

IDENTIFICACION DE PARAMETROS DE UN GENERADOR SINCRONO MEDIANTE UN ALGORITMO BASADO EN CUASILINEALIZACION Y MINIMOS CUADRADOS

ANTONIO BARRERO VEGA
Universidad de Cuenca
E.E.R.C.S. C.A.

RESUMEN

La modelación exacta de un generador síncrono para estudios de estabilidad ha sido siempre deseada, radicando siempre el principal problema en la obtención de los parámetros.

Un método basado en un algoritmo que utiliza cuasilinealización, mínimos cuadrados y la matriz de transición de estados, ha demostrado ser útil para determinar los parámetros desconocidos de un sistema dinámico no lineal. El algoritmo requiere del modelo matemático del sistema, las trayectorias de todas las variables de entrada y el comportamiento del sistema durante un estado transitorio, en el que todos sus modos sean excitados. Para encontrar los valores desconocidos, el algoritmo encuentra un índice del comportamiento, el mismo que es minimizado; de tal manera que las trayectorias del modelo simulan exactamente las trayectorias de las variables medidas. Obteniéndose del proceso los valores de los parámetros desconocidos del sistema. La evaluación del método para identificar los parámetros transitorios y subtransitorios de una máquina síncrona demuestra la efectividad del mismo.

PARTE I: TEORIA

INTRODUCCION

Modelos adecuados de los diferentes elementos, tales como las máquinas síncronas, los sistemas de excitación y las cargas, son utilizados para predecir el comportamiento transitorio de un sistema de potencia dentro de varios tipos de estudios. La exactitud de la predicción depende principalmente de los modelos utilizados. El modelo para cada elemento consiste en una estructura matemática generalmente en la forma de espacio de estado que contiene un conjunto de parámetros. Habiendo encontrado una configuración matemática adecuada, el trabajo se limita a obtener un grupo de valores para los parámetros, que den como resultado un modelo preciso.

Respuestas en el dominio del tiempo han sido usadas para determinar las constantes de la máquina síncrona para estudios de estabilidad. de Mello y otros (Referencias [1] y [2]), habiendo escogido una técnica de identificación con ciertas limitaciones, crean pruebas para obtener respuestas transitorias que sean solo afectadas ya sea para los parámetros de eje d o los de eje q. Como resultado de esto, el sistema de potencia tiene que sufrir disturbios por lo menos en tres ocasiones con el fin de producir un grupo de valores para los parámetros de una máquina. En otro trabajo [3], cuando las respuestas del generador se ven afectadas por los parámetros en los dos ejes, pruebas de tanteo se usan para obtener los valores de los parámetros. Namba y otros [4] proponen y hacen una primera investigación en el uso del Filtro Kalman, asociado a una prueba de apertura de un circuito paralelo en la línea de transmisión que interconecta a un generador síncrono con un sistema, para identificar los parámetros de éste al ser modelado mediante tres variables de estado y despreocupando la saturación. Este algoritmo de identificación es mejorado y evaluado más profundamente al usar un modelo más real de la máquina síncrona, (referirse a otro trabajo presentado conjuntamente pa-

ra las VI JIEE, [5]). Lee y Tan [6], con el propósito de determinar un grupo de parámetros de la máquina síncrona, emplean una estimación de parámetros basada en un método de mínimos-cuadrados-ponderados, el cual asume que las condiciones iniciales de los estados son conocidos. Al trabajar dentro de esa limitación ellos usan una prueba de cortocircuito y manipulan sus ecuaciones de estado en tal virtud que las condiciones iniciales de las nuevas variables de estado llegan a ser conocidas. Jaleeli y otros [7, 8], presentan una versión detallada de un algoritmo similar y proponen una prueba más práctica para identificar diferentes grupos de parámetros de la máquina síncrona. En la prueba propuesta, el generador se conecta al sistema cuando la magnitud y ángulo del voltaje en los terminales del generador son diferentes a los del sistema, en una prueba de sincronización. Esta prueba se propone en vista de que el algoritmo desarrollado, en similitud con la referencia [6], requiere de las condiciones iniciales de los estados para poder determinar los parámetros.

Este trabajo presenta en su primera parte el desarrollo de un algoritmo general de identificación basado en una combinación de los principios de cuasilinealización, mínimos cuadrados y matriz de transición. A partir de los trayectorias de todas las variables de entrada y algunas variables de salida, capturadas durante el comportamiento transitorio del sistema físico, este algoritmo, al disponer de una estructura matemática del sistema, trata de identificar un grupo de valores, que al ser sustituidos por las condiciones iniciales desconocidas de los estados y los parámetros en dicha estructura matemática, crea un modelo capaz de producir trayectorias cercanas a aquellas medidas de las variables de salida, cuando las trayectorias medidas de las variables de entrada son alimentadas al modelo. Este algoritmo se demuestra en la segunda parte de este trabajo, que es muy poderoso en la identificación de parámetros transitorios y subtransitorios de la máquina síncrona.

Debido a la gran capacidad del algoritmo, este podría aplicarse en la identificación de los parámetros de otros elementos de un sistema de potencia, tales como sistema de excitación o cargas.

DEDUCCION DEL ALGORITMO

Las siguientes ecuaciones representan la estructura matemática general de un sistema no lineal con algunos parámetros desconocidos:

$$\dot{\underline{x}} = \underline{f}(\underline{x}, \underline{u}, \underline{p}, t) \quad (1)$$

$$\underline{y} = \underline{h}(\underline{x}, \underline{u}, \underline{p}, t) \quad (2)$$

Donde:

\underline{x} es un vector de estado de dimensión $N \times 1$.

\underline{f} es un vector de funciones conocidas de dimensión $N \times 1$.

\underline{u} es un vector de entrada.

\underline{p} es un vector de parámetros desconocidos invariables en el tiempo, de dimensión $K \times 1$.

- t es la variable independiente tiempo.
- y es un vector de variables de salida de dimensión L x 1.
- h es un vector de funciones conocidas de dimensión L x 1.

El objetivo es el de identificar p y las condiciones iniciales de los estados de un grupo de trayectorias correspondientes a las variables de entrada y de salida, u y y-hat, las cuales son medidas del sistema físico a iguales intervalos de tiempo, Δt, durante un período de tiempo iniciando en cualquier tiempo, t₀, y terminando en un tiempo final, t_f. Para alcanzar este objetivo, los valores medidos de las variables de entrada y salida. El grupo de valores resultantes de la integración de las variables de estado en cualquier instante de tiempo, x, es usado en la ecuación (2), para encontrar los respectivos valores de las variables de salida, y-hat. Estos valores son empleados luego iterativamente, para mejorar los valores estimados de los parámetros, p, y de las condiciones iniciales de los estados, x(t₀), mediante la minimización del Índice de Comportamiento, ρ, dado por la expresión:

$$\rho = \int_{t_0}^{t_f} \sum_{\ell=1}^L w_{\ell} (\bar{y}_{\ell} + \delta y_{\ell} - \hat{y}_{\ell})^2 dt \quad (3)$$

Donde:

w_ℓ es un número positivo seleccionado para el ℓ-ésimo coeficiente de ponderación.

$$\delta y_{\ell} = y_{\ell} - \hat{y}_{\ell}$$

y_ℓ es la trayectoria de la ℓ-ésima variable de salida la cual puede ser calculada, usando las ecuaciones (1) y (2), para cualquier instante de tiempo si los valores exactos de los parámetros y las condiciones iniciales de los estados fueran disponibles.

