

Reemplazada por una versión más reciente



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.823

(03/93)

REDES DIGITALES

**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**

Recomendación UIT-T G.823

Reemplazada por una versión más reciente

(Anteriormente «Recomendación del CCITT»)

Reemplazada por una versión más reciente

PREFACIO

El Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT (UIT-T) es un órgano permanente de la Unión Internacional de Telecomunicaciones. El UIT-T tiene a su cargo el estudio de las cuestiones técnicas, de explotación y de tarificación y la formulación de Recomendaciones al respecto con objeto de normalizar las telecomunicaciones sobre una base mundial.

La Conferencia Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (CMNT), que se reúne cada cuatro años, establece los temas que habrán de abordar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que preparan luego Recomendaciones sobre esos temas.

La Recomendación UIT-T G.823, revisada por la Comisión de Estudio XVIII (1988-1993) del UIT-T, fue aprobada por la CMNT (Helsinki, 1-12 de marzo de 1993).

NOTAS

1 Como consecuencia del proceso de reforma de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), el CCITT dejó de existir el 28 de febrero de 1993. En su lugar se creó el 1 de marzo de 1993 el Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT (UIT-T). Igualmente en este proceso de reforma, la IFRB y el CCIR han sido sustituidos por el Sector de Radiocomunicaciones.

Para no retrasar la publicación de la presente Recomendación, no se han modificado en el texto las referencias que contienen los acrónimos «CCITT», «CCIR» o «IFRB» o el nombre de sus órganos correspondientes, como la Asamblea Plenaria, la Secretaría, etc. Las ediciones futuras en la presente Recomendación contendrán la terminología adecuada en relación con la nueva estructura de la UIT.

2 Por razones de concisión, el término «Administración» se utiliza en la presente Recomendación para designar a una administración de telecomunicaciones y a una empresa de explotación reconocida.

© UIT 1993

Reservados todos los derechos. No podrá reproducirse o utilizarse la presente Recomendación ni parte de la misma de cualquier forma ni por cualquier procedimiento, electrónico o mecánico, comprendidas la fotocopia y la grabación en micropelícula, sin autorización escrita de la UIT.

Reemplazada por una versión más reciente

ÍNDICE

	<i>Página</i>
1 Alcance	1
2 Límites de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase máximas de salida en cualquier interfaz jerárquica de la red	1
2.1 Límites de fluctuación de fase en la red	1
2.2 Límites de fluctuación lenta de fase en la red.....	3
3 Límites de fluctuación de fase apropiados para los equipos digitales.....	3
3.1 Principios básicos de especificación	3
3.2 Secciones digitales	5
3.3 Equipos multiplexores-demultiplexores digitales.....	7
4 Directrices para la medición de la fluctuación de fase.....	7
4.1 Mediciones efectuadas utilizando una señal de tráfico indefinida	7
4.2 Mediciones efectuadas utilizando una determinada secuencia de prueba.....	7
4.3 Señales de prueba aplicadas a dispositivos de procesamiento de señales que forman parte integrante de sistemas de transmisión.....	8
5 Acumulación de fluctuación de fase en las redes digitales.....	8
Anexo A – Utilización de una secuencia binaria pseudoaleatoria para la medición de la fluctuación de fase en sistemas de línea digital, sistemas radioeléctricos y sistemas de fibra óptica	9
A.1 Relación entre una medición basada en el tráfico aleatorio y una medición basada en una secuencia binaria pseudoaleatoria	9
A.2 Contenido espectral de la secuencia binaria pseudoaleatoria	9
Anexo B – Acumulación de fluctuación de fase en redes digitales y directrices relativas	10
B.1 Acumulación de fluctuación de fase en redes digitales	10
B.2 Directrices sobre la aplicación práctica de las relaciones de acumulación de fluctuación de fase en una red digital.....	13
Anexo C – Modelo de referencia de la fluctuación lenta de fase para nodos de red	13
Referencias	15

Reemplazada por una versión más reciente

Recomendación G.823

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

(Melbourne, 1988; revisada en Helsinki, 1993)

1 Alcance

En una red de transmisión, la fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase se acumulan de acuerdo con las características de generación y transferencia de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase de cada equipo conectado. Estos equipos pueden ser diferentes tipos de multiplexores/demultiplexores y sistemas de línea.

Una fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase excesivas pueden perjudicar tanto a las señales digitales (generación de bits erróneos, deslizamientos incontrolados) como a las analógicas (modelación de fase no deseada de la señal transmitida). Por tanto, es necesario fijar límites de fluctuación de fase y de fluctuación lenta de fase en las interfaces de red, con el fin de garantizar una adecuada calidad de las señales transmitidas.

El objeto de esta Recomendación es definir los parámetros y valores necesarios para un control eficaz de la magnitud de la fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase presentes en las interfaces de red de las jerarquías digitales plesiócronicas (PDH).

La presente Recomendación se aplica a las redes que utilizan la jerarquía digital basada en la velocidad binaria del primer nivel de 2 048 kbit/s. En la Recomendación G.703 figuran las características eléctricas de las interfaces de red pertinentes.

Los principios del control de la fluctuación de fase responden a la necesidad de:

- recomendar un límite máximo para la red, que no debe rebasarse en ninguna interfaz jerárquica;
- recomendar un marco coherente para la especificación de los distintos equipos digitales;
- facilitar informaciones y directrices suficientes para que las organizaciones puedan medir y estudiar la acumulación de fluctuación de fase en cualquier configuración de red.

2 Límites de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase máximas de salida en cualquier interfaz jerárquica de la red

2.1 Límites de fluctuación de fase en la red

Los límites indicados en el Cuadro 1 representan los niveles máximos admisibles de fluctuación de fase en interfaces jerárquicas dentro de una red digital. Los límites deben cumplirse en todas las condiciones de funcionamiento y cualquiera que sea la cantidad de equipos que precedan a la interfaz. Estos límites de red son compatibles con la tolerancia mínima de fluctuación de fase que todos los puertos de entrada de los equipos deben proporcionar.

En las redes operacionales, para compensar la acumulación progresiva y la transferencia continua de fluctuación de fase en elementos de red y a través de elementos de red conectados en serie (como regeneradores, etc.) será generalmente necesario controlar la fluctuación de fase a un nivel conveniente *más bajo* que el límite máximo admisible. Además, en las largas rutas de transmisión con un gran número de secciones en cascada, pueden necesitarse equipos que proporcionen una reducción de la fluctuación de fase para evitar que se rebase el límite de red y la tolerancia de fluctuación de fase de los equipos individuales. En situaciones en que la máxima amplitud admisible de fluctuación de fase se produce en una interfaz entre dos países, la adopción de medidas correctivas apropiadas se deja en manos de las Administraciones nacionales. Es improbable que esta situación se produzca frecuentemente.

El montaje para la medición de la fluctuación de fase a la salida en una interfaz digital se ilustra en la Figura 1. Los valores específicos de los límites de la fluctuación de fase y de las frecuencias de corte de los filtros para los distintos niveles jerárquicos se indican en el Cuadro 1. La respuesta de frecuencia de los filtros asociados a los aparatos de medida debe tener un régimen de decremento de 20 dB/década. En la Recomendación O.171 se describe un aparato de medida apropiado.

