

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R BT.1363-1
(11/1998)

**Spécifications de gigue et méthodes pour
mesurer la gigue des signaux série
conformes aux Recommandations
UIT-R BT.656, UIT-R BT.799 et
UIT-R BT.1120**

Série BT
Service de radiodiffusion télévisuelle



Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans l'Annexe 1 de la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en oeuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Recommandations UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

Séries	Titre
BO	Diffusion par satellite
BR	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
BS	Service de radiodiffusion sonore
BT	Service de radiodiffusion télévisuelle
F	Service fixe
M	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
P	Propagation des ondes radioélectriques
RA	Radio astronomie
RS	Systèmes de télédétection
S	Service fixe par satellite
SA	Applications spatiales et météorologie
SF	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
SM	Gestion du spectre
SNG	Reportage d'actualités par satellite
TF	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
V	Vocabulaire et sujets associés

Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2011

© UIT 2011

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

RECOMMANDATION UIT-R BT.1363-1^{*, **}**Spécifications de gigue et méthodes pour mesurer la gigue des signaux série conformes aux Recommandations UIT-R BT.656, UIT-R BT.799 et UIT-R BT.1120**

(Question UIT-R 130/6)

(1998-1998)

Domaine d'application

La présente Recommandation donne des indications et des tolérances pour la mesure de la gigue liée à la stabilité de l'horloge des interfaces numériques série. Elle propose aussi des techniques de mesure.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que de nombreux pays ont créé des installations de production de télévision numérique fondées sur l'utilisation de signaux vidéo numériques série en composantes conformes aux Recommandations UIT-R BT.656, UIT-R BT.799 ou UIT-R BT.1120;
- b) que, pour garantir le fonctionnement des interfaces numériques série en question, il faut définir des paramètres de gigue et établir des méthodes pour la mesurer;
- c) que, pour réaliser les objectifs ci-dessus, il faut trouver un accord en ce qui concerne la spécification et la mesure de la gigue dans des interfaces série conformes aux Recommandations UIT-R BT.656, UIT-R BT.799 et UIT-R BT.1120;
- d) que la mise en œuvre d'une interface optique pour la transmission de signaux conforme à la Recommandation UIT-R BT.1367 exige la définition de paramètres de gigue et l'établissement de méthodes pour la mesurer,

recommande

1 lors de la mise en œuvre d'interfaces conformes aux Recommandations UIT-R BT.656, UIT-R BT.799 et UIT-R BT.1120, de spécifier la gigue et d'utiliser pour la mesurer des méthodes se conformant aux dispositions exposées dans l'Annexe 1;

2 le respect de cette Recommandation se fait à titre volontaire. Cependant, il se peut que la Recommandation contienne certaines dispositions obligatoires (pour assurer, par exemple, l'interopérabilité et l'applicabilité) et considère que la Recommandation est respectée lorsque toutes ces dispositions sont observées. Le futur d'obligation et les autres moyens d'expression de l'obligation comme le verbe «devoir» ainsi que leurs formes négatives servent à énoncer des prescriptions. L'utilisation de ces formes ne signifie aucunement qu'il est obligatoire de respecter, en partie ou en totalité, la présente Recommandation.

* La Commission d'études 6 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à cette Recommandation en 2003, conformément à la Résolution UIT-R 44.

** La Commission d'études 6 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à la présente Recommandation en octobre 2010, conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 1.

Annexe 1

Spécifications de la gigue

1 Introduction

La présente Recommandation décrit des méthodes destinées à spécifier la gigue dans des systèmes numériques série, auto-synchronisés; elle est applicable aux sources, récepteurs et régénérateurs.

2 Références normatives

Il n'existe pas de références normatives associées à la présente Recommandation.

3 Définitions

3.1 Gigue d'alignement: variation de position des transitions d'un signal par rapport à celles d'un signal d'horloge extrait de ce premier signal; la largeur de bande du processus d'extraction du signal d'horloge détermine la fréquence plancher correspondant à la gigue d'alignement.

3.2 Tolérance de la gigue à l'entrée d'un équipement: amplitude crête à crête de la gigue sinusoïdale qui, appliquée à l'entrée d'un équipement, entraîne une dégradation spécifiée des caractéristiques d'erreur.

3.3 Gigue intrinsèque: gigue à la sortie d'un équipement en l'absence de gigue à l'entrée.

3.4 Gigue: variation des transitions d'un signal numérique par rapport à leur position idéale dans le temps.

3.5 Transfert de gigue: gigue à la sortie d'un équipement résultant de l'application d'une gigue à l'entrée.

3.6 Fonction de transfert de gigue: rapport de la gigue à la sortie d'un équipement sur la gigue appliquée à l'entrée en fonction de la fréquence.

3.7 Gigue à la sortie d'un équipement: gigue à la sortie d'un équipement qui est intégré à un système ou à un réseau; se compose de la gigue intrinsèque et du transfert de gigue à l'entrée de l'équipement.

3.8 Gigue de rythme: variation de position des transitions d'un signal se produisant au-dessus d'une fréquence donnée normalement égale ou inférieure à 10 Hz; les variations se produisant au-dessous, appelées dérapages, ne sont pas prises en considération dans la présente Recommandation.

3.9 Intervalle unitaire: abrégé en IU, période d'un seul cycle d'horloge; correspond à la durée nominale minimale entre des transitions du signal série.

4 Spécifications de gigue

La gigue d'un équipement se définit suivant trois paramètres: la tolérance de la gigue à l'entrée de l'équipement, le transfert de gigue et la gigue intrinsèque; il existe un quatrième paramètre, la gigue à la sortie de l'équipement, qui est propre au réseau et qui peut être utilisée pour fixer les limites de gigue aux interfaces de l'équipement.

4.1 Tolérance de la gigue à l'entrée d'un équipement

La tolérance de la gigue à l'entrée d'un équipement est l'amplitude crête à crête de la gigue sinusoïdale qui, appliquée à l'entrée d'un équipement, entraîne une dégradation spécifiée du taux d'erreur, elle est applicable à la plupart des entrées série.

4.1.1 Les conditions de tolérance de la gigue à l'entrée d'un équipement sont établies à l'aide d'un gabarit qui couvre une plage de fréquences, d'amplitude sinusoïdale, spécifiée (voir la Fig. 1). Ce gabarit représente la quantité minimale de gigue que l'équipement doit accepter sans entraîner la dégradation spécifiée du taux d'erreur. Un équipement satisfaisant à des critères de tolérance de la gigue doit avoir une tolérance réelle supérieure à ces critères (voir la Fig. 2).

4.1.2 Les critères de tolérance de la gigue à l'entrée d'un équipement sont définis à l'aide des paramètres énumérés dans le Tableau 1.

TABLEAU 1
Tolérance de la gigue à l'entrée d'un équipement

Paramètres	Unités	Description
Débit	(bit/s)	(Débit binaire série)
f_1	(Hz)	(Limite de spécification aux fréquences basses)
f_2	(Hz)	(Limite de bande supérieur pour A_1 , tolérance de la gigue aux fréquences basses)
f_3	(Hz)	(Limite de bande inférieure pour A_2 , tolérance de la gigue aux fréquences hautes)
f_4	(Hz)	(Limite de spécification aux fréquences hautes)
A_1	(IU)	(Tolérance de la gigue aux fréquences basses, f_1 à f_2)
A_2	(IU)	(Tolérance de la gigue aux fréquences hautes, f_3 à f_4)
Critère d'erreur		(Critère pour l'apparition d'erreurs)
Signal d'essai		(Signal d'essai utilisé pour les mesures)

FIGURE 1
Tolérance de la gigue à l'entrée d'un équipement

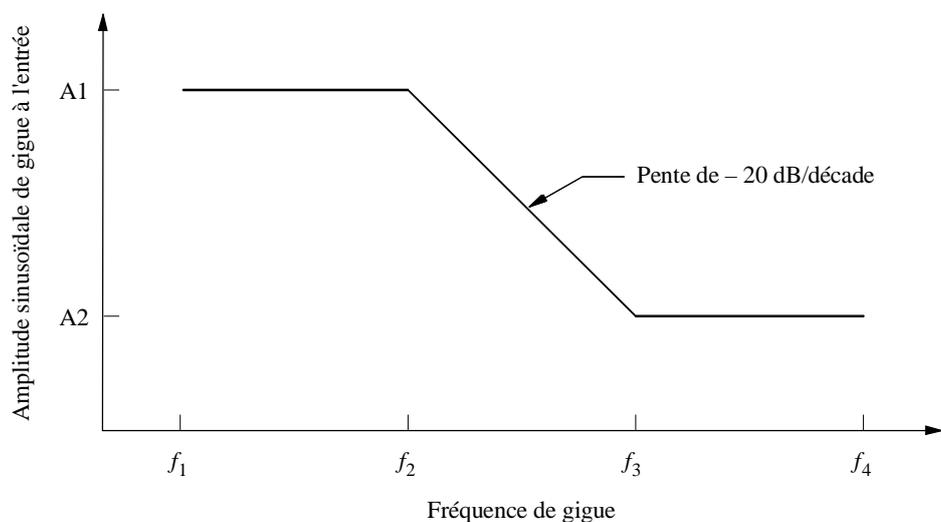
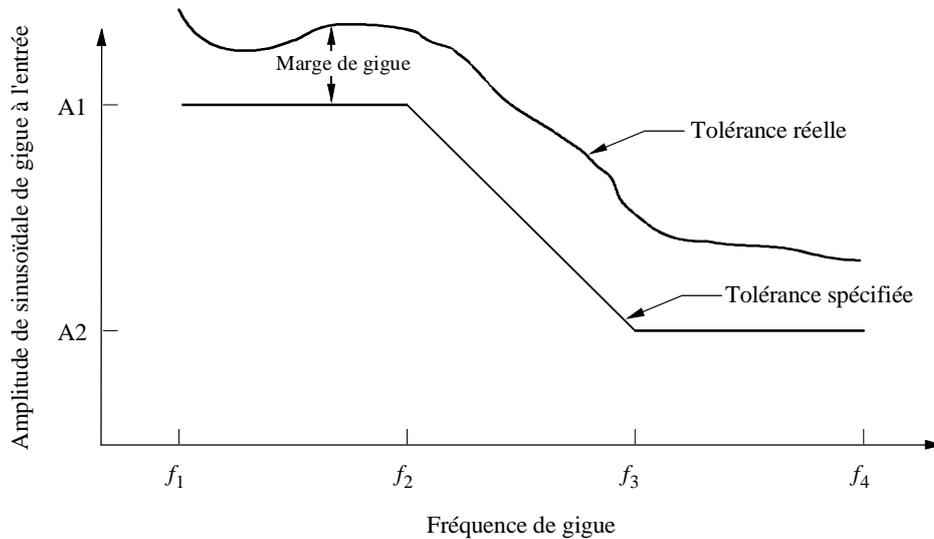


FIGURE 2
Spécification et exemple de tolérance de la gigue



4.1.2.1 La bande de fréquences f_1 à f_2 constitue la bande passante en ce qui concerne la tolérance de la gigue aux fréquences basses. Un IU A_1 au moins de gigue d'amplitude crête à crête sinusoïdale doit être toléré sur cette bande passante sans que soit pour autant excédé le critère d'erreur spécifié.

4.1.2.2 La bande de fréquences f_3 à f_4 constitue la bande passante en ce qui concerne la tolérance de la gigue aux fréquences hautes. Un IU A_2 au moins de gigue d'amplitude crête à crête sinusoïdale doit être toléré sur cette bande passante sans que soit excédé le critère d'erreur spécifié.

4.1.2.3 A_1 et A_2 doivent être spécifiés en intervalles unitaires (IU).

4.1.2.4 La pente qui doit être respectée pour la tolérance de la gigue entre f_2 et f_3 doit être de 20 dB/décade. La relation entre les fréquences f_2 et f_3 est comme suit: $f_2 = f_3/(A_1/A_2)$.

4.1.2.5 Le critère pour l'obtention de l'apparition d'erreur doit être spécifié; il conviendrait soit de limiter le TEB, soit d'utiliser un nombre maximal de secondes erronées pendant un intervalle de mesure spécifié.

4.1.2.6 Le signal d'essai utilisé pour la mesure (auquel on ajoute une gigue sinusoïdale) doit être spécifié.

4.1.3 Les valeurs numériques de la tolérance de la gigue à l'entrée d'un équipement sont indiquées dans les Recommandations UIT-R pertinentes dans lesquelles il est fait référence à cette pratique. La terminologie doit être conforme aux dispositions du § 4.1.2.

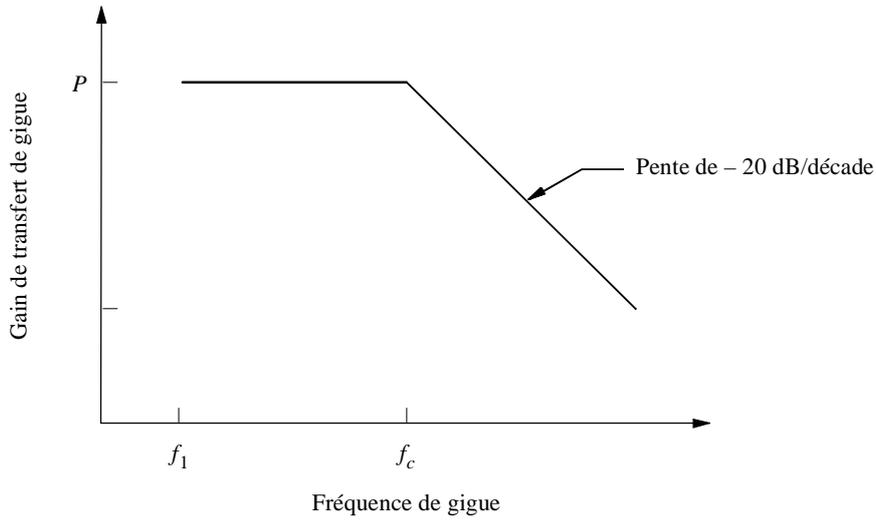
4.2 Transfert de gigue

Le transfert de gigue se dit de l'existence d'un phénomène de gigue à la sortie d'un équipement résultant de l'application d'une gigue à l'entrée; il s'applique aux dispositifs qui produisent des signaux de sortie série à partir de signaux d'entrée série, tels que les régénérateurs.

Le transfert de gigue peut se produire aussi après application de signaux de référence, tels que des signaux du noir analogiques en salves. Les gabarits décrits ci-dessous sont adaptés à un transfert de gigue entre des signaux d'entrée série et des signaux de sortie série.

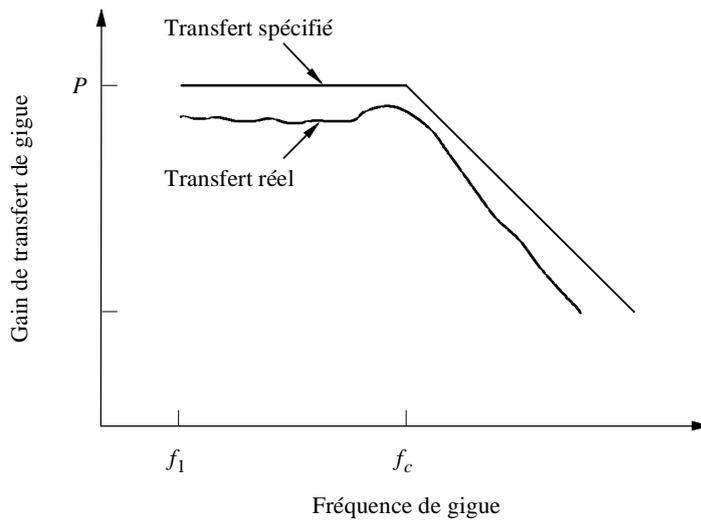
4.2.1 Les critères de transfert de gigue sont établis à l'aide d'un gabarit montrant le gain de gigue maximum en fonction de la fréquence (voir la Fig. 3); les équipements satisfaisant à ces critères auront une fonction de transfert de gigue se situant à l'intérieur de ce gabarit (voir la Fig. 4).

FIGURE 3
Gabarit de transfert de gigue



1363-03

FIGURE 4
Spécification de transfert de gigue et exemple de fonction de transfert de gigue



1363-04

4.2.2 Les critères de transfert de gigue sont établis à l'aide des paramètres présentés dans le Tableau 2.

TABLEAU 2
Critères de transfert de gigue

Paramètres	Unités	Description
Débit	(bits/s)	(Débit binaire série)
f_1	(Hz)	(Limite de la spécification en fréquences basses)
f_c	(Hz)	(Limite de bande supérieure de la bande passante correspondant au transfert de gigue)
P	(dB)	(Gain de gigue maximal, f_1 à f_c)
Signal d'essai		(Signal d'essai utilisé pour la mesure)

4.2.2.1 La bande de fréquences f_1 à f_c constitue la bande passante du transfert de gigue; le gain de gigue maximum sur cette bande passante est P .

