

LP.26 Régimes transitoires

Léo

| Élément imposé – Amortissement

Niveau : L1

Pré-requis :

- Signaux physiques (transmission de l'information, signaux périodiques (L1))
- Dipôles linéaires et relations (résistance, condensateur, bobine) (L1)
- Circuits linéaires en ARQS, Kirchoff (loi des mailles loi des noeuds) (L1)
- Lien énergie/ puissance (secondaire)
- Polynomes du second degré (secondaire)

Difficultés :

- Très calculatoire
- Distinguer les différents régimes

Activité :

- TD : Circuit RL (equations, grandeurs caractéristiques, bilan énergétique) avec résolution en courant
- TD : Circuits complexes (plusieurs branches) à mettre en équation
- TD : Etude analogue de système oscillateur harmonique amorti (frottement) : amortisseur de voiture
- TP RLC

Biblio :

- Electronique Perez
- 1001 questions physique Garing
- BCPST1 Bresson

Plan proposé

1	Circuit du premier ordre : le RC	2
1.1	Mise en place et résolution de l'équation	2
1.2	Tracé et utilisation des graphiques	3
1.3	Bilan énergétique	3
2	Oscillateur amorti : circuit du second ordre, le RLC	4
2.1	Mise en équation	4
2.2	Etude des différentes solutions	4
2.3	Analogie mécanique	5
1	Régimes transitoires en électrocinétique	9

1.1	Mise en évidence sur un circuit RC série	9
1.2	Resolution de l'équation différentielle du circuit	9
2	Durée du régime transitoire	9
2.1	Visualisation graphique	9
2.2	Détermination expérimentale	9
3	Régime transitoire pour oscillateurs harmoniques forcés et amortis	9
3.1	Cas d'un cricuit LC	9
3.2	Circuit RLC série	10

Intro pédagogique

Circuit RC vu dans des filières de terminale, mais pas dans toutes. Première partie = retour sur RC, avec ajout de nouvelles notions et bilan d'énergie, pour aborder sereinement le RLC

Séquence pédagogique : après études de dipôles et Kirchoff, avant Sinusoïdale forcé (permanent)

Objectifs :

- comprendre les principales notions sur les régimes transitoires
- savoir mesurer des grandeurs expérimentalement
- savoir faire des bilans énergétiques
- savoir distinguer les cas des régimes critique/pseudo-périodique/apériodique (avec leurs caractéristiques, et par le calcul)

Leçon

Intro

Un système initialement dans un état stable, auquel on impose de nouvelles conditions à un instant t donné, évolue dans un premier temps dans un régime dit transitoire, lui permettant d'atteindre un nouvel état stable, correspondant au régime dit établi (ou permanent).

Exemples :

- Chauffage dans une maison : Régime stationnaire
- Marteau piqueur : Régime variable et périodique

Analogie électrocinétique, ces régimes sont forcés (différents de libre)

On va étudier les régimes transitoires de différents circuits, qui donnera la méthode pour tout type de circuit

1 Circuit du premier ordre : le RC

1.1 Mise en place et résolution de l'équation

[Tracé du circuit]

On met en équation le RC [diapo] avec cette méthode :

1. On applique les **lois de Kirchoff** (et dérivées) : loi des mailles, loi des noeuds, pont diviseur de tension, etc
2. On utilise les **relations courant/tension des dipôles**, et on les substitue dans l'équation $[RC \frac{dU_c}{dt} + \frac{U_c}{\tau} = \frac{E}{\tau}]$
3. On met sous **forme canonique** pour déterminer les grandeurs caractéristiques
Ici, $RC = \tau$ temps caractéristique (par analyse dimensionnelle de l'équation)

On résout cette équation du premier ordre avec une solution de la forme $u_c(t) = u_{c,h}(t) + u_{c,p}(t)$ avec

- $u_{c,h}(t)$ solution de l'équation homogène (sans second membre). Pour un premier ordre : $u_{c,h}(t) = Cte \times \exp(-\frac{t}{\tau})$. D'un point de vue physique, comme le système est réel, il y aura dissipation d'énergie, donc $u_{c,h}(t)$ tend vers 0
- $u_{c,p}(t)$ solution particulière, qui aura la même forme que l'excitation, ici $u_{c,p}(t) = E$

Ca donne comme fonction du régime transitoire : $u_c(t) = Cte \times \exp(-\frac{t}{\tau}) + E$

