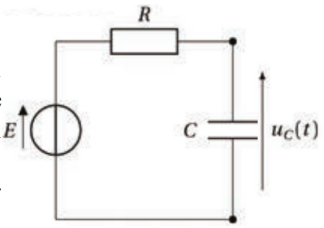
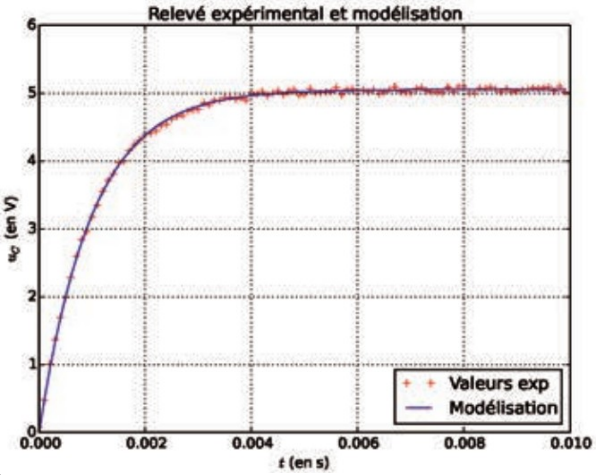
Problème 1 : supercondensateurs.



Dans ce problème, on souhaite mesurer expérimentalement la capacité C d'un condensateur. Une méthode consiste à soumettre le dipôle { condensateur+conducteur ohmique de résistance R} associés en série à un échelon de tension, et à analyser la réponse temporelle du dipôle à cette excitation. Le condensateur est initialement déchargé et le conducteur ohmique a pour résistance R=1, 00 kΩ avec une incertitude type u(R)=0,01 kΩ.

À l'instant de date t = 0, on allume le générateur de force électromotrice E. Un système d'acquisition permet d'enregistrer tous les t=0,10 ms la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur.



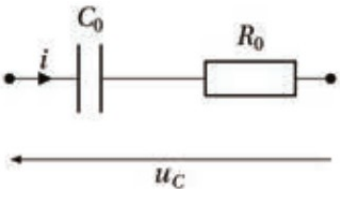
On obtient le graphe u_C= f(t) ci-dessous. La courbe de réponse obtenue permet raisonnablement de suggérer un comportement du premier ordre.

1. Établir l'équation différentielle satisfaite par $u_C(t)$ et la mettre sous forme canonique en introduisant un temps caractéristique τ.
2. À l'aide du relevé expérimental fourni, déterminer une estimation de E (on pensera à donner une incertitude u(E)).
3. Toujours à l'aide du relevé, déterminer une estimation du temps caractéristique τ (on pensera à donner une incertitude u(τ))
4. Quel est le type de relation liant R, C et τ ? En explicitant les calculs de manière raisonnable, déduire une estimation de la capacité C du condensateur avec son incertitude u(C).

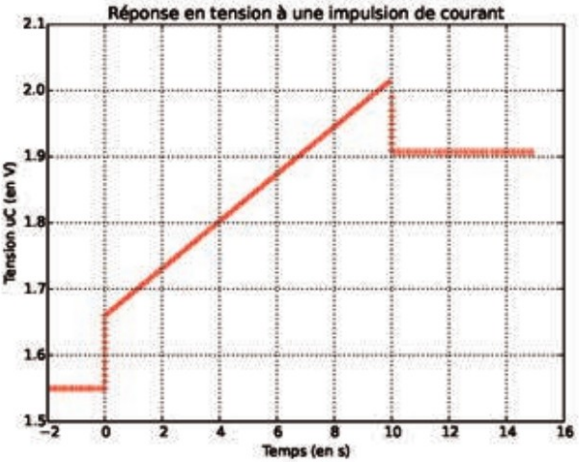
L'utilisation d'un système de stockage d'énergie est souvent nécessaire pour les applications de type traction électrique. Le composant de stockage est utilisé :

- *dans les systèmes isolés où il alimente des dispositifs demandant une énergie réduite ;*
- *dans les systèmes hybrides où il joue un rôle en terme d'apport de puissance ou d'énergie selon l'application (par exemple phases de freinage ou d'accélération).*

Jusqu'à présent, les systèmes les plus utilisés sont les accumulateurs, qui ont une puissance spécifique (puissance par unité de masse) et autonomie relativement élevées. Les condensateurs classiques ont une autonomie insuffisante, mais possède une puissance spécifique incomparable. Les super-condensateurs apparaissent comme des composants intermédiaires en terme de propriétés énergétiques, qui les rendent très intéressants car ils n'ont pratiquement pas de concurrents dans ce domaine.



Le principe d'un super-condensateur repose sur une augmentation de la capacité via l'utilisation d'électrodes poreuses aux surfaces très importantes, et situées à des distances très faibles (principe de la double couche électrochimique avec présence d'un électrolyte). Leur comportement électrocinétique est plus complexe que celui des condensateurs classiques. Un modèle électrocinétique simple consiste à l'assimiler à un condensateur de capacité C_O associé en série à un conducteur ohmique de résistance R_O.

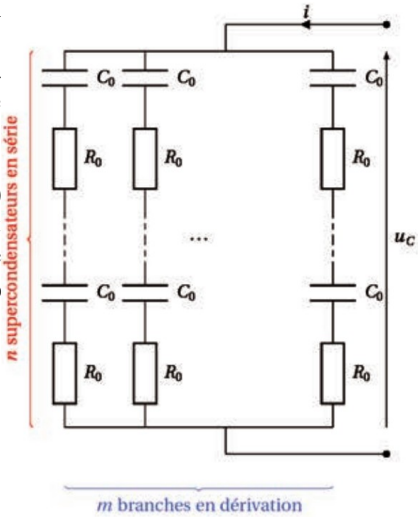


On soumet le super-condensateur, initialement chargé sous la tension U_O, à une impulsion de courant d'intensité I=100A constante pendant la durée t=10s. On obtient le relevé de la tension uc=f(t) ci-contre.

