

Laboratoire d'électrotechnique

Science et génie des matériaux

Bachelor semestre 2

2025

Noms :

Prénoms :

SCIPER :

Date :

3ème séance**PRINCIPE DE SUPERPOSITION****THÉORÈME DE THÉVENIN****A. OBJECTIFS**

- **Vérification du Principe de superposition.**

Le *Principe de superposition* énonce l'une des propriétés fondamentales des systèmes composés d'éléments linéaires, à savoir que la réponse du système à une somme d'excitations est égale à la somme des réponses dues à chaque excitation prise séparément.

- **Vérification du Théorème de Thévenin.**

Le *Théorème de Thévenin* permet de réduire un bipôle contenant des sources et des résistances à un bipôle équivalent qui ne contient qu'une source de tension en série avec une résistance.

B. LABORATOIRE

Cette séance comporte des calculs aux **pages 3, 4, 10 et 11** à effectuer lors de la préparation et **doivent donc se faire avant le TP.**

1. Introduction

Les multimètres utilisés dans le cadre de ces TP, ont une borne **COM** utilisée lors d'une mesure de tension ou de courant. Les conventions suivantes sont utilisées :

Multimètre HMC8012		Multimètre AM-530-EUR		
V \circ $+$ $\downarrow U$ COM \circ $-$	A \circ $+$ $\downarrow I$ COM \circ $-$	V \circ $+$ $\downarrow U$ COM \circ $-$	mA \circ $+$ $\downarrow I$ COM \circ $-$	A \circ $+$ $\downarrow I$ COM \circ $-$

Les oscilloscopes **HMO2024** et **HMO724** possèdent la particularité suivante :

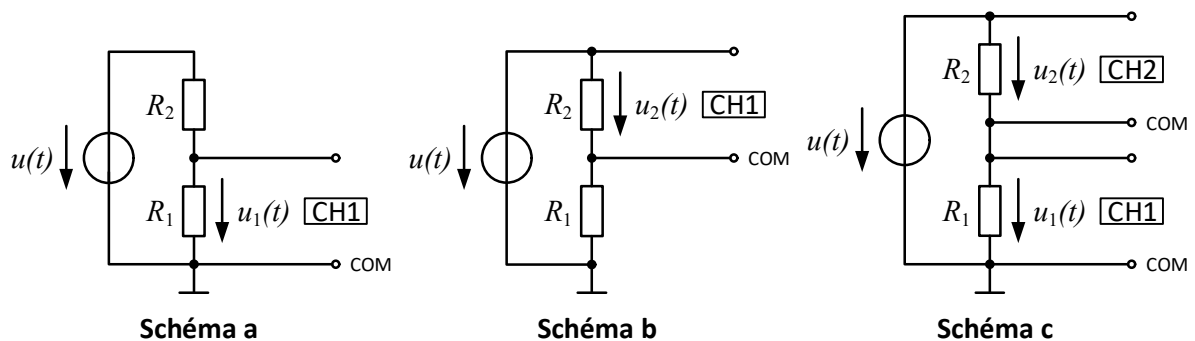




Les quatre canaux d'entrée **BNC** ont les parties **COM** connectées entre-elles !

Cette caractéristique a une influence sur l'utilisation de l'oscilloscope.

Comme exemple, on va utiliser un diviseur de tension et les schémas de montage **a**, **b** et **c** qui permettent de visualiser à l'oscilloscope les tensions $u_1(t)$ (**a**), $u_2(t)$ (**b**), $u_1(t)$ et $u_2(t)$ (**c**).



Analysez les trois montages et indiquez lesquels permettent d'effectuer une mesure correcte (plusieurs réponses possibles) :

- ☐ a
- ☐ b
- ☐ c

Pourquoi ?

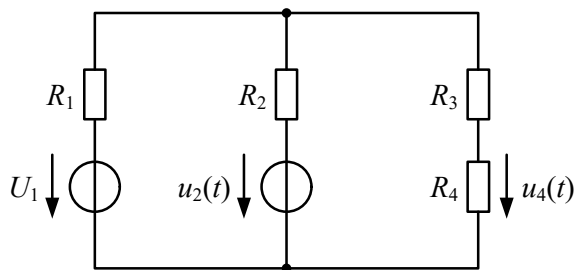
.....

.....

.....

