

Detección de fallas por interferencias electromagnéticas en sistemas de control utilizando redes neuronales artificiales

José A. Andrickson Mora
Universidad Nacional Experimental del Táchira
San Cristóbal, Edo. Táchira, Venezuela.
(andrick@telcel.net.ve)

Jaime Ramírez A.
Universidad de Los Andes
Mérida, Edo. Mérida, Venezuela.

Resumen

El propósito del presente estudio es la detección de las fallas en procesos, producidas por las interferencias electromagnéticas sobre los sistemas. Utilizando como detector de falla las Redes Neuronales Artificiales.

Como resultado de esta investigación se debe obtener una propuesta de corrección de interferencias electromagnéticas sobre los sistemas de control utilizando redes neuronales artificiales.

Palabras Clave: Interferencias electromagnéticas, Redes neuronales Artificiales, Motor de inducción, Control, Interfase humano-maquina.

1. Introducción

Al momento de la puesta en marcha de un proceso, la buena elección de los dispositivos que componen el sistema es muy importante, aun mas si estos elementos se pueden ver perturbados por interferencias electromagnéticas que de un manera u otra produzcan fallas ficticias en los procesos. Provocando incluso que se detenga dicho proceso.

Con el avance de la automatización, la complejidad en los procesos y el tratamiento de las señales han aumentado, lo cual ha traído como consecuencia que los problemas de interferencias electromagnéticas tomen mayor importancia. Los mecanismos generales mediante los cuales se puede producir estas interferencias son: a través de los circuitos que comparten alguna impedancia, o que un circuito esté

sometido a la acción de un campo eléctrico, magnético o electromagnético creado por otro circuito.

En el presente trabajo se plantea una hipótesis metodológica para el uso de las Redes Neuronales Artificiales con el fin de diagnosticar fallas producidas por interferencias electromagnéticas. Haciendo uso de un modelo matemático el cual describe el proceso real.

2. Metodología

La metodología a seguir para el estudio de la detección de fallas de interferencias electromagnéticas utilizando redes neuronales artificiales es la siguiente: realizar la simulación, la cual permita comprobar lo planteado.

Para lograr la comprobación de las interferencias es necesario plantear la planta o proceso sobre el cual se operará, también se debe implementar el acondicionador de la señal de salida, así como el controlador. También se debe simular las interferencias electromagnéticas y el sistema detector de estas interferencias, para de esta forma establecer los correctivos.

Se decide tomar como proceso o planta un motor de inducción jaula de ardilla, debido a su gran aplicación en las empresas a nivel mundial.

2.1 Planteamiento

Para la simulación, primero se identifica, implementación y valida un proceso real. El estudio se hace sobre un motor de inducción de corriente alterna. El criterio de selección se hace debido a que en

la mayoría de los procesos industriales que involucran motores, están presentes este tipo de motores.

La identificación del motor se hace para determinar su característica eléctrica, y luego se le agregaron algunas variables mecánicas para hacer la validación de la identificación del proceso. Pero una vez implementado la simulación del motor se puede notar que las interferencias electromagnéticas suceden muy rápidamente por lo cual decidimos eliminar la simulación de la parte mecánica del motor y solo ver su comportamiento eléctrico. La validación del motor se logra comparando la respuesta real del mismo con la respuesta simulada.

La mayoría de los procesos actuales están controlados por dispositivos electrónicos, los cuales por lo general son susceptibles a vario tipos de interferencias entre ellas las de interferencias electromagnéticas. Las cuales ocasionan anomalía en su funcionamiento habitual.

Para el diseño del controlador, primero se hace un estudio de los diferentes controladores que se implementan en los motores de corriente alterna. Una vez estudiados cada uno de los controladores de un motores de corriente alterna, se seleccionaron los controles por voltaje de estator y por frecuencia de alimentación. ya seleccionado el controlador del motor el pasos siguiente es su implementación y ajuste de sus parámetros.

La interfase humano maquina a implementar, se desarrollara haciendo uso del programa LabView, el cual es un lenguaje de programación grafica que permite controlar y supervisar procesos desde un PC. Este interfase permitirá controlar las variables del proceso desde un panel. Además es una forma de poder variar los parámetros en línea de la simulación del proceso en Matlab.

