

Calentador por inducción

Clave de proyecto: CIN2012A20177

Colegio Carol Baur

Autores:

Tania Alejandra Núñez Goya

Manuel Mejía Garza

Asesor:

Jorge Alberto Limón Jiménez

Área de conocimiento: Ciencias Fisicomatemáticas y de las Ingenierías

Disciplina: Física

Tipo de investigación: Experimental

Modalidad: cartel

Naucalpan, Mex., a 9 de febrero de 2013



1. RESUMEN

La siguiente investigación de carácter experimental se centra en el desarrollo de un calentador aprovechando la electricidad, mediante el fenómeno de inducción electromagnética. La elección del proyecto fue motivada por la posibilidad de generar energía de una manera más económica y que produjera menor contaminación.

Para la realización del proyecto primero se llevó a cabo una planeación indicando actividades y fechas estimadas. El proyecto dio inicio con varias sesiones teóricas, además de una investigación previa, tanto bibliográfica como en Internet, para conocer alcances y limitaciones de la propuesta planteada y determinar qué componentes se requerían para la construcción de un dispositivo que produjese calor mediante inducción.

Se eligió uno de los diagramas consultados por su aparente sencillez. Se consiguieron los materiales y se procedió a la construcción del circuito, efectuando diversas pruebas y mediciones. Las conclusiones reflejan el esfuerzo realizado durante el proceso de trabajo.

The following experimental design research focuses on the development of an induction heater, through the use of electricity generated by electromagnetic induction. The choice of this project was motivated by the possibility of generating a more economical type of energy that could produce less pollution.

The Project stages are mentioned as follows:

1. Planning, where dates and activities were estimated.
2. Theoretical sessions.
3. Review of the literature from varied sources, both online and books.
4. This led to the understanding of the problem and its limitations.



5. Deciding on the question.
6. Designing of the experiment.
7. The decision-making process for the necessary components for the construction of the heating induction device.

One of the researched diagrams that were consulted was chosen due to its apparent simple design. Then, the circuit was constructed and a series of tests and measurements were conducted. The conclusions reflect the efforts gone through during the working process.

2. INTRODUCCIÓN

a) PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La sociedad actual se caracteriza por su desmedido consumo de energía. La problemática no reside únicamente en la obtención de esta, sino en los efectos colaterales asociados a los procedimientos empleados. Prácticamente en la mayoría de los hogares de las grandes urbes se suministra electricidad, sin embargo para calentar el agua se sigue quemando gas. Del mismo modo, las plantas termoeléctricas queman combustible arrojando contaminantes a la atmósfera. La pregunta que nos hacemos es la siguiente.

¿Es factible obtener calor aprovechable a partir de un bajo consumo de electricidad?

b) HIPÓTESIS

El calentamiento por inducción genera calor aprovechable, continuo, rápido y no contribuye al calentamiento global al evitar la producción de gases de efecto invernadero.



c) SÍNTESIS DEL SUSTENTO TEÓRICO

Una corriente eléctrica se genera mediante un conductor que tiene un movimiento relativo respecto a un campo magnético. Una bobina giratoria en un campo magnético induce una fuerza electromotriz alterna, la cual origina una corriente alterna. Este proceso es conocido como inducción electromagnética y es el principio de operación en el cual se basan muchos dispositivos eléctricos.

El calentamiento por inducción es un método de obtención de calor. Este método permite que el calor sea obtenido de manera rápida y continua. El proceso de calentamiento se basa en la utilización de corrientes eléctricas que inducen un campo magnético.

3. OBJETIVO GENERAL

Construir un calentador por inducción para usarlo como método de obtención de calor más económico que los medios tradicionales, eficaz y que produzca menos contaminación.

4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Construir un calentador de inducción.
- b) Buscar una aplicación alternativa al dispositivo construido.

5. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

a) ANTECEDENTES DEL ELECTROMAGNETISMO

Michael Faraday descubrió la inducción magnética en 1830, es decir, que un campo magnético variable podía generar una diferencia de potencial en un conductor, lo suficientemente fuerte para producir una corriente eléctrica. La inducción magnética es uno de los principios fundamentales sobre los que está basada nuestra tecnología.



