

CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA DE ESPELHOS DE CORRENTE COM SOI nMOSFET

Jessé de Oliveira Damião¹, Michelly de Souza²

^{1, 2} Departamento de Engenharia Elétrica, Centro Universitário FEI

jessedam07@gmail.com e michelly@fei.edu.br

Resumo: Neste trabalho são apresentados os resultados experimentais de medidas realizadas em circuitos espelhos de corrente, que são blocos analógicos cuja função é replicar uma determinada corrente. São apresentadas as principais características elétricas de três diferentes arquiteturas de espelhos de corrente com transistores SOI nMOS.

1. Introdução

O espelho de corrente atua como um replicador da corrente que o alimenta, denominada corrente de referência (I_{REF}), para outros ramos de um circuito [1]. Espera-se que o resultado dessa replicação dependa apenas da corrente de referência e da relação entre as dimensões W (Width – largura) e L (Length – comprimento) dos dois transistores que constituem o bloco conforme a equação a seguir, onde I_o é a corrente de saída do circuito:

$$I_o = \frac{(W/L)_2}{(W/L)_1} I_{REF} \quad (1)$$

A forma mais simples de implementar um espelho de corrente é a arquitetura de fonte comum (*Common Source*), onde as portas dos transistores estão conectadas entre si e ao dreno do transistor de entrada, garantindo seu funcionamento em saturação, como mostrado na figura 1. Dessa forma a corrente de saída gerada obedecerá a relação da equação 1, logo espera-se que, para transistores idênticos, esta seja exatamente igual à corrente de entrada.

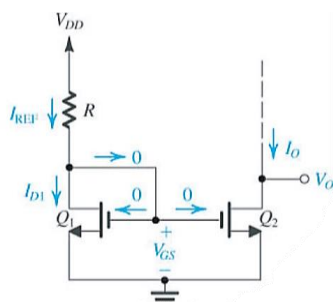


Figura 1 – Espelho de corrente em arquitetura fonte comum (*Common Source*).

Entretanto, devido às diferenças que podem ocorrer durante o processo de fabricação, as características elétricas dos dois transistores podem ser diferentes. A este efeito dá-se o nome de descasamento intrínseco, que se mostra significativo principalmente quando os transistores operam em tensões próximas à tensão de limiar [2].

Devido à resistência de saída finita dos transistores MOS, a corrente no ramo de saída pode variar com a

mudança da tensão de polarização do ramo de saída do circuito, causando descasamento da corrente, devido à polarização.

Com o objetivo de manter a corrente de saída o mais próximo possível da corrente de entrada, deve-se aumentar a resistência de saída do bloco e para isso utiliza-se o princípio do cascadeamento, ou seja, o dobro de transistores, tanto na entrada como na saída do bloco. Na figura 2 são apresentadas duas arquiteturas de espelhos de corrente que usam esta alternativa. Estas arquiteturas de espelhos de corrente são denominadas *Cascode* (esquerda) e *Wilson* (direita).

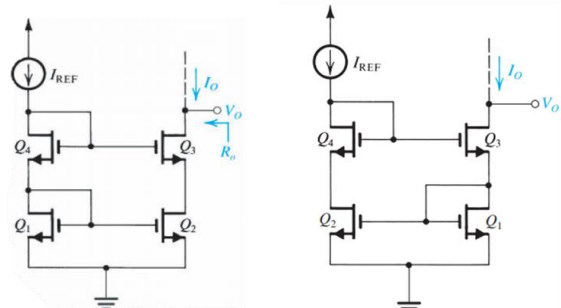


Figura 2 – Espelhos de corrente *Cascode* (esquerda) e *Wilson* (direita).