El acondicionador a implementar debe elevar el nivel de la magnitud de la señal de salida del motor de inducción.

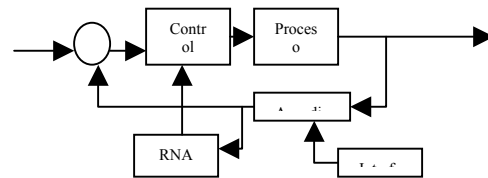
Validado y controlado el motor de inducción el paso siguiente es introducir la interferencias electromagnéticas. Para esto nos basamos el unas sugerencias de la IEEE de algunas señales que deben introducirse en los equipos electrónicos con la finalidad de probar su susceptibilidad ante algunas fuentes de interferencias electromagnéticas.

Bien como se dijo anteriormente se utilizaron las sugerencias de la IEEE para simular las interferencias

electromagnéticas que van a influir sobre el sistema. Para ello se hará un análisis de cómo se acoplan las interferencias electromagnéticas a los sistemas de control, por medio de un estudio físico – matemático del acople de señales sobre un cable de transmisión de datos.

La identificación de las interferencias sobre el sistema de control, se hará usando las Redes Neuronales Artificiales (RNA), la cual debe ser capaz de determinar cuando se esta produciendo un interferencia en el sistema. A su ves esta RNA debe enviar una señal indicando que esta sucediendo una interferencia electromagnética, y de esta manera tomar una acción correctiva.

Esquemáticamente el sistema con la red y controlador debe quedar de la siguiente manera.

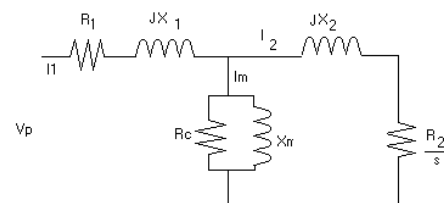


Propuesta de sistema detector de falla por EMI
Figura 1

3. Desarrollo.

3.1. Planta

La representación eléctrica del motor de inducción se logra , hallando los valores de cada una de las resistencia e inductores que conforma el circuito equivalente del sistema. la representación del mismo se puede apreciar de la grafica siguiente



Circuito Equivalente por Fase de Un Motor de Induccion

Representación de motor
Figura 2

En donde:

V_p = Voltaje por fase de Alimentación del motor

I_1 = Corriente de Estator

I_2 = Corriente de Rotor

R1 = Resistencia de Estator
 Rc = Rm = Resistencia Magnetizante
 R2/s = Resistencia de Rotor incluyendo Resistencia de la Planta
 JX1 = Reactancia del Estator
 JXm = Reactancia Magnetizante
 JX2 = Resistencia del Rotor

3.2. Deducción del Momento de Torsión

Es posible utilizar el circuito equivalente de un motor de inducción para deducir una expresión general del momento de torsión inducido en función de la velocidad sincrónica de la maquina. El momento de torsión inducido en un motor de inducción se expresa a través de la siguiente ecuación:

$$\tau_{ind} = \frac{P_{AG}}{W_{\sin c}}$$

Del circuito equivalente, donde la potencia del entrehierro entrega a una fase del motor se observa que es:

$$P_{AG,1\phi} = I_2^2 * \frac{R_2}{s}$$

Por lo tanto la potencia del entrehierro será:

$$P_{AG} = 3 * I_2^2 * \frac{R_2}{s}$$

El momento de torsión se halla por medio de la ecuación siguiente:

$$\tau_{ind} = \frac{P_{AG}}{W_{\sin c}}$$

Donde Wsync es la velocidad sincrónica del motor de inducción.

Los parámetros se encontraron por analogía del circuito del motor con un transformador eléctrico.

3.3. Controlador

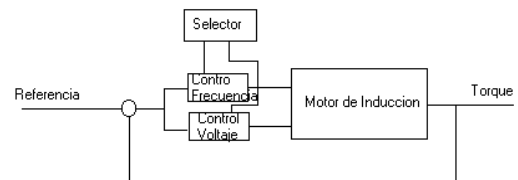
Para el buen desempeño de un proceso, la base fundamental es un buen control, el cual optimíse la operación de la planta, haciendo que esta trabaje lo mas cercano a su punto de operación adecuado.

