

Laboratoire d'électrotechnique

Microtechnique

Bachelor semestre 1

2023

2ème séance – Version corrigée

PRINCIPE DE SUPERPOSITION

CONDENSATEUR ET INDUCTANCE EN RÉGIME SINUSOÏDAL

Table des matières

A. OBJECTIFS	2
B. LABORATOIRE	2
1. Introduction	2
2. Principe de superposition	4
2.1. Calcul de la contribution de chacune des sources de tension prise séparément	4
2.2. Calcul de la tension $u_4(t)$ en utilisant toutes les sources de tension	5
2.3. Mesure de la contribution de chacune des sources de tension prise séparément	5
2.4. Mesure de la tension $u_4(t)$ en utilisant toutes les sources de tension	9
3. Condensateur en régime sinusoïdal	11
3.1. Observation des tensions $u(t)$ et $u_c(t)$	11
3.2. Comportement fréquentiel	12
3.3. Annulation de la composante alternative d'une tension $u(t) = U_0 + \hat{U} \sin(\omega t)$	15
3.4. Annulation de la composante continue d'une tension $u(t) = U_0 + \hat{U} \sin(\omega t)$	17
4. Inductance en régime sinusoïdal	19
4.1. Observation des tensions $u(t)$ et $u_L(t)$	20
4.2. Comportement fréquentiel	21

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.

- Étude du condensateur et de l'inductance en régime sinusoïdal
- Mise en évidence de l'influence de la fréquence

B. LABORATOIRE

Un circuit électrique est dit en régime sinusoïdal lorsque les excitations extérieures (courants ou tensions) sont des fonctions sinusoïdales.

La fonction sinusoïdale joue un rôle de première importance en électricité. Cette prédominance est liée au fait que la production d'énergie électrique résulte généralement de l'utilisation de génératrices électriques dont les tensions de sortie sont sinusoïdales.

L'analyse du régime sinusoïdal est simplifiée par l'utilisation du calcul complexe qui permet de remplacer des relations intégréo-différentielles par des opérations algébriques.



Cette séance comporte des calculs aux **pages 4 et 5** à effectuer lors de la préparation et **doivent donc se faire avant le TP.**

1. Introduction

Les multimètres utilisés dans le cadre de ces TPs, 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		

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

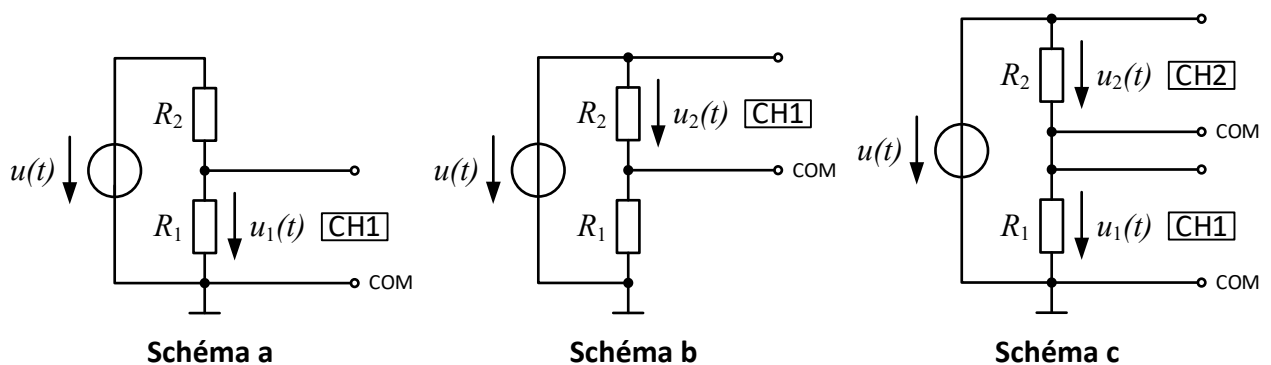




Les quatre canaux d'entrée **BNC** ont les parties **COM** connectées entre-elles !

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

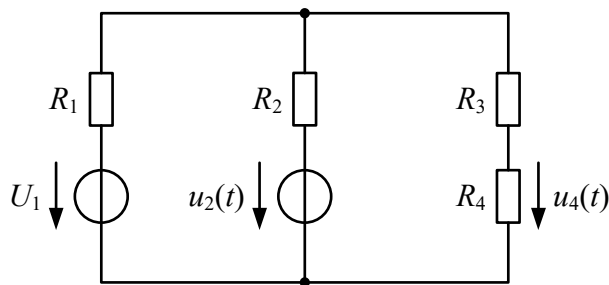
Pourquoi ?

Dans le schéma c, l'utilisation des canaux 1 et 2 de l'oscilloscope (CH1 et CH2) comporte la connexion automatique des parties COM et le court-circuit de la résistance R_1 .

La tension $u_1(t)$ devient nulle, la tension $u_2(t)$ devient égale à $u(t)$ et le circuit n'est plus un diviseur de tension.

