

Sistema de Diagnostico de los módulos encargados del sistema de estabilización de potencia (PSS) de las unidades generadoras

Blas Cirilo Sanchez A, Marlon Pieniz

ITAIPU Binacional

Paraguay - Brasil

1. Resumen

Los controladores industriales integrados de tiempo real son sistemas que brindan capacidades de procesamiento de alto rendimiento, entradas y salidas condicionadas específicas y una cadena de herramientas de software estrechamente integrada que los hace ideales para aplicaciones de control, monitoreo e Internet industrial de las cosas. La alta capacidad de procesamiento para el manejo de señales de entradas y salidas, así como las prestaciones que ofrece la programación gráfica permite desarrollar algoritmos que simulen condiciones de funcionamiento de cualquier sistema o planta que necesite ser controlada, generar señales de salida y referencias de control para aplicarlas a módulos electrónicos que implementan funciones de transferencias para el control de sistemas físicos y evaluar su desempeño a través del análisis de las señales de respuesta del módulo.

Considerando estas ventajas fue desarrollado un Sistema de Diagnostico de los módulos encargados del sistema de estabilización de potencia (PSS) de las unidades generadoras con el fin de evaluar el desempeño y funcionalidad de los módulos electrónicos para la detección de desajustes y fallas. Estos módulos implementan funciones de transferencias para realizar el control de las variables a través de componentes electrónicos completamente analógicos. Actualmente estos módulos se encuentran desactivados en las máquinas de 50Hz y deben ser activados para la futura interconexión Itaipú – Yacyretá.

El sistema de diagnóstico permite realizar una evaluación detallada del estado de los módulos del PSS, realizar ajustes de precisión establecidos por el fabricante, evaluar la respuesta en frecuencia del módulo para identificar desajustes de ganancias en los amplificadores o falla de componentes, logrando evitar el funcionamiento inadecuado durante los ensayos dinámicos con las unidades generadoras en el sistema.

Este trabajo pretende mostrar los criterios utilizados para la elaboración del algoritmo de control, su funcionalidad y los resultados obtenidos en la identificación de módulos con defecto de funcionamiento.

2. Palabras clave

Controladores Industriales, Sistema de Diagnostico, Sistema de Estabilización de Potencia.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

3. *Introducción*

Actualmente la carga del sistema eléctrico paraguayo (SIN-PY) es asistida por dos subsistemas, uno conectado a Itaipu abasteciendo las regiones de la capital, norte y parte del sur, abarcando cerca del 85% de la demanda, y otro conectado a Yacyretá y al sistema eléctrico argentino, alimentando parte de la región sur, correspondiente al 15% de la carga.

Para lograr el aprovechamiento de los recursos energéticos de la usina de Yacyretá para alimentar las cargas de la región metropolitana, fortalecer la red de transmisión y promover el intercambio entre subsistemas, la Administración Nacional de Electricidad (ANDE) construyó la línea LT500KV AYO-VHA que permitirá la interconexión entre los subsistemas de Itaipu y Yacyretá [1].

Esta interconexión conlleva la realización de una gama de estudios eléctricos, entre ellos el estudio de las oscilaciones interáreas y las acciones a tomar para la estabilización del sistema. Estas perturbaciones son controladas y atenuadas mediante la implementación de un lazo de control adicional sobre la potencia conocido como estabilizadores de sistemas de potencia (*Power System Stabilizers – PSS*). Las unidades generadoras de la central hidroeléctrica de Itaipu están dotadas con módulos electrónicos que implementan este lazo de control y que además puede ser ajustadas en base a los requerimientos establecidos durante la fase de análisis y simulaciones.

El PSS es implementado en el sistema de excitación de la unidad mediante módulos electrónicos completamente analógicos, hasta la fecha estos módulos permanecían deshabilitados debido a que el sistema eléctrico paraguayo no es un sistema interconectado y no eran necesarios, pero con la futura interconexión entre Itaipu y Yacyretá se hace necesaria su puesta en servicio.

