

Anexa A

Anexă

Descrierea Programului LTSpice

A.1 Introducere

LT Spice este un program specializat destinat simulării funcționării circuitelor electronice. Elementele uzuale de circuit de tipul dispozitivelor pasive (rezistențe, condensatoare, surse de curent și de tensiune) sau active (diode, tranzistoare bipolare și MOS), dar și anumite circuite integrate comerciale (amplificatoare operaționale, referințe de tensiune, circuite digitale etc.) sunt disponibile în biblioteca de componente, având asociați un număr de parametri (în cazul componentelor pasive) sau un model (pentru componentele active).

Va fi descrise în continuare realizarea unui circuit electronic, componentele utilizate, și parametrii acestora, analizele disponibile și modul de vizualizare a rezultatelor de simulare.

A.2 Utilizarea programului LT Spice

Pentru instalarea programului LT Spice se rulează fișierul *LTspiceXVII.exe* pe care îl puteți găsi folosind acest link:

[http : //www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html](http://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html).

Se respectă instrucțiunile până la instalarea completă a programului.

Notă: Se poate utiliza atât programul *LTspiceXVII* cât și programul *LTspiceIV.exe*

Se lansează aplicația "LTSpice XVII" disponibilă după instalare. În Figura A.1 este descris modul în care se creează o nouă schemă.

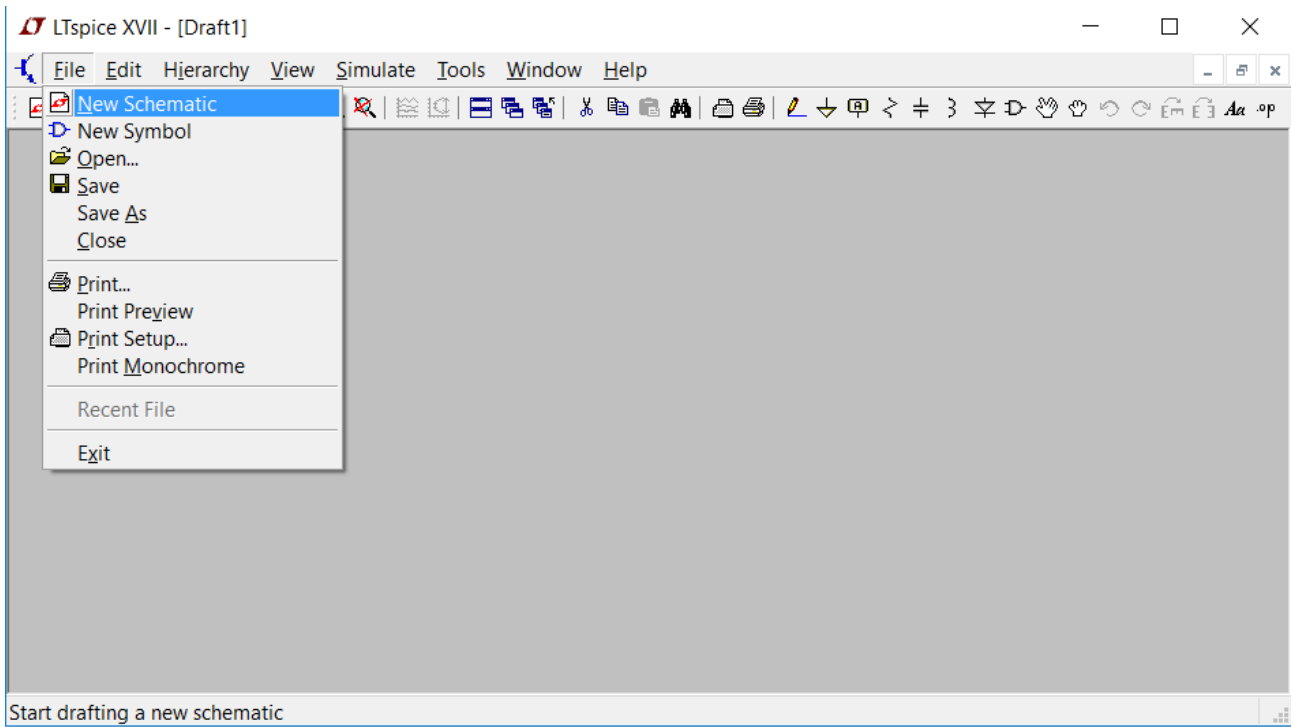


Figura A.1: LT Spice - Crearea unei noi scheme electrice.

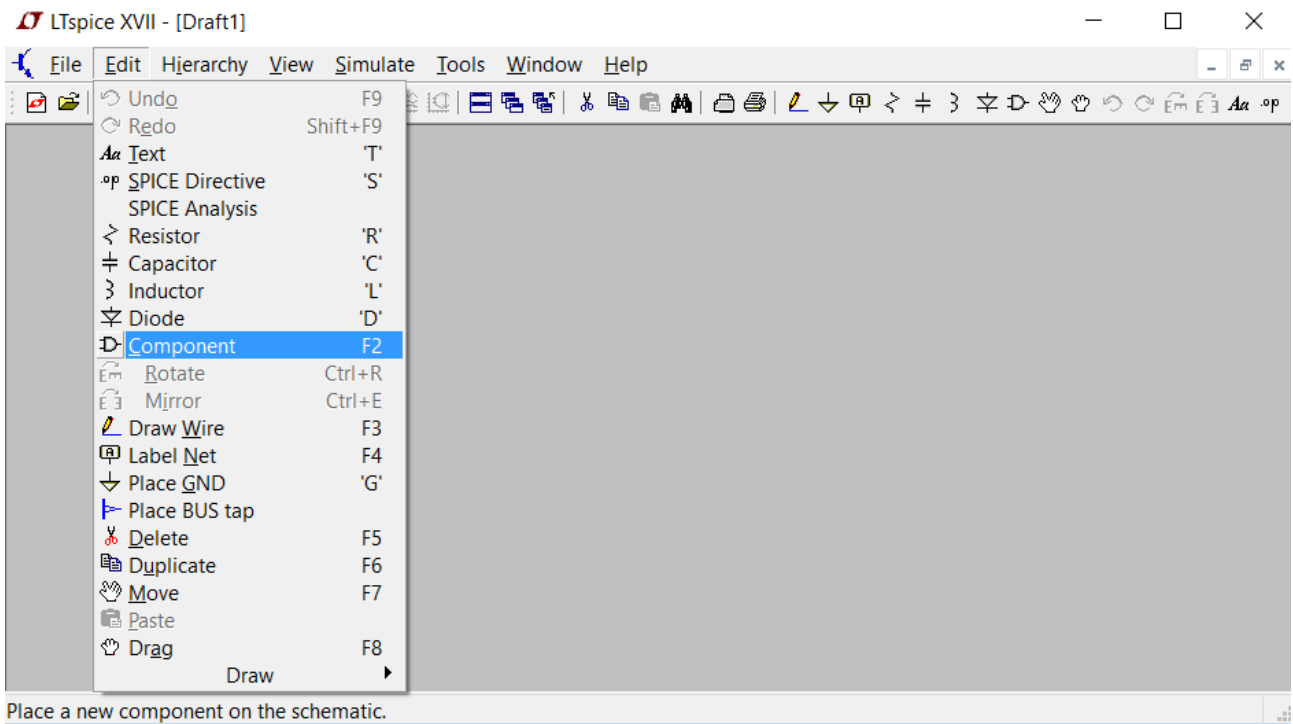


Figura A.2: LT Spice - Adăugarea unei componente pe schemă.

A.2.1 Desenarea circuitului

Adăugarea unei componente noi se face folosind tasta *F2* sau din meniul *Edit · Component* (găsiți acest pas în Figura A.2). Elementele uzuale de circuit, cum ar fi rezistențe, condensatoare, inductoare și diode, se mai pot adăuga folosind prescurtările *R*, *C*, *L* și, respectiv, *D*.

Se selectează numele componentei dorite sau se scrie numele acesteia și se validează cu butonul *OK* (se observă în Figura A.3 și în Figura A.4).

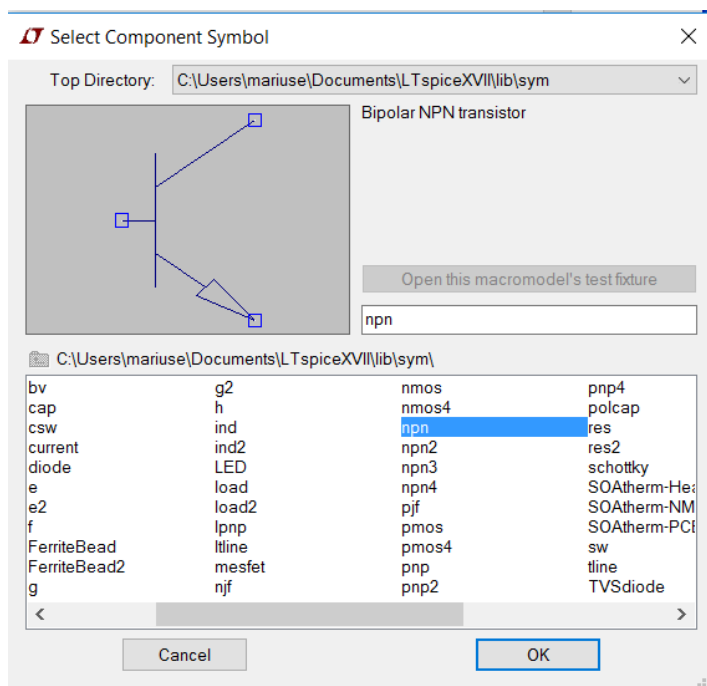


Figura A.3: LT Spice - Selectarea unui tranzistor npn.

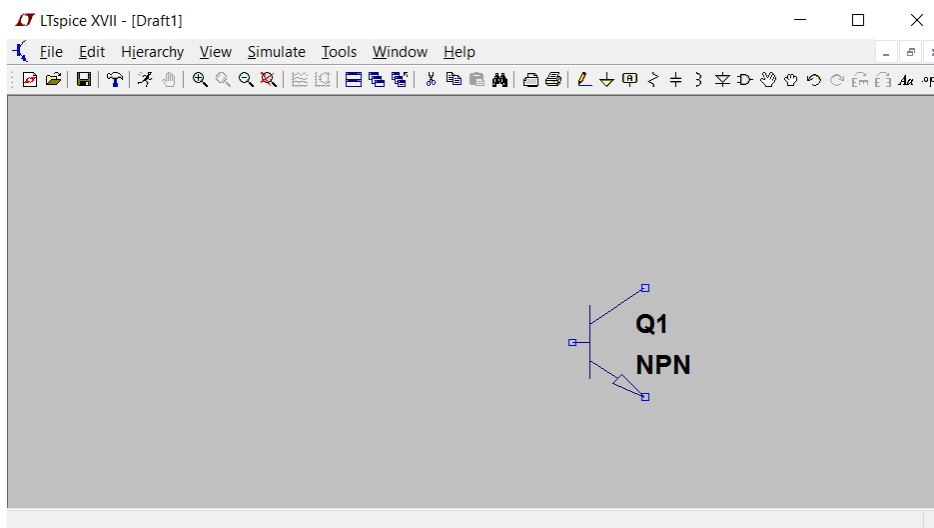


Figura A.4: LT Spice - Plasarea pe schemă a unui tranzistor npn.

Interconectarea componentelor se realizează folosind tasta *F3* sau folosind meniul *Edit · Draw Wire* după care *Left Click* în punctul de pornire și *Left Click* la destinație (se observă în Figura A.5 și în Figura A.6).

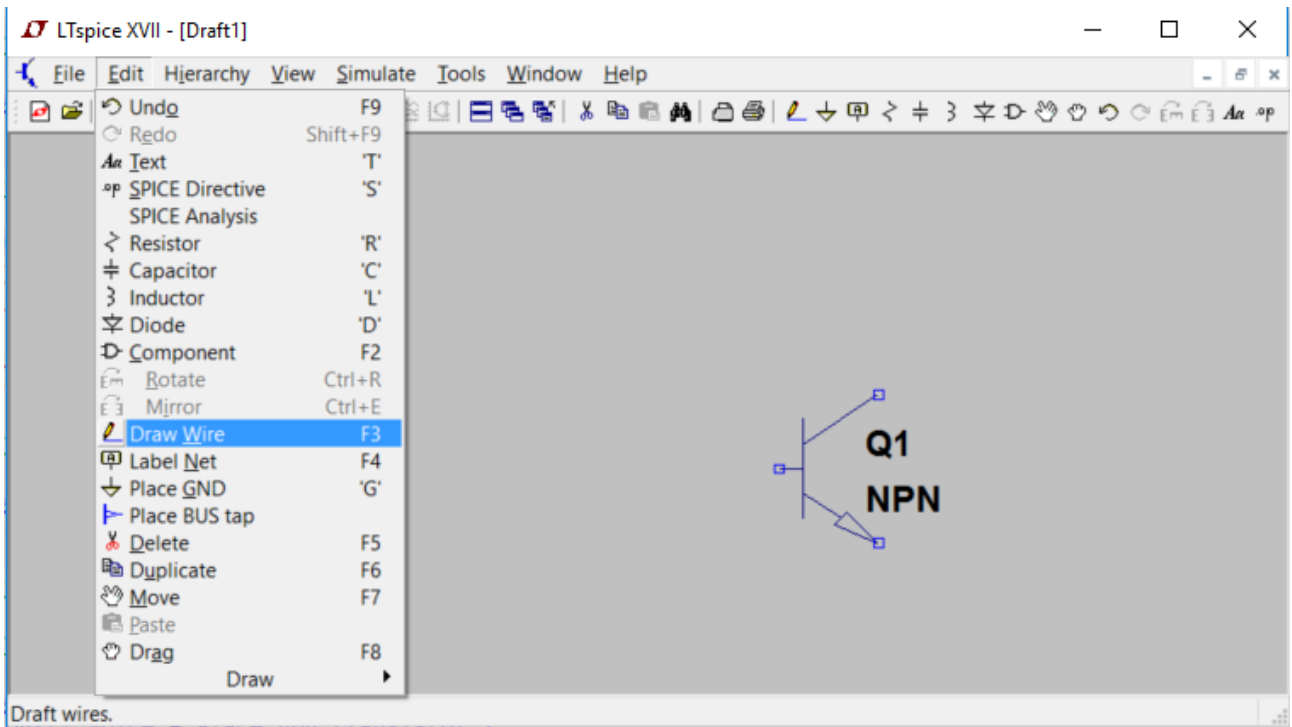


Figura A.5: LT Spice - Interconectarea componentelor (înainte).

