

Sincronismo en Redes de Potencia basado en Relojes Atómicos

Leonardo Trigo, *Senior Member, IEEE*, Daniel Slomovitz, *Senior Member, IEEE* y Agustín García

Abstract—En este trabajo se presentan sistemas basados en relojes atómicos para mantener sincronismo y estampas de tiempo aplicables a redes de potencia. Se analiza la red de sincronismo del Sistema Interamericano de Metrología (SIM) y su relación con la UTC, así como la forma de brindar trazabilidad a relojes atómicos secundarios.

Index Terms—Reloj atómico, sincronismo, PMU

I. RED DE RELOJES ATÓMICOS DEL SIM

EL SIM (Sistema Interamericano de Metrología) es una organización que agrupa a los laboratorios nacionales (NMI) de los 34 países miembros de la Organización de los Estados Americanos (OEA), que se extiende a lo largo de América del Norte, América Central, América del Sur y el Caribe. Esta organizado en grupos de trabajo de metrología (GTM) en 11 diferentes áreas, siendo una de ellas Tiempo y Frecuencia.

En esta área con el fin de ayudar a desarrollar la región, establecer la cooperación y la comunicación entre los laboratorios, se pensó en construir una red que permitiera que todos NMIs del SIM compararan sus estándares de tiempo entre ellos y eventualmente con el resto del mundo. Se diseñó una red con equipos de bajo costo, llamado SIM Time Network (SIMTN). Este sistema debería fácil de instalar, operar y utilizar, porque los NMIs del SIM normalmente tienen poco personal y recursos limitados.

Además el SIMTN debería informar de los resultados de medición en tiempo casi real, sin los retrasos en el procesamiento, de forma de todos los NMIs pudieran detectar problemas en sus referencias de tiempo y frecuencia en tiempo real.

II. RELOJES ATÓMICOS DEL LABORATORIO DE UTE

El Laboratorio de UTE posee una serie de relojes de relojes atómicos de diferente exactitud y para diversos propósitos.

Leonardo Trigo, especialista del Área de Tiempo y Frecuencia del Laboratorio de UTE (e-mail: ltrigo@ute.com.uy).

Daniel Slomovitz, Jefe de Laboratorio de UTE (e-mail: dslomovitz@ute.com.uy).

Agustín García, especialista del Área de Tiempo y Frecuencia del Laboratorio de UTE (e-mail: agarciaf@ute.com.uy).

Un reloj de Cesio que es nuestro patrón primario [1], un reloj de Rubidio controlado exteriormente que es nuestra referencia secundaria [2], siendo su función de respaldo, y varios relojes de Rubidio con el fin de transferir la estampa de tiempo a otros lugares, ejemplo ensayos en campo. Además este conjunto de relojes tiene como fin dar trazabilidad a todas las medidas realizadas en el área de Tiempo y Frecuencia del Laboratorio.

III. SISTEMA DE SINCRONISMO POR VISTA COMÚN

La finalidad del sistema SIM Time Network (SIMTN) es comparar retrasos entre todos los relojes conectados al sistema. Como los relojes están ubicados en diferentes países se utiliza el sistema de posicionamiento global (GPS) para realizar la transferencia de tiempo entre todos los integrantes del SIMTN.

Recordemos que hay varios Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS): GPS propietario EEUU, GLONASS propietario Federación Rusia, GALILEO propietario Unión Europea, COMPASS propietario China, QZSS propietario Japón, etc. Las diferencias entre los sistemas están dadas por las frecuencias de transmisión, cantidad de orbitas, número de satélites por orbita y altura donde orbitan. Todos tienen el fin de armar un sistema de posicionamiento. Para lograr este objetivo cada satélite tiene varios relojes atómicos, generalmente cesio y rubidio. El sistema también requiere monitoreo y ajustes desde estaciones ubicadas en la tierra. Por dicho motivo cada satélite tiene ajustados sus relojes con muy alta precisión, condición necesaria para poder ubicar objetos en la Tierra con exactitudes del orden de algunos metros.

Aprovechando que los satélites tienen ajustados sus relojes se pueden usar como elementos para medir diferencia de tiempo entre dos lugares, este sistema es llamado “Medida en Vista-Común”, ver figura 1. De aquí en adelante todo lo que se diga para GPS es válido para GLONASS.

El método vista-común consiste en la vista de un satélite GPS (S), y dos sitios de recepción (A y B). Cada sitio tiene un receptor GPS, un reloj con la hora local, y un contador de intervalo de tiempo. Las mediciones se realizan en los sitios A y B, que compara la señal GPS recibida con la hora local.

Los dos conjuntos de datos de las mediciones son entonces intercambiados y se restan entre sí para encontrar la diferencia entre los retrasos relojes A y B. que son comunes a ambos caminos (d_{sa} y d_{sb}). Se cancelan los retrasos que no son

comunes a ambas rutas contribuyen y los factores que no son comunes forman parte de la incertidumbre de la medición.

