

Une batterie Li-ion 14,8 V 4 Ah et son chargeur

Jean-Matthieu STRICKER F5RCT

En raison de leur capacité élevée et leur légèreté, les accumulateurs Li-ion sont attrayants pour nos applications radioamateur. Toutefois, ils sont les plus dangereux dans leur catégorie. Si aucune précaution n'est prise, ils présentent un risque de départ de feu et d'explosion. Nous allons décrire la réalisation d'une batterie protégée ainsi que son chargeur sécurisé.

C'est suite à la récupération d'un lot d'accumulateurs Li-ion neufs de type 18650 que j'ai envisagé d'en faire une batterie pour notre usage radioamateur. Etant donné la dangerosité de ce type d'accumulateur, il convient en premier lieu de lire attentivement les données du fabricant [1].



Figure 1 : La batterie terminée et contrôlée par simple appui sur le bouton poussoir du voltmètre.

Ce type d'accumulateur a la capacité de délivrer un fort courant de pointe, ce qui en fait un allié de choix pour le trafic en portable. Les conditions nominales d'utilisation donnent une résistance interne par élément de l'ordre de 20 m Ω ainsi qu'un débit en courant allant jusqu'à 10 A entre 10 et 40 °C.

La tension maximale d'un accumulateur chargé est de 4,21 V. Afin d'éviter la décharge profonde, l'électronique de protection coupe à 3,0 V par élément. En mettant trois éléments en série on obtient une plage de tension utile de 9 V à 12,6 V. Cela correspond à 11,1 V de tension nominale ce qui est insuffisant pour nos applications radioamateurs en émission SSB (autour de 13,5 V).

En adoptant une configuration avec quatre éléments en série, on se trouve dans une plage allant de 12,0 V à 16,8 V. Cette plage est plus confortable mais un peu trop élevée surtout si l'appareil raccordé ne tolère pas 17 V d'alimentation. Cela laisse la possibilité de travailler jusqu'à la fin de la capacité de la batterie. Toutefois, il est déconseillé de travailler jusqu'à la décharge complète pour la longévité de ce type d'accumulateur.

J'ai fait le choix de mettre quatre éléments en série avec chaque fois deux éléments en parallèle afin de privilégier la puissance et la linéarité à l'émission de mon émetteur 2 m. Pour cette batterie la tension nominale est de 14,8 V en milieu de capacité. Cette configuration est appelée « 4S 2P » (quatre éléments en série, mis deux fois en parallèle). Notez que la mise en parallèle relie chaque éléments deux à deux et non pas les deux mises en série ensemble. Ainsi les courants et la tension s'équilibrent entre les paires d'éléments. Cette disposition double la capacité de l'accumulateur et diminue la résistance interne à moins de 40 m Ω pour la batterie complète sans le BMS (*battery management system*).

Pour une tension moindre, rien n'empêche de faire une version « 3S 2P » pour un usage en portable QRP avec un émetteur CW. Dans ce cas, il sera préférable d'utiliser la batterie jusqu'à 10 V pour éviter la décharge profonde.

Une autre solution pour abaisser la tension entre 12,5 V et 13,5 V est d'insérer un convertisseur DC/DC abaisseur (*buck ou step-down*). On en trouve facilement sur le marché asiatique mais je vous conseille de le sur-dimensionner en courant car souvent les intensités annoncées sont optimistes !

La gestion de la décharge / recharge doit obligatoirement se faire par un BMS afin d'assurer la sécurité de ce type d'accumulateur très dangereux !

Le BMS est une carte incorporée à la batterie qui assure principalement la fonction de sécurité.

Citons les principaux paramètres que doit surveiller le BMS par ordre de priorité :

- La température pendant la charge ne doit jamais excéder 45 °C au risque de provoquer un emballement thermique menant à l'explosion !
- La tension en fin de recharge ne doit pas excéder 4,21 V par éléments
- La tension en fin de décharge ne doit pas être inférieure à 3,0 V par éléments au détriment de la durée de vie de l'accumulateur.
- Court-circuit et surcharge en courant doivent être évités pour limiter les risques d'échauffement menant à l'explosion.
- Pendant la charge la tension entre les éléments doit être équilibrée (*charge balancing*) pour éviter le dépassement au-delà de 4,21 V, et équilibrer la quantité de charge des éléments mis en série. Cet équilibrage est souvent passif et consiste à dévier du courant dans des résistances du BMS (**figure 2**).