Ya que y_ℓ y y-hat_ℓ son disponibles únicamente en intervalos de tiempo Δt, ρ podría aproximarse a:

$$\rho = \sum_{m=0}^{m_f} \sum_{\ell=1}^L w_{\ell} (\bar{y}_{\ell}|_m + \delta y_{\ell}|_m - \hat{y}_{\ell}|_m)^2 \Delta t \quad (4)$$

Donde:

$$m_f = \frac{t_f - t_0}{\Delta t}$$

El uso de del subíndice |_m para una variable indica el valor de la variable en el tiempo t = t₀ + mΔt.

ρ puede minimizarse haciendo que sus derivadas parciales con respecto al cambio de cada parámetro y el cambio de cada condición inicial de estado sean cero.

$$\frac{1}{2\Delta t} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial p_i} = \sum_{m=0}^{m_f} \sum_{\ell=1}^L \left\{ w_{\ell} (\bar{y}_{\ell} + \delta y_{\ell} - \hat{y}_{\ell}) \frac{\partial y_{\ell}}{\partial p_i} \right\} \Big|_m = 0 \quad (5)$$

$$\frac{1}{2\Delta t} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial x_j(t_0)} = \sum_{m=0}^{m_f} \sum_{\ell=1}^L \left\{ w_{\ell} (\bar{y}_{\ell} + \delta y_{\ell} - \hat{y}_{\ell}) \frac{\partial y_{\ell}}{\partial x_j(t_0)} \right\} \Big|_m = 0 \quad (6)$$

Los diferentes valores de i, de 1 a K, y de j, de 1 a N, pueden usarse en las ecuaciones anteriores para obtener un grupo de K + N ecuaciones simultáneas. Estas ecuaciones pueden luego resolverse para δp y δx(t₀), si δy_ℓ es expresado en términos de δp y δx(t₀) al comienzo de cada intervalo.

Para expresar δy_ℓ en función de δp y δx(t₀), las ecuaciones (1) y (2) son linealizadas alrededor de la trayectoria nominal de x, obteniéndose:

$$\delta \dot{x} = A \delta x + B \delta p \quad (7)$$

$$\delta y = C \delta x + D \delta p \quad (8)$$

Donde: A, B, C y D son las matrices de Jacobianos:

$$A = \left[\frac{\partial f}{\partial x_j} \right]$$

$$B = \left[\frac{\partial f}{\partial p_i} \right]$$

$$C = \left[\frac{\partial h_{\ell}}{\partial x_j} \right]$$

$$D = \left[\frac{\partial h_{\ell}}{\partial p_i} \right]$$

Dada la estructura matemática del sistema, las matrices anteriores pueden calcularse para cualquier instante de tiempo usando los valores estimados de los parámetros y los valores de x y u en el mismo instante de tiempo. Aplicando la Teoría de Sistemas Lineales a la ecuación (7), se pueden escribir lo siguientes:

$$\delta x|_1 = \phi(\Delta t)|_0 \delta x(t_0) + \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t} \phi(t-\tau)|_0 B|_0 \delta p \, d\tau \quad (9)$$

Donde: φ es la matriz de transición y puede calcularse de la siguiente manera:

$$\phi(\Delta t) = e^{A\Delta t} = I + A \frac{\Delta t}{1!} + A^2 \frac{\Delta t^2}{2!} + \dots \quad (10)$$

Integrando el segundo término de la ecuación (9) resulta:

$$\delta x|_1 = \Psi|_1 \delta x(t_0) + \Omega|_1 \delta p \quad (11)$$

Donde:

$$\Psi|_1 = \phi(\Delta t)|_0 \quad (12)$$

$$\Omega|_1 = \left\{ A^{-1} [\phi(\Delta t) - I] B \right\} \Big|_0 \quad (13)$$

Usando la ecuación (7) para obtener δx|₂ de δx|₁ da

$$\delta x|_2 = \phi(\Delta t)|_1 \delta x|_1 + \int_{t_0 + \Delta t}^{t_0 + 2\Delta t} \phi(t-\tau)|_1 B|_1 \delta p \, d\tau \quad (14)$$

Sustituyendo δx|₁ de la ecuación (11) en la anterior e integrando el segundo término de la ecuación resultante se obtiene:

$$\delta x|_2 = \phi(\Delta t)|_1 \left[\Psi|_1 \delta x(t_0) + \Omega|_1 \delta p \right] + \left\{ A^{-1} [\phi(\Delta t) - I] B \right\} \Big|_1 \delta p \quad (15)$$

o,

$$\delta \underline{x}|_2 = \Psi|_2 \delta \underline{x}(t_0) + \Omega|_2 \delta p \quad (16)$$

Donde:

$$\Psi|_2 = \phi(\Delta t)|_1 \Psi|_1 \quad (17)$$

$$\Omega|_2 = \phi(\Delta t)|_1 \Omega|_1 + \{A^{-1}[\phi(\Delta t) - I] B\}|_1 \quad (18)$$

Continuando el procedimiento se llega a la forma general:

$$\delta \underline{x}|_m = \Psi|_m \delta \underline{x}(t_0) + \Omega|_m \delta p \quad (19)$$

Donde:

$$\Psi|_m = \left\{ \phi(\Delta t) \Psi \right\}|_{m-1} \quad (20)$$

$$\Omega|_m = \left\{ \phi(\Delta t) \Omega + A^{-1}[\phi(\Delta t) - I] B \right\}|_{m-1} \quad (21)$$

Sustituyendo la ecuación (19) en la (8) da como resultado la expresión buscada para $\delta \underline{y}$, siendo esta:

$$\delta \underline{y}|_m = \Gamma|_m \delta \underline{x}(t_0) + A|_m \delta p \quad (22)$$

Donde:

$$\Gamma|_m = \{C \Psi\}|_m \quad (23)$$

$$A|_m = \{C \Omega + D\}|_m \quad (24)$$

La m -ésima fila de la ecuación (22) se requiere para utilizarla en las ecuaciones (5) y (6), la misma que es de la forma:

$$\delta y_\ell|_m = \sum_{n=1}^M \gamma_{\ell n} \delta x_n(t_0) + \sum_{k=1}^K \lambda_{\ell k} \delta p_k \quad (25)$$

Donde:

$\gamma_{\ell n}$ es el elemento de la ℓ -ésima fila y n -ésima columna de la matriz Γ .
 $\lambda_{\ell k}$ es el elemento de la ℓ -ésima fila y n -ésima columna de la matriz A .

