

对称三值电流型 CMOS 施密特电路¹

沈继忠 姚茂群*

(杭州大学电子工程系 杭州 310028)

*(杭州师范学院计算机系 杭州 310012)

摘 要 本文根据对称传输电流开关理论, 设计了可具有多个输出的对称三值电流型 CMOS 施密特反相器。计算机模拟结果表明, 它具有理想的施密特特性, 并可根据需要调整回差。

关键词 三值施密特电路, 电流型 CMOS 电路, 对称三值逻辑

中图分类号 TN79

1 引言

二值施密特 (Schmitt) 电路在二值数字系统中占有重要地位, 它对于正向和负向变化的输入信号具有不同的阈值, 这一特性使它能有效地接收和处理缓慢变化的信号, 并抑制叠加在输入信号上的干扰。施密特电路的主要用途有: 波形变换, 整形, 比较, 鉴幅等^[1]。多值逻辑电路作为二值电路的推广和发展, 具有二值电路无法比拟的优点^[2,3]。因此有必要研究它的施密特电路。本文将研究用电流型 CMOS 电路实现对称三值施密特反相器, 其主要理由为: (1) 国际上至今没有提出过多值电压型或电流型 CMOS 的施密特电路, 而三值施密特反相器是多值施密特电路的典型。(2) 电流型 CMOS 电路克服了多值电压型 CMOS 电路的诸多困难, 对它的研究受到了广泛重视^[4-7]。(3) 对称三进制^[8]具有一系列突出优点^[9,10], 它被认为是对计算机来说最好的数制^[11]。(4) 对称三值逻辑的变量取值为 $\{-1, 0, 1\}$ (1 通常记作 $\bar{1}$), 具有大小和符号, 这与电流信号不仅有大小, 且有方向的特性刚好吻合, 因此在电流型 CMOS 电路中采用对称逻辑是一个合理的选择。

2 对称三值电流型 CMOS 施密特反相器

我们在文献 [12] 中提出了适合于从开关级设计对称三值电流型 CMOS 电路的对称传输电流开关理论。根据该理论及整形器的功能, 可得对称三值整形器的函数表示:

$$x_{id} = (\bar{1} \triangleright x^{-0.5}) \& (1 \triangleright^{0.5} x). \quad (1)$$

根据 (1) 式设计的对称三值电流型 CMOS 整形器如图 1(a) 所示。我们规定在输入端流入电路的电流为正, 在输出端, 流出电路的电流为正。图中恒流源边上的数字表示恒流源所对应的逻辑值 ($\bar{1}, 1$) 或阈值 ($-0.5, 0.5$)。图 1(a) 中 G_1 为能复制对称三值电流信号的电流镜, 它的输出与输入大小相等, 方向相反。电流镜的电路及符号如图 1(b), 1(c) 所示, 我们可以根据需要接 n 对如 T_5 与 T_6 一样的 CMOS 管, 以获得 n 个复制的信号源, 图 1(c) 中的省略号“...”表示了此含义。图 1(a) 所示电路, 当 $x < -0.5$ 时, T_2 通, T_1 断, 源 $\bar{1}$ 通过 T_2 传输至输出端; 当 $x > 0.5$ 时, T_1 通, T_2 断, 源 1 通过 T_1 传输至输出端; 而 $-0.5 < x < 0.5$ 时, T_1 、 T_2 均断, 无输出电流。

¹ 1997-07-02 收到, 1998-02-15 定稿

国家自然科学基金资助项目 (No.69373005), 浙江省自然科学基金资助项目 (No.696042)

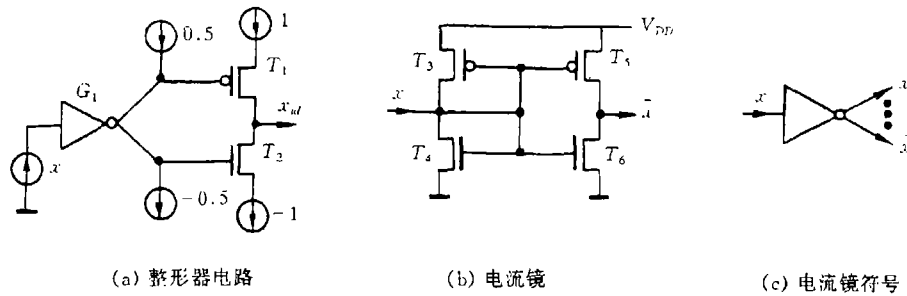


图1 对称三值电流型 CMOS 整形器和电流镜

我们以电流 $-10\mu\text{A}$ 、 $0\mu\text{A}$ 、 $10\mu\text{A}$ 分别代表 $\{\bar{1}, 0, 1\}$ 三个逻辑值, 以 $-5\mu\text{A}$ 、 $5\mu\text{A}$ 分别代表两个阈值 $(-0.5, 0.5)$, 采用 $2\mu\text{m}$ 工艺参数, 对图 1(a) 所示电路用 PSPICE 进行了计算机模拟, 结果表明此电路不仅具有正确的逻辑功能及理想的直流及瞬态特性, 而且工作剪度高, 它的平均传输延迟时间为 18.55ns 。

