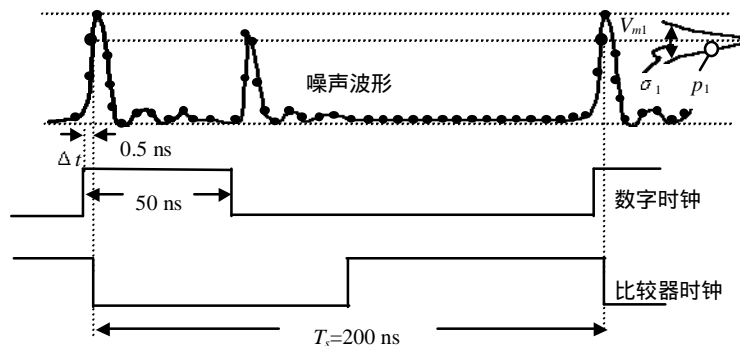


图3 噪声波形重建方法

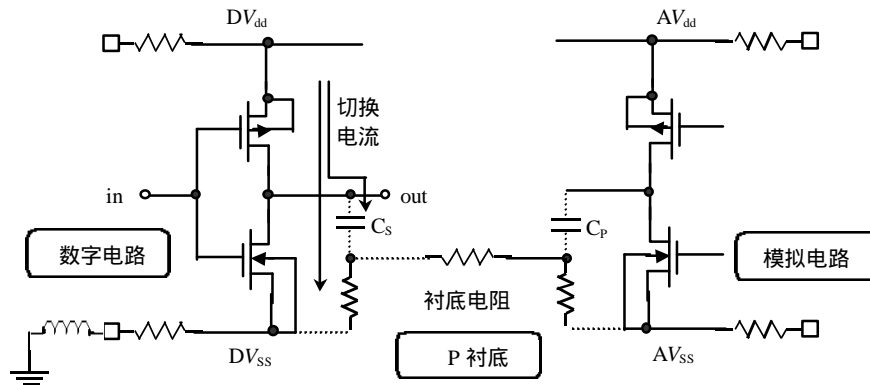


图 4 体硅 CMOS 混合信号集成电路中的衬底噪声

3 实验结果

建立 7 级图 4 所示的倒相器切换电路的 SPICE 数字电路及衬底模型描述, 采用单端斩波型电压比较器作为噪声检测器, 进行 SPICE 模拟实验。由于比较器输出为数字信号, 外部噪声的影响能最大程度被剔除, 因此利用比较器的输出能较容易地重建固有的衬底噪声波形。SPICE 模拟的实验结果如图 5 所示, 图中横坐标为等效取样时间, 纵坐标为噪声电压。

4 结束语

衬底噪声是设计高集成度、高性能混合信号集成电路的主要障碍之一。本文采用一种基于电压比较器的测试方法对衬底噪声进行测试, 并根据同步运行时比较器亚稳定性的概率分布可计算出平均电压, 利用该平均电压, 通过数字信号处理, 噪声波形可易于得到重建。

衬底噪声的测试结果可用于设计具有高噪声容限的模拟电路, 而通过上述方法, 可以观测衬底噪声对实际集成在同一芯片上的模拟电路(如, A/D 转换器)的影响。

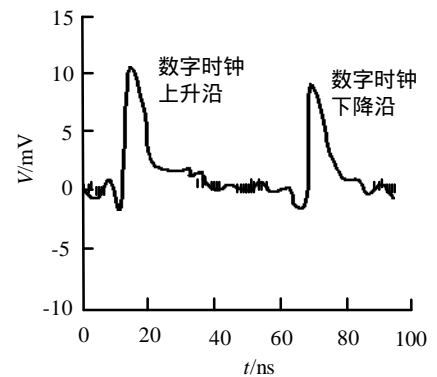


图 5 等效取样衬底噪声测试波形

参 考 文 献

- 1 Loinaz M J. Experimental results and modeling techniques for switching noise in mixed-signal integrated circuits. VLSI Circuit Symp. Dig., Tech. Papers, June 1992, 40-41
- 2 Masui S. Simulation of substrate coupling in mixed-signal MOS circuits. VLSI Circuit Symp. Dig., Tech. Papers, June 1992, 42-43
- 3 Su D K, Loinaz M J, Masui S *et al.* Experimental results and modeling techniques for substrate noise in mixed-signal integrated circuits. IEEE J Solid-State Circuits, 1993, 28(4): 420-430
- 4 师奕兵, 陈光禔, 王厚军. 混合信号集成电路中的衬底噪声耦合. 电子科技大学学报, 2000, 29(2): 174-177
- 5 Baker R, Li H, Boyce D. CMOS: circuits design, layout, and simulation. New York: IEEE Press, 1998.

A Voltage-Comparator-Based Measuring Method of Substrate Noise

Shi Yibing Chen Guangju Wang Houjun

(College of Automation Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

Jiann S. Yuan

(College of Engineering and Computer Science, University of Central Florida, Orlando FL 32816)

Abstract The measurement of substrate noise waveforms in mixed-signal integrated circuits is described in this paper. This method uses voltage comparators as on-chip noise detectors. From the influence of substrate noise on the comparator's state, the noise can be measured statistically. The substrate noise waveform can be reconstructed by using the measured results. The block diagram of a test system is designed. The formula of the equivalently sampled noise voltage and the test error are deduced. The experimental result through SPICE simulation is given based on the experimental circuits set up along with their substrate models.

Key words mixed-signal IC; substrate noise; voltage comparator; measurement

• 科研成果介绍 •

高速分组无线网技术

主研人员：陈林星 李建东 毛重明等

高速分组无线网技术充分采用了先进的超大规模可编程逻辑芯片、定点DSP芯片、嵌入式PC/104系统以及高效的RS纠错芯片，成功地在无线信道上应用TCP/IP协议，独创了业务接入协议、无中心动态网络的网络主结点变更与确定协议、网络自组织协议、多业务综合传输协议。采用了先进的分布式动态路由算法，设计了多类用户接口，能够与以太网、无线ATM网络实现互连互通。HSPRN网络采用了先进而复杂的全分布式结构，具有自行组网且组网快速、灵活、多跳、抗干扰、抗毁性强，信道传输速率高，支持多种通信业务，具有多网互连互通能力的特点。

MCM自动测试技术研究

主研人员：龚光珍 闫波 王豪才等

MCM自动测试技术采用先进的VXI总线技术、GPIB技术、可视化双飞行探针技术、仿真故障库技术，大大提高了全过程测试及故障寻的时间，实现全自动化测试及故障诊断，提高了测试效率，并采用CAD/CAT一体化技术，使测试系统软件开发和硬件开发同时进行。

• 甬江 •