

Estado del arte en carga estacionaria y dinámica de vehículos eléctricos

ZAMORA, Juan Antonio * † & PERALTA, Edgar

Recibido Abril 18, 2015; Aceptado Diciembre 23, 2015

Resumen

Objetivos, metodología. A continuación se presenta un compendio del estado del arte sobre la transferencia de energía para cargar baterías de vehículos eléctricos en forma inalámbrica estacionaria e inalámbrica dinámica. Así como los avances tecnológicos en la transmisión de energía mediante caminos energizados a través de acoplamientos magnéticos, inductivos, capacitivos, resonantes, entre otros. Se enfatizan la eficiencia de acoplamiento de cada sistema propuesto, la longitud máxima eficiente entre transmisor y receptor (primario y secundario) y las estrategias para mejorar el índice de acoplamiento sobre todo en la modalidad de carga inalámbrica estacionaria.

Contribución. Se propone la realización de un modelo de transferencia de energía inductiva por acoplamiento magnético optimizado en carga estacionaria para ser implementado mediante devanados circulares y rectangulares con diferentes arquitecturas, comparando el desempeño de ambas geometrías respecto a la energía transferida del primario al secundario considerando el GAP entre ambos.

Vehículo Eléctrico EV, Transferencia por acoplamiento inductivo magnético IPT, Transferencia por acoplamiento capacitivo CPT, carga dinámica y carga estacionaria

Abstract

Objectives, methodology. This paper shows the state of the art compilation about power transfer for battery charging on electrical vehicles by cordless stationary and cordless dynamic. Also, it explains the technological researches in power transfer by magnetic, inductive, capacitive and resonant coupling on rail, emphasizing the coupling performance on each proposed system, the maximum GAP between transmitter and receiver (primary and secondary coils) and the strategies to increase the coupling index, mainly on stationary cordless charge.

Contribution. It proposes the design of an inductive power transference model by optimized magnetic coupling for stationary load to be implemented by circular and rectangular windings with different architectures, comparing the performance of both geometries respect to the energy transferred from primary to secondary considering the GAP between them.

Electrial Vehicle EV, Inductive Power Transfer IPT, Capacitive Power Transfer CPT, dynamic charge and stationary charge

Citación: ZAMORA, Juan Antonio & PERALTA, Edgar. Estado del arte en carga estacionaria y dinámica de vehículos eléctricos. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-6: 35-45

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: zamoraju@hotmail.com)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Una de las mejores soluciones para reducir la contaminación por vehículos de combustión interna o combustible fósil es el uso de vehículos eléctricos EVs, siempre y cuando se considere que el origen de la energía eléctrica provenga de fuentes renovables o verdes; no obstante la incursión de EVs presenta dos grandes desventajas: limitaciones de la tecnología de las baterías actuales (baja densidad de potencia) y la carencia de conexión a la red eléctrica, lo que limita el rango de carga y recarga de las baterías respectivamente. Actualmente, las baterías requeridas para satisfacer los trayectos en los EVs son pesadas y costosas, además, el periodo de carga es largo ya que al ser cargada, existe un compromiso entre mantener la vida útil y la eficiencia de la batería.

De acuerdo a lo anterior, en aplicaciones automotrices los sistemas de combustión interna (ICE), híbridos, CNG y fuel cell serán las fuentes de energía más utilizadas hasta 2020, debido a la extrema eficiencia y desempeños demostrados. Las baterías de tecnología basada en iones de litio indispensables para los EVs, no son capaces de competir con la tremenda densidad de energía del combustible fósil, además, la infraestructura de carga, interfaces de potencia y aceptación de los usuarios. No obstante, a pesar de la lenta penetración del EV en el mercado, será uno de los candidatos más fuertes en la industria y en los sectores de investigación a corto plazo.

Actualmente la carga de los EVs comerciales se lleva a cabo de manera alámbrica o conductiva, tal como el EV Tesla deportivo, el cual carga su batería en 7 horas a 240 V/40 A para suministrar 53 KWh o 4.5 hrs a 240 V/70 A. En el caso del Prius, requiere 1.5 hrs. a 240 V para cargar 4.4 KWh.

