Les fondamentaux de la mesure de l'intégrité de l'alimentation – 1ère partie
Surmonter les défis de mesure et d'analyse des alimentations en courant continu

Par Erik Babbé, Directeur du Marketing, Division Oscilloscopes, Keysight Technologies

L'augmentation constante de la densité des composants semi-conducteurs, prévue par la loi de Moore, a permis d'introduire dans un smartphone les performances de calcul d'un ordinateur central, et dans une console de jeux celles d'un superordinateur. Ces applications peuvent attirer l'attention de toute la presse, mais les microcontrôleurs à faible coût, obtenus grâce aux mêmes tendances d'intégration, font également bénéficier des atouts des semi-conducteurs toute une variété d'applications moins complexes, tels que les appareils ménagers, les automobiles, les appareils médicaux, les équipements portatifs, et l'Internet des Objets.

C’est une bonne nouvelle pour les consommateurs car cela implique un contrôle plus précis, une plus grande flexibilité et la possibilité de mises à niveau durant le service. Pour de nombreux concepteurs, cependant, cela représente un nouveau défi puisqu’un dispositif autrefois purement électrique ou électromécanique, comme un thermostat, doit maintenant fournir l'alimentation correcte nécessaire pour permettre le fonctionnement fiable des circuits à base de microcontrôleurs. Des ressources importantes doivent être dédiées à la conception de réseaux de distribution d'énergie robustes (*Power Distribution Networks*, PDN), et au test de leur implémentation, en utilisant souvent des oscilloscopes en temps réel.

Cet article en deux parties expose certains des défis liés à la mesure et l'analyse des sources d’alimentation en courant continu, puis traite de la sélection et de l'évaluation des outils pour les mesures de ces sources d’alimentation en courant continu.

Le problème

Fournir une source d'énergie correcte est devenue de plus en plus important à mesure que la vitesse des circuits à base de microcontrôleurs a augmenté. Des dérives sur un rail d'alimentation peuvent être la principale source de gigue d'horloge et de données dans les systèmes numériques. Un saut au niveau de l'alimentation d'un composant numérique peut diminuer le délai de propagation à travers ses portes logiques, ce qui réduit les marges de synchronisation ou même causer des défaillances sur les données binaires. Pour lutter contre cela, les tolérances d'alimentation ont diminué à 5% ou moins.

Comme les fréquences de commutation et de balayage des systèmes numériques ont augmenté, la probabilité que le bruit de commutation ait un impact au sein de l'alimentation a augmenté en conséquence. Le bruit résultant s'insère dans la bande passante du courant de commutation et peut facilement dépasser 1 GHz.

Réduire l'amplitude du signal dans les systèmes numériques permet des vitesses de commutation plus rapides, mais cela exige aussi d'étroites marges de bruit pour les alimentations.

Une autre raison d'imposer des tolérances plus strictes sur les alimentations est de réduire la consommation d'énergie. Si les tolérances sur une alimentation sont réduites de 10% à 5%, la diminution de la consommation d'énergie de la conception peut atteindre jusqu'à 5%.

Le défi des concepteurs est alors de mesurer un ensemble de signaux de bruit AC toujours plus petits et plus rapides qui polluent le signal engendré par ces sources d'alimentation DC. Voici quelques-uns des problèmes dont il vaut mieux être informé lorsqu'on effectue ces mesures étonnamment difficiles.

Les réseaux de distribution d'énergie et l'intégrité de l'énergie

Tout d'abord, un peu de terminologie. Le terme «intégrité énergétique» («*power integrity*», PI) se réfère à l'analyse de l'énergie effectivement convertie et délivrée au sein d'un système à partir de la source jusqu'à la charge. L'énergie est fournie par un réseau de distribution d'énergie (*Power Distribution Network*, PDN), qui est constitué de composants passifs et d'interconnexions entre la source et la charge, comprenant le boîtier et jusqu'au semi-conducteur. Elle implique généralement des mesures du continu à des fréquences en multi-gigahertz.

Certaines mesures de PI communes comprennent:

- PARD (Periodic And Random Deviation) -- écart périodique et aléatoire qui est la déviation de la sortie DC par rapport à sa valeur moyenne, lorsque tous les autres paramètres sont maintenus constants. Elle constitue une mesure des composantes indésirables AC et de bruit qui restent dans la sortie DC après la circuiterie de régulation et de filtrage. Elle est mesurée de pic à pic ou en tant que valeur efficace, cette dernière étant l'option la plus fréquente, de 20 Hz à 20 MHz. Des variations de type PARD en dessous de 20 Hz sont généralement connues sous le nom de dérive (drift).

