

Chapitre 7b

LES CONDENSATEURS

Sommaire

- Les condensateurs
- Charge et décharge des condensateurs
- Constante de temps
- Entraînement

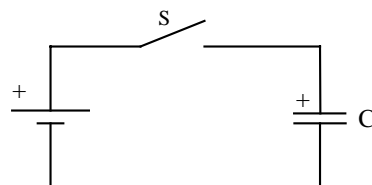
Introduction

7.12 CONDENSATEUR ELECTROLYTIQUE

Définition : un condensateur est un composant constitué par 2 conducteurs parallèles, appelés armatures séparés sur toute l'étendue de leur surface par un milieu isolant de faible épaisseur, exprimé par sa rigidité diélectrique ϵ_r (epsilon) ou **permittivité relative**.

Principe :

A la fermeture de S, la tension aux bornes du générateur U_{AB} se transmet aux deux armatures. Pour obtenir le déséquilibre électronique sur les armatures, des charges doivent se déplacer, un courant I circule pendant la charge du condensateur.



Le diélectrique n'ayant, par définition, pas d'électrons libres, ceux qui composent le courant I sont soustraits à l'une des armatures du condensateur et viennent s'accumuler sur l'autre. L'une des armatures devient positive et l'autre négative.

La différence de potentiel (ddp) engendrée entre les armatures provoque un champ électrique E dans le diélectrique.

En fonction du temps, une grande quantité de charges va circuler d'une armature à l'autre et diminuer en fonction de la charge accumulée.

Il est nécessaire de quantifier cette charge accumulée.

courant électrique I = nombre d'électron par secondes, en ampère [A]

charge électrique Q = nombre d'électrons, en coulomb [C]

Relation entre charge et courant

nombre d'électron par secondes · seconde = nombre d'électrons

$$I \cdot t = Q$$

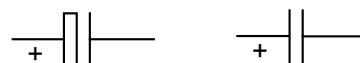
$$[A] \cdot [s] = [C]$$

Pour un condensateur, le pouvoir d'emmagasinier des charges s'appelle la capacité.

Symbole de la grandeur : C

Symbole de l'unité : [F] farad

Il est symbolisé de la façon suivante :



Nous pouvons mesurer que la tension U , entre les armatures, est proportionnelle à la charge accumulée.

Relation entre la capacité C , la charge Q et la tension U :

$$C \cdot U = Q$$

$$[F] \cdot [V] = [C] \text{ et également } \frac{[A \cdot s]}{[F]} = [V]$$

Exemple :

La tension U , aux bornes d'un condensateur, s'élève à 230 [V].

La charge accumulée est de $2.4 \cdot 10^{-3}$ [C]. Calculer la capacité C du condensateur.

Données : $Q = 2.4 \cdot 10^{-3}$ [C] $U = 230$ [V] Inconnue : $C = ?$

Relation : $Q = C \cdot U$ $C = \frac{Q}{U}$

Application numérique : $C = \frac{Q}{U} = \frac{2.4 \cdot 10^{-3}}{230} = 10.43 \cdot 10^{-6} = 10.43 \text{ } [\mu\text{F}]$

Nous pouvons aussi donner l'expression de la capacité (d'accumulation) C du condensateur en fonction des dimensions du condensateur.

- A aire d'une armature en regard de l'autre [m^2]
- d épaisseur du diélectrique [m]
- ϵ_0 permittivité du vide, admis de l'air exprimant avec quelle opposition les électrons passent d'une armature à l'autre dans l'air ou le vide [$\text{F} \cdot \text{m}^{-1}$]
- ϵ_r permittivité relative de la matière du diélectrique, exprimant combien de fois mieux que l'air, le diélectrique s'oppose au passage des électrons.

La relation qui définit la capacité est la $C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$ suivante :

La capacité du condensateur : C en [F] farad

valeur de la permittivité du vide : $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ [$\text{F} \cdot \text{m}^{-1}$]

valeur de la permittivité relative : (selon table) sans unité :

air, vide = 1 papier = 2.3 gutta-percha = 4

isolation plastique câble électrique haute tension (XKT) = 4.2

Exemple :

Un condensateur plan possède les dimensions suivantes :

armatures 5 [cm] de long et 6 [cm] de large, épaisseur du diélectrique 1000 [μm].

