

Tendencias en el diseño de fuentes de corrientes para amplificadores diferenciales

Recopilación Bibliográfica

Edison Abado A., Wilmer Condori O., Kevin Cuba A., Roly Sandro G. B., Joseph Garfias Q.

Universidad Nacional de San Antonio Abado del Cusco



Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica
Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

24 de julio de 2022

- 1 FET de Nanotubos de Carbono
 - Clasificación de nanotubos de carbono
- 2 Criterios de diseño de fuentes de corriente
- 3 Fuentes de corrientes
 - Fuente de corriente constante cascode
 - Fuente con FET
- 4 Conclusiones
- 5 Bibliografía

La principal clasificación se da por el tipo de distribución de las celdas hexagonales.

1. Nanotubo de una sola capa (SWNT).
2. Nanotubo Multicapa (MWNT).
3. Nanotubo Mixto.

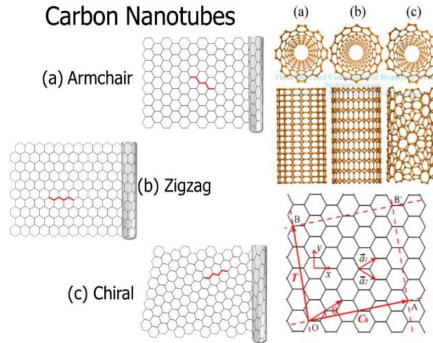


Figura 2: Los principios de construcción del CNT de planchas de grafeno [3] .

Tecnología CNFET CNTFET

La estructura interna de CNFET es muy parecida al del MOSFET, requiere de tres pines, y también la compuerta (Gate) controla el flujo de corriente a través del canal. el switching de la compuerta habilita la corriente del canal [3]. La construcción se muestra en la figura 3

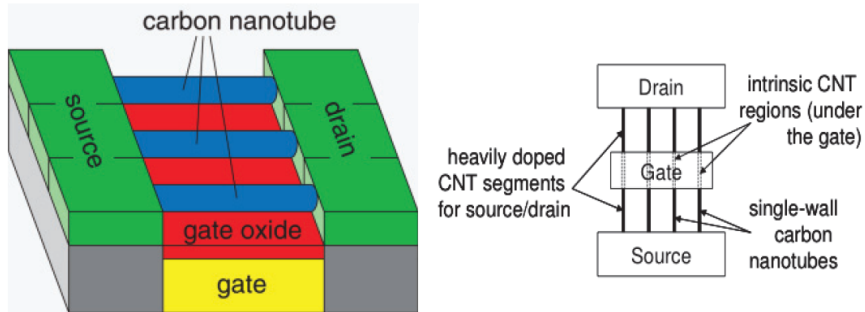


Figura 3: Estructura del CNFET [4].

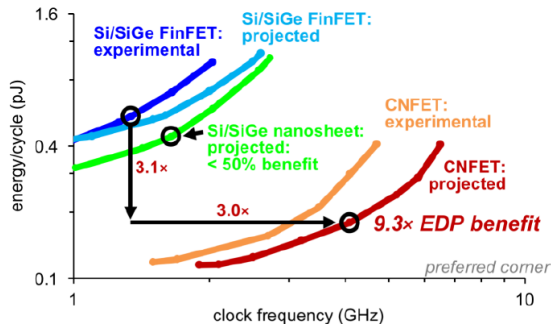
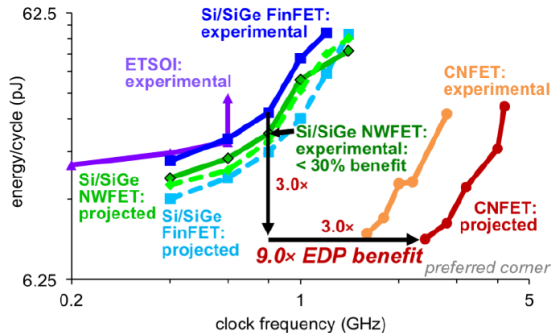
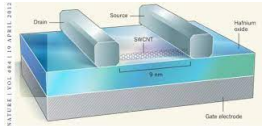


Figura 4: Comparación de otros dispositivos con CNFET de 7nm y 5nm [5] .

Nanotransistores

1. FET basados en nanotubos de carbono pueden operar más rápido y con un voltaje de suministro menor que sus equivalentes basados en silicio.
2. Con una tensión de alimentación de 0,4 voltios, la corriente que fluye a través del transistor de nanotubos de carbono es mayor que la que obtendrían los mejores transistores CMOS de silicio a una tensión de alimentación de 0.7 V.