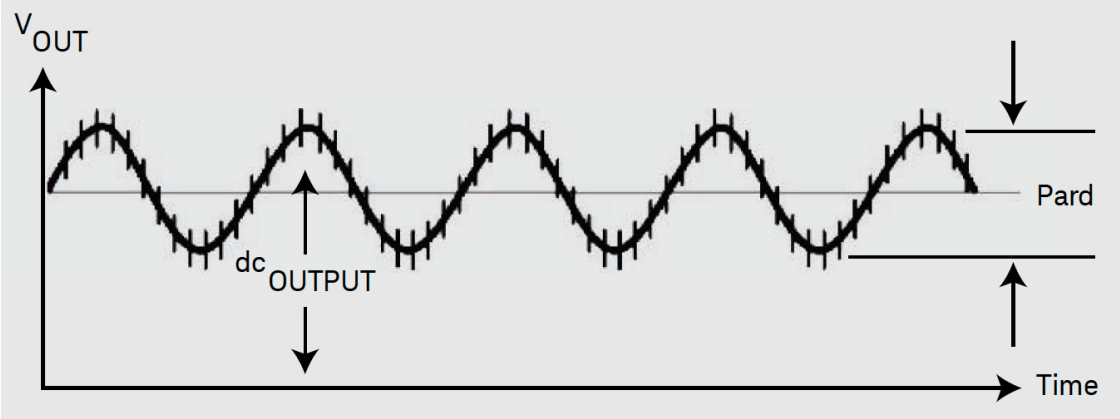


Figure 1: Mesures de déviations périodiques et aléatoires (Source: Keysight Technologies)

- Réponse de la charge -- cela se réfère à une charge statique ou transitoire, et est une mesure de la capacité d'une alimentation à rester dans les limites spécifiées en sortie pour une charge prédéterminée. Cela comprend généralement une mesure du temps transitoire de rétablissement de l'alimentation pour se positionner dans une plage prédéfinie en réponse à l'imposition d'une charge.

- Bruit -- déviations de l'alimentation DC par rapport à sa valeur nominale. Cela peut inclure le bruit aléatoire, comme le bruit thermique, et des signaux parasites, tels que les signaux de commutation de couplage avec des circuits adjacents ou à la réponse de PARD ou de charge.

Les sources de bruit des alimentations en courant continu

Idéalement, il ne devrait pas avoir de bruit dans une alimentation en courant continu. En réalité, il y en a toujours. Comment est-il arrivé là?

Une source de bruit gaussien simple dans un module d'alimentation est l'agitation thermique des électrons au sein de sa circuiterie, mais ce n'est généralement pas la principale source. Les sources de bruit dominantes dans les alimentations à courant continu sont le bruit de commutation de l'alimentation elle-même, et le bruit induit par les courants de commutation des éléments du circuit qui créent des demandes de courant transitoires. Le bruit créé par les cas de commutation peut apparaître de façon aléatoire, mais a tendance à être cohérent avec les signaux d'horloge dans le système.

Considérer le bruit d'une source d'alimentation DC comme étant une combinaison de signaux, tels que du bruit de commutation au sein de la source ou du bruit de commutation de courant, qui se superposent à l'alimentation DC peut faciliter la mesure et l'analyse.

Le défi de la mesure

Les oscilloscopes sont souvent un moyen pratique de mesurer le bruit d'une source d'alimentation DC, parce qu'ils ont la large bande passante nécessaire pour correspondre au spectre des signaux de bruit, sont faciles à utiliser et largement disponibles.

Les oscilloscopes temps réel à large bande et leurs sondes associées ont leurs propres sources de bruit. Cela peut compliquer la mesure du bruit d'alimentation DC, si le bruit de l'oscilloscope et des sondes est d'une ampleur similaire au bruit de la source DC en cours d'analyse.

Un autre défi pour la mesure du bruit d'une source d'alimentation DC est sa plage dynamique. Une source en cours de test est à un certain niveau de courant continu, et les petits signaux alternatifs qui représentent le bruit de l'alimentation ne sont qu'une infime fraction de ce niveau DC. L'objectif est de faire un zoom sur le bruit AC, puis faire passer l'oscilloscope dans une gamme plus sensible pour observer les détails de ce bruit – tout en espérant que le bruit intrinsèque de l'oscilloscope peut être suffisamment réduit pour permettre de distinguer le véritable bruit AC. Selon l'oscilloscope et la sonde en cours d'utilisation, il peut se révéler impossible de suffisamment décaler les signaux pour accomplir cette tâche.