Los módulos que implementa el PSS actúan directamente sobre la regulación de tensión cuando el generador se encuentra con carga por lo que el riesgo de utilizar módulos que se encuentran tanto tiempo sin ser utilizados para realizar ensayos con carga es muy alto, cualquier funcionamiento inadecuado podría causar perturbaciones indeseadas o daños a equipos o al propio generador, es por eso que resulta necesario establecer un mecanismo para evaluar el comportamiento dinámico de estos módulos y garantizar su funcionamiento adecuado para la realización de los ensayos reales con carga.

Uno de los métodos adecuados para analizar su comportamiento dinámico es a través de la evaluación de su respuesta en frecuencia, es por eso que se diseña un sistema que permita obtener el Diagrama de Bode de la función de transferencia implementada de forma circuital y realizar los ajustes necesarios para obtener la respuesta óptima según los requerimientos simulados previamente. En las secciones posteriores se detalla la metodología utilizada para la obtención de estos parámetros.

4. *Módulo de estabilización de Potencia.*

El modelo del PSS implementado en el sistema de excitación de las unidades generadoras es el mostrado en la Figura 1 donde se muestra la función de transferencia del módulo, también puede observarse que este sistema posee dos lazos de control, uno que responde a las variaciones de la potencia activa de entrada y otro a las variaciones de la frecuencia de la tensión terminal por lo que es necesario evaluar la respuesta en frecuencia de ambos lazos de control para garantizar que el comportamiento del sistema será adecuado y según lo esperado.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

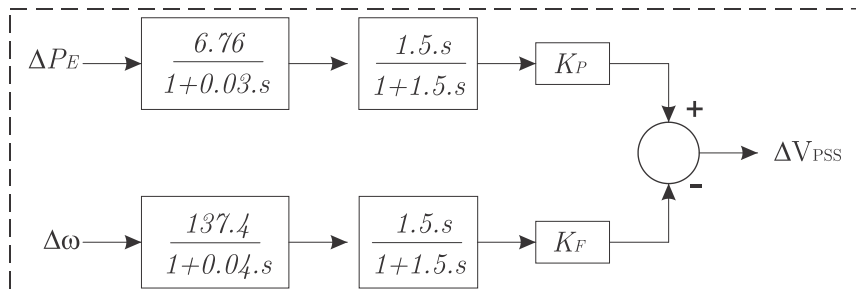


Figura 1: Estructura del PSS de Itaipu.

Conociendo el esquema de control y la función de transferencia de los lazos de control pueden obtenerse la respuesta en frecuencia esperada del sistema y luego evaluar la implementación a nivel circuital para crear un sistema de ensayos que permita obtener el diagrama de Bode del módulo electrónico. Los módulos que implementan este esquema de control son tres, uno encargado de acondicionar las señales trifásicas de corrientes y tensiones, el siguiente módulo se encarga de realizar el cálculo de la potencia generada y obtener la frecuencia de entrada de la tensión de la red, finalmente el ultimo módulo es el encargado de utilizar las señales previamente acondicionadas y traducidas para realizar las funciones de compensación necesarias para generar la señal de salida que actuará directamente sobre la tensión generada de la máquina. El esquema de interconexión entre módulos se muestra en la Figura 2.

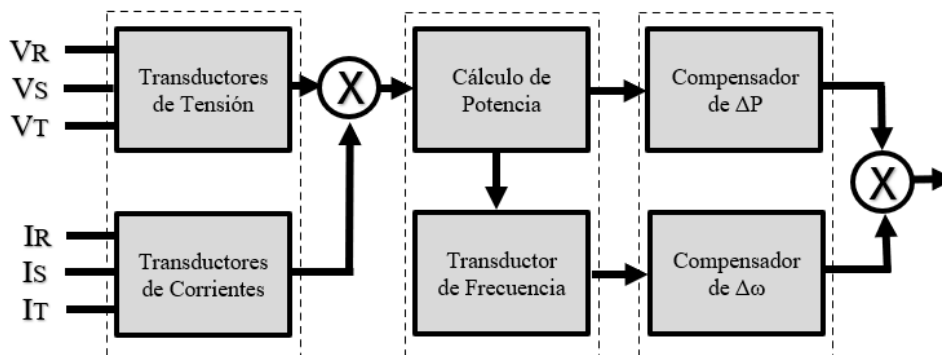


Figura 2: Esquema de implementación circuital del PSS.

