

基于双电源系统的电荷泵电路设计

李 珂, 隽 扬, 顾 飞

(中国电子科技集团公司 第五十八研究所, 江苏 无锡 214000)

摘 要: 设计了一款应用于双电源系统中的电荷泵电路结构, 通过内部电平转化与控制电路, 在双电源系统中实现不同逻辑电平控制产生高压的目的, 为 EEPROM 存储单元提供擦写所需高压. 电路采用 ZMOS 管作为传输管, 提高传输效率; 在电荷泵不工作时, 所有子电路关闭, 实现零功耗设计. 仿真结果显示, 电路输出电压精度高、上电速度快、驱动能力强. 电路采用 SMIC 0.18 μm CMOS 工艺流片, 已实际应用于数字电位计芯片设计中, 输出高压稳定, 达到设计要求, 性能良好.

关键词: 电荷泵; 双电源; ZMOS 传输管; 低功耗

中图分类号: TN402

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)07-0084-04

Design of a Charge Pump Applied in Double Power Systems

LI Ke, JUAN Yang, GU Fei

(The No. 58 Research Institute of China Electronic Technology Group Corp, Wuxi 214035, China)

Abstract: A new charge pump applied in double power systems was presented. Though different voltages translated and controlled, high voltage was produced in double power systems, which is used for writing EEPROM cell. It used ZMOS transistors as switch transistors to improve efficiency. When charge pump didn't work, every sub-circuit was cut off to realize low power. Simulation results show: the new charge pumps have high performance, shorter start up time and a strong drive-power. It was actually used in Dual Digitally Controlled Potentiometer chip normally. This circuit had been realized in the SMIC 0.18 μm CMOS technology and reached the request.

Key words: charge pump; double power; ZMOS transistor; low power

1 引言

电荷泵电路是一种运用电荷在电容中的积累效应来产生高于电源电压或负电压的电路^[1], 被广泛应用于串口通信电路、EEPROM、动态随机存储器等需高压的领域, 执行编程和擦除操作^[2]. 在单电源系统中 Dickson 电荷泵结构较为常见^[3], 但在双电源电路中, 电源网络相比单电源系统更为复杂, 信号控制与电平转化的设计较为困难. 在复杂的电源系统中, 多电平信号控制产生高精度高压是设计的难点^[4].

本文介绍了一种应用于双电源系统中的 Dickson 电荷泵电路结构, 通过电平转化, 在双电源系统中达到产生高压的目的, 用于数字电位计电路芯片

设计中 EEPROM 存储单元的编程和擦除操作.

2 电荷泵整体结构和功能分析

整个电荷泵电路系统结构如图 1 所示, 主要有基准电路、振荡器、比较器及电荷泵核心电路构成. 电路含两路电源, 即正电源 V_{CC} 、负电源 V_{SS} , 地电平为 gnd.

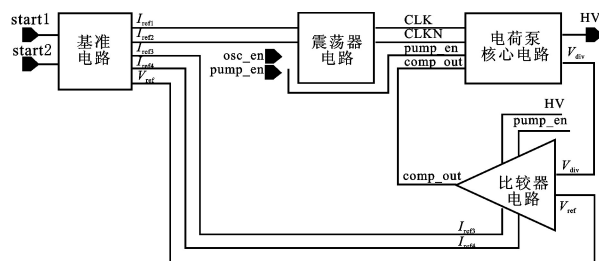
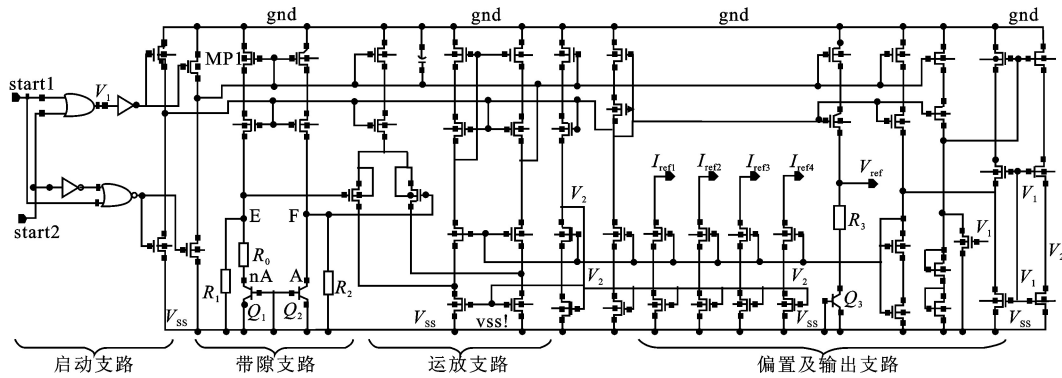


