

Pré Projet d'étude et réalisation :

Chargeur de Batterie au plomb 48V



Théo DONDEL
Jérémy ESNAULT
Deuxième année - Groupe EEP1
Promotion 2004-2006

Enseignants
Thierry LEQUEU
Paul OLIVIER

Pré projet d'étude et réalisation :

Chargeur de batterie au plomb 48V

Théo DONDEL
Jérémy ESNAULT
Deuxième année - Groupe EEP1
Promotion 2004-2006

Enseignants
Thierry LEQUEU
Paul OLIVIER

Sommaire

Introduction

1	Notions de base-----	5
1.1	Grandeurs caractéristiques des accumulateurs-----	5
1.2	Les phases de fonctionnement-----	6
2	Les différents types de batteries et d'accumulateurs-----	7
2.1	La batterie au plomb-----	7
2.2	Les accumulateurs Nickel-Cadmium et Nickel-Hydrure Métallique -----	11
2.3	Les accumulateurs au Lithium ion (Li-ion) -----	14
2.4	Les supercondensateurs-----	15
2.5	Tableau récapitulatif-----	17
3	Comment charger des batteries au plomb-----	18
3.1	Quelques explications-----	18
3.2	Recharge en deux temps -----	19
3.3	Recharge en trois temps -----	19
3.4	Charge évoluée -----	20
4	Notre projet -----	21
4.1	Cahier des charges de base-----	21
4.2	Nos recherches -----	21
4.3	Le montage-----	25
4.4	Etude des composants-----	26
4.5	Schéma synoptique -----	29
4.6	Adaptation du montage -----	30
4.7	Paramétrage du bq2031 -----	32
4.8	Planning Prévisionnel -----	35

Conclusion

Table des illustrations -----	37
Bibliographie-----	38
Bibliographie-----	38
Sommaire des annexes -----	39

Introduction

Les accumulateurs et plus généralement les batteries sont utilisés dans tous les domaines : les téléphones portables, l'automobile, les systèmes d'alarme... Leur principal intérêt est que l'on peut les recharger, mais pour cela il faut des chargeurs.

La future version du kart, l'X'trium, sera équipée de quatre batteries au plomb qui délivreront une tension de 48V. L'objectif de notre projet d'électronique de puissance est donc de réaliser un chargeur de batterie pour le futur kart.

Dans notre première partie, nous fixerons les bases générales des accumulateurs, cela permettra de mieux comprendre les parties suivantes. Nous expliquerons notamment les grandeurs caractéristiques ainsi que les phases de fonctionnement.

Même si le kart sera équipé de batteries au plomb, nous nous sommes intéressés à tous les types d'accumulateurs, cela constituera notre deuxième partie. Nous approfondirons, bien sûr, plus particulièrement la batterie au plomb.

Dans une troisième partie, nous commencerons par expliquer les grandeurs et termes caractéristiques d'une charge de batterie au plomb, nous expliquerons ensuite plusieurs façons de les recharger.

Dans une dernière partie, nous développerons notre démarche durant le projet, du cahier des charges au calcul des différents composants.

1 Notions de base

Pour comprendre les parties suivantes, il est nécessaire d'avoir des bases sur les grandeurs qui caractérisent les batteries ainsi que sur ses phases de fonctionnement.

1.1 **Grandeurs caractéristiques des accumulateurs**

1.1.1 La capacité

La capacité est la caractéristique principale d'un accumulateur, c'est l'énergie qu'un accumulateur est capable d'emmagasiner et donc celle qu'il est capable de restituer. Cette capacité s'exprime en Ampères heure (Ah).

Par exemple : un accumulateur de 10Ah est capable de fournir 10A pendant 1 heure, ou encore 5A pendant 2 heures.

1.1.2 La densité d'énergie

La densité d'énergie est l'énergie emmagasinée par rapport au poids ou au volume. La densité d'énergie s'exprime en Wattheure/kilogramme (Wh/kg) ou en Wattheure/litre (Wh/l).

1.1.3 La tension

C'est la tension moyenne que délivre la batterie en phase de décharge, elle s'exprime en Volt (V). Sa valeur varie en fonction de la technologie employée pour la batterie mais aussi en fonction du temps lors de la décharge.

1.1.4 La résistance interne

La résistance interne est due aux connexions internes ainsi qu'à l'inertie de la réaction chimique. C'est une caractéristique pénalisante de l'accumulateur.

1.2 Les phases de fonctionnement

Quelle que soit la technologie employée, les accumulateurs passent par au moins deux phases de fonctionnement : la charge et la décharge. C'est le principe même de l'accumulateur : on stocke de l'énergie (charge) pour la restituer ensuite (décharge).

1.2.1 La charge

La charge est la phase de stockage d'énergie dans l'accumulateur. Pour l'effectuer, on utilise un chargeur qui sera spécifique pour chaque technologie de batterie.

Le rendement de la charge n'est pas de 100% mais plutôt de 50 à 75%. On apportera donc plus d'énergie à l'accumulateur qu'il sera capable d'en restituer ensuite.

1.2.2 La surcharge

Lorsque l'accumulateur est totalement chargé et qu'on continue de le charger, il passe en surcharge. Les effets peuvent être une simple élévation de la température, une destruction partielle de l'accumulateur ou même une explosion de l'élément.

1.2.3 La décharge

Une fois que l'accumulateur est chargé, on peut utiliser l'énergie qui y est emmagasinée. L'élément fournit alors de l'énergie tant qu'on lui en demande et surtout tant qu'il lui en reste.

Si on demande trop d'énergie trop longtemps à un accumulateur, on le décharge de trop. C'est une décharge profonde et cela endommage l'accumulateur.

Lorsque l'accumulateur est vide, on observe une chute brutale de la tension à ses bornes.

1.2.4 L'autodécharge

Même si l'accumulateur n'est pas utilisé, il se décharge, c'est l'autodécharge. Elle est exprimée en pourcentage par mois et varie selon le type de la batterie.

2 Les différents types de batteries et d'accumulateurs

Pour les éléments rechargeables on utilise les termes de batteries ou d'accumulateurs, à la différence d'une pile qui n'est pas rechargeable. La batterie désignera un groupe d'accumulateurs assemblés ; une batterie d'accumulateurs.

2.1 La batterie au plomb

C'est le type de batterie le plus largement répandu sur le marché et c'est aussi la plus ancienne technologie de stockage d'énergie. Nous les connaissons surtout dans nos voitures pour alimenter le démarreur.

Remarque : plus du tiers de la production mondiale de plomb est destinée à la fabrication de batteries au plomb.

2.1.1 Historique

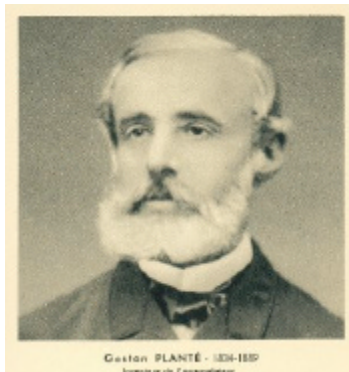


Figure 1 : Gaston Planté

C'est à la fin du XVIII^{ème} siècle qu'apparaissent les premières sources chimiques de courant électrique. En 1800, Volta¹ en fait la première démonstration en réalisant un empilement successif d'une lame de zinc, d'une lame de feutre imbibée d'eau vinaigrée et d'une lame de cuivre. Il crée le premier dispositif de production électrochimique d'énergie électrique, on lui attribue le nom de "pile" de par sa structure.

C'est en 1859 que Gaston Planté² réalise le premier accumulateur. Il est composé de deux feuilles de plomb roulées en spirale, séparées par une toile de lin et plongées dans un bac contenant une solution d'acide sulfurique à 10%.

¹ Alessandro Volta : physicien italien (1745 - 1827)

² Gaston Planté : physicien Français (1834 - 1859)



Figure 2 : Première batterie d'accumulateurs conçue par Gaston Planté

En 1880, Camille Faure facilite la création de l'accumulateur au plomb : une pâte à base d'oxyde de plomb et d'acide sulfurique est appliquée directement sur les lames de plomb ; elles sont maintenues en place en enroulant le tout dans du feutre.

En 1881, Henri Owen Tudor³ développa une batterie formée d'une plaque négative en plomb spongieux et d'une plaque positive en oxyde de plomb. Il fait breveter son invention et devient l'inventeur de la batterie au plomb.