La Ley de Inducción de Faraday, en su forma cualitativa, establece lo siguiente: *Una diferencia de potencial se induce en un bucle cuando el número de líneas de campo magnético que pasan por él cambia con el tiempo.*

Una corriente eléctrica se genera mediante un conductor que tiene un movimiento relativo respecto a un campo magnético. Una bobina giratoria en un campo magnético induce una fuerza electromotriz alterna, la cual origina una corriente alterna. Este proceso es conocido como inducción electromagnética y es el principio de operación en el cual se basan muchos dispositivos eléctricos.

b) CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN

El calentamiento por inducción es un método de obtención de calor. Este método permite que el calor sea obtenido de manera rápida y continua. El proceso de calentamiento se basa en la utilización de corrientes eléctricas que inducen un campo magnético.

En los hornos de inducción el material que se ha de calentar actúa como resistencia. La corriente se desarrolla por inducción en el material de carga. Los hornos de inducción actúan como transformadores en cortocircuito, donde la carga del horno representa el devanado de salida del transformador en cortocircuito.

Se distingue entre hornos de baja frecuencia (50 Hz) y hornos de frecuencia media (0.5-10 Hz). Para el montaje de hornos de frecuencia media son necesarios transformadores de frecuencia. Los hornos de fusión en crisol trabajan con bajas frecuencias cuando son construidos para la fusión de aleaciones de metales no férricos y con frecuencias medias para la fusión del hierro. La desventaja de estos hornos es que contienen bobinas. Por esta razón su grado de rendimiento y su factor de potencia son pequeños.



Los diodos de potencia juegan un papel importante en los circuitos electrónicos de potencia para la conversión de energía eléctrica.

c) EL DIODO

El diodo es un dispositivo que pertenece a la categoría de semiconductores. Se construyen de silicio o germanio, materiales no conductores a los cuales se les agregan impureza para formar dos regiones, llamadas tipo P y tipo N. Esta juntura da al diodo la característica de semiconductor. Un diodo funciona como un interruptor que efectúa diversas funciones y esencialmente permite el paso de la corriente en un sentido pero no hacia el otro. En la mayor parte de las aplicaciones se puede suponer que los diodos de potencia son interruptores ideales, pero las características de los diodos prácticos difieren de los ideales y tienen ciertas limitaciones. Los diodos de potencia tienen mayores capacidades de manejo de potencia, voltaje y corriente que las de los diodos ordinarios de señal. La respuesta a la frecuencia es baja, en comparación con la de los diodos señal.

Mediante un arreglo de diodos en serie es posible aumentar el límite de voltaje inverso de ruptura. Un arreglo de diodos en paralelo permite un manejo de corrientes mayores.

d) EL CONDENSADOR

Un capacitor es un dispositivo diseñado para almacenar carga eléctrica. Esto se ve cuando se dice que el aumento de potencial V es directamente proporcional a la carga Q que soporta el conductor. Por lo tanto, la razón de la cantidad de carga Q al potencial V producido será constante para un conductor específico. Esa razón refleja la capacidad del conductor para almacenar carga y se llama su capacitancia (C).

La unidad de la capacitancia es el coulomb por volt, es decir, el farad (F). Por consiguiente, si un conductor tiene una capacitancia de un farad, la transferencia de un coulomb de carga al conductor elevará su potencial un volt.



La capacitancia equivalente de un arreglo de capacitores en paralelo será la suma de las capacitancias:

$$C_e = C_1 + C_2 + C_3 \dots$$

En cambio, cuando se conectan en serie, la capacitancia equivalente será la suma de los inversos:

$$1/C_e = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 \dots$$

Es importante hacer notar que el condensador adelanta la fase de la corriente respecto al voltaje.

e) EL RESISTOR

La resistencia eléctrica de un material o componente se define como el cociente entre la tensión continua aplicada y la intensidad de corriente que circula por ella, de acuerdo con la ley de Ohm. Si la tensión aplicada es alterna, se define entonces como la parte real del cociente entre tensión y corriente. El primer hecho importante es que, en general, la resistencia en corriente continua difiere de la resistencia en corriente alterna. En la segunda situación, la resistencia decrece al aumentar la frecuencia. En cualquier caso, la resistencia eléctrica de una material o componente determina la parte de energía eléctrica que se convierte en energía térmica al circular por él una corriente eléctrica.

