



UTEC
Universidad de Ingeniería y Tecnología

ABP - Primera Entrega

Título:

Optimización de filtros eléctricos en cargadores de baterías para vehículos eléctricos mediante la aplicación de funciones de transferencia.”

Curso: Ecuaciones Diferenciales Ordinarias (CC2101)

Teoría: 1.01 - Grupo 6

Profesora: Patricia Reynoso Quispe

Fecha: 09/05/2025

Integrantes	Código	Participación %
Choque Shuan, Katherine Massiel	202410623	100
Huaman Yay, Alexis	202210507	100
Oceda Chavez, Elizabeth Emperatriz	202220111	100
Vásquez Bustamante, María Fernanda	202220385	100

Índice

■ Introducción	2
• Pregunta de investigación	
■ Objetivos	3
• Objetivo general	
• Objetivos específicos	
■ Justificación	4
■ Marco teórico	4
• 1. Conceptos	
◦ 1.1 Función de Transferencia	
◦ 1.2 Transformada de Laplace	
◦ 1.3 Leyes de Kirchhoff	
◦ 1.4 Armónicos en Circuitos Eléctricos	
• 2. Campo de Aplicación Específico	
◦ 2.1 Métodos de Resolución	
◊ I. Análisis mediante la función de transferencia	
◊ II. Resolución mediante la Transformada de Laplace	
◊ III. Simulación y análisis de estabilidad	
■ Formulación del problema	7
■ Referencias bibliográficas	8

1. Introducción

El transporte es un componente esencial de la sociedad moderna, ya que facilita el movimiento de personas y bienes, impulsa la economía y favorece la interacción social. Con el tiempo, los vehículos se han convertido en el principal medio para satisfacer estas necesidades. Actualmente, el sector atraviesa una transformación impulsada por el auge de los vehículos eléctricos, que, al funcionar con energía eléctrica en lugar de combustibles fósiles, representan una alternativa más sostenible y contribuyen a la disminución de la contaminación ambiental. Según la Agencia Internacional de Energía (2023), la adopción de vehículos eléctricos podría reducir las emisiones de carbono en un 30 % para el 2040, lo que destaca aún más la importancia de esta transición.

A pesar de las ventajas ambientales de los vehículos eléctricos, uno de los retos más importantes radica en la gestión óptima de la energía almacenada en sus baterías. Un problema frecuente en este tipo de sistemas es la presencia de armónicos, que son fluctuaciones no deseadas en la corriente eléctrica. Estos armónicos afectan tanto el rendimiento del sistema como la vida útil de las baterías, lo que subraya la necesidad de una solución eficaz para mitigar este problema. Según Palafox (2009), los medios de transporte son responsables del 50 % de la contaminación mundial, lo que pone en evidencia la importancia de encontrar alternativas más limpias y eficientes. Diversos autores han demostrado que los armónicos no solo reducen la eficiencia, sino que también generan pérdidas térmicas considerables en los convertidores (Marcos-Pastor et al., 2015; Orellana Uguña et al., 2022).

Existen estudios recientes que han explorado la reducción de armónicos en sistemas de carga mediante diversas técnicas de filtrado. Sin embargo, la mayoría de estos enfoques no han logrado optimizar de manera significativa la eficiencia de los filtros, especialmente en escenarios de carga rápida. El uso de filtros LCL y técnicas de control avanzado ha mostrado buenos resultados, pero requiere un diseño cuidadoso del sistema y de sus parámetros (Zhang et al., 2021; Fernández et al., 2022). La función de transferencia, como herramienta matemática clave en el análisis de sistemas dinámicos, ofrece una forma eficaz de modelar y optimizar el comportamiento de estos filtros, mejorando su desempeño en diversas condiciones. En este proyecto, se pretende utilizar la función de transferencia en los filtros eléctricos en cargadores de baterías para vehículos eléctricos, no solamente optimizando su rendimiento, sino también en la estabilización de la corriente, lo que ayuda a evitar sobrecargas, reducir los armónicos y contribuir a un futuro más sostenible en el transporte.

Esto evidencia que es necesario complementar el diseño de filtros con estrategias que aborden integralmente los efectos de los armónicos en sistemas de carga. En ese contexto, se ha documentado que “los filtros de armónicas son esenciales para mitigar las distorsiones en sistemas HVDC, mejorando así la calidad de la energía transmitida” (Rogers Acevedo, 2008, p. 15). Además, el uso de modelos con función de transferencia no solo potencia la capacidad predictiva del comportamiento dinámico del sistema, sino que también permite diseñar filtros adaptativos que se ajusten a distintas condiciones operativas. A esto se suma la importancia de implementar controles que compensen componentes de secuencia negativa y cero, garantizando así una operación más estable de las microrredes (Universidad de Chile,

2015, p. 22).

