
LINEALIZACIÓN DE MODELOS DEL SADI-SIP PARA ANÁLISIS MODAL

J.L. AGÜERO*
IITREE-LAT FI-UNLP**
Argentina

V.F. CORASANITI
IITREE-LAT FI-UNLP
Argentina

C.E. BITEZNIK
IITREE-LAT FI-UNLP
Argentina

R.E. BIANCHI LASTRAS
IITREE-LAT FI-UNLP
Argentina

M.B. BARBIERI
IITREE-LAT FI-UNLP
Argentina

M.C. BEROQUI
IITREE-LAT FI-UNLP
Argentina

F. INTHAMOUSSOU
LEICI FI-UNLP***
Argentina

Resumen – CAMMESA administra una Base de Datos de modelos del Sistema Argentino de Interconexión (SADI) y del Sistema Interconectado Patagónico (SIP). Particularmente, esta Base de Datos contiene los modelos de los generadores y sus sistemas de control asociados. Esta Base de Datos se utiliza para estudios de estabilidad en general, y en particular para estudios de estabilidad dinámica u oscilatoria, también denominada estabilidad de pequeña señal. En estos estudios de estabilidad dinámica u oscilatoria se analizan los modos electromecánicos de oscilación, o sea los distintos modos de oscilación entre máquinas sincrónicas.

Estos estudios pueden ser hechos en el dominio de Laplace (Análisis Modal). El Análisis Modal determina los Autovalores o modos de oscilación del sistema, expresándolos en función de su frecuencia y amortiguamiento. Para realizar el Análisis Modal se requiere la matriz de estados o matriz A del sistema, que vincula a las derivadas temporales de las Variables de Estado con las respectivas Variables de Estado y caracteriza el comportamiento dinámico de pequeña señal del SADI-SIP. Esta matriz A se obtiene con la actividad ASTR del módulo para estudios de dinámica del programa PSS/E a partir del modelo no lineal, del SADI-SIP utilizado para simulaciones temporales en estudios de estabilidad.

En esta presentación se describen los trabajos realizados para la adecuación de la Base de Datos de modelos no lineales del SADI-SIP de modo tal de obtener una Base de Datos para Análisis Modal con la cual sea posible obtener la matriz A correctamente conformada.

Palabras clave: SADI-SIP - Base de Datos de Modelos (no lineales) - Estabilidad de Pequeña Señal - Análisis Modal – Estabilizador de Potencia (EP) – Regulador Automático de Tensión (RAT).

1 INTRODUCCIÓN

En esta publicación se indican todos los trabajos realizados para obtener una Base de Datos de modelos del sistema eléctrico SADI-SIP apta para su uso en Análisis Modal [1] [2], con el fin de realizar estudios de estabilidad dinámica o estabilidad de pequeña señal en el SADI-SIP donde se analizan los modos de oscilación electromecánicos (distintos tipos de modos de oscilación entre máquinas sincrónicas). Estos estudios pueden ser hechos en el dominio del tiempo (Análisis de Prony) o en el dominio de Laplace (Análisis Modal). Esta Base de Datos se obtiene a partir de la Base de Datos de modelos no lineales del SADI-SIP utilizada para estudios de estabilidad que administra CAMMESA y que CAMMESA suministra oficialmente.

* 48 y 116 S/N. La Plata. Buenos Aires. B1900AMF. Argentina. – e-mail: jla@iitree-unlp.org.ar

** Instituto de Investigaciones Tecnológicas para Redes y Equipos Eléctricos – Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de La Plata. *** Laboratorio de Electrónica Industrial, Control e Instrumentación.

El Análisis Modal se realiza a partir de la matriz A que vincula a las derivadas temporales de las Variables de Estado con las respectivas Variables de Estado (vector de estados).

Esta matriz A se calcula con la actividad ASTR del módulo para estudios de dinámica del programa PSS/E. Dicha matriz se obtiene a partir de la linealización en el punto de trabajo de todos los modelos no lineales que representan al sistema SADI-SIP, los cuales fueron concebidos para simulaciones temporales.

Por lo expuesto, resulta de suma importancia para la obtención de la matriz A que todos los modelos involucrados se comporten linealmente en torno a respectivos estados iniciales. Por consiguiente, se describen los trabajos realizados para la adecuación de la Base de Datos de modelos del SADI-SIP, denominada Base de Datos para Análisis Modal, de modo tal que sea posible obtener correctamente la matriz A que caracteriza al espacio de estados del SADI-SIP.

Finalmente, se presenta la comparación de resultados obtenidos con el Análisis Modal y con el Análisis de Prony [3], siendo estos resultados equivalentes.

