

ENSAYOS Y DETERMINACIÓN DE MODELOS DE LAZOS DE REGULACIÓN DE TENSIÓN (RAT) EN UNIDADES GENERADORAS DEL SADI.

Jorge Luis Agüero
IITREE-LAT
Argentina

Mario César Beroqui,
IITREE-LAT
Argentina

Alfredo Sebastián Achilles
IITREE-LAT
Argentina

RESUMEN

Se describen los ensayos realizados y las técnicas de simulación empleadas para determinar el modelo y la correspondiente parametrización de Sistemas de Regulación de Tensión (RAT) de una docena de unidades generadoras del SADI (Sistema Argentino de Interconexión).

Estos modelos y sus parámetros son verificados con mediciones directas realizadas en las unidades.

Se destaca el impacto del correcto modelado de los RAT para el estudio de estabilidad dinámica de un sistema eléctrico de alta complejidad como el SADI, en particular cuando se requieren amortiguar oscilaciones de potencia de origen electromecánico.

PALABRAS CLAVE

Ensayos - Modelos - Regulación - Tensión.

1.- Introducción

Este Trabajo tiene por objeto describir la experiencia desarrollada por el IITREE-LAT, en la identificación de Modelos de Pequeña Señal, aptos para su uso en estudios de comportamiento dinámico, de Sistemas de Control de Excitación (según denominación de IEEE) o Reguladores Automáticos de Tensión (RAT, según denominación corriente en Argentina).

En particular, la metodología descrita a continuación, fue empleada para realizar la identificación de Modelos para el Contrato Resolución 285 de CAMMESA (Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico SA) "Provisión de Recursos Estabilizantes para el SADI".

Por esta razón, los modelos debieron ser aptos para reproducir los fenómenos provocados por oscilaciones electromecánicas de unidades generadoras del SADI.

El objetivo fue entonces contar con una Base de Datos actualizada y confiable, de modelos de RAT, relevada y confrontada con Ensayos de Campo.

Estos modelos de RAT, en conjunto con modelos de las unidades sincrónicas (GEN) y de los Reguladores Automáticos de Velocidad de Turbina (RAV), los cuales son descritos en otros trabajos presentados también en este VII ERLAC, permitieron realizar, sobre una Base de Datos confiable, todos los estudios de estabilidad dinámica del SADI, y determinar la ubicación y ajuste de los Estabilizadores de Potencia (Power System Stabilizer - PSS), los cuales actúan a través del RAT, inyectando una señal que amortigua las oscilaciones electromecánicas, elaborada a partir de la síntesis de la potencia acelerante de la unidad.

El objetivo de contar con modelos de RAT precisos y confiables, determinó en muchos casos la necesidad de realizar ensayos de campo, particularmente donde la información disponible o bien era escasa o bien no estaba contrastada con las pruebas pertinentes.

Estos ensayos de campo debieron realizarse sobre unidades generadoras en servicio, con las dificultades que esto conlleva, lo que obligó a adecuar la cantidad y tipo de ensayos dadas las limitaciones prácticas impuestas.

Las etapas seguidas para la elaboración de un modelo de RAT consistieron en:

- Análisis de la documentación técnica disponible.
- Determinación del modelo "físico" del RAT.
- Diseño de los ensayos de campo.
- Ejecución de los ensayos de campo
- Validación del modelo "físico".
- Adecuación del modelo "físico" a un modelo normalizado.

Todos los trabajos de campo y de gabinete para obtener los modelos de RAT, RAV y GEN de las principales unidades generadoras del SADI, con mayor participación en los modos de oscilaciones electromecánicas menos amortiguados, fueron desarrollados durante enero y febrero de 1996, con la colaboración de otro grupo de tareas compuesto por la Universidad Nacional de Rosario (modelado) y una empresa de Rosario (ensayos de campo), además de los grupos de tareas del IITREE-LAT, siendo esta institución quién ejerció la supervisión y coordinación global de los trabajos realizados.

