

Implementación de un inversor resonante aplicado a la obtención de películas delgadas de polipirrol bajo plasma-polimerización

Implementation of a resonant inverter applied to the production of polypyrrole thin films under plasma-polymerization

DOI: 10.46932/sfjdv3n2-046

Received in: February 15th, 2022

Accepted in: March 1st, 2022

Balderas Gutiérrez Juan Nabor

PhD in Environmental Sciences

Institución: Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco

Dirección: Km. 22, Carretera Tenango - La Marquesa, Santiago Tilapa, Santiago Tianguistenco
CP 52650 México. Contacto

Correo electrónico: nabor_mecatronica@test.edu.mx

Ibañez Olvera Mario

PhD in Electronics

Institución: Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco

Dirección: Km. 22, Carretera Tenango - La Marquesa, Santiago Tilapa, Santiago Tianguistenco
CP 52650 México. Contacto

Correo electrónico: mario_mecatronica@test.edu.mx

Jaramillo Sierra Bethsabet

PhD in Electronics

Institución: Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco

Dirección: Km. 22, Carretera Tenango - La Marquesa, Santiago Tilapa, Santiago Tianguistenco
CP 52650 México. Contacto

Correo electrónico: bethsabet.jaramillo@test.edu.mx

Hernández Arias Alma Neli

PhD in Electronics

Institución: Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco

Dirección: Km. 22, Carretera Tenango - La Marquesa, Santiago Tilapa, Santiago Tianguistenco
CP 52650 México. Contacto

Correo electrónico: almaneli.hernandez@test.edu.mx

Villanueva Castañeda Miguel

PhD in Environmental Sciences

Institución: Tecnológico de Toluca

Dirección: Av. Tecnológico s/n, colonia agrícola Bellavista, Metepec, estado de México, México
CP 52149

Correo electrónico: mvillanueva@toluca.tecnm.mx

RESUMEN

Se presenta el diseño e implementación de un convertidor elevador de voltaje en configuración puente completo, capaz de operar en modo resonante a diferentes frecuencias de trabajo y diferente topología de

reactor. El circuito de control del convertidor está constituido a partir del circuito integrado MC34067 capaz de operar a frecuencia de 2 MHz. Por otra parte, el incremento de voltaje se llevó a cabo mediante un transformador elevador con relación 1:20, el cual se implementó en un núcleo de ferrita para disminuir pérdida de energía y evitar la saturación del núcleo al trabajar a altas frecuencias. El objetivo primordial del trabajo fue generar las condiciones apropiadas para la generación de plasma de descarga luminiscente con la finalidad de sintetizar películas de polipirrol y polipirrol dopadas con yodo, dentro de un reactor cilíndrico tipo capacitivo de placas paralelas al vacío.

Palabras clave: inversor resonante, alta frecuencia, polimerización por plasma, películas delgadas.

ABSTRACT

The design and implementation of a voltage boost converter in full bridge configuration, capable of operating in resonant mode at different working frequencies and different reactor topology is presented. The control circuit of the converter is constituted from the MC34067 integrated circuit capable of operating at 2 MHz frequency. On the other hand, the voltage boost was carried out by means of a step-up transformer with 1:20 ratio, which was implemented in a ferrite core to reduce energy loss and avoid core saturation when working at high frequencies. The main objective of the work was to generate the appropriate conditions for the generation of luminescent discharge plasma in order to synthesize iodine-doped polypyrrole and polypyrrole films inside a cylindrical capacitive reactor with parallel plates under vacuum.

Keywords: resonant inverter, high frequency, plasma polymerization, thin films.

