
Chapitre 5

Circuits linéaires du 1^{er} ordre

I. Evolution d'un circuit électrique

1. Régime transitoire et régime établi
2. Réponses d'un circuit

II. Condensateurs et bobines

1. Les condensateurs
 - 1.1 Relation fondamentale
 - 1.2 Comportement en régime continu
 - 1.3 Energie stockée dans un condensateur et continuité de la tension
2. Les bobines
 - 2.1 Relation fondamentale
 - 2.2 Comportement en régime continu
 - 2.3 Energie stockée dans une bobine et continuité du courant

III. Etude du circuit RC

1. Réponse à un échelon de tension : charge du condensateur

1.1 Montage

1.2 Conditions initiales

1.3 Régime établi

1.4 Régime transitoire : évolutions de $u(t)$ et $i(t)$

2.1 Bilan énergétique

2. Régime libre : décharge du condensateur

2.1 Montage

2.2 Conditions initiales

2.3 Régime établi

2.4 Régime transitoire : évolutions de $u(t)$ et $i(t)$

2.5 Bilan énergétique

IV. Etude du circuit R, L série

1. Réponse à un échelon de tension : retard à l'établissement du courant
2. Régime libre : retard à l'annulation du courant



Un tramway qui carbure aux supercondensateurs



Après la Bluecar, [Bolloré](#) récidive avec le Bluetram, dont la sortie sera suivie du Bluebus. Le Bluetram n'a, en fait, rien d'un tramway puisqu'il n'utilise ni rails ni caténaire. Il a toutes les apparences d'un bus avec la particularité d'embarquer des supercondensateurs qui allient une très bonne capacité et une charge ultrarapide. Les supercondensateurs sont capables de résister à plusieurs millions de cycles charge/décharge sans se dégrader et voir leurs performances diminuer.

Six Bluetram rouleront pendant la COP21.

Chaque Bluetram est équipé de 30 modules de 20 supercapacités de 3 000 farads chacune, installés sur le toit pour stocker l'énergie de propulsion. Il peut ainsi parcourir environ deux kilomètres par « plein » d'électricité. Le tramway électrique se recharge alors à chaque station en à peine 20 secondes, grâce à une perche télescopique de recharge, profitant de la montée et de la descente des passagers. Bolloré a inauguré en janvier 2015 l'usine qui devra lui permettre de produire 100 Bluetram par an, et 3 000 modules électriques. Une première version de 6 mètres de long, qui peut transporter 25 personnes a été livrée fin 2015, tandis qu'une version de 12 mètres est prévue pour 2016. À l'occasion de la COP21, six Bluetram seront testés sur les Champs Élysée, du 15 novembre 2015 au 15 janvier 2016.

Source : [Un tramway qui carbure aux supercondensateurs \(usinenouvelle.com\)](http://usinenouvelle.com)

Jusqu'ici nous avons étudié des circuits électriques en régime continu, pour lesquels toutes les grandeurs électriques restent stationnaires. Mais que se passe-t-il lorsque l'on passe d'un régime continu à un autre ?

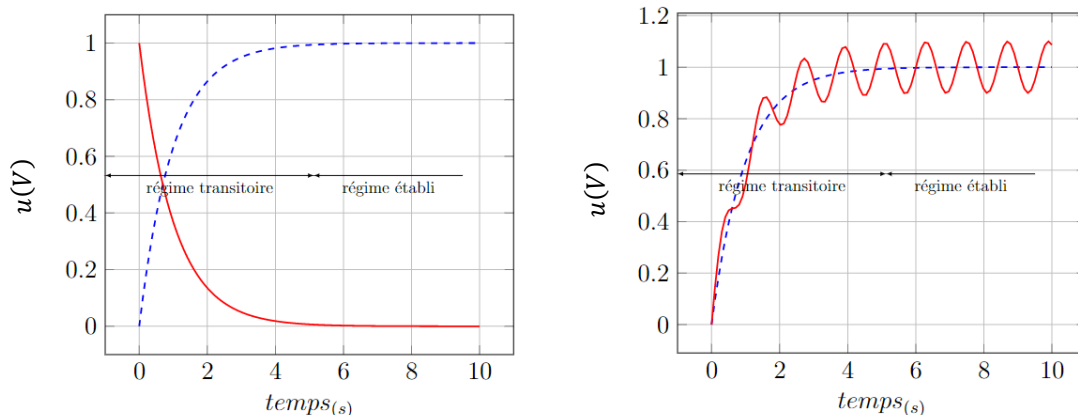
Pour illustrer cela, nous étudierons 2 montages de base : les circuits « RC et RL » comportant des dipôles particuliers que sont les condensateurs et les bobines.

I. Evolution d'un circuit électrique

1. Régime transitoire et régime établi

Lorsqu'un changement brutal, comme la fermeture ou l'ouverture d'un interrupteur, intervient dans un circuit, les tensions et intensités peuvent mettre un certain temps à s'établir avant d'atteindre un nouveau régime d'évolution bien déterminé (continu ou périodique), dit établi ou permanent.