4.2.2.2 De la fréquence f_c à au moins $10(f_c)$, le gabarit de transfert de gigue décroît selon une pente de 20 dB/décade.

4.2.2.3 P est exprimé en décibels.

4.2.2.4 Le signal d'essai utilisé pour la mesure (auquel est ajouté une gigue sinusoïdale) doit être spécifié.

4.2.3 Les valeurs numériques du transfert de gigue sont indiquées dans les Recommandations UIT-R pertinentes dans lesquelles il est fait référence à cette pratique. La terminologie doit être conforme aux dispositions du § 4.2.2.

4.3 Gigue intrinsèque et gigue à la sortie de l'équipement

Mesurées l'une et l'autre à la sortie d'un équipement, elles diffèrent par la spécification du signal d'entrée et sont, à cette différence près, mesurées de façon identique.

La gigue intrinsèque se définit comme la quantité de gigue se produisant à la sortie d'un équipement après l'application d'un signal d'entrée exempt de gigue; c'est la quantité mesurée de gigue produite dans l'équipement, abstraction faite de tout transfert de gigue. La gigue intrinsèque s'applique à la plupart des signaux de sortie série.

La gigue à la sortie d'un équipement est la quantité de gigue mesurée à la sortie d'un équipement qui est intégré à un système ou à un réseau; elle se compose de la gigue intrinsèque et du transfert de gigue à l'entrée de l'équipement. La gigue à la sortie de l'équipement est un critère de spécification pour les réseaux et non pas pour les équipements; pour ces derniers il convient de spécifier la gigue intrinsèque, le transfert de gigue et la tolérance de la gigue à l'entrée. La gigue à la sortie de l'équipement peut être utilisée dans les spécifications concernant les interfaces du réseau.

4.3.1 La gigue intrinsèque et la gigue à la sortie de l'équipement sont exprimées par des valeurs crête à crête et sont mesurées sur des bandes de fréquences de gigue définies, au nombre de deux dont l'une est un sous-ensemble de l'autre (voir la Fig. 5).

La gigue intrinsèque et la gigue à la sortie de l'équipement sont établies à l'aide des paramètres présentés dans le Tableau 3.

TABLEAU 3

Gigue intrinsèque et gigue à la sortie de l'équipement

Paramètres	Unités	Description
Débit	(bits/s)	(Débit binaire série)
f_1	(Hz)	(Gigue de rythme, limite de bande inférieure)
f_3	(Hz)	(Gigue d'alignement, limite de bande inférieure)
f_4	(IU)	(Limite de bande supérieure)
A_1	(IU)	(Gigue de rythme)
A_2	(s)	(Gigue d'alignement)
t_m		(Temps de mesure)
Signal d'essai		(Signal d'essai utilisé pour la mesure)
n		(Diviseur d'horloge série)

4.3.2.1 La bande passante servant à la mesure de la gigue de rythme est constituée par les fréquences f_1 à f_4 . La gigue crête à crête maximale permise sur cette bande passante est désignée par A_1 .

4.3.2.2 La bande passante servant à la mesure de la gigue d'alignement est constituée par les fréquences f_3 à f_4 ; la gigue crête à crête maximale permise sur cette bande passante est désignée par A_2 .

4.3.2.3 A_1 et A_2 sont exprimés en intervalles unitaires (IU).

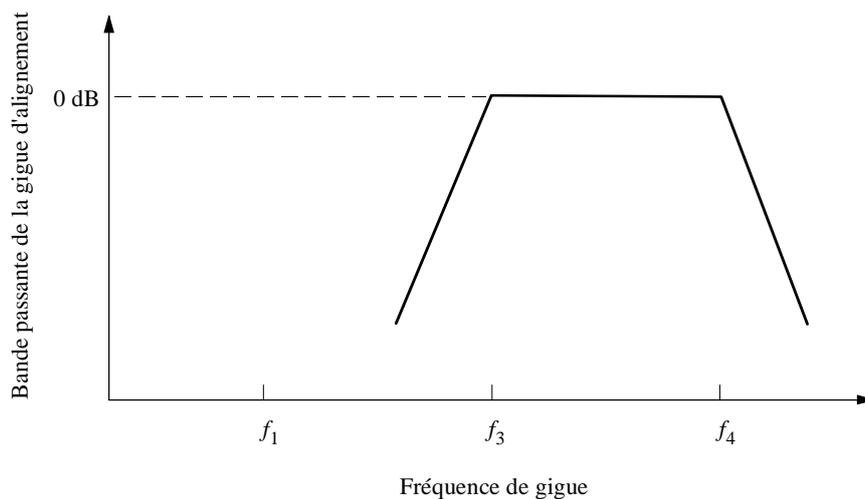
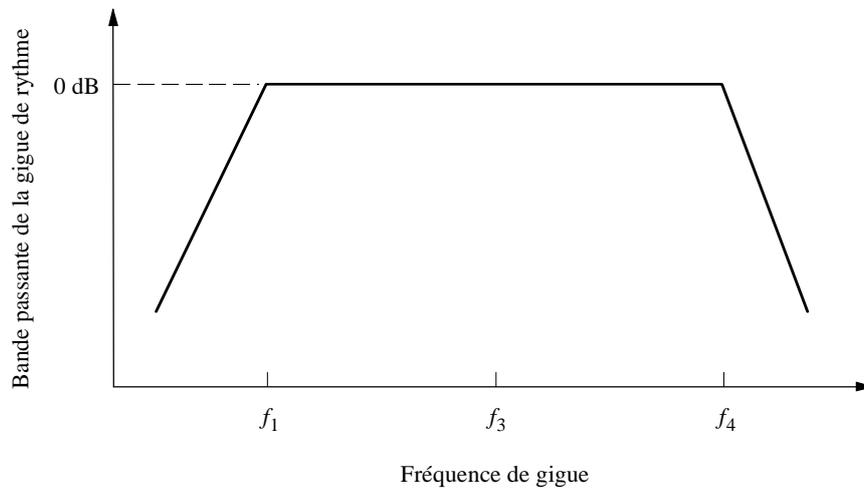
4.3.2.4 Les pentes des bandes passantes doivent être au moins de 20 dB/décade et avoir une réponse en phase minimale sauf indication contraire. Le rejet en bande doit être au moins égal à 20 dB et l'ondulation sur la bande passante doit être inférieure à +1 dB.

4.3.2.5 Un temps de mesure (t_m) peut être indiqué; sinon, il sera déterminé par les caractéristiques du système de mesure.

4.3.2.6 Le signal d'essai utilisé pour la mesure doit être spécifié; pour une mesure de la gigue intrinsèque, la gigue source d'essai doit être négligeable par rapport à la gigue intrinsèque spécifiée.

FIGURE 5

Bande passante servant à la mesure de la gigue intrinsèque
et de la gigue à la sortie de l'équipement



1363-05

4.3.2.7 Le diviseur d'horloge série, «*n*», utilisé dans le circuit de récupération d'horloge devrait être spécifié (se reporter à l'Appendice 1 pour les informations concernant le circuit de récupération du signal d'horloge et les méthodes de mesure qui se fondent sur lui). Le rapport de la fréquence d'horloge série sur la fréquence du circuit de récupération du signal d'horloge, «*n*», a une importance pour les méthodes de mesure de la gigue du signal de récupération d'horloge, mais peut ne pas être applicable à d'autres méthodes de mesure.

4.3.3 Les valeurs numériques de la gigue intrinsèque et de la gigue à la sortie de l'équipement sont indiquées dans les Recommandations pertinentes de l'UIT reprises en référence dans la présente Recommandation. La terminologie doit être conforme avec les dispositions du § 4.3.2.

Appendice 1

Méthodes de mesure de la gigue dans des interfaces numériques série

1 Objet

Le présent Appendice décrit des méthodes de mesure de la gigue dans des interfaces numériques série.

1.1 Introduction

La gigue est l'un des paramètres les plus importants qui influent sur la qualité de fonctionnement des systèmes de transmission numériques série. Elle peut en effet être à l'origine d'erreurs dans la transmission et la récupération de données numériques; quand elle est transférée lors de la conversion du numérique à l'analogique, elle risque en outre d'altérer la qualité des signaux analogiques. Il est donc important de la caractériser et de la mesurer si l'on veut que les systèmes numériques série soient d'une exploitation fiable et prévisible.

2 Information de référence

3 Définitions

3.1 Gigue d'alignement: variation de position des transitions d'un signal par rapport à celles d'un signal d'horloge extrait de ce premier signal; la largeur de bande du processus d'extraction du signal d'horloge détermine la fréquence plancher correspondant à la gigue d'alignement.

3.2 Extracteur d'horloge: dispositif capable d'extraire le signal d'horloge d'un train de données série, et qui sert de déclencheur de synchronisation; peut en outre resynchroniser les données numériques série à l'aide du signal d'horloge extrait.

3.3 OEN: abréviation d'oscilloscope – enregistreur numérique.

3.4 DSE: abréviation de dispositif soumis aux essais.

3.5 Testeur du taux d'erreurs: dispositif qui quantifie le taux d'erreurs d'un signal numérique série; le testeur classique du taux d'erreurs sur les bits (TEB) et la méthode (EDIT) de CRC de la fréquence de trame en sont deux exemples qui sont décrits dans la Recommandation UIT-R BT.1304.

3.6 Tolérance de la gigue à l'entrée d'un équipement: amplitude crête à crête de la gigue sinusoïdale qui, appliquée à l'entrée d'un équipement, entraîne une dégradation spécifiée des caractéristiques d'erreur.

3.7 Gigue intrinsèque: gigue à la sortie d'un équipement en l'absence de gigue à l'entrée.

3.8 Gigue: variation des transitions d'un signal numérique par rapport à leurs positions idéales dans le temps.

3.9 Générateur de gigue: dispositif produisant un signal numérique série comprenant une gigue sinusoïdale d'amplitude et de fréquence adaptables.

3.10 Récepteur de gigue: dispositif démodulant la gigue présente dans un signal série et permettant de la mesurer; fournit normalement un signal de sortie proportionnel à la gigue démodulée.

3.11 Transfert de gigue: gigue à la sortie d'un équipement résultant de l'application d'une gigue à l'entrée.

3.12 Fonction de transfert de gigue: rapport de la gigue à la sortie d'un équipement sur la gigue appliquée à l'entrée en fonction de la fréquence.

3.13 Gigue à la sortie d'un équipement: gigue à la sortie d'un équipement qui est intégré à un système ou à un réseau; se compose de la gigue intrinsèque et du transfert de gigue à l'entrée de l'équipement.

3.14 Démodulateur de phase: dispositif qui produit un signal proportionnel à la différence de phase de deux signaux d'entrée.

3.15 INS: abréviation d'interface numérique série, renvoie normalement à un système conforme aux dispositions de la Recommandation UIT-R BT.656.

3.16 Gigue de rythme: variation de position des transitions d'un signal se produisant au-dessus d'une fréquence donnée normalement égale ou inférieure à 10 Hz; les variations se produisant au-dessous, appelées dérapage, ne sont pas prises en considération dans la présente Recommandation.

3.17 Intervalle unitaire: abrégé en IU, période d'un seul cycle d'horloge; correspond à la durée nominale minimale entre les transitions du signal série.

4 Critères de gigue

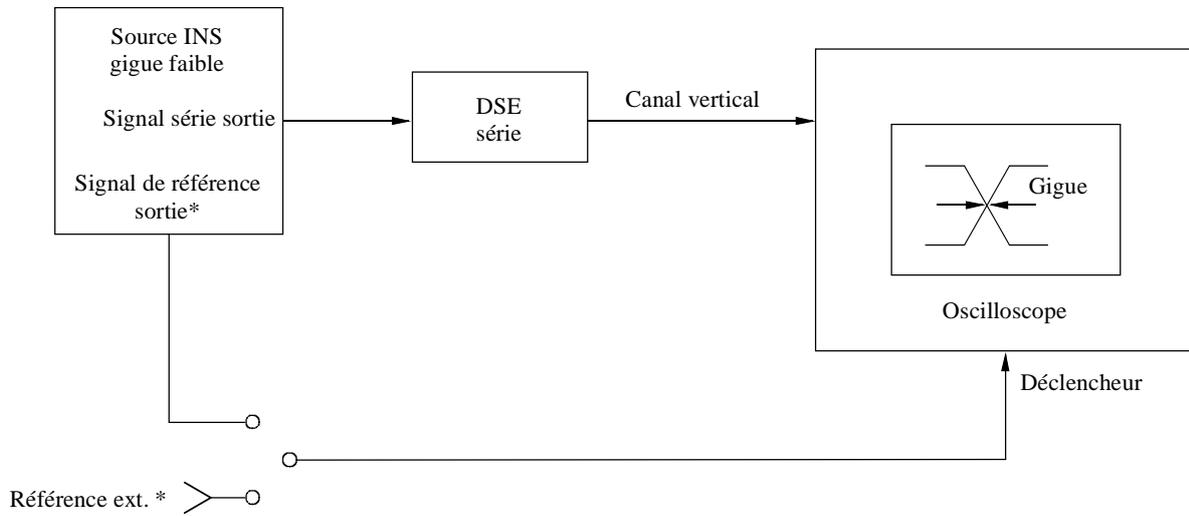
Quatre méthodes sont décrites dans les sections ci-après: la première utilise un signal d'horloge de référence disponible pour déclencher un oscilloscope; la deuxième utilise un extracteur d'horloge aux caractéristiques définies pour déclencher l'oscilloscope; les troisième et quatrième se fondent sur l'emploi d'un récepteur de gigue avec démodulation de phase.

4.1 Mesure par oscilloscope par déclenchement d'un signal de référence

Si un signal de référence est disponible, il est possible de mesurer la gigue suivant une opération de base (voir la Fig. 6). L'oscilloscope est directement déclenché par le signal de référence, lequel pourrait être également un signal numérique série doté d'une grande stabilité, par exemple un signal à 270 Mbits/s (Recommandation UIT-R BT.656), le signal d'horloge parallèle à 27 MHz, le signal d'horloge série à 270 MHz ou un signal série selon la Recommandation UIT-R BT.656. Le signal de données numérique est appliqué au canal vertical, dont l'impédance aura été convenablement adaptée, de l'oscilloscope, puis on procède à une mesure en œil; la gigue est normalement mesurée à l'intersection des courbes de l'œil.

- Présentation des résultats des mesures: le signal d'essai, l'amplitude de la gigue, les paramètres de l'oscilloscope (largeur de bande, etc.) et la durée de la mesure devraient être indiqués.
- Informations connexes: cette méthode permet d'obtenir une mesure grossière de la gigue dans un signal INS. Le résultat dépend de la stabilité du signal de référence (dont la gigue fixe la valeur basse de la mesure), du type d'oscilloscope et de la durée de l'opération (par exemple, lorsqu'un OEN est utilisé en mode rémanence). Tous ces paramètres influent sur le résultat de la mesure et contribuent à sa variabilité en fonction du changement des conditions. Cette méthode n'autorise pas la restriction de largeur de bande, contrairement à ce qui est généralement exigé dans les spécifications de gigue; elle n'est pas recommandée si l'on peut appliquer d'autres méthodes de mesure.

FIGURE 6
Mesure de gigue par oscilloscope à l'aide d'un signal de référence



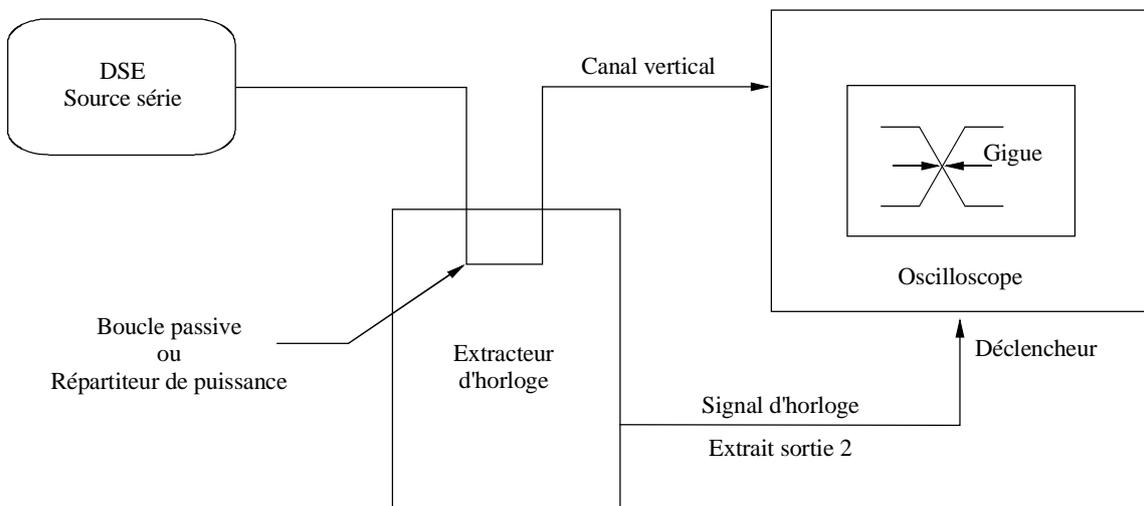
* Un signal à 270 Mbit/s (Recommandation UIT-R BT.656), le signal d'horloge parallèle à 27 MHz, le signal d'horloge série à 270 MHz ou un signal série selon la Recommandation UIT-R BT.656.