2 OBTENCIÓN DE LA MATRIZ A

El Análisis Modal requiere obtener la matriz de estados o matriz A del sistema analizado [1] [2]. Esta matriz vincula las derivadas temporales de las variables de Estado con las Variables de Estado:

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \quad (1)$$

Esta matriz A se obtiene con la actividad ASTR del módulo para estudios de dinámica del programa PSS/E a partir del modelo no lineal del sistema eléctrico de potencia utilizado para simulaciones de comportamiento dinámico del sistema en el dominio del tiempo.

Los coeficientes de la matriz A corresponden al sistema linealizado en el punto de trabajo.

La actividad ASTR realiza el siguiente procedimiento para obtener los coeficientes de la matriz A [4]:

- 1) Inicializa los modelos ejecutando MODOS 1, 3 y 2. Verifica que las derivadas iniciales de las Variables de Estado sean inferiores al valor ajustado por el usuario, es decir, verifica que el sistema esté en las condiciones de reposo que especificó el usuario. Caso contrario, aborta la ejecución del comando ASTR.
- 2) Modifica incrementalmente una Variable de Estado. Este valor de perturbación es ajustado por el usuario.
- 3) Propaga esa perturbación ejecutando el MODO 3 o modo de actualización de variables de salida.
- 4) Ejecuta el MODO 2, es decir, computa los coeficientes de la Matriz A correspondientes a la columna de la Variable de estado perturbada.
- 5) Vuelve a 2) para seguir el ciclo perturbando la siguiente Variable de Estado hasta que haya perturbado la última variable de Estado.

El módulo de dinámica del Programa PSS/E convoca secuencialmente a los modelos para ejecutar los MODOS 1, 2 y 3. Los modelos se inicializan en el MODO 1, calculan las derivadas de sus Variables de Estado en el MODO 2 y actualizan sus salidas en el MODO 3.

3 ADECUACIÓN BASE DE DATOS DE MODELOS

La Base de Datos para Análisis Modal esta conformada sólo con los modelos de Generadores Sincrónicos (GEN), Reguladores Automáticos de Tensión (RAT), Estabilizadores de Potencia (EP), Controles Conjuntos de Reactivo (CCR), Control Dinámico de Reactores (CDR) y Cargas de Aluar (CA). Esta Base de Datos no contiene modelos de Reguladores de Velocidad-Potencia (RAV), de Turbinas de Vapor en ciclos combinados, de resistores de frenado, de relé de frecuencia para cortes de carga, de automatismos de reactores para control de tensión, etc.

En el proceso de obtención de la matriz A resulta de fundamental importancia una correcta linealización alrededor de su estado inicial de todos los modelos no lineales utilizados para estudios de dinámicas del sistema. En tal sentido, se han corregido varios tipos de problemas que afectan la correcta linealización de los modelos utilizados para Análisis Modal de la Base de Datos para estudios de dinámicas del sistema.

Las correcciones realizadas a estos modelos se pueden agrupar en reajuste de parámetros y modificación del programa fuente en FLEX. Respecto del reajuste de parámetros, las principales correcciones realizadas se resumen en la Tabla I. Las modificaciones del programa FLEX de algunos modelos se realizaron de modo tal que resulte concordante el análisis Modal con los análisis realizados en el dominio del tiempo (simulaciones dinámicas, Análisis de Prony, etc.). Las principales correcciones realizadas al programa FLEX de los modelos se deben a alguna de las razones presentadas en la Tabla II.

TABLA I. MODELOS. REAJUSTES DE PARÁMETROS

a) La expansión de límites de los modelos de RAT, de EP y de Controles Conjuntos de Reactivo.
b) La anulación de lógicas de limitadores de Sobre-Excitación y Sub-Excitación (OEL y UEL) incluidas en RATs.
c) La anulación de acciones derivativas.
d) El cambio del parámetro de entradas de EPs, de Frecuencia a Velocidad (la actividad ASTR para obtener la matriz A no computa la frecuencia de las barras).
e) El modelo tiene problemas de linealización cuando una constante de tiempo es menor que 2 veces el tiempo de cálculo. Para evitar este error se ajusta la constante de tiempo a un valor igual a 2.5 veces el tiempo de cálculo.