Pregunta de investigación

“¿Cómo podría el uso de la función de transferencia en un filtro electrónico mitigar los armónicos en los sistemas eléctricos de carga de vehículos eléctricos?”

2. Objetivos

Objetivo general

Optimizar el diseño y análisis de filtros electrónicos reduciendo los armónicos en sistemas de carga de baterías para vehículos eléctricos, con el fin de mejorar la eficiencia y la estabilidad del proceso de carga.

Objetivos específicos

- Analizar cómo la función de transferencia se aplica al diseño de filtros electrónicos para mitigar los armónicos en sistemas de carga de baterías para vehículos eléctricos.
- Revisar estudios sobre el impacto de los armónicos en la eficiencia de la carga de baterías de vehículos eléctricos, basándose en la relación entre el análisis de circuitos eléctricos a base de las leyes de Kirchhoff.
- Demostrar que la aplicación de la función de transferencia en los filtros de cargadores de baterías mediante la formulación de una ecuación diferencial, basándose en los modelos teóricos presentados en investigaciones previas.
- Revisar el impacto de los convertidores de potencia en el diseño de cargadores de baterías, específicamente en su función como controladores de factor de potencia (PFC) y reguladores de corriente.

3. Justificación

El crecimiento acelerado de la demanda de vehículos eléctricos ha impulsado la necesidad de sistemas de carga más eficientes y estables. Uno de los principales problemas en estos sistemas es la generación de armónicos, que deterioran la calidad de la energía eléctrica y afectan negativamente tanto el funcionamiento del cargador como la durabilidad de la batería. En este contexto, el presente estudio busca aplicar la función de transferencia como una herramienta de análisis y optimización de filtros electrónicos, con el fin de mitigar dichos armónicos y mejorar el rendimiento global del proceso de carga.

Además, esta investigación contribuye al avance tecnológico del sector del transporte sostenible, proporcionando una base teórica y práctica para el diseño de sistemas de carga más seguros y confiables. El enfoque basado en la función de transferencia permite un análisis más preciso del comportamiento dinámico de los filtros, lo cual resulta esencial para la mejora continua de los cargadores de baterías y, por ende, de la infraestructura vehicular eléctrica.

4. Marco teórico

En el contexto de la movilidad eléctrica, el estudio de los sistemas eléctricos ha cobrado relevancia debido al creciente uso de vehículos eléctricos, cuyos cargadores están expuestos a perturbaciones como los armónicos. Estas fluctuaciones en la corriente eléctrica afectan la calidad de la carga, reduciendo la eficiencia del sistema y acortando la vida útil de componentes como las baterías. Para mitigar estos efectos, se emplean herramientas matemáticas como la función de transferencia y la Transformada de Laplace, que permiten modelar el comportamiento del sistema y diseñar filtros electrónicos adecuados (Zhang, Wang, & Li, 2021). Este marco teórico aborda los principios esenciales para dicho análisis, incluyendo las leyes de Kirchhoff, fundamentales en el estudio de circuitos eléctricos.

4.1. 1. Conceptos

4.1.1. 1.1 Función de Transferencia:

La función de transferencia es una herramienta matemática utilizada para describir la relación entre la entrada y la salida de un sistema dinámico en el dominio de Laplace. Es especialmente útil en la ingeniería de control y en el análisis de sistemas eléctricos, donde permite modelar la respuesta del sistema ante perturbaciones como los armónicos. En el caso de los cargadores de baterías de vehículos eléctricos, la función de transferencia ayuda a modelar el comportamiento de los filtros electrónicos que mitigan los armónicos presentes en el sistema de carga (Bolaños, s/f).

4.1.2. 1.2 Transformada de Laplace:

La Transformada de Laplace es una herramienta esencial en el análisis de sistemas dinámicos, permitiendo convertir ecuaciones diferenciales en ecuaciones algebraicas. Este enfoque simplifica la resolución de problemas complejos en circuitos eléctricos y otros sistemas dinámicos. En el contexto de los cargadores de baterías, la transformada de Laplace es útil para analizar cómo los filtros afectan la señal de entrada, permitiendo el diseño de soluciones más efectivas para mitigar los armónicos (Lázaro et al., 2016).

