

PARCOURS : L2-AII2

SEMESTRE : 3

AU : 2020-2021

Abdelbacet Mhamdi

Docteur-Ingénieur en Génie Électrique

Technologue en GE à l'ISET de Bizerte

ÉLECTRONIQUE ANALOGIQUE

FASCICULE DE TRAVAUX PRATIQUES



Institut Supérieur des Études Technologiques de Bizerte

Disponible à l'adresse : <https://github.com/a-mhamdi/isetbz/>

FICHE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT (UE)

CODE DE L'UE : UEF330		INTITULE DE L'UE : Electronique et Traitement du Signal								
DOMAINE : SCIENCES, TECHNOLOGIES ET ÉTUDES TECHNOLOGIQUES										
Diplôme : Licence					MENTION : GÉNIE ELECTRIQUE					
PARCOURS : Automatismes et Informatique Industrielle							SEMESTRE : S3			
CODE ECUE	ELEMENTS CONSTITUTIFS DE L'UE (ECUE)	Vol. Horaire (en h) sur 14 semaines			Crédits	Coeff.	Evaluations			
		Cours	TD	TP			DC 40%	DS 60%	EC 60%	ES 40%
ECUEF331	Electronique Analogique	14	7		1,5	0,75	X	X		
ECUEF332	Traitement du Signal	14	7		1,5	0,75	X	X		
ECUEF333	Atelier Electronique Analogique			21	1,5	0.75			X	X
Total		42	21		4,5	2.25				

Code : ECUEF333	Atelier Electronique Analogique
OBJECTIFS	<ul style="list-style-type: none"> Découvrir l'électronique de base à partir de quelques montages classiques Acquérir la maîtrise des appareils de base du laboratoire, des méthodes, des protocoles de mesures.

CONTENU

- Amplificateur opérationnel en régime linéaire. Utilisation dans quelques montages élémentaires. Etude de quelques fonctions électroniques, réalisées avec des AOP, mise en évidence de quelques défauts (saturation, tension de déchet, slew-rate, ...) : Suiveur de tension, ampli. Inverseur, sommateur de tension, ...
- Amplificateur opérationnel en régime non-linéaire.
- Etude de quelques montages en régime de commutation. Comparateur en boucle ouverte, à hystérésis.
- Génération de signaux. Multivibrateur astable.
- Etude de quelques montages électroniques générateurs de signaux : Multivibrateurs astables réalisées avec des AOP. Génération de signaux triangulaire avec des AOP.
- Les filtres actifs
- Etude des filtres actifs du 1er ordre et du 2nd (structure de Rauch et Sellen et Kelly). Diagramme de BODE.
- Les boucles à verrouillage de phase (PLL).

CODE D'HONNEUR

THE UNIVERSITY OF NORTH CAROLINA AT CHAPEL HILL

Department of Physics and Astronomy

<http://physics.unc.edu/undergraduate-program/labs/general-info/>

“During this course, you will be working with one or more partners with whom you may discuss any points concerning laboratory work. However, you must write your lab report, in your own words.

Lab reports that contain identical language are not acceptable, so do not copy your lab partner’s writing.

If there is a problem with your data, include an explanation in your report. Recognition of a mistake and a well-reasoned explanation is more important than having high-quality data, and will be rewarded accordingly by your instructor. A lab report containing data that is inconsistent with the original data sheet will be considered a violation of the Honor Code.

Falsification of data or plagiarism of a report will result in prosecution of the offender(s) under the University Honor Code.

On your first lab report you must write out the entire honor pledge :

The work presented in this report is my own, and the data was obtained by my lab partner and me during the lab period.

On future reports, you may simply write “Laboratory Honor Pledge” and sign your name.”

Table des matières

1	ALI en régime linéaire	1
2	ALI en régime de saturation	17
3	Générateur de fonctions	24
4	Filtre actif	28

1 | ALI en régime linéaire

Étudiant	.....	.....	.....

Note /20	.....	.....	.....

Critères d'évaluation

Anticipation (4 points)	.....	.....	.....
Gestion (2 points)	.....	.....	.....
Expérimentation (7 points)	.....	.....	.....
Consignation (3 points)	.....	.....	.....
Interprétation (4 points)	.....	.....	.....

Objectifs

- ★ Identifier les montages de base d'un ALI;
- ★ Déterminer les limites d'application et les précautions d'utilisation de chaque montage.

Matériel utilisé (À remplir à la fin de la manipulation.)

Appareil/ Composant	Référence	Quantité
Alimentation stabilisée
GBF
Oscilloscope
Multimètre
ALI
Résistance
Condensateur

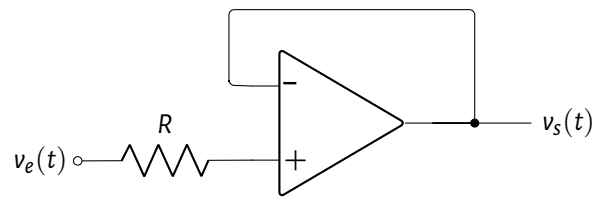


- Les deux alimentations symétriques $\pm V_{cc}$ sont omises sur les schémas, mais elles sont présentes toujours; $\pm V_{cc} = \pm 15 V$
- Il faut allumer en premier et éteindre en dernier ces deux sources d'alimentation.

Montage N°1 :

$$v_e(t) = 2 \sin(100\pi t)$$

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



Donner l'expression du potentiel v^- .

.....

.....

Donner l'expression du potentiel v^+ .

.....

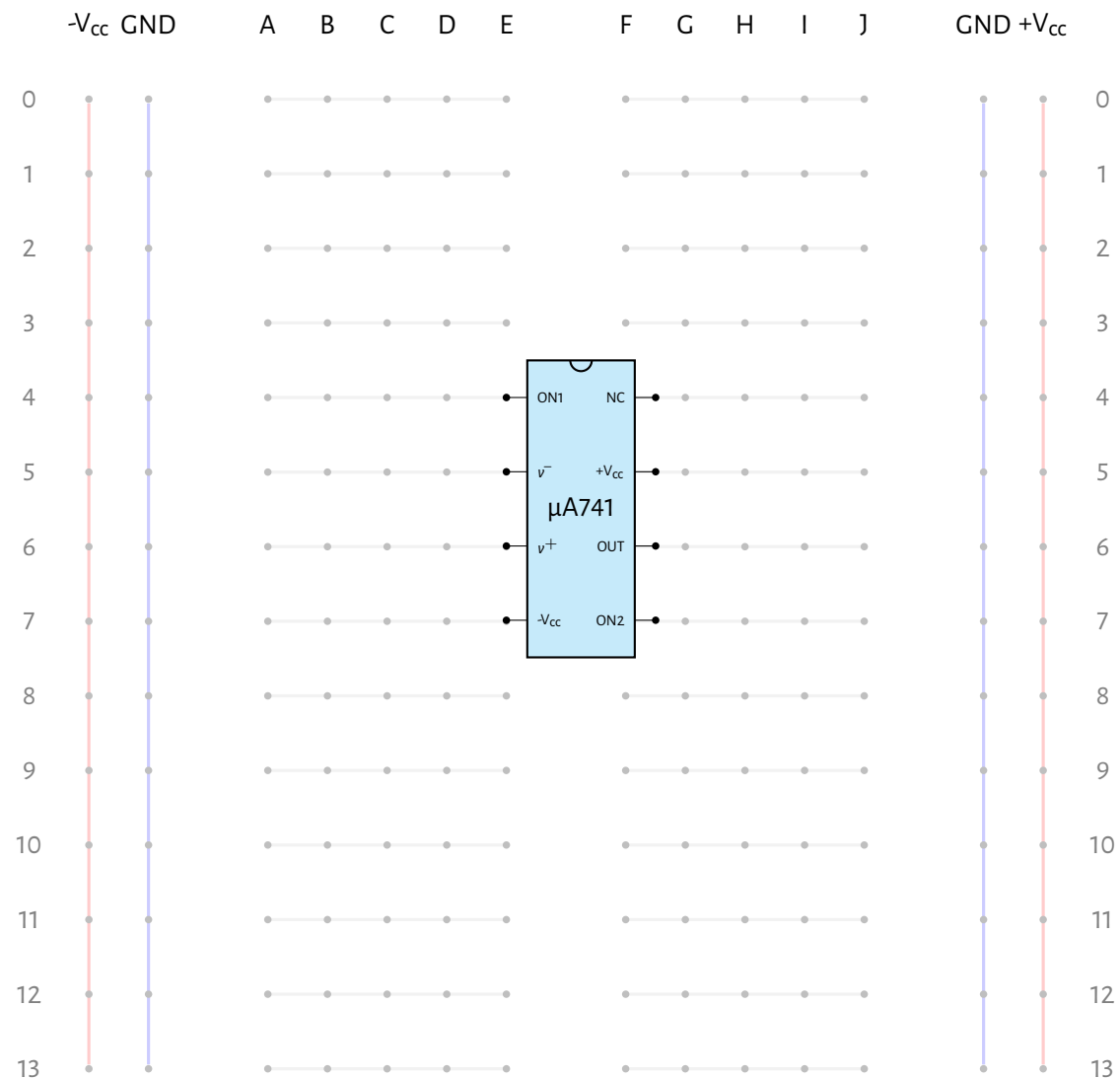
.....

déterminer l'expression de la sortie v_s .

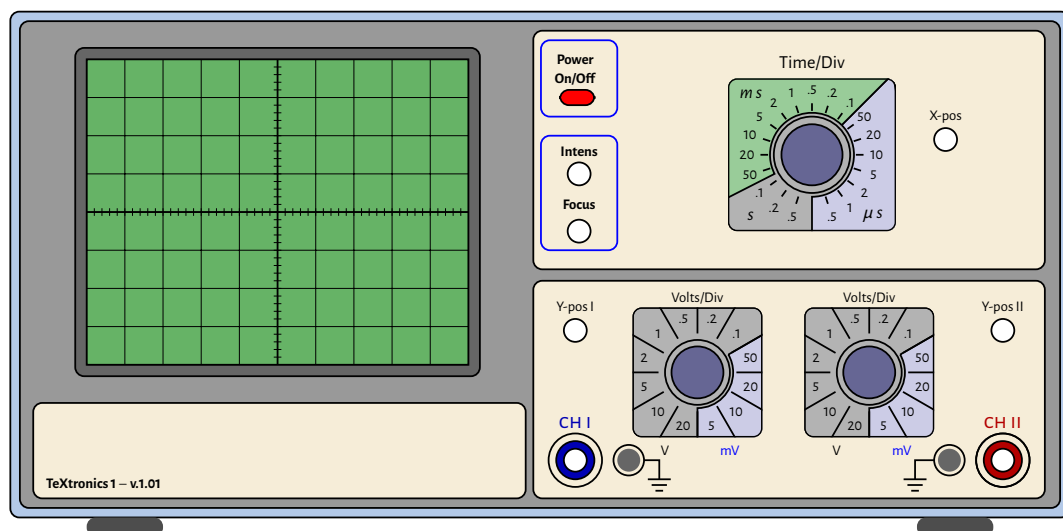
.....

.....

Câbler le schéma sur la plaque d'essai et reproduire votre travail sur l'image ci-dessous. Visualiser, en correspondance sur l'oscilloscope, les deux tensions v_e et v_s sur deux périodes.



L'entrée v_e et la sortie v_s sont appliquées respectivement aux canaux 1 & 2. Tracer leurs allures sur l'écran de l'oscilloscope suivant et indiquer les sensibilités *Time/Div* et *Volts/Div* pour chaque canal.



Passer en mode **XY** de l'oscilloscope et visualiser la tension de sortie v_s en fonction la tension d'entrée v_e . Varier d'abord l'amplitude puis la fréquence de la tension v_e et commenter les résultats trouvés. En déduire la

fonction réalisée par ce montage.

.....

.....

.....