Reemplazada por una versión más reciente

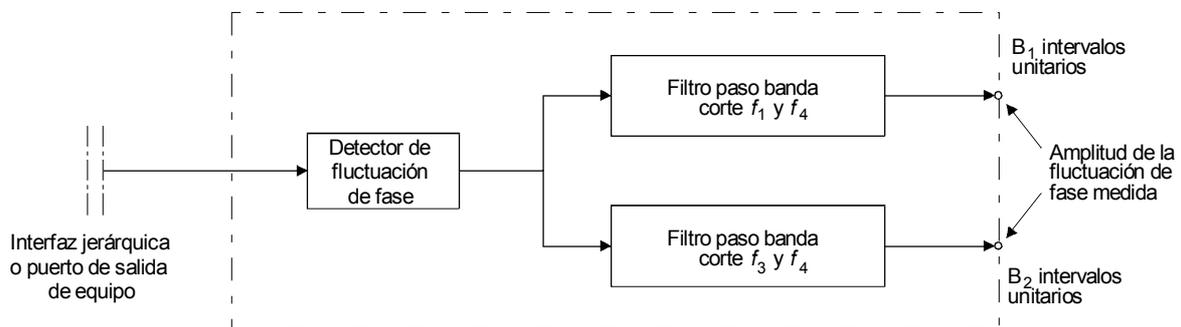
CUADRO 1/G.823

Fluctuación de fase máxima admisible en una interfaz jerárquica

Valor del parámetro → Velocidad binaria (kbit/s) ↓	Límite de red		Anchura de banda del filtro de medición		
	B ₁ Intervalo unitario cresta a cresta	B ₂ Intervalo unitario cresta a cresta	Filtro paso banda con una frecuencia de corte inferior f_1 o f_3 y una frecuencia de corte superior f_4		
			f_1	f_3	f_4
64 (Nota 1)	0,25	0,05	20 Hz	3 kHz	20 kHz
2 048	1,5	0,2	20 Hz	18 kHz (700 Hz)	100 kHz
8 448	1,5	0,2	20 Hz	3 kHz (80 kHz)	400 kHz
34 368	1,5	0,15	100 Hz	10 kHz	800 kHz
139 264	1,5	0,075	200 Hz	10 kHz	3500 kHz

NOTAS

- Sólo para la interfaz codireccional.
- Los valores de frecuencias que figuran entre paréntesis son aplicables solamente a ciertas interfaces nacionales.
- UI Intervalo unitario:
 para 64 kbit/s 1 UI = 15,6 μs
 para 2048 kbit/s 1 UI = 488 ns
 para 8448 kbit/s 1 UI = 118 ns
 para 34 368 kbit/s 1 UI = 29,1 ns
 para 139 264 kbit/s 1 UI = 7,18 ns



T1302230-93/d01

FIGURA 1/G.823

Disposición para medir la fluctuación de fase procedente de una interfaz jerárquica o de un acceso de salida de equipo

Reemplazada por una versión más reciente

Se supone que, en una red sincronizada, el equipo digital situado en los nodos acomodará las desviaciones de fase permitidas en la señal entrante, junto con la fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase de la planta de transmisión, es decir, en condiciones sincronizadas normales no ocurrirán deslizamientos. Sin embargo, hay que reconocer que, como resultado de algunas degradaciones de la calidad de funcionamiento, situaciones de avería, acciones de mantenimiento u otras causas, el error de intervalo de tiempo (TIE, *time interval error*) relativo entre la señal entrante y el reloj interno del equipo de terminación puede rebasar la tolerancia de fluctuación lenta de fase y fluctuación de fase del equipo, lo que dará lugar a un deslizamiento controlado.

En los nodos de terminación de enlaces que interconectan redes independientes sincronizadas (o cuando se utiliza explotación plesiócrona en las redes nacionales), el TIE relativo entre la señal entrante y la señal de temporización interna del equipo de terminación podría exceder la tolerancia de fluctuación lenta de fase y fluctuación de fase del equipo, en cuyo caso ocurrirán deslizamientos. En la Recomendación G.811 se indica la máxima tasa media de deslizamientos controlados admisibles a largo plazo, es decir, un deslizamiento cada 70 días.

En el caso de equipos que no son controlados por un sistema de sincronización de red (por ejemplo, un oscilador de cuarzo), puede definirse valores más estrictos de la fluctuación de fase en las correspondientes especificaciones del equipo. Como ejemplos cabe citar el múldex de la Recomendación G.735, y en lo concerniente al acceso a velocidad primaria en la Recomendación I.431.

2.2 Límites de fluctuación lenta de fase en la red

No se ha definido un límite de red máximo para la fluctuación lenta de fase en todas las interfaces jerárquicas. Las magnitudes reales de la fluctuación lenta de fase pueden predecirse, ya que dependen mucho de las características de propagación de los medios de transmisión y del envejecimiento de los circuitos de reloj (véase 3/G.811). Los estudios han demostrado que, siempre que los puertos de entrada puedan tolerar una fluctuación lenta de fase conforme con los requisitos de tolerancia de entrada de 3.1.1, los deslizamientos introducidos como consecuencia del rebasamiento de la tolerancia de entrada serán poco frecuentes. En las interfaces con nodos de red, se aplican los límites siguientes.

El máximo error en el intervalo de tiempo (MTIE, *maximun time interval error*) (véase la Recomendación G.811) en un periodo de S segundos no excederá los siguientes límites:

- 1) $S < 10^4$; esta región queda en estudio;
- 2) $(10^{-2} S + 10\ 000)$ ns; aplicable para valores de S superiores a 10^4 .

NOTAS

- 1 La Figura 2 ilustra la especificación global resultante.
- 2 El valor total de $10\ \mu\text{s}$, superpuesto a la temporización media, como se especifica más arriba, sólo puede producirse a la salida del último nodo de una cadena. Para asegurar esto hay que aplicar reglas de planificación apropiadas.

3 Límites de fluctuación de fase apropiados para los equipos digitales

3.1 Principios básicos de especificación

Para cada equipo digital es necesario especificar la calidad de funcionamiento respecto de la fluctuación de fase de tres maneras.

3.1.1 Tolerancia de fluctuación de fase en los puertos de entrada digitales

Para asegurar que todo equipo pueda conectarse a cualquier interfaz jerárquica recomendada en una red, es preciso disponer lo necesario para que los puertos de entrada de todos los equipos puedan admitir niveles de fluctuación de fase hasta el límite máximo de red definido en el Cuadro 1.

Por razones de conveniencia para la medición, la tolerancia requerida se define en función de la amplitud y la frecuencia de una fluctuación de fase sinusoidal que, al modular una señal de prueba, no causa una degradación apreciable del funcionamiento del equipo. Es importante reconocer que no se pretende que la condición de la prueba sea, por sí misma, representativa del tipo de fluctuación de fase que, en la práctica, se observa en una red. Sin embargo, la prueba sí asegura que el factor «Q» asociado con la recuperación de la señal de temporización de los circuitos de entrada del equipo no es demasiado alto y, de ser necesario, que se cuenta con suficiente capacidad de memoria también.

