

Projet Electronique

Chargeur de batteries

Introduction :

L'objectif du projet est de créer un chargeur de batterie suivant les caractéristiques énoncées dans ce cahier des charges joint. Cela permettra d'exploiter des technologies telles que les batteries au lithium, la communication I2C, la gestion d'alimentation ou la conception de schéma électronique.

Cahier des charges :

Contraintes techniques

Caractéristiques de la batterie à charger

Pour ce projet, nous utiliserons une cellule de type Lithium-Ion (li-ion) et Lithium-Polymère (LiPo). Il sera par la suite possible d'intégrer la gestion des cellules Lithium Fer Phosphate (LiFePo4) à notre projet. De plus, une piste d'amélioration possible est d'ajouter une cellule à charger à notre projet pour un total de deux cellules en charge en parallèle.

Nous ciblons des cellules d'une capacité comprise entre 5 et 7 Ampères heures (Ah).

Voici une courte description de chaque type de cellules utilisées pour ce projet :

1. Li-ion (Lithium-ion)

- Tension : 3,6V nominale, charge jusqu'à 4,2V.
- Méthode de charge : Charge en deux étapes CC-CV (courant constant puis tension constante).
- Avantages : Haute densité énergétique, recharge rapide.
- Inconvénients : Sensible à la surcharge, risque de surchauffe.
- Protection en charge : Utilisation d'un BMS (Battery Management System) pour couper le courant une fois la charge complète atteinte et éviter les surcharges.

2. LiPo (Lithium Polymère)

- Tension : 3,7V nominale, charge jusqu'à 4,2V.
- Méthode de charge : Technique CC-CV avec surveillance constante, sensible aux variations.
- Avantages : Légèreté et flexibilité de forme, haute densité énergétique.
- Inconvénients : Fragile, risque de gonflement ou d'inflammation en cas de surcharge.
- Protection en charge : Surveillance renforcée pour maintenir le courant et la tension dans des limites sûres.

3. LiFePO₄ (Lithium Fer Phosphate)

- Tension : 3,2V nominale, charge jusqu'à 3,65V.
- Méthode de charge : Technique CC-CV, seuils de tension inférieurs à ceux des autres lithiums.
- Avantages : Excellente stabilité thermique, longue durée de vie même sous charge répétée.
- Inconvénients : Densité énergétique plus faible.
- Protection en charge : Le BMS surveille la charge pour éviter toute surcharge, bien que le risque thermique soit faible.

Modes d'alimentation

Le projet disposera de plusieurs modes d'alimentation distincts, permettant une certaine flexibilité à l'utilisateur. Il faut veiller à fournir la puissance nécessaire à notre circuit pour alimenter nos composants et charger notre cellule. Le courant de charge imposé est de 1A par cellule.

Le chargeur de batterie devra disposer :

- D'une alimentation par USB : Mode d'alimentation 5V, un port USB à définir permettra une connexion plus universelle et simplifiée à notre projet. Attention tout de même à fournir la puissance nécessaire pour charger la cellule et alimenter notre système.
- D'une alimentation par panneau solaire : Un panneau solaire doit pouvoir être connecté à notre système, ainsi nous pourrons charger nos batteries en journée. La tension maximale délivrée par le panneau solaire est de 28V. Il faut prendre garde à la variation de la tension au cours de la journée.
- D'une alimentation par 12V : Une alimentation externe de 12V doit aussi pouvoir être connectée à notre chargeur de batterie.

Protection et contrôle

Le projet devra intégrer un système de contrôle d'état de la charge, pour cela on utilisera un fuel gauge connectée en I2C à une carte ESP32 intégrant un écran. Ainsi nous pourrons contrôler, le courant de charge, le taux de charge et la tension de la cellule. Ce composant ouvrira de nouvelles possibilités telles qu'afficher le temps depuis lequel la cellule charge ou le temps restant.

Pour ce qui est de la partie protection, les cellules lithium étant des cellules très sensibles, il faut un système fiable et capable de prévenir d'éventuels problèmes. Dans notre cas, nous devons utiliser un composant de gestion de charge qui sera capable de :

- Protéger notre cellule contre la surcharge en interrompant la charge lorsque la tension maximale est atteinte.
- Protéger notre cellule contre la surintensité pour éviter les courants excessifs.
- Permuter les modes de charges au bon moment (passer d'une charge en courant constant à une charge en tension constante).
- Possibilité d'ajouter un contrôle de la température pouvant nous aider à couper la charge en cas de surchauffe.