对称三值反相器的定义为

$$\bar{x} = -x. \quad (2)$$

它有两个阈值 $(-0.5, 0.5)$, 所以设计对应的施密特电路时, 需分别对两个阈值进行控制, 以期实现每个阈值能根据输入信号变化的方向而变化, 从而实现回差效应。

施密特电路中的回差定义为

$$\Delta t = t_+ - t_-, \quad (3)$$

其中 $0 < \Delta t < 1$, t_+ 、 t_- 分别为阈值 t 在输入信号作正向和负向变化时所呈现的较高和较低阈值。假设所需设计的对称三值施密特反相器的两个回差均为 Δt , 且是在原固定阈值的基础上向左右作对称变化, 则有

$$\left. \begin{aligned} (-0.5)_- &= (-0.5) - \Delta t/2, \\ (-0.5)_+ &= (-0.5) + \Delta t/2, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} (0.5)_- &= (0.5) - \Delta t/2, \\ (0.5)_+ &= (0.5) + \Delta t/2. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

上述两式中“+”及“-”表示算术加和算术减。

现讨论对称三值电流型 CMOS 施密特反相器中阈值 (0.5) 的控制电路。当输入信号 x 由 1 下降并小于 $0.5 - \Delta t/2$ 时, 则施密特反相器的阈值应由 $0.5 - \Delta t/2$ 上跳至 $0.5 + \Delta t/2$ 。而对于阈值 (-0.5) 的控制电路, 当输入信号 x 由 0 下降并小于 $(-0.5) - \Delta t/2$ 时, 其阈值应由 $(-0.5) - \Delta t/2$ 上跳至 $(-0.5) + \Delta t/2$ 。如果输入信号 x 由 -1 变化至 0 再变化至 1, 则阈值的跳变刚好相反。根据上述分析, 可得到对称三值电流型 CMOS 施密特反相器的两个阈值控制电路的表达式

$$\begin{aligned} t(0.5) &= (0.5 - \Delta t/2) + (\Delta t \triangleright x^{0.5 - \Delta t/2}) \\ &= (0.5 - \Delta t/2) \& (\Delta t \triangleright x_{id}^{0.5}), \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} t(-0.5) &= (-0.5 - \Delta t/2) + (\Delta t \triangleright x^{-0.5 - \Delta t/2}) \\ &= (-0.5 - \Delta t/2) \& (\Delta t \triangleright x_{id}^{-0.5}). \end{aligned} \quad (7)$$

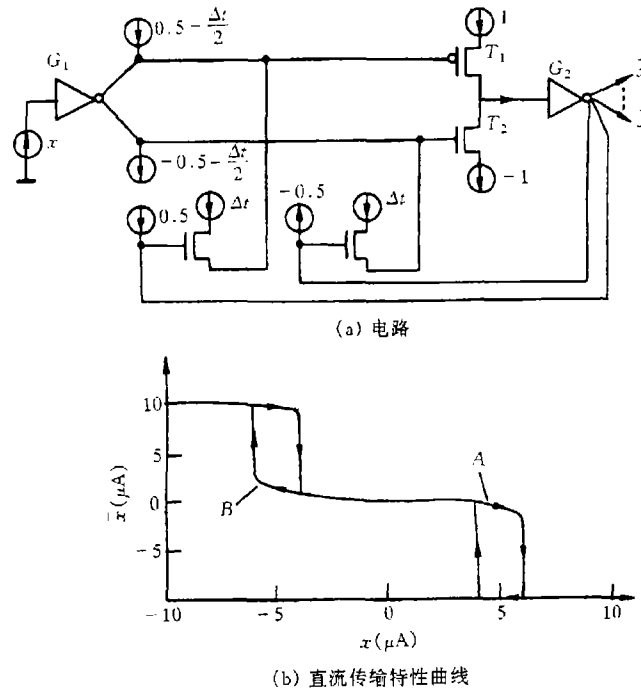


图 2 对称三值电流型 CMOS 施密特反相器
(a) 电路 (b) 直流传输特性曲线

将图 1(a) 中的两个阈值恒流源 0.5 及 (-0.5) 分别以 (6)、(7) 式所描述的阈值控制电路代替, 则可得到对称三值电流型 CMOS 施密特反相器电路, 如图 2(a) 所示。这一电路中电流镜 G_2 的输出即为具有施密特特性的反相输出, 并且它可以根据需要, 得到多个相同的输出。