Observando la ecuación (1) para el calculo de la potencia en función del tiempo podemos ver que el compensador del lazo que responde a las variaciones de potencia responderá a cualquier variación de la amplitud de la corriente (I) o de la tensión (V), por otro lado, el compensador del lazo que responde a las variaciones de frecuencia responderá a las variaciones de frecuencia de la tensión y corriente de entrada ($\Delta\omega$). Esto nos da una idea del método que podemos utilizar para obtener la respuesta en frecuencia de este módulo de forma experimental. Para obtener una variación en la potencia de salida bastaría con introducir una señal en la amplitud en la corriente de entrada al módulo (ΔI), esto causaría una variación en la potencia de salida proporcional a la variación de amplitud de la corriente de entrada (modulación AM). Para obtener el diagrama de bode del canal de frecuencia bastaría con

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

aplicar una señal que varíe con el tiempo en la fase de la corriente y la tensión para poder generar una variación de frecuencia conocida y que pueda ser detectada por el compensador (modulación FM).

$$P(t) = [V \cos((\omega + \Delta\omega)t). (I + \Delta I) \cos((\omega + \Delta\omega)t + \theta)]. \cos(\theta) \quad (1)$$

En la Figura 3 se observa el esquema general de inyección de señales de corriente y tensión a los módulos electrónicos para obtener los Diagramas de Bode de los compensadores de los lazos de frecuencia y potencia.

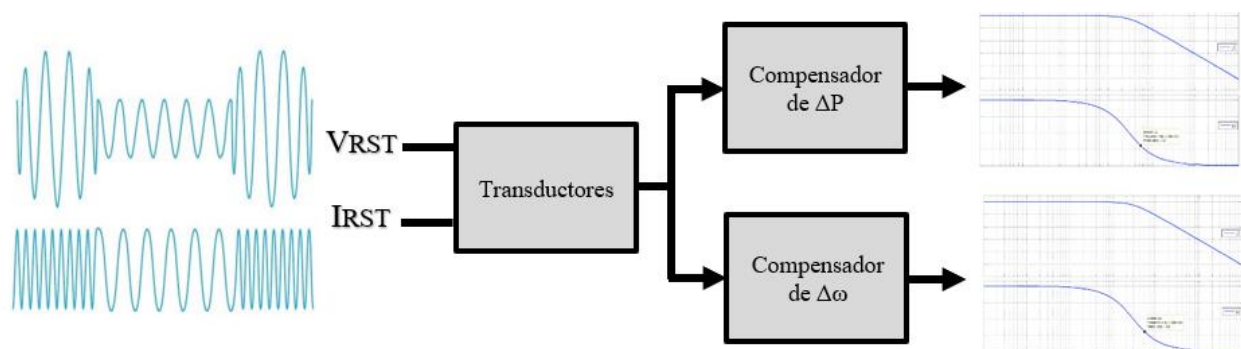


Figura 3: Esquema de inyección de señales.

5. Plataforma de Ensayos.

5.1 Hardware.

Para conseguir generar las señales trifásicas de corrientes y tensión, modularlas, aplicar a los módulos electrónicos y leer las señales de salida generadas por dichos módulos es utilizado un CompactRIO fabricado por la National Instruments, que es un controlador industrial integrado en tiempo real que posee módulos de entrada y salida y un módulo FPGA configurable, estos controladores incluyen un microprocesador para implementar algoritmos de control y admiten una amplia gama de frecuencias de reloj. El módulo FPGA se puede utilizar para implementar el procesamiento de datos de alto rendimiento en un tejido reconfigurable. Los controladores CompactRIO se pueden programar con LabVIEW, el lenguaje de programación gráfico de National Instruments; C; C++; o Java.

