



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.810

(08/96)

SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN

Sistemas de transmisión digital – Redes digitales –
Objetivos de diseño para las redes digitales

**Definiciones y terminología para redes de
sincronización**

Recomendación G.810 del UIT-T

(Anteriormente Recomendación del CCITT)

RECOMENDACIONES DE LA SERIE G DEL UIT-T
SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN

CONEXIONES Y CIRCUITOS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES	G.100–G.199
SISTEMAS INTERNACIONALES ANALÓGICOS DE PORTADORAS	
CARACTERÍSTICAS GENERALES COMUNES A TODOS LOS SISTEMAS ANALÓGICOS DE PORTADORAS	G.200–G.299
CARACTERÍSTICAS INDIVIDUALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES DE PORTADORAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.300–G.399
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES EN RADIOENLACES O POR SATÉLITE E INTERCONEXIÓN CON LOS SISTEMAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.400–G.449
COORDINACIÓN DE LA RADIOTELEFONÍA Y LA TELEFONÍA EN LÍNEA	G.450–G.499
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	
SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DIGITAL	
EQUIPOS TERMINALES	G.700–G.799
REDES DIGITALES	G.800–G.899
Generalidades	G.800–G.809
Objetivos de diseño para las redes digitales	G.810–G.819
Objetivos de calidad y disponibilidad	G.820–G.829
Funciones y capacidades de la red	G.830–G.839
Características de las redes con jerarquía digital síncrona	G.840–G.899
SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS DIGITALES DE LÍNEA	G.900–G.999

Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.

RECOMENDACIÓN UIT-T G.810

DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA PARA REDES DE SINCRONIZACIÓN

Resumen

Esta Recomendación proporciona las definiciones y abreviaturas utilizadas en las Recomendaciones sobre temporización y sincronización

Orígenes

La Recomendación UIT-T G.810, ha sido revisada por la Comisión de Estudio 13 (1993-1996) del UIT-T y fue aprobada por el procedimiento de la Resolución N.º 1 de la CMNT el 27 de agosto de 1996.

Palabras clave

características de fluctuación de fase, características de fluctuación lenta de fase, funcionamiento de reloj, jerarquía digital síncrona, red de sincronización.

PREFACIO

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Conferencia Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (CMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución N.º 1 de la CMNT (Helsinki, 1 al 12 de marzo de 1993).

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

NOTA

En esta Recomendación, la expresión «Administración» se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

© UIT 1997

Es propiedad. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse o utilizarse, de ninguna forma o por ningún medio, sea éste electrónico o mecánico, de fotocopia o de microfilm, sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

ÍNDICE

Página

1	Alcance	1
2	Referencias.....	1
3	Abreviaturas.....	1
4	Definiciones	2
4.1	Definiciones generales.....	3
4.2	Definiciones relacionadas con equipos de reloj.....	4
4.3	Definiciones relacionadas con redes de sincronización.....	4
4.4	Definiciones relacionadas con modos de funcionamiento de reloj (aplicables a relojes subordinados)	5
4.5	Definiciones relacionadas con la caracterización del reloj.....	6
4.6	Definiciones específicas de SDH.....	8
5	Descripción de los componentes de variación de fase.....	9
6	Degradaciones causadas por la variación de fase	9
6.1	Tipos de degradaciones.....	9
6.1.1	Errores	9
6.1.2	Degradación de información analógica codificada digitalmente.....	9
6.1.3	Deslizamientos.....	9
6.2	Control de las degradaciones	9
6.2.1	Errores	9
6.2.2	Degradación de las señales analógicas con codificación digital.....	9
6.2.3	Deslizamientos.....	9
7	Objeto de las especificaciones de variación de fase	10
7.1	Fluctuación de fase	10
7.2	Fluctuación lenta de fase.....	10
8	Estructura de las redes de sincronización	11
8.1	Modos de sincronización	11
8.2	Redes de sincronización.....	11
9	Configuraciones de medición	11
9.1	Configuración de medición de relojes sincronizados	11
9.2	Configuración de medición de relojes independientes	12
	Apéndice I - Modelos matemáticos de señales de temporización.....	13
I.1	Modelo de fase instantáneo total de una señal de temporización ideal	13
I.2	Modelo de fase instantáneo total de señales de temporización reales	13
I.3	Modelo de error de tiempo.....	14

Apéndice II - Definiciones y propiedades de las magnitudes de estabilidad en frecuencia y estabilidad en el tiempo	14
II.1 Desviación de Allan (ADEV).....	15
II.2 Desviación a Allan modificada (MDEV)	16
II.3 Desviación de tiempo (TDEV)	18
II.4 Valor cuadrático medio del error de intervalo de tiempo (TIErms).....	19
II.5 Error de intervalo de tiempo máximo (MTIE).....	20

RECOMENDACIÓN G.810

DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA PARA REDES DE SINCRONIZACIÓN

(Melbourne, 1980, revisada en 1996)

1 Alcance

Esta Recomendación proporciona las definiciones y abreviaturas utilizadas en las Recomendaciones sobre temporización y sincronización, así como información básica sobre la necesidad de limitar la variación de fase y las degradaciones en sistemas digitales.

2 Referencias

Las siguientes Recomendaciones y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación, estaban en vigor las ediciones indicadas. Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones por lo que se preconiza que usuarios de esta Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes.

- [1] Recomendación UIT-T G.707 (1996), *Interfaz de nodo de red para la jerarquía digital síncrona*.
- [2] Recomendación G.811 (1988), *Requisitos de temporización en las salidas de relojes de referencia primarios adecuados para la explotación plesiócrona de enlaces digitales internacionales*.
- [3] Recomendación G.812 (1988), *Requisitos de temporización en las salidas de relojes subordinados adecuados para la explotación plesiócrona de enlaces digitales internacionales*.
- [4] Recomendación UIT-T G.813 (1996), *Características de temporización para relojes subordinados de equipos de la jerarquía digital síncrona*.
- [5] Recomendación G.822 (1988), *Objetivos de tasa de deslizamientos controlados en una conexión digital internacional*.
- [6] Recomendación UIT-T G.823 (1993), *Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía de 2048 kbit/s*.
- [7] Recomendación UIT-T G.824 (1993), *Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía de 1544 kbit/s*.
- [8] Recomendación UIT-T G.825 (1993), *Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía digital síncrona*.

3 Abreviaturas

A los efectos de las Recomendaciones sobre temporización y sincronización, se aplican las siguientes abreviaturas:

ADEV	Desviación de Allan (<i>allan deviation</i>)
AIS	Señal de indicación de alarma (<i>alarm indication signal</i>)

AP	Punto de acceso (<i>access point</i>)
CUT	Reloj sometido a prueba (<i>clock under test</i>)
FFM	Modulación de frecuencia por centelleo (<i>flicker frequency modulation</i>)
FPM	Modulación de fase por centelleo (<i>flicker phase modulation</i>)
MC	Reloj maestro (<i>master clock</i>)
MDEV	Desviación de Allan modificada (<i>modified allan deviation</i>)
MRTIE	Error de intervalo de tiempo relativo máximo (<i>maximun relative time interval error</i>)
MST	Terminal de sección múltiplex (<i>multiplex section terminal</i>)
MTIE	Error de intervalo de tiempo máximo (<i>maximun time interval error</i>)
NE	Elemento de red (<i>network element</i>)
PDH	Jerarquía digital plesiócrona (<i>plesiochronous digital hierarchy</i>)
PRC	Reloj de referencia primario (<i>primary reference clock</i>)
RTPC	Red telefónica pública conmutada
RWFM	Modulación de frecuencia de recorrido aleatorio (<i>random walk frequency modulation</i>)
SASE	Equipo de sincronización autónomo (<i>stand alone synchronization equipment</i>)
SC	Reloj subordinado (<i>slave clock</i>)
SDH	Jerarquía digital síncrona (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SE	Elemento de sincronización (<i>synchronization element</i>)
SEC	Reloj de equipo SDH (<i>SDH equipment clock</i>)
SETS	Fuente de temporización de equipo SDH (<i>SDH equipment timing source</i>)
SSU	Unidad de suministro de sincronización (<i>synchronization supply unit</i>)
STM	Módulo de transporte síncrono (<i>synchronous transport module</i>)
TDEV	Desviación de tiempo (<i>time deviation</i>)
TIE	Error de intervalo de tiempo (<i>time interval error</i>)
TIErms	Valor cuadrático medio del error de intervalo de tiempo (<i>root mean square time interval error</i>)
TVAR	Varianza de tiempo (<i>time variance</i>)
UI	Intervalo unitario (<i>unit interval</i>)
UIp-p	Intervalo unitario cresta a cresta (<i>unit interval peak-to-peak</i>)
UTC	Tiempo Universal Coordinado (<i>coordinated universal time</i>)
WFM	Modulación de frecuencia de ruido blanco (<i>white frequency modulation</i>)
WPM	Modulación de fase de ruido blanco (<i>white phase modulation</i>)

