

## Table des matières

<b>1 Filtrage linéaire</b>	<b>1</b>
1.1 Étude du filtre passe-bas du premier ordre . . . . .	1
1.2 Filtrage d'un signal sonore. . . . .	2
<b>2 Acquisition d'un signal et critère de Nyquist-Shannon</b>	<b>3</b>
2.1 Définitions . . . . .	3
2.2 Conversion analogique-numérique d'un signal. . . . .	4
<b>3 Étude de circuits à portes logiques</b>	<b>6</b>
3.1 Prise en main des portes logiques. . . . .	6
3.2 Oscillateur astable . . . . .	6
3.3 Convertisseur fréquence-tension. . . . .	6
3.4 Additionneur . . . . .	7
3.5 Bascule RS à inscription prioritaire . . . . .	8
<b>4 Pour aller plus loin : étude d'un filtre à ALI</b>	<b>9</b>
4.1 L'amplificateur linéaire intégré . . . . .	9
4.2 Une proposition de filtre : le filtre de Rauch . . . . .	10
<b>5 Annexe : fiche technique de la porte NAND CD 4011B</b>	<b>11</b>

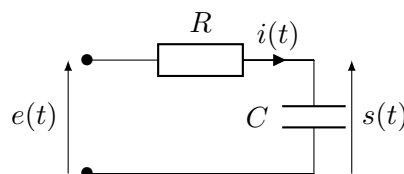
## 1 Filtrage linéaire

### 1.1 Étude du filtre passe-bas du premier ordre

#### Objectifs du TP

**Analyser** le modèle du filtre passe-bas d'ordre 1 puis **réaliser** une expérience permettant de **valider** ses conséquences théoriques.

On étudie le filtre passe-bas d'ordre 1, autrement dit le filtre  $RC$ .



On rappelle que la fonction de transfert de ce filtre vaut

$$\underline{H}(\omega) = \frac{s}{e} = \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0}} \quad \text{avec} \quad \omega_0 = \frac{1}{RC} .$$

On prendra une résistance  $R \approx 2\text{k}\Omega$  et une capacité  $C \approx 10\text{nF}$ .

▷ Tracer le diagramme de Bode en amplitude théorique.

▷ Mesurer expérimentalement  $\omega_0$ . On rappelle que pour  $\omega = \omega_0$ , on a  $|\underline{H}(\omega_0)| = 1/\sqrt{2}$ . Vérifier que cette valeur est cohérente avec le modèle théorique. Il s'agit de la pulsation de coupure à -3dB.

▷ Constater expérimentalement que pour un signal carré en entrée, pour  $\omega \gg \omega_0$ , le signal de sortie correspond à la primitive du signal d'entrée multipliée par  $\omega_0$ .

▷ Observer à l'aide de la commande FFT (pour *Fast Fourier Transform*) de l'oscilloscope numérique les transformées de Fourier des signaux d'entrée et de sortie.

## 1.2 Filtrage d'un signal sonore

### Objectifs du TP

**S'approprier** puis **analyser** une situation de filtrage analogique et numérique. **Réaliser** un filtrage d'un signal sonore.

#### 1.2.1 Filtrage analogique

On se propose de réaliser le filtrage d'un fichier sonore.

▷ Télécharger le fichier son sur la page suivante [le lien suivant](#)<sup>1</sup>.

▷ Écouter le son, que constatez vous ?

▷ À l'aide du logiciel Audacity, mesurez le spectre fréquentiel du signal sonore.

▷ Pour rendre le son audible, on souhaite réaliser un filtrage du signal. Proposer un cahier des charges adapté.

▷ Proposez un filtre d'ordre 1 répondant au cahier des charges puis le câbler. Le signal d'entrée du filtre est le signal délivré à la sortie audio de l'ordinateur, le signal de sortie est envoyé sur un haut-parleur. Câbler le montage, apprécier la qualité sonore du résultat.

▷ Comparer, via Audacity, les spectres des signaux d'entrée et de sortie, est-ce cohérent avec un filtre d'ordre 1 ?

#### 1.2.2 Filtrage numérique

On souhaite maintenant réaliser un filtrage numérique à l'aide de python.

On suppose que le signal d'entrée est représentée par une liste  $\{e_i\}$  et on note  $T_e$  le temps d'échantillonnage, soit le temps entre deux éléments de la liste.