5. Établir les expressions de $u_C(0^-)$ et $u_C(0^+)$ puis l'expression de la tension $u_C(t)$ pendant la phase de charge à courant constant.
6. À partir du relevé expérimental, estimer la résistance R_O et la capacité C_O du super-condensateur. On explicitera le raisonnement, on indiquera clairement les incertitudes associées, et on commentera les valeurs obtenues.

Dans les applications industrielles utilisant des super-condensateurs, ces derniers peuvent être associés en série ou en dérivation.

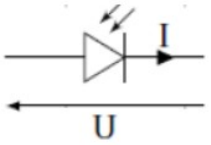
7. Montrer que pour un unique super-condensateur , la tension u_C à laquelle il est soumis et le courant i qui le parcourt (en convention récepteur) vérifient l'équation différentielle : $\frac{du_C}{dt}=\frac{i}{C_O}+R_O\frac{di}{dt}$
8. On associe deux super-condensateurs (C_O, R_O) identiques en série. Montrer que le dipôle global est équivalent à l'association en série d'une capacité C_S et d'une résistance R_S dont on donnera les expressions en fonction de C_O et R_O. Généraliser ensuite ce résultat à une association en série de n super-condensateurs identiques.
9. On associe maintenant deux super-condensateurs (C_O,R_O) identiques en dérivation. Montrer que ce dipôle global est équivalent à l'association en série d'une capacité C_d et d'une résistance R_d dont on donnera les expressions en fonction de C_0 et R_0. Généraliser ensuite ce résultat à une association en dérivation de m super-condensateurs identiques.



On envisage maintenant la matrice (n,m) de super-condensateurs (C_O,R_O) représentée ci contre.En utilisant les résultats précédents,

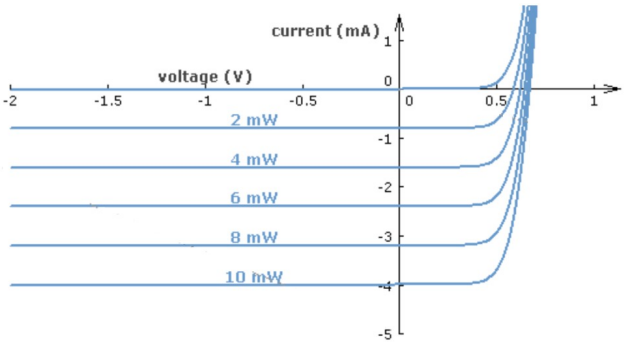
10. établir que le modèle électrocinétique équivalent à cette matrice est constitué d'une capacité $C_{n,m}$ associée en série avec une résistance $R_{n,m}$, dont on donnera les expressions en fonction de C_O, R_O, de n et m.

Problème 2 : étude d'une photodiode



On étudie la photodiode dont le schéma est donnée sur la figure ci-contre.
La photodiode est un capteur de lumière dont la caractéristique dépend de la puissance lumineuse qui l'éclaire. On donne ci-dessous la caractéristique I=f(U) pour des puissances lumineuses reçues allant de 0mW à 10mW.

1. Indiquer la convention dans laquelle la photodiode est étudiée.
2. Pour une tension de U_1=0,5V, et une puissance lumineuse W_1=8mW, lire la valeur de l'intensité du courant électrique I_1 traversant la photodiode. Exprimer alors la puissance électrique P_1 reçue par la photodiode et l'évaluer numériquement.
3. Pour une tension de U_2=-1,0V, et une puissance lumineuse W_2=6mW, lire la valeur de l'intensité du courant électrique I_2 traversant la photodiode, exprimer alors la puissance électrique P_2 reçue par la photodiode et l'évaleur numériquement.



4. Quel est le comportement (générateur ou récepteur ?) de la photodiode dans le cas étudié à la question 2 ? Reprendre la question dans le cas étudié à la question 3 ?
5. Établir, à l'aide de la courbe caractéristique, un tableau donnant la valeur de I l'intensité du courant électrique inverse délivrée par la photodiode sur le domaine U<0, en fonction de la puissance lumineuse W reçue. Faire une représentation graphique de la courbe I=f(W) et apporter une conclusion qualitative à cette étude.

Pour utiliser la photodiode en capteur de lumière, il faut s'assurer qu'elle est toujours utilisée dans le domaine U<0. On réalise donc un circuit où on alimente la photodiode (prise dans la même convention) à l'aide d'un générateur de Thévenin de force électromotrice E et de résistance interne r=250Ω.

6. Faire un schéma du circuit d'étude.
7. Donner l'équation caractéristique du générateur de Thévenin.

On souhaite que pour toute valeur de puissance lumineuse reçue inférieure ou égale à W_{max}=10mW, la tension aux bornes de la diode reste inférieure à U_{max}=-0,5V.

8. Reprendre sur une figure la courbe I=f(U) caractéristique de la diode pour une puissance W_{max}=10mW. Tracer alors la courbe caratéristique correspondant au cas limite du générateur de Thévenin envisageable. Déduire par lecture graphique la valeur maximale qu'il faut donner à E. Vérifier ce résultat par un calcul bien justifié.