

Sommaire

Introduction

- *Intégrité du signal*
- *Fonctions de base*

Réglages de l'oscilloscope

- *Commandes*
 - Vertical
 - Horizontal
 - Déclenchement
- *Etapas pour régler l'oscilloscope*

Sondes

- *Types de sonde*
- *Compensation des sondes passives*

Techniques de mesures

- *Mesures de tensions et de temps*
- *Mesures de temps de montée et de largeur d'impulsion*
- *Mesures de déphasage*

Introduction

Ces extraits sont tirés de l'ABC des oscilloscopes, disponible sur www.tektronix.com

Intégrité du signal

Ce que signifie l'intégrité du signal

La qualité essentielle de tout bon système d'analyse (l'oscilloscope et ses accessoires) est sa capacité à préserver l'**intégrité du signal**, c'est-à-dire à le reconstituer avec précision. L'oscilloscope fonctionne comme un appareil photo, en saisissant des données visuelles sous forme d'images qu'on peut ensuite examiner et interpréter. L'intégrité du signal dépend alors de trois questions essentielles :

- ▶ Chaque image saisie représente-t-elle exactement ce qui s'est produit au moment de la photographie ?
- ▶ Cette image est-elle nette ou floue ?
- ▶ Combien d'images instantanées précises est-il possible de prendre par seconde ?

La capacité d'un oscilloscope à respecter la meilleure intégrité du signal possible est déterminée par les performances des différents systèmes qui le composent lorsqu'ils fonctionnent ensemble. Les sondes peuvent aussi affecter l'intégrité du signal dans un système de mesure.

Jusqu'à ces dernières années, l'analyse précise du signal ne représentait pas un gros problème pour les concepteurs de systèmes numériques. Ils pouvaient compter sur leurs circuits pour se comporter comme les systèmes booléens qu'ils étaient. Les signaux bruités à état indéterminé n'apparaissaient que dans les systèmes haute vitesse, et c'était donc le problème des concepteurs de matériel RF. La fréquence de commutation des systèmes numériques était peu élevée et les signaux se stabilisaient de façon prévisible.

Les vitesses d'horloge des processeurs ont récemment beaucoup augmenté. Les applications informatiques comme l'infographie tridimensionnelle, la vidéo et les entrées-sorties de serveur nécessitent une très large bande passante. Une grande partie du matériel de télécommunications actuel est basée sur des circuits numériques et requiert donc une bande passante considérable. Il en va de même pour la télévision numérique haute définition. La génération actuelle d'appareils à microprocesseur traite les données à des vitesses atteignant 2, 3, voire 5 G éch./s (giga-échantillons par seconde), tandis que certaines mémoires utilisent des horloges à 400 MHz et des signaux de données caractérisés par des temps de montée de 200 ps.

Qui plus est, cette évolution concerne aussi maintenant les circuits intégrés couramment utilisés dans l'automobile, les magnétoscopes et les unités de commande de machine, pour ne citer que quelques applications. Un processeur tournant à 20 MHz peut très bien présenter des signaux caractérisés par des temps de montée similaires à ceux d'un processeur à 800 MHz. Les concepteurs ont franchi un seuil de performance qui fait de presque tous les appareils des systèmes haute vitesse.

Sans prendre de précaution particulière, des dysfonctionnements des circuits haute vitesse risquent d'apparaître dans des systèmes numériques par ailleurs traditionnels. Lorsqu'un circuit présente des défauts de fonctionnement intermittents ou réagit mal aux tensions et températures extrêmes, il y a de grandes chances qu'il s'agisse de problèmes d'intégrité du signal. Ces problèmes peuvent avoir des répercussions notamment sur la compatibilité électromagnétique, le temps de commercialisation et la fiabilité du produit.

Pourquoi l'intégrité du signal est-elle source de problèmes ?

Examinons quelques causes particulières de dégradation du signal dans les systèmes numériques actuels. Pourquoi ces problèmes de fiabilité sont-ils beaucoup plus fréquents aujourd'hui que dans le passé ?

La réponse est dans la vitesse de variation des signaux. Pour maintenir une intégrité satisfaisante du signal numérique au "bon vieux temps" des vitesses moins élevées, il suffisait de faire attention aux détails tels que la distribution des horloges, la conception du trajet du signal, les effets de charge, les effets de ligne de transmission, les terminaisons de bus, le découplage et la répartition de l'énergie. Ces règles s'appliquent toujours, mais...

Les temps de cycle de bus sont jusqu'à mille fois plus courts que ce qu'ils étaient il y a vingt ans ! Les transactions qui prenaient alors quelques microsecondes se mesurent aujourd'hui en nanosecondes. Pour arriver à ces caractéristiques, il a fallu augmenter également les vitesses de transition : elles sont jusqu'à cent fois plus rapides qu'il y a vingt ans.

Tout cela serait merveilleux si certaines réalités physiques n'avaient pas empêché la technologie des circuits imprimés de progresser au même rythme. Le temps de propagation des bus d'interconnexion des puces est resté à peu près inchangé d'une décennie à l'autre. Bien que la taille des composants se soit considérablement réduite, il reste nécessaire de prévoir sur la carte l'espace nécessaire pour les circuits intégrés, les connecteurs, les composants passifs et, bien entendu, les pistes de bus elles-mêmes. Cet espace impose une certaine distance entre les composants, et le temps nécessaire pour couvrir cette distance limite la vitesse.

Il ne faut pas oublier que la vitesse de transition (le temps de montée) d'un signal numérique est liée à des composantes fréquentielles beaucoup plus élevées que ce que sa seule fréquence de répétition peut indiquer. C'est pour cette raison que certains concepteurs recherchent délibérément des circuits intégrés à temps de montée relativement "long".

Le modèle du circuit à constantes localisées sert depuis toujours de base à la plupart des calculs effectués pour prévoir le comportement du signal dans un circuit. Mais lorsque les temps de montée sont plus de quatre à six fois plus courts que le temps de propagation du signal, ce modèle simple n'est plus applicable.

