

CIRCUITOS ALIMENTADOS CON FUENTES DE CORRIENTE PRIMARIAS

Dr. Hector Trujillo Alvarado

Profesor, Centro de Investigación en Microelectrónica, Fac.Eléctrica, CUJAE

email: hector.trujillo@cime.ispjae.edu.cu

MsC. Miriam Gutiérrez Buides

Profesora, Centro de Investigación en Microelectrónica, Fac.Eléctrica, CUJAE

email: miriam.gutierrez@cime.ispjae.edu.cu

ABSTRACT

It is common practice in the fabrication of the analogue ICs, to use current source (mirrors, Widlar) starting from the voltage source which fed the own circuit. This well established scheme has a drawback that it limits the minimum working voltage of the circuits, because at last one additional base emitter voltage drop (in bipolar analogue ICs) is needed to implement such current sources.

In this paper the standard current source are proposed to be substituted by primary current sources (pcs) built anywhere they are needed. It is called pcs to a current source which arise from the direct conversion of any kind of energy, different from the electric, to an electrical current. Up to date available pcs are briefly described.

PSPICE simulation results of both, voltage and pcs (based on photovoltaic cells) powered low pass filters are presented. They are compared in some aspects.

It is concluded that the development of the proposed biasing scheme may favor some advantages over the standard voltage biasing, that is, to reduce the working voltage, to reduce the number of components of the IC and besides that to integrate the power supply into the microcircuit. Notwithstanding a further development of pcs based on other transduction mechanisms will be requerid.

RESUMEN

Es práctica común en la fabricación de los circuitos integrados analógicos el empleo de fuentes de corriente (espejo, Widlar,est) construidas a partir de la fuente de tensión que alimenta al propio circuito. Este esquema, aunque bien establecido, tiene en su contra el hecho de que limita la mínima tensión de trabajo a emplear ya que requiere de al menos una caída adicional de voltaje base emisor (en los CI analógicos bipolares) para implementar tales fuentes.

En este trabajo se propone el método alternativo de sustituir las fuentes de corriente estándar por fuentes de corriente primarias (fcp) construidas in situ donde quiera que se necesiten. Se denomina fcp a una fuente de corriente que resulta de la conversión directa de cualquier energía diferente de la eléctrica a una corriente eléctrica .

Se describen brevemente las fcps disponibles en la actualidad.

Se presentan los resultados de simulación eléctrica con PSPICE de sendos filtros pasabajos alimentados con fuente de tensión y con fcps, (estas últimas en base a celdas fotovoltaicas) y se comparan en algunos aspectos.

Se concluye que el desarrollo del esquema propuesto puede brindar ventajas sobre el esquema típico ya que se puede reducir la tensión de trabajo, reducir el número de componentes del CI, incluso integrar la fuente al microcircuito, si bien es necesario, el desarrollo de fcps que se basen en otros mecanismos de transducción de energía eléctrica.

CIRCUITOS ALIMENTADOS CON FUENTES DE CORRIENTE PRIMARIAS

Dr.Hector Trujillo Alvarado

Profesor, Centro de Investigación en Microelectrónica, Fac.Eléctrica, CUJAE

email: hector.trujillo@cime.ispjae.edu.cu

MsC. Miriam Gutiérrez Buides

Profesora, Centro de Investigación en Microelectrónica, Fac.Eléctrica, CUJAE

email: miriam.gutierrez@cime.ispjae.edu.cu

RESUMEN

Es práctica común en la fabricación de los circuitos integrados analógicos el empleo de fuentes de corriente (espejo, Widlar,est) construidas a partir de la fuente de tensión que alimenta al propio circuito. Este esquema, aunque bien establecido, tiene en su contra el hecho de que limita la mínima tensión de trabajo a emplear ya que requiere de al menos una caída adicional de voltaje base emisor (en los CI analógicos bipolares) para implementar tales fuentes.

En este trabajo se propone el método alternativo de sustituir las fuentes de corriente estándar por fuentes de corriente primarias (fcp) construidas in situ donde quiera que se necesiten. Se denomina fcp a una fuente de corriente que resulta de la conversión directa de cualquier energía diferente de la eléctrica a una corriente eléctrica .

Se describen brevemente las fcps disponibles en la actualidad.