1 INTRODUCCIÓN

Los convertidores estáticos de semiconductores que permiten transformar una señal eléctrica de corriente continua (cc) a una señal eléctrica de corriente alterna (ca) con magnitud y frecuencia deseada mediante la conmutación apropiada de los interruptores que lo conforman son conocidos como inversores. Los convertidores resonantes son empleados ampliamente en aplicaciones tales como, convertidores de corriente continua a corriente continua (cc-cc), corriente continua a corriente alterna (cc-ca), equipos de tratamiento térmico por inducción, excitadores de lámparas de gas para iluminación, sistemas para ablación, entre otros, sin embargo, en diversas ocasiones existen pérdidas por conmutación, debido a que los pulsos de mando del sistema durante la transición ON-OFF de los interruptores no son controlados de forma apropiada lo que provoca que los pulsos se traslapen en el instante ON-OFF lo que provoca pérdidas por conmutación del sistema. En los convertidores estáticos de potencia la característica de conmutación suave permite trabajar con frecuencias superiores a los 100 KHz con alta eficiencia en el rendimiento del sistema, evitando así pérdidas por conmutación.

A partir de la conmutación adecuada de los interruptores que conforman el inverso se genera una forma de onda cuadrada a partir de una fuente de alimentación de corriente continua (cc), la cual es aplicada directamente al circuito resonante proporcionando a la salida una forma de onda próxima a una señal sinusoidal. El inversor al trabajar en modo cuasi-resonante produce señales de tensión y corrientes

oscilantes, dando como resultado, que los interruptores conmuten a voltaje cero (ZVS) o a corriente cero (ZCS) [1, 2]. Esta técnica garantiza el buen funcionamiento de los convertidores, dando como resultado una mejor transferencia de potencia entregada hacia la carga y mayor eficiencia del convertidor, debido a que entre los pulsos de disparo del circuito de control se presentan un tiempo de seguridad en el estado ON-OFF de los interruptores, que garantiza un tiempo de recuperación en la conmutación de cada uno de estos [1, 3].

Por otra parte, los convertidores estáticos de semiconductores en configuración puente completo al trabajar en modo cuasi-resonante se obtiene un elevado rendimiento al trabajar a alta frecuencia de conmutación. Este tipo de convertidores presenta a determinadas frecuencias propiedades interesantes al trabajar como fuente de voltaje, obteniendo una alta eficiencia en la transferencia de potencia hacia la carga (reactor). El análisis del convertidor permite identificar estos puntos de operación y, así mediante el estudio de sensibilidad de los componentes del tanque resonante, la robustez de su comportamiento. Empleando como punto de partida las propiedades deseadas de diseños se obtiene comportamiento estable sin que exista retroalimentación, o diseños retroalimentados con muy pocas variaciones en el punto de operación del sistema [2, 4].

Actualmente, el campo de la física de plasmas se ha expandido significativamente a un sinnúmero de aplicaciones como: la medicina, la química en el tratamiento de materiales poliméricos, tratamientos superficiales en el área de electrónica, mecánica, entre otros. Es por ello que actualmente la polimerización por plasma es una de las técnicas empleadas para producir películas poliméricas delgadas que se forman por reacciones químicas en fase gaseosa dentro de un medio inerte sin introducir algún componente químico oxidante al reactor [5–7].

La modificación de superficies con plasma de descarga luminiscente, es considerada una técnica de tratamiento efectiva y económica para diferentes materiales. Una de las principales ventajas de la modificación por plasma es que las propiedades de la superficie y la biocompatibilidad de los materiales puede aumentar selectivamente mientras que los materiales permanecen sin cambios significativos [9].

Por otra parte, una de las aplicaciones de suma importancia que se les ha dado a los sistemas generadores de plasma de descarga luminiscente ha sido al área de la medicina en el tratamiento de material quirúrgico, tratamiento de lesiones y diversas enfermedades de la piel, cicatrización de heridas, regeneración tisular y a una multitud de patologías con lo que se le ha reconocido como plasma medicinal [10]. La base científica de la medicina del plasma se establece fundamentalmente en los mecanismos de interacción del plasma directamente con células y tejidos vivos [11]. Sin embargo, existe la necesidad de realizar investigaciones precisas para minimizar el riesgo de daños a terceros y proporcionar un fundamento científico para las terapias médicas.

