

Avantages pour l'utilisateur des alimentations programmables avec un cœur numérique

Auteur : Alan Hill, Product Specialist – High Power/Low Voltage chez XP Power

L'étiquette "digital" est apposée sur de nombreux produits modernes , et souvent cela signifie qu'un microcontrôleur effectue une tâche courante, comme le réglage de la durée d'infusion d'une cafetière ou le contrôle de l'affichage de l'horloge d'un four à micro-ondes. Il en va parfois de même pour l'électronique de puissance, les termes "digital power" et "software defined power" étant désormais utilisés dans le marketing. Toutefois, si un véritable contrôle numérique est mis en œuvre, il peut en résulter une amélioration spectaculaire des performances et de nombreux avantages.

Bien que certains produits de conversion d'énergie soient dotés d'interfaces numériques permettant uniquement un contrôle et une surveillance simples, ces interfaces peuvent néanmoins présenter un réel avantage. Par exemple, dans les systèmes critiques où la connaissance d'une dégradation ou d'un changement peut avertir d'une défaillance imminente, ou peut-être lorsqu'un léger ajustement à distance de la tension de sortie peut permettre de réaliser des économies d'énergie dynamiques. Cependant, des avantages supplémentaires apparaissent lorsque la compensation de la boucle de contrôle du convertisseur est mise en œuvre numériquement, en même temps que les fonctions de contrôle et de surveillance. Il s'agit alors d'une alimentation électrique dotée d'un véritable "digital core".

Définition de la compensation de la boucle de contrôle

La conversion d'énergie sera toujours fondamentalement une fonction analogique, avec un stockage d'énergie significatif nécessaire dans les composants linéaires tels que les condensateurs et les inductances. Cependant, pour fournir une tension ou un courant de sortie contrôlé avec des conditions changeantes telles que la tension d'entrée, la charge, la température et l'âge, une boucle de contrôle de rétroaction doit être mise en œuvre. Celle-ci doit réagir sans instabilité sur toute la plage de fonctionnement de l'alimentation, avec un temps de réponse rapide après des modifications du système telles que des variations de charge, avec un minimum de la fluctuation de la tension de sortie.

Un exemple de méthode de contrôle analogique classique est illustré à la figure 1. La sortie cible est comparée à une référence et le signal d'erreur qui en résulte est utilisé pour générer une modulation de largeur d'impulsion (PWM) pour commander le commutateur de puissance, dans ce cas un convertisseur buck ou forward. Le signal d'erreur doit être amplifié pour obtenir un contrôle précis de la sortie. Cependant, cette augmentation du gain se combine au déphasage de 180 degrés de la rétroaction négative et aux retards et déphasages inévitables autour de la boucle de contrôle, ce qui risque d'entraîner une rétroaction positive globale et une oscillation à une certaine fréquence, ou du moins de mauvaises caractéristiques de réponse. Pour y remédier, une "compensation de boucle" est appliquée autour de l'amplificateur d'erreur, façonnant sa réponse en amplitude et en phase afin d'obtenir les meilleures performances. De bons résultats sont obtenus lorsque la marge de phase à la fréquence de gain unitaire est d'environ 50 degrés par rapport à la rétroaction positive, se produisant à 360 degrés, et lorsque la marge de gain à la fréquence où la phase atteint 360 degrés est d'environ -10 dB. Le taux de variation du gain et de la phase sur la largeur de bande de la boucle de contrôle est également important pour la stabilité. Jouer la sécurité et forcer une marge de gain et de phase importante dans toutes les conditions n'est pas l'idéal, car cela produit une réponse lente aux changements du système.

