

TD8

## TD 8 / CONVERTIR UN SIGNAL ANALOG. EN DONNÉES NUM.

Correction

### Exercice 1 - Conversion de signaux courants

#### Notions abordées

- ▷ rappel des fréquences mises en jeu dans les signaux habituels

### Signal audio

1. Rappeler l'intervalle de fréquences des signaux audibles par l'être humain.

#### Réponse

Entre 20 Hz et 20 kHz.

2. Quelle est la fréquence minimale pour échantillonner correctement un signal audio ?

#### Réponse

Afin de respecter le critère de Nyquist-Shannon, à savoir qu'il faut au moins échantillonner 2 points par période d'un signal pour pouvoir le reconstituer fidèlement, il faut une fréquence d'échantillonnage supérieure à 40 kHz.

Les signaux audio « classiques » (CD audio par exemple) sont échantillonnés à une fréquence  $F_{Eclassique} = 44.1$  kHz et chaque échantillon est codé sur 16 bits.

Les signaux HRA (Audio Haute Résolution) sont échantillonnés à une fréquence  $F_{EHRA1} = 96$  kHz ou  $F_{EHRA2} = 192$  kHz et chaque échantillon est codé sur 24 bits.

3. Ces fréquences sont-elles bien choisies ?

#### Réponse

Elles respectent toutes le critère de Nyquist-Shannon, puisque  $F_E > 40$  kHz.

4. Combien de niveau logique diff  rent y a-t-il pour chacune de ces normes ?

#### Réponse

Pour la version « classique », on a  $2^{16}$  niveaux logiques différents (soit 65536 niveaux).

Pour la version HRA, on a  $2^{24}$  niveaux logiques différents (soit plus de 16 millions de niveaux).

5. Quelle quantité d'espace numérique (en octets) faut-il prévoir pour stocker une heure de données sonores :

- (a) au format « classique », stéréo ?

#### Réponse

En stéréo, il y a 2 voies. On les échantillonne chacune à 44100 Hz, soit 44100 échantillons par seconde de 16 bits chacun.

La quantité de données est alors de :

$$DATA = 2(voies) \cdot 16(bits) \cdot 44100(ech/s) \cdot 3600(s)/8(bits) = 635.04 \text{ Mo}$$

- (b) au format HRA-192, en 5.1 ?

#### Réponse

En 5.1, il y a 6 voies. On les échantillonne chacune à 192000 Hz, soit 192000 échantillons par seconde de 24 bits chacun.

La quantité de données est alors de :

$$DATA = 6(voies) \cdot 24(bits) \cdot 192000(ech/s) \cdot 3600(s)/8(bits) = 12.5 \text{ Go}$$

## Signal vidéo

On s'intéresse au capteur **CMV50000** de la société *CMOSIS*, capteur 8K@30fps - au prix d'environ 3500\$ (juin 2018) dont la documentation est donnée en annexe.

#### Complément d'information

On peut rappeler le principe d'un capteur CMOS = ensemble de photodiodes et leur système d'amplification. Le tout est lié à plusieurs convertisseurs analogique/numérique en parallèle.

1. Quelle est la taille de l'image de ce capteur ? Combien cela fait-il de pixels ?

#### Réponse

On peut lire dans la documentation : 7920 (H) x 6004 (V) soit un total de 47.5 millions de pixels.

2. Combien de convertisseurs analogique-numérique embarquent ce capteur ? Quelle est la résolution des ADC ?

#### Réponse

Le constructeur annonce : **22 LVDS at 830 Mbps** comme sortie. Cela correspond à **22 convertisseurs** placés en parallèle.

On trouve également que le nombre d'électrons récupérés en sortie en **pleine échelle** (Full well charge) est de 14500 e<sup>-</sup>. On a également le taux de conversion de 0.272 DN/e. On a alors que la pleine échelle est d'environ 3950 DN. Cela correspond bien aux 12 bits annoncés par le constructeur.

#### Complément d'information

On peut rappeler ici que les capteurs CMOS sont des matrices de photodiodes qui transforment un flux lumineux en électrons.

3. La vitesse de transfert donnée est-elle suffisante pour prendre des images en 8K (7680 x 4320 pixels) à 30 images/seconde ?