Sustituyendo la ecuación (25) en las ecuaciones (5) y (6) resultan las siguientes:

$$\sum_{m=0}^{M_f} \sum_{\ell=1}^L \left\{ w_\ell (\bar{y}_\ell + \sum_{n=1}^M \gamma_{\ell n} \delta x_n(t_0) + \sum_{k=1}^K \lambda_{\ell k} \delta p_k - \hat{y}_\ell) \lambda_{\ell i} \right\} = 0 \quad (26)$$

$$\sum_{m=0}^{M_f} \sum_{\ell=1}^L \left\{ w_\ell (\bar{y}_\ell + \sum_{n=1}^M \gamma_{\ell n} \delta x_n(t_0) + \sum_{k=1}^K \lambda_{\ell k} \delta p_k - \hat{y}_\ell) \gamma_{\ell j} \right\} = 0 \quad (27)$$

o,

$$\sum_{n=1}^M q_{in} \delta x_n(t_0) + \sum_{k=1}^K r_{ik} \delta p_k = e_i \quad (28)$$

$$\sum_{n=1}^M s_{jn} \delta x_n(t_0) + \sum_{k=1}^K z_{jk} \delta p_k = g_j \quad (29)$$

Donde:

$$q_{in} = \sum_{m=0}^{M_f} \sum_{\ell=1}^L \left\{ w_\ell \gamma_{\ell n} \lambda_{\ell i} \right\} \quad (30)$$

$$r_{ik} = \sum_{m=0}^{M_f} \sum_{\ell=1}^L \left\{ w_\ell \lambda_{\ell k} \lambda_{\ell i} \right\} \quad (31)$$

$$e_i = \sum_{m=0}^{M_f} \sum_{\ell=1}^L \left\{ w_\ell (\hat{y}_\ell - \bar{y}_\ell) \lambda_{\ell i} \right\} \quad (32)$$

$$s_{jn} = \sum_{m=0}^{M_f} \sum_{\ell=1}^L \left\{ w_\ell \gamma_{\ell n} \gamma_{\ell j} \right\} \quad (33)$$

$$z_{jk} = \sum_{m=0}^{M_f} \sum_{\ell=1}^L \left\{ w_\ell \lambda_{\ell k} \gamma_{\ell j} \right\} \quad (34)$$

$$g_j = \sum_{m=0}^{M_f} \sum_{\ell=1}^L \left\{ w_\ell (\hat{y}_\ell - \bar{y}_\ell) \gamma_{\ell j} \right\} \quad (35)$$

Las ecuaciones (28) y (29) se obtienen derivando -- parcialmente ρ con respecto a δp_i y $\delta x_j(t_0)$, respectivamente. Un conjunto de $K + N$ ecuaciones lineales se obtienen al tomar las derivadas parciales con respecto a todos los K elementos de δp y todos los N elementos de $\delta \underline{x}(t_0)$. Estas ecuaciones pueden luego escribirse en la forma matricial:

$$\begin{bmatrix} R & Q \\ Z & S \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \delta p \\ \delta \underline{x}(t_0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e \\ g \end{bmatrix} \quad (36)$$

Donde los elementos de Q , R , e , S , Z y g son los que se describen en las ecuaciones (30) a la (35), respectivamente.

Iniciando con algunos vectores estimados para los parámetros, \underline{p}^s , y para las condiciones iniciales de los estados, $\underline{x}^s(t_0)$, todos los elementos que conforman Q , R , e , S , Z y g se calculan para el período de t_0 a t_f . Luego la ecuación (36) se resuelve para $\delta \underline{x}^s(t_0)$ y $\delta \underline{p}^s$. Si todos los elementos de los dos últimos vectores son pequeños, las siguientes ecuaciones dan los parámetros desconocidos, así como las condiciones iniciales de los estados.

$$\underline{x}^{s+1}(t_0) = \underline{x}^s(t_0) + \delta \underline{x}^s(t_0) \quad (37)$$

$$\underline{p}^{s+1} = \underline{p}^s + \sigma \delta \underline{p}^s$$

Donde σ es un factor de aceleración.

De no ser lo suficientemente pequeños, $\underline{x}^{s+1}(t_0)$ y \underline{p}^{s+1} se utilizan en la siguiente iteración. Adicionalmente a estos valores, se debe calcular ρ de la ecuación (4), en cada iteración; debiendo ser este índice un valor muy pequeño cuando se obtenga la respuesta.

Es fácil comprobar que R y S son simétricas; y $Q=Z^T$; pudiendo aprovecharse de estas propiedades para reducir el trabajo computacional al obtener la matriz particionada indicada en la ecuación (36).

Los conceptos de matriz de transición, cualinealización y mínimos cuadrados han sido usados para desarrollar un algoritmo para la identificación de parámetros y condiciones iniciales, de los estados de un sistema no lineal. Habiéndose obtenido excelentes resultados en aplicaciones a ejemplos numéricos, se ve la aptitud del método para aplicarse a modelos matemáticos de elementos de un sistema de potencia. En la Parte II de este trabajo se presentan los "Resultados del Estudio" al evaluarse el algoritmo en la identificación de parámetros transitorios y subtransitorios de un generador síncrono.

PARTE II

ALCANCE DE LA EVALUACION

Las trayectorias de la velocidad rotórica, voltaje de campo, voltaje y corriente en los terminales de un generador de un sistema compuesto por una máquina conectada a una barra infinita a través de dos líneas en paralelo, se simulan para varias condiciones iniciales de operación, cuando una de los circuitos es desconectado. Las trayectorias simuladas se mezclan con varios niveles y tipos de ruidos y se usan como entradas a un algoritmo en evaluación. La estructura matemática seleccionada para la máquina síncrona, en este programa, es una de las más detalladas y adoptada para estudios de estabilidad por muchas empresas en los Estados Unidos. Los valores obtenidos para los parámetros transitorios y subtransitorios, por el algoritmo de identificación, luego son comparados con los que se utilizan en los programas de simulación, evaluando así la bondad del algoritmo.

El algoritmo presentado en la Parte I de este trabajo se le evalúa mediante la utilización de los programas SA y IDQ o SB, descritos en un trabajo que acompaña a éste en las VI JIEE [5]; estos sirven para calcular los valores de δ y E_{fd} , así como las trayectorias con y sin ruido de V_d , V_q , I_d e I_q del generador de la Figura 1 de la referencia [5]. La salida del programa IDQ o del SB es usado como entrada al programa de identificación el cual usa al algoritmo desarrollado en la Parte I. En este programa, que se lo ha llamado programa MIQ, las ecuaciones (3) a la (6) de la referencia [5] son consideradas como la ecuación vectorial de estado (1) del algoritmo de la primera parte y las ecuaciones (1) y (2) de [5], se toman como la ecuación vectorial de variables observables (2). Los valores identificados por el programa MIQ para los parámetros transitorios y subtransitorios se comparan con aquellos valores usados en los programas de simulación. También se comparan el grupo de valores dados para los parámetros en la Tabla I de [5] con los que identifica el algoritmo. Estas comparaciones se efectúan para diferentes condiciones iniciales de operación del generador y para diferentes intervalos de muestreo, duración de las trayectorias simuladas y varios niveles como tipos de ruidos que se mezclan a éstas, en base a esto se evalúa el algoritmo.

RESULTADOS DE LA EVALUACION

Uso de Trayectorias sin ruido:

En esta evaluación δ y E_{fd} así como las trayectorias de V_d , V_q , I_d e I_q calculadas por el programa SB para el generador indicado en la Figura 1 de la referencia [5], son alimentados al programa de identificación MIQ. La capacidad del algoritmo de identificación incorporado al programa MIQ es evaluada para una serie de opciones tales como intervalos de tiempo diferentes, duración de las trayectorias, etc. En todos los casos de estudio, la versión en simple precisión del programa MIQ identifica exitosamente todas las condiciones iniciales de los estados y hasta cuatro parámetros subtransitorios desconocidos, p_1 a p_4 , como se definen en la ecuación (11) de [5]. Cuando p_5 se añadió a la lista de parámetros asumidos como desconocidos, el programa no pudo converger a un conjunto de valores adecuados para los parámetros desconocidos y condiciones iniciales de los estados. Teniendo como objetivo el de identificar por lo menos parámetros subtransitorios y transitorios de las trayectorias que se hacen referencia, todos los cálculos en el programa fueron implementados en doble precisión. Esta modificación hizo al programa MIQ capaz de identificar todas las condiciones iniciales de los estados así como todos los parámetros transitorios y subtransitorios de las trayectorias

obtenidas para muchas pruebas. Un conjunto de resultados obtenidos de una evaluación parcial de la versión del programa MIQ en doble precisión es presentado en la Tabla I.