CMOS

1. FET basados en silicio tienen mayor retardo, así como el voltaje de suministro lo es.
2. Los dispositivos de silicio, si se redujeran al tamaño del dispositivo basado en nanotubos de carbono, aún seguirían siendo más lentos.



Cuadro 1: Nanotubos de carbono en comparación con los CMOS

Criterios de diseño de fuentes de corriente

La parte primordial de los amplificadores operacionales son los DA (differential amplifier), ya que este amplifica la diferencia de dos entradas de voltaje. Estos están elaborados con tecnologías CMOS y los BIPOLARES, que con el tiempo se vio las deficiencias que presenta.

- Elevado consumo de energía
- Velocidad de tecnología en los bipolares
- Los MOSFET en escalas de nano presenta limitaciones

En ese sentido se hace uso de los CNTFET (transistor de efecto de campo de nanotubos de carbono) que son las nuevas herramientas del futuro para los dispositivos electrónicos.

Como menciona [6], CNTFET es un dispositivo prometedor y se puede utilizar para extender la validez de la ley más conocida de Gordon Moore. Se ha encontrado que el CNTFET intrínseco tiene Características $CV/I \sim 13$ veces más altas que las de un convencional $n - MOSFET$, el transistor de efecto de campo de nanotubos de carbono (CNFET) es una excelente alternativa a un transistor a granel tradicional para bajo consumo de energía y alto rendimiento, según [7]

Propiedades

- Reducción de potencia consumida
- Alta velocidad de procesamiento
- Eficiencia en los circuitos integrados
- Gran capacidad de conducción eléctrica
- Alta resistencia a la tracción
- Conductividad térmica

Nanotubos

Son laminas de grafeno enrollados en tubos, que presentan características:

- Eléctricas
- Mecánicas
- Semiconductoras
- Prop. optoelectrónicas

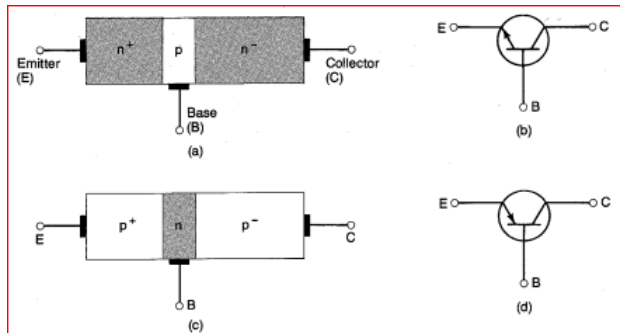


Figura 5: Estructura interna de los nanotubos de carbono [8]

De acuerdo a la figura 5, podemos observar que presenta 2 formas:

- Single wall carbene nanotube (SWCNT)
- Multi wall carbene nanotube (MWCNT)

Parámetros de diseño

Diametro de los nanotubos

$$D_{CNT} = \frac{\sqrt{3}a_0}{\pi} \sqrt{n^2 + m^2 + mn} \quad (1)$$

Donde:

- n, m son los valores de vectores de quiralidad del nanotubo
- a_0 distancia interatómica entre cada átomo de carbono

Voltaje umbral

$$V_{th} \approx \frac{E_g}{2e} = \frac{\sqrt{3}}{3} \frac{aV_\pi}{eD_{CNT}} \quad (2)$$

- $a = 2.49\text{\AA}$, distancia de carbono a átomo de carbono
- $V_\pi = 3.033\text{eV}$ energía de enlace del carbono
- e , es el valor de la carga del electrón

Ancho de banda

$$W = (N - 1)S + D_{CNT} \quad (3)$$

- N, números de CNTS
- S, es la distancia entre el centro de dos CNTs (factor importante para el diseño)

La influencia de varios parámetros de *CNTFET*, N, S y D_{CNT}

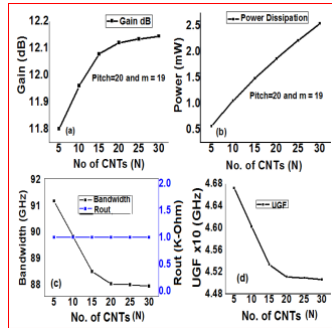


Figura 6: Variación de (a) Ganancia de corriente (b) Disipación de potencia (c) Ancho de banda (d) Frecuencia de ganancia unitaria con N en la propuesta basada en CNT-DA[6]

