

Fig. 8. Pulso de activación del IGBT inferior (amarillo), tensión rectificadora de salida del condensador de desacople (azul), corriente en la carga (rosado) y tensión de salida del comparador analógico. a) En vacío. b) Con recipiente de aluminio.

En cuanto a las figura 9 a) y b), se presentan los resultados obtenidos para recipientes de hierro y acero. Se puede observar la gran similitud en las formas de onda, las pequeñas variaciones existentes son producto de la geometría de los recipientes. Es concluyente que ambos menajes poseen características ferromagnéticas semejantes, el número de pulsos es de 2, pues posee un mayor amortiguamiento la envolvente de la componente oscilatoria que en los casos anteriores. En cuanto al tiempo del primer pulso del comparador es de 29 µs y 30 µs para el hierro y acero, respectivamente.

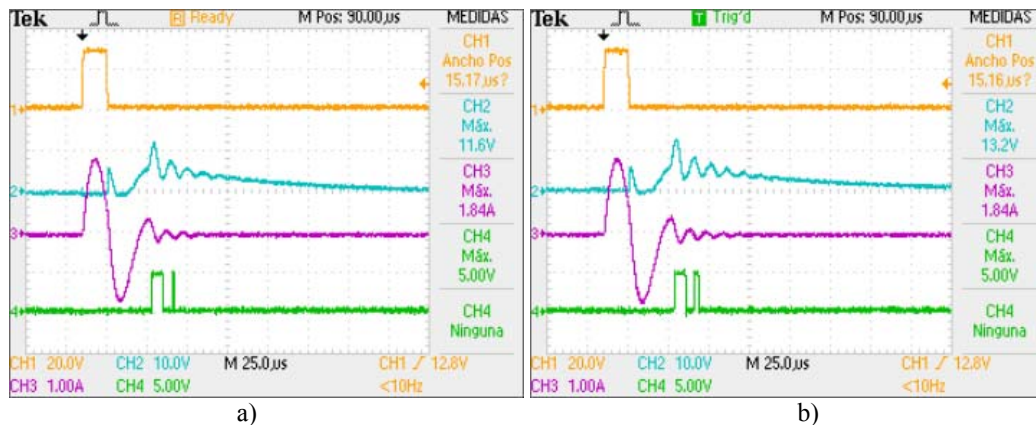


Fig. 9. Pulso de activación del IGBT inferior (amarillo), tensión rectificadora de salida del condensador de desacople (azul), corriente en la carga (rosado) y tensión de salida del comparador analógico. a) Con recipiente de hierro. b) Con recipiente de acero.

La figura 10, recoge los resultados alcanzados para el recipiente de aluminio con fondo ferromagnético empotrado. Se observa como existe una fusión entre las formas de onda de los materiales ferromagnéticos y el aluminio. El número de pulsos en este caso es de 4, con un tiempo para el primer pulso de 22 µs.

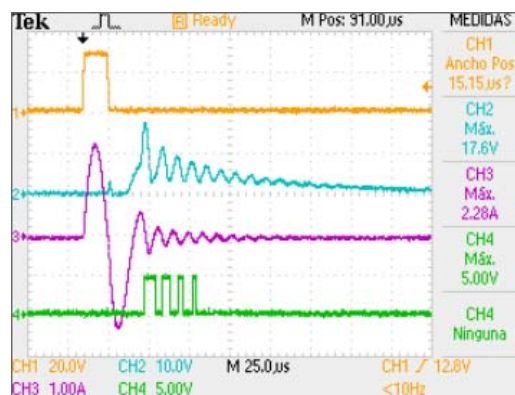


Fig. 10. Pulso de activación del IGBT inferior (amarillo), tensión rectificadora de salida del condensador de desacople (azul), corriente en la carga (rosado) y tensión de salida del comparador analógico, con recipiente de aluminio con fondo ferromagnético empotrado.

Según los resultados obtenidos, para realizar una correcta identificación de los recipientes, los materiales ferromagnéticos deben cumplir con la condición de un número de pulsos menor que 5, y el tiempo en que demora en ocurrir el primer pulso de la respuesta natural mayor a 20 μ s. Esto es definido por software en el algoritmo de detección e identificación de menaje. De esta manera queda definido que los recipientes de acero ferromagnético, hierro y el de fondo empotrado, son los adecuados para su funcionamiento en cocinas de inducción electromagnética.