Les pistes de circuit imprimé d'à peine quinze centimètres de long deviennent des lignes de transmission lorsque les signaux qu'elles transportent présentent des temps de montée de moins de quatre à six nanosecondes, indépendamment du temps de cycle. En fait, on assiste à la création de nouveaux trajets de signal. Ces connexions immatérielles ne sont pas sur le schéma, mais offrent pourtant aux signaux un moyen d'interférer de façon imprévisible.

Dans le même temps, les trajets de signal prévus ne fonctionnent plus comme ils le devraient. Les plans de masse et d'alimentation de la carte, tout comme les pistes de transmission du signal mentionnées plus haut, deviennent inducteurs et se comportent comme des lignes de transmission ; le découplage de l'alimentation subit alors une perte d'efficacité considérable. Les interférences électromagnétiques augmentent sous l'effet de l'élévation des vitesses de transition, qui produit des longueurs d'onde encore plus courtes par rapport au temps de cycle du bus. Ceci augmente la diaphonie.

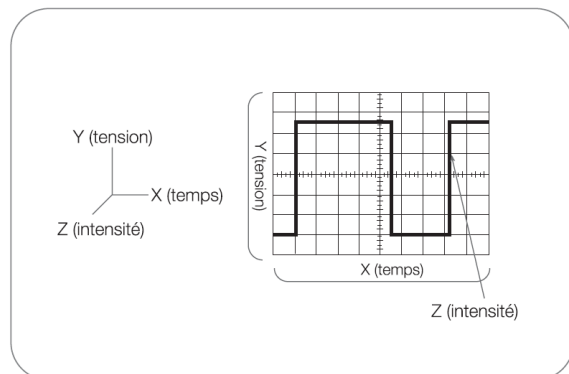
Par ailleurs, la production des vitesses de transition élevées nécessite en général des courants plus élevés qui tendent à causer des rebondissements de potentiel de masse, en particulier sur les bus de grande largeur assurant la commutation simultanée de nombreux signaux. Qui plus est, ce courant plus élevé augmente la quantité d'énergie magnétique rayonnée et, par voie de conséquence, affecte aussi la diaphonie.

Visualisation des caractéristiques analogiques des signaux numériques

Tous les signaux ont un point commun. Ce sont des phénomènes **analogiques** traditionnels. Pour résoudre les problèmes d'intégrité du signal, les concepteurs de systèmes numériques doivent s'aventurer dans le domaine analogique. Et il leur faut pour cela des outils capables de leur montrer les interactions entre les signaux numériques et analogiques.

Les erreurs des systèmes numériques résultent souvent de problèmes d'intégrité du signal analogique. Pour dépister la cause d'un défaut numérique, il faut souvent recourir à un oscilloscope, qui affiche les détails du signal, les fronts et le bruit, détecte les transitoires, et aide l'utilisateur à mesurer avec précision les valeurs temporelles telles que les temps d'établissement et de maintien.

La compréhension de chacun des sous-systèmes composant l'oscilloscope et de la façon de les utiliser contribuera à une plus grande efficacité dans la résolution des problèmes de mesure spécifiques.



► **Figure 2.** Composantes X, Y et Z d'un signal affiché.

L'oscilloscope

Cette section présente l'**oscilloscope** et son fonctionnement.

L'oscilloscope est essentiellement un instrument destiné à afficher l'évolution d'un signal électrique. Dans la plupart des applications, cette représentation graphique indique les variations du signal en fonction du temps : l'axe vertical (Y) représente la **tension** et l'axe horizontal (X) représente le **temps**. L'**intensité** ou la luminosité d'affichage est représentée par l'axe Z (voir figure 2).

Cette représentation graphique simple apporte de nombreux renseignements sur le signal, notamment :

- Les valeurs de temps et de tension du signal ;
- La fréquence d'un signal périodique ;
- Les "éléments mobiles" du circuit représenté par le signal ;
- La fréquence d'apparition d'une portion particulière du signal par rapport aux autres ;
- La distorsion éventuelle du signal par un composant défectueux ;
- La part du signal qui correspond à un courant continu (C.C.) ou à un courant alternatif (C.A.) ;
- La valeur de bruit et la variation éventuelle de ce bruit au cours du temps.

Réglages de l'oscilloscope



► **Figure 22.** Commandes de la face avant d'un oscilloscope.

Systèmes et commandes d'un oscilloscope

L'oscilloscope se compose essentiellement de quatre systèmes distincts : le système vertical, le système horizontal, le système de déclenchement et le système d'affichage. Une bonne compréhension de chacun de ces systèmes permet d'utiliser l'oscilloscope efficacement pour résoudre des problèmes de mesure particuliers. Il faut garder à l'esprit que chaque système permet à l'oscilloscope de reconstituer un signal avec précision.

Cette section présente sommairement les principaux systèmes et commandes des oscilloscopes analogiques et numériques. Il existe quelques différences entre les commandes des oscilloscopes analogiques et numériques. Par ailleurs, chaque modèle d'oscilloscope peut avoir des commandes supplémentaires non traitées dans cet ouvrage.

Les commandes de la face avant d'un oscilloscope se répartissent en trois blocs principaux marqués **Vertical**, **Horizontal** et **Déclenchement**.

Chaque oscilloscope pourra comporter d'autres blocs de commandes, suivant le modèle et le type (analogique ou numérique), comme le montre la figure 22. On pourra essayer de situer les différentes commandes de la face avant sur la figure 22 et sur un oscilloscope tout en parcourant cette section.

