



Informe Técnico

Acoplador Electromagnético de Carga

Gerardo Calva Olmos

Fecha

Desarrollo

Financiamiento interno

Acoplador Electromagnético de Carga

Gerardo Calva Olmos

Grupo académico de Modelado y Simulación de Procesos

Resumen

Diseño y desarrollo de un acoplador electromagnético de carga para ser utilizado en sistemas de desarrollo para laboratorio de enseñanza e investigación, y para aplicaciones en pruebas de baja potencia. Las aplicaciones para las que fue diseñado pueden estar, entre las longitudes de onda de: 2.42 cm a 3.65 cm. Con una impedancia característica de 50Ω , y una potencia no mayor a los 100 mW. Una parte importante del acoplador es el elemento de atenuación, elemento interno del acoplador, por lo que para su diseño y desarrollo se realizaron pruebas en varias muestras de material, y al final de las pruebas individuales se compararon los resultados, y se seleccionaron los tres elementos con mejor atenuación. De ellos, y con base en los resultados de las pruebas, se determinó al elemento de atenuación que se utilizó en el prototipo. Posteriormente se hizo la selección del elemento externo o guía de onda, con base en las longitudes de onda de funcionamiento ya especificadas para generar el prototipo. Las pruebas a los elementos de atenuación y al prototipo desarrollado, se hicieron en el laboratorio de desarrollo. Obteniendo para el prototipo generado, una relación de onda estacionaria menor a: 1.8, a una longitud de onda de 3.1 cm de la señal de prueba, y a una potencia de 50 mW. Las pruebas de validación al prototipo, se realizaron en laboratorio externo. En estas pruebas de validación, más extensas, se obtuvieron mediciones de relación de onda estacionaria que van de: 1.1252 a 1.4943. En estas pruebas se cubrieron longitudes de onda de: 2.6258 cm a 3.5054 cm.

Índice

Nomenclatura

Introducción

1 Diseño y desarrollo del prototipo de acoplador

electromagnético de carga.....6

1.1 Materiales y formas que absorben energía.....7

2 Pruebas a las muestras de elementos que absorben energía.....8

3 Resultados obtenidos.....9

3.1 Primera parte. Prueba local al prototipo.....10

3.2 Segunda parte. Validación externa del prototipo.....10

Conclusiones.....12

Agradecimientos.....12

Referencias Bibliográficas.....13

Nomenclatura

Símbolo	Significado
SWR	Relación de onda estacionaria

Introducción

Un acoplador electromagnético de carga cumple la doble función de mantener la impedancia característica de la línea de transmisión (Calva 2014), y atenuar la parte de la energía que alcance a llegar hasta el extremo receptor de la línea de transmisión (Shrader). Asegurando con ello un flujo continuo de la energía que se esté utilizando. De esta manera, se mantiene en un nivel mínimo la posibilidad de que haya reflexión de energía.

En la figura 1, se aprecia un sistema de envío recepción de energía. En él, se hace mención de la energía que puede llegar a regresar hacia la fuente (generador). Lo cual se debe evitar y en caso de que exista un regreso de energía, este se debe mantener en niveles bajos (inferiores a 2) ya que podría causar daño al oscilador.

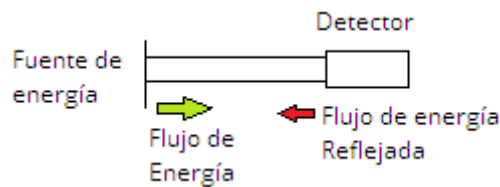


Figura 1. Diagrama de bloques de un sistema de envío recepción de energía.

Para diseñar y construir el acoplador electromagnético se tuvo en consideración las longitudes de onda en las que pueda ser utilizado, así como la potencia que pueda tener la señal utilizada y una impedancia característica de 50Ω (Gupta). Teniendo en cuenta los anteriores parámetros se procedió a diseñar el acoplador electromagnético de carga.

El acoplador electromagnético de carga consiste básicamente de dos elementos. El primer elemento, es el material cuya propiedad es la de atenuar energía, la energía que como se presentó en párrafos anteriores no debe regresar hacia el generador. El segundo elemento es el recinto en el cual, se sitúa el primer elemento. Este segundo elemento es una sección de guía de onda la cual se selecciona con base a las longitudes de onda para las cuales se quiere utilizar el acoplador electromagnético. Las longitudes de onda de interés tienen como límite inferior: 2.42 cm y para el límite superior se fija en: 3.65 cm (Schoenbeck). Estas son las longitudes de onda en donde el acoplador electromagnético de carga podrá ser utilizado. Para la construcción de este segundo elemento, se utiliza un perfil comercial de latón, como guía de onda, el cual se procesa para que pueda ser incluido dentro del arreglo de línea de transmisión.

