

ANE10: Analoge Elektronica – Week 1-3 – v1.0

Hogeschool Rotterdam – Opleiding Elektrotechniek

Docenten

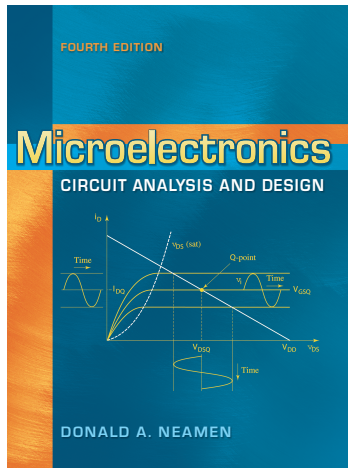
- Daniël Versluis Theorie Er3B
VersD
- Stefan Groot Nibbelink Theorie ER3A
GrooS
- Erwin den Boer Labs ER3
BoeEr
- Robbert Inpijn Labs ER3
InpR
- Jason Lin Labs ER3
LinXF

Leerdoelen

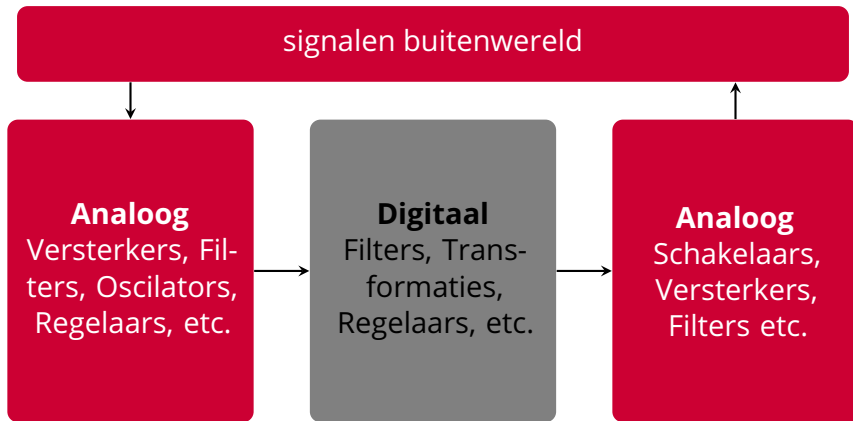
#	Niveau	Weging	De student is in staat om ...
1	C	25 %	... transistors te gebruiken zodanig dat er een versterkerschakeling mee ontworpen kan worden.
2	C	20 %	... opampschakelingen te analyseren en ontwerpen zodanig dat hiermee actieve filters ontworpen kunnen worden voor een gewenste filterkarakteristiek.
3	C	15 %	... feedback in een schakeling te herkennen en te analyseren zodanig dat het gedrag kan worden geanalyseerd.
4	D	15 %	... metingen correct uit te voeren zodanig dat de werking en toleranties van schakelingen kunnen worden bepaald.
5	D	25 %	... PCB's te ontwerpen, realiseren en testen zodanig dat een werkende schakeling wordt verkregen.

Toetsing en werkvorm

Werkvorm	Omschrijving	Studielast
Les	Tijdens deze uren wordt de theorie uitgelegd.	36 klokuren
Lab	Tijdens deze uren wordt er gewerkt aan de opdrachten.	32 klokuren
Zelfstudie	Bestuderen van de gegeven informatiebronnen en zelfstandig werken aan de opdrachten.	128 klokuren



Plek van analoge techniek



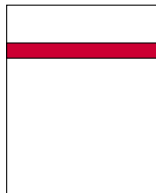
Inhoud

1. Vakorganisatie
2. Werking
3. Grootsignaalmodeel
4. MOSFET als schakelaar
5. MOSFET als versterker
6. Biasing
7. Kleinsignaalmodeel
8. Biasspanningen
9. Versterkeranalyse
10. Versterkerschakelingen

condensator

Laten we een condensator maken:

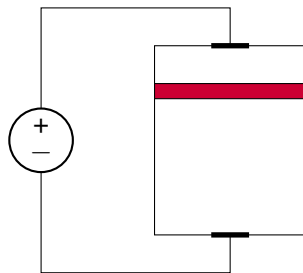
- Twee geleidende platen
- Isolator ertussen
- Materialen?



condensator

Wat zou er gebeuren als ...

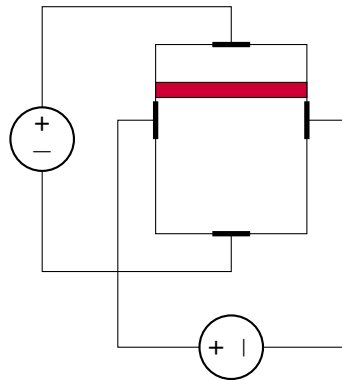
- Een spanning wordt aangesloten
- Deze spanning wordt verhoogd
- De isolatielaag kleiner wordt gemaakt?



condensator

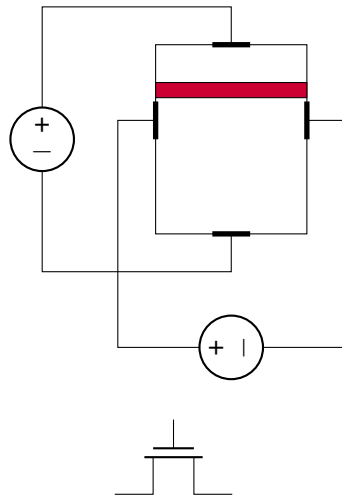
Laten we nog een voeding aansluiten.

- Wat gebeurt er?
- Wat als de spanning over de condensator verandert?
- Wat als de spanning over de halfgeleider verandert?

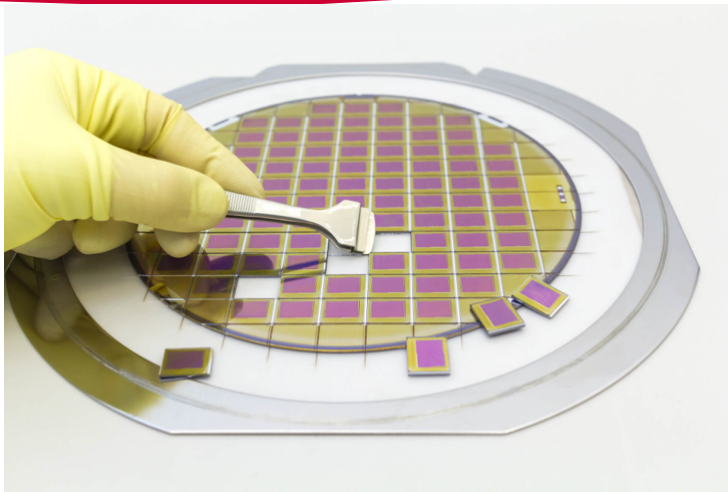


condensator

- Waar komen de elektronen vandaan?
- Hoe beschrijven we het gedrag?



Praktijk



Een halfgeleiderwafer

Structuur

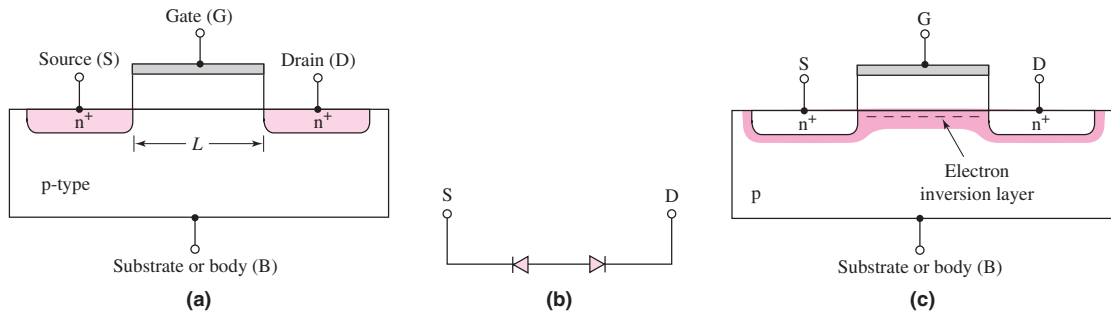


Figure 3.6 (a) Cross section of the n-channel MOSFET prior to the formation of an electron inversion layer, (b) equivalent back-to-back diodes between source and drain when the transistor is in cutoff, and (c) cross section after the formation of an electron inversion layer