▷ Montrer que, pour un filtre de fréquence de coupure  $f_c$ , la liste représentant le signal de sortie  $\{s_i\}$  vérifie l'équation aux différences finies

$$s_{i+1} = s_i + 2\pi f_c T_e (e_i - s_i) .$$

▷ Pour utiliser le signal sonore sous format `.wav`, on utilise les commandes python suivantes :

```
import scipy.io.wavfile as sci_wav

fs, signal = sci_wav.read("filtrage_son.wav") #fs contient la fréquence
# d'échantillonnage 1/Te
entree = signal[:,0] # Canal gauche (on n'utilise pas le stéréo), le signal est stocké
# dans une liste
```

**Remarque :** L'erreur (sans gravité) ci-dessous provient du fait que certaines informations du fichier `.wav` issu de Audacity ne sont pas comprises : `WavFileWarning: Chunk (non-data) not understood, skipping it.`

▷ Pour filtrer le signal, on définit une fonction `convert` prenant en entrée une liste et renvoie la liste ayant subi un filtrage numérique. Pour cela, remplir la ligne manquante dans la fonction suivante :

1. <https://mchampion.fr/enseignement.php>

```
import numpy as np

def convert(entree):
    sortie = np.zeros(entree.shape)
    sortie[0] = 0.0
    for i in range(1, len(entree)):
        sortie[i] = .....
    return sortie.astype('int16')
```

**Remarque :** La fonction `scipy.signal.lfilter` permet de réaliser directement le filtrage sans avoir à l'expliquer.

Pour enregistrer le signal de sortie, on utilise la commande

```
# sortie est une liste "int16", fs est la fréquence d'échantillonnage
sci_wav.write("son_filtre.wav", fs, sortie)
```

- ▷ Réaliser le filtrage pour plusieurs fréquences de coupures et analyser le son avec Audacity.
- ▷ En cas de temps, reprendre ce TP avec un filtre d'ordre 2.

## 2 Acquisition d'un signal et critère de Nyquist-Shannon

### Objectifs du TP

**S'appropriier** puis **réaliser** une acquisition numérique d'un signal analogique en respectant le critère de Nyquist-Shannon.

### 2.1 Définitions

**Définition.** Un signal **analogique** est un signal à variations continues.

C'est historiquement le premier type de signal qui a été manipulé en électronique. En séance de travaux pratiques, les signaux délivrés par les générateurs basse fréquences sont analogiques.

**Définition.** Un signal **numérique** est un signal à variations discrètes. Le signal n'est donc pas continu, une information n'est disponible que pour certains temps.

Les signaux numériques sont les seuls signaux traitables par les systèmes informatiques. En effet, un système informatique possède un espace mémoire défini par un certain nombre de bits de données.

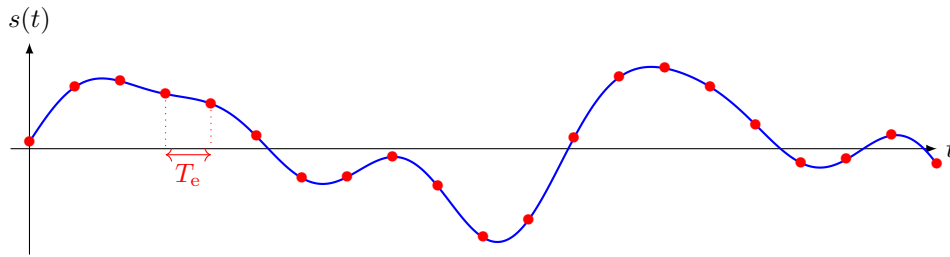
Les signaux numériques sont aujourd'hui de plus en plus répandus, la micro-électronique et l'informatisation ayant imposé ce standard. De plus, les signaux numériques ont l'avantage de souvent réduire le rapport du bruit électronique (les variations aléatoires) sur le signal.

#### 2.1.1 La fréquence d'échantillonnage

**Définition.** La **période d'échantillonnage**  $T_e$  est le temps entre deux enregistrements numériques du signal analogique comme représente figure 1.

La **fréquence d'échantillonnage** vaut  $f_e = \frac{1}{T_e}$  et s'exprime en Hertz (Hz).

Cette fréquence est le premier paramètre à fixer sur un logiciel d'acquisition de signaux sur ordinateur, et il est généralement imposé par le constructeur pour les oscilloscopes numériques.



