

LA STABILE SINCRONIZZAZIONE DELLE RETI SFN MEDIANTE GPS DI NUOVA CONCEZIONE

Le reti di diffusione radiotelevisiva digitali a singola frequenza (SFN - Single Frequency Network) necessitano, per essere sincronizzate, di riferimenti di tempo e frequenza (1PPS e 10MHz) comuni e identici per tutti i trasmettitori. Il modo più semplice ed economico per ottenere detti riferimenti è basato sulla ricezione dei segnali provenienti dalla rete satellitare GPS; una gran parte però dei ricevitori/sincronizzatori GPS disponibili sul mercato e che generano i riferimenti di tempo e frequenza (1PPS e 10MHz) non sono adatti per essere impiegati per questa specifica applicazione in quanto possono causare, nel tempo, de-sincronizzazioni delle reti SFN con i conseguenti gravi problemi di disturbi che ne derivano. L'applicazione SFN richiede infatti, per i ricevitori/sincronizzatori GPS, delle caratteristiche particolari di non facile implementazione.

Uno dei principali problemi nella realizzazione di reti di diffusione digitali a singola frequenza (SFN - Single Frequency Network), siano esse secondo lo standard DVB-T che DVB-T2 che ISDB-T che altri, è la stabile sincronizzazione di tutti i trasmettitori al fine di evitare interferenze reciproche.

Prima di analizzare le problematiche, facciamo un breve ripasso riguardo il funzionamento delle reti SFN.

Nelle reti SFN, il Transport Stream da diffondere deve essere generato con una capacità (bit-rate) estremamente precisa e deve includere alcune informazioni (*time stamp, pointer ecc.*) che servono ai trasmettitori per sincronizzarsi.

Il Transport Stream così generato dovrà essere trasferito ai trasmettitori di emissione della rete SFN mediante ponti microonde terrestri o satellitari, fibra ottica o altro funzionanti in modalità "trasparente" cioè senza modificare, aggiungere o togliere bit al Transport Stream.

La generazione o l'adattamento del Transport Stream per l'SFN viene fatto con appositi apparati (*MIP inserter, Gateway, Multiplexer, ecc.*) in accordo con lo standard di diffusione scelto; detti apparati utilizzano dei segnali di riferimento di tempo e frequenza (*impulsi a cadenza di 1 secondo - 1PPS - e 10MHz*) estremamente precisi e, soprattutto, "identici" ai riferimenti di tempo e frequenza che pilotano ciascun trasmettitore nella rete SFN.

I trasmettitori SFN per poter "partire" e generare il segnale di diffusione necessitano di avere, oltre al Transport Stream contenente le informazioni di sincronizzazione per l'SFN, i segnali di riferimento di tempo e frequenza (*1PPS e 10MHz*). Questi segnali, come detto, dovranno essere "identici" a quelli utilizzati per la generazione o l'adattamento del Transport Stream e per tutti gli altri trasmettitori della rete SFN.

Per "identici", con riferimento all'impulso da 1PPS, si intende che esso dovrà essere contemporaneo ovunque, con errori accettabili minimi, nell'ordine di grandezza delle centinaia di nanosecondi; pertanto l'impulso da 1PPS non potrà essere "trasmesso", salvo che con sistemi trasmissivi la cui latenza sia conosciuta, costante e con compensazione della latenza stessa (*non è pertanto facilmente possibile tramite satellite in quanto la latenza non è costante; in questi casi si dovranno utilizzare complessi sistemi dinamici di compensazione*).

Per quanto riguarda il campione di frequenza da 10MHz, il significato dell'accezione "identici" non si riferisce né alla fase né a piccole differenze di frequenza istantanee, ma alla frequenza media che dovrà essere, a lungo termine, identica.

In pratica: se abbiamo dei segnali da 10MHz che ballonzolano o barcollano (*wander*) di $\pm 1 \cdot 10^{-9}$, attorno alla frequenza di 10MHz, ma il valor medio, nel lungo periodo (*ad esempio in 24 ore o*

più) è di 10MHz con precisione di $2 \cdot 10^{-12}$ (che vuol dire circa 2 colpi di clock di differenza in una giornata), il risultato è accettabile.