Así pues, todos los puertos de entrada digitales de los equipos deben estar en condiciones de tolerar una señal digital cuyas características eléctricas satisfacen los requisitos de la Recomendación G.703, pero modulada por una fluctuación lenta de fase y una fluctuación de fase sinusoidales que tienen una relación amplitud-frecuencia definida en la Figura 3. El Cuadro 2 indica los límites apropiados para los diferentes niveles jerárquicos.

Reemplazada por una versión más reciente

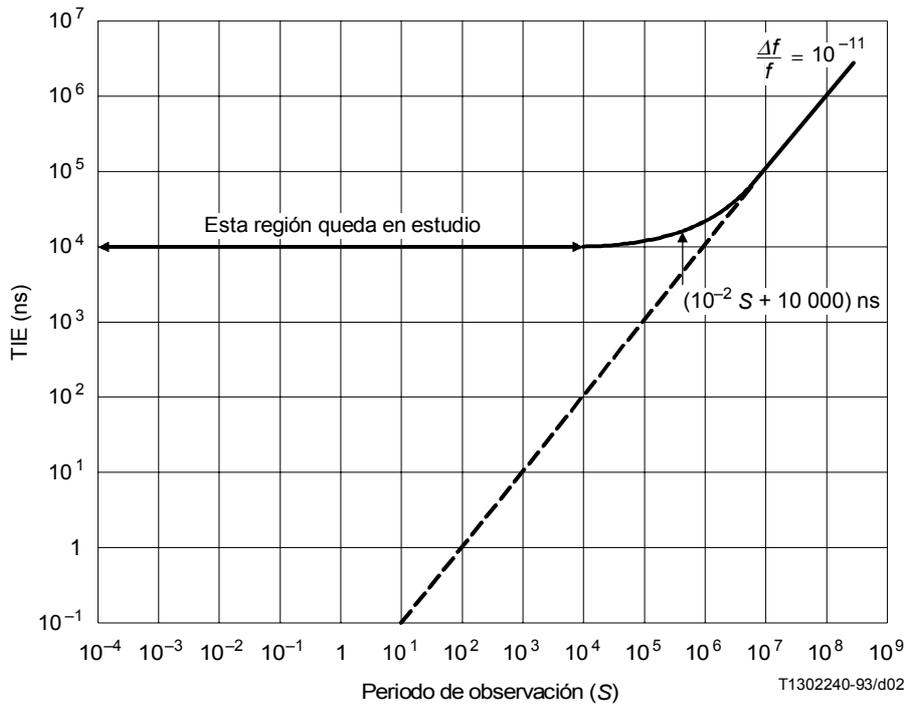


FIGURA 2/G.823

Máximo error en el intervalo de tiempo (MTIE) admisible en función del periodo de observación S a la salida de un nodo de red

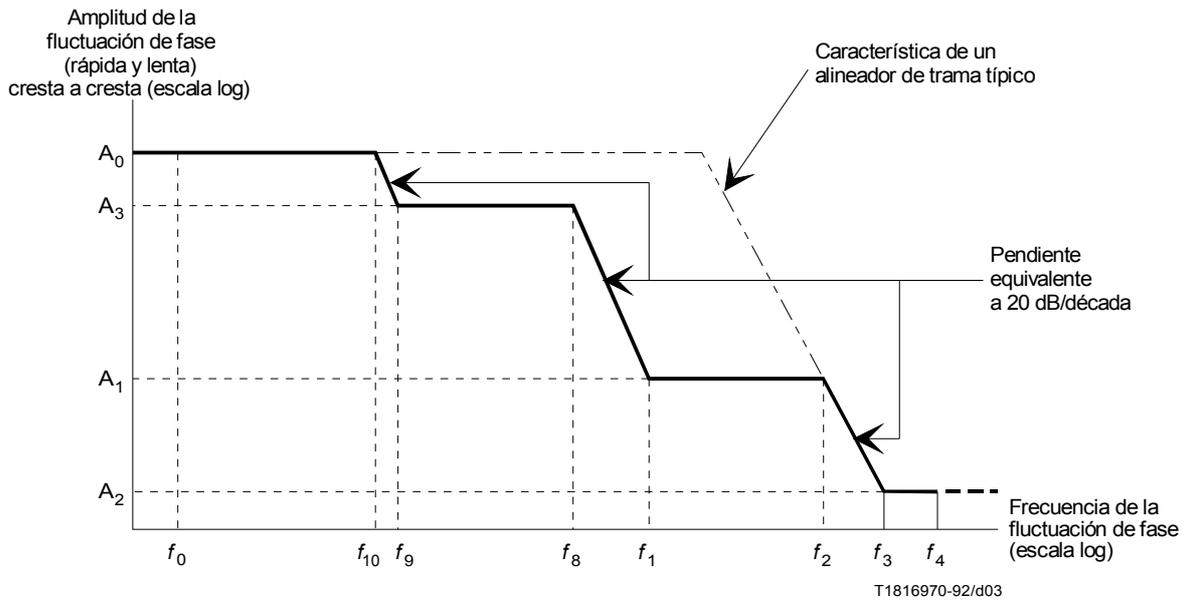


FIGURA 3/G.823

Límite inferior de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase máximas admisibles de entrada

Reemplazada por una versión más reciente

La fluctuación de fase/fluctuación lenta de fase se superpone a la señal de temporización que es idealmente síncrona con un reloj de referencia, y en la práctica, razonablemente estable. Una instrumentación conforme a la Recomendación O.171 es adecuada para medir la fluctuación de fase/fluctuación lenta de fase de frecuencias superiores a 2 Hz.

En principio, estos requisitos deben cumplirse cualquiera que sea el contenido de información de la señal digital. A efectos de la prueba, el contenido binario equivalente de la señal modulada por la fluctuación de fase debe ser una secuencia binaria pseudoaleatoria como la definida en el Cuadro 2.

Al derivar estos límites se considera que los efectos de la fluctuación lenta de fase son predominantes en frecuencias por debajo de f_1 , y muchos equipos de transmisión, tales como los sistemas de línea digital y mûldex asíncronos que utilizan técnicas de justificación, son efectivamente transparentes a estos cambios de frecuencia muy baja en fase. A pesar de esto, es necesario admitir la fluctuación lenta de fase en la entrada de ciertos equipos (por ejemplo, conmutadores digitales y mûldex síncronos). La condición de una frecuencia inferior a f_1 no puede traducirse de manera sencilla en una evaluación práctica, pero debe tenerse en cuenta al diseñar el equipo.

A diferencia de la parte de la plantilla entre las frecuencias f_1 y f_4 , que refleja la magnitud de fluctuación de fase máxima admisible en una red digital, la parte que queda por debajo de la frecuencia f_1 no está destinada a representar la fluctuación lenta de fase máxima admisible que puede producirse en la práctica. Por debajo de la frecuencia f_1 , la plantilla se establece de forma que, en caso necesario, la provisión de este nivel de almacenamiento tampón a la entrada de un equipo facilita la admisión de la fluctuación lenta de fase generada en una elevada proporción de conexiones reales.

