



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 357 179**

51 Int. Cl.:
H02J 3/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08774209 .4**

96 Fecha de presentación : **23.06.2008**

97 Número de publicación de la solicitud: **2174397**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **14.04.2010**

54 Título: **Sincronización temporal entre dos relojes estacionarios.**

30 Prioridad: **06.08.2007 EP 07113845**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
19.04.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
19.04.2011

73 Titular/es: **ABB RESEARCH Ltd.**
Affolternstrasse 44
8050 Zürich, CH

72 Inventor/es: **Dzung, Dacfey y**
Larsson, Mats

74 Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 357 179 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN**CAMPO DE LA INVENCION**

La invención se refiere al campo de la sincronización temporal entre dos relojes estacionarios geográficamente separados, en particular los relojes de las unidades de medición de Fasor de un Sistema de Supervisión de Área Ancha para una red de transmisión de potencia.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Para la supervisión de área ancha de redes de transmisión de potencia, se instalan unidades de medición de Fasor (PMUs) en posiciones distribuidas. Las PMU realizan muestreo de formas de onda de corriente y voltaje, calculan valores de fasor a partir de las formas de onda muestreadas, y envían cíclicamente los valores de fasor a un Centro de Control de Red (NCC) por una red de comunicaciones de área ancha. El NCC supervisa el estado de la red de transmisión de potencia comparando mediciones de fasor síncronas recibidas de las posiciones distribuidas. Por lo tanto, la sincronización de las mediciones de fasor es crucial y requiere que los relojes de muestreo de las PMUs estén sincronizados. Para hacer el sistema robusto contra retardos de transmisión e inestabilidad en la red de comunicaciones, los mensajes de fasor transmitidos por las PMUs incluyen un sello de tiempo que indica el tiempo de medición exacto. Igualmente, los routers y los conmutadores en redes de comunicaciones de área ancha requieren un grado similar de sincronización temporal.

El sincronismo de área ancha de los relojes PMU distribuidos se lleva a cabo hoy día usando receptores de tiempo comerciales del sistema de posicionamiento global (GPS). Sin embargo, es conocido que los problemas de propagación e interferencia pueden degradar o incluso evitar la recepción GPS. El paisaje circundante puede ensombrecer una posición particular de un satélite GPS, o el viento solar puede afectar a la recepción de señales GPS durante algunos minutos. Mientras que los vehículos de navegación pueden conmutar fácilmente a otros sistemas para determinar su posición, no se han implementado tales alternativas hoy día para la sincronización temporal de relojes estacionarios.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Por lo tanto, un objetivo de la invención es mejorar la sincronización de tiempo de dos relojes estacionarios. Este objetivo se logra con un método y un dispositivo para estimar una deriva de tiempo según las reivindicaciones 1 y 7. Otras realizaciones preferidas son evidentes por las reivindicaciones de patente dependientes.

Según la invención, una señal de tiempo global procedente de una referencia de tiempo global o fuente de tiempo en visión común se usa para calcular una deriva de tiempo basada en visión común entre dos relojes estacionarios en lugar de dos derivas de reloj respectivas entre cada uno de los relojes y la referencia de tiempo global. En paralelo, se calcula una deriva de reloj basada en red entre los dos relojes en base a mensajes intercambiados por una red de comunicaciones que interconecta los dos relojes y sin reversión a la referencia de tiempo global. Los dos valores más recientes de las derivas de reloj basadas en visión común y red se combinan entonces o superponen de forma continua o suave para producir una estimación de deriva de tiempo final.

En una variante preferida de la invención, la combinación de las derivas de reloj basadas en visión común y red calculadas independientemente es una media ponderada de los dos valores, que implica respectivos pesos en base a estima de calidad de los últimos. En una realización ventajosa de la invención, los cálculos de la deriva de tiempo basada en visión común y la deriva de reloj basada en red se actualizan independientemente uno de otro y se repiten con la frecuencia que sea adecuada.