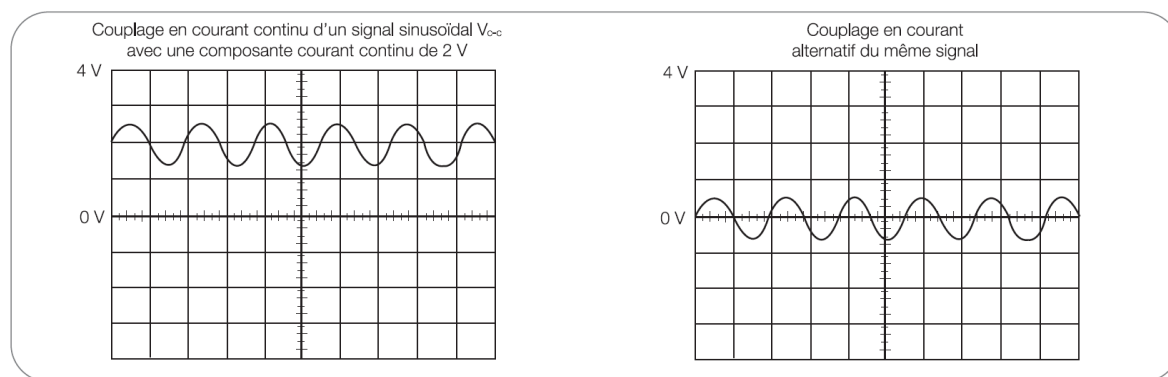
Pour utiliser un oscilloscope, il est nécessaire de régler trois paramètres de base de façon à l'adapter au signal entrant :

- **L'atténuation ou l'amplification** du signal (utiliser la commande volts/div pour régler l'amplitude du signal sur la plage de mesure souhaitée).
- **La base de temps** (utiliser la commande sec/div pour régler la durée représentée par chaque division horizontale de l'écran).
- **Le déclenchement** de l'oscilloscope (utiliser le **niveau de déclenchement** pour stabiliser un signal répétitif ou pour déclencher l'oscilloscope sur un seul événement).

Commandes du système vertical

Les réglages verticaux servent à positionner le signal et à le mettre à l'échelle dans le sens vertical. Ils servent également à choisir le couplage d'entrée et d'autres paramètres de conditionnement des signaux présentés plus loin dans cette section. Les réglages verticaux courants sont les suivants :

- **Terminaison**
 - 1M Ω
 - 50 Ω
- **Couplage**
 - C.C.
 - C.A.
 - Masse
- **Limite de bande passante**
 - 20 MHz
 - 250 MHz
 - Pleine
- **Position**
- **Décalage**
- **Inversion** - activée/désactivée
- **Echelle**
 - 1-2-5
 - Variable
- **Zoom**



► **Figure 23.** Couplage d'entrée en courants continu et alternatif.

Position et volts par division

La commande de position verticale permet de déplacer le signal vers le haut et vers le bas pour le placer exactement à l'endroit voulu sur l'écran.

Le réglage des volts par division (généralement marqué volts/div) fait varier la taille du signal sur l'écran. Un bon oscilloscope à usage général affiche avec précision des niveaux de signal compris entre quatre millivolts et 40 volts environ.

Le réglage des volts par divisions est un facteur d'échelle. Lorsque cette valeur est réglée sur cinq volts et que le réticule comporte huit divisions verticales, chaque division représente cinq volts et la hauteur totale de l'écran représente 40 volts ; lorsque ce facteur est réglé sur 0,5 volt/div, la hauteur totale de l'écran représente quatre volts ; et ainsi de suite. La tension maximale pouvant être représentée sur l'écran est égale au produit du nombre de divisions verticales par le nombre de volts par division sélectionné. Il faut noter que la sonde utilisée, 1X ou 10X, influence également le facteur d'échelle. Si l'oscilloscope ne le fait pas automatiquement, il faut diviser l'échelle des volts/div par le facteur d'atténuation de la sonde.

L'échelle des volts par division comporte souvent une commande de gain variable ou de réglage précis du gain pour mettre le signal affiché à l'échelle en correspondance avec un nombre entier de divisions. Ces commandes sont utiles pour la mesure des temps de montée.

Position et secondes par division

La commande de position horizontale permet de déplacer le signal vers la gauche et vers la droite pour le placer exactement à l'endroit voulu sur l'écran.

Le réglage des secondes par division (habituellement marqué "sec/div") permet de sélectionner la vitesse à laquelle le signal est dessiné sur l'écran (également appelée base de temps ou vitesse de balayage). Ce réglage est un facteur d'échelle. Lorsqu'on lui donne une valeur de 1 ms, chaque division horizontale représente 1 ms et la largeur totale de l'écran (dix divisions) représente 10 ms. La modification du réglage des secondes par divisions permet d'observer des intervalles de temps plus longs ou plus courts du signal d'entrée.

Comme avec l'échelle verticale volts/div, il est possible de faire varier la résolution de l'échelle de temps horizontale sec/div entre les réglages discrets.

Couplage d'entrée

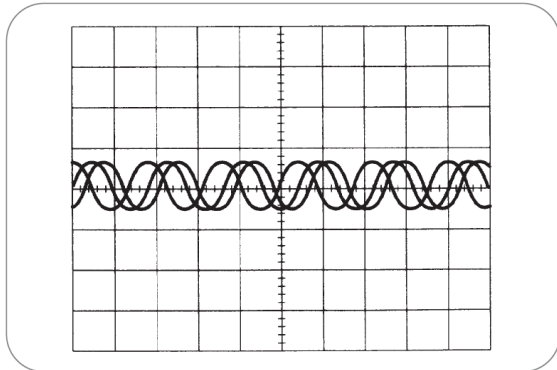
Le **couplage** est la méthode utilisée pour transférer un signal électrique d'un circuit à un autre. Dans le cas qui nous intéresse, le couplage d'entrée est la connexion entre le circuit testé et l'oscilloscope. Le couplage peut s'effectuer en courant continu (C.C.), en courant alternatif (C.A.) ou à la masse. Le couplage en courant continu montre l'intégralité d'un signal d'entrée. Le couplage en courant alternatif bloque la composante continue d'un signal de façon à le centrer sur la ligne de zéro volt. La figure 23 illustre cette différence. Le couplage en courant alternatif s'avère utile lorsque l'amplitude du signal complet (courant alternatif + courant continu) est trop élevée pour le réglage des volts par division.

Le couplage à la masse déconnecte le signal d'entrée du système vertical, ce qui permet de situer la ligne de zéro volt sur l'écran. Lorsque l'oscilloscope est en mode de déclenchement automatique avec couplage d'entrée à la masse, une ligne horizontale représentant une tension de zéro volt s'affiche sur l'écran. Le passage en alternance du couplage en courant continu au couplage à la masse constitue un moyen pratique de mesurer les niveaux de tension du signal par rapport à la masse.