Una entrada que sincroniza el nodo y otra entrada que no sincroniza el nodo pueden derivar sus temporizaciones respectivas del mismo reloj de referencia, pero a través de trayectos diferentes; por esta razón, en casos extremos, pueden tener desviaciones de fase opuestas. La desviación máxima relativa prevista de fase es de 18 μ s, y debe ser admitida por el equipo.

Una inversión de corta duración del error de intervalo de tiempo relativo entre la señal entrante y el reloj interno del equipo de terminación poco después de que se produzca un deslizamiento controlado no debe causar otro deslizamiento. Para impedir ese deslizamiento, el equipo debe estar diseñado con una histéresis adecuada para este fenómeno. Esta histéresis debe ser de al menos 18 μ s.

3.1.2 Fluctuación de fase máxima de salida en ausencia de fluctuación de fase de entrada

Es preciso limitar el nivel de la fluctuación de fase producida dentro de los distintos equipos. En las Recomendaciones sobre sistemas específicos se definen los niveles máximos de fluctuación de fase que pueden generarse en ausencia de una fluctuación de fase a la entrada. Los límites efectivos aplicados dependen del tipo de equipo. Estos límites deben respetarse cualquiera que sea el contenido de información de la señal digital. En cualquier caso, los límites no sobrepasan nunca el límite máximo de red permitido. La Figura 1 ilustra el montaje para la medición de la fluctuación de fase a la salida.

3.1.3 Características de transferencia de fluctuación de fase y de fluctuación lenta de fase

Las características de transferencia de fluctuación de fase definen la relación fluctuación de fase de salida/entrada en función de la frecuencia de fluctuación de fase para una velocidad binaria dada. Cuando existe fluctuación de fase en el puerto de entrada digital del equipo digital, en muchos casos una parte de la fluctuación de fase se transmite al puerto de salida digital correspondiente. Muchos tipos de equipo digital atenúan de por sí las componentes de fluctuación de fase de alta frecuencia presentes en la entrada. Para controlar la fluctuación de fase en casos de equipo digital homogéneo en cascada, es importante limitar el valor de la ganancia de fluctuación de fase. La transferencia de fluctuación de fase de un equipo digital determinado puede medirse utilizando una señal digital modulada por fluctuación de fase sinusoidal.

La Figura 4 muestra la forma general de una característica típica de transferencia de fluctuación de fase. Los valores apropiados para los niveles x e $-y$ dB, y las frecuencias f, f_5, f_6 y f_7 , pueden obtenerse en la Recomendación correspondiente.

Como la anchura de banda de los circuitos de suavizado de fase en el equipo digital asíncrono es generalmente superior a 10 Hz, la fluctuación lenta de fase de la señal de entrada puede aparecer prácticamente no atenuada a la salida. Sin embargo, en ciertos equipos digitales (por ejemplo, relojes nodales) es necesario que la fluctuación lenta de fase sea suficientemente atenuada entre la entrada y la salida. Las Recomendaciones que tratan de equipos síncronos definirán finalmente los valores límite de las distintas características de transferencia de fluctuación lenta de fase.

3.2 Secciones digitales

Para asegurar que no se rebasa el límite de red máximo (cláusula 2) dentro de una red digital, es necesario controlar la fluctuación de fase producida por los sistemas de transmisión.

Los límites de la fluctuación de fase para las secciones digitales se dan en la Recomendación G.921.

Reemplazada por una versión más reciente

CUADRO 2/G.823

Valores de los parámetros relativos a la tolerancia de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase de entrada

Velocidad binaria (kbit/s)	Intervalo unitario cresta a cresta				Frecuencia								Señal de prueba pseudoaleatoria
	A ₀	A ₁	A ₂	A ₃	f ₀	f ₁₀	f ₉	f ₈	f ₁	f ₂	f ₃	f ₄	
64 (Nota 1)	1,15 (18 μs)	a)	0,25	0,05	1,2 × 10 ⁻⁵ Hz	a)	a)	a)	20 Hz	600 Hz	3 kHz	20 kHz	2 ¹¹ - 1
2 048	36,9 (18 μs)	18 (Nota 7)	1,5	0,2	1,2 × 10 ⁻⁵ Hz	4,88 × 10 ⁻³ Hz (Nota 7)	0,01 Hz (Nota 7)	1,667 Hz (Nota 7)	20 Hz	2,4 kHz (93 Hz)	18 kHz (700 Hz)	100 kHz	2 ¹⁵ - 1 (Rec. O.151)
8 448	152 (18 μs)	a)	1,5	0,2	1,2 × 10 ⁻⁵ Hz	a)	a)	a)	20 Hz	400 Hz (10,7 kHz)	3 kHz (80 kHz)	400 kHz	2 ¹⁵ - 1 (Rec. O.151)
34 368	618,6 (18 μs)	a)	1,5	0,15	a)	a)	a)	a)	100 Hz	1 kHz	10 kHz	800 kHz	2 ²³ - 1 (Rec. O.151)
139 264	2506,6 (18 μs)	a)	1,5	0,075	a)	a)	a)	a)	200 Hz	500 Hz	10 kHz	3500 kHz	2 ²³ - 1 (Rec. O.151)

a) Valores en estudio.

NOTAS

- 1 Sólo para la interfaz codireccional.
- 2 Para las interfaces dentro de las redes nacionales pueden utilizarse los valores de frecuencia (f₂ y f₃) indicados entre paréntesis.
- 3 UI Intervalo unitario:
 para 64 kbit/s 1 UI = 15,6 μs
 para 2048 kbit/s 1 UI = 488 ns
 para 8448 kbit/s 1 UI = 118 ns
 para 34 368 kbit/s 1 UI = 29,1 ns
 para 139 264 kbit/s 1 UI = 7,18 ns
- 4 El valor de A₀ (18 μs) representa una desviación de fase relativa entre la señal entrante y la señal local de temporización interna derivada del reloj de referencia.
- 5 La desviación de fase absoluta queda en estudio.
- 6 En el Anexo C se da un ejemplo de configuración de referencia que explica el valor de A₀.
- 7 Estos valores se refieren a las interfaces a 2048 kbit/s no utilizadas para transportar señales de sincronización. Quedan en estudio las especificaciones de las señales de sincronización.

Reemplazada por una versión más reciente

3.3 Equipos multiplexores-demultiplexores digitales

Los límites de fluctuación de fase para los multiplexores y demultiplexores digitales figuran en las Recomendaciones pertinentes relativas a estos equipos.

