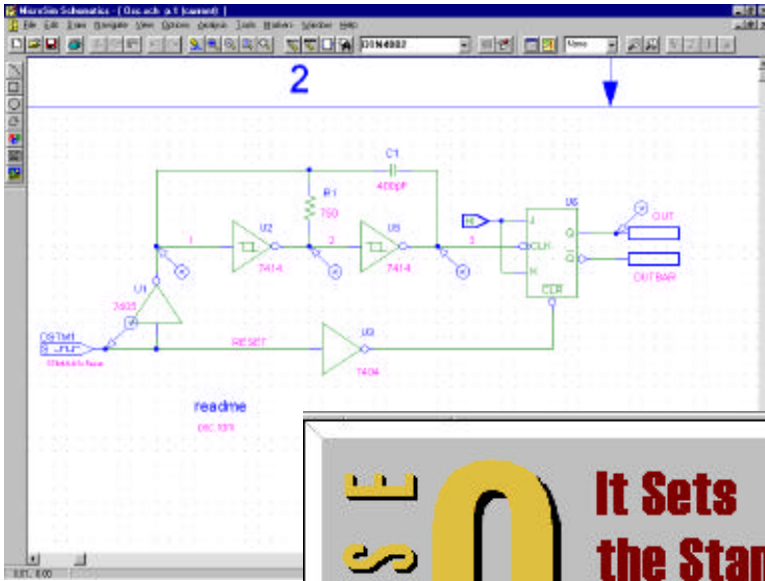


Introductie MicroSim Pspice



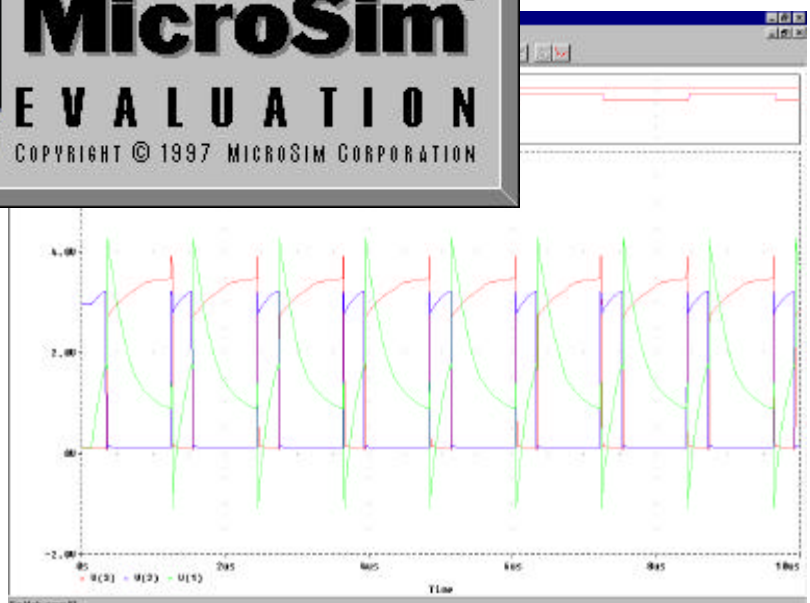
RELEASE 8 It Sets the Standard for Desktop EDA.



MicroSim[®]
EVALUATION
COPYRIGHT © 1997 MICROSIM CORPORATION

Auteursrechten:
Dr.ir. J.A. Hegt
Faculteit Elektrotechniek
Technische Universiteit Eindhoven

Najaar 1999



Introductie MicroSim PSpice

1. Inleiding

Deze korte introductie is bedoeld om je kennis te laten maken met de eerste beginselen van PSpice. Deze tekst geeft een beschrijving van het elementaire gebruik van dit software-pakket. Bedoeling is, dat je wat hier beschreven wordt direct op je notebook uitprobeert. Bovendien zijn er opgaven toegevoegd, waarmee je kunt oefenen. Je zult PSpice nog tegenkomen bij verschillende studie-onderdelen zoals Schakeltechniek, Netwerktheorie, Lineaire en Niet-lineaire Elektronica en de Ontwerp- en Onderzoek Practica (OP's).

Spice is een circuitsimulator die in verschillende uitvoeringsvormen verkrijgbaar is, waarvan MicroSim PSpice er één is. Met een circuitsimulator heb je o.a. de mogelijkheid een circuit te analyseren, zonder deze daadwerkelijk te hoeven bouwen of als verificatiehulpmiddel voordat het uiteindelijke circuit (bijv. in de vorm van een IC) wordt gerealiseerd. PSpice bezit allerlei tools die nuttig kunnen zijn bij het ontwerpen en analyseren van schakelingen. Zo kun je met dit pakket

- een schema grafisch invoeren
- verschillende soorten simulaties uitvoeren
- simulatieresultaten grafisch zichtbaar maken
- een circuit optimaliseren
- printed circuit boards ontwerpen
- enz.

Ook zeer uitgebreide handleidingen maken deel uit van MicroSim PSpice. Je vindt ze in de vorm van on-line help faciliteiten, maar ook zijn er omvangrijke manuals te vinden op je notebook in de map C:\MSim_Ev8\DOC.

Op je notebook tref je een zgn. "evaluatie versie" van MicroSim PSpice aan. De belangrijkste beperkingen t.o.v. de "standaard versie" (waarvan een enkele licentie vele duizenden guldens zou kosten) zijn:

- je schema mag uit maximaal 50 symbolen bestaan
- je kunt geen schakelingen met meer dan 10 transistors en 2 operationele versterkers simuleren
- circuit simulatie is beperkt tot circuits met maximaal 64 knooppunten.

We zullen in deze korte introductie alleen de meest elementaire mogelijkheden van PSpice beschrijven met betrekking tot

- het tekenen van schema's (hfdstk.2);
- het simuleren van het tijdafhankelijke gedrag: "transient simulatie" (hfdstk.3);
- het simuleren van het frequentieafhankelijke gedrag: "AC simulatie" (hfdstk.4);
- het simuleren van het spanningsafhankelijke gedrag: "DC simulatie" (hfdstk.5).

Na het doorwerken van deze introductie valt er nog veel te ontdekken over PSpice. In het geval je interesse verder gaat, zullen de manuals op je notebook je waardevolle aanvullende informatie kunnen verstrekken.

2. Het tekenen van schema's

Het programma Schematics, bedoeld voor het tekenen van schema's, wordt gestart door te klikken op *Start / Programs / MicroSim Eval 8 / Schematics*. Je ziet nu de linkerbovenhoek van een tekenvel, waarop het schema kan worden getekend. Op het tekenvel is een raster geplaatst (herkenbaar aan puntjes op regelmatige afstanden), waardoor de tekenobjecten eenvoudig ten opzichte van elkaar kunnen worden uitgelijnd. Bovenin en links op het scherm zie je knoppenbalken, waarbij elke knop correspondeert met een bepaald commando. Door met de muis op zo'n knop te gaan staan (zonder deze aan te klikken) wordt zichtbaar welk commando bij de betreffende knop hoort.

Je kunt in je tekening bouwstenen plaatsen met *Draw / Get new part*, of d.m.v. de toetscombinatie *Alt+D / Alt+G* (hier aangegeven d.m.v. de streepjes onder de letters *D* in *Draw* en *G* in *Get new part*), of door te drukken op de drukknop *Get New Part*



Fig.1: "Get New Part" drukknop

en vervolgens de naam van de te tekenen bouwsteen op te geven, of op die naam te klikken. Als je wilt weten welke bouwstenen gebruikt kunnen worden, dan kun je evt. zoeken m.b.v. de library browser. Als de naam van een bouwsteen je onbekend voorkomt, dan kun je door op die naam te klikken in het venster "description" hier een korte beschrijving van zien. Je zult er eenvoudige weerstanden (*R*) aantreffen, maar ook AND-gated JK master-slave flip-flops with preset and clear (7472), digitale clock stimuli (*DigClock*), spanningsbronnen in alle soorten en maten (*V...*), enz. enz.

