

Les oscilloscopes à échantillonnage se mettent à l'heure de la démocratisation

Le transfert de la technologie des oscilloscopes à échantillonnage sur une instrumentation en forme de boîtier USB a permis une réduction de leur prix et de leur encombrement. Ces oscilloscopes restent néanmoins une technologie de pointe, parfois délicate à mettre en œuvre, mais incontournable dans de très nombreuses applications.

Les processeurs embarqués économiques et puissants rencontrés dans les smartphones et autres tablettes intéressent de plus en plus d'industriels qui s'appuient sur ces architectures pour se lancer dans la conception de systèmes embarqués performants, sobres et communicants. Au cœur de ces systèmes, ils mettent fréquemment en œuvre des technologies de bus sérialisés qui dépassent allègrement le gigahertz en bande passante. On peut citer par exemple le HDMI (High Definition Multimedia Interface) pour le graphique et la vidéo, le SATA III (Serial Advanced Technology Attachment ou Serial ATA) pour le stockage de masse, mais aussi les liens série rapides PCI Express Gen 2 et USB 3.0, les interfaces mémoires DDR3 et le Gigabit Ethernet. Or, pour ces technologies, les instruments de mesure analogique, qui assurent la caractérisation des signaux et qui sont incontournables pour vérifier et qualifier les conceptions des systèmes électroniques qui les intègrent, sont à la fois rares et coûteux.

Pourtant, il existe un type d'instrument qui permet de faire des mesures analogiques précises aussi bien en amplitude qu'en résolution temporelle: c'est l'oscilloscope à échantillonnage (Sampling Oscilloscope). Longtemps considérés comme des produits de très haut de gamme du fait de leurs performances élevées, ces oscilloscopes à échantillonnage se démocratisent aujourd'hui sous la forme d'instruments en boîtier USB de quelques centaines de grammes. Pilotés par un PC, ils sont fournis avec un logiciel d'utilisation qui offre une face avant virtuelle sur le PC

AUTEUR



Nicolas Stenko, ingénieur technique Cartes et analyseurs, Neomore.

auquel ils sont connectés. Pico Technology, un des leaders des technologies d'oscilloscope sur PC, fait partie de cette tendance en rendant cette technologie de « sampling » abordable grâce aux instruments des séries 9200 et, maintenant, 9300.

Une conversion A/N commandée par une horloge asservie au déclenchement

Attention, derrière l'appellation Sampling Oscilloscope, il ne faut pas confondre ce type d'instrument avec les oscilloscopes numériques classiques, les DSO (Digital Sampling Oscilloscope). En effet, si ces deux catégories d'appareils permettent une quantification numérique du signal avec un échantillonnage des données analogiques en entrée, elles le font par des voies très différentes. Rappelons d'abord que le principe de fonctionnement de l'oscilloscope à échantillonnage est connu depuis les années 30, grâce aux travaux du chercheur américain d'origine suédoise Harry Nyquist, à l'origine du fameux théorème d'échantillonnage de Nyquist-Shannon. Mais ce n'est que durant la décennie 50-60 que les premiers oscilloscopes utilisant

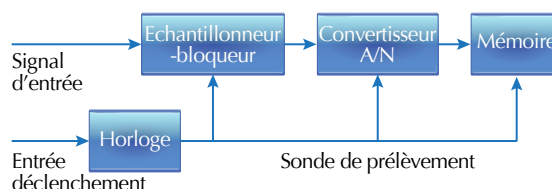
ce principe apparurent sur le marché, oscilloscopes qui d'ailleurs n'avaient rien de numérique!

