Artículo **Revista de Energías Renovables**
Diciembre 2018 Vol.2 No.7 19-25

Diseño e implementación de un sistema de adquisición de voltaje para celdas de combustible basadas en nopal

Design and implementation of a voltage acquisition system for nopal-based fuel cells

MALDONADO-RUELAS, Victor Arturo[1]†*, ORTIZ–MEDINA, Raúl Arturo[1], APOLLON, Wilgince[2] y SILOS-ESPINO, Héctor[2]

[1]*Universidad Politécnica de Aguascalientes*
[2]*Instituto Tecnológico el Llano Aguascalientes*

ID 1er Autor: *Victor Arturo, Maldonado-Ruelas* / **ORC ID**: 0000-0003-2125-1557, **Researcher ID Thomson**: I-2774-2018, **CVU CONACYT ID**: 209649

ID 1er Coautor: *Raúl Arturo, Ortiz–Medina* / **ORC ID**: 0000-0002-2052-9003, **Researcher ID Thomson**: H-7174-2018, **CVU CONACYT ID**: 619788

ID 2do Coautor: *Wilgince, Apollon* / **ORC ID**: 0000-0002-3790-3807, **Researcher ID Thomson**: H-9584-2018, **CVU CONACYT ID:** 878025

ID 3er Coautor: *Héctor, Silos-Espino* / **ORC ID**: 0000-0002-4242-7593, **CVU CONACYT ID**: 121971

Recibido 10 de Septiembre, 2018; Aceptado 30 Noviembre, 2018

Resumen

Este trabajo presenta el diseño, construcción e implementación de una plataforma de investigación para la adquisición de señales de voltaje en celdas de combustible basadas en plantas endémicas de la región, específicamente el nopal. Para la caracterización e investigación de estas celdas, la medición del voltaje es fundamental para estudiar su comportamiento ante variables como la humedad, el tamaño de la planta, los nutrientes utilizados y las condiciones climatológicas. Las celdas presentan corrientes bajas (micro amperios), implicando un inconveniente para el cual se requiere una instrumentación adecuada, para garantizar que el voltaje medido en la celda sea el voltaje realmente generado. Las ventajas de la plataforma frente a los sistemas comerciales actuales son: la cantidad de canales para medición de voltajes simultáneos, el bajo costo, medición sin importar la polaridad de voltaje y comunicación con otras interfaces para monitorear los voltajes.

Celda de Combustible, Nopal, Adquisición de Voltaje

Abstract

This paper presents the design, construction and implementation of a research platform for acquisition of voltage signals in fuel cells based on endemic plants of the region, specifically the nopal. For the characterization and investigation of these cells, the measurement of the voltage is fundamental to study their behavior before variables such as humidity, the size of the plant, the nutrients used and the weather conditions. The cells present low currents (micro amperes), implying a drawback for which adequate instrumentation is required, to ensure that the measured voltage in the cell is the voltage actually generated. The advantages of the platform compared to commercial systems are: the number of channels for measuring simultaneous voltages, low cost, measurement regardless of voltage polarity and communication with other interfaces to monitor voltages.

Fuel Cell, Nopal, Voltage Acquisition

Citación: MALDONADO-RUELAS, Victor Arturo, ORTIZ–MEDINA, Raúl Arturo, APOLLON, Wilgince y SILOS-ESPINO, Héctor. Diseño e implementación de un sistema de adquisición de voltaje para celdas de combustible basadas en nopal. Revista de Energías Renovables. 2018. 2-7: 19-25.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: victor.maldonado@upa.edu.mx)
† Investigador contribuyendo como primer autor.

1. Introducción

Las celdas de combustible (CMC) son una prometedora tecnología de producción en energía renovable. En trabajos como (Kamaraj et al, 2012 & Kamaraj et al, 2013) presentan este tipo de invenciones basadas en un sistema bioelectroquímico, que consisten en una de arcilla dividida en una terminal positiva (ánodo) y una terminal negativa (cátodo) colocado en la materia orgánica (rizosfera de nopal) que funciona como combustible oxidable.

