

# INF3400

## Obligatoriske oppgaver, DEL 2

---

Av Magnus Andersen ([magnuand@student.uio.no](mailto:magnuand@student.uio.no))

Vi har gitt følgende prosessparameterverdier for en 90nm CMOS-prosess, med  $V_{DD} = 1.2V$ :

$t_{ox} = 40\text{\AA}^1$ ,  $\mu_n = 180 \frac{cm^2}{V \cdot s}$ ,  $\mu_p = 90 \frac{cm^2}{V \cdot s}$ ,  $V_{tn} = 0.25V$ ,  $V_{tp} = -0.25V$ , og transistorstørrelser  $\frac{W_n}{L_n} = \frac{120nm}{1.4\mu m}$  for nMOS-transistoren og  $\frac{W_p}{L_p} = \frac{240nm}{1.4\mu m}$  for pMOS-transistoren.

Ved hjelp av første-ordens modeller skal vi i MATLAB lage modeller for nMOS- og pMOS-transistoren.

### Generelt

Det første vi gjør er å finne  $C_{ox}$ :

$$C_{ox} = \frac{3.9 \cdot 8.85 \cdot 10^{-14}}{40 \cdot 10^{-8}} \frac{F}{cm \cdot cm} = 8.62875 \cdot 10^{-7} \frac{F}{cm^2}$$

Det neste steget er å finne  $\beta_n$  og  $\beta_p$ , henholdsvis for nMOS- og pMOS-transistoren.

### Plotting av nMOS-transistorstrøm

Vi finner  $\beta_n$ :

$$\begin{aligned}\beta_n &= \mu_n \cdot C_{ox} \cdot \frac{W_n}{L_n} = 180 \frac{cm^2}{V \cdot s} \cdot 8.62875 \cdot 10^{-7} \frac{F}{cm^2} \cdot 0.0857142857 \\ &= 1.331292857 \cdot 10^{-5} \frac{F}{V \cdot s} = 1.331292857 \cdot 10^{-5} \frac{A \cdot s}{V \cdot s \cdot V} \\ &= 1.331292857 \cdot 10^{-5} \frac{A}{V^2}\end{aligned}$$

---

<sup>1</sup>  $1\text{\AA} = 1 \cdot 10^{-8}cm = 1 \cdot 10^{-10}m$

Når det gjelder nMOS-transistoren, har vi at

AV:  $I_{dsn} = 0$  gitt  $V_{gsn} < V_{tn}$

LINEÆR:  $I_{dsn} = \beta_n \left( V_{gsn} - V_{tn} - \frac{V_{dsn}}{2} \right) V_{dsn}$  gitt  $V_{gsn} > V_{tn}$  og  $V_{dsn} < V_{dsatn}^2$

METNING:  $I_{dsn} = \frac{\beta_n}{2} (V_{gsn} - V_{tn})^2$  gitt  $V_{gsn} > V_{tn}$  og  $V_{dsn} > V_{dsatn}$

Så lager vi oss en MATLAB-funksjon (nmos.m) som representerer de ovenstående ligningene:

```
function ret = nmos(Vgsn, Vdsn, Vtn, beta)
    dsat = (Vgsn - Vtn);

    if Vgsn < Vtn
        ret = 0;
    elseif (Vgsn > Vtn) & (Vdsn < dsat)
        ret = beta*(Vgsn - Vtn - (Vdsn/2))*Vdsn;
    else
        ret = (beta/2)*(Vgsn - Vtn)^2;
    end
end
```

### a) $I_{dsn}$ som funksjon av $V_{dsn}$

Her lar vi  $V_{dsn}$  varierer fra 0V til 3.5V, mens  $V_{gsn}$  skal låses til henholdsvis 1.2V, 0.6V og 0.1V.