Ahora, para el primer elemento, el encargado de atenuar la energía, se probaron diversos materiales y se fueron eliminando aquellos materiales que presentaban poca atenuación, al final de estas pruebas se tuvieron tres posibles materiales, para seleccionar de entre ellos al que mejor respuesta presentara, el que atenuara la mayor cantidad de energía utilizada en la prueba.

Después de haber seleccionado al mejor material atenuador, y al perfil de latón adecuado por sus dimensiones, se maquinaron ambos elementos para entonces formar el prototipo con el cual realizar una prueba en el sistema de transmisión de energía, es decir insertando dicho prototipo de acoplador electromagnético de carga en una línea de transmisión de energía convencional. La cual cumplía con las características establecidas desde un inicio en este documento, en lo referente a longitud de onda potencia e impedancia de línea.

El prototipo que se obtuvo se sujetó a dos pruebas. La primera en el laboratorio de desarrollo y la segunda prueba en un laboratorio externo.

Para la prueba en el laboratorio de desarrollo se utilizó un arreglo de transmisión de detección en el que se insertó el prototipo de acoplador electromagnético de carga.

Para la prueba de validación, esta fue realizada en un laboratorio externo. Las condiciones fueron impuestas por el laboratorio externo y sólo participó personal de dicho laboratorio.

Los resultados de ambas pruebas se podrán consultar en la sección de resultados de este mismo informe técnico.

1 Diseño y desarrollo del prototipo de acoplador electromagnético de carga

En un sistema de transmisión de energía electromagnética es importante asegurar una transmisión fluida de la energía empleada, y cuando esto no sucede, cuando existe energía regresando, un acoplador electromagnético de carga puede limitar parte de esa energía e inclusive llevarla a niveles muy por debajo de lo establecido por el propio sistema.

El acoplador desarrollado está compuesto esencialmente de dos elementos, el elemento externo que básicamente es una sección de guía de onda, y el elemento interno, que es la parte que atenúa la energía electromagnética que llega al final de la línea después de propagarse a través de la línea de transmisión.

En el diseño desarrollo y fabricación de un acoplador electromagnético de carga, se requiere partir de la longitud de onda en la que se espera sea utilizado. Para este caso en específico se tienen las longitudes de onda de la banda de frecuencias que poseen las longitudes de onda que van de: 2.42 cm a 3.65 cm. Con base en las especificaciones de las longitudes de onda, es posible proponer el tipo de perfil metálico que más se acerca a los límites fijados para la guía de onda.

Se seleccionó un perfil comercial de latón, que posee las dimensiones físicas acordes con las longitudes de onda establecidas, y que sirvió para la fabricación del prototipo.

Las dimensiones del perfil comercial del que se dispuso resultaron: $a=2.29$ cm; $b=1.1$ cm. Ver figura 2.

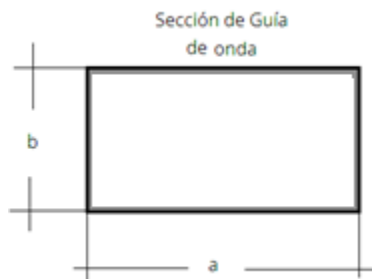


Figura 2. Dibujo frontal de la sección de guía de onda.

En la figura 2, se aprecia el dibujo de una vista frontal del perfil de latón. Esta pieza es procesada para su uso habitual en los sistemas de propagación

electromagnética, se hace esto para que pueda ser insertada en la línea de prueba sin que vaya a ocasionar modificaciones sustanciales en la línea de propagación. Se le procesó para tener los medios convencionales de sujeción (Schoenbeck).

1.1 Materiales y formas que absorben energía

Para el elemento interno del acoplador se propusieron y probaron diversos materiales de los cuales al final se seleccionaron tres tipos de materiales. Para la forma del material se hicieron ligeras variaciones sobre el polígono, con base en las primeras pruebas de concepto. Dos de las formas se pueden apreciar en la fotografía de la figura 3.

Para esta parte es posible variar el diseño de la forma del elemento interno. Lo anterior para lograr efectos de absorción adecuados, y evitar la posible reflexión de energía, además se busca una forma que pueda servir para mejorar la sujeción de ambos elementos que forman el atenuador electromagnético. Las diferentes formas y disposiciones internas, se exploraron para lograr un buen funcionamiento (Shrader, Schoenbeck).



Figura 3. Fotografía de dos de los elementos internos probados en la línea de transmisión.