TABLA II. MODELOS. CORRECCIONES PROGRAMA FLEX

a) El modelo original no propaga correctamente la perturbación en Modo 3. Este hecho trae como consecuencia que los coeficientes de la columna correspondiente a la Variable de Estado perturbada sean correctas para las Variables de Estado del propio modelo, pero resultan nulos para las Variables de Estado de otros modelos. Cabe aclarar que esta forma de operar produce un retardo de un paso de tiempo cuando se ejecuta una dinámica normal pero conlleva a errores cuando se utiliza para obtener la Matriz A.
b) El modelo tiene una lógica de selección de mínimo o máximo entre la señal normal de control y la señal de un limitador, estando ambas señales realimentadas positivamente con un filtro de primer orden desde la salida del selector de máximo o de mínimo valor. Esta realimentación determina un control P+I anti-windup que hace que incorrectamente tome control la señal del limitador cuando la perturbación provoque un cambio de signo opuesto en la entrada de control normal. Cabe aclarar que la operación realizada por el selector de mínimo valor es correcta para cuando se ejecuta una dinámica normal pero conlleva a errores cuando se utiliza para obtener la Matriz A.
c) El modelo tiene funciones trigonométricas (coseno) para las cuales se comente grandes errores de linealización cuando el nivel de la perturbación es grande.
d) El modelo computa las derivadas en forma implícita, es decir, no hace uso de los arreglos STATE (K) y DSATE(K).
e) El modelo es de tipo 8 que corresponde a un modelo de Usuario llamado por la rutina CONEC o CONET, y sus salidas son entradas de un RAT asociado. En Modo 3, este modelo tipo 8 se ejecuta después del RAT asociado y, por lo tanto, no propaga las perturbaciones de sus Variables de Estado al modelo de RAT. En estos casos, se cambia a un tipo de modelo asociado a un generador, por ejemplo a un modelo tipo 9 que corresponde a un modelo de Limitador de Sub-Excitación (UEL). Este tipo de modelo UEL ejecuta el modo 3, y también los modos 1 y 2, antes que el modelo de RAT asociado. También resulta necesario modificar la lógica interna del modelo tipo 8 para adecuarlo a la nueva secuencia de ejecución.

4 VERIFICACIÓN BASE DE DATOS DE MODELOS

Primeramente, en la Tabla III, se detallan las distintas bases de datos posteriormente utilizadas para las correspondientes verificaciones y comparaciones de resultados.

TABLA III. RESUMEN DE BASES DE DATOS

Base de datos	Modelos de la Base de Datos	Observaciones
ORIGINAL CAMMESA	Todos los modelos no lineales del SADI-SIP utilizados para estudios de estabilidad (GENs, RATs, EPs, Governors, Controles Conjuntos de Reactivo, Control Dinámico de Reactores, Cargas de Aluar, etc.)	Base de Datos que administra oficialmente CAMMESA
ANÁLISIS MODAL	Además, de los modelos de librería no modificados de GENs, posee sólo los siguientes modelos modificados para análisis modal, modelos linealizados de RATs, EPs, Controles Conjuntos de Reactivo Ezeiza (CCUNIT) y de Piedra del Águila (ABBJVP), Control Dinámico de Reactores (CSVCPI y CSSCS1) y Cargas de Aluar. Sin Governors.	Base de Datos modificada para ANÁLISIS MODAL
REDUCIDA CAMMESA	Los mismos modelos de la Base ANÁLISIS MODAL, pero sin modificar (modelos no lineales)	Base de Datos para verificación y comparación

Se hicieron dos tipos de verificaciones de la Base de Datos ANÁLISIS MODAL, una en el dominio del tiempo y otra en el dominio de Laplace. Las verificaciones y comparaciones realizadas se detallan a continuación. Las pruebas fueron realizadas para un conjunto de aproximadamente 50 plantas generadoras de diferentes áreas del sistema.

4.1 Verificación en el dominio del tiempo

La verificación en el dominio del tiempo consiste en comparar simulaciones temporales realizadas con la Base de datos ANÁLISIS MODAL, versus las mismas simulaciones temporales realizadas con la Base de datos REDUCIDA CAMESA. Por consiguiente, esta verificación permite comprobar que para dinámicas de pequeña señal la Base de Datos para ANÁLISIS MODAL tiene el mismo comportamiento que la Base de Datos REDUCIDA CAMESA. Esta verificación consiste en 2 tipos de simulaciones temporales, una con los generadores en vacío y otra con los generadores en carga.

4.1.1. Simulaciones temporales con generadores en vacío

Las pruebas de vacío son realizadas con el comando ERUN del programa PSS/E, que aplica un cambio tipo escalón a la Tensión de Referencia de los RATs, arreglo VREF (I). Estas pruebas permiten observar el comportamiento dinámico de las Máquinas Síncronas y sus RATs asociados en vacío, o sea en condiciones de velocidad nominal y con interruptor de máquina abierto (Full Speed no Load - FSNL).

