

REGIMES TRANSITOIRES

Date :

NOM, Prénom :

Table des matières

1. OBJECTIFS.....	2
2. INFORMATIONS	2
2.1 DANGERS.....	2
2.2 UTILISATION DES APPAREILS DE MESURE	2
2.2.1 SONDE DE COURANT	3
2.2.2 OSCILLOSCOPE.....	3
2.2.3 INTERRUPTEUR ARID	3
2.3 DÉROULEMENT DES MANIPULATIONS	3
2.4 REFERENCES THEORIQUES	4
2.5 CONVENTIONS.....	4
3. LABORATOIRE	4
3.1 MESURES PRELIMINAIRES	4
3.2 CHARGE DU CONDENSATEUR C_0.....	5
3.2.1 THEORIE	5
3.2.2 MESURES	7
3.2.3 ANALYSE DES RESULTATS	8

3.3 CIRCUIT RRC	8
3.3.1 THEORIE	8
3.3.2 MESURES	9
3.3.3 ANALYSE DES RESULTATS	9
3.4 CIRCUIT CCR.....	10
3.4.1 THEORIE	10
3.4.2 MESURES	10
3.4.3 ANALYSE DES RESULTATS	11
3.5 MODULATION DE LARGEUR D'IMPULSION – MLI (<i>PULSE WIDTH MODULATION – PWM</i>)	12
3.5.1 THEORIE	12
3.5.2 MESURES	13
3.5.3 ANALYSE DES RESULTATS	14
3.5.4 VARIATION DES PARAMETRES DU PWM	14

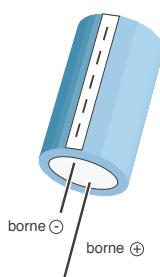
1. OBJECTIFS

- Vérification du comportement de charge et de décharge d'un condensateur dans des circuits de type RC ;
- Découverte pratique de phénomènes transitoires liés à des résistances et condensateurs;
- Familiarisation avec les techniques de mesures à l'oscilloscope, notamment l'utilisation du trigger.

2. INFORMATIONS

2.1 Dangers

La source d'énergie ne doit être câblée qu'après vérification du montage par un assistant. Elle doit être éteinte avant d'être connectée ou déconnectée.



Les condensateurs sont des composants polarisés : l'inversion de leur câblage est dangereuse. Elle provoque leur destruction !

Les résistances et les inductances utilisées ne peuvent dissiper qu'une faible puissance (typiquement 0.25 W). Ne pas les connecter directement à la source de tension DC.

2.2 Utilisation des appareils de mesure

Un mode d'emploi détaillé se trouve à chaque poste de travail.

2.2.1 Sonde de courant

Les mesures de courant effectuées au cours de ce laboratoire se font toutes avec une sonde de courant connectée à l'oscilloscope.

Une sonde de courant se présente comme une pince, au travers de laquelle passe le fil conducteur dont on veut mesurer le courant. Une flèche sur la pince indique le sens positif de passage du courant.

Le facteur de conversion de la sonde de courant est de 100 mV/A. Tenir compte de ce facteur lors du réglage vertical de la trace correspondante de l'oscilloscope.

Procéder soigneusement aux opérations de calibrage (supprimer le décalage (*offset*) de la tension de sortie de la sonde de courant) avant chaque mesure.

2.2.2 Oscilloscope

Indispensable pour mémoriser un phénomène transitoire, l'oscilloscope nous sert à visualiser simultanément l'évolution des courbes de tension et de courant.

Les traces sont figées à l'écran lorsque les conditions de « trigger » sont réunies. Pour les mesures de ce laboratoire, il est judicieux d'enclencher le trigger d'après le niveau de tension (ou sur le signal externe de l'interrupteur ARID) et d'imposer un délai pour bien visualiser le début du phénomène.

2.2.3 Interrupteur ARID

L'interrupteur ARID est dit « sans rebonds », par opposition aux interrupteurs classiques dont les instants de commutation sont constitués d'une série de mises sous- et hors-tension parasites indésirables. Il s'utilise comme un simple interrupteur.

