

Uitwerkingen van het voorbeeld geïntegreerd eindtentamen Elektronische Schakelingen van 13 juni 2000

Antwoord 1:

Belangrijke gegevens bij deze vraag:

1. Banddoorlaatfilter
2. Het filter is passief
3. Spanningsoverdracht
4. Frequentie: 160 MHz
5. Modulus overdracht in doorlaatband = 1

In eerste instantie ben je waarschijnlijk geneigd om een cascade van een laagdoorlaatfilter en een hoogdoorlaatfilter of vice versa te kiezen, bijvoorbeeld een $RC-CR$ -combinatie. Dit is inderdaad een passieve invulling van een banddoorlaatfilter en met de juiste keuze van de componentwaarden valt deze echt wel op 160 MHz (ongeveer 1 giga-radiaal per seconde) te maken. Echter, de modulus van de overdracht in de doorlaatband wordt hiermee nooit gelijk aan 1. Er zijn maar twee antwoorden volledig juist, beide gebaseerd op een LCR -combinatie. De bijbehorende filterconfiguraties staan in het 1e Elektronica-diktaat (ET1 030), Blz. 63 van Leerdoelen 3 en 8, Figuren 3.45 en 3.46.

Voor de weerstand R is de waarde niet kritisch m.b.t. bovenstaande gegevens. De waarden van L en C volgen uit:

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

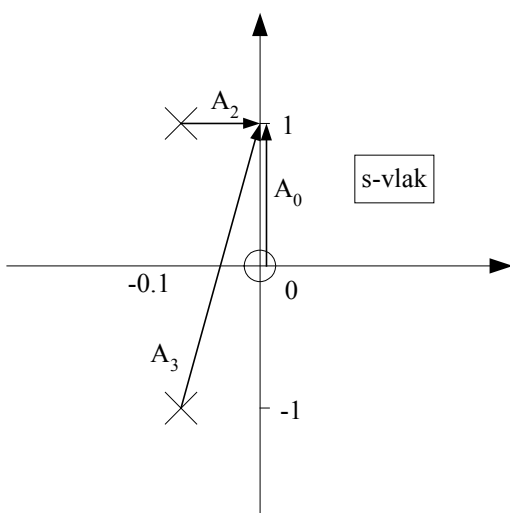
Antwoord 2:

Zie ook vraagstuk 9.34 uit het boek EC-deel 2.

Ga vervolgens na dat hier dan geldt (in goede benadering):

$$H(s) = 0.2 \frac{s}{s^2 + 0.2s + 1}$$

De pool-nulpunt wijzers voor de frequentie $\omega=1$, dus $s=j$, zijn in onderstaande figuur aangegeven door A_1 (nulpuntwijzer) en A_2 en A_3 (poolwijzer).



$$|H(j)| = \frac{0.2|A_1|}{|A_2||A_3|} \cong \frac{0.2 \cdot 1}{0.1 \cdot 2} = 1$$

NB:

$$|A_3| = \sqrt{2^2 + 0.1^2} \cong \sqrt{2^2} = 2$$

$$H(j) = \frac{0.2j}{-1 + 0.2j + 1} = 1$$

Antwoord 3:

Belangrijke gegevens bij deze vraag:

1. Ingaande grootheid van de gevraagde versterker is de uitgaande grootheid van het banddoorlatende filter = spanning

2. Maximaal ingangssignaal = 10 mV
3. Filter dient niet belast te worden
4. Uitgaande grootte van de versterker is de ingaande grootte van de mixer = stroom
5. Maximaal uitgangssignaal = 10 micro-ampere
6. Beschikbare componenten: nullors, opamps en passieve componenten

Uit deze gegevens volgt dat

1. de versterker een spanning-stroom-omzetter is, m.a.w. een transconductantie- of transadmittantie-versterker;
2. de overdracht = $(10 \text{ micro-ampere}) / (10 \text{ mV}) = 1 \text{ milli-siemens} = 1 / (1 \text{ kilo-ohm})$;
3. de ingangsimpedantie van de versterker zo groot mogelijk dient te zijn.