Se presentan los resultados de simulación eléctrica con PSPICE de sendos filtros pasabajos alimentados con fuente de tensión y con fcps, (estas últimas en base a celdas fotovoltaicas) y se comparan en algunos aspectos.

Se concluye que el desarrollo del esquema propuesto puede brindar ventajas sobre el esquema típico ya que se puede reducir la tensión de trabajo, reducir el número de componentes del CI, incluso integrar la fuente al microcircuito, si bien es necesario, el desarrollo de fcps que se basen en otros mecanismos de transducción de energía eléctrica.

1. INTRODUCCIÓN

En años recientes se han desarrollado notablemente los circuitos electrónicos que trabajan en modo de corriente, encontrándose varios esquemas circuitales tales como los circuitos translineales estáticos y dinámicos, los transportadores de corriente (current conveyors), etc., los

que reportan ciertas ventajas sobre los circuitos tradicionales que operan en modo de voltaje [1].

El mayor desarrollo histórico experimentado por los circuitos con procesamiento en modo de voltaje se atribuye al hecho de que los primeros dispositivos activos de que se dispuso para la fabricación de circuitos electrónicos fueron las válvulas de vacío, que como se sabe, basan su funcionamiento en el control de la corriente mediante la aplicación de un campo eléctrico. [2].

Esta preferencia hacia la fabricación de circuitos en modo de voltaje debe estar influida también por el hecho de que para la alimentación de los circuitos electrónicos de lo que se dispone en forma casi natural es de las fuentes de voltaje. En el uso actual de circuitos en modo de corriente los mismos se alimentan con fuentes de voltaje y se requiere además de circuitos de interfase a la entrada y a la salida que constituyen a su vez transductores o cargas que funcionan con voltaje.

En este trabajo se presenta un nuevo enfoque en cuanto a la alimentación de estos circuitos (en modo de corriente) alimentándolos con fuentes de corriente primarias basadas en foto-celdas. Se refieren brevemente las posibles fuentes de corriente primarias que pudieran emplearse en esta aplicación. Se presenta un filtro pasabajos implementado en base a un circuito translineal dinámico alimentado con fuente de voltaje [3] y su versión con alimentación de fuentes de corriente primarias.

El desarrollo de esta línea de investigación puede ayudar en la integración de las fuentes de alimentación lo que facilitaría el desarrollo de circuitos para implantes biológicos y otras aplicaciones.

2. FUENTES DE CORRIENTE PRIMARIAS

En el trabajo se denomina **fuentes de corriente primaria (fcp)** a una fuente de corriente que resulta producto de la conversión directa de cualquier energía diferente de la eléctrica en una corriente independiente del valor de la resistencia de carga.

En la literatura consultada [4-6] se aprecia que considerable esfuerzo de investigación se ha desarrollado

en la búsqueda de fuentes alternativas de alimentación de potencia eléctrica para los vehículos espaciales.

Las investigaciones de las fuentes de alimentación por otra parte han llevado al desarrollo de las fuel cells [5,7], las que logran almacenar una mayor densidad de energía que las baterías tradicionales.

Los implantes biológicos requieren la alimentación del circuito integrado mediante alguna fuente inalámbrica para mayor flexibilidad en su aplicación. En muchos casos se emplean fuentes construidas en base a la radiación electromagnética [8,9], lo que conlleva la construcción en el chip de bobinas donde se induzcan voltajes con la energía suficiente para alimentar al circuito implantado. Otras variantes (uso externo) emplean la energía de las vibraciones que produce el propio sujeto en su quehacer cotidiano[10].

En la literatura consultada solo se encontraron hasta el presente dos tipos de transductores que pueden considerarse (dentro de ciertos límites) como fcps. Estas son las basadas en el efecto termoiónico y las basadas en el efecto fotovoltaico.

2.1 FUENTE BASADA EN EL EFECTO TERMOIÓNICICO

La conversión de potencia termoiónica es un método para la conversión directa del calor en electricidad. En su forma mas simple un convertidor de energía termoiónico consiste de dos electrodos (emisor o cátodo y colector o ánodo)separados en el vacío. Fig.1. El emisor se mantiene suficientemente caliente de forma que emita electrones termoiónicamente, mientras que el colector se mantiene frío. Los mismos se conectan externamente a través de una resistencia de carga.