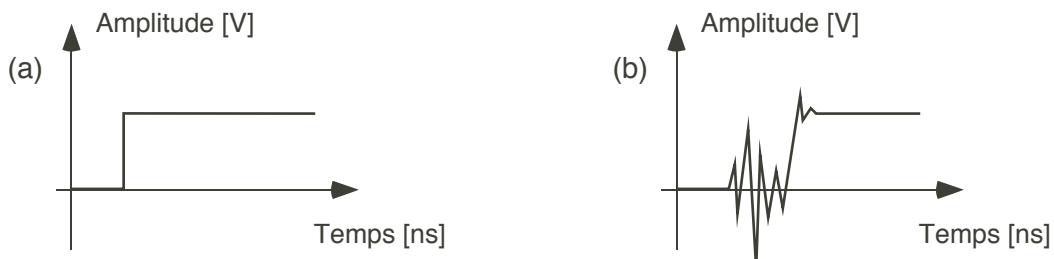


Figure 2.1 : Montée en tension avec un interrupteur ARID (a) et avec un interrupteur classique (b)

2.3 Déroulement des manipulations

Les manipulations proposées dans les prochaines sections consistent à décharger un condensateur successivement dans une résistance et dans un autre condensateur. Entre chaque décharge, le condensateur est chargé à une tension de référence à l'aide d'une source de tension continue.

Le calibrage des appareils de mesure, la compréhension et l'analyse des résultats obtenus se trouvent facilités lorsque la partie théorique relative à la manipulation a été complétée. C'est pourquoi il est vivement recommandé de suivre l'ordre proposé dans ce protocole.

2.4 Références théoriques

Les bases théoriques, les méthodes ainsi que bon nombre de résultats sont exposés aux pp. 176-179 et 180-181 du Traité d'Electricité¹ ou aux pp. 207-226 du livre d'électrotechnique².

2.5 Conventions

Les hypothèses suivantes sont formulées :

- Le temps $t = 0$ pour chaque situation correspond à l'instant de fermeture de l'interrupteur T (voir schémas de montage) ;
- La résistance R_0 est suffisamment grande pour que les résistances des fils et des connexions puissent être négligées ;
- La notation des composants (C_0 , R_0 , R , L , R_{self}) (ou R_L), C et U_{DC}) est imposée par le protocole et doit être respectée lors de la formulation des réponses ;
- On adoptera la notation suivante pour la tension du condensateur C_0 en $t = 0$:
 - $u_C(0) = U_{C0}$, lorsque le condensateur C_0 est (presque) vide ;
 - $u_C(0) = U_{C1}$, lorsque le condensateur C_0 est chargé.

3. LABORATOIRE

3.1 Relevé préliminaires des valeurs des composants

Différents composants seront utilisés au cours de ces manipulations. Reportez toutes les valeurs données des composants du boîtier dans le Tableau 1.

	C_0	R_0	R	L_{self}	R_{self}	C	U_{DC}
Valeur indiquée	2'200 μF	47 Ω	82 Ω	680 μH	10 Ω	2'200 μF	< 30 V
Valeur fournie							

Tableau 1 : Valeurs des composants utilisés

Remarque : Ne pas dépasser 30 V pour U_{DC} ($U_{DC} < 30$ V).

¹ F. de Coulon et M. Jufer, « Introduction à l'électrotechnique », 7^{ème} édition, coll. « Traité d'électricité », Vol I, Presses Polytechniques Romandes, Lausanne, 1995.

² M. Jufer et Y. Perriard, "Electrotechnique, Base de l'électricité", 1^{ère} édition, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2012.

3.2 Charge du condensateur C_0

3.2.1 Théorie

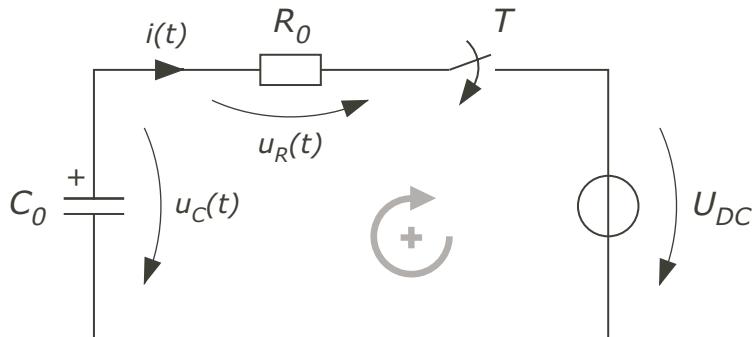


Figure 3.1 : Montage 1 - Charge d'un condensateur

On charge le condensateur C_0 à l'aide de la source de tension continue U_{DC} . A partir des équations de tension des éléments simples ainsi que de la loi de Kirchhoff pour les mailles, donner l'expression de la relation intégrale/différentielle liant les diverses tensions pour $t > 0$ (en $t = 0$, $u_c(0) = U_{C0}$) et déterminer l'évolution de $i(t)$ et de $u_c(t)$ pour $t > 0$.