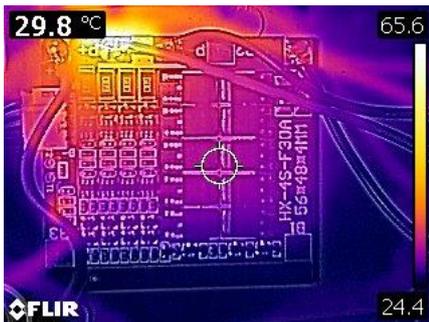


Figure 2 : Thermo graphie d'une carte BMS en phase d'équilibrage. La prise de vue rapprochée introduit un décalage vertical entre les images dans le visible et l'infrarouge. Ce sont les résistances d'équilibrage en haut à gauche qui chauffent normalement.

On trouve des modules BMS tout faits et autonomes pour quelques Euros dans le commerce asiatique [2]. Cela se présente sous forme d'une carte électronique qui s'insère entre la batterie et les bornes de charge / décharge comme indiqué par la **figure 3**.

Sur le schéma en **figure 4**, un jeu de transistors MOS en série/parallèle assure la fonction de commutation électronique pour déconnecter la batterie en cas de défaut. Comme les transistors MOS sont en série avec la sortie de la batterie, une résistance de pertes de l'ordre de 5 mΩ s'ajoute à la résistance interne de celle-ci.

Des circuits intégrés mis en cascade surveillent la tension de chaque élément mis en série. Ainsi la batterie est protégée contre :

- Le court-circuit et la sur intensité
- La surcharge en tension de chaque élément
- La décharge profonde de chaque élément.

Le BMS peut également protéger la batterie de l'échauffement par un thermostat à bilame en option. Je vous conseille vivement de rajouter ce capteur étant donné que le danger principal de ce type d'accumulateur est lié à l'emballement thermique !

La borne B1 est après le premier élément du pôle négatif B- ; B3 est l'avant dernier élément du pôle positif B+ de la batterie. La décharge et la recharge se font à partir des bornes P- et P+. Un capteur de température de type bilame normalement fermé est raccordé aux bornes S1 et S2.

Les charges d'équilibrage sont de 68 Ω sur le module acheté, soit 40 mA / 4,2 V.

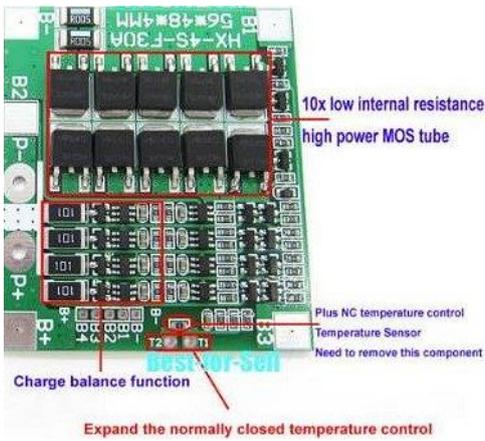


Figure 3 : Disposition des fonctions du BMS.

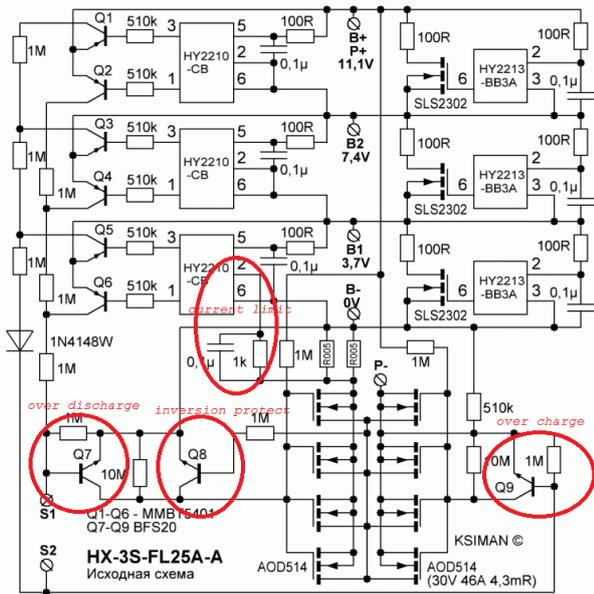


Figure 4 : Schéma générique pour un BMS de type 3S.

