

LA SINCRONIZACION ESTABLE DE UNA RED SFN MEDIANTE UN NUEVO CONCEPTO DE GPS.

Las redes de frecuencia única de teledifusión digital (SFN - Single Frequency Network) necesitan para ser sincronizadas, de referencias de tiempo y frecuencia (1PPS y 10MHz) comunes e idénticas para todos los transmisores. La forma más fácil y barata para obtener estas referencias se basa en la recepción de señales de la red de satélites (GPS); Sin embargo, una gran proporción de receptores/sincronizadores GPS disponibles en el mercado que generaran referencias de tiempo y frecuencia (1PPS y 10MHz) no son adecuados para utilizarse para esta aplicación específica por cuanto pueden causar, con el tiempo, de-sincronización de la red SFN con graves problemas resultantes de este trastorno. La aplicación SFN requiere, de receptores/sincronizadores GPS, con características particulares que no son de fácil implementación.

Uno de los principales problemas en la implementación de las redes de radiodifusión digital en frecuencia única (SFN – Single Frequency Network), sean estas según el estándar DVB-T, DVB-T2, ISDB-T y otros, es la sincronización estable de todos los transmisores a fin de evitar la interferencia mutua.

Antes de analizar los problemas, hacemos un breve repaso sobre el funcionamiento de redes SFN. En las redes SFN, el Transport Stream debe ser generado con una capacidad (*bit rate*) extremadamente precisa y debe incluir ciertas informaciones (*time stamp, pointer, etc.*) que sirven para sincronizar los transmisores.

El Transport Stream generado de esta manera deberá ser transferido a los transmisores por medio de enlaces de microondas, satélite, fibra óptica u otro modo funcional "transparente", es decir, sin cambiar agregar o quitar bits del Transport Stream.

La generación o adaptación de Transport Stream para la SFN se realiza mediante dispositivos especiales (*MIP inserter, multiplexor, Gateway, etc.*) de conformidad con el estándar escogido; Estos dispositivos utilizan las señales de referencia de tiempo y la frecuencia (*pulsos a intervalos de 1 segundo, 10MHz y 1PPS*) extremadamente precisos y sobre todo, "idénticos" en sus referencias de tiempo y frecuencia que van a cada transmisor en la red SFN.

Los transmisores SFN para "iniciar" y producir señal deben tener, además del Transport Stream que contiene la información de sincronización para SFN, de referencias de tiempo y frecuencia (*10MHz 1PPS*). Estas señales, como se ha mencionado, serán "idénticas" a las que se utilizan para la generación o adaptación de flujo de transporte, para todos los demás transmisores de la red SFN.

Como "idénticas", en relación con el pulso de 1PPS, se entiende que debe ser contemporáneo, con un mínimo aceptable de error de cientos de nanosegundos; Por lo tanto, el impulso de 1PPS no puede ser "transmitido", excepto con sistemas de comunicación cuya latencia es conocida y con la compensación de latencia constante (*esto no es posible, fácilmente, vía satélite porque la latencia no es constante, en estos casos, debe utilizar complejos sistemas dinámicos de compensación*). En cuanto a la frecuencia de muestreo de 10MHz, el significado del término "idéntico" no se refiere a la fase ni a pequeñas diferencias instantáneas de la frecuencia, sino a la frecuencia promedio que deberá ser, a largo plazo, idéntica.

En la práctica: si tenemos señales de 10MHz que varían (*wander*) $\pm 1 \cdot 10^{-9}$, alrededor de la frecuencia de 10MHz, pero el valor promedio en el largo plazo (*por ejemplo 24 horas o más*) es

10MHz $2 \cdot 10^{-12}$ (lo que significa unos 2 pulsos de diferencia de 10MHz en un día), el resultado es aceptable.