Sélection de la base de temps

Chaque oscilloscope possède une **base de temps** principale. Certains oscilloscopes possèdent également une **base de temps retardée**, dont le balayage peut démarrer (ou être déclenché) par rapport à un moment prédéterminé du balayage de la base de temps principale. L'utilisation d'une base de temps retardée permet soit de visualiser les événements éloignés du point de déclenchement avec une meilleure définition temporelle soit de voir ceux que la base de temps principale ne permet pas de mettre en évidence.

L'emploi d'une base de temps retardée nécessite le réglage d'un retard, ainsi que l'usage éventuel de modes de déclenchement retardé et d'autres réglages non présentés dans ce livret d'initiation. On pourra consulter le manuel fourni avec l'oscilloscope pour obtenir plus de renseignements sur l'emploi de ces fonctions.



► **Figure 35.** Affichage sans déclenchement.

Système et commandes de déclenchement

La fonction de **déclenchement** d'un oscilloscope synchronise le balayage horizontal par rapport au point du signal qui convient, ce qui est essentiel pour caractériser clairement ce dernier. Les commandes de déclenchement permettent de stabiliser les signaux répétitifs et de saisir les signaux monocoup.

Le déclenchement donne aux signaux répétitifs une apparence statique sur l'écran de l'oscilloscope en affichant sans cesse la même portion du signal d'entrée. On peut imaginer le désordre sur l'écran si chaque balayage commençait à un point différent du signal (voir figure 35).

Le déclenchement sur front, disponible sur les oscilloscopes analogiques et numériques, est le plus simple et le plus courant des types de déclenchement. En dehors du déclenchement sur seuil fourni par les oscilloscopes analogiques et numériques, la plupart des oscilloscopes numériques offrent de nombreux paramètres de déclenchement spécialisés non disponibles sur les instruments analogiques. Ces déclenchements correspondent à des valeurs spécifiques de paramètres sur le signal entrant, qui facilitent la détection d'événement particuliers, par exemple, d'une impulsion plus étroite qu'elle ne devrait l'être. Une telle condition serait impossible à détecter si l'on disposait seulement d'un déclenchement sur seuil de tension.

Les commandes de déclenchement évoluées permettent d'isoler des événements particuliers pour optimiser la fréquence d'échantillonnage et la longueur d'enregistrement de l'oscilloscope. Les fonctions de déclenchement évoluées de certains oscilloscopes permettent de définir les conditions de déclenchement de façon hautement sélective. Le déclenchement peut s'effectuer sur des impulsions définies par leur amplitude (telles que les petites impulsions), par leurs caractéristiques temporelles (largeur d'impulsion, parasite, vitesse de montée, temporisation et temps d'établissement et de maintien) et par un état ou mot logique (déclenchement logique).

Les commandes de déclenchement optionnelles de certains oscilloscopes sont spécialement conçues pour l'examen des signaux de communication. L'interface utilisateur intuitive de certains oscilloscopes permet de configurer les paramètres de déclenchement avec une grande souplesse et en peu de temps de façon à maximiser la productivité.

Pour les applications nécessitant un déclenchement sur plus de quatre voies, l'analyseur logique est l'outil idéal. On pourra consulter le livret d'initiation Tektronix intitulé *XYZ's of Logic Analyzers (ABC des analyseurs logiques)* pour obtenir plus de renseignements sur ces précieux instruments de test et de mesure.

Niveau et pente de déclenchement

Les commandes de **niveau** et de **pente de déclenchement** fournissent la définition de base du point de déclenchement et déterminent le mode d'affichage du signal (voir figure 36).

Le circuit de déclenchement se comporte comme un comparateur. Pente et niveau correspondent au sens du comparateur et à la référence appliquée sur sa deuxième entrée.

- La commande de pente détermine si le point de déclenchement se situe sur le front montant ou descendant du signal. Un front montant a une pente positive et un front descendant une pente négative
- La commande de niveau détermine la position du point de déclenchement sur le front

Sources de déclenchement

Le balayage peut être déclenché par bien d'autres sources que le signal affiché :

- Toute voie d'entrée
- Une source externe autre que le signal appliqué à une voie d'entrée
- Le signal de la source d'alimentation
- Un signal défini automatiquement par l'oscilloscope en fonction d'une ou plusieurs voies d'entrée

Certains oscilloscopes possèdent une sortie permettant de transmettre le signal de déclenchement à un autre instrument.

Comme l'oscilloscope peut utiliser une autre source de déclenchement, que celle-ci soit affichée ou non, il faut veiller par exemple à ne pas déclencher l'acquisition sur la voie 1 par erreur alors que la voie 2 est affichée.

Modes de déclenchement

Le **mode de déclenchement** détermine si l'oscilloscope acquiert ses données en fonction d'une condition portant sur les paramètres d'un signal. On utilise communément les modes de déclenchement **normal** et **automatique**.

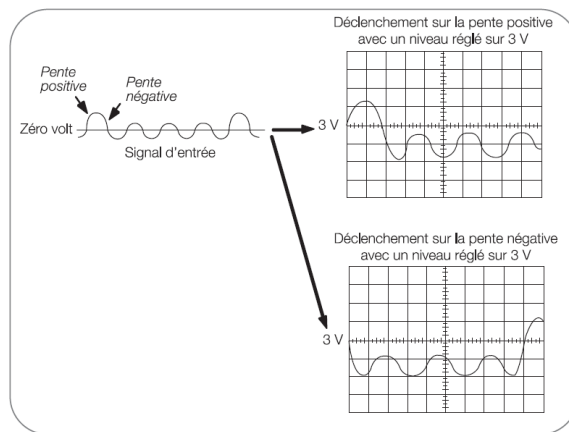
En mode normal, l'oscilloscope amorce le balayage seulement si le signal d'entrée atteint le point de déclenchement établi ; sinon l'écran n'affiche pas de signal (oscilloscope analogique) ou reste figé sur le dernier signal acquis (oscilloscope numérique). Le mode normal peut être déroutant, car le signal peut être invisible au premier abord lorsque la commande de niveau n'est pas réglée convenablement.

Réglages

Après avoir branché l'oscilloscope, il faut régler les commandes de la face avant. Comme indiqué plus haut, la face avant comprend habituellement trois blocs de commandes principaux marqués Vertical, Horizontal et Déclenchement. Elle peut également comporter d'autres blocs suivant le modèle et le type d'oscilloscope (analogique ou numérique).

