

Solutions de test pour les technologies de transmission de 21 à 32 Gbauds

Anritsu EMEA Ltd

Face à l'accroissement des échanges d'informations, des standards de communication plus rapides, tels que GbE 100, 200 et 400, OTN, PCIe Gen4, USB 3.1 et Thunderbolt 3, sont désormais utilisés ou bien font l'objet de recherches pour la transmission haut débit et le traitement de grands volumes de données.

Les technologies de communications à haut débit sont essentiellement basées sur les méthodes de codage NRZ (*Non Return to Zero*) et PAM (*Pulse Amplitude Modulation*). Mais pour l'interconnexion de données entre les nouvelles générations d'équipements, de modules ou de composants, il faut augmenter la vitesse du signal, en NRZ comme en PAM.

La mise en œuvre de ces technologies a généré le développement de nouveaux composants qui doivent être évalués et testés, ce qui a conduit certains fabricants d'instruments de mesure, comme Anritsu, à offrir de nouvelles fonctionnalités dans leurs gammes d'analyseurs de données numériques.

Technologie de transmission NRZ et PAM

Le format NRZ (*Non-Return-to-Zero*) est le format binaire le plus utilisé, constitué de deux niveaux : 1 ou 0. Ce format a beaucoup évolué depuis ses débuts, passant d'un petit nombre de kbits/s à quasiment 64 Gbits aujourd'hui. Il existe même des modules 100 G composé de 4 canaux de 25/28 G.

Les méthodes de modulation d'amplitude d'impulsion (PAM, *Pulse Amplitude Modulation*) sont mises en œuvre par les opérateurs télécoms. La nouvelle génération de méthodes de transmission 200 et 400 Gbits/s, définies par les normes IEEE802.3bj, 100GBase-KP4 et IEEE802.3bs, augmentent la capacité de transmission par rapport à la méthode NRZ classique, sans augmenter le débit de symboles, grâce à la mise en œuvre de la technologie de transmission par modulation d'amplitude d'impulsion (PAM). Dans la signalisation PAM4, au lieu de transférer 1 bit à l'un des deux niveaux 0 ou 1 dans un intervalle de temps comme dans la signalisation NRZ, deux bits sont envoyés à quatre niveaux dans un intervalle de temps. Dans la signalisation PAM8, trois bits sont envoyés à huit niveaux dans un intervalle de temps. La méthode PAM a l'avantage d'augmenter la capacité de transfert de

données, sans augmenter le débit de symboles du signal, ; mais à l'inverse, puisque le niveau de tension de chaque signal dans un intervalle de temps devient plus réduit, elle a l'inconvénient de posséder un rapport signal sur bruit (SNR) plus faible.

	Standard	Baud-rate	Modulation Format
IEEE802.3bs	400GBASE-SR16	26.6G	NRZ
	400GBASE-FR8,LR8	26.6G	PAM4
	400GBASE-DR4	53.1G	
IEEE802.3bj	100GBASE-KR4	25.78G	NRZ
	100GBASE-KP4	13.6G	PAM4
CEI-56G	56G-USR	20-58G	NRZ
	56G-XSR/VSR/MR	40-58G/ 39-56G/ 39-56G	
	56G-XSR/VSR/MR	20-29G/ 20-29G/ 18-29G	
	56G-LR	18-29G	PAM4
	56G-LR	33-38G	
			ENRZ

Figure 1. Capacités de transmission par standard

Picture terms – Figure 1

Standard >> Standard

Baud-rate >> Vitesse de transfert en bauds

Modulation Format >> Format de modulation

Éléments à prendre en compte pour les tests

Que ce soit pour la transmission électrique ou la transmission optique, par signal NRZ ou par PAM4, il est possible de tracer un diagramme général pour représenter le canal de transmission sous test.