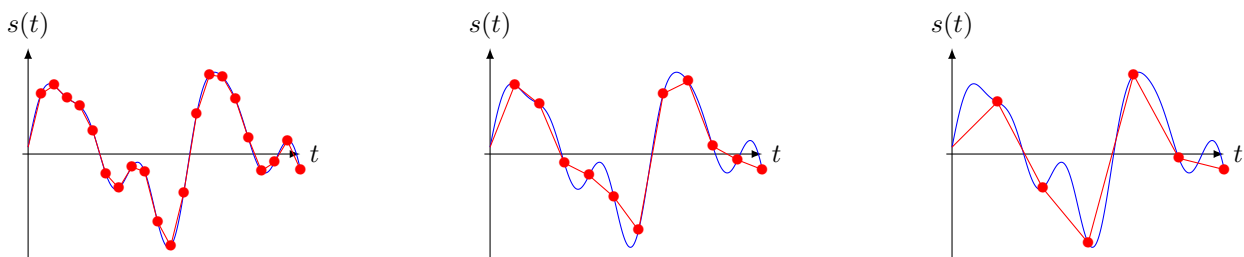
**Fig. 1** – Visualisation de la période d'échantillonnage. Le signal analogique est la fonction continue. Le signal numérique enregistré est constitué de la suite discrète des valeurs de tensions  $\{s_i\}$ , représentée par des points sur le signal. L'écart temporel entre deux points est la période d'échantillonnage.

## 2.2 Conversion analogique-numérique d'un signal

### 2.2.1 Théorème de Nyquist-Shannon

**Visualisation d'un échantillonnage :** La numérisation d'un signal a pour but de construire une copie numérique la plus fidèle possible du signal analogique.

Reprenons l'exemple du signal de la figure 1 et reconstruisons les signaux numériques pour plusieurs fréquences d'échantillonnage sur la figure 2. La reconstruction du signal numérique consiste simplement à supposer qu'entre deux points enregistrés, le signal est approximé par un signal affine.



**Fig. 2** – Tracés des signaux numériques issus d'une numérisation du signal analogique de la figure 1 pour plusieurs fréquences d'échantillonnage. On constate que plus la période d'échantillonnage augmente, moins les variations rapides du signal analogiques sont enregistrées dans le signal numérique, et moins la conversion analogique-numérique est fidèle.

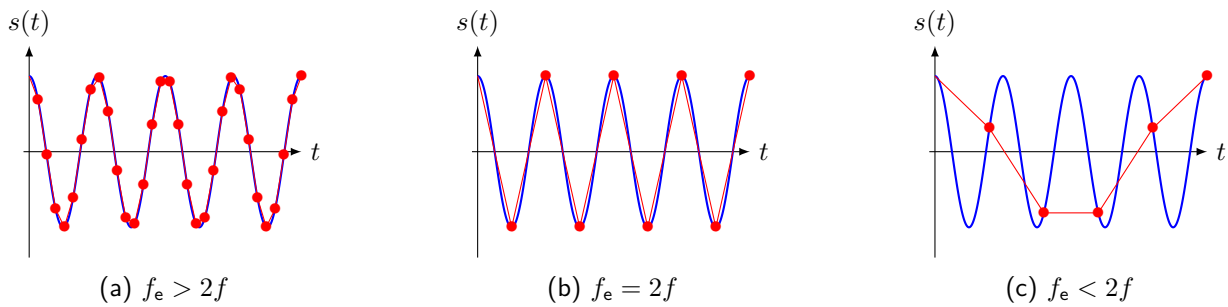
**Théorème.** La fréquence d'échantillonnage d'un signal analogique  $f_e$  doit être supérieure au moins à deux fois la fréquence maximale  $f_{\max}$  contenue dans le spectre du signal analogique pour que le signal numérique contienne toutes les fréquences du signal analogique. Il s'agit du **critère de Shannon-Nyquist**. On retiendra

$$f_e \geq 2f_{\max} .$$

**Remarque :** Ce théorème, ainsi que les résultats qui suivent, se démontrent rigoureusement mathématiquement.

**Visualisation sur un signal sinusoïdal :** Pour illustrer simplement ce théorème, considérons un signal sinusoïdal de fréquence  $f$ . Un signal quelconque est, par le théorème de Fourier, la somme de signaux sinusoïdaux. Ainsi, si toutes les composantes du spectre d'un signal sont correctement numérisées, le signal complet le sera aussi.