Opdracht 1: *Welke parts-libraries zijn er geïnstalleerd? Geef een korte beschrijving van het soort bouwstenen dat je in elk van de libraries aantreft.*

Als je de naam van de te tekenen bouwsteen getypt of aangeklikt hebt, dan kun je deze vervolgens op je tekenvel plaatsen door op de knop *Place & Close* te drukken. Wil je meer dan één exemplaar van dezelfde bouwsteen tekenen, dan kun je dit aangeven door op de knop *Place* te drukken. Elke keer dat je nu op het tekenvel klikt wordt op die plaats een exemplaar van die bouwsteen getekend. Als je een keer op de rechter muistoets klikt houdt het plaatsen van bouwstenen op.

Vervolgens kun je allerlei manipulaties op de getekende bouwstenen uitvoeren. Je kunt een bouwsteen bijvoorbeeld:

selecteren:	één keer aanklikken (geselecteerde bouwsteen wordt rood gemarkeerd)
verplaatsen:	slepen met de muis
roteren:	<i>Ctrl+R</i>
spiegelen:	<i>Ctrl+F</i>
wissen:	<i>Del</i>
kopiëren:	<i>Ctrl+C / Ctrl+V</i>
naam wijzigen:	dubbelklikken op de naam en nieuwe naam opgeven

waarde wijzigen: dubbelklikken op de waarde en nieuwe waarde opgeven
 attributen wijzigen: dubbelklikken op het symbool zelf en nieuwe waarden voor de attributen (dit zijn kenmerken, behorend bij de geselecteerde bouwsteen) opgeven. N.B.: niet alle attributen kunnen veranderd worden.

Opdracht 2: Teken een Q2N2222 (wat is dat voor een soort bouwsteen?) in de 8 verschillende standen uit fig. 2 naast elkaar. Wijzig de aanduiding van de exemplaren van "Q1" t/m "Q8" in "T1" t/m "T8".

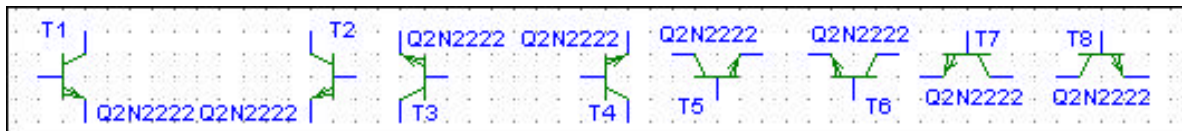


Fig.2: gewenste resultaat van opdracht 2

Waarschuwing: maak er een goede gewoonte van tijdens het tekenen je ontwerp regelmatig op te slaan ("save"). Als Pspice of Windows crasht (en dat gebeurt helaas vaker dan je lief is...) ben je zo niet zoveel werk kwijt.

Bij het opgeven van getallen, zoals de waarde van een bouwsteen, kan gebruik gemaakt worden van integers, floating point getallen of de volgende afkortingen:

F of f	=1e-15 (femto)
P of p	=1e-12 (pico)
N of n	=1e-9 (nano)
U of u	=1e-6 (micro)
M of m	=1e-3 (milli)
K of k	=1e+3 (kilo)
MEG of meg	=1e+6 (Mega)
G of g	=1e+9 (Giga)
T of t	=1e+12 (Tera)

Waarschuwing: hou hierbij goed het verschil tussen M (=milli) en MEG (=Mega) in de gaten. Verder wordt als scheidingsteken tussen het geheeltallige deel en de decimale fractie van een getal de punt gebruikt (dus niet de komma). Tussen een getal en de eenheden mag geen spatie staan (dus niet bijv. 100 ns, maar 100ns). Dit soort vergissingen leiden vaak niet tot foutmeldingen, maar wel tot verkeerde simulatieresultaten!

Van sommige kenmerken (attributen) van een bouwsteen kun je instellen of zijn naam en/of waarde al dan niet zichtbaar wordt in de tekening. Dubbelklik hiertoe op het symbool, klik vervolgens op een attribuut (bijv. *COMPONENT*, *PKGTYPE*, of *TOLERANCE*, afhankelijk van het type bouwsteen) waarbij de knop *Change Display* duidelijk zichtbaar wordt. Als je op die knop drukt, dan zie je dat je o.a. de mogelijkheid hebt aan te geven of de *name* en/of de *value* van dit attribuut mag worden getoond. Overigens kun je de attributen in je schema verplaatsen, door op dat attribuut te klikken en deze vervolgens te verslepen naar de gewenste plaats. Zorg ervoor dat je schema er op deze wijze ordelijk uit blijft zien (bijv. geen tekst dwars door de symbolen...).

In het algemeen is het verstandig niet méér tekst in het schema te plaatsen dan strikt noodzakelijk. Vaak is het bijv. overbodig dat in een schema de type-namen ("part

names") zoals bijv. Q2N2222 worden vermeld. Dit kun je aangeven door bovenin je scherm te klikken op *Options, Display Preferences*. Vervolgens heb je dan de mogelijkheid om eigenschappen (kleur, grootte, zichtbaarheid, enz.) van allerlei items te veranderen. Klik bijv. op *Part Names* en zet op het tabblad *General* de vinkjes bij *Display* en *Print* uit. Als je nu vervolgens op *Apply* en *OK* drukt, dan zul je zien dat in je tekening de type-namen inderdaad verdwenen zijn. Wil je nu bij sommige bouwstenen toch aangeven welk type het is, dan kun je dat bijv. doen door van de betreffende bouwsteen het attribuut *COMPONENT* in te vullen en d.m.v. *Change Display* aan te geven dat deze zichtbaar moet worden gemaakt.

Waarschuwing: laat de namen van draden, bouwstenen, enz. altijd beginnen met een letter, en gebruik hierbij verder alleen letters en cijfers.

Opdracht 3: *Maak in je schema met de 8 transistoren de type-namen onzichtbaar. Zorg er vervolgens voor dat bij één van de transistoren de aanduiding "2N2222" komt te staan.*

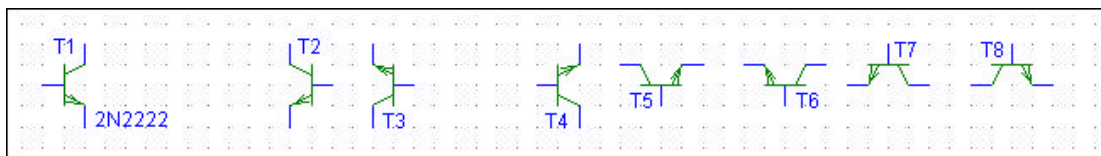


Fig.3: gewenste resultaat van opdracht 3

D.m.v. *Display Preferences* heb je de mogelijkheid om heel veel eigenschappen van de tekening te veranderen. Zo kan het zijn dat je de tekst te groot vindt, het font onduidelijk, de lijnen te dun, de kleuren niet fraai, enz. Al dit soort zaken kunnen met *Display Preferences* worden ingesteld.