5.2 Software.

Para implementar el algoritmo que generará las señales moduladas y que calculará la respuesta en frecuencia se utiliza la herramienta Labview que es un entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico pensado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido. Labview consta principalmente de dos partes: el panel frontal, es el panel que utiliza el usuario para interactuar con el programa que esta siendo ejecutado, le permite manipular los controles e indicadores y observar los datos del programa actualizados en tiempo real; el diagrama en bloques, que es el entorno donde se definen las funcionalidades de programa. Esta versatilidad permite montar una interfaz gráfica fácil de usar para el usuario a medida que se va programando el algoritmo de control [2].

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

El software de control consta de tres paneles principales, en la Figura 5 se muestra el panel de ajustes. Antes de obtener la respuesta en frecuencia de las funciones de transferencias es necesario verificar sus ajustes y si es necesario ajustar las ganancias de los amplificadores y los límites de salida del compensador, además este panel permite verificar otras funciones como la entrada de operación del PSS a partir de cierto nivel de potencia, su desactivación para niveles de subtensión y sobre tensión y el control de ciertos temporizadores de protección.



Figura 5: Panel de ajustes de parámetros.

En la Figura 6 se muestra el segundo panel que permite ajustar la transducción de la frecuencia de la tensión, verificar la linealidad de los multiplicadores por fase de corriente y tensión y verificar la transducción de potencia calculada por el módulo. Finalmente, una vez realizado todos los ajustes y verificado la correcta transducción de la frecuencia y la potencia podemos obtener el diagrama de bode de ambos lazos de control, en las Figura 7 y 8 se muestran los diagramas de bode obtenidos para cada lazo, en ambos casos se muestran los diagramas obtenidos en forma experimental con los obtenidos mediante simulaciones para contrastar ambos resultados y evidenciar diferencias.

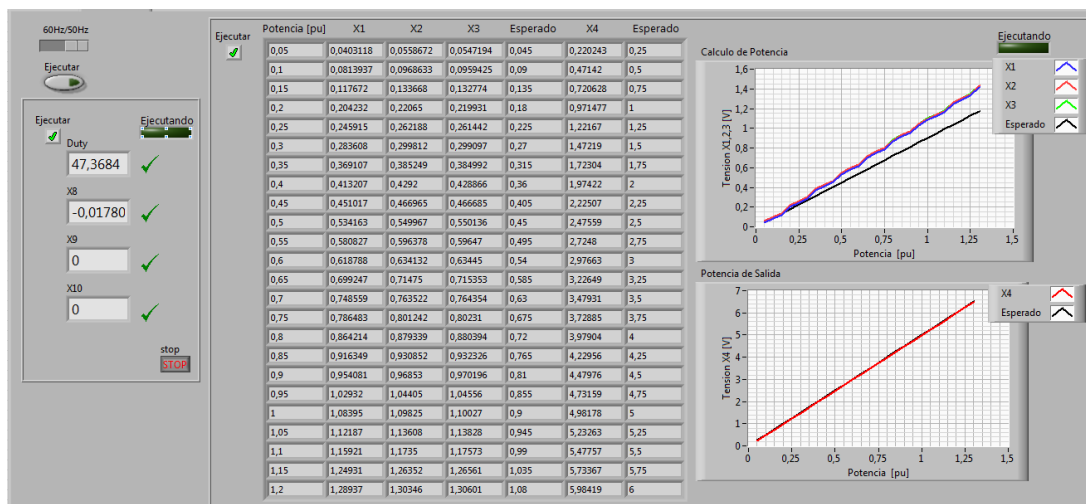


Figura 6: Panel de verificación de linealidad de transductores.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

6 Resultados

Los ajustes de precisión permiten calibrar adecuadamente los módulos electrónicos lo que nos garantiza que las ganancias de los amplificadores sean ajustadas a sus valores correctos. En la Figura 7 se muestra la respuesta en frecuencia del lazo de control de potencia obtenido experimentalmente (rojo) y el esperado (negro), se puede observar claramente que el valor obtenido difiere de lo esperado en amplitud y ligeramente en la fase, esto se debe a que el lazo de control es implementado a través de varios amplificadores y filtros conectados en cascada y no todos ellos pueden ser ajustados a través de potenciómetros, es decir, es implementado con resistores fijos, capacitores y amplificadores operacionales que pueden estar deteriorados y que deben ser revisados y medidos para verificar si sus parámetros no fueron alterados.