2.- *Ensayos de campo*

Cada grupo de tareas que interviene en una unidad generadora estuvo conformado por especialistas en ensayos y en modelado. Su composición fue: un Ing. del área modelado, un Ing. del área ensayos, y un técnico instrumentista.

Su labor comenzó con la recopilación de toda la información existente acerca del RAT específico, en la Base de Datos de CAMMESA y en la propia central.

A partir de una visita técnica a la central, y en reuniones mantenidas con los especialistas de dicha central, se recabó la información necesaria desde planos, diagramas funcionales y eventuales ensayos de puesta en servicio.

El resultado de esta tarea de recopilaciones tuvo resultados diversos, ya que debido al reciente proceso de privatizaciones, con las reorganizaciones de instalaciones, personal y documentación, no se tuvo total disponibilidad de la información requerida.

Como resultado de estas reuniones se obtuvo el modelo "físico" del RAT, y se determinaron los puntos de medición, y se fijaron los cronogramas de ensayos de RAT, RAV y GEN, los que fueron realizados por el mismo grupo de tareas interviniente.

Estos cronogramas de ensayos, previamente acordados con el agente del MEM (Mercado Eléctrico Mayorista) involucrado, fueron sometidos a la aprobación de CAMMESA, a través del OED (Organismo Encargado del Despacho) quién coordinó la disponibilidad de la unidad a ensayar, y realizó las previsiones de despacho necesarias, para minimizar el eventual impacto de los ensayos en el SADI.

Los ensayos de campo fueron previamente simulados, en base a los modelos físicos relevados, en orden de minimizar sus tiempos de ejecución, acotándose así las sollicitaciones impuestas al RAT, evitando repeticiones innecesarias de ensayos, y permitiendo un control adecuado "in situ" al grupo de tareas.

2.1.- *Tipos de ensayos*

Con el objeto de minimizar la cantidad de ensayos, se realizaron ensayos de dos tipos.

En ambos casos, estos ensayos se realizaron con la unidad generadora desconectada del sistema de potencia (en vacío), girando a revoluciones nominales y excitada (con el RAT activo y en modo automático).

En ambos tipos de ensayos, se utilizó como perturbación una señal de cambio de valor deseado de tensión terminal,

producida por un generador de señales de construcción del IITREE-LAT.

Los tipos de ensayo empleados, en función de la perturbación ingresada, fueron

- Escalón de pequeña amplitud
- Pulso de gran amplitud y corta duración

El ensayo con escalón de pequeña amplitud, típicamente 2% a 5%, pone de manifiesto la respuesta temporal de las distintas transferencias en su zona lineal de trabajo. Típicamente este escalón se aplicó durante 10 segundos, para permitir el establecimiento de la Tensión Terminal del Generador. Se registró tanto la aplicación del escalón como su desaparición, contándose así con un par de transitorios.

El pulso de gran amplitud (típicamente entre 10% y 25%) y corta duración (típicamente entre 50 milisegundos y 0.5 segundos) pone de manifiesto los límites electrónicos del RAT y los límites de la tensión de campo o de la excitatriz rotante según corresponda. El valor y duración del pulso aplicado depende de las características del RAT. Este pulso se aplicó con ambas polaridades, para detectar todos los límites existentes. Para el caso del pulso que varía positivamente la tensión terminal del generador, en la mayoría de los casos se partió de una tensión terminal del generador inferior a la nominal.

2.2.- *Variables registradas*

En los ensayos se registró la evolución temporal de las siguientes magnitudes:

- Perturbación ingresada
- Tensión Terminal del generador
- Salida del Regulador
- Variables internas del Regulador, como realimentaciones, etc.
- Tensión de Campo
- Corriente de Campo

En algunos RAT con excitatrices rotantes no estaban accesibles la tensión y la corriente de campo del generador. En estos casos se registró la tensión y corriente de campo de la excitatriz.