4.1.3. 1.3 Leyes de Kirchhoff:

Las leyes de Kirchhoff son esenciales para la evaluación de circuitos eléctricos. Así mismo, la ley de corrientes de Kirchhoff (LCK) establece que la suma de las corrientes en un nodo es cero, mientras que la ley de voltajes de Kirchhoff dicta que la suma de los voltajes en una malla cerrada es cero. Estas leyes son clave para entender el flujo de energía en los sistemas de carga de baterías y son esenciales en el diseño de filtros que ayudan a reducir los armónicos (Arias, 2015).

4.1.4. 1.4 Armónicos en Circuitos Eléctricos:

Los armónicos son componentes de frecuencia múltiplo de una señal fundamental que se superponen a la señal de corriente o voltaje en un sistema eléctrico. Estas frecuencias adicionales son generadas por la no linealidad de los dispositivos conectados al sistema, como convertidores de potencia o cargadores de baterías, que generan distorsiones en la forma de onda de la corriente o el voltaje. Estos armónicos afectan negativamente la calidad de la señal eléctrica y pueden interferir con el funcionamiento adecuado de los componentes del sistema (Abundis, 2016).

4.2. 2. Campo de Aplicación Específico

El campo de aplicación específico de este proyecto es el sistema eléctrico de carga de baterías para vehículos eléctricos. Este sistema es un ejemplo de un sistema dinámico que se ve afectado por la presencia de armónicos, los cuales son fluctuaciones en la corriente que pueden afectar negativamente la eficiencia de la carga y la vida útil de las baterías. El estudio se enfoca en cómo los filtros electrónicos, modelados a través de ecuaciones diferenciales y utilizando la función de transferencia, pueden mitigar estos armónicos, mejorando así el rendimiento del sistema de carga.

4.2.1. 2.1 Métodos de Resolución:

I. Análisis mediante la función de transferencia:

Para resolver el problema de los armónicos en los sistemas de carga, se utilizará la función de transferencia para modelar el comportamiento de los filtros electrónicos. Esto permitirá predecir la respuesta del sistema ante perturbaciones y optimizar el diseño de los filtros.

II. Resolución mediante la Transformada de Laplace:

Se aplicará la Transformada de Laplace a las ecuaciones diferenciales que describen los circuitos eléctricos, transformándolas en ecuaciones algebraicas más fáciles de manejar (Fernández et al., 2022). Este método es crucial para analizar cómo los filtros electrónicos pueden mitigar los armónicos y mejorar la eficiencia del sistema de carga.

III. Simulación y análisis de estabilidad:

Se realizarán simulaciones del sistema de carga de baterías, modelado mediante la función de transferencia y las ecuaciones diferenciales, para evaluar el impacto de los armónicos y la efectividad de los filtros. Además, se analizará la estabilidad del sistema utilizando herramientas matemáticas basadas en las leyes de Kirchhoff y otros métodos de resolución analítica.

IV. Aplicaciones complementarias:

Se revisarán estudios previos sobre estrategias de compensación activa y control adaptativo que permitan un mejor rendimiento en condiciones variables. Se tomarán como referencia modelos similares en microrredes y sistemas HVDC (Rogers Acevedo, 2008; Universidad de Chile, 2015).

5. Formulación del problema

En este proyecto, se estudiará un convertidor boost, que es un tipo de convertidor DC-DC utilizado en cargadores de baterías para vehículos eléctricos. En este análisis, se modelarán las pérdidas por conducción de los componentes clave como la bobina (L), condensador (C), diodo directo (D) y mosfet activado (Q), además de incluir un modelo de la batería compuesto por una resistencia R_{bat} en serie con una fuente de voltaje V_{bat} . El modelo presentado a continuación considera supuestos como la linealidad del sistema, y las limitaciones incluyen la no consideración de efectos no lineales complejos que podrían ocurrir en condiciones extremas.

El modelo está representado por las siguientes ecuaciones de pequeña señal:

$$V_L(s) = V_G(s) - L_L(s) \cdot R_{eq} - V_D \cdot D' - V_0 \cdot D'$$

$$I_C(s) = \frac{V_0(s) - V_{bat}}{R_0} + I_L(s) \cdot D'$$

Donde:

- $V_L(s)$ – Es la tensión en la bobina.
- $V_G(s)$ – Es la fuente de entrada.
- $I_L(s)$ – Es la corriente de la bobina.
- V_D – Es el voltaje del diodo.
- D' – Es el ciclo de trabajo complementario del PWM.
- $V_0(s)$ – Es la tensión de salida.
- R_{eq} – Es la resistencia equivalente del circuito.
- R_0 – Es la resistencia de carga.
- $I_L(s)$ – Es la corriente de la bobina.