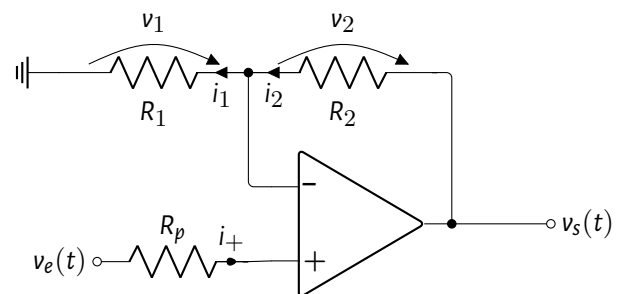
.....

.....

Montage N° 2 :

$$v_e(t) = 2 \sin(100\pi t)$$

$$R_1 = 2.2 \text{ k}\Omega \quad \& \quad R_2 = 2.2 \text{ k}\Omega$$



Quelle valeur doit prendre la résistance R_p . Justifier la réponse.

.....

.....

Déterminer l'expression de la sortie v_s .

.....

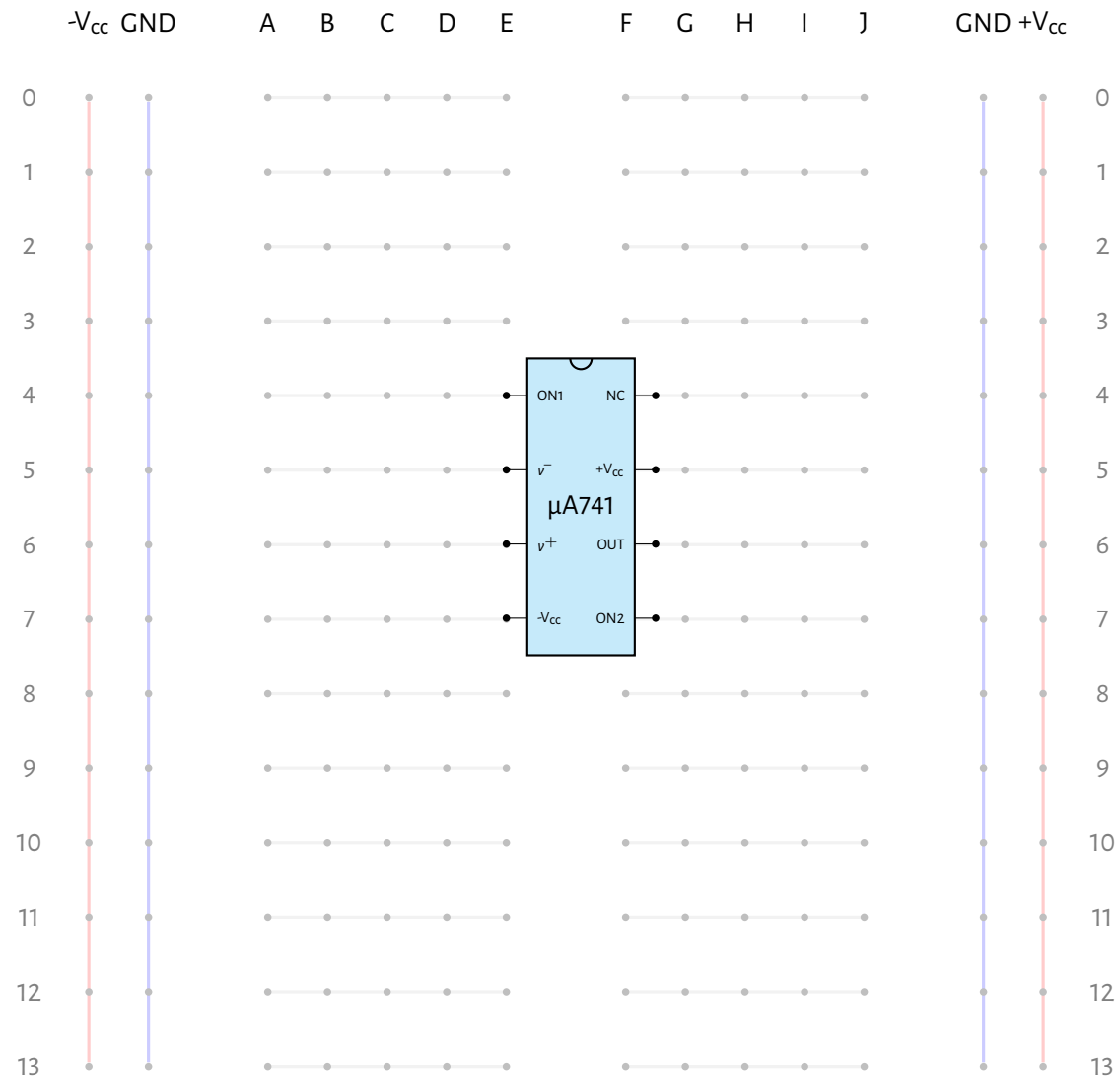
.....

.....

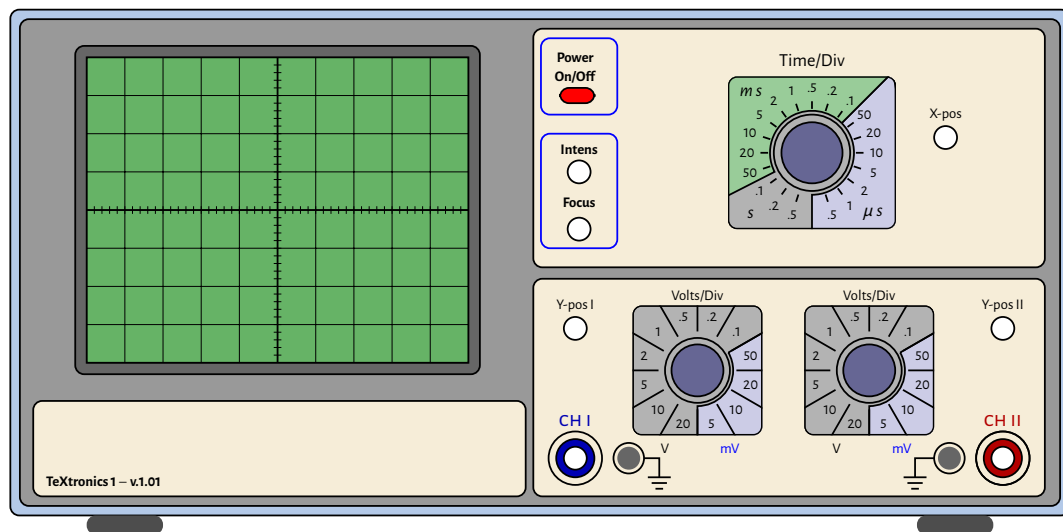
.....

.....

Câbler le schéma sur la plaque d'essai et reproduire votre travail sur l'image ci-dessous. Visualiser, en correspondance sur l'oscilloscope, les deux tensions v_e et v_s sur deux périodes.



L'entrée v_e et la sortie v_s sont appliquées respectivement aux canaux 1 & 2. Tracer leurs allures sur l'écran de l'oscilloscope suivant et indiquer les sensibilités *Time/Div* et *Volts/Div*.



Passer en mode **XY** de l'oscilloscope et visualiser la tension de sortie v_s en fonction la tension d'entrée v_e . Varier d'abord la tension v_e , puis changer sa forme d'onde. Comparer et commenter les résultats trouvés et en

déduire la fonction réalisée par ce montage.

.....

.....

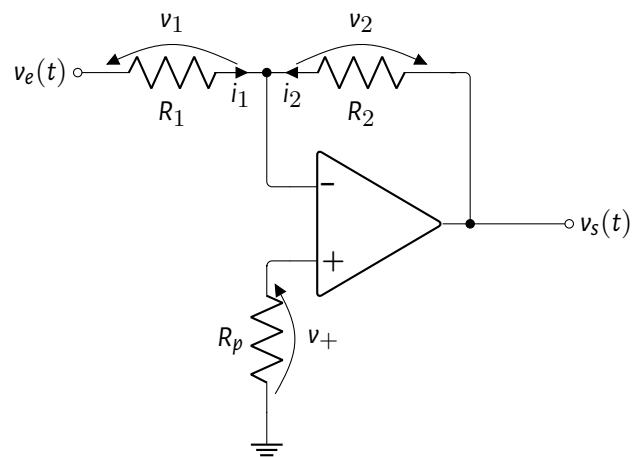
.....

.....

.....

Montage N° 3 :

$$v_e(t) = 2 \sin(100\pi t)$$



Déterminer l'expression de la sortie v_s en fonction de v_e , R_1 et R_2 .

.....

.....

.....

.....

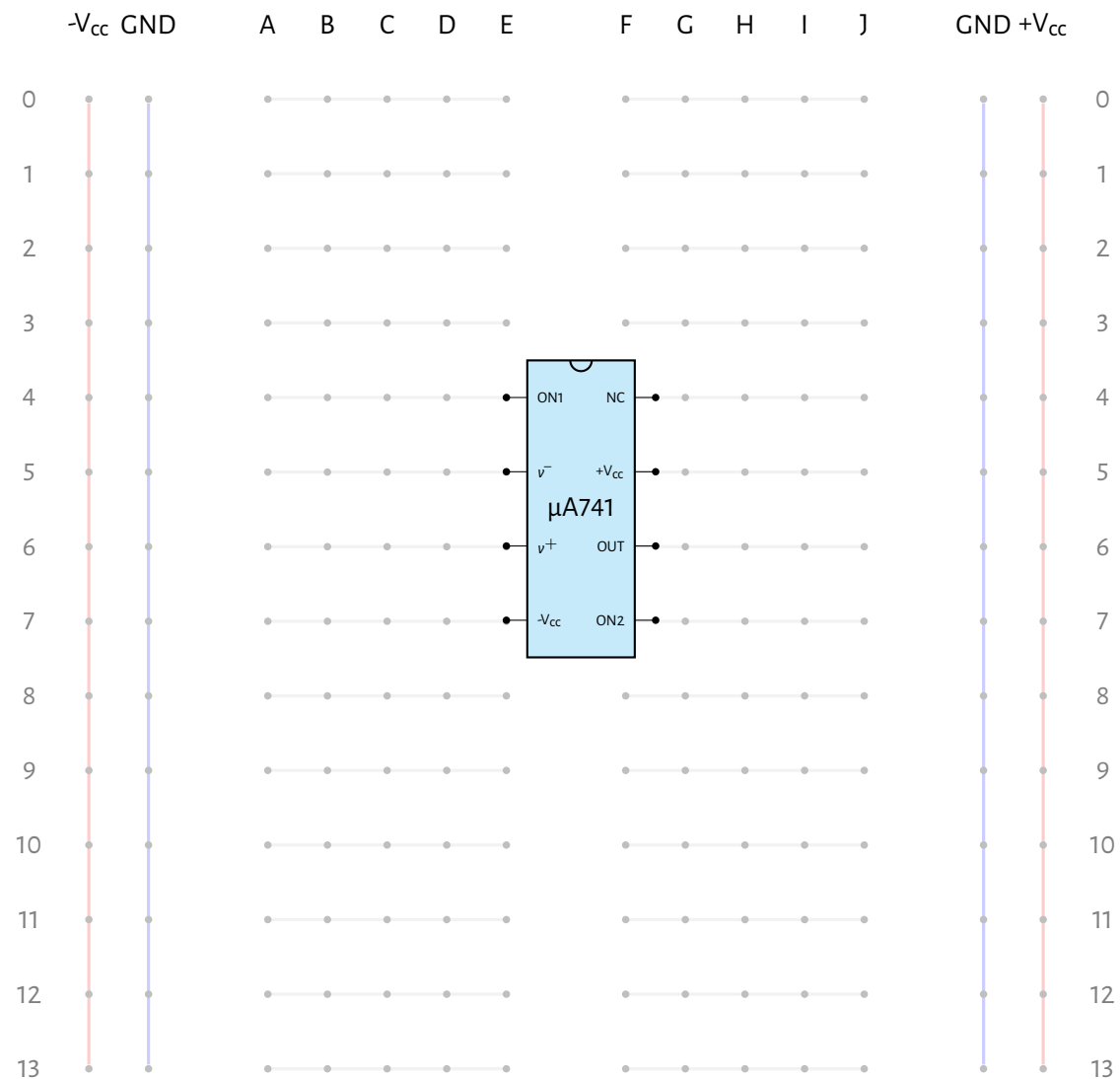
.....