Depuis, les batteries au plomb n'ont pas cessé d'évoluer, ce qui leur permet aujourd'hui d'être très largement utilisées (elles représentent 60 à 65% du marché mondial des batteries). Leur fonctionnement reste cependant basé sur celui bâti par Henri Tudor.

2.1.2 Constitution générale

Une batterie au plomb est composée de plusieurs éléments dont le nombre détermine la tension que la batterie délivrera. Un élément est une association d'électrodes positives et négatives baignant dans de l'électrolyte. L'ensemble a une différence de potentiel entre ses bornes d'environ 2 Volts.

³ Henri Owen Tudor : physicien luxembourgeois (1859 – 1928)

L'électrode positive est composée d'oxyde de plomb et l'électrode négative de plomb. L'électrolyte, dont la fonction est d'assurer le transfert des ions entre les électrodes pendant la réaction chimique, est une solution acide.

2.1.3 Les différents types de batteries au plomb

2.1.3.1 La batterie à électrolyte liquide

Comme son nom l'indique l'électrolyte de cette batterie est liquide et est composé d'acide et d'eau. C'est le type de batterie le plus répandu.

Elle possède plusieurs avantages

- une construction simple (coût faible de fabrication) ;
- une méthode de recharge et d'entretien simple (possibilité de rajouter de l'eau).

Mais aussi des inconvénients

- elle n'est pas étanche ;
- au court de la recharge la batterie dégage un gaz (mélange d'oxygène et d'hydrogène) très détonant ;
- à force de recharge, les éléments perdent en tension et le niveau de l'électrolyte s'abaisse.

2.1.3.2 La batterie étanche à électrolyte stabilisé

C'est la technologie la plus récente et la plus performante de batterie au plomb. Le mode de construction de ces batteries ainsi que la constitution des plaques permettent d'optimiser la recombinaison des gaz émis, ce qui évite la perte d'eau.

En fait, il y'a deux types de batteries à électrolyte stabilisé :

- les accumulateurs à électrolyte gélifié (Gel Cell) qui datent des années 80, et où l'électrolyte est du gel ;
- les accumulateurs à électrolyte stabilisé, plus récents, qui selon les fabricants sont appelés VRLA (Valve Regulated Lead Acid) ou AGM (Absorbant Glass Material). En français, nous parlons de batteries à recombinaison de gaz. Dans ces batteries, l'électrolyte imprègne un

“papier buvard” (en fibre de verre) situé entre les plaques positives et négatives.

Le principe reste le même pour les deux types

L'électrolyte (gel ou “papier buvard” imprégné) “canalise” les molécules d'oxygène dégagées par la plaque positive au cours de la réaction et les “amène” jusqu'à la plaque négative (au lieu de les laisser remonter à la surface). Les molécules d'oxygène réagissent avec le plomb de la plaque pour former de l'oxyde de plomb. Celui-ci va réagir avec l'acide sulfurique pour donner du sulfate de plomb et de l'eau. Par réaction électrochimique, le sulfate de plomb va se transformer en plomb en donnant de l'acide sulfurique. Le système est en équilibre, ce qui n'entraîne pas de perte d'eau.

Pour que cette batterie fonctionne au mieux il faut que l'élément soit en légère surpression (0,4 à 0,6g), que les éléments actifs (plomb, acide,...) soient d'une pureté rigoureuse et que la quantité d'électrolyte soit dosé avec précision.

Cette technique a de multiples avantages :

- une étanchéité totale, car il n'y a plus de trous d'évacuation pour les gaz mais une valve de sécurité qui ne s'ouvre que s'il y'a surpression ;
- aucun entretien de la batterie car il n'y a aucune perte d'électrolyte ;
- même en cas de casse aucune coulée de liquide dangereux ;
- aucun dégagement de gaz lors de la charge ;
- longue durée de vie (jusqu'à 15 ans) ;
- supporte mieux les décharges profondes.

Mais aussi quelques inconvénients :

- très technique à réaliser, elle coûte donc cher ;
- nécessite plus d'attention pour la charge, la décharge et pour la température de fonctionnement.

2.1.4 Conclusion

On retrouve les batteries au plomb dans de nombreuses applications car les coûts de fabrication sont faibles (du fait de la disponibilité des matériaux employés), elles sont facilement recyclables et ont une capacité de stockage

d'énergie importante. Par contre, elles sont encombrantes et peuvent être dangereuses.

2.2 Les accumulateurs Nickel-Cadmium et Nickel-Hydrure Métallique

Dans la famille des accumulateurs au nickel, on retrouve deux types d'accumulateurs qui correspondent à deux couples électrolytiques différents :

- le Nickel-Cadmium (Ni-Cd) découvert en 1899 par Jungner ;
- le Nickel-Hydrure Métallique (Ni-MH) commercialisé (en 1990, en anglais : "Nickel-Métal Hydride")

Ces accumulateurs sont les plus répandus dans les appareils portatifs.

Les batteries Ni-MH équipent aujourd'hui les voitures hybrides telles que la Toyota Prius ou la Honda Civic IMA. Ces batteries sont prévues pour durer toute la durée de vie de la voiture (garantie 8 ans).

A partir du 1er juillet 2006, une directive Européenne interdira la commercialisation du Cadmium dans les accumulateurs. Il s'agit de la directive 2002/95/CE du parlement européen et du conseil du 27 janvier 2003 relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques. Les batteries Ni-Cd sont donc appelées à disparaître.

2.2.1 Caractéristiques

Le Ni-MH remplace largement le Ni-Cd car il possède un meilleur rapport prix/longévité et a une densité d'énergie plus élevée. Le Ni-MH dispose néanmoins de quelques désavantages par rapport au Ni-Cd :

- une résistance interne plus élevée ;
- une plus grande fragilité car il ne supporte pas les surcharges ;
- son autodécharge est plus élevée ;
- le Ni-Cd est capable de fournir des pointes de courant plus importantes (de l'ordre de 10 fois).

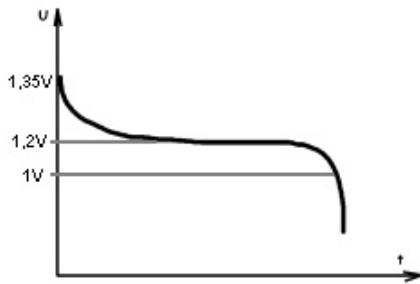


Figure 3 : Courbe de décharge Ni-Cd et Ni-MH

La tension nominale d'un élément Ni-Cd ou Ni-MH est de 1,2V ; en fait, elle évolue de 1,35V (lorsque l'élément est complètement chargé) à 1V (lorsque l'élément est déchargé). La tension peut néanmoins atteindre 0,8V, mais c'est l'extrême limite car en-dessous l'élément risque d'être endommagé ou détruit.

2.2.2 Constitution

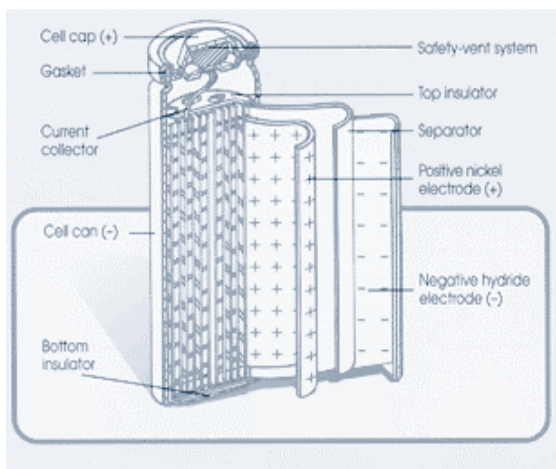


Figure 4 : Constitution d'une batterie Ni-Cd ou Ni-MH

L'électrode positive est toujours composée de nickel. Dans le cas des batteries Ni-MH, l'électrode négative est composée d'Hydruire Métallique alors que pour les batteries Ni-Cd, elle est composée de cadmium.

2.2.3 Effet mémoire

2.2.3.1 Le véritable effet mémoire

Ce phénomène concerne exclusivement les batteries Ni-Cd. Il est lié à des décharges périodiques parfaitement identiques. La batterie se décharge toujours jusqu'à la même valeur, et au bout d'un certain temps, il devient impossible de la décharger en dessous de cette valeur, même s'il lui reste de l'énergie. C'est comme si elle se "souvenait" du seuil de décharge habituel et comme si elle "considérait" que ce seuil est devenu son minimum. D'où le terme d'effet mémoire. Ce phénomène n'a jamais été constaté en utilisation courante.