4 Definiciones

A los efectos de las Recomendaciones de temporización y sincronización se aplican las definiciones siguientes.

4.1 Definiciones generales

4.1.1 fluctuación de fase de alineación: Variaciones a corto plazo entre los instantes de muestreo óptimo de una señal digital y un reloj de muestreo derivado de la misma.

4.1.2 bilateral: Enlace de sincronización en el que la acción correctiva para mantener el enganche está activa en ambos extremos del enlace.

4.1.3 desviación de frecuencia: Desplazamiento subyacente en la frecuencia a largo plazo de una señal de temporización con respecto a su frecuencia ideal.

4.1.4 sincronización de la red: Concepto genérico que describe la manera de distribuir un tiempo y/o frecuencia común a todos los elementos de una red.

4.1.5 sincronización de un solo extremo: Método para sincronizar un nodo de sincronización determinado con respecto a otro nodo de sincronización en el cual la información de sincronización, en el nodo especificado se obtiene de la diferencia de fase entre el reloj local y la señal digital entrante del otro nodo.

4.1.6 cadena de sincronización: Interconexión activa de nodos y enlaces de sincronización.

4.1.7 cadena de referencia de sincronización: Cadena de sincronización específica para formar la base de fluctuaciones de fase y fluctuaciones lentas de fase en la red de sincronización.

4.1.8 deslizamiento: Repetición o supresión de un bloque de bits en un tren de bits síncrono o plesiócrono debido a una discrepancia en las velocidades de lectura y de escritura en una memoria intermedia.

4.1.9 frecuencia patrón: Frecuencia con una relación conocida a un patrón de frecuencia.

4.1.10 tiempo: Magnitud utilizada para especificar un instante (hora del día) o una medida de intervalo de tiempo.

NOTA - Los términos tiempo o temporización, cuando se utilizan para describir redes de sincronización, se refieren comúnmente a señales de frecuencias utilizadas para sincronización o medición.

4.1.11 escala de tiempo: Sistema inequívoco de ordenamiento de eventos.

NOTA - Podría ser una sucesión de intervalos de tiempo iguales, con referencias precisas de los límites de estos intervalos de tiempo, que se suceden entre sí sin interrupción alguna desde un origen bien definido. Una escala de tiempo permite fechar cualquier evento. Por ejemplo, los calendarios son escalas de tiempo. Una señal de frecuencia no es una escala de tiempo (cada periodo no está marcado y fechado). Por esta razón se debe utilizar "frecuencia UTC" en vez de "UTC".

4.1.12 fluctuación de fase (de temporización): Variaciones a corto plazo de los instantes significativos de una señal digital con respecto a sus posiciones ideales en el tiempo (a corto plazo significa que la frecuencia de estas variaciones es mayor o igual a 10 Hz).

4.1.13 unilateral: Enlace de sincronización en el que la acción correctiva para mantener el enganche está activa en un solo extremo del enlace.

4.1.14 UTC: Escala de tiempo mantenida por la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (BIPM) y el Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS, *international earth rotation service*), que constituye la base de una difusión coordinada de frecuencias patrón y señales horarias.

NOTA - La frecuencia de referencia para sincronización de redes es la frecuencia que genera la escala de tiempo UTC. Por tanto, es preferible utilizar el término "frecuencia UTC" en vez de "UTC".

4.1.15 fluctuación lenta de fase: Variaciones a largo plazo de los instantes significativos de una señal digital con respecto a sus posiciones ideales en el tiempo (a largo plazo significa que la frecuencia de estas variaciones es menor que 10 Hz).

NOTA - A fines de la presente Recomendación y de las Recomendaciones conexas, esta definición no incluye la fluctuación lenta de fase causada por desviaciones y derivas de frecuencia.

4.2 Definiciones relacionadas con equipos de reloj

4.2.1 reloj: Equipo que proporciona una señal de temporización.

NOTA - El término "reloj" cuando se utiliza en redes de sincronización, significa generalmente el generador de las frecuencias que se utilizarán para sincronizar la red.

4.2.2 patrón de frecuencia: Generador cuya salida se utiliza como una referencia de frecuencia.

4.2.3 reloj maestro: Generador que produce una señal de frecuencia exacta para el control de otros generadores.

4.2.4 reloj de nodo: Reloj que distribuye sincronización a uno o más equipos sincronizados.

4.2.5 reloj de referencia primario (PRC): Patrón de frecuencia de referencia que suministra una señal de frecuencia de referencia conforme a la Recomendación G.811.

4.2.6 reloj subordinado: Reloj cuya salida de temporización está enganchada en fase a una señal de temporización de referencia recibida de un reloj de mayor calidad.

4.2.7 equipo de sincronización autónomo (SASE): Realización autónoma de la función SSU lógica, que incorpora su propia función de gestión.

4.2.8 unidad de suministro de sincronización (SSU): Función lógica para la selección, procesamiento y distribución de la referencia de frecuencia que tiene las características de frecuencia especificadas en la Recomendación G.812.

4.3 Definiciones relacionadas con redes de sincronización

4.3.1 modo asíncrono: Modo en que los relojes están previstos para funcionar en modo libre.

4.3.2 nodo local: Nodo de red síncrona que interconecta directamente con el equipo de cliente.

4.3.3 modo maestro subordinado: Modo en el que un reloj maestro designado se utiliza como patrón de frecuencia que se distribuye a otros relojes subordinados al reloj maestro.

4.3.4 modo mutuamente sincronizado: Modo en que todos los relojes ejercen un grado de control entre sí.

4.3.5 modo plesiócrono: Modo en el que la característica esencial de escalas o señales de tiempo es tal que sus instantes significativos correspondientes se producen con la misma cadencia nominal, y cualquier variación de esta cadencia está restringida dentro de límites especificados.

4.3.6 modo seudosíncrono: Modo en el que todos los relojes tienen una exactitud de frecuencia a largo plazo conforme a un reloj de referencia primario especificado en la Recomendación G.811 en condiciones normales de funcionamiento. No todos los relojes en la red tendrán temporización atribuible al mismo PRC.

4.3.7 elemento de sincronización: Reloj que proporciona servicios de temporización a elementos de red conectados. Esto incluiría relojes conformes a las Recomendaciones G.811, G.812 y G.813.

4.3.8 enlace de sincronización: Enlace entre dos nodos de sincronización por el que se transmite la sincronización.

4.3.9 red síncrona: Red en la que todos los relojes tienen la misma exactitud a largo plazo en condiciones normales de funcionamiento.

4.3.10 red de sincronización: Red que proporciona señales de temporización de referencia. En general, la estructura de una red de sincronización comprende nodos de red de sincronización conectados mediante enlaces de sincronización.

4.3.11 nodo de red de sincronización: Grupo de equipos en una ubicación física directamente temporizados por un reloj de nodo.

NOTA - Una ubicación física puede contener más de un nodo de red de sincronización.