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 :

$$u_{4,1} = 3 \text{ V}$$

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 :

$$u_{4,2}(t) = 1.08 \sin(2\pi ft) \text{ V}$$

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

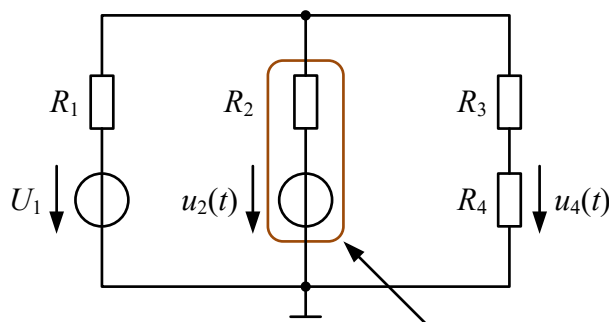
$$u_4(t) = u_{4,1} + u_{4,2}(t)$$

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

$$u_4(t) = 3 + 1.08 \sin(2\pi ft) \text{ V}$$

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

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




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

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

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



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 $R_2 = 50 \Omega$?

Par la mise en parallèle de 2 résistances de 100Ω

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

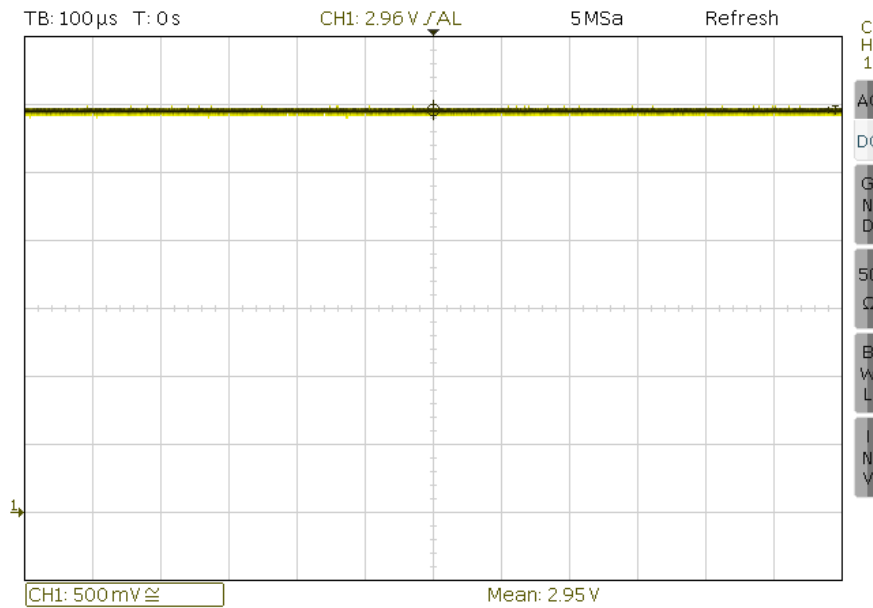
Valeur mesurée :

Valeur Moyenne (Mean Value) : **2.95 V**

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

$$u_{4,1} = 2.95 \text{ V}$$

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 :

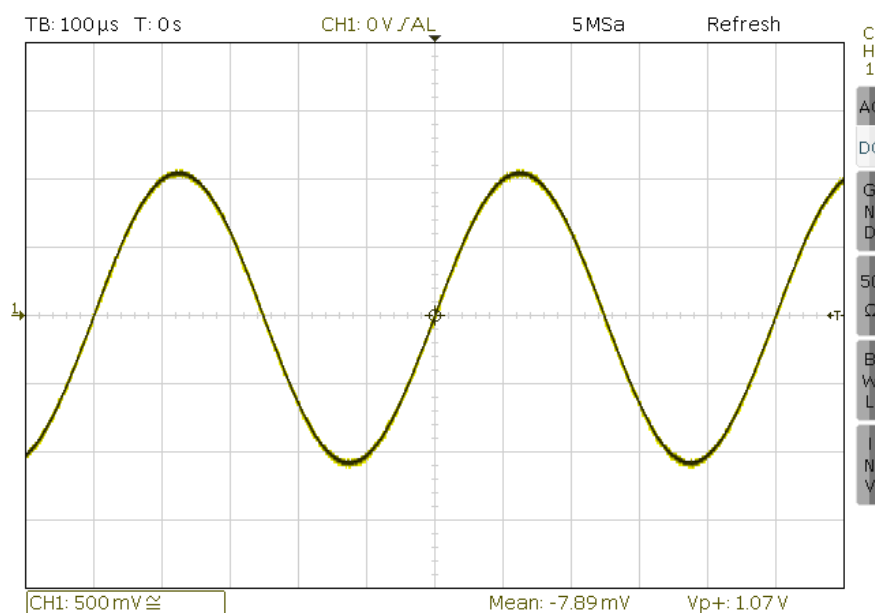
Valeur Moyenne (Mean Value) : **−7.89 mV**

Crête + (Peak +) : **1.07 V**

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

$$u_{4,2}(t) = -0.00789 + 1.07 \sin(2\pi ft) \text{ V}$$

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 :