Il faut ensuite repérer les connecteurs d'entrée de l'oscilloscope pour y raccorder les sondes. La plupart des oscilloscopes comptent au moins deux voies d'entrée pouvant chacune afficher un signal sur l'écran. Les instruments multivoies sont utiles pour comparer les signaux.

Certains oscilloscopes possèdent des boutons de réglage automatique (AUTOSSET) ou de réglage par défaut (DEFAULT) permettant d'adapter les paramètres au signal en une seule étape. Lorsque l'oscilloscope ne possède pas cette fonctionnalité, il est utile de régler les commandes sur les positions de base avant d'effectuer les mesures.



► **Figure 36.** Déclenchement sur pentes positive et négative.

En mode automatique, l'oscilloscope balaye le signal même en l'absence de déclenchement. Lorsqu'aucun signal n'est reçu, une horloge interne assure le déclenchement du balayage, de façon à ce que l'affichage ne disparaisse pas quand le signal ne cause pas de déclenchement.

Le mode normal permet de visualiser le signal à examiner de façon continue même lorsque les déclenchements se produisent peu fréquemment. Le mode automatique nécessite moins de réglages.

Certains oscilloscopes possèdent également des modes spéciaux pour les balayages "coup unique", le déclenchement sur signaux vidéo ou le réglage automatique du niveau de déclenchement.

Couplage de déclenchement

De même qu'il est possible de choisir entre le couplage en courant alternatif et le couplage en courant continu pour le système vertical, il est possible de sélectionner le type de couplage utilisé pour le signal de déclenchement.

En plus du couplage en courant alternatif ou continu, l'oscilloscope comporte un couplage de déclenchement en réjection haute fréquence, réjection basse fréquence et réjection de bruit. Ces réglages spéciaux sont utiles pour éliminer le bruit du signal de déclenchement afin de prévenir un déclenchement intempestif.

Pour régler l'oscilloscope sur les positions de base, il faut suivre les étapes suivantes :

- Sélectionner l'affichage de la voie 1 ;
- Mettre les commandes de position et d'échelle verticales (volts/division) en position médiane ;
- Désactiver la commande de variation des volts par division ;
- Désactiver tous les réglages d'agrandissement ;
- Mettre le couplage d'entrée de la voie 1 sur C.C. ;
- Mettre l'instrument en mode de déclenchement automatique ;
- Régler la source de déclenchement sur la voie 1 ;
- Désactiver ou baisser à fond l'inhibition du déclenchement ;
- Régler la commande d'intensité (le cas échéant) sur un niveau de visualisation nominal ;
- Régler la commande de focalisation (le cas échéant) de façon à obtenir un affichage net ;
- Mettre les commandes de position et d'échelle horizontales (temps/division) en position médiane.

Sondes

Sondes

Le système de mesure doit comprendre une **sonde** qui fonctionne conjointement avec l'oscilloscope, et la précision des mesures dépend des caractéristiques de celle-ci. Une sonde bien adaptée à l'appareil testé et à l'oscilloscope permet non seulement de fournir à celui-ci un signal intact, mais également de l'amplifier et de le préserver pour obtenir un maximum d'intégrité du signal et de précision dans les mesures.

Les sondes deviennent des composants à part entière du circuit, en y introduisant une charge résistive, capacitive et inductive qui altère inévitablement la mesure. Pour que le système fournisse les résultats les plus précis possibles, la charge introduite par la sonde sélectionnée doit être minimale. Un appariement idéal entre la sonde et l'oscilloscope réduit cette charge au minimum et permet ainsi de profiter pleinement de la puissance et des fonctions de l'oscilloscope.



► **Figure 41.** Une sonde passive courante avec ses accessoires.

Sondes passives

Les **sondes passives** offrent une bonne souplesse d'emploi et des capacités de mesure étendues à un prix abordable pour mesurer les niveaux de tension des signaux. L'appariement d'une sonde tension passive et d'une sonde de courant donne une puissance de mesure optimale.

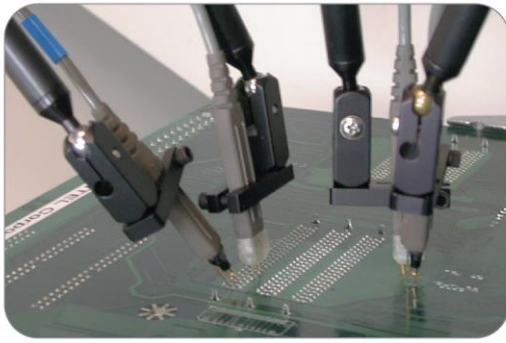
La plupart des sondes passives présentent un certain facteur d'atténuation (10X, 100X, etc.). Par convention, les facteurs d'atténuation sont indiqués en plaçant le X après le facteur (10X), tandis que les facteurs d'amplification sont indiqués en plaçant le X avant le facteur (X10).

La sonde atténuateur 10X (facteur d'atténuation de 10) réduit la charge du circuit par comparaison avec une sonde 1X et constitue une excellente sonde passive à usage général. La charge du circuit étant plus prononcée pour les sources de signaux de fréquence ou d'impédance plus élevées, il faut veiller à analyser ces problèmes d'interactions entre signal et sonde avant de sélectionner une sonde. La sonde atténuateur 10X améliore la précision des mesures, mais elle réduit l'amplitude du signal à l'entrée de l'oscilloscope par un facteur de 10.

A cause de cette atténuation du signal, la sonde 10X rend difficile l'observation des signaux dont l'amplitude crête-à-crête est inférieure à dix millivolts. La sonde 1X se distingue de la sonde atténuatrice 10X par l'absence de circuit d'atténuation. Sans ce dispositif, la sonde introduit plus d'interférences dans le circuit testé. Il faut donc utiliser la sonde atténuatrice 10X comme sonde à usage général, mais disposer d'une sonde 1X pour mesurer les signaux à basse vitesse et à basse amplitude. Certaines sondes possèdent une fonctionnalité particulièrement pratique permettant d'alterner entre les facteurs d'atténuation 1X et 10X en bout de sonde. Lorsqu'on utilise ce type de sonde, il faut veiller à utiliser le bon réglage avant d'effectuer les mesures.

