

DIN EN 61280-2-3

ICS 33.180.01

**Prüfverfahren für Lichtwellenleiter-Kommunikationsuntersysteme –
Teil 2-3: Digitale Systeme –
Messung von Jitter und Wander (IEC 61280-2-3:2009);
Deutsche Fassung EN 61280-2-3:2009**

Fibre optic communication subsystem test procedures –
Part 2-3: Digital systems –
Jitter and wander measurements (IEC 61280-2-3:2009);
German version EN 61280-2-3:2009

Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunications à fibres optiques –
Partie 2-3: Systèmes numériques –
Mesures des gigue et des dérapages (CEI 61280-2-3:2009);
Version allemande EN 61280-2-3:2009

Gesamtumfang 42 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Beginn der Gültigkeit

Die von CENELEC am 2009-08-01 angenommene EN 61280-2-3 gilt als DIN-Norm ab 2010-05-01.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN IEC 61280-2-3:2008-03.

Für diese Norm ist das nationale Arbeitsgremium UK 412.2 „Komponenten für Kommunikationskabelanlagen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom SC 86C „Fibre optic systems and active devices“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem Datum (maintenance result date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu dieser Publikation angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Prüfverfahren für Lichtwellenleiter-Kommunikationsuntersysteme –
Teil 2-3: Digitale Systeme –
Messung von Jitter und Wander
(IEC 61280-2-3:2009)

Fibre optic communication subsystem test
procedures –
Part 2-3: Digital systems –
Jitter and wander measurements
(IEC 61280-2-3:2009)

Procédures d'essai des sous-systèmes
de télécommunications à fibres optiques –
Partie 2-3: Systèmes numériques –
Mesures des giges et des dérapages
(CEI 61280-2-3:2009)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2009-08-01 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Zentralsekretariat oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

Zentralsekretariat: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 86C/885/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe von IEC 61280-2-3, ausgearbeitet von dem SC 86C „Fibre optic systems and active devices“ des IEC/TC86 „Fibre optics“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2009-08-01 als EN 61280-2-3 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2010-05-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2012-08-01

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61280-2-3:2009 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
1 Anwendungsbereich	6
1.1 Arten der Jitter-Messung	6
1.2 Arten der Wander-Messung	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Allgemeine Betrachtungen	9
4.1 Jitter-Erzeugung	9
4.1.1 Zeit-Jitter	9
4.1.2 Synchronisations-Jitter	10
4.1.3 Andere Effekte	11
4.2 Auswirkungen von Jitter auf die Signalqualität	11
4.3 Jitter-Toleranz	11
4.4 Wartezeit-Jitter	12
4.5 Wander	12
5 Prüfverfahren für Jitter	13
5.1 Allgemeine Betrachtungen	13
5.1.1 Analoges Verfahren	13
5.1.2 Digitales Verfahren	13
5.2 Allgemeine Prüfeinrichtungen	14
5.3 Sicherheit	15
5.4 Lichtwellenleiterverbindungen	16
5.5 Prüfmuster	16
6 Verfahren zur Messung der Jitter-Toleranz	16
6.1 Zweck	16
6.2 Prüfeinrichtung	16
6.3 BER-Zuschlagstechnik	16
6.3.1 Anschluss der Einrichtung	16
6.3.2 Einstellungen der Einrichtung	17
6.3.3 Messverfahren	17
6.4 Verfahren des Einsetzens von Fehlern	17
6.4.1 Anschluss der Einrichtung	18
6.4.2 Einstellungen der Einrichtung	18
6.4.3 Messverfahren	18
6.5 Prüfung der Jitter-Toleranz am Empfänger mit dem „Stressed-Eye“-Verfahren	19
6.5.1 Zweck	19
6.5.2 Prüfeinrichtung	19
6.5.3 Verfahren mit einer sinusförmigen Jitter-Maske	19
7 Messung der Jitter-Übertragungsfunktion	20
7.1 Allgemeines	20
7.2 Prüfeinrichtung	20
7.3 Grundlegendes Verfahren	21
7.3.1 Anschluss der Einrichtung	21
7.3.2 Einstellungen der Einrichtung	21
7.3.3 Messverfahren	22