MATLAB-koden blir:

```
beta = 1.331292857*10^(-5);
Vtn = 0.25;
Vgsn = [1.2, 0.6, 0.1];
Vdsn = 0:0.01:3.5;
Idsn = zeros(length(Vdsn), 3);

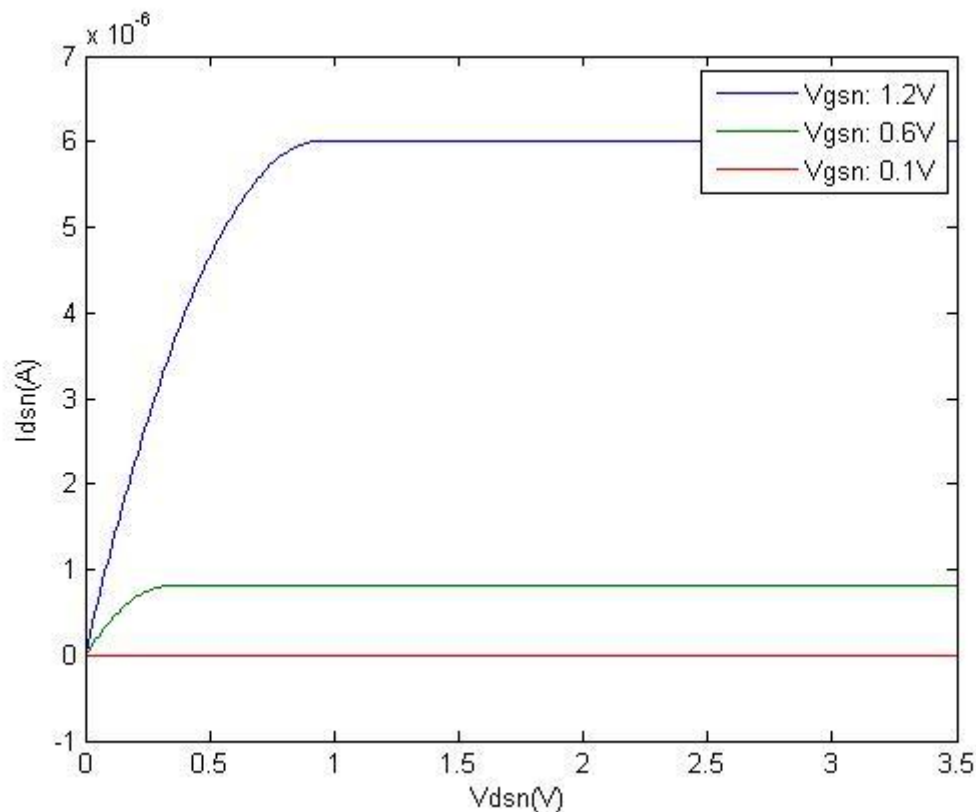
for i=1:length(Vdsn)
    for j=1:length(Vgsn)
        Idsn(i,j) = nmos(Vgsn(j), Vdsn(i), Vtn, beta);
    end
end

plot(Vdsn, Idsn)
xlabel('Vdsn(V)')
ylabel('Idsn(A)')
legend('Vgsn: 1.2V', 'Vgsn: 0.6V', 'Vgsn: 0.1V');
ylim([-1*10^-6 7*10^-6])
```

---

<sup>2</sup>  $V_{dsatn} = V_{gsn} - V_{tn}$

Plot-resultatet blir:



Figur 1: nMOS-transistorstrøm  $I_{dsn}$  som funksjon av  $V_{dsn}$

### ***b) $I_{dsn}$ som funksjon av $V_{gsn}$***

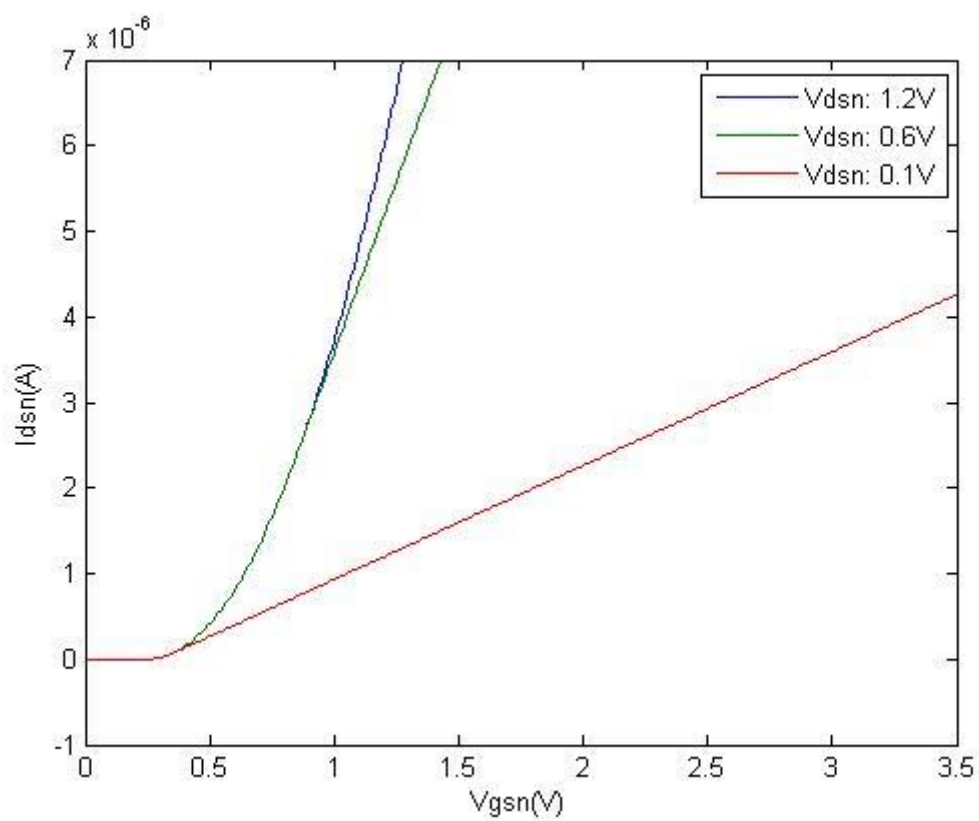
Her lar vi  $V_{gsn}$  variere fra 0V til 3.5V, mens  $V_{dsn}$  skal låses til henholdsvis 1.2V, 0.6V og 0.1V.