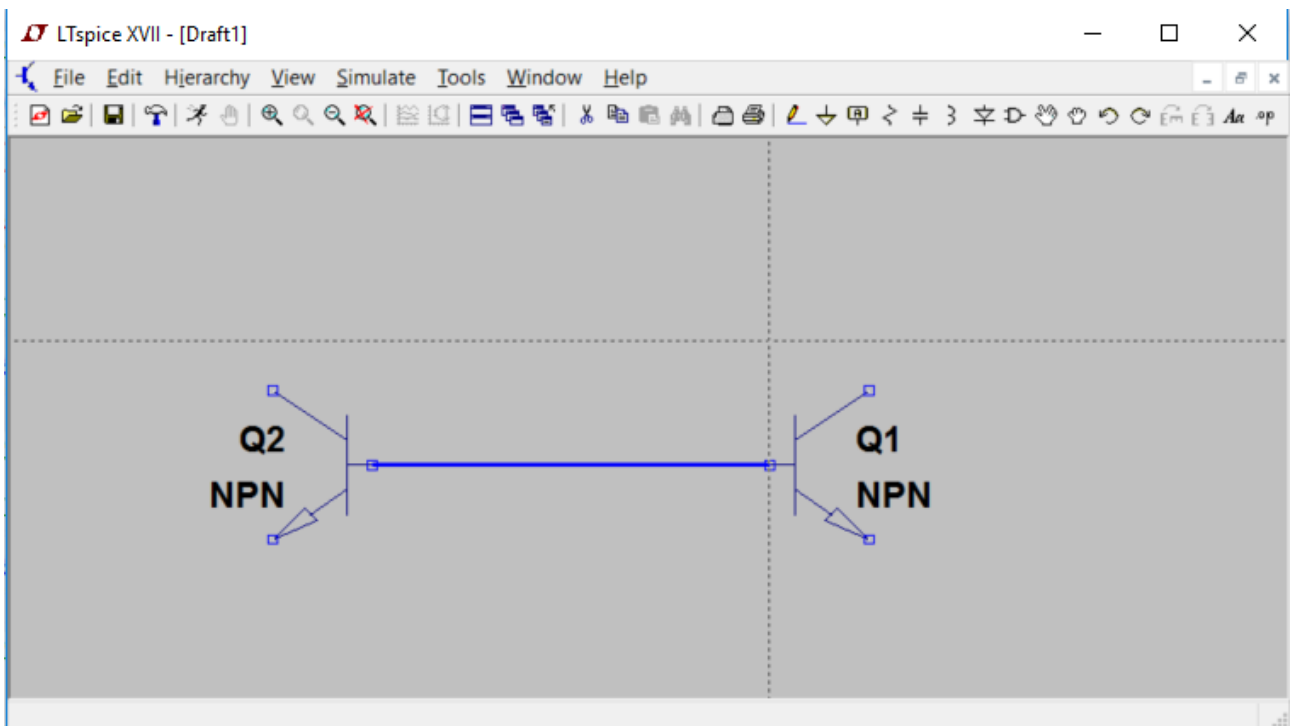


Figura A.6: LT Spice - Interconectarea componentelor (după).

A.2.2 Elemente de circuit

Mai departe vor fi prezentate pe scurt doar dispozitivele pasive și active utilizate în simulările propuse în cadrul acestui laborator. Modificarea parametrilor dispozitivelor pasive se realizează astfel:

1. Se selectează componenta respectivă,
2. Se vizualizează și editează lista parametrilor folosind *Right Click*(se observă în Figura A.7 și în Figura A.8),
3. Se modifică în mod corespunzător parametrii doriți.

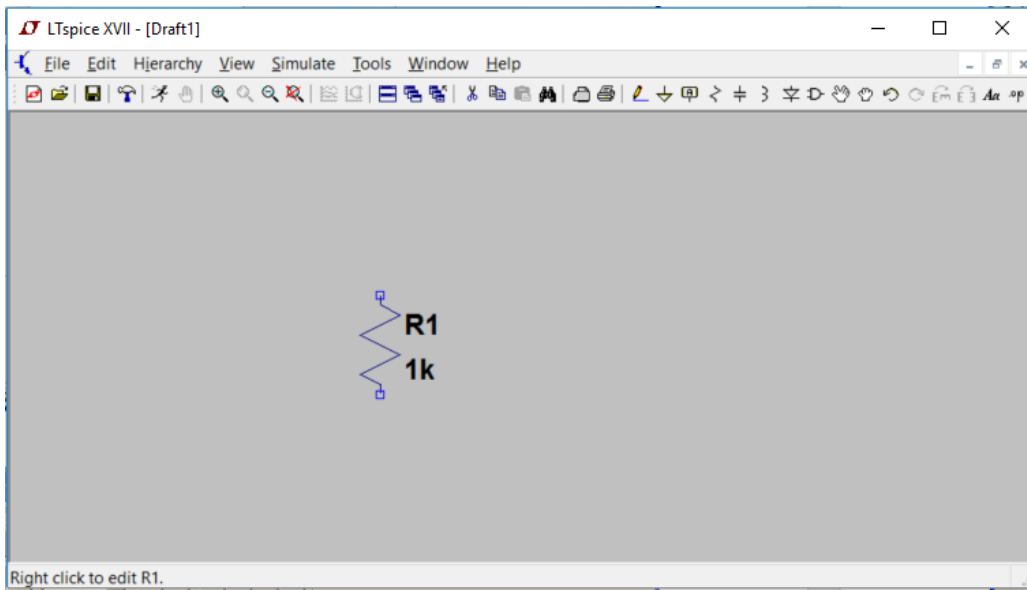


Figura A.7: LT Spice - Vizualizarea parametrilor unei rezistențe.

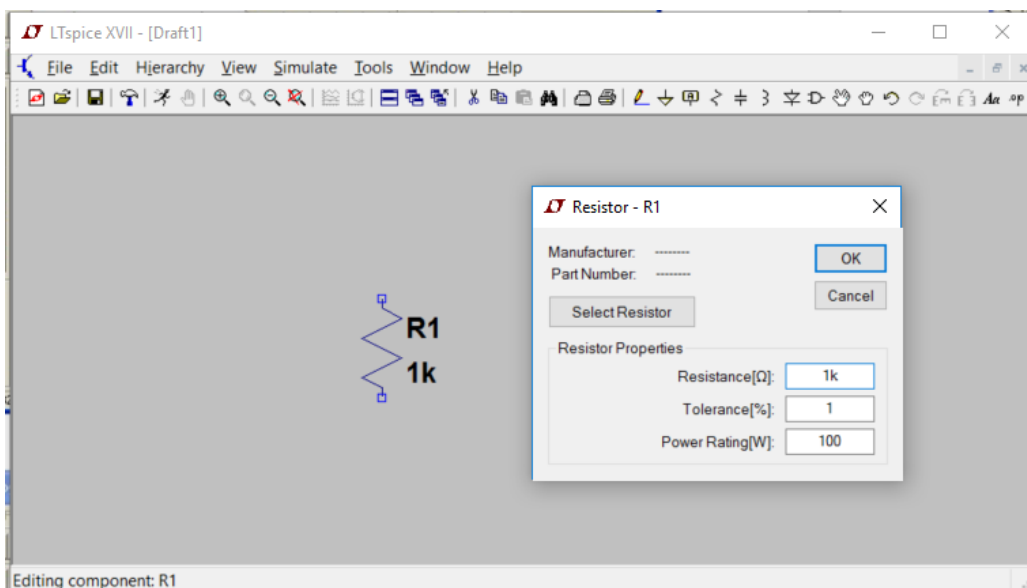


Figura A.8: LT Spice - Editarea parametrilor unei rezistențe.

A.2.2.1 Alegerea modelului componentei utilizate

Modificarea parametrilor de model ai dispozitivelor active se realizează astfel:

1. Se copiază biblioteca de 180nm, *log018.l*, în locația în care ați instalat LTSpice, de exemplu `C:\ProgramFiles\LTC\LTspiceXVII\lib\cmp` sau `C:\ProgramFiles\LTC\LTspiceIV\lib\cmp`, în funcție de versiunea de LTSpice instalată și de directorul de instalare.
2. Se deschide fișierul *log018.l* cu un editor de text și se înlocuiesc **TOATE** căile '`C:\ProgramFiles\LTC\LTspiceIV\lib\cmp\log018.l`' cu locația în care se află fișierul *log018.l* pe calculatorul de pe care rulați LTSpice.
3. Se adaugă o directivă SPICE în schemă folosind meniul *Edit · SPICE Directive* (se observă în Figura A.9),
4. Se adaugă comanda *.lib*, calea absolută până la fișierul *log018.l* și colțul tehnologic în care vom face simulările, e.g., *TT* (se observă în Figura A.10)
5. Se selectează componenta dorită (nmos4 pentru un tranzistor MOS cu canal *n* având 4 terminalele: S, D, G, B),
6. Se modifică în mod corespunzător parametrul *value* cu modelul declarat anterior (se observă în Figura A.11),
7. Se vizualizează și editează lista parametrilor folosind *CTRL+Right Click* (se observă în Figura A.12),

Mai multe informații legate de adăugarea unui model care nu se află deja în bibliotecile existente puteți găsi accesând urmatorul link: <http://www.linear.com/solutions/1083>.

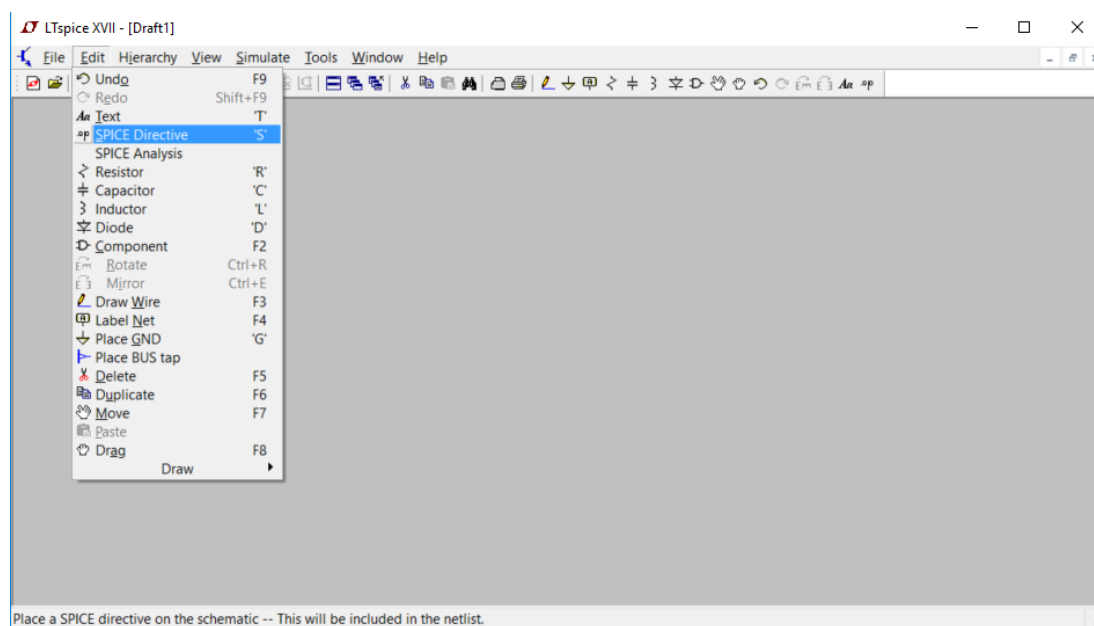


Figura A.9: LT Spice - Adăugarea unei directive SPICE.

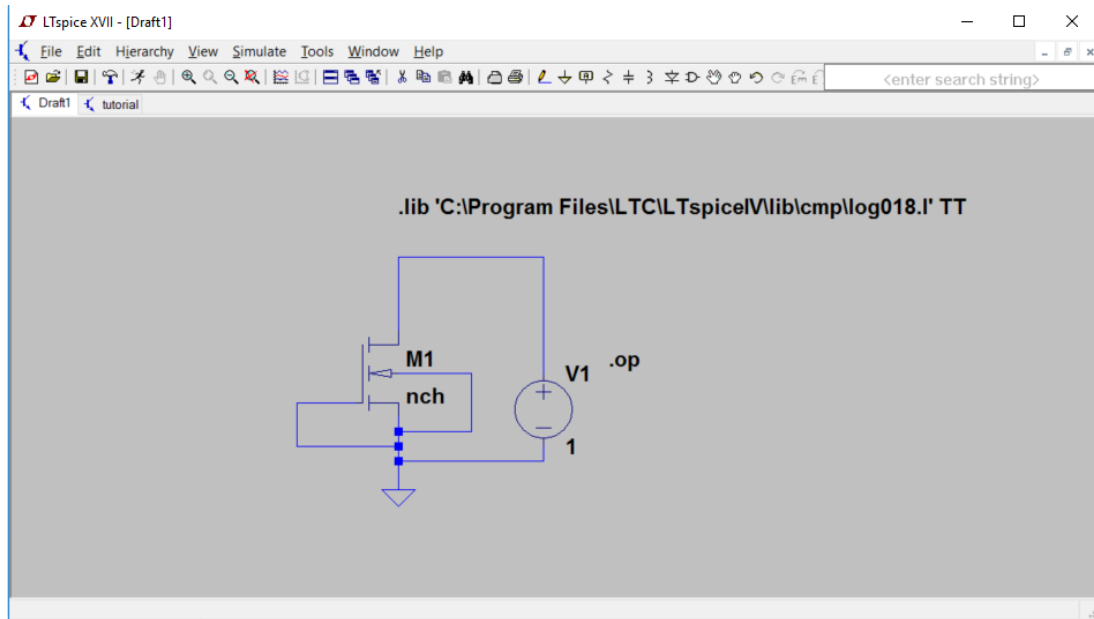


Figura A.10: LT Spice - Adăugarea unei directive SPICE pentru tehnologia de 180nm.

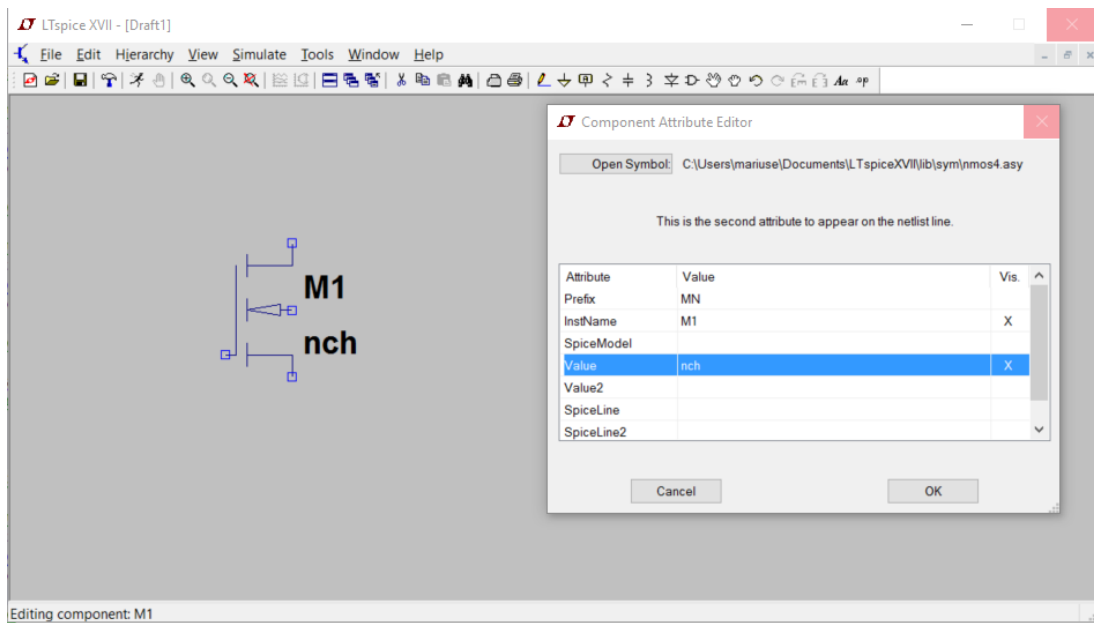


Figura A.11: LT Spice - Adăugarea unui model extern pentru tranzistorul nMOS.

