

Technische Universiteit Delft  
Faculteit Informatie-Technologie en Systemen  
Afdeling Micro-Elektronica

### **Tentamen ES3**

10 juni 2003, 9:00 – 12:00 uur

*Dit tentamen is een "open boek" tentamen. Het gebruik van een rekenmachine is toegestaan.*

*Voor de multiple-choice vragen geldt: omcirkel het naar jouw mening juiste alternatief.*

*Voor de open vragen geldt: geef in de aangegeven ruimten je antwoorden en houd ze beknopt. Eventueel kun je extra bladen gebruiken die je dan duidelijk van je naam en studienummer moet voorzien.*

*Prefix reminder:  $\mu = \text{micro} = 10^6$ ,  $n = \text{nano} = 10^9$ ,  $p = \text{pico} = 10^{12}$ ,  $f = \text{femto} = 10^{15}$ ,  $M = \text{mega} = 10^6$*

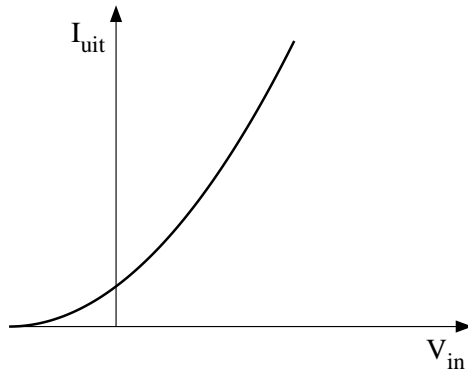
---

Vul je naam en studienummer in:

Naam: .....

Studienummer: .....

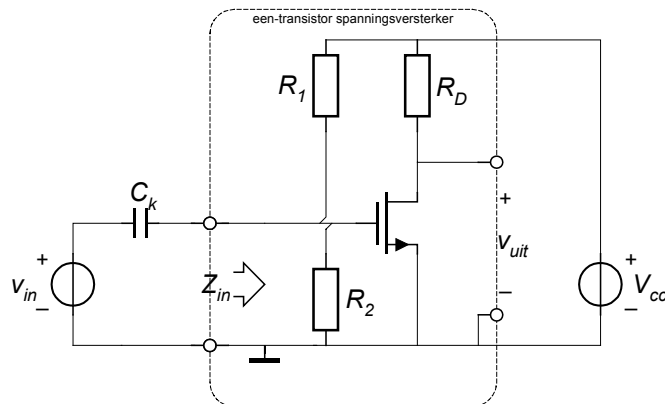
Opgave 1.



Bovenstaande overdrachtsfunctie behoort bij een

- A bipolaire transistor
- B normally-off (enhancement) metaal-isolator (MOS) veldeffect transistor
- C normally-on (depletion) metaal-isolator (MOS) veldeffect transistor
- D thyristor

Opgave 2.



Gegeven bovenstaande één-transistor versterker-schakeling. Er geldt:  $i_D = 2 \text{ mA}$ ,  $V_{CC} = 3,3 \text{ V}$ ,  $R_D = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ . De bron  $v_{in}$  geeft een harmonische spanning af met gemiddelde waarde 0 en effectieve waarde 0,25 volt.

De gebruikte transistor is van het type

- A NMOS, enhancement
- B NMOS, depletion
- C PMOS, enhancement
- D PMOS, depletion
- E NPN bipolaire junctietransistor (BJT)
- F PNP bipolaire junctietransistor (BJT)

Vul je naam en studienummer in:

---

Naam: .....

Studienummer: .....

---

### Opgave 3.

De gemiddelde waarde van  $v_{uit}$  bedraagt

- A 0,6 V
- B 1,3 V
- C 2,0 V
- D 3,3 V

### Opgave 4.

De transconductantiefactor  $g_m$  van de transistor heeft een waarde van 4 mA/V. Het AC- (signaal-) vermogen dat wordt gedissipeerd in  $R$  is gelijk aan

- A 16  $\mu$ W
- B 1 mW
- C 4 mW
- D 10,8 mW

### Opgave 5.

De ingangsimpedantie  $Z_{in}$  bedraagt

- A 0
- B 500  $\Omega$
- C 1 k $\Omega$
- D oneindig

### Opgave 6.

Bepaal de waarde van koppelcondensator  $C_k$  indien de spanningsversterking constant is over een frequentiebereik van 20 Hz tot 20 kHz.

$C_k =$
---------

Vul je naam en studienummer in:

Naam: .....

Studienummer: .....

Opgave 7.