Excepto bajo condiciones extremas, como los casos de estudio 2, 6, 7 y 10, el programa MIQ converge a un grupo de valores para condiciones iniciales y parámetros que son casi idénticos a aquellos usados en el programa de simulación SB. En el caso 2 de la Tabla I, el generador se encuentra cargado solamente en un 0.4 p.u.. El retirar una línea en paralelo no disturba mucho al sistema, por lo tanto los valores identificados de $x(0)$ y p tienen errores mayores que para otros posibles casos. En los casos de estudio 6 y 7, el período de muestreo ha sido incrementado a 50 y 60 ms, respectivamente. Para éstos, los valores identificados, especialmente los parámetros subtransitorios, no se ajustan a los valores verdaderos así como en los casos en los cuales el intervalo de muestreo es 2 o 4 ms. En el caso de estudio # 10, la duración de las trayectorias de entrada se limita a 0.2 segundos. La información constante en este tiempo de duración del comportamiento del generador no es suficiente para identificar las condiciones iniciales de los estados y los parámetros. Los valores identificados en este caso difieren de los valores reales sustancialmente. A partir de los casos de estudio 1, 3, 4, 5, 8, 9 y algunos otros no presentados, se llega a concluir que el programa MIQ, es incapaz de identificar $x(0)$ y p cuando se disponen de las trayectorias simuladas de V_d , V_q , I_d e I_q , para un período de 0.3 a 2 segundos, con un intervalo de muestreo de hasta 10 ms.

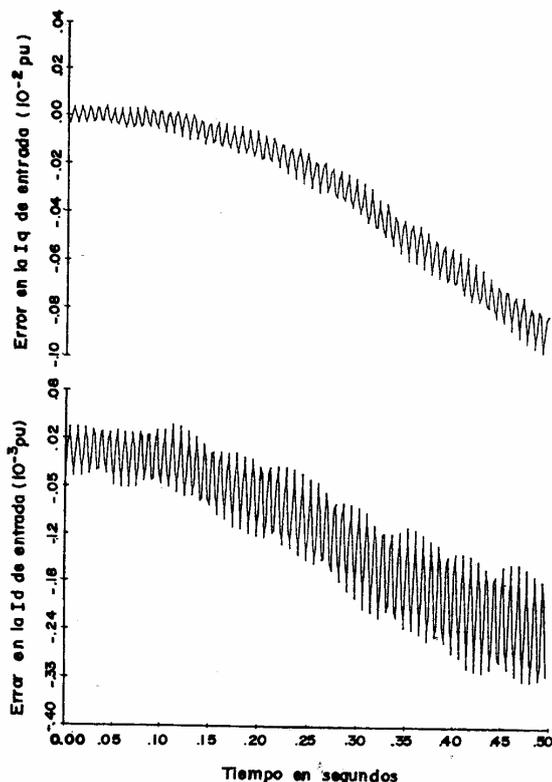


Figura 1.- Error resultante en I_d e I_q del caso de estudio # 11, cuando el programa IDQ es usado en la transformación de valores instantáneos de la corriente estática calculada por el programa SA para obtener los componentes en los ejes d y q . Los errores se dan con respecto a las trayectorias d y q que son calculadas directamente del programa SB.

| CASO DE ESTUDIO Me. | VER NOTA 1 | | | VER NOTA 2 | | | VER NOTA 3 | | | $\epsilon_{x_1}\%$ | $\epsilon_{x_2}\%$ | $\epsilon_{x_3}\%$ | $\epsilon_{x_4}\%$ | $\epsilon_{p_1}\%$ | $\epsilon_{p_2}\%$ | $\epsilon_{p_3}\%$ | $\epsilon_{p_4}\%$ | $\epsilon_{p_5}\%$ | $\epsilon_{p_6}\%$ | $\epsilon_{p_7}\%$ | $\epsilon_{p_8}\%$ | No. DE ITERACION |
|---------------------|------------|-------|-------|------------|------------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| | P | P_f | V_t | T | Δt | ms | $\epsilon_{x_1}\%$ | $\epsilon_{x_2}\%$ | $\epsilon_{x_3}\%$ | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0.8 | 0.8 | 1.0 | 1.0 | 2 | -0.03 | 0.13 | -2.1 | -0.47 | 1.2 | 4.5 | 0.40 | -11 | -0.13 | 2.9 | 0.47 | 1.8 | | | | 7 | |
| 2 | 0.4 | 0.8 | 1.0 | 1.0 | 2 | -0.11 | 0.37 | 1.3 | -1.0 | -8.8 | -15 | -9.8 | -1.1 | 0.98 | 5.5 | 2.1 | -9.4 | | | | 12 | |
| 3 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.0 | 2 | -0.03 | -0.07 | 0.62 | 0.17 | 0.65 | 1.9 | 2.0 | -4.2 | -0.12 | 0.98 | 1.3 | 1.1 | | | | 8 | |
| 4 | 0.8 | 0.8 | 1.0 | 1.0 | 4 | -0.02 | -0.08 | 1.2 | 0.27 | 0.7 | 2.6 | 0.3 | -6.7 | -0.11 | 1.6 | 0.28 | 1.1 | | | | 8 | |
| 5 | 0.8 | 0.8 | 1.0 | 2.0 | 4 | -0.02 | -0.06 | -0.26 | 0.11 | 0.53 | 1.5 | 0.54 | -2.6 | -0.10 | 0.34 | 0.30 | 1.4 | | | | 6 | |
| 6 | 0.8 | 0.8 | 1.0 | 2.0 | 50 | 0.21 | 0.01 | 0.04 | 0.03 | 0.15 | 0.32 | 21.0 | 2.0 | 1.2 | 0.10 | 3.8 | 0.02 | | | | 12 | |
| 7 | 0.8 | 0.8 | 1.0 | 2.0 | 60 | 0.45 | 0.09 | -6.0 | 0.30 | 1.20 | 4.5 | 41 | 43 | 2.5 | 11 | 8.1 | 8.1 | | | | 18 | |
| 8 | 0.8 | 0.8 | 1.0 | 0.5 | 2 | -0.01 | -0.06 | -0.35 | 0.08 | 0.60 | 1.0 | 0.07 | 1.6 | 0.0 | -0.68 | 0.21 | 1.4 | | | | 8 | |
| 9 | 0.8 | 0.8 | 1.0 | 0.3 | 2 | 0.01 | -0.01 | -0.1 | 0.03 | 0.20 | 0.39 | 0.14 | 0.3 | 0.12 | -0.21 | 0.07 | 0.44 | | | | 9 | |
| 10 | 0.8 | 0.8 | 1.0 | 0.2 | 2 | 1.4 | -8.8 | -9.3 | 119 | 439 | -208 | -22 | 63 | 2.8 | 15 | -222 | 220 | | | | 18 | |

Tabla I .- Una evaluación parcial del programa MIQ.

Los datos de entrada al programa MIQ son los producidos por el programa SB, cuando este simula la salida de una de las líneas de paralelo del sistema de la Figura 1 de [5]. Los parámetros del sistema que se usan en el programa SB son los dados en la Tabla II de la misma referencia [5].