Opdracht 4: *Experimenteer met de Display Preferences door ervoor te zorgen dat in je schema met de 8 transistoren nog alleen maar de kleur zwart wordt gebruikt. Maak de type-naam "2N2222" wat kleiner en zorg dat de aanduiding "T1" t/m "T8" wat groter en in het font "Lucida Sans" wordt weergegeven.*

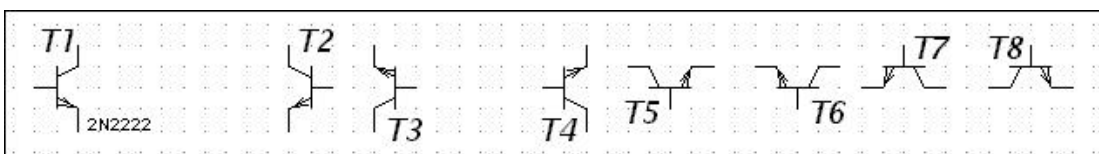


Fig.4: gewenste resultaat van opdracht 4

Zet daarna, als dat gelukt is, de Display Preferences weer terug in de standaard stand d.m.v. "Restore All Defaults".

Als je de bouwstenen getekend hebt, kun je deze met draden gaan verbinden. Dat kan met *Draw / Wire* (en dus ook kortweg met de toetscombinaties *Alt+D / Alt+W*). Op het scherm verschijnt nu een potloodje, waarmee je door op de juiste plaats te klikken, verbindinglijnen kunt trekken. Datzelfde potloodje is ook te activeren door op het overeenkomstige knopje *Draw Wire* bovenin het scherm te drukken.



Fig.5: “Draw Wire” drukknop

Het tekenen van een draad kan gestopt worden door op de rechter muisknop te klikken. De volgende draad kun je dan starten door op de spatiebalk te drukken (daarmee herhaal je namelijk het laatste commando, in dit geval dus de *Draw Wire* opdracht) of door opnieuw op de *Draw Wire* knop te klikken. Zorg ervoor dat de einden van de verbindingdraden samenvallen met de einden van de aansluitingen van de bouwstenen, want anders kun je problemen verwachten als je je schakeling zou gaan simuleren, doordat er dan aansluitingen “zweven”. Op dezelfde manier waarop je bouwstenen kunt selecteren, verplaatsen, draaien, wissen, enz., kan dit ook met draden. Merk op dat als er een verbinding bestaat tussen draden en/of bouwstenen, deze verbinding in stand blijft als je die draden en bouwstenen verplaatst. Dit heet “rubber banding”. Dit werkt in de praktijk heel plezierig als je probeert je schema te herschikken, om deze bijv. zo overzichtelijk mogelijk te maken. Mocht het zijn dat door het verschuiven van bouwstenen de verbindingen in je schakeling dreigen te veranderen, dan verschijnt er als waarschuwing een gele driehoek met een uitroepteken in beeld. Als je veel met bouwstenen en draden geschoven hebt kan het zijn dat je op sommige plaatsen een soort “spookbeelden” te zien krijgt. In dit geval kan de spokenjacht plaatsvinden door te drukken op *View / Redraw* of nog sneller met de toetscombinatie *Ctrl+L* of met de *Redraw* drukknop.



Fig.6: “Redraw” drukknop

Je kunt in je schema een stukje tekst schrijven met *Draw / Text* (of kortweg *Ctrl+T*) Of met de *Draw Text* drukknop.



Fig.7: “Draw Text” drukknop

Dit is vooral handig voor het plaatsen van losse woorden of hele kleine stukjes tekst. Gaat het om grotere stukken tekst, dan kun je beter gebruikmaken van een textbox d.m.v. *Draw / Text Box*. In dit laatste geval kun je een rechthoek tekenen, waarbinnen de op te geven tekst wordt geplaatst. Door vervolgens op de tekst te klikken en daarna op *Edit / Text Properties* te drukken, kunnen de kenmerken (kleur, lettergrootte, font) veranderd worden.

Waarschuwing: als je al te “wild” edit in je schema (veel tekenen en weer deleten) wil dit er wel eens toe leiden dat de interne database overhoop komt te liggen. Er rest

je dan niets anders dan opnieuw te beginnen. Sla daarom je schema regelmatig op en denk eerst na voordat je begint te tekenen!

Soms is het handig in een schakeling met een hiërarchische structuur te werken. Dit wil zeggen dat de schakeling gebruik maakt van subcircuits, die in het schema als een rechthoekig blok getoond worden. Dit kan vaak de overzichtelijkheid van je schakeling ten goede komen. Door op zo'n blok te klikken wordt zijn feitelijke inhoud zichtbaar. Een voorbeeld van het gebruik van dit soort subcircuit blokken vind je op je notebook in het schema C:\Msim_Ev8\Examples\Digsim\Frqchk\Frqchkx.sch .

Je gebruikt bij het tekenen van zo'n hiërarchisch opgebouwd schema veelal een "top down" aanpak. Dat wil zeggen dat je op het hoogste hiërarchische niveau begint te tekenen. In je schema plaats je een blok dat een subcircuit representeert d.m.v. Draw / Block. In je schema verschijnt nu een rechthoek. Je verbindt dit subcircuit met de rest van je schema door verbindingen te maken vanuit je schema naar de rand van dit blok. Op zo'n plaats ontstaat dan een "pin" die je eventueel een naam kunt geven door erop te klikken. Zijn zo alle aansluitingen naar het subcircuit getekend, dan kan het blok geopend worden door erop te dubbelklikken. Nadat een nog niet eerder gebruikte filenaam aan het blok is gegeven krijg je een tekenvel te zien waarop de pinnen van het blok zichtbaar zijn. Nu kan het feitelijke subcircuit getekend worden en aangesloten op de pinnen. Eventueel kan dit subcircuit ook weer een of meerdere subcircuits bevatten. Met behulp van Navigate / Pop (of kortweg funktietoets *F3*) ga je weer omhoog in hiërarchie. Als je niet weet op welk hiërarchisch niveau je je op zeker moment bevindt kun je dit opvragen d.m.v. Navigate / Where.

Waarschuwing: belangrijk bij het gebruik van hiërarchie is, om ervoor te zorgen dat de interne terminals / pinnen alleen maar aangesloten zijn op externe terminals / pinnen als hun namen overeenkomen. Als je van een blok alleen de naam van een externe pin verandert is deze (zonder waarschuwing!) nergens meer mee verbonden. Een andere veelgemaakte fout is het tekenen van een draad net over de rand van een blokje. Het lastige is, dat je deze niet meer ziet, terwijl hij toch kortsluiting maakt tussen de eventueel daar liggende pinnen.

Als uiteindelijk je schema "af" is, dan kun je deze opslaan als file met File / Save (of kortweg met *Ctrl+S*) of met File / Save As, waarna je een filenaam op moet geven. Vervolgens kun je je schema afdrukken. Bedenk daarbij wel, dat dan in principe het hele tekenvel wordt afgedrukt, terwijl je misschien maar een klein deel hiervan gebruikt hebt. (Dat tekenvel kun je in z'n geheel zichtbaar maken met View / Entire Page.) Beter is het daarom eerst met View / Fit (of kortweg *Ctrl+N*) in te zoomen op het gebruikte deel van het tekenvel, vervolgens een selectie te maken door met de muis een rechthoek te definiëren, waarvan je de inhoud vervolgens af laat drukken met File / Print. Je kunt daarbij o.a. nog opgeven of je een bepaalde schalingsfactor wilt gebruiken, of dat je het schema bladvullend afgedrukt wilt hebben. Vaak zul je je schema op willen nemen in bijv. een Word document. Dit kan door deze te kopiëren naar het clipboard met Edit / Copy to Clipboard, en vervolgens in je document te plakken (in Word d.m.v. Edit / Paste of *Ctrl+V*).

