

Utiliser des LDO ajustables à faible fuite pour étendre la durée de vie des batteries dans les conceptions de dispositifs corporels

Rich Miron, Applications Engineer at Digi-Key Electronics

Les régulateurs de tension à découpage sont réputés pour leur haut rendement et constituent des produits très prisés dans les conceptions d'alimentation de dispositifs corporels pour étendre la durée de vie des batteries. Néanmoins, ces régulateurs peuvent être électriquement bruyants, et ils sont difficiles à intégrer, ils occupent beaucoup d'espace et ils sont relativement coûteux. Cet article explique comment choisir un régulateur LDO pour alimenter un dispositif corporel. Il explique ensuite comment utiliser une nouvelle génération de LDO pour optimiser le rendement sans compromettre l'expérience utilisateur.

En comparaison, les régulateurs linéaires offrent une sortie sans ondulations et sont simples, compacts et économiques. Mais sur une plage étendue de charges, ils sont généralement moins efficaces que les régulateurs à découpage, ce qui a un impact sur l'autonomie des batteries. Toutefois, en utilisant un régulateur linéaire à faible chute de tension (LDO) et en optimisant la sortie du dispositif pour assurer son fonctionnement le plus efficace, les ingénieurs peuvent presque égaler le rendement global d'un régulateur à découpage. Malgré tout, un problème majeur persiste : les dispositifs corporels sont conçus pour passer énormément de temps en modes basse consommation afin de préserver l'autonomie des batteries. Même dans ces modes, le LDO entraîne une consommation de courant interne non négligeable. Bien que faible, cette consommation de courant réduit l'autonomie de la batterie du produit final.

Une nouvelle génération de solutions LDO s'attaque à ce problème. Ces dispositifs permettent aux ingénieurs d'ajuster le courant de sortie et la tension de relâchement pour réduire la dissipation de puissance interne lorsque le dispositif corporel est en mode basse consommation. Cet article explique comment choisir un régulateur LDO pour alimenter un dispositif corporel. Il explique ensuite comment utiliser une nouvelle génération de LDO pour optimiser le rendement sans compromettre l'expérience utilisateur.

Régulateur LDO ou régulateur à découpage ?

Le choix du régulateur est une décision clé dans le processus de conception de l'alimentation d'un dispositif corporel. L'ingénieur doit choisir entre un régulateur à découpage et un LDO. Chacun présente des avantages et des inconvénients, ce qui peut compliquer la décision pour une application spécifique. Les dispositifs corporels présentent un certain nombre de défis de conception qui compliquent davantage le processus de sélection :

- L'utilisation de batteries minuscules pour une conception compacte
- Une grande autonomie de batterie obligatoire
- La nécessité d'avoir une alimentation stable pour les composants électroniques sensibles
- L'activation rapide depuis l'état de veille pour améliorer l'expérience utilisateur

Un régulateur à découpage efficace peut répondre au besoin lié à l'autonomie de la batterie, mais le niveau relativement élevé d'interférences électromagnétiques provoqué par le fonctionnement à haute fréquence du régulateur peut perturber le microcontrôleur et l'émetteur-récepteur sensibles du dispositif corporel, ce qui est un inconvénient majeur. Il est possible de résoudre ce problème en utilisant un régulateur à découpage pour la conversion de tension et en ajoutant un LDO en série afin de réduire l'ondulation de la tension et du courant au niveau de la sortie du dispositif. Cependant, une telle topologie amplifie la complexité et les coûts, et augmente la taille de l'alimentation. Une autre approche consiste à utiliser un LDO pour avoir une alimentation en tension stable et à optimiser le rendement en choisissant un dispositif à faible dissipation de puissance interne et en réduisant la différence entre les tensions d'entrée et de sortie du régulateur.