Los valores estimados considerados para las condiciones iniciales de los estados y para p_1 a p_8 a usarse en el programa MIQ, son: $x_1(0) = 1.43 (+30\%)$, $x_2(0) = 0.81(-20\%)$, $x_3(0) = -0.24(-25\%)$, $x_4(0) = 0.54(+30\%)$, $p_1 = x''_d = 2.22(+20\%)$, $p_2 = x''_d = 0.14(-25\%)$, $p_3 = 1/T''_{d0} = 0.11(+25\%)$, $p_4 = 1/T''_{q0} = 0.043(+20\%)$, $p_5 = x'_d = 0.2(-20\%)$, $p_6 = x'_q = 0.29(-25\%)$, $p_7 = 1/T'_{d0} = 0.00038(-15\%)$ y $p_8 = 1/T'_{q0} = 0.0052(+25\%)$. Los números -- que se indican entre paréntesis son los errores de los valores usados inicialmente con relación a los del -- programa SB.

- 1) P , P_f y V_t son los valores en por unidad de la potencia de salida del generador, el factor de potencia y el voltaje en terminales.
- 2) T es la duración de las trayectorias en segundos. Δt es el intervalo de muestreo en milisegundos (el que es a su vez el intervalo de tiempo usado en la integración numérica dentro del programa MIQ).
- 3) $\epsilon_{x_1}\%$ a $\epsilon_{x_4}\%$ son los porcentajes de error relativo de los valores identificados por el programa MIQ para las condiciones iniciales de los estados con respecto a los calculados en el programa SB. $\epsilon_{p_1}\%$ a $\epsilon_{p_8}\%$ son los porcentajes de error relativo de los valores identificados por el programa MIQ para los parámetros desconocidos, con respecto a los usados en el programa SB.

| Caso de Estudio # | Programa | $\epsilon_{x_1}\%$ | $\epsilon_{x_2}\%$ | $\epsilon_{x_3}\%$ | $\epsilon_{x_4}\%$ | $\epsilon_{x_5}\%$ | $\epsilon_{p_1}\%$ | $\epsilon_{p_2}\%$ | $\epsilon_{p_3}\%$ | $\epsilon_{p_4}\%$ | $\epsilon_{p_5}\%$ | $\epsilon_{p_6}\%$ | $\epsilon_{p_7}\%$ | $\epsilon_{p_8}\%$ |
|-------------------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 11 | MIQD | 0.0 | 0.12 | 1.37 | 0.58 | --- | 1.08 | 5.64 | 0.49 | 4.83 | 0.06 | -3.06 | 0.9 | 6.18 |
| 12 | MIQDS | 0.0 | 0.12 | -1.4 | 0.57 | -0.02 | 1.05 | 5.53 | 0.5 | 5.14 | 0.06 | -3.09 | 0.92 | 6.13 |

Tabla II .- Errores en los valores identificados por los programas MIQ y MIQS, de las condiciones iniciales de los estados y de los parámetros.

Los valores asumidos de $x(0)$ y p usados en estos programas son: $x_1 = 1.38(+25\%)$, $x_2 = 0.76(-25\%)$, $x_3 = -0.4(+25\%)$, $x_4 = 0.312(-25\%)$, $x_5 = 1.0(0\%)$ (no se requiere para MIQ), $p_1 = 0.139(-25\%)$, $p_2 = 0.231(+25\%)$, $p_3 = 0.065(-25\%)$, $p_4 = 0.0265(-25\%)$, $p_5 = 0.306(+25\%)$, $p_6 = 0.475(+25\%)$, $p_7 = 0.00034(-25\%)$ y $p_8 = 0.0052(+25\%)$. Las trayectorias de entrada de V_d , V_q , I_d e I_q , a los programas indicados son los convertidos por el programa -- IDQ, cuando los valores instantáneos requeridos de corrientes estatóricas y voltajes se simulan mediante el programa SA por 0.5 segundos con un $t = 2$ ms. En esta simulación, las condiciones en los terminales del generador previas a la apertura de una línea del sistema de la Figura 1 de la referencia [5], son: $p = 0.8$ pu, $f_p = 0.8$ y $V_t = 1.0$ pu.

Para realizar una evaluación más real del algoritmo de identificación, se usan los valores instantáneos de corrientes estatóricas y voltajes en los terminales de las tres fases del generador, calculadas por el programa SA, en vez de sus valores calculados directamente de sus componentes d y q por el programa SB. Las trayectorias de los valores instantáneos -- obtenidos para varios casos de estudio se transforman a los valores correspondientes en los ejes d y q y luego alimentados al programa MIQ. Valores identificados para las condiciones iniciales de los estados y los parámetros generalmente muestran grandes errores con respecto a los obtenidos de casos favorables mostrados en la Tabla I. El caso de estudio 11 constante en la Tabla II es un ejemplo de esto. Una nueva versión del programa MIQ, el programa MIQS, se desarrolla esperando que con la inclusión de otra variable observable, la velocidad rotórica; al grupo -- de variables empleadas como las trayectorias de en--

trada, ayude en el proceso de identificación, obteniéndose valores más precisos de $x(0)$ y p . Sin embargo resulta que el programa MIQS no produce mejores resultados que el MIQ. Una prueba, obtenida por MIQS se indica en el caso de estudio 12 de la Tabla II.

Para explicar los errores en los valores identificados de $x(0)$ y p se presentan las Figuras 1 y 2, las mismas que muestran las diferencias entre los componentes d y q calculados por el programa IDQ y aquellos calculados directamente por el programa SB. Las diferencias se deben a las aproximaciones hechas en el desarrollo de la ecuación (30), de la (28), en la referencia [5]. Ya que las trayectorias de entrada al programa MIQ en el caso de estudio # 11 son obtenidas del programa IDQ, el proceso de identificación -- trata de encontrar un juego de valores para $x(0)$ y p tales que, cuando usados en la estructura matemática

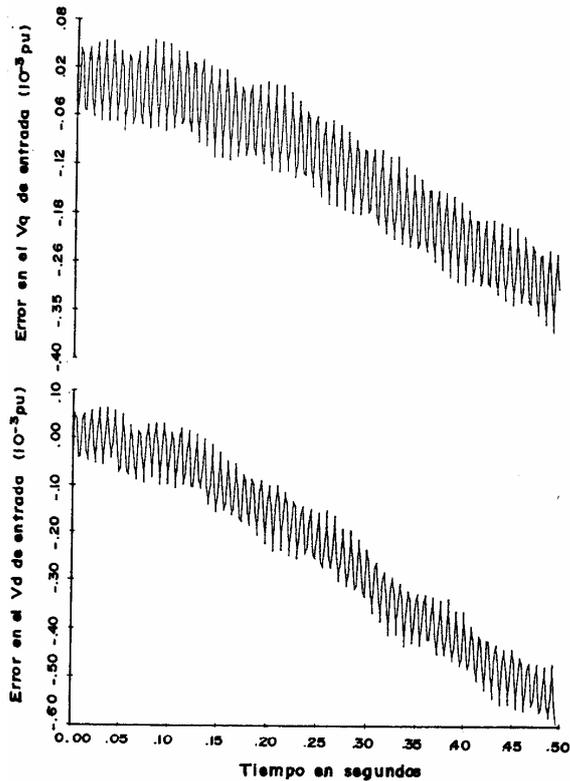


Figura 2.- Error resultante en Vd y Vq, cuando son calculados de la manera descrita para la Figura 1.

del generador, de trayectorias cercanas a las de Vd y Vq producidas por el programa IDQ. Debido a las diferencias mostradas en las Figuras 1 y 2, el programa MIQ no es capaz de dar el cómputo de los valores exactos usados para $\bar{x}(o)$ y \bar{p} en el programa de simulación SA. Sin embargo, sustituyendo en la estructura del generador, los valores identificados por el programa MIQ para los valores desconocidos y usando las trayectorias de Id e Iq calculadas por el programa IDQ, como variables de entrada, produce trayectorias casi idénticas de Vd y Vq con relación a aquellos ingresados a este. Estos se muestra en la Figura 3 en la cual se ve que la magnitud del desajuste de Vd y Vq en cualquier instante de tiempo es menor que 10^{-4} p.u.