1363-06

4.2 Mesure de la gigue à l'aide d'un extracteur d'horloge

On peut mesurer la gigue d'un signal de sortie en utilisant un dispositif pour extraire le signal d'horloge et ensuite déclencher un oscilloscope ou tout autre dispositif de signalisation (voir la Fig. 7).

FIGURE 7
Mesure de gigue inférieure à 1 IU à l'aide d'un extracteur d'horloge



1363-07

4.2.1 Schéma fonctionnel d'un extracteur d'horloge

Un extracteur d'horloge se compose normalement d'un circuit large bande de récupération du signal d'horloge, puis d'une boucle à verrouillage de phase (BVP), conjuguée, à bande étroite (voir la Fig. 8); cette boucle peut être réglée sur deux largeurs de bande différentes de sorte que l'on dispose de deux fonctions de transfert de gigue différentes (voir la Fig. 9). Le signal d'horloge de sortie 2 sert à déclencher le dispositif de signalisation. L'extracteur d'horloge doit posséder les caractéristiques suivantes:

1. Il doit pouvoir être calé en série sur le signal de sortie et fournir un signal suffisamment puissant au dispositif de signalisation. Il ne doit pas modifier les caractéristiques du signal de sortie au risque d'atténuer ou de modifier la gigue produite sur le signal.
2. Pour mesurer la gigue de rythme (A_1), l'extracteur d'horloge doit avoir une largeur de bande pour la récupération du signal d'horloge égale à f_1 . Pour mesurer la gigue d'alignement (A_2), il doit avoir une largeur de bande pour la récupération du signal d'horloge égale à f_3 (voir la Fig. 9).
3. La fonction de transfert de gigue de l'extracteur d'horloge doit décroître à 20 dB/décade, ou plus, et, sauf indication contraire, avoir une réponse en phase minimale. L'ondulation à l'intérieur de la bande passante doit être inférieure à +1 dB (voir la Fig. 9).
4. La fréquence d'horloge extraite doit être égale à la fréquence d'horloge série divisée par n (voir la définition de n au § 4.3.2 du corps de la présente Recommandation).
5. L'extracteur d'horloge peut avoir une sortie d'horloge 1 facultative, dont la largeur de bande de récupération du signal d'horloge doit être supérieure ou égale à f_3 , plutôt qu'égale à f_4 .

4.2.2 Critères de spécification du dispositif de signalisation

Le dispositif de signalisation utilisé pour observer la gigue doit posséder les caractéristiques suivantes:

1. La largeur de bande horizontale et/ou de déclenchement du dispositif ne doit pas atténuer la gigue observée. La largeur de bande de déclenchement doit être au moins égale à f_3 .
2. Le dispositif ne doit pas créer de brouillage intersymboles au point d'intersection zéro; pour ce faire le système doit être pourvu d'une réponse transitoire verticale qui assure la transition et le calage en moins d'un intervalle unitaire.
3. Le dispositif doit permettre d'acquérir un nombre d'échantillons suffisant pour permettre de déterminer la gigue crête à crête; l'échantillonnage doit donc se poursuivre tant que la forme de la distribution de la gigue n'est pas connue. Si parmi les critères de spécification de la gigue figure une durée de mesure, celle-ci sera la durée d'acquisition minimale. La durée d'acquisition maximale dépendra, elle, du taux d'échantillonnage du dispositif et du type de la distribution de la gigue; par exemple, la détermination d'une distribution sinusoïdale exigera normalement moins d'échantillons qu'une distribution de type gaussien.

NOTE – La durée de mesure minimale requise dépend de la vitesse avec laquelle le dispositif de mesure recueille les échantillons. Pour les oscilloscopes-enregistreurs numériques (OEN), elle est déterminée par la cadence d'acquisition et par le nombre d'échantillons par acquisition. Contrairement à la cadence d'acquisition, le nombre d'échantillons dépend du taux d'échantillonnage de l'OEN préconisé. Il est possible que des OEN dont le taux d'échantillonnage est identique aient besoin de durées très différentes pour prélever un nombre d'échantillons suffisant pour pouvoir procéder aux mesures.

La durée de mesure minimale correspondant à un oscilloscope donné peut être déterminée comme suit: d'abord l'oscilloscope procède à une acquisition de très longue durée pour établir le niveau de la gigue, ensuite on effectue des mesures d'une durée de plus en plus brève jusqu'à ce que les résultats commencent à révéler une erreur ou un écart inacceptable; ainsi est établie la durée de mesure minimale pour l'oscilloscope. Les utilisateurs expérimentés déduisent souvent cette valeur par intuition d'après la distribution des échantillons.

4. Si le dispositif de signalisation est un oscilloscope, la mesure de la gigue se fait normalement au point d'intersection des courbes de l'œil; il est recommandé d'utiliser un oscilloscope-enregistreur numérique doté d'une rémanence infinie.

FIGURE 8
Schéma fonctionnel d'un extracteur d'horloge

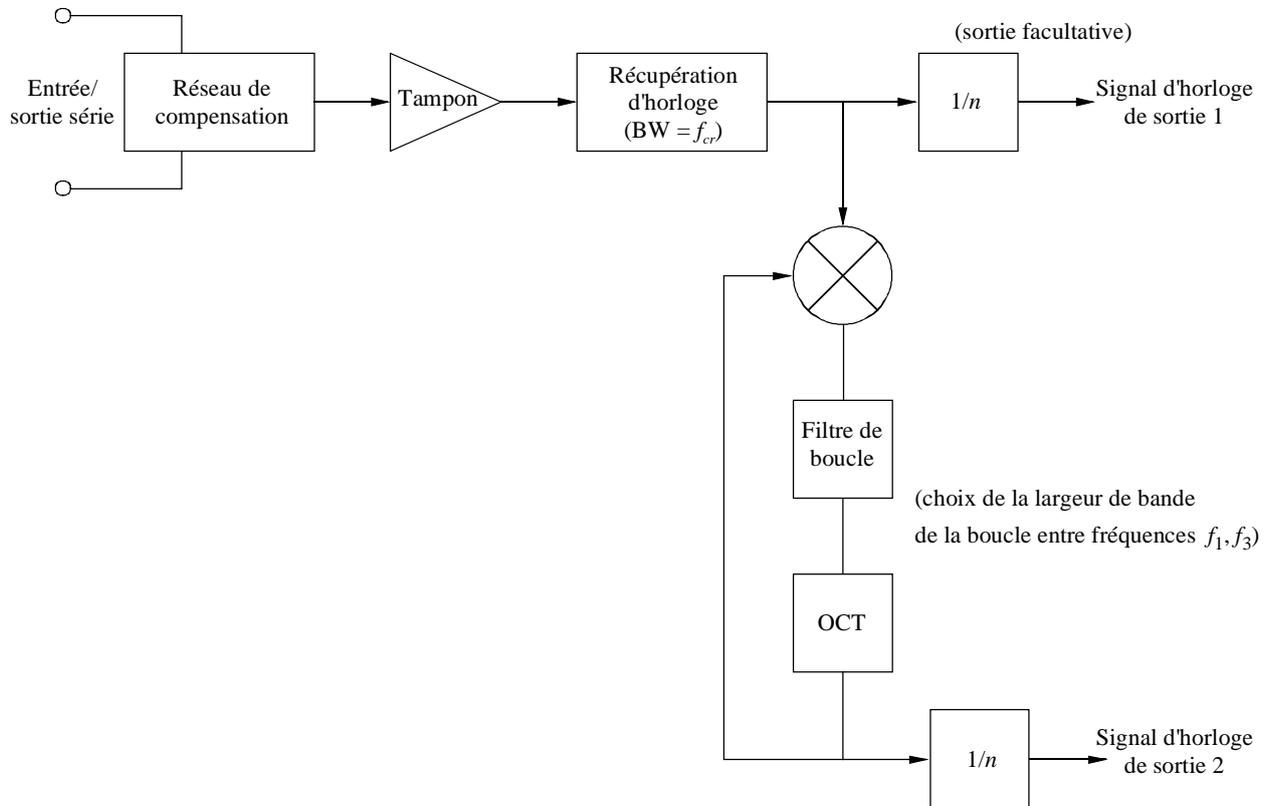
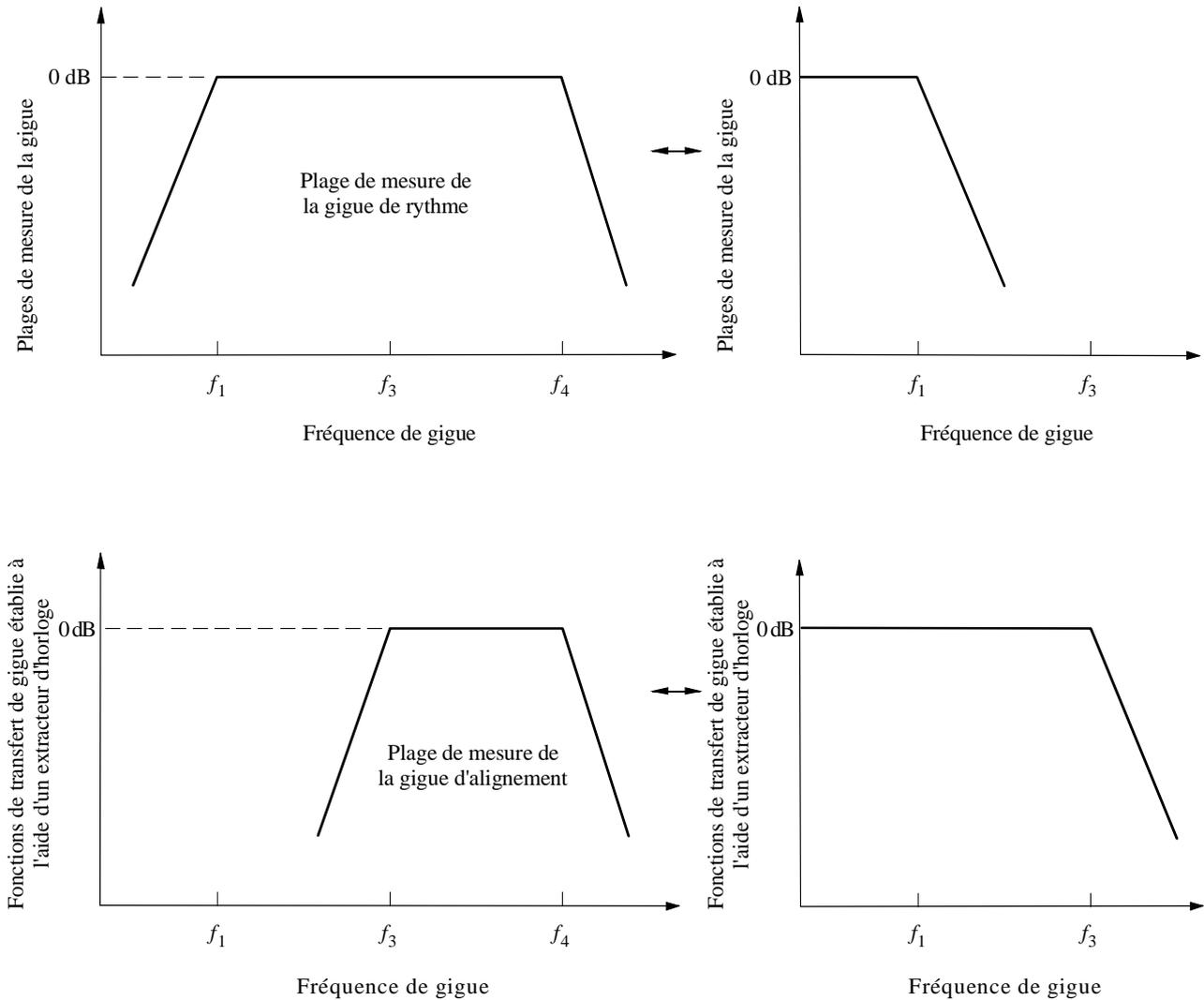


FIGURE 9

Largeur de bande nécessaire à la mesure de la gigue et fonction de transfert de gigue correspondante établie à l'aide d'un extracteur d'horloge



1363-09

4.2.3 Mesure de la gigue de rythme

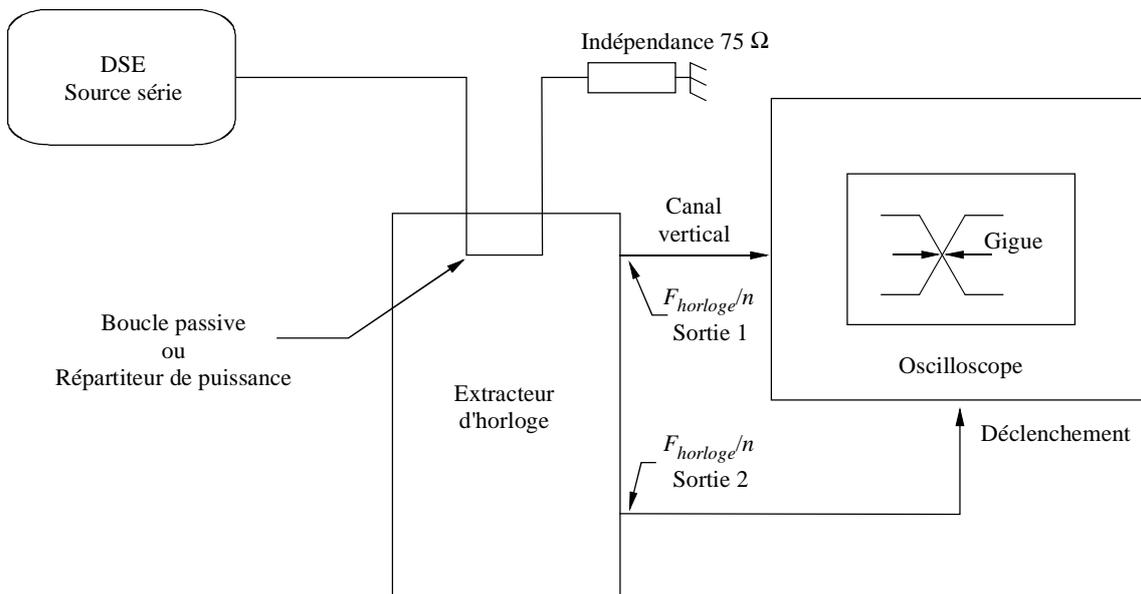
L'extracteur d'horloge est calé sur la largeur de bande f_1 . Le signal d'horloge de sortie 2 est appliqué sur le canal, vertical, de déclenchement de l'oscilloscope; ce signal dépendant de l'amplitude de gigue objet de la mesure, pour des amplitudes inférieures à 1 IU. On utilisera le signal de la boucle (voir la Fig. 7), alors que pour des amplitudes supérieures à 1 IU deux méthodes sont possibles:

1. (Méthode préférée) Si l'extracteur d'horloge a un signal d'horloge de sortie 1 (Fig. 8), on applique ce signal au canal vertical de l'oscilloscope (voir la Fig. 10) pour obtenir une fréquence de gigue comprise entre f_1 et f_c , f_{cr} étant la largeur de bande du circuit large bande de récupération du signal d'horloge.

2. Si l'extracteur d'horloge propose deux signaux de sortie simultanés de largeurs de bande respectives f_1 et f_3 , on applique un de ces signaux au canal vertical et l'autre au circuit de déclenchement; cette méthode permet de mesurer la gigue entre les fréquences f_1 et f_3 .
- Présentation des résultats des mesures: Le signal d'essai, le type d'oscilloscope, la durée de la mesure et l'amplitude de gigue mesurée au point d'intersection des courbes de l'œil devraient être précisés et il est recommandé de relever le tracé des courbes de l'œil observées sur l'écran.

FIGURE 10

Mesure de gigue d'amplitude supérieure à 1 IU à l'aide d'un extracteur d'horloge et d'un oscilloscope



1363-10

4.2.4 Mesure de la gigue d'alignement

L'extracteur d'horloge est calé sur la largeur de bande f_3 . Le signal de sortie d'horloge 2 est appliqué sur le canal de déclenchement de l'oscilloscope alors que le signal de la boucle est appliqué sur le canal vertical (voir la Fig. 7).

- Présentation des résultats des mesures: Le signal d'essai, le type d'oscilloscope, la durée de la mesure et l'amplitude de gigue mesurée à l'intersection des courbes de l'œil devraient être précisés et il est recommandé de relever un tracé des courbes de l'œil observées sur l'écran.