Structuur

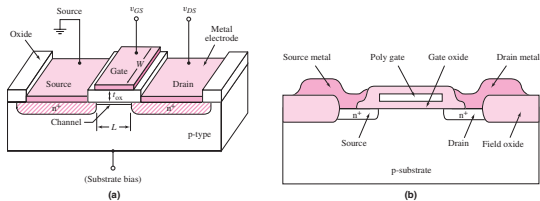


Figure 3.5 (a) Schematic diagram of an n-channel enhancement-mode MOSFET and (b) an n-channel MOSFET, showing the field oxide and polysilicon gate

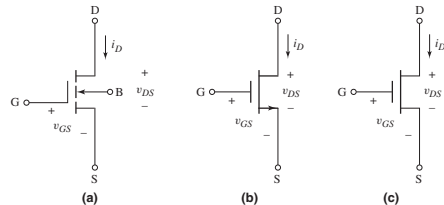


Figure 3.12 The n-channel enhancement-mode MOSFET: (a) conventional circuit symbol, (b) circuit symbol that will be used in this text, and (c) a simplified circuit symbol used in more advanced texts

Stroom

De stroom tussen de drain en source kan als volgt worden beschreven:

$$i_D = K_n[2(v_{GS} - V_{TN}) \cdot v_{DS} - v_{DS}^2]$$

- V_{TN} : De thresholdspanning van een n-kanaal MOSFET om een kanaal te voorkomen
- v_{GS} : Spanning tussen de gate en de source
- v_{DS} : Spanning tussen de drain en de source
- K_n : De transconductantieparameter

Bij welke waarde van v_{DS} stroomt de grootste stroom? Gaat de stroom daarna omlaag?

Stroom

De stroom tussen de drain en source kan als volgt worden beschreven:

$$i_D = K_n[2(v_{GS} - V_{TN}) \cdot v_{DS} - v_{DS}^2]$$

Gaat de stroom daarna omlaag? Nee!

Wanneer $V_{DS} \geq v_{GS} - V_{TN}$ dan heeft v_{DS} geen invloed meer:

$$i_D = K_n(v_{GS} - V_{TN})^2$$

Dit komt door het *pinch off* effect

Werkgebieden

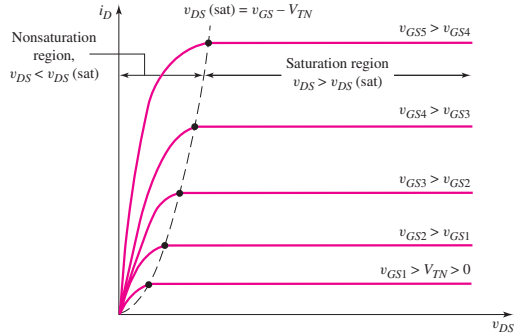
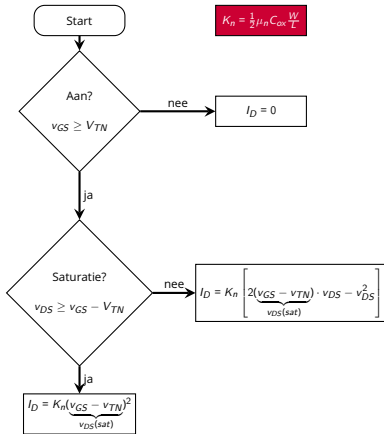


Figure 3.10 Family of i_D versus v_{DS} curves for an n-channel enhancement-mode MOSFET. Note that the $v_{DS(sat)}$ voltage is a single point on each of the curves. This point denotes the transition between the nonsaturation region and the saturation region

Werkgebieden

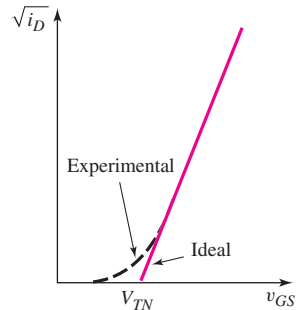
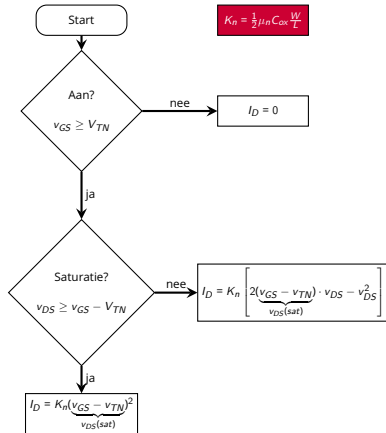
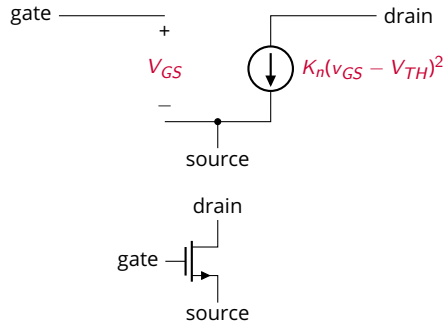


Figure 3.23 Plot of $\sqrt{i_D}$ versus v_{GS} for a MOSFET biased in the saturation region showing subthreshold conduction. Experimentally, a subthreshold current exists even for $v_{GS} < V_{TN}$.

Model in saturatie

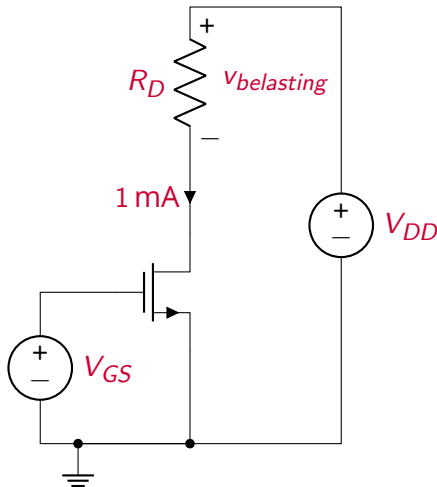
- i_D is in saturatie
onafhankelijk van v_{DS} !
- Model is dan een stroombron
tussen drain en source
- Dit heet het
grootsignaalmodel



Oefening

Gegeven is $K_n = 2 \text{ mA/V}^2$, $V_{TN} = 0,5 \text{ V}$ en $V_{DD} = 1,8 \text{ V}$.

Maak een stroombron van 1 mA
Wat moet V_{GS} zijn?



Voorbeeld

Een MOSFET heeft een thresholdspanning van 1,2 V en een toegepaste $v_{GS} = 2 \text{ V}$.

Bepaal het type werkingsgebied wanneer:

- 1 $V_{DS} = 0,4 \text{ V}$
- 2 $V_{DS} = 1 \text{ V}$
- 3 $V_{DS} = 5 \text{ V}$

Met $v_{GS} < V_{TN}$ dan

$$i_D = 0$$

Met $v_{GS} \geq V_{TN}$ en $v_{DS} < v_{GS} - V_{TN}$ dan

$$I_D = K_n \left[\underbrace{2(v_{GS} - v_{TN})}_{v_{DS(sat)}} \cdot v_{DS} - v_{DS}^2 \right]$$

Met $v_{GS} \geq V_{TN}$ en $v_{DS} \geq v_{GS} - V_{TN}$ dan

$$I_D = K_n \underbrace{(v_{GS} - v_{TN})^2}_{v_{DS(sat)}}$$

Voorbeeld

Een MOSFET heeft een thresholdspanning van 1,2 V en een toegepaste $v_{GS} = 2 \text{ V}$.