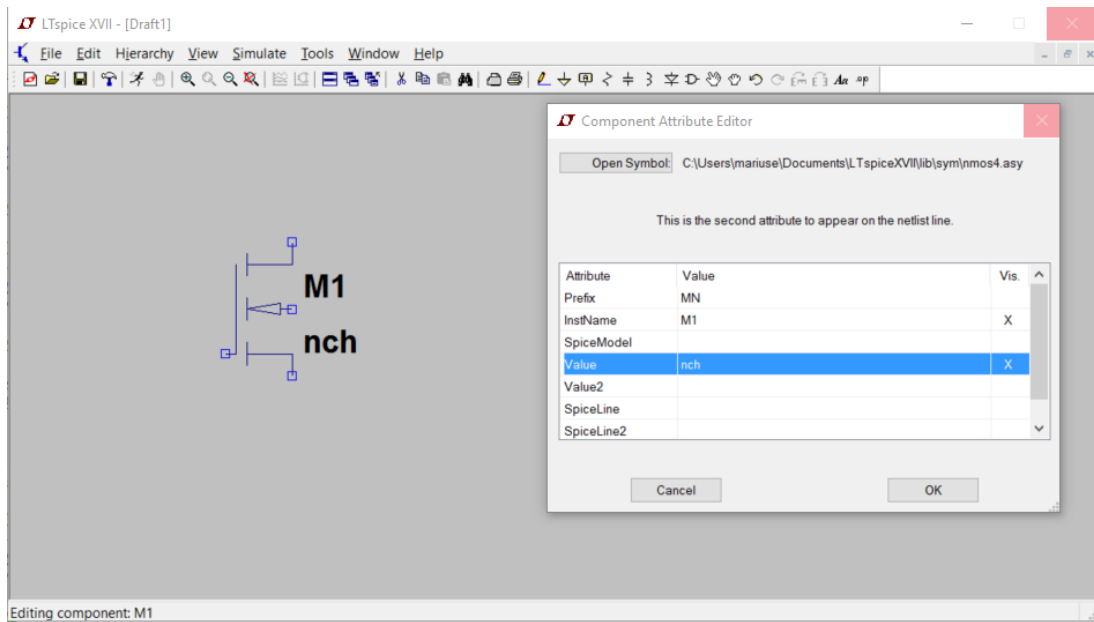


Figura A.12: LT Spice - Modificarea parametrilor W și L pentru tranzistorul nMOS.

A.2.2.2 Alegerea modelului pentru componentele existente din kit-ul LTSpice

În cazul tranzistoarelor bipolare, putem utiliza un model minimalist deja existent în kit-ul de instalare. Modificarea modelelor dispozitivelor existente deja se realizează astfel:

1. Se selectează componenta respectivă,
2. Se vizualizează proprietățile componenteii folosind *Right Click*,
3. Se accesează baza de date folosind *Pick New Transistor*, după care se alege componenta dorită, e.g., 2N2222 pentru un tranzistor bipolar npn (se observă în Figura A.13 și în Figura A.14).

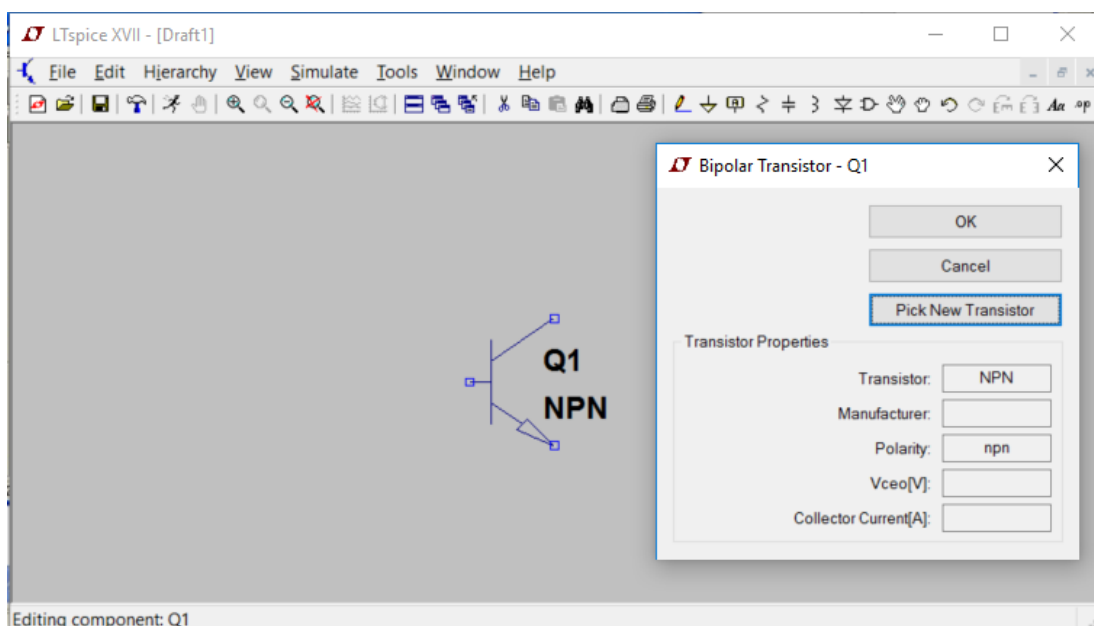


Figura A.13: LT Spice - Vizualizarea proprietăților unui tranzistor npn.

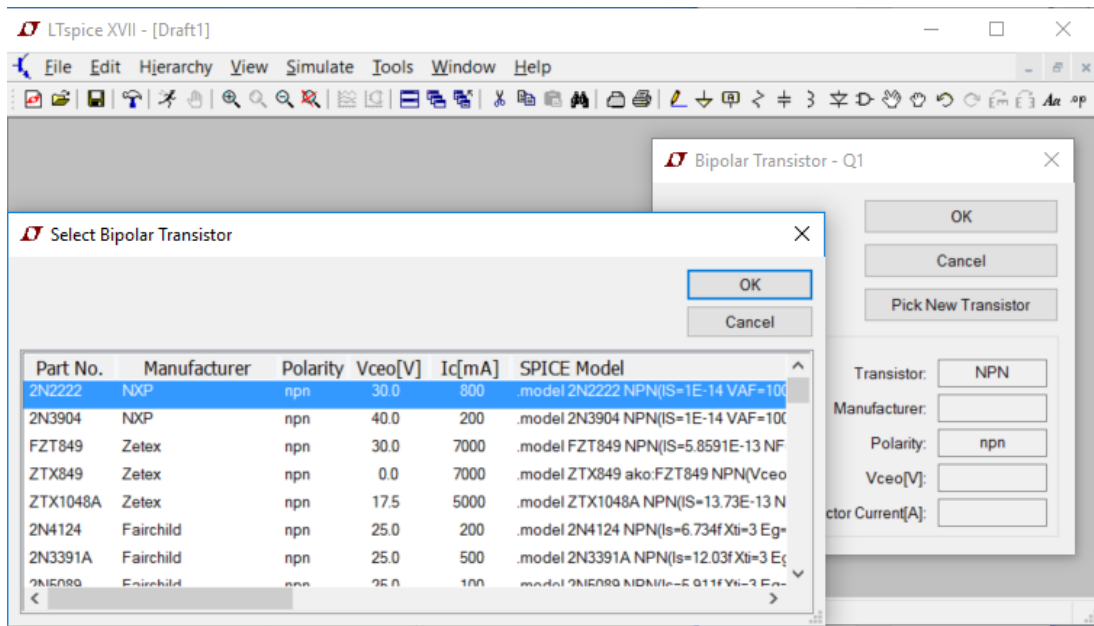


Figura A.14: LT Spice - Alegerea componentei dorite din lista de componente disponibile împreună cu kit-ul de instalare.

A.2.2.3 Modificarea parametrilor de model ai componentei utilizate

În cazul în care se dorește modificarea unui parametru din modelele deja existente, se poate edita modelul SPICE. De exemplu, modelul SPICE pentru tranzistorul bipolar 2N2222 se află în fișierul C:\ProgramFiles\LTC\LTspiceXVII (IV)\lib\cmp\standard.bjt (vezi Figura A.15).

A.2.2.4 Dispozitive pasive folosite în simulările aferente aplicațiilor

1. Rezistența

- (a) Simbol: *res*,
- (b) Parametru utilizat: *Resistance*,

2. Capacitor

- (a) Simbol: *cap*,
- (b) Parametru utilizat: *Capacitance*,

A.2.2.5 Dispozitive active folosite în simulările aferente aplicațiilor

1. Dioda

- (a) Simbol: *diode*,
- (b) Model utilizat: 1N4148,

2. Dioda Zener

- (a) Simbol: *zener*,
- (b) Model utilizat: 1N750 având coeficient de temperatură negativ,
- (c) Model utilizat: 1N958A având coeficient de temperatură pozitiv.

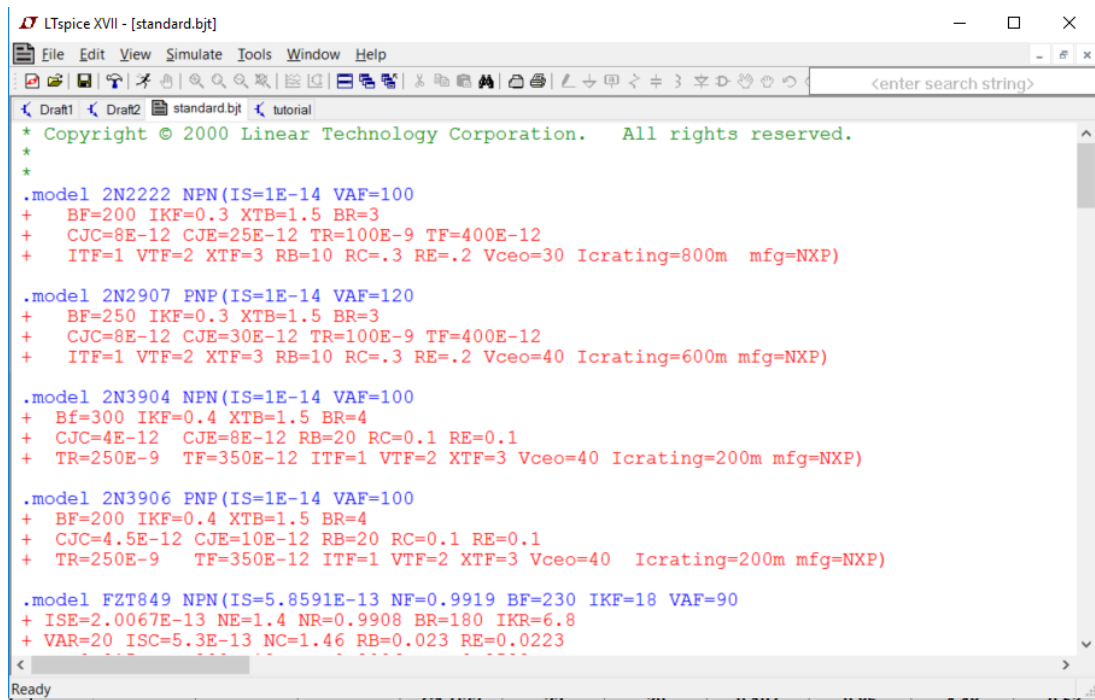


Figura A.15: LT Spice - Modificarea parametrilor de model pentru 2N2222.

Observație: Deoarece dioda 1N958a nu este disponibilă nativ în versiunea LTSpiceIV, este necesară adăugarea modelului acesteia. Se procedează astfel:

- (a) Se inserează o diodă *zener*,
- (b) Se adaugă modelul diodei folosind *Edit · SPICE Directive*,
- (c) Se modifică în mod corespunzător parametrul *value* cu modelul declarat anterior.

```

1 .model 1N958A D(
2 Is=2.077f
3 Rs=2.467
4 Ikf=0
5 N=1
6 Xti=3
7 Eg=1.11
8 Cjo=104p
9 M=.5061
10 Vj=.75
11 Fc=.5
12 Isr=1.645n
13 Nr=2
14 Bv=7.5
15 Ibv=.90645
16 Nbv=.39227
17 Ibv1=.5849n
18 Nbv1=1.5122
19 Tbv1=533.33u)
20 *Motorola pid=1N958A case=D0-35
21 *89-9-18 gjg
22 *Vz=7.5@16.5mA, Zz=12.5@1mA, Zz=5.3@5mA, Zz=2.3@20mA
23 *$

```

3. Tranzistoare bipolare *npn*

- (a) Simbol: *npn*,
- (b) Model utilizat: 2N2222,
- (c) Parametri utilizați: *Vaf* - tensiune Early și *Is* - curent de saturație.

4. Tranzistoare bipolare *pnp*
 - (a) Simbol: *pnp*,
 - (b) Model utilizat: 1N2907,
 - (c) Parametri utilizați: V_{af} - tensiune Early și I_s - curent de saturație.
5. Tranzistoare MOS cu canal *n*
 - (a) Simbol: *nmos4*,
 - (b) Model utilizat: *nch*,
 - (c) Parametri utilizați: W/L - factor de aspect, V_{th0} - tensiunea de prag și R_{ds} - rezistența *Drena-Sursa*.
6. Tranzistoare MOS cu canal *p*
 - (a) Simbol: *pmos4*,
 - (b) Model utilizat: *nch*,
 - (c) Parametri utilizați: W/L - factor de aspect, V_{th0} - tensiunea de prag și R_{ds} - rezistența *Drena-Sursa*.
7. Amplificatorul operațional LT1001, care este urmașul vestitului $\mu a741$, păstrând practic același *package*.
 - (a) Simbol: LT1001.