Exigences Techniques

Composants CMS principalement :

- La plupart des composants du chargeur devront être en technologie CMS (Composants Montés en Surface) afin de minimiser l'encombrement du circuit, simplifier l'assemblage et réduire les coûts de fabrication.

Exclusion des boîtiers BGA :

- Les composants utilisant des boîtiers BGA (Ball Grid Array) devront être évités en raison des défis liés à leur assemblage et à leur accessibilité au cas où nous souhaiterions réaliser des mesures.

Contraintes de Conception

Coût minimal :

- Le chargeur devra être conçu de manière à minimiser le coût global tout en respectant les exigences techniques et fonctionnelles.
- Les choix des composants et des matériaux devront favoriser les alternatives low-cost, sans compromettre la sécurité et la qualité.

Reproductibilité :

- Le système doit être conçu pour être reproductible à grande échelle, avec des composants faciles à trouver sur le marché et une documentation claire pour l'assemblage et l'utilisation.

La conception devra être modulaire et flexible, permettant des modifications ou améliorations futures sans révision complète.

Maintenant que le contexte global du projet est posé, nous pouvons commencer à détailler chaque partie, en commençant par le circuit de gestion de charge, puis le circuit d'alimentation, et terminer par la gestion du code permettant de valider le fonctionnement de notre chargeur.

Partie Circuit de gestion de charge :

Cette partie concerne le choix et le design de l'écosystème autour du composant principal de notre projet. Ce circuit a pour but la régulation de la tension et du courant de charge de la batterie. A noter que ce composant ne gère pas la décharge de la batterie, l'utilisateur pourra se brancher directement sur les bornes de la batterie. D'après le cahier des charges, nous voulons un composant qui peut prendre en entrée une tension maximale de 28V (adapté au solaire), chargé notre batterie à 1 A maximum, charger une seule cellule et gérer dans un premier temps la charge des cellules lithium ion et lithium polymère.

Pour sélectionner le bon composant en fonction des caractéristiques du cahier des charges, nous avons utilisé un tableau comparatif des références de composant trouvées sur internet.

Ref	price	package	battery type	max charge current	number of cells	supply voltage
LI3640-4.2	\$11.6472	DFN 12(3x3)	Lithium-ion/Polymer	2A	1 cell	4.75V to 32V
MAX20094	\$5.0339	TQFN-28(5x5)	Lithium-ion/Polymer	1A	1 cell	3.5V to 36V
LI4089	\$4.9546	DFN 22-EP(3x6)	Lithium-ion/Polymer	1.2A	1 cell	6V to 36V
ISL625B	\$0.8284	DFN 10(3x3)	Lithium-ion/Polymer	1A	1 cell	4.3V to 28V
bq25050	1,48 €	WSON (10)	Lithium-ion/Polymer	1A	1 cell	3.55V to 28V
BQ2404x	1,05 €	WSON (10)	Lithium-ion/Polymer	1A	1 cell	3.5V to 28V
LI4091-DIC	10,640 €	DFN EP-22	Lithium-ion/Polymer	1.5A	1 cell	6V to 36V
LI3606EMSE	7,260 €	MSOP-EP	Lithium-ion/Polymer	2A	1 cell	4.75V to 32V
CN3761	Dispo en classe	10 Pin SSOP	Lithium-ion/Polymer	4A	1 cell	4.5V to 28V
DS6521A	Dispo en classe	SOT-23-6 & ESOP-8 & DFN2	Lithium-ion/Polymer	1A	1 cell	4.5V to 28V
HY2112	\$ 0.49	SOT-23-6	LiFePO4	-	1 cell	1.5V to 20V
HY2110 & HY2111	2,05 €	SOT-23-7	Lithium-ion/Polymer/LiFePO4	-	1 cell	max 20V
HY2113	0,18 \$	DFN 1.8*2.0 GL & SOT-23-6	Lithium-ion/Polymer	-	1 cell	max 20V
HY2116	0,14 \$	DFN 1.8*2.0 GL & SOT-23-6	Lithium-ion/Polymer	-	1 cell	max 20V
Serie HY21 et HY25 de hycontek non adapté car max 20V						
CN3796		eSOP8	Lithium-ion/Polymer	2,7A	1 cell	4,5V 6,5V
CN3791	1.71€	SSOP10	Lithium-ion/Polymer	4A	1 cell	4,5V 30 V
CN3781	USD 0.6023	SSOP10	Lithium-ion/Polymer	4A	1 cell	4,5V 30 V
DS6522A		DFN 2x2 BL & DFN 3x3 BL	Lithium-ion/Polymer	1A	1 cell	max 28V
IP4096		SOP	Lithium-ion/Polymer	1A	1 cell	0.3V ~ 8V

Figure 1 - Tableau comparatif des circuits de charge

Cette méthode nous permet selon nos critères de choisir correctement notre circuit. La principale contrainte est la tension d'entrée maximum de 28V. En conclusion de ce tableau, nous avons retenu deux circuits : le **DS6521** et le **CN3761**. Ces composants ont l'avantage d'être disponibles en salle de cours.

