

Naam:
Studienummer:

Technische Universiteit Delft
Faculteit Elektrotechniek, W&I
Basiseenheid Elektronica (18^e)

Uitwerkingen Tentamen Elektronische Signaalbewerking (ET2405-D2)

18 juni 2007, 14:00 – 17:00 uur

Deze toets bestaat uit open (ontwerp-) vragen en gesloten vragen in multiple-choice (MC) vorm. Geef op de volgende bladzijden je oplossing in het daarvoor gereserveerde kader of het naar jouw oordeel enige juiste antwoord aan door het omcirkelen van de letter die volgens jou bij het goede antwoord hoort. Geef per opgave niet meer dan één antwoord aan. Gebeurt dit toch, dan wordt de opgave als fout beantwoord gerekend.

Het is toegestaan tijdens deze toets gebruik te maken van:

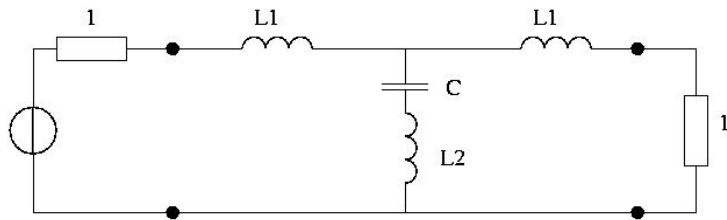
- een handgeschreven A4-tje met een samenvatting van de bestudeerde stof
- een rekenmachine

Zet je mobiele telefoon uit!

Succes!

Prefix reminder: $a = \text{atto} = 10^{-18}$, $f = \text{femto} = 10^{-15}$, $p = \text{pico} = 10^{-12}$, $n = \text{nano} = 10^{-9}$, $\mu = \text{micro} = 10^{-6}$, $m = \text{milli} = 10^{-3}$, $k = \text{kilo} = 10^3$, $M = \text{mega} = 10^6$, $G = \text{giga} = 10^9$

Gegeven het volgende filter.



Opgave 1.

Wat voor **type** is dit filter?

- A analoog actief tijdcontinu
- B analoog passief tijdcontinu
- C analoog actief tijddiscreet
- D digitaal asynchroon
- E digitaal synchroon

Opgave 2.

Wat voor **overdracht** heeft dit filter: laag-, hoog-, band-doorlaat of bandsper?

- A laagdoorlaat
- B hoogdoorlaat
- C banddoorlaat
- D bandsper

Opgave 3.

Het filter heeft naast bovenbepaalde overdracht een specifieke frequentie waarvoor de overdracht gelijk is aan nul, bepaald door L_2 en C . Geef een uitdrukking voor deze **frequentie** f_0 als functie van L_2 en C .

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C}}$$

Naam:
Studienummer:

Opgave 4.

Veronderstel dat de waarden van L_2 en C een maximale afwijking van 10% hebben. Bereken de worst-case **afwijking** van f_0 , Δ , in %.

$$\Delta = 11\%$$

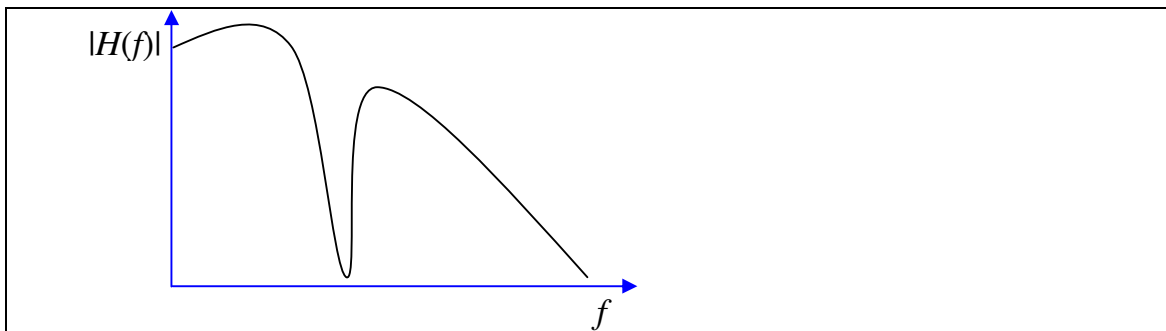
Opgave 5.