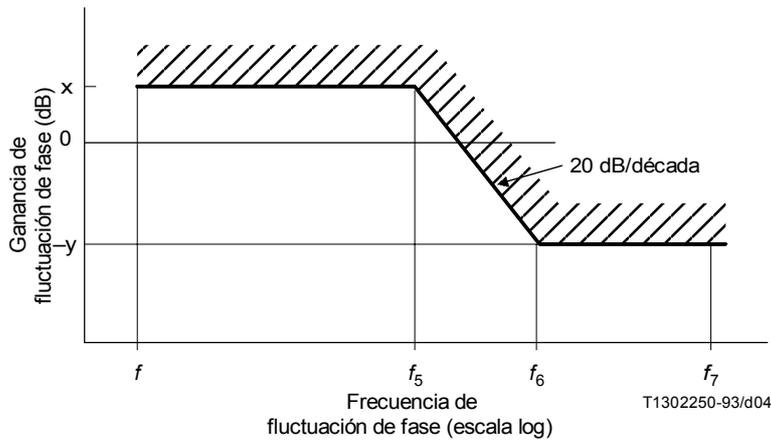


FIGURA 4/G.823

Característica típica de transferencia de fluctuación de fase

4 Directrices para la medición de la fluctuación de fase

Hay dos categorías claramente identificables de mediciones de la fluctuación de fase:

- mediciones realizadas utilizando una señal de tráfico indefinida que, por lo general, puede considerarse cuasialeatoria (estas mediciones se efectúan generalmente en condiciones de explotación).
- mediciones realizadas utilizando secuencias de prueba específicas (estas mediciones se efectúan generalmente en laboratorio, en fábrica y con ocasión de la recepción de equipo).

4.1 Mediciones efectuadas utilizando una señal de tráfico indefinida

A causa de la naturaleza cuasialeatoria de la fluctuación de fase y de su posible dependencia con respecto de la carga de tráfico, para que las mediciones cresta a cresta en redes operacionales sean exactas es necesario efectuarlas durante largos periodos de tiempo. En la práctica se prevé que, con la experiencia adquirida en sistemas particulares, será posible identificar anomalías detectadas en mediciones efectuadas en un periodo más corto, que indiquen que el límite máximo admisible podría rebasarse si el intervalo de medición fuese más largo.

Los límites de red recomendados en 2 se han derivado de manera tal que la probabilidad de rebasar esos niveles es muy pequeña. La observación práctica de una magnitud semejante con un grado de fiabilidad elevado requiere un intervalo de medición tan largo que es inaceptable. Para tener en cuenta un efecto de esa clase quizá sea necesario introducir un límite menor, aunque relacionado, que tenga una mayor probabilidad de incidencia, lo cual facilitaría su medición durante un periodo razonablemente corto. Estos aspectos son objeto de nuevos estudios.

4.2 Mediciones efectuadas utilizando una determinada secuencia de prueba

Teniendo en cuenta la conveniencia de evaluar la calidad de funcionamiento desde el punto de vista de la fluctuación de fase de equipo de línea digital utilizando una determinada secuencia binaria pseudoaleatoria, es necesario derivar límites apropiados para esta situación de prueba única. Aunque el empleo de esas señales de prueba determinísticas son de suma utilidad para las pruebas de aceptación en fábrica y de recepción de equipo, los resultados tienen que estar relacionados con una situación de explotación en la que es probable que el contenido de información de la señal sea más aleatorio (por ejemplo una señal de tipo telefónico). Sobre la base de la experiencia práctica, suele ser posible relacionar una medición basada en tráfico con una medición basada en una secuencia binaria pseudoaleatoria mediante la aplicación de un factor de corrección apropiado (Anexo A).

Reemplazada por una versión más reciente

La utilización de una secuencia binaria pseudoaleatoria en la medición de la fluctuación de fase puede tener el inconveniente de que, para que la medición sea válida, la secuencia binaria pseudoaleatoria debe tener un contenido espectral adecuado dentro de la anchura de banda de la fluctuación de fase del sistema objeto de la medición. En los casos en que el contenido espectral es insuficiente, será necesario introducir una corrección adecuada, para que tenga sentido comparar, el valor medido con los límites especificados. Este aspecto es objeto de nuevos estudios (Anexo A).

4.3 Señales de prueba aplicadas a dispositivos de procesamiento de señales que forman parte integrante de sistemas de transmisión

La inclusión de dispositivos de procesamiento de señales que forman parte integrante de un sistema de transmisión a menudo influye sobre la característica de fluctuación de fase observada. Los estudios realizados han demostrado que la señal transmitida, particularmente si es pseudoaleatoria o está altamente estructurada, interactúa con los aleatorizadores digitales y convertidores de código de línea para producir efectos interesantes que se traducen en cambios de la calidad de funcionamiento de dichos equipos. Todos los efectos de interacción dan como resultado una modificación de la estadística de la señal transmitida, lo que causa el cambio consiguiente en la fluctuación de fase sensible al esquema generada dentro de cada repetidor. Una manifestación típica es que mediciones sucesivas en un sistema de transmisión provisto de estos dispositivos, utilizando una señal de prueba idéntica en cada ocasión, dan como resultado una gama muy variada de valores cresta a cresta y cuadráticos medios de la amplitud de fluctuación de fase.

Los estudios han demostrado que los siguientes factores influyen en la característica de la fluctuación de fase observada:

- las conexiones de realimentación en el generador de señales de prueba de secuencia binaria pseudoaleatoria y en el aleatorizador del sistema de transmisión;
- el número de pasos en el generador de señales de prueba de secuencia binaria pseudoaleatoria y en el aleatorizador del sistema de transmisión;
- la presencia de un convertidor de código en el sistema de transmisión.

En consecuencia, al considerar la elección de la señal de prueba a los fines de la validación de equipos, deberán tenerse en cuenta los siguientes puntos:

- a) Es desaconsejable utilizar un generador de señales de prueba de secuencia binaria pseudoaleatoria con una longitud de ciclo que tenga factores comunes con el aleatorizador incorporado en el sistema de transmisión;
- b) Debe evitarse una configuración igual del generador de señales de prueba de secuencia binaria pseudoaleatoria y del aleatorizador del sistema de transmisión, si se requiere una señal aleatoria.

5 Acumulación de fluctuación de fase en las redes digitales

En vista de la variabilidad de las configuraciones de red, no pueden examinarse todos los casos posibles. Para analizar una configuración particular de red es necesario utilizar la información acerca de las características de fluctuación de fase de equipos individuales, conjuntamente con modelos apropiados de acumulación de fluctuación de fase. El Anexo B tiene por objeto facilitar información suficiente para que las organizaciones puedan efectuar esas evaluaciones.