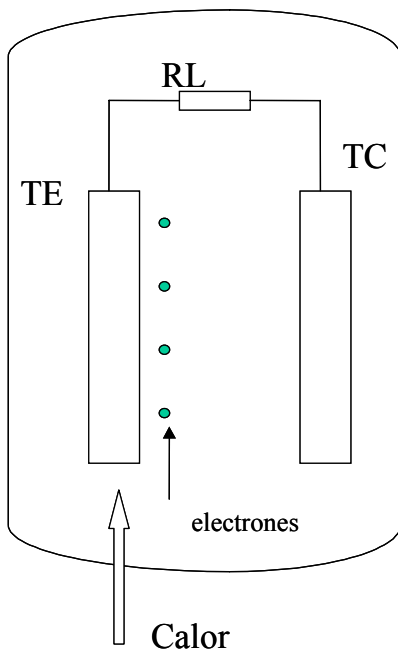


Fig.1 Celda termoiónica

La densidad de corriente de saturación de electrones emitidos desde el emisor en el vacío está dada por la ecuación de Richardson[5]:

$$J_s = AT^2 \exp(-\phi_e / kT) \quad (1)$$

Donde, J_s es la densidad de corriente, T es la temperatura absoluta en grados Kelvin, A es la constante de Richardson, ϕ_e la barrera de potencial para los electrones del emisor y k la constante de Boltzmann.

Si no existe zona de carga espacial negativa entre emisor y colector y ϕ_c es la barrera de potencial para los electrones del colector, el convertidor se comporta como un generador de corriente constante para resistencias de carga :

$$R_L \leq (\phi_e - \phi_c) / I_2 \quad (2)$$

Para valores de R_L mayores que los dados por la relación (2) la corriente de colector cae exponencialmente. La figura 2 muestra la característica corriente contra voltaje de salida ideal. En las celdas reales, en la región entre el emisor y el colector aparece una zona de carga espacial negativa debida a los electrones lo que limita la circulación de corriente. Existen diversos métodos para reducir los efectos de esta zona de cargas espacial negativa. Un método consiste en introducir iones positivos en el espacio interelectródico.

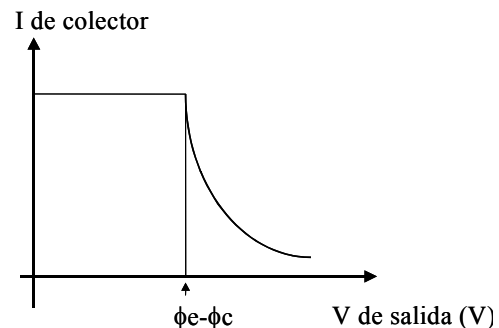


Fig.2 Curva I vs V de celda termoiónica

Esta fuente de corriente primaria requiere alta temperatura de trabajo del emisor de manera que en su forma actual no resulta adecuada para su integración en un microcircuito.

2.2 FUENTE BASADA EN EL EFECTO FOTOVOLTAICO

En la figura 3 se presenta una sección transversal de una celda solar típica. Consiste de una unión pn poca profunda formada en la superficie, un contacto óhmico frontal digitado y un contacto metálico posterior que cubre toda la superficie. Incorpora además una capa antirreflectante en la cara superior.

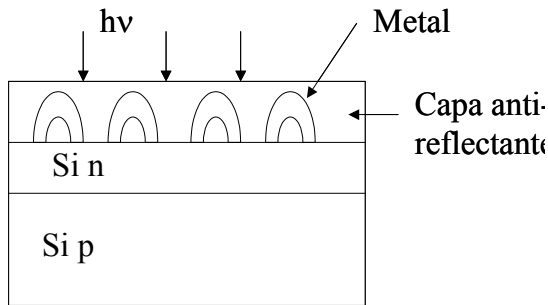


Fig 3 Celda fotovoltaica

Cuando incide luz sobre la celda, con energía de los fotones $h\nu > E_g$, donde E_g es el ancho de la banda prohibida del semiconductor, se generan pares electrón – hueco que dan origen a un voltaje en circuito abierto y a una fotocorriente si se cierra el circuito externo a través de una resistencia de carga.

