

J'AI ESSAYÉ UN CONDENSATEUR DE 350 F (FARAD) !

F9HX, André JAMET

Ce n'est pas directement de l'émission d'amateur, pensez-vous. Non, mais il faut bien s'instruire et connaître les possibilités que nous offrent les nouvelles technologies afin de les appliquer à nos réalisations.



Non, ce n'est pas une erreur, il s'agit bien de 350 farads !

Il y a encore peu, cela aurait été une vantardise ou une plaisanterie. Aujourd'hui, c'est un fait. Une nouvelle race de condensateurs à caractère électrochimique, dont l'avènement date des années 70, vient compléter celles bien connues dites à l'aluminium ou au tantale. Ils sont appelés supercondensateurs car ils peuvent atteindre des capacités que l'on ne pouvait atteindre jusque-là que grâce à une mise en parallèle d'un très grand nombre d'éléments. Avec les technologies traditionnelles, les capacités les plus élevées étaient de l'ordre de 10 000 μ F et avaient un volume important. Les supercondensateurs peuvent atteindre des capacités de l'ordre de 5000 F !

Quelle est donc la technologie utilisée pour obtenir de telles performances ?

Un peu de technique et de technologie :

Un condensateur comprend deux électrodes conductrices séparées par un isolant. La capacité est donnée par la formule bien connue sous sa forme " vulgaire " :

$$C = 8,84 \times 10^{-12} \times k S / e$$

avec :

C = capacité en farads

k = pouvoir inducteur spécifique de l'isolant

(constante diélectrique)

S = surface des électrodes en m^2

e = épaisseur de l'isolant en m

Si l'on veut obtenir de fortes capacités, cette formule enseigne que :

■ k doit être le plus fort possible (1 pour l'air, 2 à 3 pour les plastiques, 8 pour l'alumine et jusqu'à 10 000 pour certaines céramiques utilisées pour les condensateurs de découplage)

■ e a pu être diminuée dans les condensateurs électrochimiques classiques grâce à la formation d'une très fine couche d'oxyde sur la surface du métal des électrodes.

■ S doit être la plus forte possible, par exemple en la rendant très rugueuse pour en augmenter fortement la valeur effective.

L'emploi d'électrodes en carbone, en oxydes mixtes ou en polymère conducteur permet l'augmentation de la surface effective. L'épaisseur de l'isolant est réduite à des dimensions moléculaires, ce qui limite à 2,5 volts la tension par élément. La conduction est électrique alors que dans les accumulateurs et piles elle est ionique.

Il faut réserver ces condensateurs aux applications à très basse tension ou réaliser des couplages en série pour atteindre des tensions qui peuvent alors être aussi élevées que souhaité.

Modèle utilisé :

Mes essais ont porté sur le modèle BCAP0350 de Maxwell Technologies. Il se présente comme une pile de taille D, soit un diamètre de 33 mm pour une longueur de 61,5 mm et une masse de seulement 60 grammes. Le raccordement se fait sur des plages ou, en variante, par des cosses Faston.

Les caractéristiques électriques sont les suivantes :

capacité : 350 F \pm 20 %

tension de service : 2,5 V

résistance interne en courant

continu : 3,2 m Ω \pm 25 % (décharge à courant constant à 25 °C)

résistance interne à 1 kHz : 1,6 m Ω \pm 25 % (idem)

température de fonctionnement :

- 40 + 65 °C

température de stockage :

- 40 + 70 °C

vieillessement : - 20 % de la capacité + 25 % de la résistance (1000 heures à + 25 °C)

puissance massique :

3906 W/kg

puissance volumique :

4687 W/l

durée de vie : 10 ans pour - 20 % de capacité + 200 % sur la résistance interne (par rapport aux valeurs initiales)

endurance : - 20 % de capacité et + 200 % sur la résistance interne pour 500 000 cycles à 25 °C et 5 A (par rapport aux valeurs initiales).