Dans son principe, un oscilloscope à échantillonnage n'a pas d'amplificateur en amont de l'échantillonneur-bloqueur, ce qui a pour effet de réduire les erreurs de linéarité et de phase et le bruit introduits par celui-ci. Dans cette topologie, l'échantillonneur-bloqueur se trouve donc directement à l'entrée du signal. Or la conversion analogique-numérique qui suit n'est pas commandée par une base de temps comme sur un oscilloscope numérique, mais par une horloge asservie au déclenchement (figure 1). Ainsi, chaque déclenchement commande la capture et la numérisation d'un échantillon de signal (contrairement à l'oscilloscope numérique qui capture une salve d'échantillons à la vitesse de son horloge interne). Dans cette approche, chaque salve constitue un enregistrement, appelé aussi trace ou courbe, qui est conservé. Et, au fur et à mesure des déclenchements, un décalage séquentiel précis du point d'échantillonnage permet de construire une image point par point du signal par effet stroboscopique. D'ailleurs on appelle aussi cet instrument « oscillographe stroboscopique » ou oscilloscope à échantillonnage « séquentiel ». La trace que l'on cherche à acquérir et à analyser est ainsi constituée point par point (figure 2).

L'intérêt de cette technique réside dans le fait que la fréquence d'échantillonnage réelle de la conversion numérique n'a pas besoin d'être supérieure à la fréquence du signal pour décrire le signal. Par exemple, une fréquence d'échantillonnage de 1 MHz suffit à

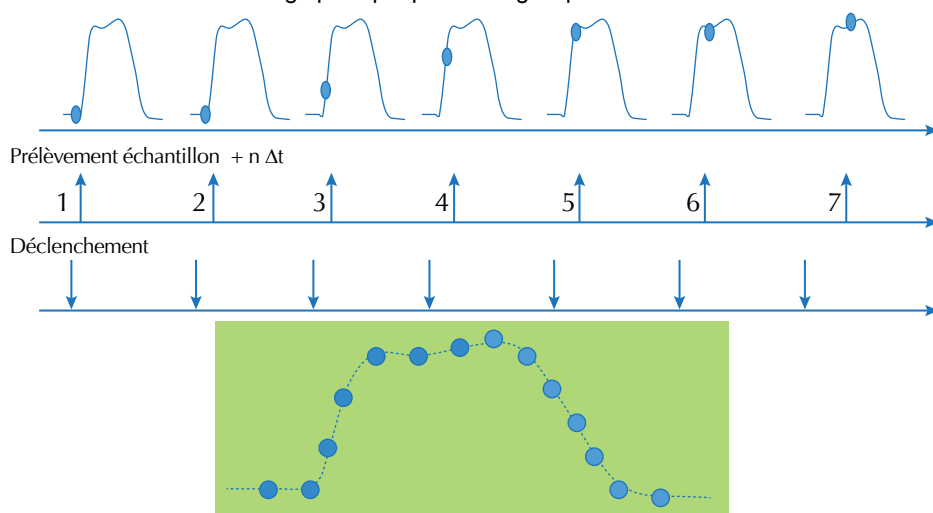
1 STRUCTURE D'ACQUISITION DE L'OSCILLOSCOPE À ÉCHANTILLONNAGE

La conversion analogique-numérique est commandée par une horloge asservie au déclenchement.



2 EXEMPLE D'UNE SÉQUENCE D'ÉCHANTILLONNAGE SÉQUENTIEL

Au fur et à mesure des déclenchements, un décalage séquentiel du point d'échantillonnage permet de construire une image point par point du signal pour constituer une trace.



acquérir des signaux à 20GHz. Avec cette technologie, il est alors possible de faire appel à un convertisseur A/N très précis, avec par exemple 16 bits de résolution verticale.

Attention cependant, il ne s'agit pas là d'une technologie d'acquisition universelle mais, on le comprend bien, d'une approche dédiée à l'analyse d'un signal répétitif ou d'un signal séparé synchrone permettant d'assurer le déclenchement lorsque la cyclicité d'un signal n'est pas suffisante. En corollaire, il est donc illusoire d'utiliser ce type d'appareil pour décoder le contenu d'une trame si ce dernier n'est pas répétitif, ou capturer un signal unique (monocoup).