### Réponse

Pour une image en 8K, soit 7680 x 4320 pixels, chacun codé sur 12 bits, à 30 images/seconde, cela donne :

$$DATA = 7680 \cdot 4320 \cdot 12(bits) \cdot 30(fps) = 11.94 \text{ Gbps} = 1.5 \text{ Gops}$$

Comme il y a 22 sorties en parallèle, chacune produit donc un flux de donnée de :  $DATA_{LVDS} = DATA/22 = 543 \text{ Mbps} = 68 \text{ Mops}$ .

### Exercice 2 - Système numérique

#### Notions abordées

- ▷ étude d'un signal échantillonné
- ▷ critère de Shannon-Nyquist

Que peut-on dire des signaux suivants ?

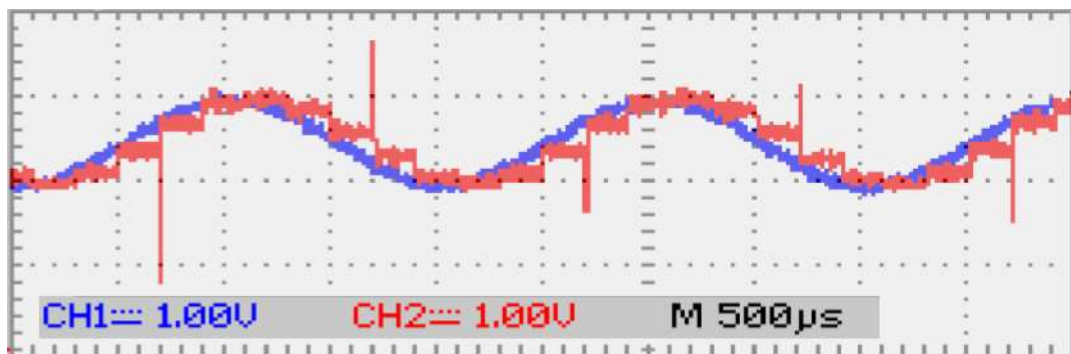


Fig. 3: Sortie d'un filtre numérique

### Réponse

Cette figure correspond à la réponse d'un système numérique qui échantillonne à une fréquence de 5 kHz (ou une période de 200 µs - largeur d'un palier).

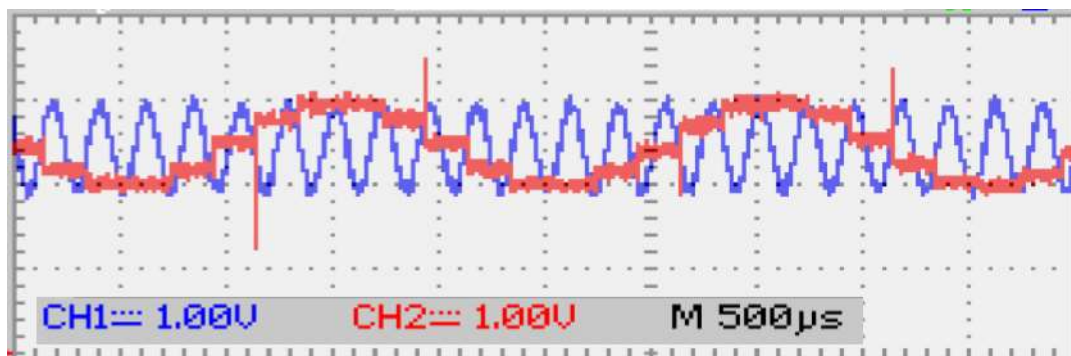


Fig. 4: Sortie d'un filtre numérique

### Réponse

Cette figure correspond à la réponse du même système numérique que précédemment.

On remarque ici que le signal de sortie n'a pas la même fréquence de le signal de départ. Le système n'est donc pas linéaire!! On assiste ici à un repliement de spectre dû à l'échantillonnage.

### Complément d'information

On peut ici dessiner le spectre du signal initial, et de la version échantillonné de ce signal pour montrer le repliement.