La característica voltaje corriente vendrá dada por [11]:

$$\ln\left(\frac{I + I_{cc}}{I_s} - \frac{V - IR_s}{I_s R_p} + 1\right) = \frac{V - IR_s}{V_T} \quad (3)$$

Donde I_{cc} es la corriente de cortocircuito, I_s es la corriente de saturación inversa del diodo (o corriente de oscuridad), R_s es la resistencia serie parásita del diodo y V_o es el voltaje de circuito abierto dado por :

$$V_o = V_T \ln\left(1 + \frac{I_{cc}}{I_s}\right) \quad (4)$$

El modelo equivalente para una celda fotovoltaica incluyendo un resistor de fuga R_p se muestra en figura 4.

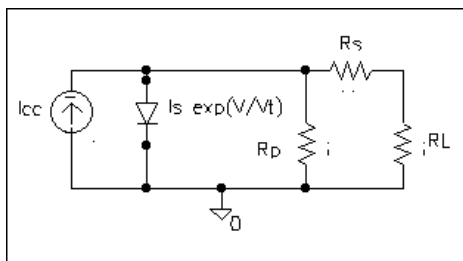


Fig.4 Modelo de una celda fotovoltaica

En la figura 5 se presenta la característica ideal de una celda fotovoltaica (con $R_s=0$, $R_p=\infty$) dada por la ecuación 3. Se aprecia que aparece un rango de valores de voltaje de salida donde la fotocelda se comporta como una fcp.

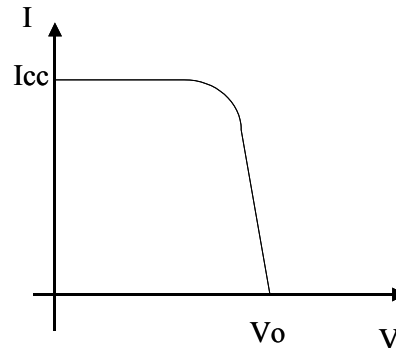


Fig. 5 Característica I vs V de una celda solar iluminada

3. FILTRO PASABAJOS

3.1 ALIMENTADO CON VOLTAJE

En la figura 6 se presenta el diagrama eléctrico de un filtro pasabajos empleando circuitos translineales dinámicos. Usando batería de 1.5V, el consumo de corriente total del mismo con $R_1=R_3=27K$; $R_2=3.5K$ y $R_L=6.8K$, resulta de aproximadamente $140\mu A$. Como se observa de la figura se necesitan 3 fuentes de corriente construidas en base a espejos, por lo que para la polarización se consumen aproximadamente $140\mu A$ por las ramas que fijan las corrientes, las que no realizan ninguna otra función. Pueden considerarse por tanto como pérdidas. La versión integrada del mismo permitiría el ahorro de un transistor pnp y una resistencia y exitiendo menor corriente de polarización que la versión a componentes discretos. En la salida se ha incluido un resistor $R_L=6.8K\Omega$ donde aparece el voltaje de salida V_{sal} .

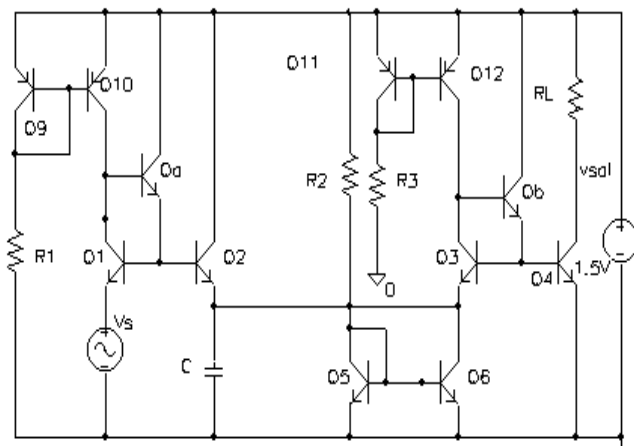


Fig.6 Filtro pasabajos con circuitos translineales dinámicos

La figura 7 muestra la respuesta de frecuencia del filtro con una frecuencia de corte de 2.5KHz con $C=100nF$. Del circuito se puede observar que siguiendo por ejemplo la malla a través de Q10, Qa y Q1, se requieren al menos tres caídas V_{be} , esto es alrededor de 1.5V para alimentar el circuito en activa.