4.3.12 sumidero de sincronización: Destino de la temporización en un camino de sincronización.

4.3.13 fuente de sincronización: Fuente de la temporización en un camino de sincronización.

4.3.14 medios de sincronización: Serie de elementos de sincronización y caminos de sincronización, normalmente dentro de un solo equipo SDH o PDH.

4.3.15 camino de sincronización: Conectividad completa entre un elemento de sincronización y un elemento de red, o entre dos elementos de sincronización.

4.3.16 nodo de tránsito: Nodo de red síncrona que interconecta con otros nodos y no directamente con el equipo de usuario.

4.4 Definiciones relacionadas con modos de funcionamiento de reloj (aplicables a relojes subordinados)

4.4.1 modo funcionamiento libre: Condición de funcionamiento de un reloj cuya señal de salida está fuertemente influenciada por el elemento de oscilación y no controlada por técnicas de enganche de fase. En este modo, el reloj no ha tenido nunca una entrada de referencia de red, o ha perdido la referencia externa y no tiene acceso a los datos almacenados que podrían ser adquiridos de una referencia externa previamente conectada. El funcionamiento libre comienza cuando la salida de reloj no refleja ya la influencia de una referencia externa conectada, o una transición de la misma. El funcionamiento libre termina cuando la salida de reloj se engancha a una referencia externa.

4.4.2 modo régimen libre: Condición de funcionamiento de un reloj que ha perdido su entrada de referencia de control y utiliza datos almacenados, adquiridos en funcionamiento enganchado, para controlar su salida. Los datos almacenados se utilizan para controlar las variaciones de fase y de frecuencia lo que permite reproducir la condición enganchada conforme a especificaciones. El régimen libre comienza cuando la salida de reloj no refleja ya la influencia de una referencia externa conectada, o una transición de la misma. El régimen libre termina cuando la salida del reloj vuelve a la condición modo enganchado.

4.4.3 funcionamiento ideal: Esta categoría de funcionamiento refleja el comportamiento de un reloj en condiciones en que no hay degradaciones de la señal de temporización de referencia de entrada.

4.4.4 modo enganchado: Condición de funcionamiento de un reloj subordinado en el que la señal de salida es controlada por una referencia de entrada externa de modo que la señal de salida del reloj tiene la misma frecuencia media a largo plazo, y la función de error de tiempo entre salida y entrada está limitada. El modo enganchado es el modo de funcionamiento previsto de un reloj subordinado.

4.4.5 funcionamiento en régimen forzado: Categoría de funcionamiento que refleja el comportamiento real de un reloj considerando la influencia de las condiciones (forzadas) de funcionamiento reales. Las condiciones forzadas incluyen los efectos de la fluctuación de fase, la actividad de conmutación de protección y la pérdida de la señal de temporización de referencia de entrada.

4.5 Definiciones relacionadas con la caracterización del reloj

4.5.1 envejecimiento: Cambio sistemático de frecuencia de un oscilador en función del tiempo.

NOTA - Es la deriva de frecuencia cuando los factores externos al oscilador (medio ambiente, fuente de alimentación, temperatura, etc.) se mantienen constantes. El valor de envejecimiento siempre se debe especificar junto con la duración correspondiente.

4.5.2 desviación relativa de frecuencia: Diferencia entre la frecuencia real de una señal y una frecuencia nominal especificada, dividida por la frecuencia nominal. La desviación relativa de frecuencia $y(t)$ se expresa matemáticamente como:

$$y(t) = \frac{v(t) - v_{\text{nom}}}{v_{\text{nom}}}$$

4.5.3 exactitud de frecuencia: Magnitud máxima de la desviación relativa de frecuencia durante un periodo de tiempo especificado.

NOTA - La exactitud de frecuencia incluye la desviación de frecuencia inicial y cualquier efecto de envejecimiento y ambiental.

4.5.4 deriva de frecuencia: Cadencia de variación de la desviación relativa de frecuencia con respecto a un valor nominal especificado, causada por envejecimiento y efectos externos (radiación, presión, temperatura, humedad, fuente de alimentación, carga, etc.).

NOTAS

1 Los factores externos se deben indicar siempre claramente.

2 La deriva de frecuencia incluye no sólo la deriva de frecuencia lineal sino también cualquier otra deriva de frecuencia de orden superior.

4.5.5 estabilidad de frecuencia: Variación de frecuencia espontánea y/o ambiental en un intervalo de tiempo determinado.

NOTA - Se distingue generalmente entre efectos sistemáticos, tales como efectos de deriva de frecuencia (producidos por radiaciones, presión, temperatura, humedad, fuente de alimentación, carga, envejecimiento, etc.) y fluctuaciones de frecuencia estocásticas caracterizadas típicamente en el dominio del tiempo (se han desarrollado varianzas especiales para caracterizar estas fluctuaciones, tales como la varianza de Allan, varianza de Allan modificada y varianza de tiempo) y/o en el dominio de la frecuencia (tales como las densidades espectrales unilaterales).

4.5.6 gama de retención: La diferencia mayor entre una frecuencia de referencia de reloj subordinado y una frecuencia nominal especificada, dentro de la cual el reloj subordinado mantiene el enganche mientras la frecuencia varía de manera arbitrariamente lenta en la gama de frecuencias.

4.5.7 gama de enganche: La diferencia mayor entre una frecuencia de referencia de reloj subordinado y una frecuencia nominal, especificada, dentro de la cual el reloj subordinado pasará al modo enganchado.

4.5.8 gama de desenganche: Diferencia entre una frecuencia de referencia de reloj subordinado y una frecuencia nominal especificada, dentro de la cual el reloj subordinado permanece en el modo enganchado y fuera de la cual el reloj subordinado no puede mantener el modo enganchado, con independencia de la cadencia de variación de frecuencia.

4.5.9 señal de temporización: Señal nominalmente periódica, generada por un reloj, que se utiliza para controlar la temporización de las operaciones en equipos y redes digitales. Debido a perturbaciones inevitables, tales como las fluctuaciones de fase del oscilador, las señales de temporización reales son seudoperiódicas, es decir, los intervalos de tiempo entre instantes sucesivos

de igual fase presentan ligeras variaciones. La señal de temporización $s(t)$ se representa matemáticamente como sigue:

$$s(t) = A \cdot \text{sen} [\Phi(t)]$$

donde:

A es un coeficiente de amplitud constante

$\Phi(t)$ es la fase instantánea total, (modelada como se indica en el Apéndice I)

4.5.10 señal de temporización de referencia: Señal de temporización de comportamiento especificado que se puede utilizar como fuente de temporización para un reloj subordinado.

4.5.11 señal de temporización de referencia de medición: Señal de temporización con un comportamiento especificado utilizado como base de tiempo para mediciones de caracterización de reloj. La hipótesis básica es que su funcionamiento debe ser significativamente mejor que el reloj probado con respecto al parámetro que se prueba, para evitar comprometer los resultados de la prueba. Se deben indicar los parámetros de funcionamiento del patrón de frecuencia con todos los resultados de las pruebas.

4.5.12 función de tiempo: El tiempo de un reloj es la medida de tiempo ideal t proporcionada por ese reloj. La función de tiempo $T(t)$ generada por un reloj se define matemáticamente como sigue:

$$T(t) = \frac{\Phi(t)}{2\pi\nu_{nom}}$$

donde:

$\Phi(t)$ es la fase instantánea total de la señal de temporización en la salida de reloj

ν_{nom} es la frecuencia nominal del reloj

4.5.13 función de error de tiempo: El error de tiempo de un reloj, con respecto a un patrón de frecuencia, es la diferencia entre el tiempo de ese reloj y el del patrón de frecuencia. La función de error de tiempo $x(t)$ entre un reloj que genera el tiempo $T(t)$ y un reloj de referencia que genera el tiempo $T_{ref}(t)$, se define matemáticamente como sigue:

$$x(t) = T(t) - T_{ref}(t)$$

En un nivel de definición puramente abstracto, se puede considerar que el patrón de frecuencia es ideal (es decir, se puede suponer $T_{ref}(t) = t$). Como para fines de mediciones no es posible disponer de un tiempo ideal, el error de tiempo ideal no tiene interés práctico.