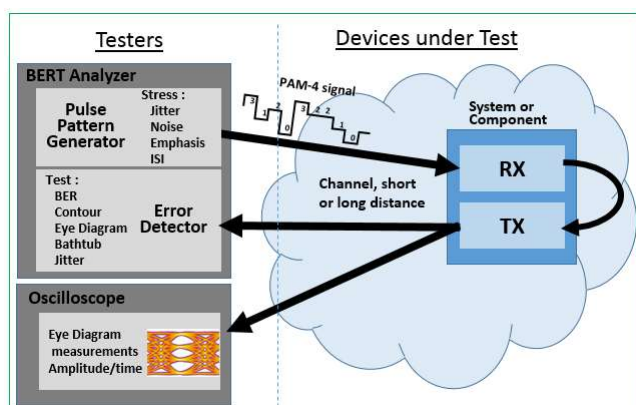


Figure 2. Canal de transmission sous test

Picture terms – Figure 2

Testers >> Testeurs

BERT Analyzer >> Analyseur BERT

Pulse Pattern Generator >> Générateur de séquences (PPG)

Stress >> Contraintes

Jitter >> Gigue

Noise >> Bruit

Emphasis >> Accentuation

ISI >> ISI

Test >> Test

Error Detector >> Détecteur d'erreur (ED)

BER >> Taux d'erreur BER

Contour >> Contour

Eye Diagram >> Diagramme de l'œil

Bathtub >> Courbe en baignoire

Jitter >> Gigue

Oscilloscope >> Oscilloscope

Eye Diagram measurements >> Mesures du diagramme de l'œil

Amplitude/time >> Amplitude/temps

Devices under Test >> Objets sous test

System or component >> Système ou composant

PAM-4 signal >> Signal PAM-4

Channel, short or long distance >> Canal, courte ou longue distance

RX >> RX

TX >> TX

Toutes les liaisons de transmission doivent être testées pour confirmer que les données sont correctement transmises. Le réseau et ses équipements peuvent être divisés en deux parties, l'émission et la réception du signal. Dans le cas de la mesure des équipements de réception, notés Rx sur la figure 2, il est nécessaire d'y appliquer un signal pour tester sa capacité à le détecter correctement. Pour les équipements d'émission, notés Tx sur la figure 2, les tests peuvent être réalisés à l'aide d'un oscilloscope et doivent être validés en comptabilisant les erreurs avec un testeur de taux d'erreur (*BERT - Bit Error Rate Tester*). Pour permettre le test complet d'une liaison, de courte ou de longue distance, une configuration nommée Loopback est souvent utilisée, dans laquelle Rx est connecté à Tx.

Sur la figure 2, si un signal optique doit être testé, un équipement tel qu'un modulateur ou démodulateur optique sera ajouté.

Pour qualifier des communications numériques, le premier élément important de l'équipement de test est le générateur de séquences (*PPG - Pulse Pattern Generator*). En effet, le générateur PPG doit délivrer un signal parfaitement représentatif du signal qui sera transmis sur le réseau véritable, en ayant les spécifications (NRZ, PAM, électriques, optiques) requises afin d'effectuer les tests. Le signal est soit « idéal », pour mesurer les défauts générés tout au long de la chaîne de transmission, soit intentionnellement « perturbé », pour reproduire les défauts générés par le réseau et tester la résistance de la partie réception Rx. Le second élément important est le détecteur d'erreur (*ED - Error Detector*), qui remplacera le récepteur Rx afin de pouvoir mesurer le taux d'erreur de la transmission.

Générateur de séquences (PPG)

Un signal de haute qualité à la sortie du générateur PPG est un pré-requis ; de bonnes spécifications (amplitude, temps de montée/descente du signal, gigue intrinsèque, bruit) sont nécessaires. Ces variables de performances ne sont pas faciles à obtenir, en particulier pour des débits très élevés ; par exemple, pour la modulation PAM4, une amplitude élevée, un faible bruit et une bonne linéarité sont tous trois nécessaires mais difficiles à obtenir. Comme le module ou le canal sous test est souvent « différentiel », les sorties du générateur PPG doivent également être différentielles. Actuellement, un générateur de forme d'onde arbitraire (*AWG, Arbitrary Waveform Generator*) n'est pas capable d'offrir une qualité de signal aussi élevée qu'un générateur PPG.