On nomme régime transitoire l'évolution temporaire d'un système entre deux régimes établis distincts. Sa durée dépendant des caractéristiques du circuit.



Les sources éventuellement présentes dans un circuit imposent un « forçage » au circuit. **En régime établi, la réponse est du même type que le forçage.**

Régime établi ne veut pas dire que le signal n'évolue pas dans le temps. Selon le type de sources, on distingue généralement les régimes établis :

- Continus, dans lesquels les grandeurs sont constantes dans le temps.
- Sinusoïdaux, dans lesquels les grandeurs varient toutes sinusoïdalement à la même pulsation ω .

2. Réponses d'un circuit

On appelle réponse à un échelon ou réponse indicielle d'une grandeur l'évolution temporelle de cette grandeur dans un système soumis à une excitation nulle jusqu'à l'instant initial choisi, puis constante à partir de cet instant. *Cela peut correspondre en pratique à l'allumage d'un générateur de tension constante, ou à la fermeture d'un interrupteur.*

On nomme **régime libre** l'évolution en l'absence de source d'énergie. *Cela peut correspondre en pratique à l'ouverture d'un interrupteur.*

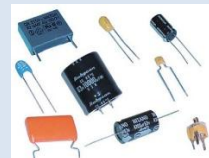
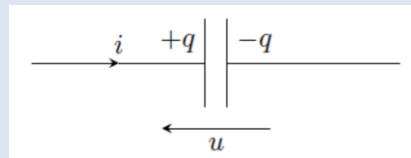
II. Condensateurs et bobines

1. Les condensateurs

Un condensateur est un composant électronique constitué de deux surfaces conductrices appelées armatures, en influence totale (notion étudiée en 2^{ème} année) et séparées par un isolant (matériau diélectrique).

Soumis à une différence de potentiel, le condensateur accumule des charges opposées $+q$ et $-q$ sur les armatures.

La propriété principale d'un condensateur est de pouvoir stocker des charges électriques opposées sur ses armatures.



Pour un condensateur parfait dans l'ARQS, la charge stockée est proportionnelle à la tension qui lui est appliquée selon la relation : $q(t) = C u(t)$

C est la capacité du condensateur, elle s'exprime en farad (F), $C > 0$

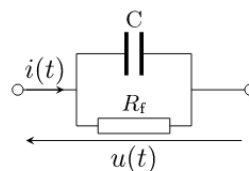
Ordres de grandeurs de C :

Condensateurs non polarisés, en mica ou céramique : de l'ordre du nF ou mF

Condensateurs polarisés électrochimiques : de l'ordre du mF

Supercondensateurs de l'ordre de 1 à 10^3 F

Remarque : Le condensateur parfait n'est qu'un modèle idéalisé. Dans un condensateur réel, le matériau isolant n'est pas parfait, il existe un courant de fuite. On modélise ce phénomène par une résistance de fuite de grande valeur (du MΩ à la centaine de MΩ) en parallèle du condensateur parfait.



Dans la suite, sauf mention contraire, nous ne rencontrerons que des condensateurs parfaits.

1.1 Relation fondamentale

On a vu que l'intensité du courant est définie comme la quantité de charge traversant une section de conducteur par unité de temps. On note δq la charge traversant la section du fil relié au condensateur pendant une durée dt : $i(t) = \frac{\delta q}{dt}$. Ce déplacement de charge génère pendant cette durée dt une variation $dq = q(t + dt) - q(t) = \delta q$ de la charge portée l'armature vers laquelle on oriente $i(t)$, ainsi $i(t) = \frac{dq}{dt}$.

Relation courant tension d'un condensateur parfait en convention récepteur :

$$i(t) = C \frac{du(t)}{dt}$$

Le condensateur est un dipôle **linéaire**.

1.2 Comportement en régime continu

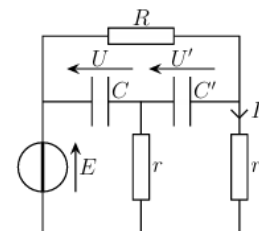
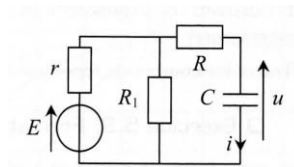
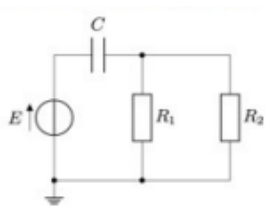
En régime continu établi, $u(t) = \text{constante}$, donc $i(t) = 0$.

Lorsque le régime continu est établi, le condensateur parfait se comporte comme un interrupteur ouvert.

Le régime permanent d'un circuit comportant un ou plusieurs condensateurs se détermine rapidement à l'aide du circuit équivalent. En présence de sources continues, cela consiste à remplacer chaque condensateur parfait par un interrupteur ouvert.

Application 1 : Régime établi d'un circuit comportant un condensateur

Donner les valeurs de toutes les intensités et des tensions aux bornes des condensateurs dans les circuits suivants en régime établi.