Ouvrir le pont entre S1 et S2 pour y insérer un thermostat de type *normally closed* à 45°C. *Normally closed* signifie que le contact est fermé en dessous du seuil. Trouver ce composant comme celui de la figure 5 : “*Temperature Switch Thermostat*” ou “*KSD9700 Temperature Switch Thermostat Thermal Protector Normally Closed*”. Attention ce thermostat est livré avec une gaine silicone isolante car son boîtier métallique est relié à l’un de ses conducteurs, il doit impérativement être isolé des éléments de la batterie. La température maximale en charge ne doit pas dépasser 45°C d’après la documentation des constructeurs de batterie. Si l’on veut être plus prudent partir sur un thermostat à 40 °C, mais le BMS pourrai couper en plein soleil (ce qui est une sécurité supplémentaire) !



Figure 5 : Exemple de thermostat de protection

Assemblage du pack en configuration « 4S 2P » et raccordement du BMS :

A ce stade prendre toutes les précautions nécessaires pour éviter tout risque de court-circuit. Isoler les pièces sous tension avec du ruban adhésif et attention au fil d'étain qui peut provoquer un court-circuit pendant les opérations de soudure !

Il est interdit et dangereux de souder des conducteurs à l'étain directement sur l'accumulateur, cela doit se faire avec une soudeuse par point et des languettes de raccordement. Si l'accumulateur est muni de languettes on peut souder à l'étain au bout des languettes, mais la température au niveau de l'accumulateur ne doit pas excéder 45 °C. Pour limiter les risques, il est plus prudent de travailler avec des accumulateurs déchargés à 30% de leur capacité, ou mieux de les stocker au congélateur avant cette opération (le froid les met en léthargie et limite de courant de court-circuit).

Les accumulateurs Li-ion ont la néfaste particularité de posséder une température d'auto-emballement thermique qui mène à l'explosion ! Rassurez-vous ce point se situe au-dessus 150 °C, voir test 9.4 de la datasheet [1].

On utilisera du ruban isolant de fibre de verre adhésif qui résiste à la chaleur, à défaut du ruban papier de masquage pour la peinture peut aussi convenir en le doublant en deux couches.

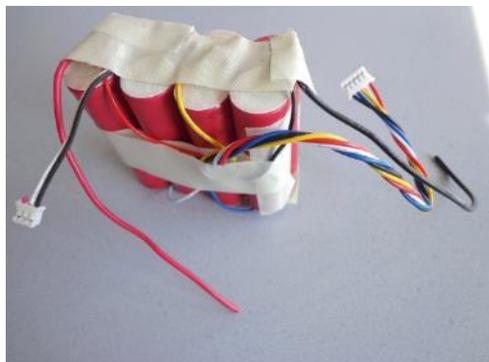


Figure 6 : Le pack « 4S 2P » à raccorder au BMS. On ne voit pas le thermostat qui a été glissé entre les éléments.

Conformément aux **figures 6 et 7**, connecter le faisceau de 5 fils au pack et deux fils de forte section, rouge pour B+ et noir pour B-. Insérer la thermistance CTN et le capteur thermostat dans les espaces entre les éléments. Vérifier doublement les polarités à chaque étape, ou s'aider d'un marqueur pour les noter dessus !

Li-ion Lithium 18650 Battery BMS Protection Board

Model: HX-4S-F30A

Size: 56*48*4mm

Upper limit current: 30A

Charging current: 20A

Charge/discharge -

Best-for-Sell

Charge/discharge +

Balance charge: yes

Short circuit protect: yes

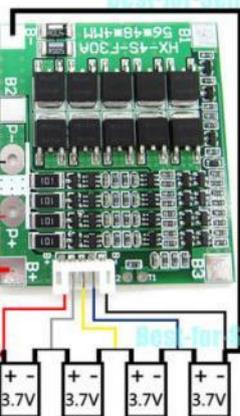


Figure 7 : raccordement du BMS.

A droite de la **figure 9**, l'élément clé de ce chargeur est le régulateur IC1 LM317 qui combine deux modes de fonctionnement :

- A tension constante déterminée par le pont de résistances R1, R7 et R8. La tension s'ajuste par le multi-tours R1 pour 17,00 V à vide en sortie du régulateur.
- A courant constant par le shunt R10 et les transistors Q1 et Q2.

La résistance R10 détermine le courant maximal, ici à 250 mA ($1,2 \text{ V} / 4,7 \Omega$).

Pendant la phase de limitation en courant les transistors Q1 et Q2 conduisent et allument la LED3 rouge. Les LEDs rouge et verte partagent la même résistance de limitation pour permettre le basculement rouge/vert par différence de seuil de conduction d'entre elles. En fin de charge le courant diminue et bloque les transistors Q1 et Q2 ce qui allume la LED2 verte. En utilisant une LED bicolore à anode commune, on la verra débiter au rouge puis passer à l'orange sur les derniers 10 % restants, et enfin terminer au vert en fin de charge.

