

Analiza elektroničkih sklopova pomoću računala korištenjem programskog sustava Agilent ADVANCED DESIGN SYSTEM 2005

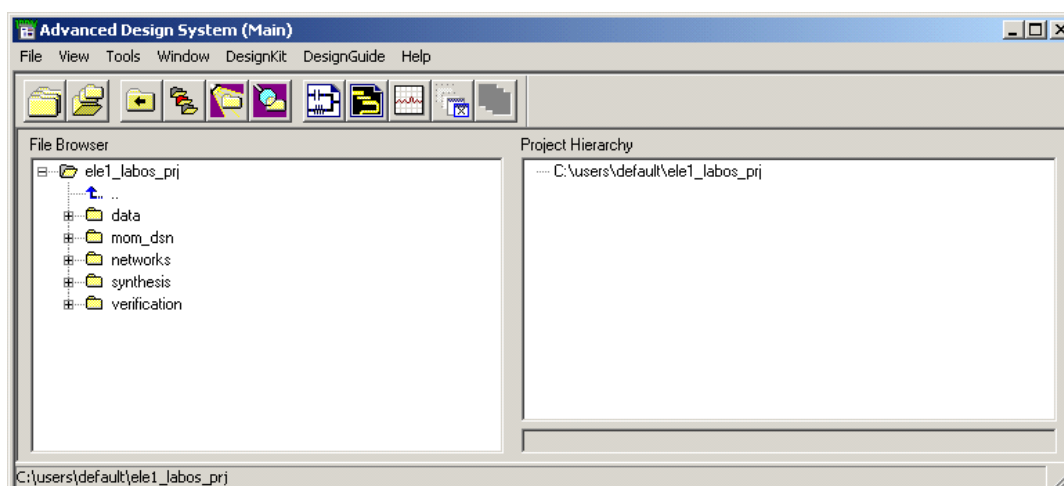
U ovom dodatku opisuje se postupak pokretanja programskog sustava Advanced Design System (ADS), unos električke sheme CMOS invertora, provedba vremenske nelinearne analize, te prikaz rezultata simulacije.

Pokretanje ADS-a

Pod Windows okruženjem ADS se pokreće iz izbornika Start ovim slijedom:

Start > Programs > Advanced Design System 2005 > Advanced design system

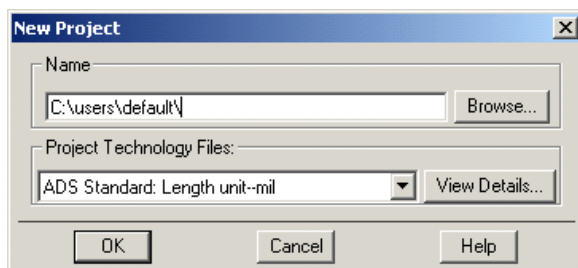
Nakon čega se otvara prozor prikazan na slici 1.



Slika 1. Osnovni prozor programskog sustava ADS.

Nakon toga iz izbornika File potrebno je kreirati novi projekt. To se obavlja naredbama

File > New Project ...



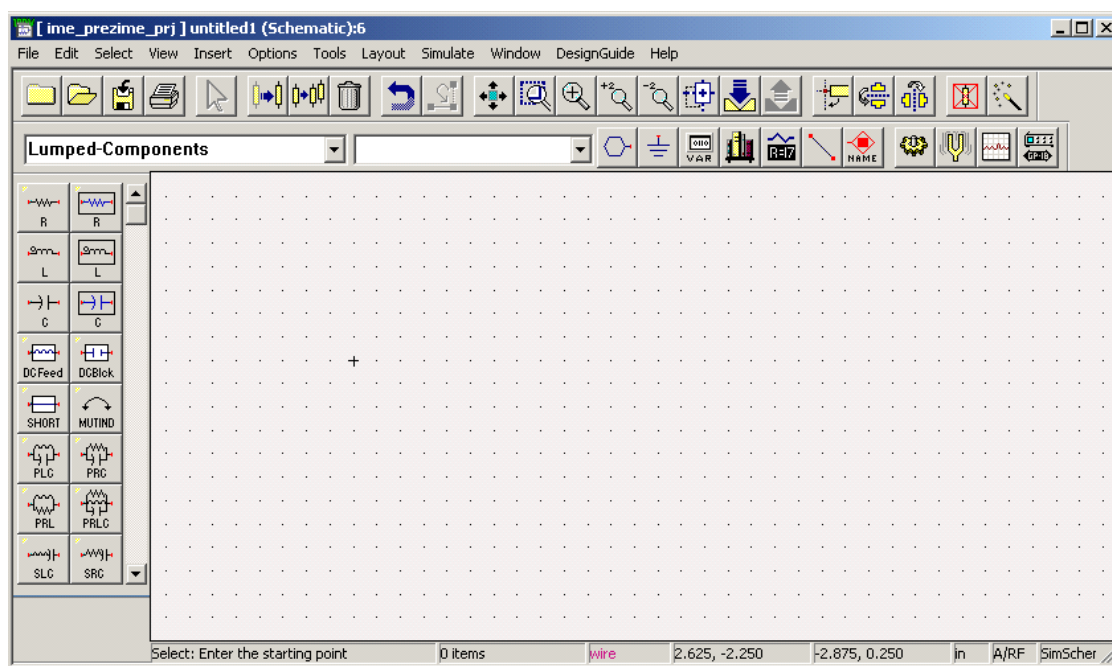
Slika 2. Prozor za upisivanje imena novog projekta

nakon čega se otvara prozor (slika 2) u kojem treba upisati ime novog projekta, npr.

C:\users\default\ime_prezime

Nakon unosa imena, otvara se sljedeći prozor koji služi za unošenje električke sheme sklopa koji treba analizirati (slika 3). Treba primijetiti da se imenu projekta koje smo definirali dodaje '_prj', tako da je pravo ime projekta za ovaj primjer

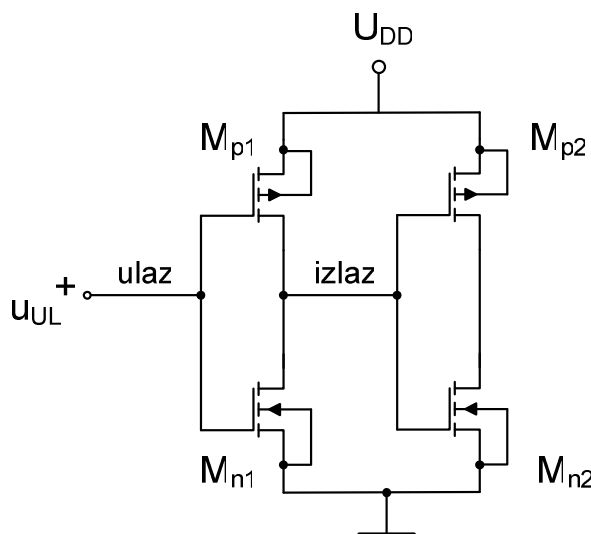
C:\users\default\ime_prezime_prj



Slika 3. Prozor za crtanje električke sheme sklopa.

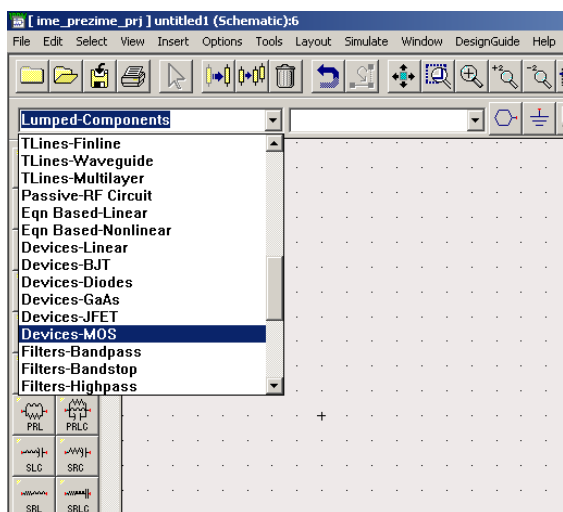
Unos električke sheme u ADS

Crtanje električke sheme u programskom sustavu ADS vrlo je jednostavno. Postupak crtanja opist će se na primjeru CMOS invertora opterećenog istim takvim invertorom prikazanim na slici 4.