Selon les standards des différentes séquences binaires utilisés, le PPG doit pouvoir suivre toutes ces recommandations, par exemple le QPRBS13 pour la norme CEI-56G et le PRBS31Q pour la norme IEE 200 G et 400 G.

Plusieurs canaux PPG peuvent être nécessaires pour les tests. C'est pourquoi le MP1900A d'Anritsu peut supporter jusqu'à 16 canaux synchronisés. Un test de type cross-talk utilise au moins deux canaux, tandis que la modulation PAM-4, PAM-8 ou le multiplexage pour les débits plus élevés nécessitent de créer une combinaison de plusieurs canaux.

Les tests sous contraintes sont une autre fonction : le module PPG peut ajouter des défauts et des améliorations au signal, pour simuler les conditions réelles d'un vrai canal, de sorte que ce signal ainsi transformé, contraigne le système ou le composant sous test. Les spécifications de ces transformations appliquées au signal suivent les recommandations de standards tels que CEI 56G ou IEEE 802.3. Les capacités requises pour ces transformations de signal sont : ajustement de l'amplitude, réponse en fréquence, bruit d'amplitude, excursion de fréquence, gigue, pré-accentuation, ajout et retrait de

réseaux virtuels (embedding/de-embedding). L'analyseur de la qualité du signal MP1900A est capable de générer toutes les contraintes requises par ces normes. Pour les signaux optiques, un modulateur externe est utilisé. Anritsu propose de nombreuses solutions optiques qui offrent le NRZ et le PAM-4 avec plusieurs longueurs d'onde.



Figure 3. Le MP1900A génère les signaux requis pour les tests sous contraintes

Picture terms – Figure 3

Stress Signals NRZ or PAM >> Signaux NRZ ou PAM avec contraintes

NRZ 28G Clean >> NRZ 28 G sans perturbations

NRZ 28G with noise & Jitter >> NRZ 28 G avec bruit et gigue

System or component >> Système ou composant

RX >> RX

TX >> TX

L'accentuation du signal constitue une fonction importante de l'émetteur sur un système de télécommunication, c'est pourquoi il faut que le module PPG puisse reproduire cette fonction. Le MP1900A a la capacité d'ajuster la réponse en fréquence en utilisant la fonction d'accentuation sur 10Taps. Cette fonction peut être exploitée selon 3 modes : le mode manuel, où l'utilisateur peut ajuster manuellement les Taps, le mode émulation, où 2 ou 4 ports de paramètres S sont utilisés pour ajuster les 10 Taps (mode très puissant pour l'ajout/retrait d'un réseau virtuel dans un canal), et le mode ISI, qui est une pente avec un point à la fréquence de Nyquist et un point à la moitié de la fréquence de Nyquist (fréquence d'échantillonnage). Dans ces trois modes, les réponses en fréquence définies peuvent être ajustées pour correspondre aux normes, comme la norme CEI 28 G/25 G.

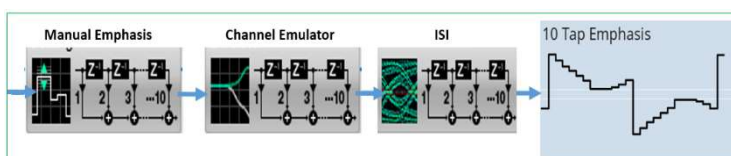


Figure 4. Trois modes d'ajustement des réponses en fréquence définies

Picture terms – Figure 4

Manual emphasis >> Accentuation manuelle

Channel Emulator >> Émulateur de canal

ISI >> ISI

10Tap Emphasis >> Accentuation sur 10Tap

Détecteur d'erreur (ED)