4.2.5 Mesure du bruit de phase à l'aide d'un extracteur d'horloge

Ci-après est décrite une méthode simple pour procéder à une mesure de bruit de phase sur le signal d'horloge extrait à l'aide d'un analyseur de spectre; cette méthode permet d'examiner les bandes latérales du signal d'horloge, qui correspondent aux fréquences de gigue du signal INS (voir la Fig. 11).

Le signal de sortie 1 de l'extracteur d'horloge est appliqué à un analyseur de spectre, dont on se sert pour mesurer le bruit de phase et en particulier le bruit de phase du signal d'horloge extrait.

- Présentation des résultats des mesures: Il conviendrait de préciser la nature du signal d'essai, la largeur de bande de la boucle à verrouillage de phase de l'extracteur d'horloge, la largeur de bande de résolution et la portée de l'analyseur de spectre ainsi que le tracé du spectre.

4.3 Mesure de gigue à l'aide d'un démodulateur de phase

Il est tout à fait possible d'observer et de mesurer la gigue si les bandes latérales de la modulation de phase sont hétérodynées jusqu'au continu. Une méthode répandue consiste à récupérer du signal appliqué deux signaux d'horloge, l'un avec une très grande largeur de bande de récupération d'horloge et l'autre avec une faible largeur de bande, et à les appliquer à un démodulateur de phase (voir la Fig. 12). Le signal de sortie est alors appliqué, par l'intermédiaire de filtres passe-bande adaptables à un voltmètre indicateur de crête; il peut être appliqué également à un analyseur de spectre pour observer les caractéristiques de fréquence de la gigue (voir la Fig. 13). Avec des récepteurs de gigue on utilise normalement la méthode du démodulateur de phase.

4.3.1 Un récepteur de gigue doit être à même de procéder à des mesures crête à crête sur la totalité des bandes passantes de mesure visées au § 4.3.2 du corps de la présente Recommandation.

4.3.2 On peut observer le spectre de la gigue en appliquant le signal de sortie du démodulateur de phase à un analyseur de spectre ou à un oscilloscope à transformée de Fourier rapide (TFR) (voir la Fig. 13).

Présentation des résultats des mesures: Il conviendrait de préciser la nature du signal d'essai, la durée de la mesure, le niveau de la gigue mesurée et la bande passante de la mesure et décrire l'équipement de mesure utilisé.

FIGURE 11

Mesure de gigue à l'aide d'un extracteur d'horloge et d'un analyseur de spectre

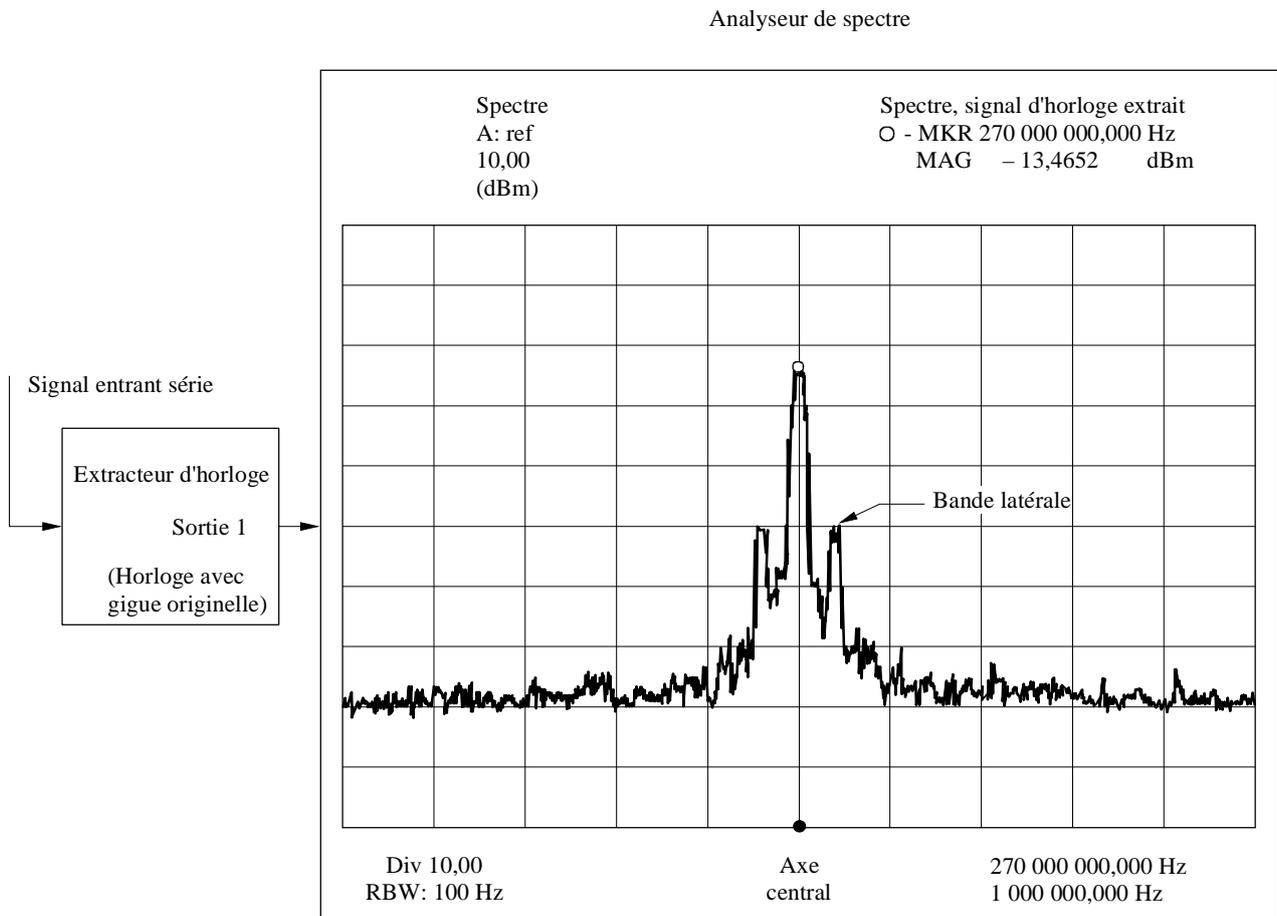


FIGURE 12

Schéma fonctionnel d'un récepteur de gigue
(extracteur d'horloge, BVP de haute qualité, démodulateur)

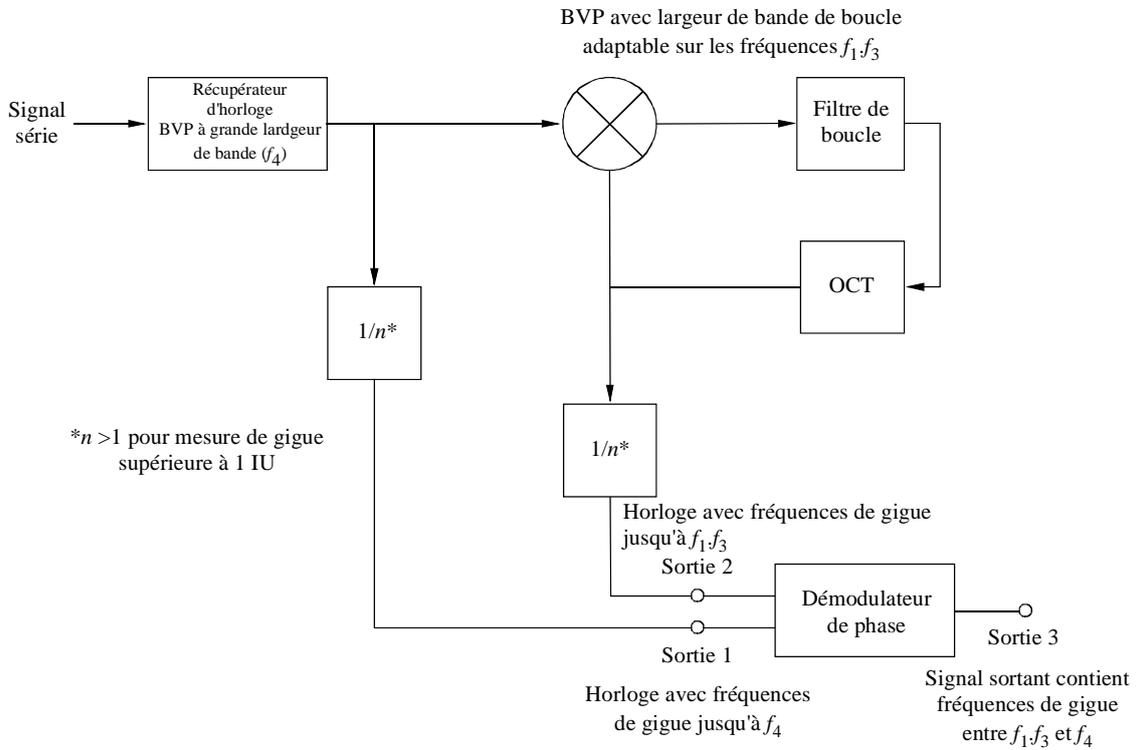
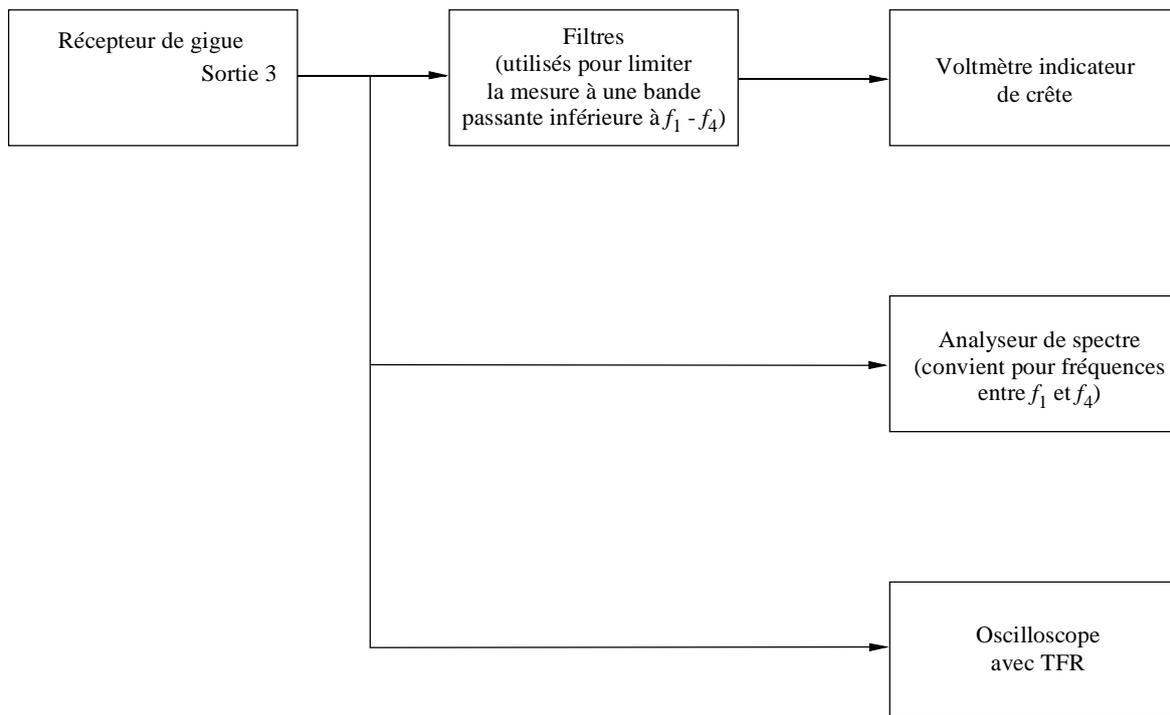


FIGURE 13
Raccordements du récepteur de gigue



1363-13

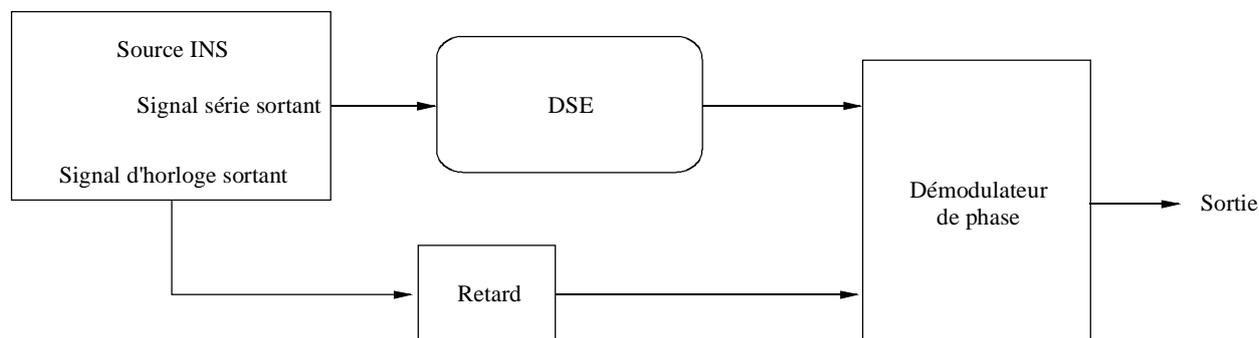
4.4 Mesure par démodulateur de phase avec un signal de référence disponible

Si l'on dispose d'un signal de référence, il est possible alors de procéder à la mesure de la gigue démodulée en utilisant le dispositif présenté dans la Fig. 14. Les signaux de référence et de données sont appliqués aux deux entrées d'un démodulateur de phase numérique. Le produit du démodulateur peut être traité de plusieurs façons: premièrement, on peut le filtrer pour établir les limites de bande inférieure et supérieure, puis le transmettre à un oscilloscope pour visualiser les résultats concernant la gigue (NB: l'abscisse de l'oscillographe représente maintenant l'amplitude de la gigue); deuxièmement, on peut saisir le signal de gigue démodulé, puis le filtrer numériquement pour établir ces mêmes limites de bande; troisièmement, on peut enfin obtenir le spectre de la gigue soit en exécutant une TFR sur un signal saisi, soit en appliquant le signal démodulé à un analyseur de spectre.

- Présentation des résultats des mesures: Il conviendrait de consigner le type du signal d'essai, les limites supérieure et inférieure de bande, la durée de la mesure et l'amplitude crête à crête de la gigue.
- Informations connexes: Cette méthode de mesure est sensible à la présence d'une éventuelle gigue dépendant de la forme du signal qu'introduirait le détecteur de phase dans le démodulateur de gigue; le détecteur de phase doit donc être d'un type qui permet d'éviter d'introduire une telle gigue. La méthode exige en outre d'étalonner le démodulateur de phase pour que l'abscisse de l'oscillographe puisse indiquer l'amplitude de gigue, ce qui peut être fait en ménageant un écart de fréquence entre le signal de référence et le signal de données et en notant la pente du signal produit par le démodulateur de phase. Enfin, cette méthode permet uniquement de mesurer une gigue dont l'amplitude est inférieure, en théorie et en pratique, à 1 IU à cause de la présence de non-linéarités à proximité des limites de la fonction de transfert du démodulateur.

FIGURE 14

Mesure par démodulateur de phase avec un signal de référence disponible



1363-14

5 Mesure de la tolérance de la gigue

Pour mesurer la tolérance de la gigue il faut utiliser un générateur de gigue étalonné et un dispositif de mesure du taux d'erreur (voir la Fig. 15).

– Procédure

Etape 1: Raccorder l'équipement comme indiqué dans la Fig. 15. Après avoir réglé l'amplitude de la gigue du générateur à 0 IU, vérifier l'absence d'erreur.

Etape 2: Régler la fréquence du générateur de gigue sur la fréquence voulue et accroître l'amplitude de la gigue jusqu'à l'apparition du critère d'erreurs. Noter l'amplitude et la fréquence de la gigue.

Etape 3: Répéter l'Etape 2 pour un nombre suffisant de fréquences afin de déterminer la courbe de tolérance de la gigue.

– Pour vérifier la conformité de la mesure avec un gabarit de tolérance

Etape 1: Régler l'amplitude et la fréquence de la gigue sur un point de gabarit, puis vérifier que l'apparition du critère d'erreurs n'est pas atteinte.

Etape 2: Répéter l'Etape 1 pour un nombre suffisant de points du gabarit entre les fréquences f_1 et f_3 . La forme du gabarit est décrite dans le corps de la présente Recommandation.

NOTE – Pour établir l'amplitude de la gigue d'un générateur non étalonné on peut utiliser un récepteur de gigue étalonné.

FIGURE 15

Mesure de tolérance de la gigue



1363-15

6 Mesure du transfert de gigue

Pour mesurer le transfert de gigue il faut utiliser un générateur et un récepteur de gigue étalonnés (voir la Fig. 16). Une autre méthode, améliorée, consiste à utiliser un générateur de gigue avec application en entrée d'une gigue à partir d'une source externe, puis un récepteur de gigue et un analyseur de spectre avec, en sortie, un oscillateur de poursuite du signal (voir la Fig. 17).