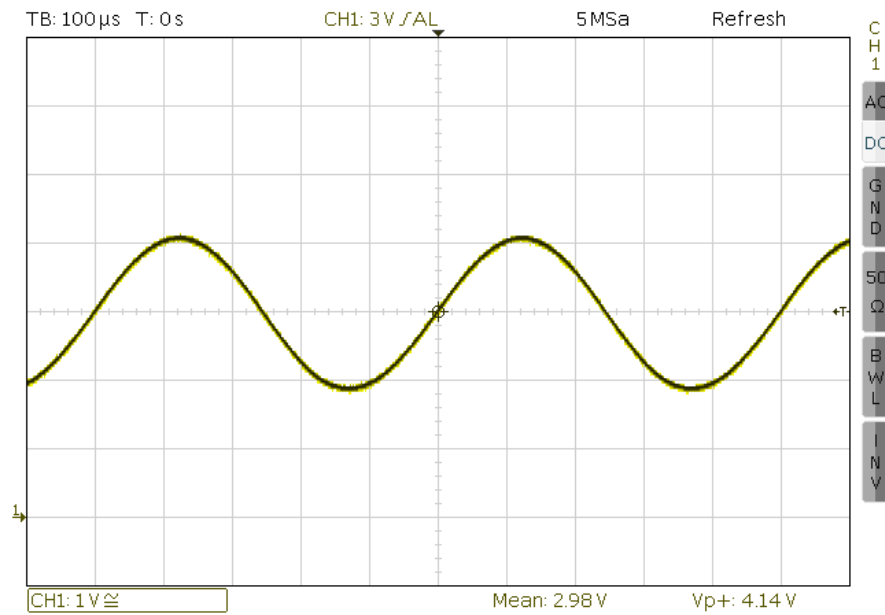
Valeur Moyenne (Mean Value) : **2.98 V**

Crête + (Peak +) : **4.14 V**

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

$$u_4(t) = 2.98 + (4.14 - 2.98) \sin(2\pi ft) = 2.98 + 1.16 \sin(2\pi ft) \text{ V}$$

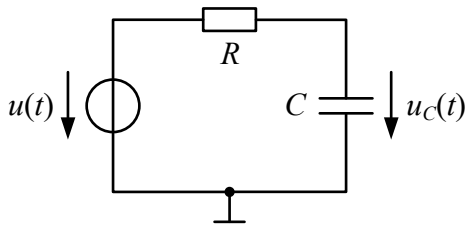
4. Représenter la tension $u_4(t)$ sur le graphique ci-dessous



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. Condensateur en régime sinusoïdal

Schéma de montage :








$$u(t) = \hat{U} \sin(2\pi ft) \quad (\text{HMF2525})$$

$$R = 10 \text{ k}\Omega$$

$$C = 10 \text{ nF}$$

La tension $u(t)$ fournie par le générateur de fonctions **HMF2525** est un signal sinusoïdal de fréquence $f = 1 \text{ kHz}$ et d'amplitude $\hat{U} = 10 \text{ V}$.

Indiquer quelle configuration doit-on choisir pour le générateur de fonctions :

Fonction	    
	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Frequency	1 kHz
Amplitude	20 V
Offset	0 V

Quelle touche faut-il activer pour délivrer correctement le signal ?

- ☐ OFFSET
☐ INVERT
☒ OUTPUT

3.1. Observation des tensions $u(t)$ et $u_C(t)$

Visualiser les tensions $u(t)$ et $u_C(t)$ à l'oscilloscope.

Utiliser la configuration suivante :

Canal 1 (CH1)	$u(t)$		
Canal 2 (CH2)	$u_C(t)$		
Base de temps	200 μs		
Trigger	SOURCE : $u(t)$ (Canal 1)	LEVEL : 0 V	SLOPE : Flanc Montant

Quel couplage faut-t-il utiliser pour les **deux** canaux afin de visualiser les deux courbes correctement ?

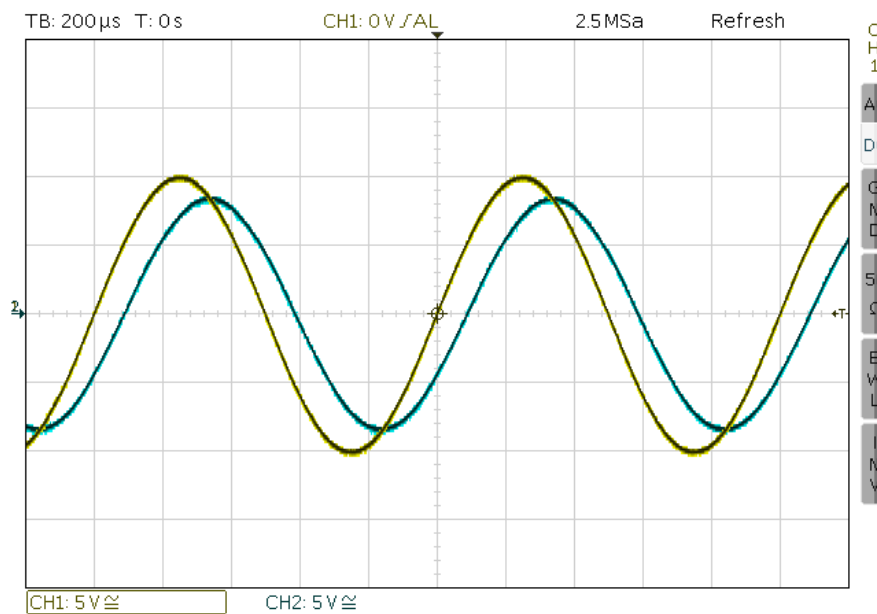
- ☐ AC
- ☐ DC
- ☒ AC ou DC

Superposer le **GND** des deux courbes.