Bereken de **overdrachtsfunctie** $H(s)$.

$$H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{R(1 + s^2 L_2 C)}{s^3 (L_1^2 C + 2L_1 L_2 C) + 2s^2 [RC(L_1 + L_2)] + s(R^2 C + 2L_1) + 2R}$$

Opgave 6.

Schets de **absolute waarde van de overdracht** van ingang naar uitgang, $|H(f)|$, als functie van de frequentie.



Opgave 7.

Wat is de **orde** van het filter?

Orde: 3

Motivatie: de overdracht wordt beschreven door middel van een 3^e-orde polynoom in de noemer

Opgave 8.

Leidt een **toestandsbeschrijving** (Eng: state space description) af van het filter.

$$\begin{aligned}
 H(s) &= \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{R(1+s^2L_2C)}{s^3(L_1^2C + 2L_1L_2C) + 2s^2[RC(L_1 + L_2)] + s(R^2C + 2L_1) + 2R} \\
 &= \frac{n_2s^2 + n_0}{p_3s^3 + p_2s^2 + p_1s + p_0} = \frac{n_2s^2}{p_3s^3 + p_2s^2 + p_1s + p_0} + \frac{n_0}{p_3s^3 + p_2s^2 + p_1s + p_0} \\
 &= H_2(s) + H_1(s)
 \end{aligned}$$

uitwerken van $H_1(s)$:

$$p_3\ddot{y}_1(t) + p_2\dot{y}_1(t) + p_1\dot{y}_1(t) + p_0y_1(t) = n_0u(t)$$

$$x_1(t) = y_1(t)$$

$$x_2(t) = \dot{x}_1(t) = \dot{y}_1(t)$$

$$x_3(t) = \dot{x}_2(t) = \ddot{x}_1(t) = \ddot{y}_1(t) = y_2(t)$$

$$\dot{x}_3(t) = \frac{n_0}{p_3}u(t) - \frac{p_2}{p_3}x_3(t) - \frac{p_1}{p_3}x_2(t) - \frac{p_0}{p_3}x_1(t)$$

De totale toestandsbeschrijving wordt:

$$y(t) = y_1(t) + y_2(t) = x_1(t) + \frac{n_2}{n_0}x_3(t)$$

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -\frac{p_0}{p_3} & -\frac{p_1}{p_3} & -\frac{p_2}{p_3} \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{n_0}{p_3} \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \frac{n_2}{n_0} \end{pmatrix}$$

$$D = 0$$

Opgave 9.

Leidt een **blokschema**, bestaande uit takken (met coëfficiënten) en integratoren af van deze toestandsbeschrijving.

- 3 integratoren in cascade (achter elkaar), gekoppeld met overdracht 1 (zie A-matrix)
- Ingang 3e integrator bestaat uitingangssignaal (zie B-matrix) + gewogen combinatie van alle 3 toestanden (uitgangssignalen integratoren)
- Uitgangssignaal y is een gewogen combinatie van de 3 toestanden (zie C-matrix)

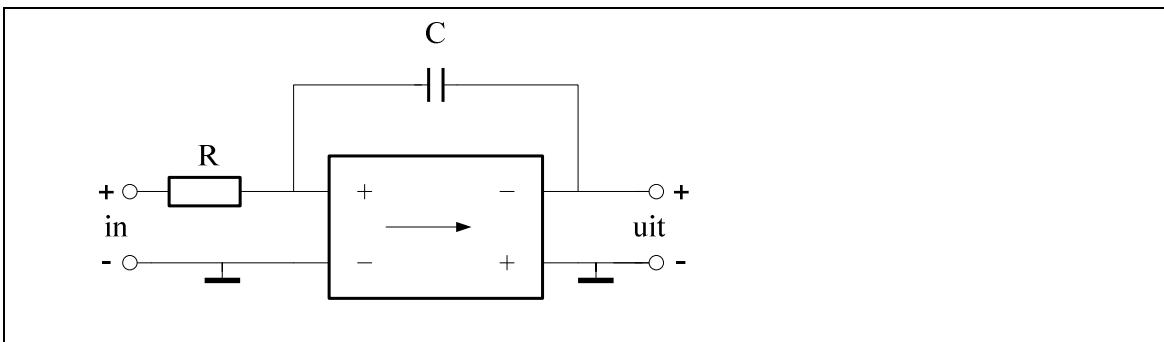
Naam:
Studienummer:

Opgave 10.