Este conjunto de ecuaciones describe el comportamiento del convertidor en condiciones de pequeña señal, permitiendo analizar la respuesta del sistema ante las fluctuaciones. El modelo de pequeña señal se utiliza para identificar los efectos de las pérdidas por conducción en el circuito de carga y su influencia sobre la eficiencia del sistema de carga de baterías.

El análisis de los armónicos y su filtrado en este sistema es fundamental para mejorar la eficiencia del cargador. Los armónicos generados en el sistema pueden alterar la calidad de la energía suministrada a la batería y, por lo tanto, influir en su vida útil y rendimiento.

Un parámetro clave en este modelo es la resistencia de carga R_0 y la resistencia interna de la batería R_{bat} . Estos parámetros se estudiarán con mayor profundidad más adelante, ya que son cruciales para entender cómo las pérdidas de energía afectan la eficiencia global del convertidor y el tiempo de vida útil de la batería. También se investigará el efecto del ciclo de trabajo del PWM en la respuesta del sistema.

6. Referencias bibliográficas

- Abundis, A. (2016). *Causas y efectos de armónicos en sistemas eléctricos de potencia*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.
- Agencia Internacional de Energía. (2023). *Electric vehicles and the transition to clean energy*. Recuperado de <https://www.iea.org/energy-system/transport/electric-vehicles>
- Agencia Internacional de Energía. (2023). *Global EV Outlook 2023*. Recuperado de <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>
- Arias, D. (2015). *Influencia del vehículo eléctrico sobre la fiabilidad de los sistemas eléctricos*. Escuela Politécnica Superior, Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales.
- Bolaños, C. V. J. (s/f). *Modelado de sistemas eléctricos y funciones de transferencia*. Recuperado el 17 de mayo de 2024, de https://suayed.cuautitlan.unam.mx/uapasa/01_ModSisEle_FuncDeTrans/
- David, V. (2021). *Modelado de sistemas eléctricos y funciones de transferencia*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Fernández, L. L. M., Serra, F. M., De Angelo, C., & Asensio, E. M. (2022). *Control IDA-WAC para cargador de baterías de vehículos eléctricos conectado a la red con filtro LCL*. 2022 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON), 1–6. <https://doi.org/10.1109/ARGENCON55245.2022.9939974>
- Greenpeace. (2010). *El transporte y las emisiones de gases de efecto invernadero*. Recuperado de <https://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/2010-10-26-2.pdf>
- Marcos-Pastor, A., Vidal-Idiarte, E., Cid-Pastor, A., & Martínez-Salamero, L. (2015). *Design and control of a battery charger for electric vehicles*. ResearchGate. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3196.0080>

-
- Orellana Uguña, C. M., González Morales, L., & Verdugo, K. (2022). *Diseño de un cargador rápido de baterías para vehículos eléctricos enchufables en el punto de conexión común de la red de distribución de energía eléctrica*. *Elektron*, 6(2), 77–85. <https://doi.org/10.37537/rev.elektron.6.2.161.2022>
 - Paipa, C. C., Ramírez, J. C., Trujillo, C. L., Alarcón, J. A., & Jaramillo, A. A. (2020). *Diseño de cargador de baterías con baja distorsión armónica de corriente para aplicación en vehículos eléctricos*. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 28(4), 706–717. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052020000400706&script=sci_arttext&tlng=en#B5
 - Rogers Acevedo, G. G. (2008). *Diseño sistema de filtros de armónicas en corriente alterna para un enlace HVDC* [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio Académico Universidad de Chile. https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103154/rogers_ga.pdf
 - Universidad de Chile. (2015). *Diseño de estrategias de control para operación desbalanceada de sistemas eléctricos de potencia* [Tesis de pregrado]. Repositorio Académico Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/134595/Diseno-de-estrategias-de-control-para-operacion.pdf>
 - Zhang, Y., Wang, Z., & Li, Y. (2021). *A New Feedback Method for PR Current Control of LCL-Filter-Based Grid-Tied Inverters*. *Energies*, 14(5), 1303. <https://doi.org/10.3390/en14051303>