2.2.3.2 "L'effet mémoire" que nous constatons

Pourtant, dans certains cas nous parlons "d'effet mémoire". Pourquoi ? En fait, cet "effet" est constaté sur les appareils portatifs qui se coupent dès que le seuil de tension de la batterie devient trop faible. Cela est mis en place pour protéger les batteries des décharges profondes qui leur nuisent. Quand l'appareil se coupe, nous considérons que la batterie est vide... Malheureusement "l'effet mémoire" est peut-être à l'origine de cette coupure, l'appareil s'éteint bien avant la fin de l'autonomie normale de la batterie.

Explication : ce phénomène provient de la modification de la structure de l'électrolyte, la modification est due à des surcharges de la batterie qui entraînent un palier de tension lors de la décharge.

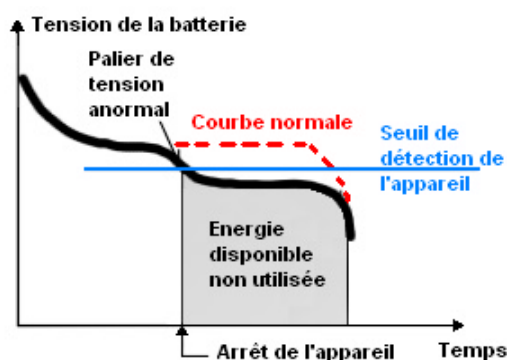


Figure 5 : Courbe de décharge

Au début de la décharge, tout se passe normalement. Au bout d'un moment, une chute de tension de quelques millivolts se produit (dû à la modification de l'électrolyte). La décharge devrait se poursuivre normalement (avec une tension très légèrement inférieure à ce qu'elle devrait être) jusqu'à ce que la batterie

soit vide. Mais l'appareil interprète cette légère chute de tension comme si c'était le reflet de la chute de tension de la fin de décharge normale. Et donc il s'arrête avant que la batterie soit complètement déchargée.

2.2.4 Conditions d'utilisation

Une batterie Ni-Cd ou Ni-MH doit permettre au moins 500 cycles de charge/décharge ; pour cela, il faut prendre des précautions d'utilisation :

- éviter les surcharges ;
- proscrire les décharges profondes (<1V par élément) ;
- ne jamais les court-circuiter ;
- attendre 1 heure avant d'utiliser une batterie qui vient d'être chargée ;

- attendre 15 minutes avant de recharger une batterie qui vient d'être déchargée ;
- une batterie Ni-Cd doit être stockée déchargée, une batterie Ni-MH doit être stockée chargée.

2.3 **Les accumulateurs au Lithium ion (Li-ion)**

C'est la dernière génération d'accumulateurs. Le principe est connu depuis la fin des années 70 mais le lithium étant instable à la charge, la commercialisation n'a été possible qu'en 1991.

Les accumulateurs Li-ion sont très utilisés car :

- ils offrent une densité d'énergie très supérieure aux autres technologies pour un poids inférieur (80 à 160 Wh/kg) ;
- il n'y a pas d'entretien particulier à apporter.

Par contre :

- ces batteries s'usent même lorsqu'elles ne servent pas ;
- durée de vie de 2 à 3 ans après leur fabrication ;
- risque d'explosion si elles ne sont pas chargées correctement (les constructeurs intègrent dans les batteries des circuits qui coupent la charge si les caractéristiques de la batterie sont anormales) ;
- capacité faible (150 à 4500mAh).



Figure 6 : Batterie Li-po

Depuis 1999 est apparue une nouvelle génération d'accus Li-ion : le Lithium ion Polymère (Li-po). L'électrolyte est un polymère gélifié qui permet d'obtenir des éléments très fins, souples et se présentant sous la forme de "paquets". Encore chère aujourd'hui, cette nouvelle technologie est promise à beaucoup d'avenir. Elle doit, à terme, revenir moins cher à la réalisation que le Li-ion classique.

2.4 Les supercondensateurs



Figure 7 : Supercondensateur 600F

Toutes les batteries et accumulateurs décrits précédemment sont électrochimiques, ils se basent sur une réaction chimique pour produire de l'énergie. Les supercondensateurs, eux, accumulent des charges (et donc de l'énergie) à leurs bornes.

2.4.1 Constitution

Le fonctionnement général des supercondensateurs est similaire aux condensateurs classiques mais ils peuvent stocker beaucoup plus d'énergie. Cela provient de leur structure spécifique. La structure double couche (EDLC) est la plus répandue.

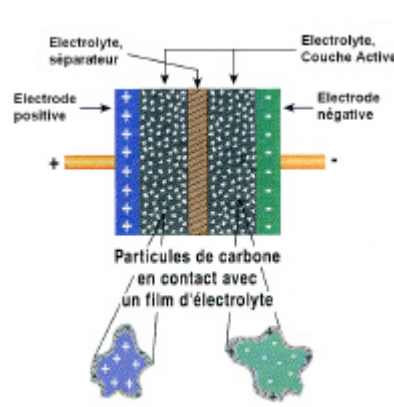


Figure 8 : Structure double couche

2.4.2 Avantages et inconvénients

2.4.2.1 Avantages

Attention, un supercondensateur n'est pas un accumulateur classique, en revanche, il possède beaucoup d'avantages par rapport à celui-ci :

- il est capable de subir un nombre de cycles charge/décharge très important (plus de 500 000 cycles) ;
- il se charge quasiment instantanément ;
- l'intensité de décharge peut être très importante sans dommages pour le composant ;

- très bon rendement, l'énergie fournie pour la charge est presque toute restituée lors de la décharge ;
- aucune maintenance n'est nécessaire ;
- très robuste, il peut donc être utilisé dans des environnements très sévères ;
- fabriqué à l'aide de composants non toxiques et bon marché.

2.4.2.2 Inconvénient

- stocke peu d'énergie comparé aux accumulateurs électrochimiques classiques.

2.4.3 Tableau comparatif batterie plomb/Supercondensateur

Caractéristiques	Batteries plomb	Supercondensateur
Temps de charge	3 à 24h	0,3s à 15min
Temps de décharge	10min à 3h	0,3 à 30s
Densité d'énergie [Wh/kg]	10 à 100	1 à 10
Durée de vie (en cycle)	<1000	>500 000
Rendement	70 à 85%	85 à 98%

Figure 9 : Tableau comparatif batterie plomb/supercondensateur

2.4.4 Applications

Nous l'avons vu dans la partie précédente, les batteries et les accumulateurs ont des comportements complémentaires. L'idée est donc de coupler les deux technologies, la batterie fournissant le courant moyen et le supercondensateur les pics de courant.

Par exemple, dans une voiture, un supercondensateur peut fournir l'énergie pour le démarreur. Outre le fait de ménager la batterie, cela permet d'éviter la baisse de tension au moment du démarrage et donc de maintenir l'équipement électronique (comme l'autoradio, le GPS, ...) en fonctionnement.

Il existe aussi des applications dans le ferroviaire pour démarrer des machines diesel : ces supercondensateurs pèsent environ 950kg. Ils sont utilisés car leur temps de recharge n'excède pas le quart d'heure.

Remarque : plusieurs datasheets de supercondensateurs (0,22 à 5000F) de marques PowerStor et Nesscap avoir en p.1 à 6 des annexes.

Nous observerons notamment des courants de décharge très importants (jusqu'à 2250A), et des capacités de condensateurs phénoménales.

2.5 Tableau récapitulatif

Caractéristiques	Plomb	Ni-Cd	Ni-MH	Li-ion	Li-po
Energie [Wh/kg]	30 à 50	50 à 80	60 à 120	80 à 160	100 à 130
Tension d'un élément [V]	2	1,2	1,2	3,6	3,6
Nombre de cycle charge/décharge	1000	1000	500	500	500
Temps de charge [h]	3 à 24h	1h	2 à 4h	2 à 4h	2 à 4h
Autodécharge par mois	5%	20%	30%	10%	10%

Figure 10 : Tableau récapitulatif

3 Comment charger des batteries au plomb

Toutes les valeurs de tensions et de courants données dans cette partie ne sont pas optimisées pour toutes les marques, elles peuvent être appliquées lors de la charge sans risque. Le meilleur moyen de savoir comment charger une batterie est de contacter son fabricant (voir annexe p.7 à 11 pour les documents de la batterie Optima du futur kart).