1.3 Énergie stockée dans un condensateur et continuité de la tension

La puissance électrique algébriquement reçue par le condensateur est :

$$P(t) = u(t) i(t) = u(t) C \frac{du(t)}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} C u(t)^2 \right)$$

Cette puissance peut être positive ou négative selon la variation de $u(t)$, ainsi un condensateur peut se comporter comme un récepteur ou un générateur.

On peut en déduire l'expression de l'énergie emmagasinée dans un condensateur à l'instant t :

$$E_{elec}(t) = \frac{1}{2} C u(t)^2$$

La puissance ne pouvant être infinie, **l'énergie d'un système ne peut varier que de façon continue**, il en est donc de même pour la tension et la charge d'un condensateur. **Le condensateur s'oppose ainsi aux variations de la tension à ses bornes.**

La tension aux bornes d'un condensateur est continue.

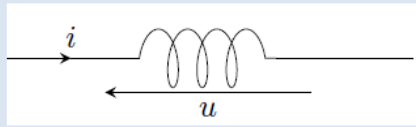
2. Les bobines

Une bobine est un enroulement de fil conducteur, siège d'un phénomène d'induction.



2.1 Relation fondamentale

Relation courant tension d'une bobine idéale en convention récepteur :



$$u(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$

L est l'inductance de la bobine, elle s'exprime en Henry (H), $L > 0$

La bobine est un dipôle **linéaire**.

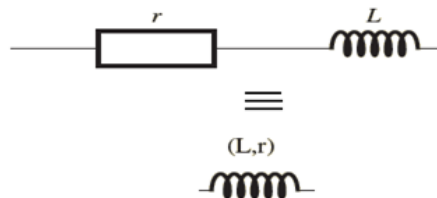
Ordres de grandeurs de L :

Bobines sans noyau de l'ordre du mH à quelques mH

Bobines avec noyau de l'ordre du H

Electroaimant de l'ordre plusieurs dizaine de H

Remarque : La bobine idéale n'est qu'un modèle idéalisé. Dans une bobine réelle, le matériau possède une résistance non nulle. A basse fréquence, on modélise une bobine réelle par une résistance r en série avec une bobine idéale.



Dans la suite, sauf mention contraire, nous ne rencontrerons que des bobines idéales.

2.2 Comportement en régime continu

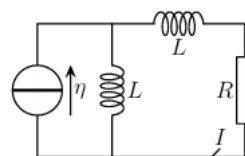
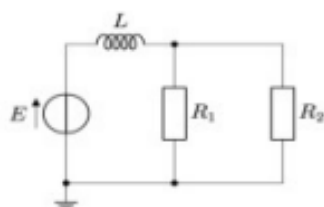
En régime continu établi, $i(t) = \text{constante}$, donc $u(t) = 0$.

Lorsque le régime continu est établi, la bobine idéale se comporte comme un fil.

Le régime permanent d'un circuit comportant une ou plusieurs bobines se détermine rapidement à l'aide d'un circuit équivalent. En présence de sources continues, cela consiste à remplacer chaque bobine idéale par un fil.

Application 2 : Régime établi d'un circuit comportant une bobine

Déterminer les intensités dans les branches des circuits suivants en régime établi.



2.3 Energie stockée dans une bobine et continuité du courant

La puissance électrique (d'origine magnétique) algébriquement reçue par la bobine est :

$$P(t) = u(t) i(t) = L \frac{di(t)}{dt} i(t) = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} L i(t)^2 \right).$$

Cette puissance peut être positive ou négative selon les variations de $i(t)$, ainsi une bobine peut se comporter comme un récepteur ou un générateur.

On peut en déduire l'expression de l'énergie emmagasinée dans une bobine à l'instant t :

$$E_{mag}(t) = \frac{1}{2} L i(t)^2$$

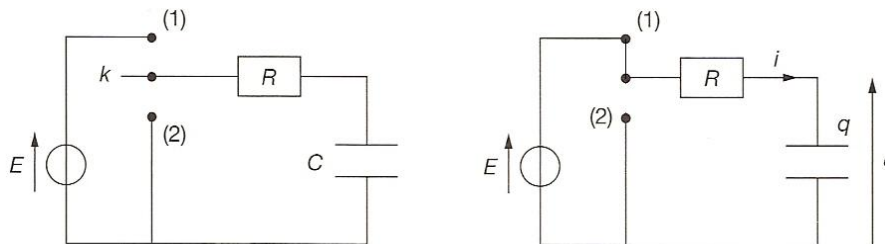
L'énergie d'un système ne peut varier que de façon continue, il en est donc de même pour l'intensité du courant traversant une bobine.

L'intensité du courant traversant une bobine est continue. La bobine s'oppose ainsi aux variations de l'intensité du courant qui la traverse (Conséquence de la loi de Lenz...).

III. Etude du circuit RC

1. Réponse à un échelon de tension : charge du condensateur

1.1 Montage



Le condensateur est initialement déchargé. A $t = 0$, on bascule l'interrupteur k en position (1).