Nous avons donc choisi le **DS6521** de chez **DSTECH**, ce circuit est dans un package ESOP-8 ce qui respecte la contrainte de package CMS non BGA. Ce circuit possède les caractéristiques suivantes :

- Tension d'entrée de 28V ; avec protection contre les surtensions à 6V
- Précision de la tension de charge à 1 %
- Courant de charge programmable de 50 mA à 1 A
- Régulation thermique à 125°C
- Courant de fin de charge programmable de 5 mA à 100 mA
- Courant de précharge fixe à ISET / 10
- Fonctionnement conforme à la plage JEITA via NTC batterie – 1/2 du courant de charge rapide à froid, et 4,05 V à chaud
- Courant de fuite de la batterie très faible : 0,1 µA
- Fonction de protection contre la connexion inversée de la batterie

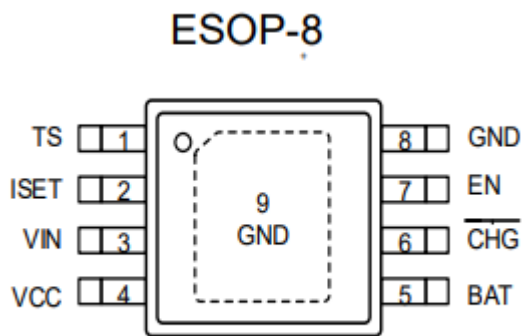


Figure 2 - Package et brochage du DS6521

Il nous a ensuite fallu réaliser le schéma autour de ce composant. Pour cela nous allons nous inspirer du schéma fourni par le fabricant dans la datasheet :

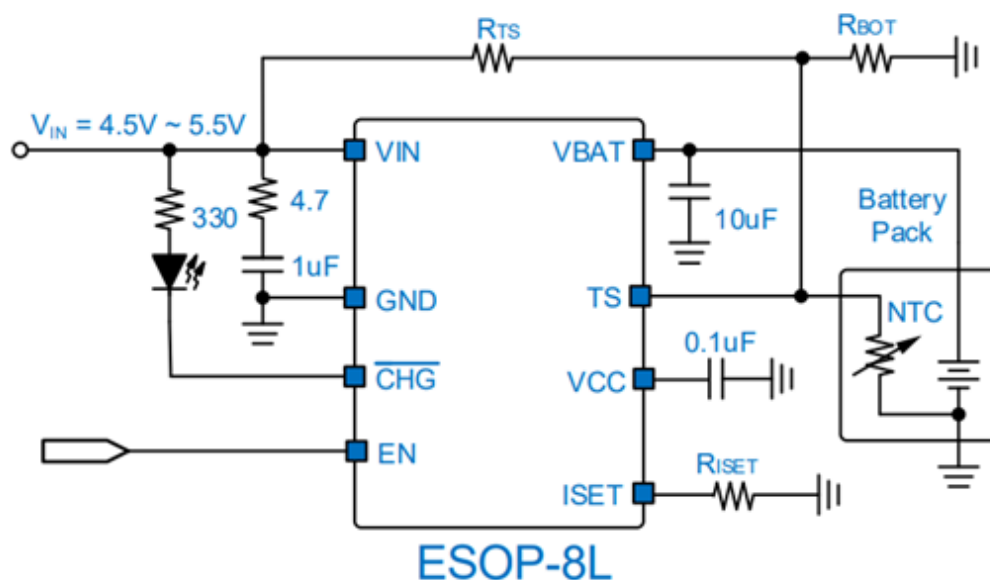


Figure 3 - Schéma classique

Dans un premier temps, nous utilisons un filtrage à l'entrée Vin : la résistance de 4,7 Ω et le condensateur de 1 μF forment un filtre RC qui stabilise la tension d'entrée. La résistance limite les courants d'appel lors de la mise sous tension. Le condensateur filtre les bruits et pics de tension parasites. Ensemble, ils protègent le circuit et assurent une alimentation plus propre. Ce montage améliore la fiabilité du système.