Para una de las plantas generadoras del sistema, central de ATUCHA, los resultados de las simulaciones realizadas con ambas Bases de Datos, REDUCIDA CAMESA y ANÁLISIS MODAL se presentan en la Fig.1. En dicha figura, se muestran la evolución temporal de las variables Tensión Terminal (ETERM) y Tensión de Campo (EFD) para ambas simulaciones.

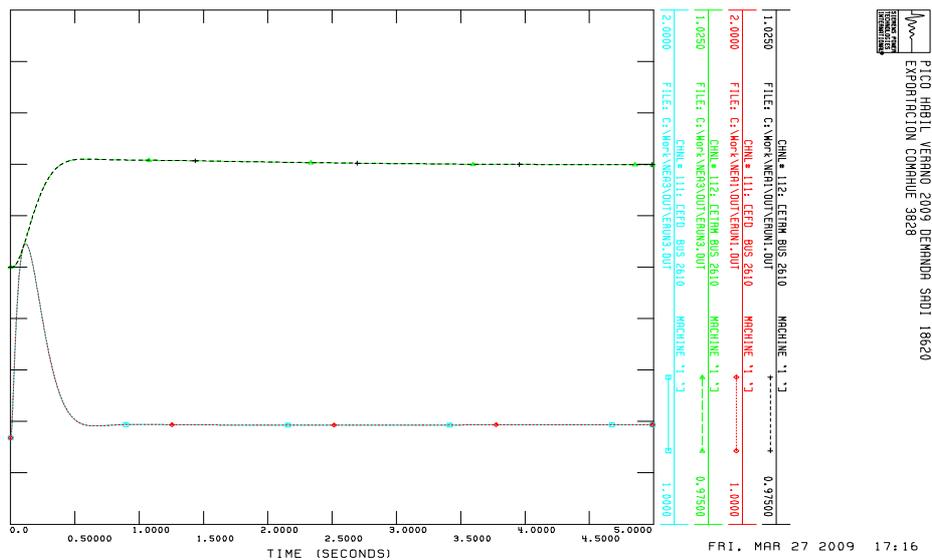


Fig. 1. Respuesta temporal en vacío de un generador de la central ATUCHA

De la Fig. 1, se observa como con el generador en vacío coinciden ambas respuestas temporales de las variables EFD y ETRM. En general, se observa que las simulaciones de comportamiento temporal con los generadores en vacío realizadas con ambas Bases de Datos, prácticamente coinciden para todas las plantas generadoras analizadas.

4.1.2. Simulaciones temporales con generadores en carga

Las pruebas en carga son realizadas utilizando un flujo base suministrado por CAMESA. Estas pruebas son realizadas con el modelo VPULSE desarrollado por el IITREE-LAT que aplica un cambio tipo escalón a la Tensión de Referencia de los RATs, arreglo VREF (I).

Estas pruebas permiten observar el comportamiento dinámico en carga de las Máquinas Síncronas y sus RATs, EPs y Controles Conjuntos (Ezeiza y Piedra del Águila) asociados.

Las anteriores simulaciones se realizaron con dos variantes de la Base de Datos para ANÁLISIS MODAL. Las variantes consisten en no modificar las entradas de Frecuencia de los EPs, denominada Base de Datos

para Análisis Modal con EPs de Frecuencia, y la otra variante consisten en cambiar las entradas de Frecuencia por Velocidad en los EPs, denominada Base de Datos para Análisis Modal con EPs de Velocidad. Esta última variante es la que será usada para obtener la Matriz A, dado que durante la obtención de la Matriz A la frecuencia permanece fija.

La comparación de simulaciones temporales en carga se realizan para un conjunto de plantas generadoras que han sido seleccionadas de modo tal que sean verificados cada uno de los distintos modelos de RATs, de EPs y de Controles Conjuntos. Las simulaciones consisten en aplicar un cambio de un 1 % en la Tensión de Referencia, VREF (I), del RAT de la planta generadora que se está probando. Para el caso de RATs que posean Control de Q interno y se encuentre activo, la perturbación se aplica en la Referencia de Potencia Reactiva, que es una variable del arreglo VAR(L) del programa PSS/E perteneciente al respectivo modelo.

Para el caso de Controles Conjuntos de Reactivo (ABBJVP/ABBJV2 en Piedra del Águila y modelos CCUNIT/CCUNI2 en compensadores Sincrónicos de Ezeiza) las simulaciones se realiza sin y con el Control Conjunto activo. Para el caso de Control Conjunto desactivo, como ya ha sido explicado, la perturbación se ingresa en la Tensión de Referencia, VREF (I), del respectivo RAT. Para el caso de Control Conjunto activo, la perturbación se ingresa en la Tensión de Referencia del Control Conjunto respectivo que es una variable del arreglo VAR (L) del programa PSS/E perteneciente al respectivo modelo.