2. Principe de superposition

Schéma pour les calculs :



$$U_1 = 5 \text{ V}$$

$$u_2(t) = 6 \sin(2\pi ft) \text{ V}$$

$$f = 2 \text{ kHz}$$

$$R_1 = 15 \Omega$$

$$R_2 = 50 \Omega$$

$$R_3 = 270 \Omega$$

$$R_4 = 1 \text{ k}\Omega$$

2.1. Calcul de la contribution de chacune des sources de tension prise séparément

Le *Principe de superposition* permet d'éviter une méthode d'analyse globale souvent très lourde, en la remplaçant par une succession de calculs partiels effectués sur des circuits simplifiés.

À chaque étape, **une** seule source du réseau initial est prise en compte, les autres étant annulés.

Quelles affirmations sont-elles correctes (plusieurs réponses possibles) ?

- ☐ Une source de tension annulée est remplacée par un court-circuit
- ☐ Une source de tension annulée est remplacée par un circuit-ouvert
- ☐ Une source de courant annulée est remplacée par un court-circuit
- ☐ Une source de courant annulée est remplacée par un circuit-ouvert

Calculer la valeur numérique de la tension $u_{4,1}$ due à la source de tension U_1 .

On obtient une grandeur continue :

$$u_{4,1} = \dots\dots\dots$$

Calculer la valeur numérique de la tension $u_{4,2}(t)$ due à la source de tension $u_2(t)$.

On obtient une grandeur sinusoïdale en fonction du temps :

$$u_{4,2}(t) = \dots\dots\dots$$

2.2. Calcul de la tension $u_4(t)$ en utilisant toutes les sources de tension

En appliquant le *Principe de superposition*, écrire la relation qui permet de calculer la tension $u_4(t)$ en fonction de $u_{4,1}$ et de $u_{4,2}(t)$:

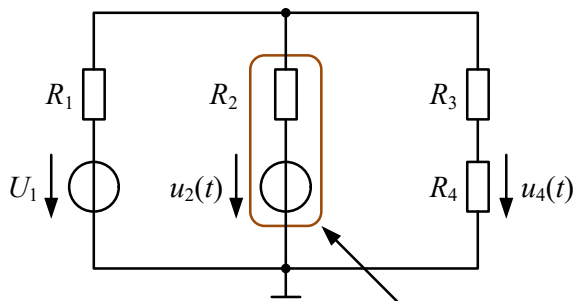
$$u_4(t) = \dots\dots\dots$$

À l'aide de la relation ci-dessus et des valeurs numériques calculés, écrire l'expression de la tension $u_4(t)$:

$$u_4(t) = \dots\dots\dots$$

2.3. Mesure de la contribution de chacune des sources de tension prise séparément

Schéma de montage pour vérifier le *Principe de superposition* :




$$\left. \begin{array}{l} U_1 = 5 \text{ V} \quad (\text{Alimentation HMP2030}) \\ u_2(t) = 6 \sin(2\pi ft) \text{ V} \\ f = 2 \text{ kHz} \\ R_2 = 50 \Omega \end{array} \right\} \quad (\text{HMF2525})$$

$$R_1 = 15 \Omega \quad R_3 = 270 \Omega \quad R_4 = 1 \text{ k}\Omega$$



Générateur de fonctions avec une résistance interne R_2 de 50Ω

	Réaliser les deux montages avec une seule source de tension à la fois.
	<p>Le générateur de fonctions possède une résistance interne $R_2 = 50 \Omega$.</p> <p>Éliminer le générateur de fonctions pour mesurer la contribution de U_1, revient à éliminer aussi sa résistance interne.</p> <p>Pour appliquer correctement le <i>Principe de superposition</i>, il faudra alors le remplacer par une résistance $R_2 = 50 \Omega$.</p>

Avec les résistances à disposition, comment peut-on obtenir une résistance $R_2 = 50 \Omega$?

.....

Points pratiques :

1. Observer à l'oscilloscope la tension $u_{4,1}$ due à la source de tension U_1 (Entrée CH1).
2. Choisir la position du **GND** et le calibre de tension afin d'utiliser au maximum la taille de l'écran de l'oscilloscope et augmenter la précision des calculs.

Quel couplage faut-t-il choisir pour visualiser la courbe correctement ?

- ☐ **AC**
- ☐ **DC**
- ☐ **AC ou DC**

3. Utiliser le menu **AUTO MEASURE** pour mesurer la tension $u_{4,1}$ due à la source de tension U_1 et écrire son expression.