La diode Schottky D1 sert à bloquer tout courant inverse lorsque l'on coupe l'alimentation du chargeur et que la batterie se vide dans le chargeur. Elle protège également le régulateur LM317 contre les retours de courant de l'accumulateur. D1 a été récupérée dans une alimentation de PC.

Au centre de la **figure 9**, le comparateur IC2 sert à la protection thermique. Une thermistance CTN de 10 k Ω se trouve au cœur du pack et palpe la température pendant la charge. Quand la température excède 35 °C la sortie du comparateur passe à l'état bas ce qui fait conduire D2. Ainsi le comparateur reste bloqué tant que l'alimentation est présente. Il faudra couper l'alimentation pour que le chargeur se réenclenche lorsque la température sera inférieure à 30°C. La sortie du comparateur active la LED1 rouge qui réduit la tension du régulateur à 3 V environ. Ainsi la diode D1 en sortie se bloque et la charge est interrompue. On veillera à ce que la valeur de la CTN soit inférieure à 6,8 k Ω pour 35 °C maximum.

La masse de la CTN est indépendante au niveau de l'accumulateur, et commune au niveau du connecteur du chargeur pour éviter un surcroît de tension en mode commun qui perturberait la mesure.

Quand on perd la connexion avec la CTN, cette protection a l'inconvénient de faire croire que la température est inférieure au seuil de 35 °C, ce qui peut être dangereux ! Une sécurité supplémentaire au montage s'avère nécessaire pour stopper le courant de recharge en cas de perte de connexion de la CTN. Par une circuiterie additionnelle il est nécessaire de détecter la coupure de la CTN sans perturber la mesure en température.

Pour cela, la diode Zener D3 conduit dès que la différence de tension excède 5 V entre les broches + et - du comparateur. Dès que la chute de tension atteint le seuil de 2 V du transistor MOSFET Q3 ce dernier conduit. Le courant qui circule dans Q3 fait conduire à son tour le transistor Q4 puis Q5. Ainsi Q5 engendrera le blocage du comparateur en mode protection thermique. La diode D4 sert à éteindre la LED verte quand la protection est active. De même, cette protection est maintenue à l'état bloqué tant que l'on n'a pas coupé l'alimentation du chargeur. Le condensateur C2, C3 et C6 initialisent le circuit de protection à la mise sous tension, car autrement il se mettrait en sécurité.

De plus, si l'on alimente le chargeur sans qu'il soit connecté à la batterie, la protection s'active. Il faudra ainsi brancher le chargeur à la batterie avant de l'alimenter. Ce mode augmente la sûreté fonctionnelle du chargeur !

Le transformateur secteur a été déterminé pour délivrer une tension alternative de 15 V, qui redressée fait environ 20 à 21 V. La capacité du condensateur de filtrage C1 est volontairement réduite pour limiter les pics de courant dans le transformateur en phase de limitation de courant. Ainsi la détermination de ces deux composants limite l'échauffement du régulateur LM317.

Le connecteur de charge peut être une fiche DIN 4 broches, ou bien une XLR 3 ou 4 broches qui supporte mieux le courant.

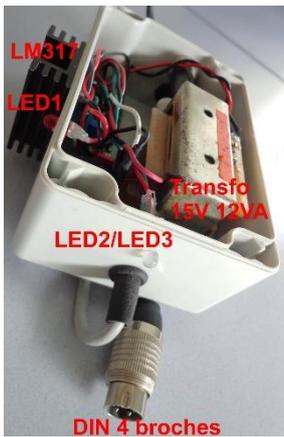


Figure 10 : Le chargeur avec sa fiche de raccordement à la batterie

Le chargeur fut câblé sur un circuit imprimé à pastilles et le régulateur monté sur un petit radiateur (**figure 10**). La température du régulateur ne dépasse pas les 30 °C en phase de limitation de courant. Pour les essais du chargeur, on simulera le comportement de la CTN avec un potentiomètre de 22 kΩ. On ajustera ce potentiomètre à mi-course vers 10 kΩ. A la mise sous tension, la LED verte doit s'allumer. Il suffit de régler précisément la tension à vide à 17,00 V à la sortie du régulateur avant la diode. En connectant une charge variable on vérifiera le comportement en courant et en tension, ainsi que la LED bicolore. Puis en diminuant la résistance du potentiomètre on vérifie que le chargeur se bloque avec LED1 allumé. Enfin si on alimente le chargeur sans la CTN, il doit aussi se bloquer avec LED1 allumé.