Calcul du rendement d'un LDO

Le rendement d'un LDO est déterminé par son courant à la terre (I_{GND}) et par ses tensions d'entrée et de sortie

(V_{IN} et V_{OUT}). Voici la formule pour calculer ce rendement :

$$\text{Rendement} = I_{OUT} / (I_{OUT} + I_{GND}) \times V_{OUT} / V_{IN} \times 100 \%$$

I_{GND} correspond au courant nécessaire au fonctionnement des circuits internes du LDO (différence entre les courants d'entrée et de sortie). Le courant de repos (I_Q) du LDO, correspondant au courant nécessaire pour alimenter les circuits internes du LDO *lorsque le courant de charge externe est proche de zéro*, est un élément clé. Il inclut des éléments tels que le courant de fonctionnement de l'amplificateur d'erreur, du diviseur de tension de sortie, et des circuits de détection de surintensité et de température.

En raison de leur impact sur le rendement, I_{GND} et I_Q sont des spécifications clés qui apparaissent sur la fiche technique d'un LDO. Par exemple, un produit approprié pour alimenter un dispositif corporel, comme le LDO [MCP1811BT-028/OT](#) de [Microchip](#), présente un courant I_{GND} de 180 microampères (avec $I_{OUT} = 300$ milliampères et un courant I_Q de 250 nanoampères. Le courant I_Q (et donc le courant I_{GND}) augmente à mesure que le courant I_{OUT} augmente. Cette relation est clairement indiquée en ce qui concerne le produit [LDL112](#) de [STMicroelectronics](#) (Figure 1).

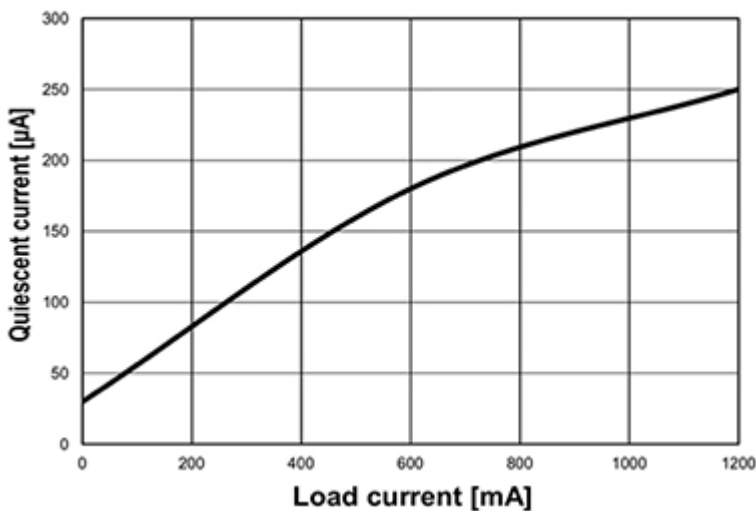


Figure 1 : Ce graphique montre clairement la relation entre le courant de charge et le courant de repos pour le LDO LDL112 de STMicroelectronics. (Source de l'image : STMicroelectronics)

Pour un LDO répondant aux charges typiques d'un dispositif corporel qui enregistre et transmet des données (par exemple, plusieurs centaines de milliampères), le courant I_{GND} est relativement insignifiant par rapport au courant I_{OUT} , et le facteur clé déterminant le rendement est donc la différence de tension entre l'entrée et la sortie. Par exemple, le rendement d'un LDO avec une tension V_{IN} de 5 V et une tension V_{OUT} de 3,3 V est de 66 %. Celui-ci monte à 91,7 % lorsque l'alimentation est réduite à 3,6 V. La consommation énergétique du LDO peut être calculée comme suit : $P = (V_{IN} - V_{OUT}) \times I_{OUT}$.

Cependant, la réduction de la différence entre les tensions d'entrée et de sortie pour augmenter le rendement du LDO n'est pas illimitée, car il existe un seuil en dessous duquel le dispositif ne parvient plus à réguler correctement la tension de sortie. Ce seuil minimal est appelé « tension de relâchement » ($V_{DROPOUT}$). Pour un dispositif moderne comme le LDL112 de STMicroelectronics, la tension $V_{DROPOUT}$ est de 350 mV (pour une sortie de 3,3 V et 1 A).