In pratica non è particolarmente importante l'errore istantaneo (entro certi limiti) bensì l'errore accumulato (in colpi di clock di differenza). Ad esempio: 100 colpi di clock da 10MHz di errore accumulato causano una de-sincronizzazione di 10µS che, nel caso di una rete SFN DVB-T 8K con 1/8 di intervallo di guardia, assomma a poco meno del 10% della durata dell'intervallo stesso (il massimo che può essere ritenuto accettabile). Per fare un altro riferimento pratico, due oscillatori da 10MHz, di cui uno con un errore di $+5 \cdot 10^{-10}$ e l'altro con errore di $-5 \cdot 10^{-10}$, accumulano in 3 ore un errore differenziale di 108 colpi di clock (10,8µS).

Potenzialmente, una volta sincronizzato e avviato il modulatore in modalità SFN, il segnale di tempo (l'impulso da 1PPS), non serve più in quanto, se la velocità (bit-rate) del Transport Stream da trasmettere è identica a quella richiesta per l'emissione da parte dei modulatori (e lo deve essere poiché entrambe debbono avere identici riferimenti di frequenza da 10MHz), questi continueranno ad essere sincronizzati a tempo indeterminato.

In pratica però, l'impulso da 1PPS, nel caso dei modulatori SFN sviluppati e prodotti da ABE Elettronica, deve essere continuamente fornito all'apparato e serve a tenere costantemente monitorata la corretta sincronizzazione dell'emissione e, se il disallineamento supera il 10% dell'intervallo di guardia, il modulatore viene automaticamente resettato e riparte con la giusta sincronizzazione. In caso contrario, l'emissione si disallineerebbe rispetto a quella degli altri trasmettitori della rete SFN andandoli a disturbare e venendo disturbato.

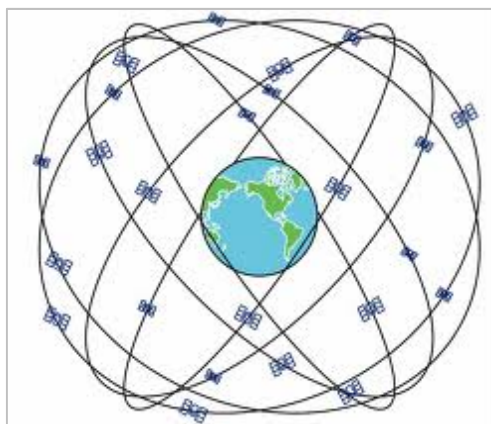


Fig.1 Costellazione dei satelliti GPS

Il riferimento di sincronizzazione per le reti SFN più semplice, accessibile e maggiormente utilizzato è basato sull'impiego di ricevitori GPS (Global Positioning System – il sistema di posizionamento satellitare gestito dagli USA) in grado di generare impulsi da 1PPS di assoluta precisione (con errori di picco nell'ordine di grandezza delle decine di nanosecondi ma con errore a lungo termine virtualmente pari a zero), contemporaneamente, ovunque nel mondo.

Il servizio GPS, fornito da 24 satelliti principali più riserve, considerate le innumerevoli applicazioni che si basano sul suo utilizzo in tutto il mondo, è ritenuto sicuro e virtualmente impossibile da disattivare; a riconferma di ciò, vi sono attualmente piani per il

mantenimento, la sostituzione dei satelliti ed il perfezionamento del sistema, almeno sino al 2030. Gli impulsi da 1PPS ricevuti, o meglio, calcolati dai ricevitori GPS sulla base dei dati ricevuti dai satelliti, oltre a rappresentare la sorgente di tempo (1PPS) necessaria alla sincronizzazione delle reti SFN, servono anche a disciplinare gli oscillatori da 10MHz (normalmente di tipo ad alta stabilità, termostatati "oven") che forniscono il necessario riferimento di frequenza.

Non tutti gli apparati disponibili sul mercato che comprendono ricevitori GPS e oscillatori "oven" da 10MHz disciplinati sono indicati per l'utilizzo quali sorgenti di tempo e frequenza per la sincronizzazione di reti SFN: la maggior parte non lo sono e possono causare facilmente de-sincronizzazioni nelle reti.

Le problematiche sono infatti molteplici: vedremo ora di esaminare le principali.