Con el fin de combinar de manera óptima los esquemas de sincronización temporal en base al sistema de posicionamiento global (GPS) y la red de comunicaciones para los relojes estacionarios de las unidades de medición de Fasor (PMUs) de un Sistema de Supervisión de Área Ancha, los relojes de cliente PMU son sincronizados a un reloj de servidor central en el Centro de Control de Red (NCC) del sistema, más bien que al reloj GPS propiamente dicho. En la práctica, dado que cabe esperar que la distribución de tiempo unidireccional GPS -si está disponible y operativa- tenga una exactitud más alta que la sincronización basada en red, el método de la invención servirá en su mayor parte como un soporte dinámico usando la red siempre que falle la sincronización GPS. Mientras GPS está disponible, se usa para mejorar la exactitud de la sincronización basada en red, específicamente corrigiendo las asimetrías por inestabilidad y retardo de la transmisión en el esquema de sincronización basada en red.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La materia de la invención se explicará con más detalle en el texto siguiente con referencia a realizaciones preferidas ejemplares que se ilustran en los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 representa esquemáticamente un Sistema de Supervisión de Área Ancha.

La figura 2 ilustra relaciones de reloj básicas.

Y la figura 3 representa un gráfico de secuencia de mensajes según la invención.

Los símbolos de referencia usados en los dibujos, y sus significados, se enumeran en forma de resumen en

la lista de símbolos de referencia. En principio, las partes idénticas llevan los mismos símbolos de referencia en las figuras.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE REALIZACIONES PREFERIDAS

La figura 1 representa un Sistema de Supervisión de Área Ancha para una red de transmisión de potencia, con varias unidades de medición de Fasor (PMUs) instaladas en posiciones distribuidas. Las PMUs calculan valores de fasor y los envían cíclicamente a un Centro de Control de Red (NCC) por una red de comunicaciones de área ancha. Un satélite de un sistema de posicionamiento global (GPS) emite señales de tiempo global. Cualquier reloj en una de las PMUs, es decir, el reloj cliente o esclavo C, tiene que estar sincronizado con el reloj en el NCC, es decir, el reloj servidor o maestro S.

La figura 2 ilustra las relaciones de reloj. El reloj de una PMU C(t) se caracteriza por

$$C(t) = \phi_C \cdot t + \theta_C \tag{1}$$

donde θ_C es la deriva de tiempo, $\phi_C \cdot t$ es la deriva de reloj, y t denota tiempo verdadero. Igualmente, para el reloj S(t) del NCC,

$$S(t) = \phi_S \cdot t + \theta_S \tag{2}$$

Los relojes C(t) de la PMU deben estar sincronizados al reloj S(t) del NCC, es decir, la deriva de tiempo x(t) del reloj PMU contra el reloj NCC debe ser estimada y posteriormente corregida en el cliente, donde

$$x(t) \stackrel{def}{=} C(t) - S(t) = \underbrace{(\phi_C - \phi_S)}_{y(t)} t + (\theta_C - \theta_S) \tag{3}$$

Aquí, el término y(t) denota una deriva de frecuencia. Los métodos prácticos para obtener esta deriva son:

1. Mediciones GPS unidireccionales: Tanto los clientes como el servidor reciben información de tiempo G(t) emitida desde una fuente común, en la práctica de un satélite GPS. Los tiempos de recepción medidos por el cliente y el servidor son C'(t) y S'(t), respectivamente, para los que son válidos

$$C'(t) = G(t) + x_{CG}(t) + d_{GC} \tag{4}$$

$$S'(t) = G(t) + x_{SG}(t) + d_{GS} \tag{5}$$

En (4), x_{CG} es la deriva entre los relojes cliente y GPS, y d_{GC} es el retardo de propagación entre el satélite GPS y el cliente. En (5) se usan definiciones similares. Con posiciones conocidas relativas de los relojes y satélites, los retardos pueden ser compensados, dando los relojes corregidos

$$C(t) = C'(t) - d_{GC} \tag{6}$$

$$S(t) = S'(t) - d_{GS} \tag{7}$$

Por comparación de los valores C(t) y G(t), es entonces sencillo obtener $x_{CG}(t) = C(t) - G(t)$ y $x_{SG}(t) = S(t) - G(t)$. Ésta es la forma usual de sincronizar relojes PMU. La señal $x_{CG}(t)$ controla el oscilador PMU local que genera 1 pps (un pulso por segundo) y, por ejemplo, señales de reloj de 10 MHz, para sincronizar el muestreo PMU y el sello de tiempo.