Hieronder vind je afdrukken van een aantal schema's. Bedoeling is dat je probeert deze zo goed mogelijk na te tekenen en te kopiëren naar een Word document, die je vervolgens af laat drukken. Vergelijk het afgedrukte document kritisch met de

gegeven schema's en beoordeel in hoeverre er sprake is van afwijkingen t.o.v. het origineel. Probeer een efficiënte volgorde te vinden voor de verschillende handelingen, waarmee je in een redelijke tijd in staat bent deze schema's te tekenen.

Opdracht 6: Teken het onderstaande schema na m.b.v. de schematic editor:

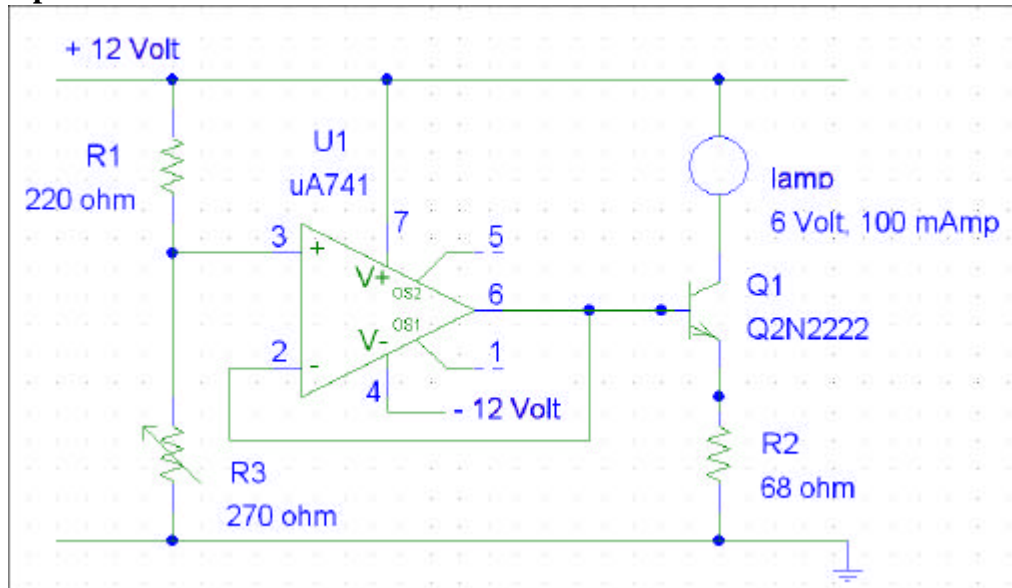


Fig.8: gewenste resultaat van opdracht 6

Opdracht 7: Teken het onderstaande schema na m.b.v. de schematic editor:

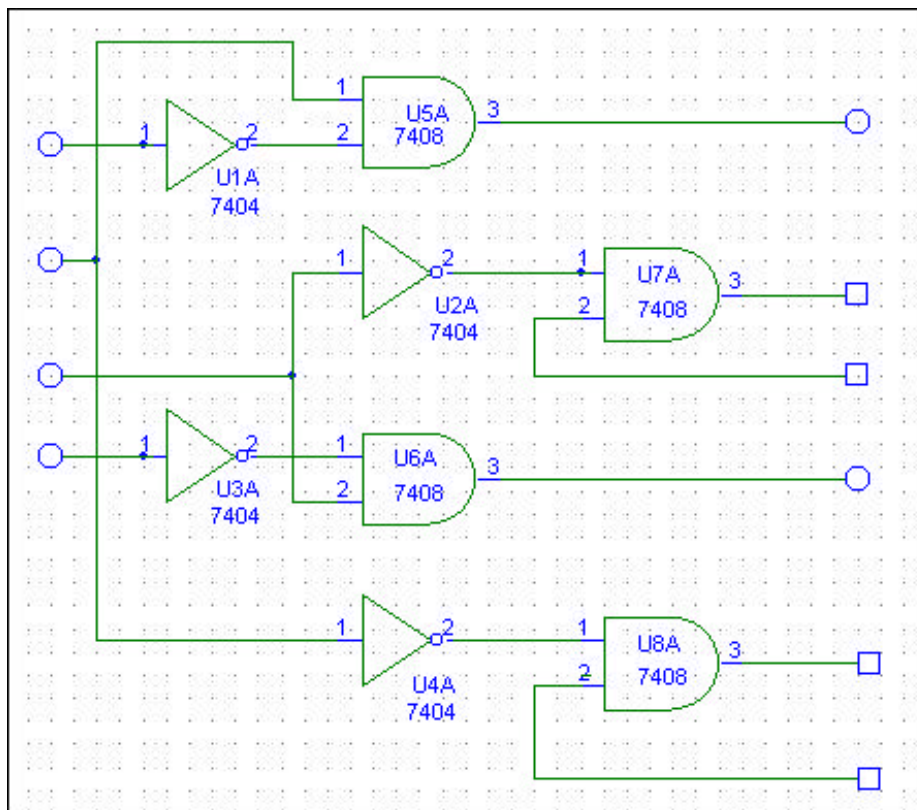


Fig.9: gewenste resultaat van opdracht 7

3. Transient simulaties

Nadat je je schema hebt getekend, heb je de mogelijkheid om het gedrag van deze schakeling te simuleren. Bij een transient simulatie gaat het daarbij vooral om het bestuderen van het **tijdafhankelijke gedrag** van de schakeling. Vaak wordt een schakeling bijvoorbeeld onderzocht op basis van zijn “stapresponsie”: op de ingang wordt een stapvormig signaal aangesloten en gekeken wordt naar het resulterende signaal aan de uitgang. De eigenschappen van een oscillatorschakeling, die een bepaalde golfvorm zou moeten opwekken, kan ook met een transient simulatie worden geanalyseerd. Ook het gedrag van digitale schakelingen wordt meestal als functie van de tijd bestudeerd. Hierbij worden veelal digitale stimuli aangeboden (patronen van nullen en énen) en de bijbehorende responsie aan de uitgang en eventueel ook van interne knooppunten in de schakeling als functie van de tijd bekeken.

Voor het exciteren van schakelingen met tijdafhankelijke signalen zijn er in Pspice verschillende soorten bronnen met speciale signaalvormen beschikbaar:

<i>VPULSE</i>	blokvormige spanning met instelbare lineaire stijgende en dalende flanken
<i>VEXP</i>	blokvormige spanning met instelbare e-macht vormige stijgende en dalende flanken
<i>VSIN</i>	sinusvormige spanning met instelbare amplitude, frequentie en fase N.B.: verwar deze niet met <i>VAC</i> , die bedoeld is voor AC analyses
<i>VPWL</i>	spanningsvorm, opgebouwd uit rechte lijnstukjes
<i>VSFFM</i>	frequentiegemoduleerde spanningsvorm

Dezelfde signaalvormen zijn ook beschikbaar als stroombronnen (*IPULSE*, *IEXP*, *ISIN*, *IPWL*, *ISFFM*).

Ten behoeve van digitale simulaties is er onder andere *DigClock* (“*Digital Clock Stimulus*”), bedoeld voor het opwekken van een periodiek signaal met afwisselend de waarde ‘1’ en ‘0’. De attributen van deze stimulus kunnen worden ingesteld door tweemaal op zijn symbool te klikken. Aanvankelijk, tot aan het tijdstip “*DELAY*” levert *DigClock* de waarde “*STARTVAL*”, vervolgens wordt dit signaal periodiek en krijgt gedurende “*ONTIME*” de waarde ‘1’, en gedurende “*OFFTIME*” de waarde ‘0’.

Andere digitale stimuli zijn *STIM1*, *STIM4*, *STIM8* en *STIM16*. Hiermee kunnen ook niet-periodieke signalen worden gegenereerd van resp. 1, 4, 8 of 16 bit parallel. Hierbij wordt gewerkt met “events”: d.w.z. gedefinieerd wordt op welke tijdstippen deze signalen welke nieuwe waarden aannemen.