图 1 电荷泵系统框架图

当电荷泵电路工作时,基准电路提供比较器电路所需的基准电压 V_{ref} ,同时为振荡器及比较器电路提供偏置电流 $I_{ref1} \sim I_{ref4}$. 振荡器电路在使能信号控制下产生双向非交叠时钟 CLK、CLKN, 电荷泵核心电路在振荡器两个反向时钟信号作用下产生高压输出 HV, 并通过内部串联电阻产生分压 V_{div} , 在比较器电路中与基准电压 V_{ref} 进行比较, 输出电压 $comp_out$ 通过稳压电路调节电荷泵输出高压 HV. 通过调节分压电阻的比值, 确定所需高压大小. Pump_en 为电荷泵使能信号, 控制 HV 在高压与 gnd 电平之间进行转换.



驱动电路工作电压 V_{CC} 到 V_{SS} , 一方面把脉冲方波信号转化为双向非交叠时钟, 另一方面通过电平转换电路使输出的双向非交叠时钟幅度为 V_{CC} 到 V_{SS} , 并增大了电路的驱动能力. 同时, 振荡器输出受电荷泵使能信号 $pump_en$ 控制.

3.3 比较器电路

比较器电路为折叠式共源共栅结构, 由基准电路提供偏置电流 I_{ref3} 、 I_{ref4} 及比较电压 V_{ref} , 同时使能信号 $pump_en$ 控制偏置电流的导通与关断.

通过比较器电路, 电荷泵核心电路输出分压 V_{div} 与 V_{ref} 进行比较, 产生稳压控制信号 $comp_out$. 初始态 V_{div} 为低, V_{ref} 为基准电压, 输出 $comp_out$ 为低电平, 当电荷泵输出 HV 开始升压, V_{div} 不断升高, 当大于 V_{ref} 时, $comp_out$ 发生翻转, 生成高电平. 电路其结构如图 4 所示. 比较器电路输出控制对电荷泵输出高压 HV 进行放电调整.

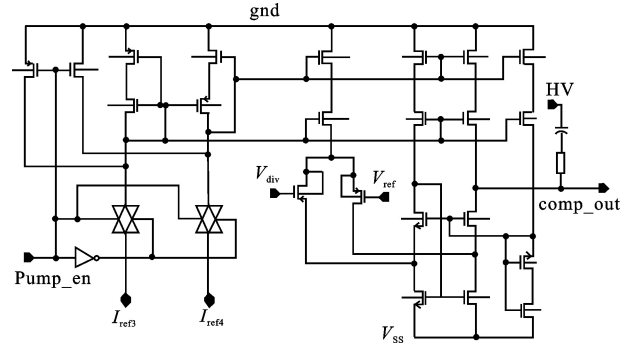


图 4 比较器电路结构

3.4 电荷泵核心电路

电荷泵核心升压电路为 7 级 Dickson 结构, 采用阈值电压为 0.311 V 的自然管 ZMOS 管作为传输管, 降低电压传输损失, 提高了电荷泵工作效率. 同时由于存在双电源供电, 所以在控制电路上做了一些改进, 如图 5 所示.