Choisir un jeu de résistances qui permet d'avoir un gain d'amplification égal à 0.5.

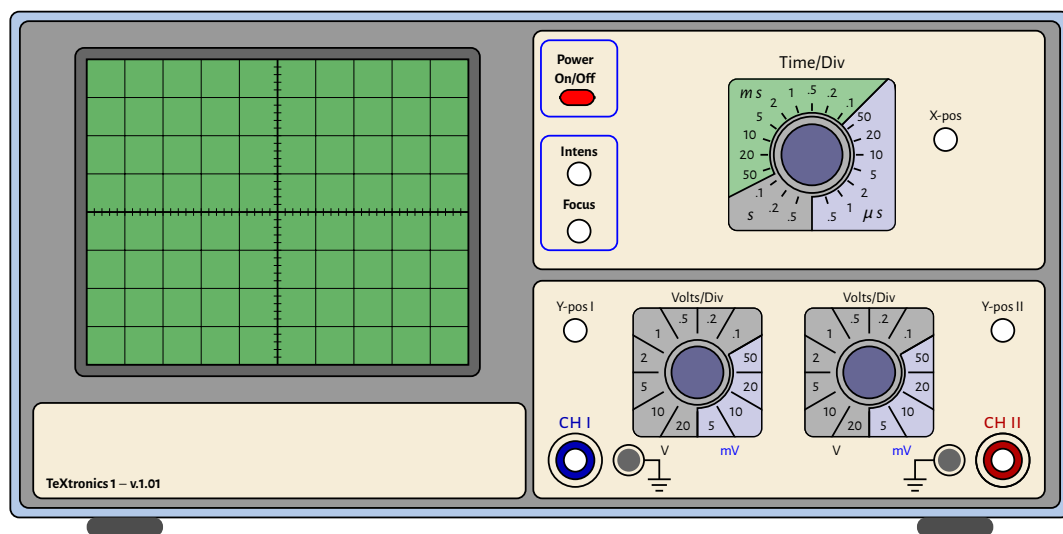
.....

.....

Câbler le schéma sur la plaque d'essai et reproduire votre travail sur l'image ci-dessous. Visualiser, en correspondance sur l'oscilloscope, les deux tensions v_e et v_s sur deux périodes.



L'entrée v_e et la sortie v_s sont appliquées respectivement aux canaux 1 & 2. Tracer leurs allures sur l'écran de l'oscilloscope suivant et indiquer les sensibilités *Time/Div* et *Volts/Div*.



Passer en mode **XY** de l'oscilloscope et visualiser la tension de sortie v_s en fonction la tension d'entrée v_e . Varier d'abord la tension v_e , puis changer sa forme d'onde. Comparer et commenter les résultats trouvés et en

déduire la fonction réalisée par ce montage.

.....

.....

.....

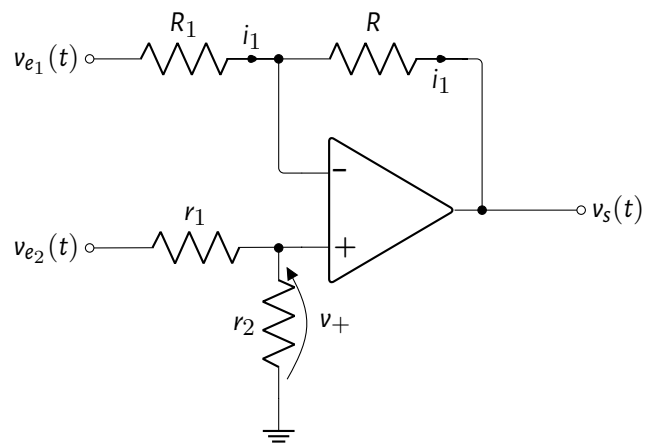
.....

.....

Montage N° 4 :

$$v_{e1}(t) = 0.5 \text{ V}$$

$$v_{e2}(t) = 2 \sin(100\pi t)$$



En appliquant le théorème de Millman, donner l'expression du potentiel v^- .

.....

.....

En appliquant la formule du diviseur de tension, donner l'expression du potentiel v^+ .

.....

.....

Déterminer l'expression de la sortie v_s en fonction de v_{e1} , de v_{e2} et des éléments du montage.

.....

.....

.....

.....

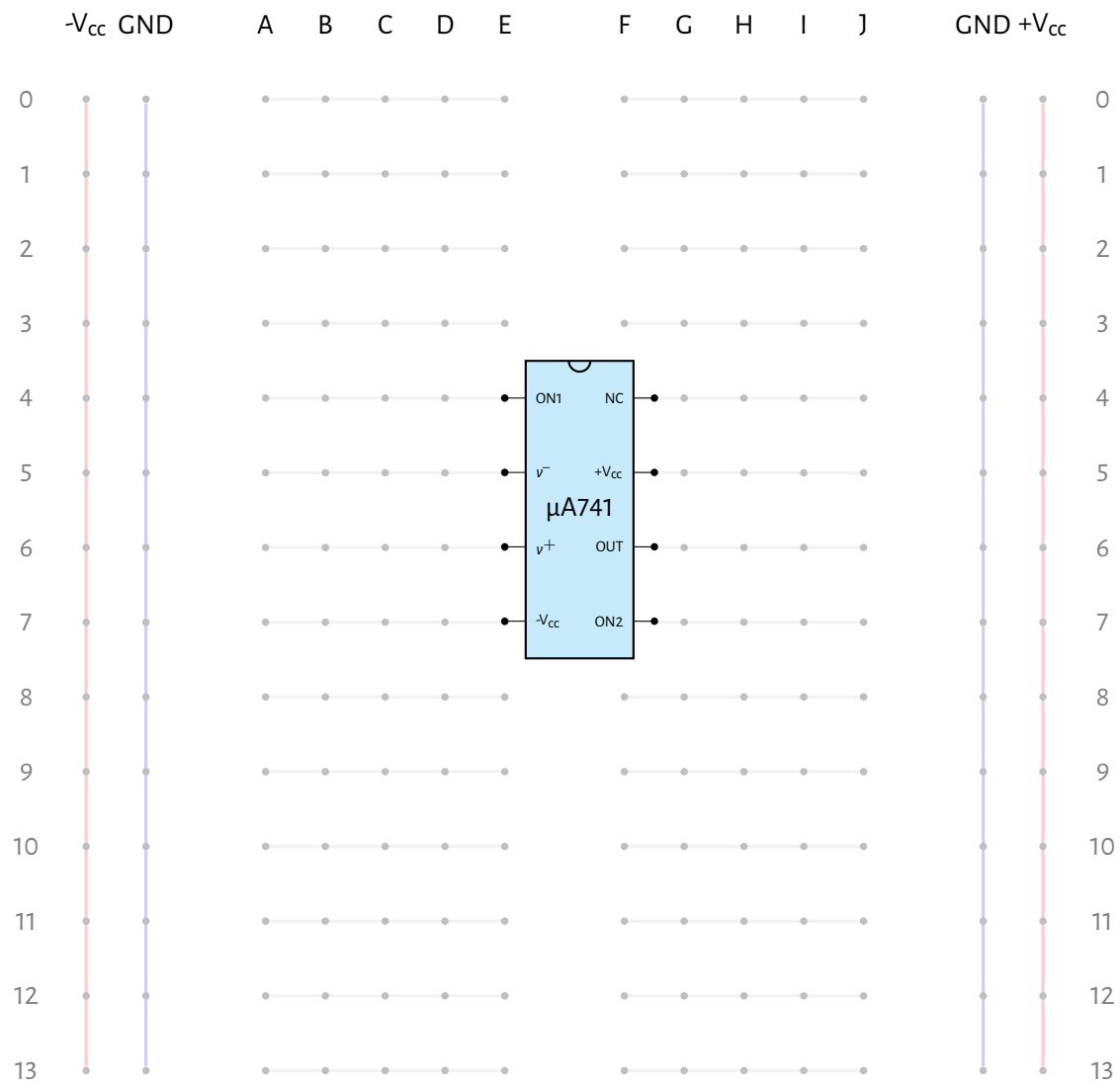
Choisir des valeurs des résistances du montage qui permettent d'avoir la sortie :

$$v_s(t) = v_{e2}(t) - v_{e1}(t). \quad (1.1)$$

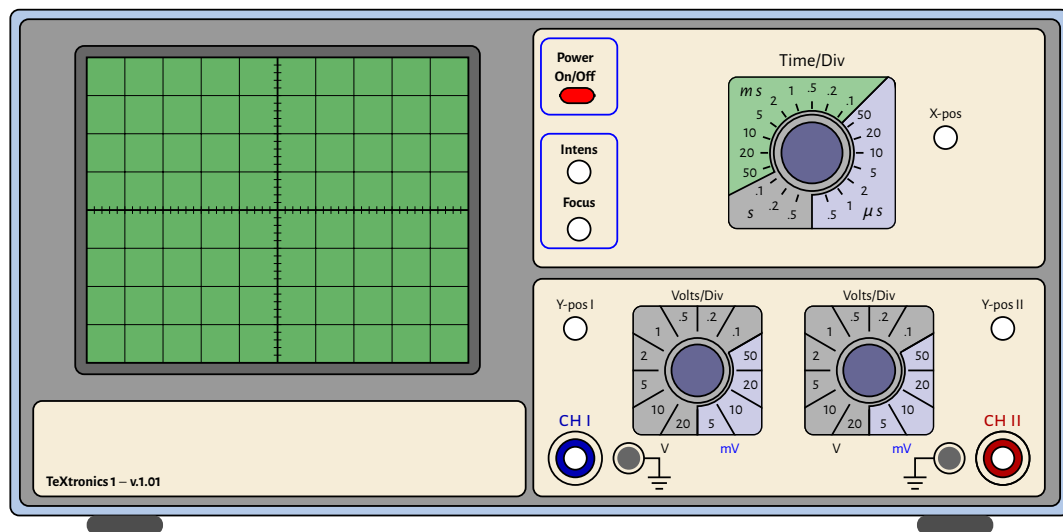
.....

.....

Câbler le schéma sur la plaque d'essai et reproduire votre travail sur l'image ci-dessous. Visualiser, en correspondance sur l'oscilloscope, les deux tensions v_{e2} et v_s sur deux périodes.



L'entrée v_{e2} et la sortie v_s sont appliquées respectivement aux canaux 1 & 2. Tracer leurs allures sur l'écran de l'oscilloscope suivant et indiquer les sensibilités $Time/Div$ et $Volts/Div$.



Commenter les résultats trouvés et en déduire la fonction réalisée par ce montage.

.....

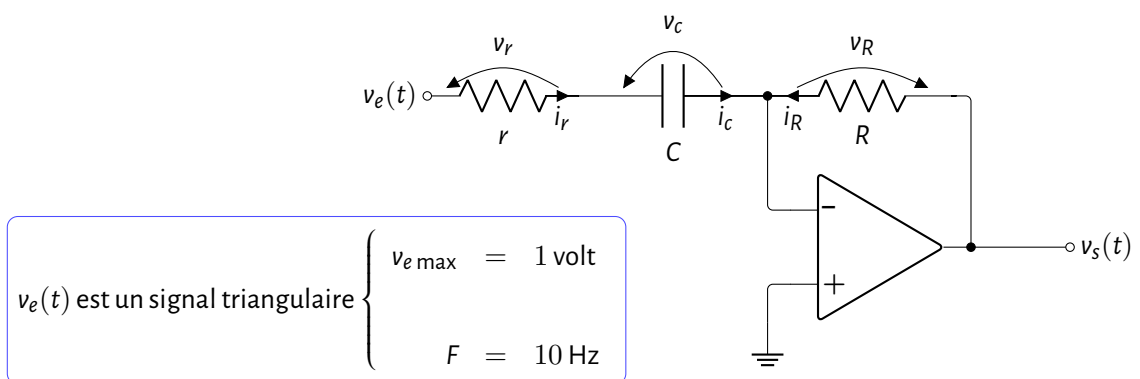
.....