Équations de tension des éléments simples pour $t \geq 0$:

Source de tension : $u_{source} = U_{DC}$ (1)

Condensateur (\int de $-\infty$ à t) : $u_C(t) = \frac{1}{C_0} \cdot \int_{-\infty}^t (-i(t) \cdot dt)$ (notez le signe de $i(t)$)

Condensateur (C.I. + \int de 0 à t) : $u_C(t) =$ _____ (2)

Résistance : $u_R(t) =$ _____ (3)

Équation de liaison (Kichhoff: \sum des tensions le long d'une boucle = 0) :

\sum des tensions simples : $u_{source} + u_R - u_C = 0$

\sum des tensions simples (développée) : _____ (4)

Dérivation pour l'obtention d'une équation différentielle :

Dérivée de $i(t)$ par rapport à t dans (4) : _____ (5)

Solution générale de cette équation différentielle :

Solution de la forme : $i(t) = A \cdot e^{-t \cdot B}$ (6)

et sa dérivée : _____ (7)

Détermination des constantes d'intégration - Constante B :

Remplacement de (6) et (7) dans (5) : _____

D'où la constante B : _____

On pose : $\tau = R_0 C_0$

Détermination des constantes d'intégration - Constante A :

Un saut de tension est impossible aux bornes d'un condensateur.

Donc, **en $t = 0$** , l'équation (4) s'écrit : $U_{DC} + R_0 \cdot i(t) - U_{C_0} + 0 = 0$

En y remplaçant $i(t)$ (éq. (6) et τ) : _____ (8)

Sachant que : $e^{-\frac{0}{\tau}} = 1$, (8) devient : _____

D'où la valeur de la constante A : $A =$ _____

Solution pour le courant $i(t)$:

En remplaçant A et B dans (6) : $i(t) =$ _____ (9)

Solution pour la tension $u_C(t)$:

En réécrivant (2) avec (6) :

$$u_C(t) = U_{C_0} - \frac{1}{C_0} \cdot \int_0^t A \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \cdot dt$$

\int → primitive définie de 0 à t :

$$u_C(t) = U_{C_0} - \text{_____}$$

Primitive calculée entre 0 et t :

$$u_C(t) = U_{C_0} + \text{_____}$$

Sachant que :

$$\frac{1}{C_0} \cdot \tau \cdot A = \frac{1}{C_0} \cdot R_0 C_0 \cdot \frac{U_{C_0} - U_{DC}}{R_0} = U_{C_0} - U_{DC}$$

Il vient finalement :

$$u_C(t) = \text{_____} \quad (10)$$

Ayant posé $\tau = R_0 C_0$: constante de temps du circuit, déterminer la valeur numérique de τ :

$$\tau = \text{_____}$$

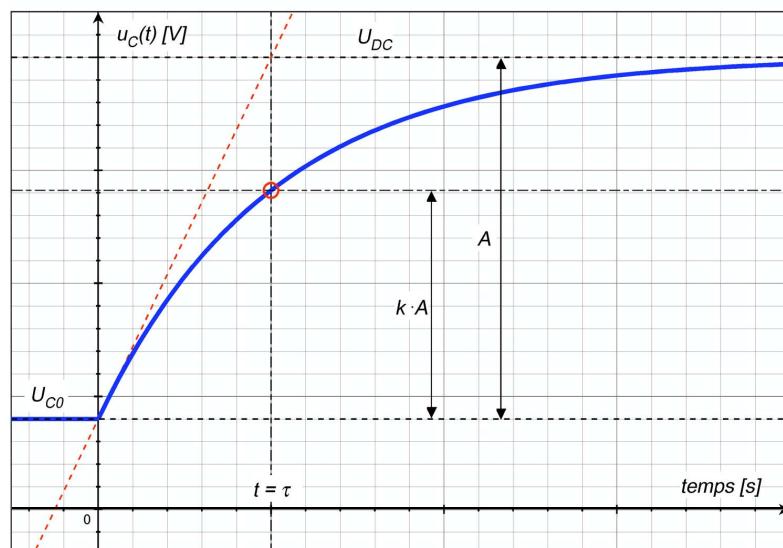


Figure 3.2 : Détermination graphique de la constante de temps τ

Pour déterminer τ sur un graphique, une méthode consiste à calculer l'amplitude kA du signal à l'instant $t = \tau$, puis à évaluer graphiquement l'instant où la fonction atteint cette amplitude (intersection de la droite $u_c = kA$ avec la courbe $u_c(t)$). Cet instant est τ .