3.1 Quelques explications

3.1.1 Tension nominale

C'est la tension d'un élément chargé au repos à 25°C, elle est de 2,1V.

Par exemple, pour une batterie classique dite de 12V, la tension nominale sera de 12,6V. Si vous mesurez la tension de la batterie après l'avoir rechargée vous devez donc lire 12,6V.

3.1.2 Tension d'entretien

C'est la valeur de tension à laquelle on peut maintenir la batterie pour être sûr qu'elle soit chargée lorsqu'on en a besoin : 2,26V par élément à 25°C.

Toujours pour la batterie classique de 12V cela correspond à 13,6V.

Le terme tension d'entretien est français (on entend plus couramment tension de floating).

3.1.3 Tension de recharge

C'est la tension maximum à laquelle on peut charger la batterie à 25°C ; de 2,3V à 2,4V par élément.

Cela donne une tension de 13,8 à 14,4V pour une batterie classique de 12V.

3.1.4 Intensité de recharge

C'est le courant maximum auquel on peut charger la batterie à 25°C : il correspond à 1/5 de la capacité de la batterie (on dira C/5).

Pour une batterie 12V 50Ah, le courant maximum de charge serait de 10A.

3.2 Recharge en deux temps

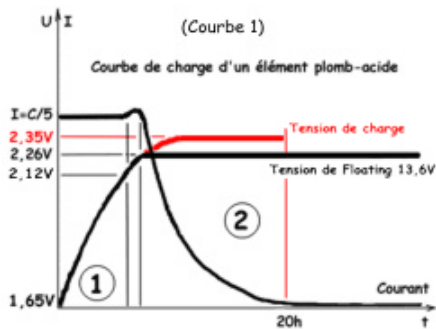


Figure 11 : Courbe de charge en deux temps

Dans un premier temps, on limite l'intensité dans la batterie au courant maximum de charge. Lorsque la tension atteint 2,12V/élément, nous passons en limitation de tension et deux choix s'offrent à nous :

- si la batterie est destinée à rester connectée en permanence, on impose la tension d'entretien (2,26V/élément). La batterie sera rechargée à 95% de sa capacité ;
- si la batterie est destinée à être utilisée rapidement, on impose la tension de recharge (2,35V/élément). La batterie sera rechargée à 100% de sa capacité.

Dans la pratique, pour réaliser un chargeur de ce type ;

- n'importe quelle alimentation stabilisée réglable en intensité et en courant suffit ;
- la plupart des régulateurs intégrés peuvent être utilisés s'ils sont bien paramétrés.

3.3 Recharge en trois temps

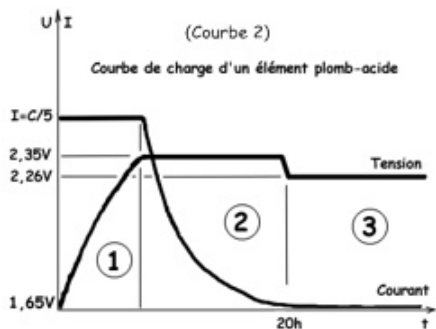


Figure 12 : Courbe de charge en trois temps

Dans la première partie, on limite l'intensité dans la batterie au courant maximum de charge (1/5 de la capacité). Dans la seconde partie, on impose la tension de recharge (2,35V/élément). Finalement on impose la tension d'entretien.

Ce mode de recharge permet de charger la batterie à 100% et ensuite de la maintenir chargée avec la tension d'entretien.

En pratique, pour réaliser un chargeur de ce type, on utilise :

- un microcontrôleur pilotant une alimentation à découpage ;
- un circuit intégré spécialisé.

3.4 Charge évoluée



Figure 13 : Chargeur CTEK

Certains fabricants de chargeurs de batteries développent des chargeurs très perfectionnés qui testent, chargent, entretiennent les batteries. C'est le cas, notamment, du fabricant CTEK

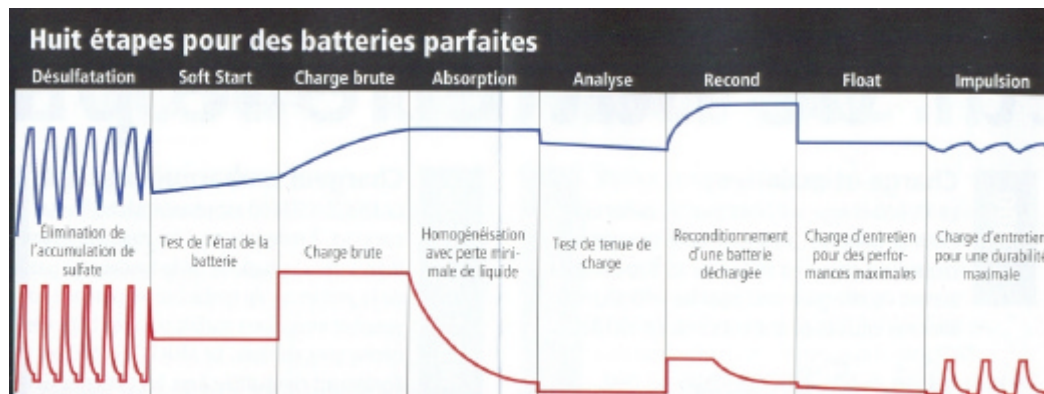


Figure 14 : Courbe de charge d'un chargeur CTEK (tension en bleu et courant en rouge)

Remarque : les chargeurs vendus dans le commerce pour 15 € ne présentent aucune des trois caractéristiques de charge expliquées ci-dessus. Ils sont simplement composés d'un transformateur et d'un pont de diode. Ils engendrent malheureusement l'usure prématurée des batteries.

4 Notre projet

4.1 Cahier des charges de base

Notre seule consigne est de concevoir un chargeur pour les quatre batteries de 12V du futur kart qui sera branché sur le secteur (230V alternatif). Ces batteries seront en série, ce qui nous donnera au totale une tension de 48V.

Nous en avons donc déduit le schéma synoptique suivant :

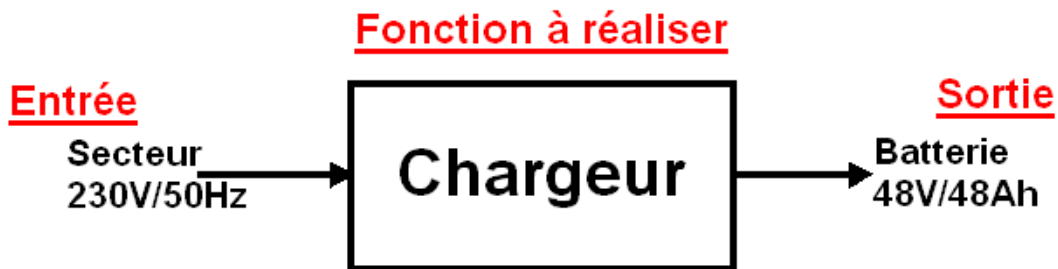


Figure 15 : Schéma synoptique

A ce stade nous ne connaissons encore rien sur les batteries au plomb, leurs charges. Nous avons donc commencé à récolter toutes les informations que nous trouvions à ce sujet.

4.2 Nos recherches

4.2.1 Les batteries

Pour concevoir un bon chargeur pour des batteries il faut tout d'abord connaître parfaitement les batteries à charger.



Figure 16 :
Batterie Optima

Caractéristiques d'une des batterie à charger :

- semi-traction : Optima jaune ;
- tension nominale : 12V ;
- puissance au démarrage : 660A ;
- capacité : 48Ah ;

- résistance interne : 3,2mΩ ;
- dimension l×L×h : 228 × 170 × 195 ;
- poids : 16,7 kg ;
- prix net : 98€ HT.

4.2.2 Le chargeur

Croyant connaître toutes les principales caractéristiques de la batterie, nous avons commencé à chercher des montages permettant la charge de cette batterie.

Les chargeurs pour batterie 48V n'existant pas nous avons mené nos recherches pour tous types de batteries en espérant adapter le montage pour nos tensions.

Parallèlement, nous contactons le fournisseur de batterie Optima pour obtenir si possible encore plus d'informations sur la batterie.

4.2.2.1 Première étape

Nous nous orientons tout d'abord vers un chargeur "simple" comprenant juste une limitation de courant à C/5, c'est-à-dire à environ 10A.