Bepaal de groote van de 4 (klein-signaal) kettingparameters  $A$ ,  $B$ ,  $C$  en  $D$  van bovenstaande versterker-schakeling. Er geldt nog steeds dat de transconductantiefactor  $g_m$  van de transistor gelijk is aan  $4 \text{ mA/V}$ ;  $i_D = 2 \text{ mA}$ ,  $V_{CC} = 3,3 \text{ V}$ ,  $R_D = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ .

$A =$

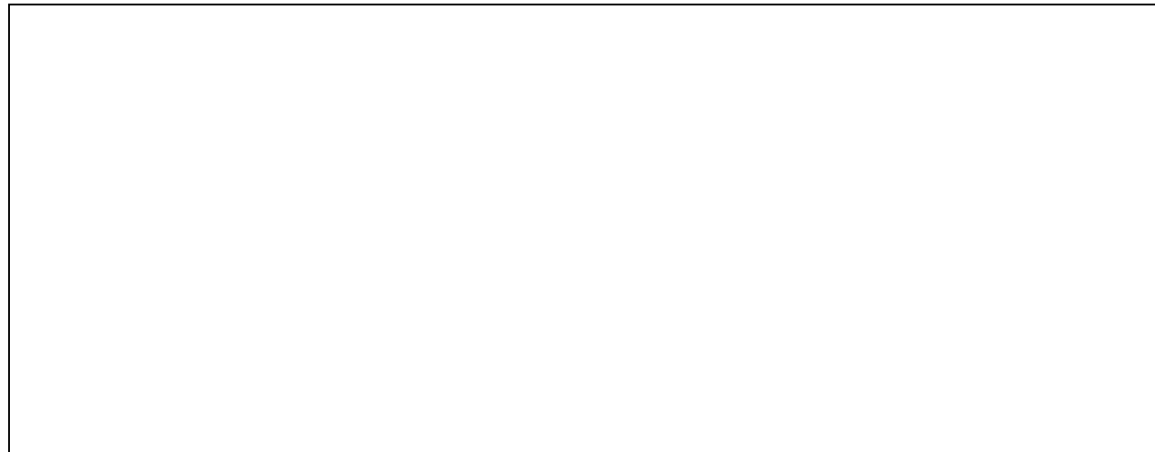
$B =$

$C =$

$D =$

Opgave 8.

Ontwerp een harmonische oscillator met behulp van een operationele versterker, twee weerstanden  $R_1$  en  $R_2$  en twee capaciteiten  $C_1$  en  $C_2$ . Zorg ervoor dat aan de twee (Barkhausen) oscilleer voorwaarden wordt voldaan. Vergeet niet de + en – ingang van de operationele versterker aan te geven.



Opgave 9.

In de door jou ontworpen (bovenstaande) oscillator is sprake van

- A compensatie
- B hysteresis
- C meekoppeling
- D tegenkoppeling

Vul je naam en studienummer in:

Naam: .....

Studienummer: .....

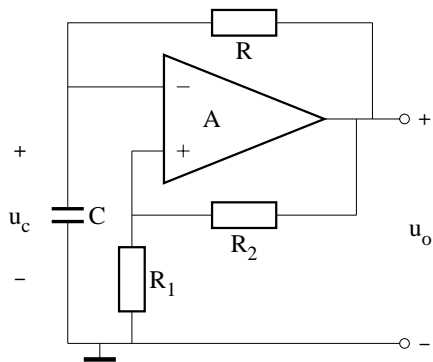
**Opgave 10.**

Geef de oscillatiefrequentie  $f_C$  van de door jou ontworpen (bovenstaande) oscillator als functie van  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $C_1$  en  $C_2$ .

$f_C =$

**Opgave 11.**

Voor de getekende regeneratieve oscillator geldt dat de voedingsspanningen van de operationele versterker +5 V en -5 V bedragen.  $R_1$  en  $R_2$  hebben beide een waarde van 1 k $\Omega$ .



Als  $R = 100 \text{ k}\Omega$  en  $C = 1 \text{ nF}$ , dan wordt de periodetijd  $T$  van het gegenereerde signaal ongeveer

- A 20  $\mu\text{s}$
- B 50  $\mu\text{s}$
- C 100  $\mu\text{s}$
- D 200  $\mu\text{s}$

**Opgave 12.**

Indien de voedingsspanningen van de operationele versterker worden veranderd in +10 V en -10 V, dan

- A verdubbelt de periodetijd van de oscillator
- B blijft de periodetijd van de oscillator gelijk
- C halveert de periodetijd van de oscillator

Vul je naam en studienummer in:

Naam: .....

Studienummer: .....

**Opgave 13.**

Het faseverschil tussen de spanning aan de uitgang van de operationele versterker en de spanning aan de + ingang van de operationele versterker bedraagt:

- A -90 graden
- B 0 graden
- C 90 graden
- D 180 graden

**Opgave 14.**

Hoe kan men de condensatorspanning  $u_C$  asymmetrisch, bijvoorbeeld zaagtandvormig, maken?