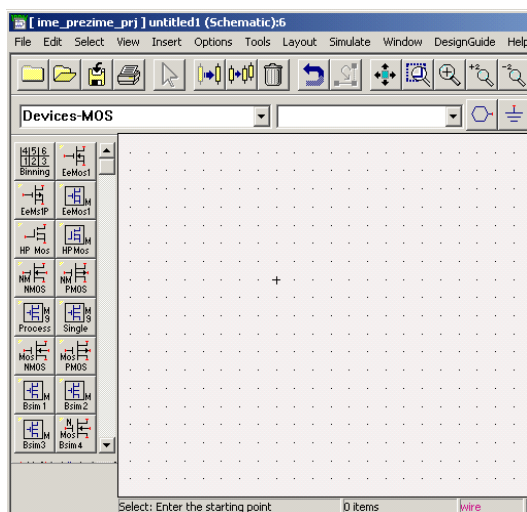


Slika 4. Električna shema opterećenog CMOS invertora

Na slici 3 vidi se da se komponente koje se mogu izabrati nalaze u lijevoj strani prozora za unos električke sheme. Na slici 3 prikazane su komponente koje pripadaju skupu „Lumped-Components“. U tom skupu komponenata ne nalaze se simboli za MOSFET. Do MOSFET-a se dolazi preko istog izbornika tako da se pritiskom na crni trokutić sa strane otvori izbornik u kojem se odabere skup simbola pod imenom „Devices-MOS“ (slika 5.) nakon čega se s lijeve strane prozora za unos električke sheme pojave komponente iz odabranog izbornika (slika 6).



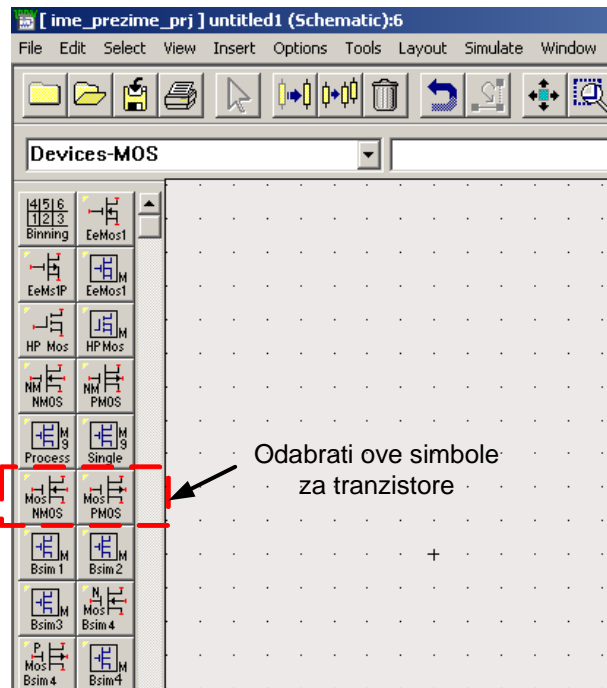
Slika 5. Odabir skupa elemenata pod nazivom „Devices-MOS“



Slika 6. Prozor za unos električke sheme nakon odabira skupa „Devices-MOS“

Postupak unašanja sheme izvodi se u nekoliko koraka:

1. Kliknuti na komponentu na lijevoj strani prozora – u ovom slučaju krenut ćemo od NMOS tranzistora. U izborniku se nalazi više različitih simbola. Potrebno je odabrati komponentu s četiri izvoda sa oznakom 'Mos NMOS' (slika 7). Nakon toga pokazivač povučemo u područje za crtanje. Vidimo da se zajedno s pokazivačem miče i obris tranzistora.

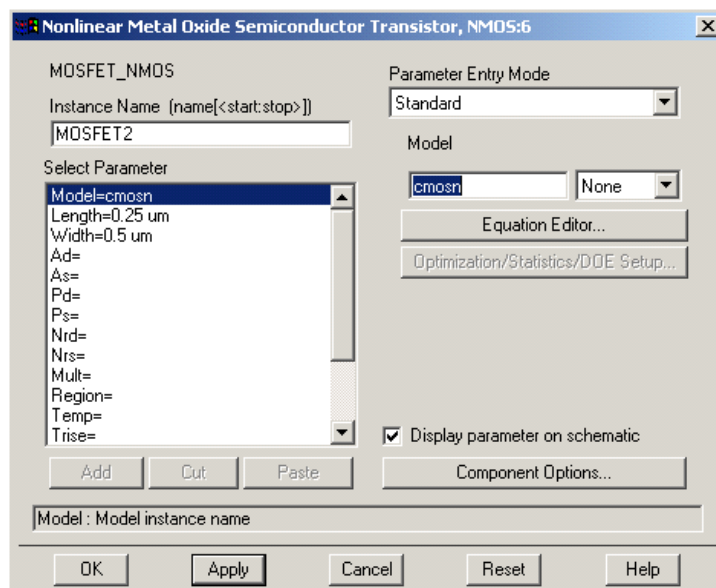


2. Pokazivač dovedemo na jednu točku mreže, približno na sredini područja za crtanje, i kliknemo s lijevim gumbom miša. Tranzistor je ostao iscrtan punom, linijom. Nadalje vidimo da je obris tranzistora i dalje ostao uz pokazivač. Pokazivač pomaknemo na neku točku mreže desno od prvog tranzistora i još jednom kliknemo; time smo iscrtali i drugi tranzistor. Prvi tranzistor je automatski dobio ime MOSFET1, a drugi tranzistor MOSFET2. Budući da više ne želimo dodavati nove NMOS tranzistore, stisnut ćemo tipku ESC kako bismo otpustili komponentu koju trenutno crtamo, tj. kako bismo maknuli obris tranzistora s pokazivača. Na isti način mogu se unjeti PMOS tranzistori
3. Nakon što su tranzistori unešeni potrebno je unjeti modele tranzistora. Model tranzistora sastoji se od skupa parametara koji opisuju rad tranzistora u svim područjima rada. U okviru ADS-a postoji nekoliko modela za MOS tranzistore. Za potrebe laboratorijskih vježbi koristit će se BSIM3 modeli tranzistora za 0,25μm TSMC tehnologiju (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company). Do tog modela dolazi se komandama

Insert > Template ...

Ti parametri mogu se sakriti na sljedeći način. Klikne se na simbol koji označava model nakon čega se otvara prozor. U desnom donjem uglu pritisne se tipka Component Options te se otvara novi prozor. Pod izbornikom Parameter Visibility odabere se Clear All i nakon toga 2 puta OK. Vidimo da se uz simbol modela nalazi samo njegovo ime 'cmosn' odnosno 'cmosp'. **Model tranzistora ili parametri modela nikako se ne smiju obrisati sa električke sheme** jer program tada neće imati definirane te komponente.

- 5



Slika 9. Prozor za definiciju parametara MOS tranzistora

Pod parametrom Model potrebno je postaviti ime modela koji smo prethodno unjeli u električku shemu, odnosno 'cmosn' kako je prikazano na slici 9. Pod parametrima Length i Width unosimo duljinu i širinu kanala. Za početak, za sve NMOS tranzistore treba postaviti $L=0,25 \mu\text{m}$ i $W=0,5 \mu\text{m}$ (u ADSu oznaka za μm je um).

Na sličan način za PMOS tranzistore za model se odabire 'cmosp', a za duljinu i širinu kanala redom se unosi $L=0,25 \mu\text{m}$ i $W=0,5 \mu\text{m}$.

Radi bolje preglednosti električke sheme mogu se sakriti parametri za tranzistore na isti način kako je to učinjeno kod modela tranzistora.

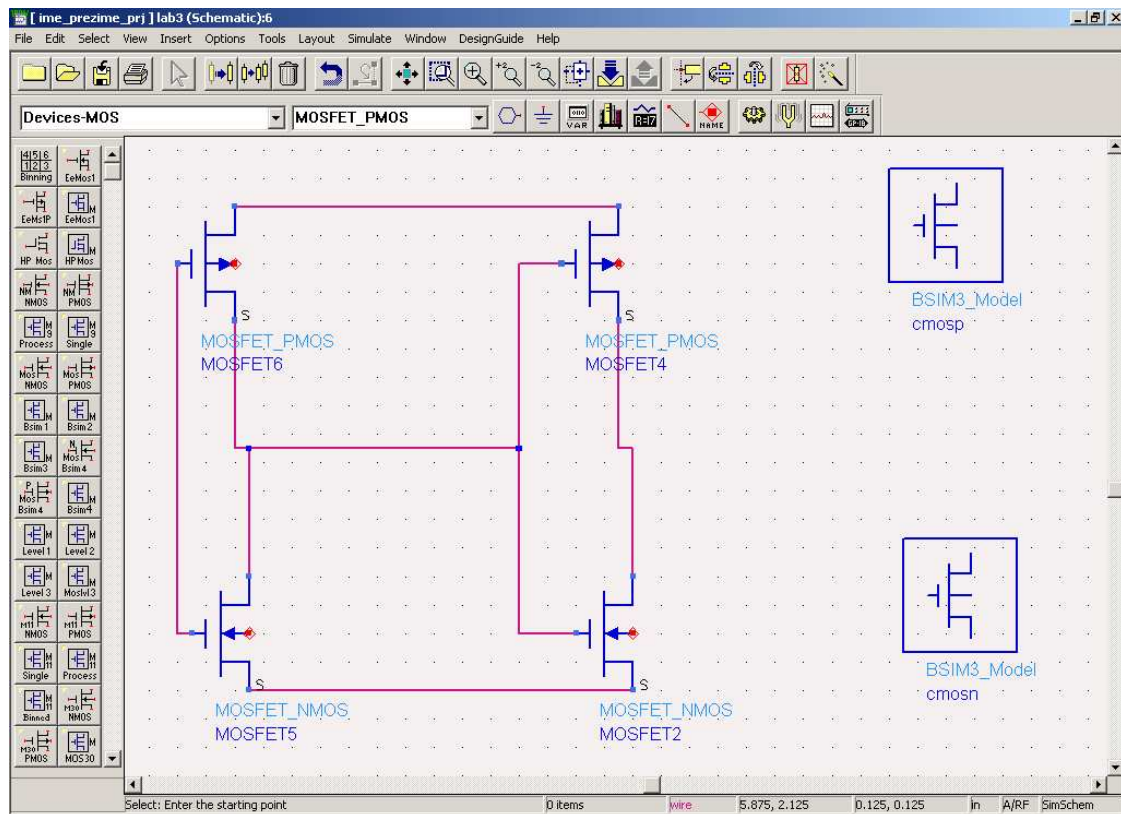
U ovoj fazi dobro je rezultate rada spremiti. Spremanje dizajna obavlja se slijedom komandi

File > Save Design As...