.....

.....

.....

Montage N° 5 :



$$r = 47 \text{ k}\Omega \quad R = 100 \text{ k}\Omega \quad \& \quad C = 10 \text{ nF}$$



Le signal d'entrée est centré p/r à zéro.

LA FRÉQUENCE DE v_e DOIT ÊTRE INFÉRIEURE À $\frac{1}{2\pi rC}$.

Montrer que la fonction de transfert de ce montage est :

$$\begin{aligned}\mathcal{H}(s) &= \frac{\mathcal{V}_s(s)}{\mathcal{V}_e(s)}, & \text{avec: } \mathcal{V}(s) &= \mathcal{L}\{v(t)\} \\ &= -\frac{RCs}{1 + RCs}.\end{aligned}\tag{1.2}$$

.....

.....

.....

.....

.....

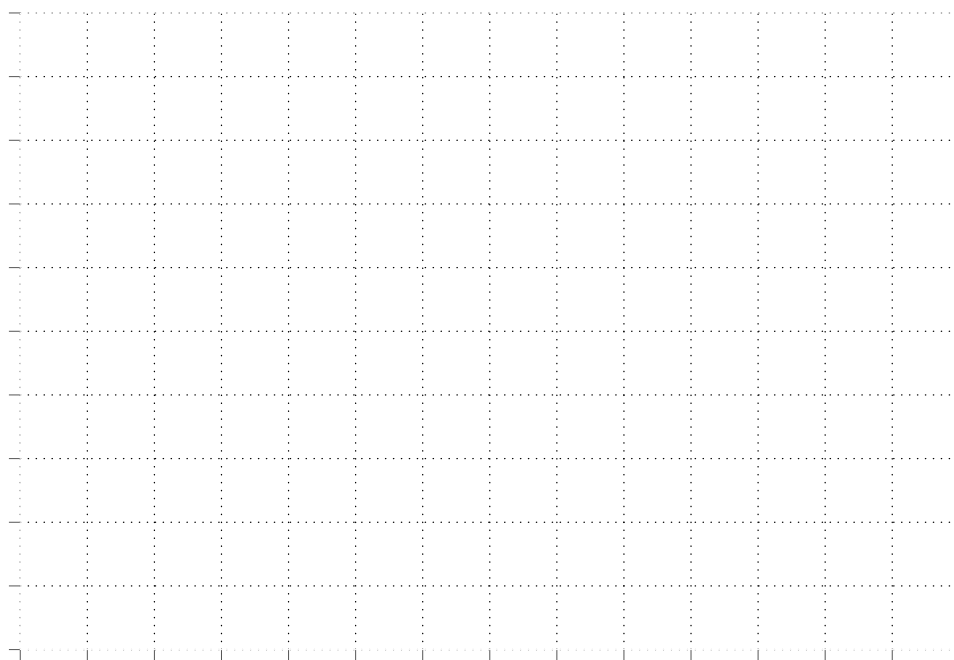
.....

.....

Tracer théoriquement les formes d'ondes de l'entrée v_e et de la sortie v_s . En indiquer clairement tous les renseignements que vous jugez intéressants (amplitude, période et rapport cyclique).

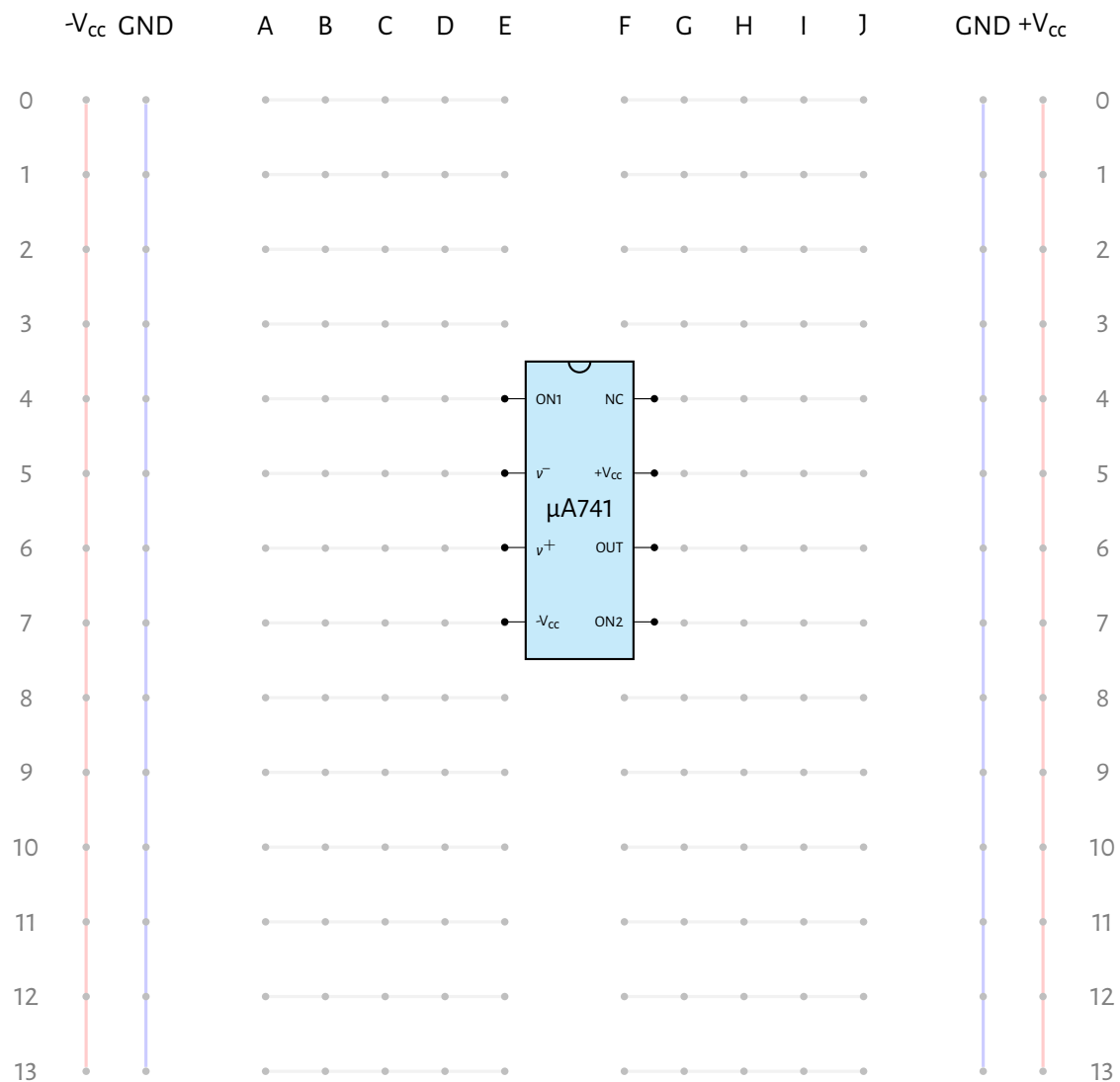
.....

.....

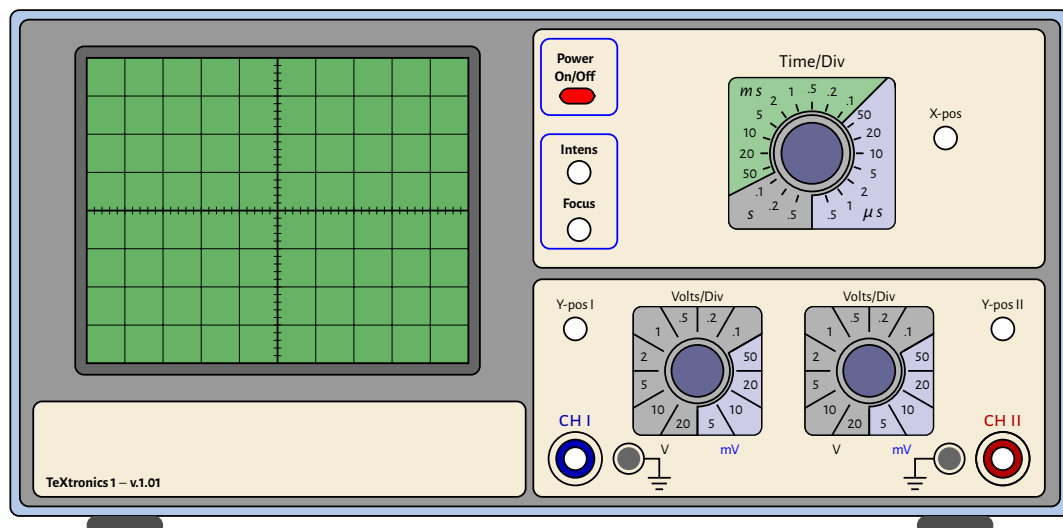


Temps (msec)

Câbler le schéma sur la plaque d'essai et reproduire votre travail sur l'image ci-dessous. Visualiser, en correspondance sur l'oscilloscope, les deux tensions v_e et v_s sur deux périodes.



L'entrée v_e et la sortie v_s sont appliquées respectivement aux canaux 1 & 2. Tracer leurs allures sur l'écran de l'oscilloscope suivant et indiquer les sensibilités *Time/Div* et *Volts/Div*.



Passer en mode **XY** de l'oscilloscope et visualiser la tension de sortie v_s en fonction la tension d'entrée v_e . Changer la tension v_e , en un signal sinusoïdal de même période. Augmenter par la suite progressivement la fréquence et noter le déphasage. Comparer et commenter les résultats trouvés et en déduire la fonction réalisée par ce montage.

.....

.....

.....

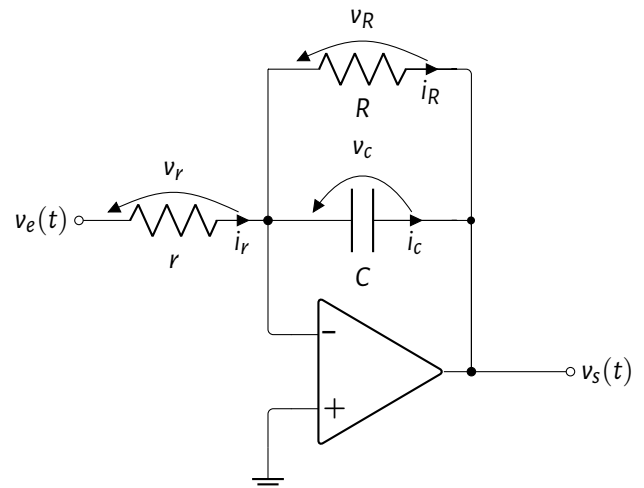
.....

.....

Montage N° 6 :

$v_e(t)$ est un signal carré $\left\{ \begin{array}{l} v_{e \max} = 1 \text{ volt} \\ F = 100 \text{ Hz} \\ \delta = 50 \% \end{array} \right.$

$r = 47 \text{ k}\Omega$ $R = 220 \text{ k}\Omega$ & $C = 10 \text{ nF}$



Le signal d'entrée est centré p/r à zéro.

LA FRÉQUENCE DE v_e DOIT ÊTRE SUPÉRIEURE À $\frac{1}{2\pi RC}$.

Montrer que la fonction de transfert de ce montage est :

$$\begin{aligned} \mathcal{H}(s) &= \frac{\mathcal{V}_s(s)}{\mathcal{V}_e(s)}, & \text{avec: } \mathcal{V}(s) &= \mathcal{L}\{v(t)\} \\ &= -\frac{R}{r} \frac{1}{1 + RCs}. \end{aligned} \quad (1.3)$$

.....

.....

.....

.....

.....

.....