El sistema alámbrico de carga requiere necesariamente una conexión eléctrica de suministro para cargar su batería mientras se encuentra inmóvil durante un tiempo considerable (probablemente durante la noche), lo que le dará un desempeño promedio de 60 Km/hr y un recorrido máximo de 100 Km; además, como cualquier conexión eléctrica, llegará al punto en que presente problemas de choque eléctrico y chispa al contacto debido al deterioro físico de la conexión y al clima (húmedo).

Los EVs actuales dependen directamente de una carga alámbrica única previa a su uso, lo cual causa limitación en su velocidad y máximo recorrido. Una solución de diseño competitiva para los próximos EVs es el envío de la energía al EV de manera inalámbrica. Así, la carga inalámbrica de EVs requerirá medios y capacidad de transferencia de dicha energía.

Marco teórico en tipos de carga inalámbrica para EVs

En el presente trabajo se propone un acoplamiento de carga inalámbrica (WPC) conectado a la red eléctrica en el acoplamiento primario (aislado del EV) que convierte el voltaje de AC de la línea en voltaje AC de alta frecuencia que suministrará al acoplamiento. El uso de altas frecuencias reduce las dimensiones de las bobinas y menor densidad de flujo magnético.

El acoplamiento secundario (dentro del EV) rectifica el voltaje AC de alta frecuencia a corriente directa para alimentar las baterías a bordo o alimentar directamente el motor eléctrico y otras aplicaciones; lo anterior es descrito en la figura 1.

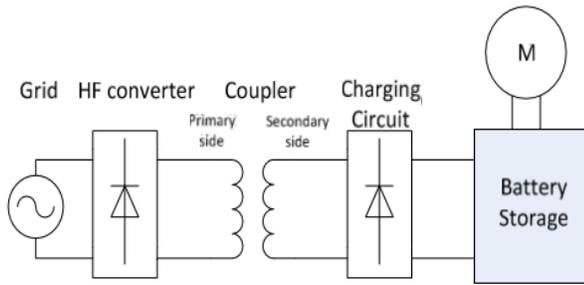


Figura 1 Sistema de carga inalámbrico típico

La carga inalámbrica puede clasificarse en función de la movilidad en estacionario y dinámico como:

- **Estacionario o SWC.** Carga mientras el EV está estacionado (incluso en una parada rápida), toma tiempo su carga por lo que el vehículo no debe estar en uso. La transferencia del primario y el estacionario en SWC se lleva a cabo en una zona precisa y reducida por lo que se cuenta con la alineación correcta (secundario sobre primario). La carga podría ser almacenada rápida y eficientemente en unidades de almacenamiento (super o ultracapacitores). Se debe evitar la fuga electromagnética y la interferencia con otros EVs; es esencial el espacio entre el primario y el secundario (GAP de aire).
- **Dinámico u On line/ in motion WC.** Carga mientras el EV está en movimiento por avenidas o carreteras, minimizando la cantidad de baterías requeridas, incluso, la energía puede ser entregada directamente a la transmisión. El lado primario se encuentra bajo el camino en líneas de energía distribuida y el secundario abordo del EV orientado al piso en agrupamientos en forma de PADs para tomar la energía mientras se encuentra en movimiento; resulta complicado tener un constante GAP debido a las condiciones de los caminos.

La carga inalámbrica puede clasificarse en función de la transferencia de energía inalámbrica (WPT) como:

- Acoplamiento inductivo electromagnético (IPT).
- Acoplamiento capacitivo (ICT).
- Transferencia por acoplamiento con ajuste inductivo-capacitivo
- Acoplamiento magnético resonante (MRCT).
- Acoplamiento magnético permanente (PMPT).
- Transferencia de energía basada en microondas y láser (se encuentra en un nivel conceptual y sin aplicaciones comerciales aún).