La figure 3 permet d'observer le phénomène. Le critère de Shannon-Nyquist impose au moins deux points de mesure par période du signal sinusoïdal, ce qui permet à minima de ne pas perdre l'information sur la fréquence de ce signal.



**Fig. 3** – Visualisation du critère de Nyquist-Shannon sur un signal sinusoïdal. Pour une fréquence d'échantillonnage exactement au critère de Nyquist-Shannon, on a un signal triangle variant à la bonne fréquence. Le contenu fréquentiel est différent, mais la fréquence fondamentale est conservée. Par contre, pour une fréquence d'échantillonnage en dessous du critère de Nyquist-Shannon, la fréquence du signal est perdue.

**Remarque :** Tous ces résultats et courbes peuvent se visualiser très rapidement expérimentalement en réalisant l'acquisition sur ordinateur d'un signal sinusoïdal fourni par un générateur basse fréquence. Il suffit de réaliser plusieurs acquisitions en modifiant la fréquence d'échantillonnage.

### Le repliement de spectre :

**Définition.** Le **repliement de spectre** (ou *aliasing* en anglais) est un phénomène qui introduit dans un signal échantillonné des fréquences qui ne devraient pas s'y trouver lorsque le critère de Nyquist-Shannon n'est pas respecté.

Le phénomène de repliement de spectre se comprend sur la figure 3c. En effet, le signal numérique varie plus lentement que le signal analogique. Ainsi, le spectre du signal numérique contient des fréquences largement inférieures à la fréquence du signal analogique.

### Travail expérimental :

▷ À l'aide du GBF, générer un signal sinusoïdal.

▷ Acquérir ce signal à l'aide de la carte d'acquisition en respectant ou non le critère de Nyquist-Shannon. Calculer le spectre du signal à l'aide du logiciel d'acquisition.

#### 2.2.2 Conversion numérique-analogique

En général, lors d'une chaîne d'information, un signal est d'abord numérisé puis transporté et enfin reconverti en signal analogique. C'est par exemple ce qui se passe lors du transport d'un signal sonore : le son analogique est enregistré à l'aide d'un micro, puis converti numériquement pour son transport, puis enfin est reconverti en signal analogique pour être écouté.

Pour convertir un signal analogique en signal numérique, puis reconvertir celui-ci en signal analogique, il faut donc que les spectres de tous les signaux soient les plus proches possibles. On a vu que si le critère de Nyquist-Shannon n'est pas respecté, le repliement de spectre fait apparaître des fréquences indésirables.

Considérons donc un signal numérisé en vérifiant le critère de Shannon. Le signal physique, tel qu'il est enregistré dans la mémoire de l'ordinateur, est un signal discret. Son spectre est donc différent de celui du signal analogique, qui lui est un signal continu.

On peut montrer que le spectre du signal numérique contient des harmoniques autour de la fréquence d'échantillonnage  $f_e$  et de ses multiples  $nf_e$ . Il s'agit d'un résidu spectral de l'opération de numérisation. Si le critère de Nyquist-Shannon est largement respecté, ce qui est toujours souhaitable, alors cette fréquence est très grande devant toutes les fréquences contenues dans le spectre du signal analogique.

Ainsi, si l'on souhaite reconstituer le signal analogique à partir du signal numérique, il faut d'abord filtrer ces hautes fréquences. Pour cela, on utilise un filtre passe-bas (numérique ou analogique) qui fait disparaître ces fréquences dues à l'échantillonnage.

## 3 Étude de circuits à portes logiques

### 3.1 Prise en main des portes logiques

#### Objectifs du TP

**Réaliser** un montage simple permettant de **valider** la table de vérité d'une porte NAND. **Analyser** et **s'approprier** une fiche technique.

On utilise des portes NAND CD 4011 B. Pour des détails sur leur utilisation, il est nécessaire de se reporter à la fiche technique reproduite au paragraphe 5 à la page 11.

▷ Étudier la fiche technique et indiquer quelle tension valeur mettre pour alimenter la porte. Réaliser le montage sur une plaquette d'essai.

La tension d'alimentation de la porte peut servir, à l'aide de différents fils, pour réaliser l'état haut de la porte. L'état bas est réalisé par une absence de tension. On prendra une tension d'alimentation de 5 V.