Bepaal het type werkingsgebied wanneer:

- 1 $V_{DS} = 0,4 \text{ V}$
- 2 $V_{DS} = 1 \text{ V}$
- 3 $V_{DS} = 5 \text{ V}$

Antwoorden:

- 1 Nonsaturatie
- 2 Saturatie
- 3 Saturatie

Met $v_{GS} < V_{TN}$ dan

$$i_D = 0$$

Met $v_{GS} \geq V_{TN}$ en $v_{DS} < v_{GS} - V_{TN}$ dan

$$I_D = K_n \left[\underbrace{2(v_{GS} - v_{TN})}_{v_{DS(sat)}} \cdot v_{DS} - v_{DS}^2 \right]$$

Met $v_{GS} \geq V_{TN}$ en $v_{DS} \geq v_{GS} - V_{TN}$ dan

$$I_D = K_n \underbrace{(v_{GS} - v_{TN})}_{v_{DS(sat)}}^2$$

Voorbeeld

Met $v_{GS} < V_{TN}$ dan

$$i_D = 0$$

Gegeven is $K_n = 1,08 \text{ mA/V}^2$, $V_{TN} = 1,2 \text{ V}$ en $v_{GS} = 2 \text{ V}$.

Bereken de drainstroom voor de condities

- 1 $V_{DS} = 0,4 \text{ V}$
- 2 $V_{DS} = 1 \text{ V}$
- 3 $V_{DS} = 5 \text{ V}$

Met $v_{GS} \geq V_{TN}$ en $v_{DS} < v_{GS} - V_{TN}$ dan

$$I_D = K_n \left[\underbrace{2(v_{GS} - v_{TN})}_{v_{DS(sat)}} \cdot v_{DS} - v_{DS}^2 \right]$$

Met $v_{GS} \geq V_{TN}$ en $v_{DS} \geq v_{GS} - V_{TN}$ dan

$$I_D = K_n \underbrace{(v_{GS} - v_{TN})}_{v_{DS(sat)}}^2$$

Voorbeeld

Gegeven is $K_n = 1,08 \text{ mA/V}^2$, $V_{TN} = 1,2 \text{ V}$ en $v_{GS} = 2 \text{ V}$.

Bereken de drainstroom voor de condities

- 1 $V_{DS} = 0,4 \text{ V}$
- 2 $V_{DS} = 1 \text{ V}$
- 3 $V_{DS} = 5 \text{ V}$

Antwoorden:

- 1 $I_D = 0,518 \text{ mA}$
- 2 $I_D = 0,691 \text{ mA}$
- 3 $I_D = 0,691 \text{ mA}$

Met $v_{GS} < V_{TN}$ dan

$$i_D = 0$$

Met $v_{GS} \geq V_{TN}$ en $v_{DS} < v_{GS} - V_{TN}$ dan

$$I_D = K_n \left[\underbrace{2(v_{GS} - v_{TN})}_{v_{DS(sat)}} \cdot v_{DS} - v_{DS}^2 \right]$$

Met $v_{GS} \geq V_{TN}$ en $v_{DS} \geq v_{GS} - V_{TN}$ dan

$$I_D = K_n \underbrace{(v_{GS} - v_{TN})^2}_{v_{DS(sat)}}$$

Overzicht

Table 3.1 Summary of the MOSFET current-voltage relationships

NMOS

Nonsaturation region ($v_{DS} < v_{DS}(\text{sat})$)

$$i_D = K_n[2(v_{GS} - V_{TN})v_{DS} - v_{DS}^2]$$

Saturation region ($v_{DS} > v_{DS}(\text{sat})$)

$$i_D = K_n(v_{GS} - V_{TN})^2$$

Transition point

$$v_{DS}(\text{sat}) = v_{GS} - V_{TN}$$

Enhancement mode

$$V_{TN} > 0$$

Depletion mode

$$V_{TN} < 0$$

PMOS

Nonsaturation region ($v_{SD} < v_{SD}(\text{sat})$)

$$i_D = K_p[2(v_{SG} + V_{TP})v_{SD} - v_{SD}^2]$$

Saturation region ($v_{SD} > v_{SD}(\text{sat})$)

$$i_D = K_p(v_{SG} + V_{TP})^2$$

Transition point

$$v_{SD}(\text{sat}) = v_{SG} + V_{TP}$$

Enhancement mode

$$V_{TP} < 0$$

Depletion mode

$$V_{TP} > 0$$

NMOS als schakelaar

De MOSFET kan worden gebruikt als schakelaar met de volgende voordelen over een mechanische schakelaar:

- snelheid
- betrouwbaarheid

Afbeelding 3.45 toont een NMOS inverterschakeling.

Wanneer $v_I < V_{TN}$ dan is de FET in cut-off met $v_O = V_{DD}$ en geen vermogensverbruik.
Wanneer $v_I > V_{TN}$ dan is de FET aan.

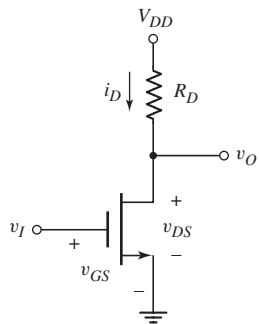


Figure 3.45 NMOS inverter circuit

NMOS als schakelaar

Naarmate de ingangsspanning toeneemt, neemt v_{DS} af en gaat de transistor van saturatie naar nonsaturatie.

Met $v_I = V_{DD}$ wordt de transistor ingesteld in nonsaturatie, bereikt v_O een minimumwaarde en i_D een maximale waarde.

De uitgangsspanning wordt gegeven door $v_O = V_{DD} - i_D R_D$ en de stroom door $i_D = K_n(2(v_I - V_{TN})v_O - v_O^2)$.

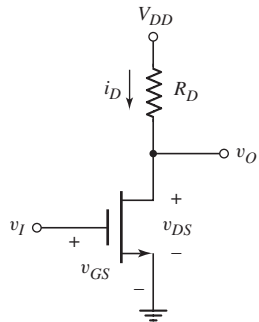


Figure 3.45 NMOS inverter circuit

Logische poort

M_1 en M_2 staan parallel.

- 1 Beide mosfets in cut-off:

$$V_O \approx V_{DD}$$

- 2 M_1 in nonsaturatie, M_2 in cut-off:

$$V_O = V_{DD} - i_{D1} R_D \approx 0V$$

- 3 M_1 in cut-off, M_2 in nonsaturatie:

$$V_O = V_{DD} - i_{D2} R_D \approx 0V$$

- 4 Beide mosfets in nonsaturatie:

$$V_O = V_{DD} - (i_{D1} + i_{D2}) R_D \approx 0V$$

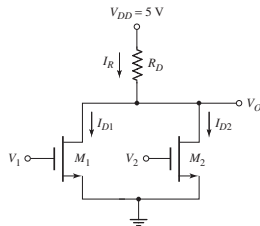


Figure 3.46 A two-input NMOS NOR logic gate

Table 3.2 NMOS NOR logic circuit response

$V_1(V)$	$V_2(V)$	$V_O(V)$
0	0	High
5	0	Low
0	5	Low
5	5	Low

Logische poort

M_1 en M_2 staan parallel.

Neem $R_D = 20 \text{ k}\Omega$, $K_n = 0,1 \text{ mA/V}^2$, $V_{TN} = 0,8 \text{ V}$ en $V_{DD} = 5 \text{ V}$.

Bepaal de stromen en spanningen in een digitale logische poort voor verschillende ingangsspanningen van 0 V en 5 V.

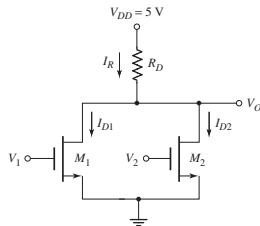


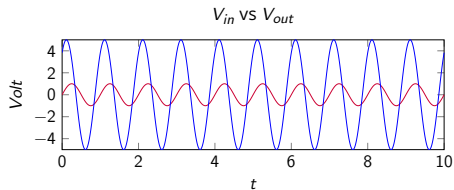
Figure 3.46 A two-input NMOS NOR logic gate

Table 3.2 NMOS NOR logic circuit response

$V_1(\text{V})$	$V_2(\text{V})$	$V_O(\text{V})$
0	0	High
5	0	Low
0	5	Low
5	5	Low

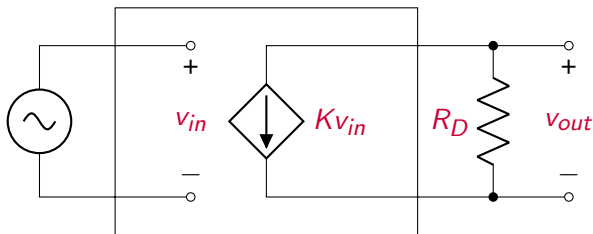
Versterker

Laten we een versterker bouwen...