En la práctica, no es particularmente importante el error instantáneo (*dentro de ciertos límites*), como el error acumulado (*clock bits de diferencia*). Por ejemplo: 100 pulsos de error de reloj de 10MHz acumulados causan una de-sincronización de $10\mu\text{s}$, que, en el caso de una red SFN DVB-T 8 k con 1/8 de intervalo de guardia, se situó en un poco menos del 10% de la duración del intervalo de sí mismo. (*El máximo que puede considerarse aceptable*). Para hacer otra referencia práctica, dos osciladores de 10MHz, uno con un error de $+5 \cdot 10^{-10}$ y el otro con error de $-5 \cdot 10^{-10}$, acumulan en 3 horas un error en reloj de una diferencia de 108 pulsos ($10.8\mu\text{s}$).

Potencialmente, una vez sincronizado e iniciada la operación en modo SFN del modulador, la señal de temporización (*pulso 1PPS*), ya no se necesita porque la velocidad (*bit rate*) del Transport Stream, es idéntica a la requerida por los moduladores (*y debe ser así, porque ambos deben tener la referencia de 10MHz idéntica*), éstas seguirán siendo sincronizadas indefinidamente. Sin embargo en la práctica, el impulso de 1PPS, en el caso de los moduladores SFN desarrollados y producidos por ABE Elettronica, debe suministrarse continuamente al dispositivo y se mantendrá constantemente monitoreando la correcta sincronización de la emisión y si la des-sincronización supera el 10% del intervalo de guardia, el modulador automáticamente es restablecido y reiniciado con la sincronización adecuada. De lo contrario, la emisión se des-sincronizara con respecto a otros transmisores en la red SFN y va a perturbar y ser perturbado.

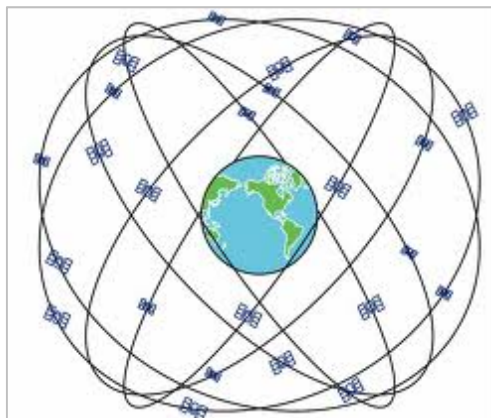


Fig.1 Constelación de satélites GPS

La referencia de sincronización para redes SFN más fácil, accesible y más utilizada se basa en el uso de receptores GPS (*Global Positioning System: el sistema aplicado por los Estados Unidos de posicionamiento satelital*) capaz de generar pulsos 1PPS de precisión absoluta (*con errores de magnitud máxima de decenas de nanosegundos, pero con error a largo plazo prácticamente nulo*) al mismo tiempo, en todo el mundo.

El servicio GPS es proporcionado por 24 satélites principales, más reservas, habida cuenta de las innumerables aplicaciones que dependen de su uso en el mundo, es considerado seguro y prácticamente imposible de desactivar; una

confirmación de esto es, que hay planes para el mantenimiento, la sustitución de satélites y el perfeccionamiento del sistema, al menos hasta el 2030.

El pulso de 1PPS recibido, o mejor, calculado por los receptores GPS basados en datos recibidos de los satélites, además de representar la fuente (*1PPS*) requerida para la sincronización de la red SFN, también sirve para sincronizar los osciladores de 10MHz de referencia (*normalmente de alta estabilidad, tipo "horno" termostático*) que proporcionan la frecuencia de referencia necesaria.

No todos los equipos disponibles en el mercado incluyen receptores GPS y osciladores "horno" de 10MHz que son indicados para uso como fuentes de sincronización de tiempo y frecuencia para redes SFN: la mayoría no lo son y pueden causar fácilmente de-sincronizaciones en las redes.

Los problemas son muchos: Ahora examinaremos los principales.

