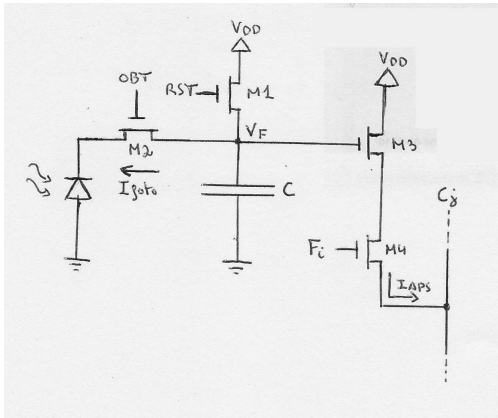


DCISE: PRE-LAB PROJECTE

P1. Dibuixa l'esquema d'un APS (active pixel sensor), utilitzant els mateixos noms pels transistors que al llibre. Identifica les variables que s'han d'assignar i fes una llista de les entrades i sortides.



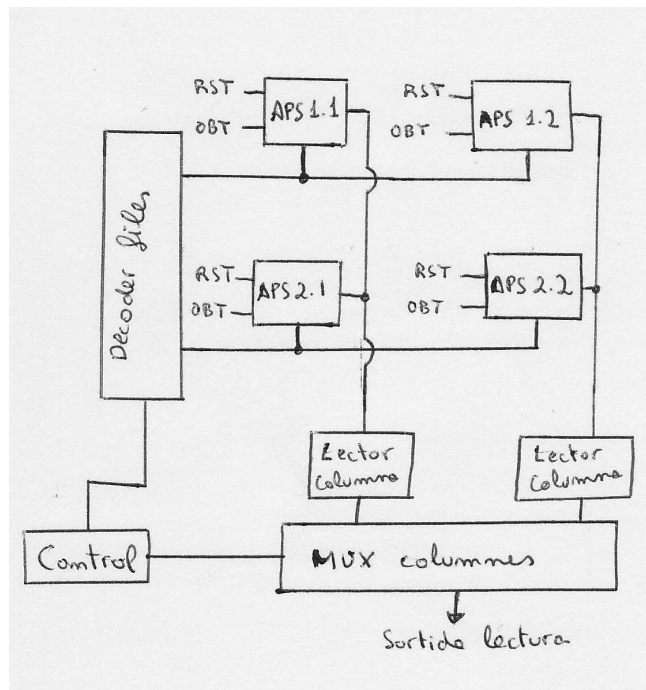
Variables a dissenyar: dimensions de tots els transistors, temps d'obturació i la capacitat C .

Entrades: alimentació V_{DD} , OBT, RST, Fi, llum detectada.

Sortides: I_{APS} .

P2. Dibuixa l'esquema sencer d'un sensor d'imatge, utilitzant els símbols pels APS i pel MUX. Identifica les tensions necessaries per poder excitar les entrades de control del sensor.

Per fer funcionar el circuit necessitem les entrades OBT, RST, les fonts d'alimentació de tots els blocs i també els senyals de control. Tant el MUX com el DECODER tindran senyals d'habilitació, i les entrades de control podran funcionar amb un contador de dos bits per exemple. El bit de major pes serà el corresponent a les files i el de menor pes a les columnes, ja que es recorren totes les columnes fila a fila. Per tant el bit de menor pes anirà a l'entrada de control del MUX i el de major pes podrà anar al de control del DECODER.

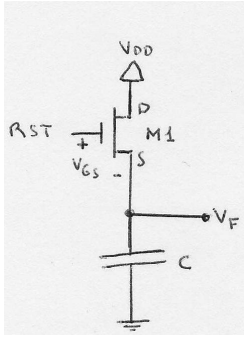


P3. El transistor M1 de l'APS té l'objectiu de resetejar la capacitat C. Discuteix les tensions a les que pot arribar el condensador en cas d'utilitzar un NMOS o un PMOS. Has de tenir en compte el body effect en la discussió. Tria la millor opció.