Calculer la capacité C si on admet un diélectrique constitué par de l'air.

Calculer la capacité C si on admet un diélectrique constitué par du papier.

Données : armatures 5 x 6 [cm] épaisseur $d = 1000$ [μm] 1 [mm]

diélectriques : air $\epsilon_r = 1$ papier $\epsilon_r = 2.6$

Relations : $A = \text{longueur} \cdot \text{largeur}$ $C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$

Application numérique :

$$A = \text{longueur} \cdot \text{largeur} = 5 \cdot 10^{-2} \cdot 6 \cdot 10^{-2} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d} = 8.854 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot \frac{3 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3}} = 26.56 \cdot 10^{-12} \text{ [F]} \quad 26.56 \text{ [pF]}$$

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d} = 8.854 \cdot 10^{-12} \cdot 2.3 \cdot \frac{3 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3}} = 61.11 \cdot 10^{-12} \text{ [F]} \quad 61.11 \text{ [pF]}$$

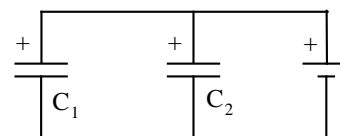
Résultats : capacité avec de l'air comme diélectrique 26.56 [pF]
 capacité avec un diélectrique en papier 61.11 [pF]

7.13 Couplages des condensateurs

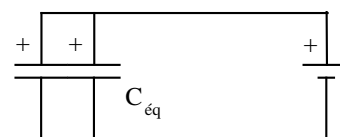
Dans la pratique, il est possible de coupler des condensateurs en parallèle ou en série.

Couplage parallèle

Le couplage parallèle de condensateurs a comme influence de changer la capacité équivalente C_{eq} vue par le générateur.



Cette capacité équivalente C_{eq} est constituée d'un condensateur possédant de nouvelles dimensions.



Comme nous connaissons la relation :

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d} \text{ en [F]}$$

Nous constatons que si l'aire des armatures A augmente, la capacité C va augmenter aussi, les autres paramètres ne se modifiant pas.

Exemple:

Un condensateur plan possède des armatures de 5 [cm] de long et 6 [cm] de large l'épaisseur du diélectrique est de 1 [mm]. Nous lui en plaçons un autre, de mêmes dimensions, en parallèle.

Calculer la capacité C équivalente, si l'on admet un diélectrique constitué par du gutta-percha.

Données : armatures 5 x 6 [cm] épaisseur $d = 1$ [mm]

diélectrique : gutta-percha $\epsilon_r = 4$

Relations : $A = \text{longueur} \cdot \text{largeur}$ $C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$

Application numérique :

$$A = \text{longueur} \cdot \text{largeur} = 5 \cdot 10^{-2} \cdot 6 \cdot 10^{-2} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d} = 8.854 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot \frac{3 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3}} = 106.25 \cdot 10^{-12} \text{ [F]} \quad 106.25 \text{ [pF]}$$

Sachant que les deux condensateurs sont en parallèle et qu'ils ont les mêmes dimensions, nous pouvons doubler la surface

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d} = 8.854 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot \frac{6 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3}} = 212.48 \cdot 10^{-12} \text{ [F]} \quad 212.50 \text{ [pF]}$$

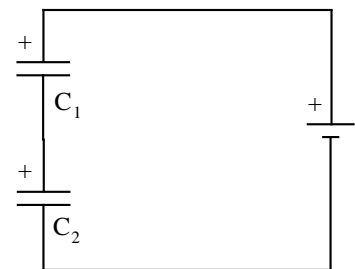
Résultats : capacité totale des deux condensateurs en parallèle = 212.50 [pF]

Nous pouvons donc déduire que la capacité équivalente C_{eq} d'un montage de condensateurs, en parallèle, est égale à la somme des capacités des condensateurs.

$$C_{\text{eq}} = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad \text{ou en notation algébrique : } C_{\text{eq}} = \sum_{i=1}^n C_i$$

Couplage série

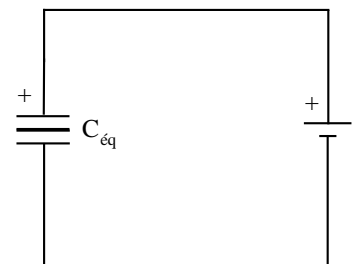
Le couplage série de condensateurs a comme influence de changer la capacité équivalente C_{eq} vue par le générateur.