Para una de las plantas generadoras, central YACYRETA, los resultados de las simulaciones realizadas con ambas Bases de Datos, REDUCIDA CAMMESA y ANÁLISIS MODAL, se presentan en la Fig.2. En la misma se muestran la evolución temporal de las variables Tensión Terminal (ETERM), Tensión de Campo (EFD) y salida del EP (AUX) para ambas simulaciones.

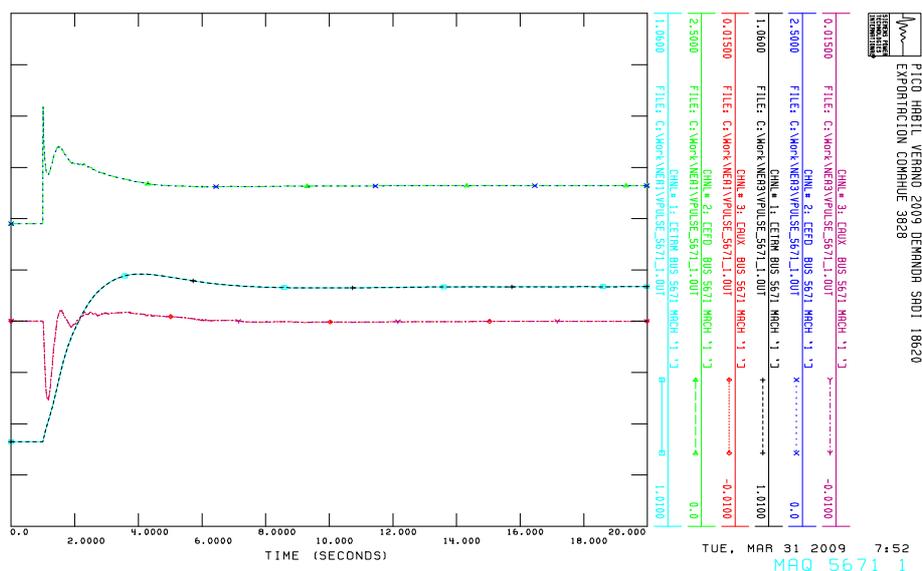


Fig. 2. Respuesta temporal en carga de un generador de YACYRETA y con EPs de frecuencia

De la Fig. 2, se observa como con el generador en carga coinciden las respuestas temporales de las variables ETERM, EFD y AUX. En general, se observa que las simulaciones de comportamiento temporal con los generadores en carga realizadas con ambas Bases de Datos, prácticamente coinciden para todas las plantas generadoras analizadas.

Se observa que las simulaciones de comportamiento temporal de los generadores en carga realizadas con la Base de Datos ANÁLISIS MODAL con EPs de Frecuencia prácticamente coinciden con aquellas realizadas con la Base de Datos REDUCIDA CAMMESA, mientras que las realizadas con la Base de Datos ANÁLISIS MODAL con EPs de Velocidad difieren levemente con aquellas realizadas con la Base de Datos REDUCIDA CAMMESA.

4.2 Verificación en el dominio de Laplace

La verificación en el dominio de Laplace consiste en determinar teóricamente algunos coeficientes de la matriz A (submatrices de A) y compararlos con los mismos coeficientes de la matriz A obtenida mediante la actividad ASTR del PSS/E.

Por consiguiente, esta verificación permite comprobar que la Base de Datos modificada para Análisis Modal genera una matriz A que es correcta porque corresponde a una adecuada linealización alrededor del estado estacionario del sistema.

Para la obtención de la matriz A con el PSS/E se ha utilizado un flujo base suministrado por CAMMESA y la Base de Datos ANÁLISIS MODAL.

Las submatrices de A calculadas teóricamente corresponden a filas y columnas de Variables de Estado de los modelos de algunas plantas generadoras de Máquinas Síncronas, RATs, EPs, y controles conjuntos de reactivo si corresponde. Para la determinación teórica de los coeficientes de las submatrices A las plantas generadoras han sido seleccionadas de modo tal que sean verificados cada uno de los distintos modelos de RATs y de EPs.

Para cada planta generadora ambas submatrices han sido comparadas en archivos del programa Excel.

Para cada una de estas plantas las submatrices de A obtenidas con la actividad ASTR del programa PSS/E, coinciden con las mismas submatrices calculadas teóricamente.