– Technique de base

Etape 1: Procéder à une mesure de tolérance de la gigue du DSE sur la plage de fréquences souhaitée.

Etape 2: Raccorder l'équipement comme indiqué dans la Fig. 16. Régler le générateur de gigue à un niveau qui soit inférieur à la valeur de la tolérance mesurée sur la bande en question, mais suffisamment élevé pour garantir l'exactitude de la mesure.

Etape 3: Noter la valeur du récepteur et la fréquence de gigue.

Etape 4: Diviser la valeur donnée par le récepteur de gigue par le niveau affiché par le générateur afin d'obtenir le gain de gigue à cette fréquence.

Etape 5: Répéter l'Etape 3 pour un nombre suffisant de fréquences afin de déterminer la fonction de transfert de gigue.

NOTE – Si la réponse en fréquence du générateur ou du récepteur de gigue n'est pas plate, raccorder directement ensemble le générateur et le récepteur pour établir une table de déviation.

– Méthode améliorée

Etape 1: Mesurer la tolérance de la gigue du DSE sur la plage de fréquences souhaitée.

Etape 2: Raccorder l'équipement comme indiqué dans la Fig. 17, en contournant le DSE. Vérifier le fonctionnement linéaire, exempt d'erreur, du récepteur de gigue.

Etape 3: Régler l'amplitude du générateur de poursuite en sortie de telle sorte que le niveau du générateur de gigue soit inférieur à la tolérance de la gigue mesurée sur la plage de fréquences souhaitée. Sélectionner une largeur de bande de résolution appropriée sur l'analyseur de spectre. Sauvegarder la trace sur l'analyseur.

Etape 4: Raccorder le DSE. Déduire la trace enregistrée de la trace affichée. La différence est la fonction de transfert de gigue du DSE.

NOTE – Il est possible d'utiliser en lieu et place de la combinaison analyseur de spectre plus générateur de poursuite un analyseur de réseau vectoriel, dispositif qui permet en effet de mesurer à la fois la phase et l'amplitude de la fonction de transfert de gigue.

Pour vérifier la conformité du dispositif avec un gabarit de transfert de gigue: lors de l'emploi de la méthode soit de base, soit améliorée, vérifier que le transfert de gigue est inférieur à la valeur du gabarit, de f_1 à $10(f_c)$.

FIGURE 16

Mesure de la fonction de transfert de gigue (méthode de base)

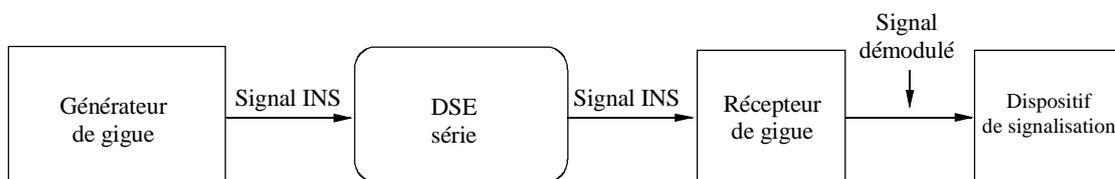
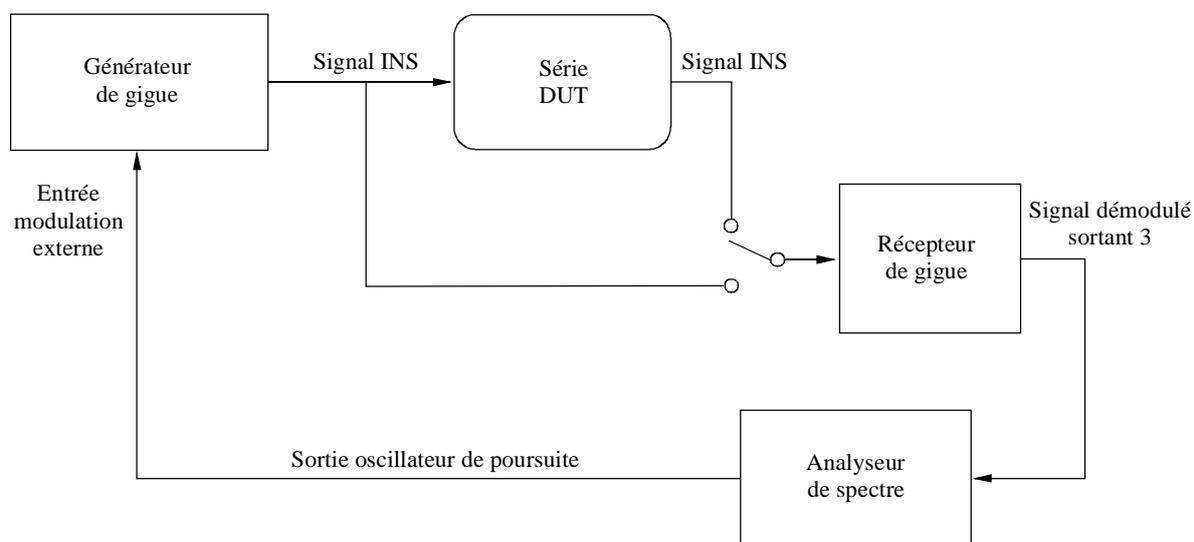


FIGURE 17

Mesure de la fonction de transfert de gigue (méthode améliorée)



1363-17

Appendice 2

Caractéristiques de gigue et mesure d'interfaces numériques série de studio

Introduction

Pour transférer des signaux numériques d'un endroit à un autre il faut convertir les signaux en une représentation physique analogique à l'extrémité d'émission puis interpréter cette représentation pour extraire les données à l'extrémité de réception. La raison en est que tout signal qui est représenté physiquement a de manière inhérente des propriétés analogiques. Ces propriétés incluent les niveaux et le rythme des intervalles de transmission de données et les transitions qui les séparent, la répartition spectrale qui en résulte et toute distorsion de signal qui se produit dans le système de transmission. Il en est ainsi que les signaux soient modulés sur une porteuse radioélectrique ou qu'ils soient transmis directement en tant que données sous la forme voulue de codage. Les effets analogiques susceptibles de modifier les signaux numériques sont l'affaiblissement, les réductions progressives et les anomalies du spectre, les suroscillations, les sous-oscillations, la dispersion temporelle et la gigue. Les premiers effets sont liés à la fréquence et à l'amplitude alors que la gigue est une perturbation seulement liée au temps.

1 Domaine d'application

Le présent document porte sur les types de gigue dans les signaux de données émis directement, sur les méthodes à suivre pour mesurer la gigue dans chaque cas et sur certains effets que la gigue peut avoir sur le fonctionnement du système. En outre, on y présente certaines configurations du système susceptibles de réduire au minimum ou d'atténuer l'effet de la gigue.

2 Définition de la gigue

Nous utiliserons comme exemple les signaux des interfaces numériques série de la Recommandation UIT-R BT.656, mais les mêmes principes s'appliquent à la transmission en série de n'importe quel signal allant des trains de données audio AES-3 à 3,1 Mbit/s jusqu'à des versions à 1,5 Gbit/s des interfaces numériques série pour télévision à haute définition. Seules les valeurs numériques utilisées pour les spécifications et les mesures de l'équipement changent lorsqu'on parcourt ce large éventail de signaux numériques.

Pour envoyer des trains de données numériques d'un endroit à un autre sur un câble ou une fibre unique, les données sont codées au moyen d'une des diverses méthodes autosynchronisées. Il peut s'agir de programmes tels que NRZ, NRZI, AMI, la biphase marquée et d'autres systèmes qui normalement cherchent un compromis entre la largeur de bande du signal de données résultant et la conformation du spectre, pour faciliter l'extraction du signal d'horloge, permettre la détection des erreurs ou d'autres interventions. Ce qu'il y a d'important dans tous ces systèmes c'est qu'ils permettent d'extraire le signal d'horloge du train de données afin de s'en servir pour la récupération des données.

Le signal d'horloge est d'ordinaire extrait au moyen de circuits en boucle à verrouillage de phase. Les emplacements de transitions dans un train de données sont instantanément comparés avec les transitions d'un signal d'horloge synthétisé provenant d'un oscillateur local (normalement un oscillateur à commande par tension du type RC ou LC) dans le récepteur. La fréquence d'horloge locale est alors ajustée vers le haut ou vers le bas jusqu'à ce que les fronts du signal d'horloge extrait correspondent aux fronts des données qui arrivent. Ce processus est simple tant que les transitions de données se produisent aux intervalles escomptés; c'est-à-dire tant qu'il s'agit de multiples entiers de la période du signal d'horloge série. Toutefois, dans la réalité, les transitions de données s'écarteront légèrement de leur position idéale, c'est-à-dire que les positions des impulsions varient par rapport à un signal d'horloge à verrouillage de phase très stable. Cette variation indésirable de la position de l'impulsion constitue la gigue.

La gigue se définit comme étant la variation des instants significatifs d'un signal numérique (tels que les points de transition) par rapport à leurs positions idéales dans le temps. La gigue peut amener le signal d'horloge récupéré et les données à perdre momentanément leur alignement dans le temps. Quand cet écart d'alignement se creuse trop les données peuvent être mal interprétées (mises en mémoire au mauvais moment).

La gigue se mesure en intervalles unitaires qui représentent la période d'un cycle d'horloge et, pour les données codées en NRZ ou NRZI, correspondent à la durée minimum nominale entre les transitions des données série. C'est ce qui ressort de la Fig. 18a) où sont indiquées les données d'un signal NRZI et les impulsions d'horloge correspondantes. La Fig. 18b) montre l'effet de la gigue sur les intersections à mi-chemin des transitions de données comme on pourrait le voir sur une présentation du digramme en œil (affichage répétitif des points de transition se chevauchant les uns les autres). Plus la gigue s'accroît plus elle ferme l'œil dans la dimension temporelle et rend les décisions entre les états de données plus difficiles exactement comme la tension de bruit du signal le fait pour la dimension d'amplitude.

La gigue peut donc être considérée comme la variation de phase (ou modulation) du train de données série. Cette modulation de phase a un spectre qui correspond à la fréquence avec laquelle l'horloge des données est modulée. Il est ainsi possible de tracer la caractéristique amplitude/fréquence de la gigue. Par exemple, à la Fig. 19, une seule pointe à 6 144 Hz montre la présence d'une variation de phase sinusoïdale (gigue) à un taux de 6 144 Hz. L'amplitude de cette pointe indiquerait le degré de fermeture de l'œil.

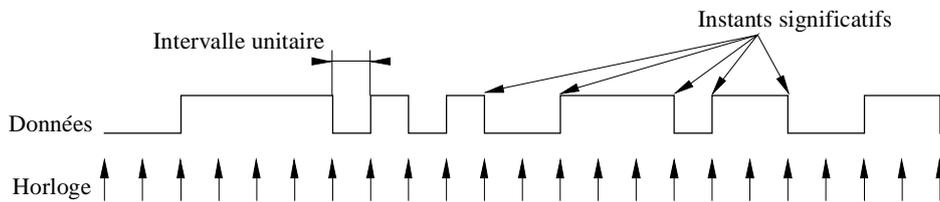
3 Types de gigue

La gigue absolue correspond à la somme de toutes les composantes de fréquence de gigue trouvées dans un signal depuis une fréquence très faible jusqu'à une fréquence très élevée. Il est pratiquement impossible de mesurer la gigue avec une exactitude absolue car il est difficile d'obtenir une référence absolue définissant l'endroit où les fronts de données devraient se trouver. Une étude pratique de la gigue amène à la répartir en trois types, en fonction du contenu de fréquence de sa modulation.

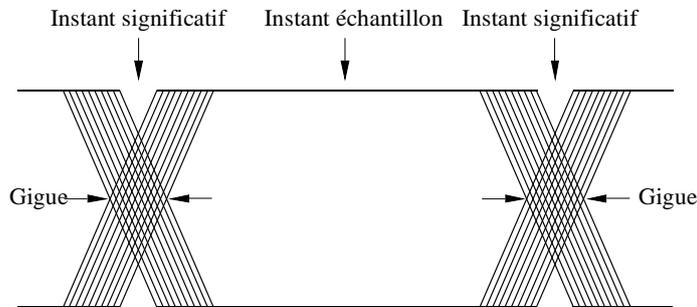
Les variations de fréquence les plus basses dans les positions des transitions d'un signal sont appelées dérapage. Les dérapages n'ont normalement aucun effet sur la capacité du système électronique d'extraction et de décodage du signal d'horloge de récupérer avec exactitude le train de données numériques car cette variation à basse fréquence peut être suivie par la BVP (à moins que le dérapage n'amène le débit à sortir de la plage de l'oscillateur de référence commandé).

FIGURE 18

Éléments de signaux de données série et rapport avec la gigue



a) Rapport entre les données et l'horloge pour des signaux INS avec indication de l'intervalle unitaire et des instants significatifs

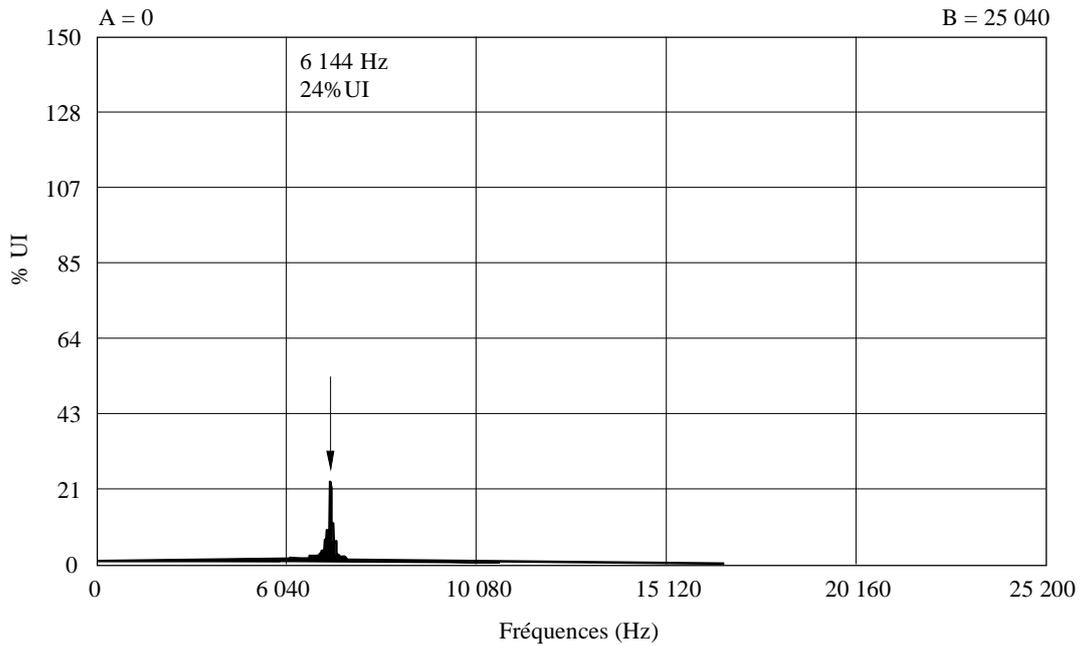


b) Diagramme en œil montrant la gigue à des instants significatifs

1363-18

Un dérapage peut toutefois provoquer par la suite des problèmes dans le traitement en aval. On définit généralement le dérapage comme étant une gigue dont les composantes en termes de fréquence sont inférieures à une fréquence donnée. Dans les applications INS, le seuil ainsi fixé est de 10 Hz. Mesurer le dérapage et la gigue absolue implique que la référence de synchronisation employée pour identifier la gigue limite soit extrêmement stable sans aucun élément de gigue qui lui soit propre. Les signaux normaux d'horloge extraits avec une boucle à verrouillage de phase ne conviennent pas à cette mesure. La source d'un signal de référence offrant ce degré de précision pourrait être un oscillateur à quartz de haute qualité; toutefois, il n'est pas courant d'avoir accès à ce type de signal dans des applications INS. Cette limitation fait que le dérapage est normalement exclu des mesures de gigue.