Versterker

Laten we een versterker bouwen...



Wat is V_{out} ?

Curves

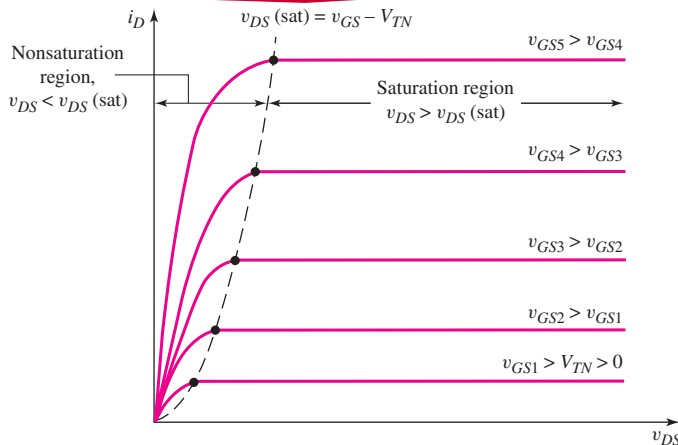
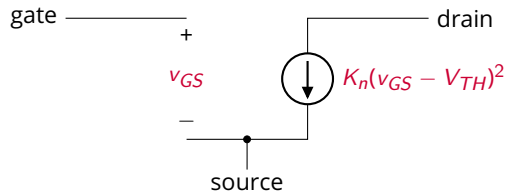
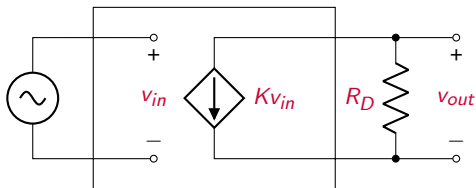


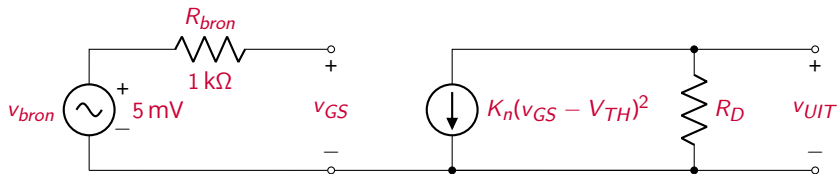
Figure 3.10 Family of i_D versus v_{DS} curves for an n-channel enhancement-mode MOSFET. Note that the $v_{DS}(\text{sat})$ voltage is a single point on each of the curves. This point denotes the transition between the nonsaturation region and the saturation region

Versterker

Laten we een versterker bouwen....

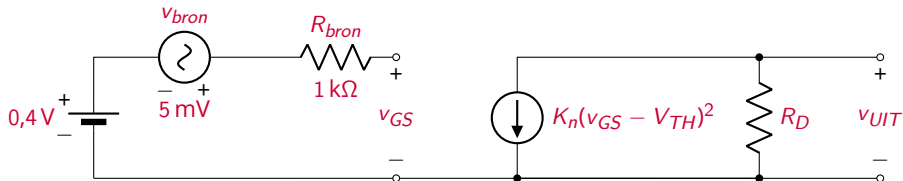


Versterker bouwen



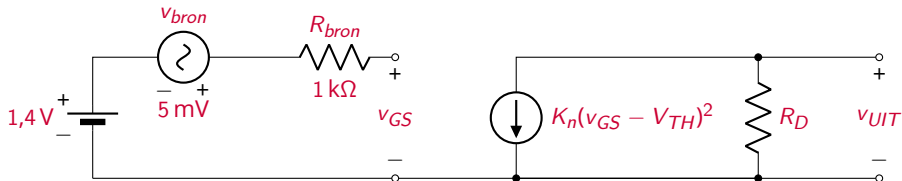
Met $v_{GS_{piek}} = 5\text{ mV}$, Welke R_D is nodig om een v_{UIT} van 50 mV te krijgen? Neem $K_n = 1\text{ mA/V}^2$ en $V_{TH} = 0,4\text{ V}$.

Versterker bouwen



Welke R_D is nodig om een v_{UIT} van 50 mV te krijgen? Neem $K_n = 1 \text{ mA/V}^2$ en $V_{TH} = 0,4 \text{ V}$.

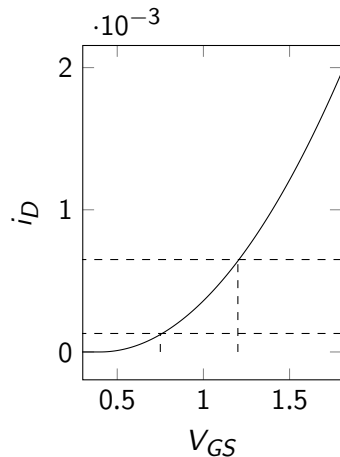
Versterker bouwen



Welke R_D is nodig om een v_{UIT} van 50 mV te krijgen? Neem $K_n = 1 \text{ mA/V}^2$ en $V_{TH} = 0,4 \text{ V}$.

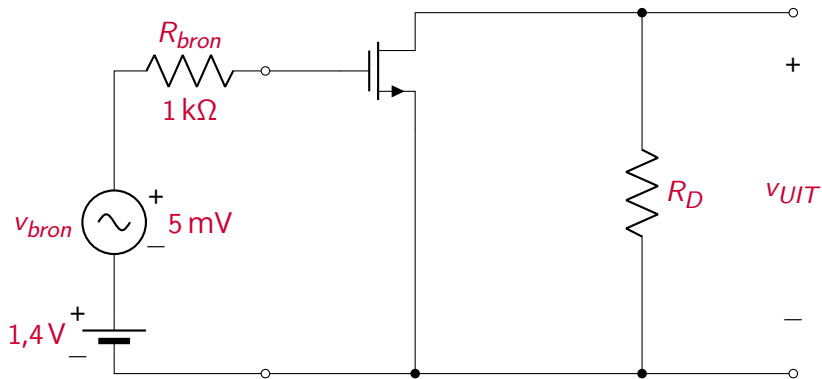
Versterker bouwen

Welke instelling van V_{GS} zou het beste zijn voor de versterker?



Versterker bouwen

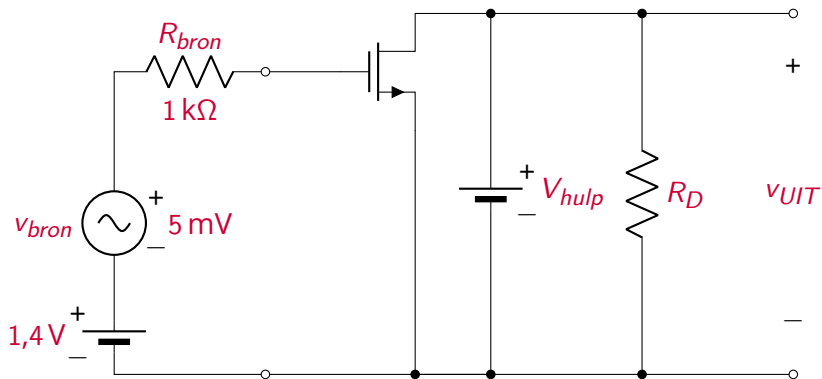
Is de mosfet in saturatie met $V_{TN} = 0,4 \text{ V}$?



Versterker bouwen

Is de mosfet in saturatie met $V_{TN} = 0,4\text{ V}$?

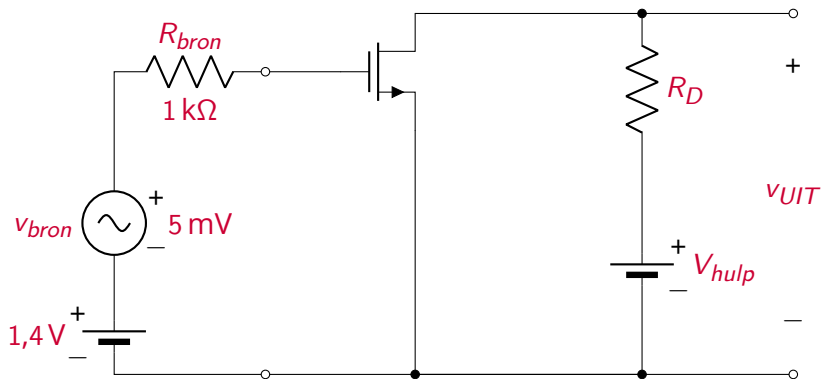
Poging 1:



Versterker bouwen

Is de mosfet in saturatie met $V_{TN} = 0,4 \text{ V}$?