Hoy en día, las fuentes generadoras de plasma a medida que cumplen con los requisitos técnicos solicitados se han logrado los efectos requeridos lo que ha traído beneficios al evitar riesgos potenciales en el tratamiento de la piel, por tal motivo es necesario saber cómo poder controlar la composición de los componentes del plasma mediante parámetros de funcionamiento externo [8]. El presente trabajo muestra el diseño e implementación de un inversor en modo cuasi-resonante, capaz de generar descargas de plasma luminiscente para la obtención de películas delgadas de polipirrol y polipirrol dopadas con yodo.

2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

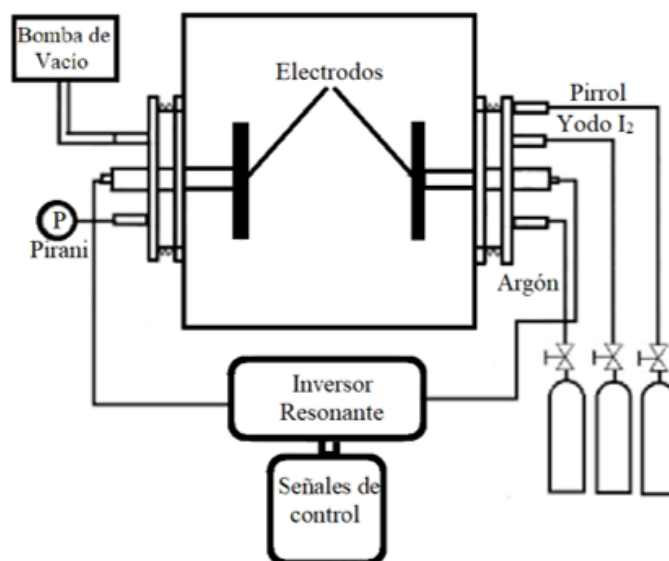
El funcionamiento adecuado del convertidor se logró mediante la técnica de conmutación a voltaje cero, gracias a que esta técnica permite establecer un tiempo de seguridad en el estado ON-OFF de cada uno de los interruptores (Transistores) que conforman el inversor. La etapa de control se diseñó e implemento a partir del circuito integrado MC34067 que posee la capacidad de entregar pulsos complementarios de voltaje con tiempos de seguridad ajustable y frecuencia variable. La topología del inversor en configuración puente completo permite que los interruptores MOSFET trabajen de forma complementaria, obteniendo así máxima transferencia de potencia hacia la carga RLC resonante. Cabe destacar que la carga del inversor está constituida a partir de un transformador elevador de voltaje con relación 1:20 el cual fue diseñado e implementado de forma adecuada tomando en consideración los parámetros requeridos en cuanto a frecuencia de operación y demanda de potencia requerida para la generación de películas delgadas de polipirrol y polipirrol dopadas con yodo. Se seleccionó la técnica de conmutación de cruce por cero con la finalidad de disminuir pérdidas de potencia por conmutación, por lo que se proponen los siguientes puntos:

- 1) El circuito integrado MC34067A se encarga de generar la secuencia de los pulsos de control complementarios para el control de los interruptores MOSFET, con tiempo de seguridad ajustable al cruce por voltaje cero según las especificaciones requeridas.
- 2) El circuito de control consta de dos circuitos complementarios los cuales activan y desactivan los transistores MOSFET conectados en la parte de conmutación superior del sistema (inversor), con lo que se evitan corrientes y/o voltajes inversos hacia el circuito central de control. Dichos circuitos constan de un transformador de impulsos que proporciona aislamiento galvánico a la compuerta de los transistores, con lo que se garantiza que los interruptores MOSFET no estén conectados al mismo punto de potencial eléctrico.

El inversor está constituido de cuatro transistores MOSFET los cuales son activados en forma complementaria para evitar corto circuito en el sistema.