ERRORE ACCUMULATO

Come descritto precedentemente, il riferimento di frequenza da 10MHz disciplinato da GPS non deve accumulare a lungo termine errori al fine di evitare de-sincronizzazioni della rete SFN: non è tanto importante la precisione istantanea di frequenza (che può essere anche nell'ordine di grandezza di $1 \cdot 10^{-9}$ o peggio) quanto la media a lungo termine. Infatti, anche un errore di frequenza molto contenuto ma protratto costantemente nel tempo, porta, a lungo termine, alla de-sincronizzazione.

ABE Elettronica ha sviluppato un algoritmo di sua proprietà intellettuale chiamato "ZERO CUMULATED ERROR" che risolve il problema garantendo virtualmente errore pari a zero a lunghissimo termine.

NUMERO MINIMO DI SATELLITI RICEVUTI

Per generare con precisione l'impulso da 1PPS, i ricevitori GPS necessitano di ricevere ed elaborare i dati da un minimo di 4 satelliti. Il sistema GPS garantisce la ricevibilità costante, a cielo aperto e ovunque nel mondo, di un minimo di 4 satelliti (*ultimamente anche 5*). Il problema è che spesso le antenne di ricezione vengono installate in luoghi che non hanno cielo aperto per la presenza di edifici, torri, montagne ecc.. In questi casi e nonostante talvolta si possano ricevere anche molti più satelliti (*ad esempio 7 o 8*), non può essere garantita costantemente la ricevibilità di 4 satelliti. In altri casi vi possono essere condizioni per cui, a causa di inquinamento elettromagnetico o altro, i satelliti ricevibili sono solo quelli con segnale più forte ed in numero inferiore a 4.

ABE Elettronica ha risolto il problema, nei propri apparati, avendo la possibilità di generare con precisione l'impulso da 1PPS e conseguentemente disciplinare l'oscillatore "oven" da 10MHz, anche ricevendo un solo satellite. Ciascun satellite



Fig. 2 Satellite GPS

GPS trasmette costantemente, insieme all'informazione di tempo, anche i dati da cui ricavare la posizione orbitale; per sincronizzare con esattezza l'impulso da 1PPS, il ricevitore necessita però di conoscere anche la propria posizione e, per calcolarla precisamente, deve ricevere 4 satelliti. Essendo però, per la natura stessa dell'applicazione, la posizione della antenna di ricezione fissa, il ricevitore GPS ABE effettua inizialmente, all'atto della installazione, un accurato rilevamento della propria posizione (*che normalmente dura poco più di mezz'ora, mediando la posizione di circa 2000 acquisizioni valide*), la memorizza e quindi è poi in grado di generare con precisione l'informazione di tempo anche ricevendo un singolo satellite.

TIPOLOGIA DELLE ANTENNE DI RICEZIONE GPS E PROBLEMATICHE RELATIVE ALLA LORO INSTALLAZIONE

Essendo il segnale GPS estremamente debole, le antenne impiegate dovranno preferibilmente essere di tipo attivo (*cioè preamplificate*) in quanto, altrimenti, le perdite nel cavo di ricezione, che

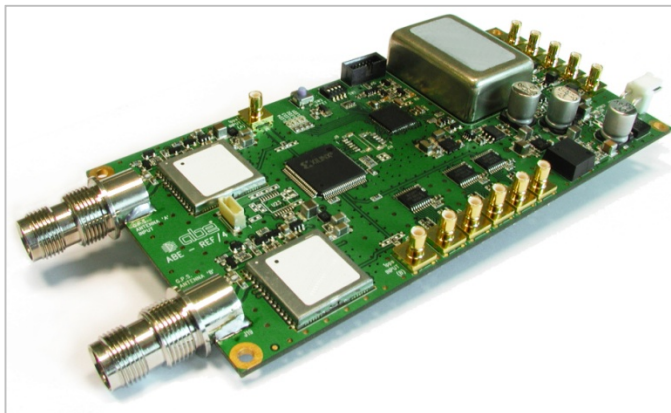


Fig. 3 Scheda del sincronizzatore GPS equipaggiata con 2 ricevitori e oscillatore di riferimento oven

spesso ha una lunghezza di diversi metri o decine di metri, potrebbero rendere il segnale ricevuto (*alla frequenza di 1575MHz circa*) troppo scarso, impedendo così il funzionamento del ricevitore. Considerati i problemi relativi alla cifra di rumore dei ricevitori e delle antenne, una buona regola potrebbe essere quella di adottare antenne il cui guadagno è di almeno 6dB superiore alla perdita

del cavo impiegato.