La ventaja de este sistema es que utiliza plantas suculentas del semidesierto, las cuales se caracterizan por fijar el CO_2 por el día, que debido a la región absorben grandes cantidades de sol (más de 12 horas por día) y por la noche liberan el O2 (ahorradoras de energía); además de utilizar muy poca agua para su subsistencia. Sin embargo, una de sus limitantes consiste en la baja potencia de salida, para mejorar la rentabilidad económica.

La importancia de contar con un buen sistema de adquisición, que permita adquirir de manera correcta los valores de voltajes entregados por cada CMC, se vuelve prioridad debido a la poca potencia que entrega cada celda (alrededor de 0.05 miliWatts), con corrientes muy pequeñas (aproximadas a los 50 microAmperes). Esto genera un sistema de muy alta impedancia, que no puede ser adquirido de manera directa por cualquier procesador digital de señales o microcontralor, sin antes realizar una instrumentación adecuada que garantice que los valores corresponden al valor entregado por cada celda.

Trabajos que presentan éste tipo de sistemas de adquisión de baja potencia, se utilizan en áreas para la adquisición de bioseñales (Dubey et al, 2014), utilizando filtros pasa bandas por medio de amplificadores operacionales de alto orden, para evitar cortes de ganancias en magnitud o cambios de fase en señales que varían en el tiempo. Sin embargo, éste trabajo no se aplica en algún sistema físico y las pruebas que se presentan son de laboratorio en condiciones ambientales controladas.

En trabajos como (Wu et al, 2018), se presenta un sistema de adquisición de 16 canales multiplexados (solo se puede monitorear un canal a la vez) para la adquisión de señales de baja potencia, por medio de sistemas digitales de alto costo como son convertidores digitales-analógicos (ADC) de alta resolución (mayor a 10 bits). Este tipo de trabajos, está enfocado en el area médica para el monitoreo de las señales de los pacientes por medio de un sistema de electrodos. Algunos de ellos son (Orguc et al, 2017; Schönle et al, 2017; Wang et al, 2016; Tohidi et al, 2016).

A diferencia de los sistemas de adquisición actuales comerciales o los que se presentan en el desarrollo de la introducción; éste sistema de adquisición diseñado tiene como ventajas:

- Un sistema de bajo costo, utilizando un sistema con amplificadores operacionales de presición.
- Mayor monitoréo de canales (hasta 32 canales) simultaneos en paralelo.
- Adaptable a cualquier tipo de plataforma digital para el procesamiento de señales.
- Protecciones de sobre voltaje, así como de conexión de cualquier CMC sin importar la polaridad de la misma.
- Guardado de datos constantes para su procesamiento.

La distribución de éste trabajo sera, el diseño del sistema de adquisición en la siguiente sección. La tercera sección presentará el desarrollo físico e implementación del sistema de adquisición. La sección de resultados presentará los datos obtenidos del sistema. La sección de conlusiones abordará el anáisis final del trabajo así como trabajo a futuro del mismo.

2. Diseño del Sistema de Adquisición

Partiendo de que la adquisición de voltajes de las celdas son de baja potencia con alta impedancia; se realiza un esquema que acople las impedancias de cada CMC con el sistema de adquisición, para ser leida sin problemas por algún sistema de plataforma digital, de tal forma que se garantice la información y no se pierda o distorcione al acoplar el sistema con la plataforma digital. La Figura 1, presenta un esquema general del sistema de adquisición que se divide en 6 etapas:

ECORFAN® Todos los derechos reservados

1. Acoplador de impedancia de entrada.
2. OFF-SET agregado para suprimir la polaridad de la señal de entrada.
3. Amplificador de ganancia regulable.
4. Limitador de voltaje de salida.
5. Filtro Pasa-Bajos para eliminar ruido de alta frecuencia.
6. Acoplador de impedancia de salida.