Poging 2:



Instellen MOSFET

- 1 Kies een I_{DQ} . Dit bepaalt het vermogensverbruik en g_m
- 2 Bereken benodigde v_{GSQ} voor de gekozen i_{DQ} . v_{GSQ} is te genereren met een spanningsdeler.
- 3 Kies een drain weerstand om de loadline op de ideale plek te zetten.

Load lines MOSFET

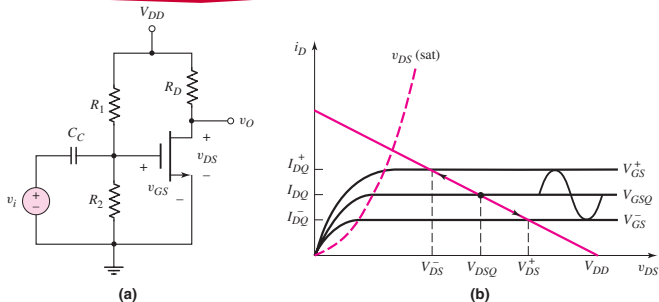


Figure 3.47 (a) An NMOS common-source circuit with a time-varying signal coupled to the gate and (b) transistor characteristics, load line, and superimposed sinusoidal signals

De werkgebieden van een de schakeling van figuur 3.47 zijn te bepalen door de load line te tekenen.

$$V_{DS} = V_{DD} - i_D R_D$$

Load lines MOSFET

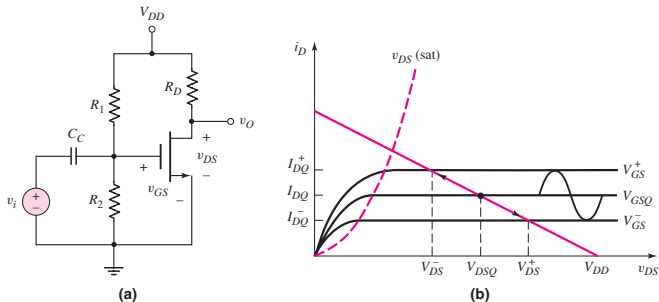


Figure 3.47 (a) An NMOS common-source circuit with a time-varying signal coupled to the gate and (b) transistor characteristics, load line, and superimposed sinusoidal signals

Als v_{GS} verandert in de loop van de tijd, zal het Q-punt op en neer bewegen langs de lijn, zoals in de afbeelding is te zien.

DC analyse

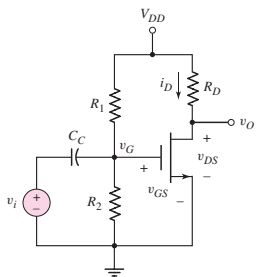
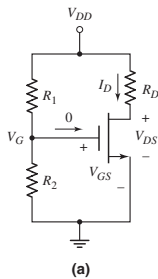
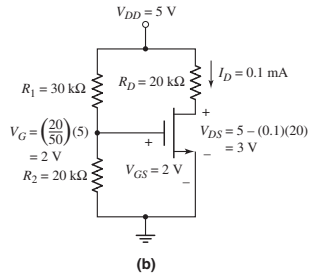


Figure 3.24 An NMOS common-source circuit



(a)



(b)

Figure 3.25 (a) The dc equivalent circuit of the NMOS common-source circuit and (b) the NMOS circuit for Example 3.3, showing current and voltage values

Grootsignaalmodel

- De gatespanning wordt gegeven door de spanningsdeler

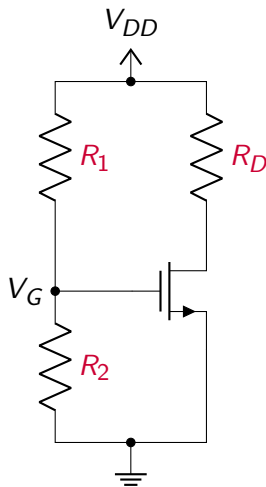
$$V_G = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD}$$

- Als de transistor is ingesteld in saturatie dan is de drainstroom

$$i_D = K_n (v_{GS} - V_{TN})^2$$

- Er loopt geen DC-stroom door de gate. Het vermogensverbruik van de MOSFET is dan

$$P_T = I_D V_{DS}$$

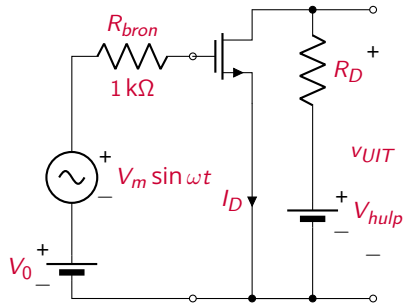


Linearisatie

- Wat is I_D als $V_{bron} = V_m \sin(\omega t)$?

$$I_D = K_n(V_{GS} - V_{TH} + V_m \sin(\omega t))^2$$

- Als $V_m \ll V_{GS} - V_{TH}$, is dit te vereenvoudigen?



Linearisatie

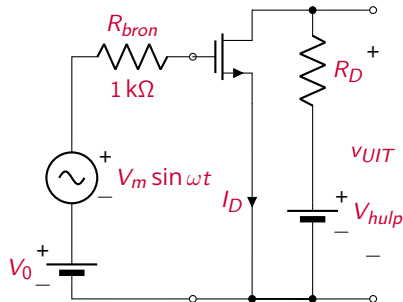
- Wat is I_D als $V_{bron} = V_m \sin(\omega t)$?

$$I_D = K_n (V_{GS} - V_{TH} + V_m \sin(\omega t))^2$$

- Als $V_m \ll V_{GS} - V_{TH}$, is dit te vereenvoudigen?

$$I_D = K_n \left((V_{GS} - V_{TH}) \left(1 + \frac{V_m \sin(\omega t)}{V_{GS} - V_{TH}} \right) \right)^2$$

$$I_D = K_n (V_{GS} - V_{TH})^2 \left(1 + \frac{V_m \sin(\omega t)}{V_{GS} - V_{TH}} \right)^2$$



Linearisatie

- Als $V_m \ll V_{GS} - V_{TH}$, is dit te vereenvoudigen?

$$I_D = K_n \left((V_{GS} - V_{TH}) \left(1 + \frac{V_m \sin(\omega t)}{V_{GS} - V_{TH}} \right) \right)^2$$

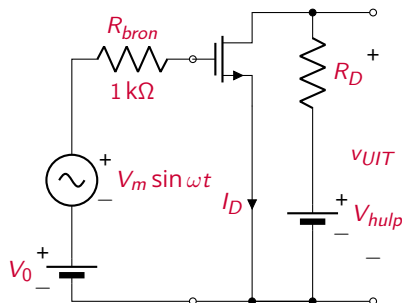
$$I_D = K_n (V_{GS} - V_{TH})^2 \left(1 + \frac{V_m \sin(\omega t)}{V_{GS} - V_{TH}} \right)^2$$

- Wanneer $|x| \ll 1$

$$(1 + x)^2 = 1 + 2x + x^2 \approx 1 + 2x$$

en dus

$$I_D \approx K_n (V_{GS} - V_{TH})^2 \left(1 + \frac{2V_m \sin(\omega t)}{V_{GS} - V_{TH}} \right)$$