	Seite
7.4 Verfahren mit dem analogen Phasendetektor	22
7.4.1 Anschluss der Einrichtung	22
7.4.2 Einstellungen der Einrichtung	23
7.4.3 Messverfahren	23
7.4.4 Berechnung der Messergebnisse	23
8 Messung des Ausgangs-Jitters	23
8.1 Allgemeines	23
8.2 Anschluss der Einrichtung	24
8.2.1 Einstellungen der Einrichtung	24
8.2.2 Messverfahren	24
8.2.3 Gesteuertes Datenmuster	24
9 Messung des systematischen Jitters	25
9.1 Prüfeinrichtung	25
9.2 Grundlegendes Verfahren	25
9.2.1 Anschluss der Einrichtung	25
9.2.2 Einstellungen der Einrichtungen	26
9.2.3 Messverfahren	26
10 BERT-Abtastverfahren	27
10.1 Allgemeines	27
10.2 Prüfeinrichtung	28
10.3 Grundlegendes Verfahren	28
10.3.1 Anschluss der Einrichtung	28
10.3.2 Einstellungen der Einrichtung	28
10.3.3 Messverfahren	29
11 Verfahren der Jitter-Abtrennung	29
11.1 Allgemeines	29
11.2 Prüfeinrichtung	30
11.3 Anschluss der Einrichtung	31
11.4 Einstellungen der Einrichtung	31
11.5 Messverfahren	31
11.5.1 Abtastoszilloskop	31
11.5.2 Echtzeitoszilloskop	31
12 Messung des Wanders	33
12.1 Prüfeinrichtung	33
12.2 Grundlegendes Verfahren	33
12.2.1 Anschluss der Einrichtung	33
12.2.2 Einstellungen der Einrichtung	34
12.2.3 Messverfahren	34
13 Messung der Wander-Zeitabweichungs-Toleranz (en: Time Deviation, TDEV)	34
13.1 Ziel	34
13.2 Prüfeinrichtung	34
13.3 Grundlegendes Verfahren	34
13.4 Anschluss der Einrichtung	35
13.4.1 Messung der Wander-TDEV-Toleranz für das Prüfsignal der zu prüfenden Einrichtung	35
13.4.2 Messung der Wander-TDEV-Toleranz für das Taktreferenzsignal der zu prüfenden Einrichtung	35
13.5 Einstellungen der Einrichtung	36

	Seite
13.6 Messverfahren.....	36
14 Messung der Wander-TDEV-Übertragung.....	36
14.1 Prüfeinrichtung	36
14.2 Anschluss der Einrichtung.....	36
14.2.1 Messung der Wander-TDEV-Übertragung für das Prüfsignal der zu prüfenden Einrichtung.....	36
14.2.2 Messung der Wander-TDEV-Übertragung für das Taktreferenzsignal der zu prüfenden Einrichtung	37
14.3 Einstellungen der Einrichtung	37
14.4 Messverfahren.....	37
15 Prüfergebnisse	38
15.1 Erforderliche Angaben.....	38
15.2 Zusätzliche Angaben.....	38
Literaturhinweise	39
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	40