Uitgebreidere mogelijkheden levert *DigStim* (“*Digital Stimulus source for StmEd*”). Ook hierbij kunnen golfvormen worden ingesteld door te dubbelklikken op het bijbehorende symbool. Daarmee wordt de stimulus editor gestart. Voor een uitgebreidere beschrijving van het gebruik van deze stimulus editor wordt verwezen naar de bijbehorende online *Help* en naar de manuals in de directory C:\Msim_Ev8\DOC.

Wanneer je een transient simulatie wilt laten uitvoeren, kun je dit opgeven met *Analysis / Setup...* Je krijgt dan een window te zien waarin je kunt aangeven dat je een

transient simulatie wilt doen, door het bijbehorende vinkje aan te zetten. Druk nu vervolgens op de knop *Transient* om de parameters van deze simulatie in te stellen. Belangrijk is dat je de *Final Time* opgeeft: dit is het tijdstip tot waaraan je wilt simuleren en de *Print Step* waarmee je opgeeft wat de grootte is van de tijdsintervallen waarmee de simulatieresultaten zullen worden geplot. Als je de *Print Step* zo'n 500 keer kleiner maakt dan de *Final Time* heb je i.h.a. voldoende simulatiewaarden (afhankelijk van de "grilligheid" van de signalen). Elke kromme bestaat dan uit 501 meetpunten, waartussen lineair geïnterpoleerd wordt. Intern rekent Pspice met tijdstappen, die afhankelijk zijn van de grilligheid van de signalen. Als de signalen een "rustig" gedrag vertonen kan deze interne tijdstap oplopen tot maximaal 2% van de *Final Time*. In tijdsintervallen waarin er meer activiteit optreedt verkleint Pspice zelf zijn interne tijdstap. D.m.v. het opgeven van een *Step Ceiling* heb je als gebruiker de mogelijkheid een bovengrens op te geven voor de lengte van deze interne tijdstappen, maar meestal is dit niet nodig. N.B.: Pspice berekent alleen de signaalwaarden op deze interne tijdstap-afstanden; de weergegeven meetpunten (op basis van de *Print Step*) worden d.m.v. interpolatie verkregen.

Waarschuwing: denk na over de waarden die je opgeeft voor de simulatie- en signaalbronparameters. Zijn de frequenties redelijk voor de schakeling? Laat je de simulatie lang genoeg lopen om alle interessante signaalveranderingen te kunnen zien, maar ook niet te lang, waardoor je onnodig lang zit te wachten? Is de opgegeven stapgrootte redelijk?

Knooppunten waarvan je geïnteresseerd bent in het transiente gedrag van de spanning of het logische niveau resp. van de stroom kun je markeren met een *Voltage/Level Marker* resp. een *Current Marker* die je bovenin het scherm aantreft.



Fig.10: "Voltage/Level Marker" (links) en "Current Marker" (rechts) drukknoppen

Als het schema in orde is en de setup van de transient simulatie is ingesteld, dan kan deze gestart worden d.m.v. *Analysis / Simulate* of kortweg door op functietoets F11 of op de *Simulate* knop te drukken.



Fig.11: "Simulate" drukknop

Nu wordt het schema gecontroleerd op fouten (aardsymbool vergeten, zwevende knooppunten, kortgesloten of juist openhangende spanningsbronnen, vergeten of incorrecte componentwaarden, komma's i.p.v. punten, enz. enz.) en de setup van de simulatie wordt geverifieerd. Is er een fout geconstateerd, dan wordt dat gemeld. Soms komt de *MicroSim Message Viewer* met een duidelijke foutmelding, soms is het nodig de output file te bekijken d.m.v. *Analysis / Examine Output*, waar in tekstvorm aangegeven wordt wat er aan de hand is. Zijn er geen fouten gevonden, dan start de feitelijke simulatie. Het kan zijn dat bij de simulatie van een digitale schakeling er

bijv. sprake is van een kritieke timing, doordat bijv. een ingangssignaal van een flip-flop op (vrijwel) hetzelfde tijdstip omkapt als waarop de flip-flop getriggered wordt. In dat geval verschijnt er een warning en kan informatie over deze kritieke situatie worden opgevraagd. Door de tool “Probe” worden de simulatieresultaten grafisch zichtbaar gemaakt. Voor de knooppunten waarop je markers hebt geplaatst worden automatisch de bijbehorende spanningen en stromen geplot als functie van de tijd in de vorm van kleurige grafieken. De betekenis van elke kleur wordt onder de grafiek toegelicht. Ben er wel op bedacht, dat alle signalen gebruik maken van dezelfde verticale schaal. Dat wil zeggen dat als er zowel spanningen van enkele volts en stromen van een paar mA worden geplot, die stroomsterkten op het oog niet van nul te onderscheiden zullen zijn. Je kunt een signaal uit de grafiek verwijderen door onderin het beeld op zijn naam te klikken en vervolgens *Del* in te drukken. Signalen toevoegen kan d.m.v. de opdracht *Trace / Add* (of kortweg met de *Insert*-toets), waarna de naam van het toe te voegen signaal in de lijst kan worden aangeklikt. Veel signaalnamen zijn nogal cryptisch. Handig is het daarom, om in het schema namen te geven aan belangrijke verbindingen en knooppunten. Aan een verbinding kan een naam gegeven worden door op de betreffende draad te dubbelklikken. Knooppunten kunnen een naam krijgen door daar een bubble te tekenen (*Draw / Get New Part / bubble*) en die een naam te geven. Signalen kunnen gegroepeerd geplot worden, door ze in afzonderlijke grafieken weer te geven (*Plot / Add Plot*). Door op één van de grafieken te klikken kan deze geselecteerd worden.

Met behulp van twee cursors (een soort “kruisdraden”) kunnen numerieke waarden en verschillen tussen waarden uit de grafiek afgelezen worden. Deze cursors worden geactiveerd door *Tools / Cursor / Display* aan te vinken, of door op de *Toggle Cursor* knop te drukken.



Fig.12: “Toggle Cursor” drukknop

D.m.v. *Tools / Cursor / Search Commands* (of kortweg *Ctrl+Shift+S*) of door op de *Cursor Search* knop



Fig.13: “Cursor Search” drukknop

te drukken kan tussen beide cursors gekozen worden. Door onderin het beeld op het symbool van een bepaald signaal te klikken wordt de cursors voor dat betreffende signaal geactiveerd. Met de muis of de pijltjestoetsen kunnen de cursors over de grafiek worden bewogen. In het bijbehorende “Probe Cursor”-window kunnen voor beide cursors de x- en y-waarden en de verschillen tussen deze waarden van beide cursors worden afgelezen. Met de overige opties in het menu *Tools / Cursor* of door te drukken op de bijbehorende knoppen kunnen de waarden van lokale maxima, lokale minima, de lokale helling, het globale minimum, het globale maximum of een willekeurig punt van een curve worden afgelezen.

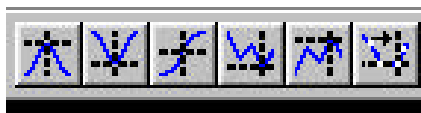


Fig.14: drukknoppen voor cursor akties, v.l.n.r.:
 “Cursor Peak”, “Trough”, “Slope”, “Min”, “Max” en “Point”

Met de knop *Mark Data Points* kun je zien op welke punten in de grafiek werkelijk



Fig.15: “Mark Data Points” drukknop

berekend zijn. De overige zijn door interpolatie verkregen.