Déterminer la valeur de k pour la tension $u_c(t)$:
$$k = \frac{kA}{A} = \frac{u_c(\tau)}{u_c(\infty)}$$

$k =$ _____

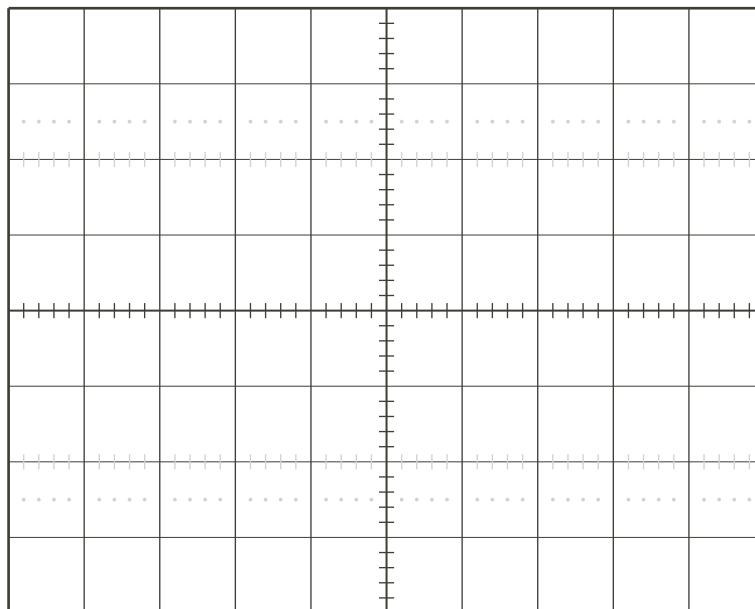
3.2.2 Mesures

Réaliser le montage décrit à la Figure 3.1 et **le faire contrôler par un assistant avant d'enclencher la source de tension.**

Remarques :

- Pour l'échelle de temps (*time base - TB [s/division]*), prendre env. $TB = 0.5 \cdot \tau / \text{div}$;
- Si une seconde mesure est nécessaire, il faut d'abord décharger le condensateur et ceci au travers d'une résistance.

Reproduire le résultat des mesures du courant et de la tension :



Courbe 1 :

..... [.....] / div

Courbe 2 :

..... [.....] / div

Base de temps :

..... [.....] / div

Exemple :

Courbe 1 : .. tension ..
.. 5 .. [..v..] / div

Pour les deux courbes, indiquer par un symbole (p.ex.: ►) le niveau 0 V ou 0 A

$\tau =$ _____

3.2.3 Analyse des résultats

Les mesures correspondent-elles aux prévisions (temps de montées/descente, asymptotes, tangentes à l'origine, points remarquables) ? Justifier.

3.3 Circuit RRC

3.3.1 Théorie

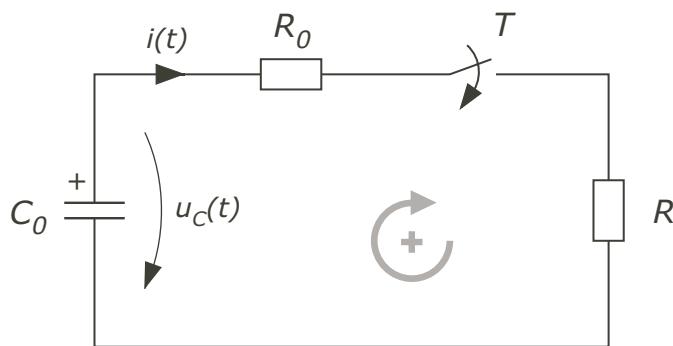


Figure 3.3 : Montage 2 - Circuit RRC

On décharge le condensateur C_0 dans un circuit purement résistif. A partir des équations de tension des éléments simples et de la loi de Kirchhoff pour les mailles, donner l'expression de la relation intégrale/différentielle liant les diverses tensions pour $t > 0$ (en $t = 0$, $u_C(0) = U_{C1}$) :

Déterminer l'évolution de $i(t)$ et de $u_C(t)$ pour $t > 0$:

$$i(t) = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$u_C(t) = \underline{\hspace{10cm}}$$

