

TD “Capteurs CCD”

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

Soit un CCD 3 phases type frame transfer. La matrice active possède 100 (l.) x 200 (c.) photo-sites. La capacité de stockage des photo-sites de la matrice active est de $SFW_{\max} = 10^6$ 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 $S_{\text{regmax}} = 2 \times 10^6$ e-. Le pré-ampli de charge est à droite du registre. La diode flottante a une capacité de stockage $S_{\text{dmax}} = 5 \times 10^6$ e- et une capacité $C_s = 1$ pF. La chaîne électronique est de type CDS. Le convertisseur analogique/numérique (CAN) code sur 10 bits.

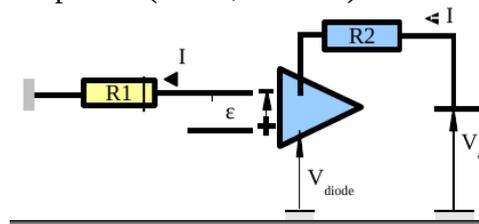
- 1) Faire un dessin montrant les différentes parties du CCD ainsi que les dimensions.
- 2) Expliquer comment s'effectue la lecture des électrons dans ce type de capteur.
- 3) Combien d'électrodes par photo-site le capteur possède-t-il ?
- 4) Combien d'horloges sont-elles alors nécessaires pour pouvoir lire le CCD ?
- 5) En supposant que les charges sont stockées initialement sous la seconde électrode d'un photo-site, dessiner pour deux photosites adjacents le puits de potentiel correspondant en indiquant la polarisation des électrodes (+V ou 0V). Les électrons seront représentés par des croix.
- 6) Montrer comment les charges sont transférées de la seconde électrode du photosite 1 à la seconde électrode du photosite 2 en supposant un déplacement des électrons de la gauche vers la droite. A chaque étape, préciser l'évolution de la polarisation des électrodes.
- 7) Dessiner le chronogramme correspondant. 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.
- 8) En sachant que le transfert vertical d'un paquet d'électrons d'un photo-site à un autre prend $10\mu\text{s}$ de la matrice active vers la matrice de stockage et $5\mu\text{s}$ de la matrice de stockage vers le registre et le transfert horizontal d'un paquet d'électrons prend $36\mu\text{s}$ pour les pixels actifs du registre et $4\mu\text{s}$ pour les pixels inactifs, calculer le temps nécessaire à la lecture complète du CCD.
- 9) Peut-on faire de la vidéo avec ce capteur ? Justifier votre réponse.
- 10) Pourquoi le transfert horizontal d'un paquet d'électrons pour les pixels actifs est plus long que celui pour les pixels inactifs ?
- 11) Soit $CTE_m = 0,9999$ sur la matrice active, $CTE_{\text{stock}} = 0,99999$ dans la zone de stockage et $CTE_{\text{registre}} = 0,9999$ 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.

12) En supposant qu'initialement la quantité d'électrons dans ces 4 photosites est la même ($Q_0 = 5 \times 10^5 e^-$), calculer le nombre de charges perdues à partir des résultats de la question précédente. Calculer la sensibilité du CAN. Quelle est la conséquence pour l'image numérique réelle ?

13) 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 (N_{\min}). Calculer la tension générée dans ce cas (max et min) au niveau de la diode flottante.

14) 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. Quelle sera l'intensité numérique associée à N_{\min} par le CAN ?

15) 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 ($\epsilon \sim 0 \text{ V}$, $i_- = 0 \text{ A}$).



16) En supposant une lecture en binning 4x2 et une quantité moyenne d'électrons par photosite de $4 \times 10^5 e^-$, déterminer la définition de l'image numérique. Y a-t-il un risque de saturation ? Si oui à quel niveau ? Calculer le temps de lecture du capteur. Est-il possible de faire de la vidéo dans ce cas ?

Exercice 2 – Etude de la fiche technique du Kodak AF401

1) De quel type de CCD s'agit-il ? Identifier les différentes parties du capteur. Donner les dimensions complètes du capteur.

2) Combien y a-t-il d'électrodes par photosite ?

3) Combien d'horloges sont nécessaires pour effectuer le transfert des charges ?

4) Combien d'horloges supplémentaires seront nécessaires au niveau de la chaîne électronique (chaîne de type CDS) ?

5) Expliquer les actions réalisées sur le capteur à partir du chronogramme présenté en haut sur la page 10. Discuter de la synchronisation de ces actions. Peut-on faire un décalage vertical en même temps qu'un décalage horizontal ? Et inversement ?

6) Retrouver dans la fiche technique les valeurs associées avec les différentes variables de temps/durée montrées sur les chronogrammes.

7) En analysant les chronogrammes, sur quel front les électrons sont-ils transférés vers la diode flottante ?

8) Comment peut-on mesurer le nombre de bits de codage utilisé par le CAN ?

9) Expliquer l'évolution du signal V_{out} (signal de sortie de l'étage de préamplification) en vous aidant du cours. Quelles actions sont réalisées ?

10) Calculer la capacité de stockage de la diode flottante.

11) Calculer le temps moyen nécessaire pour le bruit d'agitation thermique de remplir complètement les puits de potentiel de la matrice à température ambiante.

Exercice 3 – Etude d'une chaîne électronique de type « dual slope »

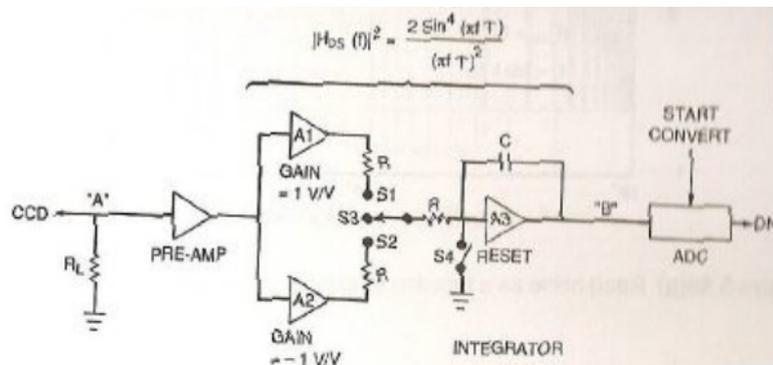
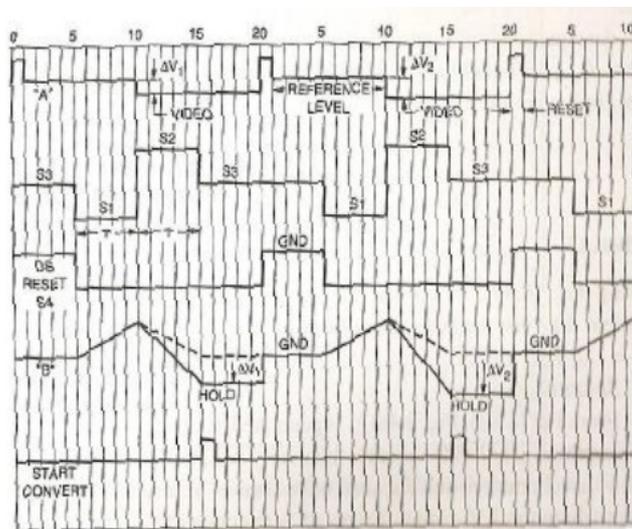


Schéma de la chaîne Dual Slope



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 ?