

基于新颖 CCCII 的电流模式采样保持电路设计

李 湛, 王春华, 彭关超, 王会杰

(湖南大学 计算机与通信学院, 湖南 长沙 410082)

摘 要: 设计了一种新颖的第二代电流控制电流传输器(CCCII). 该模块电路采用了 CMOS 复合管构成的跨导线性环结构, 并通过外加偏置电流 I_B 的方法来控制 CCCII X 端的寄生电阻 R_X . 当偏置电流源 $I_B=10\mu\text{A}$ 时, X 端的寄生电阻 $R_X=2.16\text{k}\Omega$, 与理论值的误差只有 1.32%. 基于提出的 CCCII 实现了一种电流模式的采样保持电路. 基于 TSMC 0.18 μm CMOS 工艺, 采样时钟频率为 100MHz 时, 该采样保持电路对正弦电流信号采样保持有着很高的采样精度, 其正确性通过 PSPICE 的仿真结果得以验证.

关键词: 电流模式; 复合管; 跨导线性环; 采样保持电路

中图分类号: TN432

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)09-0055-04

Design of a Current—Mode Sample—and—Hold Circuit Based on CCCII

LI Zhan, WANG Chun-hua, PENG Guan-chao, WANG Hui-jie

(School of Computer and Communication, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: This paper proposed a novel current controlled second generation current conveyor (CCCII). The CCCII is based on translinear loop of compound CMOS transistors, which adjust the parasitic resistance with the outside biasing current I_B . When the biasing current I_B is 10 μA , the parasitic resistance of terminal X is 2.16 k Ω . The error compared with the theoretical value is only 1.32%. Based on this CCCII, a current mode sample—and—hold circuit is proposed. When the frequency of the sampling clock signal is 100 MHz, the circuit can achieve excellent sampling accuracy in TSMC 0.18 μm CMOS process. The working principle of the circuit is discussed, and the simulation results confirm the theory analysis.

Key words: current—mode; compound MOS; translinear loop; sample—and—hold circuit

1 引言

随着 CMOS 模拟集成电路的发展, 电流模式电路得到了越来越多的关注^[1]. 第二代电流传输器(CCII)是在电流模式电路中被广泛采用的一种多功能模块, 它通常被应用在有源滤波器、振荡器^[2-4]等电路中. 但由于 CCII 的 X 端存在寄生电阻, 使得 X 端到 Y 端的电压跟随产生了较大的偏差, 不能通过外加的偏置来调整参数, 因此其应用电路不具有电控性. Fabre 等学者首次提出了电流控制第二代电流传输器(CCCII)^[5], 电路采用双极型晶体管, 实现了电路 X 端与 Y 端电压精确定量传输, 但提出的

电路不适合标准的 CMOS 工艺集成.

采样保持电路作为模数转换电路的关键模块, 其采样速度和采样精度直接影响整个数据采集系统. 采样保持电路主要有开关电容和开关电流两种电路实现形式^[6-7]. 开关电容电路受限于运放的有限增益和增益误差, 其补偿电路十分复杂. 开关电流电路能实现电流采样保持, 但利用的寄生电容严重限制了电流采样的精度. 于是在 2005 年, Yuh—Shyan Hwang 等^[8]用 CMOS CCII 替代传统运算放大器来设计模数转换器中的采样保持电路, 适合流水线模数转换器前端采样保持, 但采样处理的仅仅是电压信号.

收稿日期: 2010-12-21; 修回日期: 2011-01-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(60676021)

文中提出了一种基于 CMOS CCCII 实现电流信号采样保持的电路. 提出的模块电路采用了 CMOS 复合管构成的跨导线性环结构, 并基于该 CCCII 电路设计了一种电流模式的采样保持电路. 该电路结构简单, 可以直接实现电流的高精度采样.