Van transient signalen kan d.m.v. zogenaamde Fast Fourier Transformatie het bijbehorende frequentiespectrum worden berekend. Dat wil zeggen dat berekend wordt in welke mate bepaalde frequentiecomponenten (“grondgolf” en “harmonischen”) in dit signaal aanwezig zijn. Dit wordt geactiveerd door op de *Fourier*-knop



Fig.16: “Fourier” drukknop

te drukken. Met behulp hiervan kan bijvoorbeeld de harmonische vervorming van een schakeling worden geanalyseerd, door deze aan te sturen met een sinusvormig signaal en te bepalen in welke mate hogere harmonischen hiervan aan de uitgang terug te vinden zijn.

De instellingen van de x- en de y-as kunnen worden ingesteld met *Plot / X-axis settings* resp. *Plot / Y-axis settings*. Hiermee is het o.a. mogelijk te kiezen voor een logaritmische schaalverdeling. Middels het *View*-menu zijn er verschillende mogelijkheden om in en uit te zoomen. Handig is vaak de mogelijkheid om tekst of figuren toe te voegen aan de grafiek door middel van het *Tools / Label* menu.

Als de grafiek uiteindelijk de juiste vorm heeft kan deze naar het clipboard worden gecopieerd met *Tools / Copy to Clipboard* om vervolgens bijv. in een Word document te worden geplaatst m.b.v. de *Paste* (of *Ctrl+V*) opdracht. Hierbij kan het lastig zijn dat Probe standaard voor de achtergrond de “kleur” zwart gebruikt. Er zijn meerdere manieren om dit probleem aan te pakken. Een geschikte manier bestaat uit het aanpassen van de C:\Windows\Msim_evl.ini file. Kopieer voor alle zekerheid deze file eerst naar een andere naam, bijv. Msim_evl.bak . Open vervolgens de originele file in Notepad en zoek naar de regel “[PROBE DISPLAY COLORS]”. Verander de regel “BACKGROUND=BLACK” in “BACKGROUND=BRIGHTWHITE” en “FOREGROUND=WHITE” in “FOREGROUND=BLACK”. Als alles goed gegaan is heeft Probe nu een helderwitte achtergrond gekregen.

Opdracht 8: teken m.b.v. Pspice de onderstaande schakeling waarin een diode als niet-lineair element is geplaatst. Onderzoek de gevolgen voor het tijdafhankelijke gedrag van de spanningen en stromen in deze schakeling en verklaar het simulatie resultaat. Stel bij deze transient analyse Final Time in op 40ms, Print Step op 100us en Step Ceiling op 100us. Sla de simulatiefile en de probefile op.

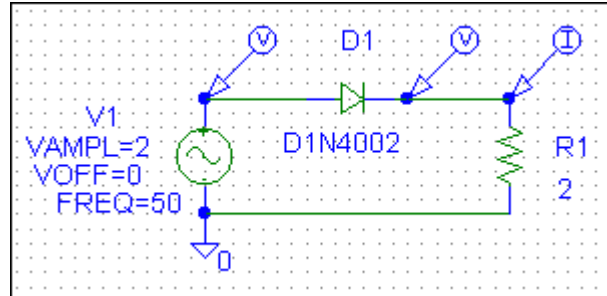


Fig.17: simulatieschema met niet-lineair element

Opdracht 9: Ontwerp, gebruikmakend van de theorie behorend bij het college Schakeltechniek, volgens de top-down aanpak een modulo16 counter, opgebouwd uit edge triggered D-flipflop's (7474) en een 4-bits ripple carry adder blok. Dit 4-bits ripple carry adder blok is op zijn beurt weer opgebouwd uit full-adder en half-adder blokken. Een full-adder wordt opgebouwd uit half-adder blokken. Het schema van een half-adder is hieronder weergegeven.

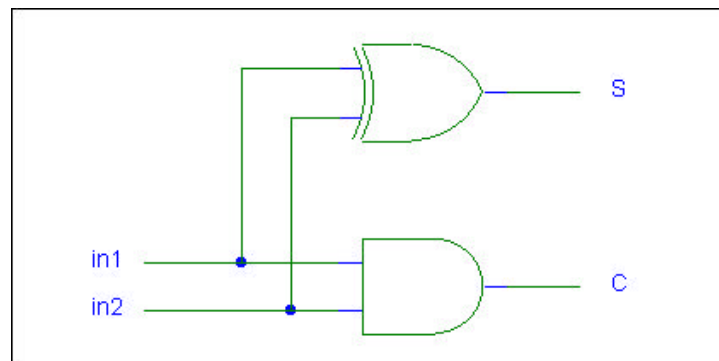


Fig.18: half-adder

Verifieer d.m.v. een transient simulatie de correcte werking van deze half-adder. De rest van het hiërarchische ontwerp is onderwerp van het vak "Schakeltechniek". N.B.: vermijd in deze opdracht het gebruik van "open collector" bouwstenen.

4. AC simulaties

Stond bij transient simulaties het tijdafhankelijke gedrag centraal, bij AC simulaties gaat het om het frequentieafhankelijke gedrag van een circuit. Een voor de hand liggende toepassing is bijv. de simulatie van (tijdcontinue) filterschakelingen.

Bij AC simulaties wordt door Pspice allereerst het instelpunt (“operating point” of “bias point”) van de schakeling bepaald. Daarbij wordt ondermeer rekening gehouden met de statische niet-lineariteiten in het circuit. Rond dit instelpunt wordt het gedrag van de schakeling gelineariseerd; de AC simulatie beschrijft dus het kleinsignaal gedrag van de schakeling. Van dit gelineariseerde circuit wordt het frequentieafhankelijke overdracht bepaald. We kunnen hierbij bijv. een AC signaalbron op de ingang aansluiten en op verschillende interessante knooppunten de bijbehorende frequentieafhankelijke responsie (amplitude en fase) bestuderen. Aangezien het circuit gelineariseerd wordt is AC simulatie bijv. niet geschikt voor de analyse van digitale circuits.

Het aantal beschikbare signaalbronnen bij AC simulaties is erg beperkt:

VAC	eenvoudige AC spanningsbron met instelbaar DC-niveau (t.b.v. de bepaling van het instelpunt), amplitude en fase. N.B.: je geeft hierbij dus geen frequentie op; deze wordt gevarieerd over een bepaald bereik dat zal worden opgegeven in de <u>Analysis / Setup</u> (zie onder)
IAC	idem, maar als stroombron.

Ook de signaalbronnen die feitelijk bedoeld zijn voor transient simulaties bieden de mogelijkheid om een AC en een DC waarde op te geven en zijn daardoor tevens toepasbaar bij AC simulaties. Hun transiente gedrag wordt daarbij genegeerd. Omgekeerd hebben hun AC en DC waarde geen betekenis bij een transient simulatie.

Verder is er een universele spanningsbron *VSRC*, die zowel voor transient signalen, AC spanningen en DC spanningen gebruikt kan worden. Deze heeft 3 attributen: DC, AC en TRAN. Als *VSRC* gebruikt wordt als DC bron moet bij DC de gewenste waarde van de gelijkspanning opgegeven worden. Als hij als AC bron wordt gebruikt dan dient de amplitude van de wisselspanning opgegeven te worden en indien gewenst een waarde voor de fase (d.m.v. een spatie scheiden van de amplitude, dus bijv. AC = 12 0 definieert een amplitude van 12V en een fase van 0°). Wordt hij als transient bron gebruikt, dan moet bij TRAN zowel de signaalvorm als een lijst van parameters opgegeven worden. Wat betreft de signaalvormen kan gekozen worden uit EXP, PULSE, PWL, SFFM en SIN. De betekenis van de op te geven parameters hangt af van de gekozen signaalvorm. De stroombron-variant van *VSRC* is *ISRC*.

