

Alcanzando el Sueño de Tesla: El Futuro Inalámbrico

CIN2015A20023

Centro Universitario México, A.C.

Autores:

Karina Verónica González Salazar

Pedro Lagar Zabalza

Daniel Ortiz Torres

Alberto Vargas Olivares

Asesor:

Jesús Flores Téllez

Área de conocimiento:

Ciencias Fisicomatemáticas y de las Ingenierías

Disciplina:

Física

Tipo de Investigación:

Desarrollo Tecnológico

Lugar y Fecha:

México, D.F. a 19 de febrero de 2015

Alcanzando el sueño de Tesla: El futuro inalámbrico.

Resumen

En la actualidad, la transferencia de información se lleva a cabo por medio de señales oscilantes cuya transmisión ha evolucionado a lo largo del tiempo: desde la necesidad de un conductor metálico, como las redes Ethernet, hasta llegar a la transmisión por medio de ondas electromagnéticas, tal como las Wi-Fi. Esto ha mejorado el desempeño de los aparatos electrónicos, haciéndolos más eficientes. Hoy en día nos encontramos en un mundo donde los aparatos electrónicos son las herramientas principales para llevar a cabo nuestra vida diaria y es indispensable el uso de la energía eléctrica para su funcionamiento. Sin embargo, nos hemos dado cuenta que para lograr esto, es necesario el uso de una gran cantidad de cables cuya presencia nos puede llegar a resultar molesta y complicada. Por esta razón nos planteamos la posibilidad de transmitir energía eléctrica de manera inalámbrica de manera similar a las señales Wi-Fi. Nuestro proyecto consiste en el desarrollo de un sistema de dos bobinas, que a partir del fenómeno de inducción magnética y resonancia, nos permita llegar a esta transmisión de electricidad. El fundamento teórico de este proyecto está basado en las leyes del electromagnetismo propuestas por el científico inglés James Clerk Maxwell.

Abstract

In present day, transfer of information is accomplished through oscillating signals; this transmission has evolved over time, from the necessity of a metallic conductor, such as Ethernet networks, to transmission through electromagnetic waves, such as Wi-Fi. This has improved the performance of electronic devices, making them more efficient. Nowadays, we find ourselves in a world where electronic devices are the main tools in everyday life and electrical energy is indispensable for their operation. However, we have noticed that to be able to do this, the use of a great quantity of cables, whose presence is sometimes bothersome and complicated, is necessary. This is the reason why we are setting forth the possibility of transmitting electrical energy wirelessly, similarly to what is done with Wi-Fi signals. Our project consists of a system of two coils which, through the phenomenon of magnetic induction and resonance, will allow us to

be able to reach the said transmission. The theoretical fundament of this project is based on electromagnetic laws proposed by the English scientist James Clerk Maxwell.

Planteamiento del problema

En la actualidad, la transferencia de información se lleva a cabo por medio de señales oscilantes que han evolucionado a lo largo del tiempo, vimos el cambio de las redes Ethernet a las redes Wi-Fi, por consiguiente, el deseo de tener aparatos electrónicos más eficientes que nos permitan vivir de una manera más sencilla.

Nikola Tesla, un físico de croato-americano, tuvo el deseo de poder transmitir energía eléctrica de manera inalámbrica y gratuita por todo el mundo con el uso de bobinas y corrientes alternas, mediante la Torre de Wardenclyffe.

Actualmente la implementación de la energía eléctrica inalámbrica a nuestra vida diaria podría llegar a facilitar muchas de las actividades que se realizan, y por lo tanto, la búsqueda de Tesla de construir un sistema de bobinas que mediante la inducción magnética generen una diferencia de potencial inalámbricamente, es decir, un voltaje, se convierte en una necesidad para el hombre.

Hipótesis

Si se construye un sistema de dos bobinas, donde una de ellas sea parte de un circuito LCR (conformado por una resistencia, un capacitor y una bobina) a la cual se le transmita una corriente alterna de alta frecuencia, entonces se generará un campo electromagnético variable de alta frecuencia, que mediante el efecto de resonancia induzca una corriente eléctrica en la segunda bobina de forma inalámbrica.

Marco Teórico

La corriente eléctrica son electrones en movimiento. La condición indispensable para establecer una corriente eléctrica, es la existencia de una Diferencia de Potencial o Voltaje entre dos puntos de un conductor. El paso de corriente eléctrica por un conductor crea un Campo Eléctrico y un Campo Magnético a su alrededor.

(De Llano, 2002)

La energía necesaria para mantener un flujo constante de cargas a través de un circuito se llama Fuerza Electromotriz Femo.

$$\varepsilon = \frac{W}{q}$$

CIRCUITOS ELÉCTRICOS

Se da el nombre de circuito eléctrico a la trayectoria por donde por donde se desplaza la carga.

