

Diseño de un preamplificador de bajo ruido y ganancia sintonizable en tecnología CMOS 0.18µm

Carlos Fernando González Ponce^{1,2}, Belén Calvo¹, María Teresa Sanz Pascual²

¹Grupo de Electrónica de Potencia y Microelectrónica (GEPM)

Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)

Universidad de Zaragoza Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.

Tel. +34-976762707, e-mail: carlosponce@unizar.es

²Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE)

Resumen

Este trabajo presenta un preamplificador en tecnología CMOS 0.18µm para lectura de impedancias en sistemas de espectroscopía de impedancia eléctrica, que prioriza bajo consumo, bajo ruido y alto factor de rechazo al modo común, con ganancia sintonizable post-fabricación, apto para dispositivos biomédicos portables.

Introducción

La espectroscopía de impedancia eléctrica (EIS) se ha consolidado como un método no invasivo para la medición, caracterización y verificación de tejidos biológicos. En los sistemas de lectura de bioimpedancia (*BioZ*), la etapa de preamplificación representa uno de los principales desafíos: debe extraer y amplificar señales extremadamente débiles (del orden de µV a mV) en un entorno con fuertes interferencias de modo común, y bajo restricciones de consumo energético que permitan la portabilidad y la operación continua con baterías, como es el caso de los sistemas biomédicos basados en IoT [1].

Este trabajo muestra un preamplificador en modo corriente, de ganancia ajustable. Basado en una arquitectura con retroalimentación local de corriente, el diseño ha sido enfocado para ultra bajo consumo de potencia, bajo ruido y una elevada relación de rechazo al modo común (CMRR), cualidades que lo hacen adecuado para dispositivos portátiles de monitorización de bioimpedancia.

Arquitectura y diseño

Los preamplificadores, o amplificadores de instrumentación en modo corriente (*CMLA*), específicamente aquellos basados en topologías de realimentación de corriente, están constituidos fundamentalmente por dos etapas: un transconductor de entrada $G_{m,i}$ con degeneración de fuente resistiva $R_{D,i}$ que actúa como convertidor voltaje-corriente (V-I) y un transconductor de salida $G_{m,o}$, con

degeneración de fuente resistiva $R_{D,o}$, que opera como un amplificador de transresistencia o convertidor corriente-voltaje (I-V) [2].

Según la configuración de la realimentación, se distinguen dos clasificaciones: si el lazo de realimentación global envuelve a ambos transconductores, se habla de retroalimentación de corriente indirecta o directa; si, por el contrario, se utilizan dos lazos locales de realimentación aislados, se clasifica como retroalimentación local. La ganancia de un amplificador de instrumentación en modo corriente viene dada por la siguiente relación:

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{v_o^+ - v_o^-}{v_i^+ - v_i^-} = \frac{G_{m,i}}{G_{m,o}} \approx \frac{R_{D,o}}{R_{D,i}} \quad (1)$$

El preamplificador propuesto utiliza retroalimentación local de corriente (Figura 1) y se basa en transconductores simétricos con entrada PMOS de alta linealidad, implementados con super seguidores de fuente plegados. Esta topología permite un nodo de suma de corrientes y el ajuste de la transconductancia efectiva sin pérdida significativa de linealidad, mientras que una etapa de sensado equilibra las corrientes de drenaje de los transistores de entrada. Los transistores operan en inversión débil para optimizar el compromiso ruido-consumo y las resistencias de degeneración se establecieron con valores de $R_{D,i} = 25 \text{ k}\Omega$ (entrada) y $R_{D,o} = 2.7 \text{ M}\Omega$ (salida), que establecen una ganancia nominal de 40 dB. El diseño incluye un transistor de ajuste de transconductancia efectiva resaltado en la Figura 1, que permite sintonizar la ganancia, reduciéndola sin afectar la linealidad ni el ancho de banda, manteniendo muy alto factor de rechazo al modo común, bajo ruido referido a la entrada y ultra bajo consumo.

Resultados

El preamplificador se validó en tecnología CMOS de 0.18µm, con una ganancia nominal de 40 dB

ajustable post-fabricación y un ancho de banda mínimo de 50 kHz con una capacitancia de carga de 1 pF. La sintonización fina de la ganancia en un rango entre 32 y 40 dB, manteniendo el ancho de banda (BW) constante en 53 kHz se logra mediante un voltaje de control (V_{tn}) de puerta entre 1.2 V y 1.26 V. La robustez frente a variaciones de proceso y *mismatch* se evaluó mediante un análisis de Monte Carlo de 200 simulaciones. La Tabla 1 compara los parámetros más relevantes con el estado del arte en condiciones nominales destacando el bajo ruido (Figura Noise Efficiency Factor - NEF) y el bajo consumo de potencia, mostrando un desempeño competitivo para sistemas de EIS.