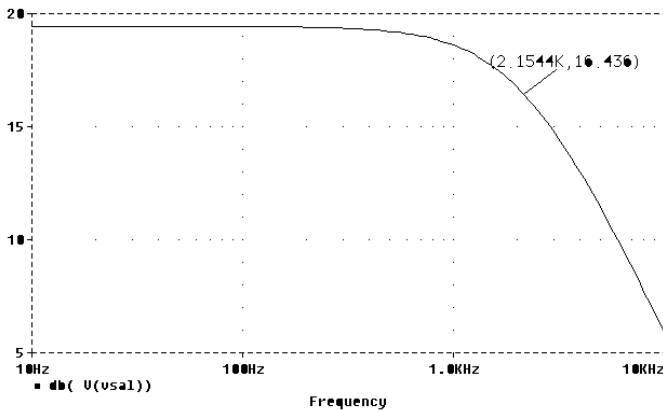


Fig.7 Respuesta de frecuencia

3.2 ALIMENTADO CON CORRIENTE

Tomando los datos de una celda fotovoltaica [11] dados como $I_{cc}= 100mA$ para un área de 4 cm^2 y el valor de I_s del diodo como $1nA$, se calculó el valor de una fcp que produjera el valor de $.35\mu A$, reduciendo el valor de I_{cc} y de I_s de forma que guardaran la misma proporción que los datos de la de referencia, resultando $I_{cc}=35\mu A$ e $I_s=3.5\text{ e-}12\text{ A}$.

Las fuentes de corriente que alimentan a Q1 y al colector de Q4 (en la figura 6) se sustituyen cada una por dos de tales fuentes primarias elementales en serie, fuentes F2 y

F3, figura 8. La fuente de corriente de valor doble que alimenta al emisor de Q4 se sustituye por el arreglo paralelo de dos de las fuentes elementales (F4), en tanto que el resto del circuito se alimenta con un arreglo de 2 fuentes elementales en serie.

Esto se presenta asimismo por F1 en la figura 8. El resistor R5 facilita el ajuste del punto de operación. El uso de las fcp pudiera permitir reducir el consumo de potencia del circuito, ya que las corrientes de polarización de Q9, Q10, Q11 y Q13 no son necesarias. El número de componentes requeridas en este caso resulta de nueve, ocho menos que el circuito estándar.

La señal de entrada se puede acoplar ópticamente a la propia fuente que alimenta a Q1 en la figura 8, lo que es simulado por la fuente de AC. Si se toma una malla a través de Qa y Q2, se aprecia que solo se requieren en este caso dos caídas de V_{be} para polarizar en activa al circuito, o sea, alrededor de 1V, lo que reduce en 0.5V la tensión de trabajo respecto al circuito alimentado de forma estándar.

Los resultados de la respuesta de frecuencia de la simulación con PSPICE del filtro así implementado se muestran en la figura 9. Resulta una transresistencia a bajas frecuencia con una frecuencia de corte de 2.6KHz.

El consumo total de área para la fabricación de las fotoceldas de alimentación del circuito resulta de aproximadamente $3000.\mu m^2$ (considerando solo la relación de área requerida respecto a la celda de referencia)

Actualmente se trabaja en el montaje experimental del circuito de la figura 8 que validarían los resultados de la simulación.