Al análisis de circuitos más complejos requiere emplear dos reglas básicas, llamadas reglas de Kirchhoff.

1° regla: La suma de todas las corrientes que llegan a un punto ha de ser igual a la suma de todas las corrientes que salen de él.

2° regla: La suma algebraica de los cambios de voltaje alrededor de un circuito cerrado debe ser cero.

(Bueche, 1991)

DEFINICIONES GENERALES

CAMPO ELÉCTRICO

Al pasar corriente eléctrica por un conductor se crea a su alrededor un campo electromagnético circular, concéntrico con el conductor, en el cual el flujo magnético gira a su alrededor.

CAPACITANCIA

Un condensador es un dispositivo que permite acumular cargas eléctricas. Consta de 2 placas conductoras llamadas “armaduras”, entre las que se encuentra un dieléctrico. A esta propiedad de almacenar las cargas se le llama capacitancia.

(De Llano, 2002)

La capacitancia de un conductor aislado, es la relación entre las cargas del conductor y el Potencial. La unidad de la Capacitancia se llama Statfarad.

Volta introdujo la expresión “capacidad eléctrica” en analogía con el concepto de capacidad calorífica. En determinado potencial (V), la cantidad de carga (Q) que se puede almacenar en un cuerpo depende de sus características físicas, y estas se agrupan bajo el nombre de capacitancia.

$$C = \frac{Q}{V}$$

RESISTENCIA

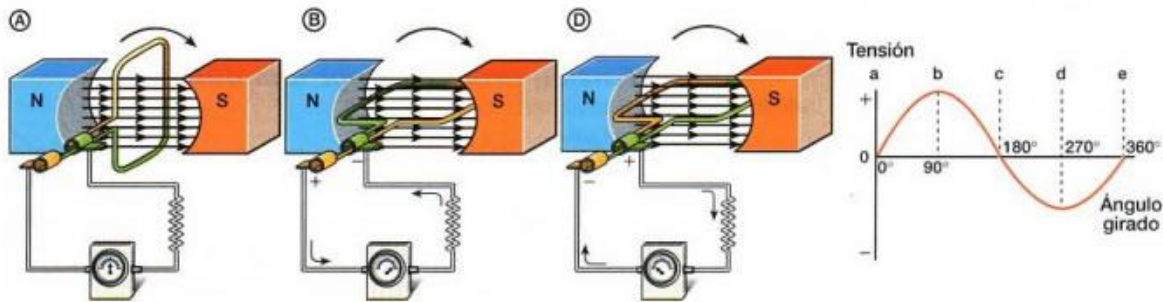
Resistor: se le llama resistor a un elemento de dos terminales si en cualquier instante t, su voltaje $v(t)$ y su corriente $i(t)$ satisfacen una relación definida por una curva en el plano v o i . (Desoer, Kuh, 1985)

FEM INDUCIDA

Cuando se mueve un trozo de conductor a través de un campo magnético, se ejerce una fuerza sobre cada uno de los electrones libres del conductor y la suma de estas fuerzas dan como resultado la inducción de una fem en el conductor.

La dirección de la fem inducida depende de la dirección del movimiento del conductor con respecto a la dirección del campo magnético y se determina mediante la regla de la mano derecha, donde el pulgar señala la dirección hacia donde se desplaza el conductor mientras que el índice y el dedo medio señalarán la dirección del campo magnético y la dirección de la fem inducida. La magnitud de la fem inducida es directamente proporcional a la intensidad del campo magnético, a la longitud del conductor, a la velocidad con que el conductor atraviesa el campo magnético y depende también de la dirección del conductor con relación al campo.

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$



CAMPO MAGNETICO ORIGINADO POR UNA CORRIENTE ALTERNA

La intensidad y dirección del campo magnético alrededor de un conductor a través de la cual fluye corriente alterna, depende de la magnitud y de la corriente.

Cuando una corriente alterna fluye en un conductor, varía constantemente en magnitud. Esto significa que varía también el número de electrones libres que avanzan en la misma dirección. Como resultado, el campo magnético alrededor del conducto, cambia constantemente en intensidad. Cuanto mayor sea la corriente, más intenso será el campo. En forma semejante, cuanto menor sea la corriente, más débil será el campo.

Puesto que la corriente alterna cambia periódicamente de dirección, el campo magnético que produce también invierte su dirección. En cualquier instante la dirección del campo magnético se determina por la dirección del flujo de corriente.

MAGNITUD DE LA FEM INDUCIDA

Los factores que determinan la magnitud de la fem inducida son la frecuencia de la corriente y la amplitud de la misma. Las corrientes mayores producen campos magnéticos más intensos. Y cuando un campo intenso se reduce hay más líneas de flujo que cortan al conductor y se induce una fem mayor.

