

# bureau d'études – Zone D

D comme développement, débrouille et dur-à-cuire !  
Trucs et astuces, bonnes pratiques et autres informations utiles

Clemens Valens (Elektor Labs)

## DE L'IDÉE AU PRODUIT – 6<sup>E</sup> PARTIE

Dans la livraison précédente de cette série, nous sommes passés au stade de la production de l'électronique de notre nouveau produit. Entretemps vous avez reçu un lot de circuits imprimés. Il faut vérifier que ces cartes fonctionnent comme prévu, ce qui implique des tests. Comment s'y prendre ? Vous aviez bien sûr réfléchi à ce sujet délicat avant de lancer la production et vous y venez donc bien préparé.



### QUE TESTER ?

Chaque fonction ou caractéristique de la carte doit être testée. Comment ? Comment définir un test ? Concerne-t-il chaque carte ? Est-il automatisable ? Faut-il l'automatiser ? Un test automatisé aurait-il été possible si vous y aviez pensé plus tôt lors de la conception du produit ? Aïe ! Désolé, ça fait mal ?

### TESTS INTÉGRÉS

La carte idéale se teste elle-même grâce aux tests intégrés (*built-in tests* ou BIT). Même quand ça marche, il reste à activer la procédure de test et à en interpréter les résultats, puis à séparer des bonnes les cartes défectueuses. Un test intégré peut être mis en œuvre dans les logiciels (*n'oubliez pas de tester le test !*), mais toutes les cartes ne disposent pas de logiciels et les logiciels ne peuvent pas tout tester. Une routine de test qui par exemple allume un à un tous les pixels ou segments d'un écran est utile, mais seulement s'il y a un observateur. Au fait, si dans une forêt un arbre tombe mais que personne n'est là pour l'entendre, fait-il du bruit ?

### RETOUR À LA PLANCHE À DESSIN

C'est récurrent dans cette série d'articles : à chaque pas en avant, vous revenez au stade du cahier des charges. C'est encore le cas ici. Le test des cartes doit faire partie des spécifications de conception ; si vous pensez aux tests dès le début, tout devient (plus) simple et (plus) cohérent. Plus la procédure de test est simple, mieux ce sera, car les tests sont généralement effectués par des personnes ou des machines qui n'ont aucune connaissance de l'appareil testé (*device under test* ou DUT).

### CONNECTEURS ET POINTS DE TEST

L'ajout sur la carte d'un connecteur de test est une solution. Le JTAG, par exemple, est une méthode populaire pour tester les circuits logiques tels que les microcontrôleurs et les FPGA implantés.

Un connecteur de test peut donner accès à des entrées et des sorties, analogiques, numériques, ou les deux, qui peuvent ainsi être excités et lus par un testeur, humain ou machine. Si le testeur simule la pression sur un bouton et obtient un signal de réponse, cela ne lui dit pas cependant si le bouton lui-même est présent et fonctionne. Problème « immobilier » : le connecteur de test prend de la place et coûte de l'argent, sans oublier les composants supplémentaires nécessaires à son fonctionnement.

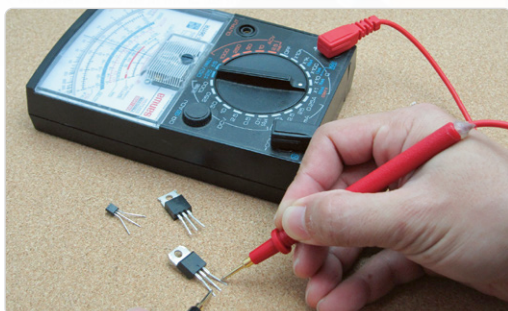
À la place, les concepteurs utilisent souvent des points de test. Des oscilloscopes et autres instruments similaires peuvent être programmés pour vérifier la conformité des signaux (complexes) sur les points de test. Le faible encombrement des points de test et leur liberté de placement sont un avantage évident, mais un gabarit de test spécial est nécessaire pour s'y connecter. Les instruments de test doivent être programmés et des gabarits de test doivent être mis au point et testés, ce qui n'est pas gratuit non plus.



*La qualité de vos procédures de test peut faire toute la différence entre un séjour de rêve sur une île tropicale (prévenir) et la faillite (ne pas parvenir à guérir).*

## PROCÉDURE DE TEST APPROFONDI

Quelle que soit la manière dont les tests sont menés, il faut définir une procédure claire qui permette une décision fiable de réussite ou d'échec. La procédure doit couvrir tous les aspects de la carte et rester aussi facile que possible à appliquer, à comprendre et à exécuter, et à plus forte raison encore si les quantités de production augmentent. La mise au point d'une telle procédure n'est pas à prendre à la légère. Comme je l'ai déjà suggéré, pour réduire et les coûts et le risque d'erreurs des tests, il est primordial que le testeur n'ait besoin d'aucune ou seulement de peu de formation.