Étant donné qu'on a une grandeur continue, choisir **valeur moyenne** comme type de mesure :

PLACE MESURE (MEAS. PLACE)	1
MESURE 1 (MEASURE 1)	Marche (On)
TYPE	Valeur Moyenne (Mean Value)
SOURCE	CH1

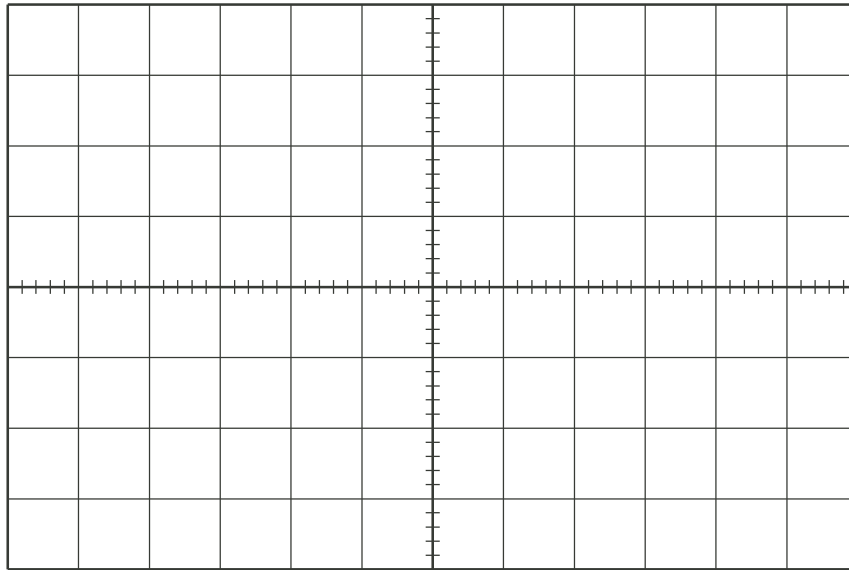
Valeur mesurée :

Valeur Moyenne (Mean Value) :

À l'aide de la valeur mesurée ci-dessus, écrire la valeur de la tension $u_{4,1}$:

$u_{4,1} =$

4. Représenter la tension $u_{4,1}$ sur le graphique ci-dessous



5. Observer à l'oscilloscope la tension $u_{4,2}(t)$ due à la source de tension $u_2(t)$ (Entrée CH1).

Configurer correctement le générateur de fonctions **HMF2525** :

Quelle amplitude faut-t-il choisir avec la touche **AMPLITUDE** ?

- ☐ 6 V
☐ 12 V

Quelle composante continue (**OFFSET**) faut-t-il choisir avec la touche **OFFSET** ?

- ☐ 0 V
☐ 6 V

6. Choisir la position du **GND** et le calibre de tension afin d'utiliser au maximum la taille de l'écran de l'oscilloscope et augmenter la précision des calculs.

Visualiser **deux** périodes de la tension $u_{4,2}(t)$.

Quel couplage faut-t-il choisir pour visualiser la courbe correctement ?

- ☐ **AC**
☐ **DC**
☐ **AC ou DC**

7. Utiliser le menu **AUTO MEASURE** pour mesurer la **valeur moyenne** et la **valeur de crête** de la tension $u_{4,2}(t)$ due à la source de tension $u_2(t)$ et écrire son expression en fonction du temps.

PLACE MESURE (MEAS. PLACE)	1
MESURE 1 (MEASURE 1)	Marche (On)
TYPE	Valeur Moyenne (Mean Value)
SOURCE	CH1

PLACE MESURE (MEAS. PLACE)	2
MESURE 1 (MEASURE 1)	Marche (On)
TYPE	Crête + (Peak +)
SOURCE	CH1

Valeurs mesurées :