Le concepteur doit noter que $V_{DROPOUT}$ est le point où le LDO n'est plus en mesure de réguler la tension d'alimentation. Pour respecter toutes ses spécifications, le LDO nécessite généralement une « marge de tension » supplémentaire, qui ajoute en général 250 à 500 mV à $V_{DROPOUT}$, mais qui peut aussi ajouter jusqu'à 1,5 V pour certains LDO. Les valeurs $V_{DROPOUT}$ et de marge de tension doivent être prises en compte lors du calcul de la différence entre les tensions d'entrée et de sortie.

Optimisation des performances d'un LDO

Comme indiqué ci-dessus, dans le cas d'une conception présentant des contraintes en matière d'alimentation, il est judicieux de réduire la différence de tension à l'entrée et à la sortie du LDO, car les économies d'énergie qui en résultent peuvent prolonger considérablement l'autonomie de la batterie. Mais il est possible d'aller encore plus loin lorsque le budget dédié à l'alimentation est fortement limité.

Il convient de prendre en compte la consommation de puissance qui se produit lorsqu'un dispositif corporel est en mode basse consommation ou en « veille », par exemple lorsqu'il n'utilise pas son microcontrôleur, son émetteur-récepteur ou sa fonction GPS. Même si la consommation de courant du produit final est faible dans ce mode, le LDO doit rester actif pour réduire le temps de latence si l'utilisateur appuie sur un bouton opérationnel ou active un écran tactile.

Lorsque le dispositif corporel se trouve dans un état de veille, le courant I_{OUT} est moindre. Par conséquent, le courant I_{GND} a un effet plus important sur le rendement que lors du fonctionnement normal. La charge au niveau du dispositif étant faible, la consommation énergétique réelle n'est pas importante. Néanmoins, elle est continue et, sur une longue période, elle aura un impact majeur sur l'autonomie de la batterie. Il est judicieux de choisir un LDO à la fois conforme aux spécifications et qui offre la consommation de courant interne la plus faible afin de réduire les pertes lorsque le courant I_{OUT} est faible.

Mieux encore, la plupart des LDO modernes offrent une option permettant de mettre le dispositif en mode arrêt en tirant une broche précise vers le bas. Cette opération déconnecte complètement le dispositif de la charge, limitant ainsi le courant I_{OUT} à la valeur I_{GND} uniquement. Par exemple, le MCP1811A de Microchip intègre une entrée d'arrêt (« SHDN ») qui est utilisée pour activer et désactiver la tension de sortie du LDO (Figure 2). Le dispositif fonctionne à partir d'une entrée de 1,8 à 5,5 V et offre neuf sorties fixes sur une plage de 1 à 4 V. Le LDO présente une tension $V_{DROPOUT}$ de 400 mV, fournit une sortie maximale allant jusqu'à 150 mA, et présente un courant I_Q de 250 nA et un courant I_{GND} de 80 μ A (avec $I_{OUT} = 150$ mA, $V_{IN} = 5$ V et $V_{OUT} = 4$ V).

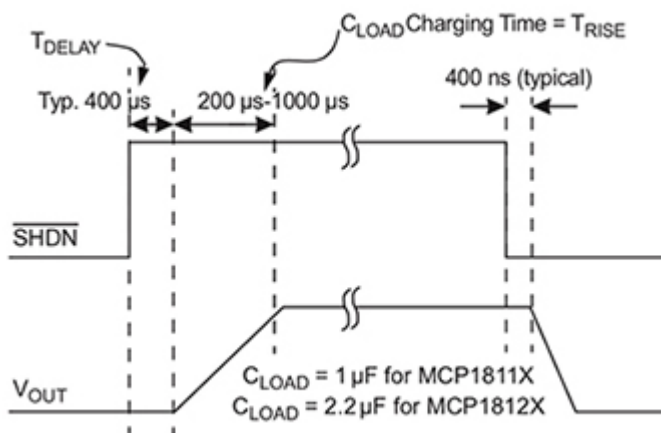


Figure 2 : Le MCP1811A de Microchip inclut un mode d'arrêt. Le temps de réponse une fois la broche SHDN placée à l'état haut pour fournir la tension régulée varie entre 600 et 1400 μ s. (Source de l'image : Microchip Technology)