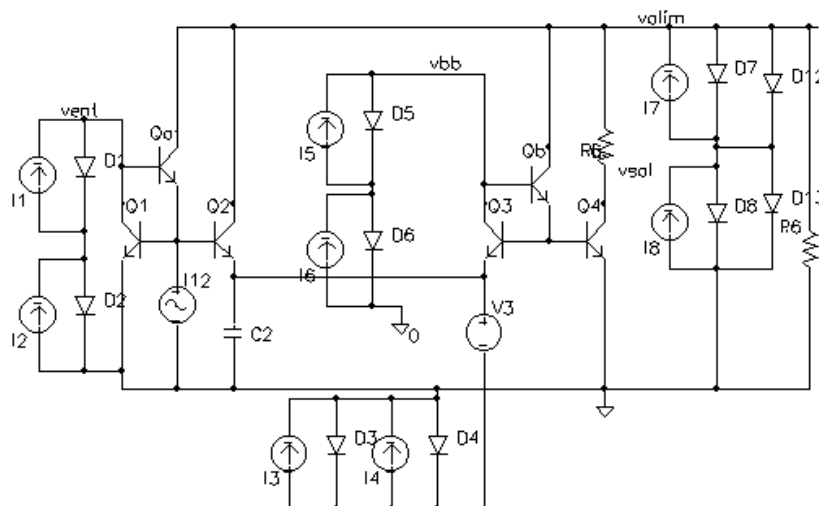


Fig. 8. Filtro pasabanda alimentado por corriente

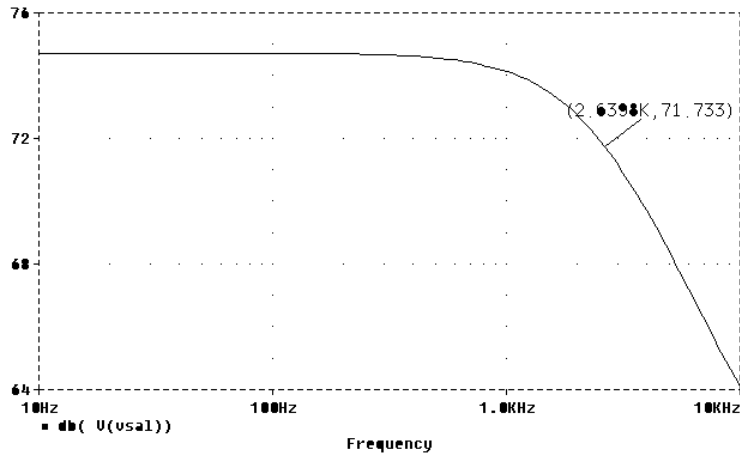


Fig.9. Respuesta de frecuencia

4. CONCLUSIONES

La limitante de mínima tensión de alimentación de los circuitos electrónicos alimentados de forma estándar puede ser superada si se sustituyen las fuentes de corriente construidas a partir de la tensión de alimentación por fuente de corriente primarias. Otras posibles ventajas que pudieran alcanzarse están vinculadas a la reducción del número de componentes necesarias, menor consumo de potencia, acoplamiento físico de la señal de entrada e integración de la fuente de alimentación del microcircuito. Este trabajo constituye un primer paso en esta línea de investigación, ya que se requiere el desarrollo de técnicas de diseño y estabilización de las fcps, así como el desarrollo de fcps, basadas en otro mecanismo de transducción, aparte del FOLTOVOLTAICO su implementación integrada puede requerir algunas modificaciones del proceso de fabricación de forma de proteger al resto del circuito integrado del agente físico en particular a que responda la fcp.

5. REFERENCIAS

[1] C. Toumazou, F.J.Lidgey, and D.Haigh.: Analogue IC Design: The Current Mode Approach. Exeter, U.K. Peter Peregrinus, 1990.
 [2] A. Payne and C. Toumazou.: Analog Amplifiers: classification and generalization. IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and applications, vol 43 No 1, Jan 1996, pp43-50.
 [3] H. Trujillo y M. Gutiérrez.: Filtro pasabajos usando circuitos translineales dinámicos. Telec 2002, Santiago de Cuba, Cuba, Julio 2000. Sesión de pósters.
 [4] N.W.Snyder (editor): Energy conversion for space power. Academic Press, N.Y. ,1961.

[5] M. alí Kettani.: Direct energy conversion, Addison-Wesley, Londres, 1969.
 [6] J. Kaye and J.A. Welsh (editors): Direct conversion of heat to electricity. Wiley, N.Y. ,1960.
 [7] M.J. Riezenman.: Metal fuel cells. IEEE Spectrum, June 2001, pp 55-59.
 [8] F.Graichen and G.Bergmann, "Four Channel Telemetry System for in vivo measurement of hip joint forces" J.Biomed, Eng, vol3 (1991) pp 370-374
 [9] Q.Huang and M.Oberle. "A 0.5mW passive telemetry IC for biomedical applications" IEEE Journal of Solid State Circuits vol 33 (1998) pp 937-945
 [10] J.Mullins.: Micro supplies to power MEMS devices. IEEE spectrum, Sept 2001,pp 23-24. S.M.
 [11] S. M.Sze.: Physics of Semiconductor Devices, John Wiley, N.Y. 1981.