Linearisatie

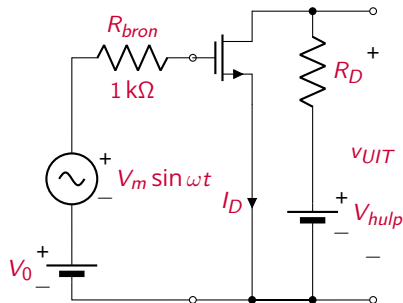
- Als $V_m \ll V_{GS} - V_{TH}$, is dit te vereenvoudigen?
- Wanneer $|x| \ll 1$

$$(1 + x)^2 = 1 + 2x + x^2 \approx 1 + 2x$$

en dus

$$I_D \approx K_n (V_{GS} - V_{TH})^2 \left(1 + \frac{2V_m \sin(\omega t)}{V_{GS} - V_{TH}} \right)$$

$$I_D \approx \underbrace{I_{D0}}_{\text{bias-stroom}} + \underbrace{\frac{2I_{D0}}{V_{GS} - V_{TH}} V_m \sin(\omega t)}_{\text{signaalstroom}}$$



Transconductance

De MOSFET zet een spanning om naar stroom

$$g_m = \frac{\delta I_D}{\delta V_{GS}}$$

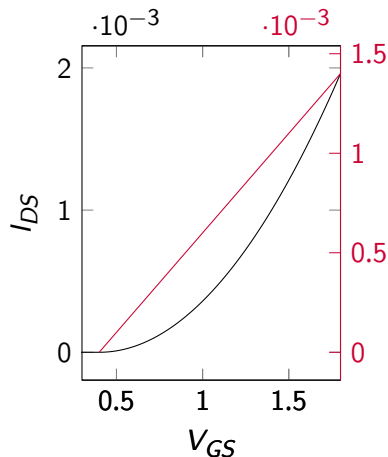
De afgeleide geeft de versterking aan

$$I_D = K_n(V_{GS} - V_{TH})^2$$

$$g_m = 2K_n(V_{GS} - V_{TH})$$

$$g_m = \frac{2I_D}{V_{GS} - V_{TH}}$$

$$g_m = 2\sqrt{K_n I_D}$$



Niet ideaaliteit

In saturatie is de MOSFET niet een ideale stroombron en toch deels afhankelijk van V_{DS} .

$$i_D = K_n(v_{GS} - V_{TN})^2(1 + \lambda v_{DS})$$

λ is de kanaallengtemodulatie-parameter en is typisch te verwaarlozen voor discrete MOSFETs. Voor kanaallengtes vanaf $1\text{ }\mu\text{m}$ begint het een impact te hebben. Effectief gezien geeft dit het effect van een weerstand in het groot- en kleinsignaalmodel.

$$r_o = \left. \frac{\delta v_{DS}}{\delta i_D} \right|_{v_{GS}=\text{const.}} = \frac{1}{\lambda I_{DQ}}$$

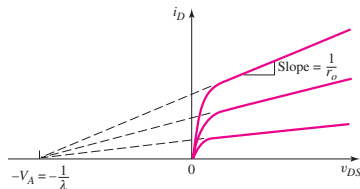
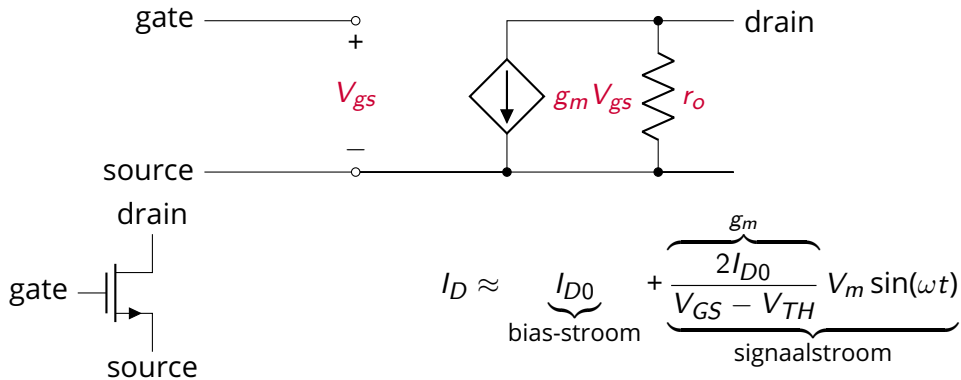
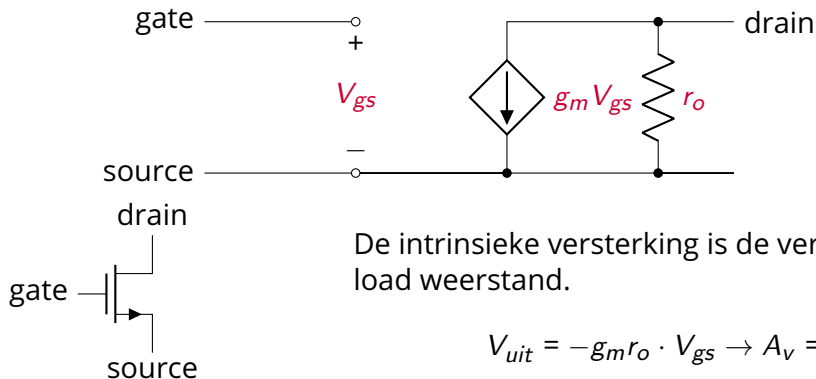


Figure 3.20 Family of i_D versus v_{DS} curves showing the effect of channel length modulation producing a finite output resistance

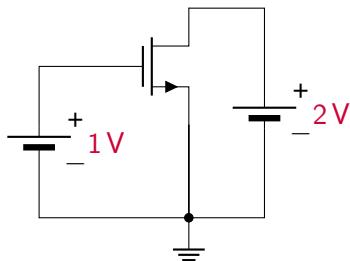
Model



Model

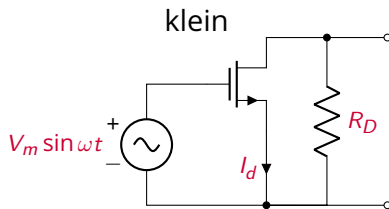
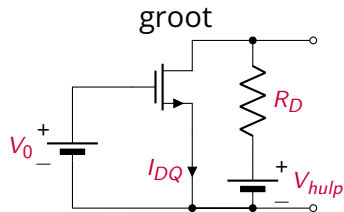
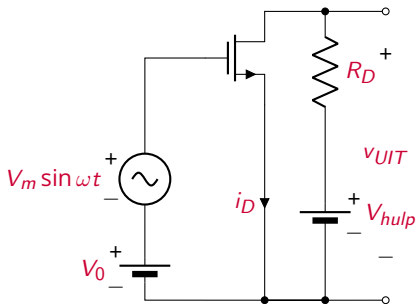


Intrinsieke versterking

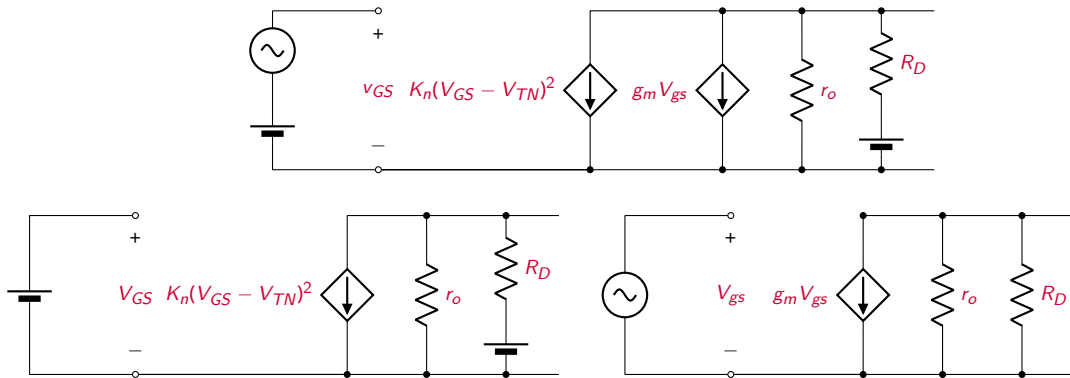


Gegeven is $K_n = 1,08 \text{ mA/V}^2$, $V_{TN} = 0,5 \text{ V}$, $\lambda = 0,2/\text{V}$. Bereken de intrinsieke versterking van deze mosfet.