Bisogna però ricordare che nelle stazioni di trasmissione, ove gli apparati di ricezione GPS e sincronizzazione sono ubicati, normalmente vi sono anche emissioni a radiofrequenza con campi elettromagnetici molto elevati che potrebbero "accecare", saturandoli, i preamplificatori delle antenne di ricezione; è pertanto opportu-

no che il guadagno delle antenne non sia troppo elevato e che le antenne GPS siano dotate di un filtro preselettore interposto tra l'antenna vera e propria e il preamplificatore a radiofrequenza dell'antenna stessa. Ovviamente detto filtro peggiora le caratteristiche di cifra di rumore dell'antenna preamplificata (*normalmente di circa 1dB*) ma evita o attenua fortemente la possibilità di accecamento. Bisogna comunque prestare attenzione nella scelta dell'antenna in quanto vi sono in commercio antenne "filtrate" con il filtro preselettore posto dopo il primo preamplificatore: per le problematiche sopra descritte, questo tipo di configurazione (*che ha una miglior cifra di rumore*) è meno indicato.

Un problema maggiore si può verificare quando le forti emissioni a radiofrequenza presenti nelle installazioni hanno le armoniche che cadono nella banda di ricezione GPS: in questo caso è d'aiuto il posizionare l'antenna di ricezione GPS schermandola rispetto alle antenne di trasmissione, anche se questo può comportare un minor numero di satelliti ricevibili; i ricevitori ABE, come detto, funzionano correttamente anche con la ricezione di un solo satellite. Comunque è anche possibile utilizzare apparati dotati di doppio ricevitore GPS (*e quindi con doppia antenna*), posizionando le due antenne in modo tale da avere differenti porzioni di cielo aperto, pur rimanendo schermate dalle antenne di emissione.

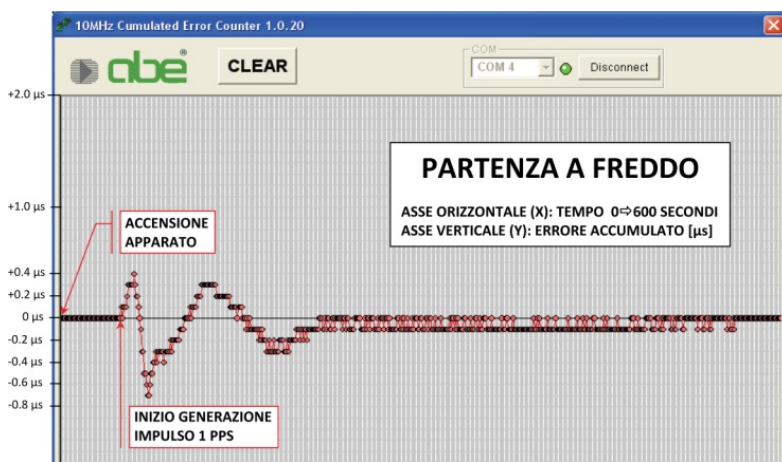


Fig. 4 Grafico prestazioni del GPS1000 verso riferimento di tempo e frequenza certificato dall'Istituto Galileo Ferraris

un algoritmo di sua proprietà intellettuale chiamato "FAST COLD START-UP" che consente dei tempi di partenza da freddo nell'ordine di grandezza del minuto senza generare problemi di desincronizzazione.

FUNZIONAMENTO DURANTE PERIODI DI MANCANZA DEL SEGNALE GPS (HOLDOVER) E CORREZIONE DELL'ERRORE

Nel caso il segnale GPS venga, per qualunque ragione, a mancare, l'apparato dovrà entrare in funzione di "holdover" cioè di mantenimento della generazione dei segnali di tempo e frequenza, basandosi non più sul segnale ricevuto, ma sulla stabilità dell'oscillatore di riferimento da 10MHz "oven" interno all'apparato stesso. Questo oscillatore, pur buono che sia, porterà comunque ad una lenta de-sincronizzazione della rete SFN. Per fare un esempio, supponendo di disporre di un oscillatore con caratteristica di invecchiamento (*aging*) pari a $5 \cdot 10^{-10}$ al giorno, supponendo che l'aging sia lineare in funzione del tempo e che all'inizio del periodo di holdover la generazione parta dalla frequenza precisa, in 8 ore cumulerà un errore di circa $2,4 \mu S$ (*pari a 24*

