



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

CCITT

COMITÉ CONSULTIVO
INTERNACIONAL
TELEGRÁFICO Y TELEFÓNICO

G.823

(11/1988)

SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN,
SISTEMAS Y REDES DIGITALES

Objetivos de calidad y disponibilidad

**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**

Reedición de la Recomendación G.823 del CCITT
publicada en el Libro Azul, Fascículo III.5 (1989)

NOTAS

1 La Recomendación G.823 del CCITT se publicó en el fascículo III.5 del Libro Azul. Este fichero es un extracto del Libro Azul. Aunque la presentación y disposición del texto son ligeramente diferentes de la versión del Libro Azul, el contenido del fichero es idéntico a la citada versión y los derechos de autor siguen siendo los mismos (véase a continuación).

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.

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

(Málaga-Torremolinos, 1984; modificada en Melbourne, 1988)

El CCITT,

considerando

(a) que en las redes digitales puede producirse fluctuación de fase, la que se define como las variaciones de corta duración de los instantes significativos de una señal digital con respecto a sus posiciones ideales en el tiempo;

(b) que, si no se ejerce el debido control, en ciertas circunstancias es posible que la fluctuación de fase se acumule hasta el punto de que puedan producirse las degradaciones siguientes:

- i) un aumento de la probabilidad de introducción de errores en las señales digitales en los puntos de regeneración de las señales, como resultado del desplazamiento de las señales de temporización respecto a su posición óptima en el tiempo;
- ii) la introducción de deslizamientos incontrolados en las señales digitales por desbordamiento y vaciado de la memoria en ciertos tipos de equipo terminal dotados de memorias tampón y comparadores de fase, por ejemplo, reductores de fluctuación de fase y ciertos equipos múltiplex digitales;
- iii) una degradación de la información analógica codificada digitalmente como resultado de una modulación de fase de las muestras reconstituidas en el dispositivo de conversión digital a analógico en el extremo de la conexión;

(c) que, a diferencia de algunos otros factores de degradación de la red, la magnitud de la fluctuación de fase puede reducirse utilizando reductores de fluctuación de fase. Según el tamaño y la complejidad de las redes, podría ser necesario utilizar esos dispositivos en ciertas circunstancias;

(d) que, como resultado los cambios del tiempo de propagación de los medios y equipos de transmisión, puede producirse la fluctuación lenta de fase, la que se define como las variaciones a largo plazo de los instantes significativos de una señal digital con respecto a su posición ideal en el tiempo;

(e) que es necesario tolerar la fluctuación lenta de fase en los accesos de entrada de los equipos digitales si han de minimizarse los deslizamientos controlados e incontrolados,

recomienda

que se apliquen las directrices y los límites siguientes en la planificación de redes y el diseño de equipo.

1 Control de la fluctuación de fase en las redes digitales – Principios básicos

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

- recomendar un límite máximo de red que no debe rebasarse en ningún interfaz jerárquico;
- recomendar un marco coherente para la especificación de equipos digitales individuales;
- facilitar información y directrices adecuadas para que las organizaciones midan y estudien la acumulación de la fluctuación de fase en cualquier configuración de red.

2 Límites de red para la fluctuación de fase y para la fluctuación lenta de fase máximas a la salida en cualquier interfaz jerárquico

2.1 Límites de red para la fluctuación de fase

Los límites indicados en el cuadro 1/G.823 representan los niveles máximos admisibles de la fluctuación de fase en interfaces jerárquicos de una red digital. Los límites deben respetarse en todas las condiciones de explotación, cualquiera que sea la cantidad de equipo que preceda al interfaz. Estos límites de red son compatibles con la tolerancia mínima de fluctuación de fase que deben proporcionar todos los accesos de entrada del equipo.

En las redes prácticas es preciso tener en cuenta que las señales en un interfaz pueden estar afectadas por una fluctuación de fase cuya magnitud es igual al límite máximo admisible en la red. Esto es particularmente importante para el diseño de equipos provistos de reductores de fluctuación de fase en los que hay que tener en cuenta esta fluctuación de fase, junto con cualquier fluctuación de fase adicional generada en el sistema antes del reductor. En los casos en que la amplitud máxima admisible de la fluctuación de fase se presenta en un interfaz entre dos países, la adopción de las medidas correctivas apropiadas se deja en manos de las Administraciones nacionales. Es improbable que esta situación se dé con gran frecuencia.

El montaje para la medición de la fluctuación de fase a la salida en un interfaz digital se ilustra en la figura 1/G.823. 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/G.823. La respuesta de frecuencia de los filtros asociados a los aparatos de medida debe tener régimen de decremento de 20 dB/década. En la Recomendación O.171 se describe un aparato de medida apropiado.