On détermine la constante avec la **continuité aux bornes des dipôles** : ici continuité de la tension aux bornes du condensateur : en 0 $u_c = Cte + E = 0$ donc Cte = -E

Solution finale : $u_c(t) = E(1 - \exp(-\frac{t}{\tau}))$

On peut facilement déterminer $i(t)$ avec la relation U/I du condensateur

1.2 Tracé et utilisation des graphiques

[Visualisation Oscillo + diapo]

On peut déterminer graphiquement τ . Deux méthodes principales :

- Tangente à la courbe courbe l'axe de la valeur initiale en $t=\tau$
- Valeur à 95%, atteinte à $t=3\tau$

Fin du régime transitoire? Dépendant de la précision souhaitée : à 95% c'est 3τ (exactement), pour 99% (c'est à dire à moins d'1% d'écart de la valeur finale) il faut $t > 5\tau$.

1.3 Bilan énergétique

On sait que la puissance d'un dipole est $P=UI$

Ici, les grandeurs varient au cours du temps. Pour faire un bilan en énergie, on va sommer = intégrer au cours du temps

On note les énergies W (pour ne pas confondre avec la tension E)

- Énergie fournie : $W_e = \int_0^\infty E \times i(t)dt = E \int_0^{CE} dq = CE^2$
- Effet Joule : $W_J = \int_0^\infty -Ri(t)^2 dt = \int_0^\infty -\frac{E^2}{R} \exp(-\frac{2t}{\tau}) dt = -\frac{E^2}{R} \times \frac{\tau}{2} = -\frac{CE^2}{2}$

La moitié de l'énergie est perdue en effet Joule, l'autre moitié est stockée par le condensateur (vous pouvez faire les calculs similaires)

Décharge, régime libre : Si on enlève le générateur de tension après le régime continu, on se place en régime libre. On observe la décharge du condensateur. Si on fait les mêmes calculs énergétiques, on retrouve que toute l'énergie du condensateur est dissipée en effet Joule : à la fin on a bien un système déchargé

2 Oscillateur amorti : circuit du second ordre, le RLC

2.1 Mise en équation

Circuit RLC, toujours avec la même méthode :

$$E = U_r + U_c + U_L$$

$$i = C \frac{dU_c}{dt} \text{ et } U_L = L \frac{di}{dt}$$

On obtient $LC \frac{d^2 U_c}{dt^2} + RC \frac{dU_c}{dt} + U_c = E$, soit $\frac{d^2 U_c}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dU_c}{dt} + \frac{U_c}{LC} = \frac{E}{LC}$

La forme canonique est : $\frac{d^2 U_c}{dt^2} + \frac{\omega_0}{Q} \frac{dU_c}{dt} + \omega_0^2 u_c = 0$

Avec Q facteur de qualité (sans dimension) et ω_0 pulsation propre du système.

Ici, $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ et $Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$

Q est lié au **facteur d'amortissement m** : $m = \frac{1}{2Q}$

2.2 Etude des différentes solutions

On a obtenu une équation du second ordre, donc on étudie le déterminant :

$\Delta = \frac{\omega_0^2}{Q^2} (1 - 4Q^2)$, avec trois possibilités suivant la valeur de Q :

— $Q < 1/2$ (donc m élevé, $m > 1$, donc un fort amortissement), $\Delta > 0$ donc 2 racines réelles : **régime apériodique**

— $Q > 1/2$ ($m < 1$), $\Delta < 0$ donc 2 racines complexes : **régime pseudo-périodique**

— $Q = 1/2$, $m = 1$, $\Delta = 0$, une solution double : **régime critique**

[Tableau différents régimes]

L. Titre

facteur de qualité	$Q > 1/2$	$Q = 1/2$	$Q < 1/2$
type de régime	régime pseudo périodique	régime critique	régime apériodique
solution	$u(t) = \exp\left(\frac{-\omega_0 t}{2Q}\right)(A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t))$	$u(t) = (At + B) \times \exp(-\omega_0 t)$	$u(t) = A \exp(s_1 t) + B \exp(s_2 t)$
où	$\omega = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}}$		$s_1 = \frac{-\omega_0}{2Q} (1 + \sqrt{1 - 4Q^2})$ $s_2 = \frac{-\omega_0}{2Q} (1 - \sqrt{1 - 4Q^2})$
durée du régime transitoire	$\frac{2Q}{\omega_0}$	$\frac{1}{\omega_0}$	$\frac{1}{Q\omega_0}$

TABLE 1 – Influence du facteur de qualité sur la durée du régime transitoire

Figure 1 – Différents régimes

Décroissement logarithmique et mesure : Dans le cas pseudo-périodique, on définit le Décrément logarithmique comme $\delta = \ln\left(\frac{u(t) - u_\infty}{u(t+T) - u_\infty}\right)$, avec T la pseudo-période

Lien avec Q : $u(t+T) = u(t) \times e^{-\delta}$. Or par comparaison avec la formule $e^{-\delta} = e^{-\frac{\omega_0}{2Q}T}$. Donc $\delta = \frac{\omega_0}{2Q}T$.