ERROR ACUMULADO

Como se describió anteriormente, la frecuencia de referencia de 10MHz sincronizada por GPS no debe acumular errores a largo plazo a fin de evitar la de-sincronización con la red de SFN: no es tan importante la precisión de frecuencia instantánea (*que también puede ser del orden de magnitud de $1 \cdot 10^{-9}$ o peor*) sino que el promedio a largo plazo. De hecho, incluso un error de muy baja frecuencia pero constante en el tiempo, conduce a la larga, la de-sincronización.

ABE Elettronica ha desarrollado un algoritmo de su propiedad intelectual llamado "ERROR ACUMULADO CERO" ("*ZERO CUMULATED ERROR*") que resuelve el problema, garantizando prácticamente cero error a muy largo plazo.

NÚMERO MÍNIMO DE SATÉLITES RECIBIDOS

Para generar con precisión el impulso de 1PPS, los receptores GPS necesitan recibir y procesar datos desde un mínimo de 4 satélites. El sistema GPS garantiza la recepción constante, bajo el cielo abierto y en todas partes del mundo, de un mínimo de 4 satélites (*últimamente 5*). El problema es que a menudo las antenas receptoras se instalan en lugares que no están a cielo abierto debido a la presencia de edificios, torres, montañas etc... En estos casos y aunque a veces también puede recibir muchos más satélites (*como 7 o 8*), no puede garantizarse sistemáticamente la recepción de 4 satélites. En otros casos pueden haber condiciones para que, debido a la contaminación electromagnética u otros, sólo aquellos con la señal más fuerte se reciban y en un número menor que 4.



Fig. 2 Satellite GPS

ABE Elettronica ha resuelto el problema en sus propios equipos, teniendo la capacidad de generar con precisión el impulso de 1PPS y en consecuencia sincronizar el "oscilador horno" de 10 MHz, aun recibiendo un único satélite. Cada satélite GPS transmite continuamente, junto a la información de tiempo, datos desde los que se deriva la posición orbital; para sincronizar el pulso de 1PPS con precisión, el receptor necesita conocer su posición y para calcularla precisamente, debe recibir 4 satélites. Pero, por la naturaleza de la aplicación, la ubicación de la antena receptora, el receptor GPS de ABE hace inicialmente, tras la instalación, una detección de la posición exacta (*que normalmente dura poco más de media hora, promediando la ubicación de cerca de 2000 adquisiciones válidas*), la almacena y a continuación, es capaz de generar con precisión información de tiempo incluso recibiendo un solo satélite.

TIPOS DE ANTENAS PARA RECEPCIÓN DE GPS Y LA PROBLEMATICA DE SU DE INSTALACIÓN

Siendo extremadamente débil señal de GPS las antenas utilizadas preferentemente deben estar activas (*es decir, pre amplificada*) porque, de lo contrario, las pérdidas del cable de recepción,

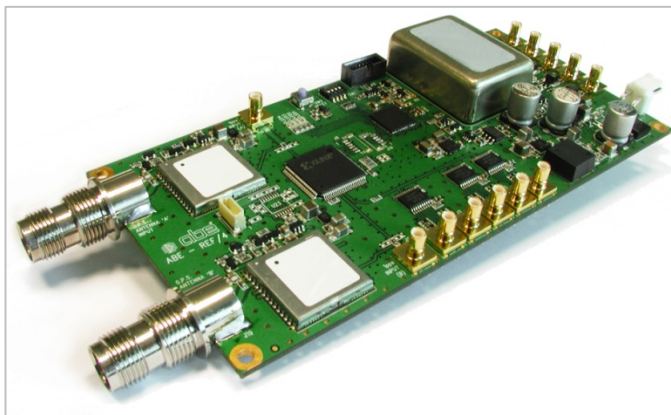


Fig. 3 Tarjeta de sincronizador equipada con 2 receptores GPS y dos osciladores horno de referencia

que a menudo tienen una longitud de varios metros o decenas de metros, podrían hacer que la señal recibida (*frecuencia cerca de 1575MHz*) sea demasiado baja, evitando así la operación del receptor. Considerando problemas relacionados con el ruido de receptores y antenas, una buena regla general sería adoptar una antena con ganancia de al menos 6

dB superior a la pérdida de cable utilizado.