La resistencia equivalente de un circuito en serie se obtiene mediante la suma de todas las resistencias:

$$R_e = R_1 + R_2 + R_3 \dots$$

Para un circuito en paralelo la resistencia equivalente será la suma de los inversos:

$$1/R_e = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 \dots$$



f) EL INDUCTOR

Consiste en una espira o bobina de alambre, arrollada en un núcleo de algún tipo de material, que puede ser incluso aire. En un inductor la razón de cambio de la corriente respecto al tiempo es proporcional a la fem inducida. La constante de proporcionalidad recibe el nombre de inductancia (L) y su valor se mide en henry (H).

Al contrario del condensador, el inductor retrasa la fase de la corriente respecto al voltaje. En un circuito LC la combinación de la reactancia inductiva con la reactancia capacitiva arrojará el siguiente valor para la frecuencia de resonancia:

$$f_r = 1/2\pi\sqrt{LC}$$

g) EL TRANSISTOR

El transistor sigue el principio de los diodos, pues está constituido por tres junturas, bien sea un material tipo P entre dos materiales tipo N (transistor NPN), o de un material N entre dos materiales P (PNP). Las dos principales aplicaciones de los transistores se dan en circuitos analógicos y digitales.

En el primer caso, el transistor se polariza dentro de cierto rango, de tal modo que una señal, por ejemplo de audio, alimentada por la base, por efectos de amplificación propios del dispositivo, se recibe amplificada en el colector. Este tipo de circuitos se encuentra en los amplificadores de sonido de los hogares.

En el caso de los circuitos digitales, el transistor funciona en rangos extremos, llamados *corte* y *saturación*, de tal modo que el estado de corte es una ausencia de voltaje (un "cero" binario) mientras que el estado de saturación presenta un voltaje (un "uno" binario).



De lo anterior se desprende que los transistores han impuesto su primacía como componentes activos para la amplificación de pequeñas señales y para el control y mando de corrientes elevadas. Los transistores son de dimensiones reducidas, de funcionamiento seguro y no precisan corriente calefactora como era el caso de su precursor, la válvula de vacío. En el transistor, la tensión de la señal de control se aplica a la unión emisor-base o bien puerta-surtidor. La corriente de salida bajo control circula entre emisor y colector, o entre surtidor y drenador. Por tanto, hay tres montajes o configuraciones básicos posibles, según a qué conexión se aplique el conductor de referencia común. En el transistor normal, las tres configuraciones fundamentales reciben los nombres de montaje de emisor común, de base común o de colector común.

Los transistores empleados en este proyecto son del tipo MOSFET (metal-oxide-semiconductor field-effect transistor), los cuales se pueden emplear para amplificación de señales o para circuitos de control.

h) CIRCUITO RLC

En un circuito RLC en serie de CA, la suma de la resistencia, la reactancia capacitiva y la reactancia inductiva es una suma vectorial y recibe el nombre de impedancia. La reactancia capacitiva se obtiene mediante:

$$X_C = 2\pi fC$$

La reactancia inductiva se obtiene mediante:

$$X_L = 1/2\pi fL$$

El cálculo de la impedancia se lleva a cabo mediante el teorema de Pitágoras:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

La diferencia entre las reactancias hace referencia al adelanto o retraso de la fase.



6. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Primero se estableció el tema a investigar partiendo de las inquietudes y propuestas del equipo de trabajo, para proceder a elaborar la planeación previa al desarrollo del proyecto, estimando un calendario de trabajo y las actividades a desarrollar.