2. Mediciones GPS de visión común: En muchas aplicaciones no es necesario ni deseable estimar $x_{CG}(t)$ y $x_{SG}(t)$ individualmente, sino que puede ser suficiente obtener la deriva de reloj x(t) entre cliente y servidor. Esto se puede lograr haciendo uso del hecho de que la señal emitida por GPS G(t) está en su visión común. Para tiempos de emisión GPS acordados G(t_i), el cliente y servidor registran los tiempos de recepción C(t_i) y S(t_i), e intercambian estas mediciones de manera no crítica en el tiempo por alguna red de comunicaciones. La diferencia de estas mediciones es

$$C(t_i) - S(t_i) = x_{CG}(t_i) - x_{SG}(t_i) = x_G(t_i) \tag{8}$$

usando (4) a (7) y la figura 2. Aquí, $x_G(t_i)$ denota la deriva x(t) de C(t) con respecto a S(t), determinada cancelando la medición GPS común G(t_i). Se podría usar filtración Kalman u otras técnicas de promediado para mejorar más la estimación de x(t). Este método de visión común es un método estándar actual de comparar relojes atómicos para la definición del Tiempo Universal Coordinado (UTC).

3. Mediciones bidireccionales: El reloj cliente y servidor realizan e intercambian mediciones de tiempo en

tiempo real por una red de comunicaciones (de tiempo crítico), para determinar directamente la deriva de reloj del cliente. Protocolos estándar de sincronización de tiempo bidireccional son SNTP en Internet, e IEEE 1588 para dispositivos conectados a una LAN. Los pasos esenciales son los siguientes, usando terminología IEEE 1588.

- 5 (i) En el tiempo t_n , el servidor emite un mensaje Sync con sello de tiempo $S_1(t_n)$, que es recibido por el cliente en $C_1(t_n)$. Teniendo en cuenta el retardo de transmisión de mensaje $d_{SC}(t)$ del mensaje Sync del servidor al cliente, es válido lo siguiente:

$$C_1(t_n) = S_1(t_n) + x(t_n) + d_{SC}(t_n) \quad (9)$$

donde $x(t)$ es la deriva, a determinar por el método bidireccional.

- 10 (ii) En el tiempo de cliente $C_2(t_n)$, el cliente envía al servidor un mensaje Delay_Reguest, que es recibido por el servidor en el tiempo $S_2(t_n)$. El servidor responde con un mensaje Delay_Response que contiene el valor de $S_2(t_n)$. Igual que antes, denotando $d_{CS}(t)$ el retardo de propagación de Delay_Reguest en la dirección inversa de cliente a servidor,

$$S_2(t_n) = C_2(t_n) - x(t_n) + d_{CS}(t_n) \quad (10)$$

- (iii) Las 4 mediciones $S_1(t_n)$, $C_1(t_n)$, $C_2(t_n)$ y $S_2(t_n)$ están ahora disponibles en el cliente.

- 15 Suponiendo que los retardos de transmisión son iguales, es decir, $d_{SC}(t) = d_{CS}(t) = d(t)$, el cliente puede resolver (9) y (10) para $x(t_n)$, como la estimación deseada de la deriva de reloj:

$$d(t_n) = \frac{(C_1(t_n) - S_1(t_n)) + (S_2(t_n) - C_2(t_n))}{2} \quad (11)$$

$$x_T(t_n) = (C_1(t_n) - S_1(t_n)) - d(t_n) = \frac{(C_1(t_n) - S_1(t_n)) - (S_2(t_n) - C_2(t_n))}{2} \quad (12)$$

- 20 donde $x_T(t_n)$ denota la estimación de la deriva verdadera $x(t)$, obtenida por el método de medición bidireccional en el tiempo t_n . Métodos tales como filtración Kalman y promediado pueden mejorar más la exactitud de la estimación de las derivas de tiempo y frecuencia (x e y), dado una secuencia de mediciones realizadas en los tiempos t_n , t_{n+1} , t_{n+2} , etc.