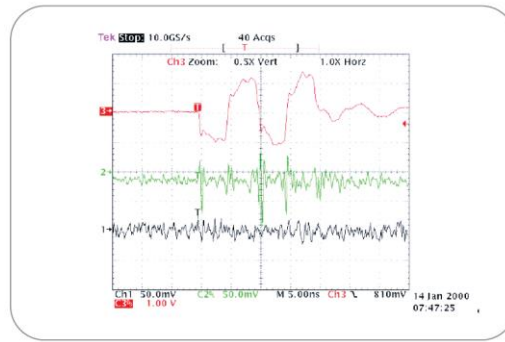
Beaucoup d'oscilloscopes détectent le facteur d'atténuation de la sonde utilisée et ajustent l'affichage en conséquence. Cependant, sur certains oscilloscopes, il faut indiquer le type de sonde utilisé ou effectuer la lecture avec le réglage correspondant de la commande volts/div (1X ou 10X).

La sonde atténuateurice 10X fonctionne en maintenant un équilibre entre ses propriétés électriques et celles de l'oscilloscope. Avant d'utiliser la sonde atténuateurice 10X, il faut ajuster cet équilibre en fonction du modèle d'oscilloscope utilisé. Ce réglage, appelé "compensation de la sonde" est présenté de façon plus détaillée à la section **Utilisation de l'oscilloscope** de ce livret d'initiation.



► **Figure 42.** Les sondes haute performance sont essentielles pour mesurer les vitesses d'horloge et de front élevées qui caractérisent les bus d'ordinateur et les lignes de transmission de données d'aujourd'hui.

Les sondes passives constituent une excellente solution à usage général. Cependant, elles ne peuvent pas mesurer les signaux avec précision lorsque les temps de montée sont extrêmement brefs et introduisent une charge excessive dans les circuits sensibles. L'augmentation constante des fréquences d'horloge et des vitesses de transition nécessite l'emploi de sondes plus rapides présentant moins d'effets de charge. Les sondes **actives** et **différentielles** haute vitesse constituent des solutions idéales pour la mesure des signaux haute vitesse ou différentiels.

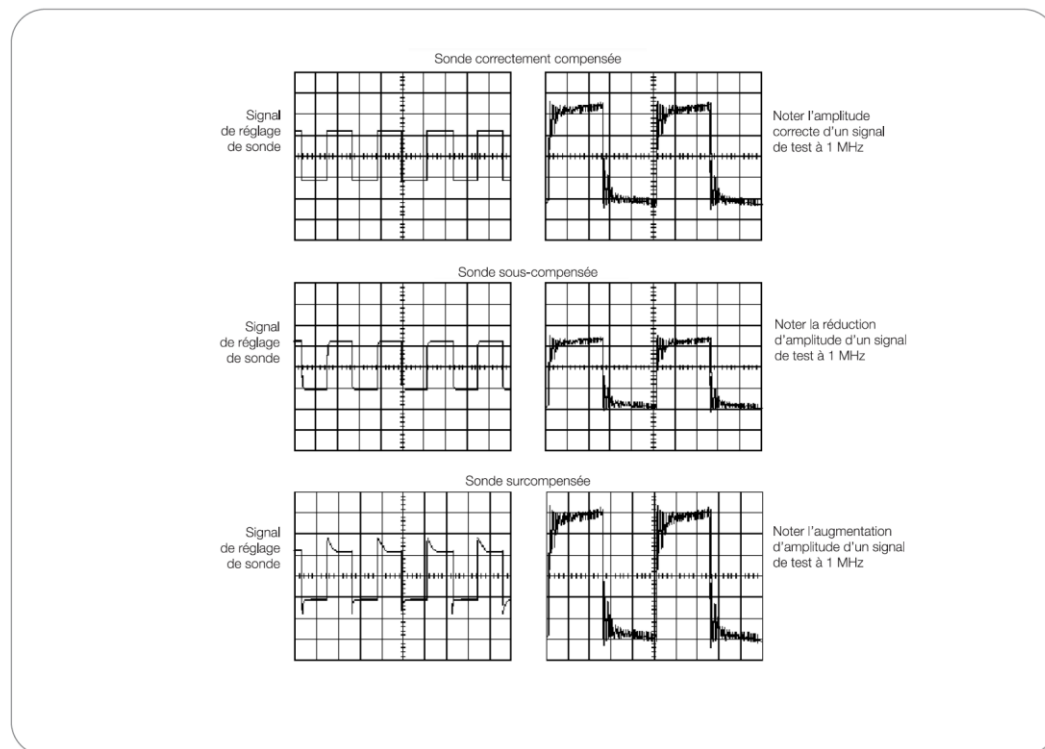


► **Figure 43.** Les sondes différentielles peuvent séparer le bruit de mode commun du contenu du signal examiné dans les applications haute vitesse et basse tension d'aujourd'hui, ce qui est particulièrement important alors que le niveau des signaux numériques continue de descendre en dessous des seuils de bruit habituels des circuits intégrés.

Sondes actives et différentielles

Avec l'augmentation de la vitesse des signaux et la baisse de la tension des circuits logiques, il devient de plus en plus difficile d'obtenir des mesures précises. La fidélité des signaux et la charge des circuits sont devenues des problèmes cruciaux. Une solution de mesure complète adaptée à ces nouvelles contraintes doit comporter des sondes dont la vitesse et la fidélité sont à la hauteur des performances de l'oscilloscope (voir figure 42).

Les sondes **actives** et **différentielles** utilisent des circuits intégrés conçus spécialement pour préserver le signal pendant l'accès et la transmission à l'oscilloscope de façon à assurer son intégrité. Pour la mesure des signaux caractérisés par des temps de montée très courts, une sonde active ou différentielle haute vitesse donnera des résultats plus précis.



► **Figure 65.** Effets d'une mauvaise compensation de la sonde.