Choisir la position des deux courbes et leurs calibres en tension afin d'utiliser au maximum la taille de l'écran de l'oscilloscope et augmenter la précision des calculs.

Reproduire les signaux observés sur le graphique ci-dessous.



La tension $u_C(t)$ est

- ☐ en avance de phase par rapport à la tension $u(t)$
- ☒ en retard de phase par rapport à la tension $u(t)$

3.2. Comportement fréquentiel

La relation qui exprime la valeur de crête \hat{U}_C de la tension $u_C(t)$ en fonction de la pulsation ω est donnée par (voir Annexe A.1)

$$\hat{U}_c = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} \hat{U} \quad (1)$$

Avec

$$\omega = 2\pi f \quad (2)$$

Comment varie la valeur de crête \hat{U}_c en fonction de la fréquence f ?

- ☒ Si la fréquence f augmente, la valeur de crête \hat{U}_c diminue
- ☐ La fréquence f n'a aucune influence sur la valeur de crête \hat{U}_c
- ☐ Si la fréquence f augmente, la valeur de crête \hat{U}_c augmente

Dans quel cas, le condensateur se comporte-t-il comme :

- Un court-circuit ?

☐ $f \rightarrow 0$

☒ $f \rightarrow \infty$

- Un circuit ouvert ?

☒ $f \rightarrow 0$

☐ $f \rightarrow \infty$

Travail à effectuer :

Faire varier la fréquence f et étudier l'évolution de la valeur de crête \hat{U}_c de la tension $u_c(t)$ à l'aide du menu **AUTO MEASURE** de l'oscilloscope.

Noter la configuration choisie dans le tableau suivant :


PLACE MESURE (MEAS. PLACE)	1
MESURE 1 (MEASURE 1)	Marche (ON)
TYPE	Crête + (Peak +)
SOURCE	CH2

Utiliser la séquence :

100 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	5 kHz	10 kHz	50 kHz	100 kHz
--------	--------	-------	-------	-------	--------	--------	---------

Pour chaque fréquence :

1. Calculer la valeur de crête \hat{U}_C à l'aide de la relation (1).

2.  Choisir la position des deux courbes et leurs calibres en tension afin d'utiliser au maximum la taille de l'écran de l'oscilloscope et augmenter la précision des calculs.

3. Mesurer la valeur de crête \hat{U}_C .

Reporter les valeurs dans le tableau ci-dessous.

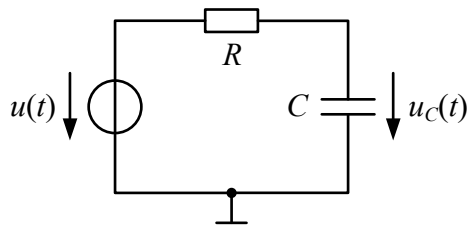
f [Hz]	\hat{U}_C calculée [V]	\hat{U}_C mesurée [V]
100	9.980	9.76
500	9.540	9.40
1 k	8.467	8.44
2 k	6.227	6.32
5 k	3.033	3.12
10 k	1.572	1.62
50 k	0.318	0.346
100 k	0.159	0.179

La valeur de crête \hat{U}_C de la tension $u_C(t)$ montre un affaiblissement par rapport à la valeur de crête \hat{U} de la tension $u(t)$ en fonction de la fréquence f .

Cette propriété est exploitée pour réaliser des filtres électriques.

3.3. Annulation de la composante alternative d'une tension $u(t) = U_0 + \hat{U} \sin(\omega t)$

Schéma de montage :








$$u(t) = U_0 + \hat{U} \sin(2\pi ft) \quad (\text{HMF2525})$$

$$R = 10 \text{ k}\Omega$$

$$C = 10 \text{ nF}$$

La tension $u(t)$ fournie par le générateur de fonctions **HMF2525** est un signal sinusoïdal de fréquence $f = 50 \text{ kHz}$, d'amplitude $\hat{U} = 1 \text{ V}$ et de composante continue $U_0 = 5 \text{ V}$.

Indiquer quelle configuration doit-on choisir pour le générateur de fonctions :

Fonction	    
	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Frequency	50 kHz
Amplitude	2 V
Offset	5 V

Quelles touches faut-il activer pour délivrer correctement le signal (plusieurs réponses possibles) ?

- ☒ **OFFSET**
- ☐ **INVERT**
- ☒ **OUTPUT**
- ☐ **Aucune**

Visualiser les tensions $u(t)$ et $u_C(t)$ à l'oscilloscope.

Utiliser la configuration suivante pour l'oscilloscope :

Canal 1 (CH1)	$u(t)$		
Canal 2 (CH2)	$u_C(t)$		
Base de temps	10 μs		
Trigger	SOURCE : $u(t)$ (Canal 1)	LEVEL : 5 V	SLOPE : Flanc Montant

Quel couplage faut-t-il utiliser pour les **deux** canaux afin de visualiser les deux courbes correctement ?