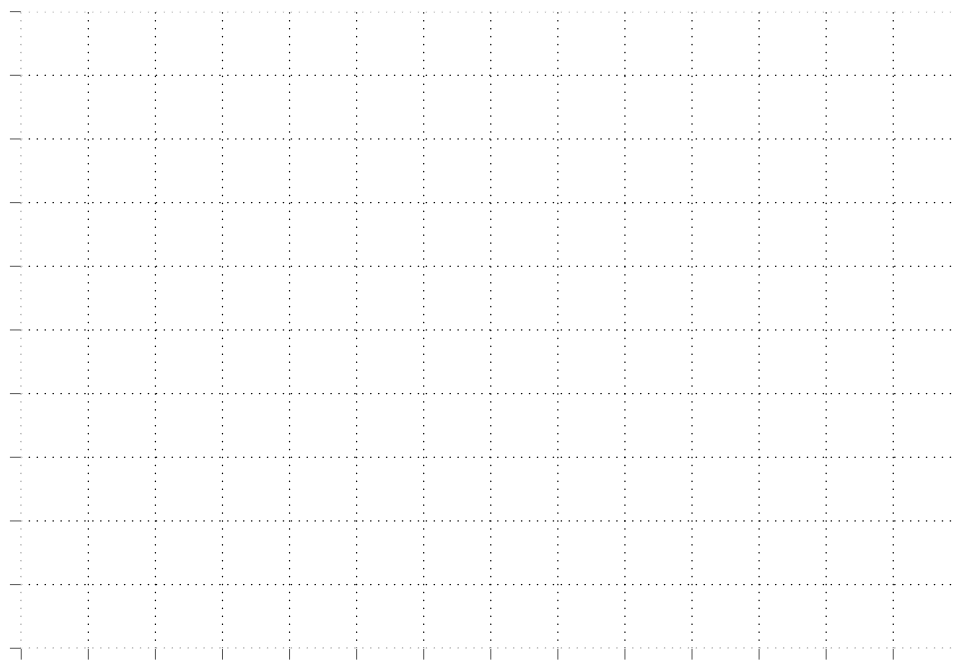
.....

.....

Tracer théoriquement les formes d'ondes de l'entrée v_e et de la sortie v_s . En indiquer clairement tous les renseignements que vous jugez intéressants (amplitude, période et rapport cyclique).

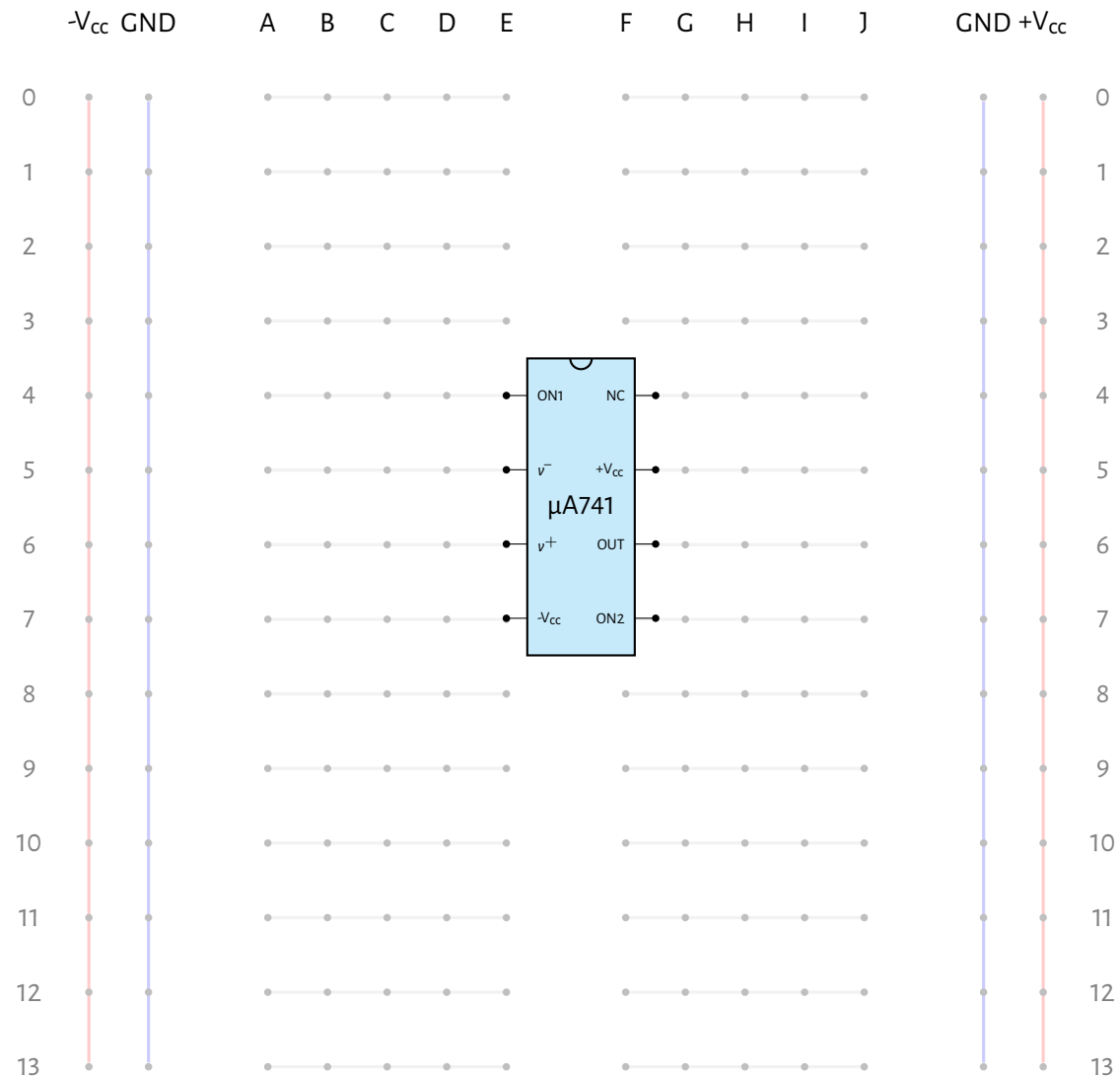
.....

.....

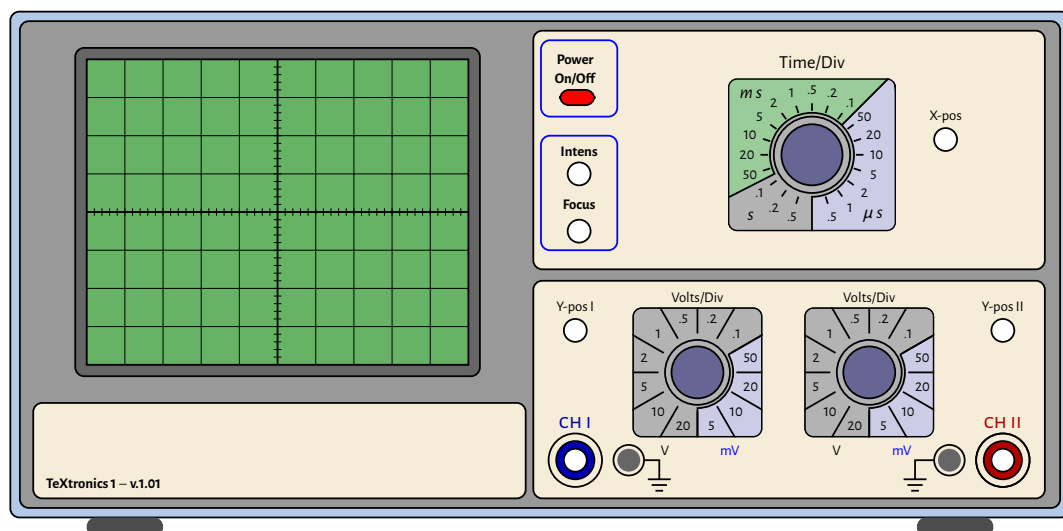


Temps (msec)

Câbler le schéma sur la plaque d'essai et reproduire votre travail sur l'image ci-dessous. Visualiser, en correspondance sur l'oscilloscope, les deux tensions v_e et v_s sur deux périodes.



L'entrée v_e et la sortie v_s sont appliquées respectivement aux canaux 1 & 2. Tracer leurs allures sur l'écran de l'oscilloscope suivant et indiquer les sensibilités *Time/Div* et *Volts/Div*.



Changer la tension v_e , en un signal sinusoïdal de même période. Passer en mode **XY** de l'oscilloscope et visualiser la tension de sortie v_s en fonction la tension d'entrée v_e . Augmenter par la suite progressivement la

fréquence et noter le déphasage. Comparer et commenter les résultats trouvés et en déduire la fonction réalisée par ce montage.

.....

.....

.....

.....

.....

2 | ALI en régime de saturation

Étudiant	.....	.....	.....

Note /20	.....	.....	.....

Critères d'évaluation

Anticipation (4 points)	.....	.....	.....
Gestion (2 points)	.....	.....	.....
Expérimentation (7 points)	.....	.....	.....
Consignation (3 points)	.....	.....	.....
Interprétation (4 points)	.....	.....	.....

Objectifs

- ★ Identifier rapidement et analyser les montages en mode non linéaire d'un AO;
- ★ Tracer la caractéristique de transfert.

Matériel utilisé (À remplir à la fin de la manipulation.)

Appareil/ Composant	Référence	Quantité
Alimentation stabilisée
GBF
Oscilloscope
Multimètre
ALI
Résistance
Condensateur



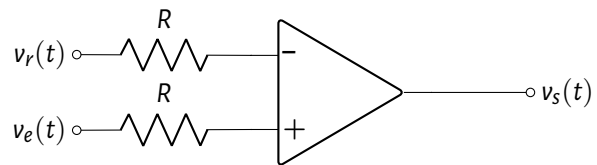
- Les deux alimentations symétriques $\pm V_{CC}$ sont omises sur les schémas, mais elles sont présentes toujours; $\pm V_{CC} = \pm 15 V$
- Il faut allumer en premier et éteindre en dernier ces deux sources d'alimentation.

Montage N° 7:

$$v_e(t) = 2 \sin(100\pi t)$$

$$v_r(t) = 0.5 \text{ V}$$

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



Décrire le fonctionnement de ce montage ainsi que les valeurs possibles prises par la sortie v_s .

.....