El error de tiempo es la función básica por la cual se pueden calcular diferentes parámetros de estabilidad diferentes (tales como MTIE, TIErms, varianza de Allan, etc.): como conocimiento continuo de la función $x(t)$ no es prácticamente asequible, se utilizan para este fin secuencias de muestras equiespaciadas $x_i = x(t_0 + i\tau_0)$.

Basado en un modelo adecuado de señales de temporización, se puede obtener un modelo de error de tiempo correspondiente, como figura en el Apéndice I.

4.5.14 función de error de intervalo de tiempo: Diferencia entre la medida de un intervalo de tiempo suministrado por un reloj y la medida de ese mismo intervalo de tiempo suministrado por un reloj de referencia. La función de error de intervalo de tiempo $TIE(t;\tau)$ se puede expresar matemáticamente como sigue:

$$TIE(t;\tau) = [T(t + \tau) - T(t)] - [T_{ref}(t + \tau) - T_{ref}(t)] = x(t + \tau) - x(t)$$

donde τ es el intervalo de tiempo. Medido, denominado usualmente *intervalo de observación*.

4.5.15 error de intervalo de tiempo máximo (MTIE): Variación de retardo cresta a cresta máxima de una determinada señal de temporización con respecto a una señal de temporización ideal durante un tiempo de observación ($\tau = n\tau_0$) para todos los tiempos de observación de esa duración dentro del periodo de medición (T). Se estima utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{MTIE}(n\tau_0) \cong \max_{1 \leq k \leq N-n} \left(\max_{k \leq i \leq k+n} x_i - \min_{k \leq i \leq k+n} x_i \right), \quad n = 1, 2, \dots, N-1$$

4.5.16 error de intervalo de tiempo relativo máximo (MRTIE): Variación de retardo cresta a cresta máxima de una señal de temporización dada con respecto a una señal de temporización ideal en un tiempo de observación ($\tau = n\tau_0$) para todos los tiempos de observación de esa duración dentro del periodo de medición (T).

4.5.17 desviación de tiempo (TDEV o σ_x): Medida de la variación de tiempo prevista de una señal en función del tiempo de integración. La TDEV también puede suministrar información sobre el contenido espectral del ruido de fase (o tiempo) de una señal, y se expresa en unidades de tiempo. En base a la secuencia de muestras de error de tiempo, TDEV se estima utilizando el siguiente cálculo:

$$\text{TDEV}(n\tau_0) \cong \sqrt{\frac{1}{6n^2(N-3n+1)} \sum_{j=1}^{N-3n+1} \left[\sum_{i=j}^{n+j-1} (x_{i+2n} - 2x_{i+n} + x_i) \right]^2}, \quad n = 1, 2, \dots, \text{parte entera} \left[\frac{N}{3} \right]$$

donde:

x_i son muestras de errores de tiempo

N es el número total de muestras

τ_0 es el intervalo de muestreo de error de tiempo

τ es el tiempo de integración, la variable independiente de TDEV

n es el número de intervalos de muestreo en el tiempo de integración τ

Así, el tiempo de integración es τ es igual a $n\tau_0$. El Apéndice II contiene información técnica sobre el parámetro TDEV.

NOTA - En algunos casos, los efectos sistemáticos, como los pasos de cuantificación de fase o frecuencia pueden enmascarar componentes de ruido. Véase también la subcláusula II.3 sobre las ventajas e inconvenientes.

4.5.18 varianza de tiempo (TVAR o σ_x^2): El cuadrado de la desviación de tiempo.

4.5.19 transitorio de fase: Perturbaciones en fase de duración limitada.

4.6 Definiciones específicas de SDH

4.6.1 reloj de equipo SDH (SEC): Función lógica que representa el reloj de equipo de un elemento de red SDH que posee las características de temporización indicadas en la Recomendación G.813.

4.6.2 fuente de temporización de equipo SDH (SETS): Función lógica que representa todas las funciones relacionadas con la sincronización que se han de considerar en un elemento de red SDH.

4.6.3 nodo de sincronización: Un nodo de sincronización consiste en una SSU y todos los SEC cubiertos sincronizados directamente a partir de esa SSU.

4.6.4 mensaje de estado de sincronización: Codificación del nivel de referencia de la fuente de temporización especificada en la Recomendación G.707.

5 Descripción de los componentes de variación de fase

La variación de fase se separa comúnmente en tres componentes: fluctuación de fase, fluctuación lenta de fase y efectos de las desviaciones y derivas de frecuencia. Además, las discontinuidades de fase debidas a perturbaciones transitorias, tales como reencaminamiento de la red, conmutación de protección automática, etc., puede ser también una fuente de variación de fase.

6 Degradaciones causadas por la variación de fase

6.1 Tipos de degradaciones

6.1.1 Errores

Los errores se pueden producir en puntos de regeneración de señales como resultado del desplazamiento de señales de temporización con respecto a sus posiciones óptimas en el tiempo.

6.1.2 Degradación de información analógica codificada digitalmente

La degradación de la información analógica codificada digitalmente puede producirse como resultado de la variación de fase de las muestras reconstruidas en el dispositivo de conversión digital-analógico en el extremo de la conexión. Puede tener una influencia considerable en las señales vídeo codificadas digitalmente.

6.1.3 Deslizamientos

Los deslizamientos se producen como resultado de la incapacidad de la memoria intermedia del equipo (y/u otros mecanismos) de acomodar las diferencias entre las fases y/o frecuencias de las señales entrantes y salientes cuando la temporización de la señal saliente no se obtiene de la temporización de la señal entrante. Los deslizamientos pueden ser controlados o incontrolados según la estrategia de control de los deslizamientos.

6.2 Control de las degradaciones

6.2.1 Errores

El objeto de las especificaciones de fluctuación de fase de la red y del equipo es asegurar que la fluctuación de fase no repercuta en la característica de error de la red.

6.2.2 Degradación de las señales analógicas con codificación digital

El objeto de las especificaciones de fluctuación de fase es proporcionar información suficiente para que los diseñadores de equipos puedan acomodar los niveles previstos de fluctuación de fase sin que se produzcan degradaciones inaceptables.

6.2.3 Deslizamientos

Los deslizamientos pueden producirse en múltiplex asíncronos y en diversos equipos síncronos. Dados los niveles especificados de variación de fase, los deslizamientos pueden ser minimizados en los múltiplex asíncronos mediante la elección apropiada de justificación y capacidad de memoria intermedia en los propios múltiplex. En los equipos síncronos, los deslizamientos pueden ser minimizados mediante la elección apropiada de capacidad de memoria intermedia y la especificación rigurosa del funcionamiento del reloj.

Debe señalarse que es imposible eliminar los deslizamientos cuando existe una diferencia de frecuencia entre las señales de temporización entrante y saliente. Los objetivos de característica de deslizamientos controlados de una conexión internacional se indican en la Recomendación G.822.

Pueden utilizarse diversas formas de alineación de equipos para reducir al mínimo la influencia de los deslizamientos. Son adecuados para la terminación de señales digitales los dos dispositivos de alineación de equipos siguientes:

- alineador de trama;
- alineador de intervalo de tiempo.

6.2.3.1 Alineador de trama

Cuando se utiliza un alineador de trama, un deslizamiento consistirá en la inserción o supresión de un conjunto de dígitos consecutivos equivalente a una trama. En el caso de las estructuras de trama definidas en la Recomendación G.704, el deslizamiento puede consistir en una trama completa. Es importante que los retardos máximo y medio introducidos por el alineador de trama sean lo más pequeños posible para minimizar el retardo. Es también importante que, después de que el alineador de trama ha producido un deslizamiento, sea capaz de absorber otros cambios sustanciales en el instante de llegada de las señales de alineación de trama antes de que sea necesario otro deslizamiento.