POLARIDAD DE LA FEM INDUCIDA

La dirección de la fem-autoinducida lo explicó por primera vez el físico alemán Lenz, por lo que actualmente se conoce como ley de Lenz: un cambio en la corriente produce una fem, cuya dirección es tal que se opone al cambio de la corriente. En otras palabras cuando una corriente está disminuyendo, la fem inducida tiene la misma dirección de la corriente y trata de mantenerla en su valor, sin que disminuya. Y cuando una corriente

está aumentando, la polaridad de la fem inducida es opuesta a la dirección de la corriente, tratando de evitar que esta aumente. La relación entre la fem inducida en la tensión aplicada que produce el flujo de corriente, es tal que, ambas tensiones están desfasadas 180°. Puesto que la acción de la fem inducida es oponerse a la acción aplicada, suele llamársele fem contraria o fuerza contraelectromotriz (fcem).

EFFECTO QUE TIENE LA FORMA DEL CONDUCTOR SOBRE LA AUTOINDUCCIÓN

Otro factor que afecta a la autoinducción es la forma física del conductor. Si un conductor está embobinado en espiras adyacentes, la longitud del conductor es mayor, de manera que se induce una fcem mayor. Por otra parte, las líneas de flujo del inductor que se extienden hacia fuera, cortan al inductor en la espiral en la cual se produce y cortan también a las espiras adyacentes del conductor. Cuanto más se suman y expanden las líneas de flujo, mayor cantidad de espiras cortan. Por lo tanto, cada línea de flujo, genera una fcem en más de un punto a lo largo del conductor. Las polaridades de todas estas fcem son tal que se suman para producir una fcem total, la cual es mucho mayor que la que sería generada en un conductor recto por el mismo cambio de corriente. No se reducen las líneas de flujo, la situación es la misma.

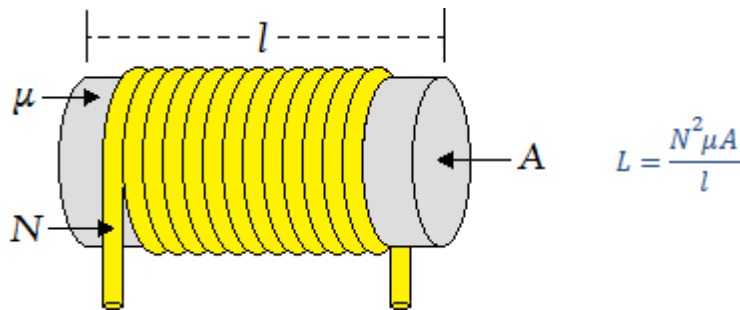
INDUCTANCIA

La relación exacta entre la corriente, la y la forma del conductor, puede expresarse matemáticamente con la siguiente ecuación: $fcem = L \times \text{núm. de líneas de flujo de campo magnético}$. La constante L -que depende de la forma del conductor- recibe el nombre de inductancia del conductor.

La inductancia es la propiedad de un circuito eléctrico que supone cualquier cambio de corriente en el circuito. A partir de esta definición se puede concluir que la inductancia no tienen no tiene ningún efecto sobre la corriente directa. Sólo se opone a cambios en la corriente eléctrica. Los conductores embobinados generalmente se usan en circuitos de c-a para introducir deliberadamente inductancia en el circuito y tal conductor embobinado recibe el nombre de inductor. La relación entre la inductancia y todos los factores físicos que la afectan, se expresa según la siguiente ecuación:

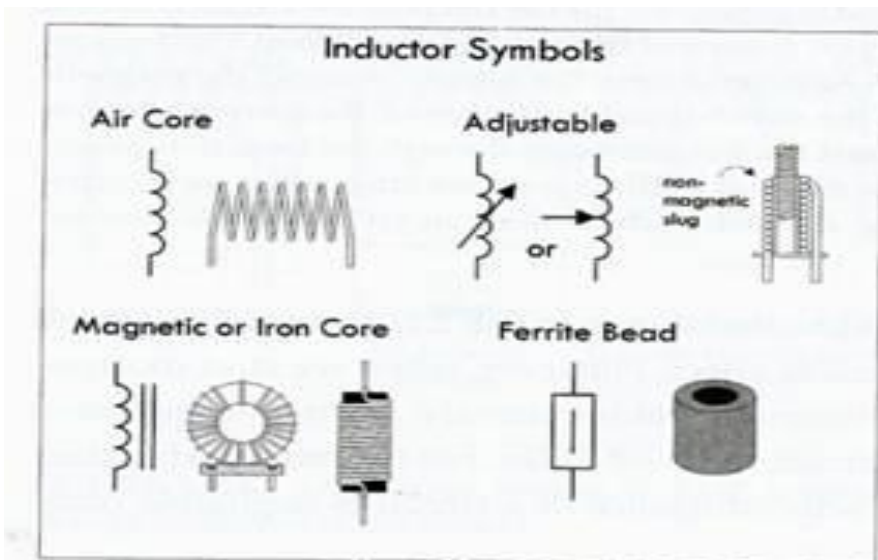
$$L = \frac{N^2 \mu A}{l}$$

Donde N es el número de espiras; μ es la permeabilidad del núcleo, la cual es grande para los materiales magnéticos y baja para otros materiales; A es el área del núcleo y L la longitud.