A.2.2.6 Surse de curent și de tensiune

1. Sursa de tensiune
 - (a) Simbolul: *voltage*,
 - (b) Parametrul *DC* utilizat: *DC Value*,
 - (c) Parametrii *AC* sau *Tran* utilizați:
 - i. Se accesează meniul *Advanced*,
 - ii. Se modifică parametrii *DC*, *AC*, *Functions* pentru a genera un semnal variabil în timp, sau o combinație între moduri, în funcție de analiza dorită, e.g., *DC* împreună cu *AC* pentru o analiză *AC* care va fi discutată ulterior (se observă în Figura A.16).
 - (d) Alți parametri utilizați în cazul în care îi atribuim funcția *SINE*
 - i. Tensiunea de offset sau componenta de curent continuu (*DC Offset* sau *Voffset* dacă se declară în linia de comandă) - în majoritatea cazurilor o alegem nulă.
 - ii. Amplitudinea tensiunii sinusoidale (*Amplitude* sau *Vamp* dacă se declară în linia de comandă),
 - iii. Frecvența tensiunii sinusoidale (*Freq*).
 - (e) Alți parametri utilizați în cazul în care îi atribuim funcția *PWL*
 - i. Parametrii utilizați: $t1, v1, t2, v2, tn, vn$ - fiecare pereche definește un punct pe diagrama amplitudine-timp. Se pot obține, de exemplu, caracteristici de tip triunghiular sau aproximativ dreptunghiular.
 - (f) Alți parametri utilizați în cazul în care considerăm o analiză *AC*:

- i. Amplitudinea semnalului - această valoare trebuie să fie nenulă, cel mai adesea alegându-se valoarea 1 pentru simplitate - *AC Amplitude*,
- ii. Faza semnalului - *AC Phase*.

2. Sursa de curent

- (a) Simbolul: *current*,
- (b) Parametrul *DC* utilizat: *DC Value*,
- (c) Parametrii *AC* sau *Tran* utilizați:
 - i. Se accesează meniul *Advanced*,
 - ii. Se modifică parametrii *DC*, *AC*, *Functions* pentru a genera un semnal variabil în timp.

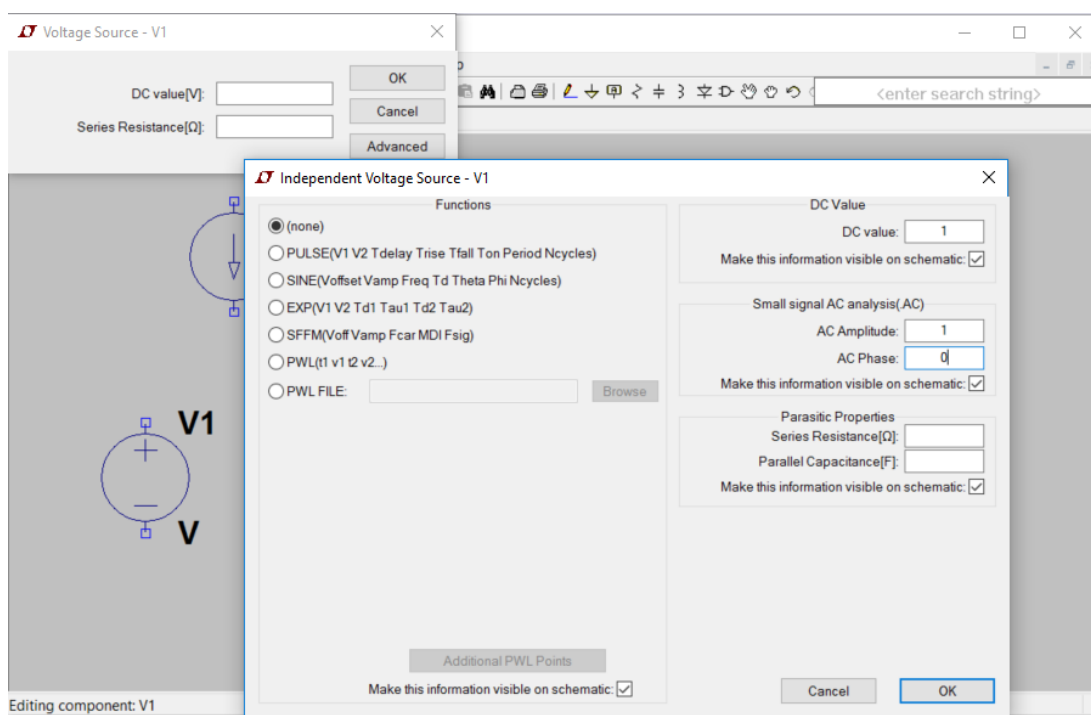


Figura A.16: LT Spice - Editarea parametrilor unei surse de tensiune.

A.2.3 Tipuri de analiză de circuit

Studiul comportamentului circuitului este posibil prin solicitarea unui număr relativ restrâns de analize, limitat la necesitățile legate strict de exemplele prezentate.

A.2.4 Elemente obligatorii

Rularea cu succes a unei analize impune existența câtorva elemente (se observă în Figura A.17):

1. Definirea unui punct de masă al circuitului, *GND*, pe care îl găsiți în meniul *Edit*,
2. Alimentarea circuitului.

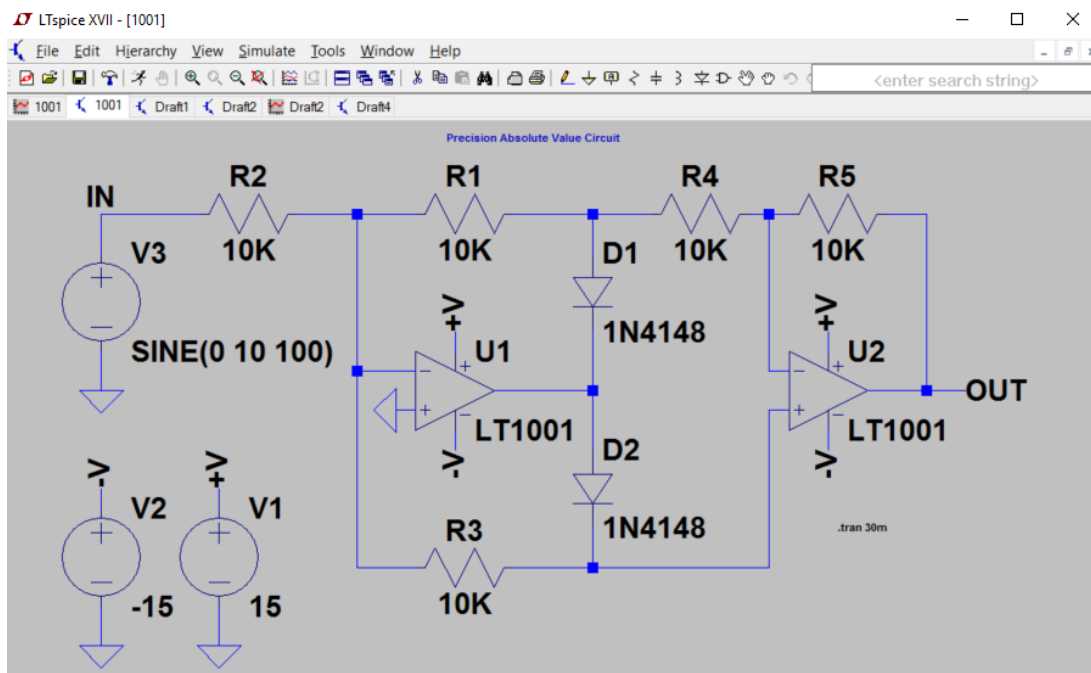


Figura A.17: LT Spice - Exemplu schema completă pregătită de simulare.

A.2.5 Analiza DC

Permite baleierea unui domeniu specificat al următoarelor variabile și vizualizarea semnalului de ieșire pentru acest domeniu de variație:

1. Valoarea de curent continuu a unei surse de tensiune sau a unei surse de curent;
2. Valoarea temperaturii;
3. Valoarea unui parametru de model sau global.

După finalizarea desenării schemei din Figura A.18, analiza *DC* se poate activa din meniul *Edit · SPICE Analysis · DC sweep* cu următoarele opțiuni (vezi Figura A.19):

1. Name of 1st Source to Sweep: Vgsn;
2. Type of Sweep: Linear;
3. Start Value: 0;
4. Stop Value: 1.8;
5. Increment: 0.02.

Pentru a începe simularea se folosește comanda *Run* din meniul *Simulate* (urmăriți săgeata neagră din Figura A.18).

A.2.6 Afișarea rezultatelor de simulare

Putem identifica o simulare care se termină cu succes atunci când într-o nouă fereastră se deschide un fișier cu extensia *.raw*. Toți curenții și toate tensiunile sunt salvate în acest fișier *.raw*. Pentru vizualizarea formelor de undă, se utilizează comanda *Right Click* în fereastra nou deschisă, după care selectăm *Add Traces* (vezi Figura A.20). Pentru a adăuga un nou

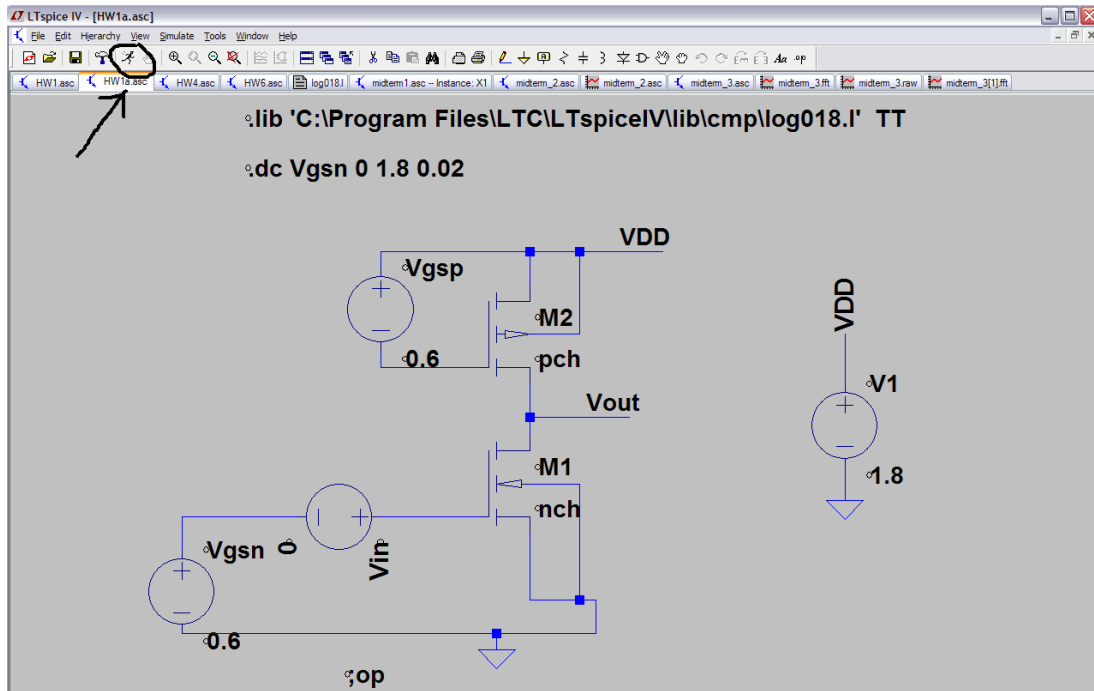


Figura A.18: LT Spice - Exemplu schema completă pregătită de simulare.

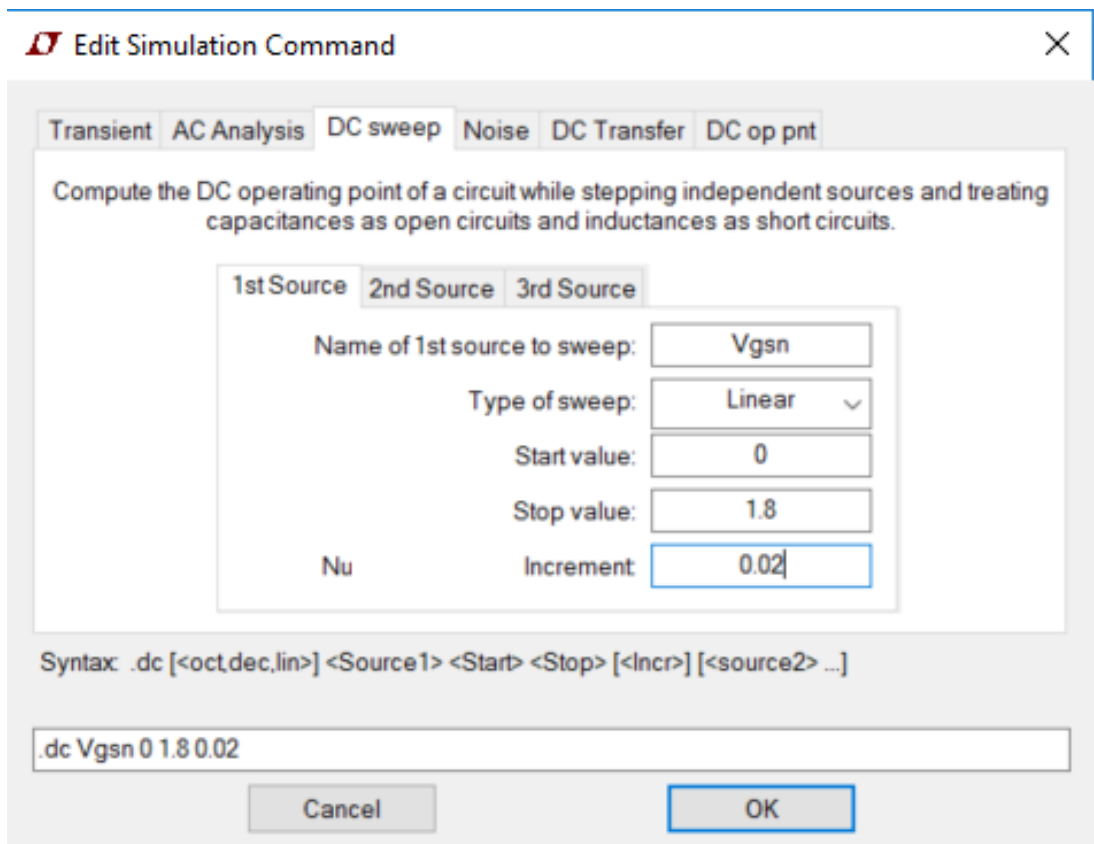


Figura A.19: LT Spice - Editare analiza DC.

semnal, se utilizează comanda *Right Click* în fereastră, după care *Add Trace*. Pentru a calcula derivata unui semnal, se folosește $d(\text{semnal})$. Lista completă a funcțiilor matematice se găsește în meniul *Help·Help Topics·Waveform Arithmetic*.