Existen básicamente dos tipos de controles de procesos, lazo abierto y a lazo cerrado. A fin de satisfacer las especificaciones de régimen permanente

y de rendimiento transitorio de los propulsores de corriente alterna, es por lo general necesario un control escalar o vectorial a lazo cerrado. La estrategia de control puesta en practica es el control escalar, en el que las variables controladas son cantidades en corriente directa.

Los controladores escogidos fueron, el control por voltaje de estator, el cual permite operara al motor por debajo de la velocidad nominal, y el control por frecuencia, que permite operar al motor por encima de su valor nominal. Si se hace una combinación de ambos, tenemos un control eficiente del motor y si a esto le agregamos los beneficios ofrecidos por un control a lazo cerrado, notaremos que obtenemos un control de motor optimo.

El diagrama de bloque que define el controlador para el motor de inducción se muestra a continuación, este control esta básicamente constituido por dos controladores mas un control selectivo, el cual decide en que momento debe ser activada la acción de uno o de los dos a la ves, con la finalidad de obtener el mejor control de la planta.



Controlador de motor

Figura 3

3.4. Interferencias Electromagnéticas.

De define como interferencia a toda aquella señal, capaz de perturbar el funcionamiento habitual de un equipo eléctrico o electrónico. Estas interferencias poseen tres condiciones para que se den, una es el agente perturbador (origen de l interferencia), el segundo es el medio por el cual se propaga la interferencia (camino) y el tercero es el equipo que recibe la interferencia.

Básicamente las interferencias electromagnética se producen debido a que existe un acople entre los dos equipos, este puede ser de tipo capacitivo o inductivo, también puede suceder que la interferencia se propague a través de una impedancia compartida entre ambos circuitos.

La interferencias electromagnéticas que vamos a manejar en el desarrollo de este trabajo vienen dadas por la recomendaciones de la IEEE, para la prueba de interferencia electromagnética en circuitos y equipos electrónicos. Además agregamos otras perturbaciones de forma de armónicos de la red de alimentación.

3.5. Redes Neuronales Artificiales (RNA).

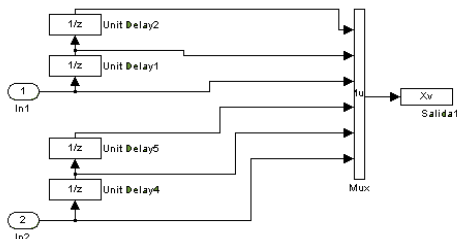
Las redes neuronales artificiales es una nueva técnica de implementación de controladores y reconocimiento de patrones. Con el conocimiento de estas bondades que presentan las RNA, se decide implementar una red neuronal capaz de reconocer la presencia de fallas dentro del sistema y además de ser capaz de tomar acción correctiva para solventar la fallas que se esta presentando.

De hecho, la sola implementación de la RNA como controlador nos permite solventar fallas de tipos electromagnéticos de alta frecuencia. Esto se debe a que las redes trabajan con tiempo discreto, omitiendo muy frecuentemente cambios muy rápidos.

3.6. Implementación de la Red Neuronal Artificial.

Primero se definieron las entradas que se encargarían de entrenar la Red Neuronal Artificial, las entradas escogidas fueron Consigna y Realimentación del Controlador (torque del motor). Como salida de la Red Neuronal Artificial se escogieron el Control de la frecuencia del motor y el control de voltaje de estator.

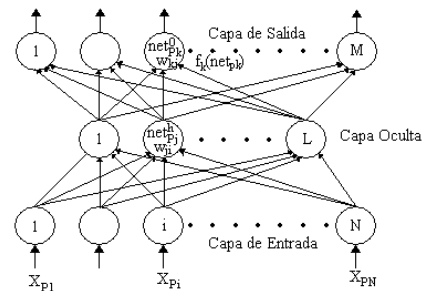
La implementación del vector de entrenamiento de la red neuronal artificial para el controlador de voltaje puede verse en la siguiente figura.



Vector de entrenamiento
Figura 4

Para el vector de alimentación de entrenamiento de la red neuronal artificial del controlador de frecuencia es similar al anterior. Con la diferencia que el vector de salida se llama Xf y no Xv, ya que cada vector va hacia un programa de entrenamiento de redes neuronales artificiales diferente.