FIGURE 19
Fréquences de gigue

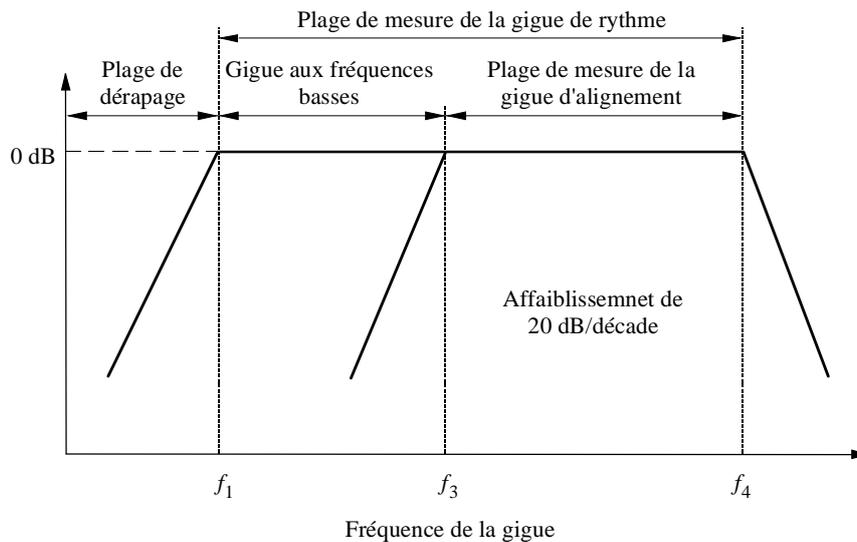


$F = -65\,536$ Hz, Resol = 16,00 Hz, Bias = Amplitudes, Band = 10 Hz, Delta Cursor = 25 040, C = 0

1363-19

La gigue qui se produit au-dessus de la fréquence la plus élevée définie comme étant un dérapage est dénommée la gigue de rythme. La gigue mesurée par rapport à un signal d'horloge récupéré avec une largeur de bande de boucle définie par f_3 (Fig. 20) est appelée gigue d'alignement. La différence entre la gigue de rythme et la gigue d'alignement est la gigue aux fréquences basses.

FIGURE 20
Plages de mesure de la gigue



1363-20

La mesure de la gigue de rythme sert à donner une idée de la manière dont le système fonctionne dans son ensemble. La mesure peut se faire en réglant sur f_1 la largeur de bande du filtre de boucle du système de récupération du signal d'horloge. Le résultat comprendra toutes les fréquences de la gigue au-dessus de la coupure du filtre de boucle jusqu'à la limite supérieure de la mesure. Cette mesure de bande passante ne décèlera pas expressément une gigue susceptible d'entraîner des erreurs dans la récupération des données.

La gigue d'alignement peut renseigner sur la gigue qui influe directement sur la capacité du récepteur de récupérer correctement les données. Ce genre d'erreurs se produit parce que la BVP n'est pas en mesure de déceler au fur et à mesure les changements de rythme du signal entrant. Si les erreurs de rythme deviennent suffisamment importantes, le décodeur «sautera» un bit, ce qui entraînera une erreur dans les données décodées. Il s'ensuit une erreur de verrouillage de trame du mot qui ne sera corrigée qu'au prochain signal de référence de rythme.

La gigue aux basses fréquences n'entraîne généralement pas de problème dans la liaison série. Une gigue aux basses fréquences en grande quantité peut être tolérée par la liaison série car la BVP suit ces changements de rythme et maintient une bonne récupération de données. Toutefois, on doit tenir compte de cette bande de gigue car elle se retrouvera dans le signal d'horloge parallèle récupéré. Il est important de surveiller ce paramètre si l'on veut utiliser le signal d'horloge récupéré comme signal de référence dans le domaine parallèle.

La gigue aux basses fréquences peut être obtenue en déduisant la gigue d'alignement de la gigue de rythme. On obtiendra ainsi des résultats précis pour la plupart des types de gigue tels que les sources sinusoïdales ou aléatoires de gigue. Si la source de gigue est un signal complexe, tel qu'un signal carré, la fréquence et le facteur d'utilisation auront un effet sur ce calcul.

Dans le cas de la Recommandation UIT-R BT.656 – Interfaces pour les signaux vidéo numériques en composantes dans les systèmes de télévision à 525 lignes et à 625 lignes fonctionnant au niveau 4:2:2 de la Recommandation UIT-R BT.601, la définition de l'affaiblissement de la fréquence pour les mesures de gigue d'alignement (f_3) est 1 kHz. Etant donné que de nombreux récepteurs INS, très appréciés, sont déjà utilisés dans toute l'industrie, cette valeur a été choisie pour convenir à tous les systèmes. Au moment de choisir ce chiffre, il convient de trouver une fréquence assez élevée pour ignorer la gigue provenant de circuits normaux d'asservissement (200 Hz ou plus) et assez faible pour inclure les largeurs de bande de récupération du signal d'horloge pour tous les circuits intégrés des récepteurs courants (10 kHz ou moins).

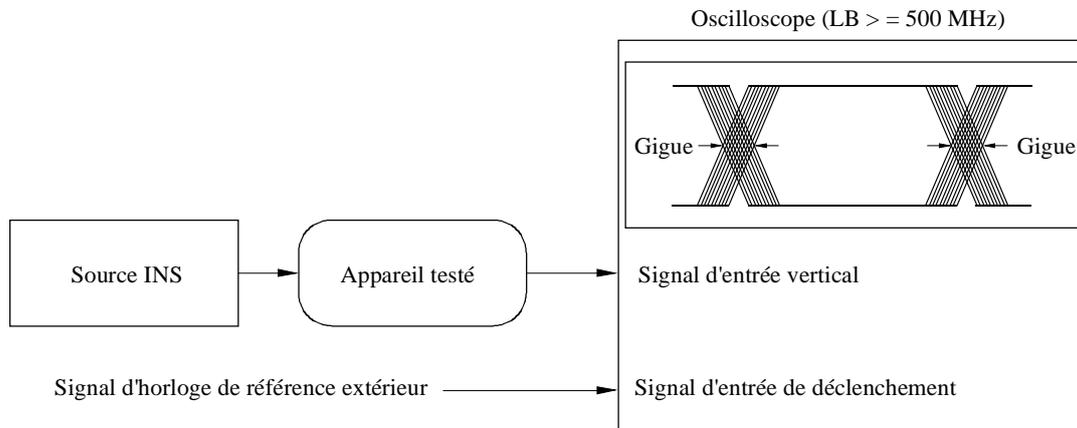
4 Mesures de la gigue

On peut utiliser plusieurs instruments et systèmes de connexion différents pour mesurer la gigue de divers types. Plus les techniques sont complexes, plus elles livreront des informations mais les méthodes simples peuvent donner de bons résultats comme point de départ permettant de comprendre les types de gigue se produisant dans un système donné.

La méthode la plus simple pour observer et mesurer la gigue consiste à utiliser un oscilloscope avec, pour le déclenchement, une référence externe comme montré à la Fig. 21. La source INS et la référence externe doivent être synchronisées sur une horloge commune car tout écart de fréquence (autre que la gigue) peut gêner la mesure. L'écartement des intersections des courbes de l'œil donne l'amplitude de la gigue. Si l'on se sert d'une référence extérieure très stable telle qu'un signal d'horloge tiré de salves de noir, on obtiendra une gigue absolue qui inclura le dérapage.

FIGURE 21

Mesure de la gigue au moyen d'un oscilloscope et d'un déclenchement de référence extérieur

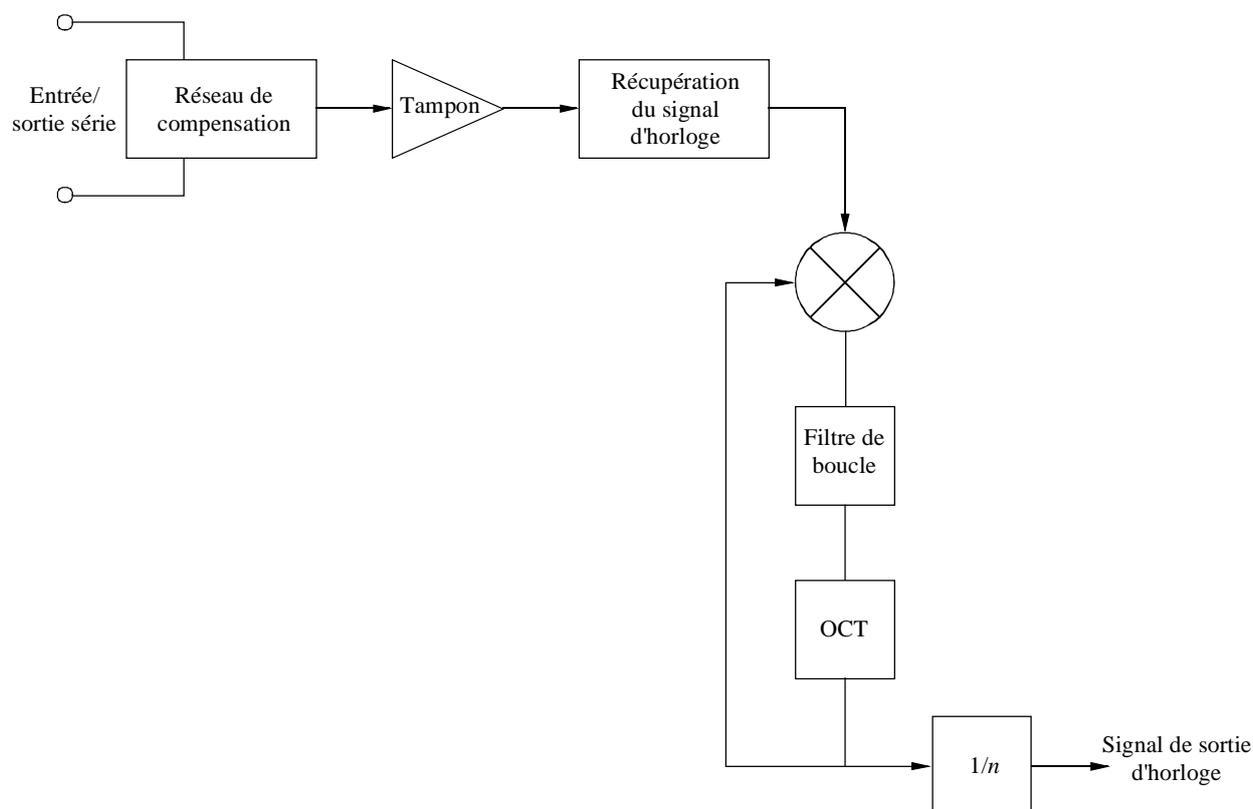


1363-21

Quand on ne dispose pas de référence extérieure pour le déclenchement, il faut extraire un signal d'horloge de référence des données elles-mêmes. De cette manière, on peut obtenir davantage de détails sur les caractéristiques de la gigue. On peut, pour ce faire, utiliser un extracteur d'horloge. Il s'agit d'un dispositif qui récupère un signal d'horloge de référence à partir du train de données entrant. Le schéma fonctionnel d'un extracteur d'horloge représentatif est reproduit à la Fig. 22. Les extracteurs d'horloge sont verrouillés en phase au train de données de manière à synthétiser un signal d'horloge de référence et ce processus comporte en soi une réponse en fréquence. Un extracteur d'horloge qui a une fréquence naturelle en boucle à verrouillage de phase de 1 kHz ne mesurera que les fréquences de gigue supérieures à 1 kHz puisque le signal d'horloge de référence synthétisé décèlera les variations de fréquences inférieures à 1 kHz. C'est ce qui explique que les extracteurs d'horloge aient normalement des fréquences d'affaiblissement de filtres de boucles multiples.

Un extracteur d'horloge amélioré, également appelé récepteur de gigue, comprend trois sections et donne trois signaux de sortie (voir Fig. 23). La première section comporte une boucle passive par l'entrée (ou répartiteur de puissance), un égalisateur et une boucle à verrouillage de phase à large bande. La largeur de la bande de cette boucle fait que les fréquences de la gigue inférieures sont transmises dans le signal d'horloge de sortie extrait (signal de sortie 1). La limite supérieure de fréquence de la gigue reproduite par l'extracteur d'horloge (f_4 dans la Fig. 20) est fixée par la largeur de bande de cette BVP. En outre, un diviseur de fréquence de rapport réglable est prévu avant le signal de sortie de synchronisation pour laisser davantage de temps entre les transitions de front. Dans la mesure où le diviseur numérique laissera parfaitement passer une gigue de synchronisation du signal d'entrée en tant que gigue de signal de sortie, il est possible de mesurer avec un oscilloscope les amplitudes de gigue supérieures à 1 IU. La deuxième section de l'extracteur d'horloge amélioré se compose d'une deuxième BVP qui comprend un filtre à boucle de largeur de bande variable et un oscillateur à quartz à commande par tension de haute qualité. Un réglage de la largeur de bande de la boucle dans cette deuxième BVP détermine la limite supérieure des fréquences de dérapage (limite inférieure des mesures de gigue – f_1 à la Fig. 20). Un autre réglage de la largeur de bande de la boucle définit la fréquence de transition entre la mesure de la gigue de rythme et celle de la gigue d'alignement (f_3 à la Fig. 20). Le signal de sortie de cette section (sortie 2) comprend également un diviseur de fréquence semblable à celui prévu en amont de la sortie 1 pour mesurer grâce à un oscilloscope les amplitudes de gigue supérieures à 1 IU.

FIGURE 22
Schéma fonctionnel d'un extracteur d'horloge

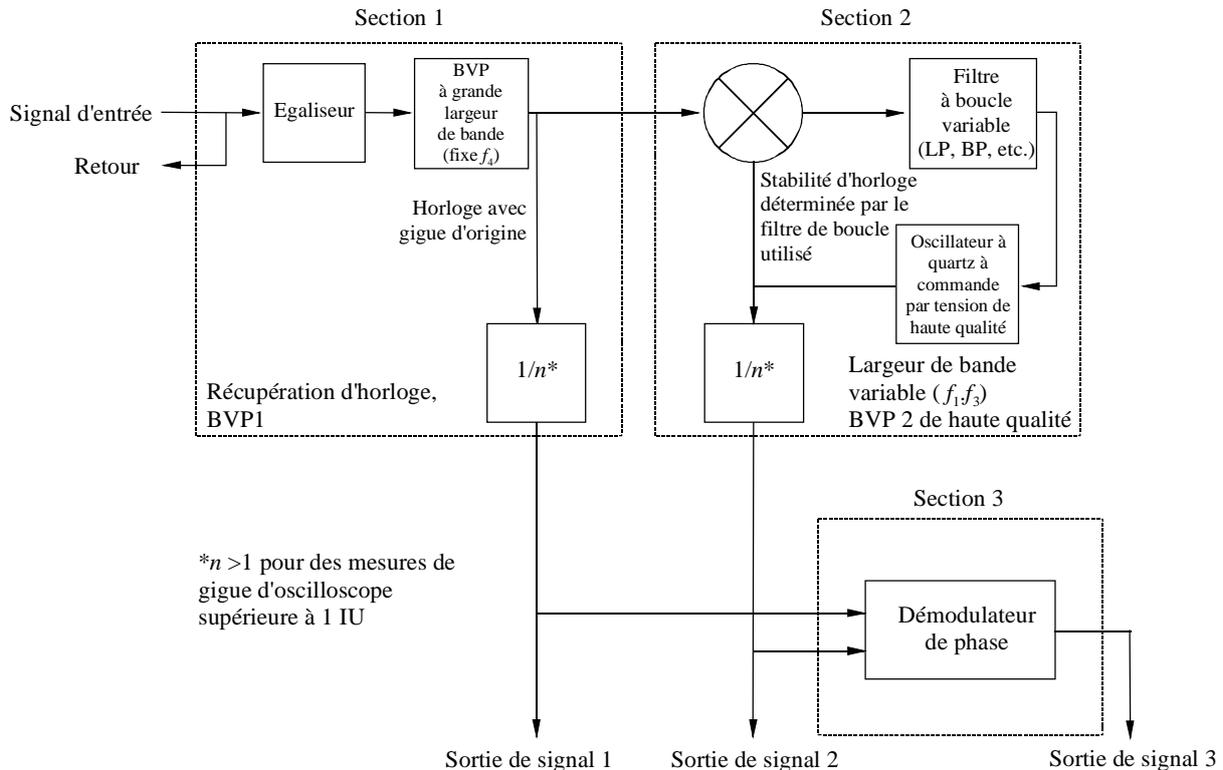


1363-22

La troisième section d'un récepteur de gigue se compose d'un démodulateur de phase. Un démodulateur de phase crée une tension analogique qui représente la différence de phase de deux signaux entrants. Dans le cas présent, le démodulateur utilise comme signaux d'entrée les signaux de sortie d'horloge des deux premières sections. Le signal de sortie du démodulateur contient la différence de gigue entre la BVP 2 et la BVP 1, c'est-à-dire la gigue du signal d'entrée entre les fréquences f_1 (ou f_3) et f_4 . On peut alors rechercher le contenu de fréquence du signal de sortie du démodulateur (sortie 3). Par exemple, ce signal pourrait être introduit dans un analyseur de spectre, un voltmètre à niveau sélectif (en fait un récepteur réglable) ou un filtre et un système de mesure de la tension qui permet de mesurer les caractéristiques de l'amplitude par rapport à celles de la fréquence. Ce système convient bien à la mesure de la gigue crête à crête sur les bandes de fréquences spécifiées pour tel ou tel appareil.