A continuación se analizan las 5 primeras formas de tecnologías de transferencia de energía inalámbrica.

Transferencia de energía por Inducción IPT

El acoplamiento es débil, las bobinas primaria y secundaria no poseen un núcleo común, la energía se transfiere a través del aire. De acuerdo a los diferentes tipos de IPT, la diferencia recae en como utilizan capacitores para acoplar la mejor transferencia de energía, colocándolos en serie en el primario y en paralelo en el secundario; ver figura 2.

Por lo tanto, resulta más efectivo que el uso de algunas técnicas de conmutación, debido a que el emparejamiento de impedancias resuelve directamente el problema del acoplamiento ya que se forma un circuito resonante en ambos lados de modo que la potencia reactiva no es transferida a través del GAP. Este método reduce pérdidas por conmutación. El coeficiente de acoplamiento magnético está definido por la fórmula (1).

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (1)$$

Donde, M es la inductancia mutua ($k = 1$ si el acoplamiento es perfecto), $L1$ y $L2$ las inductancias primaria y secundaria.

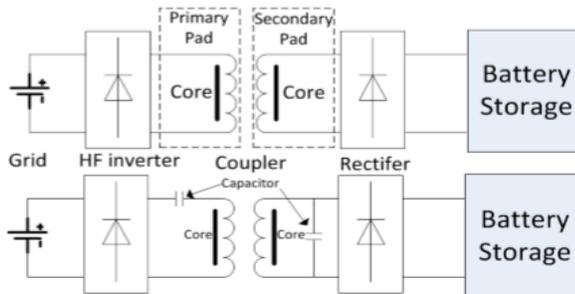


Figura 2 Sistema IPT a) Básico y b) con ajuste de impedancia mediante acoplamiento con capacitor

Se desarrolla un sistema en laboratorio en el cual se implementan un transmisor y receptor, ambos de forma rectangular, ubicados a una distancia variable de 20 mm a 35 mm, que se acoplarán de manera resonante mediante un campo RF que tendrá una tendencia al campo magnético para obtener el máximo factor de acoplamiento. Se propone una topología basada en un circuito alimentado por 200 V AC, el cual será rectificado y acoplado a un inversor que es controlado por un sistema primario de control PID y de ahí al transmisor.

Del otro lado se cuenta con el receptor el cual es rectificado por un sistema de alta frecuencia también controlado por un PID y de ahí se alimenta el banco de baterías conformados por 6 baterías con un voltaje global de 72 voltios; ver figura 3.

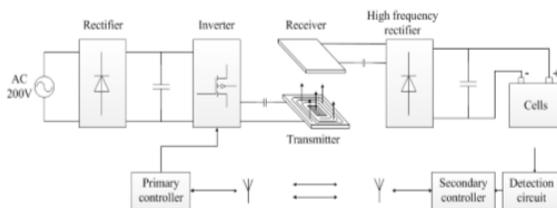


Figura 3 Diagrama esquemático de transferencia inalámbrica de energía

Se propone un modelo matemático claro y simplificado el cual es simulado a partir de las ecuaciones resultantes, de modo que pueden visualizarse los planos de campos magnéticos y el factor de acoplamiento en función del GAP y la desalineación entre bobinas. Además, propone un algoritmo para activar el PID e incrementar el factor de acoplamiento en función de los parámetros de voltajes, corrientes e impedancias de las ecuaciones deducidas.

Se obtienen los valores siguientes: Inductancia primaria de 226.08 μH , inductancia secundaria de 179.19 μH , Capacitor del primario de 0.15 μF , Capacitor del secundario de 0.3 μF , Devanado primario de 36 vueltas de alambre de 200 mm x 100 mm x 20 mm, Devanado secundario de 32 vueltas del mismo tipo y dimensiones de alambre, Coeficiente de acoplamiento de 0.3492, Frecuencia original de 23.5 KHz con variación de 1.5 KHz y GAP de 20 a 35 mm.