2.3.- *Equipamiento de registro*

Con el objeto de obtener registros libres de ruido, fueron empleados filtros que producen una atenuación de 60 dB a 300 Hz, con un tiempo de crecimiento inferior a 5 milisegundos.

Para aprovechar mejor el rango del equipo de registro, a algunas señales se les descontó su valor de estado estacionario, registrándose a plena escala las variaciones sobre dicho valor.

El equipo de adecuación de señales (atenuador, filtros, y descentrado de continua) es de diseño y construcción del IITREE-LAT, y fue desarrollado para este uso. Las características principales de este equipo son:

- Entradas: 10
- Aislación galvánica entre entradas, y entre entradas y chasis superior a 450 V ac y dc

- Impedancia de entrada: $1M\Omega/15pF$
- Atenuación: 1,2,5,10
- Filtros:
 - Tipo: Pasabajo
 - Frecuencia de corte (fc): ninguna, 12Hz, 100Hz
 - Atenuación a $4*fc$: 60dB
- Descentrado de continua:
 - Rango: $\pm 10V$
 - Ajuste: Perilla 10 vueltas (2V/vuelta)

Como registrador se utilizó el instrumento HIOKI 8840, con 8 unidades de entrada HIOKI 8916.

Las características más importantes de este registrador son:

- Digitalización en 12 bits
- Rechazo de modo común mayor a 100 dB
- Aislación galvánica entre entradas, y entre entradas y chasis superior a 450 V ac y dc
- Muestreo máximo de 250.000 muestras/segundo/canal
- Pantalla de LCD
- Procesamiento de señales adquiridas (FFT, Bode, etc.)
- Impresor térmico

- Almacenamiento en driver de disquete de $5\frac{1}{4}$
- Interfaz GPIB (IEEE 488) con PC

Se consideró de fundamental importancia el contar con canales de adquisición aislados galvánicamente entre sí y respecto a chasis, ya que se deben ingresar señales provenientes de distintos lugares, con distintos potenciales de referencia.

Como transductores se utilizaron los propios de la instalación, cuando sus características de tiempo de respuesta y precisión eran las adecuadas.

En algunos casos se utilizó el siguiente equipamiento, de diseño y construcción del IITREE-LAT:

- divisores resistivos para la medición de Tensión de Campo
- canal aislador con fibra óptica, para la medición de la corriente de campo sensada por un shunt
- transductor de tensión alterna con descentrado, para la medición de la Tensión Terminal del Generador. Tiempo de respuesta < 40 milisegundos.

Los registros fueron almacenados en disquetes para su posterior utilización.

2.4.- Oscilogramas típicos

En la Figura 1-a, se observa una impresión (impresor térmico) de un oscilograma obtenido durante un ensayo con escalón de pequeña amplitud, mientras que en la Figura 1-b se muestra una ampliación del mismo oscilograma.