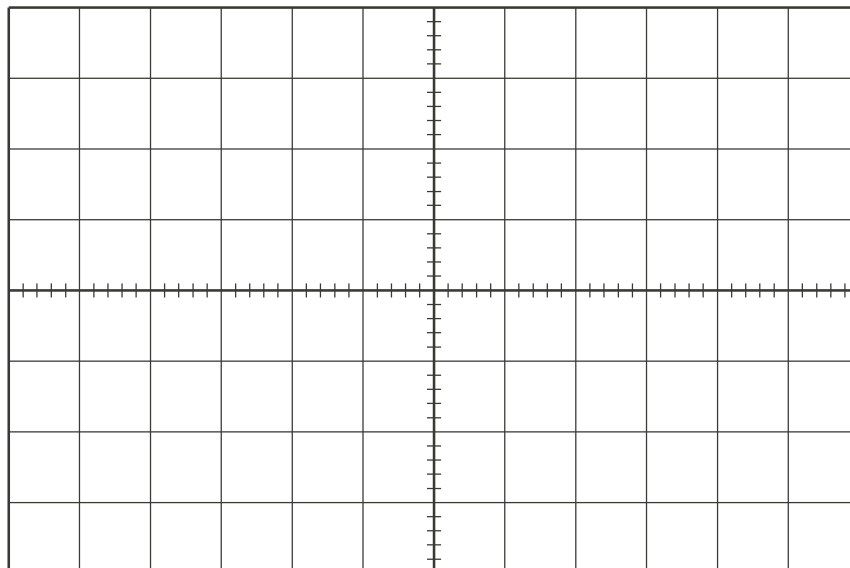
Valeur Moyenne (Mean Value) :

Crête + (Peak +) :

À l'aide des valeurs mesurées ci-dessus, écrire l'expression de la tension $u_{4,2}(t)$:

$u_{4,2}(t) =$

8. Représenter la tension $u_{4,2}(t)$ sur le graphique ci-dessous



2.4. Mesure de la tension $u_4(t)$ en utilisant toutes les sources de tension

Réaliser le montage dans lesquels on utilise **toutes** les sources de tension.

Points pratiques :

1. Observer à l'oscilloscope la tension $u_4(t)$ (Entrée CH1).
2. Choisir la position du **GND** et le calibre de tension afin d'utiliser au maximum la taille de l'écran de l'oscilloscope et augmenter la précision des calculs.

Visualiser **deux** périodes de la tension $u_4(t)$.

Quel couplage faut-t-il choisir pour visualiser la courbe correctement ?

- ☐ **AC**
- ☐ **DC**
- ☐ **AC ou DC**

3. Utiliser le menu **AUTO MEASURE** pour mesurer la **valeur moyenne** et la **valeur de crête** de la tension $u_4(t)$ et écrire son expression en fonction du temps.

PLACE MESURE (MEAS. PLACE)	1
MESURE 1 (MEASURE 1)	Marche (On)
TYPE	Valeur Moyenne (Mean Value)
SOURCE	CH1

PLACE MESURE (MEAS. PLACE)	2
MESURE 1 (MEASURE 1)	Marche (On)
TYPE	Crête + (Peak +)
SOURCE	CH1

Valeurs mesurées :

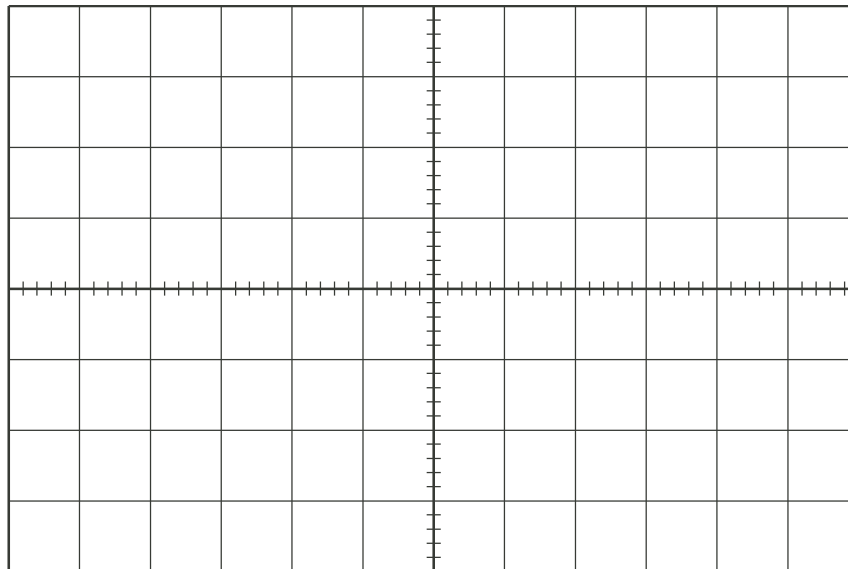
Valeur Moyenne (Mean Value) :

Crête + (Peak +) :

À l'aide des valeurs mesurées ci-dessus, écrire l'expression de la tension $u_4(t)$:

$u_4(t) =$

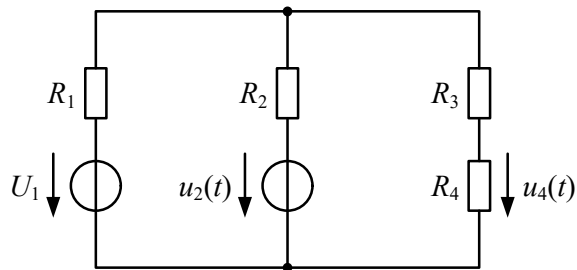
4. Représenter la tension $u_4(t)$ sur le graphique ci-dessous



En tenant compte de la précision des appareils de laboratoire, de la tolérance des résistances et des imperfections de la plaque "Hirshman", utilisez les valeurs mesurées pour vérifier que le *Principe de superposition* est satisfait.

3. Théorème de Thévenin

Schéma pour les calculs :



$$U_1 = 5 \text{ V}$$

$$u_2(t) = 6 \sin(2\pi ft) \text{ V}$$

$$f = 2 \text{ kHz}$$

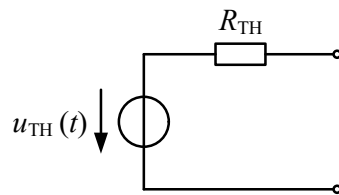
$$R_1 = 15 \, \Omega$$

$$R_2 = 50 \, \Omega$$

$$R_3 = 270 \, \Omega$$

$$R_4 = 1 \text{ k}\Omega$$

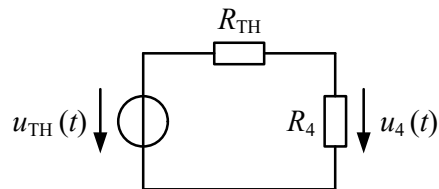
On aimerait calculer la tension $u_4(t)$ à l'aide du *Théorème de Thévenin* et de son schéma équivalent :



Avec :

- $u_{\text{TH}}(t)$: Tension de Thévenin
- R_{TH} : Résistance de Thévenin

Le schéma qui permet de calculer la tension $u_4(t)$ à l'aide de $u_{\text{TH}}(t)$ et de R_{TH} , est alors le suivant :

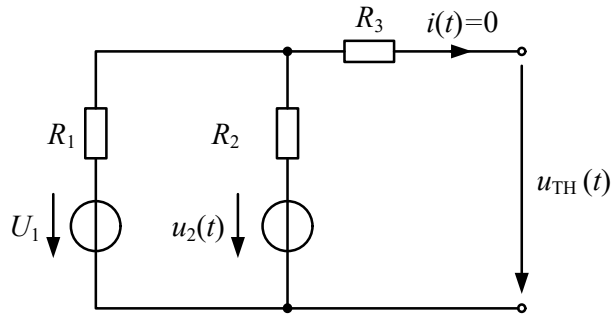


En utilisant un diviseur de tension, exprimer la relation qui permet de calculer la tension $u_4(t)$ en fonction de $u_{\text{TH}}(t)$, R_{TH} et R_4 :

$$u_4(t) = \dots\dots\dots (1)$$

3.1. Calcul de la Tension de Thévenin et de la Résistance de Thévenin

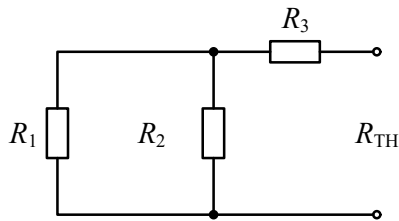
Le calcul de la Tension de Thévenin $u_{TH}(t)$ s'effectue à l'aide du schéma suivant :



La Tension de Thévenin $u_{TH}(t)$ est donnée par (voir annexe A.1) :

$$u_{TH}(t) = 3.85 + 1.38 \sin(2\pi ft) \text{ V} \quad (2)$$

Le calcul de la Résistance de Thévenin R_{TH} s'effectue à l'aide du schéma suivant :



Calculer la valeur de la Résistance de Thévenin R_{TH} :

$$R_{TH} = \dots\dots\dots (3)$$

Calculer la valeur de la tension $u_4(t)$ à l'aide des relations (1), (2) et (3) :