La broche CHG barre est à l'état haut lorsque la batterie ne charge pas, et passe à l'état bas lorsque la batterie charge. Contrairement au design recommandé, nous n'allons pas placer la led avec la résistance de 330 Ohm sur l'entrée Vin, mais plutôt sur la broche VCC. Le VCC du DS6521 est une source de tension 5V, ainsi si la tension d'entrée varie la résistance sera toujours bien dimensionnée car positionnée sur le VCC de 5V.

Function Block Diagram

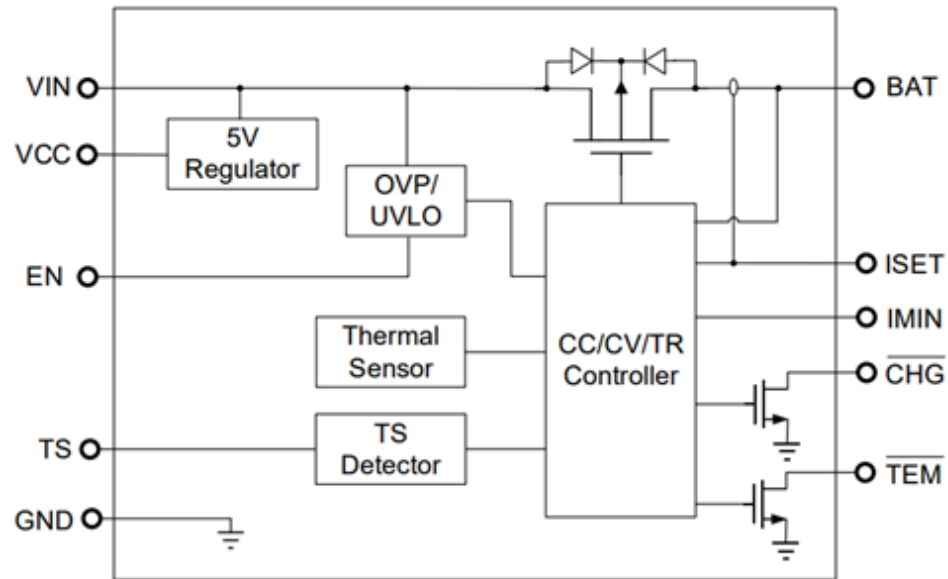


Figure 4 - Diagramme bloc du DS6521

La broche EN sert à l'activation du circuit, on la met à 5V lorsqu'on veut activer le circuit, cependant nous voulons toujours activer le DS6521 donc nous allons relier ce pin au 5V du VCC.

La broche ISET régle de courant de charge selon ces équations :

Program the Fast Charge Current , ISET

$$I_{CHG} = V_{ISET} / R_{ISET} * 1000$$

From the Electrical Characteristics table:

- $V_{ISET} = 1V$
- $R_{ISET} = 1V / 1A * 1000 = 1.0\text{ k}\Omega$

Selecting the closest standard value, use a 1.0 kΩ resistor between ISET and GND to have $I_{CHG}=1A$.

Figure 5 - calcul de ISET

Ainsi nous souhaitons une charge de 1A, donc nous allons utiliser une résistance de 1kOhm pour ce projet. Pour la phase de test, nous utilisons une batterie de plus faible capacité et donc avec un courant de charge réduit, ainsi nous allons diviser par trois cette charge (330 mA) donc nous utiliserons selon les calculs une résistance 3 fois plus grande (soit 3 kOhms).

Pour la partie gestion de température, notre projet intègre des capteurs de températures qui permettent de monitorer la charge. Deux capteurs seront présents, un sur le DS6521 pour

gérer la charge, et un sur le circuit fuel gauge qui permettra d'avoir une surveillance de la température en temps réel lors de la décharge. Pour la partie DS6521, la broche TS est réservée à l'utilisation d'une thermistance (NTC) qui est une résistance variant avec la différence de température. Voici les caractéristiques de la datasheet sur le capteur de température :