La red escogida fue una red backpropagation de múltiples capas

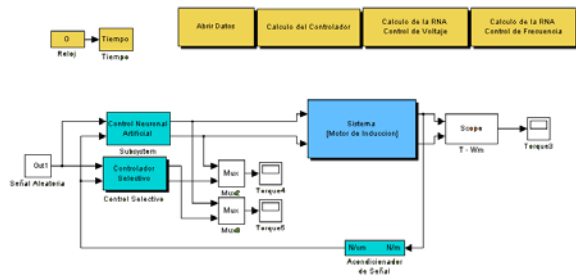


Modelo de arquitectura de una red backpropagation. Pueden existir neuronas ficticias con salidas y pesos de umbral de entrada al resto de las neuronas de cada capa.

Topología de la RNA
Figura 5

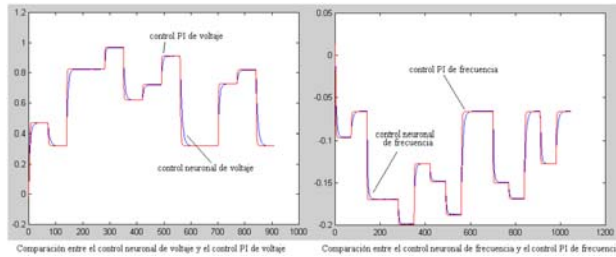
En cada una de las redes neuronales artificiales, la salida escogida depende del tipo de controlador, para la salida de la frecuencia el vector de salida escogido fue el comportamiento de controlador PI del control de frecuencia, mientras que para el voltaje se escogió el comportamiento del vector de salida del PI de control de voltaje.

La implementación de los controladores neuronales se hizo utilizando el Toolbox simulink con algunos llamados a funciones de Matlab, las cuales son las encargadas de entrenar las RNA que sustituyen los controladores actuales. En la grafica siguiente se puede observar cual es la apariencia final del identificador y como se comparan los resultados de ambos controladores.



Entrenamiento de los controladores
Figura 6

La muestra de la comparación de ambos controladores se puede apreciar en el la siguiente grafica:



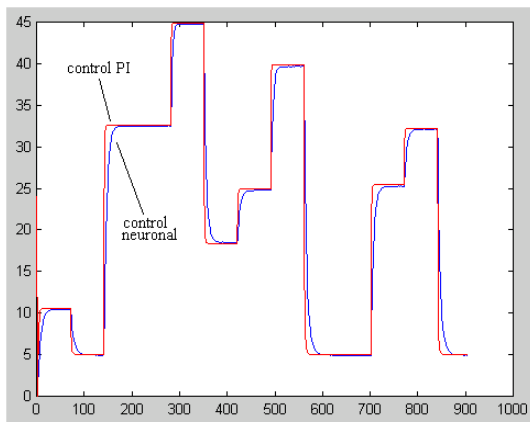
Comparación de los controladores PI Vs RNA

Figura 7

Podemos notar de la grafica que el controlador neuronal tiene una respuesta que coincide en gran parte con el controlador PI. La diferencia entre ambos controladores se da en el tiempo de establecimiento, donde el controlador neuronal tarda un poco mas en alcanzar el valor estable.

De este retardo se obtienen algunos beneficios, como es el caso de la corrección de las acciones transitorias que presenta el sistema al momento de establecer un nuevo punto de consigna y la reducción interferencias que se acoplan al sistema de forma parásitas.

Para comparar la acción de ambos controladores sobre la planta, vamos a presentar la siguiente grafica.



Acción de control PI Vs acción de control neuronal en la salida de la planta

Respuesta de los controladores sobre la planta

Figura 8

En esta grafica se puede observar que ambos controladores poseen una buena acción de control sobre el sistema y además como fue mencionado anteriormente, la acción de control neuronal posee un tiempo de establecimiento mas lento, lo cual es de ayuda al momento de presentarse cambios abruptos sobre el proceso.