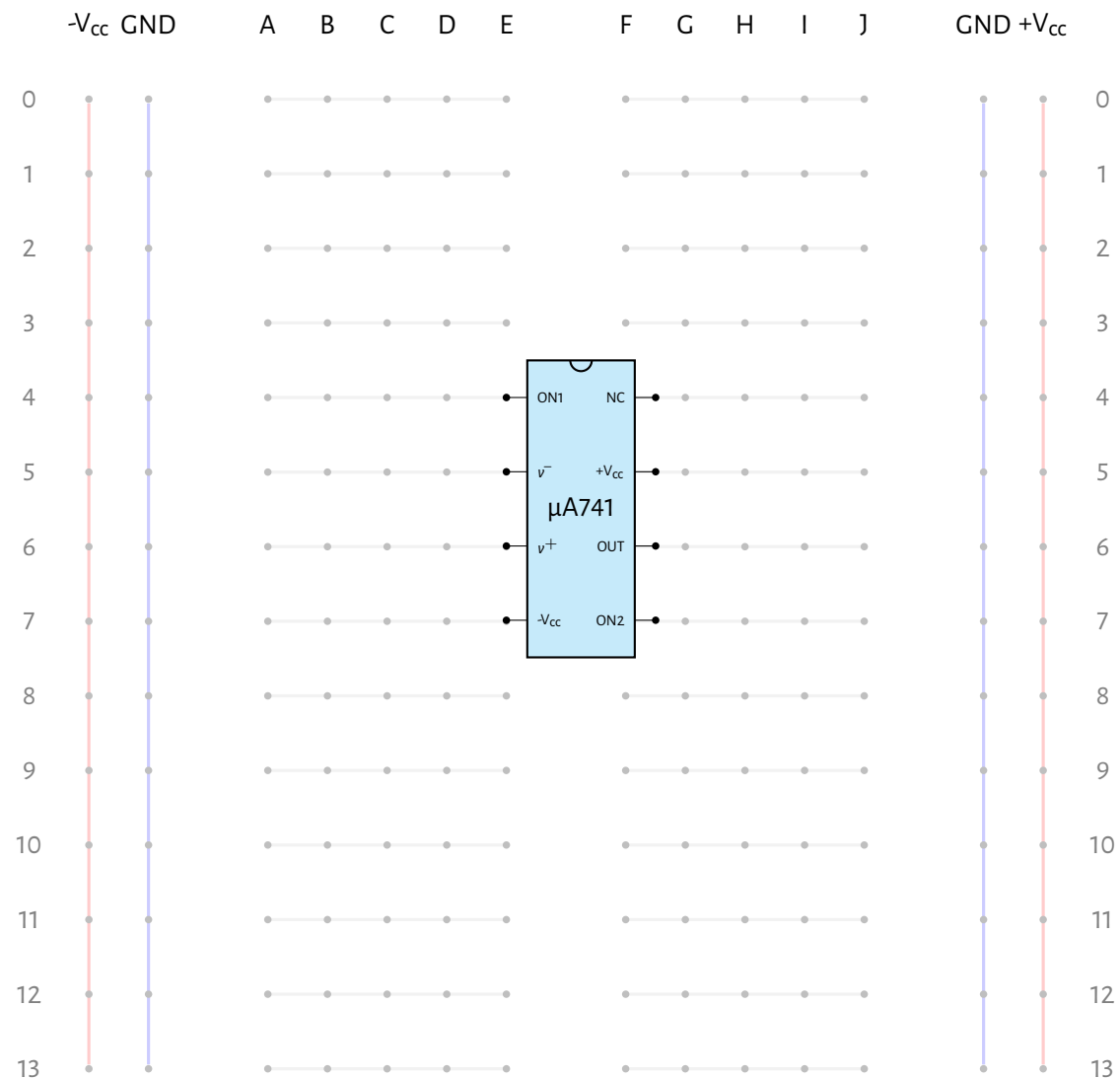
.....

.....

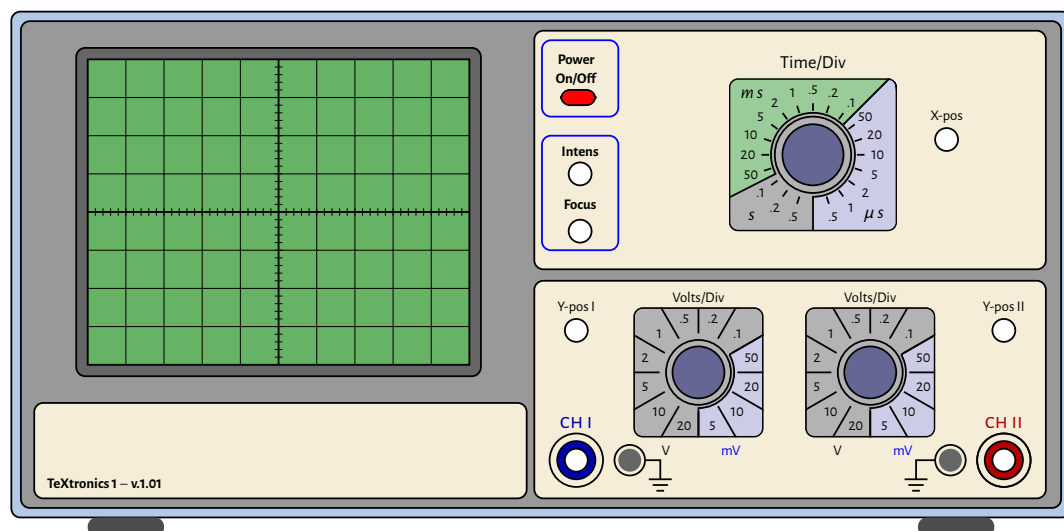
.....

.....

Câbler le schéma sur la plaque d'essai et reproduire votre travail sur l'image ci-dessous. Visualiser, en correspondance sur l'oscilloscope, les deux tensions v_e et v_s sur deux périodes.



L'entrée v_e et la sortie v_s sont appliquées respectivement aux canaux 1 & 2. Tracer leurs allures sur l'écran de l'oscilloscope suivant et indiquer les sensibilités *Time/Div* et *Volts/Div*.



Passer en mode **XY** de l'oscilloscope et visualiser la tension de sortie v_s en fonction la tension d'entrée v_e . Modifier la valeur de la tension v_r et commenter les résultats trouvés. En déduire la fonction réalisée par ce mon-

tage.

.....

.....

.....

.....

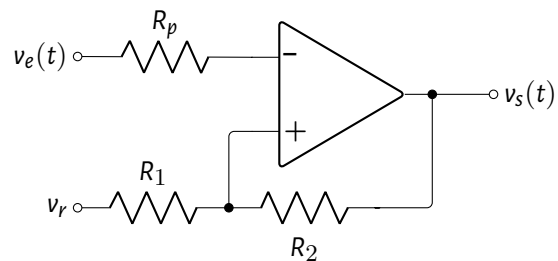
.....

Montage N° 8 :

$$v_e(t) = 7 \sin(100\pi t)$$

$$v_r(t) = 1 \text{ V}$$

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega \text{ \& } R_2 = 22 \text{ k}\Omega$$



Donner l'expression de la tension v^- .

.....

.....

Donner l'expression de la tension v^+ .

.....

.....

Déterminer la sortie v_s .

.....

.....

Tracer théoriquement la caractéristique $v_s = f(v_e)$ en précisant les deux seuils de basculement.



Déterminer théoriquement la valeur du rapport cyclique de la tension de sortie.

.....

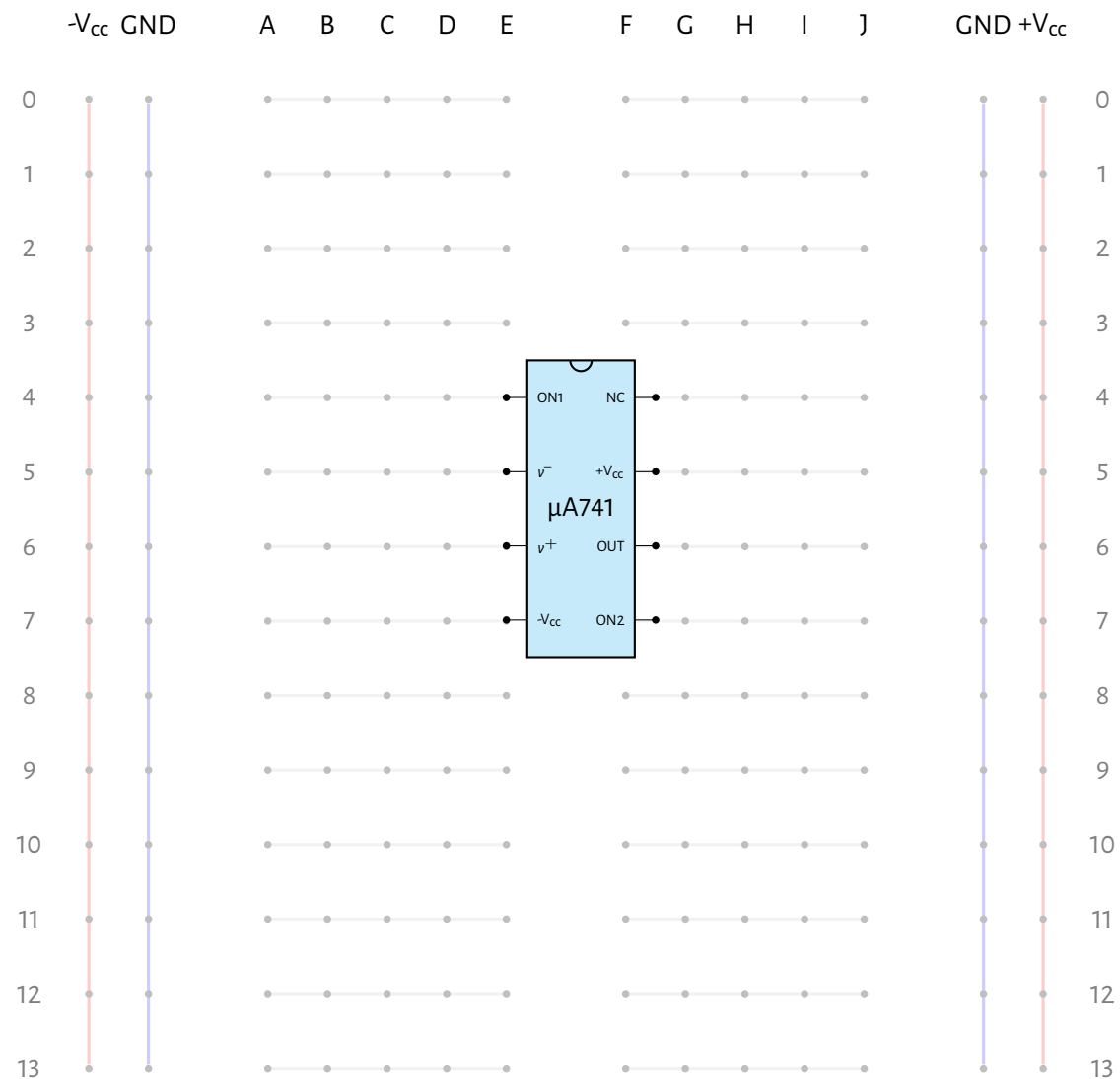
.....

.....

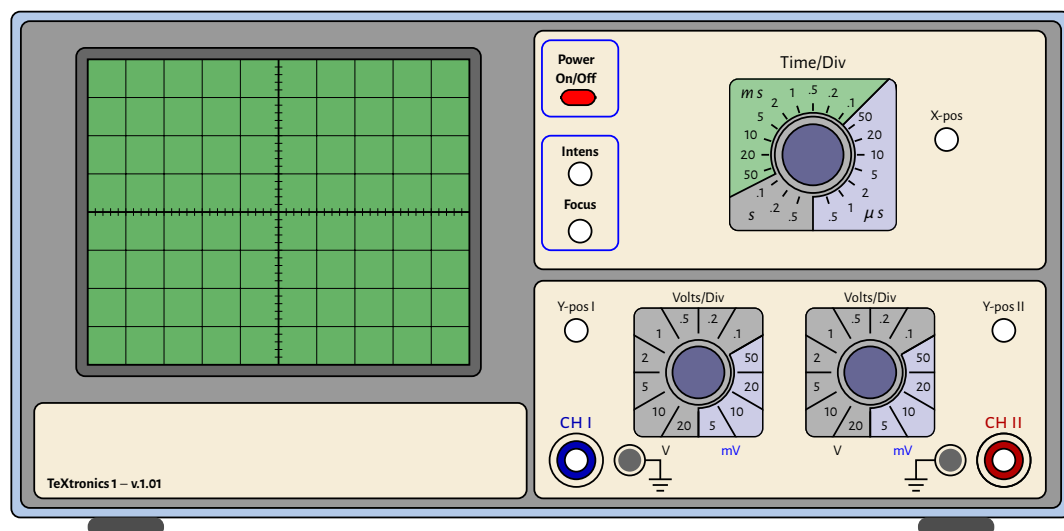
.....

.....

Câbler le schéma sur la plaque d'essai et reproduire votre travail sur l'image ci-dessous. Visualiser, en correspondance sur l'oscilloscope, les tensions v_e et v_s sur deux périodes.



L'entrée v_e et la sortie v_s sont appliquées respectivement aux canaux 1 & 2. Tracer leurs allures sur l'écran de l'oscilloscope suivant et indiquer les sensibilités *Time/Div* et *Volts/Div*.



Passer en mode **XY** de l'oscilloscope et visualiser la tension de sortie v_s en fonction la tension d'entrée v_e . Varier

la tension v_r et commenter les résultats trouvés. En déduire la fonction réalisée par ce montage.