6.2.3.2 Alineador de intervalo de tiempo

Cuando se utiliza un alineador de intervalo de tiempo, un deslizamiento consistirá en la inserción o supresión de ocho posiciones de dígitos consecutivas de un intervalo de tiempo de canal en uno o más canales a 64 kbit/s. Como los deslizamientos pueden producirse en diferentes canales en diferentes instantes, se necesitarán disposiciones de control especiales en los conmutadores si ha de mantenerse la integridad de la secuencia de octetos de los servicios multintervalo.

7 Objeto de las especificaciones de variación de fase

7.1 Fluctuación de fase

Los requisitos de fluctuación de fase de la interfaz de nodo de red indicados en las Recomendaciones G.823, G.824 y G.825 pertenecen a dos categorías básicas:

- especificación de la fluctuación de fase máxima admisible a la salida de las interfaces jerárquicas;
- especificaciones de prueba en régimen forzado a la fluctuación de fase sinusoidal para asegurar que los puertos de salida puedan admitir los niveles previstos de fluctuación de fase de la red.

En las Recomendaciones apropiadas relativas a equipos, figuran otros requisitos de fluctuación de fase.

7.2 Fluctuación lenta de fase

Los requisitos correspondientes de fluctuación lenta de fase pertenecen a las categorías siguientes:

- i) fluctuación lenta de fase máxima admisible a la salida de nodos de red de sincronización;
- ii) pruebas en régimen forzado para asegurar que los puertos de entrada de equipos síncronos pueden admitir los niveles previstos de fluctuación lenta de fase de la red;
- iii) las especificaciones de fluctuación lenta de fase para relojes subordinados y de referencia primarios pueden incluir:
 - a) fluctuación lenta de fase de salida intrínseca en condiciones de funcionamiento enganchado;
 - b) fluctuación lenta de fase de salida intrínseca en condiciones de funcionamiento libre;

- c) fluctuación lenta de fase de salida en condiciones de prueba en régimen forzado;
- d) características de transferencia de fluctuación lenta de fase.

Los requisitos existentes para los relojes primarios y subordinados figuran en las Recomendaciones G.811, G.812 y G.813.

El objeto de esas Recomendaciones es no sólo especificar límites de acumulación de fluctuación lenta de fase admisible en los trayectos de transmisión, sino también de acumulación de fluctuación lenta de fase en los trayectos de distribución de sincronización producida por relojes en cascada.

8 Estructura de las redes de sincronización

8.1 Modos de sincronización

Las redes internacionales trabajan normalmente entre sí en modo plesiócrono.

Las redes nacionales pueden ser de los siguientes tipos:

- totalmente sincronizadas, controladas por uno o varios relojes de referencia primarios;
- totalmente plesiócronas;
- mixtas, en las cuales las subredes sincronizadas son controladas por uno o varios relojes de referencia primarios que funcionan plesiócronamente entre sí.

8.2 Redes de sincronización

Hay dos métodos fundamentales de sincronización de relojes nodales:

- sincronización maestro-subordinado;
- sincronización mutua.

El sistema de sincronización maestro-subordinado tiene un solo reloj de referencia primario al que están enganchados en fase todos los demás relojes. La sincronización se obtiene transmitiendo la señal de temporización de un reloj al siguiente. Pueden establecerse jerarquías de relojes, subordinando algunos relojes a relojes de orden superior, que a su vez hacen de relojes maestros con otros de orden inferior.

En un sistema de sincronización mutua, todos los relojes están interconectados; no hay ninguna estructura jerárquica subyacente ni reloj de referencia primario único.

Algunas estrategias de sincronización prácticas combinan las técnicas de sincronización maestro-subordinado y de sincronización mutua.

9 Configuraciones de medición

Cuando se mide la calidad de funcionamiento de los relojes, la configuración de medición influirá en los resultados de las pruebas. En consecuencia, todas las Recomendaciones sobre sincronización y temporización deben especificar una de las siguientes configuraciones de medición.

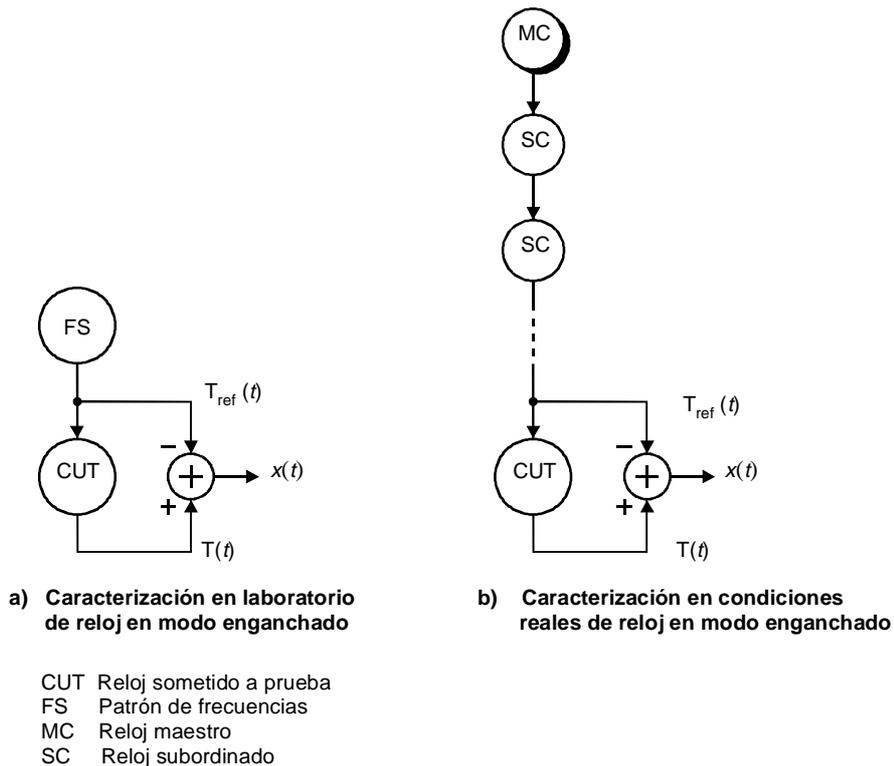
9.1 Configuración de medición de relojes sincronizados

Cuando las dos señales de temporización que intervienen en la medición de error de tiempo están asociadas a un reloj maestro común, se dice que la configuración de medición es una configuración de relojes sincronizados. En la Figura 1 se muestran dos casos de interés práctico en los que se aplican esta configuración. El error de tiempo medido en una configuración de relojes sincronizados no es afectado por la deriva ni por el desplazamiento de frecuencia del reloj maestro común, como se

muestra en el Apéndice I. Los parámetros de estabilidad calculados a partir de tales valores de error de tiempo sólo reflejan el ruido de fase interno de los relojes que intervienen en la medición.