Uso de un grupo de trayectorias más real.

Si el programa MIQ, se aplicara a la identificación de parámetros transitorios y subtransitorios de un generador real, a partir de las trayectorias medidas de $i_a, i_b, i_c, v_a, v_b, v_c$, y ω , no se espera que estas trayectorias sean libres de ruido ni tampoco que los parámetros de estado estable sean disponibles de una manera exacta. Para evaluar el programa MIQ en condiciones más reales, los siguientes estudios han sido realizados. En todos los estudios presentados de aquí en adelante, el programa SA es utilizado para producir las trayectorias de $i_a, i_b, i_c, v_a, v_b, v_c$, del generador de la Figura 1 de [5] con los parámetros tomados de la Tabla I de [5]. La condición inicial de operación del generador es: $p=0.8, f_p=0.3$ y $V_t=1$. Las trayectorias producidas por el programa SA para 0.5 segundos y con un intervalo de tiempo de 2 ms son luego mezcladas con ruido aleatorio, exponencial, o aleatorio más exponencial como se indica en la Tabla III. Para mezclar la tra-

yectoria de una variable z con ruido, se usa la siguiente ecuación en cada intervalo:

$$\text{Valor con ruido de } z = (1 + \frac{R_n}{6} M_1 + M_2 e^{-2t})z \quad (39)$$

Donde:

- R_n es un número aleatorio con una media de cero, limitada entre -6 y 6, y con una desviación estándar de 1.
- M_1 es la magnitud considerada para el ruido aleatorio en cada estudio.
- M_2 es la magnitud considerada para el ruido exponencial en cada estudio.

Las trayectorias con ruido de i_a, i_b, i_c, v_a, v_b , y v_c se convierten mediante el programa IDQ a un grupo de trayectorias correspondientes Id, Iq, Vd y Vq. Estas trayectorias son luego alimentadas al programa MIQ. Los valores asumidos para los parámetros de estado estable, p_9 a p_{13} (para la definición de estos parámetros, referirse a la ecuación 11 de [5]), son fijados deliberadamente diferentes, a aquellos usados en el programa SA. Estos para los casos de estudio 13 al 16 se muestran en la Tabla II. Los números cerrados entre paréntesis son los errores relativos de estos valores con respecto a los constantes en la Tabla I de [5]. Los valores Identificados por el programa MIQ para $\bar{x}(o)$ y \bar{p}_1 a \bar{p}_8 en cada caso de estudio, así como sus errores relativos con respecto a la Tabla I de [5] se muestran también en la Tabla III. Los valores asumidos para $\bar{x}(o)$ y \bar{p}_1 a \bar{p}_8 al inicio del proceso de identificación en el programa MIQ son los mismos para todos los casos de estudio, siendo:

$$\begin{aligned} x_1(o) &= 1.38(25\%), & x_2(o) &= 0.76(-25\%), & x_3 &= -0.4(25\%), \\ x_4 &= 0.312(-25\%), & p_1 &= x'd = 0.139(-25\%), & p_2 &= x'q = 0.231(25\%), \\ p_3 &= 1/T''_{do} = 0.065(-25\%), & p_4 &= 1/T''_{qo} = 0.027(-25\%), & p_5 &= x'd = 0.306(25\%), \\ p_6 &= x'q = 0.475(25\%), & p_7 &= 1/T'_{do} = 0.00034(-25\%), & p_8 &= 1/T'_{qo} = -0.0052(25\%). \end{aligned}$$

Para cada caso de estudio, el proceso de identificación del programa MIQ comienza con los valores antes indicados y emplea las trayectorias con ruido de Id e Iq en las ecuaciones (1) a la (6) de la referencia [5], para identificar el grupo asumido como desconocido de las condiciones iniciales de los estados y de los parámetros. El objetivo en este proceso es el de conseguir como solución que las trayectorias de Vd y Vq sean lo más cercanas posible a las trayectorias correspondientes producidas por el programa IDQ, cuando los valores identificados se usen en las ecuaciones (1) y (2) de [5].

Bajo los valores de $x_1(o)$ a $x_4(o)$ y p_1 a p_8 de la Tabla III, están los valores identificados por el programa MIQ para las condiciones iniciales y los parámetros subtransitorios y transitorios.

En el caso de estudio # 13, el mayor error obtenido para las condiciones iniciales de los estados y de los ocho parámetros desconocidos es el de $p_4=1/T''_{qo}$, siendo de -32%. Pese a este error y otros indicados en la primera fila de la Tabla II, para los valores identificados, el programa MIQ cumple con su objetivo hasta el punto de que las curvas señaladas con un "1" y un "3" en la Figura 4 no pueden distinguirse una de otra. Más aún, las trayectorias del ángulo rotórico simuladas por el programa SA para 3 segundos, usando dos grupos de valores para los parámetros valores que se muestran en la Tabla III, difícilmente se distinguen unas de otras.

En el caso de estudio # 15, la magnitud relativa del error de los valores identificados para muchos parámetros son inclusive mayores que aquellos inicialmente asumidos. Sin embargo, cuando los valores identificados se sustituyen en las ecuaciones (1) a la (6)

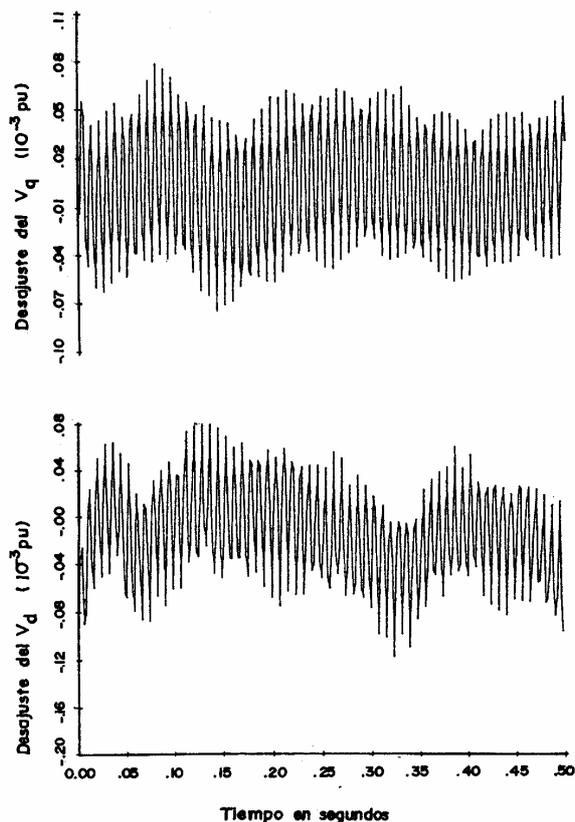


Figura 3.- Variación de los desajustes en Vd y Vq versus tiempo:

Para obtener las curvas de este figura, las trayectorias de Id e Iq calculadas por el programa IDQ en el caso de estudio # 11, se usan para la entrada en la resolución de las ecuaciones (1) a la (6) de [5], cuando se usan los valores identificados para los parámetros indicados en la Tabla II. Las diferencias entre las trayectorias de Vd y Vq encontradas al resolver las ecuaciones indicadas y las salidas del programa IDQ se presentan como los desajustes.

| Caso de Estudio Nº | Magnitud del Ruido | | Valores para p9 a p13 en MIQ | | | | | Condiciones Iniciales de los estados identificados por MIQ | | | | Parámetros transitorios y Subtransitorios identificados por el programa MIQ | | | | | | | | Nº de Iteraciones |
|--------------------|--------------------|-----|------------------------------|----------------------|---|---|---|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------------------|
| | H1 | H2 | A (e _A Z) | B (e _B Z) | s _d (e _{s_d} Z) | s _q (e _{s_q} Z) | s ₂ (e _{s₂} Z) | s ₁ (0) (e _{s₁} Z) | s ₂ (0) (e _{s₂} Z) | s ₃ (0) (e _{s₃} Z) | s ₄ (0) (e _{s₄} Z) | p ₁ (e _{p₁} Z) | p ₂ (e _{p₂} Z) | p ₃ (e _{p₃} Z) | p ₄ (e _{p₄} Z) | p ₅ (e _{p₅} Z) | p ₆ (e _{p₆} Z) | p ₇ (e _{p₇} Z) | p ₈ (e _{p₈} Z) | |
| 13 | 0 | 0 | 6.88 (-3E) | 0.857 (+3E) | 1.73 (+3E) | 1.59 (-3E) | 0.155 (+3E) | 1.14 (-0.6E) | 1.04 (-.59E) | -272 (+7.4E) | 0.384 (+0.70E) | 0.199 (+7.6E) | 0.176 (-4.7E) | 0.091 (+3.6E) | 0.025 (-30E) | 0.245 (-.05E) | 0.416 (+9.4E) | -.0004 (-1.4E) | -.0037 (-11E) | 6 |
| 14 | .01 | .01 | 6.95 (-2E) | 0.849 (+2E) | 1.73 (+2E) | 1.61 (-2E) | 0.153 (+2E) | 1.15 (+1.3E) | 1.06 (+1.7E) | -0.28 (+4.8E) | 0.382 (+0.99E) | 0.177 (-4.5E) | 0.345 (+30E) | 0.114 (-2E) | 0.026 (+3.6E) | 0.254 (+8.6E) | 0.413 (+8.6E) | 0.0005 (+1.5E) | 0.0028 (-34E) | 19 |
| 15 | .01 | 0 | 7.09 (0.0E) | 0.852 (0.0E) | 1.70 (0.0E) | 1.64 (0.0E) | 0.15 (0.0E) | 1.15 (+4.1E) | 1.06 (+4.3E) | -0.30 (+6.8E) | 0.370 (-11E) | 0.126 (-32E) | 0.091 (-51E) | 0.133 (+52E) | 0.029 (+18E) | 0.344 (+7.8E) | 0.392 (3.2E) | 0.0005 (-8.7E) | 0.0017 (-60E) | 17 |
| 16 | .03 | .01 | 6.88 (-3E) | 0.857 (+3E) | 1.73 (+3E) | 1.59 (-3E) | 0.155 (+3E) | 1.18 (+3.6E) | 1.08 (+3.8E) | -0.39 (-33E) | 0.382 (-27E) | 0.125 (-33E) | 0.012 (-94E) | 0.038 (-56E) | 0.052 (+46E) | 0.274 (+12E) | 0.378 (-.31E) | 0.0002 (-57E) | 0.0017 (-58E) | 18 |

Tabla 3.- Una evaluación del programa MIQ, cuando la trayectoria de entrada contienen ruido y p9 a p13. (Los parámetros que se suponen conocidos), son fijados deliberadamente en valores imprecisos.

de [5], en la última iteración del proceso de identificación dentro del programa MIQ, el modelo resultante da un grupo de trayectorias para Vd y Vq que casi se ajustan a los deseados. Esto se muestra en la Figura 7, la cual es otra indicación de la habilidad del programa MIQ para alcanzar sus objetivos.

Luego se observa que para los casos 13, 14, 15 y 16, las trayectorias del ángulo rotórico se ajustan casi exactamente a los originados por el programa SA, cuando se utilizan para cada caso el conjunto de valores identificados.

CONCLUSIONES

Se ha desarrollado una evaluación detallada de un algoritmo basado en cuasilinealización y mínimos cuadrados para la determinación de parámetros transitorios y subtransitorios de un generador síncrono. En todos los casos de estudio, el algoritmo indica una gran habilidad para alcanzar su objetivo. El objetivo es la identificación de un grupo de valores de los parámetros que, cuando sean sustituidos en la estructura matemática asumida para la máquina síncrona, da un mode

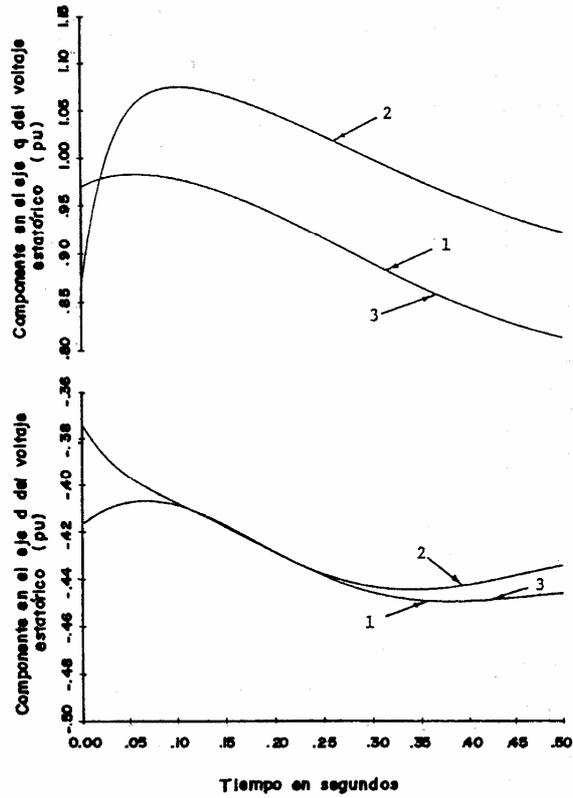


Figura 4 .- Las trayectorias V_d y V_q obtenidas en el caso de estudio # 13 de la Tabla III:

Las curvas señaladas con un "1" son las que se calculan en el programa IDQ a partir de los valores instantáneos de los voltajes estadísticos simulados por el programa SA. Aquellos marcados con un "2" son las soluciones de las ecuaciones (1) a la (6) de [5] dentro del programa MIQ usando los valores iniciales indicados para $\underline{x}(0)$ y p_1 a p_8 . Las curvas señaladas por un "3" son las soluciones de las mismas ecuaciones usando los valores identificados para $\underline{x}(0)$ y p_1 a p_8 como se indican para el caso # 13 en la Tabla III. Pese a los errores indicados en los valores identificados, el programa MIQ, satisface su objetivo hasta el punto en el cual las curvas "1" y la "3" no pueden distinguirse en la escala utilizada para el gráfico.