INDUCTORES

Todos los inductores se hacen devanando una longitud de conductor alrededor de un núcleo. El conductor suele ser alambre sólido de cobre revestido con un aislamiento esmaltado; y su núcleo está formado, ya sea de material magnético o bien de material aislante. Cuando no se usa núcleo magnético, se dice que el inductor tiene núcleo de aire. Los inductores con valores de inductancia fijos que no se pueden cambiar, reciben el nombre de inductores fijos. Los inductores cuya inductancia se puede variar en cierta escala, se llaman inductores variables. Estos últimos suelen estar hechos de manera que el núcleo se puede mover dentro y fuera del devanado. Entonces la posición del núcleo determina el valor de la inductancia. A los inductores se les llama también frecuentemente solenoides o bobinas.



FACTORES QUE DETERMINAN LA INDUCTANCIA

Las características físicas, o forma geométrica, tanto del núcleo como de los devanados alrededor del núcleo, afectan a la inductancia producida. Los inductores con núcleo magnético tienen inductancias muchos mayores que los que tienen núcleos aislantes o de aire. La inductancia también es directamente proporcional al área transversal del núcleo e inversamente proporcional a su longitud. La permeabilidad del núcleo también influye.

El número y espaciamiento de las espiras individuales de alambre de un inductor, también afectan a la inductancia. Cuántas más espiras se tengan, mayor será la inductancia. Y cuanto más próximas estén las espiras entre sí, también será mayor la inductancia.

CORRIENTE ALTERNA

En lugar de mantener una polaridad fija, cada terminal de un generador de corriente alterna oscila entre + y -. Los electrones que constituyen una corriente alterna típica se mueven primero hacia adelante, y luego, hacia atrás, oscilando en su lugar a determinados ciclos por segundo que corresponden a la frecuencia del generador. Una corriente alterna transporta energía en la misma forma que una corriente directa (como energía cinética organizada de portadores móviles de carga. (Hecht, 1998)

CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA

Un circuito de corriente alterna de alta frecuencia está formado por los siguientes elementos:

- a) Un generador de corriente, encargado de suministrar la energía necesaria y crear la Diferencia de Potencial.
- b) Un condensador o capacitancia el cual acumulará las cargas en sus armaduras.
- c) Un solenoide, que va a inducir una femi y, por tanto, una nueva corriente.
- d) Una resistencia reguladora de la corriente. (De Llano, 2002)

REDES RLC DE CORRIENTE ALTERNA

Son circuitos formados por inductores, capacitores y resistores para procesar señales eléctricas (corrientes y voltajes). Se usan distintos arreglos de estos elementos para conformar una señal, para filtrar o acentuar ciertas frecuencias, o para eliminar cualquier corriente directa presente. (Hecht, 1998)

LA FÍSICA DE LA TRANSFERENCIA INALÁMBRICA DE PODER DE ALTA RESONANCIA

RESONANCIA

La resonancia es un fenómeno que ocurre en la naturaleza de diferentes maneras. En general, la resonancia involucra energía oscilando entre dos modos, un ejemplo familiar es un péndulo mecánico en el cual la energía oscila entre sus formas potencial y cinética. En un sistema resonante, es posible tener almacenada un aumento grande de energía mientras se excita débilmente al sistema. Este aumento ocurre si la razón de energía inyectada al sistema es mayor que la razón de pérdida de energía del sistema.

El comportamiento de un resonador aislado puede ser descrito mediante dos parámetros fundamentales: su frecuencia de resonancia ω_0 y su razón respecto a la velocidad de pérdida intrínseca, Γ . La razón entre estos dos parámetros define el factor de calidad Q del resonador ($Q = \omega_0 / 2\Gamma$), una medida de qué tan eficientemente almacena energía.

Un ejemplo de un resonante electromagnético es el circuito de la siguiente figura, formado por un inductor, un capacitor y una resistencia.

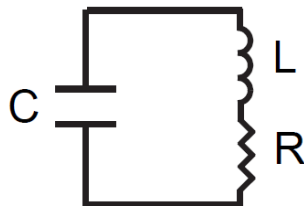


Figura 1: Ejemplo de un resonador.