De beste invulling van een dergelijke versterker is die zoals gegeven in het eerste diktaat Elektronica (ET1 030), Leerdoel 6, Blz. 129 (paragraaf 7.6.2), Figuur 7.11. De impedantie Z die de nauwkeurige relatie aanbrengt tussen de uitgangsgrootte en de ingangsgrootte moet gelijk zijn aan een weerstand (resistantie) met een waarde van 1 kilo-ohm.

Een alternatieve invulling, minder goed weliswaar, is een spanningversterker als gegeven in het diktaat, een bladzijde terug (Blz. 128), gevolgd door een weerstand die de uitgangsspanning van deze spanningsversterker omzet in een stroom. Het predikaat "minder goed" slaat op dat de uitgangsstroom nu bepaald wordt door de invulling van de spanningsversterker en de totale impedantie die de spanningsversterker "ziet", bestaande uit deze weerstand en de ingangsimpedantie van de mixer. Een nauwkeurige spanning-stroom-omzetting wordt in dit geval dus alleen bereikt indien de ingangsimpedantie van de mixer een nauwkeurig bekende waarde heeft, bijvoorbeeld 50 ohm. Oplossingen die aan de ingang een eindige impedantie veronderstellen zijn alle onjuist omdat deze impedantie de werking van het HF filter beïnvloedt.

Antwoord 4:

De kettingmatrix is gedefinieerd in het 1e diktaat Elektronica (ET1 030), Leerdoel 4, Blz. 125 (paragraaf 7.4). Deze definitie verschilt van die zoals aangereikt door Elektrische Circuits dl. 3 m.b.t. het teken van de uitgaande stroom.

Voor de beste invulling van de transadmittantie-versterker zoals hierboven beschreven geldt:

- $A = k_{11} = 0$
- $B = -k_{12} = R$
- $C = k_{21} = 0$
- $D = -k_{22} = 0$

Voor de alternatieve invulling met de spanningsversterker en de weerstand geldt:

- $A = k_{11} = R_1 / (R_1 + R_2)$
- $B = -k_{12} = R_3 R_1 / (R_1 + R_2)$
- $C = k_{21} = 0$
- $D = -k_{22} = 0$

met $R_1 = Z_1$, $R_2 = Z_2$, zoals op bovenstaande Blz. 128 en R_3 de weerstand aan het uiteinde van de spanningsversterker. Het minder goed van deze invulling komt naar voren in de invloed van de kettingparameter A op de overdracht.

Antwoord 5:

FM-modulatie en FM-demodulatie wordt behandeld in het 1e diktaat Elektronica, Leerdoel 4, Blz. 135 (paragraaf 6.8.2).

Antwoord 6:

Zie de verwijzing bij vraag 5. Omdat bij FM de informatie verborgen zit in de momentane *frequentie* van het signaal en niet in de amplitude, worden amplitude-variaties, bijvoorbeeld veroorzaakt door storingen of veranderingen in het transmissiekanaal, uit het signaal verwijderd alvorens FM-demodulatie plaatsvindt.

Antwoord 7:

Hier zijn diverse oplossingen mogelijk, zoals vaker wanneer het een ontwerp betreft. Belangrijk is om je te realiseren dat de gevraagde functie een *niet-lineaire statische* functie betreft. Deze maken we dus niet met de dynamische passieve componenten spoel en condensator en wel met minstens 1 niet-lineaire component, zoals een diode of een transistor.

Een verzadigende operationele versterker zou hier natuurlijk uitstekend voldoen, echter deze mochten we niet gebruiken.

Een sgn-functie is een overdrachtsfunctie waarvan de uitgangsgrootte aan twee kanten begrensd wordt.