Si utilitzem un NMOS

El reset es farà per RST a nivell alt, per tant $V_{GS} = V_{DD} - V_F$.

El problema que ens limita el nivell de càrrega del condensador és quan arriba a una tensió $V_F = V_{DD} - V_T$, ja que llavors arribem al límit pel transistor en tall

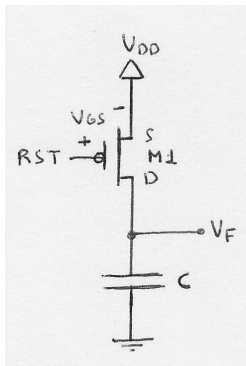


$$V_{GS} - V_T > 0 \rightarrow V_{DD} - V_F - V_T > 0 \rightarrow \boxed{V_F < V_{DD} - V_T}$$

Si tenim en compte el body effect, la tensió de Bulk és fixa a 0 volts, però la de substrat cada cop puja més i V_{BS} es decreixent, si ens fixem en l'expressió de V_T aquesta cada cop puja més, per tant ens limita encara més V_F .

$$V_T = V_{T0} + \gamma \cdot [(2 \cdot \phi - V_{BS})^{0.5} - (2 \cdot \phi)^{0.5}]$$

Si utilitzem un PMOS



El reset es farà per RST a nivell baix, per tant $V_{GS} = 0 - V_{DD}$.

El problema que teniem abans, ara no existeix ja que mai entrarà en tall per culpa del condensador. Per tant:

$$\boxed{V_F < V_{DD}}$$

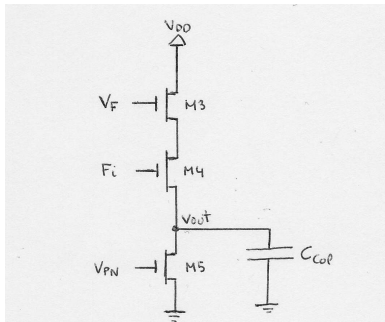
En quant al body effect, la tensió del Bulk és V_{DD} i la de substrat la mateixa, per tant $V_{BS} = 0$ i V_T és constant.

En resum, sembla que la millor opció es triar M1 \rightarrow PMOS, ja que ens dona més marge de tensions per V_F .

P4. Calcula la V_{Fmin} per garantir una relació lineal entre V_F i V_{col} . Assumeix que M5 està alimentat amb $V_{PN} = 0.8$ V i $K_3 \gg K_5$. Assumeix també que un transistor treballant a zona òhmica té una V_{DS} d'uns pocs milivolts.

Al llibre sen's explica que si M4 està en zona òhmica i M3 i M5 en saturació, aquests dos últims formen un amplificador en drenador comú que té guany unitari ($V_F = V_{out}$). Per tant forçarem aquestes zones de treball per tots transistors.

Despreciant la tensió V_{DS4} farem el següent desenvolupament:



$$I3 = I5$$

$$\frac{1}{2} K3 (VF - Vout - VT3)^2 = \frac{1}{2} K5 (Vout - VT3)^2$$

$$Vout = VF - VT3 - \sqrt{\frac{K5}{K3}} (VPN - VT5)$$

Aplicant la condició saturació per M5 i substituint Vout després:

$$VPN - VT5 < Vout$$

$$VF > VPN \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{K5}{K3}} \right) - VT5 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{K5}{K3}} \right) + VT3$$

Si aproximem $K3 \gg K5$ i $VT3 = VT5$:

$$VF > VPN - VT5 + VT3$$

$$VF > VPN = 0.8 V$$

El valor V_F mínim és $V_{Fmin} = VPN = 0.8 V$

P5. Calcular el valor de la capacitat C tal que amb la màxima intensitat de llum i màxima velocitat d'obturació (1/8000), la tensió V_F no baixi del seu mínim. Fes que la V_F tingui un marge de seguretat de 200 mV.