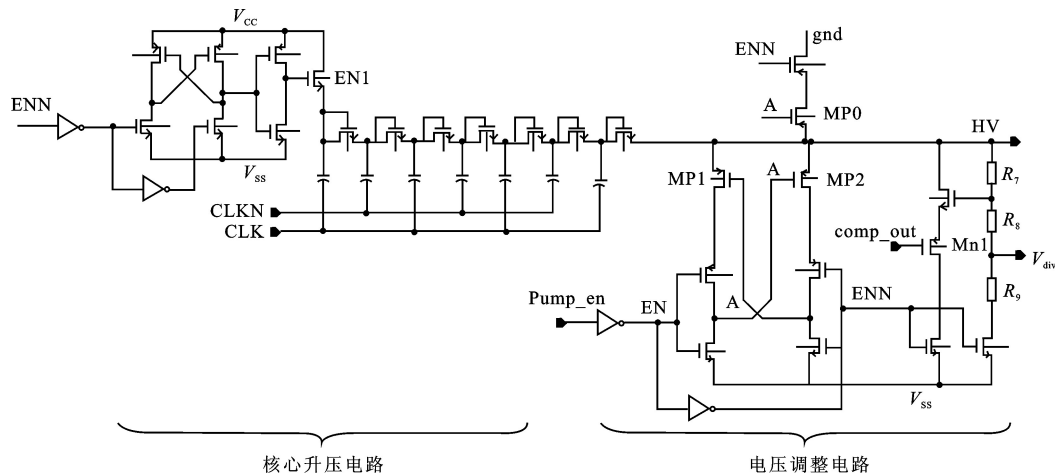


图 5 电荷泵核心电路结构

通过电平转换电路, 使能信号电平由 gnd 到 V_{SS} 转化为 V_{CC} 到 V_{SS} , 控制 $MN1$ 管. 当 $pump_en$ 为 0 时, $MN1$ 管打开; 同时在电压调整电路中, EN 为低电平时, 把 A 点电位置高, 放电支路关断. 在 CLK 和 $CLKN$ 的作用下, 电荷泵电路不断充放电. 输出端电压 HV 不断提高. 同时, 产生的高压通过串联电阻产生分压 V_{div} . 与基准电压 V_{ref} 进行比较, 当比较器反馈输出 $comp_out$ 为高时, 通过 $MN1$ 管所在支路对 HV 进行放电调整, 通过设置电串联电阻的阻值, 可以设置所需要的 HV 高压值.

当 $pump_en$ 为低时, $MN1$ 管打开; 同时 EN 为高电平, A 点电位置低, 放电支路打开放电, 电阻分压支路关断, HV 被拉低至 gnd 电平.

4 电路仿真测试验证

4.1 仿真分析

选用的 SMIC 0.18 μm CMOS 工艺模型, 利用 HSPICE 仿真软件对所设计电路进行仿真验证, 在电源电压 V_{CC} : 2.0~6 V、 V_{SS} : -2.0~-6 V, 以及全温 -55~125 $^{\circ}C$ 范围内, 电路均能正常工作. 下边以电源电压 $V_{CC}=3.3$ V、 $V_{SS}=-3.3$ V 仿真情况为例, 对仿真结果进行说明.

图 6 所示为对基准输出 V_{ref} 的仿真结果, 从图中可以看出, 在 -55~125 $^{\circ}C$ 温度范围内, 输出 V_{ref} 电压变化范围 -1.811 5~-1.810 6 V, 温漂系数为 $3.4 \times 10^{-6} ^{\circ}C$.