▷ Réaliser différentes combinaisons de tension d'entrée. Mesurer au voltmètre la tension en sortie de la porte. Vérifier que la table de vérité de la porte NAND est bien vérifiée.

#### 3.1.1 Rappel des montages à porte NAND permettant de réaliser les opérations élémentaires

On peut utiliser la seule porte NAND pour réaliser toutes les opérations élémentaires. Les circuits correspondant sont représentés figure 4.

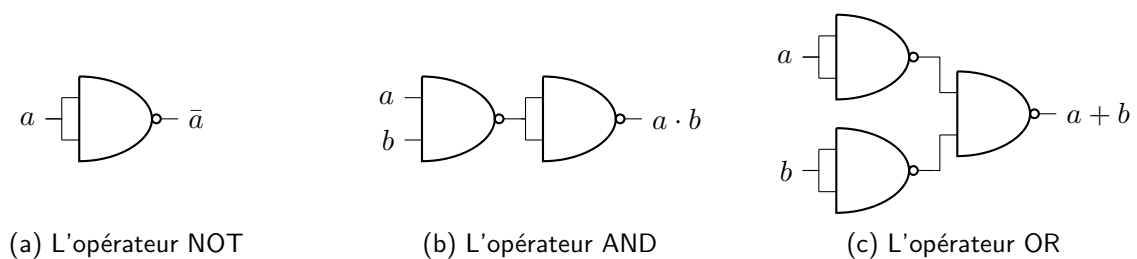


Fig. 4 – Opérateurs élémentaires uniquement avec la porte NAND

### 3.2 Oscillateur astable

#### Objectifs du TP

**Analyser** puis **réaliser** un oscillateur astable.

Le circuit de l'oscillateur astable est reproduit figure 5. La période d'oscillation de ce circuit est théoriquement de  $6\tau$ , avec  $\tau$  le temps de commutation de la porte.

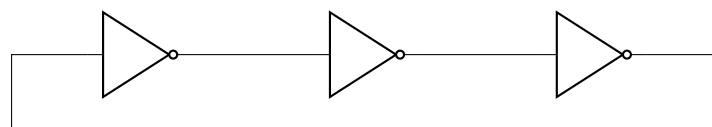


Fig. 5 – Circuit astable composé de portes NOT.

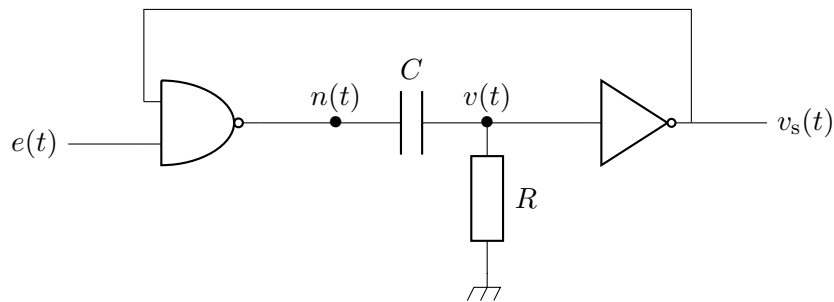
▷ À l'aide de l'équivalence entre une porte NOT et une porte NAND, réaliser le circuit de l'oscillateur astable puis observer les signaux à l'oscilloscope.

### 3.3 Convertisseur fréquence-tension

#### Objectifs du TP

**Analyser** puis **réaliser** un convertisseur fréquence-tension. **Valider** une relation linéaire entre la fréquence du signal d'entrée et la valeur moyenne du signal de sortie.

On étudie le convertisseur fréquence-tension représenté figure 6.



**Fig. 6** – Convertisseur fréquence tension.

On prendra  $C = 10 \text{ nF}$  et  $R = 10 \text{ k}\Omega$ .

- ▷ Réaliser le circuit électrique correspondant. La porte NOT sera réalisée à l'aide d'une porte NAND.
- ▷ Imposer un état quelconque en entrée du circuit et vérifier que la sortie est toujours dans un état haut constant.

On cherche à étudier la bascule du système dans l'état instable correspondant à la sortie en état bas.

- ▷ Mettre en entrée du circuit un signal créneau généré par un GBF. Ce signal doit avoir comme état bas  $0 \text{ V}$  et comme état haut la valeur de la tension d'alimentation de la porte NAND. Observer le signal de sortie à l'oscilloscope.
- ▷ Modifier le rapport cyclique du créneau (« duty ») et vérifier que le temps passé dans l'état bas est constant quel que soit le temps passé en entrée dans l'état bas.
- ▷ Réaliser un filtre moyenneur approprié après le signal sortie et montrer expérimentalement que la valeur de tension de sortie est reliée à la fréquence du signal créneau d'entrée.