Bilder

Bild 1 – Jitter-Erzeugung	10
Bild 2 – Beispiel für die Jitter-Toleranz.....	12
Bild 3 – Jitter- und Wander-Generator	14
Bild 4 – Jitter- und Wander-Messung	15
Bild 5 – Jitter-Störungsgenerator.....	15
Bild 6 – Messaufbau zur Messung der Jitter-Toleranz: BER-Zuschlagstechnik	17
Bild 7 – Messaufbau zur Messung der Jitter-Toleranz: Verfahren des Einsetzens von Fehlern	18
Bild 8 – Messaufbau für die Toleranzprüfung mit dem Stressed-Eye-Verfahren.....	19
Bild 9 – Messung der Jitter-Übertragungsfunktion: grundlegendes Verfahren	21
Bild 10 – Messung der Jitter-Übertragungsfunktion: Verfahren mit dem analogen Phasendetektor	23
Bild 11 – Messung des Ausgangs-Jitters	25
Bild 12 – Prüfaufbau zur Messung des systematischen Jitters: grundlegendes Verfahren.....	25
Bild 13 – Messung der vom Datenmuster abhängigen Phasenfolge x_i	26
Bild 14 – Badenwannenkurven der BERT-Abtastung (Volllinie bei geringem Jitter, gestrichelte Linie bei starkem Jitter).....	28
Bild 15 – Prüfaufbau für die BERT-Abtastung.....	29
Bild 16 – Dual-Dirac-Modell für den Jitter.....	30
Bild 17 – Aufbau zur Messung der Jitter-Abtrennung	31
Bild 18 – Messung der Drift	32
Bild 19 – Prüfaufbau zur Messung des synchronisierten Wanders.....	33
Bild 20 – Prüfaufbau zur Messung des nicht synchronisierten Wanders.....	34
Bild 21 – Prüfaufbau zur Messung der Wander-TDEV-Toleranz für das Prüfsignal der zu prüfenden Einrichtung	35
Bild 22 – Prüfaufbau zur Messung der Wander-TDEV-Toleranz für das Taktreferenzsignal der zu prüfenden Einrichtung	35
Bild 23 – Prüfaufbau zur Messung der Wander-TDEV-Übertragung für das Prüfsignal der zu prüfenden Einrichtung	37
Bild 24 – Prüfaufbau zur Messung der Wander-TDEV-Übertragung für das Taktreferenzsignal der zu prüfenden Einrichtung	37

1 Anwendungsbereich

Im vorliegenden Teil von IEC 61280 sind Verfahren zur Messung von Jitter- und Wander-Parametern im Zusammenhang mit der Übertragung und Verarbeitung von digitalen Signalen festgelegt.

1.1 Arten der Jitter-Messung

Das vorliegende Dokument beinhaltet die Messung folgender Jitter-Parameter:

- a) Jitter-Toleranz:
 - 1) Sinusverfahren;
 - 2) „Stressed-Eye“-Verfahren;
- b) Jitter-Übertragungsfunktion;
- c) Ausgangs-Jitter;
- d) systematischer Jitter;
- e) Jitter-Abtrennung.

1.2 Arten der Wander-Messung

Das vorliegende Dokument beinhaltet die Messung folgender Wander-Parameter:

- a) nicht synchronisierter Wander;
- b) Zeitdifferenz-Toleranz (en: time deviation, TDEV);
- c) Zeitdifferenz-Übertragung (en: time deviation, TDEV);
- d) synchronisierter Wander.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60825-1, *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification and requirements*

ITU-T Recommendation G.813, *Timing characteristics of SDH equipment slave clocks (SEC)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokumentes gelten folgende Begriffe.

ANMERKUNG Siehe auch IEC 61931.

3.1 Jitter

kurzzeitige, nicht kumulative Abweichungen der signifikanten Zeitpunkte eines digitalen Signals von ihren idealen Zeitlagen. Kurzzeitige Abweichungen sind in diesem Zusammenhang Jitter-Komponenten mit einer Wiederholfrequenz von 10 Hz oder darüber.

3.2 Jitter-Amplitude

Abweichung des signifikanten Zeitpunktes eines digitalen Signals von seiner idealen Zeitlage

ANMERKUNG Für die Anwendung dieser Norm wird die Jitter-Amplitude in Einheitsschrittlängen (UI) angegeben. Es ist auch üblich, die Jitter-Amplitude in Zeiteinheiten anzugeben.

3.3

Einheitsschrittlänge

kürzestes Intervall zwischen zwei äquivalenten Zeitpunkten in ihren idealen Zeitlagen. In der Praxis entspricht das der idealen Taktperiode des digitalen Signals.

3.4

Jitter-Frequenz

zeitliche Abweichungsgeschwindigkeit der signifikanten Zeitpunkte eines digitalen Signals bezogen auf ihre idealen Zeitlagen. Die Jitter-Frequenz wird in Hertz (Hz) angegeben.

3.5

Jitter-Bandbreite

Jitter-Frequenz, bei der die Jitter-Amplitude bezogen auf ihren Höchstwert um 3 dB abgefallen ist

3.6

Synchronisations-Jitter

Jitter, der erzeugt wird, wenn die Taktrückgewinnung des Datensignals aus dem Signal selbst erfolgt

3.7

Zeit-Jitter

an der Zeitquelle vorhandener Jitter

3.8

systematischer Jitter

Jitter-Komponenten, die nicht zufällig sind und eine vorhersagbare Auftretensrate besitzen. Ein systematischer Jitter in einem digitalen Signal ergibt sich aus periodischen Merkmalen im digitalen Signal wie Rahmenkenndaten und Einstellungskontrolldaten. Er wird mitunter als deterministischer Jitter bezeichnet und setzt sich aus einem periodischen unkorrelierten Jitter und einem datenabhängigen Jitter zusammen.