对振荡器电路的仿真验证如图 7 所示, 当使能

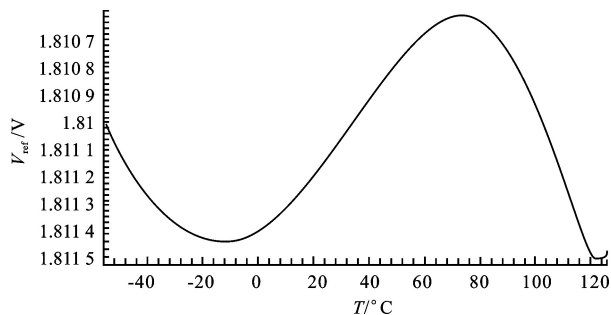


图6 基准电路仿真结果

信号 osc_en 由低变高时,振荡器电路开始工作,输出双向非交叠时钟 CLK 、 $CLKN$,时钟周期为 158 ns,幅度 3.3~−3.3 V.

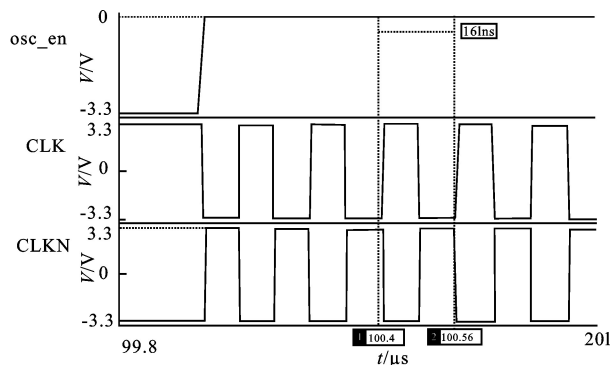


图7 振荡器电路仿真结果

在输出端口 HV 接 100 pF 电容负载情况下,整体电路的仿真结果图.在图中,我们对采用采用阈值电压为 0.713 V 的 NMOS 管作传输管与阈值电压为 0.311 V 的 ZMOS 管作传输管进行了对比验证分析.

从图 8 中可以看出,使能信号 $pump_en$ 控制 HV 电压的转换,当 $pump_en$ 由低变高时,电泵荷电路迅速升压, HV 由 0 V 电平上升稳定在 12.7 V,高压稳定后波动范围小于 0.1 V. 当 $pump_en$ 由高变低时,稳压支路放电工作, HV 由高压迅速转化为 0 V 电平. ZMOS 传输管电路升压时间约为 31 μ s,明显快于 NMOS 传输管电路的 42 μ s,电路工作效率明显提高.

4.2 测试验证

该电荷泵电路结构应用于双电源数字电位计电路设计中,芯片采用 SMIC 0.18 μ m CMOS 工艺流片.将高压 HV 端口引出进行了测试分析,测试波形如图 9 所示,该波形是芯片对内部 EEPROM 存储单元执行擦写操作时的高压波形图.

从图 9 中可以看到,在芯片执行擦写操作时, HV 由 0 V 上升到 12.7 V,且输出电压稳定.同时,为避免过冲,芯片高压上升时受时钟计时器控制,有

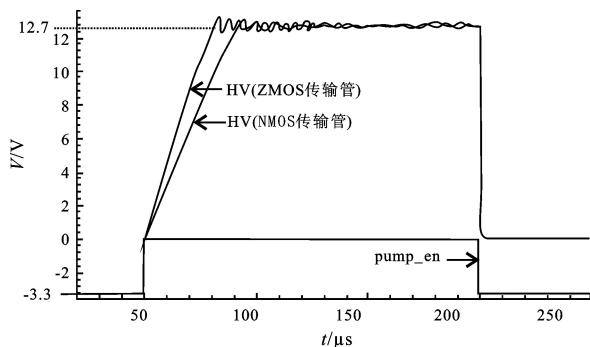


图8 整体电路仿真结果

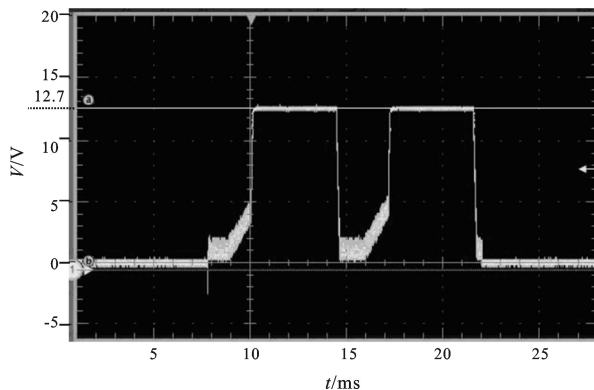


图9 测试波形图

一个上升台阶的过程;擦写完成后, HV 迅速下降到电源电压 0 V,电路性能稳定,可满足对 EEPROM 存储单元的擦写要求.