2 CCCII 电路的设计

2.1 CCCII 简介

图 1 为 CCCII 电路符号, CCCII 为三端器件 (X, Y, Z), 其中 X 端为电流输入端, 具有低输入阻抗; Y 端为电压输入端, 具有高输入阻抗. 通过偏置 I_B 达到精确控制 X 端寄生电阻 (R_x), 实现电可调的特性.

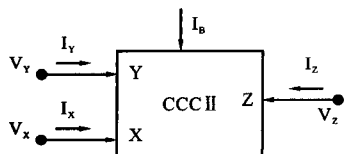


图 1 CCCII 的电路符号

CCCI 输入输出端口特性可用下面矩阵式表示:

$$\begin{bmatrix} I_Y \\ V_X \\ I_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ \beta & R_X & 0 \\ 0 & \pm \alpha & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_Y \\ I_X \\ V_Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

式(1)可以看出 CCCII 确保了电压定量传输和电流跟随特性. 在理想情况下电流传输系数 $\alpha = 1$, 电压传输系数 $\beta = 1$. 矩阵中 α 前的正负号代表 CCCII 的极性.

2.2 CMOS CCCII 电路

基于四对 CMOS 复合管构成的跨导线性环, 文中提出了一种新型的 CCCII+, 如图 2 所示. 其中 M_1 和 M_2 , M_3 和 M_4 , M_5 和 M_6 , M_7 和 M_8 分别构成四对复合管 $N_1 \sim N_4$, 它们并行排列构成跨导线性环结构; 因 Y 端由 M_1 的栅极输入, 所以该端的输入阻抗很大; $M_9 \sim M_{11}$ 构成放大倍数为 1 的基本电流镜, 它为跨导线性环结构提供直流偏置; M_{17} 采用栅漏极相接, 通过调节沟道宽长比作为有源偏置电阻; M_{14} 和 M_{15} 构成电流镜, 复制复合管 N_1 的漏极电流至 X 端; M_{12} 和 M_{13} , M_{15} 和 M_{16} 构成的两个放大倍数为 1 电流镜, 将 X 端电流 (I_x) 同相耦合到 Z 端 (I_z), 从而满足 CCCII+ 电流精确传输的特性.

在图 2 的 CMOS CCCII+ 电路中, 所有的 MOS 管都工作在饱和区, MOS 管的漏极电流 I_D 与栅源电压 V_{GS} 之间关系公式为: $I_D = \frac{K}{2}(V_{GS} - V_T)^2$, M_1

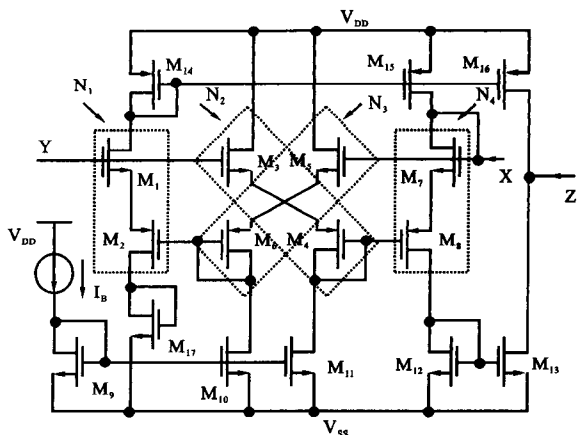


图 2 新颖的 CMOS CCCII+ 电路实现

$\sim M_8$ 构成的四对复合管, 复合管的传输特性相当于 NMOS, 其中四个复合管的等效跨导参数设相同, 均为 K_{eff} .