Cette capacité équivalente C_{eq} est constituée d'un condensateur possédant de nouvelles dimensions.

Comme nous connaissons la relation :

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d} \text{ en [F]}$$



Nous constatons que si la distance d entre les armatures augmente, la capacité C va diminuer, les autres paramètres ne se modifiant pas.

Exemple :

Un condensateur plan possède des armatures de 5 [cm] de long et 6 [cm] de large, l'épaisseur du diélectrique est de 2 [mm]

Nous lui en plaçons un autre, de mêmes dimensions, en série.

Calculer la capacité C équivalente, si l'on admet un diélectrique constitué par du gutta-percha.

Données : armatures 5 x 6 [cm] épaisseur d = 2 [mm]

diélectrique : gutta-percha $\epsilon_r = 4$

Relations : $A = \text{longueur} \cdot \text{largeur}$ $C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$

Application numérique :

$$A = \text{longueur} \cdot \text{largeur} = 5 \cdot 10^{-2} \cdot 6 \cdot 10^{-2} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d} = 8.854 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot \frac{3 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}} = 53.12 \cdot 10^{-12} \text{ [F]} \quad 53.12 \text{ [pF]}$$

Sachant que les deux condensateurs sont en série et qu'ils ont les mêmes dimensions, nous devons multiplier la distance par deux.

$$C_{\text{eq}} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d} = 8.854 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot \frac{3 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-3}} = 26.56 \cdot 10^{-12} \text{ [F]} \quad 26.56 \text{ [pF]}$$

Résultat : capacité totale des deux condensateurs en = 26.56 [pF]

Nous pouvons donc déduire que la capacité équivalente C_{eq} d'un montage de condensateurs, en série, est plus petite que la plus petite capacité des condensateurs.

A l'aide des lois de Kirchhoff, nous pouvons démontrer cette diminution de capacité.

Relations : $\Sigma U_{\text{totale}} = \Sigma U_{\text{partielle}}$

$$C \cdot U = Q \quad \text{en [C] coulomb}$$

Loi de Kirchhoff : $U_{\text{CD}} = U_{\text{DE}} + U_{\text{EC}}$

Loi de Kirchhoff remplacée par la relation : $Q = U \cdot C$ $U_{\text{DC}} = \frac{Q_{\text{DC}}}{C_{\text{eq}}}$

mais nous pouvons aussi dire: $U_{\text{DE}} = \frac{Q_{\text{DE}}}{C_{\text{DE}}}$ et $U_{\text{EC}} = \frac{Q_{\text{EC}}}{C_{\text{EC}}}$

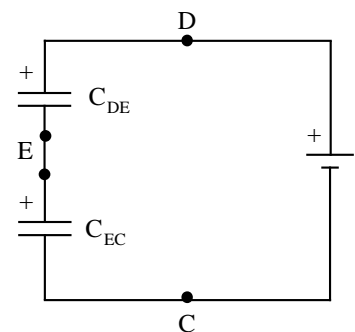
Remplaçons maintenant la relation : $U_{\text{DC}} = U_{\text{DE}} + U_{\text{EC}}$

par la relation obtenue à l'aide des charges électriques Q:

$$\frac{Q_{\text{DC}}}{C_{\text{eq}}} = \frac{Q_{\text{DE}}}{C_{\text{DE}}} + \frac{Q_{\text{EC}}}{C_{\text{EC}}}$$

Ecrivons autrement cette relation en mettant en évidence les capacités C:

$$\frac{Q_{\text{DC}}}{C_{\text{eq}}} = Q_{\text{DE}} \cdot \frac{1}{C_{\text{DE}}} + Q_{\text{EC}} \cdot \frac{1}{C_{\text{EC}}}$$