En este circuito, la energía oscila a la frecuencia resonante entre el inductor (energía almacenada en el campo magnético) y el capacitor (energía almacenada en el campo eléctrico) y se disipa en la resistencia. La frecuencia resonante y el factor de calidad de este resonador son:

$$1) \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Y

$$2) \quad Q = \frac{\omega_0}{2\Gamma} = \frac{\frac{1}{\sqrt{LC}}}{\frac{R}{L}} = \frac{\omega_0 L}{R}$$

La expresión de Q (2) muestra que al decrecer la pérdida en el circuito, es decir, reduciendo R, se incrementa el factor de calidad del sistema.

RESONADORES ACOPLADOS

Si dos resonadores se colocan con una proximidad entre ellos de tal forma que exista acoplamiento entre ellos, se vuelve posible que los resonadores intercambien energía. La eficiencia del intercambio de energía depende de los parámetros característicos para cada resonador y la razón de acoplamiento, κ , entre ellas. La dinámica del sistema de dos resonadores se puede describir utilizando la teoría de acoplamiento o *coupled-mode theory*, o mediante un análisis de un circuito equivalente al del sistema de resonadores.

Un circuito equivalente para resonadores acoplados es el circuito resonante de la figura 2.

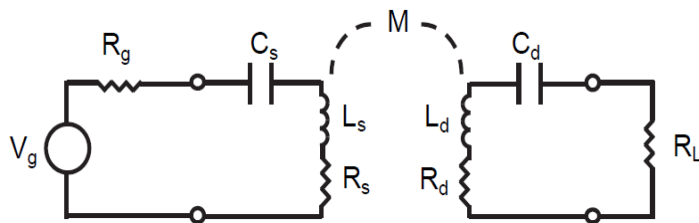


Figura 2: Circuito equivalente para el sistema de resonadores acoplados.

Aquí el generador es un voltaje sinusoidal con amplitud V_g a frecuencia ω con una resistencia R_g . La fuente y las bobinas resonadoras del dispositivo están representadas por los inductores L_s y L_d , las cuales están acopladas mediante la inductancia mutua M , donde $M = k \sqrt{L_s L_d}$. Cada bobina tiene un capacitor para formar un resonador. Las resistencias R_s y R_d son las resistencias parasíticas (incluyendo las pérdidas óhmicas y radiantes) de la bobina y capacitor resonante para los respectivos resonadores. La carga se representa por una resistencia AC equivalente R_L .

Análisis de este circuito da la energía suministrada al resistor de carga, dividida por la energía máxima disponible de la fuente cuando la fuente y el dispositivo son resonantes en ω ,

$$\frac{P_L}{P_{g,max}} = \frac{4 \cdot U^2 \frac{R_g R_L}{R_s R_d}}{1 + \frac{R_g}{R_s} + 1 + \frac{R_L}{R_d} + U^2} \quad (3)$$

donde

$$U = \frac{\omega M}{\sqrt{R_s R_d}} = \frac{\kappa}{\sqrt{\Gamma_s \Gamma_d}} = k \sqrt{Q_s Q_d} \quad (4)$$

Es la “figura de mérito” de este sistema.

Tenemos la habilidad para elegir el generador y las resistencias que proporcionan el mejor funcionamiento (o utilizar una malla de transformación de impedancia para igualar otros valores de resistencia). Si elegimos

$$\frac{R_g}{R_s} = \frac{R_L}{R_d} = \frac{1}{1 + U^2} \quad (5)$$

Entonces la eficiencia de transmisión de energía se maximiza y está dada por

$$\eta_{opt} = \frac{U^2}{1 + \frac{1}{1 + U^2}} \quad (6)$$

Y mostrada en la figura 3. Se observa que la transmisión de energía de alta eficiencia es posible en sistemas con valores grandes de U . Nótese que el igualamiento de

impedancia descrita anteriormente es equivalente al trato con la teoría de acoplamiento, que muestra que el trabajo extraído de un dispositivo se puede modelar como una resistencia que tiene el efecto de contribuir un término adicional, Γ_w , a la razón de pérdida de energía Γ_d de un objeto sin carga, para que la pérdida total de energía esté dada por

$$\Gamma'_d = \Gamma_d + \Gamma_w \quad (7)$$

Y que la eficiencia de transmisión de poder se maximiza cuando

$$\frac{\Gamma_w}{\Gamma_d} = \frac{1}{1 + k^2/\Gamma_s\Gamma_d} = \frac{1}{1 + k^2Q_sQ_d} = \frac{1}{1 + U^2} \quad (8)$$

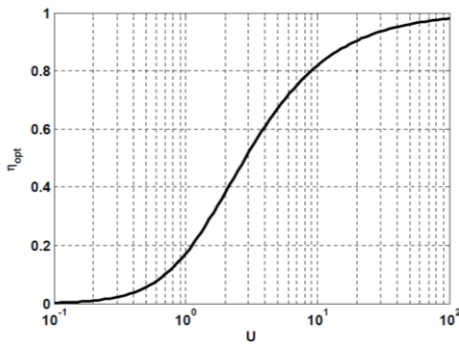


Figura 3: Eficiencia óptima para transferencia de energía como una función de la "figura de mérito", U .