Lorsque l'entrée SHDN est élevée (70 % de V_{IN} au minimum), la tension de sortie du LDO est activée et le dispositif fournit la tension régulée. Lorsque l'entrée SHDN est basse (20 % de V_{IN} au maximum), l'alimentation en tension régulée est désactivée et le LDO entre dans un état d'arrêt à faible courant, où le courant I_Q typique est de 10 nA et le courant I_{GND} est d'environ 2 μ A.

Le fait de pouvoir mettre le MCP1811A en mode arrêt présente un avantage indéniable en matière d'économies d'énergie, mais l'inconvénient est l'impact du délai de démarrage sur la réponse du système. Pour garantir que le LDO ne s'active pas en raison des pics de bruit du système au niveau de la broche SHDN et n'épuise pas la batterie, le circuit d'arrêt présente un décalage de 400 microsecondes (μ s) sur le front de montée de l'entrée SHDN avant la mise sous tension du régulateur. L'idée est excellente du point de vue opérationnel, mais a un impact sur la réponse. Après ce décalage prédéfini, si l'entrée SHDN reste élevée, le

régulateur commence à charger le condensateur de charge tandis que la sortie passe de 0 V à sa valeur régulée finale. Par conséquent, le temps total écoulé entre l'activation de l'entrée SHDN et la génération de la tension de régulation au niveau de la sortie correspond à la somme du décalage intégré de 400 μ s et du temps de montée de la tension de sortie. Ce temps de montée dépend de la tension V_{OUT} et peut varier de 200 à 1000 μ s.

De la même manière, le LDO en boîtier XDFN4 à double mode **NCP171 d'ON Semiconductor** peut être mis en mode arrêt en plaçant la broche ENA à l'état bas (moins de 0,4 V). Le LDO présente une plage de tensions de sortie fixe de 0,6 à 3,3 V à partir d'une entrée de 1,7 à 5,5 V, et une tension $V_{DROPOUT}$ de 110 mV. Cependant, le NCP171 offre un système plus sophistiqué pour prolonger l'autonomie de la batterie, qui permet d'améliorer la réponse lors du passage du mode basse consommation à la sortie de tension régulée requise pour un fonctionnement normal.

En mode actif, le LDO est capable de fournir jusqu'à 80 mA, mais en mode basse consommation, la tension de sortie régulée du LDO n'est pas désactivée. Au lieu de cela, le courant I_{OUT} est limité à 5 mA maximum. Étant donné qu'une autre partie du LDO est utilisée pour la régulation, le courant I_{GND} est considérablement réduit, ce qui prolonge l'autonomie de la batterie. Les modes basse consommation (et actifs) peuvent être sélectionnés via la broche ECO du LDO (Figure 3).

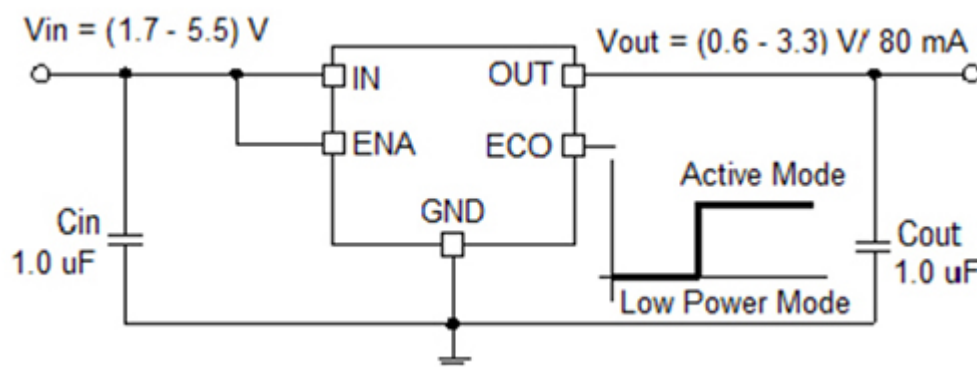


Figure 3 : Le NCP171 d'ON Semiconductor peut passer d'un mode actif à un mode basse consommation via la broche ECO. En mode basse consommation, I_{OUT} est limité à 5 mA maximum, tandis que la valeur I_{GND} est considérablement réduite. (Source de l'image : ON Semiconductor)