- ☐ AC
- ☒ DC
- ☐ AC ou DC

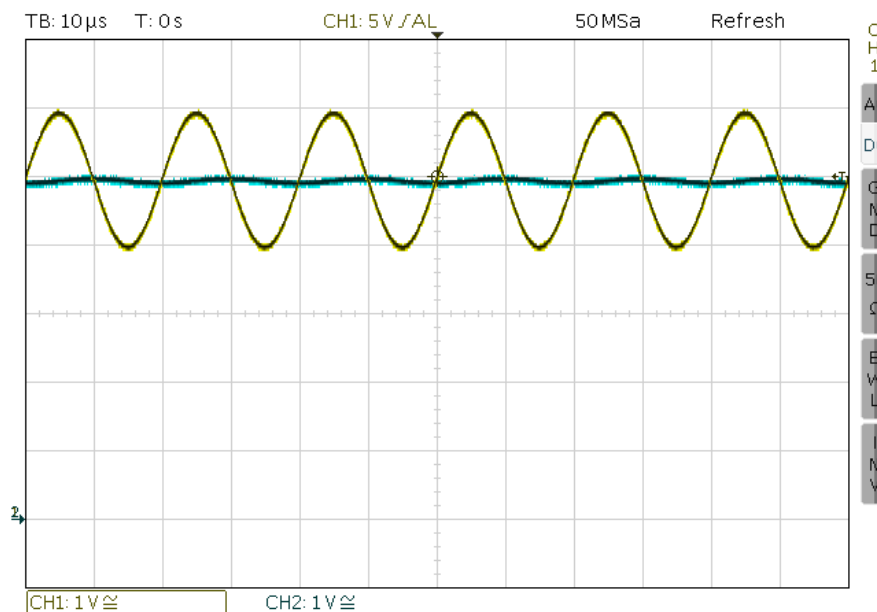
Superposer le **GND** des deux courbes.



Choisir la position des deux courbes et leurs calibres en tension afin d'utiliser au maximum la taille de l'écran de l'oscilloscope et augmenter la précision des calculs.

Choisir les **mêmes calibres en tension** pour les tensions $u(t)$ et $u_C(t)$.

Reproduire les signaux observés sur le graphique ci-dessous.



La tension $u_C(t)$ est

- ☐ identique à la tension $u(t)$
- ☒ un signal continu de valeur 5 V avec une faible ondulation
- ☐ un signal continu de valeur 0 V avec une faible ondulation
- ☐ un signal sinusoïdal d'amplitude 1 V et sans composante continue

Mesure de l'ondulation de la tension $u_c(t)$

Pour mesurer correctement l'ondulation de la tension $u_c(t)$, on aimerait pouvoir choisir un calibre en tension qui permet d'utiliser au maximum la taille de l'écran de l'oscilloscope et augmenter la précision des calculs.

Quelle configuration faut-il choisir pour le **Canal 2 (CH2)** – $u_c(t)$?

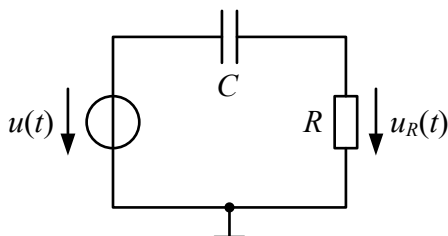
- ☒ Couplage AC & GND du canal 2 au milieu de l'écran de l'oscilloscope
- ☐ Couplage DC & GND du canal 2 en bas de l'écran de l'oscilloscope

Mesurer l'ondulation de la tension $u_c(t)$ à l'aide du menu **AUTO MEASURE** de l'oscilloscope et afficher **simultanément** les 3 valeurs ci-dessous :

CH2	Crête + (Peak +)	$\sim 60 \text{ mV}$
CH2	Crête – (Peak –)	$\sim -60 \text{ mV}$
CH2	Valeur Moyenne (Mean Value)	$\sim 0 \text{ V}$

3.4. Annulation de la composante continue d'une tension $u(t) = U_0 + \hat{U} \sin(\omega t)$

Schéma de montage :








$$u(t) = U_0 + \hat{U} \sin(2\pi ft) \quad (\text{HMF2525})$$

$$R = 10 \text{ k}\Omega$$

$$C = 10 \text{ nF}$$

La tension $u(t)$ fournie par le générateur de fonctions **HMF2525** est un signal sinusoïdal de fréquence $f = 50 \text{ kHz}$, d'amplitude $\hat{U} = 1 \text{ V}$ et de composante continue $U_0 = 5 \text{ V}$.

Indiquer quelle configuration doit-on choisir pour le générateur de fonctions :

Fonction	    
	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Frequency	50 kHz
Amplitude	2 V
Offset	5 V

Visualiser les tensions $u(t)$ et $u_R(t)$ à l'oscilloscope.

Utiliser la configuration suivante :