Donner la valeur numérique de τ :

$$\tau = \underline{\hspace{10cm}}$$

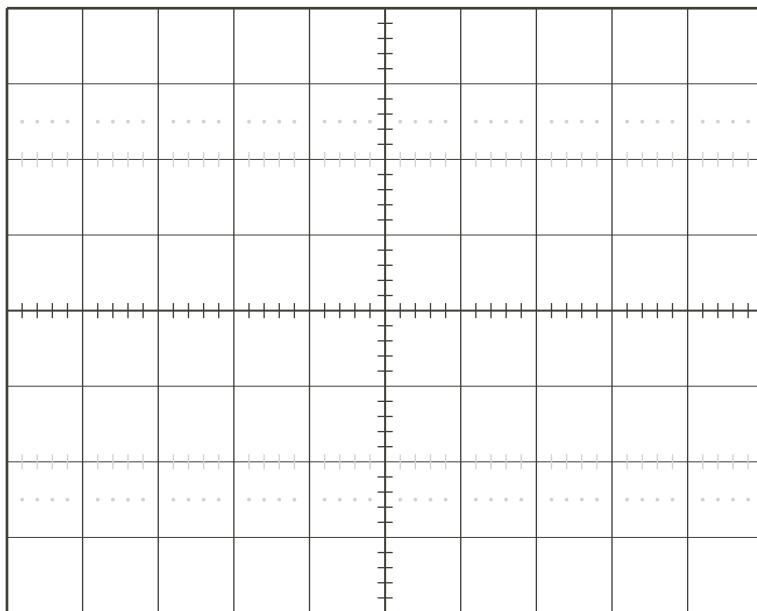
3.3.2 Mesures

Réaliser le montage décrit à la Figure 3.3 et le faire contrôler par un assistant avant d'enclencher l'interrupteur.

Remarques :

- Astuce de câblage : le montage 2 est le même que le précédent, la source de tension U_{DC} étant remplacée par la résistance R ;
- Si une seconde mesure est nécessaire, il faut d'abord recharger le condensateur. Le montage précédent doit être exécuté à nouveau.

Reproduire le résultat des mesures du courant et de la tension :



Courbe 1 :

..... [....] / div

Courbe 2 :

..... [....] / div

Base de temps :

..... [....] / div

Déterminer τ graphiquement.

$\tau =$ _____

3.3.3 Analyse des résultats

Les mesures correspondent-elles aux prévisions (temps de montées/descente, asymptotes, tangentes à l'origine, points remarquables) ? Justifier.

3.4 Circuit CCR

3.4.1 Théorie

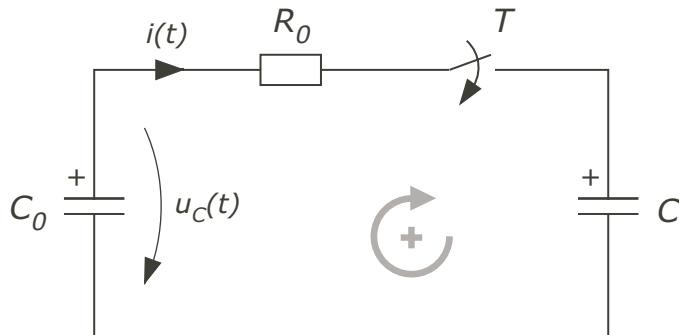


Figure 3.4 : Montage 4 - Circuit RCC

On décharge le condensateur C_0 dans un condensateur C . A partir des équations de tension des éléments simples et de la loi de Kirchhoff pour les mailles, donner l'expression de la relation intégrale/différentielle liant les diverses tensions pour $t > 0$ (en $t = 0$, $u_C(0) = U_{C1}$ et la tension aux bornes de C est nulle) :

Déterminer l'évolution de $i(t)$ et de $u_C(t)$ pour $t > 0$:

$$i(t) = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$u_C(t) = \underline{\hspace{10cm}}$$

Remarque :

- $u_C(t)$ se détermine par intégration du courant $i(t)$ selon l'équation relative au calcul de la tension des condensateurs.