De integratoren in worden gerealiseerd met behulp van

- een conductantie (middels een resistentie die een nauwkeurige, frequentie-onafhankelijke, spanning-naar-stroom omzetting implementeert)
- **en** een trans-capaciteit (middels een transimpedantie-versterker die de ingangsstroom integreert tot een spanning t.o.v. aarde).

Ontwerp de integrator, gebruik makend van een nullor en een geschikt gekozen tegenkoppelnetwerk, bestaande uit een resistentie R en een capaciteit C . Geef duidelijk de ingangs- en uitgangsklemmen, de bron en belasting en hun polariteit aan. NB. De bron is een ideale spanningsbron.



Opgave 11.

Wat is de **overdrachtsfunctie** $H_i(s)$ van de door jou ontworpen integrator? NB. Let op het teken en de dimensie.

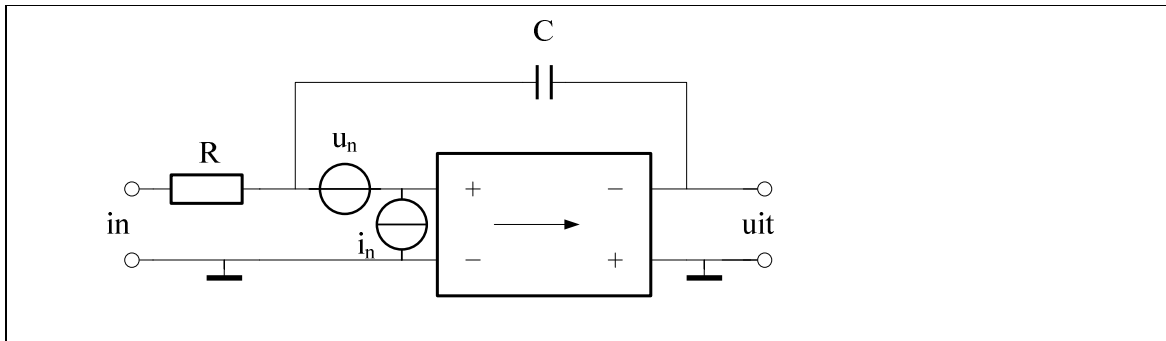
$$H_i(s) = -1/sRC$$

Opgave 12.

De ruis afkomstig van de implementatie (met transistoren) van de nullor kan gemodelleerd worden m.b.v.

- een ruisspanningsbron u_n in serie met één van de ingangsklemmen van de nullor
- **en** een ruisstroombron i_n parallel aan de ingangsklemmen van de nullor.

Teken opnieuw het schema van de door jou ontworpen integrator en voeg de **ruisspanningsbron u_n en de ruisstroombron i_n** hieraan toe.



Opgave 13.

Wat is de **dimensie** van de **ruisvermogensdichtheidsspectra** ($S_{u,n}$ en $S_{i,n}$) van ruisspanningsbron u_n en de ruisstroombron i_n ? (NB. De dimensie van stroom is ampere, A; de dimensie van spanning is volt, V, etc.)

$$\text{Dimensie } S_{u,n} = \text{V}^2/\text{Hz}$$

$$\text{Dimensie } S_{i,n} = \text{A}^2/\text{Hz}$$

Opgave 14.

Transformeer beide ruisbronnen (u_n en i_n) naar de ingang van de integrator (dus tot vóór de conductantie/resistantie) en bereken het **vermogensdichtheidsspectrum** $S_{u,n,eq}$ van de equivalente **ingangruisspanning** als functie van $S_{u,n}$ en $S_{i,n}$ en eventueel R , C en de frequentie. NB. Veronderstel dat u_n en i_n ongecorrleerd zijn.