De las ecuaciones de ambos controladores podemos observar, la razón por la cual el controlador neuronal es mas lento que el control PI.

$$C = K_{pi} + \frac{K_{ipi}}{St_i} \rightarrow \text{Ec. del controlador PI}$$

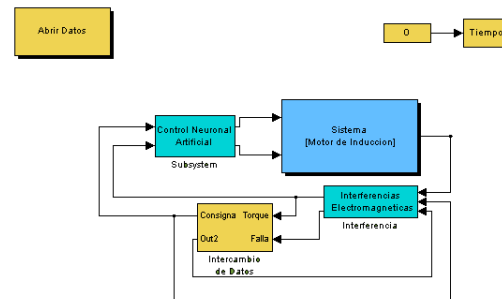
$$y_j = f(Net_j) \text{ donde } Net_j = \sum_i w_{ji} \cdot y_i \rightarrow$$

Ec. de salida de una neurona.

De estas ecuaciones podemos notar que la salida del controlador PI es continua en el tiempo, mientras que la salida de la RNA depende del tiempo de acción de la red, es decir del tiempo que tarda en hacer el barrido de las entradas y dar una salida de la red, esto en el caso de una sola capa, si existen varias capas se debe esperar el tiempo de procesamiento de cada capa.

4. Simulaciones.

Una vez definida las características del proceso, la siguiente actividad es realizar la simulación de lo expuesto con anterioridad. Para, primero se presenta el modelo definitivo del sistema.



Sistema de control del motor

Figura 9

Donde se puede apreciar cada una de las partes que componen un sistema de control, las cuales son:

La planta o proceso a controlar: esta representado por un motor de inducción el cual puede apreciarse en el cuadro de color azul que esta en el centro del bloque del sistema. El procedimiento y la explicación de funcionamiento se hizo anteriormente.

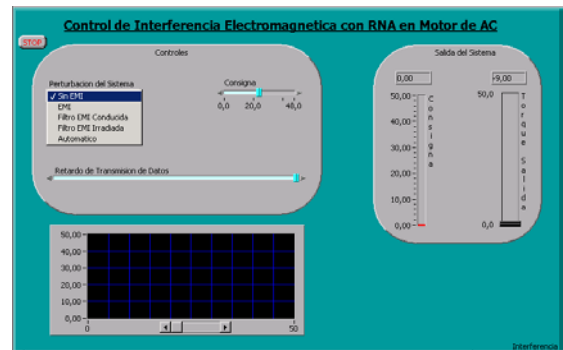
El controlador: esta ubicado a la entrada de la planta y este recibe la señal de realimentación mas el punto de consigna. Este es un controlador neuronal de

voltaje de estator y frecuencia de estator. De donde la señal de consigna proviene de otro programa de control y supervisión.

Acondicionador de señal: Se puede observar que esta planta posee un acondicionador de señal, el cual nos permite elevar el valor del torque de salida que obtenemos del proceso y así permitir que el controlador pueda interpretar mejor los datos.

Intercambio de datos: este bloque interactúa con el programa de supervisión del sistema que esta implementado en LabView. Este bloque se encarga de enviar los datos de la salida del motor implementado en MatLab hacia LabView, además de recoger la consigna de establecimiento del controlador.

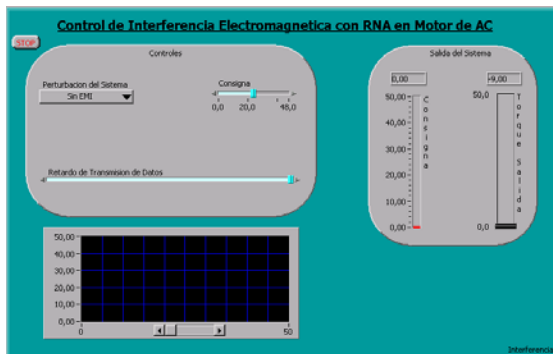
El sistema posee varias formas de operación.