La procédure de charge est la suivante :

- Raccorder le connecteur de recharge à la batterie, ce qui relie la CTN et valide sa présence pour autoriser le courant de charge.
- Mettre le chargeur sous tension. La LED bicolore LED2/LED3 s'allume et donne instantanément l'état de la capacité emmagasinée dans la batterie.
- En fin de charge la LED verte s'allume progressivement et la LED rouge s'éteint progressivement. Il est conseillé de maintenir le chargeur alimenté à l'état vert pendant au moins une heure pour laisser le BMS faire l'équilibrage des cellules.
- Le chargeur peut être laissé sous tension à l'état vert en toute sécurité.
- Couper le chargeur. Ou bien débrancher le connecteur de recharge ce qui provoquera l'activation de la protection « CTN ». Le chargeur reste en protection tant que l'alimentation secteur est présente.

Trois conseils pour prolonger la durée de vie d'une batterie Li-ion :

Ne jamais faire de décharge profonde pour différentes raisons :

- En décharge profonde les ions de lithium Li⁺ restent piégés au niveau de l'électrode positive ce qui diminue la capacité de la batterie, par conséquent écourtera sa durée de vie.
- La capacité des éléments n'est jamais identique. Leur mise en série dans une batterie entrainera la décharge complète de l'élément le plus faible par le courant d'utilisation. Ainsi l'élément le plus faible se verra toujours contraint à vieillir plus vite. Au-delà d'un certain seuil le BMS coupera toute la batterie et n'autorisera que la recharge.
- Au-delà de la décharge profonde le BMS n'autorisera plus la recharge de la batterie pour raison de sécurité si un élément se verrait complètement déchargé. Cet élément se verra prendre un courant inverse en utilisation, autrement dit : rechargé à l'envers !

Evitez la chaleur :

- Arrangez-vous en toutes circonstances que la batterie ne chauffe au-delà de 30°C pendant une durée prolongée.

- Par l'exposition au soleil on réduit sa durée de vie. La chaleur est l'ennemi du Li-ion !
- En utilisation on peut tolérer l'échauffement, mais laisser la batterie refroidir avant de la recharger.
- La recharge est la phase la plus critique pour ce type de batterie. Evitez de la recharger à fort courant et faites cela en lieu sûr loin de toute matière inflammable.
- Conservez votre batterie à une température ambiante inférieure à 25°C.

Faites une charge d'entretien en cas d'inutilisation prolongée. Le BMS consomme un faible courant de veille et peut vider la batterie à l'état de décharge profonde. Il est conseillé de mettre la batterie en charge tous les un à deux mois (se noter une échéance sur votre calendrier !)

Ne tardez pas pour recharger votre batterie après une utilisation, même en cas de décharge partielle. Il est également possible de faire une recharge partielle sans attendre la fin du cycle de recharge ; Les batteries Li-ion sont faites pour cette usage. Dans le métier des applications mobiles on appelle cela le « biberonnage » !

J'utilise cette batterie avec le transceiver 2 m Squirrely de ma fabrication [4]. Cet appareil a été conçu pour fonctionner jusqu'à 17 V. Il affiche sa tension d'alimentation, ce qui est bien pratique pour jauger la batterie. En émission, la tension varie à peine de 0,1 V pour 3 A consommés. Cette batterie me sert également pour d'autres applications « nomades ». N'oublions pas qu'elle est capable de délivrer 30 A en pointe en cas de court-circuit !

Avertissement : Cet article n'engage pas la responsabilité de l'auteur, à chacun de veiller à sa propre sécurité avec ce type d'accumulateur.

[1] datasheet Samsung : <http://dalincom.ru/datasheet/SAMSUNG%20INR18650-25R.pdf>

[2] BMS, rechercher sur Ebay : *4S 14.8V Li-ion Lithium 18650 Battery BMS Cell Balance*

[3] Voltmètre, rechercher sur Ebay : *Mini LED Panel Voltage Meter*

[4] Transceiver 2 m Squirrely : Radio REF 10/2013 et suivants

Les datasheets des circuits de gestion du BMS :

https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/HY2213-BB3A_C113632.pdf

https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/HYCON-Tech-HY2110-CB_C168760.pdf