Wanneer je van je schakeling een AC simulatie wilt maken, kun je dit opgeven met Analysis / Setup... Je krijgt dan een window te zien waarin je kunt aangeven dat je een AC Sweep wilt maken, door het bijbehorende vinkje aan te zetten. Druk nu vervolgens op de knop AC Sweep om de parameters van deze simulatie in te stellen. Je kunt nu kiezen of je een lineaire frequentie sweep wilt maken, waarbij je bij *Total Pts* het totale aantal equidistant verdeelde frequentiewaarden op kunt geven of een logaritmische sweep, uitgevoerd met een op te geven aantal frequentiewaarden per oktaaf, of een logaritmische sweep uitgevoerd met een op te geven aantal frequentiewaarden per decade. Verder kun je een Start Frequency en een End

Frequency invullen om het bereik van de frequentie sweep aan te geven. N.B.: een logaritmische sweep mag natuurlijk nooit een *Start Frequency* = 0 hebben.

De AC simulatie wordt nu gestart d.m.v. *Analysis / Simulate* of kortweg door op functietoets F11 of op de *Simulate* knop te drukken.



Fig.19: “Simulate” drukknop

Net als bij de transient simulatie wordt het schema gecontroleerd op fouten en de setup van de simulatie geverifieerd. Is er een fout geconstateerd, dan wordt dat gemeld, anders start de feitelijke simulatie. Als deze klaar is wordt automatisch de tool *Probe* gestart en eventueel worden de waarden van de signalen waarbij je een marker hebt geplaatst getoond als functie van de frequentie.

Ook nu heb je weer de mogelijkheid om signalen toe te voegen of juist te verwijderen uit de grafiek, je assen aan te passen, cursors te gebruiken, maxima en minima op te zoeken, enz., net zoals dat bij het gebruik van *Probe* bij een transient simulatie kon. Misschien had je bij de verticale as een dB-schaal gewild. Dit kan gerealiseerd worden door gebruik te maken van de functies en macro's die je kunt bereiken d.m.v. *Trace / Add*. Wanneer het bijv. gaat om het signaal V(uit) dat op een dB schaal moet worden weergegeven, dan kan dat door als expressie op te geven: $DB(V(\text{uit}))$. Op soortgelijke wijze kan bijv. het imaginaire deel van V(uit) als functie van de frequentie worden geplotted d.m.v. $IMG(V(\text{uit}))$, het reële deel met $R(V(\text{uit}))$, de fase in graden met $P(V(\text{uit}))$, enz. Een uitgebreide toelichting kun je bijv. in de online *Help* van het *Add Traces* menu vinden.

Opdracht 10: Teken het hoogdoorlaatfilter, dat gegeven is in onderstaande figuur.

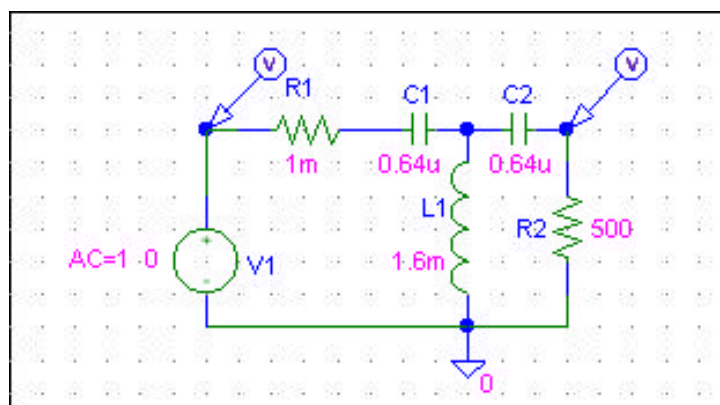


Fig.20: simulatieschema van een hoogdoorlaatfilter

Het feitelijke filter wordt gevormd door de bouwstenen C1, C2 en L1. De inwendige impedantie van de bron wordt bepaald door weerstand R1 en de schakeling wordt afgesloten met weerstand R2. Bepaal d.m.v. simulatie de overdrachtskarakteristiek van dit hoogdoorlaatfilter, dat een kantelfrequentie op 5 kHz en een “ken” of “karakteristieke” impedantie $Z_0 = 50 \Omega$ heeft, door de in- en uitgangsspanning van dit

filter met elkaar te vergelijken in het frequentiegebied van 100 Hz tot 100 kHz. Sla deze bijbehorende Probe file op.

Bij de overdrachtskarakteristiek van dit hoogdoorlaatfilter valt op, dat bij de kantelfrequentie er in de uitgangsspanning van het filter een enorme spanningspiek ontstaat.

Vraag 1: hoe groot is deze spanningspiek (V_{uit}/V_{in}) in % en waarom ontstaat deze ?

Vervolgens wordt de waarde van de weerstand R2 waarmee het filter is afgesloten, gelijk gemaakt aan de karakteristieke impedantie $Z_0 = 50\Omega$. Je ziet nu dat de enorme spanningspiek bij de kantelfrequentie van 5 kHz is gereduceerd tot slechts een geringe "peaking" van het uitgangssignaal. Druk dit plaatje af en bewaar deze probe-file op floppy.

Vraag 2: hoe groot is de "peaking" van (V_{uit}/V_{in}) in % nu ?

Nu wordt ook in serie met de bron met een weerstand van 50 Ω gebruikt, zodat beide weerstanden aangepast zijn aan de karakteristieke impedantie van het filter. Het resultaat is een vloeiende overdrachtscurve van het laagfrequente ("sper") gebied naar het hoogfrequente ("doorlaat") gebied. Bewaar deze probe-file op floppy.

Opdracht 11: Teken m.b.v. PSpice de schakeling volgens het onderstaande schema van een middenfrequent-bandsperfilter.

Het feitelijke middenfrequent-bandsperfilter wordt gevormd door de bouwstenen L1, L2, L3, C1, C2 en C3. Bepaal de doorlaatgrafiek van dit filter door de ingangs- en uitgangsspanning met elkaar te vergelijken in het frequentiegebied van 10kHz tot 1MHz. De bandbreedte van dit filter behoort 50kHz te zijn, de ken- of karakteristieke impedantie van dit filter ligt op 75 Ω . Zet Total Pts op 1001. Sla de Probe file op. Bepaal uit de grafiek de twee kantelfrequenties behorend bij de -3 dB punten.

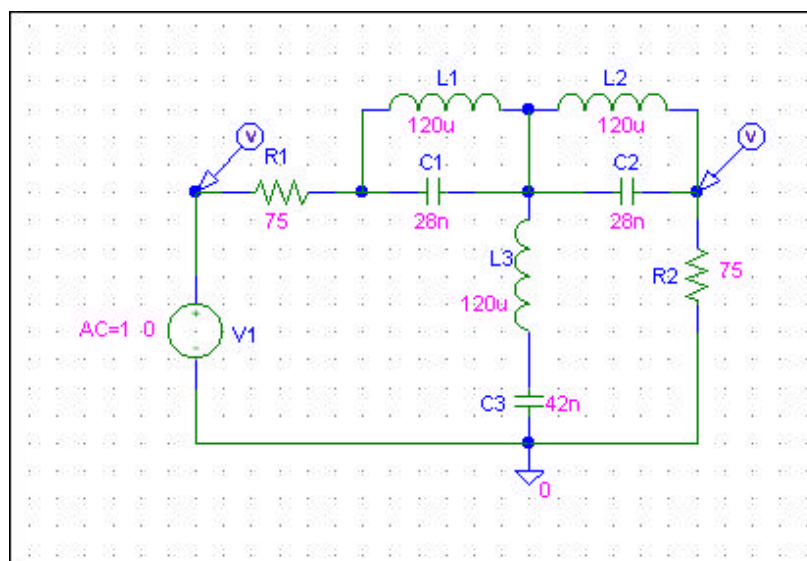


Fig.19: simulatieschema van een middenfrequent-bandsperfilter

5. DC simulaties

Bij DC simulaties wordt het gedrag van een schakeling als functie van een DC (gelijkspanning of gelijkstroom), de temperatuur, een globale of een modelparameter geanalyseerd. Daarbij wordt deze grootte oneindig langzaam (“quasi statisch”) gevarieerd over een op te geven interval, waarbij onderzocht kan worden welke veranderingen in DC spanningen en stromen dit op de interessante knooppunten teweeg brengt. Dit is bijv. nuttig voor het bestuderen van het statische niet-lineaire gedrag van een schakeling.