Nakon čega se pojavljuje prozor u kojem se definira ime sheme (preporuka je dizajn nazvati 'inv_pn1' što označava da se radi o invertoru u kojem je omjer širina kanala PMOS i NMOS tranzistora jednak 1, $Wp/Wn=1$). Ime sheme dobit će nastavak '.dsn', i shema će biti spremljena u poddirektoriju 'networks'. Shema se MORA SPREMITI u poddirektorij 'networks'. Spremanje dizajna uvijek je dobro raditi nakon pojedinih koraka.

Nakon što smo unjeli sve komponente potrebno ih je električki povezati. Nepovezane komponente na krajevima su označene malenim crvenim romboidima. Komponente se povezuju žicom (engl. wire) tako da se pritisnu tipke CTRL-W. Nakon toga na ekranu se pojavljuje pokazivač u obliku pravaca. Žica se postavlja tako da se klikne na krajeve komponenata koje treba spojiti. Ako je kraj komponente dobro spojen, on postaje kvadratić plave boje.

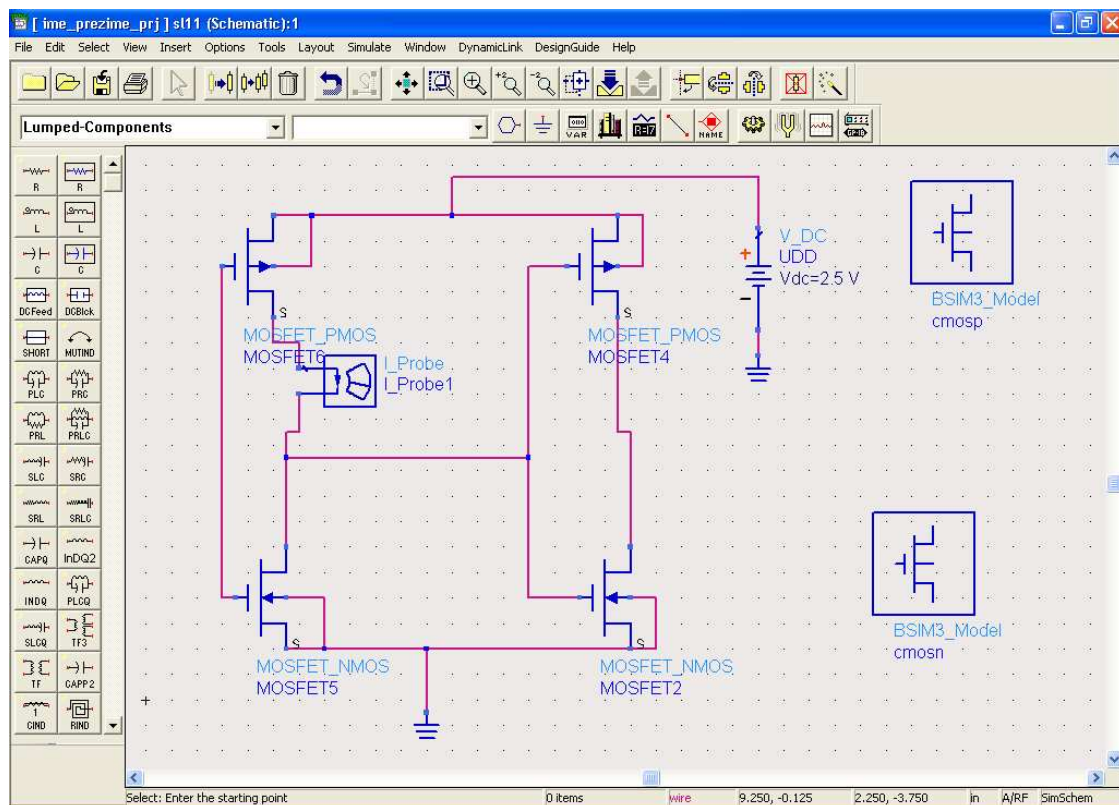
Konačni rezultat ovih operacija prikazan je na slici 10.



Slika 10. Električka shema nakon spajanja komponenata.

Nakon povezivanja komponenata potrebno je definirati napajanje sklopa - izvor napajanja i referentni potencijal, odnosno masu. Masa se dodaje tako da se u glavnom izborniku pri vrhu prozora za crtanje klikne na izbornik Insert > GROUND, miš se dovede u područje za crtanje (na njega se naravno „zaljepio“ simbol za masu) i klikne se na mjesto na koje treba postaviti masu. Istosmjerni izvor napajanja se dobiva tako da se umjesto skupa komponenata „Devices-MOS“ izabere skup komponenata „Sources-Freq Domain“. Treba odabrati izvor „V_DC“, dodati ga na shemu sklopa u područje za crtanje, te ga spojiti na uvide PMOS tranzistora. S donje strane izvor treba spojiti na masu, te ga preimenovati u 'UDD'. Na kraju treba promijeniti iznos napona na 2,5 V. Nakon toga još je potrebno spojiti izvode za kontakt podloge – PMOS tranzistora na U_{DD} i NMOS tranzistora na masu.

Kako bi mogli gledati struju kroz invertor potrebno je između odvoda PMOS tranzistora i izlaza spojiti komponentu za mjerenje struje, odnosno ampermetar. Ampermetar se odabire iz skupa komponenata „Probe Components“ kao komponenta 'I_Probe'. Obrišemo žicu koja povezuje odvod PMOS tranzistora i izlaza te između tih točaka spojimo ampermetar. Konačni rezultat prikazan je na slici 11.



Slika 11. Napajanje, kontakt podloge i ampermetar.

Postupak simulacije

U programskom sustavu ADS moguće je definirati osam različitih postupaka analize sklopova. Ovdje će biti opisana samo nelinearna vremenska analiza (tranzijentna analiza). To je analiza koja se koristi u trećoj laboratorijskoj vježbi.

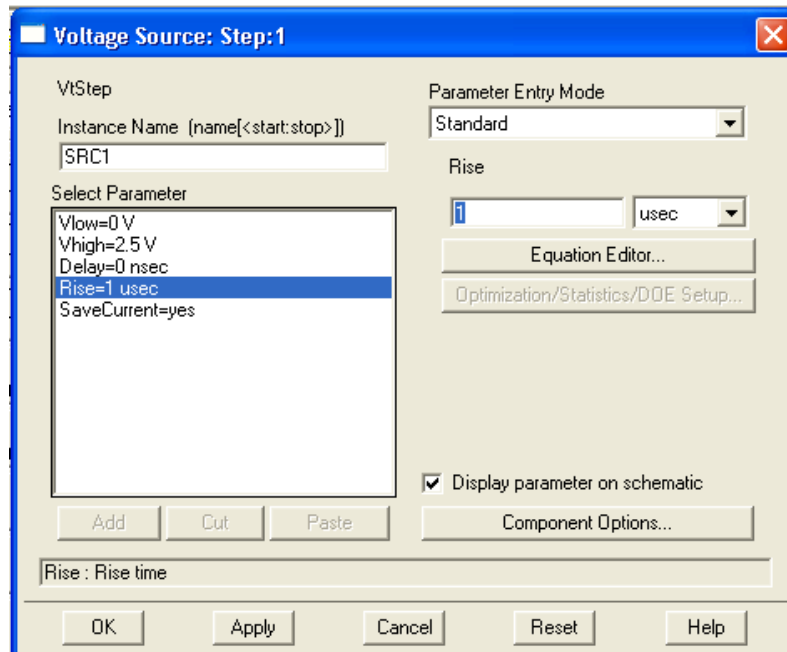
Tranzijentna analiza

Koristi se za analizu ponašanja sklopa u vremenskoj domeni. Za ovu analizu potrebno je odabrati jedan od izvora u vremenskoj domeni.

Prijenosna karakteristika

Za simulaciju prijenosne karakteristike iz skupa komponenata „Sources-Time Domain“ odabire se naponski izvor 'Step' koji spajamo na ulaz prvog invertora. '+' stezaljka se spaja na upravljačke elektrode tranzistora (ulaz invertora), a '-' stezaljka na masu.