MATLAB-koden blir:

```
beta = 1.331292857*10^(-5);  
Vtn = 0.25;  
Vgsn = 0:0.01:3.5;  
Vdsn = [1.2, 0.6, 0.1];  
Idsn = zeros(length(Vgsn), 3);  
  
for i=1:length(Vgsn)  
    for j=1:length(Vdsn)  
        Idsn(i,j) = nmos(Vgsn(i), Vdsn(j), Vtn, beta);  
    end  
end  
  
plot(Vgsn, Idsn)  
xlabel('Vgsn(V)')  
ylabel('Idsn(A)')  
legend('Vdsn: 1.2V', 'Vdsn: 0.6V', 'Vdsn: 0.1V');  
ylim([-1*10^-6 7*10^-6])
```

Det eneste som er forskjellig her er som nevnt at det nå er  $V_{gsn}$  som varierer, i motsetning til i a) hvor det var  $V_{dsn}$  som varierte.

Plot-resultatet blir:



**Figur 2:** nMOS-transistorstrøm  $I_{dsn}$  som funksjon av  $V_{gsn}$

## Plotting av pMOS-transistorstrøm

Vi finner  $\beta_p$ :

$$\begin{aligned}\beta_p &= \mu_p \cdot C_{ox} \cdot \frac{W_p}{L_p} = 90 \frac{\text{cm}^2}{\text{V}\cdot\text{s}} \cdot 8.62875 \cdot 10^{-7} \frac{\text{F}}{\text{cm}^2} \cdot 0.1714285714 \\ &= 1.331292857 \cdot 10^{-5} \frac{\text{F}}{\text{V}\cdot\text{s}} = 1.331292857 \cdot 10^{-5} \frac{\text{A}\cdot\text{s}}{\text{V}\cdot\text{s}\cdot\text{V}} \\ &= 1.331292857 \cdot 10^{-5} \frac{\text{A}}{\text{V}^2}\end{aligned}$$

Når det gjelder pMOS-transistoren, har vi at

AV:  $I_{sdp} = 0$  gitt  $V_{sgp} < |V_{tp}|$

LINEÆR:  $I_{sdp} = \beta_p \left( V_{sgp} - |V_{tp}| - \frac{V_{sdp}}{2} \right) V_{sdp}$  gitt  $V_{sgp} > |V_{tp}|$  og  $V_{sdp} < V_{dsatp}^3$

METNING:  $I_{sdp} = \frac{\beta_p}{2} (V_{sgp} - |V_{tp}|)^2$  gitt  $V_{sgp} > |V_{tp}|$  og  $V_{sdp} > V_{dsatp}$

En MATLAB-funksjon (pmos.m) som representerer de ovenstående ligningene er:

```
function ret = pmos(Vsgp, Vsdp, Vtp, beta)
    Vdsat = (Vsgp - abs(Vtp));

    if Vsgp < abs(Vtp)
        ret = 0;
    elseif (Vsgp > abs(Vtp)) & (Vsdp < Vdsat)
        ret = beta*(Vsgp - abs(Vtp) - (Vsdp/2))*Vsdp;
    elseif (Vsgp > abs(Vtp)) & (Vsdp > Vdsat)
        ret = (beta/2)*(Vsgp - abs(Vtp))^2;
    end
end
```

---

<sup>3</sup>  $V_{dsatp} = V_{sgp} - |V_{tp}|$

**c)  $I_{sdp}$  som funksjon av  $V_{sdp}$**

Her lar vi  $V_{sdp}$  varierer fra 0V til 3.5V, mens  $V_{sgp}$  skal låses til henholdsvis 1.2V, 0.6V og 0.1V.