5 COMPARACIÓN DE RESULTADOS: ANÁLISIS MODAL Y ANÁLISIS DE PRONY

5.1 Descripción de los Análisis realizados

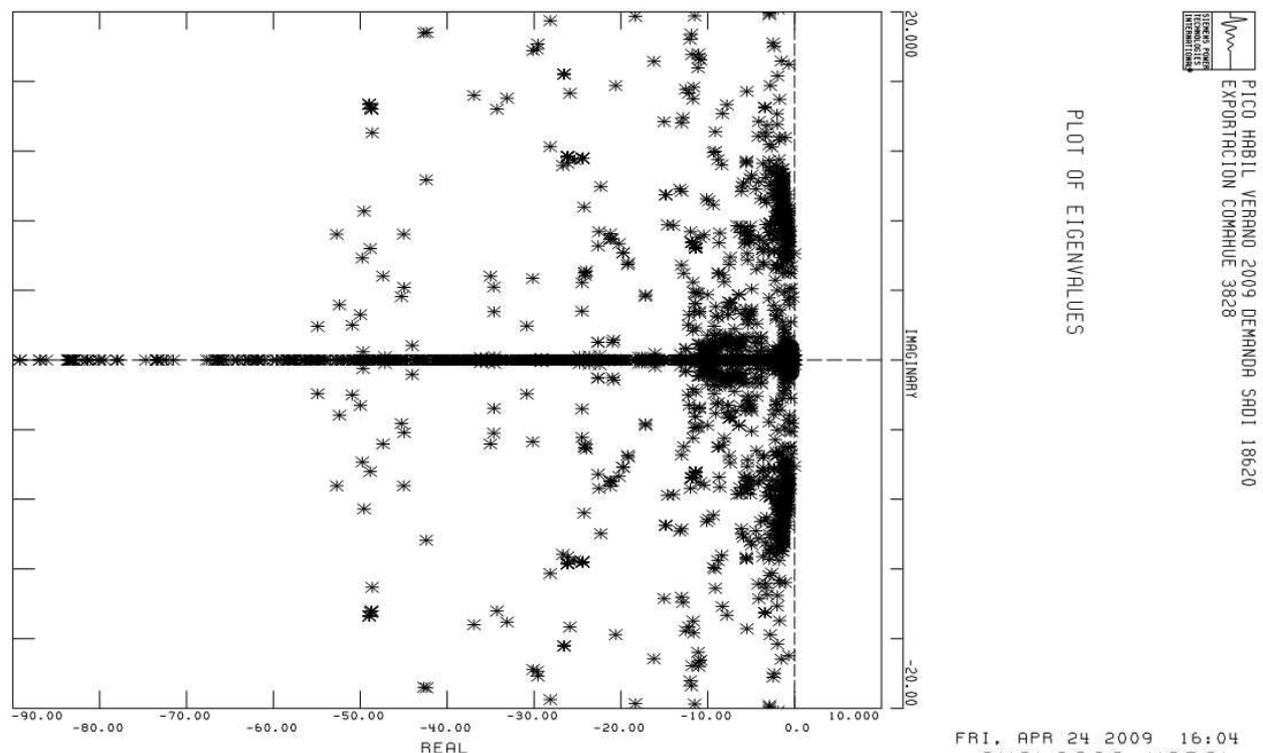
En este punto se presenta la verificación de los resultados del Análisis Modal obtenidos utilizando la Base de Datos ANÁLISIS MODAL previamente descrita y validada. Con esta Base de Datos para ANÁLISIS MODAL se realiza el Análisis Modal y los respectivos Análisis de Prony.

Adicionalmente, se realizan los respectivos Análisis de Prony utilizando la Base de Datos ORIGINAL CAMMESA, como así también se realizan los respectivos Análisis de Prony con la Base de Datos REDUCIDA CAMMESA.

Para realizar cada Análisis de Prony se aplicó un cambio de -0.1 pu en la reactancia longitudinal del transformador de Step-Up de la máquina síncrona cuyas Variables de Estado tienen los Mayores Factores de Participación en el Autovalor que se busca excitar. En cada caso, el análisis de Prony se efectuó sobre el Ángulo del Rotor de la Máquina Síncrona seleccionadas con el criterio anterior.

Para todos los tipos de análisis se utiliza un flujo base suministrado por CAMMESA.

En la Fig. 3 se muestra un diagrama polar con los Autovalores obtenidos con el Análisis Modal realizado con la Base de Datos para Análisis Modal.



En la Tabla IV y Tabla V se muestran algunos de estos Autovalores que fueron seleccionados según dos criterios, el primer criterio es que el Autovalor tenga Amortiguamiento menor a 7 %, y el segundo criterio es que el Autovalor tenga una Frecuencia menor a 0.7 Hz y un Amortiguamiento menor al 10 %.