### Exercice 3 - Entrées/Sorties Numériques

#### Notions abordées

- ▷ étude de la documentation technique d'un CAN
- ▷ entrée/sortie série/parallèle

On s'intéresse à présent à 2 convertisseurs analogiques-numériques différents, dont une partie des documentations techniques sont données en annexe :

- **TLC548** de *Texas Instruments* (environ 3\$ - juin 2018)
- **AD9230** de *Analog Devices* (environ 80\$ - juin 2018)

1. A partir de ces deux documentations, remplir le tableau suivant :

	TLC548	AD9230
Type de sortie		
$F_{Emax}$		
Résolution		
Alimentation		

### Réponse

	TLC548	AD9230
Type de sortie	Série <sup>a</sup>	Parallèle - LVDS <sup>b</sup>
$F_{Emax}$	45.5 ksps	250 Msps
Résolution	8 bits	12 bits
Alimentation	3 à 6 V	1.8 V

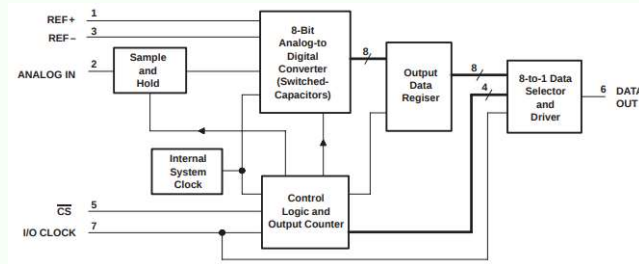
<sup>a</sup>. Liaison type SPI avec les signaux : CS-IO\_CLOCK-DATA\_OUT

<sup>b</sup>. *Low Voltage Differential Signaling* - nouvelle norme pour la transmission de signaux électriques à haute fréquence - plusieurs centaines de MHz - sur une ligne symétrique / signal différentiel

2. A l'aide de la documentation technique du **TLC548**,

- (a) Expliquer à quoi correspondent les différents éléments du **diagramme fonctionnel** donnée en page 2.

## Réponse

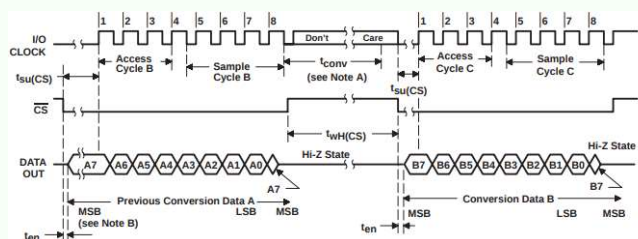


- **8-Bit Analog-to-Digital Converter** : convertisseur avec :
  - ☐ 2 entrées de référence REF+ et REF-
  - ☐ 1 entrée pour le signal analogique à convertir
  - ☐ 1 sortie sur 8 bits pour la donnée numérique
  - ☐ des entrées de contrôle
- **Data Output Register** : bloc permettant de mémoriser la donnée le temps d'une autre conversion
- **8-to-1 Data Selector and Driver** : bloc permettant de transformer la donnée numérique parallèle en donnée numérique série, à partir de l'horloge d'entrée
- **Sample and Hold** : échantillonneur bloqueur permettant d'avoir un signal analogique stable durant tout le temps de la conversion <sup>a</sup>
- **Control Logic and Output Counter** : bloc de contrôle de la séquence de conversion

<sup>a</sup>. On peut prendre un peu de temps pour montrer le fonctionnement via le schéma proposé dans la documentation technique

- (b) Expliquer l'opération de conversion et de récupération des données à partir de la **séquence** donnée en page 3.

## Réponse



La conversion se fait lorsque le signal  $CS$  passe à '1'. La conversion dure jusqu'à  $t_{conv} = 17 \mu s$  (d'après la documentation technique).

La donnée est ensuite prête dans le registre de données. Il faut forcer le signal  $CS$  à '0' pour débiter la donnée avec le composant. Il faut appliquer un signal d'horloge (jusqu'à 2.048 MHz d'après la documentation technique).

- (c) Combien de temps faut-il entre chaque conversion (pour  $F_{CLOCK} = 2.048 \text{ MHz}$  ?

**Réponse**

Il faut  $t_{data} = 8 \cdot 1 / 2.048 \text{ MHz} = 3.9 \mu\text{s}$  pour récupérer la donnée complète sur 8 bits.