Donner la valeur numérique de τ :

$$\tau = \underline{\hspace{10cm}}$$

3.4.2 Mesures

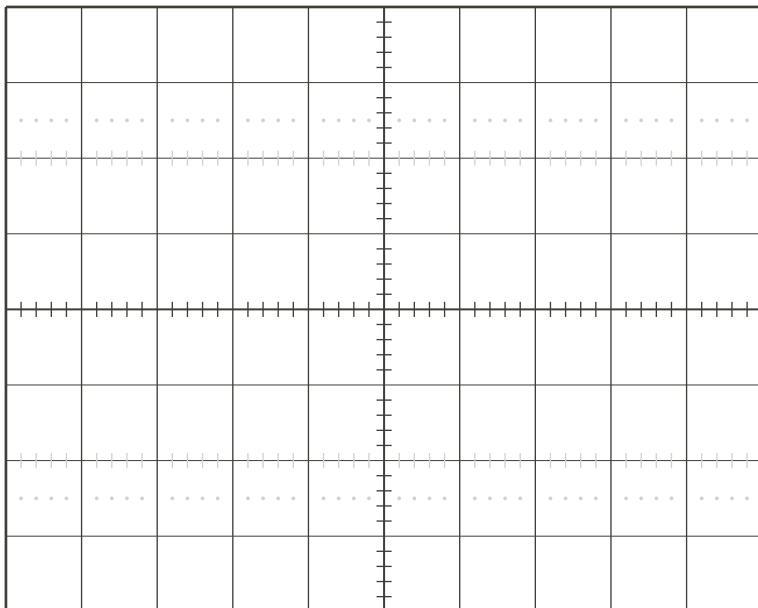
Procéder à une charge du condensateur C_0 en réalisant à nouveau le montage 1. Décharger l'autre condensateur C .

Réaliser le montage décrit à la Figure 3.4 et le faire contrôler par un assistant avant d'enclencher l'interrupteur.

Remarques :

- Si une seconde mesure est nécessaire, il faut d'abord recharger le condensateur (C_0). Le montage 1 doit être exécuté à nouveau. **Décharger C**.

Reproduire le résultat des mesures du courant et de la tension :



Courbe 1 :

..... [....] / div

Courbe 2 :

..... [....] / div

Base de temps :

..... [....] / div

Déterminer τ graphiquement.

$\tau =$ _____

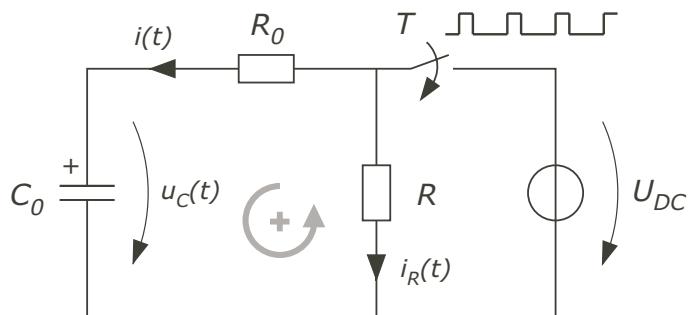
3.4.3 Analyse des résultats

Les mesures correspondent-elles aux prévisions (temps de montées/descente, asymptotes, tangentes à l'origine, tension finale) ? Justifier.

3.5 Modulation de largeur d'impulsion – MLI (Pulse Width Modulation – PWM)

Pour cette manipulation, on remplace l'interrupteur ARID par un relais électromécanique commandé par un générateur de fonction. La branche " R_0C_0 " et la branche " R " sont soumises à une excitation répétée d'enclenchements sur la source U_{DC} et de déclenchements.

3.5.1 Théorie

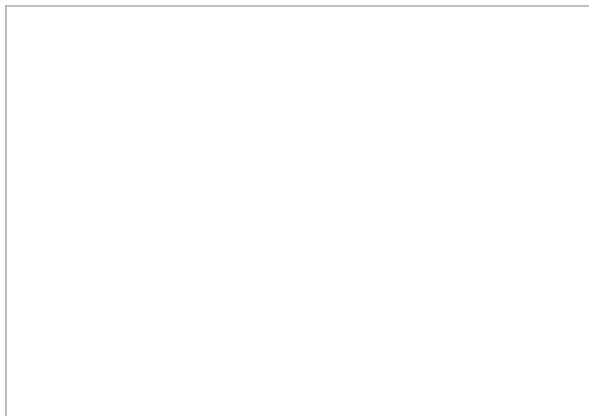


Ce cas n'étant qu'une combinaison des cas déjà traités, on se référera à ces derniers pour obtenir les équations qui régissent les tensions et les courants au sein de ce circuit.