Les problèmes de bruit d'oscilloscope

Pour comprendre un peu plus les sources de bruit dans un oscilloscope, regardez la figure 2:

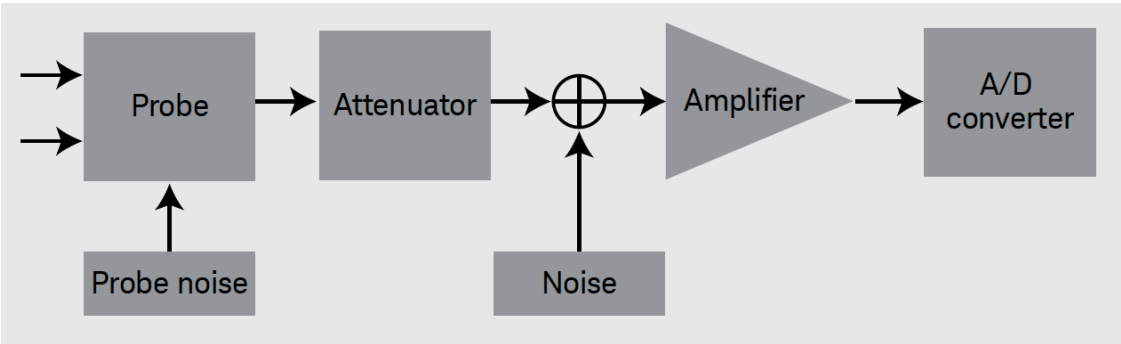


Figure 2: Bloc-diagramme présentant les sources de bruit dans un oscilloscope (Source: Keysight Technologies)

Il existe deux principales sources de bruit dans un système d'oscilloscope et de sonde. Les circuits de l'amplificateur d'entrée et de buffer dans l'oscilloscope contribuent au bruit, et l'amplificateur d'une sonde active génère son propre bruit.

Les oscilloscopes utilisent un atténuateur pour faire varier le facteur d'échelle verticale. Le bruit de l'oscilloscope survient après que cette atténuation se soit produite. Lorsque l'atténuateur est réglé à plus de 1:1 (les gammes hardware d'oscilloscope les plus sensibles), le bruit propre à l'oscilloscope apparaît plus grand que le signal au niveau du connecteur d'entrée de l'oscilloscope.

Par exemple, considérons un oscilloscope avec une sensibilité de base de 5 mV/division sans atténuation (1:1), et un plancher de bruit de 500 μV_{rms} à 5 mV/division. Si nous changeons la sensibilité à 50 mV/division, l'oscilloscope insère un atténuateur 10:1 en série avec l'entrée. Le bruit apparaît alors comme s'il était de $5mV_{rms}$, par rapport à l'entrée (500 µV*10).