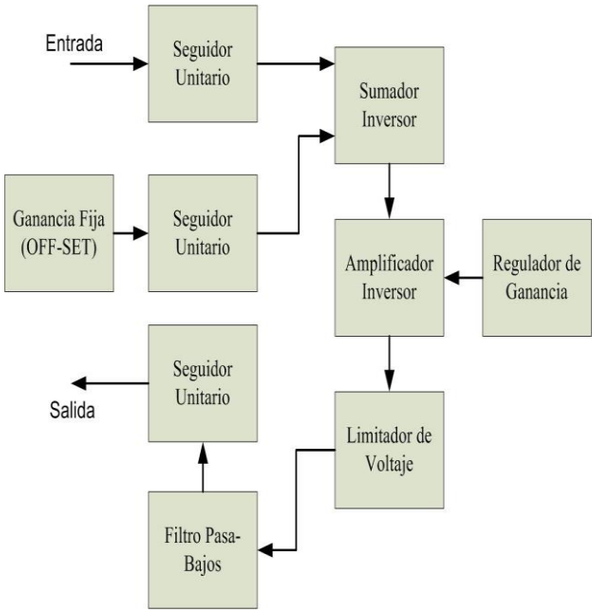

Figura 1 Esquema general del sistema de adquisición de voltaje
Fuente: Elaboración Propia

Las configuraciones utilizadas en el esquema general del sistema de adquisición, se referencian en libros de amplificadores operacionales (Franco, 2005; Coughlin & Driscoll, 2006; Aguilar & Vargas, 2018). Se selecciono los circuitos integrados LT1013 y LT1014 como amplificadores operacionales para cada etapa del diseño del sistema de adquisición ya que cuenta con las siguientes características:

– Amplificadores operacionales de precisión e instrumentación, de 2 y 4 amplificadores por integrado respectivamente.
– Rango de voltaje de entrada extendido con respecto a tierra.
– Ruido de voltaje bajo (menor a 1 µVp-p)

A diferencia de otros amplificadores de operacionales de precisión e instrumentación como los INA106, INA114 que tienen mayor rango de precisión pero el costo es más elevado (Hasta 5 veces más el precio de un LT1014). Aparte este tipo de amplificador se utiliza para señales del orden de mili o micro Volts.

La ventaja de este sistema es que los voltajes llegan incluso a los Volts por cada CMC, por lo cual los amplificadores seleccionados cumplen de manera correcta a un menor costo.

A.- Acoplador de impedancia de entrada

El voltaje generado por la CMC, se conecta a un seguidor unitario en su configuración no inversora, esto permite acoplar las impedancias que tiene cada celda con los amplificadores sin tener ninguna pérdida en la magnitud de la señal. Sin esta etapa, existirían caidas de tensión al acoplar con otros componentes pasivos como resistencias y capacitores, debido a la poca corriente que genera la propia celda.

B.- OFF-SET agregado para suprimir la polaridad de la señal de entrada

Esta etapa es independiente de la anterior, ya que se realiza un arreglo de resistencia por medio de un divisor de voltaje para tener una referencia fija de corriente directa a 2.5 V. Este valor se escogió de esta manera debido a la plataforma digital que se utiliza para la adquisición de la señal ya instrumentada, ya que su rango de operación es de 0 a 5 V.

Por tanto este valor de referencia corresponde a un valor de entrada al sistema de 0 V; de tal forma que si la celda se conecta de manera poralizada directamente el rango de valores estará de 2.5 a 5 V, y si la celda esta polarizada inversamente el rango de voltajes estará de 2.5 a 0 V. Con esto se garantiza que independientemente de como se conecte la celda, los valores de voltaje estarán dentro del rango permitido por el sistema de adquisición digital garantizando que no se dañe cuando se conecte con polarización inversa la celda.

Esta señal se sumará con el valor de entrada de la etapa anterior por medio de un sumador inversor. Se escoge esta configuración de sumador, ya que no se desea agregar ninguna ganancia a la señal, sino simplemente acoplar la señal de entrada con la señal del OFF-SET; sin embargo con la misma configuración se invertirá el signo de la señal de entrada. No se considera la configuración del sumador no-inversor ya que esta agrega una ganancia mayor a 1 en su función de transferencia.