4.2.2.2 Deuxième étape

En consultant le magazine "Electronique" (n°133, février 2003, p.72), le montage proposé a retenu notre attention car il nous offre une nouvelle solution plus innovante :

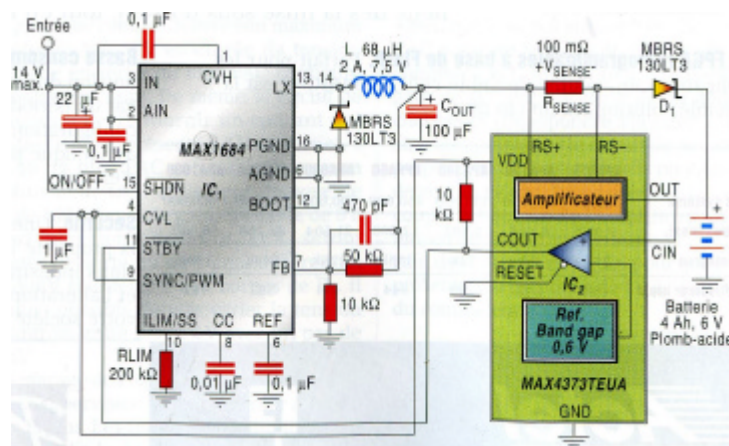


Figure 17 : Chargeur de batterie 6V 2A

Ce montage permet de limiter le courant de charge et ensuite de passer automatiquement en mode de charge d'entretien en fin de charge. Le schéma présenté ci-dessus sert à recharger une batterie 6V 4Ah.

Le chargeur est basé sur le convertisseur-abaisseur IC₁ (MAX 1684) qui intègre le transistor MOS de découpage ainsi que le redresseur. Il peut délivrer 1,5A sous 14V. La valeur de limitation de courant est fixée par la résistance RLIM (ici 1A).

La fin de charge est détectée par IC₂ (MAX 4373). Ce circuit intègre un amplificateur de courant et un comparateur. La mesure du courant de charge s'effectue aux bornes de R_{SENSE}. La sortie de l'amplificateur (OUT) est proportionnelle à la chute de tension aux bornes de R_{SENSE} avec un facteur 20. La sortie de OUT est comparée avec une tension référence de 0,6V.

Lorsque la batterie est pratiquement chargée, le courant débité par IC₁ décroît, s'il passe en dessous de 200mA, la sortie du comparateur interne à IC₂ bascule, faisant ainsi passer IC₁ en fonctionnement faible consommation (cela limite le courant de sortie à 120mA). C'est le mode de charge d'entretien.

Ce montage est satisfaisant au niveau de son fonctionnement mais non au niveau de ses grandeurs de sortie qui sont beaucoup trop faibles.

Pour exemple, le montage ne peut fournir qu'un courant de 1,5A alors que nous aurions besoin d'au moins 10A.

4.2.2.3 Troisième étape

Nous avons donc recherché des circuits du même type mais pouvant délivrer plus de tension et de courant. Aucun composant ne correspondait à nos attentes. Par contre, durant nos recherches sur le site Internet de Radiospares (www.radiospares.fr), nous avons remarqué une rubrique nommée "Régulateurs de charge".

Nous l'avons consulté. Plusieurs circuits intégrés concernaient la charge des batteries au plomb et plus particulièrement le bq2031. Nous avons donc consulté les datasheets de ce composant et avons trouvé une nouvelle solution : séparer la commande et la puissance.

En fait, le problème est que pour notre application les courants sont trop élevés pour des circuits imprimés, il faut donc gérer la charge par un circuit qui commandera une partie puissance.

En consultant le datasheet du bq2031 (annexes p.12 à 41) nous remarquons que différents modes de charge sont possibles :

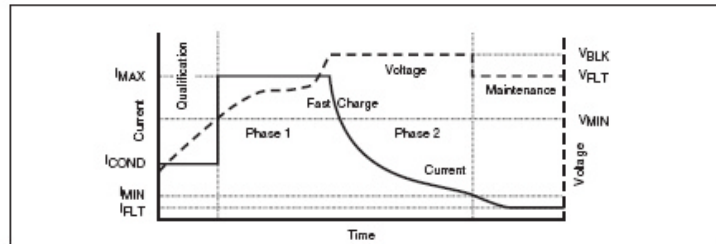


Figure 2. Two-Step Voltage Algorithm

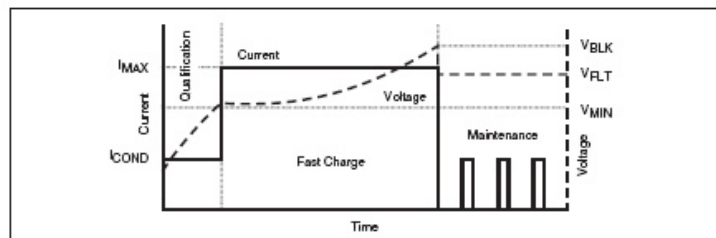


Figure 3. Two-Step Current Algorithm

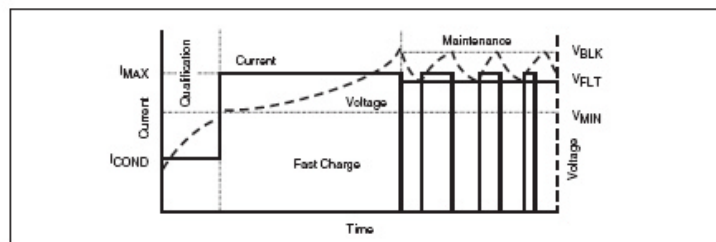


Figure 4. Pulsed Current Algorithm

Figure 18 : Modes de charge du bq2031

Quelques jours après avoir découvert ces modes de charges nous recevons la réponse du fournisseur à notre demande de documentation, il nous envoie les courbes de charge idéales de batteries Optima (annexes p.7 à 11).

Nous remarquons notamment que la charge s'effectue en 4h avec des courants et des tensions bien plus élevés (25A sous 16V) que tout ce que nous avons pu prévoir.

C'est le document idéal pour réaliser un bon chargeur de batterie, d'autant que le mode "Two-Step Voltage Algorithm" (figure 15) correspond très bien avec la courbe proposée par le constructeur Optima.

Le choix est donc fait, la régulation sera faite par le régulateur de charge bq2031 qui commandera un circuit de puissance.

4.3 Le montage

Pour utiliser le régulateur bq2031, nous nous sommes appuyés sur un montage proposé par le constructeur (nous avons ajouté des annotations en bleu pour que le montage soit plus compréhensible) :

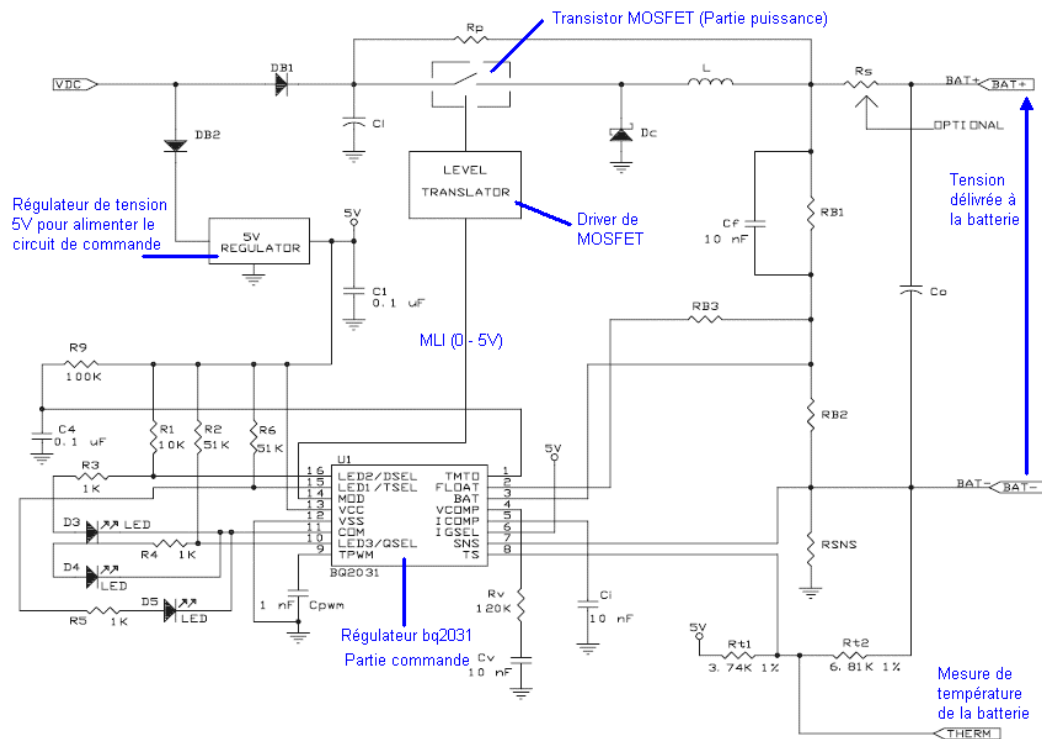


Figure 19 : Montage de départ du chargeur de batterie

4.4 Etude des composants

A partir du schéma de base fourni par le constructeur, nous avons recherché les composants nécessaires pour réaliser le montage.