Voor de uitsturingsgrenzen van een diode geldt (zie ook Leerdoel 9, Blz. 68 (paragraaf 4.3) van het 1e diktaat Elektronica (ET1 030)):

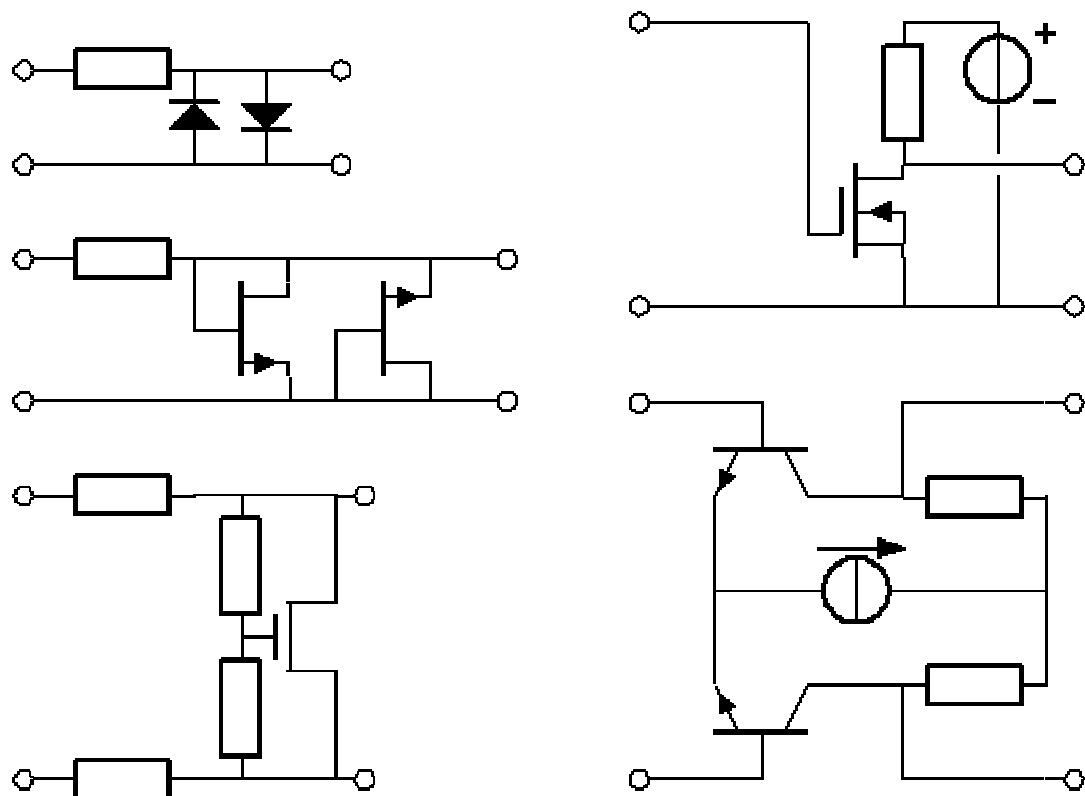
- de stroom door dioden is minimaal 0 (van anode naar kathode)
- de spanning over de diode verloopt logaritmisch als functie van de stroom en wordt meestal niet groter dan 0.6 a 0.7 volt (anode-kathode spanning)

Voor de uitsturingsgrenzen van transistoren geldt (zie ook o.a. Leerdoel 10, Blz. 69 (paragraaf 3.6) van het 2e diktaat Elektronica (ET1 031)):

- de stroom door de transistor in zijn normale gebied is minimaal 0
- de spanning over de transistor in zijn normale gebied is minimaal 0

Mogelijke combinaties van dioden en/of transistoren en eventueel weerstanden voor benodigde spanning-stroom- en stroom-spanning-omzettingen zijn:

- alle elementaire statische poorten zoals behandeld bij Geïntegreerde Systemen. Zie bijvoorbeeld in het werkboek Geïntegreerde Systemen Pg's. 4-10, 4-23, 5-5;
- verzadigende versterkerschakelingen zoals behandeld in het 2e diktaat Elektronica (ET1 031), Leerdoel 10, Blz. 87 (paragraaf 5.3) of Blz. 93 (paragraaf 5.4);
- de schakelingen zoals weergegeven in onderstaande figuur. Alleen spanning-spanning-overdragende netwerken (tweepoorten) (van links naar rechts) zijn getekend.