ECORFAN® Todos los derechos reservados

C.- Amplificador de ganancia regulable

Esta etapa la realiza un ampificador inversor, el cual puede aumentar o disminuir el valor de la entrada dependieno del valor que se establezca (potenciómetro de precisión de 1 vuelta). Al ser de configuración inversora, también cambiará el signo de la señal de entrada, sin embargo de la etapa anterior quedará con el signo original de la celda, ya que al invertirlo en dos de las etapas queda en condiciones normales.

D.- Limitador de voltaje de salida

Para garantizar que el voltaje de salida no sobrepase el voltaje de entrada en uno de los canales de entrada analógica de cualquier sistema digital, se utiliza una protección por medio de un diodo zener a 5V conectado en polarización inversa. Esto permite cortar el voltaje cuando existen sobre voltajes o voltajes por debajo de -0.7 V (valor de voltaje mínimo para polarizar directamente un diodo de silicio comercial)

E.- Filtro pasa-bajas para eliminar ruido de alta frecuencia.

Se construye un filtro de primer orden por medio de una resistencia y un capacitor, con una frecuencia de corte de 6 KHZ. Debido a la naturaleza del filtro, este empezará a cortar en magnitud 2 décadas anteriores a la frecuencia de corte, es decir a 60 Hz. Ya que el voltaje que se desea de la celda es de corriente continua, cualquier ruido asociado sobre la señal mayor a 60Hz se reducirá, evitando de esta forma generar un rizo de voltaje que llegue a cambiar el valor de salida asociado a lo generado por la celda.
Debido al rango de tiempo para tomar una muestra de la CMC, no es necesario tener un filtro de mayor orden, lo cual elevaría el costo del sistema y el tamaño del diseño.

F.- Acoplador de impedancia de salida

Después de todo el tratamiento de la señal por cada celda, es necesario volver acoplar las impedancias del sistema de adquisión con la plataforma digital que se utilizará para guardar los datos. Esta etapa al igual que la etapa inicial es necesaria para garantizar que no existan pérdidas de tensión por la baja corriente que entrega cada celda al conectar directamente en alguno de los canales de entrada ADC de la plataforma digital utilizada.

El sistema de adquisición de voltaje, permite adaptarse sin cambiar su configuración física con cualquier CMC, debido a su ganancia externa que permite calibrar adecuadamente.

3. Implementación física del sistema de adquisición de voltaje

En la sección anterior se presentó el diseño del sistema de adquisición de voltaje, para validar que las etapas seleccionadas cumplen con lo deseado, se simula con el software PROTEUS, ya que este programa permite realizar pruebas de simulación con valores muy reales debido a que se utilizan los mismos componentes que se tienen de manera física y no con componentes ideales, así como también permite realizar el diseño electrónico para realizarlo en físico por medio de una tablilla fenólica. La Figura 2, presenta lo anterior mencionado para 4 canales.

Figura 2 Diseño de tarjeta de adquisición de voltaje en Proteus
Fuente: Elaboración Propia

Para el diseño electrónico se tomaron en cuenta consideraciones para que el mismo diseño ayude a la adquisición de los voltajes de manera más confiable, entre las cuales están:

– Plano de tierra que permite eliminar ruidos dispersos que genere rizos de voltaje.

ISSN: 2523-6881
ECORFAN® Todos los derechos reservados

– Capacitores de desacoplo en cada circuito integrado entre los voltajes de alimentación y la tierra.

– Elementos pasivos con tolerancia de 1% (precisión) para garantizar que los valores por cada canal sean lo más similar posibles.

La Figura 3, presenta el sistema físico para 16 canales en paralelo para CMC. La interfaz digital que se utiliza para la adquisición digital de los datos instrumentados es el ATMEGA256 de Arduino, ya que es una plataforma sencilla de utilizar, pero se utiliza principalmente por la cantidad de puertos análogos que tiene, ya que algunas plataformas digitales de señales que tienen mejor procesador tienen pocos puertos análogos en sus versiones comerciales.