Parametri izvora se mogu podesiti tako da se klikne na izvor. Otvara se prozor prikazan na slici 12.



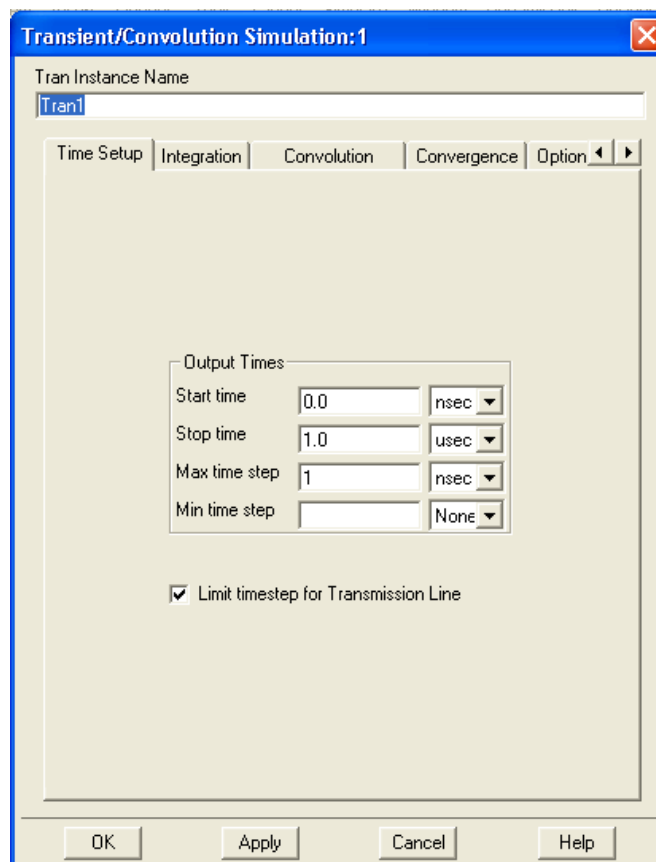
Slika 12. Prozor za namještanje parametara izvora

Potrebno je postaviti sljedeće parametre:

Vlow=0 V
Vhigh=2.5 V
Delay=0 nsec
Rise=1 usec

Na taj način definirali smo skokoviti ulazni napon koji poraste od 0 do 2,5 V za vrijeme od 1 us. Kako bi točno odsimulirali prijenosnu karakteristiku, vrijeme porasta ulaznog signala mora biti dovoljno veliko da do izražaja ne dođu impulsna svojstva tranzistora. Prijenosna funkcija invertora može se snimiti i preko modula DC analize, ali radi jednostavnosti i opsega vježbe taj modul nije korišten.

Nakon definiranja izvora potrebno je odabrati komponentu za tranzijentnu simulaciju i to prvo tako da se izabere skup komponenata za tranzijentnu simulaciju 'Simulation-Transient', a zatim se izabere komponenta 'Trans'. Parametri simulacije postavljaju se tako da se klikne na komponentu 'Trans' nakon čega se otvara prozor sa slike 13.



Slika 13. Prozor za namještanje tranzijentne simulacije

Parametre analize treba postaviti na

Start time=0
 Stop time=1 us
 Max time step=1 ns

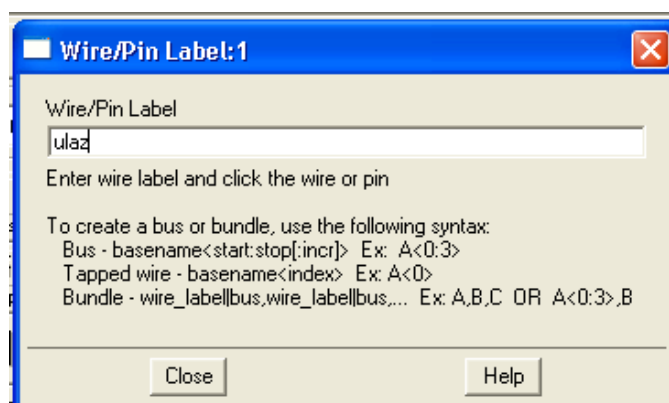
Na taj način smo postavili simulaciju za vremenski period 1 us koliko je potrebno ulaznom signalu da linearno poraste od 0 do 2,5 V. Vremenski korak određuje trenutke u kojima će se simulacija izvoditi. Za manji vremenski korak simulacija se izvodi u više točaka što produžuje trajanje simulacije. Za potrebe laboratorijskih vježbi dovoljno je odabrati korak od 1 ns.

Nakon što smo postavili parametre tranzijentne analize potrebno je još imenovati čvorove za koje želimo da program pohrani rezultate simulacije. To se radi na sljedeći način: sa glavnog izbornika na vrhu ekrana odabire se

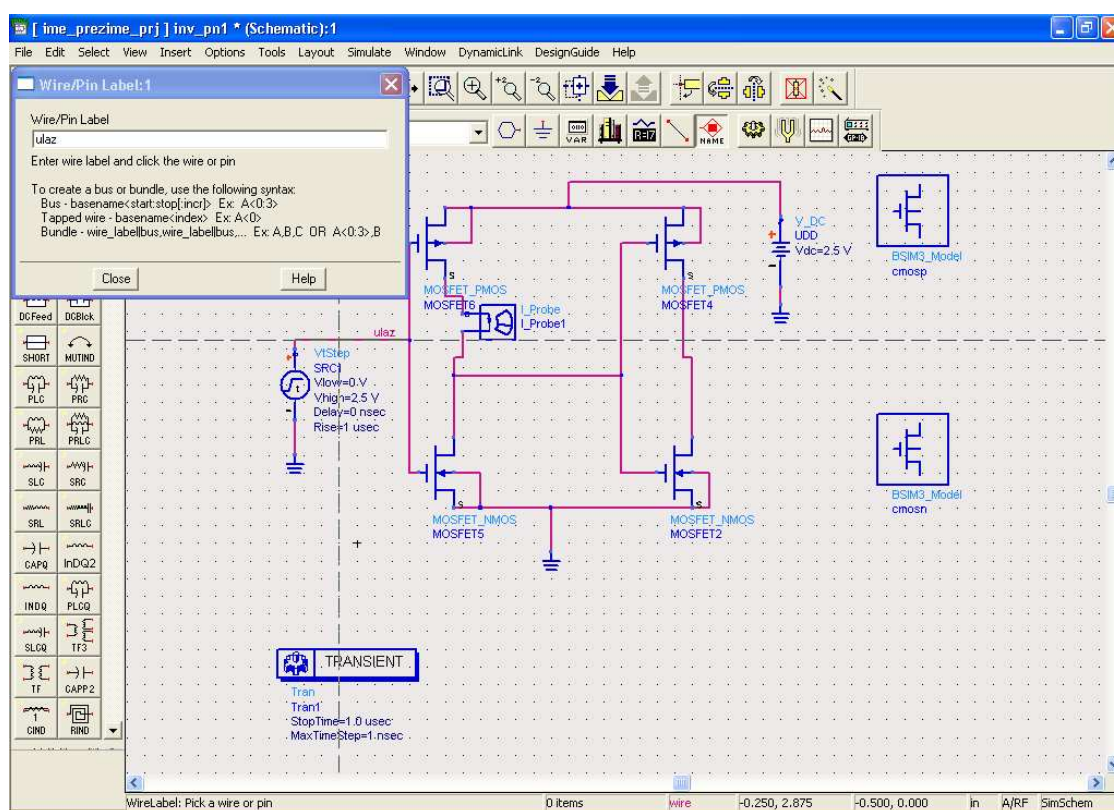
Insert > Wire\Pin Label

Nakon čega se otvara prozor sa slike 14 u koji se upisuje ime čvora. Ako se sada povuče pokazivač u područje za crtnje on ima oblik dva ukrštena pravca. Pokazivač se dovuče na

čvor kojem smo dodjeli ime te se na njega klikne. Rezultat je prikazan na slici 15. Vidimo da je ime zaljepljeno na odabrani čvor.



Slika 14. Prozor za definiranje imena čvora.