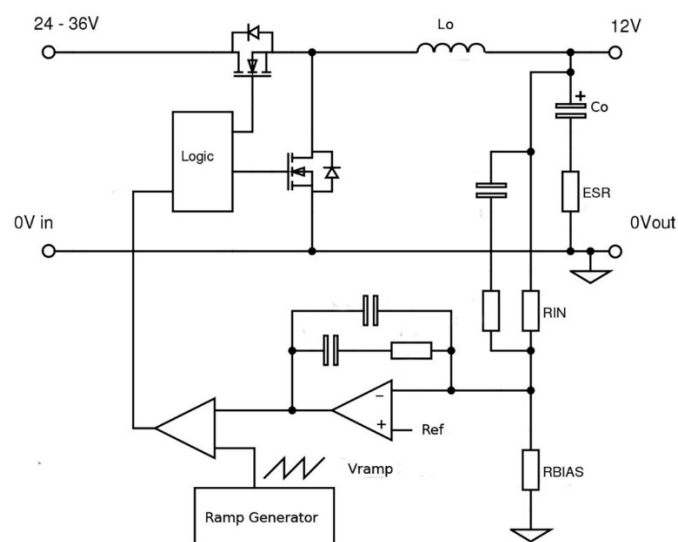
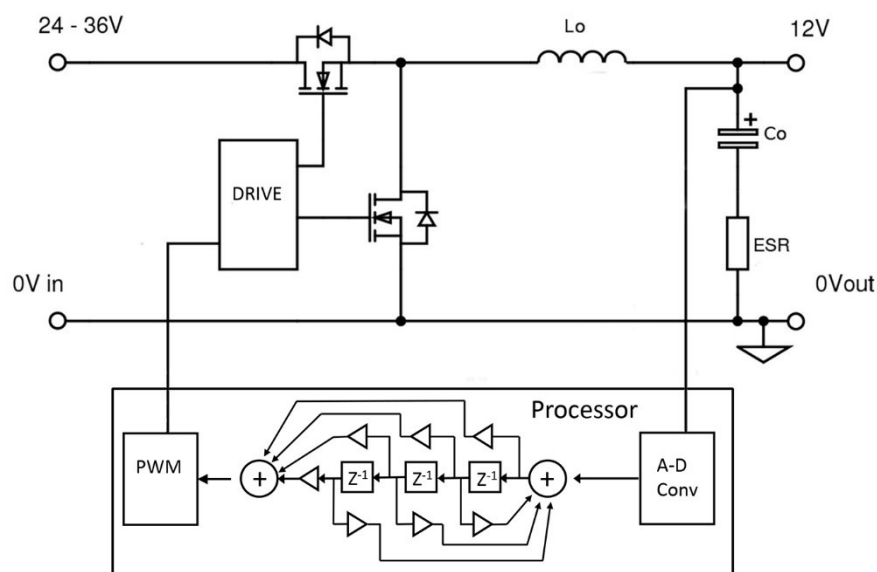


Figure 1: Exemple de boucle de contrôle d'une alimentation analogique, montrant les composants de compensation autour de l'amplificateur d'erreur

Une alimentation avec boucle de contrôle numérique remplace l'amplificateur d'erreur et sa compensation par un processeur. La sortie cible est transmise à un convertisseur A-D, une représentation numérique de l'erreur est générée et celle-ci est manipulée pour obtenir le gain et la réponse de phase souhaités. La méthodologie consiste à transformer mathématiquement les données d'entrée, qui représentent des mesures discrètes dans le domaine temporel, dans le domaine complexe des fréquences par la méthode de la transformée "z", similaire à la transformée de Laplace. Dans le domaine des fréquences, toute caractéristique de filtre peut être obtenue par de simples opérations arithmétiques, multiplication et addition, instructions standard pour le processeur. Une autre opération D-A génère le signal de commande d'un modulateur de largeur d'impulsion analogique ou la fonction PWM peut être intégrée au processeur. Bien entendu, une différence majeure entre la compensation analogique et la compensation numérique est que la première est fixée par des valeurs de composants discrets, alors que la compensation numérique peut être modifiée à volonté, en cours de fonctionnement si



nécessaire.

