

Analiza elektroničkih sklopova pomoću računala korištenjem programa HP ADVANCED DESIGN SYSTEM

Uvod

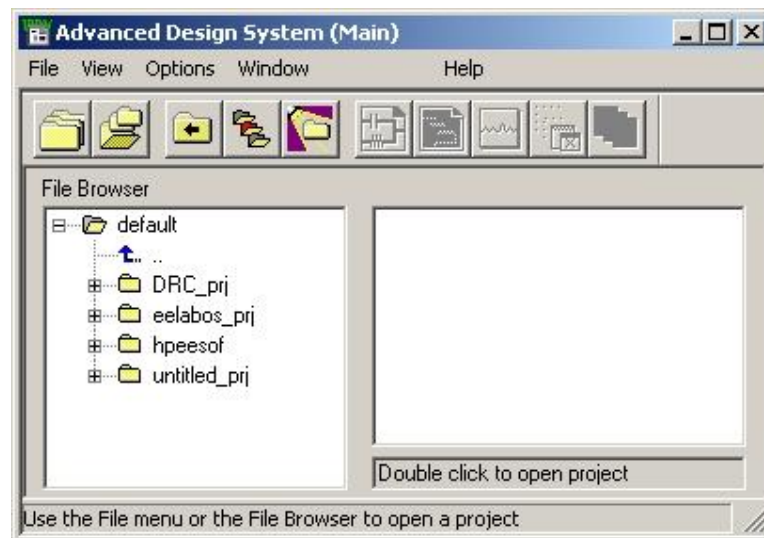
HP Advanced Design System je složeni programski sustav koji sadrži razne alate za projektiranje i analizu elektroničkih sustava po inženjerskim i od crtanja maski za projektiranje pločica, pa do modula za simulaciju cijelih komunikacijskih sustava.

U ovom dodatku opisuje se postupak pokretanja programskog sustava ADS (Advanced Design System), unos sheme jednog pojačala realiziranog s bipolarnim tranzistorom, provedba analize, te prikaz rezultata simulacije.

Pokretanje ADS-a

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

Start menu > Programs > Advanced Design System 1.3 > Advanced Design System
nakon čega se pojavljuje prozor prikazan na slici 1.



Slika 1. Osnovni prozor programskog sustava ADS.

Sada je potrebno kreirati novi projekt. To se obavlja naredbama

File > New Project ...



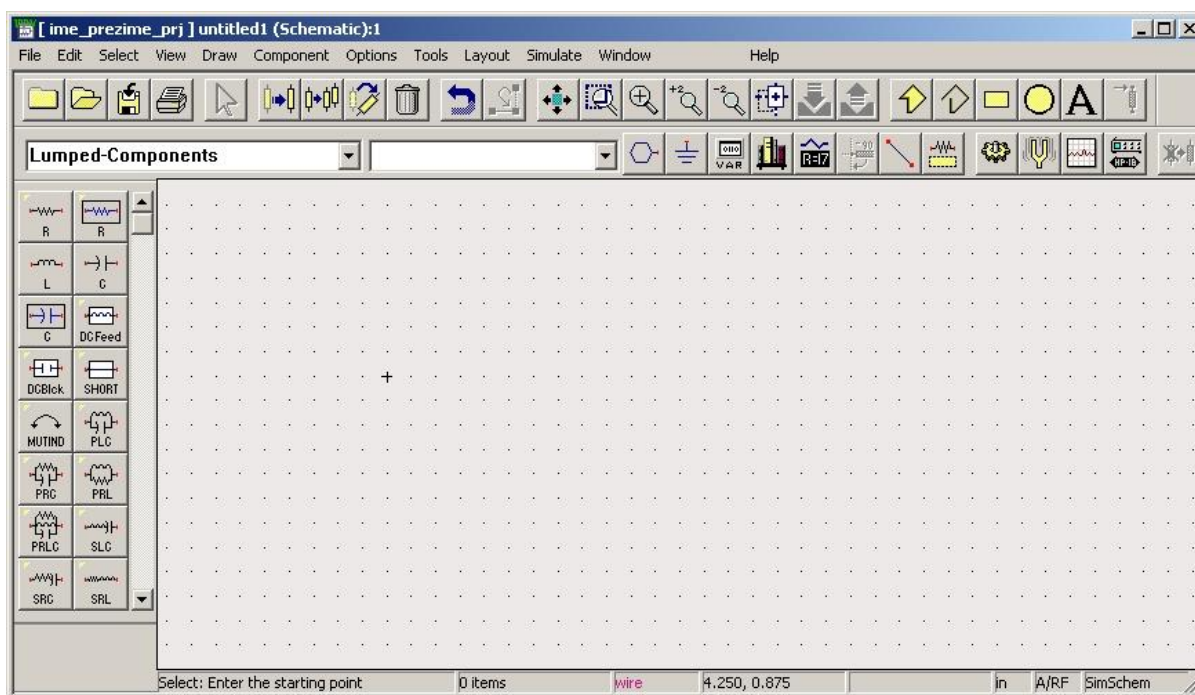
Slika 2. Prozor za upisivanje imena novog projekta.

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

C:\users\default\ime_prezime

Nakon unosa imena, otvara se sljede i prozor koji služi za uno-enje 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

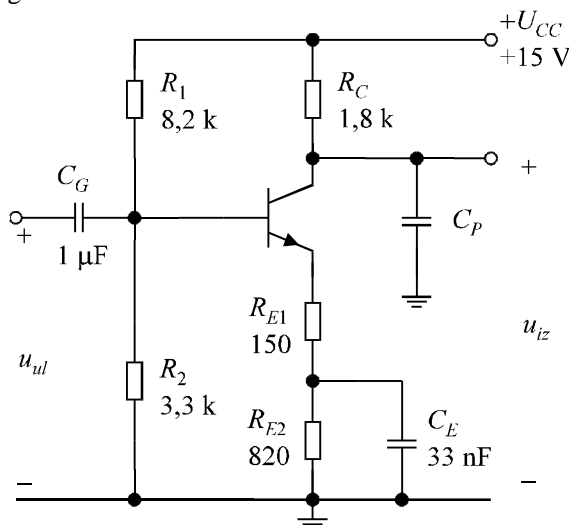
C:\users\default\ime_prezime_prj



Slika 3. Prozor za crtanje elektri ke sheme sklopa.

Unos električke sheme u ADS

Crtanje električke sheme u programskom sustavu ADS vrlo je jednostavno. Postupak crtanja opisan je na primjeru pojačala prikazanog na slici 4.

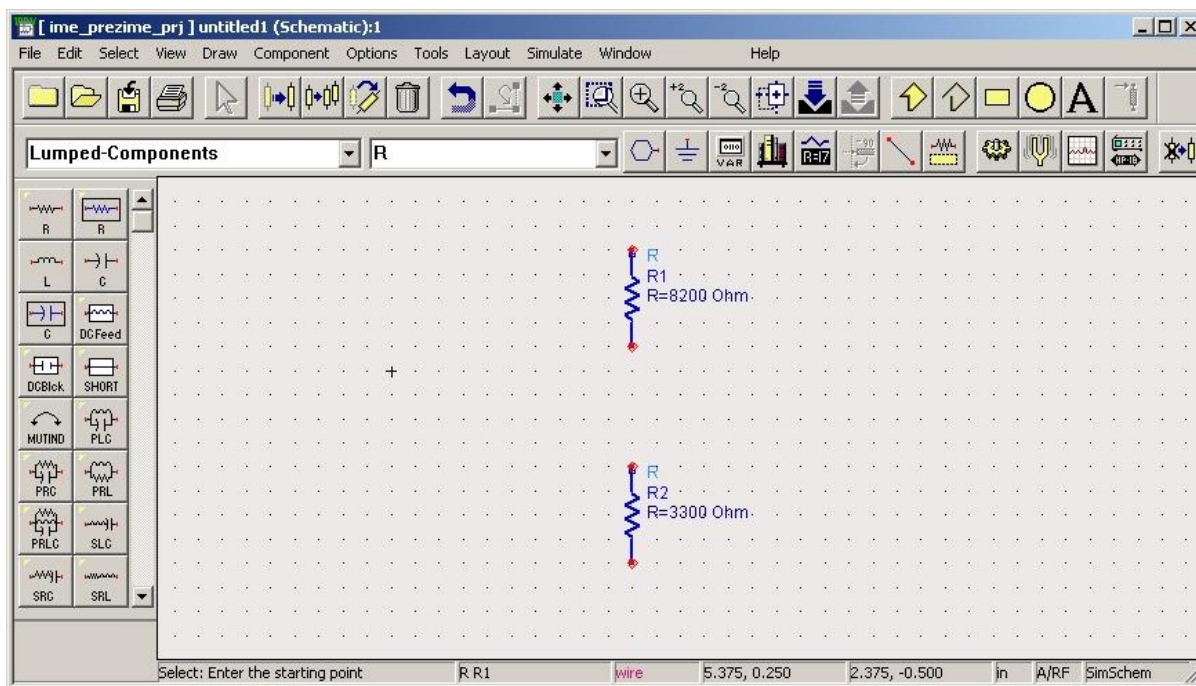


Slika 4. Električka shema pojačala u spoju zajedničkog emitera.

Na slici 3 vidi se da se komponente koje se mogu izabrati nalaze na lijevoj strani prozora za unos električke sheme. Na slici 3 prikazane su komponente koje pripadaju skupu «Lumped-Components». U tom skupu nalaze se i simboli za otpornik (oznaka R) i kondenzator (oznaka C). U istom skupu komponenata postoje i simboli za otpornik i kondenzator koji su uokvireni pravokutnikom; te elemente ne možemo koristiti, jer su oni namijenjeni za dodatno opisivanje karakteristika otpornika.