Ya que los tiempos de adquisición de muestras por cada celda son alrededor de los 30 segundos, por tanto no es necesario tener un procesador muy elevado, ya que tampoco se utilizan operaciones complejas dentro del software.

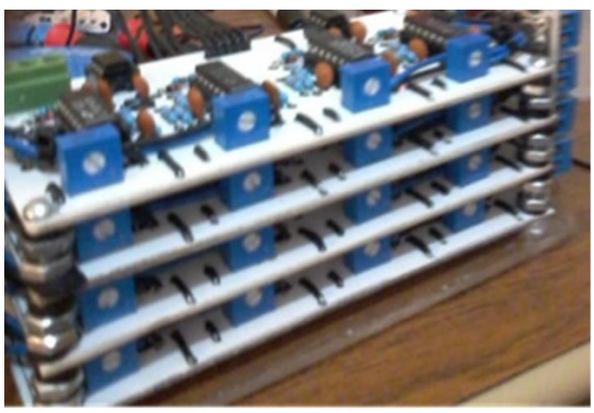

Figura 3 Sistema de adquisición de 16 canales
Fuente: Imagen Propia

Los tiempos de adquisición se toman en cuenta debido a que se requiere monitorear por semanas el sistema de las celdas, y la cantidad de datos sería considerable si se grabaran con mayor frecuencia. Los datos con el tiempo establecido por día son de 2880 por cada celda, estos datos están disponibles a cualquier tiempo.

La Figura 4, presenta la implementación física en el Instituto Tecnológico del Llano Aguascalientes, donde se tiene operando el sistema de adquisición de voltaje.

Figura 4 Sistema implementado en el Tenológico del Llano Aguascalientes
Fuente: Imagen Propia

4. Resultados

Incialmente se presenta los resultados que genera la CMC por si sola, de esta manera se tiene una referencia de medición junto con la conexión para alimentar un termómetro digital que funciona como una carga para la celda y de esa forma medir su voltaje y corriente.

Los valores del voltaje con respecto a la densidad de corriente que se genera en una de las celdas se presentan en la Figura 5.

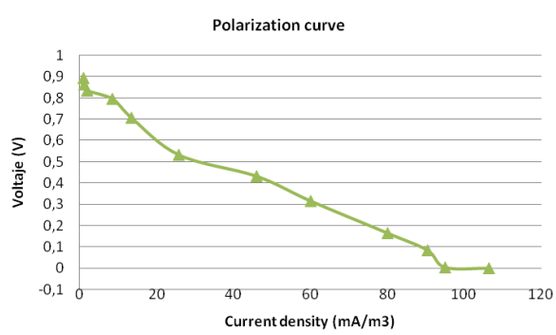

Figura 5 Curva de polarización de una CMC con base de plantas semidesérticas,
Fuente: Elaboración Propia

ECORFAN® Todos los derechos reservados

Los valores de la potencia con respecto a la densidad de corriente que se genera en una de las celdas se presentan en la Figura 6.

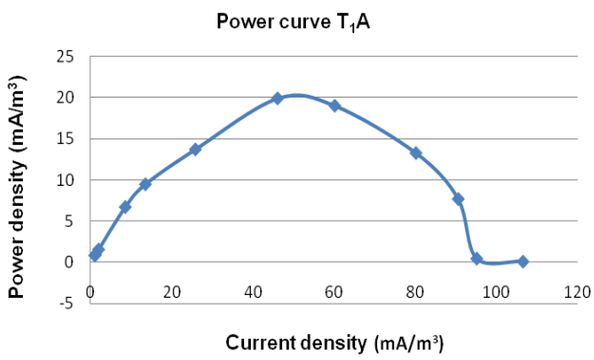

Figura 6 Curva de potencia de una CMC con base de plantas semidesérticas
Fuente: Elaboración Propia

Con el experimento de la curva de polarización y la curva de potencia, la celda alcanza una densidad de potencia máxima de 9.41 mW con una densidad de corriente de 100.1 mA cuando se tiene un voltaje de 0.094 V. Con conexiones en paralelo y serie entre celdas se pueden conectar cargas que requieran mayor potencia, como relojs digitales led.