La descarrega del condensador es fa a intensitat constant $I_L = 100 \text{ nA}$, per tant:

$$VFmin + 0.2 V = Vinicial - \frac{IL}{C} \cdot Tobt$$

$$0.8 V + 0.2 V = VDD - \frac{100 \text{ nA}}{C} \cdot 125 \mu s$$

$$C = 5.435 \text{ pF}$$

P6. Calcular les dimensions del transistor M1 tal que:

- Càrrega completa de C en menys de 1 μs .
- Dimensions més petites possibles per minimitzar el clock-feedthrough.
- $L=0.35 \mu m$, $W_{min}=0.4 \mu m$.

Considerem el condensador carregat en 10τ , per tant $\tau < 100 \text{ ns}$. Com que τ es igual al producte $Req \cdot C$, $Req < 100 \text{ ns} / C = 18.4 \text{ k}\Omega$.

Hem dit que V_F té un marge de 1V fins V_{DD} , en valor mig $V_F = 2.15$ V, per tant $V_{DSaverage} = V_{DD} - 2.15 = 1.15$ V.
 Llavors aplicant l'equació d'òhmica per I_{DS} obtenim un valor de $177,264 \cdot W$ μA .

$$R_{eq} = \frac{V_{DS}}{I_{DS}} = \frac{1.15}{177.264 \cdot W} < 18.4 \text{ k}\Omega$$

$$W > 0.3526 \mu m$$

Per tant les dimensions queden així **$L = 0.35 \mu m$, $W = 0.4 \mu m$.**

P7. Calcular la tensió en circuit obert del fotodiode, V_{D_OC} , per maxima il·luminació.

- Utilitzar el model següent amb $I_s = 10^{-15}$, $n = 0.4$, $U_T = 26$ mV, $I_L = 100$ nA.

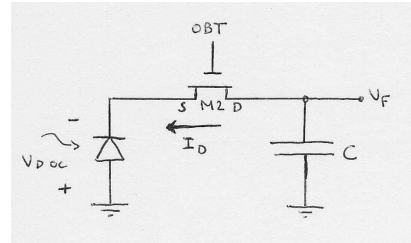
$$I_{PhoDio} = I_s \left(e^{\frac{V_D}{n U_T}} - 1 \right) - I_L$$

En circuit obert $I_{PhoDio} = 0$, per tant aïllem V_D :

$$V_{D_OC} = n \cdot U_T \cdot \ln \left(\frac{I_L}{I_s} + 1 \right)$$

$$V_{D_OC} = 0.1916 \text{ V}$$

P8. Un cop s'ha completat la fase d'obturació, el transistor M2 es talla, però el corrent que circula per ell no és nul, ja que V_{GS} tampoc ho és. Per tant el condensador es descarrega una mica en les següents fases.



- Calcula la V_T .

Tenim una tensió $-V_{D_OC}$ al surtidor, per tant V_{GS} serà V_{D_OC} , V_{BS} serà també V_{D_OC} .
 Aplicant l'expressió de l'apèndix:

$$V_T = V_{T0} + \gamma \cdot \left(\sqrt{2 \cdot \phi - V_{BS}} - \sqrt{2 \cdot \phi} \right) \text{ on } \phi = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{N_{SUB}}{n_i} \right)$$

i substituint pels valors que toquen $\rightarrow V_T = 0.436 \text{ V}$

- El corrent subthreshold està modelat com:

$$I_D = I_{SPEC} \cdot e^{\frac{V_{GS} - V_T}{n \cdot U_T}} \text{ on } I_{SPEC} = 2 \cdot n \cdot k' \cdot \frac{W}{L} \cdot U_T^2 \text{ i } n = 1.45$$

Calcula I_D en funció de W/L .