Nótese que la mejor eficiencia posible de un sistema de transmisión inalámbrica de energía únicamente depende del sistema "figura de mérito", que también puede ser escrito en términos del coeficiente de acoplamiento entre los resonadores, k , y los factores de calidad sin carga, Q_s y Q_d

$$U = \frac{\omega M}{R_s R_d} = k \sqrt{Q_s Q_d} \quad (9)$$

Conociendo los factores de calidad de los resonadores y el rango de acoplamiento magnético entre ellos para una aplicación específica, se pueden utilizar las ecuaciones (6) y (9) para determinar la mejor eficiencia posible para el sistema.

Un rango grande de aplicaciones capaces de ser soportados mediante los sistemas de transferencia inalámbrica de energía usando HR-WPT puede ser estimado examinando las ecuaciones (6) y (9) que demuestran la importancia del factor de acoplamiento y del factor de calidad. El coeficiente de acoplamiento magnético es un parámetro adimensional que representa la fracción del flujo magnético que está acoplado entre la

fuelle y los dispositivos resonantes, y tiene una magnitud entre el cero (no existe acoplamiento) y 1 (todo el flujo esta acoplado). Los sistemas de transferencia de energía inalámbrica basados en la inducción tradicional normalmente están diseñados para grandes valores de acoplamiento y como resultado requieren de una separación cercana y de una alineación precisa entre la fuente y el dispositivo. Las ecuaciones (6) y (9) demuestran que el uso de resonadores de alta calidad hacen de los sistemas de inducción tradicional un sistema aun más eficiente, pero aun mas importante, hacen operaciones muy eficientes con los menores valores de acoplamiento posible, eliminando la necesidad de un posicionamiento preciso entre la fuente y el dispositivo y proporcionando una mayor libertad de movimiento.

OSCILADOR COLPITTS

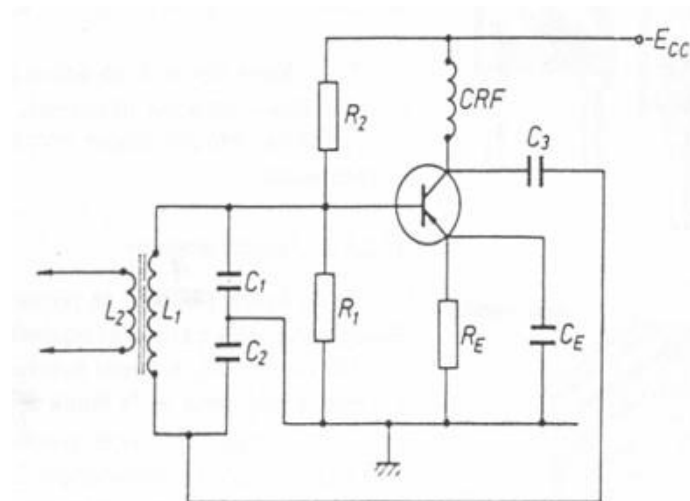
Este oscilador se utiliza para bandas de alta frecuencia que trabajan con frecuencias de 1 Mhz a 30 Mhz.

Para poder lograr la oscilación este circuito se utiliza un divisor de tensión formado por dos capacitores(C_1 y C_2). De la unión de estos capacitores sale una conexión a tierra y de esta manera la tensión en los terminales superior de C_1 e inferior de C_2 tendrán tensiones opuestas.

La realimentación positiva se obtiene del terminal inferior de C_2 y es llevada a la base del transistor a través de una resistencia y un condensador, la bobina L_1 se utiliza para evitar que la señal alterna no pase a la fuente.

La frecuencia de oscilación del Oscilador Colpitts está dada por:

$$f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}}$$



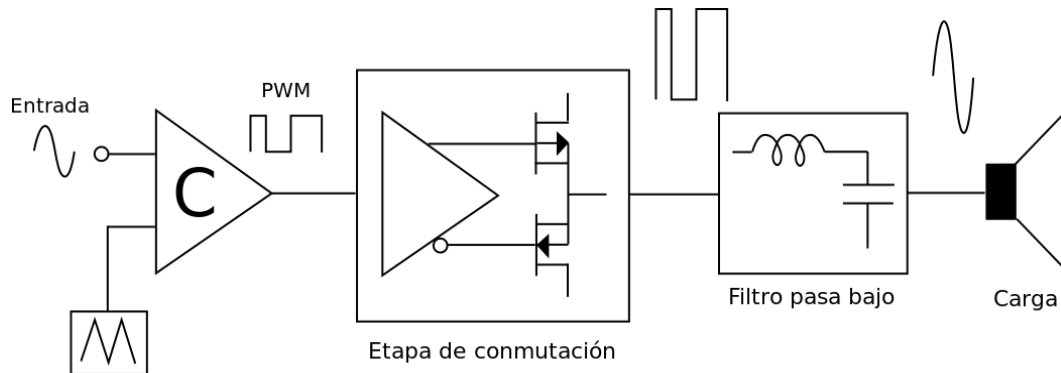
La transferencia de energía por inducción magnética funciona mediante un sistema de bobinas acopladas magnéticamente que consta de una bobina transmisora L_1 y una bobina receptora L_2 . Donde una fuente de alimentación eléctrica conectada a la bobina L_1 genera un campo magnético oscilante de alta frecuencia que induce un voltaje alterno en la bobina L_2 . Este voltaje se puede utilizar para alimentar un dispositivo externo conectado a la bobina L_2 .

AMPLIFICADOR CLASE D

Un amplificador de conmutación o amplificador Clase D es un amplificador electrónico el cual usa el modo conmutado de los transistores para regular la entrega de potencia.

La señal de entrada es convertida a una secuencia de pulsos cuyo valor promedio es directamente proporcional a la amplitud de la señal en ese momento. La salida final conmutada consiste en un tren de pulsos cuya anchura es una función de la amplitud y la frecuencia de la señal que está siendo amplificada, y por tanto, estos amplificadores también se denominan amplificadores PWM (modulación por densidad de pulsos). El filtro frecuentemente se construye con un interruptor de alta potencia (generalmente compuesto de MOSFETs), los cuales generan una réplica de alta potencia de la señal PWM del comparador para mantener la eficiencia y finalmente la señal conmutada atraviesa un filtro pasa-bajos pasivo que solo permite el paso de las frecuencias más bajas y atenúa las frecuencias más altas.

La mayoría de los amplificadores Clase D usan frecuencias de conmutación superiores a 100 kHz.



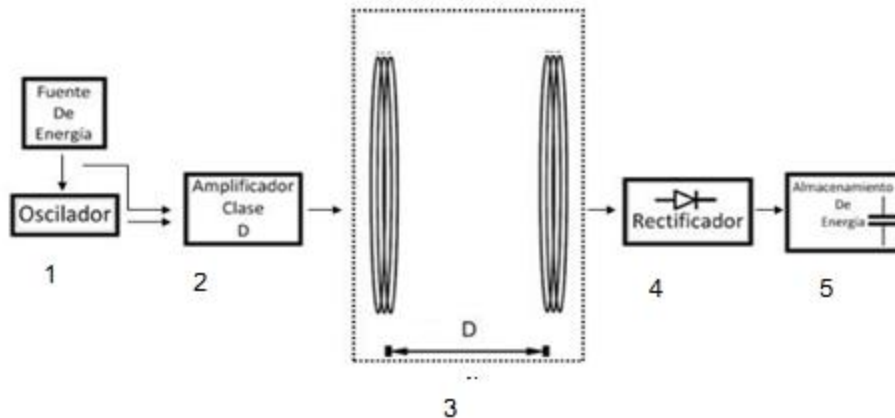
3. OBJETIVO GENERAL

Se construirá un prototipo para transmitir energía eléctrica en forma inalámbrica y ser almacenada para su uso posterior.

4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

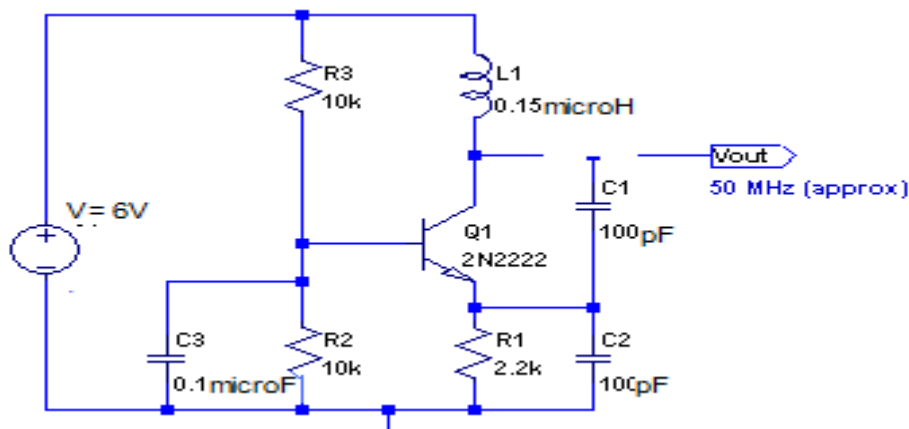
Construir un sistema de bobinas conformado de una primera bobina llamada primaria y una segunda bobina llamada secundaria, ambas con un área, número de vueltas y longitud determinados que nos permitan entrar en resonancia entre sí, donde al aplicar una corriente alterna de alta frecuencia en la bobina primaria, esta induzca una corriente eléctrica en la bobina secundaria. Y finalmente se genere un voltaje alterno que pueda ser almacenado en un sistema de capacitores para su uso posterior.

