

非理想第二类电流传送器及其应用

韩庆全

(长春邮电学院, 长春 130012)

摘要 本文定义了一种非理想第二类电流传送器 (NCCII); 给出了用跨导运算放大器 (OTA) 实现 NCCII 的电路; 讨论了用该电路实现的电容和电阻变换器。

关键词 电流传送器; 跨导运算放大器; 电容变换器

1. 引言

1968年由 Smith 和 Sedra^[1]提出的电流传送器 (CC) 是一种重要的三端口网络。最近几年一方面由于 MOS 集成技术的发展, 高性能的电流传送器已制造成功; 另一方面由于电流模式的模拟信号处理电路比传统的电压模式的信号处理电路在频率范围和转换速率等方面具有明显的优点, 为许多电路和系统问题的解决提供了美好前景。由于电流传送器是适于作为电流模式模拟信号处理电路的基本模块, 因而受到人们的重视^[2]。

电流传送器用混合矩阵定义如下:

$$\begin{bmatrix} i_y \\ v_x \\ i_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & a & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_y \\ i_x \\ v_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中 $a = 1$ 为第一类电流传送器 (CCI), $a = 0$ 为第二类电流传送器 (CCH)。

CCH 作为一种重要的三端口网络在滤波器和振荡器等电路中得到广泛应用^[3]。但是在 CCH 实现时, 例如试图用具有有限跨导 g_m 的跨导运放 (OTA) 实现 CCH 时, 精确的 $v_y = v_x$ 是很难满足的, 有时我们也希望 CCH 具有放大电流的传送能力。因此本文定义一种非理想第二类电流传送器 (NCCII), 给出用 OTA 实现的电路。作为应用实例, 讨论了用 NCCII 实现的电容和电阻变换器。

2. 非理想第二类电流传送器

(1) 定义 NCCII 是一种三端口网络, 用混合矩阵描述如下:

$$\begin{bmatrix} i_y \\ v_x \\ i_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & b & 0 \\ 0 & \pm h & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_y \\ i_x \\ v_z \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, $v_x - v_y = bi_x$, b 表征了电流引起的端口电压偏差, 其量纲为电阻量纲。当 $b = 0$, $v_x = v_y$; $i_z = \pm hi_x$, h 为电流放大系数。其前边的“+”号或“-”号表示同相或反相

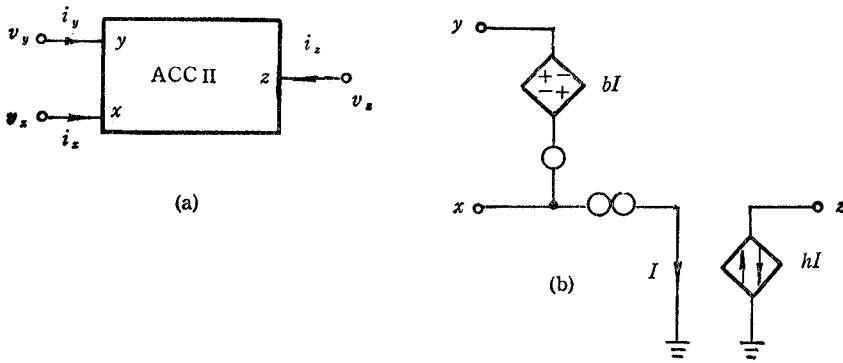


图1 NCCII 的电路符号及其零子-任意子表示

(a) 电路符号 (b) 零子-任意子表示

电流传送器, 分别记为 $\text{NCCII}\oplus$ 和 $\text{NCCII}\ominus$ 。电路符号及其零子-任意子表示如图 1 所示。

(2) 用 OTA 实现 NCCII OTA 是差分压控电流源 (DVCCS), 其跨导 g_m 受偏流 I_b 控制。用 OTA 实现 NCCII 的两种电路如图 2 所示。对于图 2(a),

$$\begin{bmatrix} i_y \\ v_x \\ i_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1/g_{m1} & 0 \\ 0 & g_{m2}/g_{m1} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_y \\ i_x \\ v_z \end{bmatrix} \quad (3)$$

其参数 $b = 1/g_{m1}$, $h = g_{m2}/g_{m1}$ 。对于图 2(b),

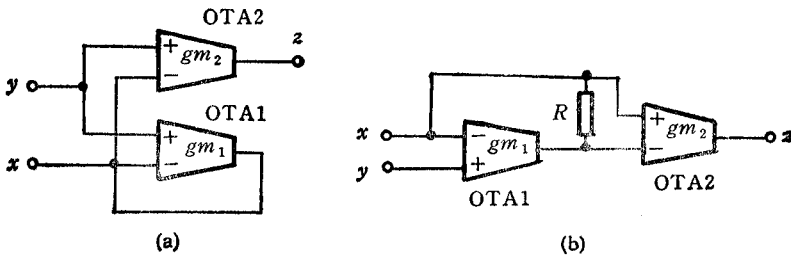


图2 NCCII 的 OTA 实现

$$\begin{bmatrix} i_y \\ v_x \\ i_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1/g_{m1} & 0 \\ 0 & g_{m2}R & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_y \\ i_x \\ v_z \end{bmatrix} \quad (4)$$

其参数 $b = 1/g_{m1}$, $h = g_{m2}R$ 。图中的电路对应于 $\text{NCCII}\oplus$, 如果交换 OTA2 的两个输入端子将得到 $\text{NCCII}\ominus$ 的电路。