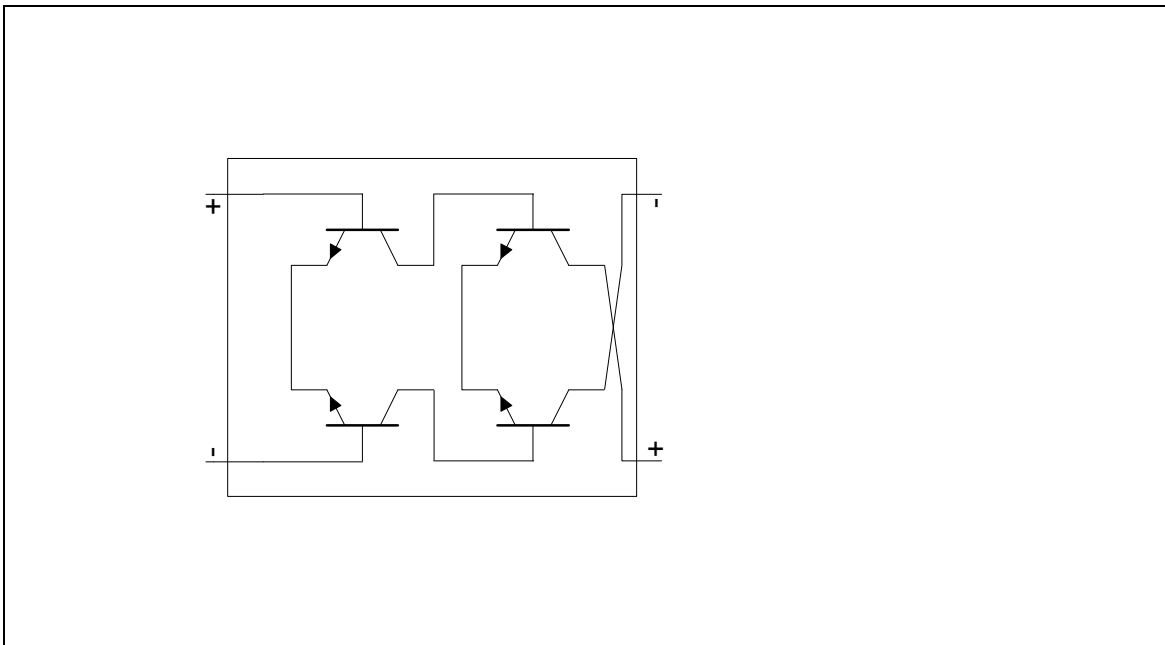
$$S_{u,n,eq} = S_{i,n} R^2 + S_{u,n} (1 + \omega^2 R^2 C^2)$$

Naam:
 Studienummer:

De nullor wordt geïmplementeerd met twee verschilparen (differentiële trappen, Engels: differential pairs) in bipolaire technologie.

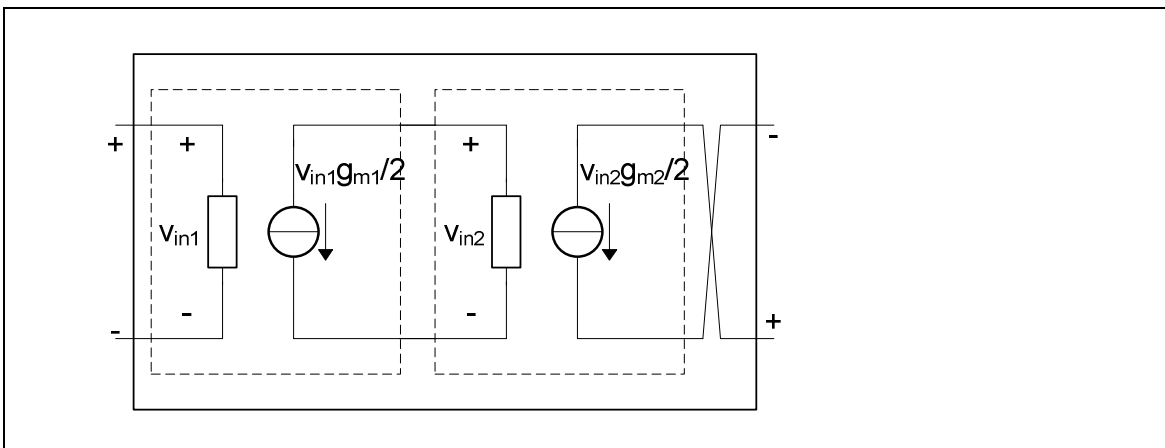
Opgave 15.