Postupak unosanja sheme izvodi se u nekoliko koraka:

1. Kliknuti na komponentu na lijevoj strani prozora koju želimo nacrtati i u ovom slučaju krenuti od crtanja otpornog djelila $R_1=8,2\text{ k}\Omega$ i $R_2=3,3\text{ k}\Omega$. Nakon toga pokazivačom povući liniju u područje za crtanje. Vidimo da se zajedno s pokazivačem pojavio i obris otpornika. Također vidimo da je otpornik položen, a potrebno je ucrtati dva vertikalno postavljena otpornika. Odabrana komponenta može se rotirati pritiskom na tipke CTRL-R. Nakon toga jednom utipkamo CTRL-R otpornik će se postaviti vertikalno.
2. Pokazivač dovedemo na jednu točku mreže, približno na sredini područja za crtanje, i kliknemo s lijevim gumbom miša. Otpornik je iscrtan punom linijom. Nadalje vidimo da je obris otpornika i dalje ostao uz pokazivač. Pokazivač pomaknemo na neku točku mreže ispod prvog otpornika i još jednom kliknemo; time smo iscrtali i drugi otpornik. Prvi je otpornik automatski dobio ime R_1 , a drugi otpornik R_2 . Vrijednosti oba otpornika jednake su $50\text{ }\Omega$. Budući da trenutno vi ne želimo dodavati nove otpornike, stisnut ćemo tipku ESC kako bismo otpustili komponentu koju trenutno crtamo, tj. kako bismo maknuli obris otpornika s pokazivača.
3. Vrijednost otpornika mijenja se tako da se mišem klikne na postojeću vrijednost otpornika, nakon čega se ta vrijednost zacrveni, što je znak da se može mijenjati. Kod otpornika R_1 potrebno je upisati $8200\text{ }\Omega$, a kod otpornika R_2 upisuje se $3300\text{ }\Omega$. Nakon ovog sljedećeg naredbi na ekranu se dobiva nešto slično onome što je prikazano na slici 5.



Slika 5. Otpori R_1 i R_2 .

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

File > Save As...

nakon čega se pojavljuje prozor u kojem se definira ime sheme. Ime sheme dobit će nastavak '.dsn', i shema će biti spremljena u poddirektoriju 'networks'.

Po istom principu bilo bi jednostavno dodati ostale otpornike i kondenzatore, ali prije toga ćemo dodati bipolarni tranzistor. Premda u okviru ADS-a postoji nekoliko modela za bipolarni tranzistor, za potrebe laboratorijskih vježbi koristit će se model koji je posebno definiran. Do tog modela dolazi se komandama

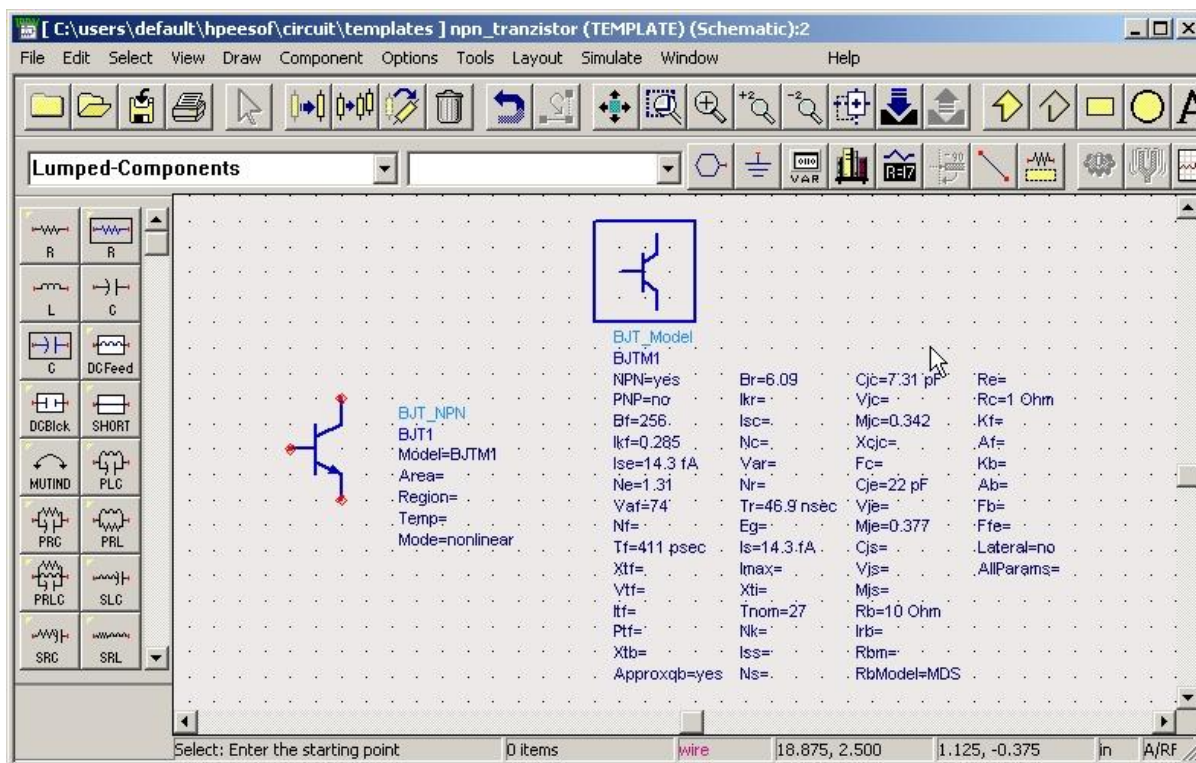
File > Insert Template...

nakon čega se otvara novi prozor koji nam nudi na izbor postojeće uzorke. Jedan od tih uzoraka je i 'nnpn_tranzistor', koji odabiremo i nakon toga stisnemo gumb 'OK'. Obrisan uzorak 'nnpn_tranzistor' mi ćemo postaviti na slobodno područje za crtanje i kliknemo lijevim gumbom miša. Uzorak se sastoji od dvije komponente. Komponenta 'BJT_NPN' predstavlja bipolarni tranzistor koji ćemo koristiti za analizu pojačala, a komponenta 'BJT_Model' sadrži definicije parametara za tranzistor 'BJT_NPN' (slika 6).

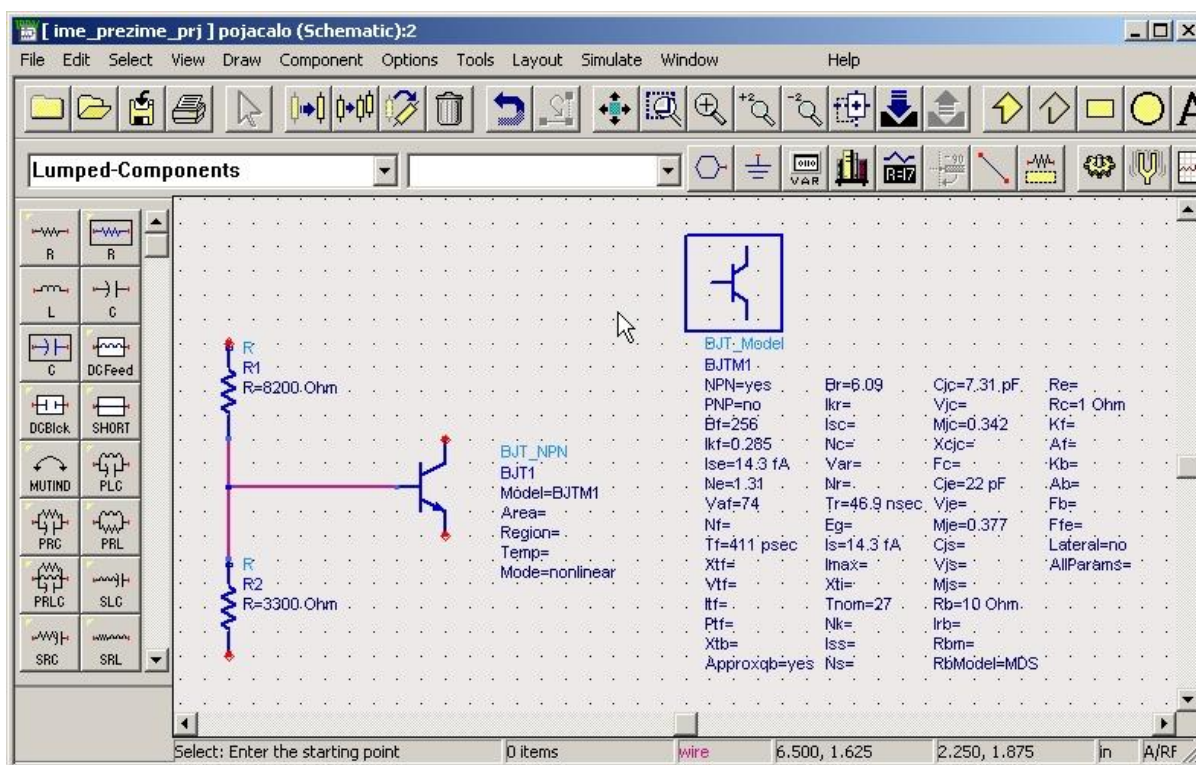
Tranzistor postavimo na desno od otpornika R_1 i R_2 .

Trenutno su komponente međusobno nepovezane, što se očituje time da su krajevi komponenta označeni malenim crvenim romboidima. Komponente se povezuju flicom (engl. wire) tako da se pritisnu tipke CTRL-W. Nakon toga na ekranu se pojavljuje pokazivač u obliku pravca. Flica se postavlja tako da se klikne na krajeve komponenta koje treba spojiti. Ako je kraj komponente dobro spojen, on postaje kvadratičnog plave boje. Na slici 6 prikazano je kako se povezuje baza tranzistora flicom povezanom između otpornika R_1 i R_2 .

Konačni rezultat ovih operacija prikazan je na slici 7.