Nous admettons, dans notre démonstration, que les capacités C sont les mêmes:

$$\frac{Q_{DC}}{C_{eq}} = (Q_{DE} + Q_{EC}) \cdot \left| \frac{1}{C_{DE}} \cdot 2 \right|$$

Mais $Q_{DE} + Q_{EC}$ peuvent être remplacés par Q_{DC} (loi de Kirchhoff)

$$\frac{Q_{DC}}{C_{eq}} = (Q_{DC}) \cdot \left| \frac{1}{C_{DE}} \cdot 2 \right|$$

Simplifions cette relation par Q_{DC} de chaque côté du signe = :

$$\frac{Q_{DC}}{C_{eq}} = (Q_{DC}) \cdot \left(\frac{1}{C_{DE}} \cdot 2 \right) \Rightarrow \frac{1}{C_{eq}} = \left(\frac{1}{C_{DE}} \cdot 2 \right)$$

Comme nous avons admis que $C_{DE} = C_{EC}$, réécrivons notre relation:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_{DE}} + \frac{1}{C_{EC}}$$

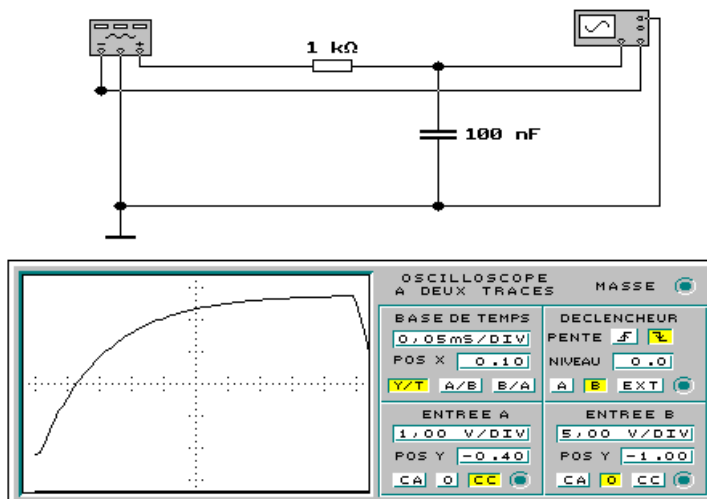
Nous pouvons en tirer une relation générale, pour des couplages série à plusieurs éléments:

$$C_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}}$$

ou selon la notation algébrique : $C_{eq} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}}$

7.14 Constante de temps τ (tau)

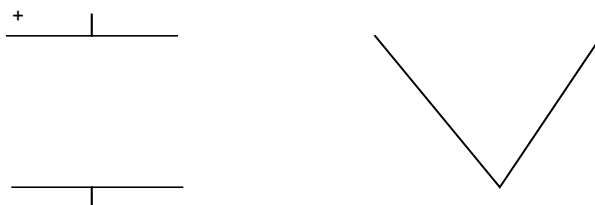
Dans un circuit série RC en série, sous une tension constante, nous remarquons au moyen d'un oscilloscope (écran télévision permettant de visualiser une tension électrique U) que le condensateur C se charge de façon non linéaire.



Il est assez facile de comparer le condensateur C à un "réservoir d'eau".

Au début de la charge, la tension aux bornes du condensateur est faible. C'est comme un bassin d'accumulation d'une centrale hydroélectrique. La quantité d'eau à turbiner est faible.

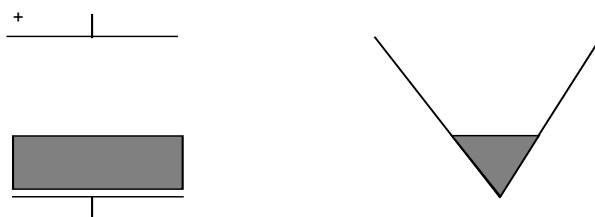
Au temps t_0 correspondant au début de la charge 0%. Le condensateur n'est pas chargé, il n'a accumulé aucune charge électrique.