## 3.4 Additionneur

### 3.4.1 Porte XOR

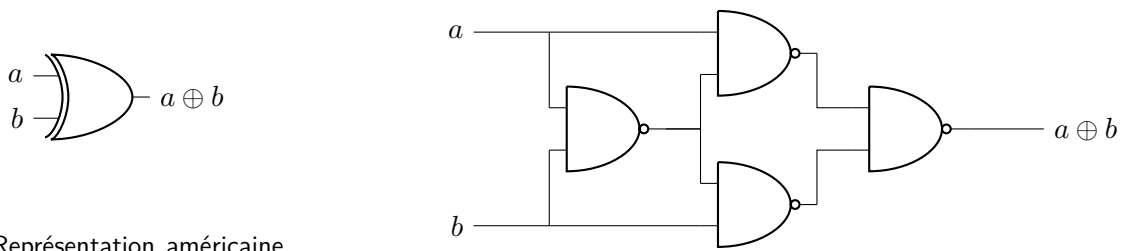
#### Objectifs du TP

Réaliser et valider une porte XOR à l'aide de porte NAND.

On rappelle que l'opérateur XOR agit sur deux variables d'entrées  $a$  et  $b$ . La porte renvoie 1 si l'une ou l'autre (mais pas les deux) valent 1. On note sa sortie  $a \oplus b$ . Sa table de vérité est représentée table 1. La représentation de la porte XOR est donnée figure 7a.

$a$	$b$	$a \oplus b$
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0

**Tab. 1** – Table de vérité de la porte XOR



(a) Représentation américaine de la porte NOR

(b) Représentation équivalente de la porte XOR à l'aide de portes NAND

**Fig. 7** – Représentations schématiques de la porte XOR

La porte XOR peut être décomposée à l'aide des opérations élémentaires comme représenté figure 7b.

- ▷ Montrer théoriquement que la représentation de la figure 7b est bien équivalente à une porte XOR.
- ▷ Réaliser expérimentalement le montage de la figure 7b et vérifier que la table de vérité du tableau 1 est vérifiée.

### 3.4.2 Montage

**Objectifs du TP**

**Analyser** un modèle d'additionneur binaire et le **réaliser**.

On souhaite additionner deux binaires  $a$  et  $b$ . On a  $a + b = (du)$  avec  $d = a \cdot b$  et  $u = a \oplus b$ .

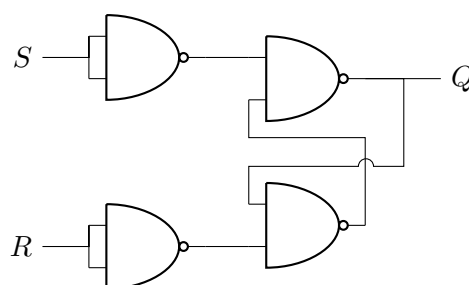
- ▷ Proposer un schéma électrique pour cette additionneur avec uniquement des portes NAND.
- ▷ Réaliser ce circuit et vérifier que l'additionneur fonctionne correctement.

### 3.5 Bascule RS à inscription prioritaire

**Objectifs du TP**

**Réaliser** et **valider** une bascule RS à inscription prioritaire à l'aide de portes NAND.

On rappelle qu'une bascule RS à inscription prioritaire peut être réalisée à l'aide de portes NAND à l'aide du schéma électrique de la figure 8.



**Fig. 8** – Bascule RS à inscription prioritaire

- ▷ Réaliser expérimentalement le schéma électrique de la figure 8.
- ▷ Vérifier que ce montage vérifie les principes de la mise en mémoire de la bascule RS :
  - lorsque l'entrée  $S$  passe à 1, la sortie  $Q$  passe à 1 ;
  - cette sortie reste à 1 quelle que soit la valeur de  $S$  ;
  - lorsque l'entrée  $R$  passe à 1, la sortie  $Q$  passe à 0.



## 4 Pour aller plus loin : étude d'un filtre à ALI

### Objectifs du TP

Analyser et s'approprier un circuit à ALI à l'aide de documents. Réaliser et valider un modèle de filtre.