CONCLUSIONES

Por los resultados obtenidos en este trabajo se concluye que la cocina de inducción debe verse como un sistema inductor recipiente, por la influencia que poseen las características de los materiales con los que está fabricado este último elemento, sobre el sistema electrónico de potencia. El método de respuesta libre en el dominio del tiempo ante un estímulo en el inversor, posee resultados óptimos para la identificación de recipientes ferromagnéticos y baja complejidad de implementación comparado con el método de medición de la magnitud de la corriente en alta frecuencia. A partir del sistema implementado de identificación de recipiente, es posible lograr una selección exacta del menaje colocado en la cocina, a través de la configuración de los parámetros: número de pulsos y tiempo del primer pulso de la respuesta natural. Estos parámetros pueden ser empleados en un prototipo comercial para rechazar el funcionamiento de la cocina cuando sean colocados recipientes de aluminio, cobre u otros que no presenten características que garanticen la operación segura de la cocina previniendo fallas de los semiconductores de potencia.

REFERENCIAS

- [1] S. R. GHUGE a M. R. RODA. Summary Of Overall Topologies Of An Induction Cooker For Home Use (298). 2015 *International Conference on Energy Systems and Applications* [online]. 2015, 655–657. Disponible z: doi:10.1109/ICESA.2015.7503431
- [2] B. SALVATIERRA, K. COYAGO, D. CHACÓN a J. P. INGA. Inverter resonant control by modified SPWM and trapezoidal modulation for induction cooking. 2016 *IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC)* [online]. 2016, 1–6. Disponible z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7830599>
- [3] Q. HU, W. CHEN, T. HUANG a Q. CHEN. The analysis of near-field magnetic leakage on the domestic induction cooker. 2014 *International Power Electronics and Application Conference and Exposition* [online]. 2014, 605–608. Disponible z: doi:10.1109/PEAC.2014.7037925
- [4] W. C. MORELAND. The Induction Range: Its Performance and Its Development Problems. *IEEE Transactions on Industry Applications* [online]. 1973, **IA-9**(1), 81–85. ISSN 0093-9994. Disponible z: doi:10.1109/TIA.1973.349892
- [5] M. E. TULU a D. YILDIRIM. Induction cooker design with quasi resonant topology using jitter drive method. 2013 *12th International Conference on Environment and Electrical Engineering* [online]. 2013, 1–6. Disponible z: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6549590>
- [6] D. S. KIM, J. Y. SO a D. K. KIM. Study on Heating Performance Improvement of Practical Induction Heating Rice Cooker with Magnetic Flux Concentrator. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity* [online]. 2016, **26**(4), 1–4. ISSN 1051-8223. Disponible z: doi:10.1109/TASC.2016.2540650
- [7] A. AMRHEIN a J. S. J. LAI. A Transformer-Coupled, Series-Resonant Topology for the Induction Heating of Aluminum Cookware. 2015 *9th International Conference on Power Electronics and ECCE Asia (ICPE-ECCE Asia)* [online]. 2015, 1234–1239. ISSN 2150-6078. Disponible z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7167938>
- [8] J. ACERO, O. LUCIA, I. MILLAN, L. A. BARRAGAN, J. M. BURDÍO a R. ALONSO. Identification of the material properties used in domestic induction heating appliances for system-level simulation and design purposes. 2010 *Twenty-Fifth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)* [online]. 2010, 439–443. ISSN 1048-2334. Disponible z: doi:10.1109/APEC.2010.5433634
- [9] FRANCOIS, Forest, Labouré ERIC, Costa FRANCOIS a Gaspard JEAN YVES. Principle of a multi-load/single converter system for low power induction heating. *IEEE*. 2000. Disponible z: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=838094>
- [10] L. MENG, K. W. E. CHENG a K. W. CHAN. Systematic Approach to High-Power and Energy-Efficient Industrial Induction Cooker System: Circuit Design, Control Strategy, and Prototype Evaluation. *IEEE Transactions on Power Electronics* [online]. 2011, **26**(12), 3754–3765. ISSN 0885-8993. Disponible z: doi:10.1109/TPEL.2011.2165082
- [11] T. TANAKA. A new induction cooking range for heating any kind of metal vessels. *IEEE Transactions on Consumer Electronics* [online]. 1989, **35**(3), 635–641. ISSN 0098-3063. Disponible z: doi:10.1109/30.44329
- [12] SEMICONDUCTOR, ON. *AND9201/D. The Effect of Pan Material in an Induction Cooker*. 2015. Disponible z: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKewiAno3L-6LhAhUBc60KHbguCBUQFjABegQIChAE&url=http%3A%2F%2Fwww.onsemi.com%2Fpub%2FCollateral%2FAND9201-D.PDF&usq=AOvVaw0HLLntWN200Qh4ZHcX_DqA
- [13] A. M. G. Menéndez, Y. R. Domínguez, and A. F. Correa, “Diseño e implementación de un inversor medio puente y su control para aplicación en calentamiento por inducción electromagnética,” in *XVIII Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura*, 2016. Disponible z: https://www.researchgate.net/publication/320086646_DISENO_E_IMPLEMENTACION_DE_UN_INVERSOR_MEDIO_PUENTE_Y_SU_CONTROL_PARA_APLICACION_EN_CALENTAMIENTO_POR_INDUCCION_ELECTROMAGNETICA