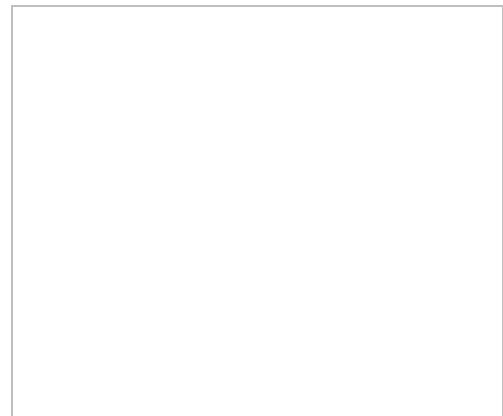
Figure 3.5 : Montage 5 - Circuit PWM

Pour chacun des deux états de l'interrupteur, représenter le circuit électrique de la façon la plus simplifiée possible.

T fermé :



T ouvert :

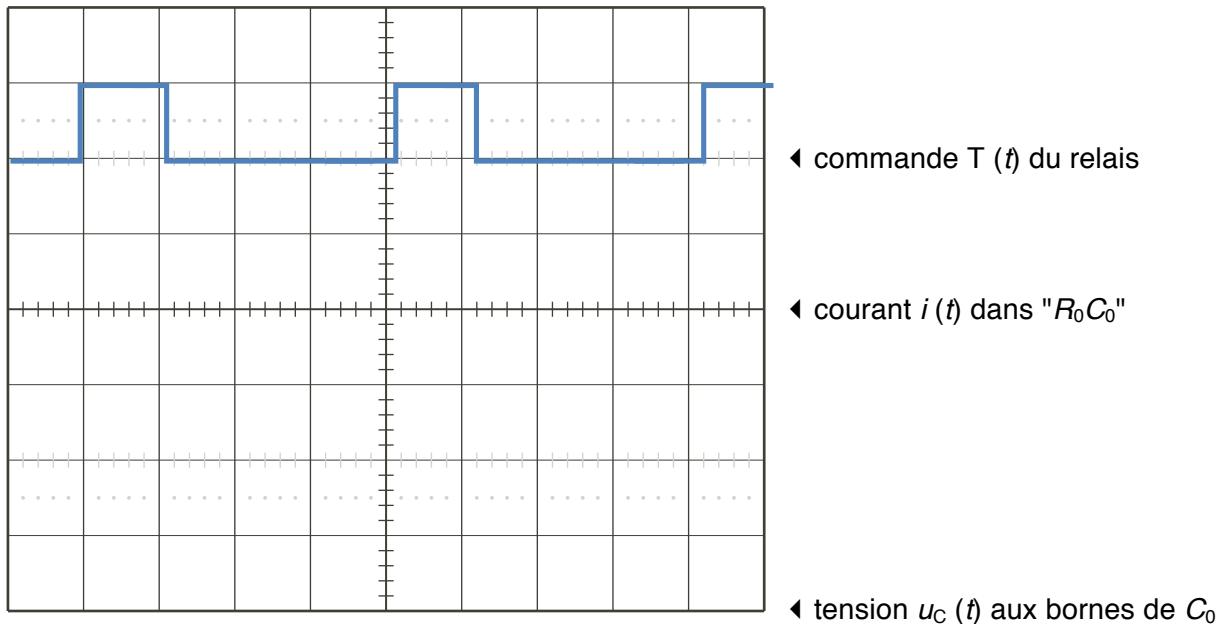


Donner l'expression de la constante de temps électrique de chacun de ces deux circuits :

T fermé : $\tau_1 =$ _____

T ouvert : $\tau_2 =$ _____

En regard du signal de commande en référence, représenter graphiquement 2 à 3 périodes de l'évolution de $i(t)$ et $u_C(t)$ pour la branche " R_0C_0 " :



3.5.2 Mesures

Réaliser le montage décrit à la Figure 3.5.

Le relais remplace l'interrupteur ARID utilisé jusqu'à présent. Les deux câbles blancs seront connectés au boîtier d'expérimentation. Les câbles rouge et noir seront reliés à la borne "OUTPUT 50 Ω" du générateur de fonctions en utilisant un convertisseur "BNC-4mm" et en respectant la polarité.

Avant de commander le relais, le générateur de fonction doit être réglé correctement. Le signal de ce dernier sera affiché à l'oscilloscope afin de s'en assurer.

De plus, fixer la source de tension continue U_{DC} à 10 V. Ne pas dépasser cette valeur !