Sin embargo, recuerde que las estaciones, en donde están los aparatos de recepción de GPS y sincronización, se encuentran, normalmente en donde hay también emisiones de frecuencias con campos electromagnéticos muy altos que podría "cegar", saturándolos, los preamplificadores

de recepción de las antenas; Por lo tanto, resulta apropiado que la ganancia de las antenas no sea demasiado alta y que las antenas GPS estén equipadas con un filtro preselector interpuesto entre la antena misma y preamplificador de RF de la antena. Evidentemente, dicho filtro deteriora las características de señal/ruido de antena (*normalmente alrededor de 1dB*) así evita o reduce la posibilidad de "cegar" el receptor. Sin embargo, debemos ser cuidadosos en la elección de la antena, como hay antenas disponibles comercialmente "filtradas" tipo filtro preselector colocado tras el primer preamplificador: por los problemas descritos anteriormente, este tipo de configuración (*que tiene una mejor figura de señal/ruido*) es el menos indicado.

Un problema mayor puede ocurrir cuando la emisión de RF fuerte se encuentra en las instalaciones tienen una armónica que cae en el ancho de banda de recepción de GPS: en este caso ayuda esconder la antena de recepción de GPS con respecto a las antenas de transmisión, aunque esto puede resultar en menos satélites recibidos; Los receptores ABE, como decía, funcionan correctamente incluso con la recepción de un solo satélite. Sin embargo, también puede utilizar matrices con doble receptor GPS (*con antena*), colocando las dos antenas en la manera de tener diferentes porciones de aire mientras quedan protegidos de antenas de emisión.



Fig. 4 Gráfico de rendimiento de GPS1000 en tiempo y frecuencia de referencia certificado por el Instituto Galileo Ferraris

estabilizada. ABE Elettronica ha desarrollado un algoritmo de su propiedad intelectual llamado "FAST COLD START-UP" "Puesta en marcha desde frío rápida" que logra que el tiempo de puesta en marcha desde frío sea en el orden de 1 minuto sin crear problemas de sincronización.

DURANTE LOS PERÍODOS DE PÉRDIDA DE SEÑAL DEL GPS (HOLDOVER) Y CORRECCIÓN DE ERRORES

Si la señal del GPS, por cualquier razón, faltara, el aparato debe entrar en la "holdover", es decir, generación de señales de tiempo y frecuencia, ya no basada en la señal recibida, sino en estabilidad de la referencia del oscilador "horno" de 10MHz dentro del mismo sistema. Este oscilador, por bueno que sea, dará lugar a una desincronización lenta de la red SFN. Por ejemplo, suponiendo que dispone de un oscilador con característica de envejecimiento (*aging*) de $5 \cdot 10^{-10}$ por día, suponiendo que el envejecimiento es lineal como una función del tiempo y que al comienzo del período de base comienza por generar una frecuencia precisa, acumulará un error de aproximadamente $2,4 \mu\text{s}$ (*igual a 24 pulsos de reloj de 10MHz*) cada 8 horas. Si el error de $2,4 \mu\text{s}$ se considera aceptable, en las mismas

ARRANQUE EN FRÍO

Muchos equipos de sincronización GPS requieren largos períodos de "calentamiento" y estabilización (a menudo en el orden de varias horas) antes de que se puedan poner en operación en la que, de lo contrario, daría lugar a una de-sincronización de los moduladores SFN conectados ya que la frecuencia no está lo suficientemente corregida y