Low temperature CHG Pending	$V_{TS-0^{\circ}\text{C}}$	Percentage of V_{IN}	--	75	--	%
Hysteresis at 0°C	$V_{HYS-0^{\circ}\text{C}}$		--	1	--	%
Low temperature, half charge	$V_{TS-10^{\circ}\text{C}}$	Percentage of V_{IN}	--	67	--	%
Hysteresis at 10°C	$V_{HYS-10^{\circ}\text{C}}$		--	1	--	%
High temperature at 4.1V	$V_{TS-45^{\circ}\text{C}}$	Percentage of V_{IN}	--	35	--	%
Hysteresis at 45°C	$V_{HYS-45^{\circ}\text{C}}$		--	1	--	%
High temperature Disable	$V_{TS-60^{\circ}\text{C}}$	Percentage of V_{IN}	--	25	--	%
Hysteresis at 60°C	$V_{HYS-60^{\circ}\text{C}}$		--	1	--	%
Temperature regulation limit	$T_{J(REG)}$			125		$^{\circ}\text{C}$

Figure 6 - NTC caractéristiques en tension

La température est détectée en fonction du rapport de la tension TS sur la tension d'entrée V_{IN} . Ainsi, nous avons besoin de créer un pont diviseur comme indiqué dans le schéma type du constructeur. Dans le tableau plus haut on remarque que la température normale d'utilisation est atteinte pour 50% de V_{IN} en moyenne, il faut donc diviser par deux V_{IN} , pour cela on va réaliser un pont diviseur de tension avec comme indiqué dans le schéma plus haut R_{BOT} à 10kOhm (en parallèle de la NTC) et donc une résistance R_{TS} équivalente à la NTC et R_{BOT} en parallèle, soit 5 kOhms. Ainsi pour la température moyenne d'utilisation on est à 50% de V_{IN} .

On notera d'après la datasheet qu'en dessous de 0°C ($V_{TS} > 0.75V_{IN}$) la charge se coupe et se met en attente, entre 0 et 10°C ($0.67V_{IN} < V_{TS} < 0.75V_{IN}$) on charge avec un courant divisé par deux, entre 45°C et 10°C ($0.35V_{IN} < V_{TS} < 0.67V_{IN}$) on est en mode de charge normal, entre 45°C et 60°C ($0.25V_{IN} < V_{TS} < 0.35V_{IN}$) on charge à 4.1V au lieu de 4.2V et enfin au-dessus de 60°C ($V_{TS} < 0.25V_{IN}$) On désactive de circuit intégré.

On ajoute aussi des condensateurs en entrée (sur V_{IN} en série avec une résistance) et sur les pins d'alimentation tel que CVV et Bat+. Ces Condensateurs servent au filtrage des potentielles parasites de tensions ainsi qu'au découplage des sources d'énergies, c'est-à-dire qu'ils prennent le relais comme source de tension lors des forts appels de courant.

Voici finalement notre version du schéma du DS6521 et de son écosystème :