Además de las diferentes formas de núcleos de aire GAP, existen variadas formas de acoplamiento tales como el núcleo variable (pot) y núcleos de ferritas utilizados para incrementar la eficiencia de los sistemas.

Los diferentes tipos de núcleos de ferrita consiguen elevar el GAP de 3 mm (núcleos de aire) a 200 mm y un factor de acoplamiento de 0.15. Actualmente se discute sobre el espaciado de barras de ferrita que conforman el núcleo en forma circular de unos 700 mm de diámetro con carcasa de aluminio (reduce las fugas de flujo magnético que se dirige hacia arriba y a los lados) de un modelo llamado PAD, en el cual entre mayor sea su diámetro mayor será la energía transferida y se tendrá una mejor tolerancia vertical.

Simulaciones de comportamientos de campo magnético por elemento finito

Se realizan simulaciones por elemento finito acerca de dichos PADs y otros de forma rectangular, incluso se insertan en concreto para analizar sus pérdidas y la altura de su flujo de conexión el cual es aproximado a una cuarta parte del diámetro del PAD circular. El PAD rectangular alcanza un factor de acoplamiento de 0.2 a 200 mm.

A diferencia del PAD circular, el embobinado se coloca sobre las barras de ferrita y no alrededor de ella, siendo más angosto su espesor. De manera similar al rectangular se desarrolla un PAD polarizado llamado DD. Algunas mejoras de transferencia de energía pueden ser alcanzadas por materiales magnéticos 6h40 material MnZn es sugerido para aplicaciones de HF IPT, mostrando saturación de flujo alto y poca pérdida por ferrita cuando se opera por debajo de los 100 KHz.

La simulación del transmisor y receptor es mostrada, tal como lo indica el Gráfico 1 (a), en donde las partes de color azul representan los núcleos magnéticos y las partes amarillas representan las bobinas. Una curva del coeficiente de acoplamiento con desalineación respecto los centro de ambos planos es obtenido tal como lo indica el Gráfico 1 (b).

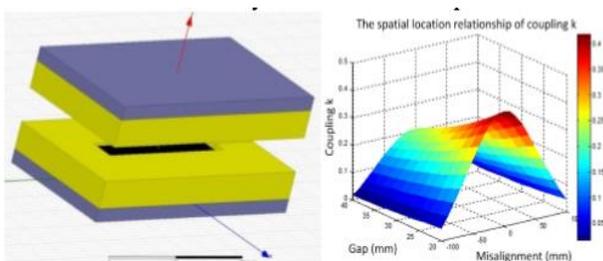


Gráfico 1 (a) Modelo de Simulación. (b) Coeficiente de acoplamiento respecto GAP y desalineaciones

Se proponen 4 topologías de devanados primario y secundaria para obtener la mayor eficiencia y acoplamiento para carga inductiva acoplada M en tres distancias diferentes (1, 2 y 3 cm) para cargar E-bikes en soportes mientras permanecen estacionarias.

La señal acoplada es una onda electromagnética evanescente. El acoplamiento es mediante un SET-UP de dos bobinas de 60 cm separadas hasta dos metros de distancia, la primera conectada a la señal de RF y la segunda a un bulbo de luz. La señal tiene un acoplamiento tal, que evita que la propagación de la onda en el campo cercano no esté controlada debido a que la onda evanescente decae exponencialmente en la distancia y no porta energía.

La eficiencia de transferencia es del 45%. La principal contribución es que combina una señal RF relativamente de baja frecuencia 6.78 MHz, bobinas de ferrita y dispositivos de acoplamiento resonante para permitir la máxima eficiencia. Hace uso de un amplificador RF clase AB de 20 W, receptor con rectificador mediante convertidor de RF a DC, con estabilización por capacitor y convertidor SPIC DC a DC para regular el voltaje hacia la batería de 36 V.

Presenta la ventaja de ser libre de cables como todo sistema inalámbrico, pero la desventaja de baja eficiencia (menor al 40%), baja densidad de potencia (0.004 W/cm²), efectos biológicos nocivos, equipo de grandes dimensiones y pesadas y bajo cantidad de potencia transmitida.