Comparaison avec les autres sources d'énergie :

On peut trouver dans les articles cités en référence des graphes de Ragone qui donnent une comparaison entre diverses sources d'énergie, y compris les divers types d'accumulateurs, les condensateurs classiques, les supercondensateurs, les volants d'inertie et les piles à combustible. On y compare les puissances massiques en W/kg et les énergies massiques en Wh/kg. Plus simplement, voici un tableau qui donne des performances obtenues dans le même boîtier de

type D pour un supercondensateur, une pile alcaline, un accumulateur au plomb étanche et un accumulateur nickel-cadmium étanche, les éléments étant choisis parmi les meilleurs de leur catégorie.

Essais effectués :

Les essais ont été menés à une température ambiante de l'ordre de 21 °C.

La première mesure est celle de la tension résiduelle du condensateur, tel qu'il a été reçu. En fait, elle était de quelques dizaines de millivolts : le condensateur était déchargé.

Le condensateur est alors raccordé à une alimentation de laboratoire réglée à 2,5 V et dont le courant a été limité à 1 ampère. Théoriquement, pour atteindre la pleine capacité, le temps requis est de :

$$t = Q/i \quad \text{avec } Q = CV$$

avec :

t = temps en secondes

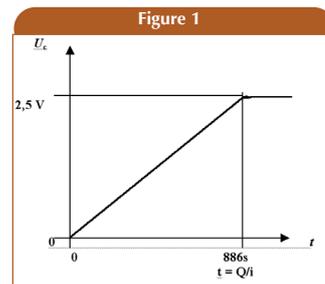
Q = charge en coulombs

i = courant de charge en ampères

C = capacité en farads

V = tension en volts.

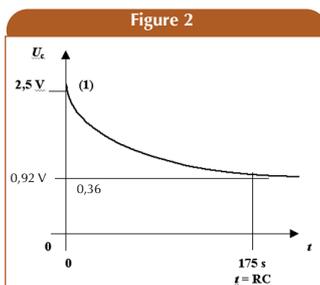
Pour le condensateur en essai, $t = (350 \times 2,5) / 1 = 875$ secondes



Charge à courant constant

Le courant de charge a été mesuré et il a suivi la courbe de la figure 1 qui montre que le courant est resté constant à 1 A durant un quart d'heure environ (900 secondes). Ensuite il a diminué progressivement et le courant résiduel s'est stabilisé à moins d'un milliampère, valeur qu'on peut considérer comme le courant de fuite du condensateur soumis à sa tension nominale.

Une décharge a alors été réalisée sur une résistance constante de 2,5 ohms. La tension durant cette décharge a été relevée. Après recharge, une décharge a été effectuée sur une résistance de 0,5 ohm (figure 2).



Décharge sur résistance 0,5 ohm

Comme pour toute décharge de condensateur sur une résistance fixe, la tension décroît exponentiellement et l'on a $U_t = U_0 e^{-t/RC}$

Avec les valeurs du condensateur en essai, partant de 2,5 V et pour la résistance de 2,5 ohms, on doit atteindre $U_t = 2,5 \times e^{-1} = 2,5 \times 0,36 = 1,9$ V

Après $t = 2,5 \times 350 = 875$ s ce qui se vérifie sur la courbe tracée. De même, avec la résistance de 0,5 ohm, on trouve cette tension de 1,9 V après $t = 0,5 \times 350 = 175$ s

Des essais à des courants plus élevés ont été réalisés en faisant fondre des fusibles connectés brutalement sur le condensateur. Les fusibles de caractéristique gF (rapidité normale) allant jusqu'à 20 A fondent immédiatement. Pour des calibres supérieurs et pour des modèles aM (accompagnement moteur, donc lents), la tension

du condensateur décroît trop rapidement avec le courant débité pour fournir le courant entraînant la fusion.

Rappelons à ce sujet que si la tension décroît exponentiellement sur une résistance, elle décroît linéairement pour une charge consommant un courant constant. Si un convertisseur continu-continu délivrant une tension constante est inséré entre le condensateur et une résistance pour que la tension de celle-ci reste constante, le condensateur se décharge à puissance constante (au rendement près du convertisseur) et le temps de décharge est très raccourci. C'est tout l'avantage de la tension reste quasi-constante au cours de l'utilisation de l'énergie emmagasinée. Les supercondensateurs ne peuvent pas remplacer ces sources pour des décharges lentes.