9.2 Configuración de medición de relojes independientes

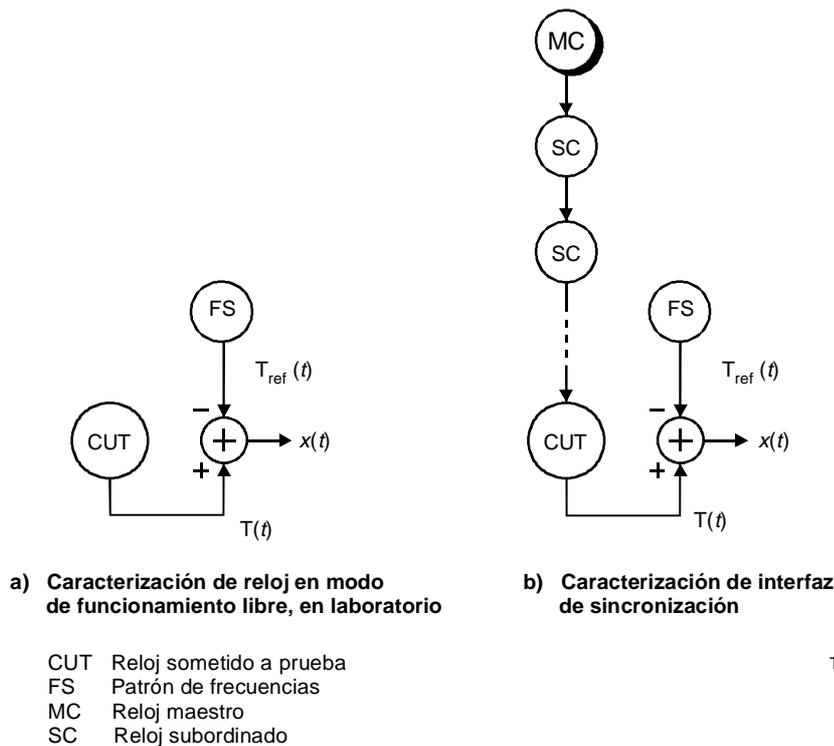
Cualquier situación en la que no hay un reloj maestro común que controla las señales de temporización, entre las cuales se mide el error de tiempo, es una configuración de relojes independientes. En la Figura 2 se muestran ejemplos donde se aplica esta configuración. El error de tiempo medido en una configuración de relojes independientes, además de depender de los ruidos de reloj internos, es afectado por cualquier desplazamiento de frecuencia o deriva de frecuencia de los relojes que intervienen en la medición.



T1308780-96

FIGURA 1/G.810

Ejemplos de medición de error de tiempo en configuración de relojes sincronizados



T1308790-96

FIGURA 2/G.810

Ejemplos de medición de error de tiempo en una configuración de relojes independientes

Apéndice I

Modelos matemáticos de señales de temporización

I.1 Modelo de fase instantáneo total de una señal de temporización ideal

La fase total $\Phi_{id}(t)$ de una señal de temporización ideal se modela como sigue:

$$\Phi_{id}(t) = 2\pi v_{nom} t$$

donde:

v_{nom} se denomina *frecuencia nominal*

I.2 Modelo de fase instantáneo total de señales de temporización reales

En señales de temporización reales $\Phi(t)$ se modela como:

$$\Phi(t) = \Phi_0 + 2\pi v_{nom} (1 + y_0)t + \pi D v_{nom} t^2 + \varphi(t)$$

donde:

Φ_0 es la desviación de fase inicial

y_0 es la desviación de frecuencia relativa con respecto al valor nominal v_{nom} (debido principalmente a la precisión de frecuencia finita del reloj)

D es la velocidad de la deriva de frecuencia relativa lineal (que representa básicamente los efectos de envejecimiento del oscilador)

$\varphi(t)$ es la componente de desviación de fase aleatoria

I.3 Modelo de error de tiempo

Basado en la definición de error de tiempo y el modelo anterior de $\Phi(t)$, resulta el siguiente modelo para $x(t)$.

$$x(t) = x_0 + (y_0 - y_{0,\text{ref}})t + \frac{D - D_{\text{ref}}}{2}t^2 + \frac{\varphi(t) - \varphi_{\text{ref}}(t)}{2\pi\nu_{\text{nom}}}$$

NOTA - Algunos autores indican por $x(t)$ la componente de ruido aleatorio solamente (es decir, el último término en la ecuación precedente), mientras que aquí $x(t)$ representa el error de tiempo global (es decir, en $x(t)$ también se incluyen los componentes determinísticos, si los hubiera, como se muestra en el modelo precedente).

Si se supone que para la medición de $x(t)$ se aplica la configuración de relojes independientes y que el reloj de referencia se elige correctamente (es decir, todas sus fuentes de degradación $-y_{0,\text{ref}}$, D_{ref} y $\varphi_{\text{ref}}(t)$ son despreciables comparadas con las del reloj sometido a prueba), el modelo $x(t)$ se reduce a:

$$x(t) = x_0 + y_0t + \frac{D}{2}t^2 + \frac{\varphi(t)}{2\pi\nu_{\text{nom}}}$$

Cuando se aplica la configuración de relojes sincronizados y todos los relojes subordinados que intervienen en la distribución de la temporización (incluido el reloj que se prueba) funcionan en el modo enganchado, se puede suponer que $y_{0,\text{ref}} = y_0$ y que $D_{\text{ref}} = D$, el modelo $x(t)$ se reduce entonces a:

$$x(t) = x_0 + \frac{\varphi(t) - \varphi_{\text{ref}}(t)}{2\pi\nu_{\text{nom}}}$$

Apéndice II

Definiciones y propiedades de las magnitudes de estabilidad en frecuencia y estabilidad en el tiempo

Para caracterizar la estabilidad en el tiempo, los organismos de normalización consideran de interés las cinco magnitudes siguientes:

- desviación de Allan (ADEV);
- ADEV modificada (MDEV);
- desviación en el tiempo (TDEV);
- valor cuadrático medio del error de intervalo de tiempo (TIErms);
- error de intervalo de tiempo máximo (MTIE).

En las subcláusulas II.1 a II.5 las diversas magnitudes de estabilidad se caracterizan conforme al esquema precedente:

- la definición formal desde el punto de vista de la función de error de tiempo $x(t)$;
- la expresión estimador desde el punto de vista de una versión muestreada de $x(t)$, es decir en relación con la secuencia de N valores $x_i = x(i\tau_0)$, donde τ_0 es el periodo de muestreo e $i = 1, 2, \dots, N$;
- relación integral de dominio tiempo/dominio de frecuencia entre la densidad espectral de potencia $S_\varphi(f)$ y la desviación de fase aleatoria $\varphi(t)$ que afectan a una señal de temporización y a la magnitud considerada;

- el comportamiento de la magnitud cuando la señal de temporización es afectada por ruido de los tipos más comunes, a saber, modulación de fase de ruido blanco (WPM), modulación de fase por centelleo (FPM), modulación de frecuencia de ruido blanco (WFM), modulación de frecuencia por centelleo (FFM) y modulación de frecuencia de recorrido aleatorio (RWFM);
- el comportamiento de la magnitud cuando la señal de temporización es afectada por el desplazamiento y deriva de frecuencia;
- las ventajas e inconvenientes, así como información técnica sobre el método de medición y sobre la utilidad en el diseño de redes de sincronización.

En lo que respecta a las definiciones formales de ADEV y MDEV desde el punto de vista de $x(t)$, se debe señalar que la función $x(t)$ sólo tiene en cuenta los efectos de ruido aleatorio, mientras que aquí, por razones prácticas y sin pérdida de generalidad, se supone que $x(t)$ también incluye componentes determinísticos, si los hubiera.

II.1 Desviación de Allan (ADEV)

En esta magnitud, $x(t)$ es la función de error de tiempo, $\{x_i = x(i\tau_0), i = 1, 2, \dots, N\}$ es una secuencia de N muestras igualmente espaciadas de $x(t)$, τ_0 es el periodo de muestreo y $\tau = n\tau_0$ es el intervalo de observación.

Definición

La desviación de Allan ADEV(τ) se define como:

$$\text{ADEV}(\tau) = \sqrt{\frac{1}{2\tau^2} \left\langle [x(t+2\tau) - 2x(t+\tau) + x(t)]^2 \right\rangle}$$

donde los corchetes angulares indican una media de conjunto. Para tipos de ruido de ley exponencial, el resultado es el mismo si la media de conjunto se sustituye por un promedio de tiempo infinito, siempre que el cuadrado de la segunda diferencia se tome antes del promedio de tiempo infinito.