2. Metodologia

Foram realizadas medidas elétricas em espelhos de corrente com transistores SOI [3] nMOS fabricados na UC Louvain (Bélgica) [4]. Os transistores que compõem os espelhos apresentam $L = 2\mu\text{m}$ e $W = 20\mu\text{m}$. Os transistores apresentam espessura de camada de Si, óxido de porta e óxido enterrado de 80 nm, 31 nm e 390 nm respectivamente, e concentração de dopantes de $6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. A extração das características elétricas foi feita através dos equipamentos: analisador de parâmetros *Keithley 4200 SCS* e microprovador *Cascade Microtech REL 3600* do Laboratório de Microeletrônica do Centro Universitário FEI. Foram utilizados dois chips para a medição dos parâmetros: um chip usado para extrair as curvas das arquiteturas *Cascode* e um chip para extrair as curvas da arquitetura *Common Source*.

3. Resultados e discussão

A figura 3 apresenta a precisão de espelhamento ($P = I_o/I_{REF}$) dos espelhos em função da corrente de entrada (I_{IN}) medida para tensão entrada (V_{IN}) e de saída (V_{OUT}) iguais. Nesta situação não há descasamento causado por diferença entre as tensões e qualquer desvio da precisão deve-se ao descasamento intrínseco. Pode-se notar que não há uma diferença significativa entre os espelhos de corrente, que são oriundos do mesmo processo de fabricação.

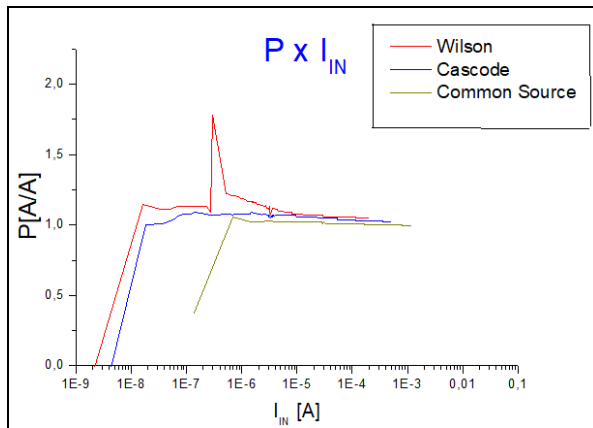


Figura 3 – Precisão obtida em função de I_{IN} para as três arquiteturas com V_{IN} variando igual a V_{OUT} .

Na figura 4 a tensão de entrada foi variada enquanto a tensão de saída foi mantida fixa, $V_{OUT} = 1,5V$, para poder se observar a influência do descasamento de tensão na precisão de espelhamento. Percebe-se que como resistência aumenta nos espelhos de corrente Wilson e Cascode, a corrente de saída se mantém mais próximo da corrente de entrada ($P = 1$) por um intervalo maior de corrente de entrada.

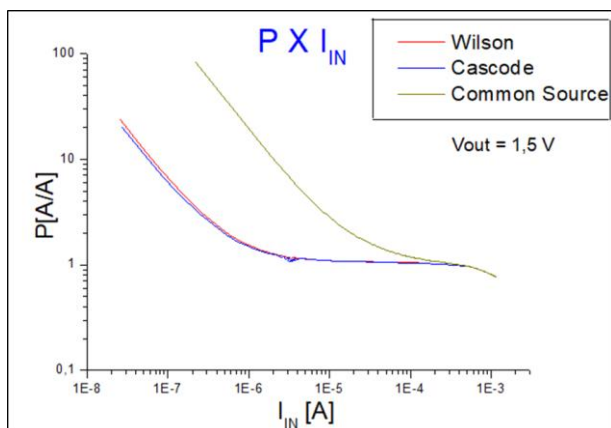


Figura 4 – Precisão obtida em função de I_{IN} para as três arquiteturas com $V_{OUT} = 1,5 V$.