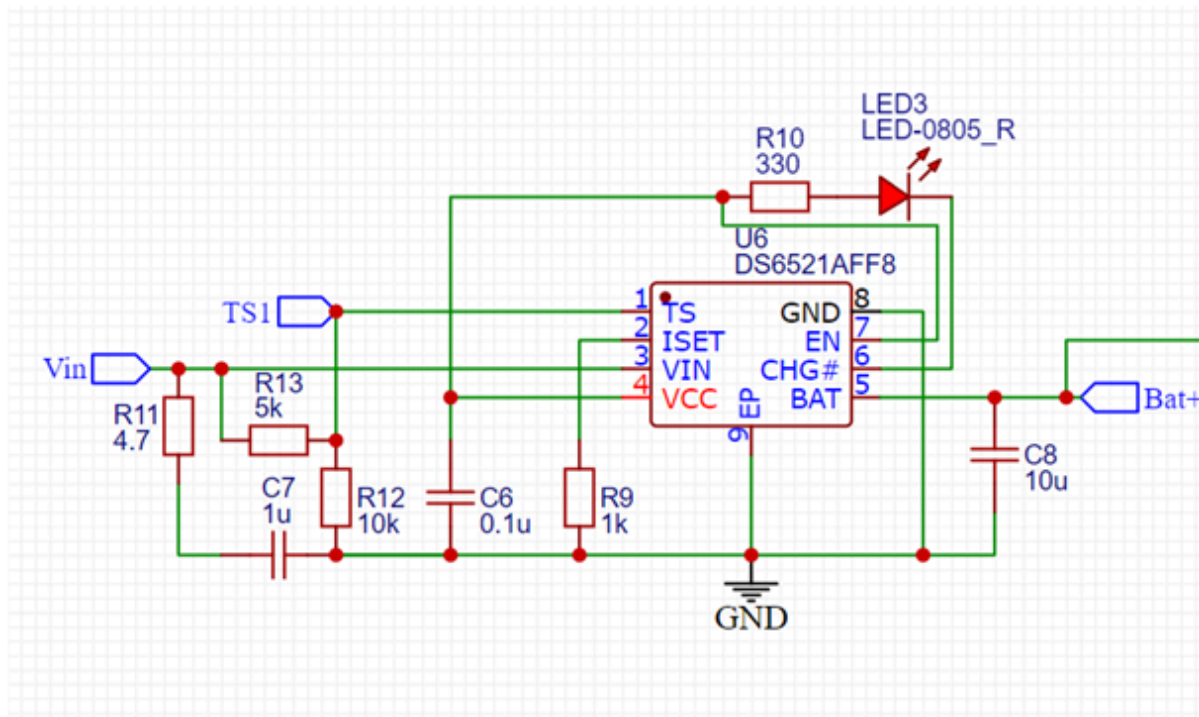


Figure 7 - Notre schéma du DS6521

Après de nombreux tests sur notre circuit, il s'est avéré que nous avons commis une erreur dans le choix du composant de charge. En effet l'intitulé de la datasheet semble trompeur. Il y est mentionné une tension d'entrée de 28V, mais ce n'est en réalité pas le cas.

DSTECH *Preliminary* **DS6521**

28V, 1A Single Cell Li-Ion & Li-Pol Linear Battery Charger

Figure 8 - Intitulé datasheet DS6521

Features

- 28V Input Rating; with 6V Input Overvoltage Protection

Figure 9 - Extrait des caractéristiques du DS6521

La datasheet est une version chinoise traduite en anglais, ce qui peut être la source de l'erreur, mais ici le DS6521 fonctionne jusqu'à 6V en entrée et est protégé pour les surtensions jusqu'à 28V. Cela rend notre projet inapte pour les conceptions alimentées par panneau solaire, et donc lui fait perdre son intérêt principal. Cependant nous pouvons tout de même réaliser des tests avec des tensions de 5V.

Partie Circuit Fuel Gauge :

Cette partie concerne le choix et le design de l'écosystème autour du composant fuel gauge de notre projet. Ce circuit a pour but de mesurer l'énergie dans la batterie afin de superviser la batterie de manière cohérente.

De nombreuses solutions fuel gauge sont aujourd'hui disponibles sur le marché, toutefois le cahier des charges implique de trouver une solution gérant les technologies LiPO, Li-ion, .

Mon premier choix s'est alors porté sur le **Texas instrument BQ25441-G1** qui est une solution dimensionnée pour notre type d'application single-cell sans trop de surplus.

Toutefois, ce composant n'étant disponible que dans les packages VSON (pitch de 0,4mm), cette solution a été abandonnée car jugée trop difficile à monter sur le pcb.

Alors après de longues recherches infructueuses pour trouver un composant équivalent correspondant au critère de pitch et package, nous nous sommes résiliés à utiliser le **Texas instrument BQ34Z100-G1**. Composant fuel gauge plus avancé pour n-cell (Li-ion, LiFePO₄, et plus) qui malgré son surdimensionnement est un des rares seul présentant toutes les caractéristiques recherchées.

Les fonctions utiles pour nous seront :

PIN		I/O	DESCRIPTION
NAME	NUMBER		
P2	1	O	LED 2 or Not Used (connect to Vss)
VEN	2	O	Active High Voltage Translation Enable. This signal is optionally used to switch the input voltage divider on/off to reduce the power consumption (typ 45 μ A) of the divider network. If not used, then this pin can be left floating or tied to Vss.
P1	3	O	LED 1 or Not Used (connect to Vss). This pin is also used to drive an LED for single-LED mode. Use a small signal N-FET (Q1) in series with the LED as shown on Figure 8-4 .
BAT	4	I	Translated Battery Voltage Input
CE	5	I	Chip Enable. Internal LDO is disconnected from REGIN when driven low.
REGIN	6	P	Internal integrated LDO input. Decouple with a 0.1- μ F ceramic capacitor to Vss.
REG25	7	P	2.5-V Output voltage of the internal integrated LDO. Decouple with 1- μ F ceramic capacitor to Vss.
VSS	8	P	Device ground
SRP	9	I	Analog input pin connected to the internal coulomb-counter peripheral for integrating a small voltage between SRP and SRN where SRP is nearest the BAT- connection.
SRN	10	I	Analog input pin connected to the internal coulomb-counter peripheral for integrating a small voltage between SRP and SRN where SRN is nearest the PACK- connection.
P6/TS	11	I	Pack thermistor voltage sense (use 103AT-type thermistor)
P5/HDQ	12	I/O	Open drain HDQ Serial communication line (slave). If not used, then this pin can be left floating or tied to Vss.
P4/SCL	13	I	Slave I ² C serial communication clock input. Use with a 10-K Ω pull-up resistor (typical). This pin is also used for LED 4 in the four-LED mode. If not used, then this pin can be left floating or tied to Vss.
P3/SDA	14	I/O	Open drain slave I ² C serial communication data line. Use with a 10-k Ω pull-up resistor (typical). This pin is also used for LED 3 in the four-LED mode. If not used, then this pin can be left floating or tied to Vss.