Utilidades de la aplicación
Figura 12

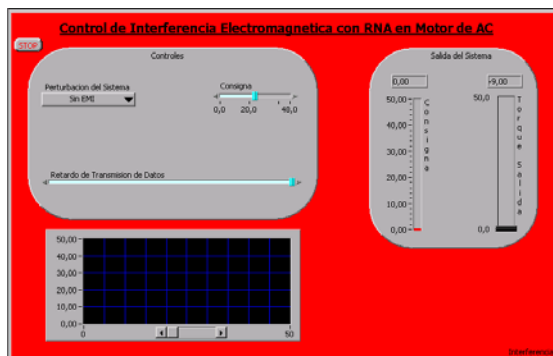
En la grafica anterior podemos ver que existen tres figuras claramente diferenciadas, la primera es la de controles, en esta se puede seleccionar el punto de consigna, el cual esta por defecto en el valor nominal del torque del motor (24 N/m), también se seleccionas si se desea operar en el sistema sin perturbaciones, con EMI, con EMI mas filtro de interferencias conducidas, con EMI mas filtro de interferencias conducida e irradiadas, la ultima opción es la de automático, en la cual el sistema automáticamente detecta la falla en el sistema y hace a corrección de la misma.

Otros de los comandos existentes es el retardo de intercambio de información, esto esta en la barra inferior, este comando ajusta el tiempo de ejecución del bucle de intercambio de datos entre MatLab y LabView, logrando de esta manera que el histórico, no presente datos innecesarios debido al tiempo de respuesta del sistema de control.



Panel frontal del control en ausencia de falla
Figura 10

Esta es la apariencia del circuito si la corrida en MatLab no presenta interferencia. Una vez que se produzca una falla, el sistema cambia lo siguiente.



Panel frontal del control en presencia de falla
Figura 11

El panel en color rojo indica que el sistema esta en presencia de interferencia electromagnética, ya sea de forma conducida o irradiada.

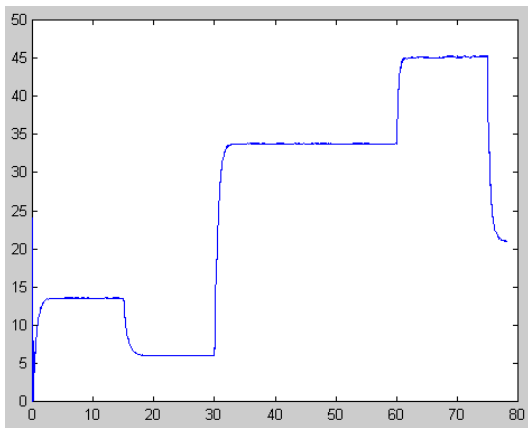
La segunda figura claramente diferenciada representa la salida del sistema, en donde se puede observar el punto de consigna y la salida de la planta, con este se puede comparar u observarse como es el comportamiento de la planta a través del tiempo y se puede apreciar cuando se alcanza el punto de consigna.

La ultima figura ubicada en la aparte inferior, presenta lo que es el histórico del comportamiento del motor en esta ya finalizada la simulación, se puede observar cual fue el comportamiento de la salida del motor.

5. Resultados

Los resultado del trabajo, pueden observarse en las graficas siguientes:

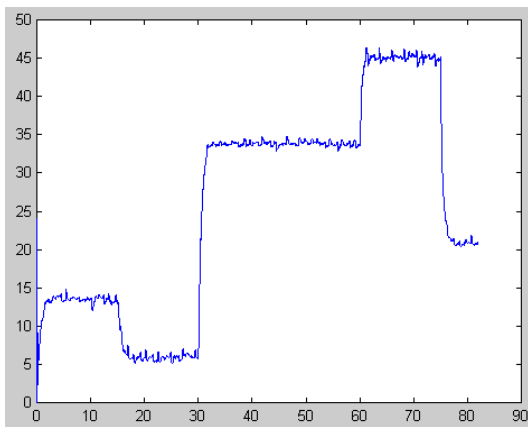
El comportamiento del sistema sin perturbaciones es el siguiente.



Respuesta del sistema sin EMI
Figura 13

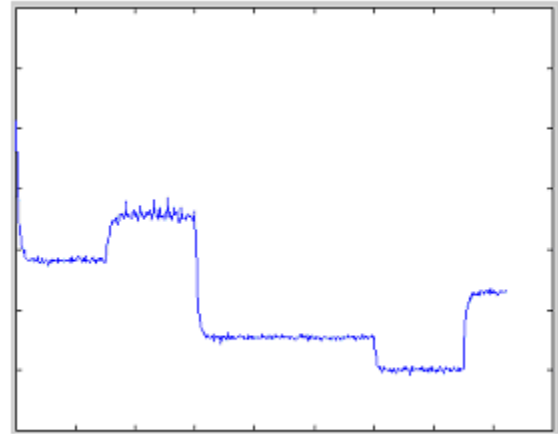
De donde se observa la salida del sistema sin perturbaciones. El cual se toma como referencia para las otras curvas de salida.