5 结束语

基于 Dickson 电荷泵结构模型,文中设计了一种应用于双电源系统中的电荷泵电路.通过内部电平转化与控制电路,实现不同逻辑电平控制产生高压.电路采用 ZMOS 管作为传输管,减少了传输过程中阈值电压的损失,提高了工作效率.该电路结构已实际应用于双电源数字电位计芯片中,实测性能良好,达到设计要求.

参考文献:

- [1] 周钦,钱松,程君侠.适用于 Flash Memory 的负高压泵的实现 [J]. 微电子学与计算机,2007,24 (1):21-24.
- [2] 袁小云,张瑞智,王洪娜.一种新型电荷泵电路的设计 [J]. 微电子学与计算机,2003,20(9):69-72.
- [3] Franklin D Nkansah. Technology and reliability of sub-micron 1T-flash EEPROM [M]. Bell&Howell Information and Learning Company,2001:1-22.
- [4] Wu J T, Chang K L. MOS charge pumps for low-voltage operation [J]. IEEE J Solid-State Circuits,1998,33 (4):592-597.

(下转第 92 页)

$\vee (a_2 \wedge a_4) \vee (a_3 \wedge a_4) \vee (a_3 \wedge a_5) \vee (a_1 \wedge a_4 \wedge a_5 \wedge a_6)$. 因此决策系统 DS 的代数观点属性约简为 $\{\{a_2 a_3\}, \{a_2 a_4\}, \{a_3 a_4\}, \{a_3 a_5\}, \{a_1 a_4 a_5 a_6\}\}$.

表 3 基于简化决策系统的代数观点分辨矩阵

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
X_1	Φ	$\{a_1, a_2, a_3\}$	Φ	Φ	$\{a_1, a_3, a_4, a_5\}$
X_2	$\{a_1, a_2, a_3\}$	Φ	$\{a_3, a_4\}$	$\{a_2, a_3, a_5\}$	$\{a_2, a_4, a_5\}$
X_3	Φ	$\{a_3, a_4\}$	Φ	Φ	$\{a_2, a_3, a_5\}$
X_4	Φ	$\{a_2, a_3, a_5\}$	Φ	Φ	$\{a_3, a_4, a_5, a_6\}$
X_5	$\{a_1, a_3, a_4, a_5\}$	$\{a_2, a_4, a_5\}$	$\{a_2, a_3, a_5\}$	$\{a_3, a_4, a_5, a_6\}$	Φ

按定义 13 得到基于简化决策系统的信息论观点分辨矩阵见表 4, 其分辨函数为 $(a_1 \vee a_2 \vee a_3) \wedge (a_1 \vee a_2 \vee a_4) \wedge (a_3 \vee a_4) \wedge (a_2 \vee a_3 \vee a_5) \wedge (a_2 \vee a_4 \vee a_5) \wedge (a_2 \vee a_3 \vee a_5) \wedge (a_2 \vee a_3 \vee a_5)$, 将其转化为等价的极小析取范式 $(a_2 \wedge a_3) \vee (a_2 \wedge a_4) \vee (a_3 \wedge a_4) \vee (a_1 \wedge a_3 \wedge a_5 \wedge a_6) \vee (a_1 \wedge a_4 \wedge a_5 \wedge a_6)$. 因此决策系统 DS 的信息论观点属性约简为 $\{\{a_2 a_3\}, \{a_2 a_4\}, \{a_3 a_4\}, \{a_1 a_3 a_5 a_6\}, \{a_1 a_4 a_5 a_6\}\}$.