Figure 2: Digital loop compensation

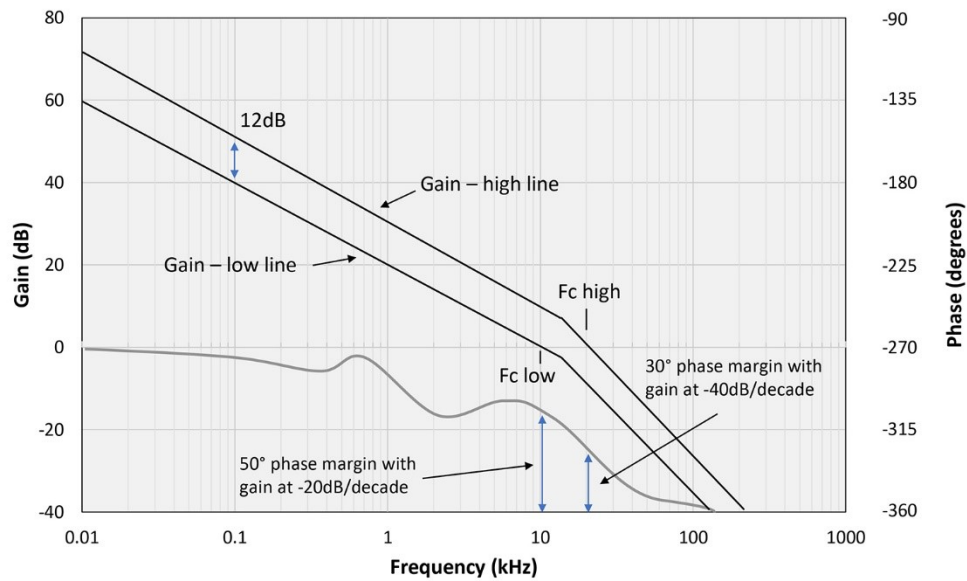
Avantages de la commande numérique

Si la commande numérique peut donner des caractéristiques de compensation relativement précises, il est vrai que la commande analogique peut donner des performances parfaitement adéquates avec moins de complexité - mais seulement sous une condition

fixe. En fonction de la topologie du circuit, si les conditions du circuit changent, telles que le courant de charge ou la variation de l'ESR du condensateur de sortie en fonction de la température, les valeurs optimales des composants de compensation sont différentes, de sorte qu'une solution de compromis doit être trouvée, qui ne serait alors pas optimale dans toutes les conditions. De même, les composants de compensation discrets ont des tolérances et peuvent dériver avec le temps, de sorte qu'une conception professionnelle devra augmenter les marges de gain et de phase pour tenir compte des cas les pires.

Pour illustrer cela, la figure 3 montre la réponse en gain et en phase d'une boucle de contrôle d'un convertisseur buck avec une variation de 4:1 ou 12 dB de la tension d'entrée. L'effet sur le convertisseur est une marge de phase en tension d'entrée basse de 50° , le gain franchissant l'unité à la fréquence de coupure (F_c) basse, ce qui est bon, et de 30° en tension d'entrée haute, marge encore suffisante pour la stabilité. Il est important de noter qu'à tension d'entrée haute, le gain diminue de 40 dB/décade, ce qui contribue à une réponse très sous-amortie. L'amélioration de cette réponse dégraderait typiquement les performances à tension d'entrée basse avec un sous-amortissement sévère, ce qui montre le compromis nécessaire avec une compensation en boucle à composants discrets. Dans les conceptions de compensation analogique, des techniques peuvent être utilisées, telles que la "compensation de pente", pour améliorer la stabilité dans des conditions particulières, telles que des cycles d'utilisation élevés. Cependant, là encore, les valeurs optimales des composants de compensation de pente dépendent de la tension de sortie dans notre exemple de convertisseur buck, de sorte qu'il n'est pas possible de trouver des valeurs

idéales pour une alimentation qui doit ajuster sa tension de sortie sur une large



plage.

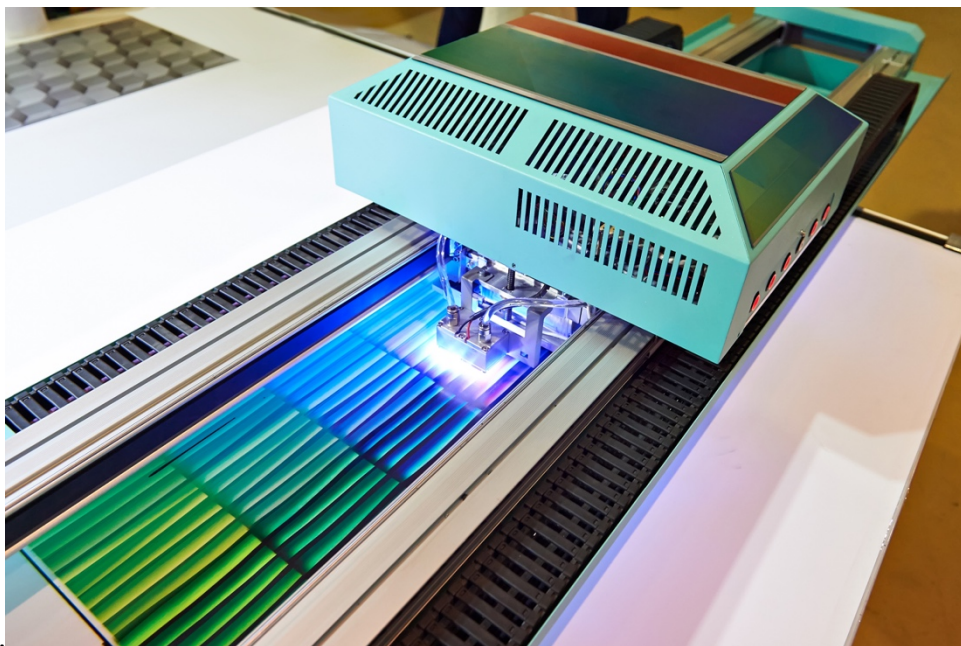
Figure 3 : La marge de phase dans un convertisseur buck change selon la tension d'entrée haute ou basse