3.9

periodischer unkorrelierter Jitter

Form des systematischen Jitters, der in regelmäßigen Abständen auftritt, aber bei der Wiederholung des Datenmusters in keiner Wechselbeziehung mit den Daten steht. Ein periodischer unkorrelierter Jitter ist der gleiche, unabhängig davon, welche Flanke in einem Datenmuster in Abhängigkeit von der Zeit beobachtet wird. Quellen eines periodischen unkorrelierten Jitters sind phasenmodulierende Referenzakte von Schaltkreisen oder jede Form der periodischen Phasenmodulation von Takten, die Übertragungsgeschwindigkeiten steuern.

3.10

Intersymbolstörungen-Jitter

durch Bandbreitenbegrenzungen in Übertragungskanälen verursacht. Bei geringer Kanalbandbreite besteht die Möglichkeit, dass Signalübergänge vor dem Übergang in einen anderen logischen Zustand nicht die volle Amplitude erreichen. Ausgehend von einem Pegel näher an der Mitte zwischen logischen Zuständen kann der Zeitpunkt, an dem die Signalfanke dann eine bestimmte Amplitudenschwelle durchläuft, im Vergleich zu nachfolgenden gleichartigen Digits, die die volle Amplitude erreicht haben und dann in den anderen logischen Zustand schalten, früher liegen.

3.11

Verzerrung des Tastverhältnisses

tritt auf, wenn sich die Dauer des logischen Pegels 1 (0-1-0) von der Dauer des logischen Pegels 0 (1-0-1) unterscheidet. Wenn beispielsweise der logische Pegel 1 länger dauert, treten, verglichen mit ihren idealen Zeitlagen die ansteigenden Flanken bezogen auf die abfallenden Flanken früher auf.

3.12

datenabhängiger Jitter

Jitter, der in einem sich wiederholenden Datenmuster in einer Wechselbeziehung mit bestimmten Bits steht, das heißt, dass sich bei jeder Wiederholung des Datenmusters der Jitter an einer gegebenen Signalfanke auf die gleiche Weise darstellt. Die Ursachen dafür sind die Verzerrung des Tastverhältnisses und/oder Intersymbolstörungen.

3.13

Wartezeit-Jitter

liegt bei plesiochronem Multiplex-Betrieb vor und ist definiert als der Jitter, der durch die Laufzeitschwankung zwischen der Anforderung für die Einstellung und deren Ausführung besteht

3.14

Jitter-Toleranz

größte Jitter-Amplitude, die ein digitaler Empfänger verarbeiten kann, ohne dass in das digitale Signal Fehler eingefügt werden. Die höchstzulässige Jitter-Toleranz hängt im Allgemeinen von der Jitter-Frequenz ab.

3.15

Jitter-Erzeugung

Prozess der Beeinträchtigung eines digitalen Signals durch Jitter

3.16

Eingangs-Jitter

Größe des an einer hierarchischen Schnittstelle oder am Eingangsanschluss einer Einrichtung oder eines Gerätes auftretenden Jitters

3.17

Ausgangs-Jitter

Größe des an einer hierarchischen Schnittstelle oder am Ausgangsanschluss einer Einrichtung oder eines Gerätes auftretenden Jitters

3.18

Jitter-Übertragung

Betrag des vom Eingang zum Ausgang einer Einrichtung oder eines Gerätes übertragenen Jitters. Sie wird gewöhnlich als Verhältnis des Ausgangs-Jitters zum Eingangs-Jitter (in dB) angegeben.

3.19

Gesamt-Jitter

Summe aus (oder Faltung von) deterministischem und zufälligem Jitter. Der Gesamt-Jitter wird als Spitzenwert angegeben.