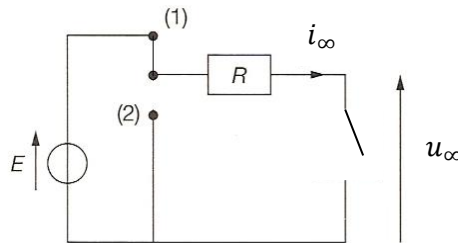
1.2 Conditions initiales

Les conditions initiales se déterminent en écrivant la continuité de la charge ou de la tension aux bornes du condensateurs ainsi que la loi des mailles.

Juste avant la fermeture de l'interrupteur : à la date $t = 0^-$	Juste après la fermeture de l'interrupteur : à la date $t = 0^+$
Condensateur initialement déchargé : $q(0^-) = 0$ $q = C u$ donc $u(0^-) = 0$	Continuité de la tension aux bornes du condensateur à $t = 0$ $u(0^+) = 0$
Interrupteur k ouvert : $i(0^-) = 0$	Loi des mailles à $t = 0^+$: $E = u(0^+) + R i(0^+)$ $i(0^+) = \frac{E}{R}$ L'intensité du courant i est donc discontinue à $t = 0$

1.3 Régime établi

Circuit équivalent :



$$i_{\infty} = 0 \quad u_{\infty} = E$$

1.4 Régime transitoire : évolutions de $u(t)$ et $i(t)$

On étudie maintenant les évolutions de $u(t)$ et $i(t)$ durant le régime transitoire qui précède le régime établi.

- Loi des mailles pour $t > 0$: $E = u(t) + R i(t)$
- Equation différentielle linéaire du 1^{er} ordre :

Comme $i(t) = C \frac{du(t)}{dt}$, l'équation précédente devient : $E = u(t) + RC \frac{du(t)}{dt}$

- Forme canonique de l'équation différentielle :

On appelle forme canonique d'une équation différentielle une écriture normalisée, faisant toujours apparaître les mêmes paramètres caractéristiques, ce qui facilite les calculs nécessaires à sa résolution.

$$\frac{du(t)}{dt} + \frac{u(t)}{\tau} = \frac{E}{\tau}$$

où $\tau = RC$ est la constante de temps du circuit.

- Résolution de l'équation différentielle :

La solution homogène $u_H(t)$ est de la forme : $u_H(t) = A e^{-\frac{t}{\tau}}$, où A est une constante réelle

Le second membre étant constant, la solution particulière u_p est une constante : $u_p = E$

La solution générale est : $u(t) = u_H(t) + u_p = A e^{-\frac{t}{\tau}} + E$

Il est intéressant de remarquer que $\lim_{t \rightarrow \infty} u_H(t) = 0$ donc $\lim_{t \rightarrow \infty} u(t) = u_p = E$.

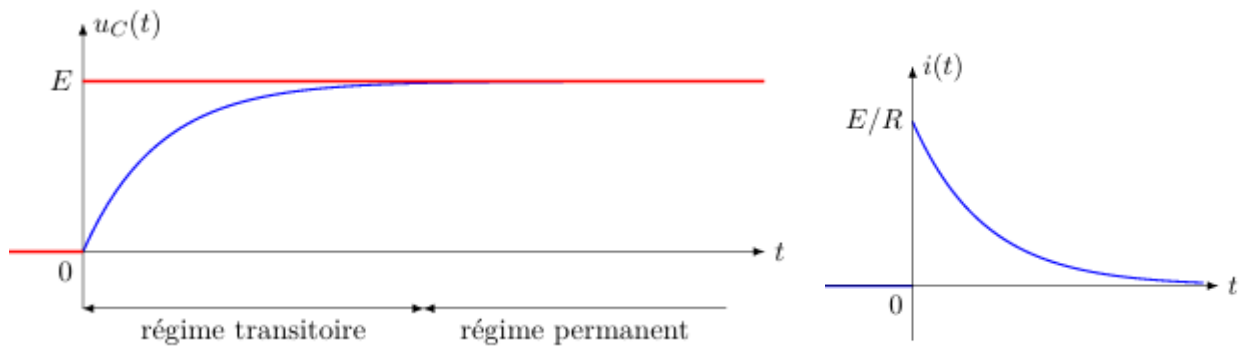
Qualitativement, la solution homogène décrit le régime transitoire alors que la solution particulière décrit le régime établi.

- Détermination de la constante A à partir des conditions initiales (à $t = 0^+$) : $u(0^+) = 0$

$$u(0) = u_H(0) + u_p = A e^{-\frac{0}{\tau}} + E = A + E \quad \text{donc : } A = -E$$

Expression de la tension aux bornes du condensateur : $u(t) = E \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$

L'intensité du courant se déduit de $u(t)$: $i(t) = C \frac{du(t)}{dt} = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$ (ou avec la loi des mailles).