Las columnas de las Tablas con ANÁLISIS MODAL indican: N° secuencial de Autovalor, partes Real e Imaginaria del Autovalor, Amortiguamiento y Frecuencia del Autovalor. En la Tabla ANÁLISIS PRONY se muestran las Componentes Modales obtenidas en el Análisis de Prony realizado sobre el Ángulo del Rotor de la Máquina Síncrona correspondiente. En los 3 casos de Análisis de Prony las columnas correspondientes indican secuencialmente: partes Real e Imaginaria del Autovalor, Amortiguamiento y Frecuencia del Autovalor. La Tabla IV contiene el Análisis Modal y el Análisis de Prony ambos realizados con la Base de Datos para ANÁLISIS MODAL. La Tabla V contiene el Análisis Modal realizado con la Base de Datos para ANÁLISIS MODAL y los análisis de Prony realizados con Ambas Bases de Datos CAMMESA, REDUCIDA y ORIGINAL.

TABLA IV: ANÁLISIS MODAL y PRONY. AUTOVALORES.

ANÁLISIS MODAL Base de Dato: para ANÁLISIS MODAL					ANÁLISIS PRONY Base de Dato: para ANÁLISIS MODAL			
N°	Real	Imag.	Amor	Frec.	Real	Imag.	Amor	Frec.
879	-0.014	6.100	0.24	0.971	-0.007	6.092	0.11	0.970
175	-0.660	17.00	3.88	2.708	-0.696	16.91	4.11	2.691
1007	-0.219	3.61	6.06	0.576	-0.224	3.590	6.23	0.571
675	-0.472	7.410	6.36	1.182	-0.461	7.425	6.19	1.182
923	-0.378	5.390	7.00	0.860	-0.369	5.369	6.82	0.859
977	-0.359	4.120	8.68	0.658	-0.276	4.182	6.59	0.666

TABLA V: ANÁLISIS MODAL y PRONY. AUTOVALORES.

ANÁLISIS MODAL Base de Dato: para ANÁLISIS MODAL					ANÁLISIS PRONY Base de Dato: REDUCIDA CAMMESA				ANÁLISIS PRONY Base de Dato: ORIGINAL CAMMESA			
N°	Real	Imag.	Amor	Frec.	Real	Imag.	Amor	Frec.	Real	Imag.	Amor	Frec.
879	-0.014	6.100	0.24	0.971	-0.007	6.091	0.11	0.969	-0.012	6.098	0.20	0.971
175	-0.660	17.00	3.88	2.708	-0.678	16.921	4.01	2.693	-0.694	17.09	4.06	2.720
1007	-0.219	3.61	6.06	0.576	-0.183	3.646	5.02	0.580	-0.117	3.590	3.25	0.571
675	-0.472	7.410	6.36	1.182	-0.462	7.425	6.22	1.182	-0.463	7.426	6.23	1.182
923	-0.378	5.390	7.00	0.860	-0.388	5.393	7.18	0.858	-0.398	5.379	7.39	0.856
977	-0.359	4.120	8.68	0.658	-0.343	4.123	8.30	0.656	-0.169	3.916	4.31	0.623

A continuación se presenta para el autovalor N° 175, el correspondiente Análisis de Prony realizado con la Base de Datos para ANÁLISIS MODAL. Se muestran la Tabla VI y la Fig. 4 que se obtienen como resultado del Análisis de Prony realizado sobre el Ángulo del Rotor. En la Tabla IV se presenta el Análisis de PRONY del ángulo del generador de la Fig.4.

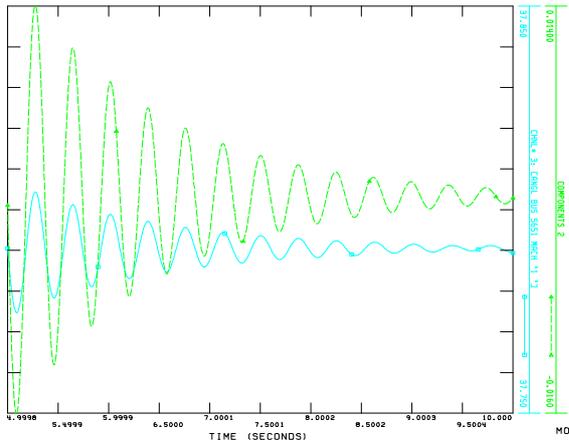


Fig. 4. Evolución temporal del ángulo del rotor y del autovalor en análisis (componente N° 2)

TABLA VI: ANÁLISIS DE PRONY

MODAL COMPONENTS					
COMP.	EIGENVALUE		EIGENVECTOR		
N°	REAL	IMAGINARY	MAGNITUDE	ANGLE	REMARKS
1	1.36E-05	-----	37.787	-----	
2	-0.695847	16.9099	1.71E-02	92.21	FREQ.: 2.691 HZ.
3	-0.190444	-----	3.84E-03	-----	TCNST: 5.251 SC.
4	-2.986	13.4941	1.32E-03	45.21	FREQ.: 2.148 HZ.
5	-2.54376	5.3964	7.59E-04	29.43	FREQ.: 0.859 HZ.
6	-1.51664	20.0124	2.22E-04	166.86	FREQ.: 3.185 HZ.
7	-1.34403	24.4713	1.62E-04	-173.75	FREQ.: 3.895 HZ.