#### 4.1 L'amplificateur linéaire intégré

##### 4.1.1 Présentation

L'amplificateur linéaire intégré (ou amplificateur opérationnel) est un **composant actif**. Autrement dit, il doit être alimenté électriquement pour fonctionner et peut fournir de l'énergie au système. Cette alimentation électrique ne fait pas partie explicitement du montage électrique mais ne doit pas être oubliée, tout comme les alimentations des GBF ou des oscilloscopes par exemple.

L'ALI est modélisé par un bloc à trois connexions

- ▷ une entrée  $V_+$ , dite « non inverseuse » ;
- ▷ une entrée  $V_-$ , dite « inverseuse » ;
- ▷ une sortie  $V_s$ .

**Remarque :** Le composant électronique réel est un composant à « huit pattes », dont seules sept sont actives. Deux supplémentaires sont celles des entrées  $\pm 15\text{ V}$  et les deux autres peuvent permettre de régler des éventuels tensions de décalages ("offset").



Fig. 9 – Schématisations de l'ALI.

##### 4.1.2 Le modèle idéal de l'ALI

Au vu des ordres de grandeurs temporels précédents, on admet que l'on peut simplifier le modèle de l'ALI à un modèle idéal. On peut généraliser des exemples précédents les règles suivantes :

- ▷ soit l'ALI a une rétroaction positive, le régime transitoire est instable et l'ALI fonctionne en régime saturé ;
- ▷ soit l'ALI a une rétroaction négative, le régime transitoire est stable et l'ALI peut fonctionner en régime linéaire. Par ailleurs, on trouve que  $V_+ = V_-$ .

De plus, lorsque l'ALI n'a pas de rétroaction, la gamme possible pour le régime linéaire est très faible, de l'ordre de 0.1 mV. Au vu des dispositifs électroniques utilisés, le bruit ambiant sera bien souvent de cet ordre de grandeur. Le régime linéaire sans rétroaction est impossible à atteindre.

Un ALI idéal est modélisé par

- ▷ une résistance d'entrée  $R_e$  infinie, ainsi les courants d'entrée sont nuls soit

$$i_+ = i_- = 0 ;$$

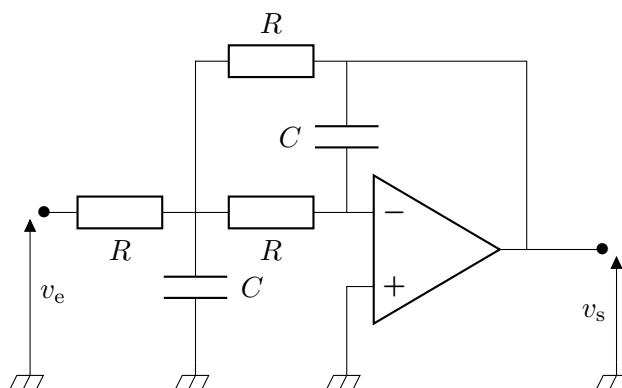
- ▷ une résistance de sortie  $R_s$  nulle et l'existence d'un courant de saturation  $i_{\text{sat}}$  en sortie ;
- ▷ **en cas de rétroaction de la sortie sur l'entrée négative de l'ALI**, le régime linéaire est possible, et dans ce cas

$$\varepsilon = V_+ - V_- = 0 ;$$

- ▷ **en cas de rétroaction de la sortie sur l'entrée positive de l'ALI ou s'il n'y a pas de rétroaction**, le régime saturé est atteint et

$$V_s = +V_{\text{sat}} \text{ si } \varepsilon > 0 \quad \text{et} \quad V_s = -V_{\text{sat}} \text{ si } \varepsilon < 0 .$$

## 4.2 Une proposition de filtre : le filtre de Rauch



**Fig. 10** – Filtre étudié

On prend  $R = 1 \text{ k}\Omega$  et  $C = 10 \text{ nF}$ .

▷ En utilisant les informations du paragraphe 4.1, indiquer si l'ALI de la figure 10 est en fonctionnement linéaire ou saturé.

▷ En utilisant les équivalents haute et basse fréquences des dipôles, indiquer la nature plausible de ce filtre.

▷ Réaliser le montage de la figure 10. Consulter la fiche technique de l'ALI pour réaliser les branchements.

**Remarque :** Si nécessaire, la fiche technique peut être trouvée sur Internet à l'aide de la référence de l'ALI notée sur celui-ci.

