

Thème I. Ondes et signaux (Électricité)

TP n°4 Mesure de la capacité d'un condensateur

Vendredi 6 octobre 2023

Lire l'énoncé, y compris les annexes, AVANT la séance de TP et répondre aux questions précédées d'une *.

Compétences exigibles du programme :

- ✓ Réaliser pour un circuit l'acquisition d'un régime transitoire du premier ordre et analyser ses caractéristiques. Confronter les résultats expérimentaux aux expressions théoriques.
- ✓ Obtenir un signal de valeur moyenne, de forme, d'amplitude et de fréquence données à l'aide d'un GBF.
- ✓ Mesurer une tension à l'oscilloscope numérique : Définir la nature de la mesure effectuée.
- ✓ Mesures et incertitudes
 - ✓ Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A).
 - ✓ Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B).
 - ✓ Comparer deux valeurs dont les incertitudes-types sont connues à l'aide de leur écart normalisé.

Matériel :

- GBF, oscilloscope, multimètre ;
- 1 condensateur $C = 100 \text{ nF}$;
- Boîte à décades de résistances ;
- Polycopiés sur le matériel d'électricité et les incertitudes.

Introduction

Dans ce TP nous allons mettre en œuvre un circuit RC série en régimes transitoires afin de mesurer la capacité d'un condensateur.

I Montage et premières observations

Montage et réglages

Q1. * Représenter le schéma du circuit avec le GBF (dont sa masse : cf annexe A page 5), la résistance et le condensateur en série.

Q2. * Placer sur le schéma précédent les voies de l'oscilloscope (cf annexe B page 5) afin de visualiser la tension délivrée par le GBF en voie CH1 et la tension aux bornes du condensateur en voie CH2.

On fera attention aux problèmes de masse : il ne doit y avoir qu'une seule masse dans le circuit, car la masse d'un appareil (oscilloscope et GBF) est reliée un même point : la Terre (via la prise de Terre).

Afin de visualiser la charge et la décharge du condensateur facilement, nous utilisons le GBF qui délivre un créneau entre 0 V et 5 V.


Q3. * Si $R = 1 \text{ k}\Omega$ et $C = 100 \text{ nF}$, quel est l'ordre de grandeur du temps caractéristique du régime transitoire ?

Comment choisir la fréquence du signal créneau de sorte à visualiser la totalité du régime transitoire sur une demie-période du créneau ? *On s'aidera de l'annexe D page 6.*

Expérience

- ☞ Réaliser le circuit précédent.
- ☞ Régler la boîte à décades de résistances sur $1\text{ k}\Omega$ et choisir un condensateur de capacité 100 nF .
- ☞ Régler le GBF pour qu'il délivre un signal créneau entre 0 V et 5 V , pour cela régler l'amplitude à 5 V , et régler l'offset à $2,5\text{ V}$ de fréquence $f \sim 100\text{ Hz}$

Observations


- Q4.  Noter vos observations. On reproduira les signaux obtenus en identifiant dessus les deux types d'évolution du circuit : réponse à un échelon de tension, régime libre et les deux régimes observés au cours de chaque demie-période : régime transitoire, régime permanent.

II Mesure de la capacité du condensateur par mesure de τ






Protocole

- Q5. * Proposer un protocole pour déterminer la capacité du condensateur en utilisant la mesure de la constante de temps du circuit, pour différentes valeurs de résistance.
On illustrera la mesure de la constante de temps sur un oscillogramme, en y plaçant dessus les curseurs qu'il faudra pour effectuer la mesure.

Expérience

- ☞ Mettre en œuvre le protocole après avoir présenté le protocole à l'enseignant.
On veillera, pour chaque nouvelle valeur de R (comprises entre $1\text{ k}\Omega$ et $100\text{ k}\Omega$), de s'assurer que le régime transitoire a lieu complètement, et que le régime permanent est atteint avant changement de la valeur du créneau.
- Q6.  Noter vos mesures dans un tableau (deux lignes : une pour R et une pour τ).