Se programaron tres sesiones iniciales con el profesor asesor para estudiar los aspectos teóricos relacionados con el proyecto:

- Relación entre corriente y voltaje, CA y CD.
- Circuitos resistivos y la ley de Ohm.
- Capacitancia, cómo está construido el capacitor, factores que inciden en su capacitancia, capacitancia equivalente de un banco de capacitores.
- Inductancia, qué es una bobina y cómo afecta a la corriente. Conceptos básicos sobre transformadores e inducción electromagnética.
- Diodos: el concepto básico del diodo, cómo está constituido y cuál es su función.
- Circuitos RLC de CA, conceptos de reactancia inductiva, reactancia capacitiva e impedancia, ángulo de fase.
- Se realizó una pequeña consulta bibliográfica sobre transistores.

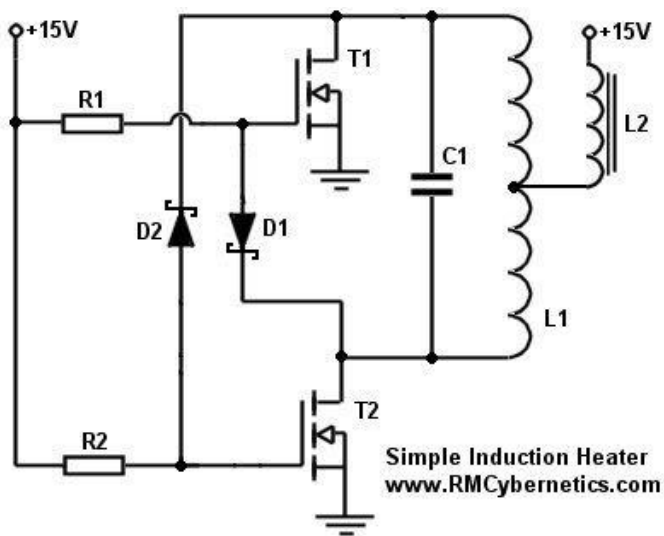
Se realizó una investigación en Internet para revisar los aspectos esenciales de calentadores de inducción. Una vez elegida una propuesta de calentador de inducción procedimos a la adquisición de los materiales necesarios para la construcción del prototipo.

- R1, R2: resistencias de 240 Ω @ 1 watt
- C1: 8 capacitores de 330 nF @ 640 volts
- D1, D2: diodos 1N4007
- T1, T2: transistores STP30NF10



- 2 disipadores de calor
- 2 m de tubo de cobre
- 10 m de alambre magneto del 14
- 3 m manguera plástico o látex
- 1 bomba de agua

Para el circuito se eligió la siguiente propuesta:



C1 se construyó conformando un banco de ocho capacitores en paralelo (figura 1). La capacitancia ideal efectuando la suma sería de $2.64 \mu\text{F}$, sin embargo la medición efectuada empleando un multímetro RLC arrojó un valor de $2.35 \mu\text{F}$. Los capacitores se fijaron a la bobina L1 mediante abrazaderas de manguera y se verificó que no hubiera falsos contactos.





Figura 1. Capacitores en paralelo.

La bobina L1 se construyó con 4 espiras de tubo de cobre para conexiones de gas, a partir de dos secciones de dos espiras cada una (figura 2). Se empleó un doblador y un cortador de tubo y se pudo constatar que se requiere habilidad para lograr doblar el tubo sin dañarlo (figura 3). El valor medido de inductancia fue de $16 \mu\text{H}$ (figura 4).

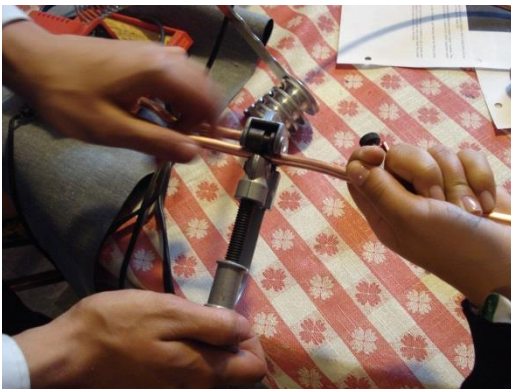


Figura 2. El doblado del tubo se lleva a cabo con herramientas especiales.