▷ Vérifier expérimentalement le type de fonctionnement du filtre.

▷ En cas de temps, calculer théoriquement la fonction de transfert du filtre et vérifier expérimentalement que la bande passante est compatible avec le modèle théorique.

## 5 Annexe : fiche technique de la porte NAND CD 4011B



Data sheet acquired from Harris Semiconductor  
SCHS021

### CD4011B, CD4012B, CD4023B Types

#### CMOS NAND GATES

High-Voltage Types (20-Volt Rating)

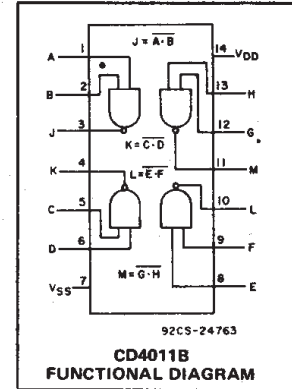
- Quad 2 Input – CD4011B
- Dual 4 Input – CD4012B
- Triple 3 Input – CD4023B

■ CD4011B, CD4012B, and CD4023B NAND gates provide the system designer with direct implementation of the NAND function and supplement the existing family of CMOS gates. All inputs and outputs are buffered.

The CD4011B, CD4012B, and CD4023B types are supplied in 14-lead hermetic dual-in-line ceramic packages (D and F suffixes), 14-lead dual-in-line plastic packages (E suffix), and in chip form (H suffix).

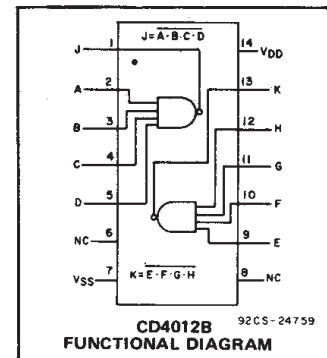
**Features:**

- Propagation delay time = 60 ns (typ.) at  $C_L = 50 \text{ pF}$ ,  $V_{DD} = 10 \text{ V}$
- Buffered inputs and outputs
- Standardized symmetrical output characteristics
- Maximum input current of  $1 \mu\text{A}$  at 18 V over full package temperature range; 100 nA at 18 V and 25°C
- 100% tested for quiescent current at 20 V
- 5-V, 10-V, and 15-V parametric ratings
- Noise margin (over full package temperature range):
  - 1 V at  $V_{DD} = 5 \text{ V}$
  - 2 V at  $V_{DD} = 10 \text{ V}$
  - 2.5 V at  $V_{DD} = 15 \text{ V}$
- Meets all requirements of JEDEC Tentative Standard No. 13B, "Standard Specifications for Description of "B" Series CMOS Devices"



**MAXIMUM RATINGS, Absolute-Maximum Values:**

DC SUPPLY-VOLTAGE RANGE, ( $V_{DD}$ )	-0.5V to +20V
Voltages referenced to $V_{SS}$ Terminal)	
INPUT VOLTAGE RANGE, ALL INPUTS	-0.5V to $V_{DD} + 0.5\text{V}$
DC INPUT CURRENT, ANY ONE INPUT	$\pm 10\text{mA}$
POWER DISSIPATION PER PACKAGE ( $P_D$ ):	
For $T_A = -55^\circ\text{C}$ to $+100^\circ\text{C}$	500mW
For $T_A = +100^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$	Derate Linearly at 12mW/°C to 200mW
DEVICE DISSIPATION PER OUTPUT TRANSISTOR	
FOR $T_A = \text{FULL PACKAGE-TEMPERATURE RANGE (All Package Types)}$	100mW
OPERATING-TEMPERATURE RANGE ( $T_A$ )	$-55^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$
STORAGE TEMPERATURE RANGE ( $T_{stg}$ )	$-65^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$
LEAD TEMPERATURE (DURING SOLDERING):	
At distance $1/16 \pm 1/32$ inch (1.59 $\pm$ 0.79mm) from case for 10s max	$+265^\circ\text{C}$



**RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS**

For maximum reliability, nominal operating conditions should be selected so that operation is always within the following ranges:

CHARACTERISTIC	LIMITS		UNITS
	MIN.	MAX.	
Supply-Voltage Range (For $T_A = \text{Full Package Temperature Range}$ )	3	18	V

**TERMINAL ASSIGNMENTS**