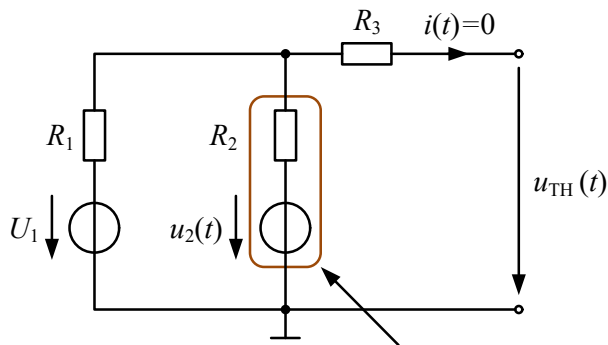
$$u_4(t) = \dots\dots\dots$$

La tension $u_4(t)$ calculée à l'aide du *Théorème de Thévenin* correspond-t-elle à la tension $u_4(t)$ calculée au point 2.2 avec le *Principe de superposition* ?

- ☐ Oui, les deux méthodes doivent donner le même résultat
- ☐ Non, l'utilisation de deux méthodes distinctes donne forcément des résultats différents

3.2. Mesure de la Tension de Thévenin $u_{TH}(t)$

Schéma de montage :



$$U_1 = 5 \text{ V} \quad (\text{Alimentation HMP2030})$$

$$\left. \begin{aligned} u_2(t) &= 6 \sin(2\pi ft) \text{ V} \\ f &= 2 \text{ kHz} \\ R_2 &= 50 \Omega \end{aligned} \right\} \quad (\text{HMF2525})$$

$$R_1 = 15 \Omega \quad R_3 = 270 \Omega$$



Générateur de fonctions avec une résistance interne R_2 de 50Ω

Points pratiques :

1. Observer à l'oscilloscope la Tension de Thévenin $u_{TH}(t)$ (Entrée CH1).
2. Choisir la position du **GND** et les calibres de tension afin d'utiliser au maximum la taille de l'écran de l'oscilloscope et augmenter la précision des calculs.

Visualiser **deux** périodes de la Tension de Thévenin $u_{TH}(t)$.

Quel couplage faut-il utiliser pour avoir visualiser la courbe correctement ?

- ☐ AC
- ☐ DC
- ☐ AC ou DC

3. Utiliser le menu **AUTO MEASURE** pour mesurer la **valeur moyenne** et la **valeur de crête** de la Tension de Thévenin $u_{TH}(t)$ et écrire son expression en fonction du temps.

PLACE MESURE (MEAS. PLACE)	1
MESURE 1 (MEASURE 1)	Marche (On)
TYPE	Valeur Moyenne (Mean Value)
SOURCE	CH1

PLACE MESURE (MEAS. PLACE)	2
MESURE 1 (MEASURE 1)	Marche (On)
TYPE	Crête + (Peak +)
SOURCE	CH1

Valeurs mesurées :

Valeur Moyenne (Mean Value) :

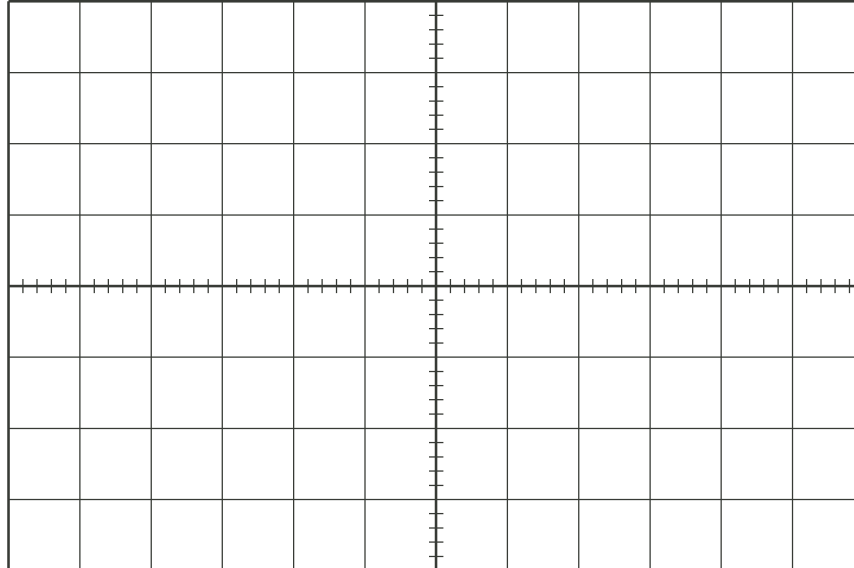
Crête + (Peak +) :