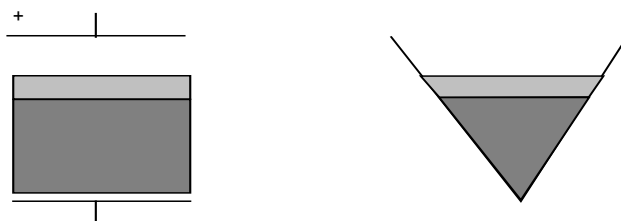
Les charges électrostatiques ou électrons vont se répartir entre les 2 armatures. Le courant électrique I est limité par la résistance R en série dans le circuit, comme nous le voyons dans la figure du haut de la page.

Pour le bassin d'accumulation, l'eau va s'engouffrer facilement à l'intérieur et elle n'est limitée que par la dimension des conduites qui l'amènent au bassin.

Le temps t_1 correspond à une charge partielle 63% par rapport au temps t_0 où le condensateur n'était pas chargé.



Le temps t_2 correspond à une charge partielle 87%, toujours par rapport au temps t_0 .



Nous considérerons dans la technique, qu'il faut 5 fois la constante de temps τ pour pouvoir considérer le condensateur C comme chargé à 100 %.

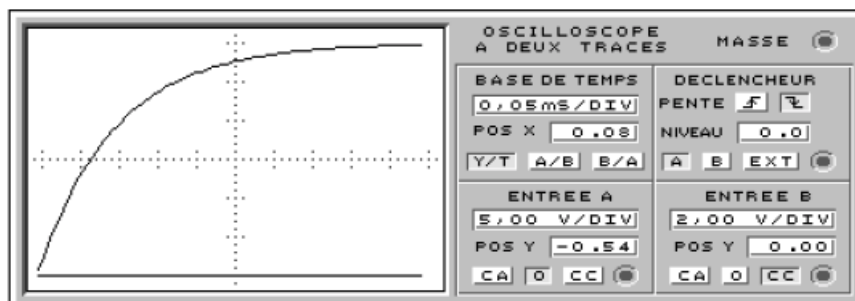
Analogie au temps t_5 correspondant à une charge partielle 99.9% :



Cette analogie s'arrête là, car dans la pratique, le condensateur C ne se charge pas de façon linéaire, mais de façon exponentielle. (voir courbe obtenue à l'aide de l'oscilloscope)

7.15 Courbe de charge d'un condensateur

Nous avons placé un appareil de mesure (oscilloscope) aux bornes de la résistance R pour mesurer la tension U_R



Nous pouvons en déduire par la loi d'ohm que cette courbe représente la courbe du courant I dans le circuit.

Relation:

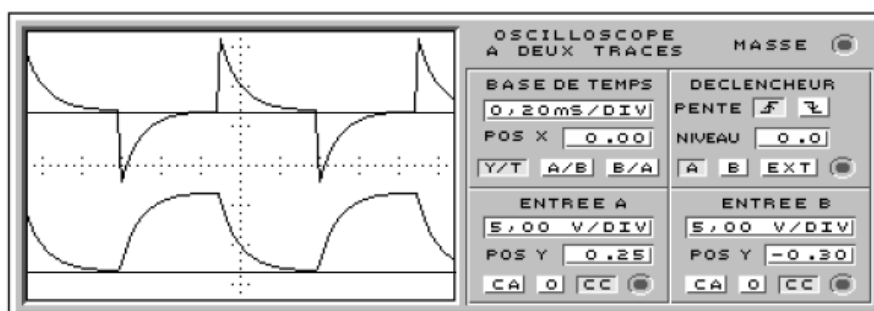
$$U = R \cdot I$$

nous cherchons le courant I en divisant de chaque côté du signe = par R

$$I_{\text{charge}} = \frac{U_R}{R}$$

Cette dernière relation nous permet de calculer le courant de charge dans le condensateur, puisque les deux éléments sont montés en série, le courant dans la résistance est identique au courant dans le condensateur.

L'oscilloscope peut également nous montrer la forme du courant de charge.



La première trace (A) de l'oscilloscope montre la forme du courant dans le circuit et la seconde trace (B) indique la tension aux bornes du condensateur.