.....

.....

.....

.....

.....

3 | Générateur de fonctions

Étudiant	.....	.....	.....

Note /20	.....	.....	.....

Critères d'évaluation

Anticipation (4 points)	.....	.....	.....
Gestion (2 points)	.....	.....	.....
Expérimentation (7 points)	.....	.....	.....
Consignation (3 points)	.....	.....	.....
Interprétation (4 points)	.....	.....	.....

Objectifs

- ★ Savoir le principe de synthèse d'un circuit oscillant;
- ★ Vérifier expérimentalement les résultats théoriques.

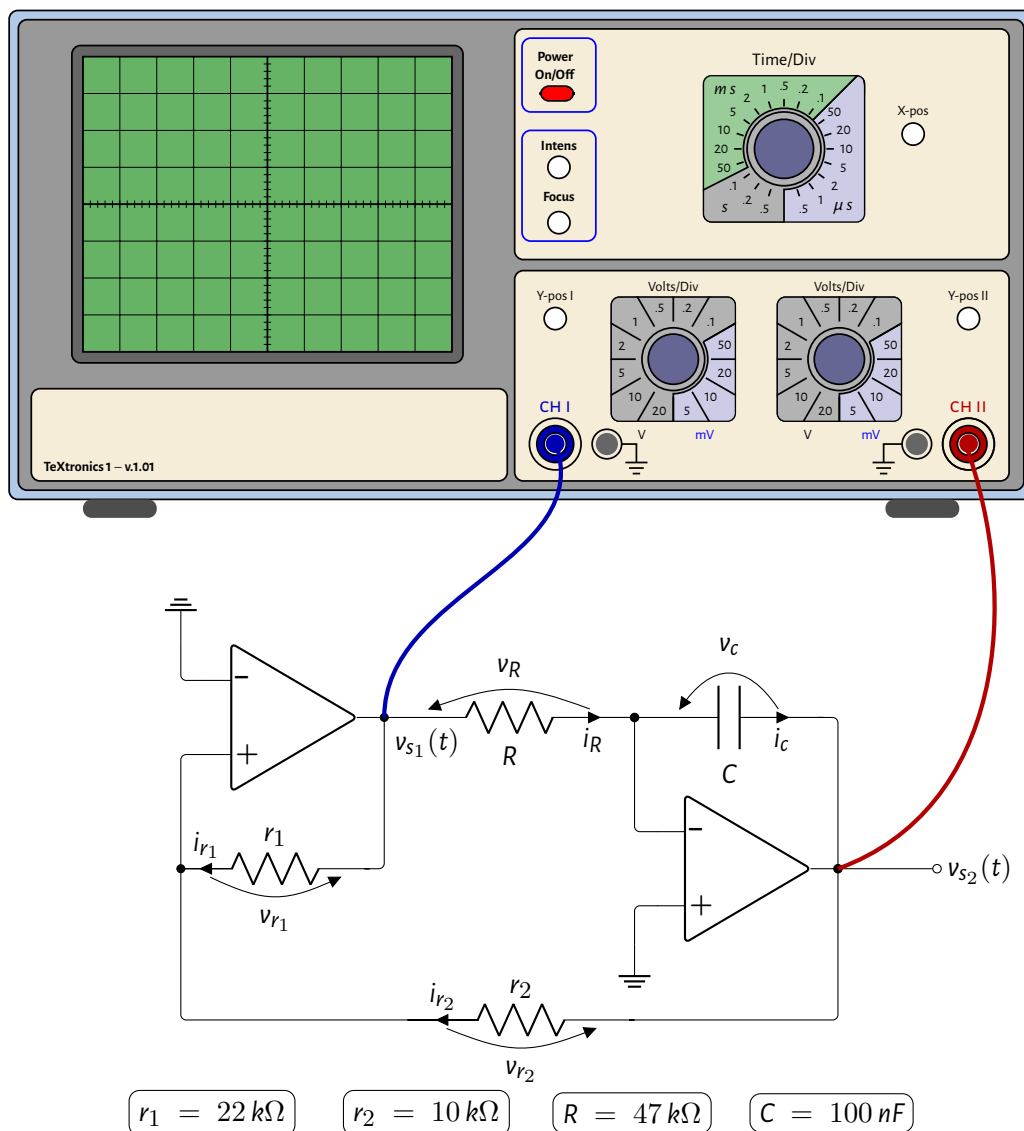
Matériel utilisé (À remplir à la fin de la manipulation.)

Appareil/ Composant	Référence	Quantité
Alimentation stabilisée
GBF
Oscilloscope
Multimètre
ALI
Résistance
Condensateur

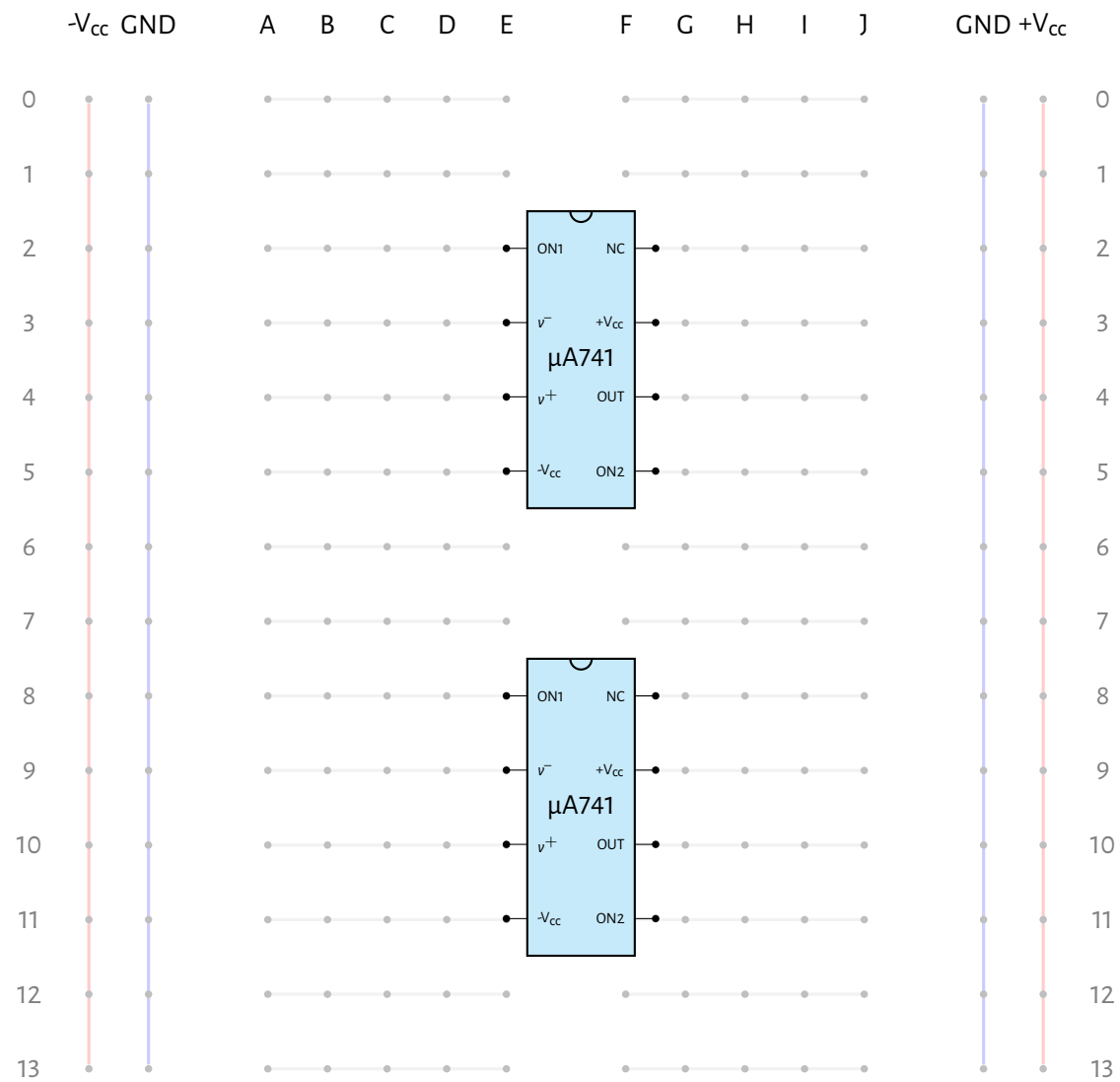


- Les deux alimentations symétriques $\pm V_{CC}$ sont omises sur les schémas, mais elles sont présentes toujours; $\pm V_{CC} = \pm 15 V$
- Il faut allumer en premier et éteindre en dernier ces deux sources d'alimentation.

Montage N° 9 :



Câbler le schéma sur la plaque d'essai et reproduire votre travail sur l'image ci-dessous. Visualiser, en correspondance sur l'oscilloscope, les deux tensions v_{s1} et v_{s2} sur deux périodes.



Donner la fonction réalisée par chacun des amplificateurs.

.....

.....

Montrer que la période de chaque signal est :

$$T = 4 \frac{r_2}{r_1} RC \quad (3.1)$$

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4 | Filtre actif

Étudiant	.....	.....	.....

Note /20	.....	.....	.....

Critères d'évaluation

Anticipation (4 points)	.....	.....	.....
Gestion (2 points)	.....	.....	.....
Expérimentation (7 points)	.....	.....	.....
Consignation (3 points)	.....	.....	.....
Interprétation (4 points)	.....	.....	.....

Objectifs

- ★ Faire l'analyse d'un filtre actif;
- ★ Tracer les diagrammes de Bode.

Matériel utilisé (À remplir à la fin de la manipulation.)

Appareil/ Composant	Référence	Quantité
Alimentation stabilisée
GBF
Oscilloscope
Multimètre
ALI
Résistance
Condensateur



- Les deux alimentations symétriques $\pm V_{CC}$ sont omises sur les schémas, mais elles sont présentes toujours; $\pm V_{CC} = \pm 15 V$
- Il faut allumer en premier et éteindre en dernier ces deux sources d'alimentation.

Montage N° 10 :

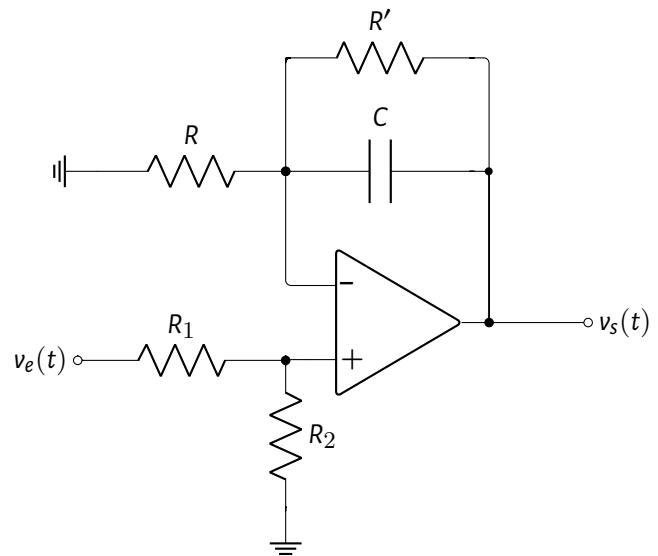
$$v_e(t) = 2 \sin(100\pi t)$$

$$R_1 = R_2 = 2.2 \text{ k}\Omega$$

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

$$R' = 100 \text{ k}\Omega$$

$$C = 10 \text{ }\mu\text{F}$$



Démontrer que la transmittance harmonique s'écrit comme suit

$$\begin{aligned} \mathcal{H}(j\omega) &= \frac{\underline{\mathcal{V}}_s(j\omega)}{\underline{\mathcal{V}}_e(j\omega)} \\ &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{R + R'}{R} \frac{1 + j \frac{RR'C}{R + R'}}{1 + jR'C\omega} \end{aligned} \quad (4.1)$$