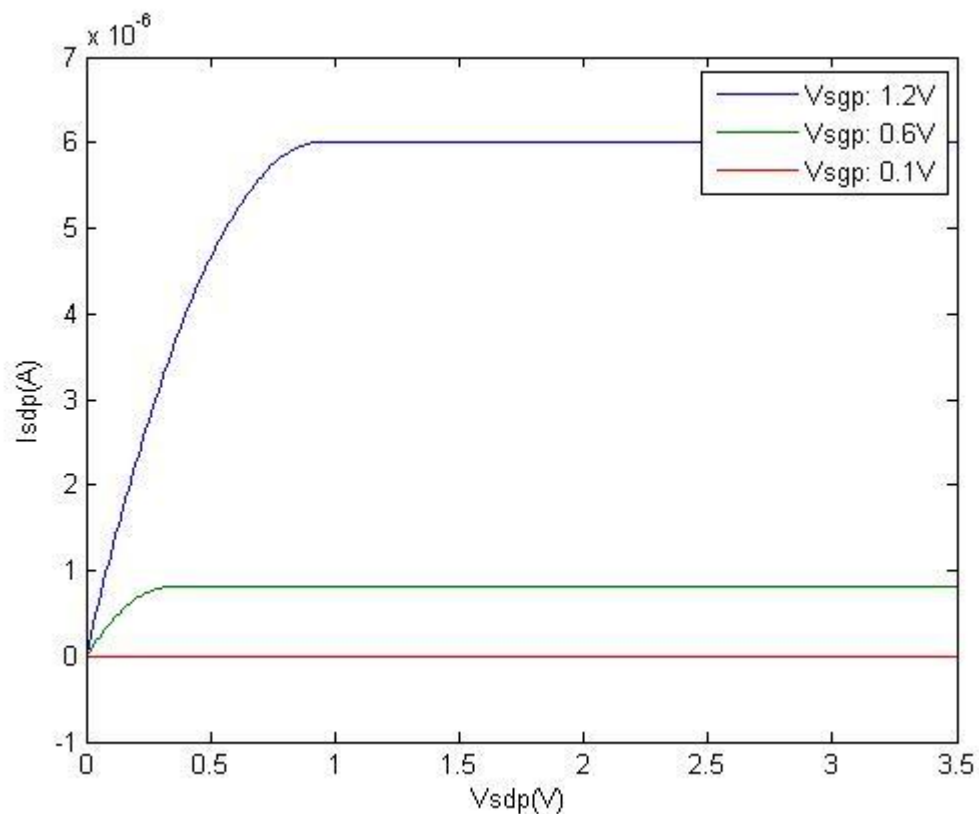
MATLAB-koden blir:

```
beta = 1.331292857*10^(-5);
Vtp = -0.25;
Vsgp = [1.2, 0.6, 0.1];
Vsdp = 0:0.01:3.5;
Isdp = zeros(length(Vsdp), 3);

for i=1:length(Vsdp)
    for j=1:length(Vsgp)
        Isdp(i,j) = pmos(Vsgp(j), Vsdp(i), Vtp, beta);
    end
end

plot(Vsdp, Isdp)
xlabel('Vsdp(V)')
ylabel('Isdp(A)')
legend('Vsgp: 1.2V', 'Vsgp: 0.6V', 'Vsgp: 0.1V');
ylim([-1*10^-6 7*10^-6])
```

Og plot-resultatet ser slik ut:



**Figur 3:** pMOS-transistorstrøm  $I_{sdp}$  som funksjon av  $V_{sdp}$

### c) $I_{sdp}$ som funksjon av $V_{sgp}$

Her lar vi  $V_{sgp}$  varierer fra 0V til 3.5V, mens  $V_{sdp}$  skal låses til henholdsvis 1.2V, 0.6V og 0.1V.