Transferencia por acoplamiento capacitivo CPT

Se propone una transferencia de potencia mediante acoplamiento capacitivo CPT estático mediante una estructura de lámina que lo hace simple, efectivo en costo y con una capacidad de transferencia efectiva; es una alternativa respecto al acoplamiento inductivo basado en bobinas y núcleos de ferrita.

Logra un acoplamiento capacitivo alto entre el vehículo y la estación de carga y los controladores asociados a la estación de poder. Se emplea como parte del GAP una goma flexible que mejora la conductividad. Se aplica a una estación fija que cargará la batería de un EV a 156V >1kW, con un acoplamiento capacitivo de 10nF operando a 540kHz.

La carga capacitiva primaria será colocada en una pared y la secundaria en la defensa del EV, la cual se deforma para tener el mejor acoplamiento capacitivo y así cargar directamente la batería; ver figura 4.

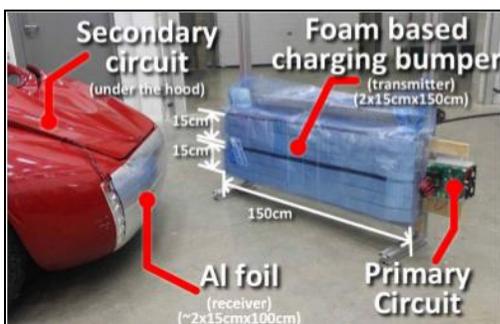


Figura 4 Prototipo de carga por CPT

Transferencia por acoplamiento con ajuste inductivo-capacitivo

El funcionamiento típico de transferencia de energía inalámbrica se da forma inductiva o capacitiva, y por lo mismo incluye inductores y capacitores.

La transferencia de energía puede alcanzarse entre una bobina primaria a otra secundaria a través de una estrecha banda GAP a unos 50 Hz o 60 Hz, lo que se conoce como el fenómeno de transferencia de energía inductiva de campo cercano altamente acoplado.

Si la frecuencia utilizada es lo suficientemente alta, la transferencia, el acoplamiento inductivo entre los dos circuitos puede ser más fuerte debido a la rápida velocidad de cambio el campo magnético, entonces, la transferencia de energía a través del GAP ocurrirá. Un capacitor resonador puede ser utilizado en el circuito secundario para sintetizar la frecuencia resonante del circuito primario, entonces el factor de potencia en la bobina secundaria es 1 y la eficiencia de transferencia se maximizada, a lo que se le llama transferencia de energía basada en resonancia.

Propone un circuito equivalente para deducir un modelo matemático en que se pueda mostrar que el uso de frecuencias altas y acoplamiento magnético más fuertes, acoplados en los dos circuitos resonantes implicarán mayores eficiencias de transferencias de energía.

Se aplica al autobús coreano OLEV (On Line Electric Vehicle), el cual se carga de manera inalámbrica mientras se encuentra en movimiento. Se considera esencial para su comercialización el tamaño de la batería y la ubicación de los transmisores de energía por lo que proponen un método matemático para su optimización.

El transmisor consta de un inversor conectado a bobinas bajo el camino, cuya longitud varía dependiendo de la potencia requerida y las condiciones del camino.

Transferencia por acoplamiento resonante magnético

La tecnología de acoplamiento resonante electromagnético es capaz de transferir energía a través de mayores GAPs, aproximadamente 90% de acoplamiento a 1 metro de distancia; lo anterior mediante dos antenas que resuenan a la misma frecuencia, sin embargo, la inductancia propia de la antena y la capacitancia integrada forman la resonancia a frecuencias del orden de MHz.

Han sido propuestas antenas helicoidales con extremo abierto y corto con un plato magnético para mejorar la eficiencia, no obstante la baja eficiencia de los semiconductores en órdenes de MHz limita su desempeño. Los dispositivos empleados deben transmitir altas potencias.