Reemplazada por una versión más reciente

Anexo A

Utilización de una secuencia binaria pseudoaleatoria para la medición de la fluctuación de fase en sistemas de línea digital, sistemas radioeléctricos y sistemas de fibra óptica

(Este anexo es parte integrante de la presente Recomendación)

A.1 Relación entre una medición basada en el tráfico aleatorio y una medición basada en una secuencia binaria pseudoaleatoria

Suele ser conveniente utilizar, en lugar de una señal de tráfico de tipo aleatorio, una secuencia binaria pseudoaleatoria (PRBS, *pseudo-random binary sequence*). Pero, las mediciones de la fluctuación de fase efectuadas con esta señal de prueba tienden a arrojar resultados óptimos en comparación con una medición idéntica efectuada con una señal de tráfico, en la que el contenido de información es más aleatorio. Esta diferencia se debe a que la señal de tráfico, que suele ser de naturaleza no determinística, puede causar la generación de una gama casi infinita de amplitudes de fluctuación de fase mientras que, por su naturaleza cuasialeatoria, una secuencia binaria pseudoaleatoria sólo puede causar la generación de una gama finita de amplitudes de fluctuación de fase. Sobre la base de la experiencia práctica adquirida hasta la fecha, se ha determinado un factor de corrección que establece una relación entre ambos tipos de mediciones, pero es sumamente difícil dar un valor exacto para cada situación práctica concebible. Su valor real depende de muchos aspectos que están interrelacionados, como por ejemplo el periodo de medición, la longitud del sistema, el valor del factor Q del circuito de extracción de la temporización, la longitud de la secuencia y la presencia de aleatorizadores. Para relacionar una medición basada en el tráfico aleatorio (efectuada durante un intervalo relativamente corto) con una determinada secuencia binaria pseudoaleatoria es necesario utilizar los siguientes factores de corrección que se cree representan una buena opción práctica para la mayoría de las circunstancias:

- 1,5 para 2048 kbit/s y 8448 kbit/s (sobre la base de la utilización de una secuencia binaria pseudoaleatoria de $2^{15} - 1$ elementos generada de conformidad con la Recomendación O.151),
- 1,3 para 34 368 kbit/s y 139 264 kbit/s (sobre la base de la utilización de una secuencia binaria pseudoaleatoria de $2^{23} - 1$ elementos generada de conformidad con la Recomendación O.151).

Por lo tanto

$$\left[\begin{array}{l} \text{Amplitud de la fluctuación} \\ \text{de fase estimada cuando se} \\ \text{transmite una señal aleatoria} \\ \text{(tráfico)} \end{array} \right] = \text{Factor de corrección} \times \left[\begin{array}{l} \text{Amplitud de la fluctuación} \\ \text{de fase medida utilizando} \\ \text{una determinada secuencia} \\ \text{binaria pseudoaleatoria} \end{array} \right]$$

A.2 Contenido espectral de la secuencia binaria pseudoaleatoria

Por su propia naturaleza, la secuencia binaria pseudoaleatoria es cíclica y, en consecuencia, se caracteriza por un espectro de potencia formado por rayas espectrales regularmente espaciadas. Para lograr un resultado significativo, en el cual el error de medición sea aceptable, es necesario velar por que la secuencia binaria pseudoaleatoria utilizada en la medición de la fluctuación de fase a la salida tenga un contenido espectral adecuado dentro de la anchura de banda de la fluctuación de fase del sistema objeto de la medición. Se puede demostrar que la anchura de banda del espectro de la fluctuación de fase a la salida de una cadena de regeneradores digitales es una función del factor Q del circuito de extracción de la temporización y del número de regeneradores en serie [1].

Así pues:

$$\text{Anchura de banda de la fluctuación de fase} = \frac{f_1}{Q \times n} \text{ [Hz] para valores elevados de } n$$

donde

- f_1 es la frecuencia de la señal de temporización extraída de la señal entrante por el circuito de extracción de la temporización;
- Q es el factor Q de un repetidor;
- n es el número de repetidores en serie;

Reemplazada por una versión más reciente

y

$$\text{Frecuencia de repetición PRBS} = \frac{f}{L} \text{ [Hz]}$$

donde

f es la velocidad binaria;

L es la longitud de la secuencia.

Para que el contenido espectral sea adecuado, la frecuencia de repetición del esquema ha de ser inferior a $\frac{1}{y}$ de la anchura de banda de la fluctuación de fase del sistema sometido a prueba. El valor de y queda en estudio:

Así

$$\frac{f}{L} \leq \frac{f_1}{y \times Q \times n}$$

y

$$L \geq y \times n \times Q \times \frac{f}{f_1}$$

Ejemplos

Para el código de línea B6ZS $f = f_1$ y $L \geq y \times n \times Q$

Para un código de línea cuaternario no redundante $\frac{f}{f_1} = \frac{2}{1}$ y $L \geq y \times n \times Q \times 2$

Si el sistema utiliza un aleatorizador o una técnica de traducción de código (por ejemplo, 4B3T), habrá que tener esto en cuenta para reducir la longitud de la secuencia de prueba.

Anexo B

Acumulación de fluctuación de fase en redes digitales y directrices relativas

(Este anexo es parte integrante de la presente Recomendación)

B.1 Acumulación de fluctuación de fase en redes digitales

B.1.1 Relaciones de acumulación de fluctuación de fase en el caso de equipos digitales homogéneos conectados en serie

B.1.1.1 Equipos de línea digital, sistemas radioeléctricos y de fibra óptica

Con este tipo de equipo, la relación aplicable depende críticamente del contenido de la señal transmitida, la realización física de la extracción de la temporización, la inclusión de un par aleatorizador/desaleatorizador, etc. Se han identificado varias relaciones.

Reemplazada por una versión más reciente

B.1.1.1.1 Regeneradores homogéneos en serie

La mayoría de los repetidores digitales que se utilizan actualmente son totalmente regenerativos y tienen su propia temporización, o sea que la señal de salida es retemporizada bajo el control de una señal de temporización derivada de la señal entrante. La forma más significativa de fluctuación de fase tiene su origen en imperfecciones de los circuitos, que causan una fluctuación de fase dependiente de la secuencia de los impulsos en la señal digital que se transmite; esta forma se denomina fluctuación de fase dependiente del esquema de la señal. Los mecanismos que generan una fluctuación de fase dentro de un regenerador han sido extensamente estudiados y guardan principalmente relación con imperfecciones del circuito de extracción de la temporización [2], [3] y [4].

Puesto que la fluctuación de fase dependiente del esquema de la señal procedente de secciones regeneradas, es el tipo dominante de fluctuación de fase en una red, debe examinarse la forma en que esta fluctuación se acumula. A efectos de la fluctuación de fase, un repetidor regenerador actúa como un filtro de paso bajo para la fluctuación de fase presente en la señal de entrada, pero también genera una fluctuación de fase, que puede representarse por una fuente adicional de fluctuación de fase en la entrada. Si esta fluctuación de fase adicional fuese verdaderamente aleatoria, como fluctuación de fase distinta de la dependiente del esquema de la señal, la fluctuación de fase media cuadrática total J_N presente en la señal digital tras N regeneradores estaría dada por la relación aproximada:

$$J_N \approx J \times \sqrt[4]{N} \quad (\text{B-1})$$

donde J es la fluctuación de fase media cuadrática introducida por un solo regenerador y debida a fuentes de fluctuación de fase no correlacionadas. En esta ecuación se da por supuesto que la fluctuación de fase introducida por cada regenerador no está correlacionada.

Ahora bien, la mayor parte de la fluctuación de fase introducida por los regeneradores depende del esquema de la señal y puesto que el esquema es el mismo en cada regenerador, puede suponerse que cada regenerador introduce la misma fluctuación de fase en una cadena de regeneradores similares. En este caso, se puede demostrar que los componentes de baja frecuencia de la fluctuación de fase se suman linealmente, mientras que los componentes de frecuencias más altas son cada vez más atenuados por el efecto de filtro de paso bajo de los regeneradores sucesivos. Si se transmite una señal aleatoria, la fluctuación de fase media cuadrática J_N presente en la señal tras N regeneradores estaría dada por la relación aproximada:

$$J_N \approx J_1 \times \sqrt{2N} \quad \text{para valores grandes de } N \quad (\text{B-2})$$

donde J_1 es la fluctuación de fase media cuadrática introducida por un solo regenerador, debida a mecanismos dependientes del esquema de la señal [1].