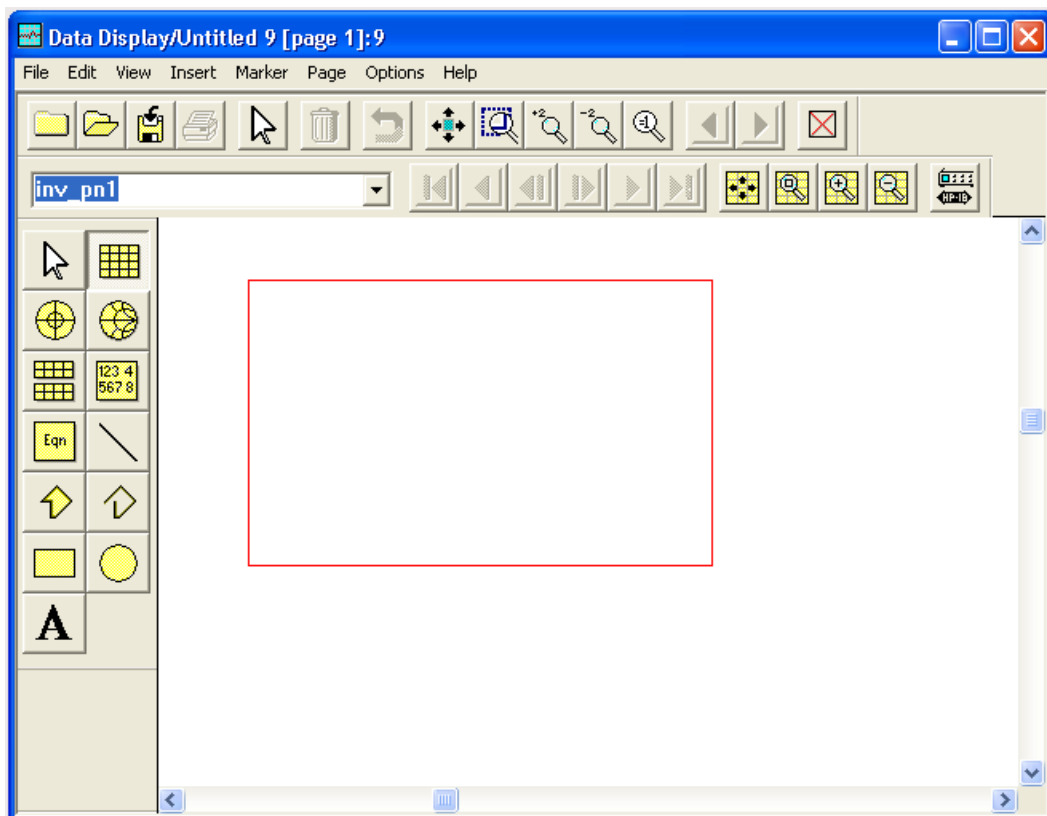


Slika 15. Električka shema nakon dodjeljivanja imena ulaznom čvoru

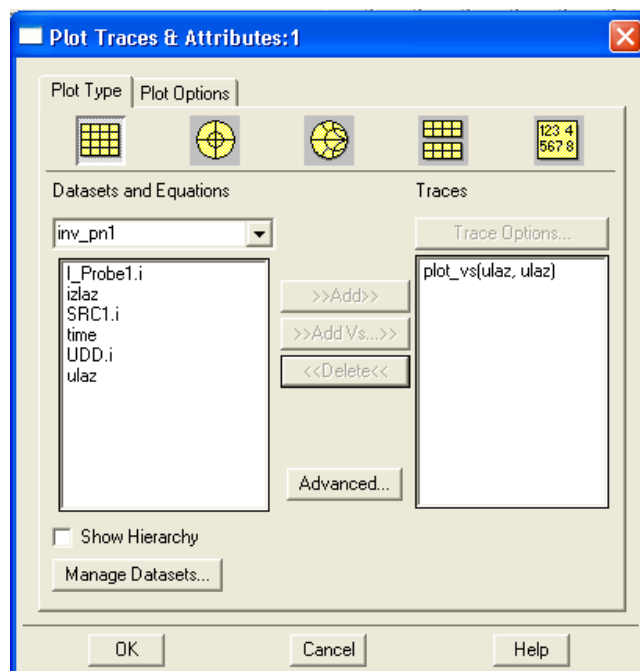
Na isti način možemo imenovati čvor 'izlaz' na izlazu prvog invertora nakon čega možemo zatvoriti prozor za imenovanje čvorova. Spremiti dizajn.

Pokretanje simulacije

Simulaciju pokrećemo pritiskom na tipku F7 ili pritiskom na ikonu (žuti zupčanik) koja se nalazi u drugom redu četvrta ikona od kraja desno. Nakon što je simulacija završila, automatski se otvara prozor za prikaz rezultata (slika 16). Na lijevoj strani prikazane su različite mogućnosti prikaza rezultata. Najjednostavniji prikaz definiran je pravokutnim koordinatnim sustavom (prva ikona ispod strelice na lijevoj strani prozora). Lijevim gumbom miša klikne se na tu ikonu i zatim se miš dovede u prostor za prikaz rezultata. S mišem se pomiče i obris dijagrama u kojem će se prikazati rezultati (slika 16). Lijevim gumbom miša klikne se na područje gdje želimo postaviti koordinatni sustav u kojem ćemo prikazati rezultate.

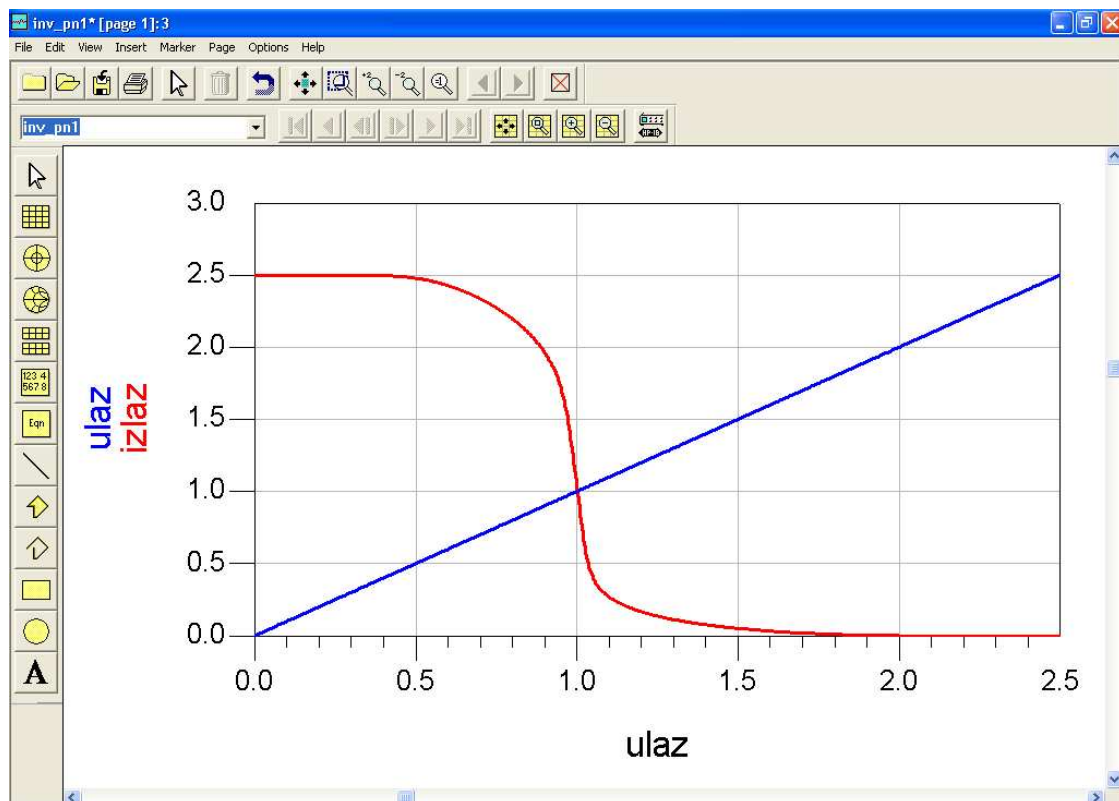


Slika 16. Prozor za prikaz rezultata.



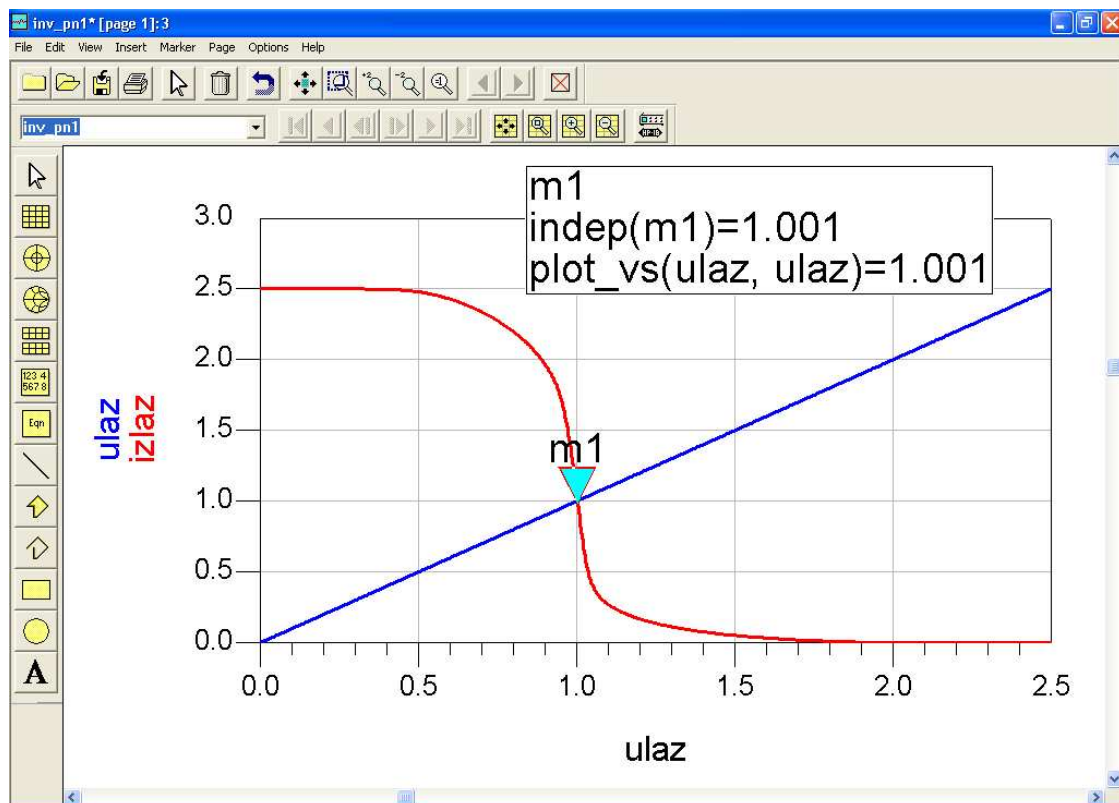
Slika 17. Prozor za odabir rezultata za prikaz.