$$K_{eff} = \frac{K_n K_p}{(\sqrt{K_n} + \sqrt{K_p})} \quad (2)$$

K_n , K_p 分别为 NMOS 与 PMOS 晶体管的跨导系数, MOS 的跨导增益 $K = \mu C_{ox} (W/L)$, C_{ox} 为单位面积的栅氧化层电容, μ 表示电子迁移率, W , L , V_T 分别为 MOS 管沟道长度、宽度和阈值电压. CMOS 复合管的传输特性有:

$$I_1 = \frac{K_{eff1}}{2} (V_{GSN1} - V_{Teff})^2 \quad (3)$$

$$I_2 = \frac{K_{eff2}}{2} (V_{GSN2} - V_{Teff})^2 \quad (4)$$

$$I_3 = \frac{K_{eff3}}{2} (V_{GSN3} - V_{Teff})^2 \quad (5)$$

$$I_4 = \frac{K_{eff4}}{2} (V_{GSN4} - V_{Teff})^2 \quad (6)$$

由基尔霍夫电压定律和电流镜原理有:

$$V_{GSN1} = V_{GSN3} - V_{XY} \quad (7)$$

$$V_{GSN4} = V_{GSN2} + V_{XY} \quad (8)$$

$$I_2 = I_3 = I_B \quad (9)$$

由式(3) ~ 式(9) 可得:

$$I_1 = \frac{K_{eff1}}{K_{eff3}} I_B + \frac{K_{eff1}}{2} V_{XY}^2 - K_{eff1} \sqrt{\frac{2I_B}{K_{eff3}}} V_{XY} \quad (10)$$

$$I_4 = \frac{K_{eff4}}{K_{eff2}} I_B + \frac{K_{eff4}}{2} V_{XY}^2 + K_{eff4} \sqrt{\frac{2I_B}{K_{eff2}}} V_{XY} \quad (11)$$

$$I_X = I_4 - I_1 = 2 \sqrt{2K_{eff}} \sqrt{I_B} V_{XY} \quad (12)$$

由上述公式, 可得:

$$R_X = V_{XY} / I_X = (2 \sqrt{2K_{eff}} \sqrt{I_B})^{-1} \quad (13)$$

由式(13)可知: R_X 代表了 CCCII X 端口的寄生电阻,它与偏置电流 I_B 的平方根成反比,因此调节直流偏置电流 I_B 就可以控制 R_X 的大小,准确达到 X 端与 Y 端电压的定量传输.

2.3 仿真结果

为了验证设计电路 CCCII+ 的可行性,基于 TSMC 0.18 μm CMOS 工艺参数,在 PSPICE 软件下进行了仿真. X, Z 端分别接 $1\text{k}\Omega$ 的电阻,电源电压为 $\pm 1.65\text{V}$. 图 3 为寄生电阻的频率扫描. 当外加偏置电流为 $I_B = 10\mu\text{A}$ 时, $R_X = 2.16\text{k}\Omega$, 在 20MHz 的频率范围内,与推导公式(13)的理论计算值误差只有 1.32%. 图 4 给出了 CCCII 电流传输系数随频率变化的曲线关系,电流传输系数为 1.02,满足电流传输的要求.

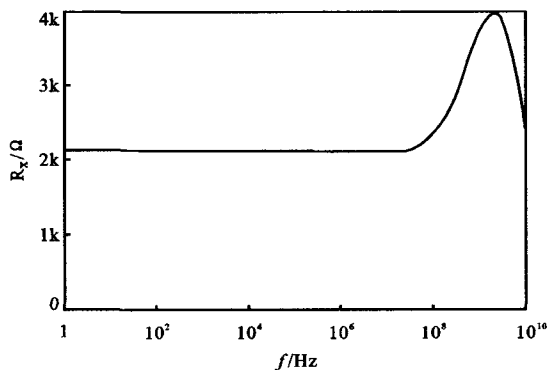


图 3 寄生电阻 R_X 的频率扫描

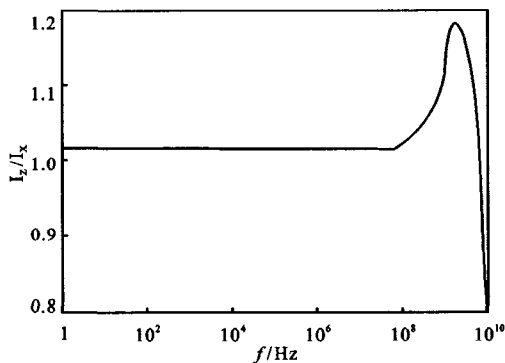


图 4 X 端与 Z 端的电流跟随关系

3 基于 CCCII 电流采样保持电路

基于设计的 CCCII+ 模块,提出一种电流模式采样保持电路,具体电路结构如图 5 所示.