*La méthode ne dépend pas seulement du nombre de produits à tester.*

## TEST DE CONFORMITÉ

Il faut s'occuper également des tests de conformité et s'y préparer. Là c'est plus facile, puisque ce n'est pas à vous d'élaborer les procédures, elles sont définies par les autorités (pensez à donner à l'organisme chargé des tests de conformité des instructions sur la manière de manipuler correctement votre produit). Le plus difficile est sans doute de rendre votre produit conforme. Là encore, cela coûte du temps et de l'argent. Il y a non seulement les frais du test de conformité lui-même, mais il faudra rémunérer quelqu'un qui déterminera quelles normes concernent votre produit et dans quel pays, et quelles sont les implications pour votre produit. Il peut être intéressant d'investir dans certains outils de test de préconformité afin de pouvoir détecter et corriger les problèmes potentiels à un stade précoce. Là encore, la préparation aux tests de conformité aurait dû être effectuée avant de commencer à faire des frais pour votre produit.

## TEST D'ENDURANCE

Le test fonctionnel est une bonne chose, mais suffit-il ? Pensez aussi au test d'endurance. Pas forcément pour chaque carte, mais une inspection visuelle approfondie de quelques échantillons de chaque lot, puis des tests de cycles de température et d'humidité dans une chambre climatique pour vérifier s'ils survivent. Selon l'application du produit final, des tests de chute et de choc peuvent être nécessaires.

## ÉCOUTER LES RÉACTIONS

Tenez compte des commentaires des personnes qui effectuent les tests que vous avez demandés, car cela peut contribuer à améliorer votre carte. Cela peut se traduire par exemple par une meilleure ergonomie, moins de réclamations, une production moins chère et/ou des tests accélérés.

## LES TESTS ONT UN COÛT

Imaginer, mettre en œuvre et exécuter de bonnes procédures de test fait partie intégrante de la conception et de la fabrication de produits ; ce temps et ces efforts ont un coût.

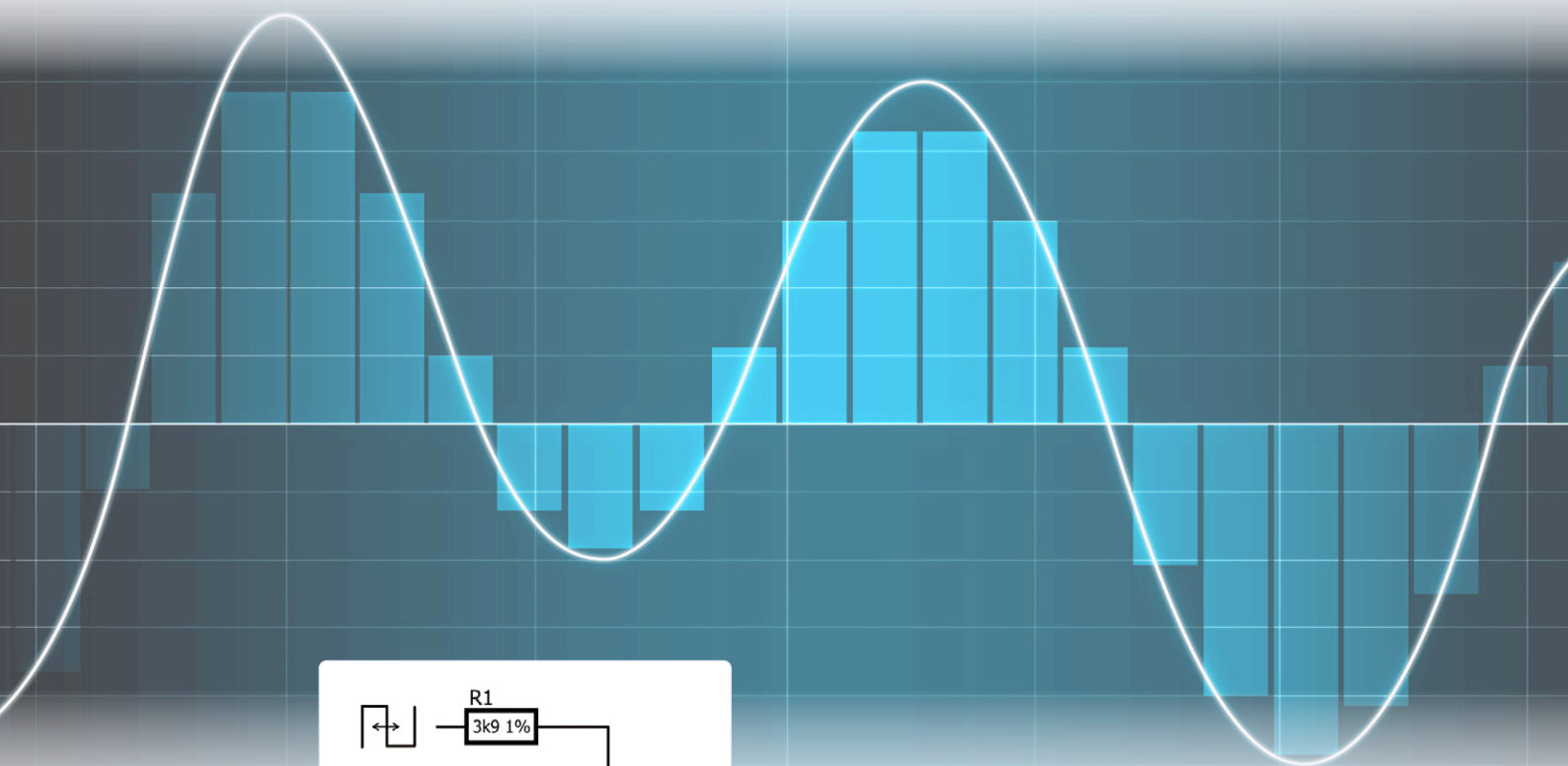
À moins de vivre dans un monde parfait, les tests révéleront un flux de cartes défectueuses, que vous pouvez détruire ou essayer de réparer. Dans les deux cas, il y aura un coût que vous pouvez réduire en améliorant la qualité de votre carte et sa production. C'est le boulot des ingénieurs de qualité. Si vous escomptez une réduction du nombre d'appareils défectueux en simplifiant la procédure de test, vous serez mordu plus tard par le service après-vente.