En pratique, si on se met à Q grand (valable pour quelques unités), alors $\omega \simeq \omega_0$ et $T \simeq T_0$

Donc dans cette approximation : $\delta \simeq \frac{\omega_0 T_0}{2Q} \simeq \frac{2\pi}{2Q} = \frac{\pi}{Q}$

On a mesuré plusieurs δ [courbe], et on a fait des incertitudes de type A : $Q = 3.44 \pm 0.02$

2.3 Analogie mécanique

Comparaison ressort amorti

Conclusion

Ce qu'on a vu pour des systèmes classiques, ça s'étudie pour des systèmes plus complexes, et pas qu'en électrocinétique

Questions/Réponses

Questions

Qu'est ce que l'ARQS et par quoi cela se traduit ?

Réponses

indépendance par rapport au temps, se voit dans les équations de Maxwell

Pourquoi on peut appliquer l'ARQS sur les circuits qu'on utilise ?

Ton créneau va de -E à +E est-ce un problème ?

Dans quelles autres discipline on parle de temps de réponse et d'oscillateurs ? mécanique, sciences de l'ingénieur

ABAC de temps de réponse pour un système d'ordre 2 ?

Dans quel cas on utilise Q plutôt que le facteur d'amortissement ? une pendule où on veut que l'oscillateur soit très périodique donc Q grand.

Contexte de facteur d'amortisseur standart ? amortisseur mécanique, amortit les oscillations de la route, doit être élevé

Est-ce qu'il existe des régimes transitoires non linéaires pour des dipôles non linéaires par exemple la diode, sinon pont de Wien oscillateur non linéaire.

Remarques :

ARQS (approximation des régimes quasi-stationnaires) : négliger les phénomènes de propagation, et donc i dans un circuit est identique en tout point au i dans la même branche du circuit

Dipôle linéaire : Tension à ses bornes et intensité du courant électronique qui le traversent sont liés par une relation linéaire

Continuité de la tension aux bornes d'un condensateur : énergie électromagnétique d'un système physique macro ne peut subir de discontinuité, or pour le condensateur $E = C u_c^2/2$, donc u_c continu

RLC : $C = 100\text{nF}$, $R=39\text{ Ohm}$, $L=11.36\text{ mH}$, $f=200\text{ Hz}$

RC : $C = 100\text{ nF}$, $R = 50000\text{ Ohm}$

ARQS électrique : $\text{rot}(\vec{E}) = \vec{0}$ $\text{div}(\vec{E}) = 0$

ARQS magnétique : $\text{rot}(\vec{B}) = \vec{0}$ $\text{div}(\vec{B}) = 0$

Les oscillateurs à quartz ont un Q élevé (de l'ordre de $9 \cdot 10^5$)

Debrief

Facteur d'amortissement se note plutôt ξ pas m . Faire un truc plus appliqué et SI (ABAQUES) que juste le RLC.

Montrer les différents régimes avant les équations

Présenté par Annabelle

Elément imposé – Oscillateur harmonique forcé, manip : durée du régime transitoire

Niveau : L1

Pré-requis :

- Bases d'électrocinétique, fonctionnement d'une résistance, d'un condensateur, d'une bobine, d'un GBF
- lois de Kirchoff
- résolutions d'équation différentielles linéaires d'ordre 1 et 2
- définition d'un oscillateur harmonique

Difficultés :

- cours un peu calculatoire
- visualisation de la durée d'un régime transitoire
- ne pas se perdre dans les différents régimes (forcé, amorti, ...) et les différents circuits

Activité :

- Etude d'un circuit RL et mesures du temps caractéristique

Biblio :

- Physique MPSI, PCSI, PTSI Pearson
- Physique chimie MPSI Ellipse
- Electronique expérimental Krab

Plan proposé

Intro pédagogique

Séquence d'électrocinétique, car plein d'exemples de régimes transitoires

Objectifs : savoir ce qu'est un régime transitoire, et donner des ordres de grandeurs pour l'électrocinétique