L'avantage de la commande numérique est qu'elle permet une compensation optimale dans toutes les conditions, les facteurs d'échelle étant ajustés "à la volée" si nécessaire. Ainsi, des changements fonctionnels majeurs tels que le passage d'une régulation en tension à une régulation en courant pour la charge de la batterie, ou encore la modification des tensions de sortie ou des seuils de surveillance peuvent être effectués en fonctionnement. Cela ouvre des possibilités de configuration sur le terrain pour différentes applications et d'utilisation de l'alimentation dans le cadre d'une boucle de contrôle de processus plus large, telle que celle que l'on trouve dans l'automatisation/la robotique en usine. Les caractéristiques et la compensation de boucle peuvent être contrôlées par un bus numérique et, sur les alimentations modernes, il peut s'agir au choix de PMBus, CANBUS ou Modbus avec des couches physiques RS 485 ou I2C.

Les fournisseurs d'alimentations avec des cœurs numériques fourniront un logiciel qui communique avec le produit à l'aide d'une interface graphique, où les paramètres peuvent être sélectionnés et optimisés, puis sauvegardés dans la mémoire non volatile du processeur. Après le développement et l'optimisation du système, les modifications des paramètres par défaut peuvent être codées en dur dans le produit sur demande à l'usine.

Un exemple d'application – UV curing

Le durcissement des encres et des revêtements est un marché mondial d'une valeur de plus de 5 milliards de dollars. Il est généralement réalisé à l'aide de LED ultraviolettes d'une puissance de 5 à 20 kW. Les LED en série sont alimentées à un courant précis, augmenté de manière contrôlée au démarrage. Les alimentations dédiées de haute puissance et à courant constant ne sont pas courantes et une alimentation à tension constante avec un module de limitation en courant supplémentaire est coûteuse. Cependant, les alimentations numériques à usage général de XP Power, de la série HPT ou de la nouvelle série HPF à entrée monophasée, peuvent être configurées dans des combinaisons parallèles et en série pour fonctionner de cette manière. Le courant réel peut être programmé via une interface numérique RS485 ou une entrée analogique. L'interface graphique fournie et l'assistance technique étroite de XP Power en font une solution rapide et



économique.

Figure 4 : Application du séchage UV. Source : Adobe Stock

Un exemple d'application - le laser de micro-usinage

Le micro-usinage laser est utilisé pour la découpe, le fraisage et le marquage d'une grande variété de matériaux, avec des applications allant du découpage de plaquettes de semi-

conducteurs au marquage de textes à l'échelle du micron, en passant par la découpe et le perçage au diamant. Le laser nécessite typiquement 100V et de 1-20kW avec un contrôle précis du courant et de la tension, avec un contrôle et une surveillance à distance - correspondant exactement aux capacités d'une alimentation à contrôle numérique. Là encore, XP Power propose la HPT5K0TS100, une solution avec une puissance de 5kW et une sortie programmable de 0-105VDC (Figure 6) ou la HPLK50 qui est une version avec une tension d'entrée basse. Les protocoles de contrôle comprennent PMBus, CANopen, Modbus et SCPI.



Figure 5 : Les alimentations numériques de la série HPT5K0 de XP Power

Conclusion

Le contrôle numérique d'une alimentation électrique s'impose lorsque des performances statiques et dynamiques optimales sont requises dans une large gamme de conditions de fonctionnement, améliorant ainsi les capacités du produit final. Même dans les applications moins critiques, la polyvalence d'une alimentation numérique peut permettre à une variante de couvrir plusieurs utilisations, ce qui réduit les coûts d'achat et de stockage. En même temps, la possibilité de surveiller et de contrôler l'alimentation à distance peut apporter des avantages significatifs au système, en particulier lorsqu'il est intégré dans une boucle de contrôle de processus plus large.