Típicamente se diseñan y desarrollan estos elementos internos de acuerdo a una forma que permite una buena propagación de la energía entre la fuente y el detector, para así evitar que se produzcan reflexiones. Casi siempre el elemento interno presenta una arista a la entrada de la sección de guía de onda. Su forma

más amplia en la base permite además, una mejor área para sujeción de los elementos, y por supuesto una absorción óptima de la energía, lo que resulta esencial para su desempeño.

2 Pruebas a las muestras de elementos que absorben energía

Se hicieron pruebas sobre diferentes materiales y se eliminaron los que no tenían una buena atenuación, hasta dejar sólo tres tipos de muestras.

Las pruebas hechas a las diferentes muestras de materiales, consistieron en exponer a cada una de las muestras a un flujo de energía de aproximadamente 10 mW, y en una longitud de onda de 3.1 cm.

Cada una de las muestras se probaron por separado siguiendo el mismo protocolo de prueba para cada una, y al final los resultados fueron comparados.

Muestras resultantes utilizadas

M1 - Forma piramidal con cubierta

Esta muestra se cubrió con un material resistivo

M2 - Polígono sin cubierta

M3 - Rectángulo cubierto de material resistivo

Material resistivo. Se utilizaron varios materiales resistivos para cubrir algunas de las muestras de material de absorción (elemento interno).

Algunos de los materiales utilizados para la cubierta de los polígonos están formados por material carbonizado o de hierro, otros más que se probaron tienen como base grafito.

Protocolo de prueba para las muestras del elemento interno.

El arreglo utilizado en la prueba es similar al que se presenta en el esquema de la figura 1 de este informe.

1. se inserta la muestra en una sección de guía de onda.

2. se aplica energía proveniente del generador. Cualquier generador, que emita una señal a una longitud de onda de: 3.1 cm, y con una potencia mínima de 10 mW.
3. detección de la señal al final de la línea de transmisión. Registro de resultados.

El objetivo de estas pruebas es el de conocer qué tipo de material genera un menor voltaje al final de la línea de transmisión, para poder ser utilizado como elemento interno del acoplador electromagnético de carga

En la siguiente tabla Tabla 1, se presentan los resultados obtenidos en el laboratorio de diseño y desarrollo, a partir de pruebas realizadas sobre los materiales con los que se fabricaron los elementos internos (polígonos).

Tabla 1. Mediciones obtenidas para cada muestra.

Muestra	Voltaje detectado
M1	136mv
M2	26mv
M3	180.2mv

En la tabla 1, se puede apreciar que el material con menos voltaje reflejado es el marcado como M2.

Con base en estos primeros resultados se procedió al desarrollo del prototipo, utilizando como elemento interno a la muestra de material marcado como M2, y con la sección de guía de onda previamente seleccionada, la cual fue expresamente procesada para dar cabida al material.

A la sección de guía se le acondiciona con los aditamentos necesarios para poder ser insertada y sujeta en el sistema de instrumentación. En la línea de propagación de energía.

Al obtener ambos elementos seleccionados y ya procesados para su uso, se procedió a unir ambos elementos y someter al prototipo resultante, a la prueba en el laboratorio de diseño y desarrollo.

3 Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos se dividieron en dos partes.

La primera parte fueron resultados parciales, obtenidos en el laboratorio de diseño y desarrollo del prototipo.

La segunda parte de estos resultados, son los obtenidos en uno de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

3.1 Primera parte. Prueba local al prototipo

Para los primeros resultados obtenidos con el prototipo, se utilizó equipo del laboratorio de modelado y simulación de procesos, en una configuración similar a la presentada en diagrama de bloques en la figura 4. Esta prueba se hizo mediante el sistema de aplicación de energía electromagnética en línea, que funciona a una longitud de onda fija de 3.1 cm. Con una potencia máxima de: 50 mW. En esta primera parte, durante la prueba, se pudieron obtener resultados que estuvieron por debajo de lo establecido, con una relación de onda estacionaria (SWR, por sus siglas en inglés) menor a los: 1.8

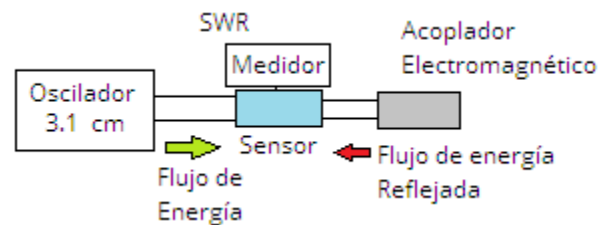


Figura 4. Diagrama de bloques que presenta un arreglo diseñado para pruebas

3.2 Segunda parte. Validación externa de prototipo.

La prueba de validación del prototipo, segunda prueba. Se realizó en el *laboratorio de electromagnetismo aplicado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM*. Dicha prueba se realizó aplicando energía electromagnética en longitudes de onda dentro de la banda para la cual se diseñó y fabricó el prototipo. La prueba se llevó a cabo utilizando un analizador de redes vectorial, de la marca *Hewlett Packard* modelo: 87220, lo que posibilita el tener una traza de la pieza diseñada y desarrollada.

