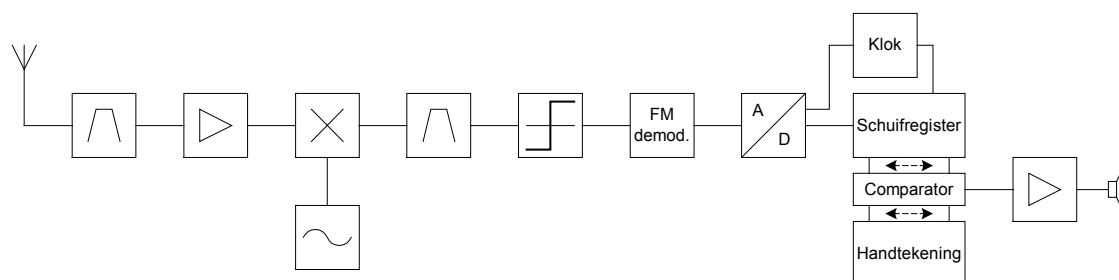


## Voorbeeld geïntegreerd eindtentamen Elektronische Schakelingen

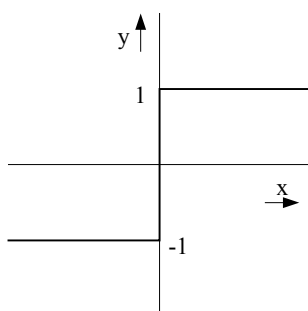
Pagers (piepers) zijn kleine handzame elektronische apparaatjes die overal waar radiogolven maar enigszins kunnen doordringen voor de eigenaar bedoelde informatie uit de lucht (ether) oppikken. De eenvoudigste uitvoeringen zijn veelal opgebouwd uit een antenne, een piezo-elektrische transducent (die een doordringende toon produceert wanneer op de beide aansluitdraden voldoende spanning wordt aangebracht), een oplaadbare batterij, een aan-uitschakelaar en een chip waarop zowel analoge als digitale signaalbewerkingen plaatsvinden als weergegeven in onderstaand blokschema.



Figuur 1: Blokschema van een pager

De werking is als volgt:

De antenne converteert de radiogolven in zwakke elektrische signalen, waarna in het passieve HF banddoorlaatfilter een eerste ruwe selectie in het frequentiedomein plaatsvindt teneinde het gewenste FM gemoduleerde pager-sigitaal op 160 MHz met een bandbreedte van 12,5 kHz te kunnen scheiden van veraf gelegen ongewenste frequenties, de zogenaamde spiegelfrequenties. De HF versterker zorgt er voor dat het ontvangen signaal op een voldoende hoog energieniveau gebracht wordt opdat het niet verloren gaat in de ruisende mixer. Deze mixer zorgt voor de frequentieconversie naar een lagere middenfrequentie (Eng: intermediaatiefrequentie, IF). Eenmaal opgeschoven met de frequentie van de oscillator vindt wederom selectie in het frequentiedomein plaats, maar nu om het signaal te ontdoen van alle nabije frequenties buiten de 12,5 kHz band die niet de gewenste informatie bevatten. Na het IF filter volgt een limiter, waarvan de overdrachtsfunctie  $y = f(x)$  beschreven kan worden middels:  $y = \text{sgn}(x)$ . Zie figuur 2.



Figuur 2: De sgn-functie

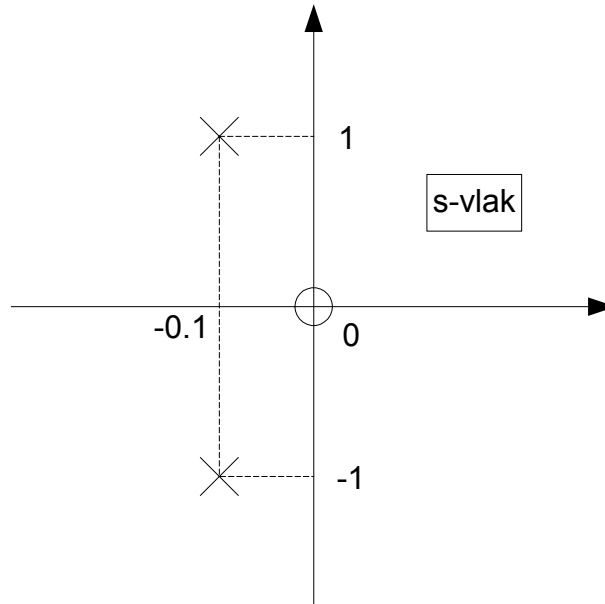
Na de limiter volgen de FM demodulator en de analoog-digitaal-omzetter. De nullen en enen, gedefinieerd als de lage en hoge niveaus, afkomstig uit de A/D omzetter worden gevoerd naar een schuifregister. Om na te gaan of er een oproep is voor de pager, vergelijkt de pager diens handtekening met de ontvangen identificatiecode. Wanneer de ontvangen code overeen komt met de eigen handtekening, dan geeft de comparator een hoog uitgangssignaal. Dit signaal wordt na buffering toegevoerd aan de piezo-elektrische transducent. Wanneer handtekening en ontvangen code overeenkomen klinkt er een signaal.