De speciaal voor DC simulaties bedoelde bronnen zijn:

<i>VDC</i>	een eenvoudige gelijkspanningsbron, met alleen instelbaar DC niveau. Dit niveau wordt gebruikt voor het berekenen van het instelpunt. Als de betreffende bron degene is die <u>gevarieerd</u> wordt t.g.v. de DC sweep, dan wordt tijdens de feitelijke sweep de <i>VDC</i> waarde niet gebruikt.
<i>IDC</i>	idem, maar als gelijkstroombron.

Ook andere spanning- en stroombronnen die een DC-attribuut hebben kunnen voor dit doel worden gebruikt.

Wanneer je van je schakeling een DC simulatie wilt uitvoeren, kun je dit opgeven met *Analysis / Setup...* Je krijgt dan een window te zien waarin je kunt aangeven dat je een *DC Sweep* wilt maken, door het bijbehorende vinkje aan te zetten. Druk nu vervolgens op de knop *DC Sweep* om de parameters van deze simulatie in te stellen. Je kunt nu kiezen welk type grootte je wilt sweepen: een spanningsbron, de temperatuur, een stroombron, een model parameter of een globale parameter. Verder kun je opgeven hoe de sweep doorlopen moet worden: in lineaire stappen, logaritmisch per octaaf of per decade, of aan de hand van een lijst van waarden. Afhankelijk van het type te variëren grootte moet je de naam van de te variëren bron of parameter opgeven. Verder moet het bereik en de stapgrootte van de sweep worden ingevuld.

Soms wil je twee waarden variëren, resulterend in een grafiekenschaar. Op de horizontale as staat dan de eerste gesweepte grootte uit, terwijl elk van de lijnen uit de grafiekenschaar met een waarde van de tweede gesweepte grootte overeenkomt. Men spreekt dan van een “geneste sweep”: een sweep binnen een sweep. Wanneer je een geneste sweep wilt maken druk je op de knop “*Nested Sweep...*” waarna je de tweede te variëren grootte kunt definiëren. Let erop, dat het aantal waarden dat deze tweede grootte doorloopt heel erg beperkt blijft, omdat je anders een “oerwoud” van lijnen krijgt. Vergeet niet het vinkje bij “*Enable Nested Sweep*” aan te zetten.

Opdracht 12: *simuleer onderstaande schakeling, die ook al in hoofdstuk 3 werd gebruikt, maar nu met een DC spanning aan de ingang i.p.v. een sinusvormig signaal. Varieer deingangsspanning over het gebied van $-2V$ tot $+2V$. Zijn de simulatieresultaten in overeenstemming met de transientsimulatie die je in hoofdstuk 3 uitgevoerd hebt?*

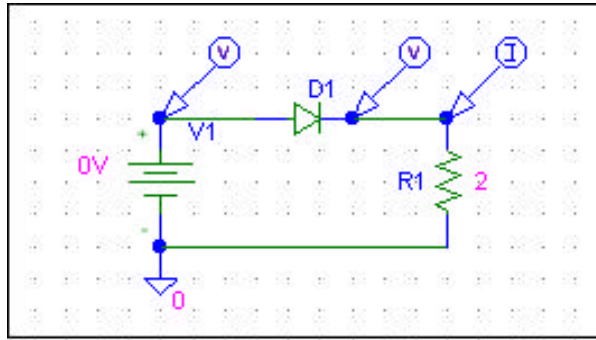


Fig.21: simulatieschema met niet-lineair element

Opdracht 13: een bipolaire transistor heeft 3 aansluitingen: basis (b), emitter (e) en collector (c).

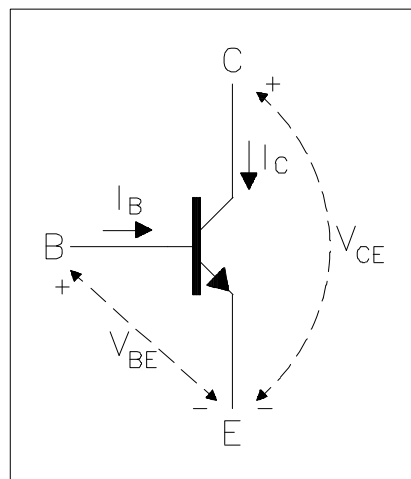


Fig.22: bipolaire transistor

De collectorstroom I_C die in de collector stroomt is afhankelijk van het spanningsverschil V_{BE} tussen de basis en de emitter, maar ook van het spanningsverschil V_{CE} tussen de collector en de emitter.

Teken m.b.v. Pspice voor de Q2N3904 transistor een grafiekenschaar waarin de collectorstroom I_C als functie van de basis-emitterspanning V_{BE} wordt weergegeven, wanneer deze gevarieerd wordt tussen 0.65V tot 0.75V in stappen van 0.1mV, bij een collector-emitterspanning V_{CE} die van 0 tot 10V wordt opgehoogd in stappen van 1V. Duidelijk blijkt, dat I_C een niet-lineaire relatie heeft met V_{BE} .

Merk op dat voor voldoende grote V_{CE} (ongeveer voor $V_{CE} > 0.3V$) de collectorstroom I_C nauwelijks verandert als functie van de V_{CE} . De transistor gedraagt zich in dat gebied dus kennelijk vrijwel als een stroombron, waarvan de stroomsterkte afhankelijk is van de aangeboden V_{BE} . Om dit nog duidelijker zichtbaar te maken kan I_C nu juist als functie van V_{CE} bepaald worden, die weer gevarieerd

wordt van 0V tot 10V, maar nu in stappen van 1mV, bij een V_{BE} die gevarieerd wordt van 0.65V tot 0.75V in stappen van 10mV.

In plaats van het aanbieden van een basis-emitterspanning V_{BE} , kan de transistor ook aangestuurd worden door een basisstroom I_B die de basis in stroomt. Teken opnieuw een grafiekenschaar waarin de collectorstroom I_C als functie V_{CE} wordt weergegeven, wanneer deze gevarieerd wordt tussen 0 en 10V in stappen van 20mV, maar nu bij een basisstroom die van 0nA tot 100nA in stappen van 10nA oploopt. Ook nu geldt weer, dat I_C voor V_{CE} groter dan ca. 0.3V nauwelijks afhankelijk is van deze V_{CE} , zodat de transistor in dat gebied zich vrijwel als een stroombron gedraagt, waarvan de stroomsterkte afhankelijk is van de aangeboden basisstroom. Verder kun je al zien, dat de relatie tussen de collectorstroom I_C en basisstroom redelijk lineair is. Om dat te controleren kun je de collectorstroom nu juist als functie van de basisstroom bepalen, als die weer gevarieerd wordt van 0nA tot 100nA, maar nu in stappen van 1nA, terwijl V_{CE} van 0V tot 10V wordt opgehoogd in stappen van 1V.