Lorsque l'interrupteur k est en position (1), le courant circule dans le sens représenté ($i(t) > 0$) et le condensateur se charge : la charge q et la tension $u(t)$ augmentent. La tension aux bornes du condensateur croît **progressivement** pour atteindre la valeur de la tension imposée par le générateur de tension constante E et l'intensité tend **progressivement** vers zéro (le condensateur finissant par se comporter comme un interrupteur ouvert).

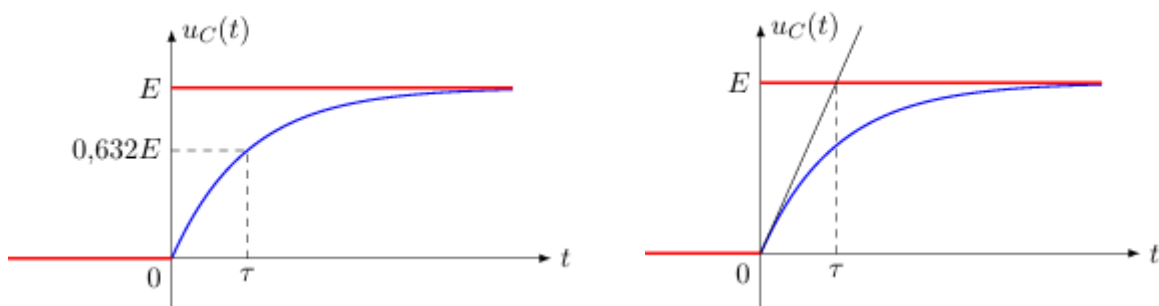
La constante de temps du circuit $\tau = RC$ apparaît comme une durée caractéristique de l'évolution du système : elle donne un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire.

Tension à $\tau, 3\tau, 5\tau$	Intensité du courant à $\tau, 3\tau, 5\tau$
$u(\tau) \approx 0,63 u_\infty$ soit 63% de E	$i(\tau) \approx 0,37 E/R$ soit 37% de E/R
$u(3\tau) \approx 0,95E$	$i(3\tau) \approx 0,05 E/R$
$u(5\tau) \approx 0,99E$	$i(5\tau) \approx 0,01 E/R$

On considère souvent que la durée du régime transitoire est 5τ et qu'au-delà de cette durée, le circuit a atteint le régime établi.

Détermination graphique de τ :

- Méthode des 63 % : $u(\tau) = 0,63 E$
- Méthode de la tangente à l'origine : la tangente à l'origine (à la date $t = 0^+$) de la courbe $u(t)$ ou de la courbe $i(t)$ coupe l'asymptote horizontale du régime établi (quand $t \rightarrow +\infty$) à la date τ .



2.1 Bilan énergétique

Bilan de puissance : on multiplie la loi des mailles par $i(t)$

$$E i(t) = u(t) i(t) + R i(t)^2 \text{ soit : } P_G(t) = P(t) + P_R(t)$$

$P_G(t) = E i(t)$, puissance algébriquement fournie par le générateur, > 0

$P(t) = u(t) i(t)$, puissance algébriquement reçue par le condensateur, > 0

$P_R(t) = u_R(t) i(t) = R i(t)^2$, puissance algébriquement reçue par la résistance, > 0

Bilan d'énergie entre $t = 0$ et $t \rightarrow +\infty$: $\Delta E_G = \Delta E_{\text{élec}} + \Delta E_R$

- **Energie fournie par le générateur** : $\Delta E_G = \int_0^{+\infty} P_G(t) dt = E \int_0^{+\infty} i(t) dt = EC \int_0^{+\infty} du = EC [u(+\infty) - u(0)] = CE^2$
- Energie reçue par le condensateur pendant la charge : $\Delta E_{\text{élec}} = \frac{1}{2} C u(+\infty)^2 - \frac{1}{2} C u(0)^2 = \frac{1}{2} CE^2 > 0$, **cette énergie est stockée par le condensateur.**
- **Energie reçue par la résistance** pendant la charge, dissipée par effet Joule : $\Delta E_R = \int_0^{+\infty} R i(t)^2 dt$

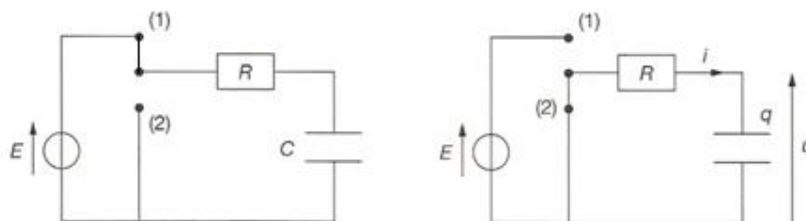
Ou plus simplement : $\Delta E_R = \Delta E_G - \Delta E_{\text{élec}} = \frac{1}{2} CE^2$

Il y a égale répartition de l'énergie fournie par le générateur pendant la charge entre la résistance (énergie dissipée par effet Joule) et le condensateur (énergie stockée).