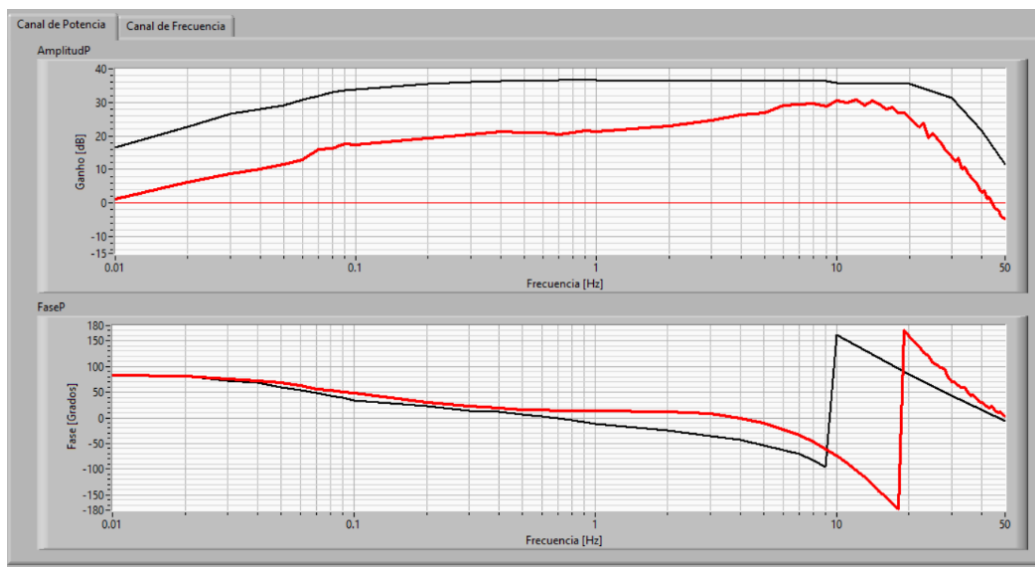


Figura 7: Diagrama de Bode del canal de potencia.

Por otro lado, en la Figura 8 se muestra la respuesta en frecuencia del lazo de control de frecuencia del mismo módulo, se observa como la respuesta experimental sigue fielmente a la respuesta simulada lo que demuestra que esta parte del circuito funciona adecuadamente según lo esperado y operará adecuadamente en régimen dinámico, en cambio la parte del módulo que implementa el lazo de control de potencia debe ser revisada ya que no cumple con la respuesta esperada y esto causaría un funcionamiento inadecuado cuando la unidad generadora sufra una perturbación estando con carga.

La utilización del criterio de análisis de respuesta en frecuencia del módulo ha permitido identificar varios módulos que estaban instalados en el sistema de excitación que necesitaban de un mantenimiento correctivo para obtener la respuesta esperada, la causa de discrepancia se daba en la mayoría de los casos por la presencia de capacitores con valores alterados causado por el largo tiempo sin uso.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