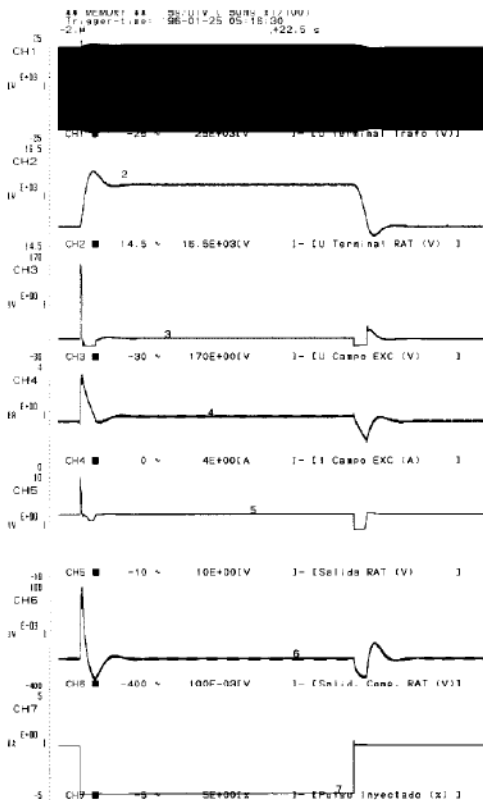


Figura 1-a

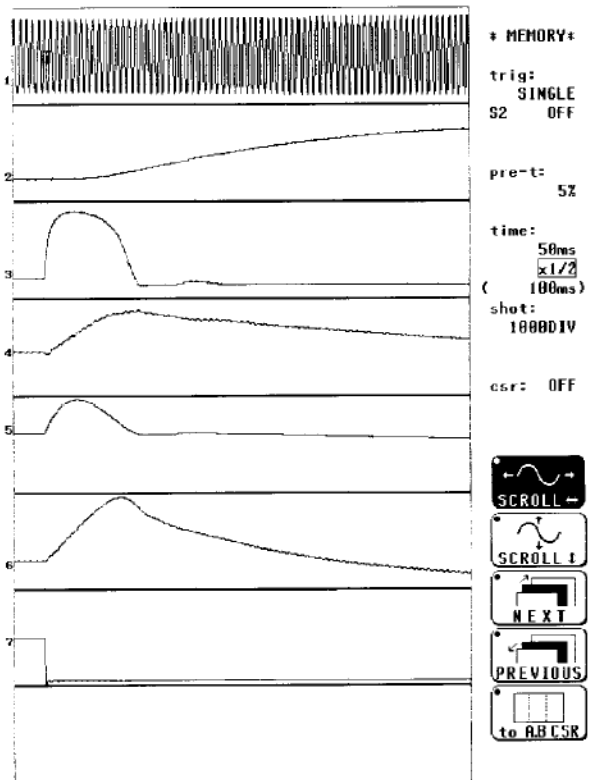


Figura 1-b

Este oscilograma corresponde a un RAT, que posee una excitatriz rotativa, en el cual no se encuentran disponibles la tensión y la corriente de campo.

El tiempo entre muestras fue de 0.5 milisegundos y las variables registradas fueron:

- CH1: Tensión Terminal del Generador a la salida del transformador de medida
- CH2: Tensión Terminal del generador a la salida del transductor del RAT
- CH3: Tensión de campo de la Excitatriz Rotativa
- CH4: Corriente de Campo de la Excitatriz Rotativa
- CH5: Salida del Regulador
- CH6: Salida de la realimentación del Regulador (Rate Feedback)
- CH7: Pulso inyectado

Como puede observarse, las señales registradas están libres de los ruidos típicos en este tipo de mediciones en ambientes fuertemente perturbados electromagnético-ticamente.

3.- Modelado

Con los registros obtenidos en los ensayos de campo, se procedió a realizar el modelado del RAT, para lo cual se utilizó el programa de simulación TUTSIM.

Previamente se desarrollaron programas traductores de formato de datos, desde el formato utilizado por el registrador al formato utilizado por el simulador.

La tarea de modelado consistió básicamente en definir los parámetros que mejor ajustan las transferencias temporales

de los bloques individualmente, y la verificación de la transferencia total del RAT, desde su tensión de referencia hasta la Tensión de Campo.

Adicionalmente se verificó la respuesta del modelo del RAT más el modelo del generador, comparando la tensión terminal del generador simulada y medida.

Durante la simulación se hizo uso del modelo del generador, parametrizado adecuadamente y con-trastado con los ensayos de campo correspondientes, incluida la curva de magnetización de vacío del generador.

En los RAT con excitatriz rotativa, también se modelaron las características magnéticas de las mismas.

Como verificación del correcto modelado, al modelo del RAT concatenado con el modelo del generador, se le ingresaron las mismas perturbaciones inyectadas y registradas, observándose la coincidencia de las distintas variables registradas con aquellas generadas por el modelo, en particular en lo que respecta a la Tensión Terminal del generador.

Este modelo físico contrastado con ensayos de campo, fue redefinido con sus variables y parámetros en p.u. (por unidad), tomando para ello como bases la tensión terminal nominal del generador y la tensión de campo obtenida como el producto de la resistencia del bobinado de campo y la corriente de campo que sobre la curva de entrehierro corresponde a la tensión nominal del generador.