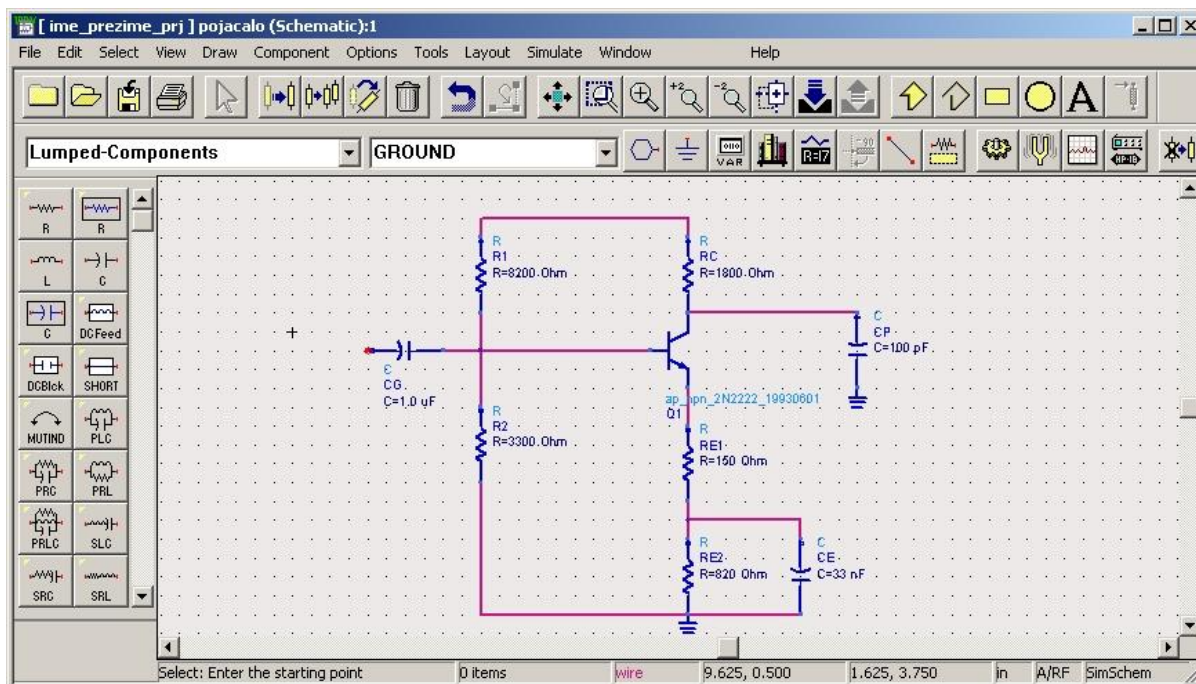


Slika 6. Uzorak se sastoji od dvije komponente: 'BJT_NPN' i 'BJT_Model'.



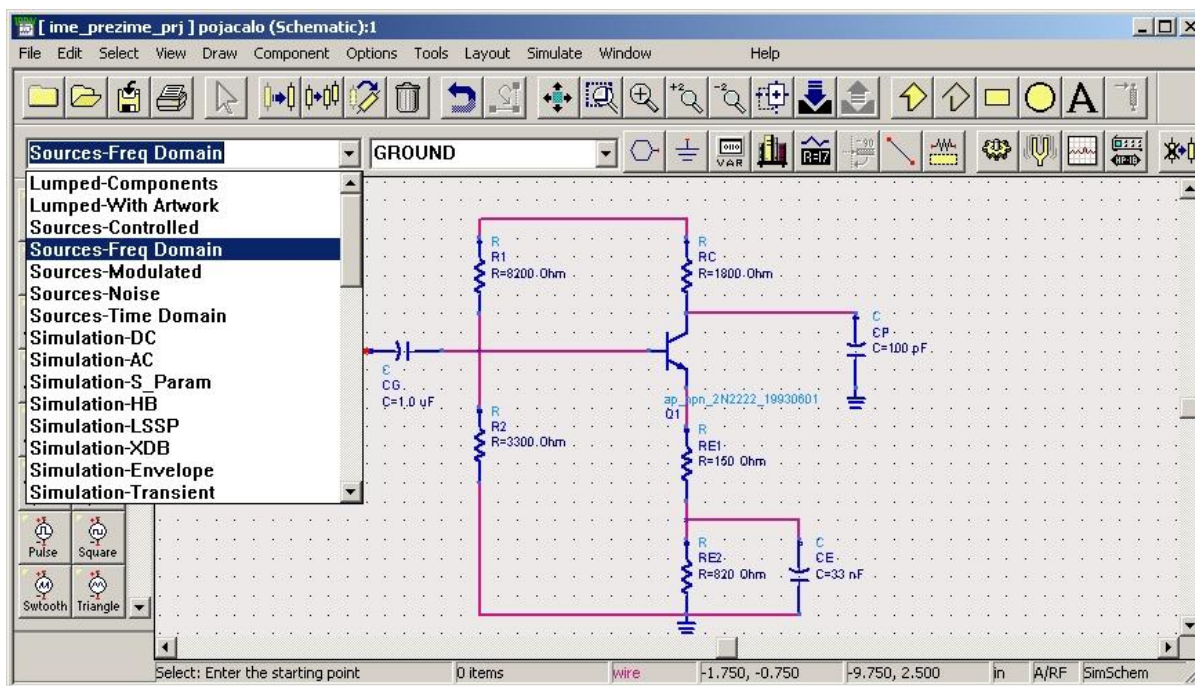
Slika 7. Otporno djelilo i bipolarni tranzistor.

Na isti na in sada na shemu treba dodati otpornike R_C , R_{E1} i R_{E2} , te kondenzatore C_G , C_E i C_P . Za kondenzator of $1\ \mu\text{F}$ na shemi se upisuje '1 uF', –to zna i da 'u' predstavlja oznaku za ' μ '. Nakon povezivanja komponenata vodovima, potrebno je dodati i simbol za masu (engl. ground). Masa se dodaje tako da se u glavnom izborniku pri vrhu prozora za crtanje klikne na izbornik 'Component > Ground', mi– se dovede u podru je za crtanje (na njega se naravno «zalijepio» simbol za masu) i klikne se na mjesto na koje treba postaviti masu. Kona ni rezultat trebao bi biti sli an onome na slici 8.



Slika 8. Otpornici, kondenzatori i tranzistor Q_1 .

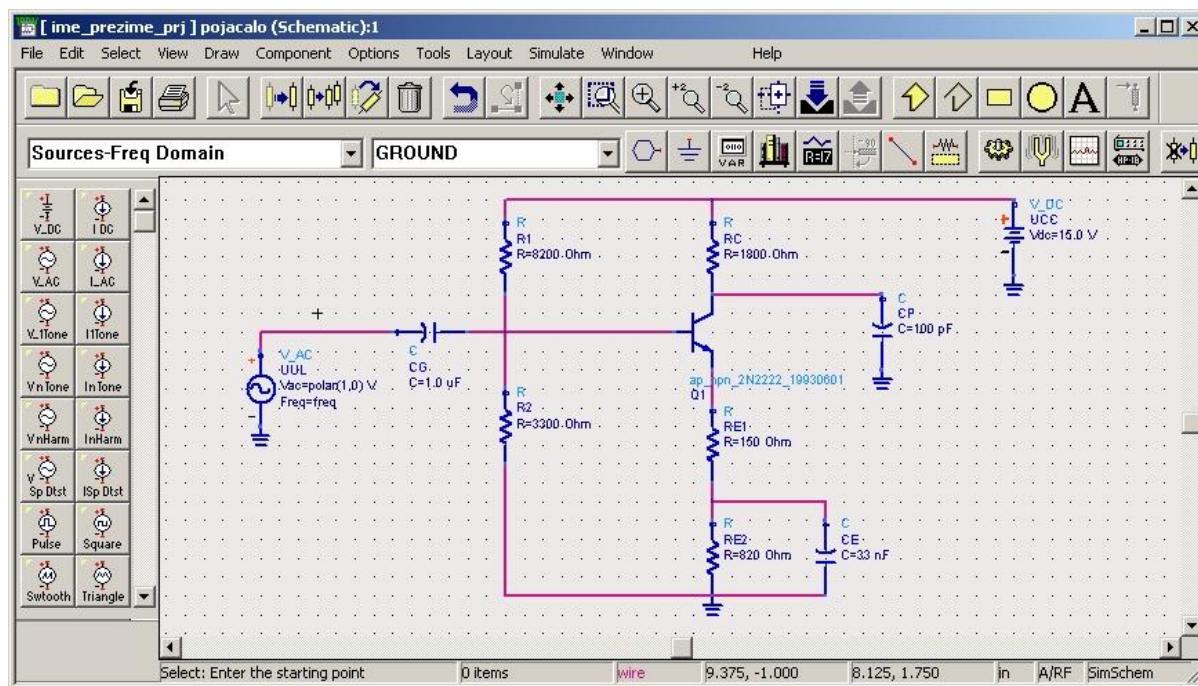
Sada jo– treba definirati istosmjerni izvor napajanja, te izvor signala koji se priklju uje na kondenzator C_G . Ovi izvori dobivaju se tako da se umjesto skupa komponenata 'Lumped Components' izabere skup komponenata 'Sources6Freq Domain'. Ovaj skup komponenata dobiva se tako da se mi–em klikne na crni trokuti na desno od imena 'Lumped Components' (vidi sliku 9).



Slika 9. Odabir skupa komponenata 'Sources-Freq Domain'.

Nakon toga na lijevoj strani prozora pojavljuju se različiti izvori signala. Prvo treba odabrati izvor 'V_DC' i dodati ga na shemu sklopa u području za crtanje, te ga spojiti s otpornicima R_1 i R_C . S donje strane izvor treba spojiti na masu, te ga preimenovati u 'UCC', i a kraju promijeniti iznos napona na 15 V.