Applications diverses :

Les applications sont dans le domaine de l'électricité et de l'électronique de puissance. Toute application nécessitant la délivrance de pointes importantes de courant peut avantageusement utiliser un supercondensateur qui les assure alors que la source d'énergie permanente ne le peut. Dans cette fonction de réservoir local, on peut citer :

- alimentation de circuits intégrés consommant des pointes très importantes pouvant perturber le " bus " du circuit imprimé.
- jouet électrique pour diminuer la capacité de la pile.
- panneau solaire, éolienne, pile à combustible: association à une batterie d'accumulateurs

■ tous circuits consommant des pointes très importantes dans une automobile : lève-vitre, verrouillage des portes, frein électrique, avertisseur, alternodémarrateur des systèmes "stop and go", actuateurs divers pour réduire la section de la filerie et/ou aider la batterie à assurer la fonction.

■ alimentation en conjugaison avec des accumulateurs de véhicules routiers ou ferroviaires sans caténaire.

■ applications imposant un très grand nombre de cycles de décharge excédant l'endurance des accumulateurs.

■ applications militaires : drones, fusées, engins balistiques, mises à feu d'explosifs, armes électriques.

■ émetteurs à modulation SSB, OOK ou impulsions, radar, sonar.

Applications envisageables pour les radioamateurs :

Parmi celles citées ci-dessus pour le cas général, on peut en retenir bon nombre. La propriété spécifique des supercondensateurs est d'associer la possibilité de délivrer des pointes de courants à des très fortes valeurs de capacité.

La faible masse des supercondensateurs comparée à celle des accumulateurs est un atout important pour le travail en portable, par exemple en association avec des panneaux solaires qui ne peuvent seuls fournir des pointes de courant. Comme en automobile, les supercondensateurs peuvent localement délivrer des pointes de courant à des actuateurs alors que la source normale est trop résistante pour l'assurer, par exemple les moteurs ou

électro-aimants de commande de paraboles.

Conclusion :

Laissons travailler l'imagination des OM et ils trouveront beaucoup d'applications pour les supercondensateurs, mais il leur faudra pouvoir en acquérir, et c'est une autre histoire...

Références :

■ Standard Packaging Slashes Size and Cost of Ultracapacitors, D.Morrison, Power Electronics, Apr 7, 2004

■ Utilisation des supercondensateurs pour le stockage de l'énergie embarquée : applications transport, H.Galous, R.Gallay, A. Berthon, REE, septembre 2004

■ Etude et réalisation d'une alimentation auxiliaire de puissance (APU) associant une pile à combustible et supercondensateurs.

■ Supercondensateurs hybrides, perspectives d'application aux véhicules, J.F. Fauvargue, A. Laforgue, C.Sarrazin, P. Simon, REE, novembre 2004

■ Les condensateurs à double couche électrochimique, J.F. Hélie, Electronique, novembre 2004 Documentation : www.maxwell.com

Pour renseignements complémentaires : F9HX.agit@wanadoo.fr

Tableau comparatif d'éléments de stockage d'énergie, logés dans le même boîtier D

type	euros	Ah	V	Ri	g	courant débité A	W/kg	Wh/kg
pile alcaline	4	15	1,5	150	139	≤ 10 A	80	108
accu Cd-Ni	16	4	1,2	3,1	145	≤28A ≤130A0,3 s	600	28
accu Pb étanche	8	2,5	2	5	178	≤ 30 A Icc = 400 A	300	14
accu Ni-MH	30	8,5	1,2	4	160	≤ 40 120 A ≤ 0,2 s	700	50
accu Li-ion	?	4,6	3,6	?	126	≤ 15 A 20 A 5 s	500	36,5
supercondensateur	10	/	2,5	1,6	60	nominal 70 A 5 s	3000	10