Superpositie

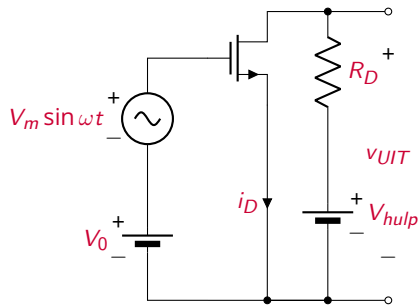


Superpositie

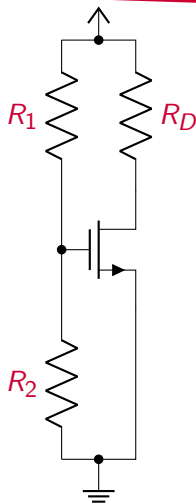


Voorbeeld

Stel de schakeling in voor een g_m van tenminste 1 mS en een drainstroom van maximaal 20 mA. $V_{TN} = 0,4\text{ V}$, $\lambda = 0,01/\text{V}$ en $K_n = 0,5\text{ mA/V}^2$. Bepaal de benodigde V_0 , V_{hulp} en teken het kleinsignaalmodel.



Stabilisatie DC punt

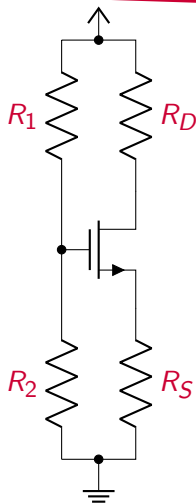


Met een spanningsdeler kunnen we de gatespanning instellen. Een kleine variatie in weerstandswaarde heeft een grote variatie in de drainstroom.

Met $V_{DD} = 3,3\text{ V}$, $V_{TN} = 0,4\text{ V}$, $\lambda = 0/\text{V}$ en $K_n = 0,342\text{ mA/V}^2$, bereken de drainstroom voor:

- 1 $R_1 = 35\text{ k}\Omega$, $R_2 = 62\text{ k}\Omega$ en $R_D = 1,5\text{ k}\Omega$
- 2 E12 waarden: $R_1 = 33\text{ k}\Omega$, $R_2 = 68\text{ k}\Omega$

Stabilisatie DC punt

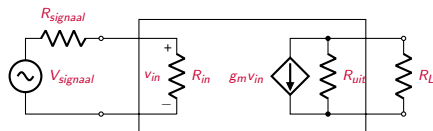
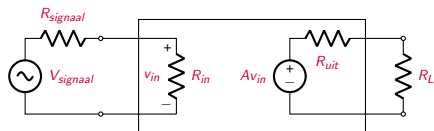


Gegeven $V_{DD} = 3,3\text{ V}$, $V_{TN} = 0,4\text{ V}$, $\lambda = 0/\text{V}$ en $K_n = 0,342\text{ mA/V}^2$.

Gewenst is een stroom van 1 mA en een spannings val over R_S en van $1,1\text{ V}$.
Bereken de gewenste weerstandswaarden om deze stroom te krijgen.

Gebruik nu weerstanden van de E12 reeks en bekijk het verschil in drainstroom.
E12: 10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82 ($\text{k}\Omega$)

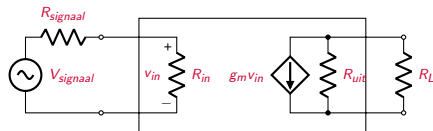
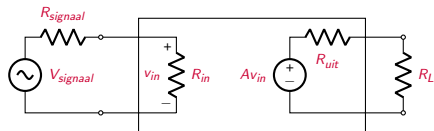
Versterkermodel



Een versterker heeft een versterking (A), ingangsimpedantie (R_{in}) en uitgangsimpedantie R_{uit} . De spanningsdelers beïnvloeden hierdoor de totale versterking van V_{signaal} tot R_L .

Beide de bron en de versterker kunnen gemodelleerd worden met een thevenin of norton model. Dit hangt af van de fysische eigenschappen. We zijn dan ook niet altijd geïnteresseerd in spanningsversterking maar soms ook in stroomversterking of spanning/stroom, stroom/spanning.

Versterkermodel

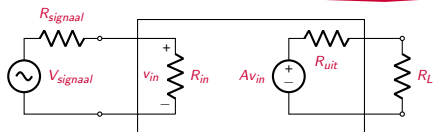


Opdracht: Bereken de (spannings)versterking

$$A_{\text{totaal}} = \frac{V_{R_L}}{V_{\text{signaal}}}$$

Tip: Bereken eerst V_{R_L} en werk naar de ingang toe.

Versterkermodel

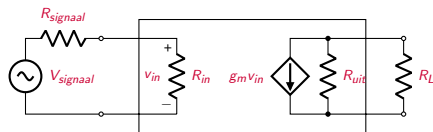


Antwoord:

$$V_{R_L} = AV_{in} \frac{R_L}{R_L + R_{uit}}$$

$$V_{in} = V_{signaal} \frac{R_{in}}{R_{signaal} + R_{in}}$$

$$A_{totaal} = A \frac{R_{in}}{R_{signaal} + R_{in}} \frac{R_L}{R_L + R_{uit}}$$



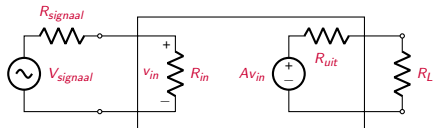
Antwoord:

$$V_{R_L} = -g_m V_{in} (R_L \parallel R_{uit})$$

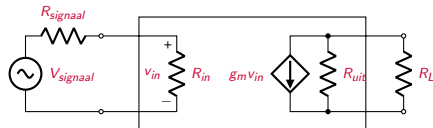
$$V_{in} = V_{signaal} \frac{R_{in}}{R_{signaal} + R_{in}}$$

$$A_{totaal} = -g_m \frac{R_{in}}{R_{signaal} + R_{in}} (R_{uit} \parallel R_L)$$

Versterkermodel



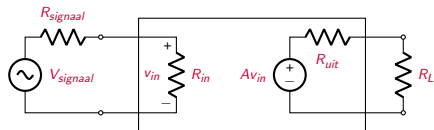
$$A_{\text{totaal}} = A \frac{R_{in}}{R_{\text{signaal}} + R_{in}} \frac{R_L}{R_L + R_{uit}}$$



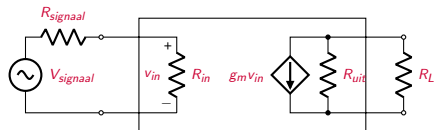
$$A_{\text{totaal}} = -g_m \frac{R_{in}}{R_{\text{signaal}} + R_{in}} (R_{uit} \parallel R_L)$$

Wat zijn de ideale R_{in} en R_{uit} voor deze spanningsversterkers?

Versterkermodel



$$A_{totaal} = A \frac{R_{in}}{R_{signaal} + R_{in}} \frac{R_L}{R_L + R_{uit}}$$



$$A_{totaal} = -g_m \frac{R_{in}}{R_{signaal} + R_{in}} (R_{uit} \parallel R_L)$$

Wat zijn de ideale R_{in} en R_{uit} voor deze spanningsversterkers?

$$R_{in} = \infty \text{ en } R_{uit} = 0!$$

$$R_{in} = \infty \text{ en } R_{uit} = \infty!$$

Herhaal de opgave voor het norton model van de bron.

cascade

We maken een versterker voor een antenne. De ingangsimpedantie moet $50\ \Omega$ zijn en de uitgangsimpedantie $4\ \Omega$. We hebben een spanningsversterking nodig van 100. De beschikbare versterkers hebben een maximale versterking van 10 en een mogelijke in- en uitgangsimpedanties tussen de $4\ \Omega$ en $25\ \text{k}\Omega$. Bepaal de meest optimale serieschakeling voor dit doeleinde.

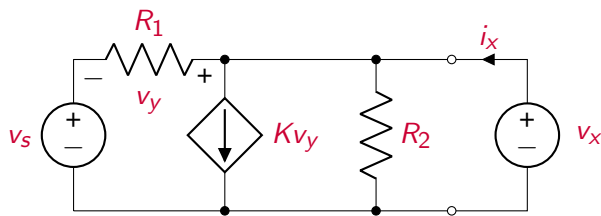
Berekenen van...