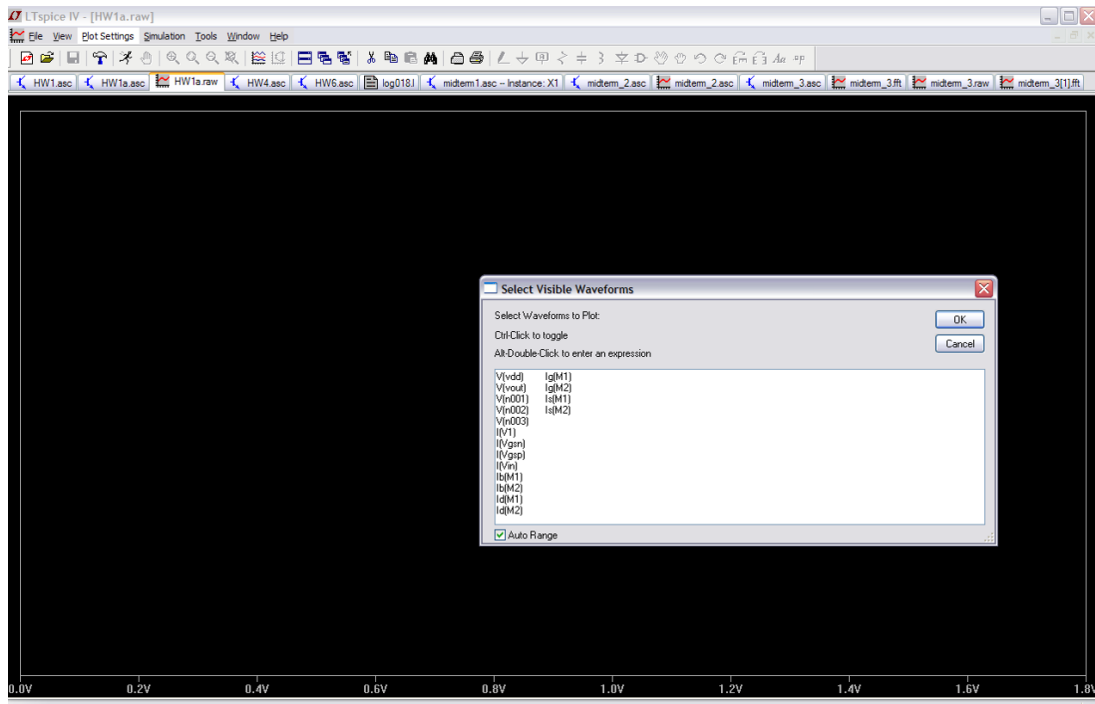


Figura A.20: LT Spice - Vizualizarea formelor de undă.

A.2.7 Analiza DC .OP (en. operating point)

Folosind această analiză, putem calcula punctul static de funcționare al circuitului (*PSF* sau *DC Operating Point*). Analiza *OP* se poate activa din meniul *Edit · SPICE Analysis · DC op pnt*. Putem identifica o simulare care s-a terminat cu succes atunci când se deschide o fereastră în care sunt afișați toți curenții și toate tensiunile din circuit (vezi Figura A.21).

În cazul în care ne interesează să afișăm o anumită tensiune din schema noastră, pe circuit, se acționează *Right Click · Place .op Data Label* după care selectăm conexiunea dorită (vezi Figura A.22). Pentru o vizualizare detaliată a *PSF*-ului pentru tranzistoare, accesăm meniul *View · SPICE Error Log*.

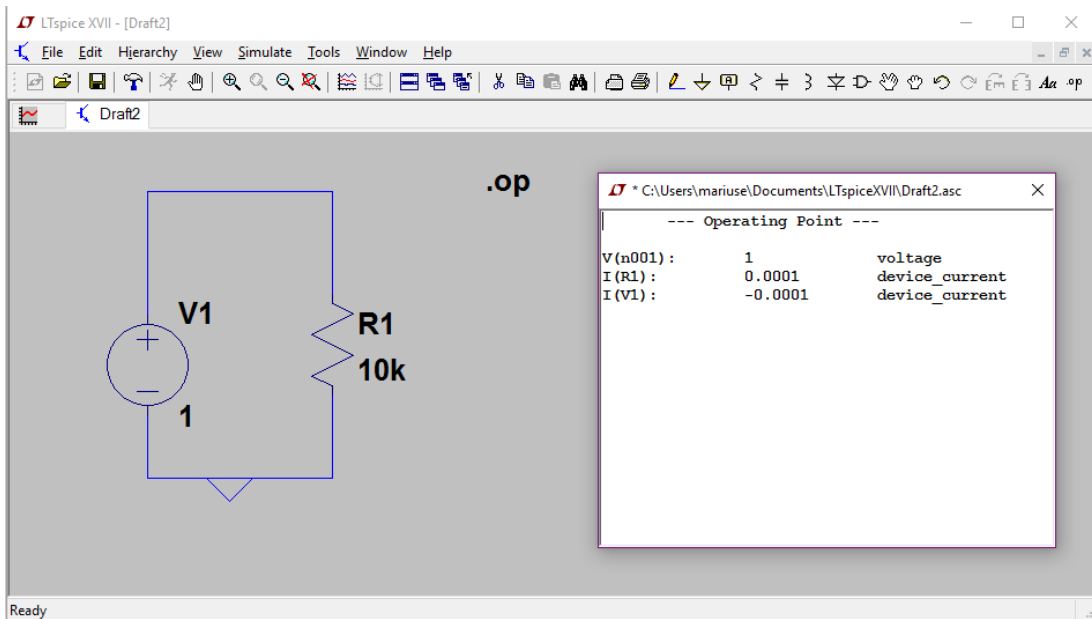


Figura A.21: LT Spice - Punctul static de functionare.

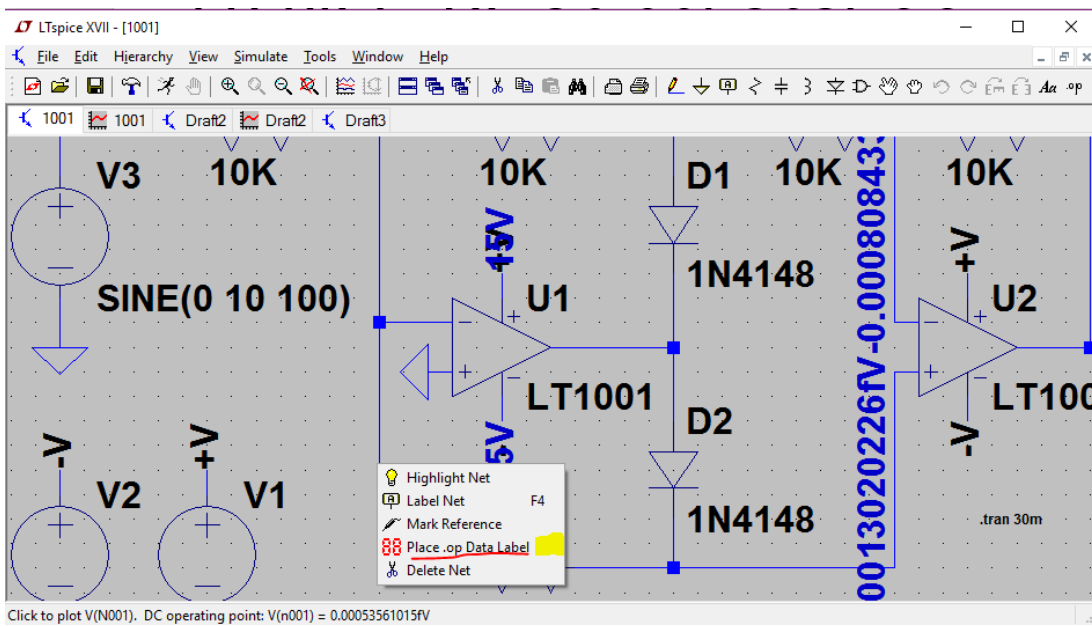


Figura A.22: LT Spice - Afișarea unei tensiune in schemă.

A.2.8 Raspunsul în frecventa - Analiza AC

Permite vizualizarea răspunsului în frecvență al unui circuit pentru un domeniu fixat de frecvență. Ca exemplu, vom utiliza circuitul ilustrat în Figura A.23. Circuitul este compus din 3 componente, i.e., 2 rezistente și un amplificator operational de tipul *LT1001*, în configurație de amplificator neinversor având câștigul 100. Așa cum se poate observa în Figura A.23, atât nodul de intrare cât și cel de ieșire au atribuie nume sugestive (*label - F4*), *vIN* și *vOUT*.

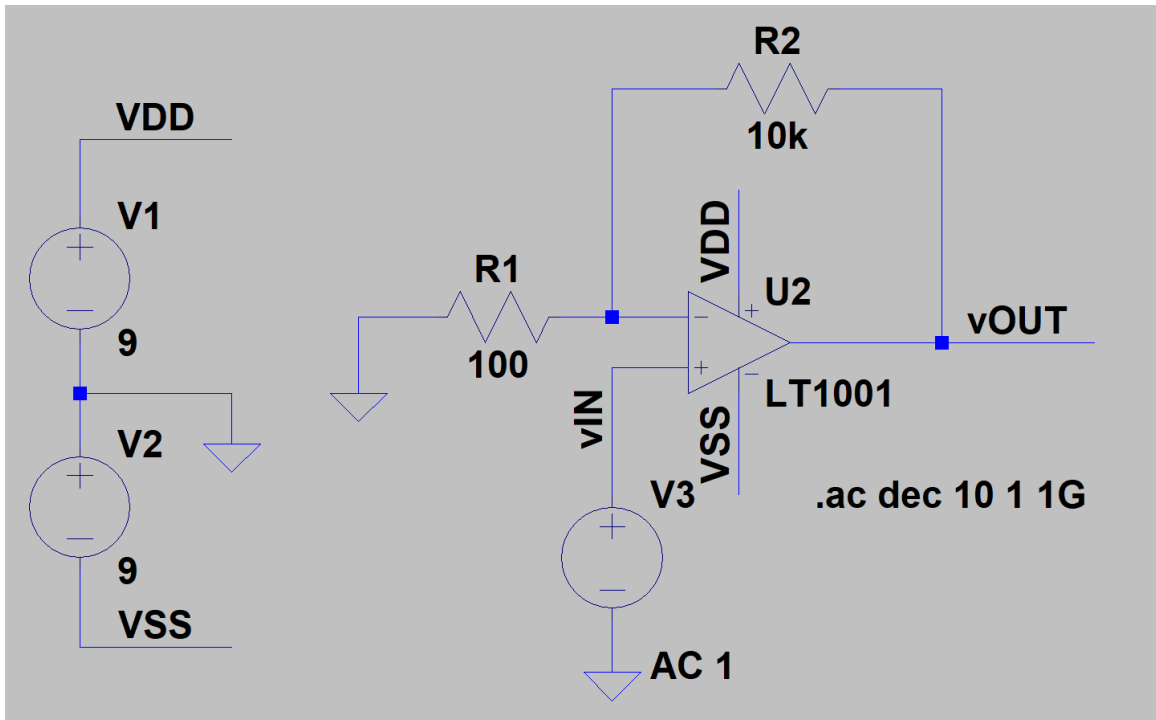


Figura A.23: LT Spice - Simularea AC a unui amplificator neinversor.

Pentru a putea realiza o analiză *AC*, este necesar ca la primul pas să aplicăm un semnal *AC* unei surse din circuit, în cazul nostru *V3* astfel: *Right Click* pe sursă *V3*, selectăm modul *Advanced*, după care atribuim parametrului *AC Amplitude* valoarea 1 (vezi Figura A.24). Al doilea pas este să activăm analiza *AC* (*Edit · SPICE Analysis · AC analysis*) folosind următorii parametri (vezi Figura A.25):

1. Type of Sweep: Decade;
2. Number of points per decade: 10;
3. Start Frequency: 1 Hz;
4. Stop Frequency: 1 GHz.

Dupa pornirea simulării din meniul *Simulate* → *Run* și finalizarea acesteia utilizatorul este întrebat ce forma de undă este interesat să afișeze pe osciloscopul virtual. *Observatie:* Tensiunile se pot afișa într-un punct specific al circuitului, iar curenții se pot afișa printr-o componentă a circuitului, e.g., *R1*, *R2*.

Nota: Este important să realizăm că aproape toate programele de simulare *SPICE* folosesc o sintaxă care determină o valoare pozitivă a curenților atunci când intra într-o componentă. Direcția curentului este foarte greu de identificat în *LT Spice*.

Datorită etichetării interconexiunilor din circuit, este foarte ușor să identificăm forma de undă care corespunde ieșirii. Pentru a tipări ieșirea, alegem *V(vOUT)* după care apăsăm *OK*. Prin această comandă am ilustrat amplitudinea și faza semnalului de la ieșire.

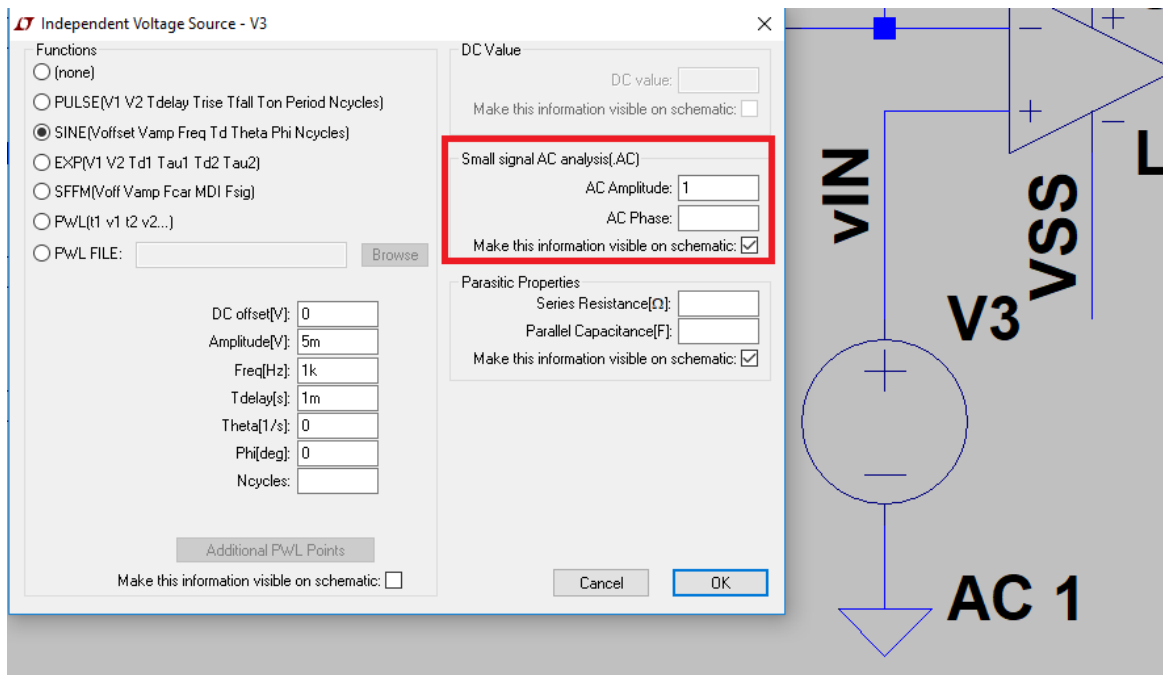


Figura A.24: LT Spice - Editarea sursei V3.