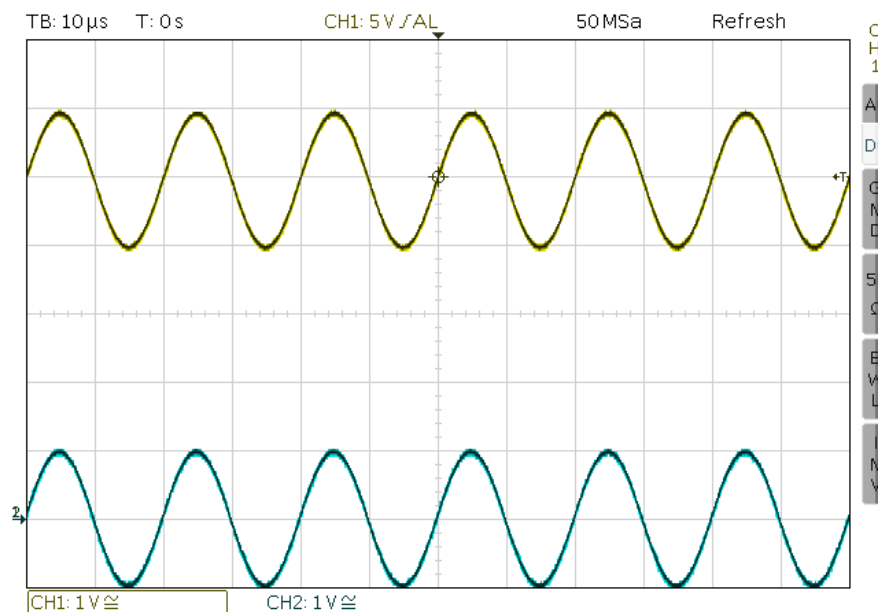
Canal 1 (CH1)	$u(t)$	Couplage : DC		
Canal 2 (CH2)	$u_R(t)$	Couplage : DC		
Base de temps	10 μ s			
Trigger	SOURCE : $u(t)$ (Canal 1)		LEVEL : 5 V	SLOPE : Flanc Montant

Superposer le **GND** des deux courbes.

Choisir la position des deux courbes et leurs calibres en tension afin d'utiliser au maximum la taille de l'écran de l'oscilloscope et augmenter la précision des calculs.

Choisir les **mêmes calibres en tension** pour les tensions $u(t)$ et $u_R(t)$.

Reproduire les signaux observés sur le graphique ci-dessous.



La tension $u_R(t)$ est


- ☐ identique à la tension $u(t)$
- ☐ un signal continu de valeur 5 V avec une faible ondulation
- ☐ un signal continu de valeur 0 V avec une faible ondulation
- ☒ un signal sinusoïdal d'amplitude 1 V et sans composante continue

Mesure de l'ondulation de la tension $u_R(t)$

Configuration pour mesurer correctement l'ondulation de la tension $u_R(t)$:

1. Couplage pour le canal 2 de l'oscilloscope : DC

2. Déplacer le **GND** du canal 2 au milieu de l'écran de l'oscilloscope.

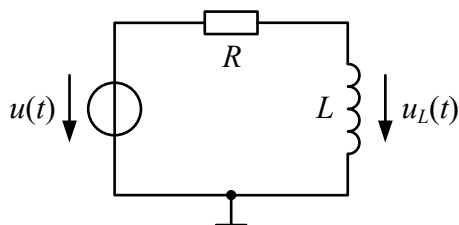
3.  Choisir le calibre en tension pour la tension $u_R(t)$ afin d'utiliser au maximum la taille de l'écran de l'oscilloscope et augmenter la précision des calculs.

Mesurer l'ondulation de la tension $u_R(t)$ à l'aide du menu **AUTO MEASURE** de l'oscilloscope et afficher **simultanément** les 3 valeurs ci-dessous :

CH2	Crête + (Peak +)	$\sim 1.02 \text{ V}$
CH2	Crête - (Peak -)	$\sim -1.00 \text{ V}$
CH2	Valeur Moyenne (Mean Value)	$\sim 10 \text{ mV}$

4. Inductance en régime sinusoïdal

Schéma de montage :








$$u(t) = \hat{U} \sin(2\pi ft) \quad (\text{HMF2525})$$

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

$$L = 10 \text{ mH}$$

La tension $u(t)$ fournie par le générateur de fonctions **HMF2525** est un signal sinusoïdal de fréquence $f = 10 \text{ kHz}$ et d'amplitude $\hat{U} = 10 \text{ V}$.

Indiquer quelle configuration doit-on choisir pour le générateur de fonctions :

Fonction	    
	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Frequency	10 kHz
Amplitude	20 V
Offset	0 V

4.1. Observation des tensions $u(t)$ et $u_L(t)$

Visualiser les tensions $u(t)$ et $u_L(t)$ à l'oscilloscope.

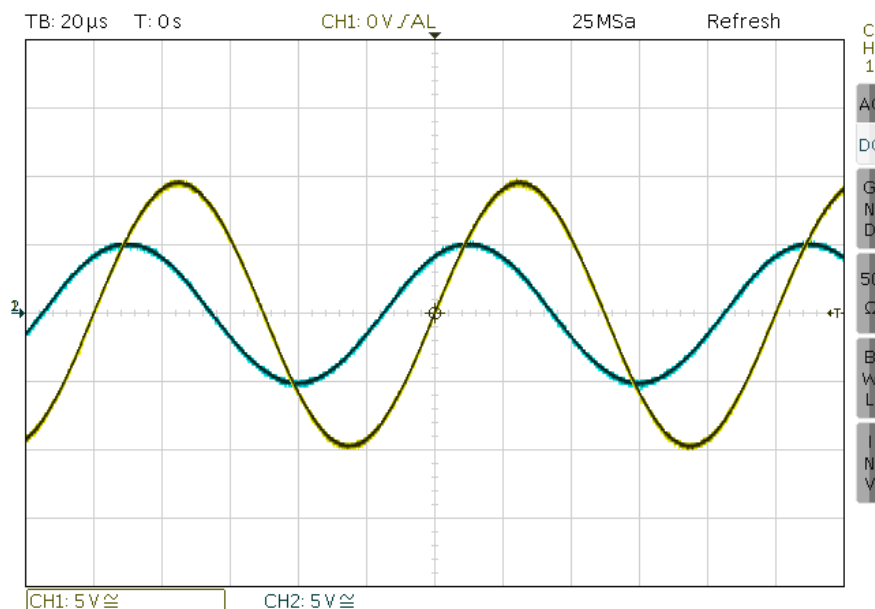
Utiliser la configuration suivante :