2. Régime libre : décharge du condensateur

2.1 Montage

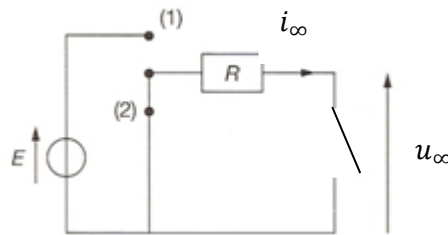
Le condensateur est maintenant chargé sous la tension E . A $t = 0$, on bascule k en position (2).



2.2 Conditions initiales

Juste avant la fermeture de l'interrupteur : à la date $t = 0^-$	Juste après la fermeture de l'interrupteur : à la date $t = 0^+$
Condensateur initialement chargé $u(0^-) = E$	Continuité de la tension aux bornes du condensateur à $t = 0$ $u(0^+) = E$
Interrupteur k en position (1) depuis longtemps : $i(0^-) = 0$	Loi des mailles à $t = 0^+$: $0 = u(0^+) + R i(0^+)$ $i(0^+) = -\frac{E}{R}$ L'intensité du courant i est donc discontinue à $t = 0$.

2.3 Régime établi



$$i_\infty = 0 \quad u_\infty = 0$$

2.4 Régime transitoire : évolutions de $u(t)$ et $i(t)$

On étudie maintenant les évolutions de $u(t)$ et $i(t)$ durant le régime transitoire précédant le régime établi.

- Loi des mailles pour $t > 0$: $0 = u(t) + Ri(t)$
- Equation différentielle linéaire du 1^{er} ordre : $0 = u(t) + RC \frac{du(t)}{dt}$
- Forme canonique de l'équation différentielle :

$$\frac{du(t)}{dt} + \frac{u(t)}{\tau} = 0$$

où $\tau = RC$ est ici aussi la constante de temps du circuit.

- Résolution de l'équation différentielle :

La solution générale est : $u(t) = A e^{-\frac{t}{\tau}}$, où A est une constante réelle.

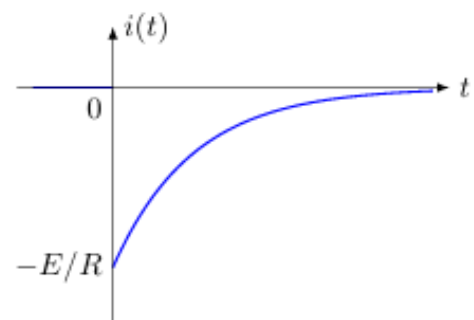
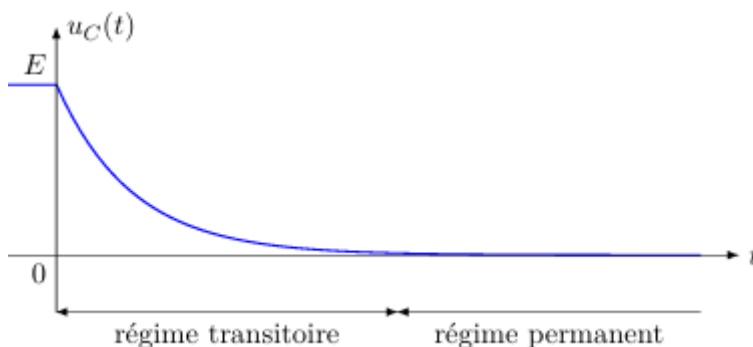
Il est intéressant de remarquer qu'en l'absence de 2nd membre, la solution particulière est $u_p = 0$, la solution particulière correspond là encore à la valeur en régime établi.

- Détermination de la constante A à partir des conditions initiales (à $t = 0^+$) : $u(0^+) = E$

$$u(0) = A e^{-\frac{0}{\tau}} = E \quad \text{donc : } A = E$$

Expression de la tension aux bornes du condensateur : $u(t) = E e^{-\frac{t}{\tau}}$.

L'intensité du courant se déduit de $u(t)$: $i(t) = C \frac{du(t)}{dt} = -\frac{E}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$



Lorsque l'interrupteur k bascule en position (2), le courant circule dans le sens opposé à celui représenté ($i(t) < 0$) : le condensateur se décharge, la charge q et la tension u diminuent. La tension aux bornes du condensateur et l'intensité tendent **progressivement** vers zéro.

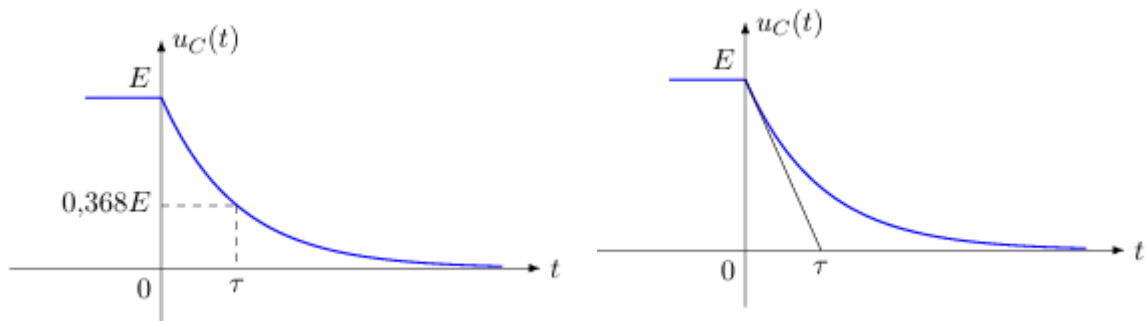
La constante de temps du circuit $\tau = RC$ apparaît encore comme une durée caractéristique de l'évolution du système et donne encore un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire.