L'intérêt des tests est d'éviter de mécontenter des clients qui renvoient votre produit et lui font une mauvaise réputation. Attendre l'après-vente pour s'en préoccuper coûte beaucoup plus cher que d'essayer de le faire dès le début. Cela peut même vous coûter votre entreprise.



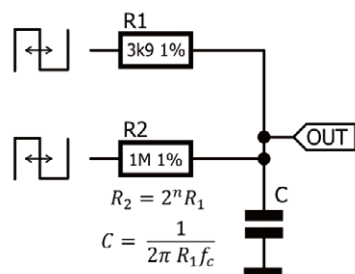
# la double MLI

## améliore la qualité audio sur 8 bits



Un convertisseur numérique-analogique ou CN/A transforme des valeurs numériques en une tension analogique

proportionnelle. La résolution de sortie est déterminée par le nombre de bits du CN/A. Plus son format est grand, meilleure est sa résolution. Une solution astucieuse consiste à jumeler deux DAC de faible résolution. Si nous utilisons un CN/A pour produire une valeur grossière, et un deuxième pour l'affiner («en comblant les lacunes») à condition de mettre sa sortie à l'échelle correctement. Théoriquement on obtient ainsi une résolution de 16 bits avec deux CN/A de 8 bits. En fait, la résolution sera moindre, à moins d'utiliser une électronique très précise, plus complexe et plus coûteuse que d'utiliser directement un CN/A à 16 bits. Cette technique n'est donc pas utilisée souvent.



La plupart des micro-contrôleurs ( $\mu C$ ) ne disposent pas de CA/N, et la pratique courante consiste à utiliser la MLI ou

modulation de largeur d'impulsion (*pulse width modulation* ou PWM) pour obtenir des signaux analogiques. Le filtrage passe-bas d'un signal MLI donne une tension proportionnelle à la largeur de l'impulsion. Ici la résolution est déterminée par la résolution du signal MLI. Arduino, par exemple, dispose de la fonction `analogWrite()` pour produire des signaux MLI avec une résolution de 8 bits. L'Arduino Uno peut produire jusqu'à six de ces signaux en même temps (sur les broches marquées d'un tilde ~).

Pour augmenter la résolution, nous recourons à la même astuce de jumelage que ci-dessus : une sortie MLI produira la valeur grossière, une autre l'affinera. La mise à l'échelle est assurée par les résistances du filtre passe-

bas. Le circuit est simple. Bien sûr, la précision des résistances est cruciale, ce qui rend difficile à obtenir une résolution réelle de 16 bits, mais avec les résistances à 1 %, la résolution effective sera de presque 14 bits.

Mais, direz-vous, puisque le  $\mu C$  de l'Arduino Uno peut faire de la MLI sur 16 bits, pourquoi ne pas l'utiliser ? C'est une question de rapidité. Pour la même fréquence d'horloge, la MLI sur 16 bits aura la moitié du taux de sortie de la MLI sur 8 bits. Or, pour les applications audio, par exemple, c'est une fréquence de sortie ou une fréquence d'échantillonnage élevée qui est intéressante.

Alors, pourquoi ne pas mettre trois signaux PWM en parallèle, voire plus ? Essayez, mais vous finirez par vous heurter aux limites des logiciels et aux problèmes de complexité du matériel. En bref, l'effort requis n'en vaut probablement pas la peine. La double MLI sur 8 bits est un bon compromis. Vous trouverez une bonne explication et une analyse du double PWM à l'adresse suivante :

[www.openmusiclabs.com/learning/digital/pwm-dac/dual-pwm-circuits/](http://www.openmusiclabs.com/learning/digital/pwm-dac/dual-pwm-circuits/)