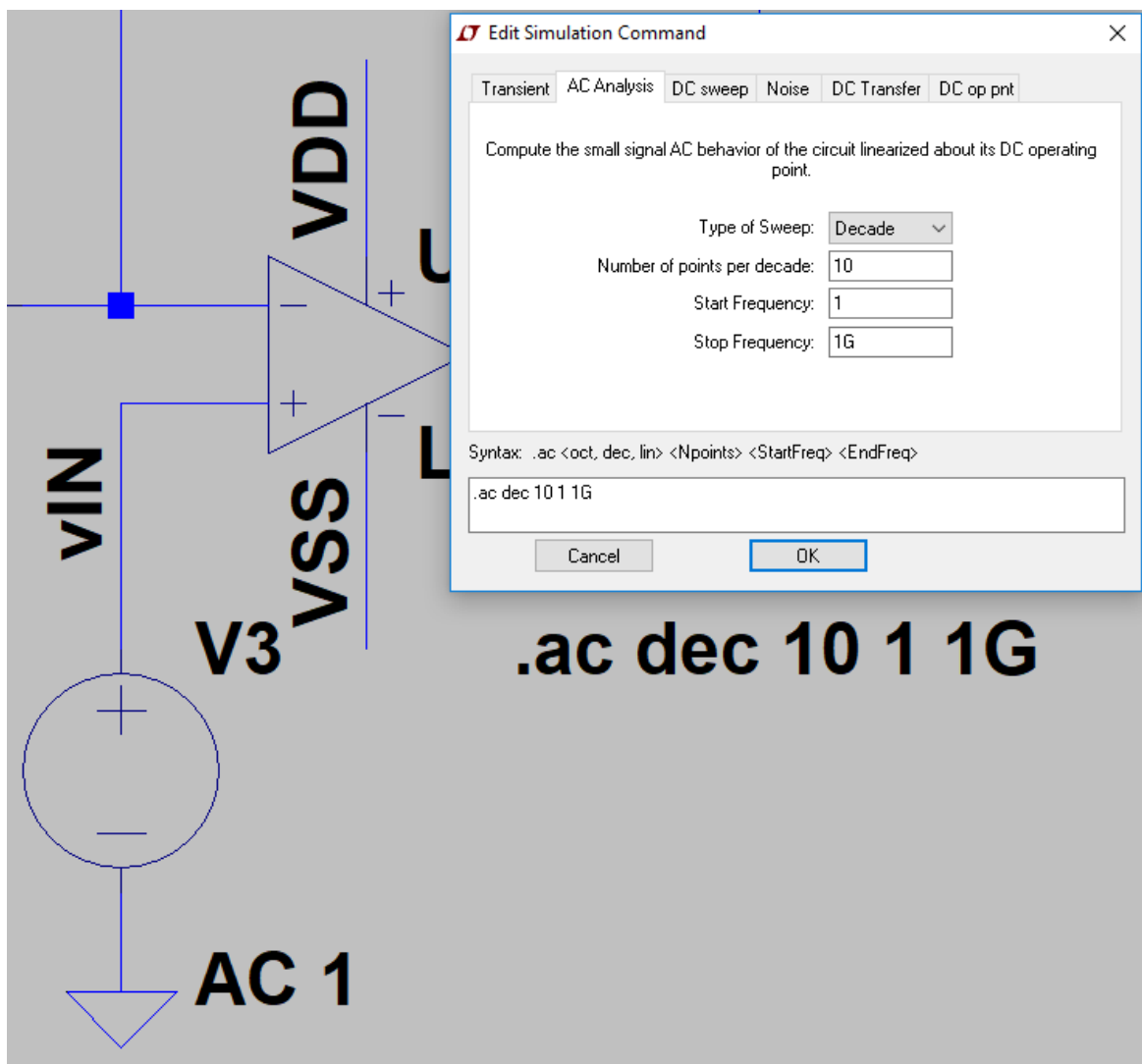


Figura A.25: LT Spice - Pornirea unei simulari AC.

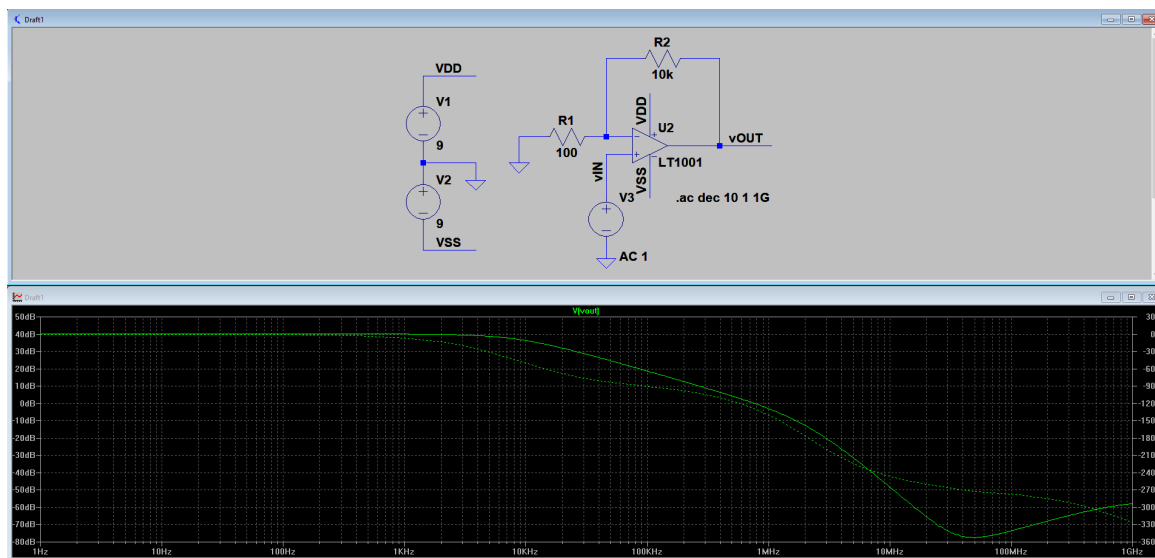


Figura A.26: LT Spice - Rezultatul unei simulari AC.

Figura A.26 ilustreaza faptul ca rezultatul unei simulari *AC* este un raspuns in frecventa - foarte asemanator cu diagrama bode. Analizand doar amplitudinea ne putem da seama ca castigul acestei configuratii este de ≈ 40 dB.

Observatie: Este posibil la orice moment sa stergem sau sa adaugam oricate forme de unda fara a re-simula. Acest lucru este posibil deoarece *LT-Spice* stocheaza toate tensiunile si curentii din circuit la setarile *Default*.

Tips: Daca atunci cand vrem sa adaugam o tensiune sau un curent pe grafic o putem face prin comanda $1 \times \textit{Left Click}$, atunci cand vrem ca pe grafic sa ramana doar ultimul semnal pe care il adaugam folosind comanda $2 \times \textit{Left Click}$.

Pentru a preveni afisarea fazei, utilizam comanda $2 \times \textit{Left Click}$ pe axa din dreapta, dupa care alegem optiunea *Don't plot phase*.

Pentru a determina frecventa de 3 dB folosim comanda $2 \times \textit{Left Click}$ pe $V(vOUT)$. Aceasta comanda deschide o fereastră cu si aplica un *marker* pe semnalul de interes. Prin mutarea *marker*-ului este posibil sa avem o masuratoare cu o acuratete foarte buna.

O analiza *AC* este o analiza de semnal mic. Acest lucru inseamna ca simulatorul genereaza un model liniar pentru toate componentele neliniare si le foloseste in aceasta analiza. Ca exemplu, putem considera un amplificator alimentat la 12 V. Atunci cand un circuit este alimentat la 12 V, in general nu poate genera o tensiune de iesire care depaseste tensiunea de alimentare. Daca amplificatorul nostru are un castig de 10, atunci orice semnal aplicat la intrare mai mare de 1.2 V va trimite semnalul de iesire in *clipping* - limitare la tensiunea de alimentare. Datorile liniarizarii de semnal mic, acest fenomen nu se poate identifica intr-o analiza *AC*. In cazul acestei analize, pentru un semnal de intrare de 100 V, semnalul de iesire va deveni 1 kV. Este clar ca nu se poate intampla acest lucru, prin urmare este necesara o analiza tranzitorie.

A.2.9 Analiza Tranzitorie

Pentru a determina daca fenomenul de *clipping* a aparut la semnalul de iesire a circuitului si pentru a evalua neliniaritatile avem nevoie de o analiza tranzitorie. Analiza tranzitorie este o analiza de semnal mare care ia in considerare neliniaritatile si permite vizualizarea evoluției în timp a unui circuit. Este la fel de usor sa configuram o analiza tranzitorie ca analiza *AC* prezentata anterior. Pentru a ilustra comportarea tranzitorie in Figura ?? este prezentat acelasi amplificator inversor ca la analiza *AC*.

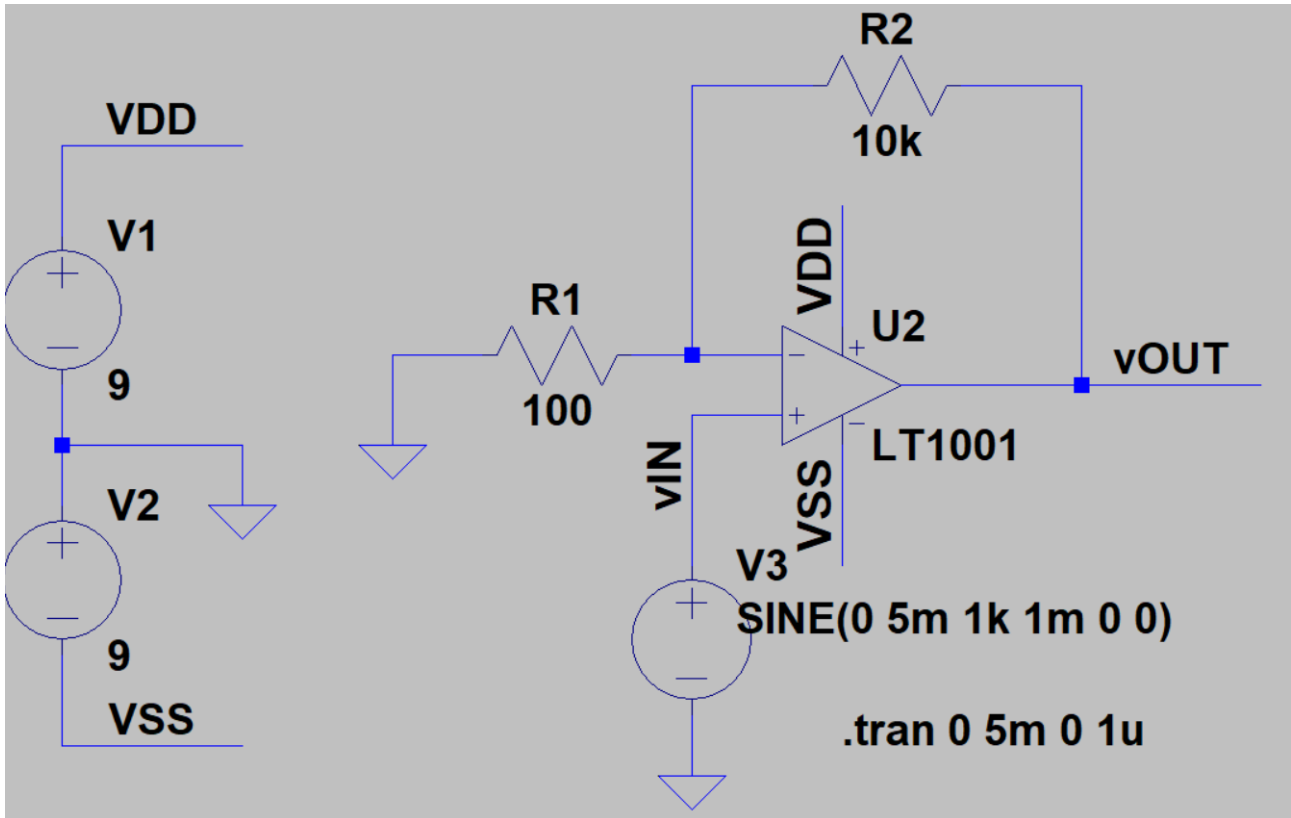


Figura A.27: LT Spice - Analiza tranzitorie a unui amplificator neinversor.

Pentru a putea realiza o analiză *Tranzitorie* este necesar ca la primul pas să aplicăm un semnal variabil în timp, e.g., *SINE*, unei surse din circuit, în cazul nostru *V3*, astfel: *Right Click* pe sursă *V3*, selectăm modul *Advanced · SINE*, după care atribuim parametrului *DC Offset* valoarea 0, parametrului *Amplitude* valoarea 5m și frecvenței *Freq* valoarea 1k (vezi Figura A.28). *Observatie:* Nu utilizați unitati de masura atunci cand completati parametrii sursei *V3*. Al doilea pas este să activăm analiza *Transient* (*Edit · SPICE Analysis · Transient analysis*), după care să edităm parametrul *Stop Time* (vezi Figura A.29), alocându-i acestuia o valoare convenabil aleasă, astfel încât să putem vizualiza cel puțin 4 perioade ale semnalului de intrare. Rezultatul simulării tranzitorie este prezentat in Figura A.30 unde sunt incluse atat semnalul de intrare cat si cel de iesire.

Analizand Figura A.30, observam functia de amplificare a semnalului de intrare.

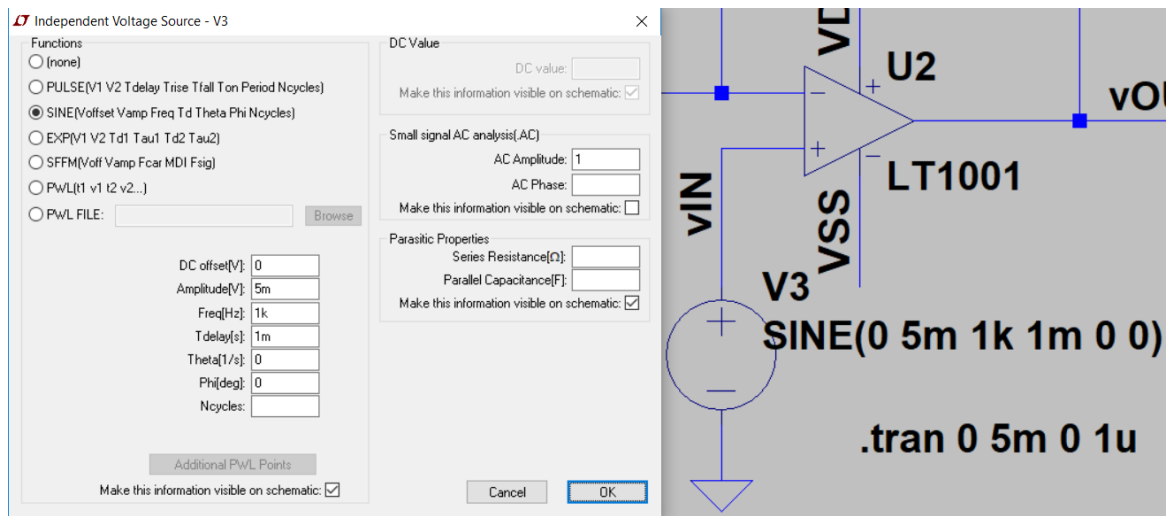


Figura A.28: LT Spice - Editarea sursei V3.