Over dit elektronische systeem gaan de onderstaande vragen.

Veronderstel dat het signaal dat de antenne afgeeft gekarakteriseerd wordt middels een spanning van maximaal 10 millivolt en dat de absolute waarde van de overdracht van het passieve HF banddoorlaatfilter in de doorlaatband rond 160 MHz gelijk is aan 1.

1. (0.5 punt) Geef een invulling van het HF filter.

Een banddoorlaat filter kan op  $z$ 'n eenvoudigst voorgesteld worden door een nulpunt in de oorsprong en twee complex-geconjugeerde polen (zie figuur 3).



Figuur 3: Een pool-nulpunten diagram van  $H(s)$

2. (1 punt) Geef met behulp van de pool- en nulpuntwijzers een goede benadering voor  $|H(j)|$ .

De mixer dient te worden aangestuurd met een stroom van maximaal 10 micro-ampere.

3. (0.5 punt) Ontwerp de HF versterker met behulp van nullors, opamps en passieve componenten die het HF filter niet belast, d.w.z. diens werking niet of nauwelijks beïnvloedt.

4. (0,5 punt). Bepaal voor deze versterker de kettingmatrix.

5. (0,5 punt). Leg uit hoe FM demodulatie kan plaats vinden.

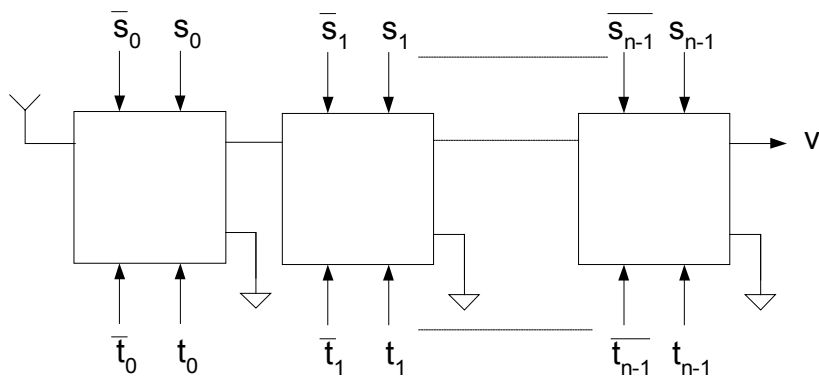
Voor de FM-demodulatie wordt het signaal door een limiter gevoerd.

6. (0,5 punt). Wat is de functie van deze limiter?

7. (0,5 punt). Ontwerp een limiter, d.w.z. een elektronische schakeling bestaande uit transistoren en/of passieve componenten die de functie  $y = \text{sgn}(x)$  benadert. Kies hiertoe zelf geschikte grootheden (stromen en spanningen) voor de in- en uitgangssignalen.

Na de FM-demodulatie en AD-omzetting kan er met een stuk elektronica de reeks binnenkomende bits vergeleken worden met de eigen handtekening.

8. (0,5 punt) Hoe zou je de handtekening van de pager elektronisch willen vastleggen? Motiveer je keuze.



Figuur 4: blokschema van signature-checker

De reeks binnenkomende bits worden een schuifregister in geschoven. Wanneer alle bits op hun bestemming aangekomen zijn, bepaalt de waarde van de *validity-bit*  $v$  of er een verschil tussen de inkomende code en de handtekening is. Een hoog signaal betekent dat alle bits de juiste waarde hebben ( $s_i=t_i$  voor alle  $i$ ) en kan er een signaal afgegeven worden. Een laag signaal duidt op minstens één discrepantie.

Dit soort "handtekeningen" kunnen vrij lang zijn. Een compacte opbouw van iedere cel is daarom van belang. Het uitgangssignaal  $v$  moet, in geval van een eventuele "mismatch", duidelijk en snel kunnen indiceren dat het om een mismatch gaat.

De schakeling is opgebouwd uit een pseudo-nmos-pull-up-transistor (dat wil dus zeggen: een pmos-transistor met de gate op de laagste spanning) en verder identieke pull-down-delen, voor elke bit van de "handtekening" één. De signalen als gegeven in figuur 4 zijn beschikbaar. Een schakeling voor een willekeurige handtekeninglengte is door herhaling hieruit te construeren. Door dit aanschuiven van cellen staat op beide uiteinden van zo een cel de laagste spanning  $V_-$ .