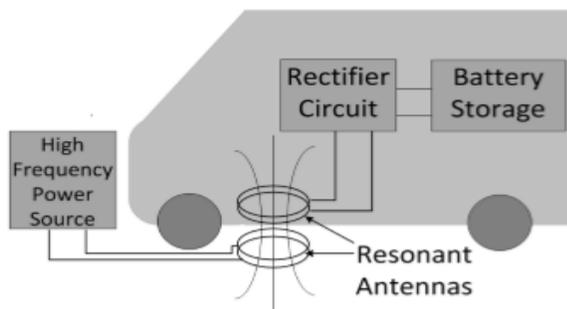


Figura 6 Sistema de carga por acoplamiento resonante magnético

Se propone carga inalámbrica estacionaria y una buena separación entre las bobinas mediante acoplamiento resonante magnético en lugar de acoplamiento inductivo convencional. Parte de que si una frecuencia fija es utilizada, el sistema de resonancia acoplada es muy sensitivo posicionamiento incorrecto del EV, permitiendo un deterioro de la eficiencia.

Por lo tanto, si se le permite a la frecuencia transmitida adaptarse a la posición de las bobinas, puede mantenerse la eficiencia máxima para desviaciones mayores a 20 cm. Una resonancia ágil de frecuencia puede adaptarse al medir la corriente de la bobina transmisora y adapta la frecuencia tal que dicha eficiencia se mantenga y obtener mejor transferencia de energía que los convencionales diseños de frecuencia fija.

Utiliza un acoplamiento resonante magnético para incrementar la distancia entre las bobinas del EV y la estación de carga; se trata de una estación fija. Se pretende desarrollar un sistema que adapte su frecuencia al posicionamiento de las bobinas y sus desviaciones para obtener la máxima eficiencia; ver figura 6.

Se propone una transmisión de energía por resonancia acoplada con alta densidad de potencia para disminuir las dimensiones del sistema y alta eficiencia, 250W 36V, GAP de 100 mm a 200 mm. Así como solucionar la carga y el tiempo de carga de EVs mediante sistemas de carga dinámica inductiva ubicados en el trayecto del camino, tal como lo muestra la pista de Frankfurt a Cologne, donde un Motorway A3 puede trasladarse libremente.

Los parámetros de la red eléctrica aledaña a la autopista varían considerablemente de 750 V a 3 KV DC, arriba de 15 KV AC a 16.7 Hz y 25 KV AC a 50 Hz. Los rangos del voltaje nominal varían de 0.7 a 1.2. El nivel de potencia requerido determinará el tipo de topología electrónica de potencia a conmutar.

Acoplamiento Magnético Permanente

El efecto de velocidad magnética se aplica en un rotor magnetizado en el lado primario, que está girando permanentemente, hace que un rotor secundario gire a la misma velocidad.

Se alcanzó una eficiencia de WPC al 81% a 150 mm de distancia a una frecuencia de 150 Hz; no obstante este modelo requiere alineación y mantenimiento debido a que está conformado por varios componentes mecánicos.

Diseño de bobinas transmisora y receptora

Se propone el diseño de un sistema de transferencia con bobinas transmisoras embebidas en el camino para facilitar la carga de los EV. La bobina primaria implica una medida de 30 cm por 1.6 m y la secundaria de 40 cm de diámetro; ver figura 7. El objetivo es reducir el costo del circuito transmisor.

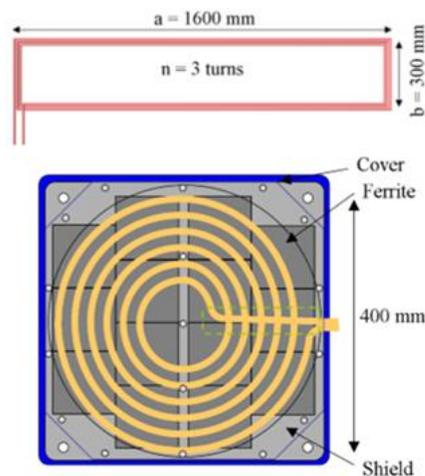


Figura 7 Diseño de bobina primaria y bobina secundaria

$$L = \frac{\mu_0 \cdot n^2}{\pi} \cdot \left(b \cdot \ln \frac{a}{r} + a \cdot \ln \frac{b}{r} \right) \quad (2)$$

$$L = \mu_0 \cdot R \cdot n^2 \cdot \left(\ln \frac{8R}{r} - 2 \right) \quad (3)$$