表 4 基于简化决策系统的信息论观点分辨矩阵

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
X_1	Φ	$\{a_1, a_2, a_3\}$	$\{a_1, a_2, a_4\}$	Φ	$\{a_1, a_3, a_4, a_5\}$
X_2	$\{a_1, a_2, a_3\}$	Φ	$\{a_3, a_4\}$	$\{a_2, a_3, a_5\}$	$\{a_2, a_4, a_5\}$
X_3	$\{a_1, a_2, a_4\}$	$\{a_3, a_4\}$	Φ	$\{a_2, a_4, a_5\}$	$\{a_2, a_3, a_5\}$
X_4	Φ	$\{a_2, a_3, a_5\}$	$\{a_2, a_4, a_5\}$	Φ	$\{a_3, a_4, a_5, a_6\}$
X_5	$\{a_1, a_3, a_4, a_5\}$	$\{a_2, a_4, a_5\}$	$\{a_2, a_3, a_5\}$	$\{a_3, a_4, a_5, a_6\}$	Φ

综上所述, 对于表 1 所示决策系统 DS, $\{\{a_2 a_3\}, \{a_2 a_4\}, \{a_3 a_4\}, \{a_1 a_4 a_5 a_6\}\}$ 为代数与信息论观点下共同的属性约简, 说明 $\{\{a_2 a_3\}, \{a_2 a_4\}, \{a_3 a_4\}, \{a_1 a_4 a_5 a_6\}\}$ 不仅能够区分正域中任一对象与其他对象, 而且足以区分带不同条件隶属决策的任意两对象; $\{a_3 a_5\}$ 为 DS 代数观点属性约简, 其超集 $\{a_1 a_3 a_5 a_6\}$ 为 DS 信息论观点属性约简, 说明

$\{a_3 a_5\}$ 能够区分正域中任一对象与其他对象, 但不具备描述冲突对象所属粒度合并所导致不确定性的能力, 此时须其超集 $\{a_1 a_3 a_5 a_6\}$ 加以刻画.

5 结束语

本文基于条件等价类决策分布函数定义简化决策系统, 以该简化决策系统为基础定义满足两种观点属性约简的分辨矩阵, 已往基于 Skowron 分辨矩阵的属性约简搜索算法均可不加变换地应用到本文所定义分辨矩阵上, 为研究代数论与信息论观点属性约简模型提供了一种有效方法与途径.

参考文献:

- [1] Pawlak Z. Rough sets[J]. International Journal of Information and Computer Science, 1982, 11 (5): 314-356.
- [2] 王国胤. 决策表核属性的计算方法[J]. 计算机学报, 2003, 26(5): 611-615.
- [3] 王国胤, 于洪, 杨大春. 基于条件信息熵的决策表约简[J]. 计算机学报, 2002, 25(7): 759-765.
- [4] 杨明. 决策表中基于条件信息熵的近似约简[J]. 电子学报, 2007, 35(11): 2156-2160.
- [5] Skowron A, Rauszer C. The discernibility matrices and functions in information systems[C]//Intelligent Decision Support Handbook of Applications and Advances of the Rough Sets Theory. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1991: 331-362.

作者简介:

黄治国 男, (1978-), 博士, 讲师. 研究方向为数据挖掘、智能计算.

刘 罡 男, (1982-), 博士, 讲师. 研究方向为智能计算与图像处理.

(上接第 87 页)

- [5] LI Jin-eheng, Qu YR-Lin. Current mismatches in charge pumps of DLL-Based RF CMOS oscillators [J]. 半导体学报, 2001, 22(11): 1369-1373.
- [6] Chi-Chang Wang, Jin-chuan Wu. Efficiency improvement in charge pump circuits[J]. IEEE journal of solid-state circuits, 1997, 32(6): 852-860.

作者简介:



李 珂 男, (1982-), 硕士. 研究方向为 EEPROM 电路、模拟运算类电路等.