CUADRO 1/G.823

Fluctuación de fase máxima admisible en un interfaz jerárquico

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	3 500 kHz

Nota 1 – Sólo para el interfaz codireccional.

Nota 2 – Los valores de frecuencias que figuran entre parentesis son aplicables solamente a ciertos interfaces nacionales.

Nota 3 – IU = Intervalo Unitario

para 64 kbit/s = 15,6 μ s

para 2 048 kbit/s = 488 ns

para 8 448 kbit/s = 118 ns

para 34 368 kbit/s = 29,1 ns

para 139 264 kbit/s = 7,18 ns

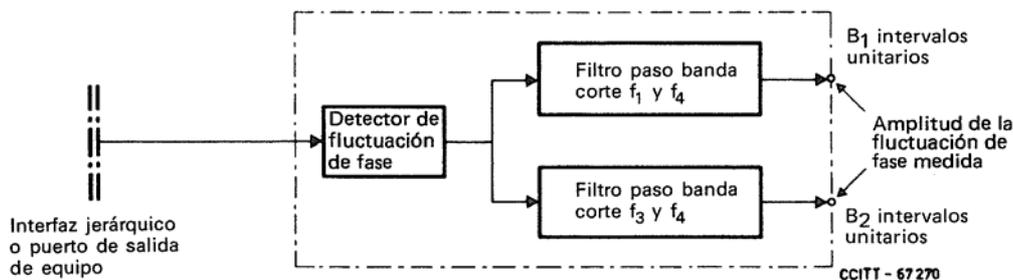


FIGURA 1/G.823

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

En los sistemas en que la señal de salida se controla mediante un reloj autónomo (por ejemplo, un oscilador de cuarzo), pueden definirse en las especificaciones pertinentes del equipo, valores más rigurosos de fluctuación de fase a la salida (por ejemplo, en el múdex de la Recomendación G.735, la máxima fluctuación de fase cresta a cresta es 0,05 IU).

2.2 Límites de red para la fluctuación lenta de fase

No se ha definido un límite de red máximo para la fluctuación lenta de fase en todos los interfaces jerárquicos. 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 la Recomendación G.811, § 3). 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 del § 3.1.1, los deslizamientos introducidos como consecuencia del rebasamiento de la tolerancia de entrada serán poco frecuentes. En los interfaces con nodos de red, se aplican los límites siguientes:

El MEIT (véase la Recomendación G.811) en un periodo de S segundos no excederá los siguientes límites:

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

Nota – La figura 2/G.823 ilustra la especificación global resultante.

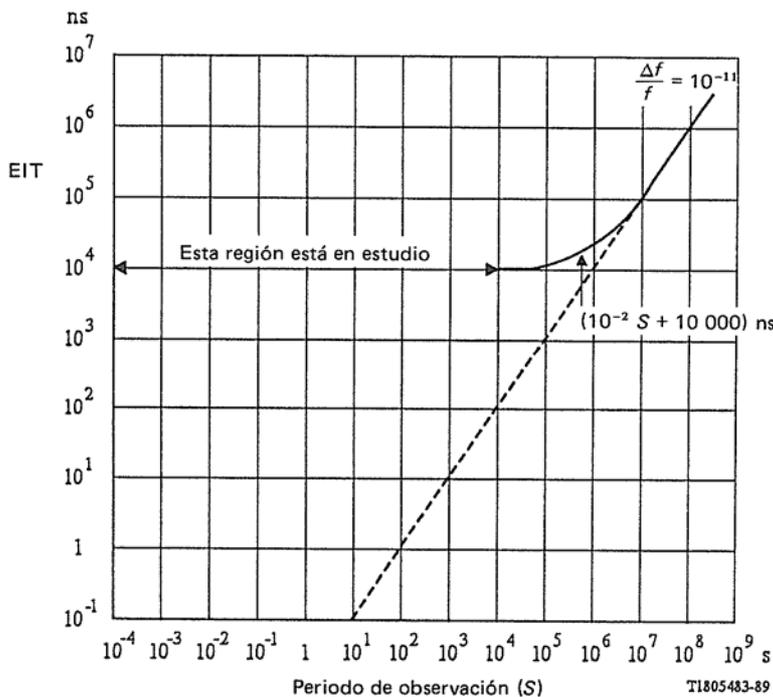


FIGURA 2/G.823

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

2.3 *Consideraciones sobre la fluctuación de fase y la fluctuación de fase lenta para redes sincronizadas*

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 calidad de funcionamiento, situaciones de avería, operaciones de mantenimiento u otras causas, el error en el intervalo de tiempo (EIT) relativo entre la señal entrante y el reloj interno del equipo de terminación puede superar 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 independientemente sincronizadas (o cuando se utiliza explotación plesiócrona en las redes nacionales), el EIT 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 admisible a largo plazo, es decir, un deslizamiento cada 70 días.