La respuesta del prototipo se puede acreditar debido a que el analizador de redes vectorial, Hewlett Packard modelo: 87220, es un equipo certificado, de uso generalizado en laboratorios de electromagnetismo.

En la figura 5, se puede apreciar una fotografía del analizador de redes vectorial perteneciente al laboratorio de *electromagnetismo aplicado de la Facultad de Ingeniería*, en la que se puede ver el tipo de respuesta que tiene el prototipo diseñado y desarrollado.

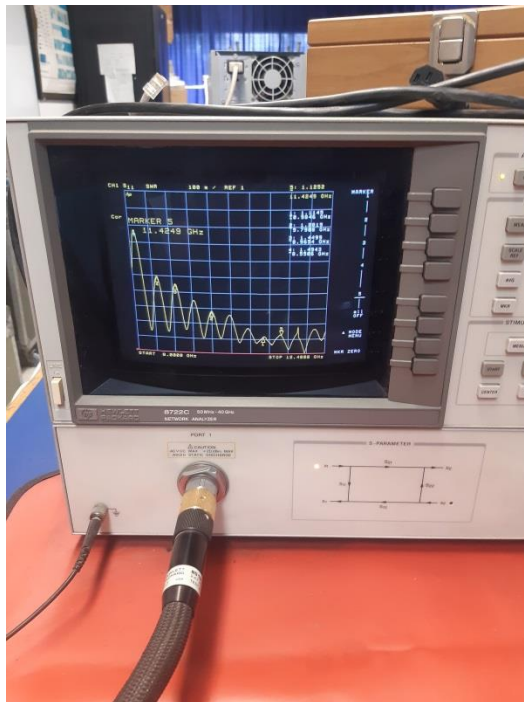


Figura 5. Fotografía de la pantalla del analizador de redes vectorial utilizado en la prueba al prototipo. Fotografía proporcionada por el Dr. Martinyuk

Durante la prueba se obtuvieron y registraron los datos correspondientes al análisis del prototipo. La gran ventaja en esta prueba de validación, con este tipo de equipos de laboratorio, consiste en que la prueba la realiza desde un límite inferior y hasta un límite superior de la banda de frecuencias. Cubriendo en este caso, la banda de operación, con un límite inferior en los: 8.55806 GHZ y un límite superior de: 11.4249 GHZ. Estos datos se presentan en la tabla 2.

Como se menciona en el párrafo anterior, la prueba abarcó longitudes de onda que están dentro de los límites de la banda que previamente fueron fijadas, al inicio del diseño. Los niveles de SWR, se mantuvieron por debajo de uno punto cinco, con lo que se corrobora que el prototipo diseñado y fabricado cumple con las exigencias para ser utilizado en un laboratorio de electromagnetismo. Los resultados obtenidos se pueden apreciar en la tabla 2.

En la tabla 2, se incluye el SWR medido, y que está asociado con las frecuencias.

Tabla 2. Resultados obtenidos durante la prueba al prototipo en laboratorio externo

Frecuencia en GHZ	SWR
8.55806	1.4943
8.9654	1.4499
9.7908	1.2819
10.9846	1.1145
11.4249	1.1252

En la realización de la prueba de validación, sólo participó personal del propio laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

Conclusiones

Se puede concluir que el prototipo de acoplador electromagnético, diseñado y fabricado cumple con todos los requisitos para ser utilizado en un laboratorio de electromagnetismo, en las longitudes de onda ya fijadas, sea este de enseñanza o de investigación.

Los niveles de SWR que se presentaron durante las pruebas tanto del laboratorio de desarrollo como del laboratorio de validación, están dentro de los márgenes de tolerancia.

Agradecimientos

Agradecimiento al Dr. O. Martynyuk del *Laboratorio de Electromagnetismo Aplicado*, de la *Facultad de Ingeniería de la UNAM*, por su valioso apoyo para realizar una extensa prueba al prototipo diseñado y fabricado en el ICAT.

Referencias Bibliográficas

Calva Olmos Gerardo, Pacchiano Mario. *"Determinación de características en materiales húmedos mediante microondas utilizando la técnica de línea de transmisión"*. II-DESAP-2010-033. 2014

Gupta K.C. Microondas.1983. Limusa. México.

Schoenbeck Robert J. Electronic communications. Maxwell Mc Millan International Editions.

Shrader Robert L. Comunicación Electrónica. Mc Graw Hill. Segunda edición. 1968.