Com que disposem de totes les dades arribem a $I_D = 2.387 \cdot 10^{-10} W/L$

- **Calcular la variació ΔV_F produïda per aquest corrent en un temps de lectura.**

$$\Delta V_F = \frac{1}{C} \cdot I_D \cdot T_{lectura}$$

P9. Calcular les dimensions de M2 tal que:

- **Minimitzi ΔV_F .**
- **Minimitzi el clock-feedthrough.**
- **$L=0.35 \mu m$ i $W_{min}=0.4 \mu m$.**

ΔV_F depèn proporcionalment de I_D i aquesta també proporcionalment de W , per tant ens interessa la W més petita possible. Les dimensions més petites possibles també minimitzen el clock-feedthrough, per tant:

$$W=0.4 \mu m \quad L=0.35 \mu m$$

P10. Justificar les regions d'operació de M3 i M4. Calcular les dimensions de M4 tal que:

- **Minimitzin clock-feedthrough.**
- **$L=0.35 \mu m$ i $W_{min} = 0.4 \mu m$.**

M3 en saturació $V_D = V_{DD} > V_G$ i per tant mai entra en tall i està en saturació per les hipotesis de l'exercici 4.

M4 estarà en òhmica quan $V_{gate} = V_{DD}$ ja que $V_{gate} - V_T > V_{drain} = V_{gate} - V_T$, i en tall quan $V_{gate} = 0V$.

Agafarem les dimensions mínimes $W=0.4 \mu m \quad L=0.35 \mu m$.

P11. Calcular les dimensions M5 tal que:

- **$V_{PN} = 0.8 V$**
- **Descarrega completa de $C_{col} = 1 pF$, en menys de $1 \mu s$.**
- **Minimitzi les dimensions .**
- **$L=0.35 \mu m$ $W_{min}=0.40 \mu m$.**

$$V_{GS} = V_{PN} = 0.8V$$

$$V_T = 0.5 V$$

Calculem la intensitat amb l'equació de saturació:

$$I_{DS} = \frac{k'}{2} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_T)^2 = 3.6 \frac{W}{L} \mu A$$

$V_{out} = V_{DS} = V_F$ ja que hem dit que M3 i M5 fan d'amplificador en drenador comú amb guany unitari. Per tant $V_{Dsaverage} = 2.15V$

Considerem el condensador descarregat en 10τ , per tant $\tau < 100 \text{ ns}$. Com que τ es igual al producte $R_{eq} \cdot C$, $R_{eq} < 100 \text{ ns} / C = 100 \text{ k}\Omega$.

$$R_{eq} = \frac{V_{DS}}{I_{DS}} = \frac{2.15 \text{ V}}{3.6 \frac{W}{L} \mu\text{A}} < 10^5 \Omega$$

Aïllant W ja que sabem $L \rightarrow \boxed{W = 2.09 \mu\text{m} \quad L = 0.35 \mu\text{m}}$

P12. Calcula les dimensions de $M3$ amb l'expressió 7.22 del llibre, tal que el terme dependent de V_{PN} sigui més petit de $0.1 V_T$.

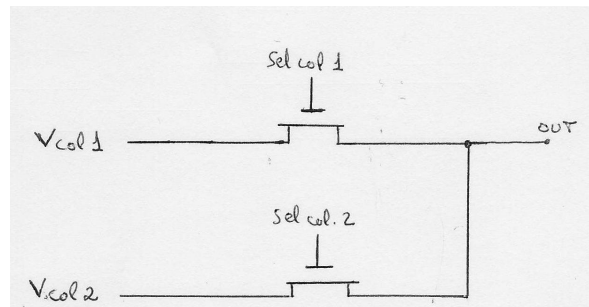
$$\sqrt{\frac{K3}{K5}} (V_{PN} - V_T) < 0.1 V_T$$

$$K3 > \frac{K5 \cdot (V_{PN} - V_T)^2}{(0.1 \cdot V_T)^2}$$

$$K3 = 36 \cdot K5$$

Així que $\boxed{W3 = 36 W5 = 75.25 \mu\text{m} \text{ i } L = 0.35 \mu\text{m}}$.

P13. Disenyar l'schematic del multiplexor.



P14. Dibuixar un cronograma que mostri l'evolució dels senyals de control del sensor per complir la seqüència del a fig 1 del guió.