- 25 Este método bidireccional para sincronización de tiempo se basa en la red de comunicaciones entre los clientes y el servidor. La comunicación es crítica en el tiempo en el sentido de que cualquier variación estocástica y asimetrías en los retardos $d_{SC}(t)$ y $d_{CS}(t)$ afectan a la exactitud de sincronización.

Los pasos detallados del procedimiento se describen a continuación para un nodo específico de reloj de cliente PMU C con el reloj $C(t)$. Todas las PMUs realizan el procedimiento en paralelo para sincronizar sus relojes individuales al reloj de servidor central $S(t)$ del servidor S. S está situado típicamente en el NCC.

La figura 3 representa un gráfico de secuencia de mensajes de una ronda del procedimiento propuesto.

- 30 1. El reloj de servidor $S(t)$ funciona inicialmente libremente (oscilador no controlado).
 2. El reloj de cliente $C(t)$ s funciona inicialmente libremente.
 3. Si se dispone de recepción de tiempo unidireccional GPS en el servidor S, recibe en el tiempo t_i el tiempo GPS $G(t_i)$, y registra su tiempo de recepción $S(t_i)$. Puede usar el tiempo GPS para controlar su oscilador.
 35 4. El servidor S emite un mensaje Sync a todos los clientes C_s , cíclicamente en los tiempos t_k . El mensaje contiene
 - sello de tiempo de transmisión de mensaje $S_1(t_k)$,
 - si está disponible de 3, el tiempo de recepción del mensaje de tiempo GPS $S(t_i)$.
 5. C recibe el mensaje Sync y también registra el tiempo de recepción de mensaje $C_1(t_k)$.
 40 6. Si está disponible la recepción de tiempo GPS unidireccional en el cliente C, recibe en el tiempo t_i el tiempo GPS $G(t_i)$, y registra su tiempo de recepción $C(t_i)$. Si está disponible de 4, C calcula su deriva de reloj contra S, según el método de visión común,

$$x_G(t_i) = C(t_i) - S(t_i)$$

- 45 C deberá usar sucesivas mediciones u otra información de sistema, por ejemplo a partir de los datos GPS sobre salud de satélite y calidad de reloj para determinar la calidad de la estimación de deriva de reloj $x_G(t_i)$, expresada por ejemplo por la varianza σ_G^2 .

7. C envía un mensaje Delay_Request a S. El mensaje contiene

- sello de tiempo de transmisión de mensaje $C_2(t_n)$.

Y puede ser combinado con un mensaje de datos de fisor PMU cíclico con el fin de reducir el número de mensajes y las cabeceras de mensaje en la red de comunicaciones.

5 8. S recibe el mensaje Delay_Request y registra el tiempo de recepción de mensaje $S_2(t_n)$, y responde con un mensaje Delay_Response a C (en el tiempo t_n'). El mensaje contiene

- el valor de $S_2(t_n)$,

- opcionalmente el sello de tiempo de su propia transmisión $S_1(t_n')$.

10 9. C recibe el mensaje Delay_Response, y, si ha recibido $S_1(t_n')$ en 8, puede registrar el tiempo de recepción de mensaje $C_1(t_n')$.

10. C calcula su deriva de reloj contra S, medida por el método bidireccional, como sigue:

$$x_T(t_n) = \frac{(C_1(t_k) - S_1(t_k)) - (S_2(t_n) - C_2(t_n))}{2}$$

15 Como una opción, los valores de medición más nuevos $S_1(t_n')$ y $C_1(t_n')$ de 9 podrían ser usados en lugar o en combinación con $S_1(t_k)$ y $C_1(t_k)$. El cliente también determina la calidad de $x_T(t_n)$, por ejemplo estimando la varianza de medición σ_T^2 .