图 5 中 S_1 、 S_2 和 S_3 为 CMOS 传输门开关,在开关管的两个栅极上用互补的采样时钟 (C 与 C_{inv}) 进行控制,PMOS 与 NMOS 的互补结构具有较好的导通截止特性. 在采样模式时,CMOS 传输门开关 S_1 、 S_3 导通, S_2 断开,待采样电流 I_{in} 输入电路,由于

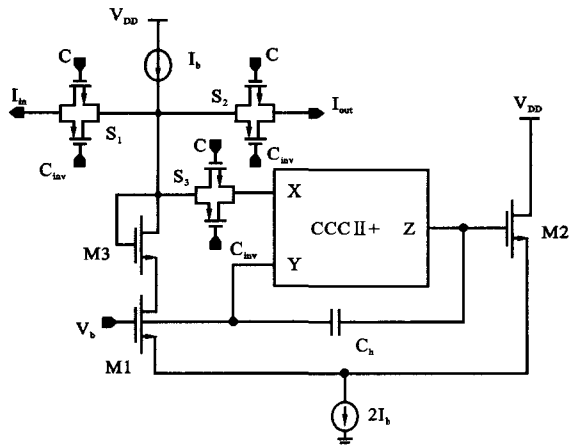


图 5 基于 CCCII 的采样保持电路

CCCII+ 的电流电压跟随特性, X 端电流和 Z 端电流是跟随的,从而电容 C_h 电荷量也跟随采样信号的变化;在保持模式时,传输门开关 S_1 、 S_3 断开, S_2 导通,保持电容通过存储的电荷进行再分配,输出保持电流即采样结束时刻的电流值. 电路通过两相不交叠时钟 (C 与 C_{inv}) 控制采样和保持的工作时序,从而实现了电流信号的采样保持.

基于 TSMC 0.18 μm CMOS 工艺参数,在 PSPICE 软件下对该电路进行了仿真. 采样电容为 2.8pF ,静态偏置电流 I_B 为 $30\mu\text{A}$. 采样周期结束后,电流保持波形能够迅速地建立,并稳定保持在采样结束时的电平,较好的实现了电流信号的复原,并且采样最大误差只有 1.06%. 如图 6 所示.

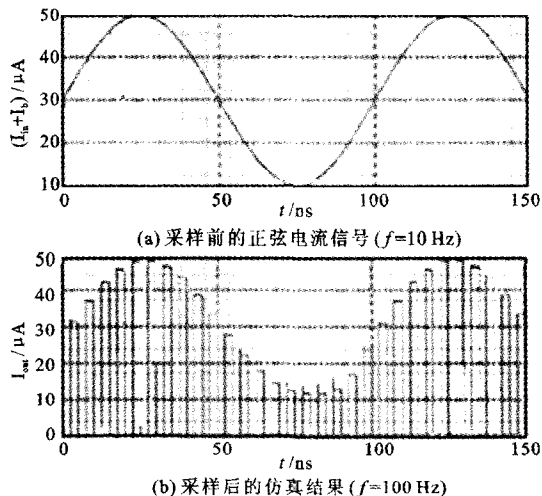


图 6 正弦电流信号采样保持

4 结束语

文中提出了一种新颖的结构简单的 CMOS CCCII+ 电路,推导了 X 端寄生电阻调谐公式. 该电路 X 端寄生电阻的理论计算值和仿真结果误差很

小. 基于新颖电流模式 CCCII+ 设计了一种电流采样保持电路, 直接处理电流信号, 无需传统的 V-I 变换级. 采样精度和采样速率能满足电流模式高精度流水线模数转换的采样保持要求, 适应于标准 CMOS 集成工艺下低成本的大规模电路的应用.