La bobina primaria es diseñada de manera rectangular, cuya inductancia se expresa en la fórmula (2), donde L es calculada de 33 μH , a , b , r , n establecen la longitud, el ancho y el radio de del cable LITZ que implementará la bobina de radio = 3 mm y que puede soportar corriente por arriba de los 40 A RMS: $a = 1.6$ m, $b = 0.3$ m, $n = 3$.

El receptor es una bobina 40 cm de diámetro y 6 vueltas, blindada por un chasis de aluminio que contiene ferrita. El valor de la inductancia el $L = 27$ micro Henrios, su inductancia se expresa en la fórmula (3).

El coeficiente de acoplamiento calculado en (4) y medido entre las bobinas transmisora y receptora es de 0.09, debido a la asimetría entre las bobinas por lo que para compensar tal acoplamiento han sido implementados circuitos de compensación en el receptor y el transmisor; ver gráfico 2.

El sistema puede transferir 1 KW a más del 90% de eficiencia. 5 transmisores han sido embebidos en el camino y el receptor ha sido instalado en un EV de dos plazas.

$$K = \frac{2R}{a} \cdot \left(\frac{R}{\sqrt{b^2 - 4h^2}} \right)^3 \quad (4)$$

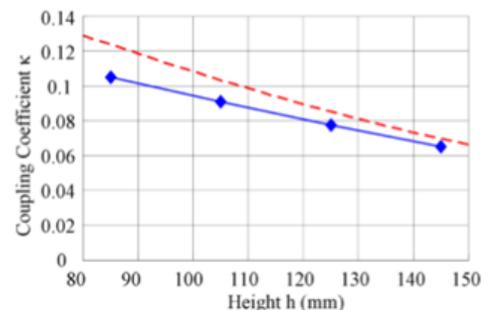


Gráfico 2 Valor medido y valor estimado del coeficiente de acoplamiento

Ventajas y desventajas de la carga inalámbrica dinámica

Ventajas de carga de manera inalámbrica dinámica

- La carga inalámbrica puede reducir el precio del vehículo, ya que puede reducir la cantidad de baterías requeridas en el automóvil y consecuentemente su peso.

- Carga automática mientras se conduce, ahorro de tiempos y movimientos.
- WPT (Carga de energía inalámbrica)/ WPT (Transferencia de energía inalámbrica) ofrecen aislamiento físico entre la red eléctrica y el EV (GAP). Lo que incrementa la seguridad de la carga.
- Proceso automático de carga.
- Mejora la optimización de espacio y tiempo requerido para su carga.

Desventajas de carga de manera inalámbrica dinámica

- Equipo de transmisión-recepción robusta y pesada.
- Limitación al acoplamiento, por lo que su eficiencia de transferencia es baja (menor al 40%).
- Limitaciones en capacidad y velocidad de carga de las baterías actuales.
- Infraestructura requerida a lo largo del camino para cargar al vehículo mientras es conducido.
- Baja densidad de potencia (0.004 W/cm²) y baja cantidad de potencia transmitida.
- Efectos biológicos nocivos.

Organismos regulatorios para protección de la radiación

La Comisión Internacional para la Protección de la Radiación No Ionizada (ICNIRP International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), regula los efectos biológicos de los campos y acoplamientos electromagnéticos involucrados en la transmisión de energía en los EVs. Se cuentan con excepciones de requerimientos de emisión para rangos de frecuencia específicos, siendo 6.78 MHz es una de las frecuencias centrales, no obstante deben considerarse los efectos nocivos a la salud de los humanos, por lo que la radiación se limitará al espacio entre el transmisor y el receptor.