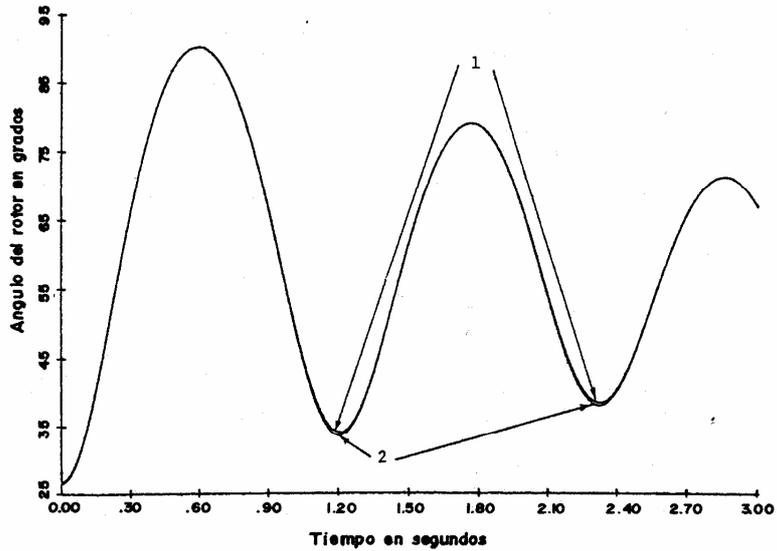


Figura 5 .- Las trayectorias del ángulo rotórico obtenida para el caso de estudio # 13 de la Tabla III.

Para obtener estas curvas, el programa SA es utilizado en dos ocasiones para simular la trayectoria del ángulo del rotor del generador en estudio. Para ambas ocasiones, las condiciones en los terminales del generador antes de la apertura de una de las líneas son $P = 0.8 \text{ pu.}$, $f_p = 0.8$ y $V_t = 1.0 \text{ p.u.}$ Los valores usados para los parámetros en el programa SA que produce la "1", son aquellos de la Tabla I de [5]. El uso de los valores bajo p_1 a p_8 y p_9 a p_{13} en la primera fila de la Tabla III, usados en el programa SA da la curva "2".

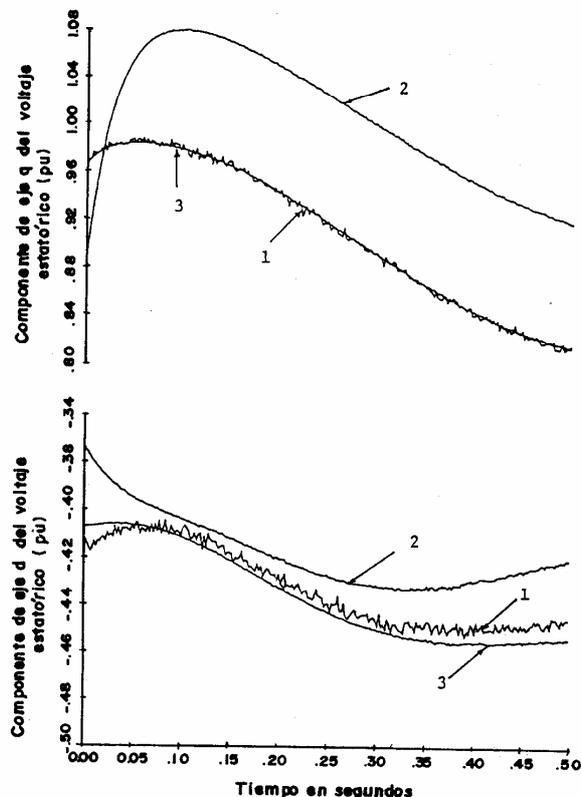


Figura 6 .- Trayectorias de V_d y V_q obtenidas para el caso de estudio # 15: .

Las curvas indicadas por un "1" son las calculadas por el programa IDQ a partir de los valores instantáneos de los voltajes estatóricos. Los que se indican con un "2" son la solución de las ecuaciones (1) a la (6) en [5], dentro del programa MIQ usando los valores asumidos para $\underline{x}(0)$ y p_1 a p_8 . Las curvas marcadas con un "3" son la solución de las mismas ecuaciones usando los valores identificados de $\underline{x}(0)$ y p_1 a p_{13} como se indican para el caso # 15 en la Tabla III. Pese a los errores grandes en los valores identificados y los valores erróneos asumidos para p_9 a p_{13} , el programa MIQ satisface su objetivo, ya que la trayectoria de V_q , señalada con un "3" pasa a través de la trayectoria de V_q alimentada; algo similar sucede con V_d .

lo capaz de producir trayectorias cercanas para las variables de salida deseadas que se introducen al proceso de identificación. Estos valores sugieren que un registro de los valores instantáneos de i_a , i_b , i_c , v_a , v_c y ω , capturados hasta por intervalos de 10ms, conjuntamente con E_{fd} y δ son suficientes para determinar parámetros transitorios y subtransitorios. Cuando las trayectorias de entrada al proceso de identificación son ruidosas y algún error se presente para los parámetros de estado estable requeridos como valores fijos en el proceso de identificación, los valores identificados de los parámetros, de desvían en algunos en gran magnitud de los valores esperados. Sin embargo, el uso de los valores identificados para la estructura matemática asumida de la máquina síncrona producen un modelo que se comporta, en lo referente al ángulo rotórico, casi en forma idéntica que el modelo obtenido; si se usan los valores esperados de los parámetros en la misma estructura matemática para una amplia gama de condiciones de operación y disturbios. Este algoritmo se recomienda en una evaluación futura con datos prácticos.

REFERENCIAS

- [1] de Mello, F.P, and Ribeiro, J.R, "Derivation of Synchronous Machine Parameters from Tests". IEEE Trans. on PAS, 1977, pp 1211-1215.
- [2] de Mello, F.P., and Hannett, L.H., "Validation of synchronous Machine Models and Derivation of Model Parameters from Tests", IEEE Trans. on PAS, 1981, pp. 662-672.
- [3] de Mello, F.P., et al., "Derivation of Synchronous Machine Stability Parameters from Pole Slipping Conditions", IEEE Trans. on PAS, September 1982, pp. 3394-3402.
- [4] Namba, M., et al., "Identification of Parameters for Power System Stability Analysis Using Kalman Filter", IEEE Trans. on PAS, July 1981, pp. 3304-3311.

- [5] Borrero, Antonio, "Una Evaluación del Filtro - Kalman en la Identificación de los Parámetros - de la Máquina Síncrona", presentada para ser pu blicada en las VI JIEE, EPN, Mayo de 1985.
- [6] Lee, C.C. and Tan, O., "A Weighted Least-Squares Parameter Estimator for Synchronous Machines", IEEE Trans. on PAS, 1977, pp. 97-100.
- [7] Jaleeli, Nasser and Echeverría, W.J., "Identifi cation of Synchronous Machine Parameters for - Stability Models, Using Synchronizing Tests", - Proceedings of the 10th International Federation for Information Processing Conference on System Modeling and Optimization, Springer-Verlag, -- 1981, pp. 777-786.
- [8] Jaleeli, N., "Assessing Quasilinearization and Synchronous Machine Transient and Subtransient Parameters", Proceedings of 1984 IEEE Region 5 Conference
- [9] Jaleeli, N., "Assessing Quasilinearization and Kalman Filtering in the Determination of Stabi lity Study Constants for Utilities Operating Ge nerators". EPRI, RP1999-5 Final Report, January 1984.

BORRERO VEGA, ANTONIO:

Datos biográficos en el trabajo: "Una Evaluación del Filtro Kalman en la Identificación de los parámetros de la Máquina Síncrona", presentado en este volumen - de las VI JIEE.