Tension à $\tau, 3\tau, 5\tau$	Intensité du courant à $\tau, 3\tau, 5\tau$
$u(\tau) \approx 0,37 u_{\infty}$ soit 37% de E	$i(\tau) \approx -\frac{0,37E}{R}$ soit 37% de $-E/R$
$u(3\tau) \approx 0,05 E$	$i(3\tau) \approx -0,05 E/R$
$u(5\tau) \approx 0,01 E$	$i(5\tau) \approx -0,01 E/R$

On considère ici aussi que la durée du régime transitoire est 5τ et qu'au-delà de cette durée, le circuit a atteint le régime établi.

Détermination graphique de τ :

- **Méthode des 63 % :** $u(t) = 0,37E$
- **Méthode de la tangente à l'origine :** la tangente à l'origine (à la date $t = 0^+$) de la courbe $u(t)$ ou de la courbe $i(t)$ coupe l'asymptote du régime établi à la date τ .



2.5 Bilan énergétique

Bilan de puissance : On multiplie la loi des mailles par $i(t)$

$$0 = u(t)i(t) + Ri(t)^2 \text{ soit : } P(t) + P_R(t) = 0$$

$P(t) = u(t)i(t)$, puissance algébriquement reçue par le condensateur, < 0 .

$P_R(t) = u_R(t)i(t) = Ri(t)^2$, puissance algébriquement reçue par la résistance, > 0

Bilan d'énergie entre $t = 0$ et $t \rightarrow +\infty$: $0 = \Delta E_{\text{élec}} + \Delta E_R$

- Variation d'énergie dans le condensateur pendant la décharge :

$$\Delta E_{\text{élec}} = \frac{1}{2} Cu(+\infty)^2 - \frac{1}{2} Cu(0)^2 = -\frac{1}{2} CE^2 < 0 : \text{énergie fournie.}$$

- Energie reçue par la résistance pendant la décharge, dissipée par effet Joule : $\Delta E_R = \int_0^{+\infty} Ri(t)^2 dt$

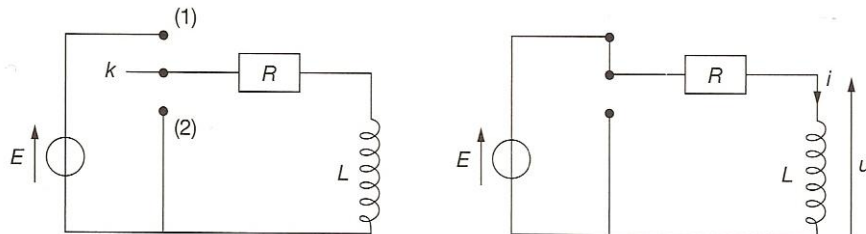
$$\text{Ou plus simplement : } \Delta E_R = -\Delta E_{\text{élec}} = \frac{1}{2} CE^2$$

L'énergie emmagasinée initialement par le condensateur pendant sa charge est intégralement dissipée par effet Joule dans R lors de la décharge.

Quelques applications des condensateurs : flash d'appareil photo, pacemaker, véhicule électrique (Blue Tram...)

IV. Etude du circuit R, L série

1. Réponse à un échelon de tension : retard à l'établissement du courant

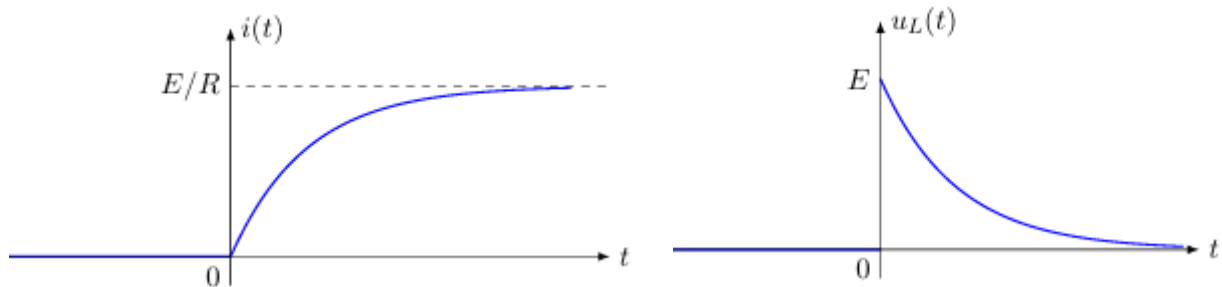


A $t = 0$, on bascule l'interrupteur k en position (1).