FIGURE 23

Schéma fonctionnel du récepteur de gigue



1363-23

Les méthodes faisant appel à des démodulateurs de phase sont généralement limitées à des largeurs de bande inférieures à 1/10 de la fréquence d'horloge. D'autres techniques, telles que les méthodes fondées sur les diagrammes en œil examinés plus haut, peuvent se révéler nécessaires s'il y a lieu d'étudier des fréquences de gigue supérieures. Cela est dû au fait qu'on a constaté que des fréquences de gigue atteignant 20% de la fréquence d'horloge (54 MHz dans le cas d'un système à 270 Mbit/s et se produisant à deux fois le débit à 10 bits) empêchent le bon fonctionnement des appareils en aval.

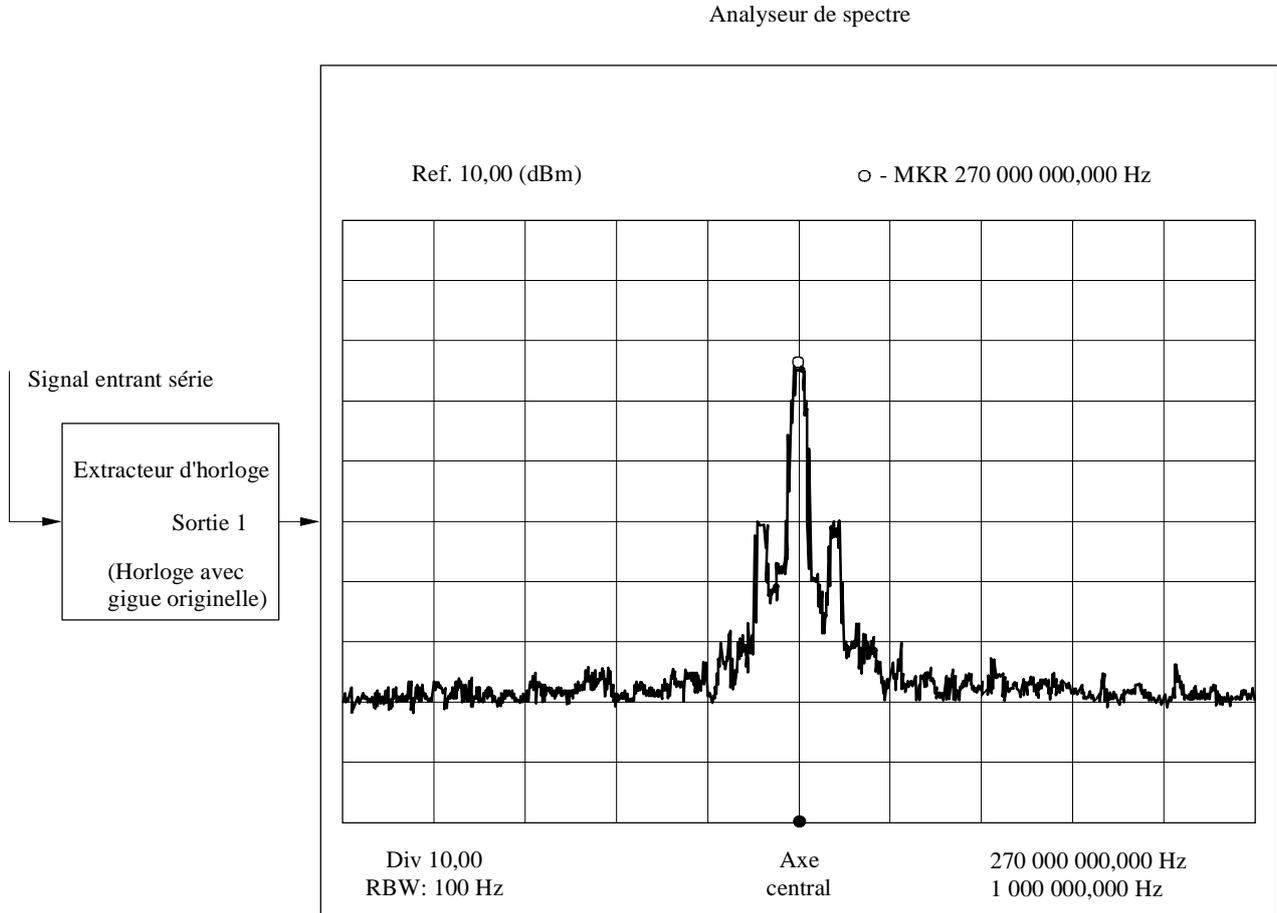
On peut également obtenir des mesures très utiles en employant un extracteur d'horloge en combinaison avec un analyseur de spectre. La configuration exacte dépend des capacités de l'analyseur de spectre utilisé.

Si l'on dispose d'un analyseur de spectre à hautes fréquences avec une largeur de bande étroite, on peut utiliser simplement la première section de l'extracteur d'horloge en combinaison avec l'analyseur de manière à afficher les caractéristiques spectrales de la gigue en termes d'amplitude et de fréquence. C'est ce qui est montré à la Fig. 24, où l'analyseur de spectre a été réglé sur la fréquence d'horloge (270 MHz dans cet exemple) et où deux bandes latérales distinctes sont visibles. Ces deux bandes latérales représentent une seule fréquence modulante (aux environs de 40 kHz) qui a ajouté de la gigue à l'horloge quelque part dans le système.

Si on dispose d'un analyseur de spectre à basses fréquences ou d'un oscilloscope avec un analyseur de TFR incorporé, on peut l'utiliser conjointement avec le récepteur de gigue complet pour visualiser l'amplitude par rapport à la fréquence selon la méthode qui vient d'être décrite. Comme indiqué à la Fig. 25, ce n'est que l'énergie de la bande latérale démodulée qui est affichée. En fonction du matériel utilisé, cette technique peut servir à mesurer la gigue jusqu'à environ la moitié de la fréquence d'horloge. Cette limite est imposée par la largeur de bande utilisée dans l'extracteur

d'horloge du récepteur de gigue. Elle peut ne pas être suffisante comme on le verra plus bas. Toutefois, à l'intérieur de sa bande passante, elle suffit pour déceler des fréquences de modulation de gigue spécifiques ainsi que leurs amplitudes.

FIGURE 24
Mesure de gigue à l'aide d'un extracteur d'horloge et d'un analyseur de spectre



1363-24

Les méthodes décrites jusqu'à présent conviennent à des mesures de gigue d'oscilloscope pour lesquelles la gigue est inférieure à un écart d'un IU au total. Si l'on emploie ces méthodes pour visualiser sur un oscilloscope plus d'un IU de gigue, on obtiendra une image avec l'œil entièrement fermé, ce qui empêchera totalement de quantifier la gigue. Lorsque la gigue dépasse 1 IU et si l'on doit utiliser un oscilloscope, les diviseurs dans les signaux de sortie 1 et 2 du récepteur de gigue peuvent être réglés sur un rapport de division supérieur à 1. La fréquence de la porteuse s'en trouve réduite par le rapport de division employé et l'écart de modulation par une quantité proportionnelle. Si l'on choisit bien le rapport de division, on obtient une rotation de phase de la porteuse qui ne

dépasse pas 360° et l'œil ne se ferme pas comme il le ferait pour 1 IU. Ce réglage est celui indiqué à la Fig. 26 où le signal de sortie 2 est utilisé pour déclencher un oscilloscope à large bande et le signal de sortie 1 actionne le canal vertical. Au moment de procéder à ces mesures, il est important de maintenir le rapport de division aussi bas que possible de manière à ne pas masquer d'éventuels effets de gigue, comme cela pourrait être le cas avec un rapport de 10 et ses sous-multiples.

5 Spécification de l'équipement

Les méthodes de mesure disponibles servent à caractériser la réaction de l'équipement du point de vue de la gigue. Elles servent également à s'assurer que les applications du système ne donnent pas lieu à une accumulation de gigue suffisante pour entraîner des erreurs de données ou nuire au bon fonctionnement pendant la conversion du numérique à l'analogique.

FIGURE 25

Mesure de gigue au moyen du signal de sortie du démodulateur de phase de réception de gigue

Analyseur de spectre à basse fréquence ou oscilloscope avec TFR

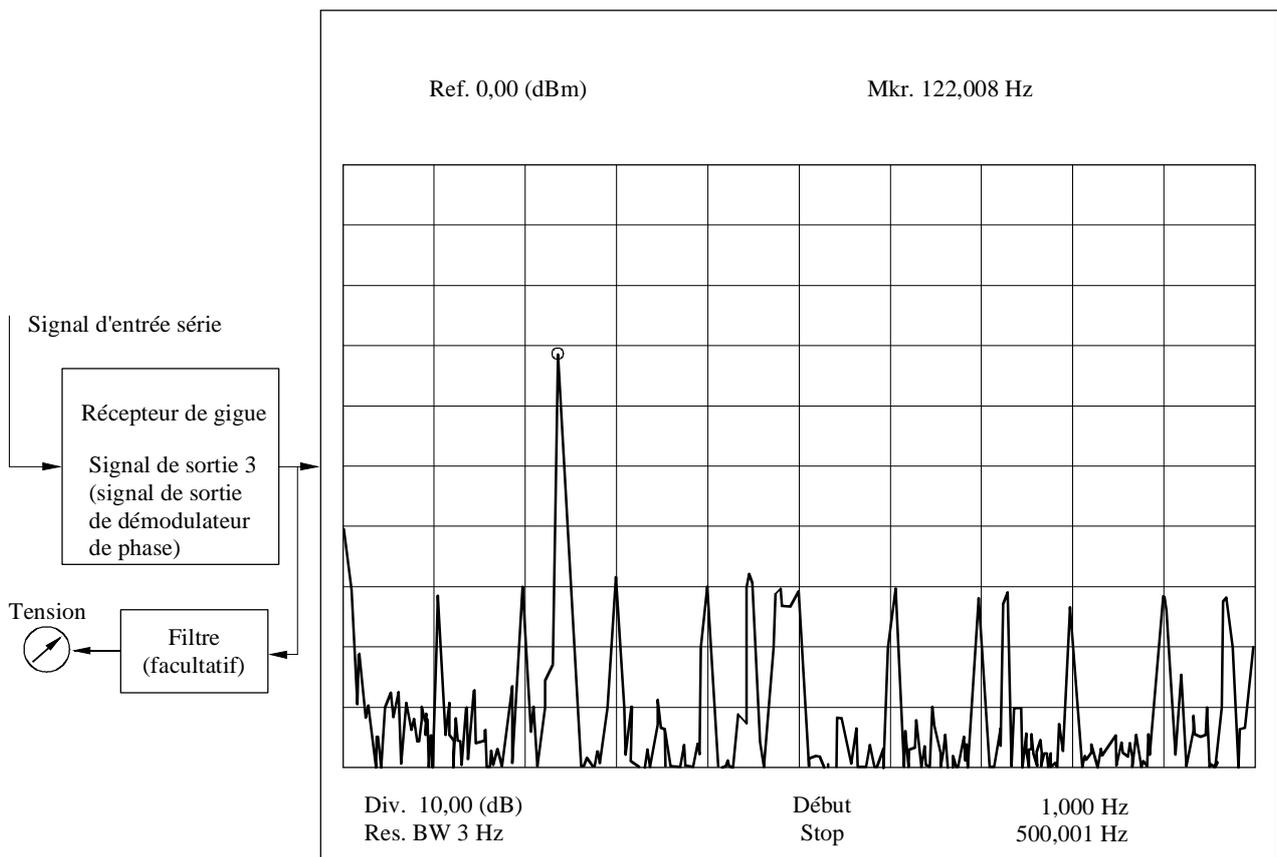
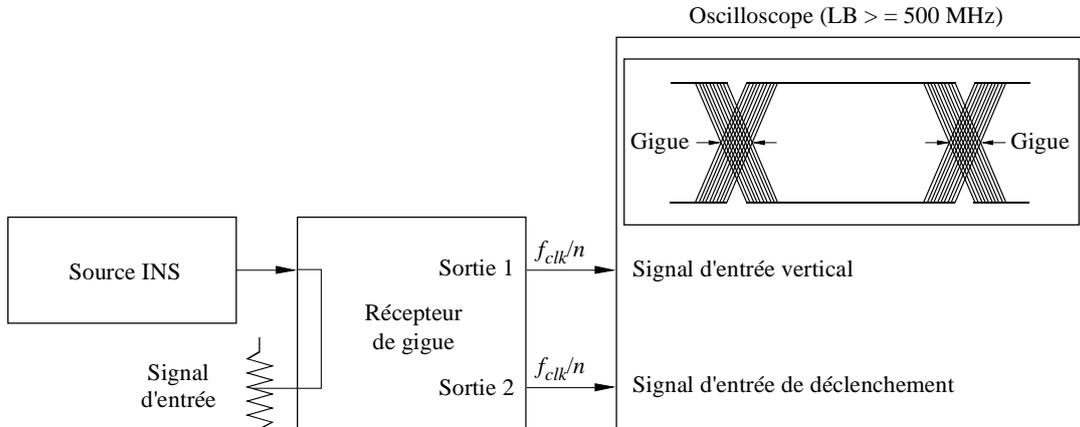


FIGURE 26

Mesure de la gigue pour $IU > 1$ au moyen d'un oscilloscope et d'un récepteur de gigue utilisant une division de fréquence du signal de sortie

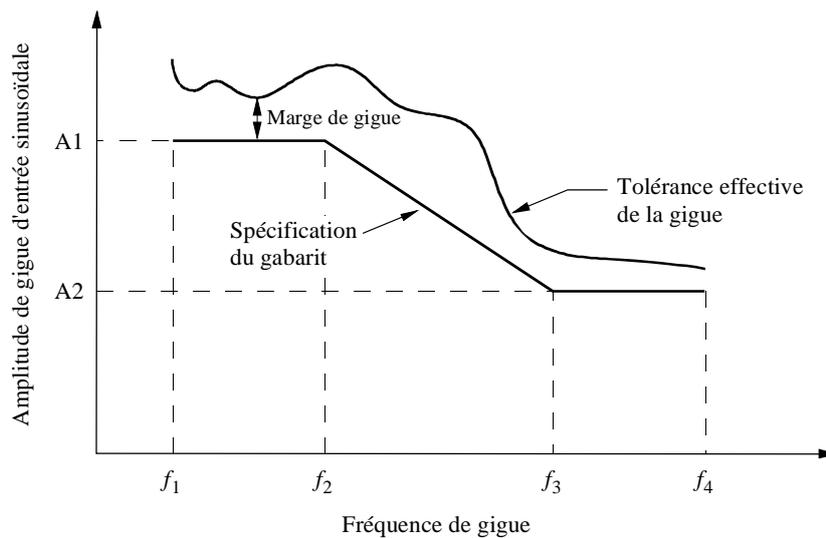


1363-26

Le comportement de l'équipement en matière de gigue se caractérise de plusieurs manières. La tolérance de la gigue à l'entrée est l'amplitude crête à crête de la gigue sinusoïdale qui, appliquée au signal d'entrée d'un équipement, entraîne une dégradation déterminée du taux d'erreur. La tolérance de la gigue du signal d'entrée d'un appareil peut être indiquée grâce à un gabarit comme le montre la Fig. 27. Le gabarit précise la tolérance minimale prévue de la gigue à l'entrée de l'équipement. La tolérance de gigue à l'entrée effectivement mesurée (comme également montré à la Fig. 27) sera supérieure au gabarit dans le cas d'appareils fonctionnant correctement.

FIGURE 27

Gabarit de tolérance de la gigue d'entrée et une tolérance de la gigue d'entrée conforme

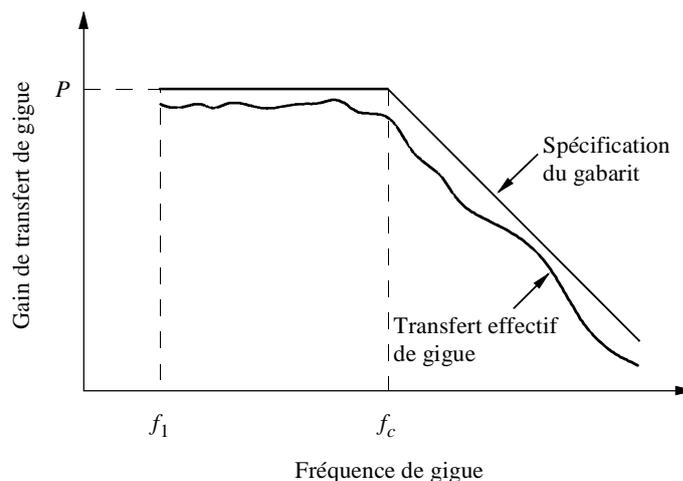


1363-27

Le transfert de gigue est la gigue qui se produit sur le signal de sortie de l'équipement par suite de la gigue appliquée au signal d'entrée. La fonction de transfert de gigue est le rapport de la gigue à la sortie sur la gigue appliquée à l'entrée en fonction de la fréquence. Un gabarit sert à indiquer la fonction du transfert de gigue en termes de gain de gigue par rapport à la fréquence. C'est ce qui ressort de la Fig. 28 où l'on montre une fonction de transfert de gigue conforme qui descend en dessous de la spécification du gabarit. Le gabarit est défini et les mesures sont faites entre f_1 (la limite de spécification aux fréquences basses) et f_c (le bord supérieur de la bande passante de transfert de gigue).