Zatim treba izabrati izvor 'V_AC' i spojiti ga na kondenzator C_G . Kod ovoga izvora ne treba ništa posebno podešavati, osim što mu se ime može promijeniti u 'UUL' (ime je prva karakteristika ispod oznake tipa komponente 'V_AC'). Ako se izvor postavi previše blizu kondenzatora C_G , tekst koji opisuje karakteristike izvora prekrit će tekst za karakteristike kondenzatora i shema će biti nečitljiva. U okruženju za unos sheme komponente se jednostavno pomiče u tako da se na komponentu jednom klikne, kako bi je se odabralo, a zatim se na nju ponovo klikne, tipka miša drži se pritisnuta i komponenta se odvuče tamo gdje ju se želi postaviti. Program je dovoljno mudar da s komponentom odvuče i njene flage, tako da prilikom pomicanja komponente ne dođe do gubitka kontakta. Konačni rezultat trebao bi biti slika onome prikazanom na slici 10.



Slika 10. Elektri ka shema poja ala u spoju zajedni kog emitera.

Postupak simulacije

U programskom sustavu ADS mogu e je definirati osam razli itih postupaka analize sklopova. Ovdje se opisuju samo tri osnovna postupka: nelinearna istosmjerna analiza (DC analiza), nelinearna vremenska analiza (tranzijentna analiza), te linearna frekvencijska analiza (AC analiza).

Nelinearna istosmjerna analiza omogu ava odre ivanje stati ke radne to ke, tj. istosmjerne struje i napone na svim komponentama sklopa. Poziva se tako da se izabere skup komponenata 'Simulation-DC', na isti na in kako smo prije izabrali 'SourcesFreq Domain' skup komponenata. Na slici 9 vidi se da je jedan od skupova komponenata i skup 'Simulation-DC'. Sada se na lijevoj strani prozora pojavljuje sedam razli itih komponenata. S lijevim gumbom mi-a klikne se na komponentu 'DC', mi- se postavi na slobodno podru je prostora za crtanje i lijevim klikom mi-a komponenta se unese u podru je za crtanje sheme.

Simulacija se pokre e tako da se ode u glavni izbornik pri vrhu prozora za crtanje i pokrene

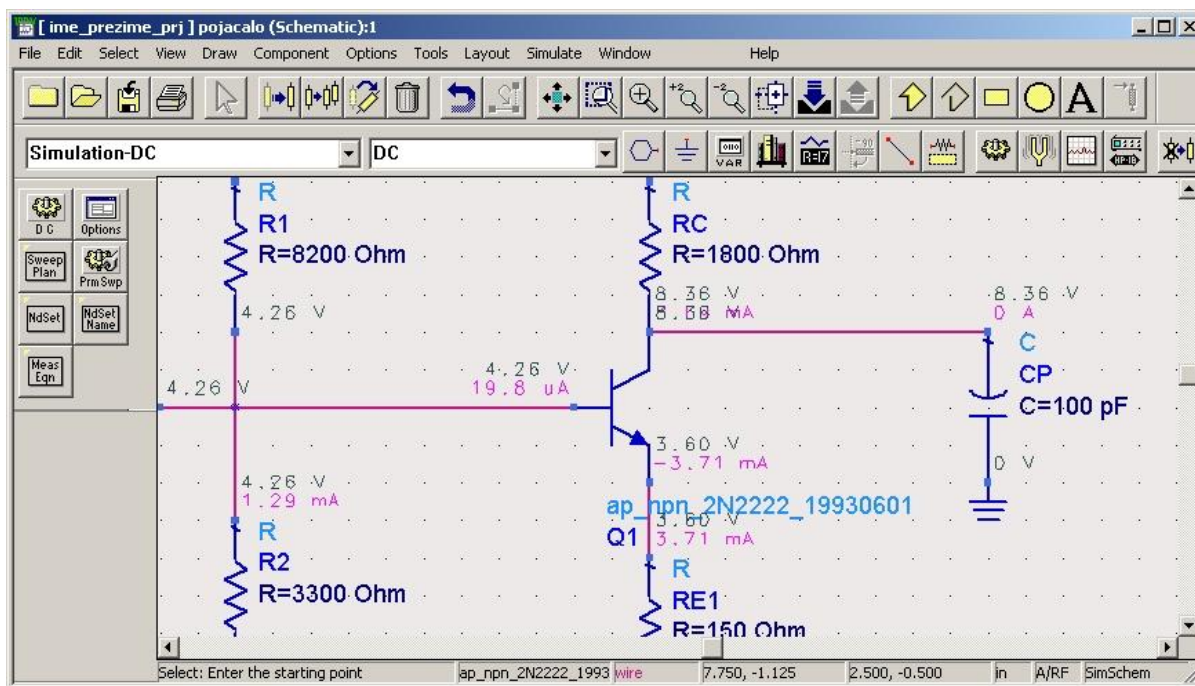
Simulate > Simulate

Simulaciju je tako er mogu e pokrenuti pritiskanjem funkcijske tipke F7 ili tako da se klikne na ikonu sa flutim zup anikom koja se nalazi iznad podru ja za crtanje.

Nakon simulacije na samoj shemi ni-ta se posebno ne mijenja; rezultati simulacije ostaju skriveni u memoriji ra unala. Da bi se rezultati prikazali, potrebno je pokrenuti ovaj niz komandi

Simulate > Annotate DC Solution

nakon ega se na svim vorovima mreffe pojave iznosi napona i struja u tim vorovima. Iznosi napona i struja na elektri koj shemi pomalo su ne itljivi ako je na ekranu prikazana cijela elektri ka shema. Taj se problem rje-ava tako da se pojedini dijelovi sheme uve aju (zumiraju). Postoji vi-e alata za zumiranje, a najjednostavniji je onaj ija ikona prikazuje pove alo oznakom '+'. Nakon zumiranja podru ja oko tranzistora prozor za unos elektri ke sheme izgleda kao na slici 11.



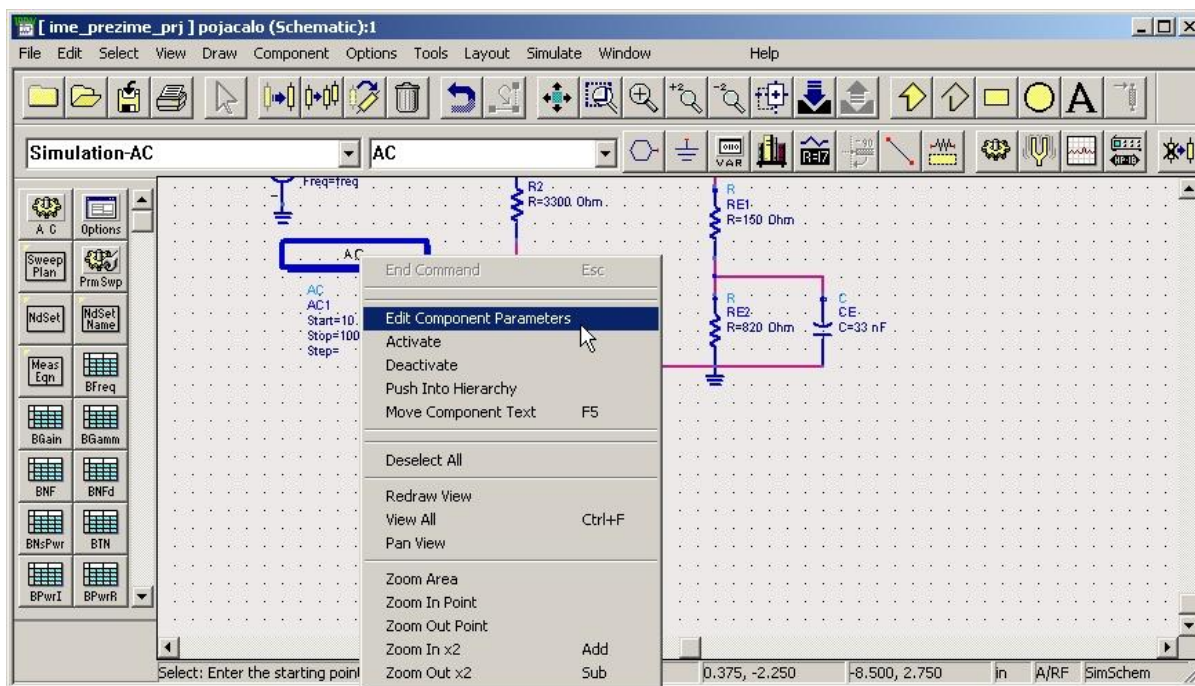
Slika 11. Električna shema pojačala sa zumiranim područjem oko tranzistora kako bi se lakše očitavali naponi i struje pojedinih komponenti.

Za otpornike i kondenzatore rezultati koji se dobivaju naredbom 'Annotate DC Solution' u potpunosti su dovoljni. Međutim, za aktivne elemente koji imaju složenije modele puno je bolje koristiti naredbu

Simulate > Detailed Device Operating Point

te nakon toga lijevim gumbom miša treba kliknuti na tranzistor. Ovaj postupak otvara novi prozor u kojem su zapisane sve karakteristike tranzistora u izrazu unatoj stati koj radnoj točki. U Dodatku B opisan je model bipolarnog tranzistora koji se koristi u programu SPICE, a program SPICE je alat koji se vrti u pozadini okruženja ADS.