El diagrama de bloques del sistema generador de plasma se muestra en la Figura 1, el cual está formado de un circuito generador de pulsos cuadrados complementarios utilizados en el control de los interruptores MOSFET que conforman el inversor en configuración puente completo trabajando en modo resonante, un reactor de geometría cúbica de acero inoxidable con un volumen igual a 3375 cm³ acoplado a una bomba mecánica rotatoria de paletas, utilizado para la generación de vacío. El interior del reactor está constituido de dos electrodos de acero inoxidable los cuales pueden ser ajustados a la distancia requerida con lo que se logra variar y ajustar la capacitancia del reactor. Los electrodos están eléctricamente conectados a las terminales del transformador elevador de voltaje, los cuales soportan la misma diferencia de potencial suministrada por la fuente, lo que conlleva a completar el ciclo de la onda sinusoidal presente en la carga.

Figura 1. Diagrama de bloques del sistema para la generación de películas delgadas.



3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para corroborar el funcionamiento adecuado de la generación de plasma en el sistema se efectuó un barrido de frecuencia a tensión de entrada fija " $V_{cd} = 30 V$ " logrando mantener una descarga estable en el reactor en un intervalo de frecuencia de 47 – 170 kHz, en un sistema al vacío. Cabe mencionar que la corriente de entrada se mantuvo estable a 180 mA durante el barrido de frecuencia, a una presión de vacío de $1.7 \times 10^2 \text{ torr}$, que fue medido con un sensor pirani. Las señales de voltaje V_p y corriente I_p en el secundario del transformador se muestran en la figura 2, en donde puede apreciarse que para un voltaje de salida de 400 V_{pico} , la demanda de corriente en la carga (reactor) fue de 100 mA_{pico} . La tabla 1,

muestra algunos valores medidos de voltaje y corriente de entrada de la fuente de corriente directa (V_{cd}) y los valores de voltaje y corriente de salida en corriente alterna (V_{ca}) durante la operación del reactor.

Figura 2. Señales de voltaje y corriente durante la descarga de plasma luminiscente.

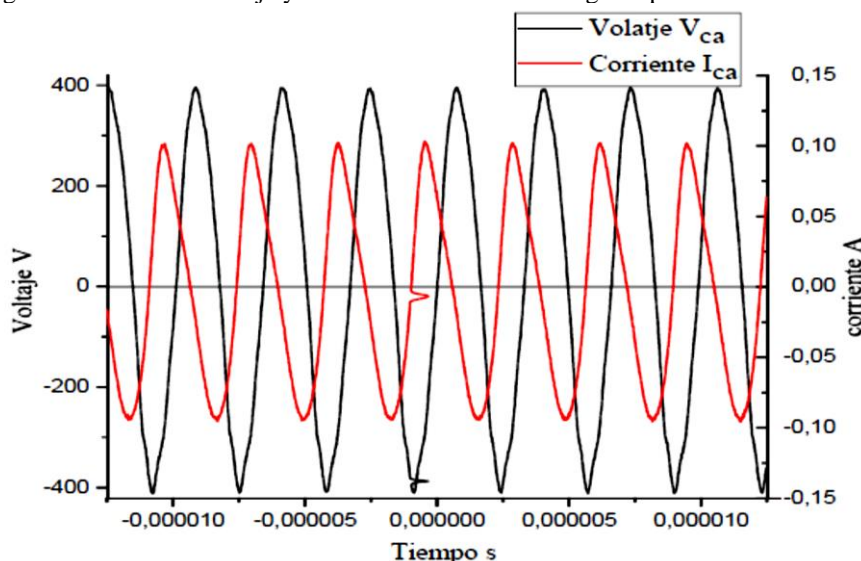
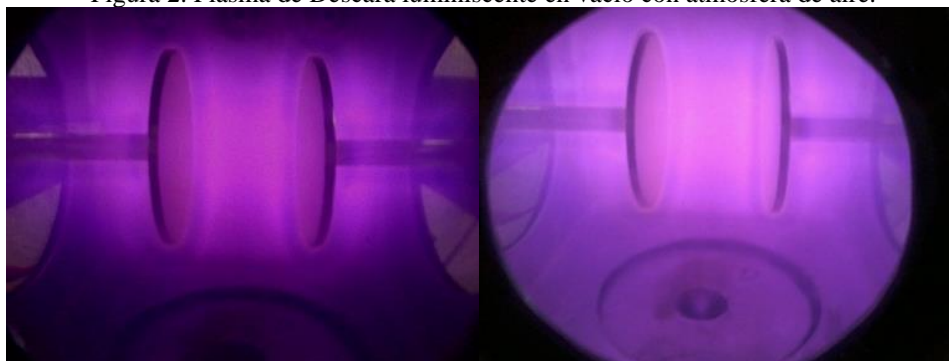