El programa que se utiliza para adquisición de los datos por cada celda, monitorea en línea los valores de las 32 celdas (16 por cada programa y sistema de adquisición), al mismo tiempo permite realizar ajustes por software de ganancias (no sólo por hardware) y ajustar el tiempo de tomas de las muestras de voltajes para cada celda.

Al mismo tempo permite estar guardando los datos de manera automática y re-escribe los valores que se van actualizando, generando un archivo .txt con la información propiamente acomodada.

La Tabla 1, presenta la información de los primeros 8 canales de un sistema de adquisición de voltajes. Esta prueba que se presenta fue la calibración de 16 celdas conectadas en simultáneo para 20 muestras en un tiempo de 10 minutos de prueba.

Muestra	Voltajes por celdas (V)							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
0	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7
1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	0.7	0.7
2	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7
3	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.7
4	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.7
5	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.7
6	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.7
7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.7
8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.7
9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.7
10	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.8
11	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.8
12	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.8
13	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.8
14	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.8
15	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8
16	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8
17	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8
18	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8
19	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8
20	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8

Tabla 1 Datos adquiridos de los primeros 8 canales
Fuente: Elaboración Propia

5. Conclusiones

El sistema de adquisición de voltaje para CMC permite obtener los valores de datos que ayudan a saber el comportamiento de las celdas en tiempos prolongados. Esto permite seguir la investigación en esta línea de generación de energías limpias.

El sistema de adquisición de voltaje es una buena opción por su bajo costo y cantidad de canales en paralelo para monitorear sistemas, así como para guardar la información. Como trabajo a futuro se instrumentará la adquisición de corriente y poder generar curvas de polarización de voltaje y la curva de potencia de cada celda.

6. Referencias

Coughlin R. (2006), Amplificadores operacionales y circuitos integrados, PHH.

Dubey R., Kumar A., Pattanaik M. (2014), “Design of low noise low power biopotential tunable amplifier using voltaje controlled pseudo-resistor for biosignal acquisition applications”. 5th International Conference on Computing, Communications and Networking Technologies (ICCCNT), 1-5.

Franco S. (2005), Diseño con amplificadores operacionales y circuitos analógicos, MCGRAW-HILL.

ECORFAN® Todos los derechos reservados

Kamaraj S-K., Solorza O., Vázquez G., Luna J., Poggi H. (2012), "Electrical Stress-Directed Evolution of Biocatalysts Community Sampled from a Sodic-Saline Soil for Microbial Fuel Cells". Journal of New Materials for Electrochmical Systems, 15, 181-186.

Kamaraj S-K., Solorza O., Tapia J., Rinderkenecht S., Poggi H. (2013), "Electrochemical and Chemical Enrichment Methods of a Sodic-Saline Inoculum for Microbial Fuel Cells". International Journal of Hydrogen Energy, 38(28), 12600-12609.

Orguc S., Khurana H., Lee H., Chandrakasan A. (2017), "0.3V Ultra-low power sensor Interface for EMG". IEEE European Solid state Circuits Conference.

Schönle P., Rovere G., Glaser F., Brun N., Han X., Burger T., Fateh S. (2017), "A multi-sensor and parallel processing SoC for wearable and implantable telemetry system". IEEE European Solid state Circuits Conference. 215-218.

Tohidi M., Madsen J., Heck M., Moradi F. (2016), "A low-power analog front-end neural acquisition design for seizure detection". International Conference on very large scale integration. 1-6.

Wu C., Liao C., Lee D., Cheng Y., Huang C., Chen J., Hu K., Hsu K. (2018) "An FPGA-Based Quench Detector and Data Acquisition System for Superconducting Insertion Devices". IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 28(3).

Wang K., Qin W., Wang Y., Yi T., Hong Z. (2016) "A 5KS/s 112nW SAR ADC for portable Bio-potential acquisition system". IEEE International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology, 719-721.

Vargas C. y Aguilar A. (2018), El amplificador operacional, sus aplicaciones y análisis, Editorial Digital.

ECORFAN® Todos los derechos reservados