Linearna analiza u frekvencijskoj domeni ili AC analiza pokreće se tako da se izabere skup komponenti 'Simulation-AC' i među ponuđenim komponentama odabere ona označena s 'AC', miša se zatim odvuče na slobodno područje za crtanje i lijevim klikom miša komponenta se ucrtava na shemu. Komponenta za AC analizu ima nekoliko parametara koji se mogu mijenjati: početna i krajnja frekvencija, te korak promjene frekvencije. Mi bismo analizu htjeli provesti u području od 10 Hz do 100 MHz, i ti se parametri mogu jednostavno upisati na shemi. Međutim, još bismo htjeli podesiti da se frekvencija mijenja logaritamski, a ne linearno, te bismo htjeli definirati 10 koraka po dekadi. Dodatno podešavanje parametara za AC analizu provodi se tako da se prvo lijevim gumbom miša klikne na komponentu za AC analizu kako bismo je odabrali. Nakon toga se desnim gumbom miša još jednom klikne na tu komponentu da se dobije izbornik dodatnih komandi koje se mogu primijeniti na komponentu. U tom izborniku (vidi sliku 12) mi ćemo izabrati opciju 'Edit Component Parameters'.



Slika 12. Definiranje dodatnih parametara za AC analizu.

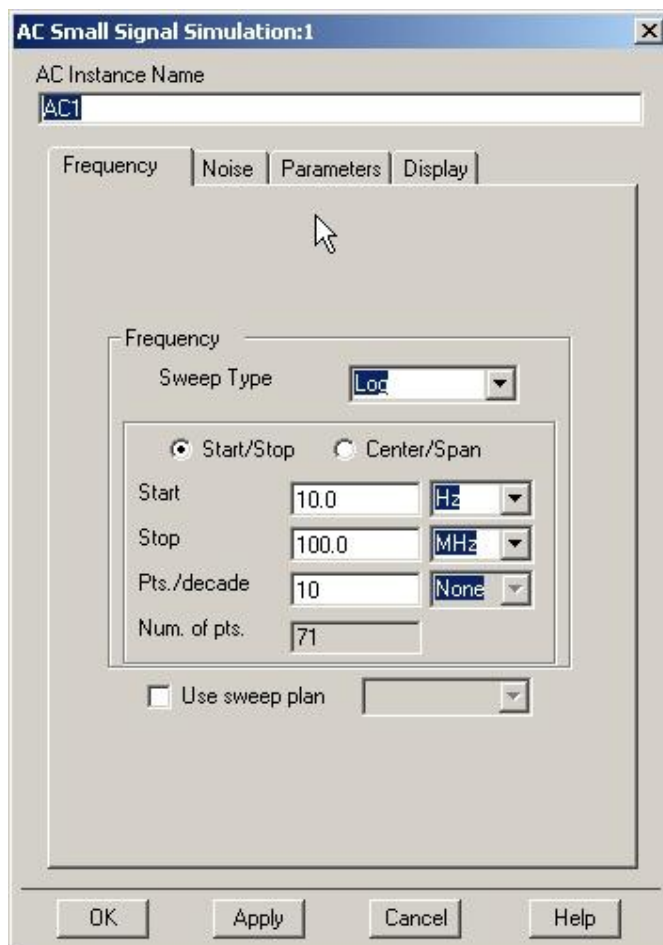
Nakon toga otvara se novi prozor u kojem je moguće definirati početnu i krajnju frekvenciju, ali je moguće podesiti i logaritamsku podjelu frekvencije pomoću parametra 'Sweep Type'. Dakle, u izborniku za 'Sweep Type' treba definirati 'Log', a zatim još treba za parametar 'Pts./decade', što označava broj točaka po dekadi, upisati '10'. Konačni rezultat unošenja promjena trebao bi biti sličan onome prikazanom na slici 13. U ovom prozoru za podešavanje parametara AC analize postoje još i dodatne opcije koje za sada ne možemo koristiti. Nakon što smo unijeli sve potrebne promjene, prozor zatvaramo pritiskom na gumb 'OK'.

U ovoj fazi dobro je definirati posebna simbola kao imena za ulazne i izlazne priključke u električnoj shemi koji su nam interesantni. Tako je npr. dobro ulazni priključak nazvati 'ulaz' i izlazni priključak 'izlaz'. To se obavlja slijedom komandi

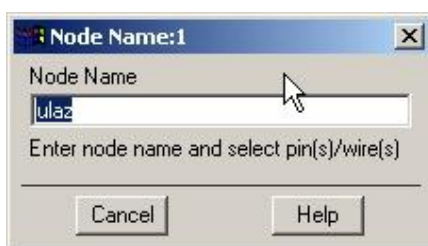
Component > Name Node...

nakon čega se otvara prozor u kojem je moguće upisati ime priključka (vidi sliku 14). Nakon što se u prozor upiše npr. 'ulaz', mi se odvede u područje crtanja (pokazivač ima oblik dva ukrštena pravca) i klikne se na flicu priključka koji želimo imenovati 'ulaz'. Prozor za imenovanje priključaka nije nestao, nego je postupak imenovanja priključaka moguće nastaviti upisivanjem npr. 'izlaz', itd. Rezultat imenovanja ulaznog priključka prikazan je na slici 15.

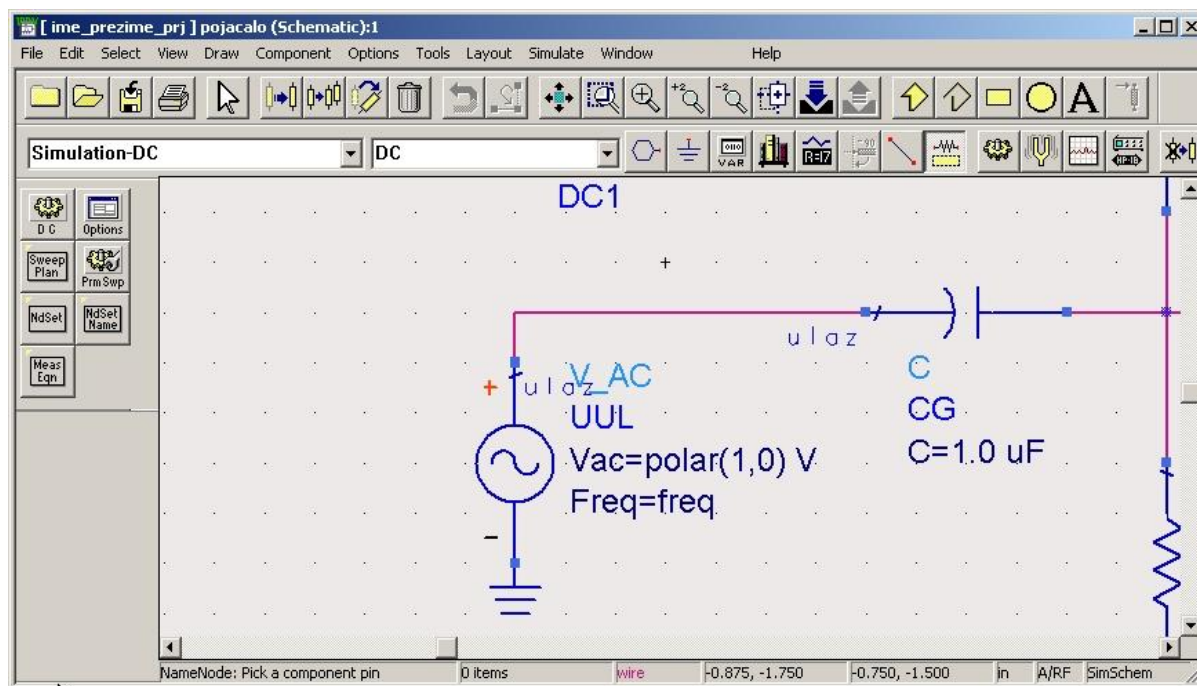
Priključke treba imenovati zato što će ADS zapisati rezultate simulacije samo za one priključke kojima smo definirali simbola kao ime i samo ti rezultati bit će dostupni za crtanje i naknadno prikazivanje.



Slika 13. Definiranje dodatnih parametara za AC analizu.



Slika 14. Definiranje simboli kih imena vorova.



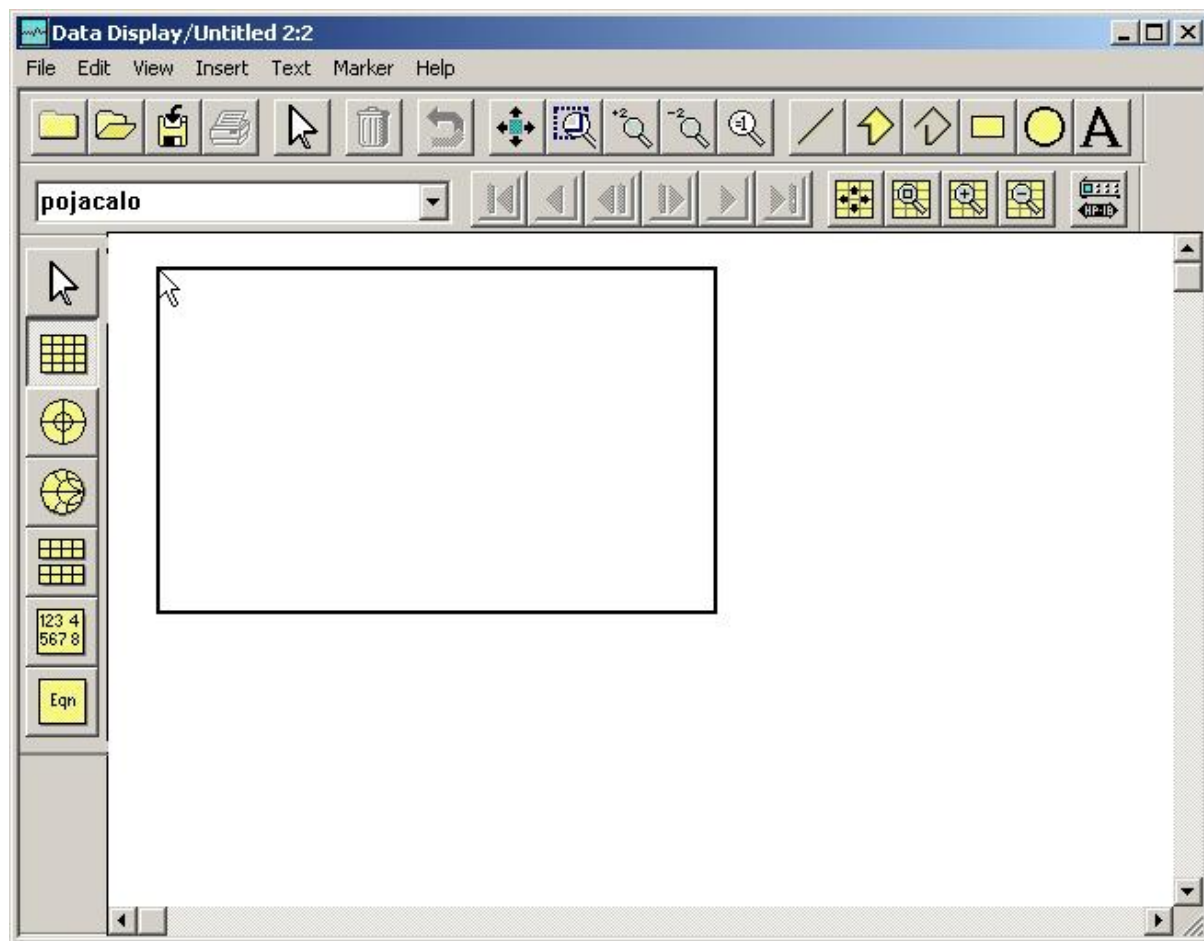
Slika 15. Rezultat imenovanja ulaznog vora.