3.20

Badewannenkurve des Jitters

grafische Darstellung der Bitfehlerquote als Funktion der Zeitlage des Abtastpunktes des Bitfehlerverhältnisses. Die resultierende Kurve ist dann die Darstellung der Wahrscheinlichkeit dafür, dass eine Datenflanke innerhalb einer Einheitsschrittlänge bezogen auf eine spezifische Lage versetzt ist (näher an der Bitmitte liegt).

3.21

Wander

langzeitige, nicht kumulative Abweichungen der signifikanten Zeitpunkte eines digitalen Signals von ihren idealen Zeitlagen. Langzeitige Abweichungen sind in diesem Zusammenhang Jitter-Komponenten mit einer Wiederholfrequenz von weniger als 10 Hz.

ANMERKUNG Für die Anwendung dieses Dokuments wird die Wander-Amplitude in Zeiteinheiten (s) angegeben. Es ist auch üblich, die Wander-Amplitude in Einheitsschrittlängen (en: unit interval. UI) anzugeben.

3.22

Drift (en: time interval error, TIE)

Unterschied zwischen dem Maß eines Zeitintervalls, das durch einen Takt bereitgestellt wird, und dem Maß desselben Zeitintervalls, das durch einen Referenztakt bereitgestellt wird. Mathematisch kann die Driftfunktion TIE ($t; \tau$) wie folgt angegeben werden:

$$\text{TIE}(t; \tau) = [T(t + \tau) - T(t)] - [T_{\text{ref}}(t + \tau) - T_{\text{ref}}(t)] = x(t + \tau) - x(t) \quad (1)$$

Dabei ist τ das Zeitintervall, das gewöhnlich als Beobachtungsintervall bezeichnet wird.

3.23

größte Drift (en: maximum time interval error, MTIE)

größte Laufzeitschwankung zwischen den Spitze-Spitze-Werten eines gegebenen Taktsignals bezogen auf ein ideales Taktsignal innerhalb einer Beobachtungszeit ($\tau = n\tau_0$) für alle Beobachtungszeiten dieser Länge innerhalb der Messperiode (T). Sie wird mit folgender Gleichung ermittelt:

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

3.24

Zeithub (en: time deviation, TDEV oder $\alpha\tau$)

Maß für die erwartete Zeitabweichung eines Signals als Funktion der Integrationszeit. TDEV kann außerdem Informationen über den Spektralgehalt des Phasenrauschens (Zeitrauschens) eines Signals liefern. TDEV wird in Zeiteinheiten angegeben. Auf der Grundlage der Reihenfolge der Driftabtastwerte kann der Zeithub wie folgt berechnet werden:

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

Dabei sind:

x_i die Driftabtastwerte;

N die Gesamtzahl der Abtastwerte;

τ_0 das Driftabtastintervall;

τ die Integrationszeit, die unabhängige Variable von TDEV;

n die Anzahl der Abtastintervalle innerhalb der Integrationszeit t .

3.25

Bitfehlerverhältnis (en: bit error ratio, BER)

Verhältnis der Anzahl der fehlerhaft empfangenen Bits zur Gesamtzahl der empfangenen Bits

3.26

fehlerbehaftete Sekunde (en: errored second)

Zeitintervall von 1 s Dauer, das einen oder mehrere Digitalfehler in einem Datenstrom enthält

4 Allgemeine Betrachtungen

4.1 Jitter-Erzeugung

Jitter wird in einem digitalen Signal durch drei grundlegende Prozesse erzeugt, die nachfolgend kurz beschrieben werden. Die mathematische Analyse der Jitter-Prozesse ist komplex und gehört nicht zum Anwendungsbereich des vorliegenden Dokumentes. Ein umfassende Analyse und eine frühe mathematische Abhandlung des Jitter-Prozesses sind in [1] angegeben¹⁾.

4.1.1 Zeit-Jitter

Zeit-Jitter ist eine Jitter-Beeinträchtigung des ursprünglichen Datenführungstaktes. Selbst die stabilsten Taktquellen erzeugen einen bestimmten Jitter-Betrag, eine ungewollte Phasenmodulation oder Phasenrauschen. Bei Primärtaktgeneratoren ist diese Beeinträchtigung äußerst gering, sie wächst aber, wenn diese Taktsignale in einem System verteilt werden. Die Auswirkung von Rauschen auf das Taktsignal in einem digitalen System ist in Bild 1 übertrieben dargestellt.