Se presentan las distintas componentes que forman la señal ángulo del generador. En la Tabla figuran el N° de cada componente [COMP NO], la parte Real [REAL] e Imaginaria [IMAGINARY] del autovalor, como así también la magnitud [MAGNITUDE] y ángulo [ANGLE] del autovector y por último la frecuencia del autovalor [FREQ]. Se presentan sólo las componentes de mayor magnitud. La componente N° 2 del análisis corresponde al modo en análisis. El mismo posee una frecuencia de $FREQ = 2.691$ Hz y con los valores de la parte Real e Imaginaria se obtiene el correspondiente valor de amortiguamiento $D = 0.041$ p.u. Por ende, se verifica con el análisis de PRONY el resultado del análisis MODAL.

5.2 Comparación de resultados

Para los Autovalores analizados se observa que los resultados obtenidos con el Análisis Modal usando la Base de Datos ANÁLISIS MODAL son muy parecidos a los obtenidos con el Análisis de Prony utilizando la misma Base de Datos. Para cada Autovalor el apartamiento entre ambos análisis, Modal y Prony, es inferior a 0.02 Hz en la Frecuencia y 2 % en el Amortiguamiento.

Asimismo, se observa que para la mayoría de los casos presentados los resultados obtenidos con el Análisis de Prony usando la Base de Datos REDUCIDA CAMMESA son muy parecidos a aquellos obtenidos con el Análisis Modal y con el Análisis de Prony utilizando la Base de Datos ANÁLISIS MODAL, siendo el apartamiento inferior a 0.02 Hz en la Frecuencia y a 2 % en el Amortiguamiento.

Finalmente, se observa que para la mayoría de los casos presentados los resultados obtenidos con el Análisis de Prony usando la Base de Datos ORIGINAL CAMMESA son similares a aquellos obtenidos con el Análisis Modal y con el Análisis de Prony utilizando la Base de Datos ANÁLISIS MODAL, siendo el apartamiento inferior a 0.02 Hz en la Frecuencia y a 4 % en el Amortiguamiento.

En definitiva, se observa que el mayor apartamiento se observa en los Amortiguamiento de los Autovalores y que prácticamente no existe apartamiento en las Frecuencias de los Autovalores.

Debe tenerse presente que el Amortiguamiento obtenido con el método de Prony es extremadamente sensible a la ventana temporal donde se realiza el análisis.

6 CONCLUSIONES

Se presentaron los trabajos realizados para obtener una Base de Datos de modelos del SADI-SIP apta para ser usada con el objeto de obtener la Matriz A. Esta Matriz A contiene las derivadas de las Variables de Estado en función de las Variables de Estado y caracteriza el comportamiento de pequeña señal del SADI-SIP. A partir de esta matriz A es posible realizar el Análisis Modal del SADI-SIP, obteniéndose todos los Autovalores del sistema. En particular, resulta de interés obtener y analizar los denominados Autovalores dominantes, es decir, aquellos modos de oscilación con bajo amortiguamiento. Resulta satisfactoria la comparación de resultados entre el Análisis Modal realizado con la Base de Datos ANÁLISIS MODAL y el Análisis de Prony realizado con la Base de Datos ORIGINAL CAMMESA que contiene todos los modelos.

Para el ejemplo presentado, en la comparación de resultados se tienen apartamientos entre los Autovalores dominantes obtenidos por cada método que resultan inferiores a 0.02 Hz en la frecuencia y a 4 % en el amortiguamiento.

Finalmente, se destaca que se obtuvo una Base de Datos para Análisis Modal del SADI-SIP confiable que resulta apta para realizar estudios de estabilidad dinámica o estabilidad de pequeña señal.

7 REFERENCIAS

- [1] Prabha Kundur, *Power System Stability and Control*, McGraw-Hill, Inc., 1994.
- [2] Graham Rogers, *Power System Oscillations*, The Kluwer International Series in Engineering and Computer Science, 2000.
- [3] Modal Analysis Plotting, PSS PLT Program Manual PSS/E 30.
- [4] Program Operation Manual: Volumen I, PSS/E 30.