Nakon toga automatski se aktivira dodatni prozor (slika 17) koji omogućava definiranje rezultata koji će se prikazati. Postupak definiranja varijabli je jednostavan. Od ponuđenih varijabli na lijevoj strani prozora mišem se odabere ona koju želimo nacrtati, npr 'izlaz'. Zatim u srednjem području prozora kliknemo na gumb '>> Add Vs...>>', nakon čega se otvara dodatni prozor sa varijablama u odnosu na koje želimo prikazati rezultat. Za crtanje prijenosne karakteristike odaberemo 'ulaz' i pritisnemo dva puta 'OK'. Na ekranu se iscrtava prijenosna karakteristika. Dvoklikom na nacrtani graf ponovo se otvara prozor sa slike 17. Za crtanje odaberemo varijablu 'ulaz', zatim kliknemo na gumb '>> Add Vs...>>', te iz novog prozora odaberemo 'ulaz' i kliknemo dva puta OK. Na istom grafu iscrtava se i ulazni napon što je prikazano na slici 18.



Slika 18. Ulazni i izlazni napon, određivanje napona praga okidanja.

Iz sjecišta karakteristika očitva se napon praga okidanja, U_{PO} . Kako bismo očitali taj napon treba aktivirati marker. Korištenje markera omogućava vrlo jednostavno očitavanje točnih vrijednosti napona. Marker se uključuje izborom komande 'Marker' pri vrhu prozora, te odabiranjem 'New..'. Time se na vrh miša zaljepi obris markera. Zatim marker treba dovesti do krivulje i lijevom gumbom kliknuti na krivulju. Za jednu krivulju moguće je definirati više markera. Kada se marker postavi na krivulju on je crne boje. Kada se na njega klikne, on postaje bijele boje što znači da je postao aktivan te da ga se može pomicati po krivulji pritiskanjem lijeve i desne strelice na tastaturi ili direktno uz pomoć miša. Rezultat je prikazan na slici 19.



Slika 19. Aktiviranje markera te očitavanje napona praga okidanja.

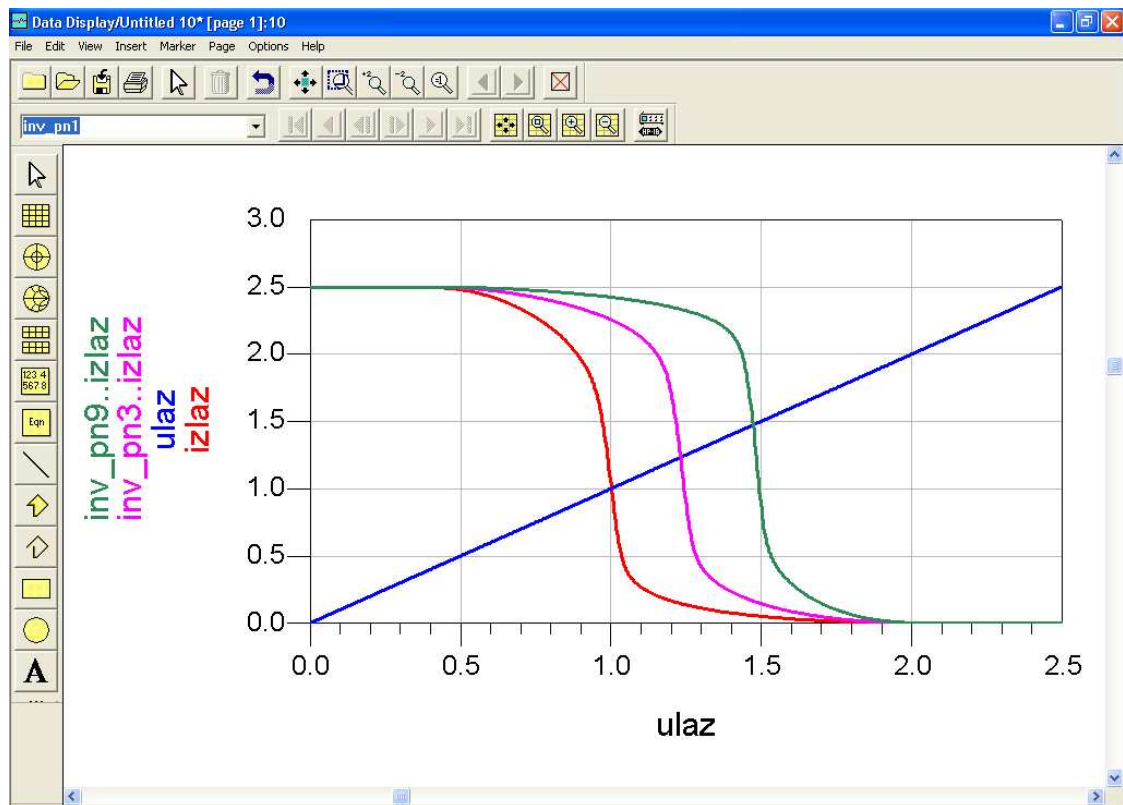
Nakon toga na isti graf možemo dodati prijenosne karakteristike za invertore s različitim dimenzijama PMOS tranzistora (to se zahtijeva u trećoj laboratorijskoj vježbi). To možemo napraviti nakon što odsimuliramo sklop uz promijenjene dimenzije PMOS tranzistora. **Pri tome ne treba gasiti prozor za grafički prikaz rezultata.** Vratimo se na prozor za unos električke sheme. Spremimo dizajn pod novim imenom npr.

File > Save Design As...

odaberemo za novi dizajn ime 'inv_pn3' što označava da se radi o invertoru u kojem je omjer širina kanala PMOS i NMOS tranzistora jednak 3, $W_p/W_n=3$. Nakon toga editiramo i promijenimo parametar Width=1,5 μm za oba PMOS tranzistora. Kada smo to napravili još jednom napravimo 'Save', te pokrenemo simulaciju. Rezultati simulacije pohranjeni su na disk. Kada simulacija završi automatski se otvara prozor za grafički prikaz rezultata novog dizajna. Taj prozor možemo zatvoriti te se vratiti na prozor na kojem smo nacrtali prvu prijenosnu karakteristiku. Dvoklikom na graf otvara se prozor za definiranje prikaza. U području 'Dataset and Equations' odabire se skup rezultata koji se mogu prikazati. Po defaultu tu se nalazi skup rezultata dizajna koji je aktivirao prozor za grafički prikaz rezultata. Tu možemo odabrati skup podataka za novi dizajn odnosno za 'inv_pn3'. Nakon toga odaberemo 'izlaz' >> Add Vs.>> 'ulaz', kliknemo dva puta OK i

dobijemo prikaz druge prijenosne karakteristike. Program automatski postavi drugu boju za novu karakteristiku.