Pour décrire cette approche, on utilise souvent le vocable d'acquisition de signal « en temps équivalent » par opposition à l'acquisition dite « en temps réel » des oscilloscopes numé-

riques. Même si ces derniers proposent aussi souvent un mode en temps équivalent, mais avec une salve d'acquisition asynchrone. Ces salves sont répétées pour chaque déclenchement, et l'intervalle de temps entre l'instant de déclenchement et le premier échantillon est mesuré pour chaque salve. La courbe finale est construite en classant toutes les traces, chacune d'entre elles étant décalée en fonction de cet intervalle. On parle alors d'échantillonnage aléatoire (random sampling) du fait que l'horloge d'échantillonnage est asynchrone de la fréquence du signal de déclenchement.

Performances élevées pour coût d'acquisition faible...

Une fois compris le principe de fonctionnement des oscilloscopes à échantillonnage, on peut définir leurs caractéristiques principales: la bande passante et le temps de montée minimal observable, à savoir 20GHz et 17 picosecondes pour les modèles 9300 de Pico Technology (voir photo ci-contre). Il ne s'agit pas là de record absolu, mais il faut savoir qu'un modèle d'oscilloscope numérique « classique » temps réel coûte entre 5 et 10 fois plus cher pour obtenir ce niveau de performance. D'autres caractéristiques intéressantes sont la résolution de l'intervalle d'échantillonnage en temps équivalent, qui peut atteindre 64 femtosecondes (ou 15THz) et la présence d'une double base de temps qui permet d'effectuer un zoom sur une portion de signal.

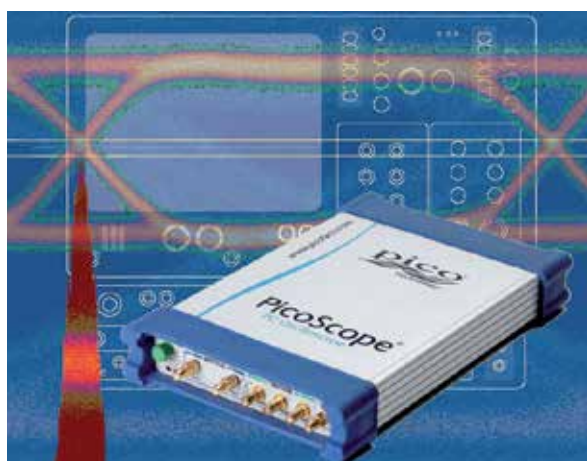
Les possibilités de déclenchement sont tout aussi cruciales lorsque l'on utilise un oscilloscope à échantillonnage. Si l'entrée de déclenchement directe ne fonctionne que jusqu'à 2,5GHz, une entrée dite « prescaler » permet d'atteindre 14 GHz. Une entrée supplémentaire permet en outre la reconstruction de l'horloge dans un signal numérique synchrone et ce jusqu'à 11,3GHz. Si le signal ne semble pas répétitif mais qu'il possède une cyclicité, par exemple au niveau d'une trame complète de données, le dispositif de déclenchement peut être programmé pour compter les événements de la trame et trouver une synchronisation stable. De telles performances permettent d'observer les formes des signaux des bus série dépassant le gigahertz.

A noter enfin que, dans le cas des modèles PicoScope 9300, un générateur permet d'émettre des signaux de test aux formats impulsion ou trame pseudoaléatoire en codage NRZ ou RZ. Au-delà, certains modèles sont équipés de têtes de génération de fronts raides (40 picosecondes de temps de montée) de type TDR/TDT (Time-Domain Reflectometry/Time-Domain Transmissometry) pour effectuer des mesures de réflectométrie, y compris en différentiel. Enfin certains modèles sont proposés avec des entrées optiques pour les applications de mesure sur fibre optique.