Fórmula del estimador

La ADEV($n\tau_0$) se puede estimar por medio de:

$$\text{ADEV}(n\tau_0) \cong \sqrt{\frac{1}{2n^2\tau_0^2(N-2n)} \sum_{i=1}^{N-2n} (x_{i+2n} - 2x_{i+n} + x_i)^2}, n = 1, 2, \dots, \text{parte entera} \left(\frac{N-1}{2} \right);$$

Relación integral dominio de frecuencia/dominio de tiempo.

La desviación de Allan de una señal de temporización se relaciona con la densidad espectral de potencia $S_\varphi(f)$ de su desviación de fase aleatoria $\varphi(t)$ mediante la siguiente relación integral:

$$\text{ADEV}(\tau) = \sqrt{\frac{2}{(\pi v_{\text{nom}} \tau)^2} \int_0^{f_h} S_\varphi(f) \text{sen}^4(\pi \tau f) df}$$

donde, v_{nom} es la frecuencia nominal de la señal de temporización y f_h es la anchura de banda del sistema de medición. La relación precedente se mantiene en la hipótesis de que ningún componente determinístico afecta a los datos de error de tiempo utilizados para calcular ADEV(τ).

Característica de ruido

La ADEV(τ) converge para todos los tipos de ruido importantes que afectan a las señales de temporización reales. En el Cuadro II.1 se indican las pendientes características de ADEV(τ) para diferentes tipos de ruido. La ADEV(τ) no permite discriminar entre ruidos WPM y FPM.

CUADRO II.1/G.810

Proceso de ruido	Pendiente de ADEV(τ)
WPM	τ^{-1}
FPM	τ^{-1}
WFM	$\tau^{-1/2}$
FFM	τ^0
RWFM	$\tau^{1/2}$

Desplazamiento y deriva de frecuencia

Cualquier desplazamiento de frecuencia constante de una señal de temporización con respecto a un reloj de referencia, no tiene influencia sobre ADEV(τ).

Para intervalos de observación τ donde predomina una deriva de frecuencia lineal, ADEV(τ) se comporta como τ .

Ventajas e inconvenientes

El comportamiento de ADEV(τ) es esencialmente independiente del periodo de muestreo τ_0 .

ADEV suministra más información sobre el ruido de reloj que MTIE, pero no es adecuada para la caracterización de la memoria intermedia.

ADEV es sensible a efectos sistemáticos, que podrían enmascarar componentes de ruido. Se debe hacer el filtrado adecuado en la señal medida antes de efectuar el cálculo de ADEV. La fluctuación lenta de fase diurna constituye un ejemplo de efecto sistemático.

El resultado de ADEV procedente de mediciones de red podría estar fuertemente influenciado por efectos sistemáticos.

II.2 Desviación a Allan modificada (MDEV)

En esta magnitud, $x(t)$ es la función de error de tiempo, $\{x_i = x(i\tau_0), i = 1, 2, \dots, N\}$ es una secuencia de N muestras igualmente espaciadas de $x(t)$, τ_0 es el periodo de muestreo y $\tau = n\tau_0$ es el intervalo de observación.

Definición

La desviación de Allan modificada, MDEV($n\tau_0$) se define como:

$$\text{MDEV}(n\tau_0) = \sqrt{\frac{1}{2(n\tau_0)^2} \left\langle \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{i+2n} - 2x_{i+n} + x_i) \right]^2 \right\rangle}$$

donde los corchetes angulares indican una media de conjunto. Para tipos de ruido de ley exponencial, el resultado es el mismo si la media de conjunto se sustituye por un promedio de tiempo infinito,

siempre que el cuadrado de la segunda diferencia promediada en $n\tau_0$ se tome antes del promedio de tiempo infinito.

Fórmula del estimador

MDEV($n\tau_0$) se puede estimar con la siguiente ecuación:

$$\text{MDEV}(n\tau_0) \cong \sqrt{\frac{1}{2n^4\tau_0^2(N-3n+1)} \sum_{j=1}^{N-3n+1} \left[\sum_{i=j}^{n+j-1} (x_{i+2n} - 2x_{i+n} + x_i) \right]^2}, n = 1, 2, \dots, \text{ parte entera } \left[\frac{N}{3} \right]$$

Relación integral dominio de la frecuencia/dominio del tiempo

La desviación de Allan modificada de una señal de temporización se relaciona con la densidad espectral de potencia $S_\phi(f)$ de su desviación de fase aleatoria $\phi(t)$ mediante la siguiente relación integral:

$$\text{MDEV}(n\tau_0) = \sqrt{\frac{2}{(\pi v_{\text{nom}} n^2 \tau_0)^2} \int_0^{f_h} S_\phi(f) \frac{\text{sen}^6(\pi n \tau_0 f)}{\text{sen}^2(\pi \tau_0 f)} df}$$

donde, v_{nom} es la frecuencia nominal de la señal de temporización y f_h es la anchura de banda del sistema de medición. Esta relación se mantiene en la hipótesis de que ningún componente determinístico afecta a los datos de error de tiempo utilizados para calcular MDEV($n\tau_0$).

Característica de ruido

MDEV(τ) converge para todos los tipos de ruido importantes que afectan a las señales de temporización reales. En el Cuadro II.2 se indican las pendientes de MDEV(τ) características, para diferentes tipos de ruido, donde se muestra que MDEV(τ) permite discriminar los cinco tipos de ruido.

CUADRO II.2/G.810

Proceso de ruido	Pendiente de MDEV(τ)
WPM	$\tau^{-3/2}$
FPM	τ^{-1}
WFM	$\tau^{-1/2}$
FFM	τ^0
RWFM	$\tau^{1/2}$

Desplazamiento y deriva de frecuencia

Cualquier desplazamiento de frecuencia constante de una señal de temporización, con respecto al reloj de referencia, no tiene influencia sobre MDEV(τ).

En intervalos de observación τ donde predomina una deriva de frecuencia lineal, MDEV(τ) se comporta como τ .

Ventajas e inconvenientes

En intervalos de observación en los que predomina el ruido WPM, el comportamiento de MDEV(τ) depende sustancialmente del periodo de muestreo τ_0 .

MDEV suministra más información sobre el ruido de reloj que MTIE, pero no es adecuada para la caracterización de la memoria intermedia.

MDEV es sensible a efectos sistemáticos que podrían enmascarar componentes de ruido. Se debe hacer el filtrado adecuado en la señal medida antes de efectuar el cálculo de MDEV. La fluctuación lenta de fase diurna constituye un ejemplo de efecto sistemático.

El resultado de MDEV procedente de mediciones de red podría estar fuertemente influenciado por efectos sistemáticos.

II.3 Desviación de tiempo (TDEV)

En esta magnitud, $x(t)$ es la función de error de tiempo, $\{x_i = x(i\tau_0), i = 1, 2, \dots, N\}$ es una secuencia de N muestras igualmente espaciadas de $x(t)$, τ_0 es el periodo de muestreo y $\tau = n\tau_0$ es el intervalo de observación.

Definición

La desviación de tiempo, TDEV ($n\tau_0$) se define como:

$$\text{TDEV}(n\tau_0) = \sqrt{\frac{1}{6n^2} \left\langle \left[\sum_{i=1}^n (x_{i+2n} - 2x_{i+n} + x_i) \right]^2 \right\rangle} = \frac{n\tau_0}{\sqrt{3}} \text{MDEV}(n\tau_0)$$

donde los corchetes angulares indican una media de conjunto. Para tipos de ruido de ley exponencial, el resultado es el mismo si la media de conjunto se sustituye por un promedio de tiempo infinito, siempre que el cuadrado de la segunda diferencia promediado en $n\tau_0$ se tome antes del promedio de tiempo infinito.