AC analizu pokrećemo pritiskom na tipku F7. Po obavljenoj analizi potrebno je prikazati rezultate. Rezultati simulacije prikazuju se u zasebnom prozoru koji se dobiva odabiranjem ikone na kojoj je prikazan ekran osciloskopa i na njemu iscrtana jedna crvena krivulja. Ova ikona nalazi su u prvom redu iznad područja za crtanje, dva mjesta na desno od ikone za pokretanje simulacije (fluti zup anik). Aktiviranjem ove ikone otvara se novi prozor (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 miš klikne se na tu ikonu i zatim se miš odvede u prostor za prikaz rezultata. S mišem se miš i obris dijagrama u kojem će se prikazati rezultati (slika 16). Lijevim gumbom miš klikne se na područje gdje ćemo postaviti koordinatni sustav u kojem ćemo prikazati rezultate.

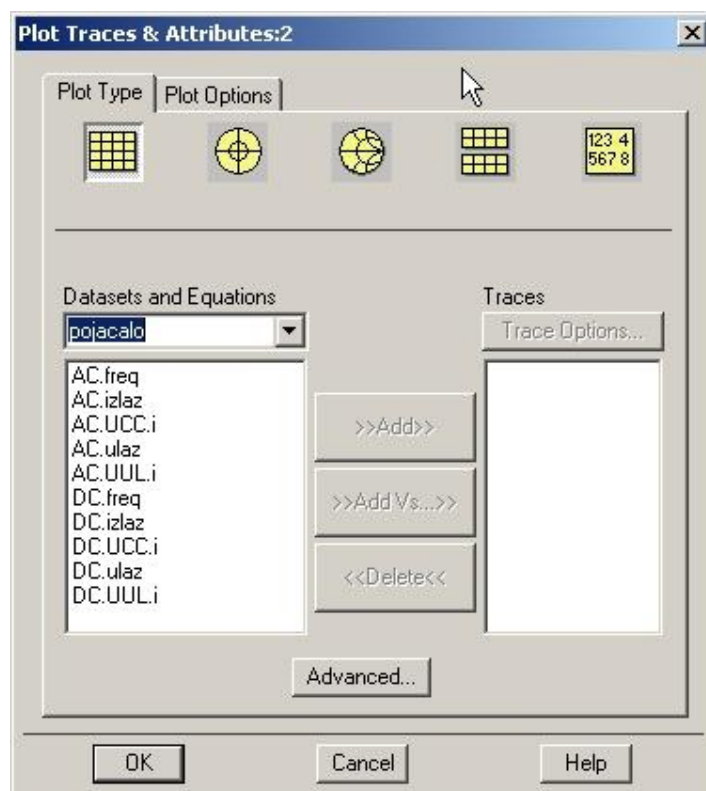
Nakon toga automatski se aktivira dodatni prozor (slika 17) koji omogućava definiranje rezultata koji će se prikazati u pravokutnom koordinatnom sustavu. Postupak definiranja varijabli je jednostavan. Od ponuđenih varijabli na lijevoj strani prozora miš se izabere ona koju ćemo crtati, npr. 'AC.izlaz', gdje 'AC.izlaz' očitava rezultat AC analize za vora 'izlaz'. Zatim u srednjem području prozora kliknemo na gumb '>>Add Vsi >>', nakon čega se otvara dodatni prozor koji nam omogućava izbor na čiji će se zadana veličina prikazati: dB, dBm, apsolutna vrijednost (engl. Magnitude), faza (engl. Phase), itd. Mi ćemo odabrati prikaz u decibelima (dB) i zatim kliknuti na 'OK'. Nakon toga otvara se sljedeći prozor u kojem se definira varijabla koja se crta na osi x; u našem slučaju to je frekvencija, pa biramo varijablu 'AC.freq'. Sada se u desnom dijelu prozora pojavila komanda

`plot_vs(dB(AC.freq),AC.freq)`

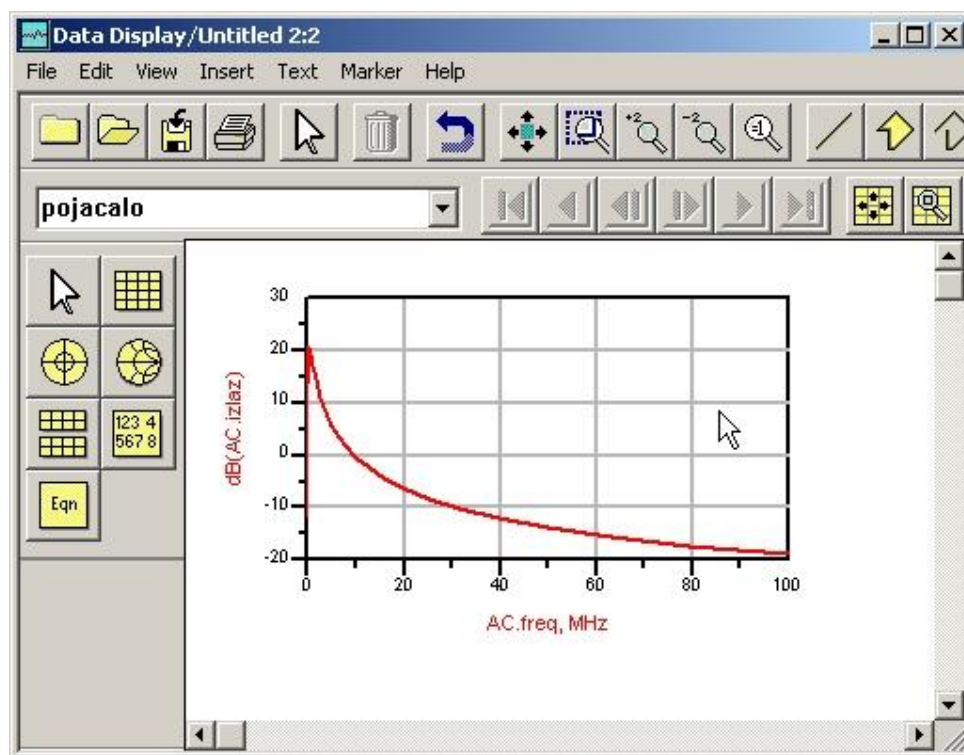
i napokon možemo pritisnuti tipku 'OK' da potvrdimo završetak definiranja vrijednosti koje će se crtati. Sliku koju dobivamo nije previše lijepa i odudara od onoga što bismo mogli očekivati (vidi sliku 18).



Slika 16. Prozor za prikaz rezultata simulacije.

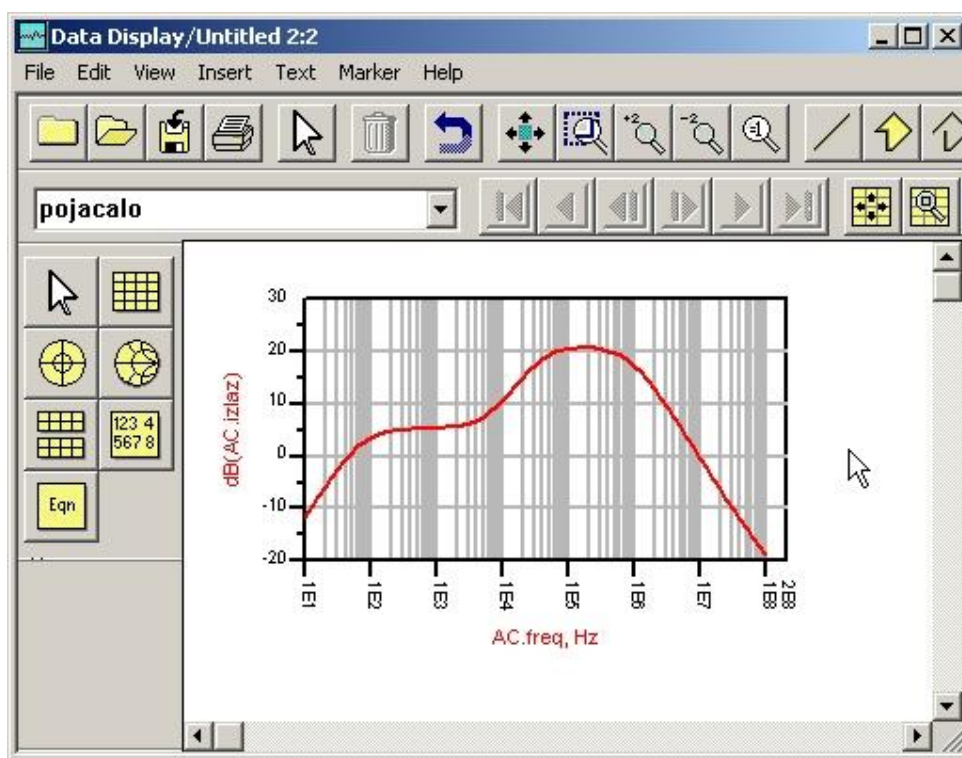


Slika 17. Prozor za definiranje rezultata koje treba prikazati.