Para el desarrollo de nuestro prototipo de transmisión de energía eléctrica inalámbricamente planteamos la estructura que se ilustra en el siguiente esquema por bloques y que explicaremos a continuación:



- 1) Un circuito oscilante COLPITTS cuyo funcionamiento y estructura se explicó detalladamente en el marco teórico, y que permitirá genera una fuente de voltaje oscilante de alta frecuencia que será necesaria para lograr que la bobina L1 transmisora de nuestro prototipo, pueda generar un campo magnético oscilante de alta frecuencia, esto producirá una velocidad de cambio de flujo magnético muy alta sobre la segunda bobina L2 que será la bobina receptora, en la cual se inducirá una FEM (fuerza electromotriz) de mayor intensidad.

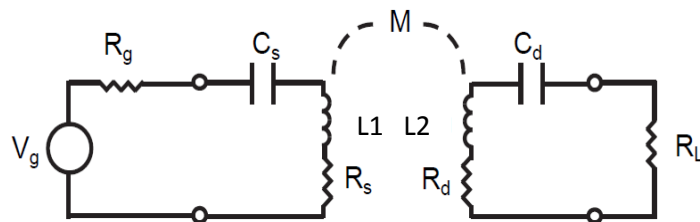
Este circuito tiene los valores para sus componentes electrónicos que se muestran en el siguiente circuito:



- 2) Un amplificador de clase D, cuyo funcionamiento fue explicado anteriormente, cuya entrada se colocará a la salida de voltaje del circuito colpitts, y su salida a la bobina L1 transmisora. Esto incrementará el voltaje oscilante que se suministrará a la bobina L1 transmisora para, a su vez lograr un mayor voltaje inducido en la

bobina L2 receptora, ya que la FEM inducida esta en relación directa al voltaje de entrada de la bobina L1. Se escogió este amplificador, porque trabajo muy bien con altas frecuencias.

- 3) El sistema de Bobinas resonantes que realizarán el acoplamiento L1 y L2 cuyas características geométricas son similares y que estarán formando independientemente un circuito LC con capacitor variable que nos permitirá encontrar y ajustar la frecuencia a la que resuenen dichas bobinas. La estructura de este sistema de bobinas acopladas se muestra en el siguiente esquema:



- 4) Un circuito rectificador que convierta la corriente alterna en corriente directa y se almacene en un acumulador para su almacenamiento.

RESULTADOS

Ya finalizado el modelo, se probó su funcionamiento al medir voltaje suministrado y generado en las bobinas L1 y L2, mediante el uso de un osciloscopio y un voltímetro, variando la distancia de separación de las bobinas. Encontramos que el voltaje inducido en la bobina L2 se mantuvo en su valor máximo hasta una distancia de 30 cm, después comenzaba a disminuir significativamente.

CONCLUSIONES

Consideramos que cumplimos con nuestro objetivo de transmitir energía eléctrica de forma inalámbrica, pero las distancias alcanzadas de transmisión siguen siendo muy

cortas, por lo cual nuestro prototipo aún es ineficiente para cumplir con el con una transmisión a grandes distancias de la energía eléctrica sin la necesidad de cables conductores.

7. FUENTES BIBLIOHEMEROGRÁFICAS Y/O DE INTERNET

- Kesler M. (2013). Highly Resonant Power Transfer: Safe, Efficient and over Distance. Junio 2, 2013, de WiTricity Corporation Sitio web: <http://www.witricity.com/assets/highly-resonant-power-transfer-kesler-witricity-2013.pdf>
- Karalis, A., Joannopoulos, J., Soljacic, M. (2007). Efficient wireless non-radiative mid-range energy transfer. Junio 2, 2013, de Elsevier, Inc. Sitio web: http://www.mit.edu/~soljacic/wireless-power_AoP.pdf
- Ridden, P. (2013). Fulton Innovation demonstrates latest wireless power breakthroughs at CES 2013. Julio 7, 2013, de Gizmag Sitio web: <http://www.gizmag.com/fulton-innovation-wireless-power/25691/>
- Desoer, C. & Kuh, E. (1969). Basic Circuit Theory. Singapur: McGraw Hill.
- De Llano, C. (1994). Física. México, D.F.: Progreso.
- Bueche, F. (1991). Fundamentos de Física: Tomo II. México: McGraw Hill.
- Mileaf, H. (2009). Electricidad. México: Limusa.
- Dhar, S. (2011). Discrete Electronics Circuits and Its Applications. Nueva Deli: Laxami.