Figure 10 - Fonctions utiles Fuel Gauge (encadrées en vert)

Il faut donc dans notre schéma intégrer les composants nécessaires au bon fonctionnement de ces dernières tels que :

1. Le montage de R1; R2; U2 -> permet de pull-up SDA à 3.3V
Sachant que 3.3V ne sont présents nulle part ailleurs sur le schéma pour un pull-up direct, d'où la mise en place de ce level converter.
Rappel: pour fonctionner tout bus I²C doit être par défaut à 3.3V et communique en changeant l'état de la ligne via pull-downs.
2. Le montage de R3; R4; U1 -> permet de pull-up à 3.3V SCL comme 1.
3. Le montage de U3; U4; R8; R14 -> permet l'allumage de LEDs de fonctionnement contrôlées par les signaux P1 et P2.
Les résistances sont dimensionnées pour maîtriser le courant nécessaire aux LEDs.
Quant aux deux MOS ils permettent de mettre à la masse (ou non) la branche du circuit dont P1 ou P2 est actif pour allumer (ou éteindre) la LED en conséquence.
4. C1 et C2 -> Sont des capacités de découplage qui pour rappel servent à réduire les bruits et interférences dans un circuit.
5. Le montage de R5; R6; R7; C3; C4; C5 -> Permet de transmettre une image des caractéristiques de la batterie à nos pins SRN et SRP.
C'est ce montage qui permet à notre fuel gauge de fonctionner.
R5 est une résistance de shunt
6. R6; R7; C3; C4; C5 forment un filtre passe bas (différentiel) qui permet de réduire les impuretés et bruits sur le signal. Les valeurs sont données par le constructeur.
Il faut que ce montage soit routé avec des pistes différentielles (de même longueur et propriétés) pour soigner le signal et assurer des valeurs reçues cohérentes. Pour plus de détails voir pages 55 et 56 de la datasheet.

Fonction `sendControlCommand` :

Cette fonction permet d'envoyer une commande de contrôle à la fuel gauge via le registre `Control()` (adresse 0x00). Par exemple, elle est utilisée ici pour envoyer la commande `IT_ENABLE` (0x0021) qui active le suivi d'impédance. La commande est envoyée en little endian (LSB puis MSB), comme spécifié dans la datasheet. Un message est affiché en mode debug pour confirmer l'envoi.

Cette fonction est utile pour calibrer la fuel gauge, dans un premier cycle de charge/décharge contrôlé, afin qu'elle renvoie des valeurs d'état de charge cohérentes.

Fonctions de lecture I2C :

Deux fonctions sont définies pour lire des données depuis la fuel gauge :
`readFuelGaugeByte()` lit un seul octet (utilisé pour l'état de charge).

`readFuelGaugeWord()` lit deux octets en little endian (utilisé pour la tension et la température).

Chacune vérifie s'il y a eu une erreur de transmission ou un nombre de données insuffisant. En cas de problème, une valeur d'erreur est renvoyée et un message est affiché si le mode debug est activé.

Fonction `updateFuelGauge` :

Cette fonction regroupe les différentes lectures de la fuel gauge :
Elle lit l'état de charge (en %), la tension (en millivolts) et la température (en dixièmes de kelvin, convertie ensuite en °C).

Chaque mesure est affichée sur le port série si elle est valide, sinon un message d'erreur est montré.

Une ligne de séparation est imprimée à la fin pour plus de lisibilité.

Fonction `setup` :

Le port série est initialisé, puis le bus I2C est activé via `Wire.begin()`.
Le capteur INA219 est initialisé à l'aide de la méthode `begin()` fournie par la bibliothèque Adafruit. En cas d'échec, le programme s'arrête. Sinon, un message confirme la réussite.
Après un court délai de stabilisation, la commande `IT_ENABLE` est envoyée à la fuel gauge pour démarrer la mesure d'impédance.