4.4.1 Le régulateur de charge

Le choix s'est donc porté sur le bq2031 fabriqué par Texas Instrument. Il est la partie centrale du chargeur car c'est lui qui gèrera toute la charge (la tension et le courant appliqués à la batterie). Il est configuré par l'intermédiaire des résistances qui l'entourent (elles seront calculées par la suite).

Il est alimenté par une tension continue 5V.

Pour gérer la charge, il génère un signal MLI (en fonction de la tension et du courant de charge) qui commande un MOSFET par l'intermédiaire d'un driver de MOSFET.

Remarque : en annexe, les datasheets du régulateur de charge bq2031 (p12 à41)

4.4.2 Le driver de MOSFET

C'est le circuit qui permet d'adapter le signal du régulateur de charge au MOSFET. Le régulateur délivre une tension MLI (0 – 5V) au driver, celui-ci la renvoie sous la forme d'une tension en créneau (0 – 15V) au MOSFET. C'est le signal de commande du MOSFET.

Notre choix s'est porté sur l'IR2183 fabriqué par International Rectifier. Ce choix a été motivé par son temps de réponse qui correspondait avec la fréquence que le régulateur fournissait. Mais aussi par le fort courant de sortie qu'il est capable de fournir (3,3A).

Ce circuit intégré doit être alimenté par une tension continue de 15V. Cela va nous obliger à créer une nouvelle tension de 15V (en plus du 5V pour le régulateur).

Remarque : en annexe, datasheet du driver de MOSFET IR2183 (p.42 à49)

4.4.3 Le MOSFET

C'est le composant qui va jouer le rôle de hacheur (ou plus simplement d'interrupteur). C'est lui qui, commandé par le régulateur par l'intermédiaire du driver de MOSFET, contrôlera le courant de charge.

Il doit être capable de tenir des tensions de 70V et des courants de 25A. Nous surdimensionnerons le composant pour être certains qu'il fonctionne bien. Il sera capable de supporter des tensions de 100V et des courants de 50A.

Nous nous sommes orientés vers le STW55NE10 fabriqué par ST Microelectronics, car il supporte un courant de 55A, une tension de 100V, de plus il a une résistance drain - source faible ($<27m\Omega$).

Remarque : en annexe datasheet du MOSFET (p.50 à 57)

4.4.4 Transformateurs toriques 800VA

Ils serviront à abaisser la tension du secteur à 55V. Nous en disposerons trois en parallèle pour atteindre une puissance apparente de 2400VA (un seul transformateur de 2400VA n'existant pas).

Le transformateur fournit une tension de 64V sous 25A d'où :

$$S = (I \times U) / \cos \phi = 25A \times 64V / 0,65 = 2460VA$$

Nous avons choisi des transformateurs toriques pour éviter les perturbations autour du circuit, le fabricant est Nuvotem.

Ce sera la partie la plus imposante du montage, car chaque transformateur pèse environ 5kg, ce qui donne un poids de 15kg pour les trois.

Remarque : en annexe datasheet du transformateur 800VA (p.58)

4.4.5 Pont redresseur 25A

Après avoir abaissé la tension à 55V, il faut la redresser : c'est le rôle du pont redresseur. Nous avons choisi le GBPC2502A fabriqué par International Rectifier. Nous en placerons trois dans le circuit (un sur chaque transformateur).

Notre avons choisi ce composant car il accepte un courant de 25A, une tension de 200V et car on ne le monte pas en surface d'un circuit imprimé mais "en l'air".

Remarque : en annexe datasheet du pont redresseur 25A (p.59 à 64)

4.4.6 Transformateur 10VA

Il sert à abaisser la tension à 18V pour alimenter le pont de diode et les régulateurs de tension (5V et 15V). Nous considérons que le driver ainsi que le régulateur de charge absorbent chacun 200mA, cela fait une intensité de 400mA.

$$\text{D'où : } S = 18V \times 0,4 / 0,65 = 11VA$$

Le fabricant de ces transformateurs est BLOCK.

Remarque : en annexe datasheet du transformateur 10VA (p.67 à71)

4.4.7 Pont redresseur 1,5A

Pour alimenter les régulateurs de tension, il faut redresser la tension provenant du transformateur 10VA : c'est le rôle du pont redresseur.

Nous avons choisi le DF005M fabriqué par General Semiconductor.

Le choix du courant n'est justifié que par le fait qu'il n'existe pas de ponts redresseurs calibrés plus petit.

Remarque : en annexe datasheet du pont redresseur 1,5A (p.65 à66)

4.4.8 Les régulateurs de tension 5V et 15V

Les régulateurs de tension servent à donner une tension sans ondulation à partir d'une tension qui ondule.

Pour alimenter le circuit de régulation de charge, il faut une tension de 5V. On utilise donc le régulateur 7805.

Pour alimenter le driver, il faut une tension de 15V : on utilise donc le régulateur 7815.

Ils seront alimentés par le transformateur 10VA 18V, après que la tension aura été redressée et filtrée.

4.4.9 Tableau récapitulatif des composants et coût

Fonction réalisée	Dénomination	Boîtier	Référence Radio spares	Constructeur	Quantité	Prix
Régulateur de charge	bq2031	SOIC16	461-5246	Texas Instrument	1	7,55 €
Driver de MOSFET	IR2183	DIL8	415-4280	International Rectifier	1	6,21 €
MOSFET	STW55NE10	TO247	486-3164	ST Microelectronics	1	6,66 €
Transformateur 800VA - 55V	Transformateur torique 2x55V 800VA	-	223-8392	Nuvotem	3	66,63 €
Transformateur 10VA - 18V	Transformateur 2x18V 10VA	-	347-2638	BLOCK	1	7,55 €
Pont redresseur 25A	GBPC2502A	-	395-4203	International Rectifier	3	4,35 €
Pont redresseur 1,5A	DF005M	-	183-4028	General Semiconductor	1	3,15€ les 5
Régulateur de tension 1V	LM7805	TO247	648-422	National Semiconductor	1	0,89 €
Régulateur de tension 5V	LM7815	TO247	724-1567	National Semiconductor	1	0,89 €
TOTAL						245,84 €

Figure 20 : Tableau récapitulatif des différents composants (référence, prix, quantité)

4.5 Schéma synoptique

Lorsque nous avons recherché les différents composants, nous avons pu nous rendre compte des contraintes que chacun impose : à partir de cela nous avons déduit le schéma synoptique du chargeur :

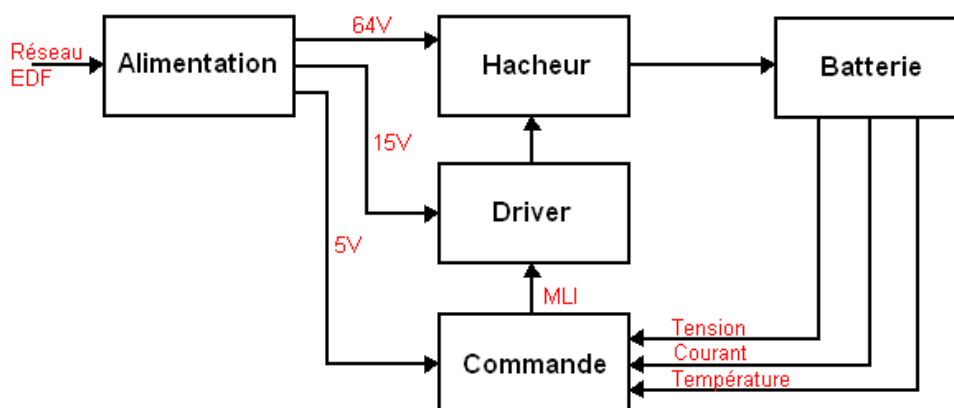


Figure 21 : Schéma synoptique global du chargeur

4.6 Adaptation du montage

Comme nous l'avons vu dans l'énumération des composants ainsi que dans le schéma synoptique, le driver doit être alimenté en 15V, le régulateur de charge en 5V et la batterie en 64V. Il faut donc modifier l'alimentation du montage.