A partir de este modelo físico así validado se procedió a encontrar el modelo normalizado que mejor lo represente.

En la Figura 2 se muestra el modelo normalizado adoptado en este caso típico, tal como lo requiere la entrada de datos de los programas de análisis de estabilidad dinámica.

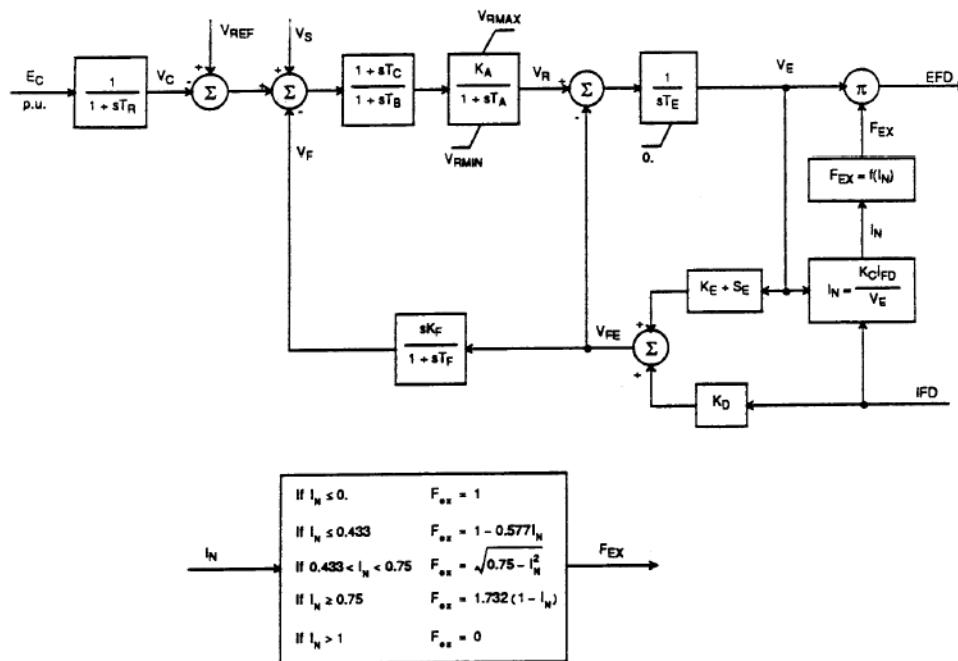
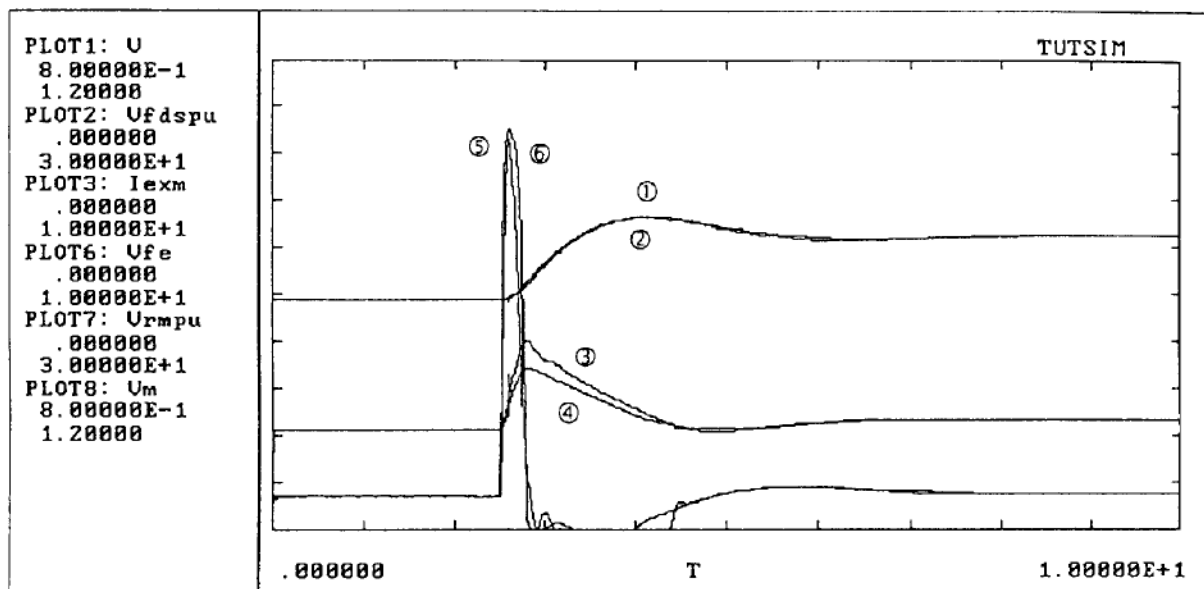