Les capacités du détecteur d'erreur (*ED - Error Detector*) sont déterminées par sa sensibilité à détecter et mesurer le signal à un débit donné, par exemple un signal de 10 mV p-p avec un PRBS31 à 28 Gb/s pour un taux d'erreur BER égale à 0 erreur. Le signal peut être NRZ ou PAM-4. Pour pouvoir mesurer un signal, le module ED a besoin d'une horloge, pour laquelle il existe deux options : soit l'horloge est externe, et donc les signaux de données et d'horloge sont connectés au détecteur d'erreur, soit une fonction de récupération d'horloge (*CDR - Clock Data Recovery*) est utilisée pour pouvoir extraire les données. Dans le deuxième cas, il est préférable que le CDR soit intégré au module ED, car cela limite les erreurs de mesure causées par la longueur du câble.

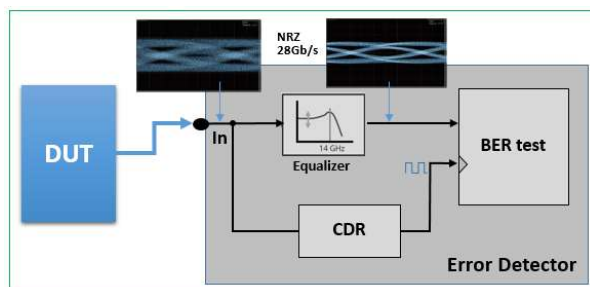


Figure 5. Égalisation intégrée avec le MP1900A

Picture terms – Figure 5

Equalizer >> Égaliseur

BER Test >> Test BER

Error Detector >> Détecteur d'erreur (ED)

Pour les standards 25/28 G, l'égalisation est nécessaire dans le canal de transmission. Cette fonctionnalité est intégrée au détecteur d'erreur du MP1900A, reproduisant la même configuration que sur le système. Sur la figure 5, l'œil du signal à la sortie de l'égaliseur est ouvert et peut être transmis sans erreur.

La détection PAM-4 d'Anritsu offre deux solutions : soit les tests pour les 3 niveaux sont effectués de manière séquentielle et automatique, auquel cas un seul détecteur d'erreur suffit, soit on mesure le signal en temps réel, ce qui nécessite un démodulateur PAM-4 ainsi que deux détecteurs d'erreur.

En plus du test de base, il est essentiel que le détecteur d'erreur mesure le taux d'erreur BER (*Bit Error Rate*), bien que d'autres tests puissent également être réalisés (contour, diagramme de l'œil, marges de l'œil et courbe en baignoire). Ces mesures sont basées sur le BER, en fonction de l'amplitude et des seuils de phase. Autre variable importante : la tolérance de gigue ; dans ce cas, le module PPG pour la génération de gigue et le module ED pour le test, sont activés pour procéder à un test automatique.

Testeur BER nouvelle génération

Les choses ont bien changé depuis l'arrivée des testeurs de taux d'erreur BER nouvelle génération. Non seulement les taux ont augmenté jusqu'à 64 Gbauds pour l'électronique, mais aussi ces testeurs vont également plus loin que les simples tests de base permettant de comptabiliser les erreurs. Les testeurs dernière génération, connus sous le nom d'analyseurs de la qualité du signal (SQA, pour *Signal Quality Analyzer*), sont capables de générer ou d'analyser des signaux aux fonctions élaborées. Les appareils intègrent des fonctions comme les tests sous contraintes ou l'intégrité du signal, et permettent d'effectuer des mesures en fonction de standards définis. Le lien existant entre les Datacoms et les Télécoms entraîne également la nécessité d'effectuer des tests en utilisant le SQA, pouvant aussi être mis en relation avec des normes comme PCIe, Thunderbolt ou USB. L'analyseur MP1900A est un SQA qui est utilisé pour la recherche et développement, dans le domaine des composants ou systèmes de réseaux. Anritsu propose également le testeur MP2110A, qui intègre un testeur BER et un oscilloscope, et qui est utilisé pour produire des appareils 25 et 28 G.