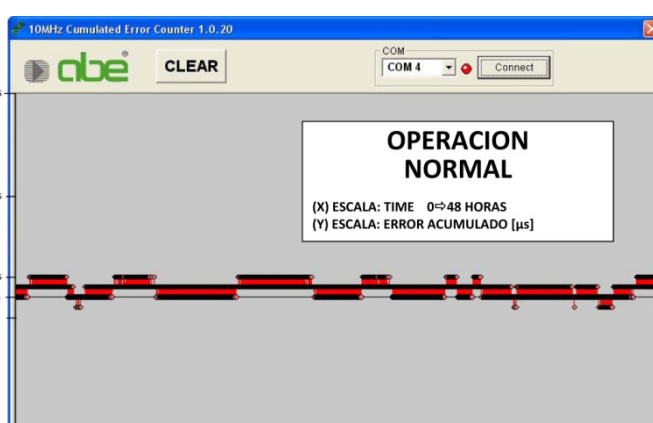


Fig. 5 Gráfico de rendimiento de GPS1000 en tiempo y frecuencia de referencia certificado por el Instituto Galileo Ferraris

condiciones mencionadas, el error acumulado en 24 horas se convierte en $21.6\mu\text{S}$: con toda probabilidad inaceptable. Se necesitara, por tanto, que el aparato tenga una alarma y auto apagado (*al menos por pulso 1PPS*) después de un tiempo programado de acuerdo con la configuración de red (*duración de intervalo del guardia*) y de las características del "oscilador de horno" utilizado (*envejecimiento*).

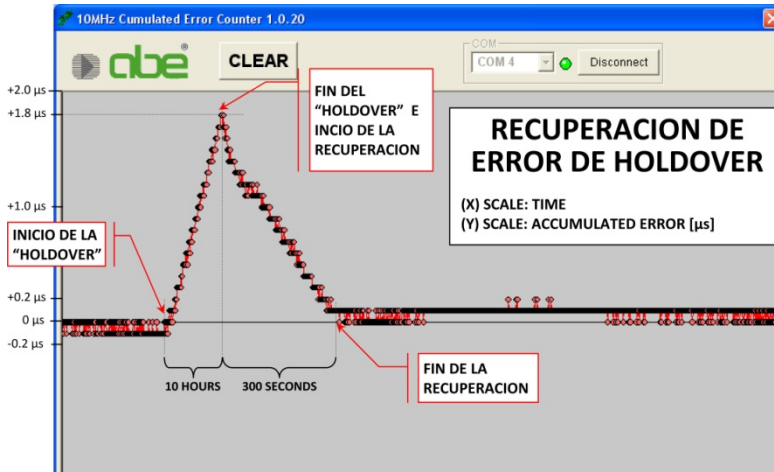


Fig. 6 Gráfico de rendimiento de GPS1000 en tiempo y frecuencia de referencia certificado por el Instituto Galileo Ferraris

Al regreso de la señal GPS, la mayoría de los equipos de sincronización disponibles en el mercado comienzan a corregir, reiniciar y alinear el oscilador de 10MHz, pero modulador SFN permanecerá desincronizado por el tiempo igual al error acumulado durante el período de "holdover" (*Sin señal*). Si bien es cierto que una ausencia de señal del GPS durante varias horas es bastante rara, es también cierto que, agregando muchas

deficiencias de períodos inferiores, se alcanzan valores de desincronización inaceptables.

ABE Elettronica ha desarrollado un algoritmo de su propiedad intelectual denominado "HOLD-OVER ERROR RECOVERY" "Recuperación de errores de holdover" que resuelve los problemas lentamente para compensar el error acumulado durante los períodos de "holdover" y re-sincronizando el / los moduladores. Es también posible determinar el valor máximo del error recuperable: en este caso, si el error encontrado, volviendo de la condición de "holdover", supera este valor, el dispositivo apaga la señal de 1PPS por poco tiempo, forzando el reinicio de moduladores. El algoritmo funciona correctamente incluso si la compensación del error no está aun plenamente realizada, aun cuando se da una nueva condición "holdover" (*Sin señal*).