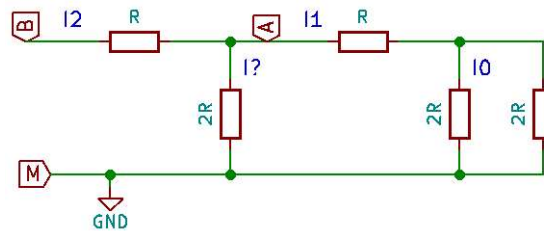
L'opération totale met donc  $t_{total} = t_{conv} + t_{data} = 21 \mu\text{s}$

**Exercice 4 - Convertisseur R-2R****Notions abordées**

▷ étude de la structure d'un CNA

**Montage R-2R**

On s'intéresse à ce montage :



1. Que vaut le courant  $I_1$  en fonction du courant  $I_0$  (courant passant par la résistance  $2R$ ) ?

**Réponse**

On peut s'intéresser à la résistance équivalente entre les points A et M :

On trouve entre A et M une résistance  $R$  en série avec un ensemble en parallèle de 2 résistances de  $2R$ .

$$R_{AM} = R + (2R // 2R) \text{ avec } 2R // 2R = \frac{2R \cdot 2R}{2R + 2R} = R$$

On a alors :  $R_{AM} = R + R = 2R$ .

Les deux résistances de  $2R$  étant en parallèle, elles sont soumises à la même différence de potentiel.

Comme elles ont également la même résistance, elles sont traversées par le même courant.

La loi des noeud au point d'intersection de  $R$  et des deux résistances de  $2R$  donne que  $I_1 = 2 \cdot I_0$ .

2. Que vaut le courant  $I_2$  en fonction du courant  $I_0$  (courant passant par la résistance  $2R$ ) ?

**Réponse**

En reprenant le modèle équivalent du montage entre A et M, on obtient alors un nouveau montage R-2R.

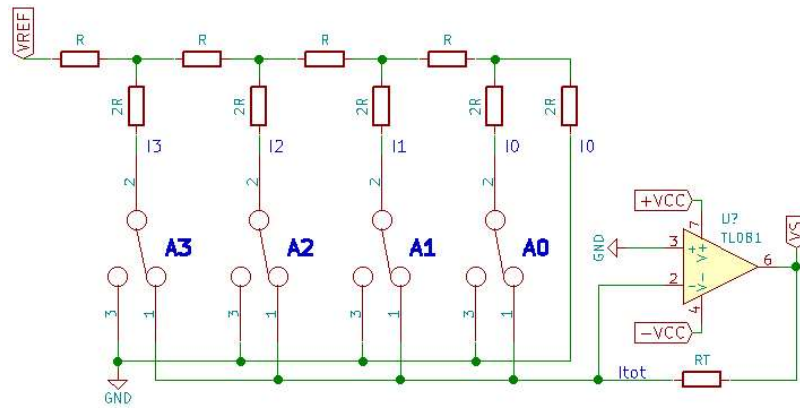
On a alors  $R_{BM} = R + (2R // 2R) = 2R$ . Et ainsi de suite...

De la même façon que précédemment, on obtient  $I_2 = 2 \cdot I_1 = 2^2 \cdot I_0$ .

**Montage complet**

On s'intéresse à présent au montage suivant :

On supposera que lorsque  $A_i = 0$ , l'interrupteur  $i$  est en position 3 et que lorsque  $A_i = 1$ , l'interrupteur  $i$  est en position 1.



1. Quel est le type de montage autour de l'ALI ?

### Réponse

Il s'agit d'un montage transimpédance, qui permet de transformer  $I_{tot}$  en une tension  $V_S = -R_T \cdot I_{tot}$ .

2. En quoi la structure vue précédemment peut nous aider ?

### Réponse

On remarque que la structure est de type R-2R. En fonction de la position des  $A_i$ , le courant résultant des différentes branches va soit à la masse, soit dans le contre-réaction de l'ALI. Comme l'ALI est en mode linéaire, on a  $V_+ = V_-$  et  $V_+ = 0$ . Dans les deux cas, la masse est présente sur les interrupteurs  $A_i$ .

3. Que vaut alors le courant  $I_{tot}$  dans la contre-réaction de l'ALI en fonction des courants  $I_i$  ?

### Réponse

Si on calcule le courant au noeud en  $V_-$ , on a  $I_{tot} = A_0 \cdot I_0 + A_1 \cdot I_1 + A_2 \cdot I_2 + A_3 \cdot I_3$ .

De manière généralisée :  $I_{tot} = \sum_{k=0}^N A_k \cdot I_k$

4. Que vaut alors le courant  $I_{tot}$  dans la contre-réaction de l'ALI en fonction du courant  $I_0$  et des valeurs des  $A_i$  ?

### Réponse

D'après la section précédente, on a vu que  $I_1 = 2^1 \cdot I_0$ , que  $I_2 = 2^2 \cdot I_0$ ...

On a alors :

$$I_{tot} = I_0 \cdot \sum_{k=0}^N A_k \cdot 2^k$$