3 **Límites de fluctuación de fase apropiados para los equipos digitales**

3.1 *Principios básicos de la especificación*

Para equipos digitales, individuales 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 accesos de entrada digitales*

A fin de asegurar que todo equipo pueda conectarse a cualquier interfaz jerárquico recomendado de una red, es preciso disponer lo necesario para que los accesos de entrada de todos los equipos puedan admitir niveles de fluctuación de fase hasta el límite máximo de red definido en el cuadro 1/G.823.

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 tampón.

Así pues, todos los accesos 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/G.823. El cuadro 2/G.823 indica los límites apropiados para los diferentes niveles jerárquicos.

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/G.823.

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 sistemas de línea digital y módem 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 módem 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 inversión a corto plazo de 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. A fin de impedir ese deslizamiento, el equipo debe estar diseñado con una histéresis adecuada para este fenómeno. Esta histéresis debe ser de al menos 18 microsegundos.

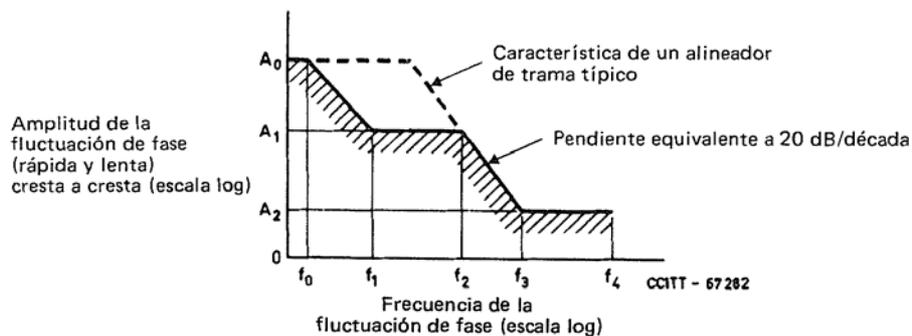


FIGURA 3/G.823

Límite inferior de la fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase máxima

CUADRO 2/G.823

Valores de los parámetros para la tolerancia de la fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase

Valor de parámetro Velocidad binaria kbit/s	Intervalo unitario cresta a cresta			Frecuencia					Señal de prueba pseudo-aleatoria
	A_0	A_1	A_2	f_0	f_1	f_2	f_3	f_4	
64 (nota 1)	1,15 (18 μ s)	0,25	0,05	$1,2 \times 10^{-5}$ Hz	20 Hz	600 Hz	3 kHz	20 kHz	$2^{11} - 1$ (Rec. O.152)
2048	36,9 (18 μ s)	1,5	0,2		20 Hz	2,4 kHz (93 Hz)	18 kHz (700 Hz)	100 kHz	$2^{15} - 1$ (Rec. O.151)
8448	152 (18 μ s)	1,5	0,2	$1,2 \times 10^{-5}$ Hz	20 Hz	400 Hz (10,7 kHz)	3 kHz (80 kHz)	400 kHz	$2^{15} - 1$ (Rec. O.151)
34368	*	1,5	0,15	*	100 Hz	1 kHz	10 kHz	800 kHz	$2^{23} - 1$ (Rec. O.151)
139264	*	1,5	0,075	*	200 Hz	500 Hz	10 kHz	3500 kHz	$2^{23} - 1$ (Rec. O.151)

* Valores en estudio.

Nota 1 – Sólo para el interfaz codireccional.

Nota 2 – Para los interfaces dentro de las redes nacionales pueden utilizarse los valores de frecuencia (f_2 y f_3) indicados entre paréntesis.

Nota 3 – IU = Intervalo Unitario

- Para 64 kbit/s 1 IU = 15,6 μ s
- Para 2048 kbit/s 1 IU = 488 ns
- Para 8448 kbit/s 1 IU = 118 ns
- Para 34368 kbit/s 1 IU = 29,1 ns
- Para 139264 kbit/s 1 IU = 7,18 ns

Nota 4 – El valor de A_0 (18 μ s) representa una desviación de fase relativa entre la señal entrante y la señal local de temporización interna derivada del reloj de referencia. Este valor de A_0 corresponde a un valor absoluto de 21 μ s a la entrada de un nodo (por ejemplo, acceso de entrada del equipo) y supone un valor máximo de fluctuación lenta de fase del enlace de transmisión entre dos nodos de 11 μ s. La diferencia de 3 μ s corresponde a los 3 μ s admitidos para la desviación de fase a largo plazo en el reloj nacional de referencia [véase la Recomendación G.811, § 3c)].