NOTAS

1 Sobre la base de la experiencia práctica adquirida hasta la fecha, pueden obtenerse para J_1 valores comprendidos entre 0,4 y 1,5% de un intervalo unitario utilizando diseños con una buena razón eficiencia/costo.

2 Si para la extracción de la temporización se utiliza un bucle de enganche de fase, la tasa de acumulación será marginalmente mayor, y vendrá dada por la relación aproximada:

$$J_N = J_1 \times \sqrt{2NA}$$

donde A es un factor que depende del número de regeneradores y del factor de amortiguamiento de los bucles de enganche de fase. En esta aplicación se suele escoger el parámetro A de modo que tenga una amplitud marginalmente mayor que la unidad.

3 La aplicación de recuperación de temporización utilizando un filtro de ondas acústicas de superficie transversal produce una tasa de acumulación que se aproxima a la obtenida para fuentes de fluctuación de fase no correlacionada. Esta acumulación de fluctuación de fase favorable se produce debido al gran retardo inherente que reduce la correlación entre la señal de temporización recuperada y el tren de datos. Por tanto, la fluctuación de fase que depende de un esquema sistemático es aleatorizada efectivamente y tiende a acumularse de una manera similar a la obtenida con respecto a las fuentes de fluctuación de fase no correlacionada. El único efecto secundario perceptible es una degradación marginal en la fluctuación de fase de alineación. Esta acumulación de fluctuación de fase favorable no es presentada por resonadores de ondas acústicas de superficie debido a su modo de funcionamiento diferente [9].

4 Los repetidores provistos de circuitos que comprenden transformaciones de esquemas representan efectivamente fuentes de fluctuación de fase no correlacionada que causan una acumulación de fluctuación de fase no sistemática. Por ejemplo, una transformación de esquemas basada en la adición de módulo 2 de una señal y su versión retardada (secuencia de Huffman) hace que la fluctuación de fase cuadrática media se acumule aproximadamente en proporción a la raíz cuarta del número de repetidores [8].

Reemplazada por una versión más reciente

De las ecuaciones (B-1) y (B-2) se extraen dos conclusiones importantes:

- la fluctuación de fase que depende del esquema de la señal se acumula más rápidamente que la que no depende de éste, cuando aumenta el número de regeneradores y
- la amplitud de la fluctuación de fase producida por una cadena de regeneradores aumenta indefinidamente cuando aumenta el número de regeneradores.

La fluctuación de fase producida por un esquema aleatorio es, por su propia naturaleza, aleatoria, y la función de distribución de la probabilidad de amplitud se considera próxima a la gaussiana. Por lo tanto, para una amplitud media cuadrática dada (desviación típica), puede calcularse la probabilidad de rebasar cualquier amplitud cresta a cresta escogida. A efectos de la especificación, suele darse por supuesto que la razón del valor cresta a cresta al valor medio cuadrático es de 12 a 15, con lo cual se obtiene un valor para el cual la probabilidad de ser rebasado es muy baja.

En cambio, cuando la señal que se transmite se compone de dos esquemas repetitivos que se alternan a baja frecuencia, la fluctuación de fase se presenta como una onda repetitiva de baja frecuencia con una amplitud proporcional al número de regeneradores, lo cual podría dar lugar a una amplitud muy grande de la fluctuación de fase. En esos casos, la amplitud máxima cresta a cresta de la fluctuación de fase (J_{NP}) se describe por la relación siguiente:

$$J_{NP} = d \times N \quad (\text{B-4})$$

donde d es la fluctuación de fase sensible al esquema producida por un solo generador al que se aplican esquemas repetitivos alternos. Esta relación presupone que la frecuencia de repetición es lo suficientemente baja para que se establezcan regímenes estacionarios. El valor efectivo depende del esquema de señal utilizado.

Esta situación es muy poco probable en condiciones normales de explotación porque la señal transmitida se compone, por lo general, de tráfico procedente de varias fuentes distintas (aunque no necesariamente a la velocidad de línea primaria), junto con una señal de alineación de trama y dígitos de control de justificación, etc. Además, la probabilidad de que se produzcan esquemas fijos puede reducirse aún más utilizando aleatorizadores digitales, que tienden a aleatorizar la señal.

B.1.1.1.2 Sistemas de línea digital y sistemas radio digitales homogéneos, conectados en serie, sistemas radioeléctricos y de fibra óptica provistos de aleatorizadores y reductores de la fluctuación de fase

Debe examinarse la posibilidad de incluir un par de aleatorizador/desaleatorizador en un sistema de línea digital o un sistema radio digital cuando esos sistemas homogéneos se conectan en serie. En tales situaciones, la fluctuación de fase aportada a cada sistema no está correlacionada y, por lo tanto, se observa que se acumula proporcionalmente a la raíz cuarta del número de sistemas conectados en serie. Así pues, la fluctuación de fase media cuadrática, J_M , presente en la señal digital después de M sistemas de línea digital o radio digitales está dada por la relación aproximada:

$$J_M \approx J_S \times \sqrt[4]{KM} \quad (\text{B-5})$$

donde J_S es la fluctuación de fase media cuadrática producida por un sólo sistema y K es una constante con un valor entre 1 y 2. Para valores grandes de M , $K = 2$.

Cuando se utilizan reductores de la fluctuación de fase además de aleatorizadores, la misma relación de acumulación pudiera ser aplicable, pero el valor de J_S se reduce apreciablemente. En estas circunstancias, la fluctuación de fase media cuadrática, J_S , está dada por la relación aproximada siguiente:

$$J_S \approx 2N J \sqrt{\frac{f_c}{B}} \quad \text{para valores grandes de } N \quad (\text{B-6})$$

donde J es la fluctuación de fase media cuadrática de un solo regenerador, N el número de regeneradores en serie, f_c la frecuencia de corte del reductor de fluctuación de fase, y B la semianchura de banda de un sólo regenerador:

$$J = \frac{W_0}{2Q}$$

NOTA – Será preciso seguir estudiando la validez de las relaciones indicadas en la presente subcláusula, sobre todo en caso de que se hayan incorporado reductores de fluctuación de fase, pues el grado de aleatorización producido por la longitud de aleatorizador que suele considerarse aceptable puede no ser suficiente para garantizar que las aportaciones de fluctuación de fase, dentro de la anchura de banda de las funciones de transferencia de la fluctuación de fase esperadas, no estén correlacionadas hasta el punto de la acumulación según una ley de raíz cuarta sea dominante.

Reemplazada por una versión más reciente

B.1.1.2 Equipos multiplexores-demultiplexores (múldex)

Con este tipo de equipo, el único tipo de fluctuación de fase que tiene probabilidades de acumularse en grado significativo es la fluctuación de fase del tiempo de espera, variable, de baja frecuencia que puede tener componentes a frecuencias comprendidas en la banda de paso del bucle de enganche de fase de los demultiplexores. Cabe prever que la acumulación de la fluctuación de fase del tiempo de espera se produzca a una frecuencia comprendida entre:

$$\sqrt[4]{N} \text{ y } \sqrt[2]{N},$$

donde N es el número de pares de multiplexadores/demultiplexadores en serie de [5], [6] y [7].