- A door  $R$  niet-lineair te kiezen
- B door  $R_1$  niet-lineair te kiezen
- C door  $R_2$  niet-lineair te kiezen
- D door  $C$  niet-lineair te kiezen

**Opgave 15.**

Schets in onderstaande grafiek de 4  $v$ - $i$  relaties, genaamd A, B, C en D, van de volgende 4 transistorcombinaties A, B, C en D; alle transistoren zijn identiek en er

geldt:  $i_c = I_S \exp\left(\frac{v_{be}}{V_T}\right)$ ,  $V_T = kT/q = 25 \text{ mV}$ ,  $I_S = 1 \text{ pA}$ .

The figure shows four transistor circuit configurations labeled A, B, C, and D, and a graph for plotting their  $v$ - $i$  characteristics.

- Configuration A:** A single NPN transistor with its base connected to its emitter (ground) and its collector connected to its base.
- Configuration B:** Two NPN transistors. The base of the first transistor is connected to its emitter (ground) and its collector is connected to the base of the second transistor. The collector of the second transistor is connected to its base.
- Configuration C:** Two NPN transistors. The base of the first transistor is connected to its emitter (ground) and its collector is connected to the base of the second transistor. The collector of the second transistor is connected to its emitter (ground).
- Configuration D:** Two NPN transistors. The base of the first transistor is connected to its emitter (ground) and its collector is connected to the base of the second transistor. The collector of the second transistor is connected to its emitter (ground).

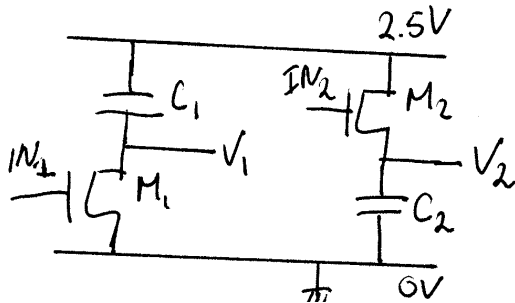
The graph on the right is a coordinate system with a vertical axis labeled  $i$  (current) and a horizontal axis labeled  $v$  (voltage). The origin is at the center of the axes.

Vul je naam en studienummer in:

Naam: .....

Studienummer: .....

Opgave 16.



Ga uit van transistoren in een  $0.25\mu\text{m}$  technologie en parameters zoals uit het boek van Rabaey. Voor  $M_1$  en  $M_2$  geldt:  $W=1\mu\text{m}$ ,  $L=0.25\mu\text{m}$ . De bulkspanning ( $V_b$ ) is  $0\text{V}$ . Vóór  $t=0$  is  $C_1$  geheel ontladen (dus  $V_1=2.5\text{V}$ ) en is de spanning op de gate van  $M_1$  gelijk aan  $0\text{V}$ . Op  $t=0$  gaat deze spanning stapvormig naar  $V_{DD} = 2.5\text{V}$ .

**a.** Bepaal  $I_{D,M1}$  (de drainstroom van transistor  $M_1$ ) als  $V_1=2.5\text{V}$ . Geef het antwoord en de gebruikte circuit vergelijking. (Tip: geef als je weinig tijd hebt alleen de vergelijking.)

$I_{D,M1} =$

Vergelijking:

**b.** Bepaal  $I_{D,M1}$  als  $V_1 = 1.25\text{V}$ . Geef het antwoord en de gebruikte circuit vergelijking. (Tip: geef als je weinig tijd hebt alleen de vergelijking.)

$I_{D,M1} =$

Vergelijking:

**c.** Bepaal voor de spanning  $V_1$  de  $t_{50\%}$  met behulp van de antwoorden van onderdelen *a* en *b* hierboven als  $C_1= 1\text{fF}$ .

$t_{50\%} =$

Berekening:

Vul je naam en studienummer in:

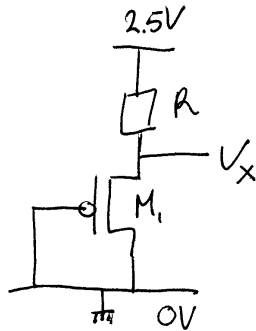
Naam: .....

Studienummer: .....

d. Transistor  $M_2$  is volkomen gelijk aan transistor  $M_1$ , en  $C_1 = C_2$ . Vóór en op  $t=0$  gelden verder voor  $C_2$  en de spanning op de gate van  $M_2$  dezelfde condities als voor  $C_1$  en de spanning op de gate van  $M_1$ . Is in dat geval  $t_{50\%}$  van  $V_2$  groter, kleiner of gelijk aan  $t_{50\%}$  van  $V_1$  (het antwoord op vraag c)? Geef in het kort de verklaring.