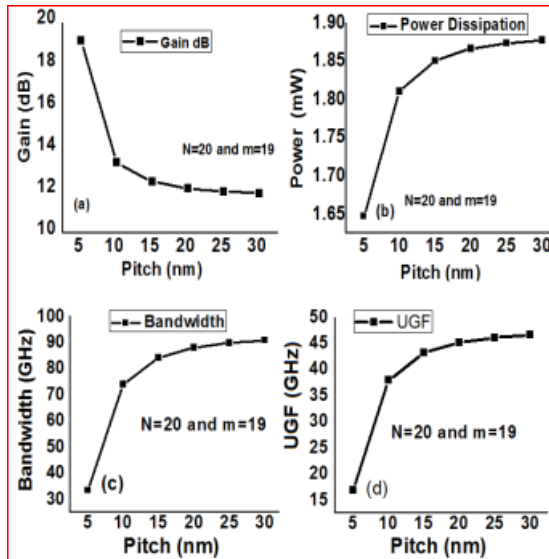


Figura 7: Variación de (a) ganancia de corriente (b) Disipación de potencia (c) Ancho de banda (d) Frecuencia de ganancia unitaria con respecto al tono de CNT-DA [6]

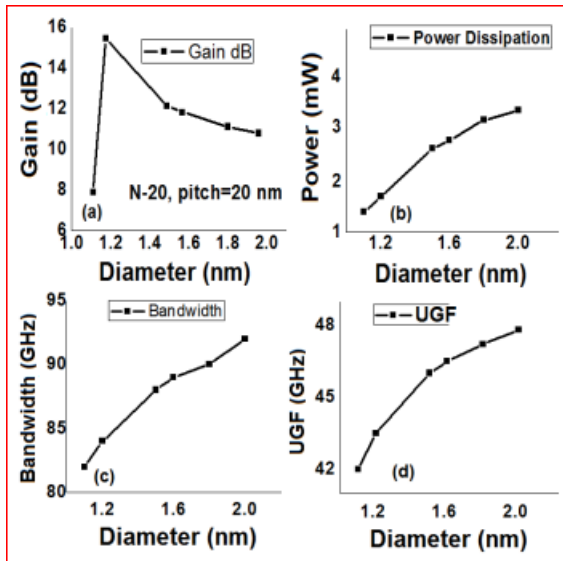


Figura 8: Variación de (a) Ganancia (b) Disipación de potencia (c) Ancho de banda (d) Frecuencia de ganancia unitaria con respecto al diámetro de CNT-DA [6]

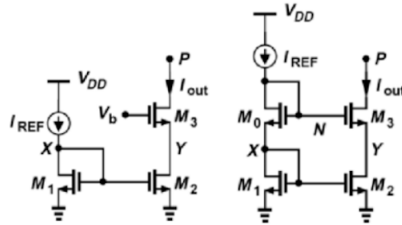
Algunas fuentes de corrientes

- Fuente de corriente constante cascode
- Fuente de corriente constante con FET(Mosfet)

Algunas fuentes de corrientes

Fuente de corriente constante cascode

Una forma de eliminar la disparidad de V_{DS} es usar la configuración cascode:



V_{DD} tal que $V_X = V_Y$

$$\frac{\left(\frac{W}{L}\right)_3}{\left(\frac{W}{L}\right)_0} = \frac{\left(\frac{W}{L}\right)_2}{\left(\frac{W}{L}\right)_1}$$

donde

W: ancho de puerta
L: longitud de la puerta

Algunas fuentes de corrientes

Fuente de corriente constante cascode

$$V_{P_{min}} = V_{DS_{sat2}} + V_{DS_{sat3}} \quad (4)$$

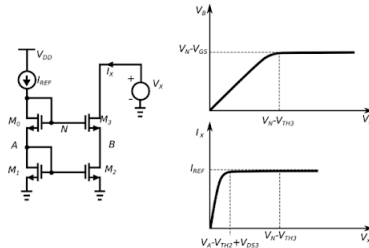
$$V_{P_{min}} = (V_{GS0} - V_{TH0}) + (V_{GS1} - V_{TH1}) \quad (5)$$

$$V_{P_{min}} = 2V_{DS_{sat}} + V_{TH3} = 2V_{OD} + V_{TH} \quad (6)$$

$$(7)$$

Dimensionando correctamente los transistores logramos que M_3 absorba las variaciones de V_P y mantenga $V_X = V_Y$.