Exploitation avec python

- ☞  Après avoir copié le Jupyter Notebook (disponible dans la zone Partage \rightarrow pcsi \rightarrow physique \rightarrow TP04_RC_2023-2024) dans votre zone personnelle, le compléter avec les mesures effectuées.
- ☞  Calculer les valeurs de C et représenter l'histogramme.
- ☞  Effectuer les calculs nécessaires : valeur moyenne et écart-type de la série de mesures, incertitude-type sur la moyenne.  Voir §III du poly « Les incertitudes »
- Q7.  Noter les résultats obtenus.

Conclusion

- Q8.  Écrire le résultat de la mesure de C (en respectant le format habituel).  Voir §I.1 du poly « Les incertitudes »




III Mesure de C avec le capacimètre

Expérience

- ☞ Utiliser le multimètre en capacimètre pour mesurer la capacité du condensateur.
Cela s'utilise et fonctionne comme un ohmmètre, il suffit de se placer sur le calibre adapté à la mesure d'une capacité (symbole du condensateur). Avant de mesurer la capacité, il faut décharger le condensateur, pour cela enlever le condensateur du circuit, et brancher un fil entre ses deux bornes.
- Q9. ☞ Noter la valeur de C ainsi mesurée. On recopiera TOUS les chiffres affichés !

Incertitude

L'incertitude-type sur la mesure de la capacité avec le capacimètre se détermine en utilisant la notice (cf livret « Matériels en TP d'électricité » page 6 §VI).



- Q10. ☞ Recopier la précision indiquée sur la notice pour la mesure effectuée.
- ☞  Calculer la précision, sur la mesure unique effectuée, à l'aide du Jupyter Notebook
- ☞  En déduire l'incertitude-type.  Voir §III.1 du poly « Les incertitudes »
- Q11. ☞ Recopier les valeurs obtenues.

Conclusion

- Q12. ☞ Écrire le résultat de cette deuxième mesure de C .

IV Conclusion : comparaison des deux mesures

Conclusion

- Q13. ☞ Avec quelle grandeur quantitative peut-on comparer ces deux mesures ? Quel est le critère utilisé pour conclure ?  Voir §I.2 du poly « Les incertitudes ».
- ☞  Calculer cette grandeur.
- Q14. ☞ Conclure.

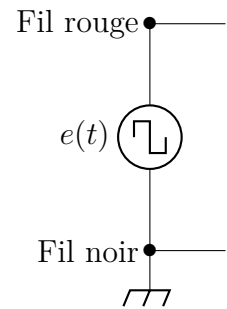
ANNEXES

A GBF

GBF

Un GBF est une source de tension (non idéale) de résistance interne 50Ω . Pour des raisons de sécurité la carcasse du GBF est reliée à la prise de Terre. La partie extérieure des bornes BNC de sortie sont reliées à la carcasse donc à la prise de Terre.

Dans les câbles BNC-banane (un côté BNC que l'on branche directement sur le GBF et un côté avec un fil noir et un fil rouge), le fil noir est relié à la partie extérieure de la borne BNC de sortie du GBF, et donc à la carcasse, et donc à la Terre.



B Oscilloscope

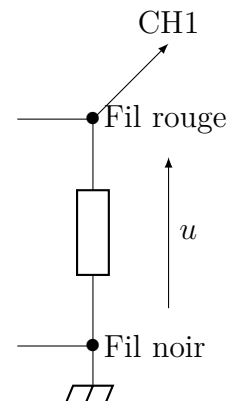
Oscilloscope

Un oscilloscope permet de visualiser des tensions dans un circuit. Pour des raisons de sécurité la carcasse de l'oscilloscope est reliée à la prise de Terre. La partie extérieure des bornes BNC d'entrée sont reliées à la carcasse donc à la prise de Terre.

Sur un schéma, le branchement de l'oscilloscope s'indique comme ci-contre : une flèche placée à la pointe de la flèche de la tension mesurée et un symbole de masse de l'autre côté de la flèche de la tension mesurée.

Le branchement de l'oscilloscope se fait de façon similaire à celui d'un voltmètre, avec la « correspondance » : COM \rightarrow masse et V \rightarrow flèche + indication CH1 ou 2.

Pour visualiser la tension u sur la voie CH1 il faut réaliser le branchement ci-contre. La mesure de la tension introduit nécessairement une masse dans le circuit.