Llevando al extremo esta modalidad, se realizaron pruebas, con éxito, también con la falta de la señal GPS por más del 90% del tiempo, con los períodos individuales de pérdida de señal en que no se supere, en cada uno, el tiempo máximo del tiempo de "holdover" (*normalmente en el orden de magnitud de 8 horas- pero con posibilidad de ser considerablemente mayor*), seguido por periodos de recepción de señales GPS, como para permitir que la fase de recuperación del error acumulado (*normalmente en el orden de magnitud de unas decenas de minutos*).

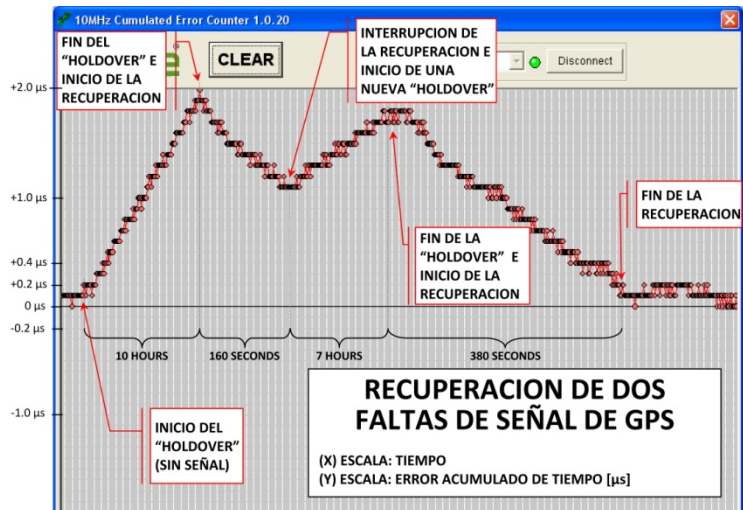


Fig. 7 Gráfico de rendimiento de GPS1000 en tiempo y frecuencia de referencia certificado por el Instituto Galileo Ferraris

OTRAS CARACTERÍSTICAS ÚTILES

Existen muchas otras características adicionales para que sea más sensible a las necesidades para la sincronización GPS de una red SFN.

Por ejemplo, el aparato producido por ABE Elettronica, para aumentar la precisión de la señal (1PPS), ofrece compensación de longitud del cable de recepción.

ABE Elettronica también puede equipar el tarjeta básica GPS receptor/horno (que pueden proporcionar, así como en equipos independientes, incluso dentro de transmisores ABE o como tarjeta OEM) con un radio dual incrementando la seguridad del sistema, en caso de falla, que para tener mayor certeza de la recepción de señales GPS, al tener dos receptores con dos antenas.

Sin embargo, por razones de redundancia, los equipos deberán preverse y ser equipados con



Fig. 8 El receptor - sincronizador GPS1000 con 2 antenas pre amplificadas

oscilador "horno" doble, doble fuente de poder etc...

Por último, en cuanto a las características técnicas, es sin duda importante, la estabilidad intrínseca en frecuencia del oscilador "horno" de 10MHz empleado (es decir la estabilidad del oscilador aun cuando no esté sincronizado por

GPS, debido a las variaciones de temperatura y envejecimiento) como ayuda para determinar el tiempo máximo de "holdover", mientras que otros parámetros no son particularmente importantes: por ejemplo, los armónicos y el ruido de fase de la referencia de 10MHz de frecuencia como en los casos normales, moduladores/transmisores lo utilizan para enganchar en fase (PLL) un oscilador interno (re sincronización); Es sin duda mucho más importante tener una muy buena estabilidad a corto plazo (desviación de Allan-1s)

© 2012 ABE Elettronica S.r.l. – Roberto Valentin – Enero 2012