À l'aide des valeurs mesurées ci-dessus, écrire l'expression de la Tension de Thévenin

$u_{TH}(t)$:

$u_{TH}(t) =$

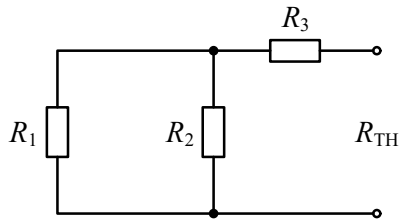
4. Représenter la Tension de Thévenin $u_{TH}(t)$ sur le graphique ci-dessous



En tenant compte de la précision des appareils de laboratoire, de la tolérance des résistances et des imperfections de la plaque "Hirshman", vérifier que la mesure de la Tension de Thévenin $u_{TH}(t)$ correspond à la valeur calculée.

3.3. Mesure de la Résistance de Thévenin R_{TH}

Schéma de montage :



$$\begin{aligned} R_1 &= 15 \, \Omega \\ R_2 &= 50 \, \Omega \\ R_3 &= 270 \, \Omega \end{aligned}$$

Rappel : $R_2 = 50 \, \Omega$ correspond à la résistance interne du générateur de fonctions et il faudra la réaliser avec les résistances à disposition.

Mesurer la Résistance de Thévenin R_{TH} à l'aide du multimètre **HMC8012** :

Quelle touche permet-elle de sélectionner la mesure d'une résistance ?

- ☐ **DC I**
- ☐ **Ω**
- ☐ **AC V**

$R_{TH} = \dots\dots\dots$

En tenant compte de la précision des appareils de laboratoire, de la tolérance des résistances et des imperfections de la plaque "Hirshman", vérifier que la mesure de la Résistance de Thévenin R_{TH} correspond à la valeur calculée.

3.4. Calcul de la tension $u_4(t)$

Calculer la tension $u_4(t)$ à l'aide des valeurs mesurées et de la relation (1) :

$u_4(t) = \dots\dots\dots$

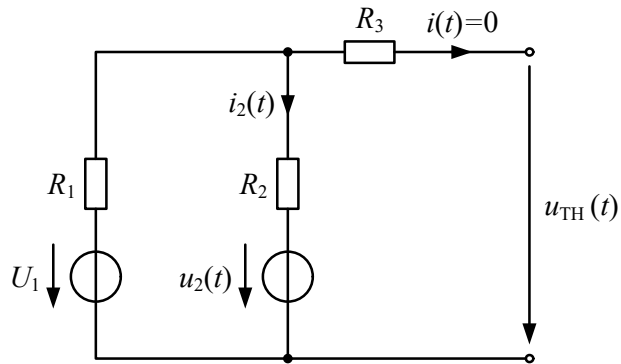
La tension $u_4(t)$ calculée ci-dessus, est obtenue à partir de valeurs mesurées et de l'application du *Théorème de Thévenin*.

Vérifier qu'elle correspond à la tension $u_4(t)$ calculée au point 2.4, obtenue également à l'aide de valeurs mesurées et de l'application du *Principe de superposition*.

ANNEXE

A.1 Calcul de la Tension de Thévenin

Le calcul de la Tension de Thévenin $u_{TH}(t)$ s'effectue à l'aide du schéma suivant :



La condition $i(t) = 0$ implique que la résistance R_3 peut être éliminée.

En conséquence, le calcul de la tension de Thévenin $u_{TH}(t)$ est donné par :

$$u_{TH}(t) = R_2 i_2(t) + u_2(t)$$

Dans l'expression ci-dessus, on ne connaît pas le courant $i_2(t)$. Étant donné que $i(t) = 0$, on peut utiliser la loi de Kirchhoff pour les mailles et la loi d'Ohm pour calculer le courant $i_2(t)$:

$$i_2(t) = \frac{U_1 - u_2(t)}{R_1 + R_2}$$

On a enfin :

$$\begin{aligned} u_{TH}(t) &= R_2 \frac{U_1 - u_2(t)}{R_1 + R_2} + u_2(t) = \\ &= U_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} + u_2(t) \left(1 - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) = \\ &= U_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} + u_2(t) \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \\ &= 5 \frac{50}{15 + 50} + 6 \sin(2\pi ft) \frac{15}{15 + 50} = \\ &= 3.846 + 1.3846 \sin(2\pi ft) \text{ V} \end{aligned}$$