C Circuit RC en régime transitoire

Évolutions temporelles de la tension aux bornes du condensateur

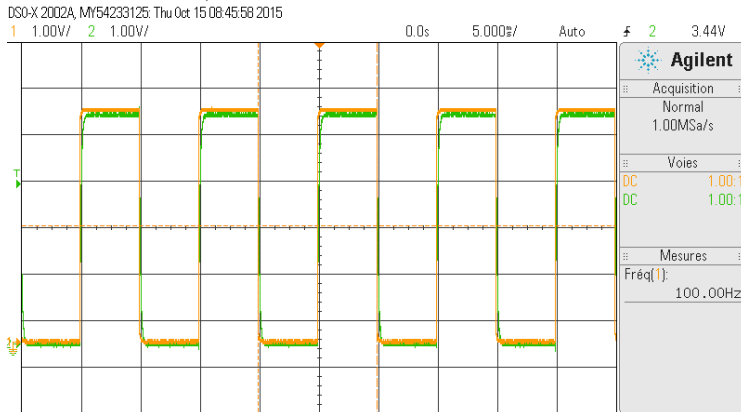
- La tension aux bornes du condensateur dans un circuit RC série soumis à un échelon de tension

$$\begin{cases} t < 0 & e(t) = 0 \\ t > 0 & e(t) = E \end{cases}$$
 évolue selon : $u_c(t) = E(1 - e^{-t/\tau})$, avec $\tau = R_{\text{tot}}C$ et R_{tot} la résistance totale du circuit (**on n'oubliera pas de prendre en compte la résistance interne du GBF !**).
 À l'instant τ : $u_c(\tau) = 0,63E$
- La tension aux bornes du condensateur dans un circuit RC série en régime libre, alors que le condensateur est initialement chargé sous la tension E évolue selon : $u_c(t) = Ee^{-t/\tau}$, avec $\tau = R_{\text{tot}}C$
 À l'instant τ : $u_c(\tau) = 0,37E$
- Pour les régimes transitoires du premier ordre, on considère qu'au bout de quelques τ ($\approx 5\tau$), le régime permanent est atteint (à $\approx 99\%$).

D Utilisation d'un signal créneau pour étudier les régimes transitoires

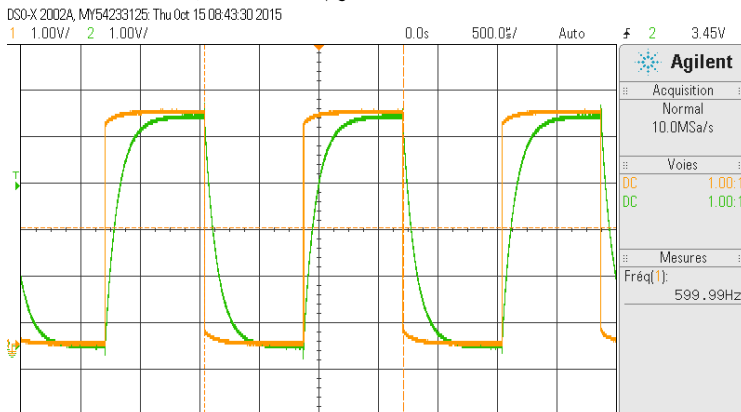
On réalise le circuit RC avec $R = 1 \text{ k}\Omega$ et $C = 100 \text{ nF}$ ($\tau = 10^{-4} \text{ s}$). Il est alimenté par un GBF délivrant un signal créneau entre 0 V et +5 V, dont la fréquence peut être réglée.

1^{er} cas : $T = 0,1 \text{ s} \gg \tau$



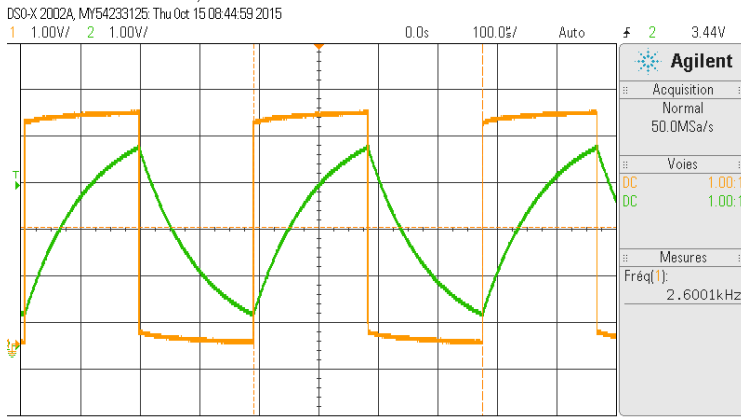
Le régime transitoire d'une durée de quelques τ a une durée très faible devant la demi période du créneau.
Le régime transitoire est tellement court par rapport à la demi-période, il est quasiment confondu avec le créneau.