Nous remarquons que les tangentes à l'origine des tensions et des courants coupent les asymptotes au temps correspondant au produit de la résistance R en ohm et de la capacité C en farad.

$$\tau = R \cdot C$$

$$[s] = [\Omega] \cdot [F] \quad \tau \text{ en secondes}$$

Exemple :

Déterminer la constante de temps d'un circuit série dont la résistance R vaut $22 \text{ [M}\Omega\text{]}$ et la capacité C 47 [pF] .

Données : $R = 22 \text{ [M}\Omega\text{]}$ $C = 47 \text{ [pF]}$

Relations : $\tau = R \cdot C$

Application numérique :

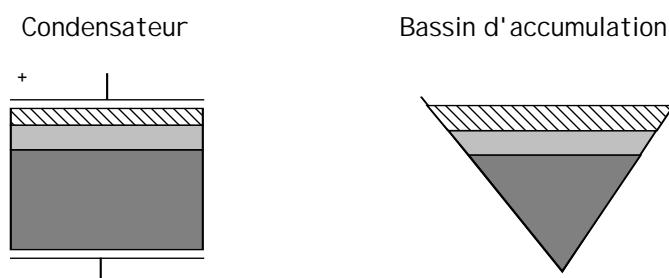
$$\tau = R \cdot C \Rightarrow \tau = 22 \cdot 10^6 \cdot 47 \cdot 10^{-12} = 1.034 \cdot 10^{-3} \text{ [s]} \Rightarrow 1.034 \text{ [ms]}$$

7.16 Décharge d'un condensateur.

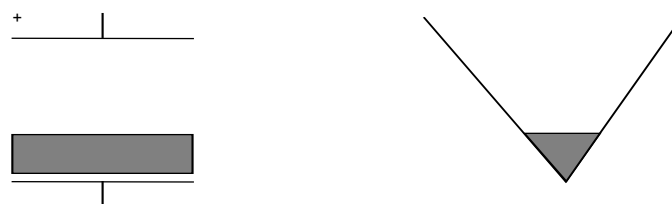
Les mêmes développements peuvent être appliqués pour la décharge d'un condensateur C comme pour sa charge.

Au début de la décharge, la tension aux bornes du condensateur est grande. C'est comme un bassin d'accumulation d'une centrale hydroélectrique. La quantité d'eau à turbiner est grande.

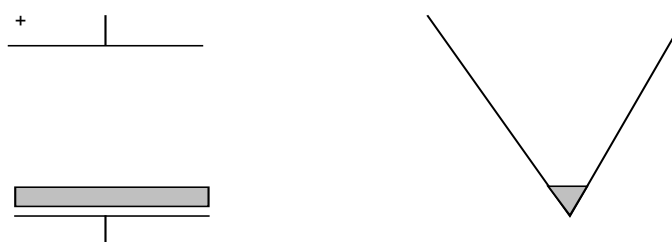
Analogie au temps t_0 correspondant au début de la décharge 100%



Analogie au temps t_1 correspondant à une charge partielle 37%.

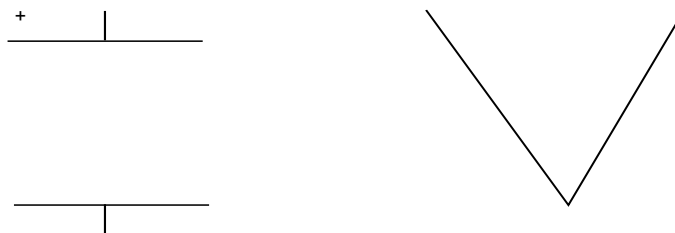


Analogie au temps t_2 correspondant à une charge partielle 13%.



Nous considérerons dans la technique qu'il faut 5 fois la constante de temps τ . pour pouvoir considérer le condensateur C comme déchargé à 100 %.