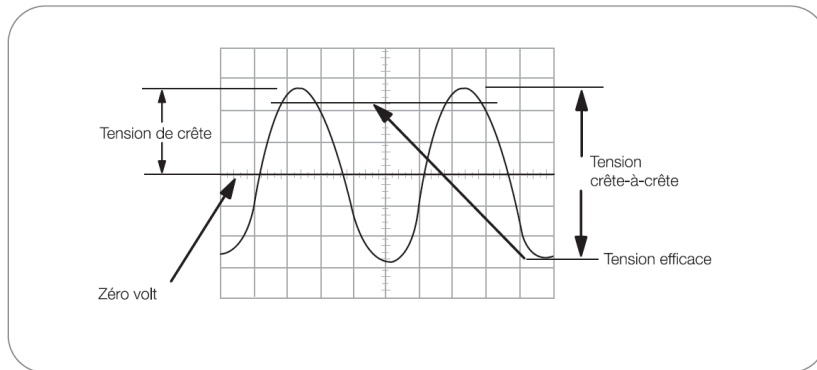
Compensation de la sonde

Les sondes de tension à atténuation passive doivent être compensées en fonction de l'oscilloscope. Avant d'utiliser une sonde passive, il est nécessaire de la compenser, c'est-à-dire d'harmoniser ses propriétés électriques avec celles de l'oscilloscope utilisé. Il faut prendre l'habitude de compenser la sonde à chaque fois que l'on se prépare à utiliser l'oscilloscope. Une sonde mal réglée peut fausser les mesures. La figure 65 montre les effets d'une sonde mal compensée sur l'acquisition d'un signal de test à 1 MHz.

La face avant de la plupart des oscilloscopes comporte un connecteur de sortie fournissant un signal de référence carré pour compenser la sonde. La compensation de la sonde s'effectue selon les étapes suivantes :

- Raccorder la sonde à une voie verticale ;
- Connecter le bout de la sonde à la sortie de compensation fournissant le signal de référence carré ;
- Raccorder l'attache de terre de la sonde à la terre ;
- Visualiser le signal de référence carré ;
- Régler la sonde de façon à ce que les coins du signal carré soient à angles droits.

Techniques de mesure



► **Figure 66.** Tension de crête (V_c) et tension crête-à-crête (V_{c-c}).

La sonde à compenser doit toujours être équipée de tous les embouts et accessoires qui seront utilisés et être connectée à la voie verticale sur laquelle elle sera utilisée. Ceci permet d'assurer que l'ensemble de mesures aura les mêmes caractéristiques électriques au moment où les mesures seront effectuées.

Techniques de mesure

Cette section présente les techniques de mesure de base. Les deux plus élémentaires sont les mesures de tension et de temps. Presque toutes les autres mesures sont basées sur ces deux techniques fondamentales.

Les techniques présentées ci-après servent à effectuer des mesures visuelles sur l'écran de l'oscilloscope. Il s'agit d'une pratique courante avec les instruments analogiques, qui peut aussi s'avérer utile pour interpréter "d'un coup d'oeil" les écrans des oscilloscopes numériques.

Il est à noter que la plupart des oscilloscopes numériques comportent des outils de mesure automatique. Une bonne maîtrise des techniques de mesure manuelles présentées ici aidera l'utilisateur à comprendre et à vérifier les mesures automatiques des oscilloscopes numériques. Les mesures automatiques sont présentées plus loin dans cette section.

Mesures de tension

La **tension** est la différence de potentiel électrique, exprimée en volts, entre deux points d'un circuit. En général, un de ces points correspond à la masse (dont le potentiel est de zéro volt), mais ce n'est pas toujours le cas. Il peut s'avérer utile de mesurer la tension entre les points maximum et minimum d'un signal, appelée tension crête-à-crête.

L'oscilloscope est essentiellement un instrument de mesure de tension. Une fois que la tension a été mesurée, les autres grandeurs peuvent être obtenues par le calcul. Par exemple, la loi d'Ohm stipule que la tension entre deux points d'un circuit est égale au produit de l'intensité par la résistance. Lorsqu'on connaît la valeur de deux de ces grandeurs, on peut donc calculer la troisième par la formule suivante :

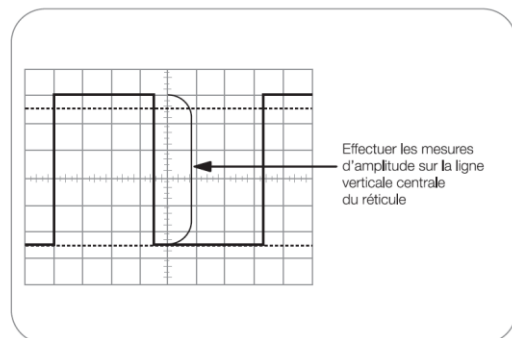
► **Tension = Intensité x Résistance**

$$\text{Intensité} = \frac{\text{Tension}}{\text{Résistance}}$$

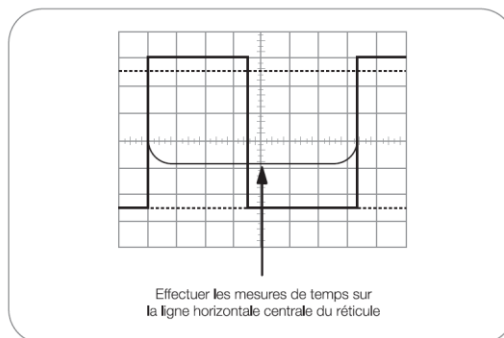
$$\text{Résistance} = \frac{\text{Tension}}{\text{Intensité}}$$

$$\text{Calcul de la puissance : Puissance} = \text{Tension} \times \text{Intensité}$$

Il est également commode de connaître la formule de calcul de la puissance : la puissance d'un signal en courant continu est égale au produit de la tension par l'intensité. Les calculs sont plus complexes pour les signaux en courant alternatif, mais ici l'important est de noter que la mesure de la tension est la première étape dans le calcul des autres grandeurs. La figure 70 montre la mesure d'une tension de crête (V_c) et d'une tension crête-à-crête (V_{c-c}).



► **Figure 67.** Mesure de la tension sur la ligne verticale centrale du réticule.