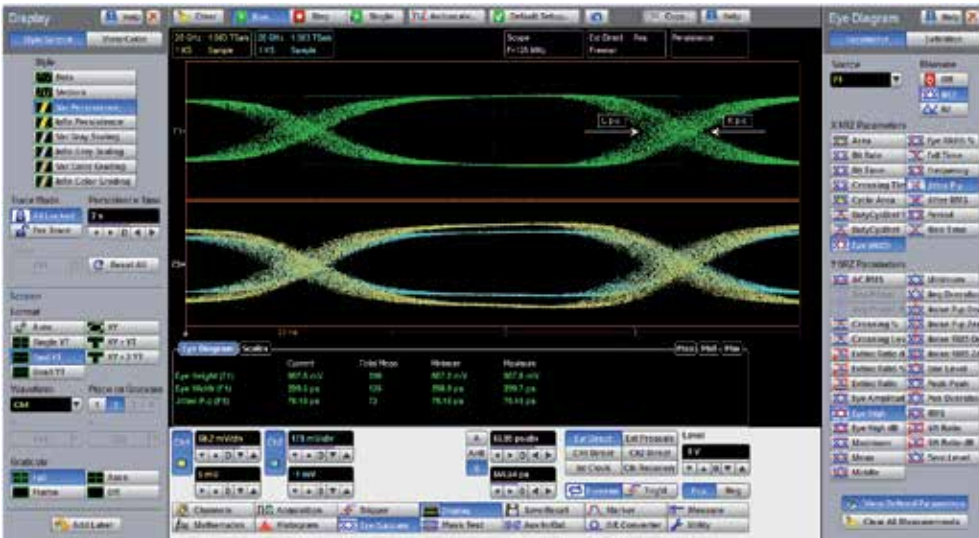
Des applications très diverses...

On l'a vu, les performances des oscilloscopes à échantillonnage permettent, pour un coût raisonnable, d'effectuer le test ou la caractérisation analogique des signaux numériques à très haute vitesse (au-delà du gigahertz). C'est-à-dire l'analyse des temps de montée/descente des signaux, leur fréquence, période, largeur, amplitude, etc. Le logiciel de face avant virtuelle qui fonctionne sur PC propose ainsi plus d'une centaine de mesures différentes.

Du fait de la répétitivité des signaux, les oscilloscopes à échantillonnage représentent en fausse couleur la fréquence d'apparition des points de la courbe, ce qu'autrefois on appelait « l'épaisseur de la trace » sur les oscilloscopes analogiques. Cette caractéristique autorise la réalisation de mesures statistiques, comme par exemple des histogrammes de répar-



• Les modèles 9300 de Pico Technology offrent une bande passante de 20GHz et un temps de montée minimal observable pour un signal de 17 picosecondes.

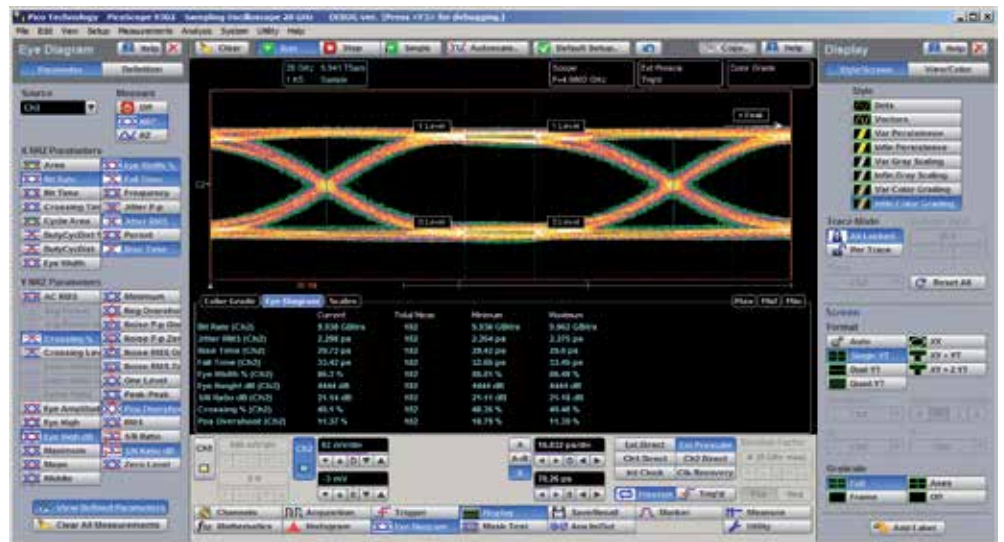
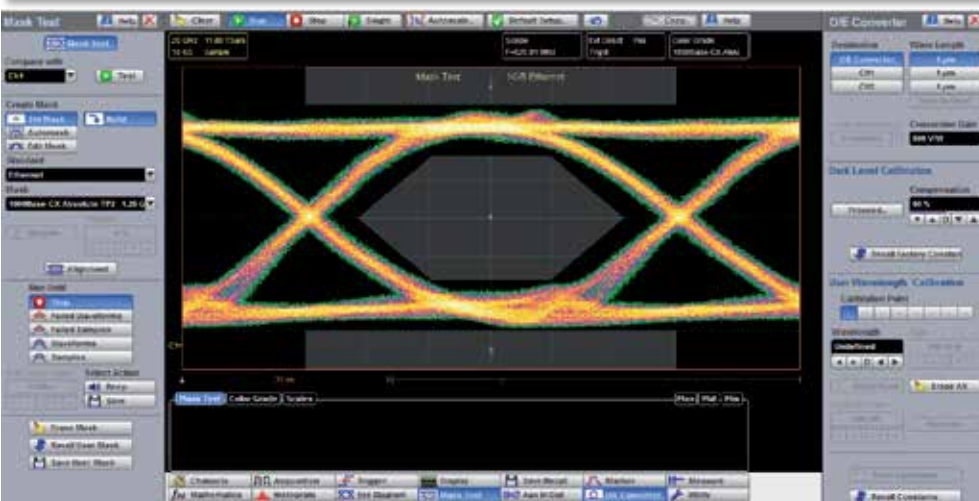