Para el sistema perturbado por interferencias electromagnéticas se puede observar en la siguiente figura



Sistema en presencia de EMI
Figura 14

De donde se puede observar como varía la salida del sistema con referencia, para los controladores las graficas de respuesta se pueden observar a continuación.

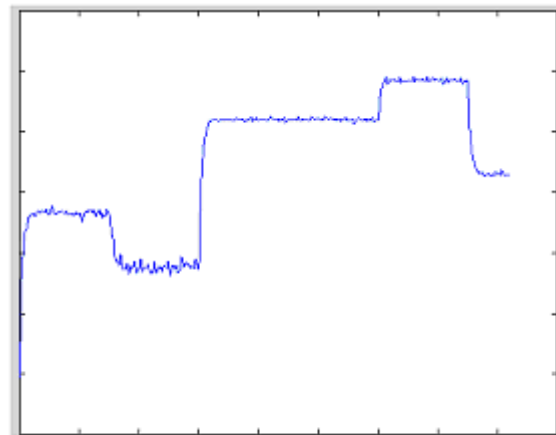


Salida del Control de Frecuencia
Figura 15

Se observa como la perturbación pasa a través del controlador de frecuencia, para luego llegar a la planta del sistema.

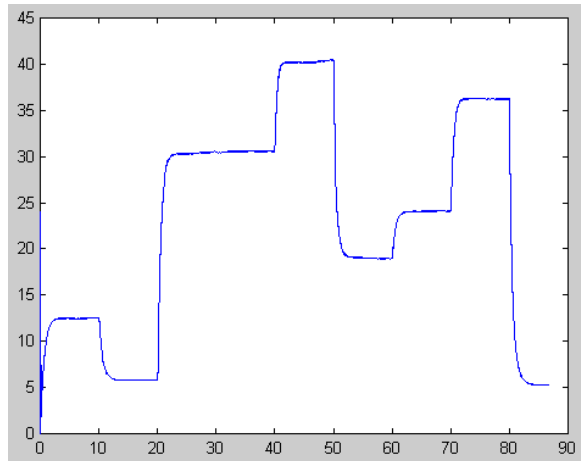
Esto mismo sucede para el control de voltaje.

Estas perturbaciones se ven reflejadas sobre el actuador del sistema.



Salida del Control de Voltaje
Figura 16

La respuesta al incluir los filtros en el sistema se puede apreciar en la siguiente grafica



Salida del sistema en presencia de EMI con filtros correctores de fallas

Figura 17

Por lo tanto, con una misma técnica de trabajo se puede llevar a cabo dos funciones totalmente diferentes, como es el control y la detección de fallas, lo cual representa un ahorro significativo, para la empresa que instale este sistema.

En esta se puede apreciar como el filtro es capaz de corregir las fallas por interferencias electromagnéticas.

6. Conclusiones.

De la simulaciones se puede observar que la redes neuronales artificiales, funcionan como buen identificadores de fallas. Además de permitir corregir las fallas del sistema.

Con esto podemos decir que se obtuvo un buen resultado de la detección de fallas de interferencias electromagnéticas utilizando redes neuronales artificiales.

La implementación de las RNA como controladores se hizo con la finalidad de solventar algunas fallas introducidas por interferencia, sin la necesidad de incluir filtros al sistema.

Por lo cual la propuesta de la implementación de las RNA como detectoras y correctoras de fallas por interferencias electromagnéticas, ha arrojado buenos resultados.

De esto se puede observar que los controladores avanzados implementados con técnicas computacionales, como es el caso de las RNAS, no solo presentan tan buenas eficiencia como los controladores tradicionales, sino que son capaces de corregir ciertas fallas y además, con esta misma técnica que se utiliza para controlar procesos, se pueden implementar sistemas de reconocimiento de patrones.