Lorsque la broche ECO passe à l'état bas (vers la masse), le LDO passe en mode basse consommation. I_Q est alors réduit de 55 μ A à 50 nA. L'impact sur I_{GND} est tout aussi important : en mode actif, $I_{GND} = 420 \mu$ A ($I_{OUT} = 80$ mA), contre $I_{GND} = 2,5 \mu$ A ($I_{OUT} = 5$ mA) en mode basse consommation. La dissipation de puissance dans ce mode n'est que légèrement plus élevée que lorsque le dispositif est en mode arrêt. Il est possible de réduire davantage la consommation énergétique en mode basse consommation en diminuant la tension de sortie nominale du mode actif grâce à l'un des décalages programmés en interne de 50, 100, 150 et 200 mV. Le principal avantage du mode basse consommation est le temps de réponse à une demande de tension régulée normale. À l'état haut (égal à V_{OUT}), la broche ECO met le dispositif en mode actif et restaure le LDO NCP171 à la tension régulée et à un courant I_{OUT} maximum jusqu'à 80 mA en moins de 100 μ s (Figure 4).

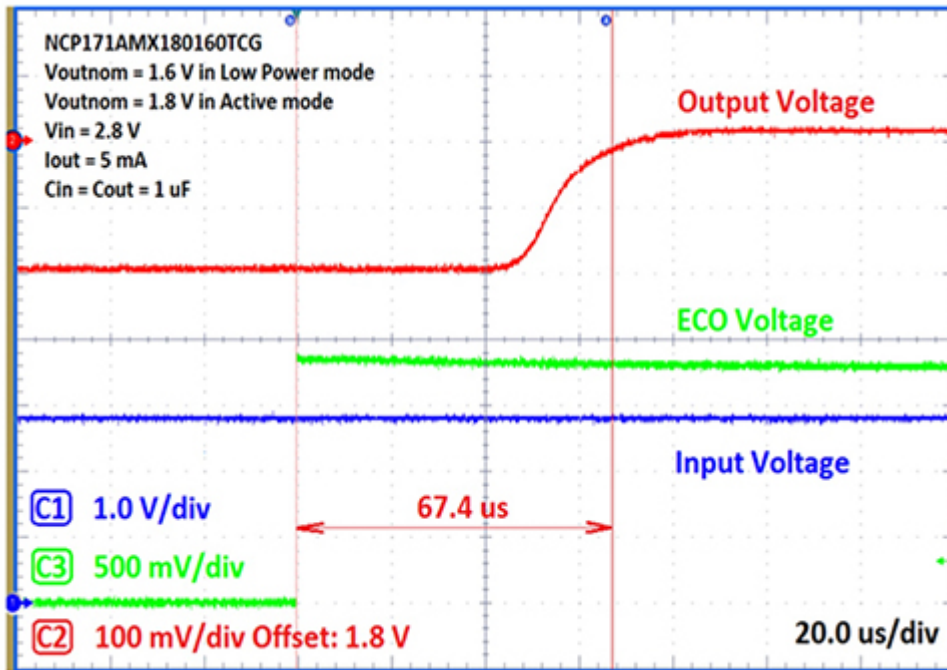


Figure 4 : La commutation du mode basse consommation au mode actif du NCP171 rétablit la tension régulée en moins de 100 μs . (Source de l'image : ON Semiconductor)

Lors du démarrage, le NCP171 passe par défaut en mode actif, quel que soit l'état de la broche ECO, afin de pouvoir rapidement atteindre la tension de sortie cible et se stabiliser. La durée de ce mode actif forcé est généralement de 35 millisecondes (ms) et garantit une charge rapide du condensateur de sortie et une montée rapide de I_{OUT} pour répondre à la demande de la charge.