La referencia de valores del nivel de exposición para humanos del flujo de campo magnético está definida en el Gráfico 3.

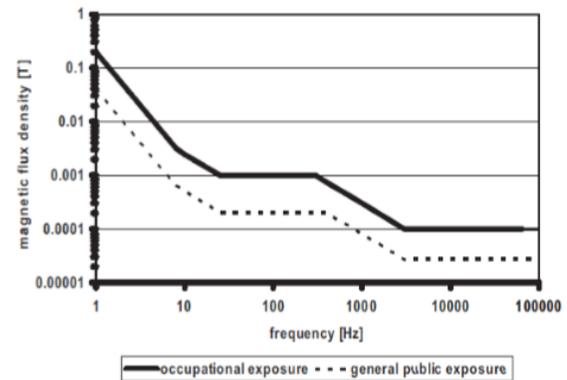


Gráfico 3 Nivel de exposición para seres humanos del flujo de campo magnético

Conclusiones

La carga dinámica o estacionaria en caminos y carreteras electrificados es una propuesta de solución indispensable para el desarrollo y aceptación de los EVs. Para hacer más competitivo el desempeño del EV es necesario reducir su peso al disminuir el número de baterías y compensar dicha reducción al cargarlas mientras es conducido, además de cuando se encuentre detenido.

De esta forma, la capacidad de transferencia de energía, el nivel apropiado de eficiencia, la seguridad y la competitividad de negocios son requerimientos para que la tecnología de los EV sea aceptada comercialmente. Las áreas que deben hacerse más eficientes en la tendencia de carga inalámbrica de EVs son el control electrónico de potencia y compensación de acoplamientos, redes eléctricas paralelas a los trayectos de los EVs para alimentación, infraestructura de transmisión en los caminos, tecnología de información de flujo vehicular y distribución de la carga.

Referencias

- Dai, J. y Ludois, D. “Wireless Electric Vehicle Charging via Capacitive Power Transfer Through a Conformal Bumper”. Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2015 IEEE.
- Jae Jang, Y.; Dae Ko, Y. y Jeong, S. “Optimal Design of the Wireless Charging Electric Vehicle”. Electric Vehicle Conference (IEVC), 2012 IEEE International.
- Khan-ngern W.; Zenkner, H. “Short Range Wireless Power Charging on Small Electric Vehicles”. Electromagnetic Compatibility, Tokyo (EMC'14/Tokyo), 2014 International Symposium on.
- Krishnan, S.; Bhuyan, S.; Pillai V.; Wang, W.; Afif, J. y Lim, K. “Frequency Agile Resonance-Based Wireless Charging System for Electric Vehicles”. Electric Vehicle Conference (IEVC), 2012 IEEE International.
- Pellitteri, F.; Di Tommaso, A.; Miceli, R. “Investigation of inductive coupling solutions for E-bike wireless charging”. Power Engineering Conference (UPEC), 2015 50th International Universities.
- Suh, I. y Kim, J. “Electric Vehicle On-Road Dynamic Charging System with Wireless Power Transfer Technology”. Electric Machines & Drives Conference (IEMDC), 2013 IEEE International.
- Throngnumchai, K.; Hanamura, A.; Naruse, Y. y Takeda, K. ”Design and Evaluation of a Wireless Power Transfer System with Road Embedded Transmitter Coils for Dynamic Charging of Electric Vehicles”. Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27), 2013 World.
- Turki, F.; Staudt, V. y Steimel, A. “Dynamic Wireless EV Charging fed from Railway Grid: Grid Connection concept”. Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles (ESARS), 2015 International Conference on.
- Wang, S.; Dorrell D. “Review of Wireless Charging Coupler for Electric Vehicles”. Industrial Electronics Society, IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE.
- Zhang, J.; Zhu, C.; Chan, C. “A Wireless Power Charging Method for Automated Guided Vehicle”. Electric Vehicle Conference (IEVC), 2014 IEEE International.