Bij het berekenen van de versterkereigenschappen gebruik je altijd het kleinsignaalmodel. Om de in- of uitgangsimpedantie van een versterker te bepalen gebruik je de volgende stappen:

- Sluit een testspanningsbron v_x aan op de in- of uitgang, en bereken $R = \frac{v_x}{i_x}$
- Voor de ingangsimpedantie neem je de load weerstand mee
- Voor de uitgangsimpedantie neem je de bronweerstand mee en zet je de onafhankelijke signaalbron uit.

Voorbeeld

Bereken de uitgangsimpedantie van de volgende schakeling. De testbron is alvast aangesloten. De signaalbron is nog niet uitgezet.



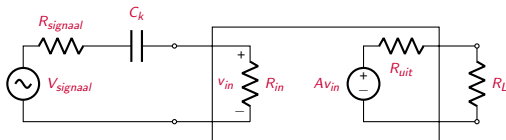
Typen

Transistorschakelingen worden ingedeeld op basis van welke plek de in- en uitgangsspanning worden aangesloten.

- Common-source. De source is gemeenschappelijk voor de ingang en uitgang. Hoge spanningsversterking.
- Common-gate. De gate is gemeenschappelijk voor de ingang en uitgang. Lage ingangsimpedantie.
- Common-drain. De drain is gemeenschappelijk voor de ingang en uitgang. Wordt ook de source-follower genoemd. Lage uitgangsimpedantie.

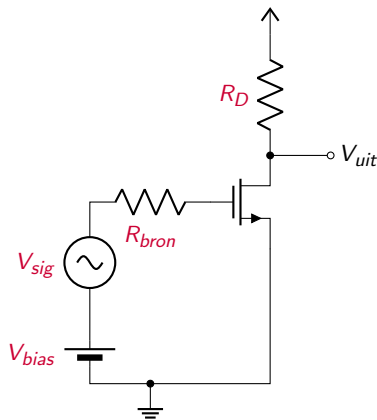
Ontkoppeling van AC signaal

Om een AC signaal te koppelen aan een DC spanning kunnen we een condensator gebruiken. Deze condensator vormt dan een pool in de overdrachtsfunctie met kantelfrequentie $f_c = \frac{1}{2\pi R_{totaal} C_{koppel}}$. Waarbij R_{totaal} de totale weerstand is die de condensator ziet.



C_k ziet $R_{signaal} + R_{in}$. Het geeft dus een pool bij frequentie $\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C_k (R_{signaal} + R_{in})}$. De spanningsdeler $R_{signaal}$ en R_{in} geeft nog steeds een demping van $\frac{R_{signaal}}{R_{signaal} + R_{in}}$ over alle frequenties.

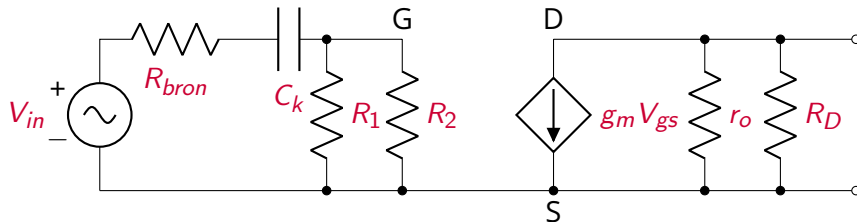
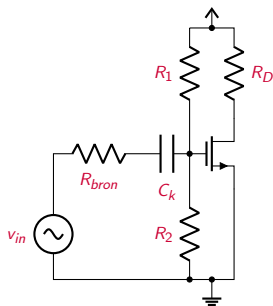
Common-source



- Vervang de DC bron met een spanningsdeler en koppel het signaal met een condensator
- Teken het kleinsignaalmodel
- Bereken de in- en uitgangsimpedanties van de versterker
- Bereken de spanningsversterking van de versterker
- Bepaal de poolfrequentie van de koppelcondensator
- Herhaal de opgaven met een weerstand aan de source voor stabilisatie.

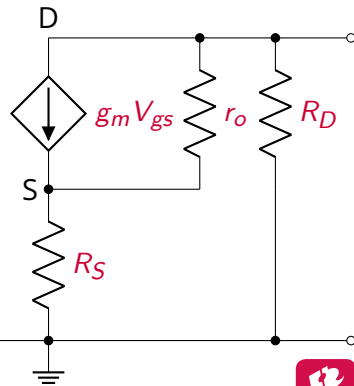
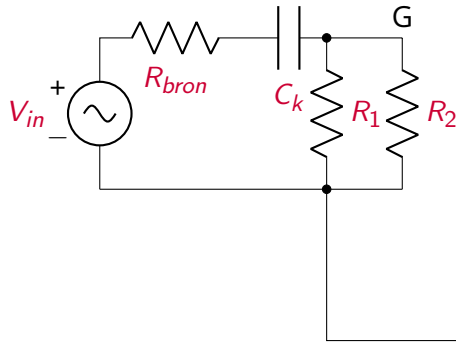
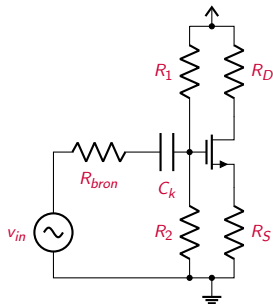
Common-source kleinsignaalmodel

Neem $V_{DD} = 3\text{V}$, $R_D = 10\text{ k}\Omega$, $R_1 = 140\text{ k}\Omega$, $R_2 = 60\text{ k}\Omega$,
 $R_{bron} = 400\text{ }\Omega$. De transistorparameters zijn $V_{TN} = 0,4\text{ V}$,
 $\lambda = 0,02/\text{V}$ en $K_n = 0,5\text{ mA/V}^2$.



Common-source kleinsignaalmodel

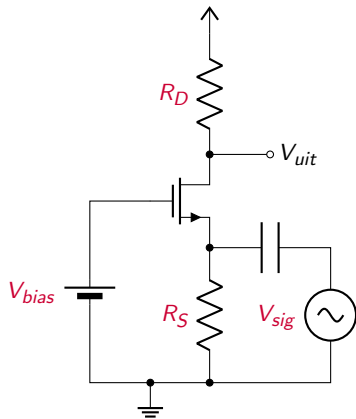
Neem $V_{DD} = 3\text{ V}$, $R_D = 10\text{ k}\Omega$, $R_1 = 140\text{ k}\Omega$, $R_2 = 60\text{ k}\Omega$, $R_{bron} = 400\text{ }\Omega$. De transistorparameters zijn $V_{TN} = 0,4\text{ V}$, $\lambda = 0,02/\text{V}$ en $K_n = 0,5\text{ mA/V}^2$.



Common Source ontwerp

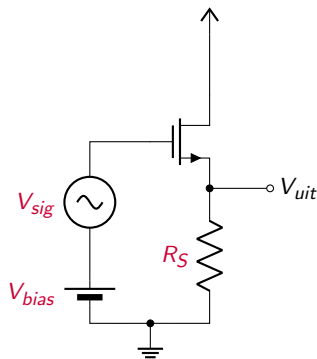
We hebben beschikking over een AA batterij met een spanning van 1,5 V en een MOSFET met $V_{TN} = 0,4 \text{ V}$, $\lambda = 0/\text{V}$ en $K_n = 100 \text{ mA/V}^2$. De schakeling mag maximaal 1,5 mW verbruiken en de drainstroom moet minimaal 0,5 mA zijn. Geef de weerstandswaarden voor een maximale spanningsversterking voor de gegeven eisen.

Common-gate



- Teken het kleinsignaalmodel
- Bereken de in- en uitgangsimpedanties
- Bereken de spanningsversterking en de stroomversterking $\frac{I_{uit}}{I_{in}}$

Common-drain / Source follower



- Teken het kleinsignaalmodel
- Bereken de in- en uitgangsimpedanties
- Bereken de spanningsversterking

Cascade

Met de gevonden in- en uitgangsimpedanties en spanningsversterkingen kunnen we een cascade schakeling maken. Gegeven een spanningsbron met een interne weerstand $R_{bron} = 2 \Omega$ en een belasting met een impedantie van $R_L = 16 \Omega$.

Welke samenstelling van versterkerconfiguraties zou de grootste versterking geven?

Volgend onderwerp...

- Opamps en filters