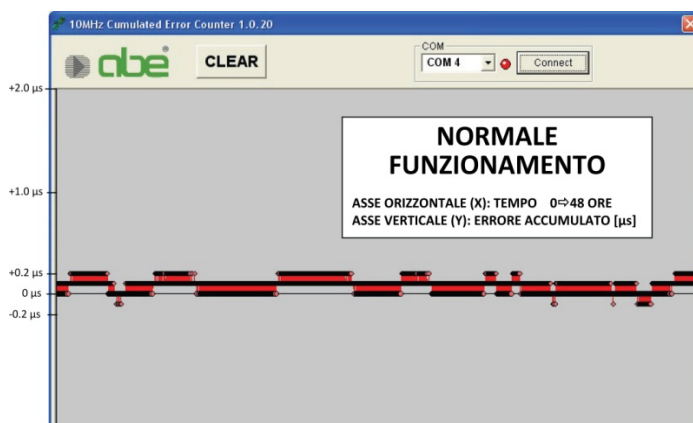


Fig. 5 Grafico prestazioni del GPS1000 verso riferimento di tempo e frequenza certificato dall'Istituto Galileo Ferraris

PARTENZA A FREDDO

Molti apparati di sincronizzazione GPS richiedono lunghi periodi di "riscaldamento" e stabilizzazione (*spesso nell'ordine di grandezza di diverse ore*) prima di poter essere messi in esercizio in quanto, altrimenti, porterebbero ad una desincronizzazione dei modulatori SFN collegati non essendo ancora sufficientemente corretta e stabilizzata la frequenza.

ABE Elettronica ha sviluppato

colpi di clock da 10MHz). Se $2,4\mu\text{S}$ di errore si possono considerare accettabili, nelle stesse condizioni citate, l'errore cumulato in 24 ore diventa di $21,6\mu\text{S}$: con ogni probabilità inaccettabile. Bisognerà pertanto che l'apparato disponga di un allarme e di spegnimento automatico (*per lo meno dell'impulso da 1PPS*) dopo un tempo di holdover programmato in funzione delle regolazioni di rete (*durata dell'intervallo di guardia*) e caratteristiche dell'oscillatore oven impiegato (*invecchiamento*).

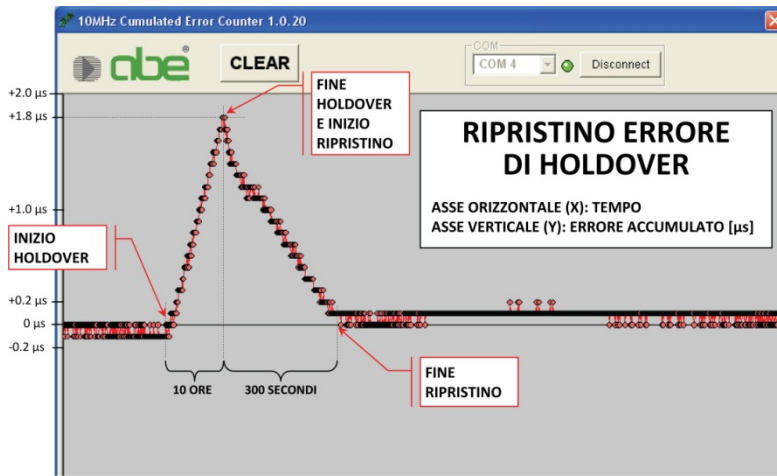


Fig. 6 Grafico prestazioni del GPS1000 verso riferimento di tempo e frequenza certificato dall'Istituto Galileo Ferraris

Al ritorno del segnale GPS, la maggior parte degli apparati di sincronizzazione disponibili sul mercato, ricominciano a correggere ed allineare l'oscillatore da 10MHz ma il modulatore SFN rimarrà de-sincronizzato di un tempo pari all'errore accumulato durante il periodo di holdover. Se è vero che una carenza del segnale GPS di diverse ore è alquanto rara, è anche vero che, sommando tante carenze di periodi inferiori, si arriva a dei valori di de-sincronizzazione inaccettabili.