11. Finalmente, C combina las dos mediciones de deriva x_G y x_T con la estimación de deriva final $x(t)$, tomando en cuenta sus calidades estimadas. Por ejemplo,

$$x(t) = x_G(t_i) \frac{\sigma_T^2}{\sigma_G^2 + \sigma_T^2} + x_T(t_n) \frac{\sigma_G^2}{\sigma_G^2 + \sigma_T^2}$$

20 El cliente puede regular finalmente su reloj según $C(t) \leftarrow C(t) - x(t)$. La estimación de deriva final es derivada formalmente como una estimación de probabilidad máxima de dos mediciones gaussianas independientes x_G y x_T con varianzas σ_G^2 y σ_T^2 . En el caso prácticamente relevante donde las mediciones derivadas GPS x_G son mucho más exactas que x_T , debido a los retardos de transmisión de la red e inestabilidad de ésta última, es decir $\sigma_G^2 \ll \sigma_T^2$, esto da lugar simplemente a $x(t) = x_G(t_i)$. El procedimiento presente permite una transición continua o suave entre los dos esquemas de medición de deriva, si uno falla y por lo tanto su varianza aumenta.

12. Actualizar tiempos t_n , t_k y t_i , e iterar cíclicamente desde el paso 3.

30 Los casos de actualización de tiempo t_i (cuando se realizan mediciones GPS de tiempo y transferencia de deriva), los tiempos t_k (cuando el servidor emite mensajes Sync) y los casos de tiempo t_n (cuando se lleva a cabo el intercambio de medición bidireccional) no tienen que ser síncronos. Se deberán usar las mediciones filtradas más nuevas disponibles en los algoritmos de actualización. Las tasas de actualización de estos procedimientos se pueden seleccionar en base a la disponibilidad de recursos tales como el tiempo del procesador y la anchura de banda de la red. Las tasas más altas aumentan la exactitud de la estimación, al costo de mayor procesado y carga de comunicación.

35 Con el fin de medir exactamente y corregir la deriva de tiempo $x(t)$, la deriva de frecuencia $y(t)$ de los relojes también debe ser estimada usando mediciones sucesivas de deriva de tiempo. El supuesto básico es (3), es decir, una deriva de reloj linealmente creciente, donde también se pueden contemplar modelos cuadráticos.

40 Los retardos de transmisión de mensaje están sujetos a inestabilidad estocástica y valores atípicos. La repetición cíclica del procedimiento descrito permite la aplicación de los algoritmos de filtración conocidos para mejorar la exactitud. Además, la varianza de ruido (inestabilidad) puede ser estimada y se puede emplear otro método para conocer las exactitudes de medición. Por ejemplo, unos valores grandes de la diferencia $|C_k(t_n) - S_k(t_n)|$ son valores atípicos que indican problemas de transmisión aislados que afectan a los retardos de transmisión, y no deberán ser usados para actualizar las estimaciones deseadas de la deriva de reloj. Se pueden aplicar algoritmos de estimación recursivos que pueden interpolar entre muestras ausentes, tales como pérdida temporal de recepción GPS o valores atípicos en los retardos de red, para mejorar el rendimiento.

45 LISTA DE DESIGNACIONES

- 1 Unidad de medición de Fisor (PMU)
- 2 Centro de Control de Red (NCC)