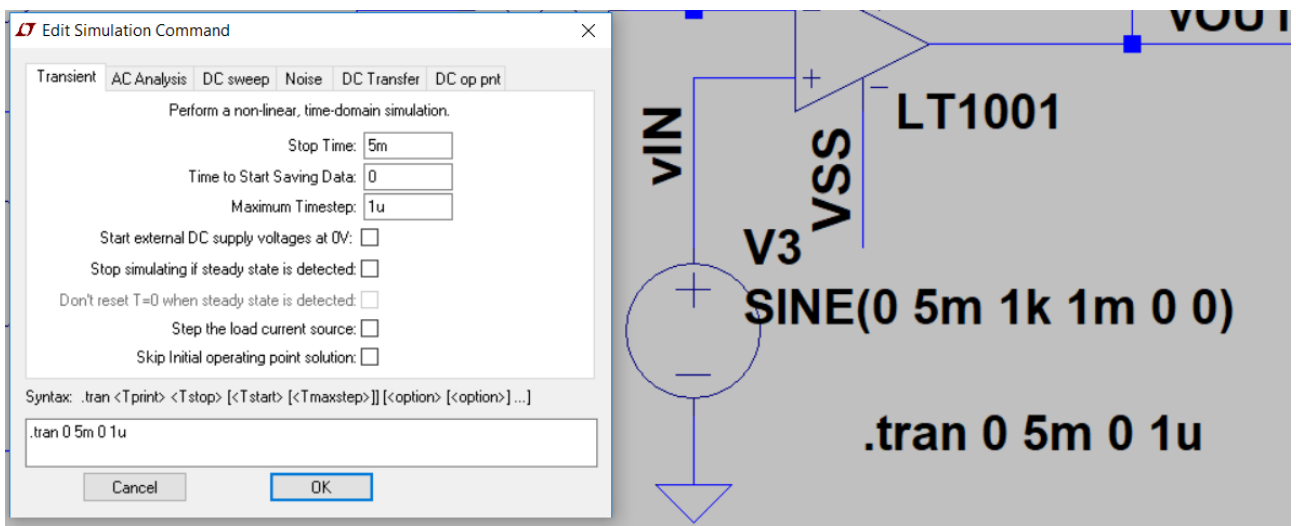


Figura A.29: LT Spice - Pornirea unei simulari Transient.

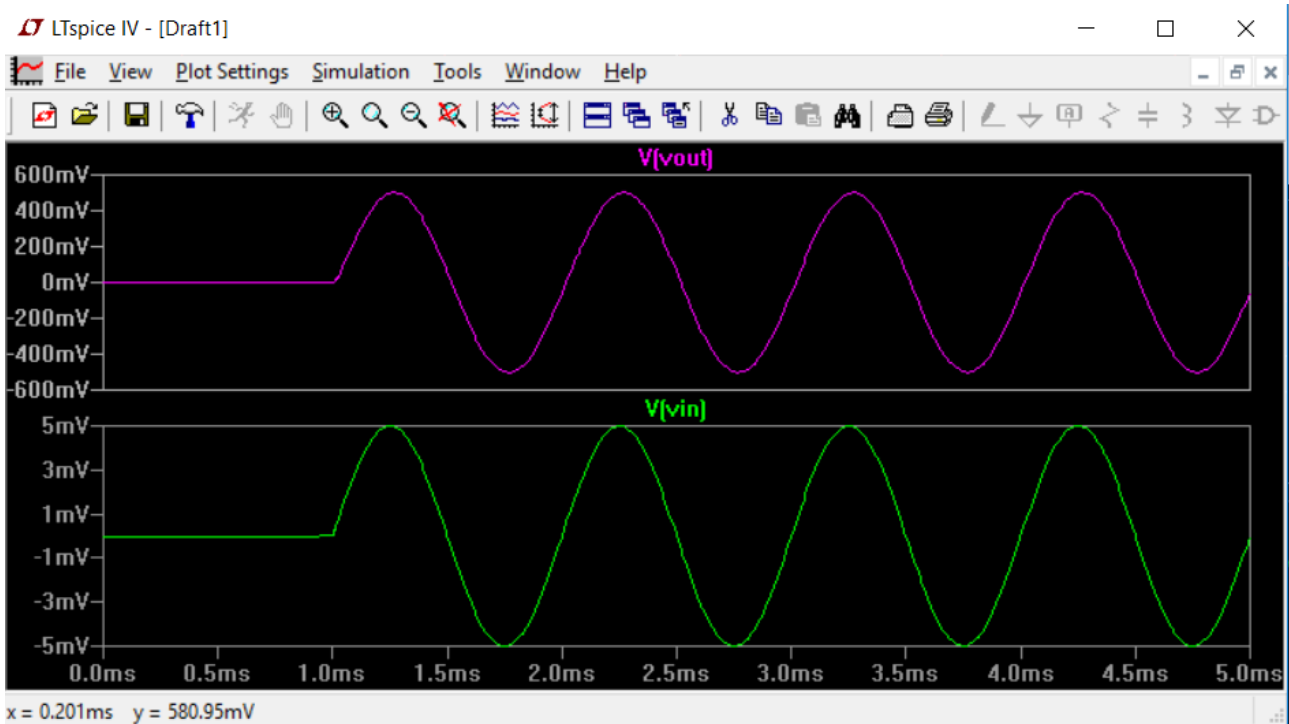


Figura A.30: LT Spice - Rezultatul unei simulari Transient.

A.2.10 Analiza Parametrică

Această analiză este utilizată pentru a atribui mai multe valori unei variabile din circuit, astfel:

1. *Right Click* pe sursa $V1$, selectăm modul *Advanced*, după care atribuim parametru-
lui *Amplitude* valoarea V_{in} , restul parametrilor rămânând identici cu cei de la analiza
Transient (vezi Figura A.31),
2. adăugam *SPICE directive*: `.param V_{in} 1V`,
3. adăugam *SPICE directive*: `.step param V_{in} list V_1 V_2 V_3 ... V_N` .

Pentru alte tipuri de analize parametrice, vizitați meniul *Help · Help Topics · .STEP*.

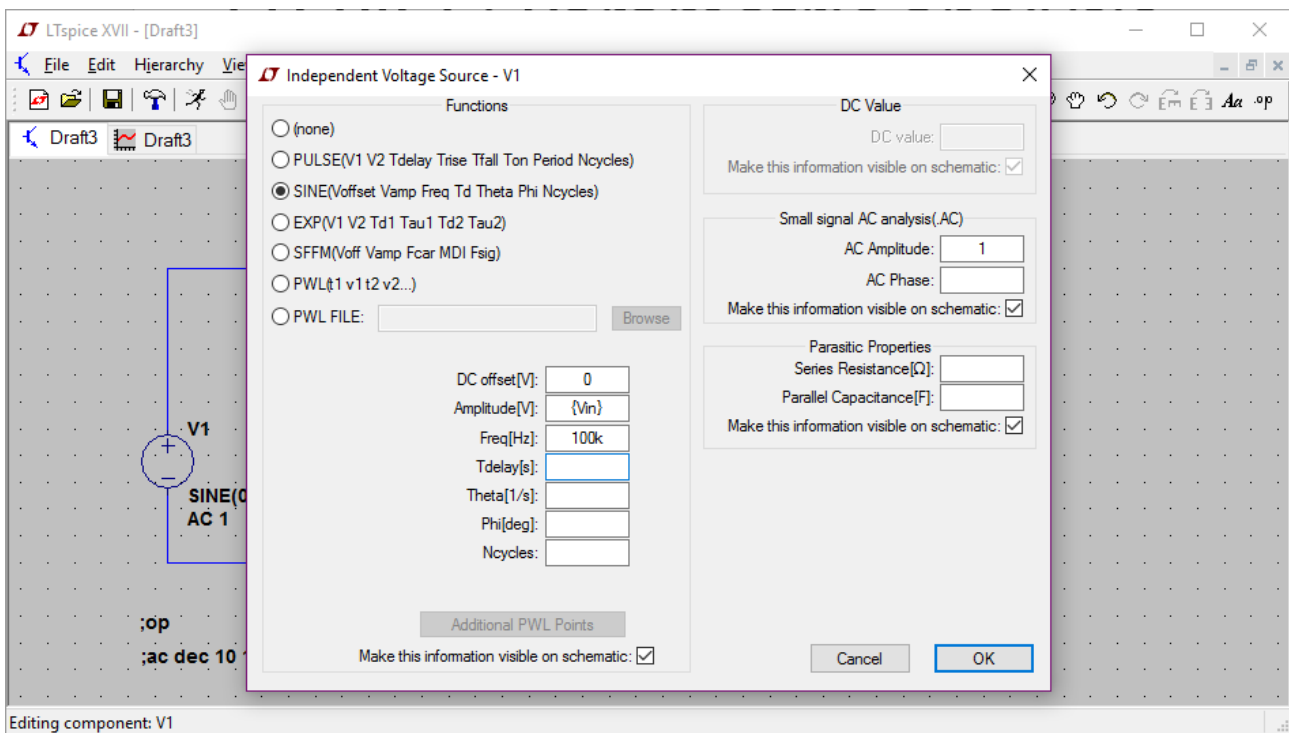


Figura A.31: LT Spice - Editarea sursei V1.

A.2.11 Exemplu: Amplificatorul inversor

Se consideră circuitul din Figura A.32, $V1$, $V2$, $V3$ fiind de tipul *voltage*, iar amplificatorul operațional de tipul *LT1001*. Se realizează o analiză *DC* de variabilă $V1$, pentru un domeniu de variație a acesteia cuprins între $-2.5V$ și $2.5V$, cu un pas de $10mV$. Dependența tensiunii de ieșire în funcție de tensiunea de intrare va avea forma din Figura A.33. Analiza parametrică *DC* se poate extinde adăugând ca parametru și valoarea rezistenței $R1$ (vezi Figura A.32). Dependența tensiunii de ieșire în funcție de $V1$ și de $R1$ va avea forma din Figura A.34.

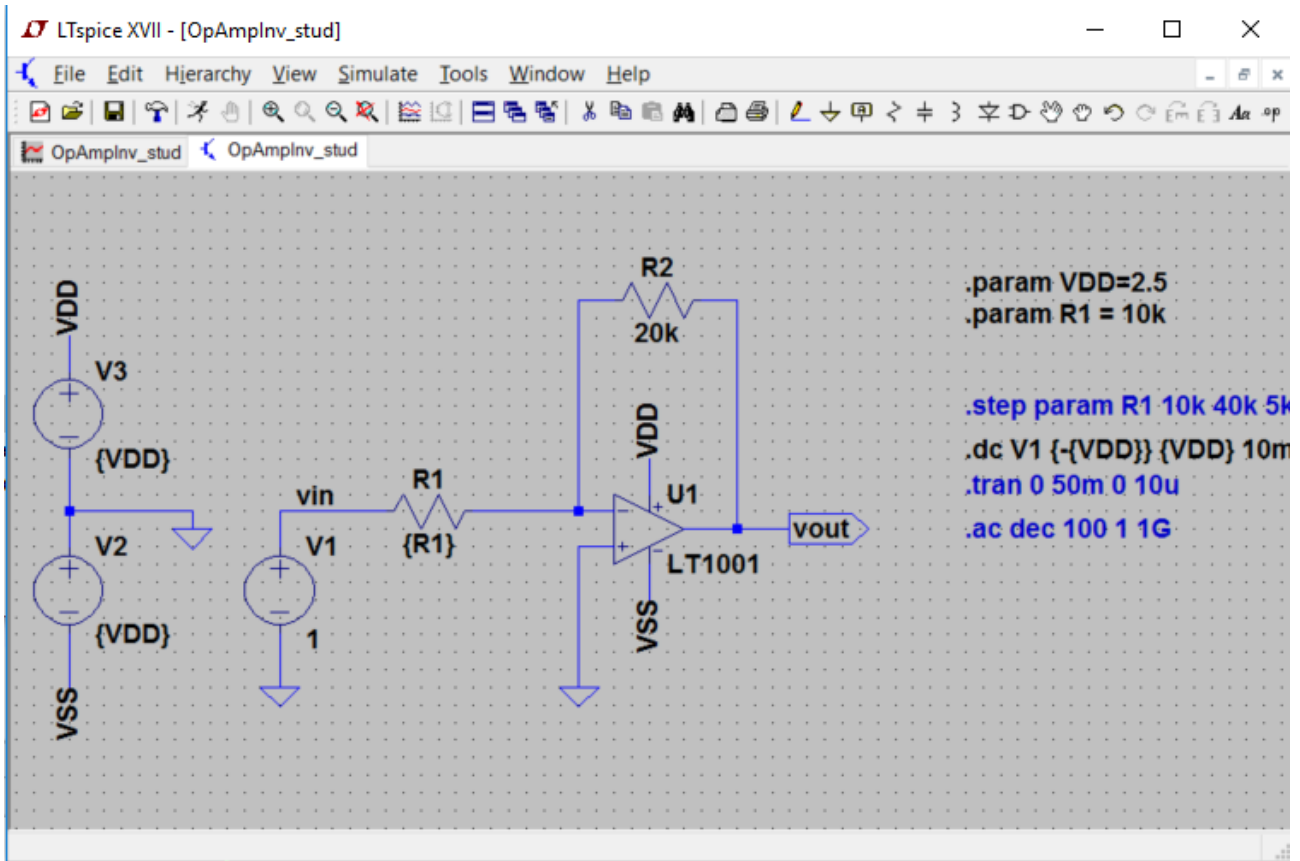


Figura A.32: OpAmp - Configurația Inversor.