3. 阻抗变换器

用 NCCII 实现接地模拟阻抗元件的电路如图 3 所示。图 3(a) 为正阻抗变换器, 分析得到

$$Z_{in} = Z/h + b/h \quad (5)$$

为了得到负阻抗变换器, 需将 $\text{NCCII}\ominus$ 代换以 $\text{NCCII}\oplus$, 则

$$Z_{in} = -(Z/h + b/h) \quad (6)$$

由(5)式和(6)式可见, 阻抗变换系数 $K = 1/h$, b/h 项为变换的电阻误差。对于理想的 CCH, $b = 0$, 实现为理想的阻抗变换器。为了用 NCCII 实现理想阻抗变换器, 可用有源电阻补偿以抵消电阻误差。

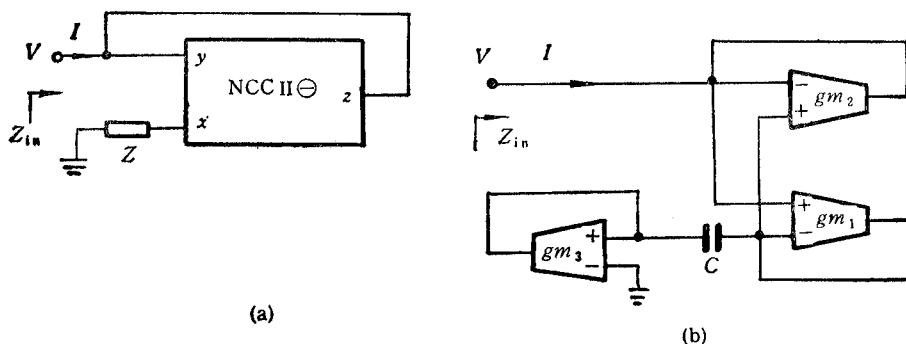


图 3 阻抗变换器

(a) 正阻抗变换器 (b) 正电容变换器

(1) 电容变换器

图 3(b) 给出正电容变换器电路, OTA3 是为补偿电阻误差的

有源电阻。分析得到

$$Z_{in} = \frac{1}{SCg_{m2}/g_{m1}} + \frac{g_{m1} - g_{m3}}{g_{m2}g_{m3}} \quad (7)$$

若取 $g_{m3} = g_{m1}$, 则 $R_e = (g_{m1} - g_{m3})/g_{m2}g_{m3} = 0$, 等效电容 $C_e = Cg_{m2}/g_{m1}$ 。为得到负电容变换器, 除用 NCCII $\oplus$ 代替 NCCII $\ominus$ 之外, 补偿电阻也应改为正电阻, 则

$$Z_{in} = -\left(\frac{1}{SCg_{m2}/g_{m1}} + \frac{g_{m1} - g_{m3}}{g_{m2}g_{m3}}\right) \quad (8)$$

在 MOS 集成技术中实现大的电容要占用过大的芯片面积, 使工艺产生困难。采用上述电路可以大大减小芯片面积。电路又可以实现负电容。因此该电路在理论上和实际

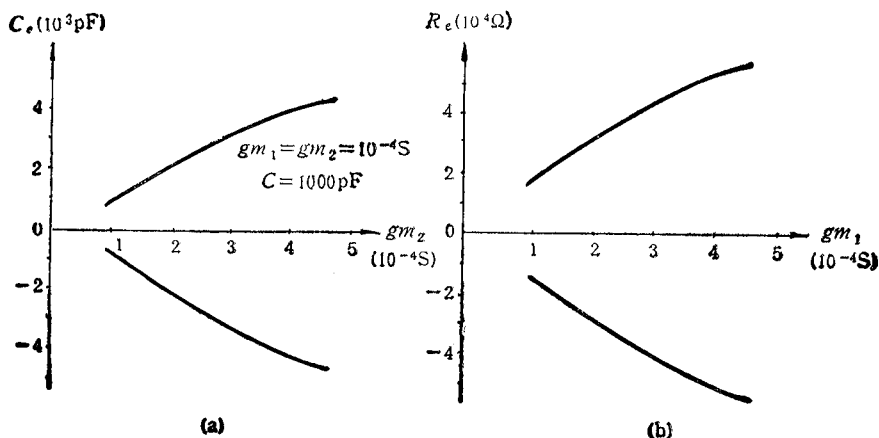


图 4 实验结果

(a) 电容变换器 (b) 电阻变换器

上都具有一定价值。我们用分立元件进行了实验, OTA 采用 CA3080, 取 $C = 1000\text{pF}$, $g_{m1} = g_{m2} = 10^{-4}(\text{S})$ 。实验结果如图 4(a) 所示, C_e 与 g_{m2} 成正比变化。

(2) 电阻变换器 在电阻变换器中由于误差项和元件具有相同的性质, 补偿用的有源电阻可省略。实验结果如图 4(b) 所示。

4. 结论

本文在 CCII 的基础上定义了非理想第二类电流传送器, 并给出了用 OTA 实现 NCCII 的电路。由于 OTA 具有工作频率范围宽, 跨导 g_m 电气可调, 适于 MOS 集成等优点, 因而该电路具有优良性能。本文提出的电容变换器可以大大减小电容数值, 可供 MOS 集成时参考。

参 考 文 献

- [1] C. K. Smith, A. Sedra, *IEEE Proc.*, **56**(1968)8, 1368—1369.
- [2] B. Wilson, *IEE Proc. —G*, **137** (1990)2, 63—77.

NONIDEAL SECOND-CLASS CURRENT CONVEYER AND ITS APPLICATION

Han Qingquan

(Changchun Posts and Telecommunications Institute, Changchun 130012)

Abstract A nonideal second current conveyer (NCCII) is described. The circuit of NCCII constructed with operational transconductance amplifiers (OTA) only is proposed. The current conveyer of this used as a circuit building block to realize capacitor and resistance converters is also reported.

Key words Current conveyer; Operational transconductance amplifier(OTA); Capacitor converter