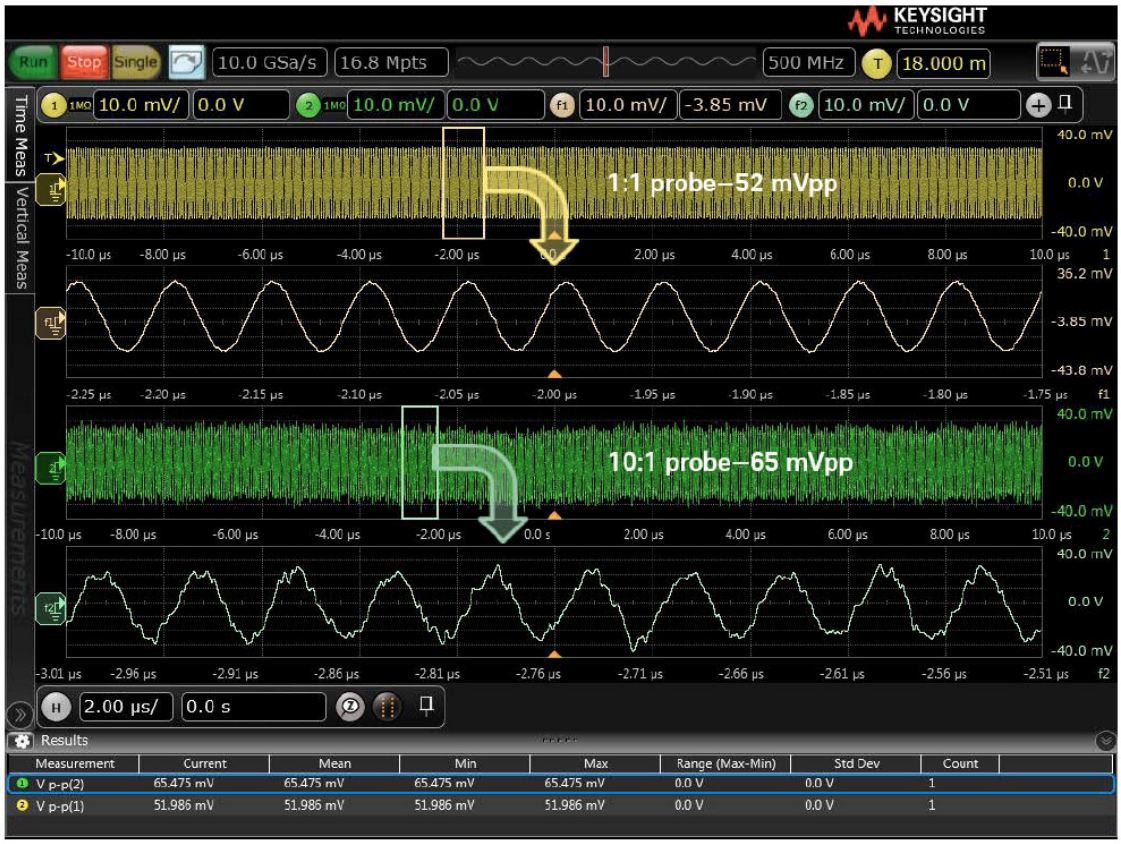


Figure 3: Comparaison de bruit pour des sondes 1:1 et 10:1 mesurant une onde

sinusoïdale de 50 mVpp (Source: Keysight Technologies)

La même chose se produit quand une sonde avec une atténuation est reliée à l'oscilloscope. Le bruit de l'oscilloscope apparaît alors plus grand par rapport au signal à l'entrée de la sonde, de la quantité de l'atténuation.

Utilisez à bon escient les fonctions FFT d'un oscilloscope

Les capacités de FFT d'un oscilloscope peuvent fournir un moyen utile d'afficher des signaux dans le domaine fréquentiel et ainsi identifier les sources qui contribuent au bruit d'une source d'alimentation. Ces techniques doivent être cependant utilisées à bon escient.

Un oscilloscope va acquérir une quantité finie d'informations pendant un laps de temps donné à chaque déclenchement, en fonction de la quantité de mémoire dont il dispose et du taux d'échantillonnage utilisé. La FFT ne peut pas «voir» les fréquences du signal d'entrée qui sont inférieures à l'inverse de la fenêtre de temps d'acquisition de l'oscilloscope.

La plus basse fréquence qui peut être analysée par FFT est de 1 / [1 / (fréquence d'échantillonnage / profondeur de mémoire)]. Pour voir une source suspecte par FFT, les concepteurs doivent définir la profondeur de la mémoire pour capturer suffisamment d'échantillons. Par exemple, si une source d'alimentation par commutation fonctionne à 33 kHz, les utilisateurs devront saisir 1 / (33 kHz), ou 30 µs, d'activité du signal afin de le voir par FFT. Pour un taux d'échantillonnage de 20 Géch/s, il faudrait 600.000 points en mémoire. La FFT fonctionne généralement uniquement sur les données qui sont à l'écran.

Dix conseils pour de meilleures mesures d'alimentation

Dans la deuxième partie de cet article, nous allons revenir plus en détail sur chacun de ces dix conseils pour une meilleure mesure de l'alimentation:

- Utilisez l'entrée 50 ohms de l'oscilloscope, qui a généralement le bruit le plus faible, et commencez les mesures de bruit de la source d'alimentation en effectuant une mesure « à vide » pour que vous connaissiez le niveau de bruit que votre oscilloscope génère
- Ne pas utiliser plus de bande passante que nécessaire
- Préférer des sondes à petit rapport d'atténuation lorsque cela est possible - idéalement une sonde 1:1

- Utilisez un décalage (offset) de sonde pour zoomer sur un signal
- Si vous choisissez d'utiliser un condensateur bloqueur DC, utilisez-le à bon escient
- Attention de charger votre alimentation via la terminaison 50 ohms de l’oscilloscope (50 ohm DC)
- Utilisez les capacités de FFT pour avoir des informations analytiques
- Déclenchez sur des sources suspectes de bruit, puis effectuez une moyenne pour éliminer le bruit non-corrélé
- Utilisez une bande passante suffisante pour capturer les transitoires et le bruit gênants
- Utilisez une sonde de rail d'alimentation