Er is een overvloed aan tijd om de *validiteits*-lijn op het hoge spanningsniveau te brengen, als we tijdens het schuiven ervoor zorgen dat het pull-down netwerk niet kan geleiden. De pull-up transistor kan dan volstaan met een zeer kleine transconductantiefactor  $\beta_p$ . De handtekening-bits  $s_0; s_1; s_2, \dots, s_{n-1}$  komen uit een reeds geladen register en de uitgangen zullen dus ook stabiele, goede niveaus hebben. De test-vector wordt door een schuifregister geschoven en het vereist enige ontwerpactiviteit om ook de niveaus van  $t_0; t_1; t_2, \dots, t_{n-1}$  snel dicht bij de ideale waarden van  $V_+$  en  $0 V$  te krijgen. We nemen aan dat dit gebeurt is, en dat dus bij evaluatie van de *validiteits*-bit alle ingangsniveaus van de *signature-checker* of  $V_+$  of  $0 V$  zijn.

Blijft over om de schakeling zo klein mogelijk te maken, zonder de niveaus van de *validiteitsbit* al te zeer te degraderen. Een hoog niveau moet minstens  $2,5 V$  en een laag niveau hoogstens  $0,5 V$  zijn.

Andere gegevens zijn:

Materiaalgegevens	Procesgegevens	Ontwerpregels	Afspraken
$\mu_n = 0.06 \text{ m}^2/\text{Vs}$	$c_{\text{ox}} = 10^{-3} \text{ F/m}^2$	$L_{\text{min}} = 0.5 \text{ }\mu\text{m}$	$V_+ = 3 \text{ V}$
$\mu_p = 0.024 \text{ m}^2/\text{Vs}$	$V_i = 0.32 \text{ V}$	$W_{\text{min}} = 1.0 \text{ }\mu\text{m}$	$V_- = 0 \text{ V}$
	$\gamma = 0.3 \text{ V}^{0.5}$	$V_{\text{tno}} = 0.5 \text{ V}$	$V_{\text{tpo}} = -0.5 \text{ V}$

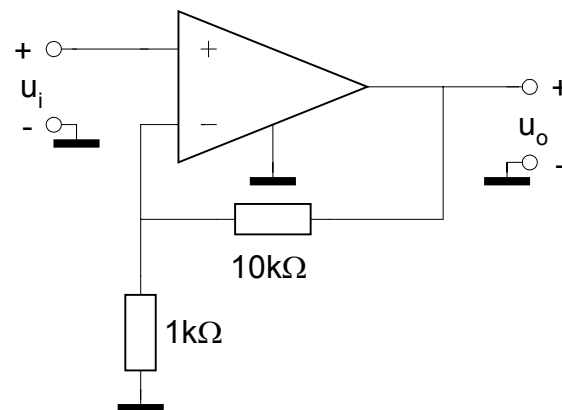
$c_{\text{ox}}$  is gate-capaciteit per oppervlakte-eenheid.

Hierin zijn ook een aantal consequenties van ontwerpregels verwerkt. Bij elk proces is er een ondergrens aan de lengte van het kanaal, in dit geval dus  $0.5 \text{ }\mu\text{m}$ , voor deze tijd een redelijke

waarde. Bij het minimum voor kanaalbreedte is rekening gehouden met de noodzaak van een contactgat naar een metaallaag.

9. (2,5 punt) Dimensioneer de schakeling! Dat wil dus zeggen: geef de dimensies van alle transistoren, zodat de som van de oppervlakken zo klein mogelijk is, terwijl toch aan de eisen voor spanningsniveaus voldaan is.

Het signaal afkomstig van deze signature-checker wordt met onderstaande spanningsversterker versterkt.



Figuur 5: De eindversterker

10. (1.5 punt) Bereken en teken de  $u_o$ - $u_i$  karakteristiek van deze versterker. Veronderstel dat de opamp een verzadigingsspanning heeft van 15 V en verder ideaal is.

Uiteraard, zal in werkelijkheid de opamp een bandbreedte beperking geven. Met behulp van een netwerkanalyzer gaan we de bodediagrammen bepalen van deze versterker.

11. (0.5 punt) Geef in een schets aan op welke wijze de netwerkanalyzer en de versterker op elkaar aangesloten moeten worden.

Veronderstel dat deingangsimpedantie van de netwerkanalyzer  $1\text{M}\Omega$  in parallel met  $10\text{ pF}$  is, terwijl de uitgangsimpedantie van de versterker circa  $1\text{ k}\Omega$  bedraagt.

12. (1 punt) Tot welke frequentie is de volgfout in de meting kleiner dan 1%?