Figura 2: Sistema de excitación tipo IEEE AC1.



- ① V : Tensión de generador simulada.
- ② Vm : Tensión del generador medida.
- ③ Iexm : Corriente de campo de la exc. medida
- ④ Vfe : Corriente de campo de la exc. simulada
- ⑤ Vrmpu : Tensión de campo de la exc. medida.
- ⑥ Vfdspu : Tensión de campo de la exc. simulada.

Figura 3

En la Figura 3 se muestra la buena concordancia de este modelo normalizado con el registro de campo.

una docena de unidades distribuidas en el SADI.

En la Tabla I se presenta cada unidad, su ubicación, el tipo de unidad y el tipo de excitación.

4.- Casos Analizados

El IITREE ensayó y modeló los sistemas de excitación de

TABLA I - LAZO DE TENSION

CENTRAL	UNIDAD	UBICACIÓN	TIPO DE UNIDAD	TIPO DE EXCITACION
Neuquén	1	Loma de la Lata (Neuquén)	Tgas	ST
Neuquén	2	Loma de la Lata (Neuquén)	Tgas	ST
Neuquén	3	Loma de la Lata (Neuquén)	Tgas	ST
M. Maranzana	1	Río IV (Córdoba)	Tgas	ST
M. Maranzana	2	Río IV (Córdoba)	Tgas	ST
Luis Piedrabuena	30	Bahía Blanca (Buenos Aires)	Tvapor	AC
Los Reyunos	1	San Rafael (Mendoza)	Hid.	ST
Agua del Toro	1	San Rafael (Mendoza)	Hid.	ST
Agua del Cajón	3	Neuquén (Neuquén)	Tgas	AC
Agua del Cajón	6	Neuquén (Neuquén)	Tgas	AC
Compensador Estático	3	General Rodriguez (Buenos Aires)	SVC	ST
Embalse	1	Embalse Río III (Córdoba)	Nuclear	ST

Es de destacar que como las unidades eran potenciales candidatas a instalar estabilizadores de potencia (PSS), se trata de unidades con excitaciones rápidas y en general, unidades nuevas en comparación con el promedio del parque. No obstante, en la mayoría de los casos la información disponible antes de los ensayos fue incompleta para determinar un modelo que ajuste correctamente a las respuestas reales del equipamiento.

Por lo tanto, este tipo de trabajo permite mejorar substancialmente la calidad de la base de datos del sistema para cualquier tipo de estudios dinámicos.

5.- Conclusiones

- Se ensayaron los lazos de regulación de tensión de una docena de unidades de generación del SADI.
- Los ensayos se realizaron con las unidades en vacío introduciendo cambios de pequeña amplitud y gran amplitud y corta duración en la referencia.
- Con la información disponible a priori y los ensayos se establecen modelos y parámetros que son verificados por simulación con las respuestas reales.
- Como resultado de esta actividad se mejora la calidad de la base de datos del sistema, aumentando la confiabilidad de los estudios dinámicos que hacen uso de ella.