Teken de nullor als tweepoort met daarin de **twee verschilparen** op de juiste wijze met elkaar, de ingangsklemmen en de uitgangsklemmen verbonden. Geef ook de polariteit (tekens) van de poorten (klemmenparen) aan.



Opgave 16.

Geef het bijbehorende statische (frequentie-onafhankelijke) **klein-sigitaal vervangings-schema**. NB. het Early-effect mag verwaarloosd worden.



Van de bipolaire transistoren is gegeven dat zij in hun normale gebied werken, waarvoor geldt:

$$i_c = I_S \exp\left(\frac{v_{be}}{V_T}\right)$$

Opgave 17.

Bepaal de **klein-signaal transconductantie-factor** g_m van een bipolaire transistor, uitgedrukt als functie van de in bovenstaande transistor-vergelijking voorkomende variabelen (i_c en/of v_{be}) en parameters (I_S en V_T).

$$g_m = i_c / V_T$$

Opgave 18.

Wat is de **klein-signaal transconductantie** G van één verschilpaar, uitgedrukt in de g_m 's van de transistoren?

$$G = -g_m/2$$

Opgave 19.

Gegeven is verder dat de stroomversterkingsfactor van de transistoren gelijk zijn aan b ($= i_c/i_b$) en dat het Early-effect (nog steeds) verwaarloosbaar is, m.a.w.

$r_o = \infty$. Bepaal de **kettingmatrix** $\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}$ van bovenstaande nullor.

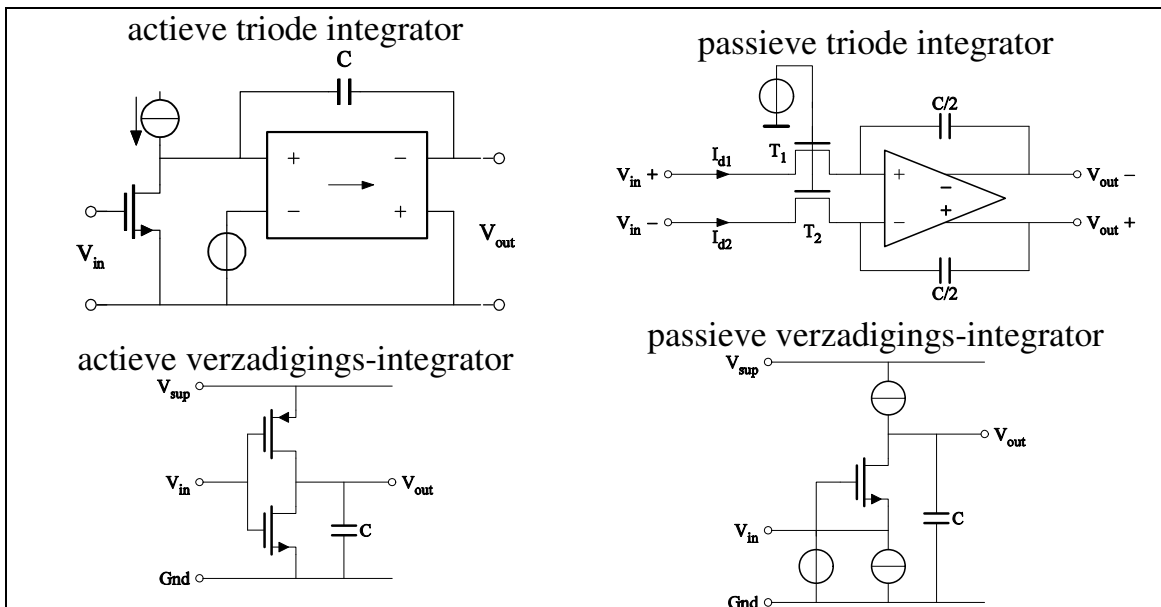
$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{-2}{g_m} \\ 0 & \frac{-1}{b} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & \frac{-2}{g_m} \\ 0 & \frac{-1}{b} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{2}{g_m b} \\ 0 & \frac{1}{b^2} \end{pmatrix}$$