A l'origine, le montage est prévu pour être alimenté avec une tension de 12V (sur la borne VDC) :

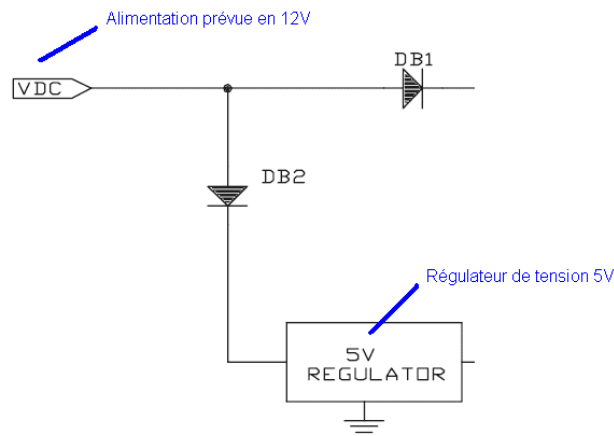


Figure 22 : Schéma d'alimentation d'origine

Nous modifions donc ce montage pour obtenir ce que nous souhaitons : des tensions de 5V et 15V régulées pour alimenter le driver et le régulateur de charge et une tension de 64V pour "alimenter" la batterie.

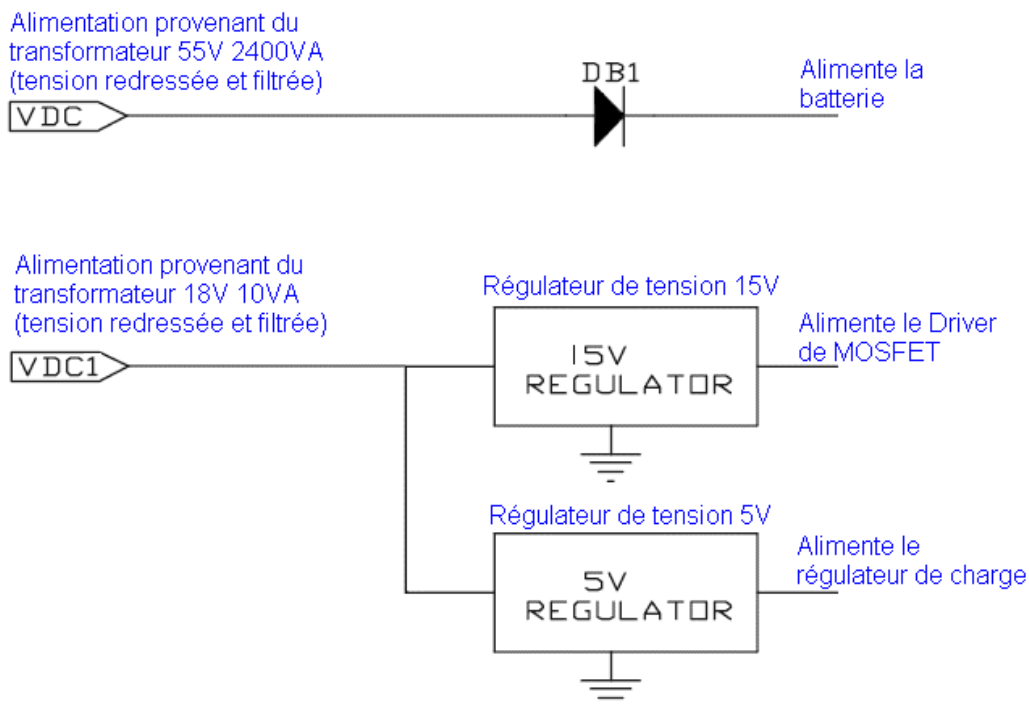


Figure 23 : Schéma d'alimentation adapté à nos besoins

L'alimentation est divisée en deux parties :

- celle qui alimente la partie puissance (hacheur et batterie), qui est composée de trois transformateurs de 800VA (qui abaissent la tension du réseau EDF à 55V), de trois ponts redresseurs (pour redresser la tension) et d'un filtrage constitué de deux condensateurs de 10mF ;
- celle qui alimente la commande et le driver est composée d'un transformateur de 10VA (qui abaisse la tension du réseau EDF à 18V), d'un pont redresseur et d'un filtrage constitué de condensateurs. nous retrouvons ici une subdivision :
 - une partie régulée à 5V pour la commande ;
 - une partie régulée à 15V pour le driver.

Remarque : la diode DB1 sur le montage empêche que la batterie fournisse du courant à l'alimentation lorsqu'elle n'est pas branchée.

4.7 Paramétrage du bq2031

Maintenant que tous les composants sont définis, il reste à paramétrer le régulateur.

4.7.1 Mode de charge

Un mode de charge est particulièrement ressemblant avec la courbe de charge idéale fournie par le fabricant : le mode "Two-Step Voltage Algorithm". Pour paramétrer le mode de charge, il faut mettre à l'état haut ou bas certaines entrées.

Charge Algorithms	QSEL	TSEL	Programmable Thresholds
Two-Step Voltage	L	H/L*	I_{MAX} , V_{BLK} , V_{FLT}
Two-Step Current	H	L	I_{MAX} , V_{BLK} , I_{MIN}
Pulsed Current	H	H	I_{MAX} , V_{BLK} , V_{FLT}

Figure 24 : Tableau des modes de charge

Pour obtenir le premier mode de charge, nous devons donc mettre l'entrée QSEL à l'état haut et l'entrée TSEL à l'état haut ou bas.

Le schéma correspondant est donc celui-ci :

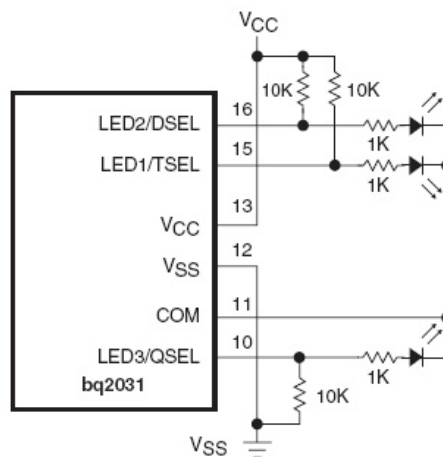


Figure 25 : Câblage pour obtenir le mode de charge Two-Step Voltage Algorithm

Remarque : les entrées TSEL et QSEL que nous paramétrons sont aussi des sorties qui donnent l'état du régulateur.

4.7.2 Paramétrage des valeurs du mode

Lorsque le mode de charge est choisi et paramétré, il faut fixer les valeurs de la courbe de charge du mode. Pour cela, il faut calculer les résistances R_{B1} , R_{B2} , R_{B3} et R_{SNS} situées sur le montage suivant :

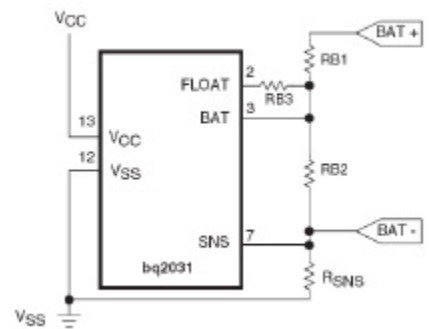


Figure 26 : Câblage des résistances

Avant le calcul des résistances, il faut définir les valeurs de la courbe.

Pour effectuer cela, nous avons disposé les deux courbes (celle du fabricant Optima et celle du mode de charge) et nous les avons comparées pour obtenir le meilleur compromis.