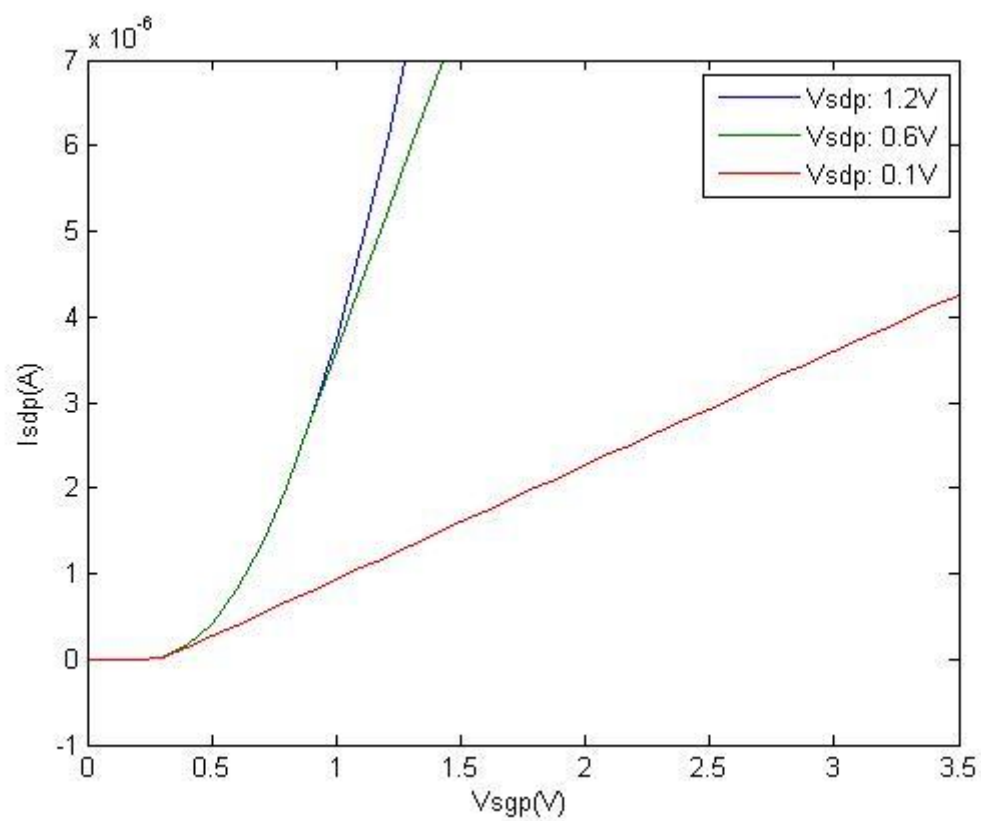
MATLAB-koden blir:

```
beta = 1.331292857*10^(-5);
Vtp = -0.25;
Vsgp = 0:0.1:3.5;
Vsdp = [1.2, 0.6, 0.1];
Isdp = zeros(length(Vsgp), 3);

for i=1:length(Vsgp)
    for j=1:length(Vsdp)
        Isdp(i,j) = pmos(Vsgp(i), Vsdp(j), Vtp, beta);
    end
end

plot(Vsgp, Isdp)
xlabel('Vsgp(V)')
ylabel('Isdp(A)')
legend('Vsdp: 1.2V', 'Vsdp: 0.6V', 'Vsdp: 0.1V');
ylim([-1*10^-6 7*10^-6])
```

Og plot-resultatet blir:



**Figur 4:** pMOS-transistorstrøm  $I_{sdp}$  som funksjon av  $V_{sgp}$



## Kommentar

Mobiliteten til nMOS-transistoren er dobbelt så stor som mobiliteten til pMOS-transistoren, men dette kompenseres for ved at pMOS-transistorens bredde er dobbelt så stor som nMOS-transistorens bredde, og vi får dermed  $\beta_n = \beta_p$ .

Ligningene som beskriver strømmen gjennom pMOS- og nMOS-transistoren er for alle praktiske formål identiske (ikke-absoluttverdi vs. absoluttverdi utgjør ingen praktisk forskjell med de gjeldende terskelspenningene).

Når vi bruker prosessparameterverdiene som gjelder for akkurat denne oppgaven blir strømmen gjennom de to typene transistorer identisk, og følgelig blir plottene for nMOS- og pMOS-transistoren identiske.