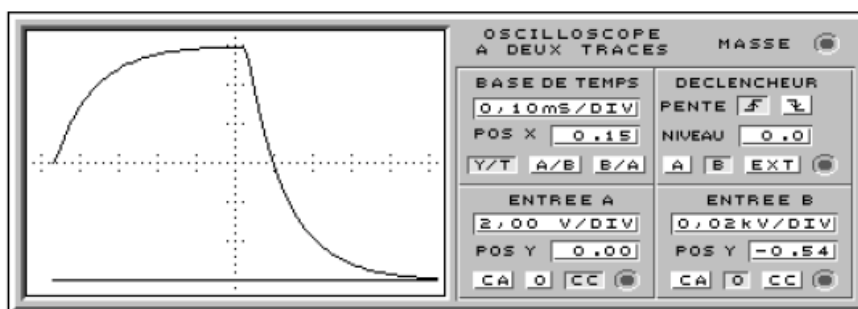
Analogie au temps t correspondant à une charge partielle 0.2%



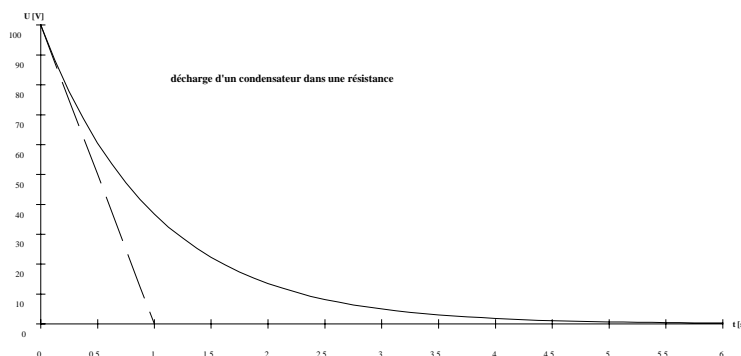
Cette analogie s'arrête là, car dans la pratique, le condensateur C ne se décharge pas de façon linéaire, mais de façon exponentielle. (voir la courbe obtenue à l'aide de l'oscilloscope)

7.17 Courbe de décharge d'un condensateur

Nous avons placé un appareil de mesure (oscilloscope) aux bornes du condensateur pour mesurer la tension U_C



Nous pouvons également tracer la courbe de décharge $U_C = f(t)$



Nous remarquons que les tangentes à l'origine des tensions et des courants coupent les asymptotes au temps correspondant au produit de la résistance R en ohm et de la capacité C en farad.

C'est comme pour la charge du condensateur.

$$\tau = R \cdot C$$

$$[s] = [\Omega] \cdot [F]$$

7.18 Tension de claquage

Lorsque la tension U entre les armatures augmente, le champ électrique E dans l'isolant augmente ainsi que la force F à laquelle sont soumis les électrons. Lorsque cette force F est supérieure, elle provoque la ionisation de certains atomes. Les électrons libérés, soumis au champ électrique E , sont accélérés et peuvent, en percutant d'autres atomes, provoquer leur ionisation et ainsi de suite.

Ce phénomène d'avalanche est appelé: **courant I de claquage du condensateur**.

L'isolant devient conducteur et le condensateur se décharge.

Il y a désamorçage lorsque la tension descend au-dessous d'un certain seuil.

Principales caractéristiques :

Capacité nominale:

- valeur de la capacité en farad [F] pour laquelle le condensateur a été conçu.

Tolérance:

- écart admissible sur la valeur nominale, elle n'a pas d'unité mais s'exprime en %.

Tension nominale:

- valeur de la tension continue qui peut en courant continu être appliquée au condensateur en régime permanent.

7.19 Documentaire



C'est en 1882 que **Thomas Edison** (1847 - 1931) mis en service la première centrale électrique industrielle à New York. Entraînée par des turbines à vapeur, chaque génératrice peut alimenter 1000 lampes à incandescence.

1884, mise au point du transformateur des Français Lucien Gaulard et JD Gibbs, pour la transmission efficace de l'électricité. La même année, mise en service de la première centrale près de Nîmes en France.

Michael Faraday (1791 - 1867), chimiste et son apprentissage de relieur, il profite de lire de chimie et d'électricité. Ensuite, après avoir été professeur de chimie en 1833.

Après ses études sur l'électromagnétisme (1821), il l'électrostatique (1843), et les protection de Faraday).



physicien anglais. Lors de nombreux ouvrages de assistant, il devient

se consacre à électromagnétiques (cage