FIGURE 28

Gabarit de transfert de gigue et fonction de transfert de gigue conforme



1363-28

La gigue à la sortie des appareils est répartie en deux catégories. La gigue intrinsèque est la quantité de gigue à basse fréquence à la sortie de l'équipement lorsque l'entrée dans cet équipement est exempte de gigue. Il s'agit essentiellement de la gigue générée par l'équipement. La gigue à la sortie est la quantité de gigue mesurée à la sortie de l'équipement lorsque celui-ci est intégré dans un système. Elle est constituée par la somme du transfert de gigue de la gigue relevée à l'entrée de l'équipement et de la gigue intrinsèque de l'équipement.

6 Questions concernant la configuration du système

La gigue s'accumule au fur et à mesure que les signaux traversent un système. Pour qu'il n'y ait pas d'erreur dans le fonctionnement, il faut que la gigue à la sortie d'un appareil ne dépasse pas la tolérance de gigue à l'entrée de l'appareil suivant. Les spécifications de gigue permettent de prévoir l'accumulation de gigue dans une cascade d'appareils numériques.

Selon les modèles d'accumulation de gigue, il existe deux catégories distinctes de gigue: aléatoire et systématique. La gigue aléatoire se définit comme n'ayant aucun rapport avec toute autre gigue générée dans le système. La gigue limite due au bruit thermique dans un circuit limiteur est un exemple de gigue aléatoire. Puisqu'elle n'a pas de rapport avec une autre gigue, la gigue aléatoire augmente en fonction de la puissance: l'amplitude s'accroît selon la somme quadratique. La gigue systématique est la gigue qui est totalement liée à une autre gigue dans le système. Les variations de rythme dues à des séquences de données spécifiques sont un exemple de gigue systématique puisque dans une cascade de régénérateurs identiques le même comportement se reproduit chaque

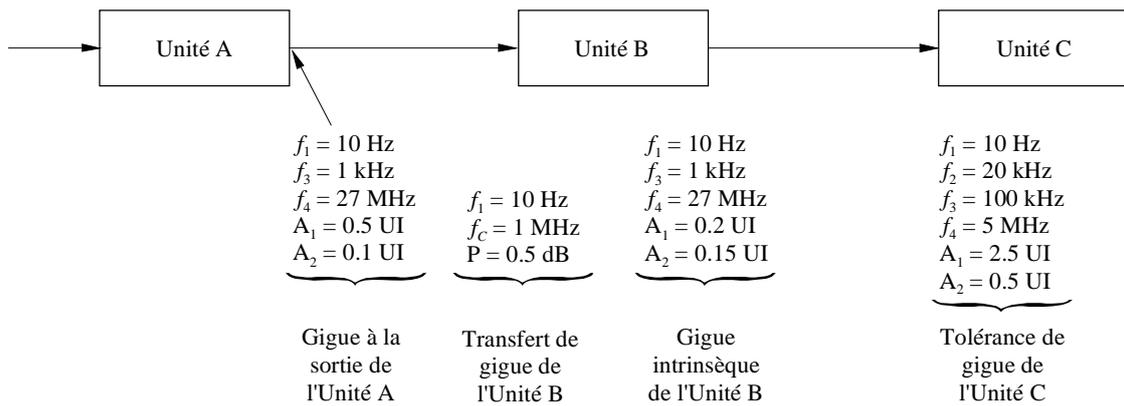
fois. Dans la mesure où elle est en corrélation avec une autre gigue, la gigue systématique s'accumule arithmétiquement.

La plupart du temps la gigue est une combinaison de gigues aléatoires et systématiques. Toutefois, après être passée par plusieurs régénérateurs, la gigue systématique l'emporte d'ordinaire par suite de l'accumulation arithmétique. De ce fait, les modèles d'accumulation simple traitent toutes les gigues comme si elles étaient systématiques.

L'accumulation de gigue est calculée comme suit:

1. la gigue à l'entrée de l'équipement est multipliée par la fonction de transfert de la gigue de l'équipement;
2. cette gigue pondérée s'ajoute à la gigue intrinsèque de l'équipement pour donner la gigue de sortie;
3. cette gigue de sortie devient la gigue d'entrée à l'étape suivante et le processus se répète;
4. à aucun moment la gigue de sortie ne peut dépasser la tolérance de gigue à l'entrée de l'étape suivante.

EXEMPLE:



1363-28b

Etape 1: Multiplier la gigue à la sortie de l'unité A par la fonction de transfert de la gigue de l'unité B

La fonction de transfert de la gigue de l'unité B montre des crêtes de 0,5 dB entre 10 Hz et 1 MHz avec affaiblissement au-delà de 1 MHz; 0,5 dB correspond à un gain de 1,06.

Entre f_1 et f_c (10 Hz à 1 MHz): $(A_1)\log -1 (P/20) = (0,5 \text{ IU}) (1,06) = 0,53 \text{ IU}$

Entre f_3 et f_c (1 kHz à 1 MHz): $(A_2)\log -1 (P/20) = (0,1 \text{ IU}) (1,06) = 0,11 \text{ IU}$

A noter que le calcul de la gigue a été limité à 1 MHz (f_c) même si la gigue d'entrée (gigue à la sortie de l'unité A) a été indiquée à 27 MHz (f_4). La raison en est que la fonction de transfert de gigue de l'unité B filtre avec un filtre passe-bas la gigue d'entrée à 1 MHz. Même si l'on se trouve en présence de fréquences supérieures, celles-ci ne sont pas propagées par l'unité B et ne sont donc pas prises en compte pour le calcul de l'accumulation.

Etape 2: Ajouter la gigue intrinsèque de l'unité B à la gigue transférée par l'unité B pour obtenir la gigue à la sortie de l'unité B

Au-dessus de f_1 (10 Hz): gigue de sortie = 0,53 IU + 0,2 IU = 0,73 IU

Au-dessus de f_3 (1 kHz): gigue de sortie = $0,11 \text{ IU} + 0,15 \text{ IU} = 0,26 \text{ IU}$

Au-dessus de f_c (1 MHz): gigue de sortie = $0,15 \text{ IU}$

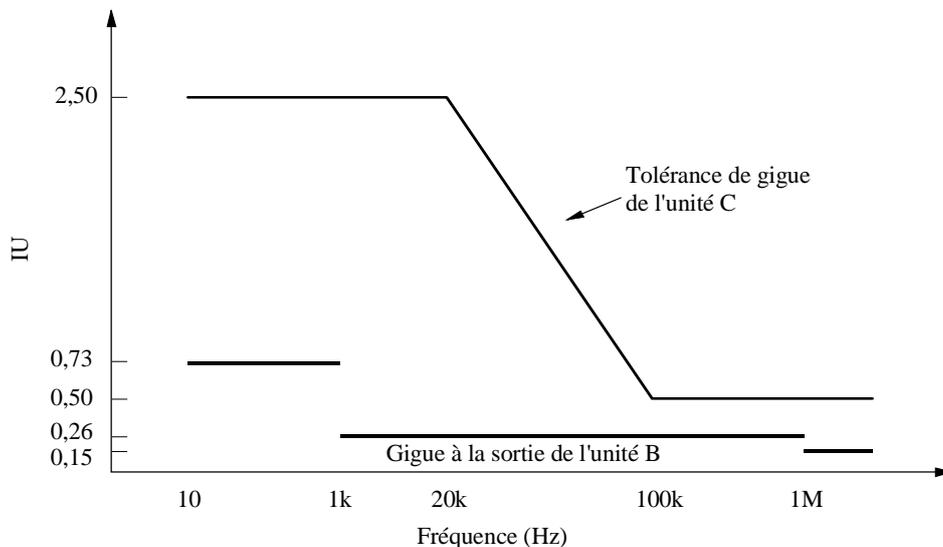
Le troisième cas s'explique par le fait qu'il n'y a pas de transfert de gigue au-dessus de f_c (1 MHz). Ainsi, la seule gigue de sortie au-dessus de cette fréquence est la gigue intrinsèque de l'unité B. Bien que l'on ne sache pas si l'intervalle unitaire $0,15$ se produit entre 1 kHz et 1 MHz ou au-dessus de 1 MHz, dans la pratique on suppose qu'une grandeur constante se maintient dans toute la fourchette f_3 à f_4 .

Etape 3: Comparer la gigue à la sortie de l'unité B avec la tolérance de gigue à la sortie de l'unité C

La tolérance de gigue de l'unité C fait que la gigue au-dessus de f_3 (100 kHz) doit être inférieure à $0,5 \text{ IU}$ et la gigue comprise entre f_1 (10 Hz) et f_2 (20 kHz) doit être inférieure à $2,5 \text{ IU}$. La gigue à la sortie de l'unité B est supérieure de $0,15 \text{ IU}$ à f_c (1 MHz), de $0,26 \text{ IU}$ à f_3 (1 kHz) et $0,73 \text{ IU}$ à f_1 (10 Hz). Il est pessimiste mais approprié de supposer que tout l'IU $0,73$ se produit entre f_1 et f_3 (10 Hz et 1 kHz). A noter que la gigue à la sortie de l'unité B est inférieure à la tolérance de gigue à l'entrée de l'unité C (voir la Fig. 29).

Ainsi, une cascade d'appareils de ce type fonctionnerait.

FIGURE 29
Comparaison de la gigue à la sortie de l'unité B avec
la tolérance de gigue de l'unité C



1363-29

La méthode simple décrite ci-dessus permet de calculer sur le papier une quelconque cascade d'appareils. Il faut pour cela obtenir du fabricant les spécifications concernant la tolérance de gigue, le transfert de gigue et la gigue intrinsèque. A défaut, ces paramètres peuvent être mesurés.

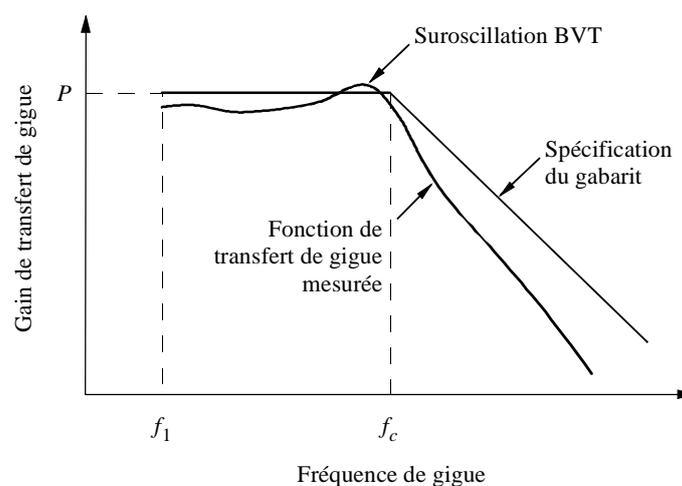
Les pannes dues à la gigue se produisent lorsque la gigue de sortie dépasse la tolérance de gigue à l'entrée de l'équipement en aval. Cette situation se produit dans un système généralement pour les raisons suivantes:

1. gigue intrinsèque trop forte, par suite normalement d'une mauvaise conception de l'équipement ou d'une panne d'équipement;

2. après une cascade d'appareils donnant lieu à un transfert de gigue allant jusqu'à f_c , l'ajout d'un appareil dont le seuil de tolérance de gigue f_3 est bien plus bas que la fréquence f_c . La gigue s'accumulera arithmétiquement au-dessous de f_c et en arrivera finalement à dépasser la tolérance de gigue aux hautes fréquences A_2 . Il ne se produit pratiquement pas d'accumulation de gigue au-dessus de f_c ;
3. pointe dans la fonction de transfert de gigue, d'ordinaire près de f_c (voir la Fig. 30). Une cascade d'appareils possédant cette caractéristique peut donner lieu à un fort accroissement de la gigue.

FIGURE 30

Fonction de transfert de gigue indiquant la pointe de gigue



1363-30

Les raisons 2 et 3 sont de bons exemples de l'intérêt qu'il y a de publier les spécifications concernant le transfert et la tolérance de la gigue. On peut éviter la situation visée sous 2 en choisissant un équipement convenable, en rangeant la cascade d'appareils dans un ordre convenable ou en installant un suppresseur de gigue avant l'appareil présentant le faible seuil de tolérance de gigue f_3 . On peut éviter la situation visée sous 3. en choisissant l'équipement convenable (pointe de gigue réduite), en prévoyant des suppresseurs de gigue ou en restreignant la longueur de la cascade. Toutes ces solutions exigent de connaître le transfert et la tolérance de gigue des éléments du système.

7 Atténuation de gigue

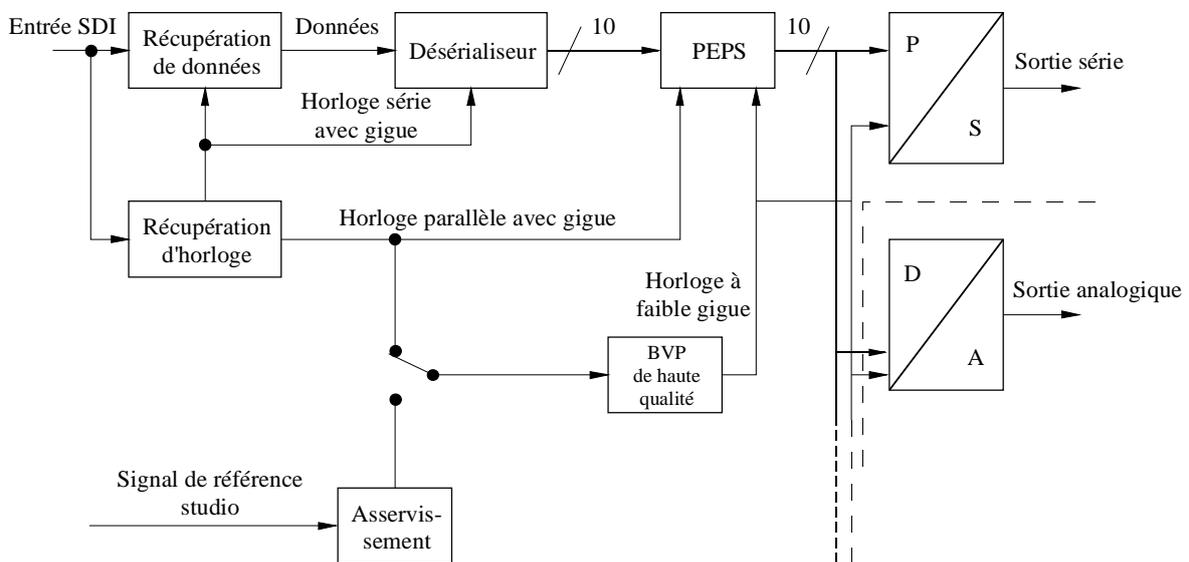
Il peut être nécessaire d'éliminer la gigue à divers endroits d'un système. La raison peut en être, comme on vient de l'étudier, que trop de gigue s'est accumulée au point de dépasser la tolérance de gigue de l'entrée d'un appareil en aval ou bien il pourrait s'agir de permettre une conversion en forme analogique de haute qualité. La gigue entraîne la non-linéarité des convertisseurs de numérique à analogique (N/A). Pour assurer une conversion N/A de haute qualité, il faut donc supprimer toute gigue accompagnant un signal si l'horloge de conversion est tirée de ce signal.

Un suppresseur de gigue fonctionne en ramenant les signaux numériques série à une forme parallèle en les faisant passer par un registre du type «premier entré premier sorti» (PEPS) puis en les sérialisant de nouveau au moyen d'une horloge hautement stable. D'ordinaire cette horloge hautement stable est rapportée à un signal de synchronisation tel qu'un signal du noir en salves.

Comme le montre la Fig. 31, le signal à l'entrée dans le supprimeur de gigue présente une structure très proche d'un signal d'entrée dans n'importe quel équipement ayant une entrée INS. Vient ensuite un registre PEPS relativement court mais d'une longueur suffisante pour accepter les variations de rythme les plus longues provoquées par les amplitudes de gigue les plus fortes prévues. Finalement, la source d'horloge de haute qualité actionne soit un sérialiseur soit un convertisseur N/A qui fournira un signal de sortie pratiquement libre de toute gigue. Des appareils de ce type peuvent être utilisés dans un système aussi souvent que nécessaire pour contrôler l'accumulation de gigue ou pour assurer des sorties analogiques linéaires. Il faut veiller, lorsqu'on utilise des supprimeurs de gigue, à tenir compte du retard supplémentaire qu'ils entraînent et à s'assurer que ce retard soit prévisible.

FIGURE 31

Schéma fonctionnel d'un «supresseur de gigue»



1363-31