Le fonctionnement en mode basse consommation présente certains inconvénients : le taux de réjection de l'alimentation (PSRR), qui mesure de la capacité du LDO à rejeter les pointes de tension d'entrée, est plus faible et le bruit électrique augmente légèrement (Figure 5).

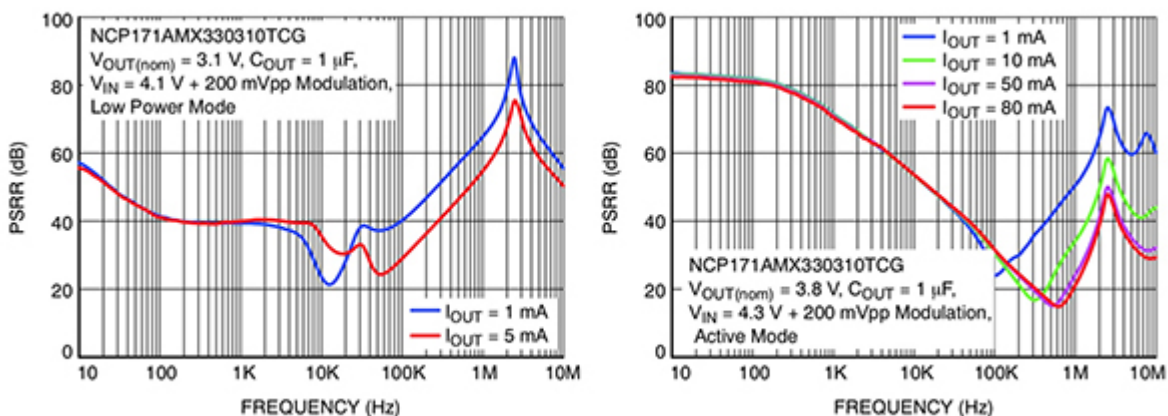


Figure 5 : Lorsque le NCP171 est en mode basse consommation, le taux PSRR est généralement plus faible que lorsqu'il est en mode actif. (Source de l'image : ON Semiconductor)

Le LDO NCP171 est accompagné du kit d'évaluation STR-NCP171-EVK. L'EVK est conçu pour être utilisé avec l'environnement de développement intégré Strata Developer Studio d'ON Semiconductor, qui fonctionne sur PC. L'EVK se connecte à l'IDE via un câble USB et peut ensuite être utilisé pour tester les capacités du LDO, par exemple l'activation/la désactivation du LDO et la commutation entre le mode actif et le mode basse consommation. L'EVK et l'IDE permettent également à l'ingénieur de configurer et de surveiller d'autres

paramètres de fonctionnement du LDO, notamment la tension d'entrée et de sortie, la dissipation de puissance et la température du dispositif.

Conclusion

Un LDO sélectionné avec soin simplifie la conception de l'alimentation d'un dispositif corporel, tout en garantissant une tension et un courant stables. En choisissant un LDO avec un faible courant à la terre et en réduisant la différence entre ses tensions d'entrée et de sortie, le concepteur peut atteindre un rendement proche de celui d'un régulateur à découpage.

L'autonomie de la batterie d'un dispositif corporel peut encore être améliorée en choisissant parmi une nouvelle génération de LDO offrant différents modes de fonctionnement, sélectionnés grâce à une broche dédiée et conçus pour limiter la dissipation de puissance lorsque le dispositif portable est en mode veille pendant une période prolongée. Les fournisseurs de puces accompagnent généralement le LDO d'outils d'évaluation permettant au concepteur de tester les meilleurs paramètres pour optimiser l'autonomie de la batterie du dispositif.

www.digikey.fr/fr/articles/techzone/2019/nov/use-adjustable-low-leakage-ldos-to-extend-battery-life-in-wearable-designs