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

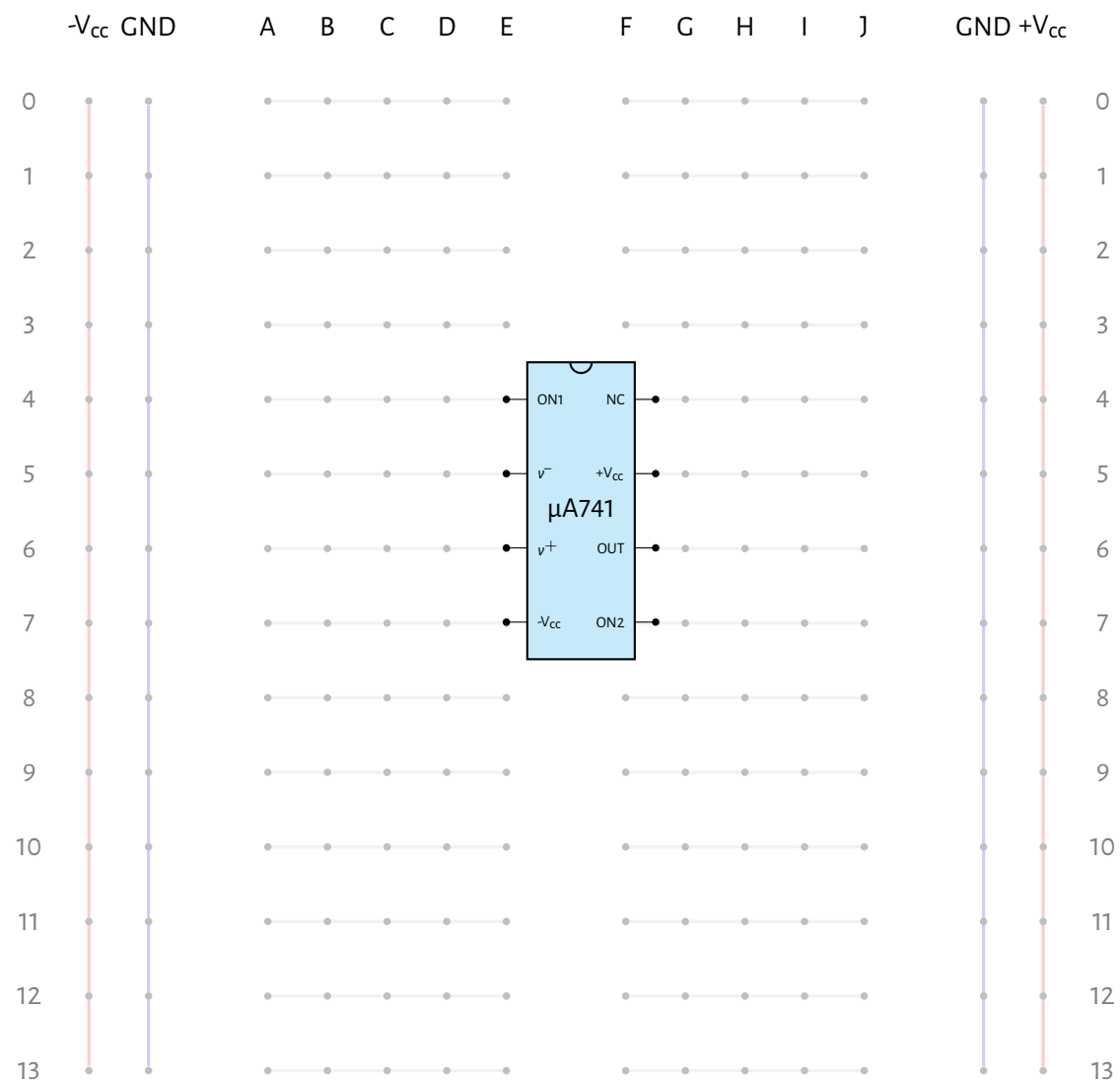
Mettre l'expression de \mathcal{H} sous la forme suivante

$$\mathcal{H}(j\omega) = K \frac{1 + \frac{1}{11} j\tau\omega}{1 + j\tau\omega}. \quad (4.2)$$

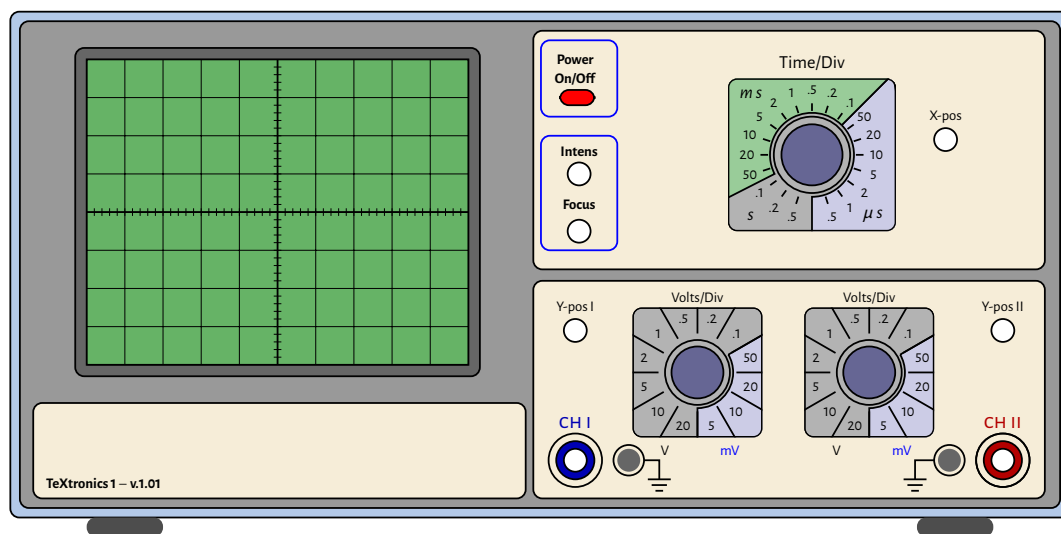
Identifier K et τ .

.....

Câbler le schéma sur la plaque d'essai et reproduire votre travail sur l'image ci-dessous. Visualiser, en correspondance sur l'oscilloscope, les deux tensions v_e et v_s sur deux périodes.



L'entrée v_e et la sortie v_s sont appliquées respectivement aux canaux 1 & 2. Tracer leurs allures sur l'écran de l'oscilloscope suivant et indiquer les sensibilités $Time/Div$ et $Volts/Div$.



Varié manuellement la fréquence de l'entrée et commenter les variations que subit la sortie v_s .

.....

.....

Utiliser le mode **AC SWEEP** du générateur pour varier la fréquence de l'entrée de 1 mHz à 1 kHz, de façon linéaire puis logarithmique, et ce pour une durée de 10 sec.

.....

.....

Garder actif le mode **AC SWEEP** du générateur, et passer en mode **XY** de l'oscilloscope et visualiser la tension de sortie v_s en fonction de la tension d'entrée v_e . Commenter les résultats trouvés.

.....

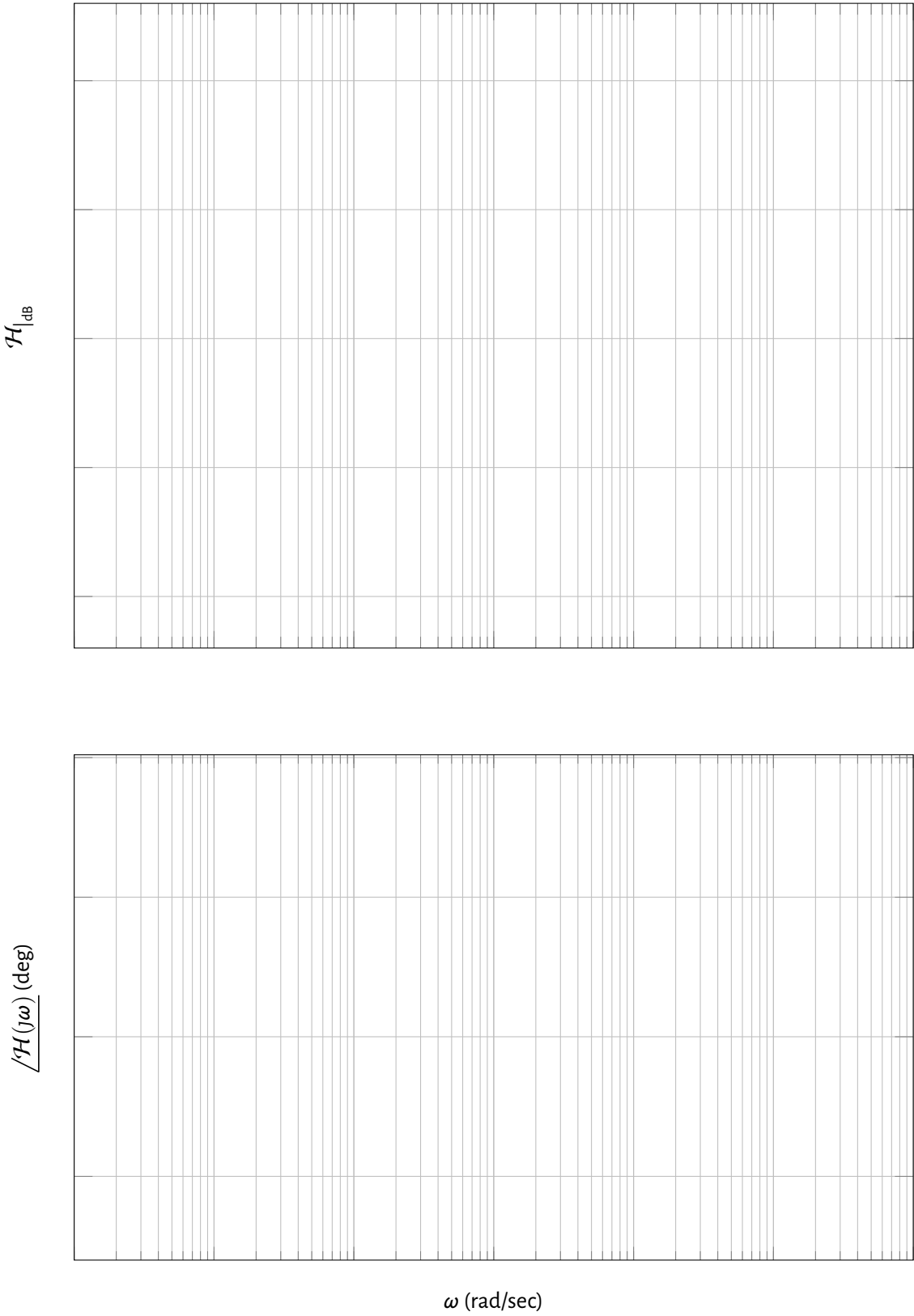
.....

.....

.....

Remplir la table suivante et tracer les diagrammes de Bode.

Fréquence en Hz F	Pulsation en rad/sec $\omega = 2\pi F$	Gain en tension $|\mathcal{H}(j\omega)| = \frac{v_{s\max}}{v_{e\max}}$	Gain en dB $\mathcal{H}_{\text{dB}} = 20 \log_{10} (|\mathcal{H}(j\omega)|)$	Déphasage en deg $\angle \underline{\mathcal{H}} = \varphi_s - \varphi_e$
10^{-3}				
10^{-2}				
0.1				
0.5				
0.8				
1				
2				
5				
8				
10				
12				
15				
100				
1000				



Le présent fascicule s'adresse aux étudiants de la spécialité **Génie Électrique**, parcours **Automatismes & Informatique Industrielle**.

Nous traitons essentiellement les parties suivantes :

① Régime linéaire d'un ALI ;

suiveur, non inverseur, inverseur, soustracteur, dérivateur & intégrateur.

② Régime de saturation d'un ALI ;

comparateur simple & trigger de Schmitt.

③ Générateur de fonctions ;

carrée, triangulaire & sinusoïdale

④ Filtre actif.

ampli-op en régime linéaire ; ampli-op en régime de saturation ; générateur de fonctions ; filtrage actif