Conclusiones

Se presentó un amplificador de instrumentación en modo corriente con ganancia sintonizable para EIS, validado y simulado en tecnología CMOS 0.18 μm de bajo consumo y bajo ruido. El trabajo futuro es la implementación física y la caracterización experimental del prototipo.

REFERENCIAS

- [1]. KANG, M., PARK, E., CHO, B. H. y LEE, K. S. Recent Patient Health Monitoring Platforms Incorporating Internet of Things-Enabled Smart Devices. *International Neurology Journal*. 2018, vol. 22, supl. 2, pp. S76–S82.
- [2]. CORBACHO, I., CARRILLO, J. M., AUSÍN, J. L., DOMÍNGUEZ, M. Á., PÉREZ-ALOE, R. y DUQUE-CARRILLO, J. F. Wide-Bandwidth Electronically Programmable CMOS Instrumentation Amplifier for Bioimpedance Spectroscopy. *IEEE Access*. 2022, vol. 10, pp. 95604-95612.
- [3]. HOSEINI, Z., MOUSSAWI, A. y SAWAN, M. Current Feedback Instrumentation Amplifier With Built-In Differential Electrode Offset Cancellation Loop for ECG/EEG Sensing Frontend. *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*. octubre de 2023, vol. 17, no. 5, pp. 1007-1018.
- [4]. ZHANG, F. y LIU, X. An Instrumentation Amplifier with High-Flexibility, High-CMRR and Low-Power Consumption for Electrical Impedance Tomography Applications. En: *2025 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*. IEEE, 2025, pp. 1-5.

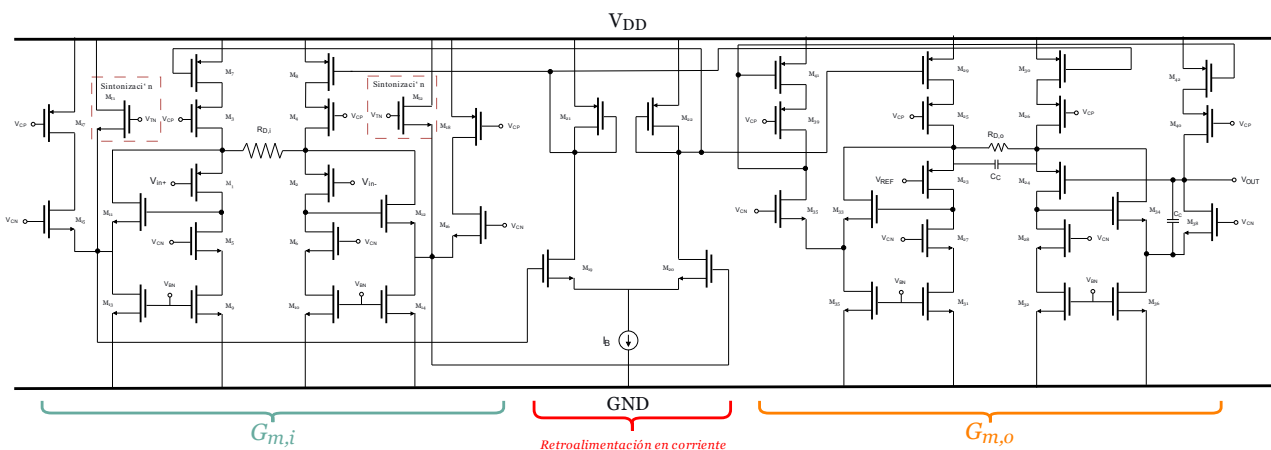


Figura 1: Diagrama esquemático del preamplificador propuesto.

Tabla 1: Comparación de preamplificadores en el estado del arte.

Parámetro	[2] ^a	[3] ^a	[4]	Este trabajo
Tecnología CMOS (μm)	0.18	0.18	0.18	0.18
Voltaje de Alimentación (V)	1.8	1.8	3.3	1.8
Ganancia (dB)	-4.6 – 41.2	40	35.5 – 44.9	32 – 40
Consumo de Potencia (μW)	260 - 650	12.7	1230	10.8 – 11
BW (Hz)	3M	0.45 - 170	1.5M	53k
CMRR @ DC (dB)	86.2	95	102	107
THD (dB)	-48.6	-42.5	-	-40
@ $V_{PP,out}$	0.48	0.6	-	0.9
	1 kHz	170 Hz	-	1 kHz
Ruido Referido a la Entrada (μV_{rms})	48.2 @ 100 - BW	3.8 @ 0.45 Hz – 170 Hz	18.38 @ 1 kHz – 2.35 MHz	11.3 @ 0.1 - BW
Rango Dinámico (dB)	50.1	55	60	49.2
NEF	16	39	11.6	4.64

^a Resultados medidos