Hacen falta nuevos estudios para determinar una relación más exacta.

B.2 Directrices sobre la aplicación práctica de las relaciones de acumulación de fluctuación de fase en una red digital

Quedan en estudio estos aspectos.

Anexo C

Modelo de referencia de la fluctuación lenta de fase para nodos de red

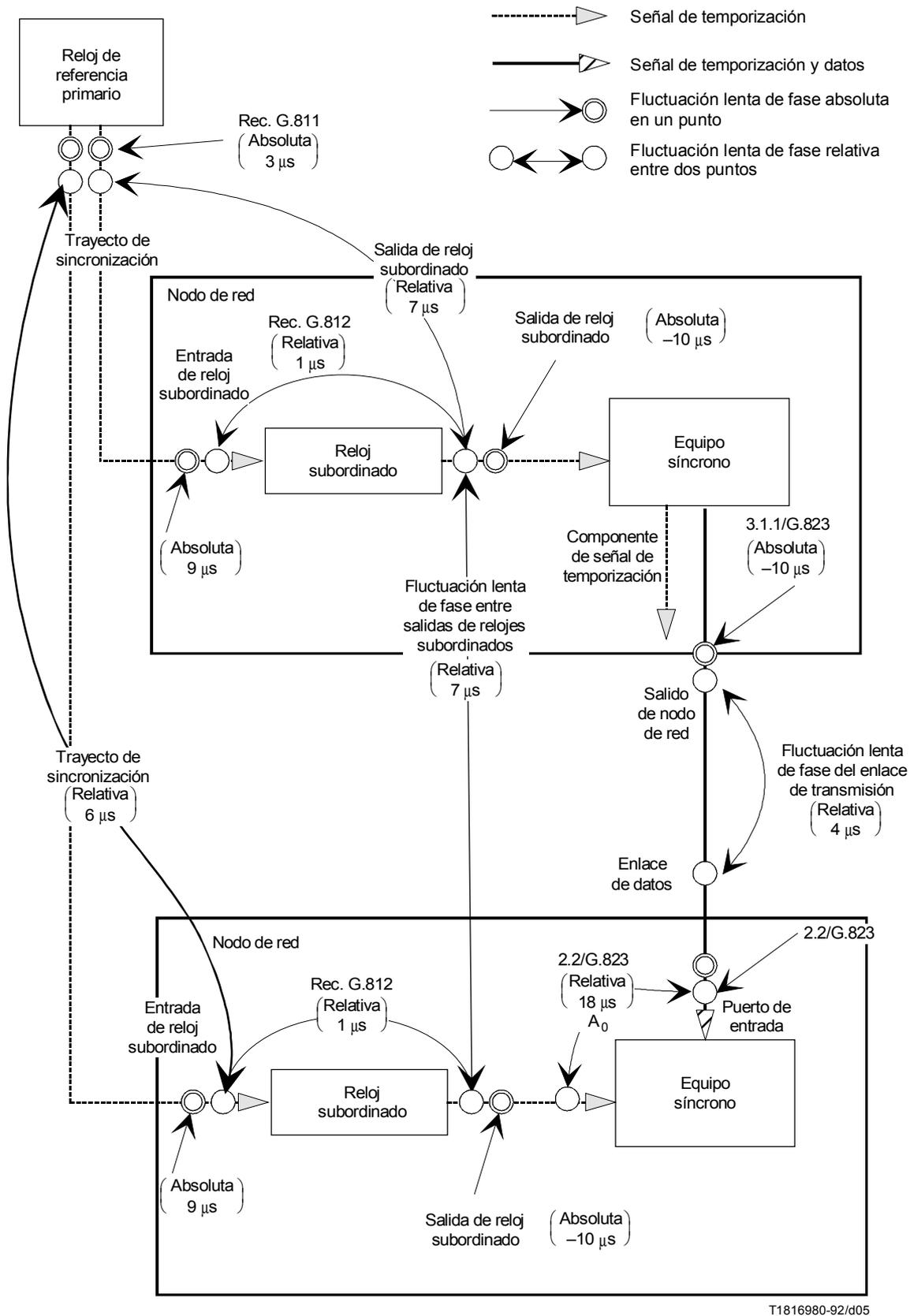
(Este anexo es parte integrante de la presente Recomendación)

En la Figura C.1 se muestra un modelo de referencia de la fluctuación lenta de fase para nodos de red que explica el valor A_0 .

En este modelo se establecen las siguientes hipótesis:

- desviación lenta de fase relativa máxima en los nodos de la red: 18 μs ;
- MTIE de un reloj de referencia primario: 3 μs , como en la Recomendación G.811;
- MTIE a la salida de un nodo de red: 10 μs , como en la presente Recomendación y en la Recomendación G.824;
- desviación lenta de fase relativa máxima en relojes subordinados: 1 μs , como en la Recomendación G.812.

Reemplazada por una versión más reciente



NOTA – En esta figura se supone el caso más desfavorable de adición lineal de fluctuación lenta de fase. Sin embargo, un análisis más preciso de la acumulación de fluctuación lenta de fase indica que esta hipótesis puede ser pesimista. Esto queda en estudio.

FIGURA C.1/G.823

Modelo de referencia de la fluctuación lenta de fase

Reemplazada por una versión más reciente

Referencias

- [1] BYRNE (C. J.), KARAFIN (R. J.) y ROBINSON (D. R.): Systematic jitter in a chain of digital repeaters, *Bell System Technical Journal*, Vol. 42, 1963.
- [2] BENNETT (W. R.): Statistics of regenerative digital transmission, *Bell System Technical Journal*, Vol. 37, 1958.
- [3] ROWE (H. E.): Timing in a long chain of regenerative repeaters, *Bell System Technical Journal*, Vol. 37, 1958.
- [4] MANLEY (J. M.): Generation and accumulation of timing noise in PCM systems – An experimental and theoretical study, *Bell System Technical Journal*, Vol. 48, 1969.
- [5] DUTTWEILER (A. L.): Waiting time jitter, *Bell System Technical Journal*, Vol. 51, N.º 1, pp. 165-207, enero de 1972.
- [6] CHOW (P. E. K.): Jitter due to pulse stuffing synchronization, *IEEE Transaction on Communications*, COM-21, N.º 7, pp. 854-859, julio de 1973.
- [7] CLEOBURY (D. J.): Characteristics of a digital multiplex equipment employing justification techniques, *IEE Conference on Telecommunication Transmission*, pp. 83-86, 1975.
- [8] ZEGER (L. E.): The reduction of systematic jitter in a transmission chain with digital regenerators, *IEEE Transaction on Communications Technology*, COM-15(4), 1976.
- [9] HIROSAKAI (B.): Jitter accumulation property in a regenerative repeater system with ASWF as a timing extracting filter, *NEC Research and Development* N.º 43, octubre de 1976.