Tabla 1. Valores de V y I de entrada en c.d. y de salida en c.a. medidos en el secundario del transformador.

Fuente de alimentación V_{cd}	Fuente de alimentación I_{cd}	Secundario del transformador V_{ca}	Secundario del transformador I_{ca}
17.17 V	1.34 A	810 V	170 mA
20.02 V	1.96 A	830 V	174 mA
30 V	4.36 A	834 V	180 mA
35 V	5.47 A	850 V	192 mA

Por otra parte, se probaron diferentes topologías de reactor lo que demando un ajuste de frecuencia del sistema al valor requerido para cada topología y así estar lo más próximo a la frecuencia fundamental de resonancia. Se lograron obtener descargas de plasma homogéneo con diferentes valores de frecuencia, la figura 3a muestra una descarga de plasma con una frecuencia de 50 kHz, suministro de voltaje de 36.57 V_{cd} y una corriente de 0.37 A_{cd} , por otra parte, la figura 3b, muestra una descarga luminiscente a un valor de frecuencia 170 kHz, voltaje de entrada de 60.27 V_{cd} y una corriente de 0.74 A_{cd} , respectivamente. Cabe mencionar que los valores mínimos requerido para establecer una descarga luminiscente en vacío fue, voltaje $V_{in} = 7V_{cd}$ y corriente de $I_{in} = 0.045 A_{cd}$.

Figura 2. Plasma de Descara luminiscente en vacío con atmosfera de aire.



La obtención de las películas se realizó en una atmosfera de Argón con pureza del 99.997 % de la marca INFRA, con la finalidad de obtener un medio inerte libre de moléculas de aire o algún otro contaminante y dar un tratamiento a los electrodos antes de la obtención de las películas. Las películas de polipirrol se obtuvieron bajo los siguientes parámetros: voltaje de entrada en corriente directa de $V = 30 V_{cd}$, corriente de $I = 4.36 A_{cd}$, voltaje de salida pico de $V = 834 V_{ca}$ y una corriente pico de $I = 360 mA_{cap}$, tiempo de tratamiento de 140 min, 100 mL de pirrol y nivel de vacío de $1.7 \times 10^2 torr$. La figura 4 muestra los electrodos con las películas obtenidas.

Figura 4, Películas de pirrol adheridas a los electrodos.



Las películas se retiraron de los electrodos sumergiéndolos en agua destilada durante 160 min, posteriormente se guardaron en cajas de petri herméticamente selladas para evitar su contaminación. La conductividad eléctrica de las películas se calculó midiendo la resistencia volumétrica mediante un dispositivo de placas paralelas con electrodos de cobre, eliminando la influencia de la humedad al variar la temperatura en el intervalo de 20-100 °C, con un multímetro estándar MUL-605. Las películas de PPy/I sintetizadas con plasma presentaron un incremento de conductividad eléctrica entre $5 \times 10^{-9} - 5 \times 10^{-8} S/cm$ a partir de 60° C, manteniendo este incremento al aumentar la temperatura, sugiriendo

un comportamiento propio de materiales semiconductores, con energía de activación igual a 1.58 eV. Pudo corroborarse que las películas obtenidas bajo esta técnica poseen propiedades de conductividad eléctrica y mas aun cuando se someten a un tratamiento de dopaje.

