

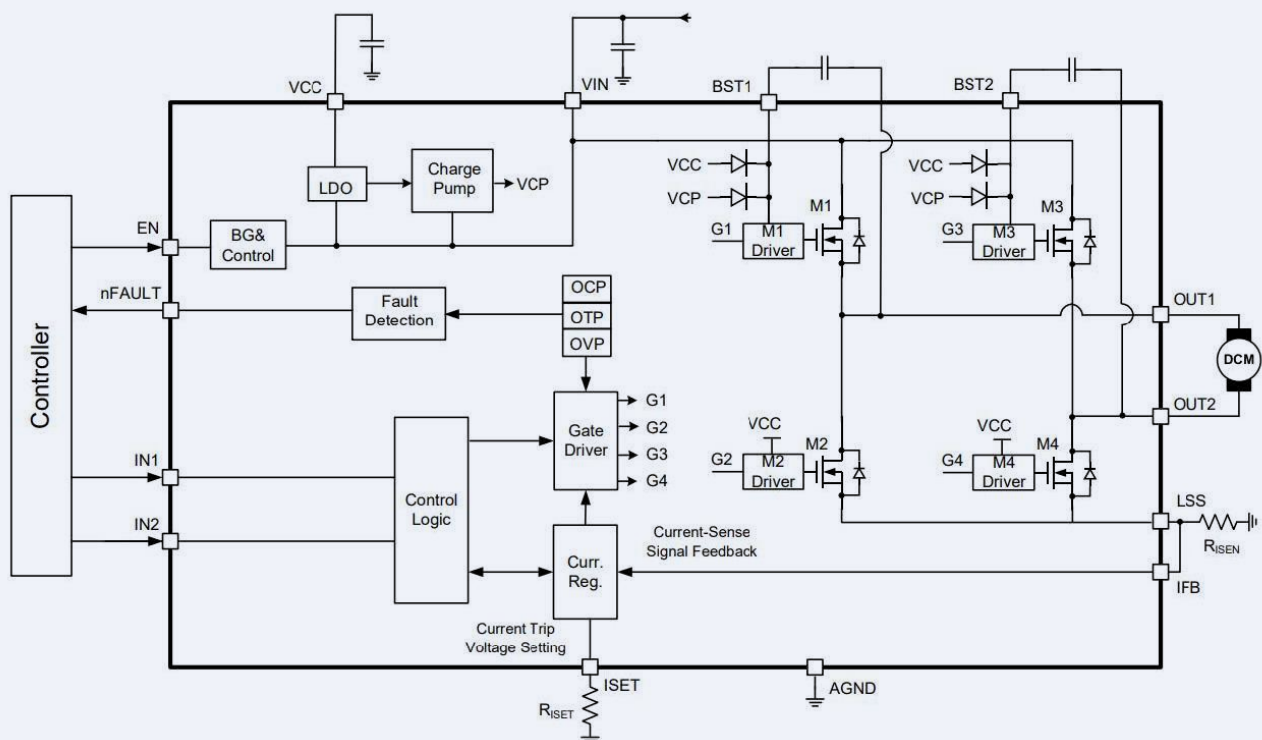
carte d'interface pour pilote de moteur

un BoB pour un pilote de moteur à courant continu de 5 A
avec une taille de 3x3 mm

Edwin van den Oetelaar (Pays-Bas)

Les makers et les étudiants d'aujourd'hui sont souvent pressés et n'ont pas les compétences nécessaires pour concevoir et souder des circuits électroniques. Ils sont plus intéressés par les *shield* et la manipulation d'un fer à souder est un défi. C'est pourquoi j'ai développé un circuit imprimé pour le pilote de moteur MP6619 de Monolithic Power Systems, qui peut être utilisé dans le cadre de projets basés sur des moteurs.

Figure 1. Schéma fonctionnel. (Source : Systèmes de puissance monolithiques [1])



© Monolithic Power Systems; www.monolithicpower.com

Cet article est un voyage à la découverte du MP6619 *breakout board* (BoB). Cette puce est un nouveau pont en H compact pour contrôler les moteurs électriques CC à balais bon marché et les solénoïdes. Ces moteurs CC sont les plus accessibles et les plus abordables pour les amateurs de petits robots, de modélisme et de projets créatifs. Ceci est une histoire sur le cheminement éducatif que j'ai dû parcourir pour développer et tester cette petite carte.

L'aventure commence

Un jour, j'ai reçu un courriel d'un distributeur de composants à propos d'un tout nouveau composant de pont en H : le MP6619. La **figure 1** montre son schéma fonctionnel interne. Ce minuscule « miracle » de seulement 3×3 mm avec des spécifications impressionnantes telles que 24 V et 5 A a attiré mon attention (voir le cadre **Caractéristiques de la puce**). Comment cela est-il possible ? Autant de courant, pas de dissipateur, et toutes les caractéristiques de protection dans un boîtier aussi minuscule ? Je me suis dit qu'il s'agissait d'un discours marketing. Les alternatives sont facilement dix fois plus grandes.

Ma curiosité a été piquée, et j'ai voulu savoir si c'était vrai et si cela serait utile pour mes projets. J'en ai donc commandé quelques-uns. Deux jours plus tard, ils étaient sur mon bureau : wow, ils étaient si petits ! Seulement 3×3 mm avec 0,2 mm entre les contacts et pas de pattes. Dans quoi me suis-je fourré ?

Je plonge la tête la première dans le sujet. Malgré le faible prix d'environ 2,50 €, les petites dimensions et l'empreinte inhabituelle du MP6619 se sont avérées ne pas être directement applicables à mes projets. Il fallait une carte de liaison (*break-out board* ou BoB) qui rendrait le MP6619 plus maniable et adaptée aux tests et à l'intégration.

Mais il n'y avait pas de BoB disponible pour ce minuscule composant à 19 contacts logé dans un boîtier QFN-19. J'ai donc dû développer moi-même une telle carte. Mon aventure avec le pont en H MP6619 a commencé !

Conçu avec KiCad

Pour développer une carte MP6619, j'ai commencé par étudier la fiche technique [1] et dessiner le schéma dans KiCad. J'ai d'abord dessiné le symbole et l'empreinte (qui n'étaient pas disponibles dans la bibliothèque ou dans SnapEDA), puis j'ai attaqué la platine.

J'ai porté une attention particulière à l'emplacement de la résistance de shunt $R_{(i-sense)}$ et à la connexion des plots d'alimentation. Cette résistance shunt est utilisée pour mesurer le courant des pilotes MOSFET. Cette mesure est cruciale pour le bon fonctionnement de la carte. La chute de tension à travers les traces doit également être prise en compte, lors du routage du circuit imprimé.

Caractéristiques de la puce

- Il ne s'agit pas d'un simple discours marketing : la puce peut en effet supporter 24 V et 5 A. Elle est bien protégée contre les surcharges et les courts-circuits, et se rétablit de manière fiable en cas de défaillance.
- L'ajout d'une bobine d'arrêt ou d'un filtre améliore considérablement les performances. La nécessité d'un tel ajout dépend de l'application et du moteur.
- Les MOSFET à canal N intégrés ont un faible $R_{ds(on)}$ de 65 mΩ, ce qui est essentiel pour limiter la dissipation. Les circuits boost nécessaires pour piloter leurs grilles sont également intégrés. Leurs condensateurs sont connectés en externe.
- La puce MP6619 n'a pas de broches afin d'obtenir une bonne performance thermique dans un boîtier QFN-19.
- Les pastilles de l'empreinte sont très longues dans le but de dissiper la chaleur de la puce vers le circuit imprimé.
- Le circuit imprimé doit être conçu avec soin, en tenant compte à la fois des exigences électriques et des exigences thermiques.

La protection contre les surintensités (OCP, pour l'anglais *Over-Current Protection*) est réglable à l'aide d'une résistance externe. Sans cela, la puce s'éteint lorsque la tension à travers la résistance de shunt atteint 200 mV. La fiche technique suggère un shunt de 0,04 Ω, ce qui limite le courant maximal à 5 A ($V = I \times R$). En ajoutant une $R_{(i-set)}$ de 80 kΩ, la limite est fixée à 100 mV, ce qui permet de réduire la limite de courant en utilisant la même résistance shunt. D'autres valeurs de résistance sont également possibles. J'ai choisi un shunt de 0,05 Ω pour mon premier test, car je l'avais dans mon tiroir. Il en résulte une limite de courant de sortie de 4 A.

J'ai rapidement réalisé la première version du circuit imprimé du BoB sans étude approfondie, parce que j'avais hâte de commencer les tests, mais je me suis réjoui trop tôt. Le premier BoB comprenait deux puces MP6619, des LED, des résistances, des condensateurs et des connecteurs. À cette époque, je pensais encore que des borniers PCB seraient utiles. Quatre couches de cuivre étaient nécessaires, j'ai placé de nombreux vias, un plan de masse, et j'ai utilisé les traces les plus larges possibles en raison des courants élevés. C'était le travail d'une journée. Une semaine après avoir envoyé les fichiers à un fabricant chinois, j'avais les cartes sur mon établi. La soudure des QFN a été le plus grand défi, car les puces étaient plus petites que tout ce à quoi j'étais habitué.

Pour mettre le QFN en place avec toutes les connexions correctes, il fallait un stéréomicroscope, un bon fer à souder à température contrôlée, un fer à souder à air chaud, beaucoup de flux et encore plus de patience.

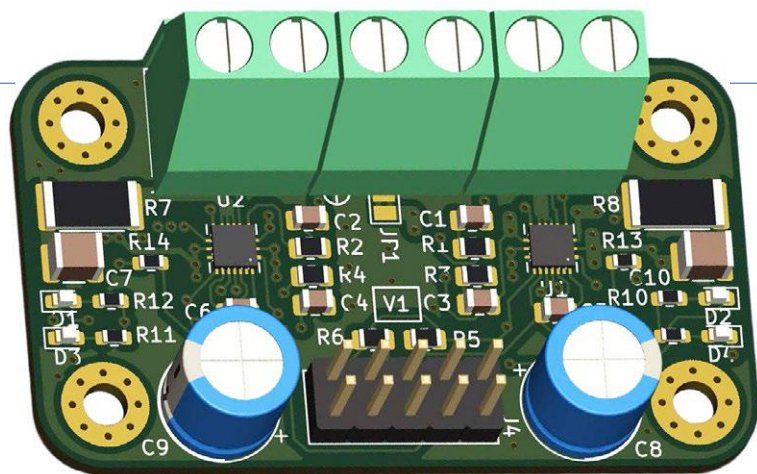


Figure 2. Modèle 3D du premier circuit imprimé.

Une fois le QFN en place et la sueur essuyée du front, les autres composants CMS « normaux » sont devenus un jeu d'enfant, ils semblent gigantesques par rapport au QFN. La plage de soudure pour le bornier du circuit imprimé est plus grande que la puce QFN entière (**figure 2**) ! J'ai posté cette première version sur le site d'Elektor Labs [2].

Premiers essais

Les premiers essais ont été réalisés avec un petit moteur à courant continu [3] qui se trouvait sur mon établi. Il s'agissait d'un modèle simple de 12 V avec un courant de décrochage inférieur à 5 A (**figure 3**). Le MP6619 est constitué en interne de deux demi-ponts, chacun ayant une entrée (IN1, IN2). La puce elle-même assure la synchronisation correcte des MOSFET côté haut et côté bas afin qu'aucun court-circuit ne se produise entre les rails d'alimentation. La puce est protégée contre tous les problèmes typiques. Ses fonctions intégrées UVLO (verrouillage en cas de sous-tension), OVP (protection contre les surtensions), OCP (protection contre les courants trop forts), et OTP (protection contre les températures trop élevées) devraient gérer en toute sécurité presque toutes les situations d'erreur, ce que nous allons voir !

Connexion de IN1, IN2 et EN

Les entrées sont équipées de résistances de rappel vers le bas. Dès que l'entrée EN reçoit un haut niveau,

la puce est activée, et le régulateur de tension interne commence à fonctionner. À ce moment, la sortie VCC du MP6619 fournit une tension de 5 V. J'ai utilisé un petit condensateur de découplage de 100 nF pour stabiliser cette tension. Si les 5 V sont présents, les MOSFET à canal N deviennent également actifs. En fonction des niveaux d'entrée à IN1 et IN2, les MOSFET côté haut ou côté bas sont commutés.

Les entrées supportent des niveaux logiques de 3,3 V à 5 V. Il n'y a donc pas de problème pour connecter le BoB à un ESP32 ou à un Arduino. Pour mes premiers tests, j'ai utilisé des interrupteurs pour appliquer 3,3 V aux entrées, et j'ai connecté le moteur aux sorties du BoB.

Succès partiel

Mon moteur ne voulait pas tourner, la sortie *nFault* est immédiatement passée au niveau bas (la LED d'indication d'erreur s'est allumée), mais je n'avais pas de court-circuit à la sortie. Une réduction significative de la tension d'entrée m'a finalement permis de faire tourner lentement le moteur dans les deux sens. Il est important de noter que je n'avais pas encore connecté un signal PWM pour contrôler la vitesse.

J'ai expérimenté en diminuant la résistance du shunt et en augmentant la résistance R_{set} pour faire tourner le moteur, ce qui a finalement abouti à une erreur humaine : 12 V sur IN1, avec un BoB brûlé en conséquence, et un profond soupir de frustration. Le circuit imprimé est parti en fumée, et j'ai dû garnir un nouveau BoB avec des composants.

Un autre BoB et d'autres tests

Finalement, j'ai découvert que le moteur est équipé de condensateurs de suppression de bruit connectés en parallèle au collecteur. Par conséquent, le moteur se comporte de manière moins inductive et plus capacitive. L'OCP se déclenche donc immédiatement en cas de pic de courant dans le moteur. Cette « surcharge » provoque un délai de 1 ms avant que le MP6619 n'essaie à nouveau. Ce processus se répète encore et encore, ce qui entraîne un son faible et grinçant du moteur. La suppression de ces condensateurs aide partiellement à contrôler le moteur à des tensions un peu plus élevées. Pendant ce temps, après avoir étudié la fiche technique plus attentivement, j'avais également des nouvelles pistes pour améliorer ma carte BoB et j'ai décidé de créer une nouvelle version.

Nouvelle conception et disposition

Pour ma deuxième version, la conception et la disposition ont dû être ajustées. J'ai apporté les modifications suivantes :

- Une seule puce MP6619.
- La position du shunt a été revue.
- Un en-tête à broches de 0,1" à la place des borniers ; pas de trous de fixation.



Figure 3. Les premiers tests ont été effectués avec un motoréducteur planétaire à courant continu. (Source : E-S Motor / RobotShop [3])

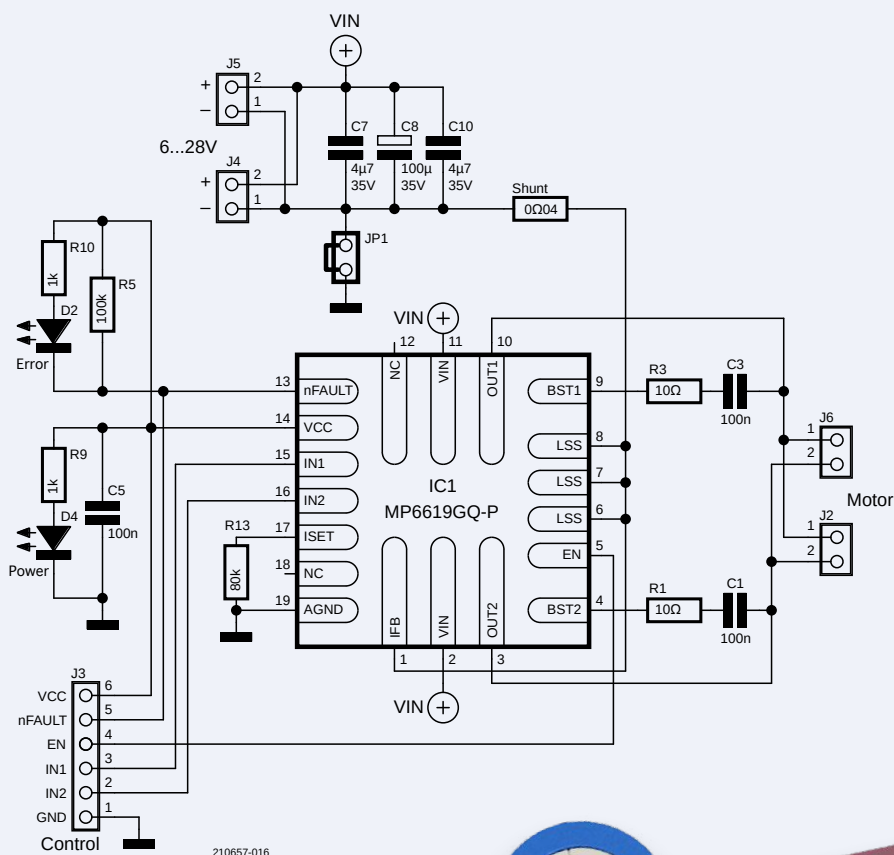


Figure 4. Les schémas révisés du BoB.

► Une sérigraphie claire ; seulement le nombre minimal de composants.

Cela a donné un nouveau schéma (figure 4) et par la suite aussi un nouveau PCB (figures 5 et 6) avec quatre couches et des dimensions d'environ 25 mm × 25 mm, inséré dans un panneau de production avec une finition ENIG (nickel chimique immersion or). Après avoir câblé le BoB, j'ai obtenu un module vraiment compact, qui, je crois, peut être contrôlé par presque tous les microcontrôleurs.

Autres tests et expériences

J'ai utilisé le même moteur que pour le premier test. L'OVP et l'ULVO se sont bien comportés. Maintenant, je l'ai essayé avec le contrôle PWM pour réaliser le contrôle de la vitesse. Les tests avec des fréquences de 1 kHz à 50 kHz ont donné le comportement attendu : le moteur était bien contrôlable. L'exemple de la fiche technique utilise 20 kHz, et cela a bien fonctionné à basse tension.

Mais, à des tensions plus élevées, l'OCP s'est à nouveau manifesté et le moteur s'est arrêté. En ajoutant une inductance supplémentaire de 220 µH (comme celle de la figure 7) en série avec le moteur, le comportement du contrôle a été significativement amélioré, et la plage de vitesse a été augmentée.

En conséquence, le moteur a fourni plus de puissance et l'OCP s'est déclenché moins souvent. Avec ces inductances supplémentaires, la solution semble pouvoir être utilisée dans des projets.

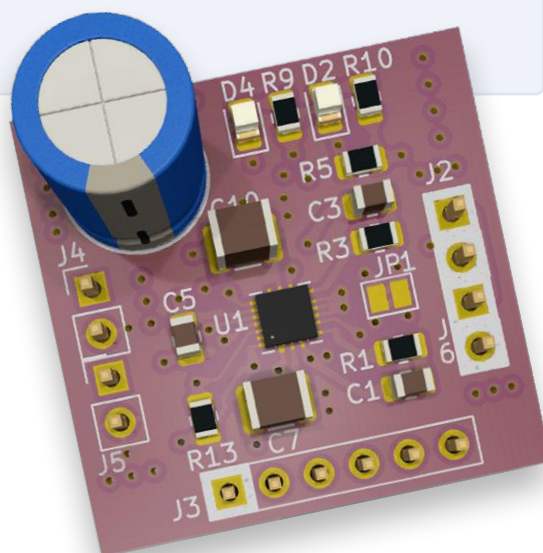


Figure 5. Modèle 3D du BoB de 25×25 mm (face supérieure) constitué de quatre couches et d'une finition ENIG.



Figure 6. Modèle 3D du BoB (face inférieure) avec des têtes de broches.

Figure 7. Une inductance à noyau toroidal en série avec le moteur améliore le comportement du BoB.

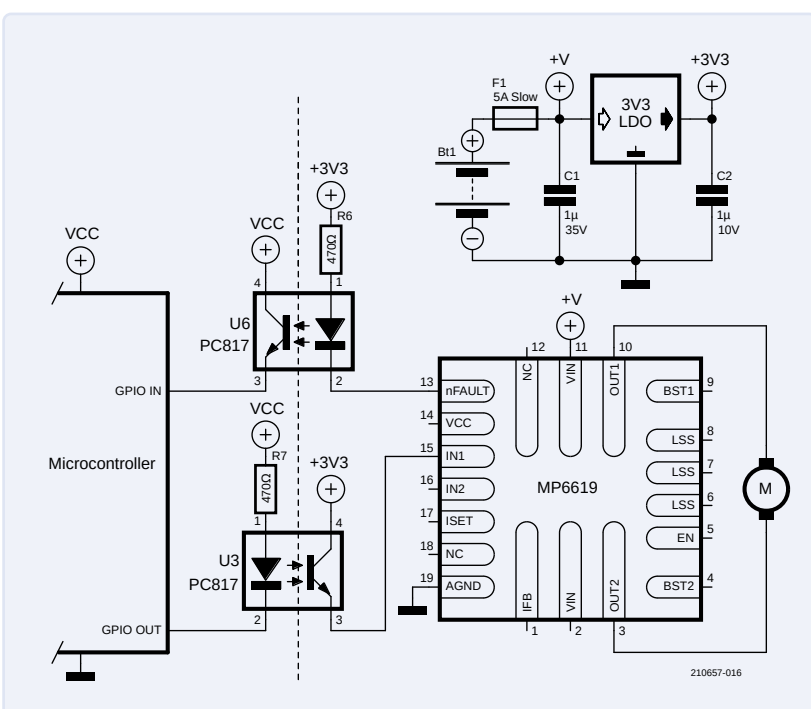


Dans certaines conditions, le moteur restitue de l'énergie qui retourne dans le pont en H. Cette énergie est déversée sur le circuit de puissance. Elle est déversée sur les rails d'alimentation à travers les diodes des MOSFETs, car le moteur fonctionne également comme un générateur (EMF d'un moteur à courant continu). Dans mes tests, j'ai utilisé un condensateur électrolytique C8 à faible ESR en parallèle à la source d'alimentation. Avec cette dernière amélioration, le BoB était stable.

Optocoupleurs

La **figure 8** montre mon circuit de test. J'ai décidé d'utiliser des optocoupleurs pour fournir une isolation galvanique entre le côté commande et les pilotes de moteur, parce que l'alimentation d'un moteur comporte généralement des niveaux de bruit considérables. Les interférences électromagnétiques peuvent également poser des problèmes. L'isolation réduit le

Figure 8. Ce circuit avec des optocoupleurs placés entre le microcontrôleur et le BoB a été utilisé pour les tests.



Résistances

(CMS 0805)

R1, R3 = 10 Ω

R5 = 100 k Ω

R8 = 0 Ω 04, 2 W, CMS 2512

R9, R10 = 1 k Ω

R13 = 80 k Ω

Condensateurs

C1, C3, C5 = 100 nF, 50 V, CMS 0805

C7, C10 = 4,7 μ F, 35 V, CMS 1210

C8 = 100 μ F, 35 V, électrolytique, $\varnothing$ 8 mm

Semi-conducteurs

D2 = LED, rouge, CMS 0806

D4 = LED, verte, CMS 0805

IC1 = MP6619GQ-P, QFN-19

Divers

J2, J4, J5, J6 = Connecteur à 2 broches, 1/10" (2,54 mm)

J3 = Connecteur à 6 broches, 1/10" (2,54 mm)

Platine BoB (voir texte)

risque d'interférence dans les signaux basse tension et empêche les fortes impulsions générées par le moteur et son pilote d'atteindre le microprocesseur sensible et d'autres composants électroniques.

Les LED d'entrée des optocoupleurs peuvent être pilotées directement à partir d'une broche du microprocesseur à l'aide d'une résistance de 470 Ω en série. Côté sortie, l'émetteur du phototransistor est connecté à l'IN1 du BoB, et donc à l'entrée du MP6619. Son collecteur est connecté à une tension logique fournie par un régulateur de tension LDO de 3,3 V alimenté par l'alimentation du moteur, dans mon cas, une batterie. C'est suffisant pour assurer un fonctionnement fiable et stable.

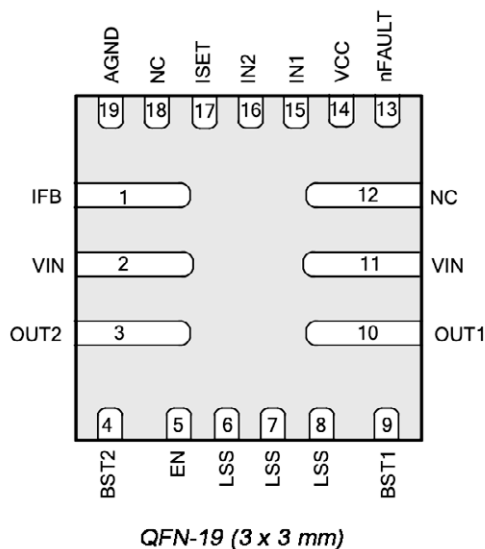
La Figure 8 montre également comment on peut amener le signal *nFault* du pont en H (sortie à drain ouvert) vers le microcontrôleur via un optocoupleur de la même manière que dans l'autre sens. Dans ce cas, le port du microcontrôleur connecté aura besoin d'une résistance de rappel vers le bas.