Figura 3. Dentro de la bobina L1 se introducen los materiales a calentar.



Figura 4. Inductancia de la bobina L1.

Con estos valores, la frecuencia de resonancia calculada para el circuito sería, en teoría, de 25.9 KHz. De acuerdo a la investigación realizada en Internet, los calentadores de inducción típicos usan frecuencias en un rango de 10 KHz a 1 MHz.

La bobina L2 se construyó con alambre magneto calibre 16 empleando como núcleo un tornillo grueso de 5.5 cm de largo, pero el arrollamiento ocupó una longitud de 3.5 cm (figura 5). La inductancia medida de esta bobina fue de 232 μ H y su propósito es crear un campo de CA a partir



de una fuente de CD y los dos transistores. Un extremo de la bobina L2 se conecta a la fuente y el otro al centro de la bobina L1, el cual se dirige a tierra de manera alternada mediante los transistores, de modo que la corriente fluya en ambos sentidos.



Figura 5. Bobina L2.

Debido a que la soldadura de estaño no servía para el tubo de cobre, se emplearon abrazaderas de manguera para hacer las sujeciones necesarias (figura 6).

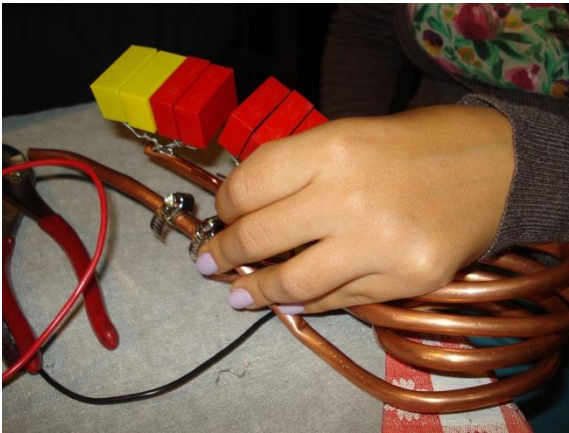


Figura 6. Se verificó la continuidad en el circuito tras colocar las abrazaderas de manguera.



Por último, se empleó una fuente de poder regulada de CD de 13.8 V, con capacidad de 10 A.

7. RESULTADOS OBTENIDOS

En la primera prueba los transistores se sobrecalentaron y el circuito no funcionó. Como se había soldado el circuito sobre una tarjeta de circuito impreso (figura 7), fue necesario adquirir otros componentes en previsión de que se hubieran dañado los originales, y esta vez se armó sobre una tarjeta para proyectos (figura 8).

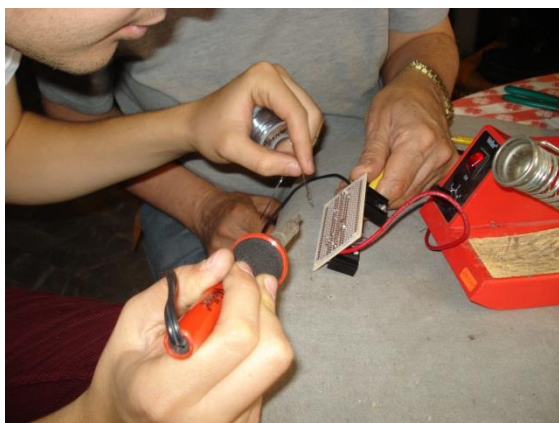


Figura 7. El primer circuito se soldó en una tarjeta de circuito impreso. Dada la poca experiencia y el mínimo tamaño entre pistas, fue necesario revisar con una lupa que la soldadura no dejase corto circuitos.



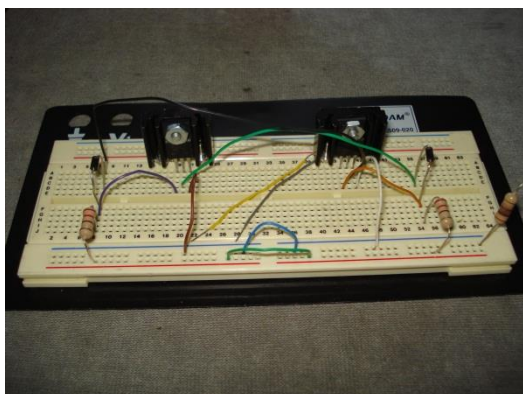


Figura 8. El circuito armado sobre una *protoboard* resultó más sencillo de verificar.