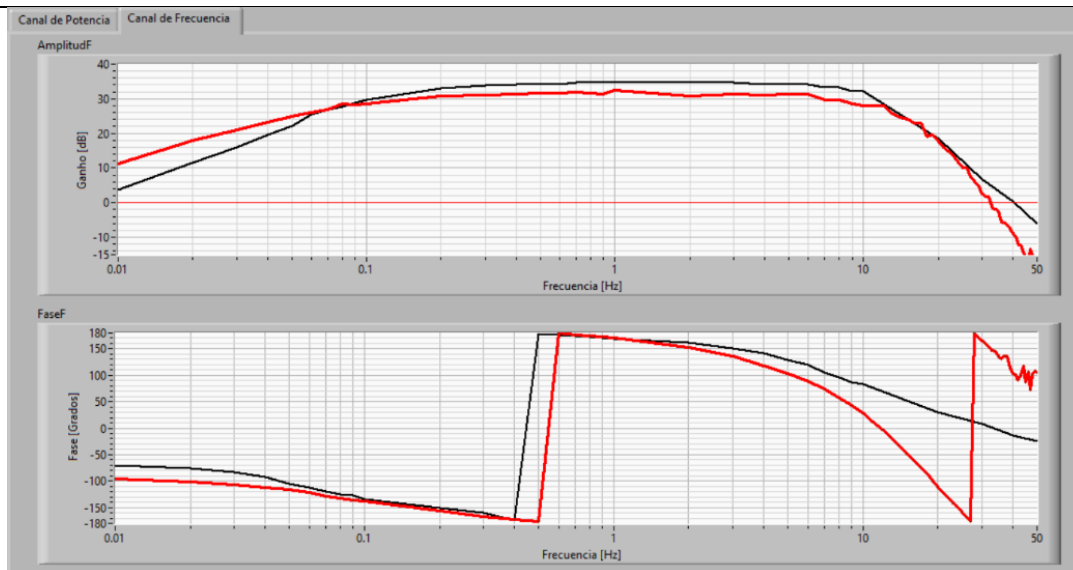


Figura 8: Diagrama de Bode del canal de Frecuencia.

7 Conclusiones

El sistema de diagnóstico de la Figura 9 permitió realizar una evaluación detallada y realizar ajustes de precisión establecidos por el fabricante de los módulos del PSS. Permitió comparar la respuesta en frecuencia esperada con la obtenida e identifica desajustes de ganancias en los amplificadores o falla de componentes.

La principal ventaja al utilizar este sistema es que permitió identificar módulos que se encontraban con falla o degradación, las cuales no serían identificables con instrumentación convencional.

Se logró evitar que estos módulos sean utilizados o ensayados en las máquinas en condiciones inadecuadas, permitiendo la obtención de resultados satisfactorios en los ensayos reales con las Unidades Generadoras.

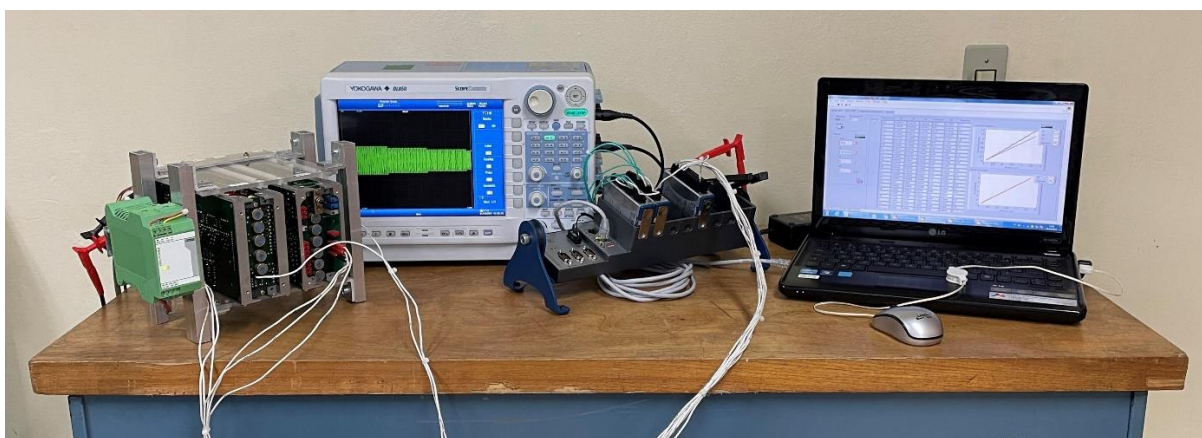


Figura 9: Sistema de Diagnóstico.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

8 BIBLIOGRAFIA

[1] J. Pesente, M. Sosa, “Utilização dos PSS das unidades de Itaipu 50 Hz para estabilização e melhoria do desempenho dinâmico do sistema interligado paraguaio-argentino-uruguaio”, XXV SNPTEE, Belo Horizonte, Noviembre 2019, pag. 2.

[2] H. Halvorsen, *Control and Simulation in LabVIEW*, University College of Southeast Norway, 2016, pag. 1.