Groter/kleiner/gelijk  
Verklaring:

Opgave 17.



Ga uit van een transistor met minimum kanaallengte in een  $0.25\mu$  technologie en met parameters zoals uit het boek van Rabaey. De bulkspanning ( $V_b$ ) is 2.5V. Bij een gegeven, vaste,  $R$  kan door de breedte van de transistor te variëren (bij  $L = 0.25\mu\text{m}$ ) de spanning  $V_x$  geregeld worden.

a. Geef de bijbehorende vergelijking voor  $V_x = 0.9\text{V}$ . Anders gezegd: geef de vergelijking waarbij, afhankelijk van  $R$ ,  $W$  bepaald kan worden zodanig dat  $V_x$  0.9V zal zijn. Gebruik in ieder geval  $R$  en  $V_x$  (als symbool, niet als numerieke waarde) in het antwoord, en vul verder ook geen numerieke transistorparameters in. Alleen de circuit-vergelijking wordt gevraagd, niet oplossen.

b. Welke waarde van  $V_t$  (drempelspanning van de PMOS) hoort bij  $V_x = 0.9\text{V}$ ? Reken met  $2\phi_f = 0.6\text{V}$

$V_t =$   
Berekening:

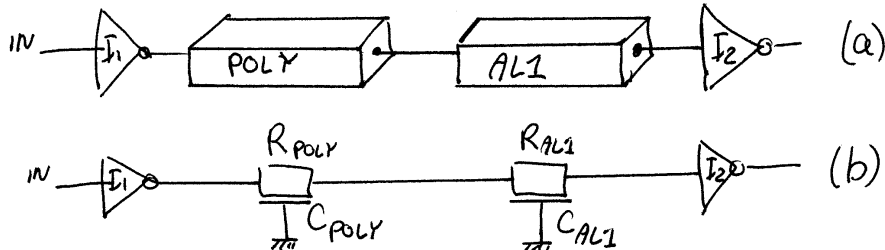


Vul je naam en studienummer in:

Naam: .....

Studienummer: .....

Opgave 18.



a. Beschouw een deelsysteem op een chip zoals met (a) aangeduid in de bovenstaande figuur. De lengte en breedte van het poly-segment bedragen respectievelijk  $100 \mu\text{m}$  en  $1 \mu\text{m}$ , en van het Al1-segment respectievelijk  $1000 \mu\text{m}$  en  $1 \mu\text{m}$ . Deze segmenten lopen op de chip direct boven het substraat (field). Neem voor Poly  $R_{\square} = 5\Omega$  en voor Al1  $R_{\square} = 0.1\Omega$ , en voor C de waarden uit de tabellen van Rabaey (binnenkant achterflap of bijlage). Bereken de R en C waarden voor het vervangingscircuit wat in de bovenstaande figuur met (b) is aangeduid.

Waarde	Berekening
$R_{\text{poly}} =$	
$C_{\text{poly}} =$	
$R_{\text{al1}} =$	
$C_{\text{al1}} =$	

b. Bereken de Elmore delay van  $In_1$  naar de ingang van  $I_2$ , als  $I_1$  een uitgangsweerstand van  $1\text{k}\Omega$  en  $I_2$  een ingangscapaciteit van  $25\text{fF}$  heeft.

$T_{\text{ed}} =$

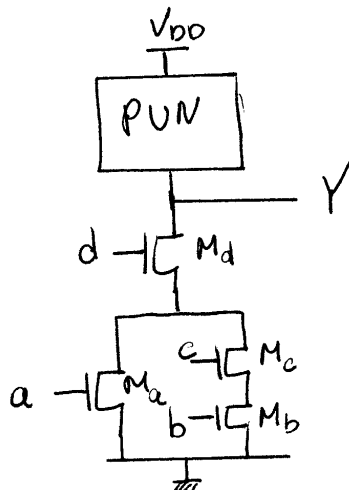
Berekening:

Vul je naam en studienummer in:

Naam: .....

Studienummer: .....

Opgave 19.



a. Wat is de logische functie (ga uit van een bijpassend pull-up netwerk)?

b. Geef de W/L verhoudingen van de pull-down transistoren zodanig dat de worst-case equivalente drive-sterkte gelijk is aan die van een NMOS transistor met  $W/L=2$ .

$W_a/L_a =$	$W_b/L_b =$	$W_c/L_c =$	$W_d/L_d =$
-------------	-------------	-------------	-------------

c. Teken het bijbehorende pull-up netwerk.