Nuevamente el circuito no funcionó y una de las resistencias se sobrecalentó. Se verificó que no hubieran corto circuitos ni segmentos abiertos que no estuviesen haciendo contacto, lo mismo mediante inspección visual que con ayuda de un multímetro. Finalmente se detectó un error grave en el alambrado de los transistores.

Se corrigió la conexión y se observó que el circuito entregaba muy bajo voltaje en la compuerta de uno de los transistores, pero nada en la compuerta del otro. Se revisaron las conexiones una vez más y al no detectar ningún error supusimos que nuevamente se habían dañado los componentes.

En este momento llegó el tiempo de efectuar la redacción de este reporte. El paso siguiente es adquirir una vez más otro par de transistores y efectuar una nueva prueba.

Debido a que hasta el momento no ha funcionado el circuito, no ha sido posible medir el voltaje entregado ni la frecuencia de resonancia para compararla con el valor calculado, ya que contamos con un osciloscopio para poder hacer esto último.



8. Conclusiones y planteamientos

Teóricamente no hay razón por la cual el circuito no llegue a funcionar (figura 9). Es un sencillo oscilador que no debe presentar mayores dificultades. Debido a que el circuito resonante se asemeja al secundario de un transformador en corto circuito, es posible, sin embargo, que la fuente de poder con la que se cuenta no logre entregar la corriente requerida y eso hace caer la tensión, provocando que el circuito no se accione, independientemente de que los transistores pudieran estar dañados o no.

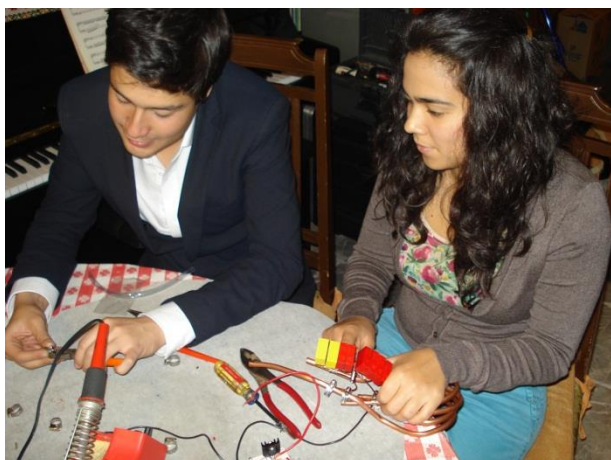


Figura 9. Integración del calentador de inducción.

Debido a que se estimaba un gran calentamiento en la bobina L1, se adquirió un tramo de manguera para hacer circular agua por el interior. Si bien el fluido actuaría como refrigerante, la propuesta de nuestro proyecto tiene contemplado emplear dicha bobina como un calentador de agua, aprovechando precisamente el refrigerante.

En la investigación realizada apreciamos un video que muestra cómo un objeto ferromagnético se pone al rojo vivo en unos cuantos segundos al introducirse dentro de la bobina, por lo cual nuestra segunda propuesta va dirigida a emplear el calentador de inducción para la soldadura de metales.





ELECTRÓNICAS

- Aplicaciones del calentamiento por inducción electromagnética en el procesamiento de PRFV.
Gabriel González. Octubre 2005. 29/11/12
<http://www.emmafioentino.com.ar/VIII%20SEMINARIO/APLICACIONES.PDF>
- Induction heating <http://www.richieburnett.co.uk/indheat.html>
- STP30NF10 - STP30NF10FP data sheet
http://download.siliconexpert.com/pdfs/2012/7/23/16/22/0/700/st_/manual/cd00002440.pdf
- Schottky barrier rectifier <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/panjit/1N5818.pdf>