Fórmula del estimador

TDEV($n\tau_0$) se puede estimar por medio de:

$$\text{TDEV}(n\tau_0) \cong \sqrt{\frac{1}{6n^2 (N - 3n + 1)} \sum_{j=1}^{N-3n+1} \left[\sum_{i=j}^{n+j-1} (x_{i+2n} - 2x_{i+n} + x_i) \right]^2}, n = 1, 2, \dots, \text{parte entera} \left[\frac{N}{3} \right]$$

Relación integral dominio de la frecuencia/dominio del tiempo

La desviación de tiempo de una señal de temporización se relaciona con la densidad espectral de potencia $S_\varphi(f)$ de su desviación de fase aleatoria $\varphi(t)$ mediante la siguiente relación integral.

$$\text{TDEV}(\tau) = \sqrt{\frac{2}{3(\pi v_{\text{nom}} n)^2} \int_0^{f_h} S_\varphi(f) \frac{\text{sen}^6(\pi n \tau_0 f)}{\text{sen}^2(\pi \tau_0 f)} df}$$

donde v_{nom} es la frecuencia nominal de la señal de temporización y f_h es la anchura de banda del sistema de medición. La relación precedente se mantiene en la hipótesis de que ningún componente determinístico afecta a los datos de error de tiempo utilizados para calcular TDEV($n\tau_0$).

Característica de ruido

TDEV(τ) converge para todos los tipos de ruido importantes que afectan a las señales de temporización reales. En el Cuadro II.3 se indican las pendientes de TDEV(τ) para diferentes tipos de ruido. TDEV(τ) permite discriminar entre ruidos WPM y FPM.

CUADRO II.3/G.810

Proceso de ruido	Pendiente de TDEV(τ)
WPM	$\tau^{-1/2}$
FPM	τ^0
WFM	$\tau^{1/2}$
FFM	τ
RWFM	$\tau^{3/2}$

Desplazamiento y deriva de frecuencia

Cualquier desplazamiento de frecuencia constante de una señal de temporización, con respecto a un reloj de referencia, no tiene influencia sobre TDEV(τ).

Para intervalos de observación τ en el que domina una deriva de frecuencia lineal, la TDEV(τ) se comporta como τ^2 .

Ventajas e inconvenientes

En intervalos de observación en los que predomina el ruido WPM, el comportamiento de TDEV(τ) depende sustancialmente del periodo de muestreo τ_0 .

TDEV suministra más información sobre el ruido de reloj que MTIE, pero no es adecuada para la caracterización de la memoria intermedia.

TDEV es sensible a efectos sistemáticos, que podrían enmascarar componentes de ruido. Se debe hacer el filtrado adecuado en la señal medida antes de efectuar el cálculo de TDEV. La fluctuación lenta de fase diurna constituye un ejemplo de efecto sistemático.

El resultado de TDEV procedente de mediciones de red podría estar fuertemente influenciado por efectos sistemáticos.

II.4 Valor cuadrático medio del error de intervalo de tiempo (TIErms)

En esta magnitud, $x(t)$ es la función de error de tiempo, $\{x_i = x(i\tau_0), i = 1, 2, \dots, N\}$ es una secuencia de N muestras igualmente espaciadas de $x(t)$, τ_0 es el periodo de muestreo y $\tau = n\tau_0$ es el intervalo de observación.

Definición

El valor cuadrático medio del error de intervalo de tiempo TIErms(τ) se define como:

$$\text{TIErms}(\tau) = \sqrt{\left\langle [x(t+\tau) - x(t)]^2 \right\rangle}$$

donde los corchetes angulares indican una media de conjunto. Para tipos de ruido en que el espectro de los valores TIE sigue una ley exponencial con un exponente de -1 o menor, la sustitución del promedio de conjunto por un promedio de tiempo infinito produce una expresión que diverge.

Fórmula del estimador

El TIErms($n\tau_0$) se puede estimar mediante la siguiente expresión:

$$\text{TIErms}(n\tau_0) \cong \sqrt{\frac{1}{N-n} \sum_{i=1}^{N-n} (x_{i+n} - x_i)^2}, \quad n = 1, 2, \dots, N-1$$

Para tipos de ruido en los que espectro de los valores TIE sigue una ley exponencial con un exponente de -1 o menor, la fórmula del estimador diverge.

Relación integral dominio de la frecuencia/dominio del tiempo

El valor cuadrático medio del error de intervalo de tiempo de una señal de temporización se relaciona con la densidad espectral de potencia $S_\varphi(f)$ de su desviación de fase aleatoria $\varphi(t)$ mediante la siguiente relación integral:

$$\text{TIErms}(\tau) = \sqrt{\frac{1}{(v_{\text{nom}}\tau)^2} \int_0^{f_h} S_\varphi(f) \text{sen}^2(\pi\tau f) df}$$

donde v_{nom} es la frecuencia nominal de la señal de temporización y f_h es la anchura de banda del sistema de medición. La relación precedente se mantiene en la hipótesis de que ningún componente determinístico afecta a los datos de error de tiempo utilizados para calcular $\text{TIErms}(\tau)$.

Característica de ruido

$\text{TIErms}(\tau)$ no converge teóricamente en presencia de ruidos FFM y RWFM. En el Cuadro II.4 se indican las pendientes de $\text{TIErms}(\tau)$ características para diferentes tipos de ruido.

CUADRO II.4/G.810

Proceso de ruido	Pendiente de $\text{TIErms}(\tau)$
WPM	τ^0
FPM	τ^0
WFM	$\tau^{1/2}$

Desplazamiento y deriva de frecuencia

Para intervalos de observación τ en los que predomina el desplazamiento de frecuencia constante, $\text{TIErms}(\tau)$ se comporta como τ .

Para intervalos de observación τ en los que predomina una deriva de frecuencia lineal, $\text{TIErms}(\tau)$ no converge teóricamente a un valor finito. Desde el punto de vista de la medición, se espera que esta circunstancia aumente el valor de $\text{TIErms}(\tau)$ estimado como el número N de muestras x_i y, por tanto, se incrementa el tiempo promedio total.

Ventajas e inconvenientes

El comportamiento de $\text{TIErms}(\tau)$ es substancialmente independiente del periodo de muestreo τ_0 .

II.5 Error de intervalo de tiempo máximo (MTIE)

En lo que sigue, $x(t)$ es la función de error de tiempo, $\{x_i = x(i\tau_0), i = 1, 2, \dots, N\}$ es una secuencia de N muestras igualmente espaciadas de $x(t)$, τ_0 es el periodo de muestreo y $\tau = n\tau_0$ es el intervalo de observación.

x_β el β -ésimo percentil de la variable aleatoria X . Así, un intervalo de confianza para x_β expresado como la probabilidad de que x_β esté entre las muestras X_r y X_s (con $r < s$), viene dado por:

$$P\{X_r \leq x_\beta \leq X_s\} = \sum_{k=r}^{s-1} \frac{M!}{k!(M-k)!} \beta^k (1-\beta)^{M-k}$$

donde $P\{\cdot\}$ indica probabilidad.

Desplazamiento y deriva de frecuencia

En intervalos de observación τ en los que predomina el desplazamiento de frecuencia, $MTIE(\tau)$ se comporta como τ .

En intervalos de observación τ en los que predomina una deriva de frecuencia lineal, $MTIE(\tau)$ no está limitado teóricamente. Desde el punto de vista de la medición, se espera que esta circunstancia aumente el valor de $MTIE(\tau)$ estimado a medida que aumenta el tiempo de observación total (es decir, la longitud N de los datos x_i).

Ventajas e inconvenientes

El comportamiento de $MTIE(\tau)$ es sustancialmente independiente del periodo de muestreo τ_0 .

$MTIE$ (y $MRTIE$) es muy adecuado para la caracterización del tamaño de la memoria intermedia.

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie B	Medios de expresión
Serie C	Estadísticas generales de telecomunicaciones
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Red telefónica y RDSI
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
Serie G	Sistemas y medios de transmisión
Serie H	Transmisión de señales no telefónicas
Serie I	Red digital de servicios integrados (RDSI)
Serie J	Transmisiones de señales radiofónicas y de televisión
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	Mantenimiento: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Equipos terminales y protocolos para los servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos y comunicación entre sistemas abiertos
Serie Z	Lenguajes de programación