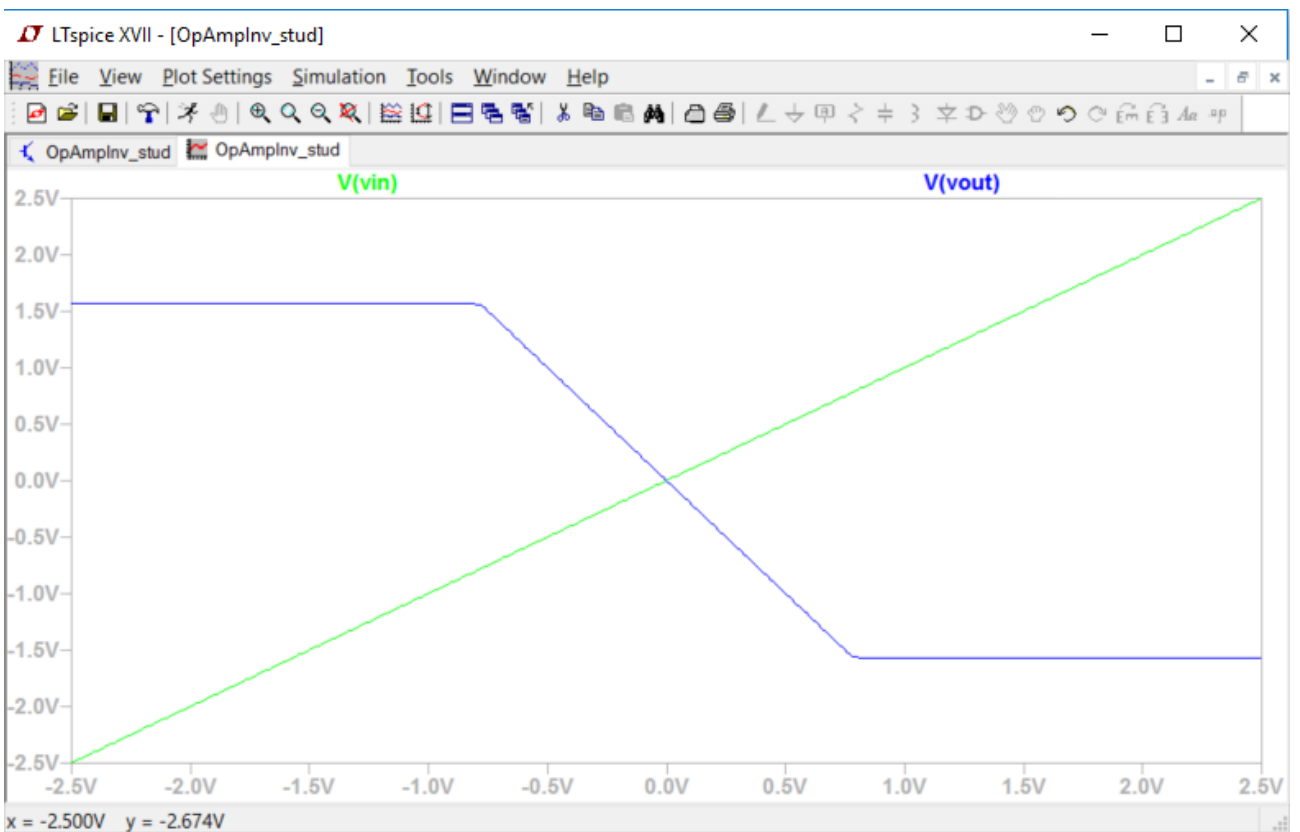


Figura A.33: OpAmp - Analiza DC. Variația tensiunii de ieșire (albastru) în funcție de tensiunea de intrare (verde).

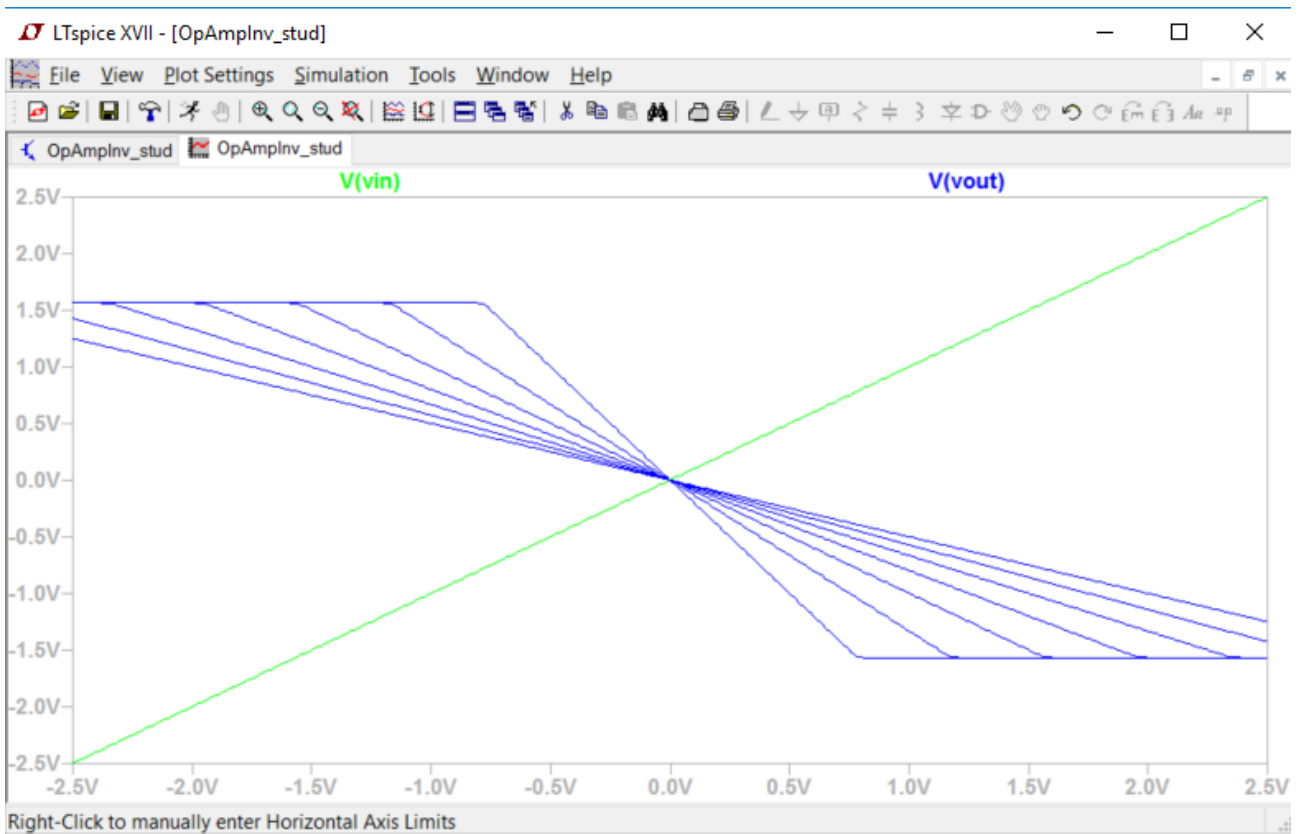


Figura A.34: OpAmp - Analiza DC. Variația tensiunii de ieșire (albastru) în funcție de $V1$ și de $R1$ (verde).

Pentru același amplificator operațional inversor din Figura A.32, adăugăm surse de tensiune de intrare $V1$ parametri pentru analiza în frecvență, i.e., $AC\ Amplitude=1$. Se realizează o analiză de tip AC pentru un domeniu de variație decadică a frecvenței cuprins între $1Hz$ și $1GHz$, considerându-se 100 de puncte pe decadă (vezi Figura A.32). Dependența tensiunii de ieșire în funcție de frecvență va avea forma din Figura A.35. Poziționarea cursorului pe grafic se face selectând numele semnalului dorit, în cazul nostru $Vout$.

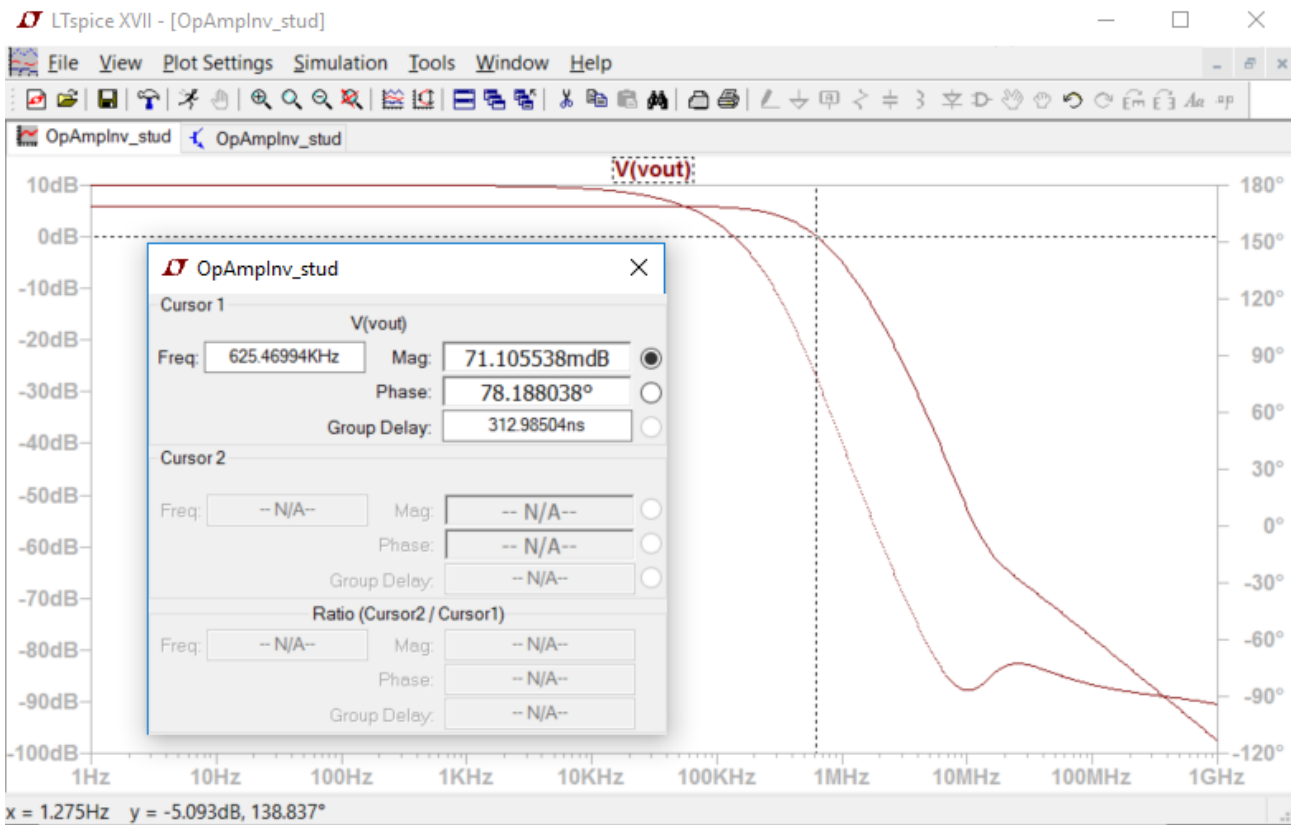


Figura A.35: OpAmp - Analiza AC. Variația tensiunii de ieșire (roșu, axa din stânga) și a fazei (roșu punctat, axa din dreapta) în funcție de frecvență.

În final se va utiliza același circuit din Figura A.32, de data aceasta într-o analiză de tip Transient. Funcția sursei de tensiune de intrare $V1$ se modifică într-un *SINE*, având amplitudinea de $0.5V$ și frecvența de $100Hz$. Se realizează o analiză Transient pe durata a $50ms$ (vezi Figura A.32). Dependența de timp a tensiunii de ieșire și a tensiunii de intrare se observă în Figura A.36.

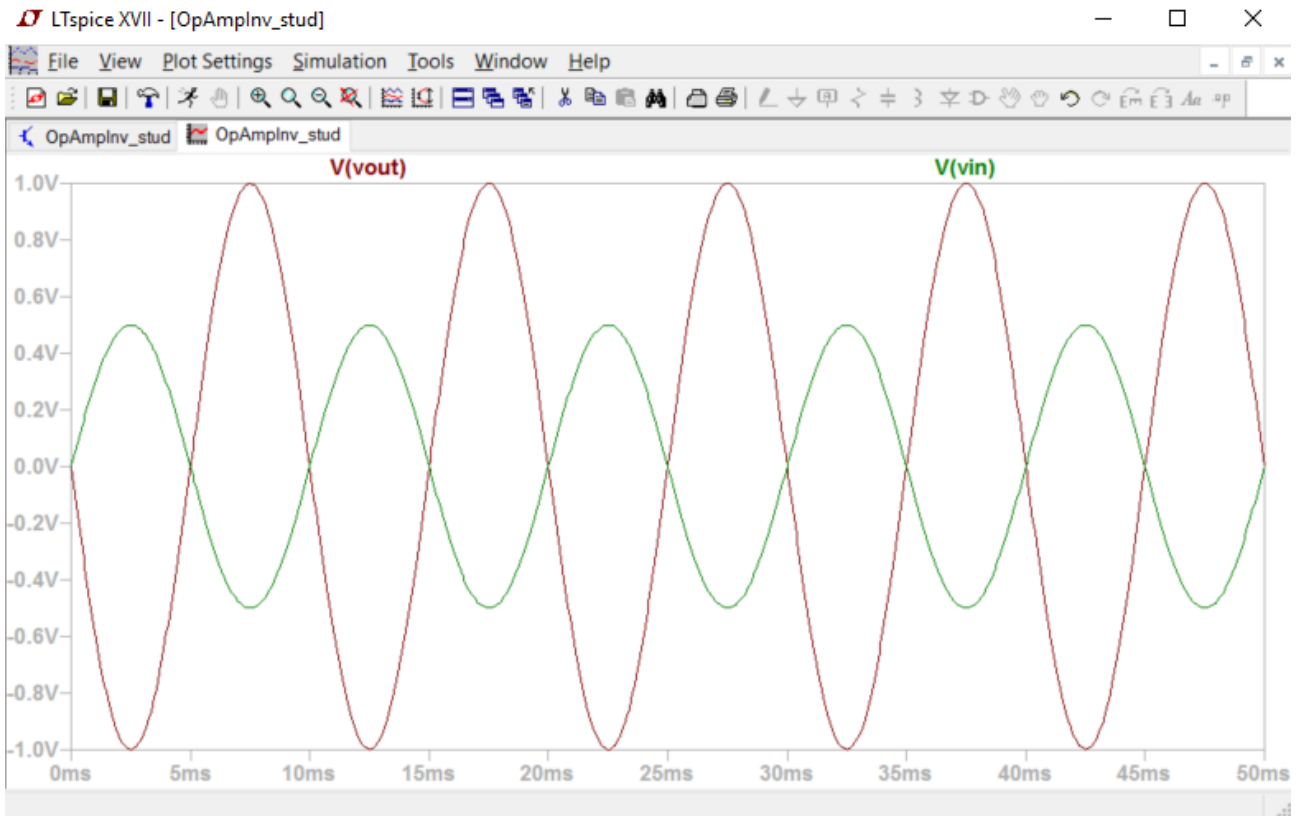


Figura A.36: OpAmp - Analiza Transient. Variația în timp a tensiunii de ieșire (roșu) și a tensiunii de intrare (verde).

Shortcuts

1	Draw wire	F3
2	Component	F2
3	Move	F7
4	Label Net	F4
5	SPICE Directive	s
6	Place GND	g
7	Copy	F6 or Ctrl+C
8	Rotate	F7->select object->Ctrl+R
9	Zoom to fit	Space
10	Undo	F9

Pentru a copia graficele într-un document *word*, folosiți comanda din meniul *Tools · Copy bitmap to clipboard*.