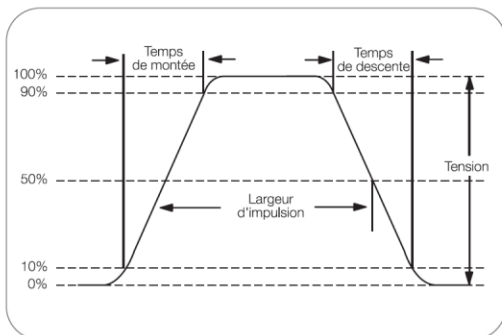
► **Figure 68.** Mesure du temps sur la ligne horizontale centrale du réticule.

La plus simple des méthodes de mesure de tension consiste à compter le nombre de divisions correspondant à la hauteur du signal sur l'échelle verticale de l'oscilloscope. Les meilleures mesures de tension s'obtiennent en réglant l'échelle verticale du signal de façon à ce qu'il couvre presque toute la hauteur de l'écran (voir figure 67). L'utilisation d'une plus grande surface d'écran permet d'effectuer des mesures visuelles plus précises.

Beaucoup d'oscilloscopes affichent sur l'écran des **curseurs** permettant de mesurer les signaux automatiquement, sans avoir à compter les graduations du réticule. Ces curseurs sont simplement des lignes que l'utilisateur positionne sur l'écran. Deux curseurs horizontaux peuvent être déplacés vers le haut et vers le bas pour encadrer l'amplitude d'un signal afin de mesurer sa tension, tandis que deux curseurs verticaux peuvent être déplacés vers la droite et vers la gauche pour les mesures de temps. Les valeurs de tension et de temps correspondant à leurs positions s'affichent sur l'écran.

Mesures de temps et de fréquence

L'échelle horizontale de l'oscilloscope permet d'effectuer des mesures temporelles, notamment de période et de largeur d'impulsion. La fréquence est l'inverse de la période. Il suffit donc de mesurer la période et de diviser le nombre un par la valeur obtenue pour obtenir celle de la fréquence. Comme les mesures de tension, les mesures de temps sont plus précises lorsqu'on règle l'affichage de la portion du signal à mesurer de façon à couvrir une grande partie de l'écran (voir figure 68).



► **Figure 69.** Points de mesure du temps de montée et de la largeur d'impulsion.

Mesures de déphasage

Le déphasage – c'est-à-dire le décalage temporel entre deux signaux périodiques et souvent identiques – peut se mesurer en utilisant le mode XY. Cette technique de mesure consiste à faire entrer un signal dans le système vertical comme de coutume, puis d'en faire entrer un autre dans le système horizontal. Ce mode est appelé XY parce que les axes X et Y représentent tous deux des tensions. Le signal résultant de ce dispositif est appelé **courbe de Lissajous** (du nom du physicien français Jules Antoine Lissajous). La forme de cette courbe permet d'observer la différence de phase entre les deux signaux, ainsi que leur rapport de fréquence. La figure 70 présente des courbes de Lissajous pour différents déphasages et rapports de fréquence.

La technique de mesure XY provient des oscilloscopes analogiques. Les oscilloscopes à mémoire numérique peuvent avoir du mal à créer des écrans XY en temps réel. Certains oscilloscopes à mémoire numérique créent une image XY en accumulant des points de données déclenchés au cours du temps, puis en affichant deux voies sous forme d'écran XY.

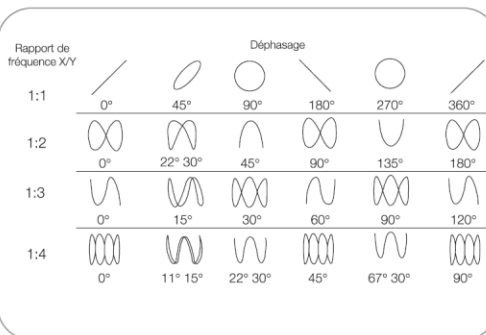
Mesures de temps de montée et de largeur d'impulsion

Dans beaucoup d'applications, les détails de la forme d'une impulsion sont importants. Les impulsions peuvent être déformées et causer le mauvais fonctionnement d'un circuit numérique, et les caractéristiques temporelles des impulsions d'un train d'impulsions jouent souvent un rôle important.

Les mesures d'impulsions essentielles sont la **largeur d'impulsion** et le **temps de montée de l'impulsion**. Le **temps de montée** est le temps pris par une impulsion pour passer d'une tension basse à une tension haute. Par convention, le temps de montée se mesure entre les points situés à 10 et 90 % de l'amplitude de l'impulsion. Ceci élimine les irrégularités aux extrémités des transitions de l'impulsion. La largeur d'impulsion est le temps pris par l'impulsion pour effectuer sa montée et redescendre à son niveau initial. Par convention, elle se mesure à 50 % de la tension maximum de l'impulsion. La figure 69 (page suivante) présente ces points de mesure.

Les mesures d'impulsion nécessitent souvent un réglage fin du déclenchement. Pour devenir expert dans l'art de saisir des impulsions, il faut apprendre à utiliser l'inhibition du déclenchement et à régler l'oscilloscope numérique pour saisir des données de prédéclenchement, comme indiqué dans la section **Systèmes et commandes d'un oscilloscope**.

L'agrandissement horizontal est également utile pour la mesure des impulsions, car il permet d'examiner les détails fins d'une impulsion rapide.



► **Figure 70.** Courbes de Lissajous.

En revanche, les DPO sont capables d'acquérir et d'afficher une véritable image XY en temps réel, à partir d'un flux continu de données numérisées. Ils peuvent également afficher une image XYZ en intensifiant certaines zones de l'écran. A la différence des écrans équipant les oscilloscopes numériques, ceux des oscilloscopes analogiques ont généralement une limite de bande passante de quelques mégahertz.

Autres techniques de mesure

Cette section a présenté les techniques de mesure essentielles. Il existe d'autres techniques de mesure nécessitant la configuration de l'oscilloscope pour tester des composants électriques sur une chaîne de montage, saisir des signaux transitoires éphémères, etc. Les techniques de mesure utilisées varient suivant l'application, mais ce livret d'initiation apporte suffisamment d'informations pour démarrer. Le lecteur pourra s'exercer directement sur l'oscilloscope et lire la documentation de celui-ci pour que son emploi lui devienne naturel.