Leçon

Intro

Allumer le chauffage, atteindre un équilibre. Régime transitoire prend un certain temps

Régime transitoire : un régime de durée finie, compris entre 2 états d'équilibres (régimes permanents)

Temps de réponse : Ordre de grandeur du temps nécessaire au système pour atteindre le régime permanent

1 Régimes transitoires en électrocinétique

1.1 Mise en évidence sur un circuit RC série

[Circuit RC avec créneau] : Charge et décharge du condensateur

Dessin circuit RC

1.2 Résolution de l'équation différentielle du circuit

$$E = u_r + u_c = Ri + u_c$$

$$\tau = RC$$

Solutions : $u_c(t) = u_0(t) + u(t)$ (homogène et particulière)

$$u_c(t) = A \times \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + E$$

CI : tension continue aux bornes du condensateur : $u_c(0^-) = 0 = u_c(0^+)$ donc $A = -E$

2 Durée du régime transitoire

2.1 Visualisation graphique

$$t = \tau \quad u_c = 0.63E \quad t = 5\tau \quad u_c = 0.99E$$

Mais aussi dérivée à l'origine = $\frac{E}{\tau}$ donc croise en E pour $t = \tau$

Régime transitoire se termine après qq τ

2.2 Détermination expérimentale

Latis pro + oscillo. Chercher à 0.63 E : $\tau = 1.346 - 0.813\text{ms}$ Précis à 0.03 ms

Donc incertitude sur τ est $\frac{0.03}{\sqrt{3}}$ ms

Le résultat sous la forme $\tau \pm 2$ fois l'incertitude : (0.53 ± 0.04) ms

Comparaison avec valeur théorique : $RC = 5000 \times 0.00000001 = 0.5\text{ms}$

3 Régime transitoire pour oscillateurs harmoniques forcés et amortis

3.1 Cas d'un circuit LC

Dessin. Loi des mailles pulsation propre $\omega_0 = \frac{1}{LC}$ et $\tau = \frac{1}{\omega_0}$

[régime sinusoïdal forcé pour oscillateur harmonique (Perason)]

Mais résistance interne à la bobine... Autant rajouter une résistance

3.2 Circuit RLC série

Tableau des 3 possibilités en fonction du facteur de qualité Q [MPSI j'intègre + Parson]

Conclusion

Plusieurs régimes transitoires en électrocinétique différents
Circuit RL en TP similaire

Questions/Réponses

Questions	Réponses
<i>Autres domaines ?</i>	Mécanique (ressort + frottements avec vivreur), Diffusion (sucre dans le café)
<i>L1 ?</i>	Plus d'exemples et faciles à traiter
<i>Forcément calculatoire ?</i>	élèves en ont peu de recul
<i>Radiateur qui chauffe = régime transitoire ?</i>	On est entre 2 régimes permanents donc oui
<i>Toujours des états d'équilibre ?</i>	Non car stationnaire mais sans eq ?
<i>Definition temps de réponse</i>	Au bout duquel on a atteint le régime permanent (avec un intervalle)
<i>Autre manip ?</i>	Augmenter R et C
<i>Pourquoi exp sans schéma ?</i>	Approche expérimentale d'abord
<i>Comment le problématiser ?</i>	Boucle de rétroaction dans les boîtiers de vitesse , idem ordi temps de réponse du transistor pour calculer plus vite
<i>Physiquement un condensateur</i>	2 armatures de charges opposées avec un isolant au milieu
<i>Pk besoin d'un condensateur</i>	variation continue avec $Q = C U$
<i>Augmenter la précision</i>	5τ pas assez précis car plat, 2τ mieux \rightarrow faire plus de points (échantillonnage)
<i>Incertitudes de la valeur théorique ?</i>	Incertitude sur R et C, à re vérifier
<i>RTF</i>	Si ω vaut ω_0 résonance, mais pas important pour régime transitoire
<i>Signal triangle filtre ?</i>	Integrale

L. Titre

VP : zone d'éducation prioritaire Non car notion d'**équité**, zone qui en ont
contrevient au principe d'égalité besoin : donne les mêmes chances

VP : plus de problèmes ? PROBLEMATIQUES SELON LES TER-
RITOIRES mieux

Debrief

Calculatoire : pas de difficulté : equation différentielle

Faire les schémas avant

Augmenter la résolution

Q c'est une mesure de la dissipation de l'énergie

Pas de mesures à l'oscilloscope