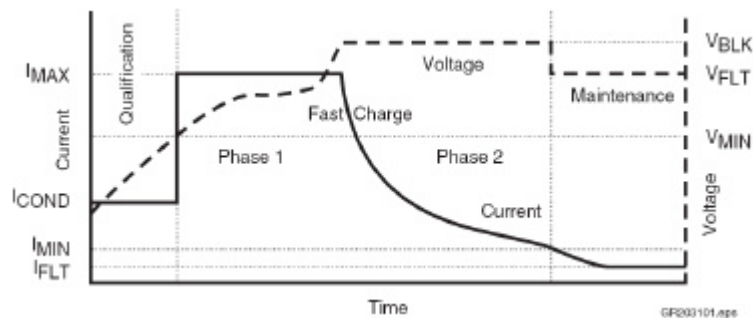


Figure 27 : Mode de charge Two-Step Voltage Algorithm

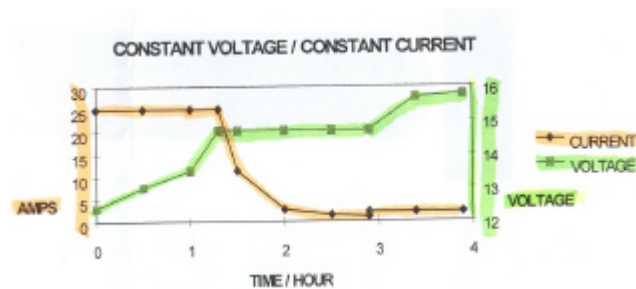


Figure 28 : Courbe de charge fournit par le constructeur Optima

Nous en avons déterminé :

- $I_{MAX} = 25A$
- $I_{COND} = I_{MAX}/5 = 5A$
- $I_{MIN} = 2A$
- $I_{FLT} = 1A$
- $V_{BLK} = 60V$
- $V_{FLT} = 56V$
- $V_{MIN} = 50$

4.7.2.1 Calcul de RB1 et RB2

$$\frac{RB1}{RB2} = \frac{N \times V_{FLT}}{2,2} - 1$$

Où N est le nombre d'éléments, $N = 4 \times 6 = 24$

$$\frac{RB1}{RB2} = \frac{24 \times 56}{2,2} - 1 = 610$$

Sachant par le datasheet que $150 \text{ k}\Omega < RB1 + RB2 < 1 \text{ M}\Omega$

On définit $RB1 = 510 \text{ k}\Omega$

$$\text{Donc } RB2 = \frac{RB1}{610} = \frac{510000}{610} = 836 \Omega$$

4.7.2.2 Calcul de RB3

$$\frac{RB1}{RB2} + \frac{RB1}{RB3} = \frac{N \times V_{BLK}}{2,2} - 1$$

$$RB3 = \frac{RB1}{\frac{N \times V_{BLK}}{2,2} - 1 - \frac{RB1}{RB2}} = \frac{510000}{\frac{24 \times 60}{2,2} - 1 - 610} = 11800 \Omega$$

4.7.2.3 Calcul de R_{SNS}

$$R_{SNS} = \frac{0,25}{I_{MAX}} = \frac{0,25}{25} = 10 \text{ m}\Omega$$

4.7.2.4 Fixer I_{MIN}

Pour fixer I_{MIN} il faut mettre la borne IGSEL dans un état précis, à l'aide du tableau suivant :

Two-Step Voltage	
IGSEL	I_{MIN}
L	$I_{MAX}/10$
H	$I_{MAX}/20$
Z	$I_{MAX}/30$

Figure 29 : Pour fixer I_{MIN}

Nous prendrons $I_{MIN} = I_{MAX} / 10 = 2,5A$, car c'est la valeur la plus proche de ce que nous voulions ($I_{MIN} = 2A$). Il faut donc mettre la borne IGSEL à l'état bas.

Remarque : nous ne calculerons pas les résistances qui servent au contrôle de la température dans ce pré projet, nous considérerons cette partie comme une amélioration du montage qui sera peut être faite par la suite.

4.8 Planning Prévisionnel

	S46	S47	S48	S49	S50	S51	S52	S01	S02	S03	S04	S05	S06
Essai redressement et régulation tension													
Réalisation carte													
Essai de la carte													
Réalisation du projet final													

Figure 30 : Planning prévisionnel

Conclusion

Dans cette partie de pré projet, nous avons pu apprendre à développer un projet à partir d'un cahier des charges, de l'étude des différentes possibilités technologiques au choix des composants.

Notre schéma de câblage est maintenant établi, les composants sont choisis, il reste à réaliser les tests sur les différentes fonctions du schéma synoptique.

Dans un premier temps, nous n'utiliserons pas la sonde de courant sur le régulateur. Cette fonction pourra faire l'objet d'une amélioration par la suite.

Table des illustrations

Figure 1 : Gaston Planté	7
Figure 2 : Première batterie d'accumulateurs conçue par Gaston Planté	8
Figure 3 : Courbe de décharge Ni-Cd et Ni-MH.....	12
Figure 4 : Constitution d'une batterie Ni-Cd ou Ni-MH.....	12
Figure 5 : Courbe de décharge	13
Figure 6 : Batterie Li-po	14
Figure 7 : Supercondensateur 600F	15
Figure 8 : Structure double couche	15
Figure 9 : Tableau comparatif batterie plomb/supercondensateur.....	16
Figure 10 : Tableau récapitulatif.....	17
Figure 11 : Courbe de charge en deux temps	19
Figure 12 : Courbe de charge en trois temps.....	19
Figure 13 : Chargeur CTEK	20
Figure 14 : Courbe de charge d'un chargeur CTEK (tension en bleu et courant en rouge).20	
Figure 15 : Schéma synoptique.....	21
Figure 16 : Batterie Optima	21
Figure 17 : Chargeur de batterie 6V 2A.....	22
Figure 18 : Modes de charge du bq2031	24
Figure 19 : Montage de départ du chargeur de batterie	25
Figure 20 : Tableau récapitulatif des différents composants (référence, prix, quantité)	29
Figure 21 : Schéma synoptique global du chargeur	29
Figure 22 : Schéma d'alimentation d'origine.....	30
Figure 23 : Schéma d'alimentation adapté à nos besoins	31
Figure 24 : Tableau des modes de charge	32
Figure 25 : Câblage pour obtenir le mode de charge Two-Step Voltage Algorithm.....	32
Figure 26 : Câblage des résistances	33
Figure 27 : Mode de charge Two-Step Voltage Algorithm	33
Figure 28 : Courbe de charge fournit par le constructeur Optima	33
Figure 29 : Pour fixer I_{MIN}	35
Figure 30 : Planning prévisionnel.....	35

Bibliographie

Revue :

- Electronique ; Février 2000 ; n°100 ; p.81 à 84 : application supercondensateur plus batterie
- Electronique ; Mai 2001 ; n°114 ; p.62 à64 : développement sur les supercondensateurs
- Electronique ; Mars 2002 ; n°123 ; p.40 à41 : le supercondensateur en batterie
- Electronique ; Février 2003 ; n°133 ; p.72 à73 : exemple de montage de chargeur de batterie

Sites Internet :

- <http://www.ni-cd.net> [21/11/05] : Détail des différentes batteries
- <http://www.wikipedia.fr> [22/10/05] : Encyclopédie
- <http://www.radiospares.fr> [25/09/05] : fournisseur de composants
- <http://www.ti.com> [26/09/05] : Texas Instrument, fabricant de composants
- <http://www.national.com> [26/10/05] : National Semiconductor, fabricant de composants
- <http://www.irf.com> [10/10/05] : International Rectifier, fabricant de composants
- <http://www.st.com> [10/10/05] : ST Microelectronics, fabricant de composants
- <http://www.nuvotem.com> [10/010/05] : fabricant de transformateurs

Sommaire des annexes

Annexe 1 : supercondensateurs PowerStor (p.1 à p.2)

Annexe 2 : supercondensateurs Nesscap (p.3 à p.6)

Annexe 3 : document constructeur de la batterie Optima (p.7 à 11)

Annexe 4 : datasheet (description) du régulateur de charge bq2031
(p.12 à 26)

Annexe 5 : datasheet (application) du régulateur de charge bq2031
(p.27 à 41)

Annexe 6 : datasheet du driver de MOSFET IR2183 (p.42 à 49)

Annexe 7 : datasheet du MOSFET STW55NE10 (p.50 à 57)

Annexe 8 : datasheet du transformateur 800VA (p.58)

Annexe 9 : datasheet du pont redresseur 25A (p.59 à 64)

Annexe 10 : datasheet du pont redresseur 1,5A (p.65 à 66)

Annexe 11 : datasheet du transformateur 10VA (p.67 à 71)