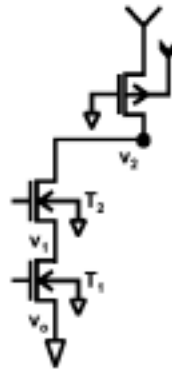
Figuur 3a. Vijf mogelijke invullingen van de sgn-functie

Antwoord 8:

In een statisch geheugen omdat deze handtekening gewoon een statisch gegeven is.

Antwoord 9:

De worst case conditie is dat t.g.v. één fout tussen de hadtekening en de ontvangen signature één pull-down netwerk de uitgang naar nul moet brengen. Het circuitje is hieronder weergegeven. Naast het pull-up netwerk een serieschakeling van twee NMOS transistoren. Aan de gate van de ene NMOS wordt s aangeboden en aan de gate van de andere NMOS t -niet. Om een volledige check van een bit te krijgen is er natuurlijk ook nog een serieschakeling nodig voor s -niet en t . Deze staat parallel met de ander serieschakeling. In die situatie kan de uitgang alleen hoog zijn wanneer s en t gelijk zijn.



$$\frac{\frac{2}{\beta_{n1}} I = \frac{\beta_{n1}}{\beta_{n2}} (V_+ + V_{tp0})^2 = (V_+ - V_{tn0} - v_1)^2 - (V_+ - V_{tn0} - v_2)^2}{\frac{2}{\beta_{n2}} I = \frac{\beta_{n2}}{\beta_{n1}} (V_+ + V_{tp0})^2 = (V_+ - V_{tn0} - v_2)^2 - (V_+ - V_{tn0} - v_1)^2} = \frac{(V_+ - V_{tn0} - v_1)^2 - (V_+ - V_{tn0} - v_2)^2}{(V_+ + V_{tp0})^2 \left(\frac{\beta_{n1}}{\beta_{n2}} + \frac{\beta_{n2}}{\beta_{n1}} \right)} = \frac{(V_+ - V_{tn0} - v_2)^2 - (V_+ - V_{tn0} - v_1)^2}{(V_+ + V_{tp0})^2 \left(\frac{\beta_{n1}}{\beta_{n2}} + \frac{\beta_{n2}}{\beta_{n1}} \right)}$$

$$(V_+ + V_{tp0})^2 \frac{2\beta_p}{\beta_{nmin}} = (V_+ - V_{tn0})^2 - (V_+ - V_{tn0} - v_2)^2$$

$$\beta_p < \frac{\beta_{nmin}}{2} \left(1 - \left(1 - \frac{V_{OVL}}{V_+ - V_{tn0}} \right)^2 \right)$$

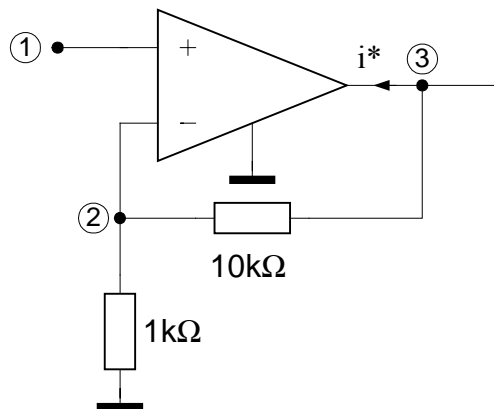
$$\mu_p C_{ox} \frac{W_{min}}{L_p} < \frac{\mu_n C_{ox} \frac{W_{min}}{L_{nmin}}}{2} \left(1 - \left(1 - \frac{V_{OVL}}{V_+ - V_{tn0}} \right)^2 \right)$$

$$L_p > \frac{\frac{2\mu_n}{\mu_p} L_{nmin}}{1 - \left(1 - \frac{V_{OVL}}{V_+ - V_{tn0}} \right)^2} \approx 1.25\mu$$

Antwoord 10:

Zie paragraaf 11.3.4.3 van EC-deel 3.

We gebruiken de gewijzigde knooppuntenmethode. Zie ingevoerd knooppuntnummering.