2^e cas : $T = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ s} \gtrsim 10\tau$



Le régime transitoire d'une durée de quelques τ a le temps de se faire sur la demi période, qui n'est pas très grande devant τ , ainsi on peut bien observer le régime transitoire.

3^e cas : $T = 3,8 \cdot 10^{-4} \text{ s} < 10\tau$



Le régime transitoire d'une durée de quelques τ n'a pas le temps de se faire sur la demi période d'une durée du créneau.
Le régime transitoire n'a lieu qu'en partie : le régime permanent n'est pas atteint.

Rq. Le GBF est une source réelle de tension dont la tension délivrée dépend de l'intensité $i(t)$ qui le traverse $u_g(t) = e(t) - r_g i(t)$. L'intensité dans le circuit varie de façon importante au début du régime transitoire, puis diminue jusqu'à atteindre 0. Ainsi, u_g est faible au début du régime transitoire (i élevée), et augmente jusqu'à la fin du régime transitoire.

♥ À retenir

Pour observer les régimes transitoires en utilisant un GBF qui délivre une tension créneau de fréquence $f_{\text{créneau}}$, il faut choisir cette fréquence de sorte que le régime transitoire ait le temps d'avoir lieu entièrement sur la demi-période du créneau :

$$\frac{T_{\text{créneau}}}{2} > 5\tau \Leftrightarrow T_{\text{créneau}} > 10\tau \Leftrightarrow f_{\text{créneau}} < \frac{1}{10\tau}$$

Sans choisir une fréquence trop faible, car alors le régime permanent occuperait toute la demi-période.

♥ Bilan du TP

■ Bilan en électricité

- Un oscilloscope se branche comme un voltmètre, en _____ du dipôle.
- Les parties _____ des bornes BNC du GBF et de l'oscilloscope sont reliées à la _____ via la prise secteur, et ramène donc la _____ dans le circuit.

Par convention, le fil _____ d'un câble BNC-banane est relié à la carcasse métallique du GBF/oscilloscope et donc à la _____.

- Dans un circuit électrique, il faut veiller à ce qu'il n'y ait qu'une seule _____, pour ne pas _____-_____ une partie du circuit.

Par conséquent, le dipôle aux bornes duquel on veut visualiser la tension, doit avoir une _____ commune avec la _____ du GBF.

- Pour visualiser la charge et la décharge d'un condensateur, le circuit RC est alimenté par un signal _____, compris entre _____ et une _____.
- Pour observer effectivement la charge et la décharge, il faut que la _____-_____ du créneau soit _____ à _____ fois la constante de temps du circuit, pour laisser le temps au régime _____ d'avoir lieu entièrement, et donc au régime _____ de s'établir.

Il faut donc choisir une fréquence du créneau suffisamment _____ (mais pas trop non plus!).

■ Bilan sur les incertitudes

- Les notices des appareils de mesure comme le voltmètre, l'ampèremètre, l'ohmmètre, le capacimètre indique la précision des mesures effectuées sous la forme :

% _____ + k _____ de _____ (notée _____).

Cette _____ représente l'_____ du _____ chiffre affiché sur l'appareil.

- En l'absence d'information précise sur la nature de cette « précision », on considère qu'elle représente la _____-_____ de l'intervalle dans lequel il est raisonnable de considérer que le résultat de la mesure se trouve, que l'on note habituellement _____.

- Une fois la précision calculée à partir de la notice, l'_____ se calcule en divisant la précision par _____.

- Pour comparer deux mesures de la même grandeur par deux protocoles différents, on calcule l'_____.

Par convention, on considère que les deux mesures ne sont pas incompatibles si l'_____

_____ est _____ à _____.