Canal 1 (CH1)	$u(t)$	Couplage : AC ou DC		
Canal 2 (CH2)	$u_L(t)$	Couplage : AC ou DC		
Base de temps	20 μ s			
Trigger	SOURCE : $u(t)$ (Canal 1)		LEVEL : 0 V	SLOPE : Flanc Montant

Superposer le **GND** des deux courbes.

Choisir la position des deux courbes et leurs calibres en tension afin d'utiliser au maximum la taille de l'écran de l'oscilloscope et augmenter la précision des calculs.

Reproduire les signaux observés sur le graphique ci-dessous.



La tension $u_L(t)$ est

- ☒ en avance de phase par rapport à la tension $u(t)$
- ☐ en retard de phase par rapport à la tension $u(t)$

4.2. Comportement fréquentiel

L'inductance possède une **résistance interne** R_L en série qui influence les calculs en particulier pour des **fréquences qui tendent vers 0**.

Son schéma équivalent est donné par



L'impédance \underline{Z}_L de l'inductance est alors donnée par

$$\underline{Z}_L = R_L + j\omega L \quad (3)$$

Mesurer la résistance interne R_L de l'inductance à l'aide du multimètre **HMC8012**.



Pour effectuer une mesure correcte, on doit **déconnecter** l'inductance du reste du circuit et ensuite la **connecter** uniquement au multimètre.

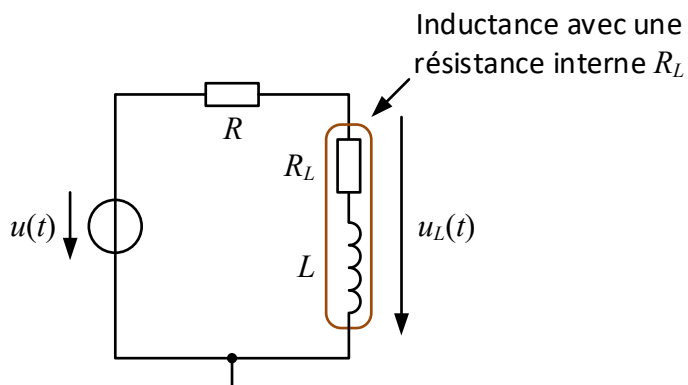
Quelle touche permet-elle de sélectionner la mesure d'une résistance ?

- ☐ DC I
☒ Ω
☐ AC V

Noter la valeur mesurée

$$R_L = 37 \, \Omega$$

Le schéma de montage devient



$$u(t) = \hat{U} \sin(2\pi ft) \quad (\text{HMF2525})$$

$$R = 1 \, \text{k}\Omega$$

$$L = 10 \, \text{mH}$$

La relation qui exprime la valeur de crête \hat{U}_L de la tension $u_L(t)$ en fonction de la pulsation ω est donnée par (voir Annexe A.2)

$$\hat{U}_L = \frac{\sqrt{R_L^2 + (\omega L)^2}}{\sqrt{(R + R_L)^2 + (\omega L)^2}} \hat{U} \quad (4)$$

Avec

$$\omega = 2\pi f \quad (5)$$

Comment varie la valeur de crête \hat{U}_L en fonction de la fréquence f ?

- ☐ Si la fréquence f augmente, la valeur de crête \hat{U}_L diminue
- ☐ La fréquence f n'a aucune influence sur la valeur de crête \hat{U}_L
- ☒ Si la fréquence f augmente, la valeur de crête \hat{U}_L augmente

Dans quel cas, l'inductance idéale ($R_L = 0$) se comporte-t-elle comme :

- Un court-circuit ?

- ☒ $f \rightarrow 0$
- ☐ $f \rightarrow \infty$

- Un circuit ouvert ?

- ☐ $f \rightarrow 0$
- ☒ $f \rightarrow \infty$

Travail à effectuer :

Faire varier la fréquence f et étudier l'évolution de la valeur de crête \hat{U}_L de la tension $u_L(t)$ à l'aide du menu **AUTO MEASURE** de l'oscilloscope.

Noter la configuration choisie dans le tableau suivant :

PLACE MESURE (MEAS. PLACE)	1
MESURE 1 (MEASURE 1)	Marche (ON)
TYPE	Crête + (Peak +)
SOURCE	CH2

Utiliser la séquence :

100 Hz	1 kHz	2 kHz	5 kHz	10 kHz	20 kHz	50 kHz	100 kHz
--------	-------	-------	-------	--------	--------	--------	---------

Pour chaque fréquence :

4. Calculer la valeur de crête \hat{U}_L à l'aide de la relation (4).

5.



Choisir le calibre de la base de temps et le calibre de la tension $u_L(t)$ afin d'utiliser au maximum la taille de l'écran de l'oscilloscope et augmenter la précision des calculs.