- 3 Satélite GPS
- 4 Red de comunicaciones de área ancha

REIVINDICACIONES

1. Método de estimar una deriva de tiempo x entre relojes estacionarios primero y segundo C, S adaptados para recibir una señal de tiempo global G e interconectados a través de una red de comunicaciones (4), incluyendo
- 5 - recibir, por los relojes primero y segundo C, S, una señal de tiempo global emitida $G(t_i)$ de una referencia de tiempo global (3), y calcular, en el primer reloj, una deriva de tiempo basada en visión común $x_G(t_i)$ entre los relojes estacionarios primero y segundo en base a tiempos de recepción $C(t_i)$, $S(t_i)$ de la señal de tiempo global $G(t_i)$,
- intercambiar mensajes críticos en el tiempo entre los relojes primero y segundo C, S y calcular, en el primer reloj, una deriva de reloj basada en red $x_T(t_n)$ entre los relojes estacionarios primero y segundo en base a tiempos de transmisión $S_1(t_k)$, $C_2(t_n)$ y tiempos de recepción $C_1(t_k)$, $S_2(t_n)$ de los mensajes, y
- 10 - combinar la deriva de tiempo basada en visión común $x_G(t_i)$ y la deriva de reloj basada en red $x_T(t_n)$ para estimar la deriva de tiempo x .
2. El método según la reivindicación 1, caracterizado porque incluye
- estimar una calidad \uparrow_G , \uparrow_T para la deriva de reloj basada en visión común y en red $x_G(t_i)$, $x_T(t_n)$, y
- 15 T_G , T_T .
- combinar las dos derivas de reloj calculando una media ponderada x en base a las calidades estimadas
3. El método según la reivindicación 1, caracterizado porque el cálculo de la deriva de tiempo basada en visión común $x_G(t_i)$ incluye
- enviar, por el segundo reloj, un mensaje incluyendo el tiempo de recepción $S(t_i)$ de la señal de tiempo global $G(t_i)$ en el segundo reloj al primer reloj de manera no crítica en el tiempo.
- 20 4. El método según la reivindicación 1, caracterizado porque incluye
- actualizar independientemente y repetidas veces el cálculo de la deriva de tiempo basada en visión común $x_G(t_i)$ y la deriva de reloj basada en red $x_T(t_n)$.
5. El método según la reivindicación 1, caracterizado porque el primer reloj C es un reloj de una unidad de medición de Fasor (PMU) de un Sistema de Supervisión de Área Ancha, y porque el segundo reloj S es el reloj en el Centro de Control de Red (NCC) del Sistema de Supervisión de Área Ancha.
- 25 6. El método según la reivindicación 5, caracterizado porque el cálculo de la deriva de reloj basada en red $x_T(t_n)$ incluye
- enviar un mensaje crítico en el tiempo incluyendo datos de fasor PMU del primer reloj C al segundo reloj S.
- 30 7. Dispositivo con un primer reloj estacionario C y adaptado para recibir una señal de tiempo global G y para intercambiar mensajes a través de una red de comunicaciones (4), incluyendo
- medios para calcular una deriva de tiempo basada en visión común $x_G(t_i)$ entre el primer reloj C y un segundo reloj S en base a tiempos de recepción $S(t_i)$, $C(t_i)$ de la señal de tiempo global $G(t_i)$ en la posición del primer y el segundo reloj C, S,
- 35 - medios para calcular una deriva de reloj basada en red $x_T(t_n)$ entre el primer reloj C y el segundo reloj S en base a tiempos de transmisión $S_1(t_k)$, $C_2(t_n)$ y tiempos de recepción $C_1(t_k)$, $S_2(t_n)$ de mensajes críticos en el tiempo intercambiados entre el primer y el segundo reloj C, S, y
- medios para combinar la deriva de tiempo basada en visión común $x_G(t_i)$ y la deriva de reloj basada en red $x_T(t_n)$ para estimar una deriva de tiempo x entre el primer reloj C y el segundo reloj S.
- 40

Fig. 1

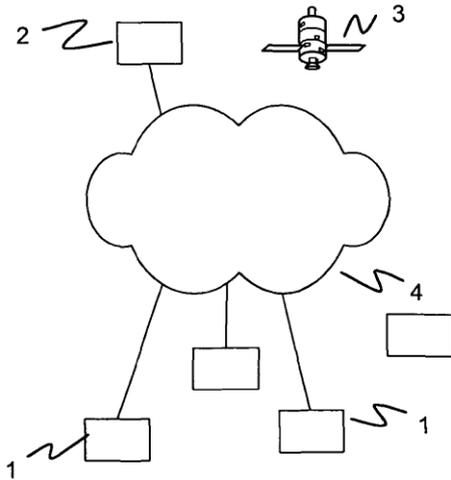


Fig. 2

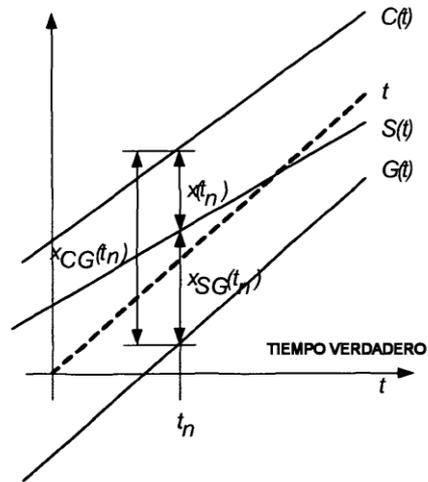


Fig. 3