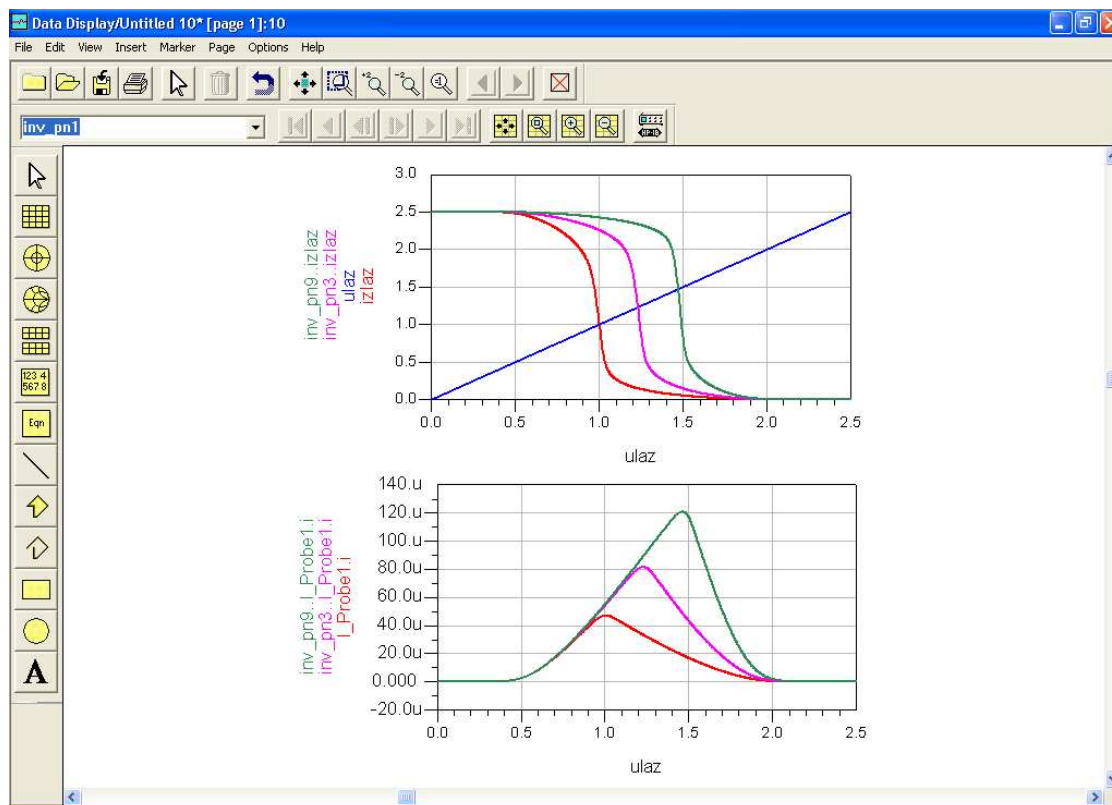
Nakon toga vratimo se na prozor za unos električke sheme, spremimo dizajn pod imenom 'inv_pn9' što znači da se radi o invertoru u kojem je omjer širina kanala PMOS i NMOS tranzistora jednak 9, ($W_p/W_n=9$). Nakon toga editiramo i promijenimo parametar Width=4,5 μm za oba PMOS tranzistora. Kada smo to napravili još jednom napravimo 'Save', te pokrenemo simulaciju. Nakon toga dodamo treću prijenosnu karakteristiku na graf na način opisan u prethodnom dijelu. Rezultat tih radnji prikazan je na slici 20.



Slika 20. Prijenosne karakteristike za sva tri omjera W_p/W_n .

Korištenjem markera treba očitati napon praga okidanja za sva tri slučaja.

U vježbi je potrebno još odrediti maksimalnu struju invertora za sva tri odnosa širine kanala PMOS i NMOS tranzistora. To možemo napraviti u istom prozoru za prikaz rezultata. Potrebno je dodati novi graf pritiskom na ikonu za pravokutni koordinatni sustav. Novi graf smjestite ispod grafa s prijenosnim karakteristikama. Otvara se prozor za definiranje prikaza. Odabere za Dataset and Equation 'inv_pn1', zatim se odaberu rezultati za 'I_Probe1.i' >>Add Vs...>> 'ulaz'. Na taj način nacrtat će se struja ampermetra u ovisnosti o ulaznom naponu. Odmah se može dodati rezultat za dizajn 'inv_pn3' i 'inv_pn9'. Stisnemo dva puta OK i dobijemo prikaz sa slike 21.

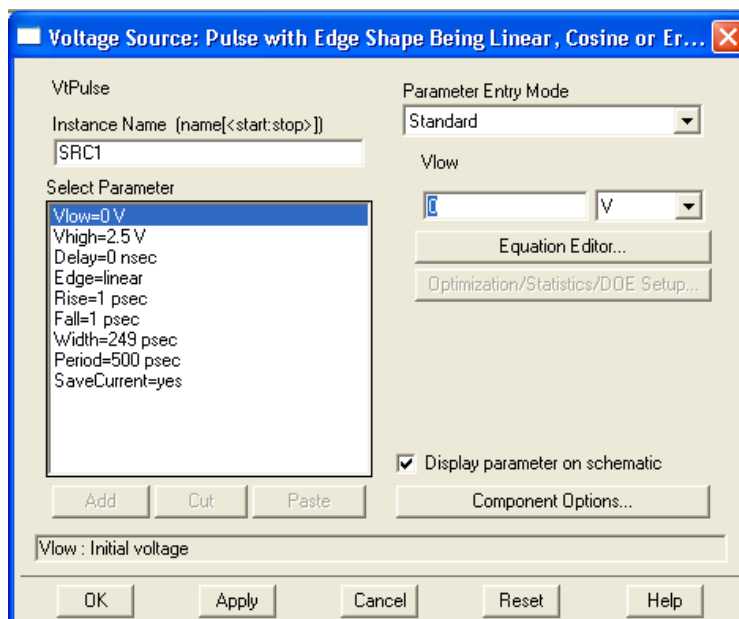


Slika 21. Prijenosne karakteristike te maksimalna struja invertora za sva tri omjera W_p/W_n .

Korištenjem markera možemo očitati maksimalnu struju kroz inverter.

Odziv na impulsnu pobudu

Za provedbu ove simulacije potrebno je promijeniti pobudu. Možemo npr. otvoriti dizajn 'inv_pn1' (File > Open Design..) te ga spremiti kao 'impulse_pn1' (File > Save Design As..). Nakon toga obrišemo izvor 'Step' te iz skupine komponenata „Sources-Time Domain“ odaberemo izvor 'Pulse'. Dvoklikom na izvor otvara se prozor u kojem se postavljaju parametri izvora (slika 22).



Slika 22. Definicija parametara pravokutnog signala.

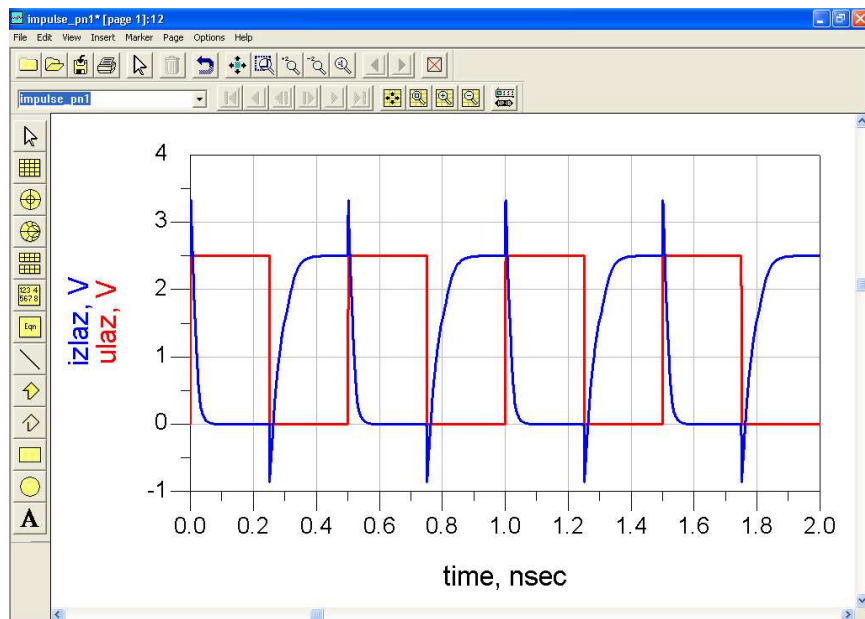
Potrebno je postaviti:

Vlow=0
Vhigh=2.5 V
Rise=1 psec
Fall=1 psec
Width=249 psec
Period=500 psec

Nakon toga potrebno je postaviti parametre tranzijentne analize. Dvoklikom na komponentu 'TRANSIENT' otvara se prozor u kojem se postavlja

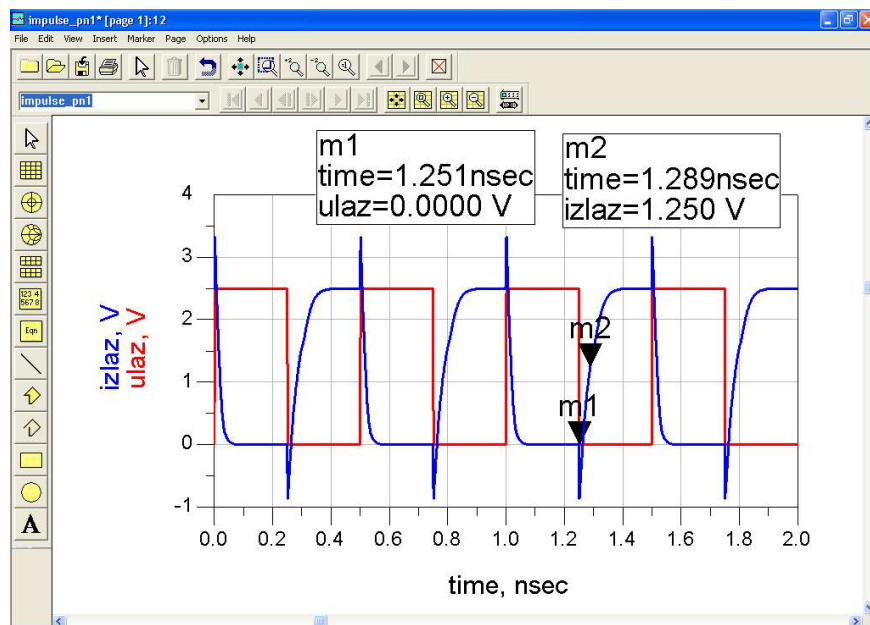
Start time=0
Stop Time=2 nsec
Max time step=0.1 psec

Nakon što to promijenimo, pohranimo dizajn i pokrenemo simulaciju. Otvara se prozor za prikaz rezultata simulacije, te u pravokutnom koordinatnom sustavu nacrtamo ulazni i izlazni napon. Odziv je prikazan na slici 23.