对图 2(a) 所示电路, 我们将 Δt 设为 0.2 , 即对应的电流为 $2\mu\text{A}$, 用 PSPICE 进行了模拟, 模拟所得的直流传输特性曲线如图 2(b) 所示。图 2(b) 中曲线 A 和 B 分别为输入信号作 $-10\mu\text{A} \rightarrow 10\mu\text{A}$ 变化和作 $10\mu\text{A} \rightarrow -10\mu\text{A}$ 变化时的直流传输特性曲线。从曲线可得: 当输入信号 x 作正向变化时, 施密特反相器的两个阈值 $(-0.5)_+$ 和 $(0.5)_+$ 所对应的电流分别为 $-4\mu\text{A}$ 和 $6\mu\text{A}$, 而输入信号作负向变化时, 两个阈值 $(-0.5)_-$ 和 $(0.5)_-$ 对应的电流分别为 $-6\mu\text{A}$ 和 $4\mu\text{A}$, 两个回差电流均为 $2\mu\text{A}$, 这一结果完全符合我们的设计目标。另外, 从曲线看出, 无论输入信号作正向或负向变化, 输出电流在不同逻辑级之间的跳变均很陡峭, 因此这一施密特反相器能有效地处理缓慢变化的输入信号。上述结果表明设计的电路完全达到了对称三值施密特反相器的功能要求。事实上, 我们可以在合理的范围内, 任意设置对称三值电流型 CMOS 施密特反相器的四个阈值 $(-0.5)_+$ 、 $(0.5)_+$ 、 $(-0.5)_-$ 和 $(0.5)_-$ 所对应的电流值, 从而可获得具有不同直流传输特性曲线及回差的对称三值施密特反相器。

3 结论

我们在分析了对称三值施密特电路对阈值变化的要求后, 应用对称传输电流开关理论, 获得了对称三值电流型 CMOS 施密特反相器中阈值控制电路的函数式, 从而设计出了具有多个输出且可根据需要调整回差的对称三值电流型 CMOS 施密特反相器。计算机模拟结果显示设计的电路具有理想的施密特电路功能。

最后需要说明的是本文提出的控制阈值的方法, 可用于设计其他具有施密特功能的对称三值电流型 CMOS 电路。

参 考 文 献

- [1] 阎石主编. 数字电子技术基础. 北京: 高等教育出版社, 第三版, 1989, 319-332.
- [2] Wu X W, Prosser F P. CMOS ternary logic circuits. IEE Proc.-G, 1990, 137(1): 21-27.
- [3] 胡 谋. 多值逻辑与电子技术. 电子学报, 1986, 14(5): 104-110.
- [4] Current K W. Current-mode CMOS multiple-valued logic circuits. IEEE J. of Solid-State Circuits, 1994, 29(2): 95-107.
- [5] Pelayo F J, Prieto A, Lioric A, Ortega J. CMOS current-mode multivalued PLA's. IEEE Trans. on Circuits & Syst., 1991, 38(4): 434-441.
- [6] Abd-EL-Barr M H, Mahroos M I. On the synthesis of MVL functions for current-mode CMOS circuits implementation. Proc. of 22nd ISMVL, Sendai: 1992, 221-228.
- [7] Jani A K, Abd-El-Barr M H. Current-mode CMOS multiple-valued logic function realization using a direct algorithm. Proc. of 25th ISMVL, Bloomington: 1995, 216-221.
- [8] 陈其翔. 101 三进制制. 数学通报, 1958, 3: 4-7.
- [9] 吴训威. 多值逻辑电路设计原理. 杭州: 杭州大学出版社, 1994, 63-65.
- [10] 陈偕雄, 吴训威. 对称三值逻辑及对称三值 CMOS 电路. 计算机学报, 1991, 14(5): 389-394.
- [11] Frieder G. A balanced ternary computer. Proc. of 3rd ISMVL, Toronto: 1973, 68-75.
- [12] 沈继忠, 陈偕雄, 姚茂群. 对称三值电流型 CMOS 电路设计. 电子科学学刊, 1997, 19(6): 828-835.

SYMMETRIC TERNARY CURRENT-MODE CMOS SCHMITT CIRCUITS

Shen Jizhong Yao Maoqun*

(Dept. of Electronic Engineering, Hangzhou University, Hangzhou 310028)

**(Dept. of Computer Science and Technology, Hangzhou Normal College, Hangzhou 310012)*

Abstract By applying symmetric transmission current-switch theory, the symmetric ternary current-mode CMOS Schmitt inverter which can have multiple outputs is proposed, and its width of hysteresis can be adjusted as needed. The result of computer simulation shows that the designed Schmitt inverter has nearly ideal Schmitt function.

Key words Ternary Schmitt circuits, Current-mode CMOS circuits, Symmetric ternary logic

沈继忠: 男, 1965 年出生, 副教授, 从事数字电子学专业的研究和教学工作.

姚茂群: 女, 1967 年出生, 讲师, 从事计算机方面的研究和教学工作.