

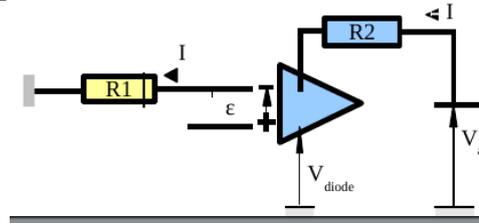
## TD “Capteurs CCD”

### Exercice 1 – Chronogramme, efficacité de transfert des charges et chaîne électronique

Soit un CCD 3 phases type frame transfer. La matrice CCD possède 100 (l.) x 200 (c.) photo-sites. La capacité de stockage des photo-sites de la matrice active est de  $S_{FW_{max}} = 10^6$  e-. Le registre de sortie possède 200 photo-sites actifs et 10 pixels inactifs de part et d'autre des photo-sites actifs. La capacité de stockage des photo-sites du registre est  $S_{reg_{max}} = 2 \times 10^6$  e-. Le pré-ampli de charge est à droite du registre. La diode flottante a une capacité de stockage  $S_{d_{max}} = 5 \times 10^6$  e- et une capacité  $C_s = 30$  pF. La chaîne électronique est de type CDS. Le convertisseur analogique/numérique (CAN) code sur 10 bits.

- Faire un dessin montrant les différentes parties du CCD ainsi que les dimensions.
- Expliquer comment s'effectue le décalage des charges d'un photo-site à un autre en supposant que les charges sont stockées initialement sous la seconde électrode d'un photo-site.
- Combien d'horloges sont-elles nécessaires pour pouvoir lire le CCD ? Dessiner le chronogramme complet montrant la lecture de ce CCD. On fera bien la distinction entre les différentes horloges de chaque partie du CCD. On associera le passage à un potentiel de +V à l'état haut de l'horloge et à un potentiel de 0V à l'état bas.
- En sachant que le transfert vertical d'un paquet d'électrons d'un photo-site à un autre prend  $15\mu s$  et le transfert horizontal d'un paquet d'électrons prend  $36\mu s$  pour les pixels actifs du registre et  $4\mu s$  pour les pixels inactifs, calculer le temps nécessaire à la lecture complète du CCD.
- Soit  $CTE_m = 0,99999$  sur la matrice active,  $CTE_{stock} = 0,9999$  dans la zone de stockage et  $CTE_{registre} = 0,9999$  pour le registre horizontal. Pour les photo-sites se trouvant dans les 4 coins de la matrice active, calculer la fraction de charges perdues en arrivant au niveau de l'étage de pré-amplification.
- On suppose que l'image prise avec le CCD devrait avoir des intensités numériques moyennes autour de 550 en pas convertisseur en l'absence de pertes de charges. Calculer en e- le nombre de charges perdues à partir des résultats de la question précédente. Quelle est la conséquence pour l'image numérique réelle ?
- On fait une image avec le CCD de telle sorte que le nombre maximal d'e- stockés sur la matrice active soit de  $7 \times 10^5$  e-. La dynamique de l'image est de 3500. Calculer le plus petit nombre d'e- stockés dans les photo-sites de la matrice active. Calculer la tension générée dans ce cas (max et min) au niveau de la diode flottante.
- Sachant que la plage d'entrée analogique du CAN est entre 0 et 15V, calculer la valeur du gain G du montage amplificateur pour avoir une bonne utilisation de la dynamique du CAN.

- En vous aidant du schéma ci-dessous, calculer la valeur de la résistance  $R_2$  sachant que  $R_1 = 1\text{ k}\Omega$ . On supposera que l'A.O. est parfait ( $\epsilon \sim 0\text{ V}$ ,  $i_- = 0\text{ A}$ ).



## Exercice 2 – Etude d'une chaîne électronique de type « dual slope »

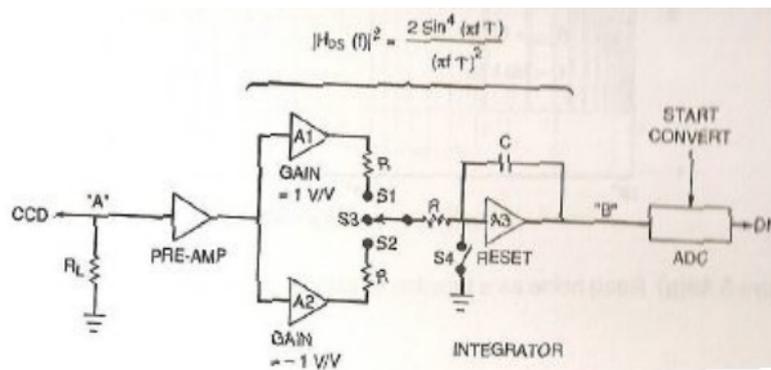
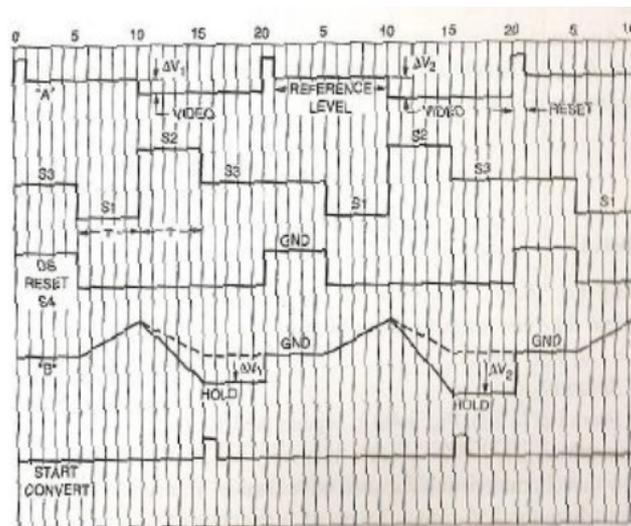


Schéma de la chaîne Dual Slope



Chronogramme de la chaîne Dual Slope

Essayer de comprendre comment fonctionne cette chaîne de lecture. Est-ce que le bruit de reset est corrigé dans cette chaîne ? Si oui, comment ?

### Exercice 3 – analyse d’une datasheet d’un capteur CCD

cf. le document kaf401eb.pdf

1. De quel type de CCD s’agit-il ? Identifier les différentes parties.
2. Donner les dimensions du capteur et calculer sa définition.
3. Combien de phases a ce capteur ? En déduire le nombre d’horloges nécessaire pour assurer le transfert jusqu’à l’étage de pré-amplification.
4. Combien de temps faut-il pour effectuer un transfert vertical ? Même chose pour un transfert horizontal ?
5. Combien de temps faut-il pour convertir les charges en tension au niveau du pré-amplificateur de charge ?
6. Quelle est la capacité de stockage des photo-sites sur la matrice ? Sur le registre ?
7. Quelle est la sensibilité du pré-amplificateur ?
8. A quelle longueur d’onde le capteur est-il le plus efficace ?
9. Pour quelle température  $T$  le courant de fuite est-il donné ? Quelle est sa valeur ? Pour une température  $T - 6.3^{\circ}\text{C}$ , quelle est la valeur du courant de fuite ?
10. Compte tenu de la valeur de CTE, calculer la perte relative de charge pour le photo-site se trouvant le plus loin du pré-amplificateur.
11. Quelle est la tension maximale atteignable à la sortie du pré-amplificateur en binning 1x1 ?
12. Donner la définition de PRNL & PRNU.
13. Quelle est la température maximale de stockage ?