4 CONCLUSIONES

Se diseñó e implemento una fuente de alto voltaje capaz de generar plasma de descarga luminiscente, el cual está soportado por el circuito de control MC34067A generador de pulsos complementarios, que a partir de circuitos pasivos externos posee la capacidad de generar un tiempo de seguridad entre cada pulso de disparo, lo que garantiza la conmutación de los interruptores a voltaje cero, logrando así disminuir pérdidas de potencia por conmutación. Para asegurar la conmutación de los pulsos de disparo a la compuerta de los transistores MOSFET, las señales se acoplaron a circuitos reforzadores en corriente TC 4422, que soportan un pico de corriente de hasta 9 A al encendido de los interruptores y mantienen una corriente constante de 2 A en operación. El inversor implementado en esta investigación tiene la capacidad de operar de manera apropiada en un rango de frecuencia de (47 – 650 kHz).

La obtención de las películas se realizó dentro de un reactor de geometría cilíndrica a presión reducida del orden de 1.7×10^2 torr, a partir de la introducción del monómero pirrol en fase vapor, el cual es polimerizado por la descarga luminiscente formada entre los electrodos del reactor para la obtención de las películas. Pudo observarse que el incremento del tamaño y grosor de las películas depende de: la cantidad de reactivo suministrado al reactor, tiempo de tratamiento, voltaje y corriente de trabajo y frecuencia de operación.

El modelo capacitivo del reactor y los electrodos deslizantes conectado en paralelo permiten variar la distancia entre ellos y así la capacitancia del sistema, con lo que se consigue trabajar a frecuencias diferentes y con diferente topología de reactor.

REFERENCIAS

- [1] N. Mohan, T.M. Undeland y W.P. Robbins, (1995), "Power Electronics. Converters, Applications and Design", 2da ed., John Wiley & Sons, Inc.
- [2] J.G. Kassakian, M.F. Schlecht y G.C. Verghese, "Principles of Power Electronics", Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1992.
- [3]. Muhammad H. Rashid. (1995). "Electrónica de potencia, circuitos, dispositivos y aplicaciones", 2da ed, Prentice Hall.
- [4] R.W. Erikson, "Fundamentals of Power Electronics", Kluwer Academic Publishers KAP, 1997.
- [5] F. G. Ince, S. Sen, Z. Ozbek, H. Gokas, M. E. Ozer, R. Capan. "Fabrication of plasma polymerized polythiophene and polypyrrole thin films as chloroform vapor sensor", Journals of Optoelectronics and Advanced Materials. Vol 11, No. 9, pp. 1182 – 1185, 2009.
- [6] G.J. Cruz, J. Morales, R. Olayo. "Films obtained by plasma polymerization of pyrrole", Thin Solid Films 342, pp. 119-126. 1999.
- [7] B. Paosawatyanong, K. Tapaneeyakorn, W. Bhanthumnavin, "AC plasma polymerization of pyrrole", Surface & Coatings Technology No. 204, pp. 3069 – 3072, 2010.
- [8] Weltmann DK, Von Woedtke T. "Basic requirements for plasma sources in medicine", Eur Phys J Appl Phys, No. 55: pp. 13807, 2011.
- [9] Chu P. K, Chen J. Y, Wang L. P, "Plasma-surface modification of biomaterials", Mat Sci Enging R Reports; No. 36, pp. 143 – 206, 2002.
- [10] Fridman G, Fridman G, Gutsol A, "Applied plasma medicine", Plasma Process Polymer No. 5: pp. 503 – 533, 2008.
- [11] Laroussi M. "Low-temperature plasmas for medicine", "IEEE T Plasma Sci No. 6, pp. 714 – 724, 2009.