3.1.2 Fluctuación de fase máxima a la salida en ausencia de una fluctuación de fase a la 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/G.823 ilustra el montaje para la medición de la fluctuación de fase a la salida.

3.1.3 Características de transferencia de la 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/G.823 muestra la forma general de una característica típica de transferencia de fluctuación de fase. Los valores apropiados para los niveles x y $-y$ 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 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 equipo síncrono definirán finalmente los valores límite de las distintas características de transferencia de fluctuación lenta de fase.

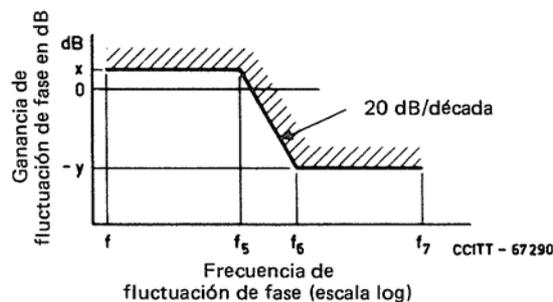


FIGURA 4/G.823

Característica típica de transferencia de fluctuación de fase

3.2 Secciones digitales

A fin de asegurar que no se rebasa el límite de red máximo (§ 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.

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.

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 el § 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).

La utilización de una secuencia binaria pseudoaleatoria (SBSA) 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.

ANEXO A

(a la Recomendación G.823)

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

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

Suele ser conveniente utilizar, en lugar de una señal de tráfico de tipo aleatorio, una secuencia binaria pseudoaleatoria (SBSA). Pero, las mediciones de la fluctuación de fase efectuadas con esta señal de prueba tienden a arrojar resultados optimales 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 (efectuado 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 34368 kbit/s y 139264 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:

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

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:

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

donde

f_1 = frecuencia de la señal de temporización extraída de la señal entrante por el circuito de extracción de la temporización

Q = factor Q de un repetidor

n = número de repetidores en serie

y

$$\text{Frecuencia de repetición de la secuencia binaria pseudoaleatoria} = \frac{f}{L} \text{ [Hz]}$$

donde

f = velocidad binaria

L = 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 requiere más estudio:

Así

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

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

(a la Recomendación G.823)

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.

a) *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:

$$J_N \simeq J \times \sqrt[4]{N} \quad (1)$$

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:

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

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].

Nota 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.

Nota 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:

$$J_N = J_1 \times \sqrt{2NA} \quad (3)$$

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.

Nota 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].

Nota 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].

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

- a) 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
- b) 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:

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

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) *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:

$$J_M \simeq J_S \times \sqrt[4]{KM} \quad (5)$$

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:

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

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 $\left(B = \frac{W_0}{2Q} \right)$.

Nota – Será preciso seguir estudiando la validez de las relaciones indicadas en la presente sección, 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.

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 $\sqrt[4]{N}$ 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

(Estos aspectos requieren un estudio más amplio.)

Referencias

- [1] BYRNE (C. J.), KARAFIN (R. J.) y (ROBINSON, (D. R.): Systematic Jitter in a Chain of Digital Repeaters, *BSTJ*, Vol. 42, 1963.
- [2] BENNETT (W. R.): Statistics of Regenerative Digital Transmission, *BSTJ*, Vol. 37, 1958.
- [3] ROWE (H. E.): Timing in a Long Chain of Regenerative Repeaters, *BSTJ*, Vol. 37, 1958.
- [4] MANLEY (J. M.): Generation and Accumulation of Timing Noise in PCM Systems – An Experimental and Theoretical Study, *BSTJ*, Vol. 48, 1969.
- [5] DUTTWEILER (A. L.): Waiting Time Jitter, *BSTJ*, Vol. 51, N.º 1, enero de 1972, pp. 165-207.
- [6] CHOW (P. E. K.): Jitter due to Pulse Stuffing Synchronization *IEEE Transaction on Communications*, COM-21, N.º 7, julio de 1973, pp. 854-859.
- [7] CLEOBURY (D. J.): Characteristics of a Digital Multiplex Equipment Employing Justification Techniques *IEE Conference on Telecommunications Transmission*, 1975, pp. 83-86.
- [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] HIROSAKSI (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.

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie B	Medios de expresión: definiciones, símbolos, clasificación
Serie C	Estadísticas generales de telecomunicaciones
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedia
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Transmisiones de señales radiofónicas, de televisión y de otras señales multimedia
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	RGT y mantenimiento de redes: 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, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para 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 Y	Infraestructura mundial de la información y aspectos del protocolo Internet
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación