Implantation d'un système de mesure de courant USB pour analyser la consommation des périphériques

par Graham Brown, Future Technology Devices International (FTDI)

A l'heure où l'amélioration des rendements énergétiques et l'allongement de la vie des batteries sont de plus en plus d'actualité, les fabricants doivent s'assurer de bien maitriser les caractéristiques de consommation de leurs produits. L'ajout de nouveaux modes d'alimentation aux spécifications USB, rend plus difficile l'estimation réaliste du courant tiré de l'hôte USB par les différents dispositifs qu'il alimente. L'article qui suit, décrit comment créer un système capable de mesurer la tension appliquée et le courant traversant une connexion USB, afin de permettre d'étudier avec précision les différents modes d'alimentation qui doivent désormais être supportés.

Auparavant, l'utilisation d'un hôte USB comme alimentation était assez simple ; cela se limitait à fournir des courants relativement faibles à des périphériques informatiques. Cependant, la popularisation de cette interface l'a rendue de plus en plus importante comme source d'alimentation, et non plus seulement comme interconnexion de données. Les évolutions des spécifications USB se traduisent désormais par une capacité à fournir des courants beaucoup plus élevés (jusqu'à 1.8A), grâce à de nouveaux modes d'alimentation. Cela permet notamment de recharger les batteries de produits grand-public ou d'autres dispositifs externes.

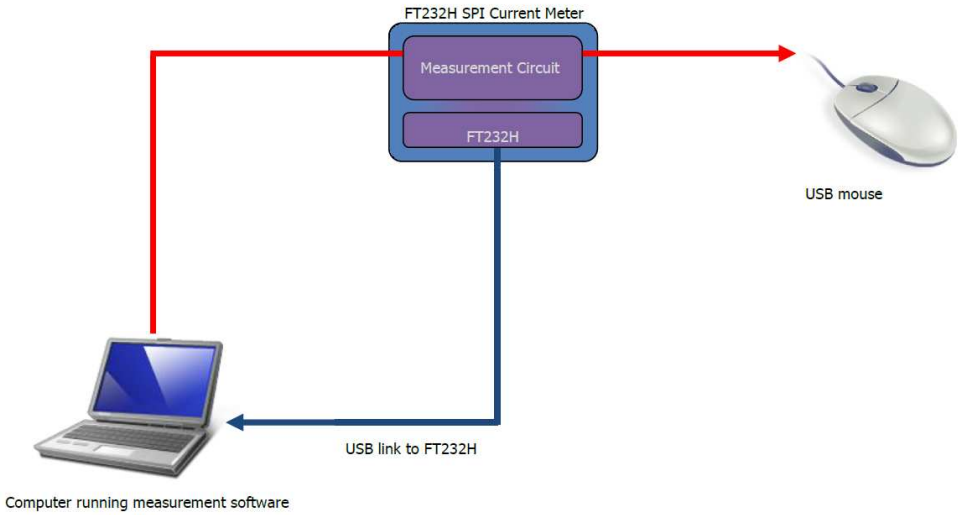


Figure 1 : Mesure du courant tiré par un périphérique

Le système évoqué prendra la forme d'un simple système de mesure de tension et de courant, que l'on peut raccorder lui-même à une autre prise USB, pour mesurer la tension VBUS et le courant que le périphérique USB tire de l'hôte. La Figure 1 décrit les principaux éléments de ce système, avec un ordinateur portable relié à un périphérique (dans le cas présent, une souris). Le système mesure le courant et les niveaux de tension de la connexion VBUS avec la souris, et envoie les résultats à l'ordinateur portable sur un autre port USB. Deux ports hôte sont donc nécessaires sur l'ordinateur portable. Un circuit de conditionnement analogique convertit la tension et le courant à des niveaux adaptés pour permettre leur mesure par deux CAN (convertisseur analogique-numérique). Les CAN utilisés dans cet exemple sont des Microchip MCP3201-B à interface SPI intégrée. Un pont USB rapide (480 Mbits/s) monocanal FT232H, lit les valeurs en sortie de CAN et les envoie, par une autre connexion USB, à l'ordinateur portable capable de les afficher. Un logiciel, écrit en Visual Basic 2008, contrôle le MPSSE (Multi-Protocol Synchronous Serial Engine, ou moteur série synchrone multi-protocoles) du FT232H. Des commandes de la

bibliothèque FTDI D2xx permettent de configurer le MPSSE, pour qu'il se connecte aux CAN grâce à l'interface SPI.

L'UM232H est un module de développement pour le circuit pont FT232H. Celui-ci peut se brancher sur une planche de test ("breadboard") ou un support de CI, et comprend les divers composants externes nécessaires à la réalisation d'un projet USB efficace. Il est doté d'un connecteur USB mini-B, d'un oscillateur à quartz servant d'horloge de base au système, et d'une mémoire EEPROM pour stocker les paramètres spécifiques. Le système de mesure du courant, qui se compose d'un petite carte sur laquelle on trouve le module UM232H et les circuits analogues complémentaires, est détaillé en Figure 2. L'ensemble dispose de trois ports USB en tout. Le premier est le connecteur femelle mini-B du module UM232H, qui relie le FT232H à l'ordinateur portable sur lequel tourne l'application. Le deuxième et le troisième servent à connecter la carte en série avec une liaison USB existante. Le port amont est un USB type B femelle, que l'on connecte à l'aide d'un câble USB A-B standard à l'hôte du port USB à tester. Le périphérique se branche dans le connecteur USB type A femelle du système de mesure, et se comporte comme s'il était relié directement à l'hôte. Les lignes de données USB de ces différentes liaisons doivent être aussi courtes que possible et d'égale longueur, pour éviter les problèmes d'intégrité de signal, puisqu'elles font partie de la liaison USB entre l'hôte et le périphérique USB qu'il alimente.

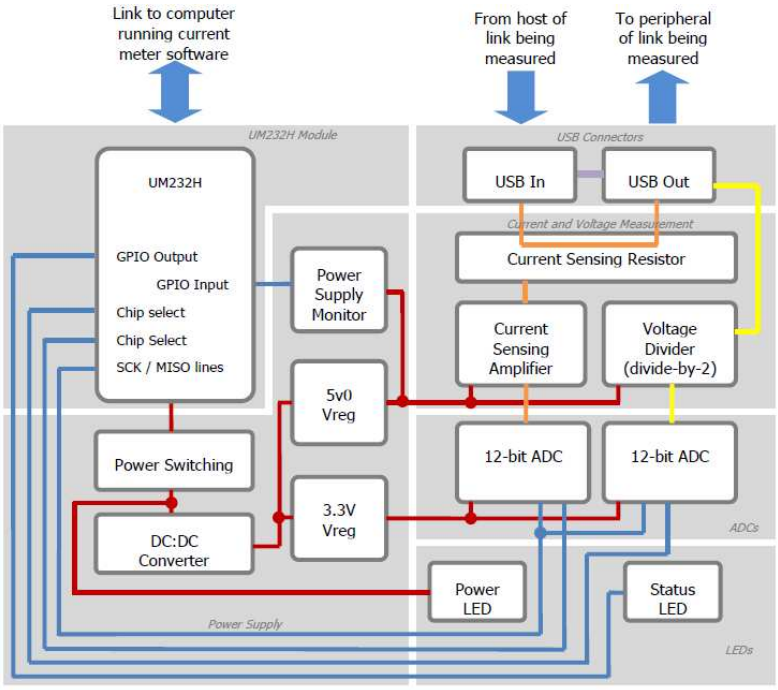


Figure 2 : Schéma fonctionnel des éléments du système de mesure de courant USB

Le signal PWREN# du FT232H permet de commander l'alimentation du circuit de mesure une fois l'énumération terminée. Il désactive également l'alimentation, quand le pont est mis en mode veille USB, pour respecter les 2.5 mA de courant maximum en mode veille de la spécification USB. Un MOSFET canal-P permet de commuter l'alimentation 5V du convertisseur continu-continu, qui à son tour commande le reste du circuit. Le convertisseur continu-continu TMA0512S de Traco d'une puissance de 1W, a été retenu ici. Le convertisseur continu-continu convertit l'alimentation 5V du circuit de commutation en 12V. Des régulateurs sont utilisés ensuite pour obtenir un rail 5V pour l'amplificateur de mesure de courant, et un rail 3.3V pour les CAN (convertisseurs analogique-numérique). Ceci fournit une source de tension bien plus stable pour les circuits analogiques, par rapport à l'utilisation directe de l'alimentation USB pour le circuit 5V et le régulateur 3.3V. Un CI superviseur d'alimentation sert à détecter si l'alimentation des circuits analogiques tombe en panne, ou chute à un niveau anormalement bas. Dans notre exemple, un CI superviseur Microchip MCP120-450DI/TO IC est utilisé. En cas de défaut, la sortie à collecteur ouvert, qui est reliée à une broche GPIO (General Purpose Input/Output, ou E/S à usage général) du FT232H, est mise à l'état Bas. Ceci permet par exemple d'indiquer à l'application que les mesures effectuées ne sont pas valables.

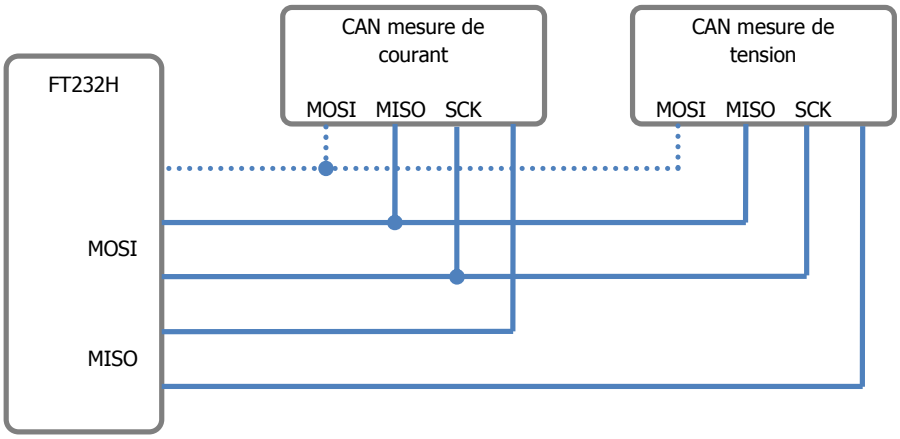


Figure 3 : Connexions SPI entre UM232H et CAN

Les deux CAN sont reliés à l'interface SPI du module UM232H. L'un de ces deux CAN mesure la tension en sortie de l'amplificateur de détection de courant (qui fournit une tension V_{range} entre 0 et 3.3V grâce à une résistance de sortie), tandis que l'autre mesure la tension VBUS par l'intermédiaire d'un diviseur (qui divise par deux le niveau VBUS normal de 5V, puisque la tension d'entrée maximum du CAN est de 3.3V). Les lignes MISO (SPI Master-In/Slave-Out) et SCK (SPI ClocK) sont reliées aux deux CAN du FT232H. Chaque CAN dispose également de sa propre ligne CS (Chip Select, ou sélection de circuit). Puisque les CAN n'ont besoin d'aucune donnée en provenance du maître, la ligne MOSI (Master-Out/Slave-In) n'est pas connectée. Néanmoins, dans d'autres applications elle pourrait être reliée à la broche correspondante du périphérique.

Le mode SPI "0" est utilisé dans cet exemple, ce qui signifie que les données sont synchronisées sur front montant, et que l'état de repos de l'horloge est Bas. Les états initiaux des broches du FT232H et des commandes de données du MPSSE, ont été choisis pour sélectionner ce mode dans le MPSSE.

Mesure de courant et de tension

Le circuit de mesure de courant se compose d'une résistance de détection et d'un amplificateur de détection de courant. Dans cet exemple particulier, un Maxim MAX4172 est utilisé. Le courant passe entre les broches 5V (VBUS) des connecteurs USB "In" et USB "Out", à travers la résistance de détection, qui convertit le courant en petite tension aux bornes de la résistance. Une résistance de 0.2Ω donne une valeur entre 0 et 100 mV, en fonction du courant qui la traverse. Ceci donne une gamme de mesure de 0 à 500 mA. À 500 mA, la tension à travers la résistance est de :

$$0.2\Omega \times 0.5A = 100\ mV$$

Cette méthode fournit une mesure de courant relativement précise, mais n'est pas totalement non-intrusive, car la résistance provoque une chute de tension au niveau de l'alimentation du périphérique USB en cours de mesure. Le choix de la valeur de résistance dépend de l'amplificateur utilisé, et doit être un compromis entre bonne précision, et chute de tension d'alimentation du périphérique en cours de mesure minimale.

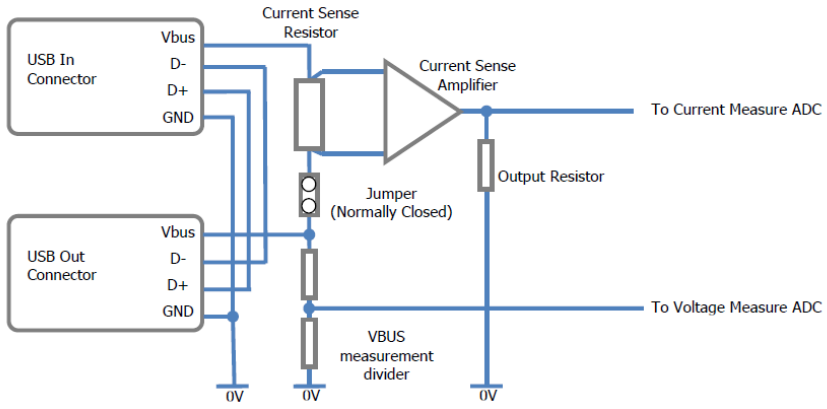


Figure 4 : Mesure de courant et de tension

L'amplificateur produit un courant proportionnel à la tension aux bornes de la résistance de détection. Une résistance de sortie externe convertit ensuite ce courant en une tension mesurable par le CAN. Dans le cas présent, la résistance de 3.3 kΩ fournit une plage de sortie de 0 à 3.3V. L'amplificateur est conçu pour la détection de courant, puisqu'il peut mesurer la tension aux

bornes d'une résistance, plutôt qu'une tension par rapport à la terre. Il peut ensuite convertir cette différence de tension flottante en tension référencée par rapport à la masse, indépendamment de la tension en mode commun aux bornes d'entrée. Quelques exemples sont fournis dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Exemples de détection de courant USB (avec résistance de détection 0.2Ω)

Intensité du courant USB	**Tension aux bornes de R_{sense}**	**Courant en sortie d'amplificateur**	**Tension en sortie d'amplificateur**	**Valeur CAN**
0mA	0mV	0mA	0V	0x000
250mA	50mV	0.5mA	1.65V	0x800
500mA	100mV	1mA	3.3V	0xFFF

La mesure de tension utilise un diviseur de tension par 2 à résistances, pour convertir la tension nominale 5V du bus USB en tension adaptée à l'entrée du CAN (gamme 0 à 3.3V). Le CAN doit normalement mesurer une tension de 2.5V. La mesure se fait après la résistance de détection, de manière à refléter la tension réelle fournie au périphérique en cours de mesure. Du fait de la chute de tension à travers la résistance, la mesure peut être jusqu'à 100mV inférieure à la tension VBUS effectivement fournie par le port hôte, en fonction de la valeur du courant. Pour les mesures de courant et de tension, le logiciel PC calcule la valeur réelle à afficher, en fonction de la valeur fournie par le CAN. Le logiciel est téléchargeable : http://www.ftdichip.com/Support/SoftwareExamples/MPSSE/i-SPI.zip

Cette implantation simple permet aux équipes techniques des fabricants de documenter et d'analyser la puissance consommée par leurs nouveaux produits, afin d'améliorer le rendement énergétique pour tous les modes d'alimentation utilisés. Elle permet donc de concevoir des produits portables de nouvelle génération, mieux optimisés pour la charge USB.