Fonction `loop` :

La fonction principale du programme repose sur deux mises à jour non bloquantes, basées sur la fonction `millis()` :

Toutes les secondes, le courant mesuré par le capteur INA219 est affiché.

Toutes les cinq secondes, les données de la fuel gauge sont lues et affichées via `updateFuelGauge()`.

Cela permet au programme de fonctionner sans pauses inutiles (sans `delay()`), ce qui est utile pour des systèmes embarqués réactifs.

Passons enfin à l'affichage des tests :

```
État de charge : 69 %  
Tension (mV) : 3934  
Température (°C) : 25.55  
-----  
État de charge : 69 %  
Tension (mV) : 3934  
Température (°C) : 25.55  
-----  
État de charge : 69 %  
Tension (mV) : 3935  
Température (°C) : 25.55  
-----  
État de charge : 69 %  
Tension (mV) : 3936  
Température (°C) : 25.55  
-----
```

Figure 13 - Resultats Fuel Gauge

Voici les résultats de la communication avec la fuel Gauge, n'étant pas calibrée, elle renvoie une valeur de State Of Charge (SOC) fausse, mais cohérente, entre 0 et 100%, ce qui est encourageant. La valeur de tension et la température ont pu être confirmées respectivement avec un multimètre et des pointes, et avec un thermomètre.

Pour ce qui est de la communication avec l'INA-219, des tests ont été effectués au premier semestre pour valider le fonctionnement, tests ayant donné les résultats suivants :

```
-----  
Tension bus (V) : 1.50  
Tension shunt (mV) : 0.14  
Courant (mA) : 1.30  
Puissance (mW) : 4.00  
-----
```

Figure 14 - Résultats INA-219

L'INA était monté pour mesurer la tension au milieu d'un pont diviseur de tension par 2, fait avec deux résistances de 1k ohm, alimenté par la broche 3.3V de la carte HELTEC, ce qui renvoie des valeurs cohérentes, bien que la valeur de courant semble un peu faible pour 3V qui passent dans 2k ohm, car on attend 1,5 mA, soit une erreur d'environ 13%.

Pistes d'amélioration :

Notre projet n'a aujourd'hui pas encore la maturité nécessaire pour avoir un usage concret, il nous faut avant améliorer certains points notamment hardware. Voici une liste des points à améliorer :

- Circuit de charge non adapté : Comme précisé auparavant, le circuit de charge DS6521 possède une documentation ambiguë au niveau de sa tension de fonctionnement. Il nous faudra changer de circuit de charge pour en sélectionner un qui puisse fonctionner avec une tension d'entrée de 28V maximum pour respecter le cadre d'utilisation solaire.
- Pouvoir monter jusqu'à deux cellules Lithium : Ceci est un point d'amélioration qui a déjà été mentionné au début de notre projet, nous pourrions avoir la possibilité de charger deux cellules simultanément au lieu d'une seule (en série) pour avoir une plus grande tension de batterie (ce qui peut être utile dans le cadre de certains projets).
- Pouvoir utiliser la technologie LiFePo4 : Ce type de batterie n'est pas prise en charge par le DS6521, il faudrait donc changer de circuit de charge pour prendre en compte cet ajout.
- Protection supplémentaire de la batterie : A ce jour, nous utilisons des batteries Li-ion avec un BMS intégré, mais si nous voulions utiliser des cellules li-ion directement sans BMS, il faudrait alors ajouter un circuit supplémentaire de protection directement sur le projet (protection contre les surtensions, sous-tensions et court-circuit)
- Réaliser un cycle de charge/décharge complet avec le circuit fuel gauge : Ces circuits de mesure ont besoin d'une calibration, la charge et la décharge complète de la batterie n'a pas été faite faute de temps.
- Réaliser un protocole de test préalable, pour gagner du temps sur les dernières phases du projet

Conclusion :

Le projet est bien avancé, le circuit de gestion de charge est à modifier, comme précisé dans la partie dédiée. Le CN3761 aura peut être plus de succès que le DS. Il faut toutefois bien lire les détails de datasheet ou faire des concessions pour avoir plus de facilités à trouver un composant. Notamment au niveau du pitch minimal des composants qui sont la contrainte majeur.

Il reste toutefois encore de la place pour l'amélioration, ce qui passera par plus de tests, la calibration de la fuel gauge et la modification du circuit de charge.