Por debajo de la tensión mínima de salida, M_3 ya no puede absorber las diferencias de V_{DS} y V_B y será distinto a V_A , volviendo a los problemas de espejo simple. Para tensiones muy bajas, la resistencia de salida se degrada.



Algunas fuentes de corrientes

Fuente de corriente constante con FET(Mosfet)

- El par diferencial básico consta de dos MOSFET de enriquecimiento acoplados (Q_1 y Q_2), polarizados con una fuente de corriente constante; esta ultima suele ser una configuración de espejo de corriente similar a la utilizada con BJT's. desde luego se supone que el circuito de carga es tal que los dos MOSFET que conforman el par, se encuentran operando en la región de saturación.
- El MOSFET es frecuentemente usado como amplificador de potencia y ofrece como ventaja una resistencia de entrada alta, prácticamente infinita en la compuerta y una corriente de polarización de entrada cai cero.
- Existen dos razones fundamentales por las cuales se prefieren los amplificadores diferenciales sobre los de un solo extremo: son sensibles a la interferencia y no necesitan capacitores de paso y acoplamiento.

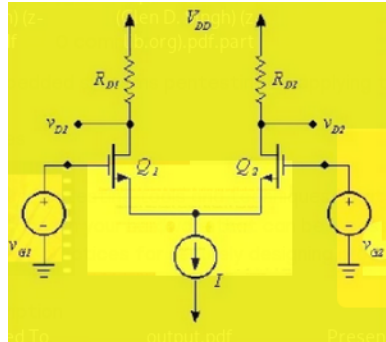


Figura 9: Amplificador diferencial con FETs

Conclusiones

- Las fuentes de corrientes basados en nanotubos de carbono y FETs tienen ventajas por encima que los BJTs: no dependen de I_{IE} , por ende no se verán afectados por la temperatura.
- Las fuentes de corrientes se usan en los amplificadores de corriente como un elemento de amplificador, ya que fijará un valor constante para el punto de operación del amplificador diferencial.

Bibliografía

- [1] M. S. Akhoun, A. G. Alharbi, M. A. Bhat, S. A. Suandi, J. Ashraf, and S. A. Loan, "Design and simulation of carbon nanotube based current source load differential amplifier," in *2021 International Conference on Microelectronics (ICM)*, pp. 140–143, 2021.
- [2] Z. Liu, T. Pan, S. Jia, and U. Wang, "Design of a novel ternary sram sense amplifier using cnfet," in *2017 IEEE 12th International Conference on ASIC (ASICON)*, pp. 207–210, 2017.
- [3] S. Waykole and V. S. Bendre, "Performance analysis of classical two stage opamp using cmos and cnfet at 32nm technology," in *2018 Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA)*, pp. 1–6, 2018.
- [4] S. M. Turkane and A. K. Kureshi, "Performance investigation of emerging nano devices for low power analog circuits," in *2016 International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT)*, pp. 718–722, 2016.
- [5] G. Hills, M. G. Bardon, G. Doornbos, D. Yakimets, P. Schuddinck, R. Baert, D. Jang, L. Mattii, S. M. Y. Sherazi, D. Rodopoulos, R. Ritzenthaler, C.-S. Lee, A. V.-Y. Thean, I. Radu, A. Spessot, P. Debacker, F. Catthoor, P. Raghavan, M. M. Shulaker, H.-S. P. Wong, and S. Mitra, "Understanding energy efficiency benefits of carbon nanotube field-effect transistors for digital vlsi," *IEEE Transactions on Nanotechnology*, vol. 17, no. 6, pp. 1259–1269, 2018.
- [6] M. S. Akhoun, A. G. Alharbi, M. A. Bhat, S. A. Suandi, J. Ashraf, and S. A. Loan, "Design and simulation of carbon nanotube based current source load differential amplifier," in *2021 International Conference on Microelectronics (ICM)*, pp. 140–143, 2021.
- [7] Z. Liu, T. Pan, S. Jia, and U. Wang, "Design of a novel ternary sram sense amplifier using cnfet," in *2017 IEEE 12th International Conference on ASIC (ASICON)*, pp. 207–210, 2017.
- [8] D. Prasad, Mainuddin, Laxya, and S. S. Islam, "Low power low voltage cntfet-based current differencing buffered amplifier," in *2017 4th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)*, pp. 115–120, 2017.