Boîtiers QFN

Les boîtiers FCQFN (**figure 9**) peuvent avoir des pastilles de forme irrégulière, souvent disposées en bandes longues et étroites. Contrairement aux boîtiers QFN ordinaires, la chaleur est dissipée par plusieurs de ces pastilles au lieu d'un grand plot central. Cela pose quelques défis pour la conception des circuits imprimés, car il y a de nombreux contacts, tous avec des signaux différents, qui doivent être connectés avec des zones de cuivre.

De petits vias peuvent être placés à l'intérieur des zones de plots (via dans PAD). Sur les circuits imprimés multicouches dotés de plans d'alimentation et de masse, les vias peuvent directement relier ces pastilles aux plans. Dans d'autres cas, le cuivre doit être

TOP VIEW



◀ Figure 9. Brochage du boîtier QFN-19 du MP6619.
(Source : Monolithic Power Systems [1])

de conception et de production sont open-source et peuvent être consultés sur ma page GitHub [5]. Le MP6619 est largement disponible en petites quantités auprès de distributeurs tels que Farnell, Mouser, et directement auprès de Monolithic Power Systems. ➡

VF : Maxime Valens — 210657-04

À propos de l'auteur

Edwin van den Oetelaar est ingénieur chez Fontys ICT, aux Pays-Bas. Il est membre du groupe de recherche sur les logiciels embarqués de haute technologie, dirigé par le professeur Teade Punter. Spécialiste du développement de matériel et de logiciels, Edwin se réjouit d'avoir l'occasion de s'attaquer à divers projets techniques. Ses compétences couvrent un large éventail de domaines, tels que les flux de données, les appareils intelligents, les soins de santé, l'IdO, le traitement d'images et l'IA appliquée.

Questions ou commentaires ?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

directement fixé aux plages pour dissiper la chaleur du circuit intégré vers de plus grandes surfaces de cuivre. Un guide d'implantation est disponible à l'adresse [4]. Le plus grand obstacle que j'ai rencontré lors de ce projet a été la soudure de la puce MP6619. Pour surmonter ce problème, j'ai expérimenté diverses techniques. J'ai finalement réussi avec beaucoup de flux, de soudure au plomb et d'air chaud, mais c'est resté un défi de placer la puce avec précision.

Une fois en place, la tension superficielle de la soudure fondue garantit que la puce est correctement alignée sur les plots. Beaucoup d'entraînement s'est avéré nécessaire. Ma conclusion est d'acheter une plaque chauffante pour simplifier le processus de soudure.

Épilogue

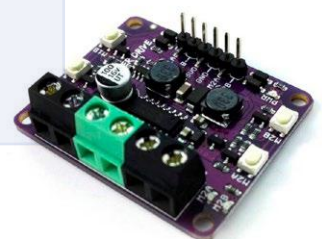
Dans cet article, j'ai partagé mes expériences dans la conception et la construction d'une carte d'interface pour le pilote de moteur à pont en H MP6619. J'ai expliqué l'importance d'utiliser des optocoupleurs pour fournir une isolation électrique. J'ai aussi partagé mes idées sur le travail avec des boîtiers QFN à puce retournée et les défis impliqués dans le soudage de petits composants.

Le circuit imprimé MP6619 offre une solution très compacte pour piloter des moteurs CC à balais bon marché, ce qui en fait un excellent choix pour les amateurs et les makers qui construisent de petits robots et d'autres projets créatifs. Tous les fichiers



Produits connexes

- **Dogan Ibrahim, Motor Control - Projects with Arduino & Raspberry Pi, Elektor 2017**
<https://elektor.fr/18322>
- **Cytron Maker Drive - Commande de moteur à pont en H**
<https://www.elektor.fr/cytron-maker-drive-h-bridge-motor-driver>
- **Peter Dalmaris, KiCad 6 Like a Pro — Fundamentals and Projects (E-book), Elektor 2022**
<https://elektor.fr/20159>



LIENS

- [1] Fiche technique MP6619 @ Monolithic Power Systems : <https://tinyurl.com/452pk4sv>
- [2] Première version sur Elektor Labs : <https://tinyurl.com/299prw8n>
- [3] Motoréducteur planétaire à courant continu : <https://tinyurl.com/23nxnr4k>
- [4] Lignes directrices pour l'implantation du circuit imprimé du circuit d'attaque du moteur - Partie 2 : <https://tinyurl.com/2p8ry9hd>
- [5] GitHub de l'auteur : <https://github.com/edwin-oetelaar>