Application 3 : Réponse indicielle du circuit RL

- 1) Déterminer les valeurs de la tension u et du courant i en régime établi, notées respectivement u_{∞} et i_{∞} .
- 2) Etablir l'équation différentielle vérifiée par $i(t)$.
- 3) Identifier la constante de temps du circuit.
- 4) Résoudre l'équation différentielle.
- 5) Exprimer $u(t)$.

Tracés de $i(t)$ et $u(t)$:



Lorsque l'interrupteur k est en position (1), le courant croît **progressivement** pour atteindre la valeur i_{∞} et la tension tend **progressivement** vers zéro (la bobine finissant par se comporter comme un fil).

La constante de temps du circuit $\tau = \frac{L}{R}$, apparaît comme une durée caractéristique de l'évolution du système : elle donne un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire.

Elle se détermine graphiquement par la méthode des 63% ou par la tangente à l'origine.

Intensité à $\tau, 3\tau, 5\tau$	Tension à $\tau, 3\tau, 5\tau$
$i(\tau) \approx 0,63 i_{\infty}$ soit 63% de i_{∞}	$u(\tau) \approx 0,37 E$ soit 37% de E
$i(3\tau) \approx 0,95 i_{\infty}$	$u(3\tau) \approx 0,05 E$
$i(5\tau) \approx 0,99 i_{\infty}$	$u(5\tau) \approx 0,01 E$

Bilan de puissance : $Ei(t) = u(t)i(t) + Ri(t)^2$ soit : $P_G(t) = P(t) + P_R(t)$

$P_G(t) = E i(t)$, puissance algébriquement fournie par le générateur, > 0 .

$P(t) = u(t) i(t)$, puissance algébriquement reçue par la bobine, > 0 .

$P_R(t) = u_R(t)i(t) = Ri(t)^2$, puissance algébriquement reçue par la résistance, > 0 ,

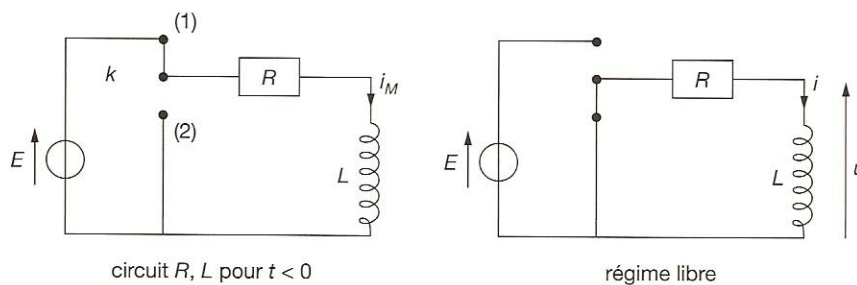
Bilan d'énergie dans la bobine entre $t = 0$ et $t \rightarrow +\infty$:

$$\Delta E_{\text{mag}} = \frac{1}{2} Li(+\infty)^2 - \frac{1}{2} Li(0)^2 = \frac{1}{2} L \left(\frac{E}{R} \right)^2 > 0 : \text{énergie stockée.}$$

Le générateur continue de fournir de l'énergie en régime établi, contrairement au circuit RC, en régime établi, l'énergie est exclusivement dissipée par la résistance.

2. Régime libre : retard à l'annulation du courant

La bobine a emmagasiné de l'énergie, le régime permanent est établi, et le courant vaut $\frac{E}{R}$. A $t = 0$, on bascule l'interrupteur k en position (2).



Application 4 : Régime libre du circuit RL

- 1) Déterminer les valeurs de la tension u et du courant i en régime établi, notées respectivement u_∞ et i_∞ .
- 2) Etablir l'équation différentielle vérifiée par $i(t)$. Résoudre.
- 3) Exprimer $u(t)$.
- 4) Tracer l'allure de $i(t)$ et $u(t)$.

Bilan de puissance : $0 = u(t)i(t) + Ri(t)^2$ soit : $P(t) + P_R(t) = 0$

$P(t) = u(t)i(t)$, puissance algébriquement reçue par la bobine, < 0 .

$P_R(t) = u_R(t)i(t) = Ri(t)^2$, puissance algébriquement reçue par la résistance, > 0

Bilan d'énergie entre $t = 0$ et $t \rightarrow +\infty$: $0 = \Delta E_m + \Delta E_R$

$$\Delta E_{\text{mag}} = \frac{1}{2} Li(+\infty)^2 - \frac{1}{2} Li(0)^2 = -\frac{1}{2} L \left(\frac{E}{R} \right)^2 < 0 : \text{énergie fournie.}$$

Energie algébriquement reçue par la résistance, dissipée par effet Joule : $\Delta E_R = -\Delta E_C = \frac{1}{2} L \left(\frac{E}{R} \right)^2$

L'énergie emmagasinée initialement par la bobine est intégralement dissipée par effet Joule.

Quelques applications des bobines : bobine d'allumage dans les moteurs à allumage commandé, clôture électrique, lampe à décharge, électroaimant...