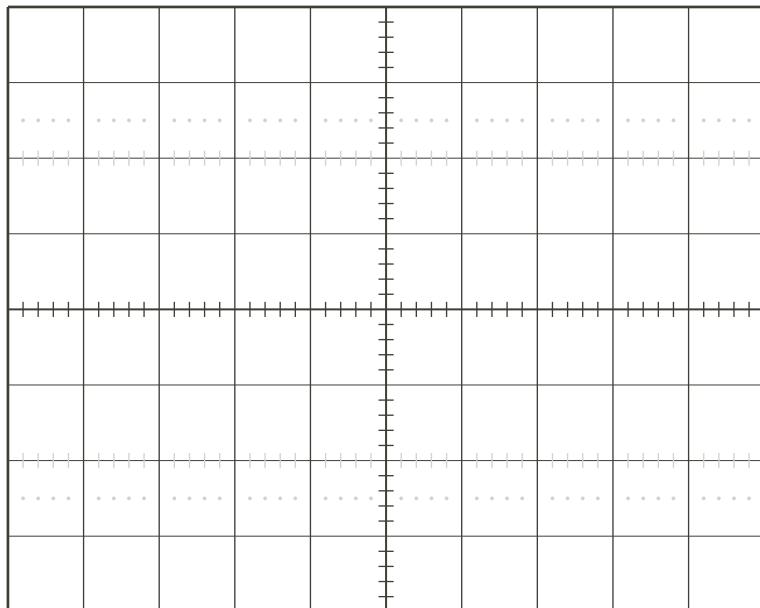
Réglage du générateur de fonctions :

- Forme du signal : Régler l'appareil sur impulsions (signal entre GND et +V) ;
- Amplitude : Régler l'amplitude à environs 6 V ;
- Fréquence : Dans un premier temps, la fréquence est réglée sur 1 Hz environs;
- Symétrie du signal : Dans ce mode, l'appareil peut générer un signal dont le taux de PWM* est variable. Régler le PWM sur environ 25%. Noter qu'en mode "symétrie", l'échelle de fréquence est divisée par 10.

* Le taux de PWM est le rapport entre la durée du signal "haut" divisé par la période du signal. Ce taux peut être réglé entre 10 et 90%.

Faire contrôler les réglages par un assistant avant d'enclencher le relais.

Reproduire le résultat des mesures du courant et de la tension :



Courbe 1 :

..... [....] / div

Courbe 2 :

..... [....] / div

Base de temps :

..... [....] / div

3.5.3 Analyse des résultats

Les mesures correspondent-elles aux prévisions (temps de montées/descente, asymptotes, tangentes à l'origine, sens du courant, tension moyenne) ? Justifier.

Que se passerait-il si l'on enlevait la branche "*R*" ? Justifier.

3.5.4 Variation des paramètres du PWM

A) Augmenter progressivement la **fréquence** tout en adaptant la base de temps afin de toujours voir 2 à 3 périodes des signaux. Que constate-on sur les grandeurs suivantes ?

- Valeur moyenne de u_{C0} : _____

- Ondulation de u_{C0} (= amplitude des oscillations autour de la valeur moyenne) : _____

- Forme des signaux : _____

B) Augmenter progressivement le **taux de PWM**. Que constate-on sur les grandeurs suivantes ?

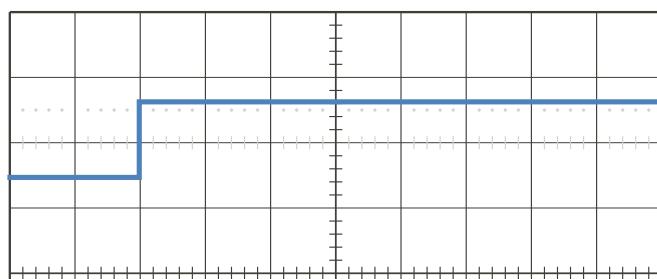
- Valeur moyenne de u_{C_0} : _____

- Brancher la LED en parallèle sur C_0 et constater l'effet de la variation du taux de PWM : _____

► Basiquement, nous avons monté un v _____ de t _____ ab _____ .

- A fréquence égale, comment peut-on modifier le circuit pour diminuer la fluctuation d'intensité lumineuse ? Tester et constater cette solution. Quelle en est la contrepartie ?

Optionnel) En élargissant fortement la base de temps de l'oscilloscope, constater puis représenter les rebonds du relais : _____



Que dire du retard entre la commande du relais et les commutations des signaux du circuit :