6. Mesurer la valeur de crête \hat{U}_L .

Reporter les valeurs dans le tableau ci-dessous.

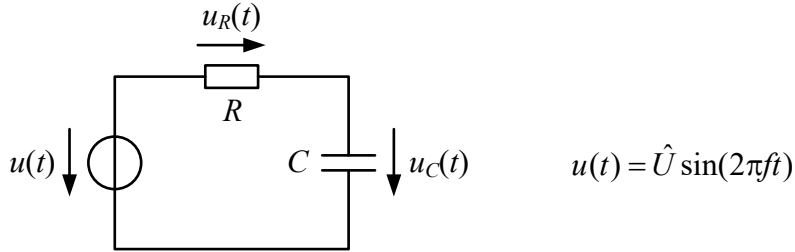
f [Hz]	\hat{U}_L calculée [V]	\hat{U}_L mesurée [V]
100	0.3619	0.346
1 k	0.7019	0.700
2 k	1.2541	1.27
5 k	2.9194	2.94
10 k	5.1910	5.04
20 k	7.7162	7.68
50 k	9.4967	9.44
100 k	9.8667	9.76

La valeur de crête \hat{U}_L de la tension $u_L(t)$ montre un affaiblissement par rapport à la valeur de crête \hat{U} de la tension $u(t)$ en fonction de la fréquence f .

Cette propriété est exploitée pour réaliser des filtres électriques.

ANNEXE

A.1 Calcul de la valeur de crête \hat{U}_C



Le calcul de \hat{U}_C en fonction de la fréquence f est basé sur le calcul complexe.

Impédances :

$$\begin{aligned} \underline{Z}_R &= R \\ \underline{Z}_C &= \frac{1}{j\omega C} \end{aligned} \quad (6)$$

Diviseur de tension :

$$\underline{U}_C = \frac{\underline{Z}_C}{\underline{Z}_R + \underline{Z}_C} \underline{U} \quad (7)$$

Pour simplifier les calculs, on suppose que \underline{U} est réel, donc $\underline{U} = U$.

La relation (7) devient

$$\underline{U}_C = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} U = \frac{1}{1 + j\omega RC} U \quad (8)$$

La relation suivante permet de calculer le module d'un nombre complexe \underline{z}

$$\underline{z} = \frac{a + jb}{c + jd} \Rightarrow z = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{\sqrt{c^2 + d^2}} \quad (9)$$

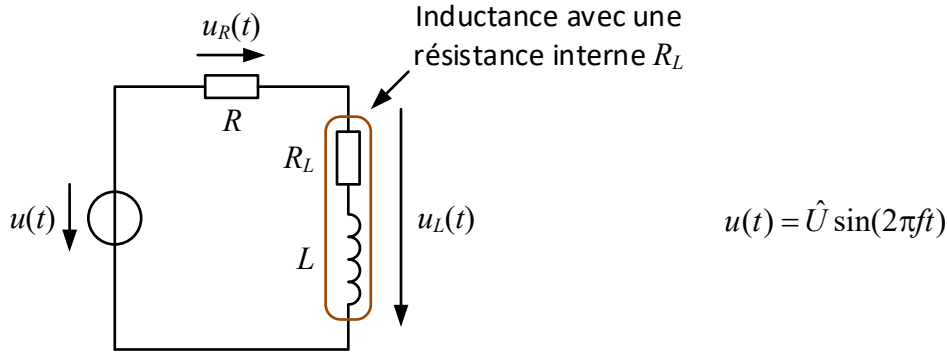
À l'aide des relations (8) et (9), on obtient pour le module de \underline{U}_C

$$U_C = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} U \quad (10)$$

La relation pour calculer \hat{U}_C est enfin donnée par

$$\hat{U}_C = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} \hat{U} \quad (11)$$

A.2 Calcul de la valeur de crête \hat{U}_L



Le calcul de \hat{U}_L en fonction de la fréquence f est basé sur le calcul complexe.

Impédances :

$$\begin{aligned}\underline{Z}_R &= R \\ \underline{Z}_L &= R_L + j\omega L\end{aligned}\tag{12}$$

Diviseur de tension :

$$\underline{U}_L = \frac{\underline{Z}_L}{\underline{Z}_R + \underline{Z}_L} \underline{U}\tag{13}$$

Pour simplifier les calculs, on suppose que \underline{U} est réel, donc $\underline{U} = U$.

La relation (13) devient

$$\underline{U}_L = \frac{R_L + j\omega L}{R + R_L + j\omega L} U\tag{14}$$

La relation suivante permet de calculer le module d'un nombre complexe \underline{z}

$$\underline{z} = \frac{a + jb}{c + jd} \quad \Rightarrow \quad z = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{\sqrt{c^2 + d^2}}\tag{15}$$

À l'aide des relations (14) et (15), on obtient pour le module de \underline{U}_L

$$U_L = \frac{\sqrt{R_L^2 + (\omega L)^2}}{\sqrt{(R + R_L)^2 + (\omega L)^2}} U\tag{16}$$

La relation pour calculer \hat{U}_L est enfin donnée par

$$\hat{U}_L = \frac{\sqrt{R_L^2 + (\omega L)^2}}{\sqrt{(R + R_L)^2 + (\omega L)^2}} \hat{U}\tag{17}$$