● A.- Exemple d'écran avec trace en fausse couleur avec jusqu'à 138 mesures.

tion des points sur une section verticale ou horizontale du signal (photo A).

Une autre série de mesures est possible avec ce que l'on appelle le diagramme de l'œil. Il s'agit d'une représentation de toutes les possibilités de transitions d'états logiques d'une ligne de transmission de données. Dans cette application, on ne s'intéresse pas au contenu individuel de chaque bit, mais on réalise une image de l'ensemble qui ressemble à un œil. Si le signal mesuré présente des parasites ou des transitions anormalement déphasées, l'œil sera traversé par ces transitions. Si des problèmes de bande passante et de suroscillations existent, l'œil sera déformé. Le test de conformité peut être effectué selon des masques de test (le logiciel des Pico 9000 possède plus de 150 masques) correspondant aux différents standards de communication numérique. Le test

● B.- On voit ici un test avec masque sur un signal gigabit Ethernet.



● C.- Les mesures sur signaux différentiels sont également supportées par l'oscilloscope à échantillonnage.

est considéré comme bon si aucun point du signal n'entre de façon significative dans les zones d'exclusion. Ces masques sont définis aussi bien en télécommunications (Sonet,

Ansi T1...) que dans les liaisons série locales rapides (SATA, Fibre Channel, PCI Express...) et permettent de qualifier la couche physique d'une liaison (photo B).

Dans le domaine des télécommunications numériques à haut débit, les oscilloscopes à échantillonnage permettent notamment la conception et la vérification des éléments et sous-ensembles de communication, la production et le test en conformité avec les standards UIT/Ansi. Les fonctions de mesure de réflectométrie permettent, quant à elles, de qualifier et/ou de vérifier les lignes de transmission, pistes de circuit imprimé, câbles... y compris via des mesures différentielles (photo C).

Dans le domaine du test de semi-conducteurs, les oscilloscopes à échantillonnage permettent en particulier d'effectuer la caractérisation de signaux micro-ondes et RF ou de composants numériques communiquant à haute vitesse (PCI Express, SATA, HDMI...).

Dans le domaine des systèmes embarqués, les entreprises qui développent et/ou produisent des systèmes utilisant les technologies SATA, HDMI, DDR3, PCI Express trouvent dans les oscilloscopes à échantillonnage un outil pour qualifier et vérifier le bon fonctionnement des interfaces, ou pour tester les circuits imprimés à l'aide de la réflectométrie.

Enfin, dans le domaine de la physique des hautes énergies, cette catégorie d'instrument trouve un usage immédiat dans la caractérisation des impulsions laser répétées.