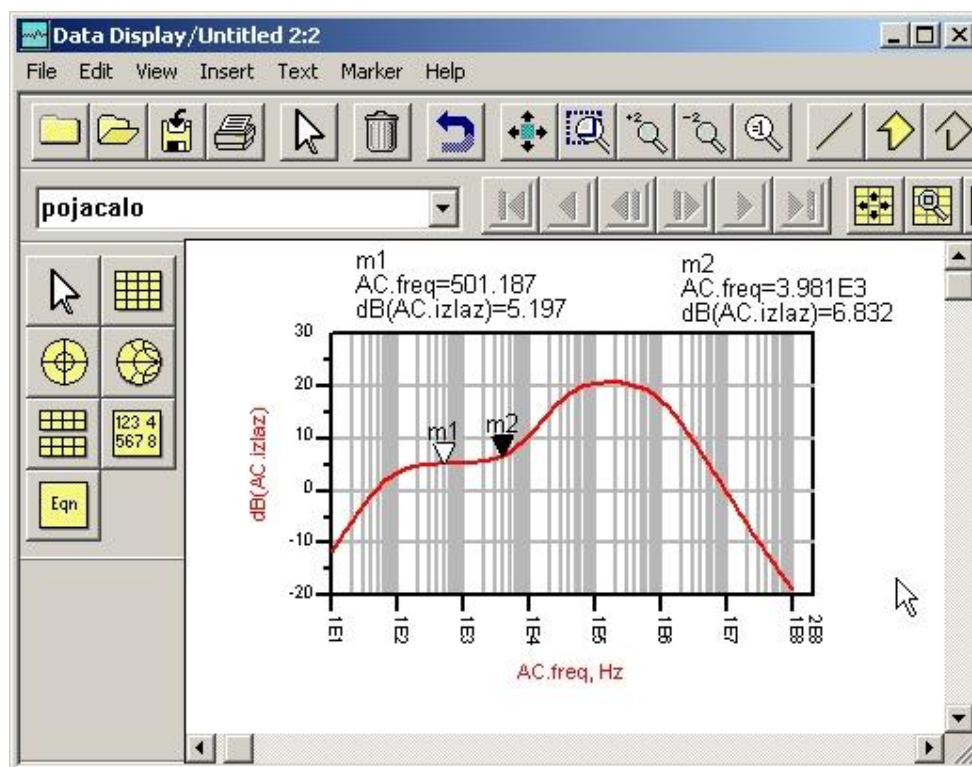
Slika 18. Prikaz izlaznog napona u dB kao funkcija frekvencije.

Problem je u tome –to smo u prikazu ostavili linearno mjerilo za frekvenciju, tj za os x. Ako desnim gumbom mi-a kliknemo na prikazanu sliku, pojavit će se izbornik u kojem trebamo izabrati 'Item Options...'. Time se vraćamo u prozor u kojem smo definirali varijable za prikaz i sada primjećujemo da se tu dodatno mogu podesiti karakteristike prikaza odabiranjem gumba 'Plot Options' pri vrhu prozora. Od svih mogućnosti koje se mogu mijenjati mi ćemo izabrati prvo da želimo mijenjati nešto na x osi odabirući u lijevom području prozora 'X Axis', a zatim ćemo za os x podesiti logaritamsku promjenu odabiranjem opcije 'Log' umjesto dosadašnje opcije 'Linear' i nakon toga ćemo kliknuti na 'OK'. U prozoru za prikaz rezultata pojavila se očekivana karakteristika (vidi sliku 19).



Slika 19. Prikaz izlaznog napona u dB kao funkcija frekvencije gdje je frekvencijska os prikazana u logaritamskom mjerilu.

Premda se prikaz rezultata simulacije može povećavati i smanjivati, otvaranje to ne vrijednosti izlaznog napona direktno s grafa pomalo je nezgodno, a sasvim sigurno neprecizno. Dva su načina pomoću kojih možemo odrediti to ne vrijednosti izlaznog napona za različite frekvencije: prikaz rezultata pomoću liste (na slici 19 to bi bila ikona, na lijevoj strani prozora, ispisana brojevima) ili korištenje markera. Korištenje markera omogućava vrlo jednostavno otvaranje to ne vrijednosti izlaznog napona. Marker se uključuje izborom komande 'Marker' pri vrhu prozora, te odabiranjem 'New...'. Time se na vrh miša «zalijepi» obris markera. Zatim marker treba dovesti do krivulje i lijevim 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, kao što se vidi na slici 20. Kada je marker bijele boje, njegov položaj moguće je mijenjati pritiskanjem lijeve i desne strelice na tastaturi. Pritiskom na lijevu strelicu na tastaturi marker se kreće u lijevo prema nižim frekvencijama.



Slika 20. Prikaz markera. Marker m1 bijele je boje, što znači da je odabran, te da se njegov položaj može mijenjati pritiskanjem lijeve i desne strelice na tastaturi.

Sljedeći oblik prikaza je prikaz sa višestrukim pravokutnim koordinatnim sustavom (na slici 20 ovaj prikaz dobiva se odabiranjem ikone na lijevoj strani prozora s dva koordinatna sustava). Ovaj oblik omogućava istovremeni prikaz amplitudne i fazne karakteristike pojačala.

Tranzijentna analiza koristi se za analizu ponašanja sklopa u vremenskoj domeni. Za ovu analizu potrebno je umjesto izvora izmjeničnog signala definirati jedan od izvora u vremenskoj domeni.

Budući da je ovdje potrebno pobrisati AC izvor signala i na njegovo mjesto spojiti drugi izvor, najbolje je sada spremići trenutno stanje sklopa naredbom

File > Save

a zatim postojeći sklop još jednom spremići pod drugim imenom naredbama

File > Save As...

nakon čega treba utipkati novo ime, npr. 'pojacalo_transient_analysis'. Ovaj novi sklop sada možemo mijenjati, a stari sklop nam je još uvijek dostupan. Zatim treba izbrisati komponentu 'AC' koja se koristi za simulaciju, a zatim treba obrisati izvor signala 'V_AC'. Nadalje, potrebno je skup komponenti podesiti na skup 'Sources-Time Domain' i izabrati komponentu 'Pulse' (dvije su komponente koje su označene s 'Pulse'; potrebno je izabrati onu komponentu na kojoj NIJE nacrtana strelica; komponenta sa strelicom predstavlja impulsni strujni izvor, a mi trebamo naponski izvor). Na mjesto izvora signala 'V_AC' potrebno je postaviti izvor signala 'VtPulse' (tj. onu komponentu na kojoj ikoni piše 'Pulse' i koja nema strelicu) i dodatno je potrebno podesiti parametre za impulsni signal i to ovako:

Vlow = -0.25 V

Vhigh = 0.25 V

Delay = 0

Edge = linear

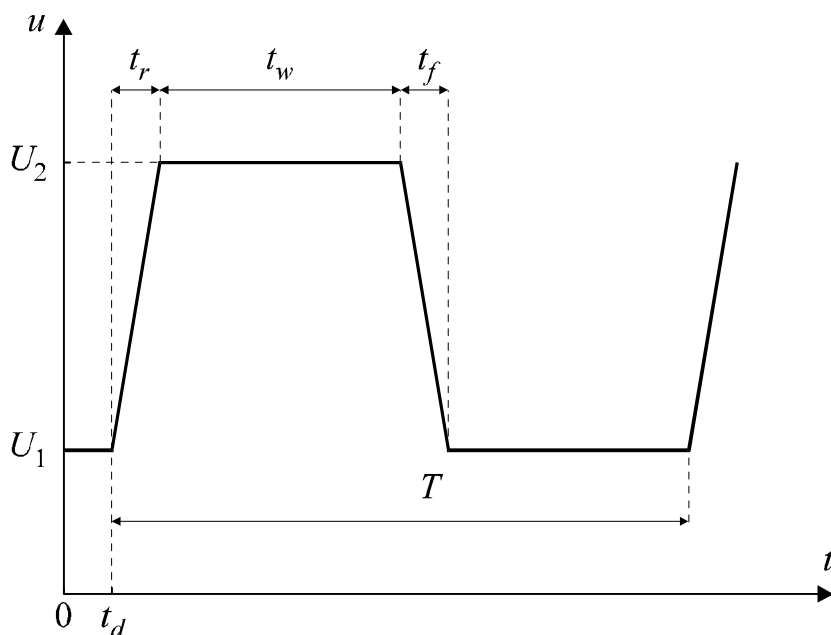
Rise = 0

Fall = 0

Width = 5 usec

Period = 10 usec

gdje je $V_{low}=U_1$ najmanja vrijednost napona, $V_{high}=U_2$ najveća vrijednost napona, Delay= t_d vrijeme kašnjenja u odnosu na trenutak $t=0$ prije nego što nastupi prva promjena signala, Edge=linear je linearna promjena signala po odsjecima, Rise= t_r vrijeme porasta, Fall= t_f vrijeme pada, Width= t_w trajanje prve poluperiode signala, a Period= T je perioda signala, kako je to prikazano na slici 21.