Na figura 5 é exibida a excursão de saída das arquiteturas em função da tensão de saída para a corrente de entrada fixa e igual a $100 \mu A$. Nestas curvas se observa que é necessário que os transistores entrem em saturação para que a corrente de saída fique aproximadamente constante. Pode-se notar que a saturação ocorre com V_{OUT} maior nos espelhos *Cascode* e *Wilson*, por apresentarem dois transistores em série, necessitando de maior tensão para garantir a saturação dos dois. Ao entrar em saturação, a corrente de saída apresenta menor dependência com V_{OUT} nestes espelhos de corrente em comparação com o espelho *Common Source*, que apresenta uma leve inclinação indesejada.

Esta inclinação está relacionada com a resistência de saída finita dos transistores. A resistência de saída (R_{OUT}) dos espelhos de corrente é dada pelo inverso da condutância de saída ($g_{D,OUT} = dI_{OUT} / dV_{OUT}$). No caso do espelho *Common Source*, a condutância de saída é dada pelo g_D do transistor de saída, que é degradado

pelo efeito de modulação de comprimento de canal [1]. Para os espelhos *Cascode* e *Wilson*, $g_{D,OUT}$ é dada pelas equações (2) e (3), respectivamente, nas quais g_{m3} é a transcondutância do transistor Q_3 e r_{D3} e r_{D2} são as resistências de saída dos transistores Q_2 e Q_3 .

$$R_{OUT} \cong g_{m3} r_{D3} r_{D2} \quad (2)$$

$$R_{OUT} = g_{m3} r_{D3} r_{D2} \quad (3)$$

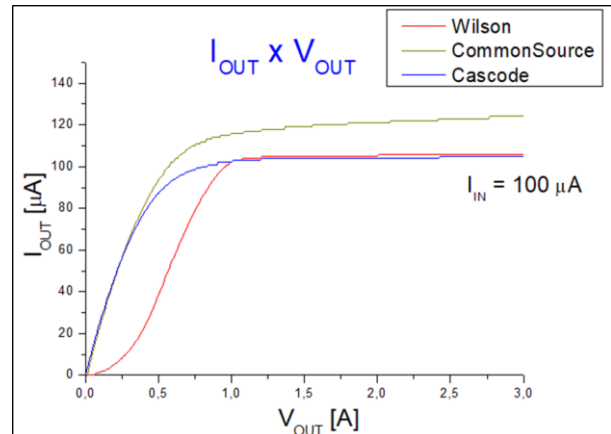


Figura 5 – I_{OUT} em função de V_{OUT} com a corrente de polarização igual a $I_{IN} = 100 \mu A$.

A partir das curvas da Figura 5 foram extraídos os valores da resistência de saída, através do inverso de sua derivada. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela I. Nota-se que a resistência de saída dos espelhos *Wilson* e *Cascode* são mais de duas ordens de grandeza maiores do que do espelho *Common Source*.

Tabela I – Resistência de saída medida com $I_{IN}=100 \mu A$.

Arquitetura	Resistência [Ω]
<i>Common Source</i>	2×10^5
<i>Cascode</i>	8×10^7
<i>Wilson</i>	8×10^7

4. Conclusões

Os resultados obtidos permitiram observar a melhora da precisão de espelhamento e aumento da resistência de saída dos espelhos de corrente quando as arquiteturas *Cascode* e *Wilson* foram usadas. Foi possível entender e observar o conceito do seu funcionamento e garantir a sua melhora à medida que se adicionam e arranjam os transistores.

5. Referências

- [1] K. R. Laker; W. Sansen. Current Mirrors. In: Design of Analog Integrated Circuits and Systems.
- [2] A. S. Sedra; K. C. Smith Microelectronic Circuits, 7. ed. New York: Oxford University Press.
- [3] J. P. Colinge, Silicon-On-Insulator Technology: Materials to VLSI. 3rd Ed. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- [4] D. Flandre, et al. Solid-State Electronics, 45, p. 451, 2001.

¹ Jessé de Oliveira Damião, aluno de IC do Centro Universitário FEI. Projeto com vigência de 05/19 a 04/20.