ABE Elettronica ha sviluppato un algoritmo di sua proprietà intellettuale chiamato "HOLDOVER ERROR RECOVERY" che risolve il problema andando lentamente a compensare l'errore accumulato durante il/i periodi di holdover e re-sincronizzando così il/i modulatori. E' inoltre possibile stabilire il valore massimo dell'errore recuperabile: in questo caso, se l'errore rilevato, al rientro dalla condizione di holdover, supera tale valore, l'apparato toglie per poco tempo il segnale di tempo da 1PPS, forzando così la ripartenza dei modulatori. L'algoritmo funziona correttamente anche nel caso la compensazione di un errore di holdover non sia ancora stata interamente effettuata quando interviene una nuova condizione di holdover.

Estremizzando i test di questa funzionalità, sono state fatte prove, con esito positivo, anche con carenza del segnale GPS per oltre il 90% del tempo, con i singoli periodi di mancanza del segnale che non superavano, ciascuno, il tempo massimo di holdover impostato (*normalmente nell'ordine di grandezza di 8 ore - ma con possibilità di essere anche sensibilmente maggiore*), seguiti da tempi di

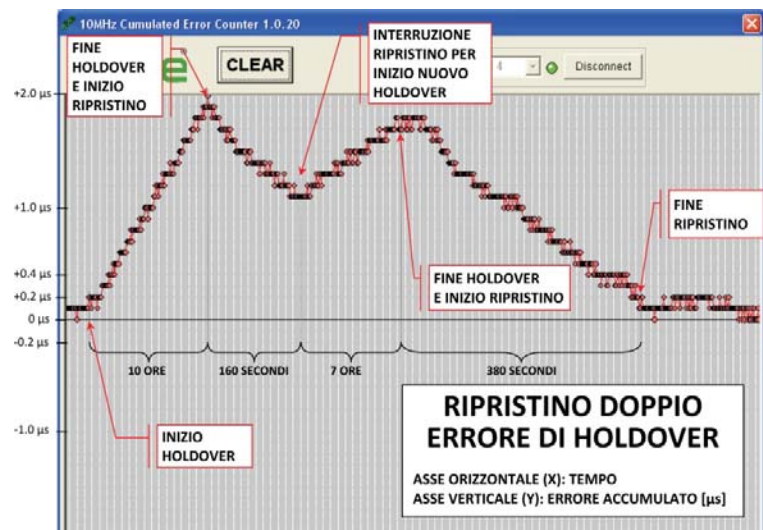


Fig. 7 Grafico prestazioni del GPS1000 verso riferimento di tempo e frequenza certificato dall'Istituto Galileo Ferraris

ricezione del segnale GPS tali da consentire la fase di recupero dell'errore accumulato (*normalmente nell'ordine di grandezza di poche decine di minuti*).

ALTRE CARATTERISTICHE UTILI

Molte sono le ulteriori caratteristiche per rendere maggiormente rispondente alle esigenze di una rete SFN un apparato di sincronizzazione GPS.

Ad esempio, per aumentare la precisione del segnale di tempo (1PPS), l'apparato prodotto da ABE Elettronica dispone della compensazione della lunghezza del cavo di ricezione.

ABE Elettronica può inoltre equipaggiare la scheda base del ricevitore GPS/oven (che può essere fornita, oltre che nell'apparecchiatura stand-alone, anche all'interno dei trasmettitori ABE o come board OEM) con una doppia radio aumentando così sensibilmente la sicurezza del sistema, sia in caso di guasto, che per avere maggiore certezza di ricezione dei segnali GPS, disponendo di due ricevitori con due antenne.

Ed ancora, per ragioni di ridondanza, gli apparati dovranno poter essere forniti equipaggiati di



Fig. 8 Il Ricevitore - sincronizzatore GPS1000 con 2 antenne preamplificate

doppio oscillatore oven, doppia alimentazione ecc.

Infine, per quanto concerne le caratteristiche tecniche, è sicuramente importante la stabilità in frequenza intrinseca dell'oscillatore "oven" da 10MHz impiegato (cioè la stabilità dell'oscillatore quando non è disciplinato da GPS - sia quella dovuta

ad invecchiamento che per le variazioni di temperatura) in quanto concorre a determinare il tempo massimo di holdover, mentre altri parametri non sono particolarmente significativi: ad esempio le armoniche e il rumore di fase del riferimento di frequenza da 10MHz in quanto, nella normalità dei casi, i modulatori/trasmettitori lo utilizzano per agganciare in fase (PLL) un oscillatore interno (re-clocking); è invece sicuramente molto più importante avere una buona specifica per la stabilità a breve termine (deviazione di Allan - 1s).

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