¹⁾ Zahlen in eckigen Klammern verweisen auf die Literaturhinweise.

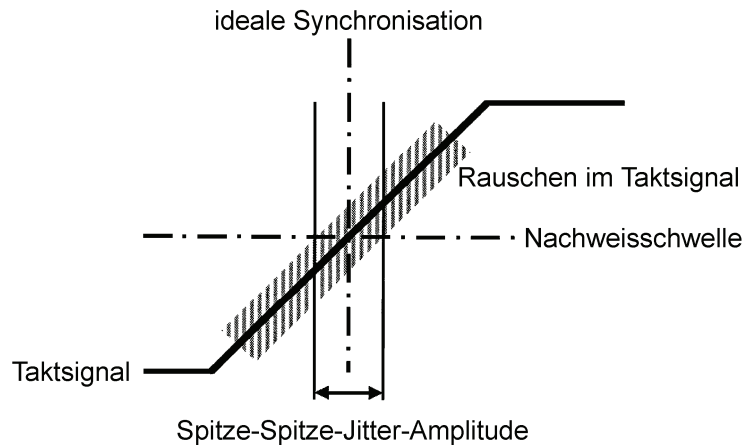


Bild 1 – Jitter-Erzeugung

4.1.2 Synchronisations-Jitter

Wenn ein digitales Datenmuster in eine Schaltung zur Taktrückgewinnung eingespeist wird, führt die dauernde Veränderung des digitalen Datenmusters im wiederhergestellten Taktsignal zur Erzeugung eines Jitters bezogen auf die ankommenden Daten (Synchronisations-Jitter). Dieser zuerst in [2] analysierte und beschriebene Effekt ist die Hauptursache für die Jitter-Erzeugung. Das bedeutet, dass die Jitter-Komponenten des wiederhergestellten Taktsignals zu den Daten hinzugefügt werden, wenn diese resynchronisiert werden. Die durch diesen Prozess erzeugte Jitter-Bandbreite entspricht der analogen Bandbreite der verwendeten Schaltung zur Taktrückgewinnung.

Wenn der Prozess bei einer gleichartigen Einrichtung wiederholt wird, zeigt das resultierende Taktsignal aufgrund des Hinzufügens von Zeit- und Synchronisations-Jitter einen erhöhten Jitter. Folglich wird der Jitter zum Datensignal hinzugefügt und bei der nächsten Taktrückgewinnung verstärkt. Eine Wiederholung dieses Prozesses, wie er in Übertragungsstrecken mit vielen Leistungsverstärkern oder Ketten von Hinzufüge-/Entnahme-Multiplexern stattfindet, kann zum Aufbau beträchtlicher Jitter-Amplituden führen; solange die Bandbreite des Taktrückgewinnungsprozesses aber gleich der Jitter-Bandbreite des Signals oder größer als diese ist, wird der Jitter immer aufgenommen. Eine Analyse der Akkumulation eines Jitters in aufeinander folgenden Taktrückgewinnungen wurde zuerst in [3] veröffentlicht. Der Aufbau des Jitters kann durch eine Gleichung in folgender Form dargestellt werden:

$$\theta_n = \sum_{k=1}^n \theta_0(j\omega) \left(\frac{1}{1 + j\omega/B} \right)^k \quad (4)$$

Diese Gleichung ergibt ein Leistungsdichtespektrum des Jitters, das in folgender Form angegeben werden kann:

$$\phi_n \approx n^2 \left[\frac{\sin \frac{n}{2B} \omega}{\frac{n}{2B} \omega} \right]^2 \phi_0 \quad \text{für } \omega \ll B \quad (5)$$

Dabei ist

θ_n die Jitter-Amplitude nach n Taktrückgewinnungsprozessen;

θ_0 die Jitter-Amplitude, die in jedem einzelnen Taktrückgewinnungsprozess eingefügt wird;

n die Anzahl der Tandem-Taktrückgewinnungsprozesse;

ω die Kreisfrequenz ($2\pi f$) der Jitter-Komponente;

B die halbe Winkelbandbreite des Taktrückgewinnungskreises;

ϕ_n die Leistungsdichte des Jitters nach n Taktrückgewinnungsprozessen;

ϕ_0 die Leistungsdichte des Jitters, die nach jedem einzelnen Taktrückgewinnungsprozess eingeführt wird.