Naam:
 Studienummer:

Beschouw de volgende 4 MOS integrator-implementaties:

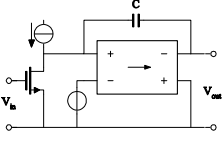
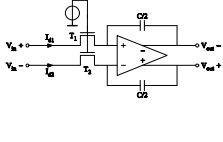
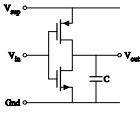
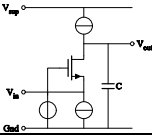
- een actieve integrator rond een MOS transistor in triode (= een actieve triode integrator)
- een passieve integrator rond een MOS transistor in triode (= een passieve triode integrator)
- een actieve integrator rond een MOS transistor in verzadiging (= een actieve verzadigings-integrator)
- een passieve integrator rond een MOS transistor in verzadiging (= een passieve verzadigings-integrator)

Zie onderstaande tabel.



Opgave 20.

Scoor de integratoren t.a.v. hun *lineariteit*, hun *ingangsspannings-bereik* en hun *ingangsimpedantie* in onderstaande tabel. Kies uit “+”, “0” en “-,” waarbij “+” overeenkomt met een goede lineariteit (= een geringe niet-lineariteit), een groot ingangsspannings-bereik (bijvoorbeeld van Gnd tot Vsup) of een zeer hogeingangsimpedantie. Overeenkomstig komt een “-” overeen met een slechte lineariteit (= een hoge niet-lineariteit), een gering ingangsbereik (bijvoorbeeld beperkt door de threshold-spanning) of een lageingangsimpedantie. Geef ook bij iedere score een motivatie aan. Bij wijze van voorbeeld is de score voor het ruisgedrag van de integratoren reeds ingevuld.

	actieve triode integrator 	passieve triode integrator 	actieve verzadigings-integrator 	Passieve verzadigings-integrator 
Lineariteit	Score: + Motivatie: <i>v-i overdracht MOS in triode is lineair</i>	Score: + Motivatie: <i>v-i overdracht MOS in triode is lineair</i>	Score: 0 Motivatie: <i>v-i overdracht MOS in verzadiging is kwadratisch; compensatie kwadratische overdrachten door anti-parallel-schakeling</i>	Score: - Motivatie: <i>v-i overdracht MOS in verzadiging is kwadratisch</i>
Ingangsspannings-bereik	Score: + Motivatie: $V_{dd} - V_{th,n}$	Score: + Motivatie: $2x (V_{dd} - V_{th,n})$	Score: - Motivatie: $V_{dd} - V_{th,n} - V_{th,p}$	Score: 0 Motivatie: $V_{dd} - V_{th,n} - V_{stroombron}$
Ingangsimpedantie	Score: + Motivatie: <i>Hoog (gate)</i>	Score: 0 Motivatie: $1/g_{m,MOS-triode}$	Score: + Motivatie: <i>Hoog (gates)</i>	Score: - Motivatie: $1/g_{m,MOS-verz.}$
Ruisgedrag	Score: - Motivatie: <i>Ruis nullor en ruis triode MOS</i>	Score: - Motivatie: <i>Ruis nullor en 2x ruis triode MOS</i>	Score: + Motivatie: $\frac{1}{2}$ ruis MOS in verzadiging	Score: 0 Motivatie: <i>Ruis MOS in verzadiging</i>

Einde toets!