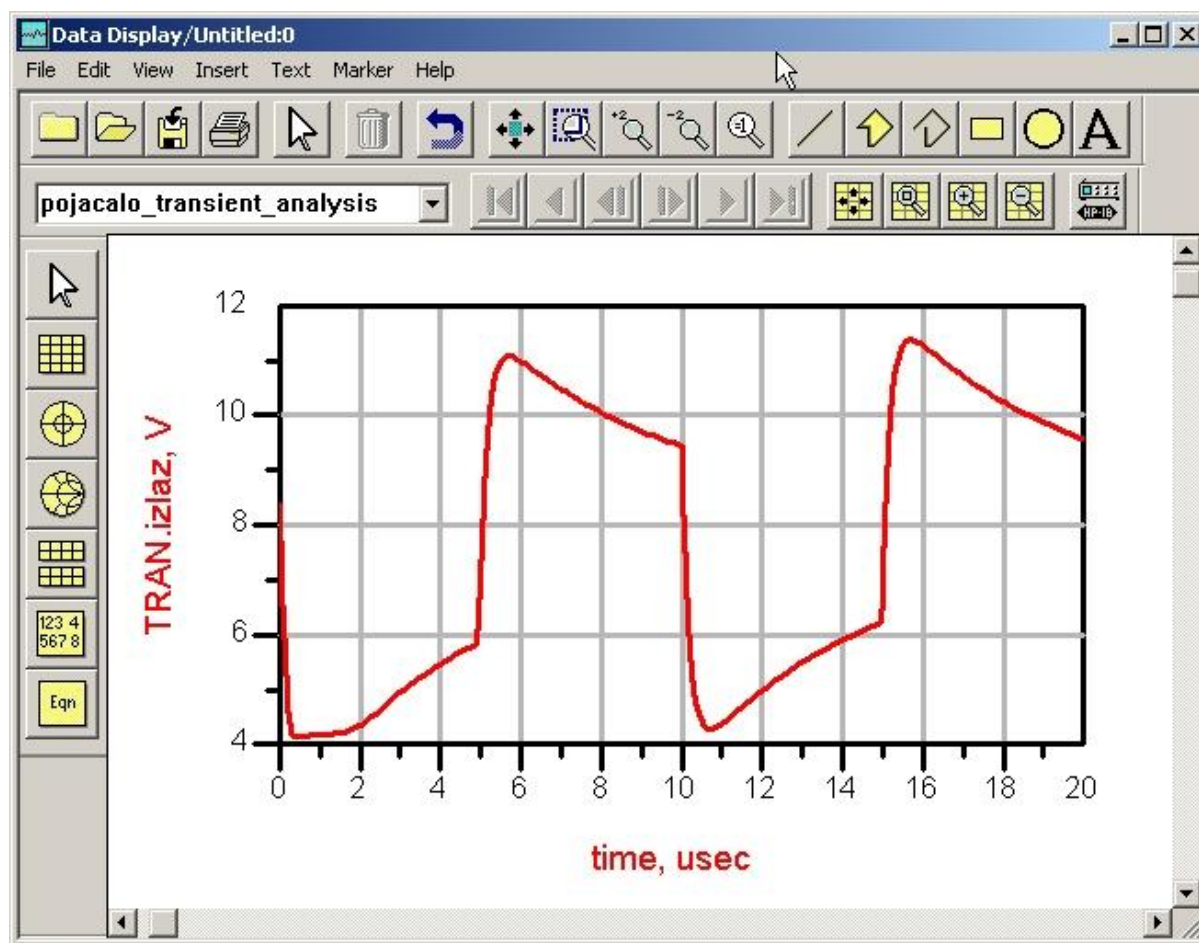
Slika 21. Valni oblik impulsne pobude.

Nakon definiranja impulsnog izvora signala, 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'. Ako bismo željeli obuhvatiti dvije periode ulaznog signala, tada bismo parametar 'Stop Time' podesili na 20 μs , što bismo u prozor upisali kao 20 usec, a parametar 'Max Time Step' trebao bi biti puno manji od trajanja jedne periode signala; mi bismo izabrali npr. 0,1 μs . Time smo proveli sve pripreme za tranzijentnu analizu.

Tranzijentna analiza pokreće se tipkom F7. Nakon obavljene analize rezultati se mogu prikazati pokretanjem prozora za prikaz podataka izborom

Window > New Data Display

te definiranjem veličine TRAN.islaz kao veličine koju treba crtati. Rezultat crtanja mogao bi izgledati kao na slici 22.



Slika 22. Valni oblik izlaznog signala.

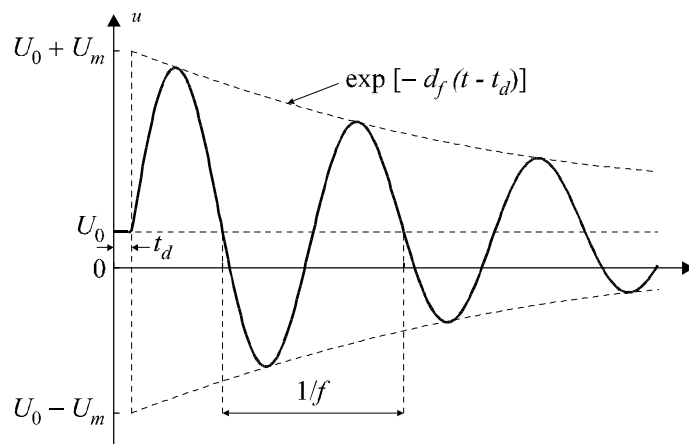
Na slici 22. moguće je definirati sinusni pobudni signal izborom komponente 'Sine' u skupu komponenti 'Sources-Time Domain'. Sinusni valni oblik definiran je s nekoliko parametara, te jednačinom

$$u = U_0 + U_m \sin \left\{ 2\pi \left[f(t - t_d) - \frac{\phi}{360} \right] \right\} \exp \left[-d_f(t - t_d) \right]$$

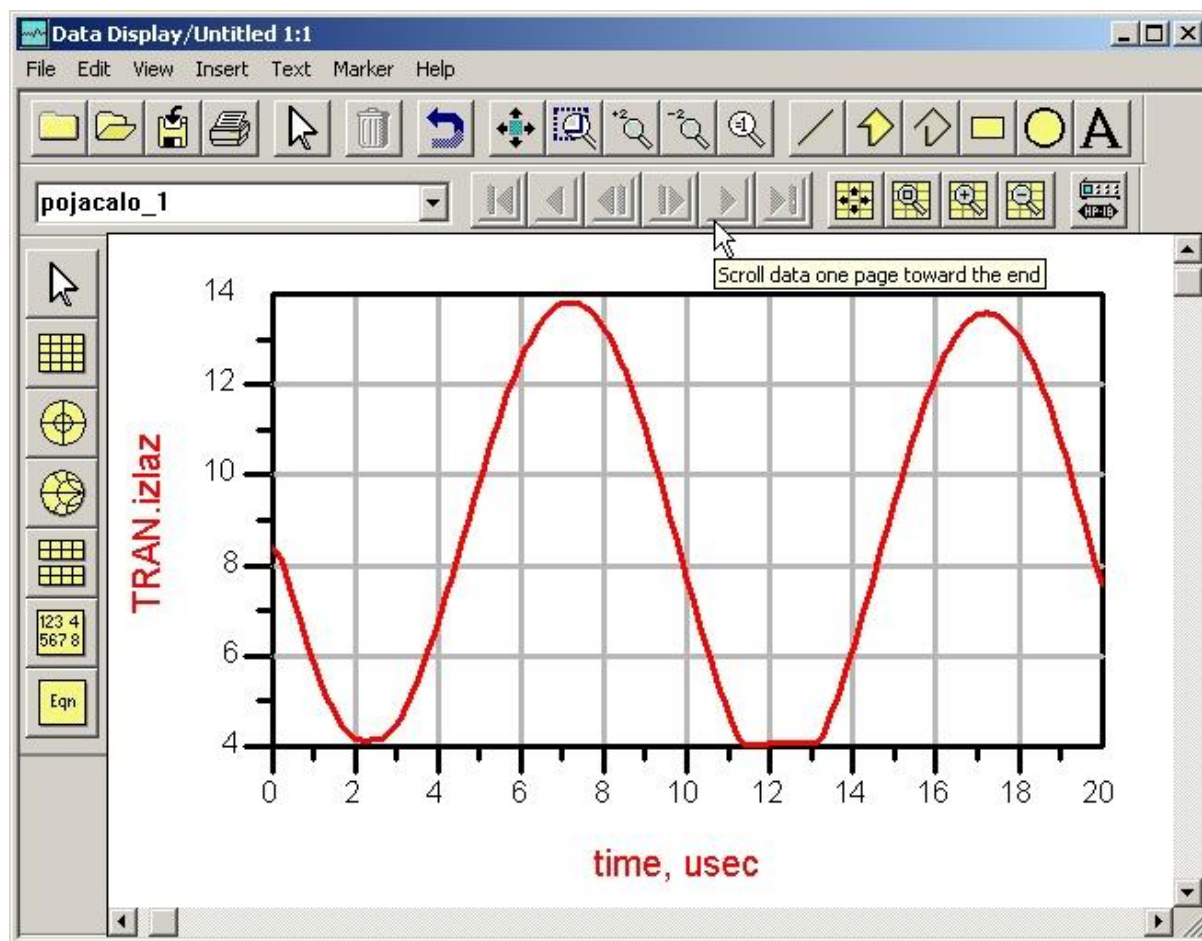
i prikazan je na slici 23.

Pri opisu sinusnog valnog oblika parametar Vdc za sinusni izvor jednak je vrijednosti U_0 prema gornjoj jednačini, tj. predstavlja istosmjernu komponentu sinusnog signala, a ostali parametri su Amplitude= U_m , Freq= f , Delay= t_d , Damping= d_f i Phase= ϕ .

Izlazni signal pojačala pobuđen sinusoidom amplitude 0,5 V i frekvencije 100 kHz prikazan je na slici 24.



Slika 23. Valni oblik sinusne pobude.



Slika 24. Izlazni signal pojačala pobuđenog sinusoidom.