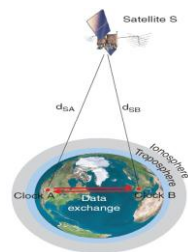


Figura 1.-

Dónde:

Clock A y Clock B son referencias de tiempo locales d_{SA} y d_{SB} son retardos originados por las diferentes capas de la atmosfera, los cuales se cancelan dejando un muy pequeño residuo.

$$(\text{Clock A} - S) - (\text{Clock B} - S) = (\text{Clock A} - \text{Clock B}) + (d_{SA} - d_{SB})$$

Como hemos visto en las ecuaciones el GPS no es referencia por lo cual que su precisión sea menor que la del Cesio, Maser de Hidrogeno, etc, no degrada la precisión global del sistema. La exactitud del sistema queda acotada por la calidad metrológica de los relojes A y B.

Volviendo al sistema SIM Time Network, éste recibe las señales únicamente de los GPS y se basa en medidas en vista-común que anteriormente analizábamos. Los equipos fueron contruidos por el NIST (Laboratorio Nacional de EEUU) y donados a los NMIs de los países que componen el SIM

Cada NMI tiene un equipo con su antena [3] (ver figura 2), conectado al reloj de referencia de dicho instituto. El equipo debe estar conectado a internet para enviar las medidas realizadas a tres servidores donde se procesan las medidas realizadas por todos los equipos que componen la red. El hecho de ser tres servidores es por un tema de redundancia, están ubicados en los NMI de EEUU, México y Brasil.



Figura 2. Equipo y antena

En la figura 3 vemos la página web donde aparecen los resultados de los diferencias de tiempo entre cada NMI. Los datos se actualizan cada 10 minutos.

	United States (SI-MNIST)	Mexico (SI-MNIST)	Canada (SI-MNIST)	France (SI-MNIST)	Brazil (SI-MNIST)	Cuba (SI-MNIST)	Colombia (SI-MNIST)	Argentina (SI-MNIST)	Guatemala (SI-MNIST)	Spain (SI-MNIST)	Peru (SI-MNIST)	Time average	Totalled uncertainty
United States (SI-MNIST)	0.00	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Mexico (SI-MNIST)	0.8	0.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Canada (SI-MNIST)	0.8	0.8	0.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
France (SI-MNIST)	0.8	0.8	0.8	0.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Brazil (SI-MNIST)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Cuba (SI-MNIST)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Colombia (SI-MNIST)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Argentina (SI-MNIST)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Guatemala (SI-MNIST)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.0	0.8	0.8	0.8	0.8
Spain (SI-MNIST)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.0	0.8	0.8	0.8
Peru (SI-MNIST)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.0	0.8	0.8
Time average	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Totalled uncertainty	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

Figura 3. Página web del SIMTN

IV. ESTUDIOS DE SINCRONISMO EN LA RED DE UTE

La conversión de una red eléctrica convencional hacia una red inteligente requiere muchos cambios, entre en otros equipamiento a nivel de protecciones con sincronismo de muy alta exactitud. La instalación de PMU para realizar monitoreo fasorial en tiempo real es un primer paso. Al analizar esta información es posible que aparezcan incompatibilidades debido a problemas en las estampas de tiempo locales.

Por dicho motivo es necesario implementar medidas de diferencias de tiempo de alta precisión. El sistema SIMTN nos da una idea de cómo poder realizar dichas medidas.

Si implementamos un sistema basados en el mismo principio podemos instalar equipos que permitan el monitoreo durante varios días y evaluar el desempeño en cada punto. Esto es posible gracias a que el Laboratorio cuenta con trazabilidad internacional, por lo cual podemos arbitrar y detectar cual punto de la red eléctrica tiene la estampa de tiempo correcta y cual tiene pequeñas diferencias. Para esto es necesario la adquisición de equipamiento, recolección de datos e implementar una página web donde los interesados tengan en tiempo casi real (cada dato se obtienen de promedios entre 10 a 15 minutos) en cada punto de control.

Hemos realizado consultas para ver la viabilidad de comprar los mismos equipos y el software que componen el sistema SIMTN, pero no es posible. Por lo cual la opción es comprar equipos de transferencia de tiempo y armar un sistema propio. Al tener contacto con las personas que participaron en la construcción del SIMTN, es posible desarrollar un sistema similar en nuestro país.

REFERENCIAS

- [1] Manual de Reloj Primario de Frecuencia de Cesio, modelo 5071A http://www.microsemi.com/document-portal/doc_download/133269-5071a
- [2] L. Trigo, D. Slomovitz, "Rubidium atomic clock with drift compensation" Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM), pp. 472 - 473, 2010.
- [3] SIM common-view time and frequency measurement system manual, <http://tf.nist.gov/sim/simnet.htm>