Slika 23. Ulazni i izlazni napon invertora. Odziv na pravokutni napon.

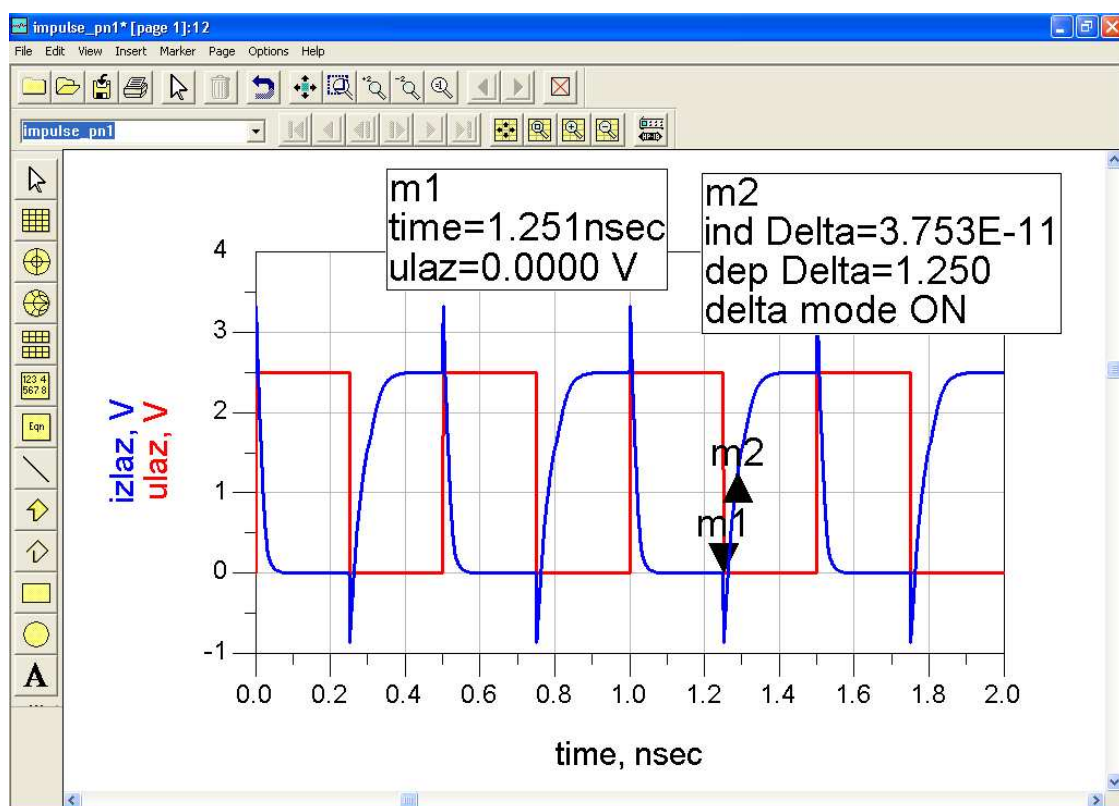
Vrijeme kašnjenja možemo mjeriti korištenjem dva markera. Prvi marker postavimo na krivulju ulaznog napona u trenutak kada ulazni napon padne na nulu. Drugi marker postavimo na krivulju izlaznog napona. Pomicanjem markera (strelice ili miš) dovedemo marker na vrijednost $U_{DD}/2$ odnosno $U_{IZ}=1,25$ V kao što je prikazano na slici 24.



Slika 24. Korištenje markera za mjerenje vremena kašnjenja t_{dNV} .

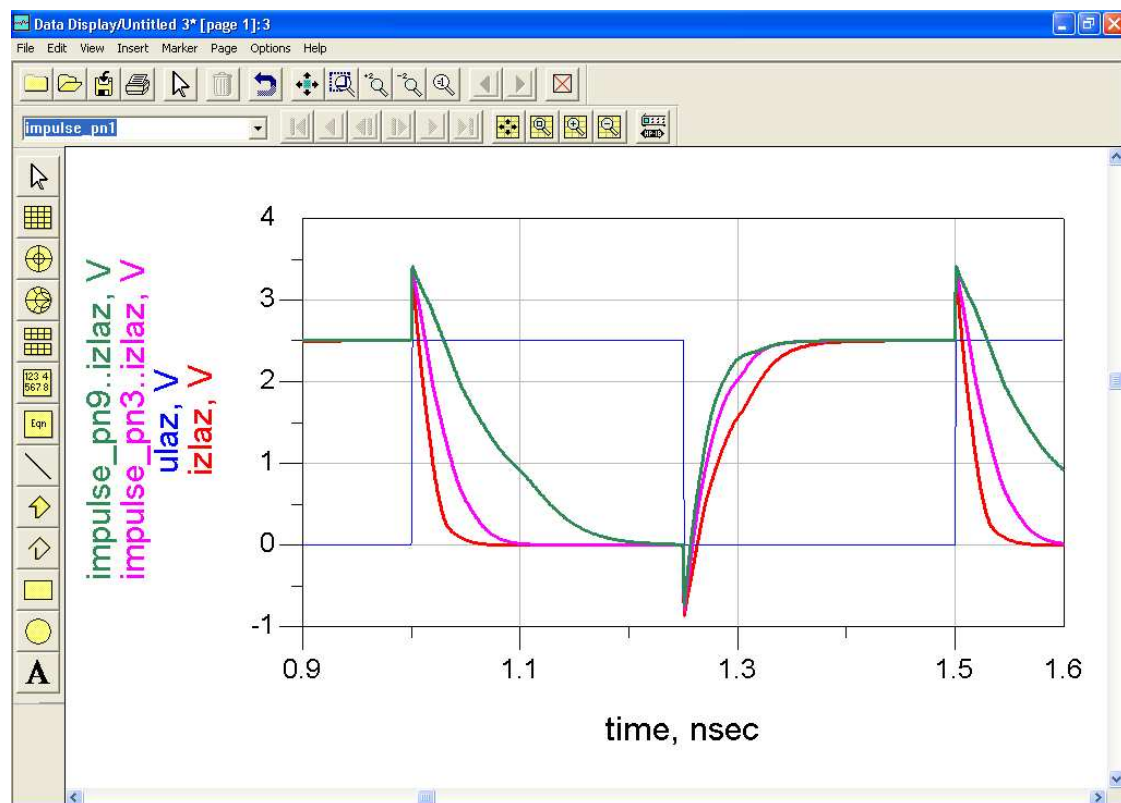
Kašnjenje dobivamo kao razliku ta dva vremena. Na slici je prikazano mjerenje kašnjenja pri prelasku iz niske u visoku razinu, t_{dNV} . Na sličan način se mjeri kašnjenje pri prelasku iz visoke u nisku razinu, t_{dVN} .

Kašnjenje se može izmjeriti i na sljedeći način. Označimo oba markera tako da prilikom selektiranja drugog markera držimo pritisnutu tipku SHIFT. Sada vidimo da su oba markera označena. U izborniku 'Marker' odaberemo 'Delta Mode on...', nakon čega nas program pita koji marker želimo proglasiti referentnim (u odnosu na koji marker želimo mjeriti). Odaberemo 'm1' i dobijemo prikaz sa slike 25. Marker 'm2' pokazuje da je vrijeme kašnjenja $t_{dNV}=37,53$ ps. U ovom slučaju marker 'm2' mjeri vrijeme u odnosu na marker 'm1' što može biti korisno kod mjerenja vremena kašnjenja.



Slika 25. Korištenje funkcije 'Delta mode' za mjerenje vremena kašnjenja.

U trećoj laboratorijskoj vježbi treba izmjeriti vremena kašnjenja za tri omjera širina kanala PMOS i NMOS tranzistora. Za to je potrebno definirati još dva dizajna, npr. 'impulse_pn3' i 'impulse_pn9' te ponoviti prethodno opisanu proceduru. Rezultat je prikazan na slici 26.



Slika 26. Odziv invertora na pravokutni napon za sva tri omjera W_p/W_n .