Merk op dat :

$$v_1 = u_i \text{ en } v_3 = u_o$$

Alleen nodig knooppuntvergelijking:

$$\textcircled{2} \quad (R_1^{-1} + R_2^{-1})v_2 - R_2^{-1}v_3 = 0$$

Met de extra vergelijkingen in het lineaire gebied:

$$(*) \quad |v_3| = 15$$

$$(**) \quad v_1 - v_2 \geq 0$$

in het + gebied

$$(*) \quad v_3 = 15$$

$$(**) \quad v_1 - v_2 \geq 0$$

in het - gebied

$$(*) \quad v_3 = -15$$

$$(**) \quad v_1 - v_2 \leq 0$$

Kunnen we de u_o - u_i karakteristiek bepalen.

Lineaire gebied:

$$\textcircled{2} \quad \rightarrow v_3 = \frac{R_1^{-1} + R_2^{-1}}{R_2^{-1}} v_2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_1$$

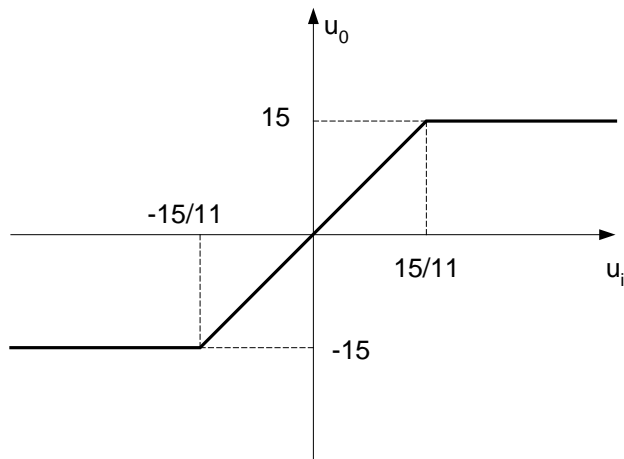
$$\text{of } u_o = 11u_i. \text{ Met } |u_o| \leq 15 \text{ volgt } -\frac{15}{11} \leq u_i \leq \frac{15}{11}.$$

Positieve verzadigingsgebied:

$$\textcircled{2} \quad v_2 = \frac{R_2^{-1}}{R_1^{-1} + R_2^{-1}} v_3 = \frac{15}{11} \quad \text{voor } v_1 - v_2 \geq 0 \rightarrow u_i \geq \frac{15}{11}$$

Negatieve verzadigingsgebied:

$$\textcircled{2} \quad \text{Analoog maar nu } u_i \leq -\frac{15}{11}$$



Antwoord 11:

Zie Fig. 4.12 op blz. 176 van het collegedictaat. De versterker wordt op de positie “netwerk” geplaatst.

Antwoord 12:

De overdracht van de uitgang van de spanningsversterker, met uitgangsweerstand R_o , naar de ingang van het meetinstrument, met impedantie samengesteld uit R_i parallel aan C_i , wordt beschreven door:

$$\frac{U_m}{U_o} = \frac{\frac{R_i}{1 + j\omega R_i C_i}}{R_o + \frac{R_i}{1 + j\omega R_i C_i}} = \frac{R_i}{R_i + R_o + j\omega R_i R_o C_i} \approx \frac{1 - \frac{R_o}{R_i}}{1 + j\omega R_o C_i}$$

De volgfout bij gelijkspanningsoverdracht ($\omega R_o C_i \ll 1$) is gelijk aan $R_o/R_i = 0,1\% < 1\%$. De volgfoutspecificatie is dus beperkt door het dynamische gedrag. Voor de modulusoverdracht geldt:

$$\left| \frac{U_m}{U_o} \right| = \left| \frac{1 - \frac{R_o}{R_i}}{1 + j\omega R_o C_i} \right| = \left(1 - \frac{R_o}{R_i} \right) \sqrt{1 + (\omega R_o C_i)^2}$$

$$\left| U_m/U_o \right|_{\min} = 0,99, \text{ zodat } \omega_{\max} = 10^7 [1 - (0,99/0,999)^2]^{1/2} = 1,35 \cdot 10^6 \text{ rad/s.}$$