参考文献:

- [1] Wilson B. Recent developments in current conveyors and current-mode circuits[J]. IEE Proceedings G Circuits, Devices and Systems, 1990, 137(2): 63-77.
- [2] 彭建华, 陈向东, 杜广涛. 一种轨对轨输入的低压低功耗 CMOS 电流传输器[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(11): 72-76.
- [3] 董招辉, 彭良玉, 欧增强. 新颖的基于 MOCCII 的多相位正弦振荡器[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(7): 222-224.
- [4] 罗秀龙, 王春华, 谢莉, 等. 新型 CMOS 电流控制电流差分缓冲放大器(CCCDBA)[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(5): 106-110.
- [5] Fabre A, saaid O, Boucherron C. High frequency applications based on a new current controlled conveyor[J]. IEEE Transactions On Circuits And System I: Fundamental Theory And Applications, 1996, 43(2): 82-91.
- [6] Ronak Trivedi. Low power and high speed sample-and-hold circuit[C]//IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems. USA: Puerto Rico, 2006: 453-456.
- [7] Rajaee O, Jahanian A, A Bakhtiar M S. A low voltage, high speed, high resolution class AB switched current sample and hold[C]//IEEE International Symposium on Circuits and Systems. Greece: Kos, 2006: 1039-1042.
- [8] Yuh-Shyan Hwang, Lu-Po Liao, Chia-Chun Tsai, et al. A new CCII-based pipelined analog to digital converter[C]//IEEE International Symposium on Circuits and Systems. Japan: Kobe, 2005: 6170-6173.

作者简介:

李湛 男, (1986-), 硕士研究生. 研究方向为电流模式模数转换器设计.
王春华 男, (1963-), 教授, 博士生导师. 研究方向为电流模式电路和射频集成电路设计.
彭关超 男, (1984-), 硕士研究生. 研究方向为 CMOS 模拟集成电路.
王会杰 男, (1984-), 硕士研究生. 研究方向为 CMOS 模拟集成电路.

(上接第 54 页)

能与服务质量. 本实验进行了无负载基础系统 IPv4 虚拟机迁移至 IPv6 网络和无负载基础系统 IPv6 虚拟机迁移至 IPv4 网络验证^[7]. 实验结果发现该框架可实现云计算的移动 IPv4/IPv6 过渡.

5 结束语

文中针对云计算平台描述了一种自适应的虚拟机跨 IPv4/IPv6 子网间的在线迁移系统, 该框架从一定程度上解决了云计算环境中网络协议异构所带来的资源使用问题. 方案不足之处为单核模式下系统及系统本身复杂性带来的平台整体性能和服务质量的下降, 这将是下一步研究工作的重点.

参考文献:

- [1] Clark C, Fraser K, Hand S, et al. Live migration of virtual machines [C]//Proc of the 2nd ACM/USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation, 2005: 273-286.
- [2] Johnson D, Perkins C. Mobility support in IPv6[S]. Rice

University, RFC 3775, 2004.

- [3] LanCaster University. MIPL mobile IPv6 for Linux[EB/OL]. <http://mobile-ipv6.org/>. 2006.
- [4] Durand A, Fasano P, Guardini I. et al. IPv6 tunnel broker [S]. California: Sun Microsystem Inc, RFC3053, 2001.
- [5] Tsirtsis G, Srisuresh P. Network address translation-protocol translation (NAT-PT) [S]. Campio Communication, RFC276-6, 2000.
- [6] 刘鹏程, 陈榕. 面向云计算的虚拟机动态迁移框架[J]. 计算机工程, 2010(3): 37-39.
- [7] 江雪, 李小勇. 虚拟机动态迁移的研究[J]. 计算机应用, 2008, 28(9): 2375-2377.

作者简介:

陈俊 男, (1979-), 博士, 讲师. 研究方向为下一代互联网技术.
陈孝威 男, (1945-), 教授, 博士生导师. 研究方向为网络技术.