Es sollte beachtet werden, dass bei niedrigen Frequenzwerten die Leistungsdichte und damit die Jitter-Amplitude linear mit der Anzahl der Tandem-Taktrückgewinnungsprozesse steigt.

In Punkt-zu-Punkt-Datenübertragungssystemen, bei denen die Synchronisation des Senders nicht aus den ankommenden Daten abgeleitet wird, stellen Synchronisations-Jitter und Jitter-Aufbau keine maßgeblichen Probleme dar.

4.1.3 Andere Effekte

Im Verlauf der Übertragung eines digitalen Signals treten weitere Beeinträchtigungen wie zusätzliche Rausch- und Dispersionseffekte auf, die bei der Taktrückgewinnung aus dem Signal zu weiteren Jitter-Komponenten führen. Diese Effekte sind stärker, wenn zur Verlängerung einer digitalen Übertragungsstrecke anstatt einer digitalen Regenerierung eine analoge Verstärkung durchgeführt wird.

4.2 Auswirkungen von Jitter auf die Signalqualität

Solange die Einrichtung die Jitter-Amplitude und die Änderungsgeschwindigkeit aufnehmen kann, hat der Jitter keine Auswirkung auf die Datenübertragung (siehe 4.3). Wenn der Jitter so groß oder so schnell ist, dass der Entscheidungspunkt des Empfängers zur Datenflanke hin oder darüber hinaus verschoben wird, kann ein Fehler auftreten und die Bitfehlerrate verschlechtert sich. Jitter können abhängig von ihrer Amplitude und Frequenz auch beträchtliche Auswirkungen auf den Analogbetrieb wie Radio- und Fernsehübertragungen haben, die über digitale Übertragungsstrecken übertragen werden. Die Auswirkungen des Jitters sind unerwünschte Frequenz- und Phasenmodulationsprodukte, die bei Musiksendungen hörbar und auf Fernsehbildern sichtbar sind.

4.3 Jitter-Toleranz

Anforderungen an die Jitter-Toleranz sind in Telekommunikationssystemen gewöhnlich als Jitter-Masken festgelegt, die einen festgelegten sinusförmigen Amplituden-/Frequenz-Bereich abdecken. Jitter-Masken stellen den Mindestbetrag des Jitters dar, der in einer Einrichtung wirken können muss, ohne dass die festgelegte Verschlechterung des Betriebsverhaltens durch Fehler eintritt. Eine typische Beziehung zwischen tatsächlicher Jitter-Toleranz und deren zugehöriger Toleranzmaske ist in Bild 2 dargestellt.

Es ist festgelegt, dass die Jitter-Amplituden, die die Einrichtung bei einer gegebenen Frequenz tatsächlich verträgt, alle die Amplituden unterhalb derjenigen Amplitude sind, bei der die festgesetzte Verschlechterung des Betriebsverhaltens durch Fehler verursacht wird, aber ausschließlich dieser Amplitude. Die festgesetzte Verschlechterung des Betriebsverhaltens durch Fehler kann entweder als Zuschlag der Bitfehlerquote oder als Einsetzen der Fehlerkriterien angegeben werden. Diese beiden Merkmale ergeben sich daraus, dass die Toleranz des Eingangs-Jitters der digitalen Einrichtung in erster Linie durch die folgenden drei Faktoren bestimmt wird:

- a) die Fähigkeit der Rückgewinnungsschaltung des Eingangstaktes, die Synchronisation aus dem durch Jitter gestörten Datensignal einschließlich vorhandener anderer Verschlechterungen wie Impulsverzerrung, Nebensprechen, Rauschen und sonstigen Beeinträchtigungen genau wiederherzustellen;
- b) die Fähigkeit des Pufferspeichers der Eingangsschaltung, wie z. B. eines dynamischen Speichers, die Jitter-Amplitude aufzunehmen;
- c) die Fähigkeit anderer Komponenten, dynamisch veränderliche Eingangsübertragungsgeschwindigkeiten wie die Impulseinstellungskapazität und die Pufferspeichergröße von Synchronisations- und Desynchronisationseinrichtungen in einem asynchronen Digitalmultiplexer aufzunehmen.