

Marius Enachescu, Serban Mihalache

Cosmin Popa

Circuite Integrate Analogice

Suport Aplicații



Anexă

Descrierea Programului LTSpice

A.1 Introducere

LT Spice este un program specializat pentru simularea 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, amplificatoare operaționale) sunt disponibile în biblioteca de componente, având asociați un număr de parametri (în cazul componentelor pasive) sau un model (pentru componentele active).

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

A.2 Utilizarea programului LT Spice

Pentru instalarea programului LT Spice se rulează fișierul *LTspiceIV.exe* pe care îl puteți găsi folosind acest link. Se respectă instrucțiunile până la instalarea completă a programului.

Se deschide aplicația "LTSpice IV" disponibilă după instalare. În Figure A.1 este descris modul în care se creează o nouă schemă.

A.2.1 Desenarea circuitului

Adăugarea unei componente noi se face folosind tasta *F2* sau din meniul *Edit · Component* (găsiți acest pas în Figure A.2). Elementele uzuale de circuit,

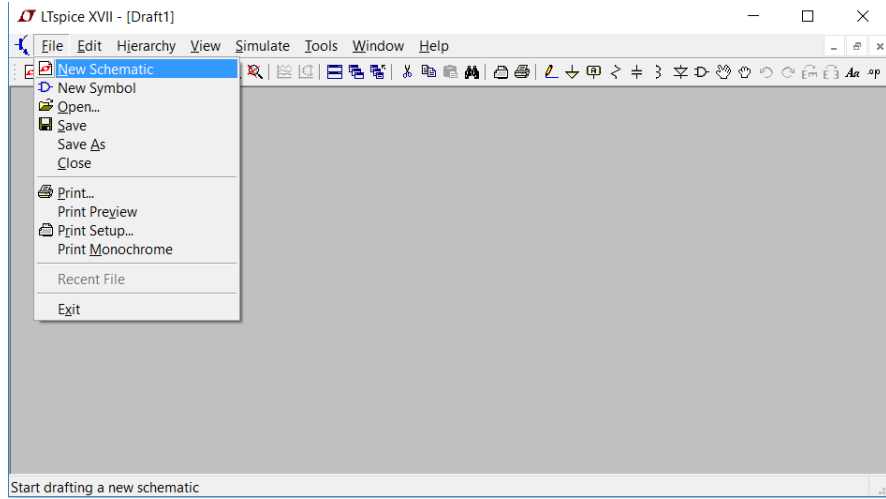


Figure A.1: LT Spice - Schematic Editor.

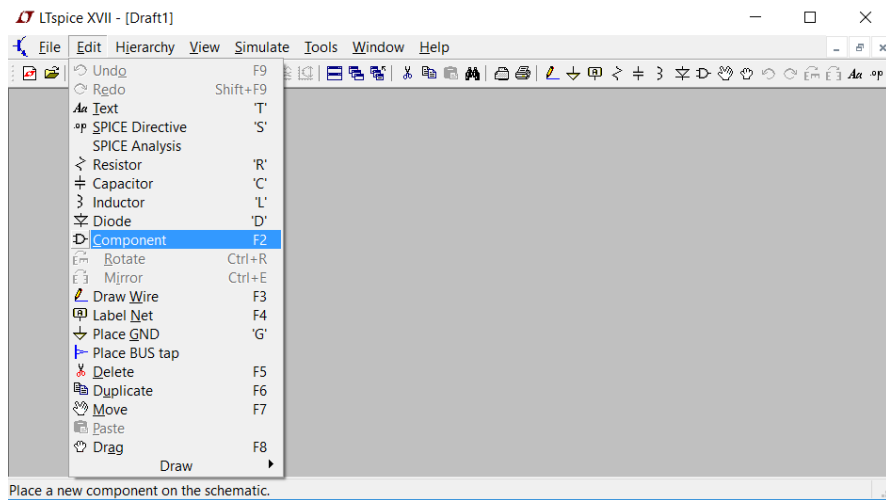


Figure A.2: LT Spice - Add new component.

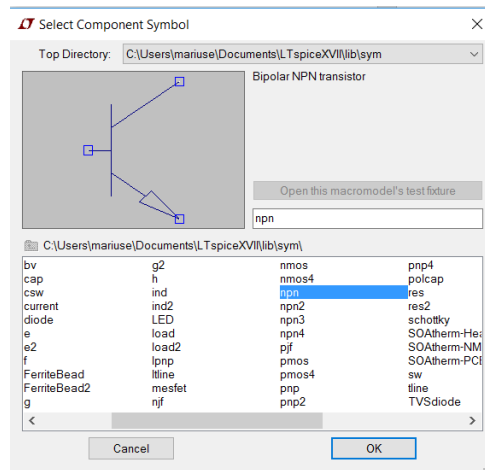


Figure A.3: LT Spice - Add npn transistor.

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 Figure A.3 și în Figure A.4).

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

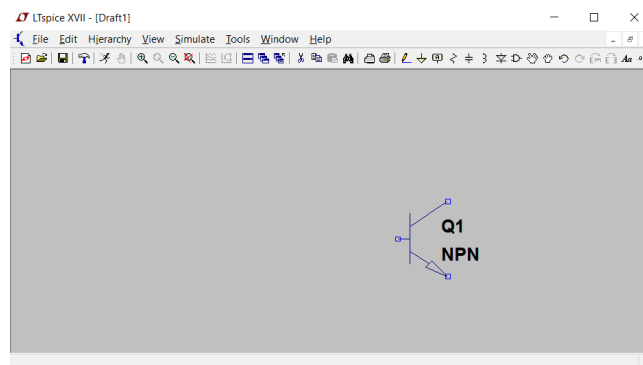


Figure A.4: LT Spice - Place npn transistor.

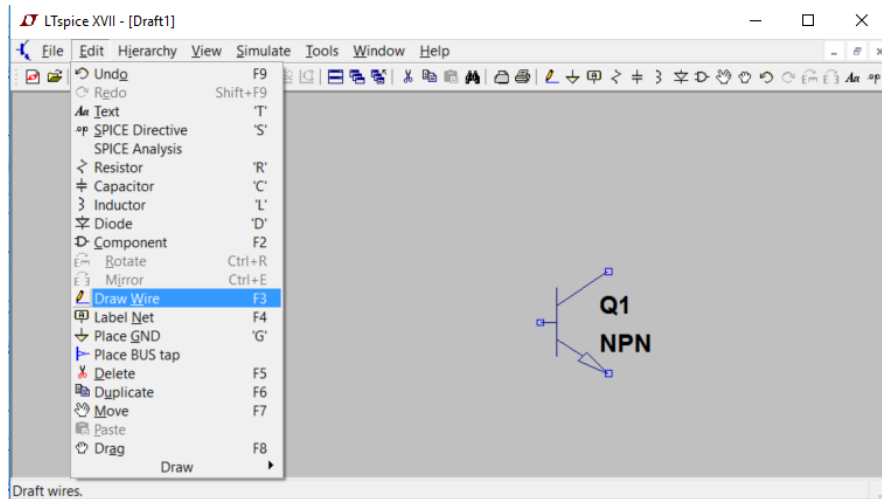


Figure A.5: LT Spice - Interconectarea componentelor (inainte).

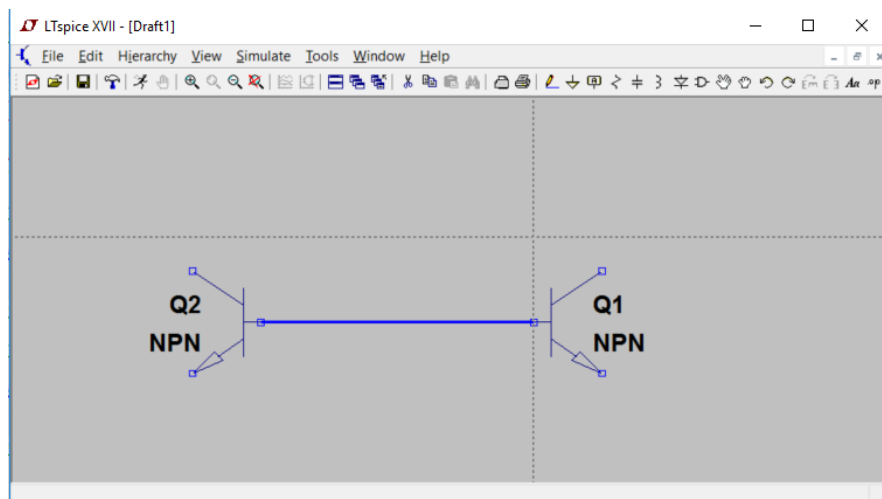


Figure A.6: LT Spice - Interconectarea componentelor (dupa).

A.2.2 Elemente de circuit

Mai departe vor fi prezentate pe scurt doar dispozitivele pasive și active utilizate în simulările propuse. 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 Figure A.7 și în Figure A.8),
3. Se modifică în mod corespunzător parametrii doriți.

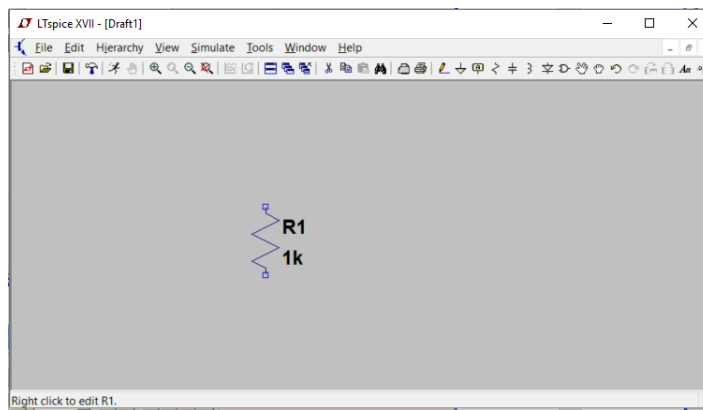


Figure A.7: LT Spice - Vizualizarea parametrilor unei rezistente.

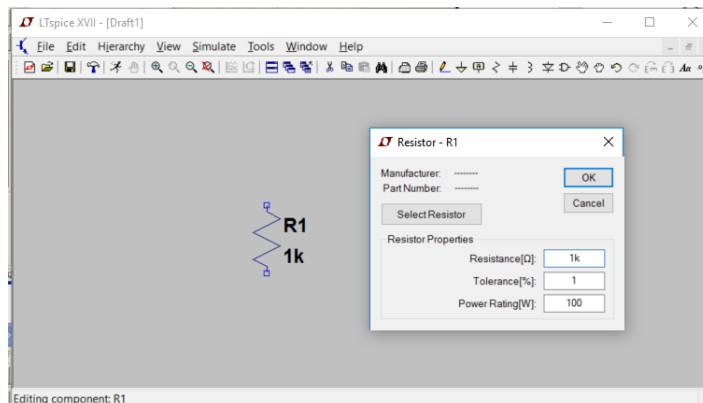


Figure A.8: LT Spice - Editarea parametrilor unei rezistente.

Alegerea modelului componentei utilizate**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:\Program Files\LTC\LTspiceIV\lib\cmp`,
2. Se adaugă o directivă SPICE în schemă folosind meniul *Edit · SPICE Directive* (se observă în Figure A.9),
3. 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 Figure A.10)
4. Se selectează componenta dorită (*nmos4* pentru un tranzistor MOS cu canal *n* având 4 terminalele: S, D, G, B),
5. Se modifică în mod corespunzător parametrul *value* cu modelul declarat anterior (se observă în Figure A.11),
6. Se vizualizează și editează lista parametrilor folosind *CTRL+Right Click* (se observă în Figure 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>.

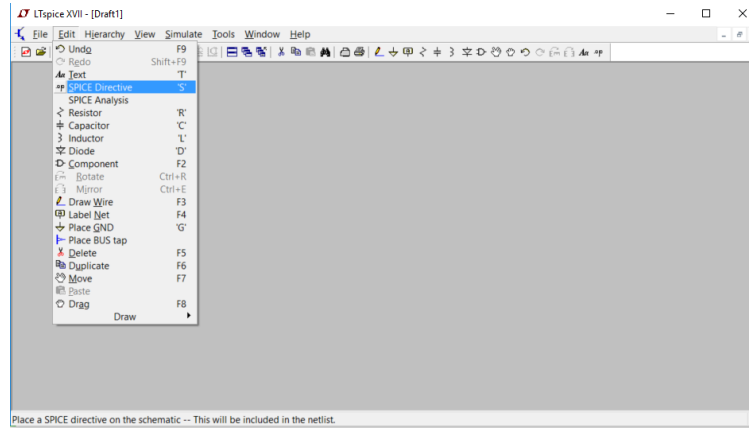


Figure A.9: LT Spice - Adaugarea unei directive SPICE.

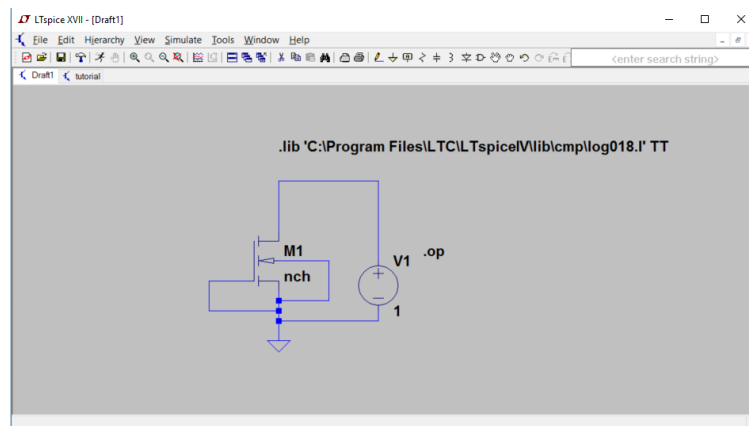


Figure A.10: LT Spice - Adaugarea unei directive SPICE pentru tehnologia de 180nm.

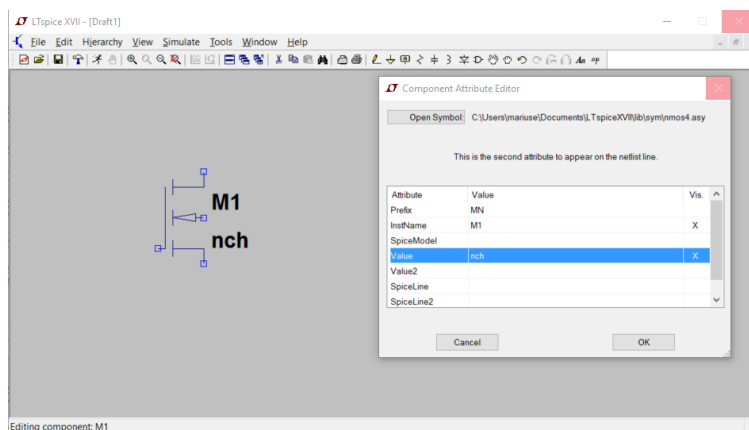


Figure A.11: LT Spice - Adaugarea unei model extern pentru tranzistorul nMOS.

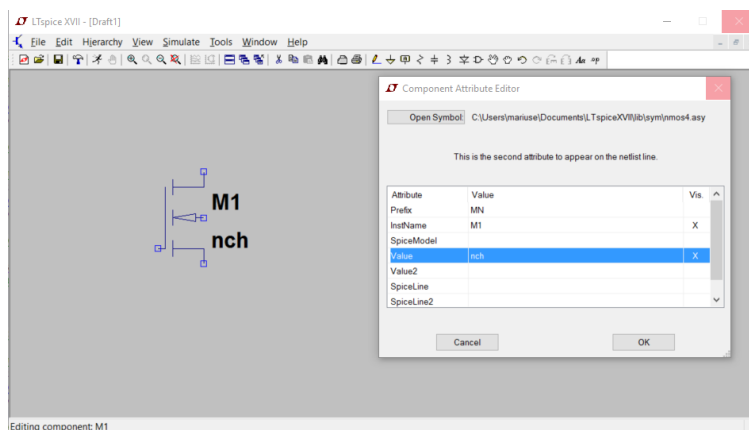


Figure A.12: LT Spice - Modificarea parametrilor W si L pentru tranzistorul nMOS.

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*,

- 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 Figure A.13 și în Figure A.14).

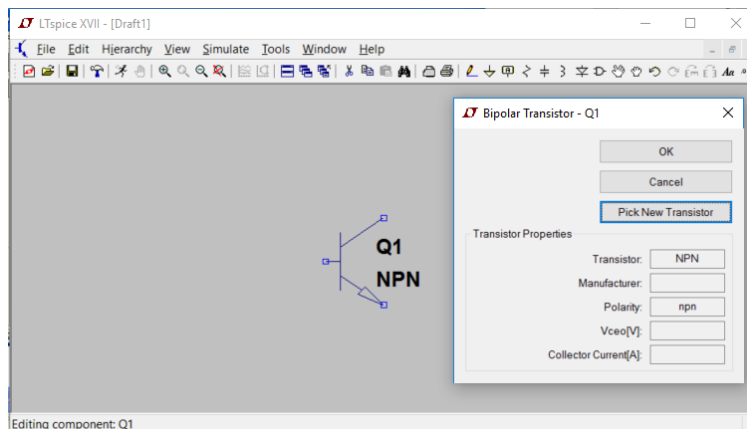


Figure A.13: LT Spice - Vizualizarea proprietatilor unui tranzistor npn.

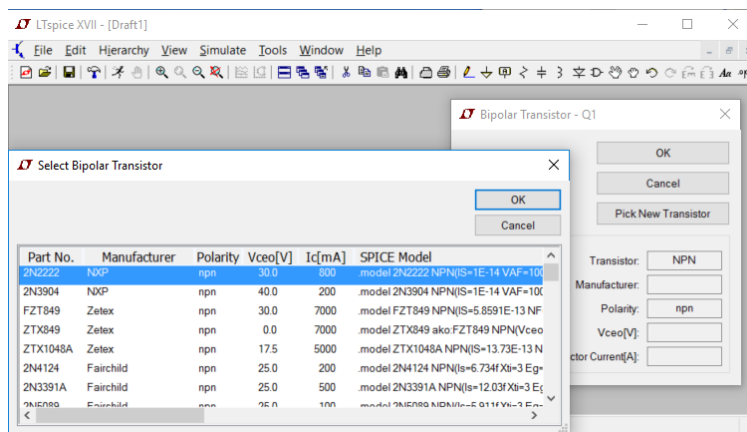
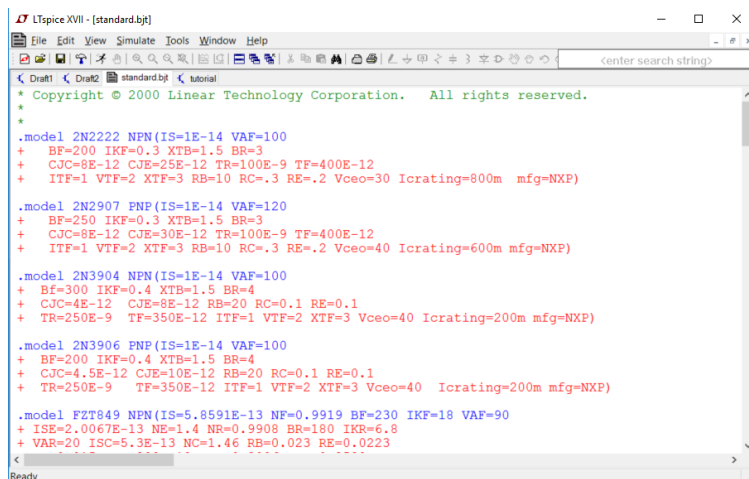


Figure A.14: LT Spice - Alegerea componentei dorite din lista de componente disponibile impreuna cu kit-ul de instalare.

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:\Program Files\LTC\LTSpiceIV\lib\cmp\standard.bjt (vezi Figure A.15).



```

LTSpice XVII - [standard.bjt]
File Edit View Simulate Tools Window Help
< Draft1 < Draft2 < standard.bjt < tutorial
* Copyright © 2000 Linear Technology Corporation. All rights reserved.
*
*.model 2N2222 NPN(IS=1E-14 VAF=100
+ BF=200 IKF=0.3 XTB=1.5 BR=3
+ CJC=8E-12 CJE=25E-12 TR=100E-9 TF=400E-12
+ ITF=1 VTF=2 XTF=3 RB=10 RC=.3 RE=.2 Vceo=30 Icrating=800m mfg=NXP)

.model 2N2907 PNP(IS=1E-14 VAF=120
+ BF=250 IKF=0.3 XTB=1.5 BR=3
+ CJC=8E-12 CJE=30E-12 TR=100E-9 TF=400E-12
+ ITF=1 VTF=2 XTF=3 RB=10 RC=.3 RE=.2 Vceo=40 Icrating=600m mfg=NXP)

.model 2N3904 NPN(IS=1E-14 VAF=100
+ BF=300 IKF=0.4 XTB=1.5 BR=4
+ CJC=4E-12 CJE=8E-12 RB=20 RC=0.1 RE=0.1
+ TR=250E-9 TF=350E-12 ITF=1 VTF=2 XTF=3 Vceo=40 Icrating=200m mfg=NXP)

.model 2N3906 PNP(IS=1E-14 VAF=100
+ BF=200 IKF=0.4 XTB=1.5 BR=4
+ CJC=4.5E-12 CJE=10E-12 RB=20 RC=0.1 RE=0.1
+ TR=250E-9 TF=350E-12 ITF=1 VTF=2 XTF=3 Vceo=40 Icrating=200m mfg=NXP)

.model FZT849 NPN(IS=5.8591E-13 NF=0.9919 BF=230 IKF=18 VAF=90
+ ISE=2.0067E-13 NE=1.4 NR=0.9908 BR=180 IKR=6.8
+ VAR=20 ISC=5.3E-13 NC=1.46 RB=0.023 RE=0.0223

```

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

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*,

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* avand coeficient de temperatura negativ,
- (c) Model utilizat: *1N958a* avand coeficient de temperatura pozitiv.

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.

```
. model 1N958A D(
Is=2.077 f
Rs=2.467
Ikf=0
N=1
Xti=3
Eg=1.11
Cjo=104p
M=.5061
Vj=.75
Fc=.5
Isr=1.645 n
Nr=2
Bv=7.5
Ibv=.90645
Nbv=.39227
Ibv1=.5849 n
Nbv1=1.5122
Tbv1=533.33 u)
* Motorola          pid=1N958A          case=DO-35
* 89-9-18  gjg
* Vz=7.5@16.5mA, Zz=12.5@1mA, Zz=5.3@5mA, Zz=2.3@20mA
*$
```

3. Tranzistoare bipolare *npn*

- (a) Simbol: *npn*,

- (b) Model utilizat: *2N2222*,
 - (c) Parametri utilizati: V_{af} - tensiune Early si I_S - curent de saturatie.
4. Tranzistoare bipolare *pnp*
- (a) Simbol: *pnp*,
 - (b) Model utilizat: *1N2907*,
 - (c) Parametri utilizati: V_{af} - tensiune Early si I_S - curent de saturatie.
5. Tranzistoare MOS cu canal *n*
- (a) Simbol: *nmos4*,
 - (b) Model utilizat: *nch*,
 - (c) Parametri utilizati: W/L - factor de aspect, V_{th0} - tensiunea de prag si R_{ds} - rezistenta *Drena-Sursa*.
6. Tranzistoare MOS cu canal *p*
- (a) Simbol: *pmos4*,
 - (b) Model utilizat: *nch*,
 - (c) Parametri utilizati: W/L - factor de aspect, V_{th0} - tensiunea de prag si R_{ds} - rezistenta *Drena-Sursa*.
7. Amplificatorul operational *LT1001*, care este urmasul vestitului $\mu a 741$, pastrand practic acelasi *package*.
- (a) Simbol: *LT1001*.

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 [Figure 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: $t_1, v_1, t_2, v_2, t_n, v_n$ - 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 - aceasta 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.

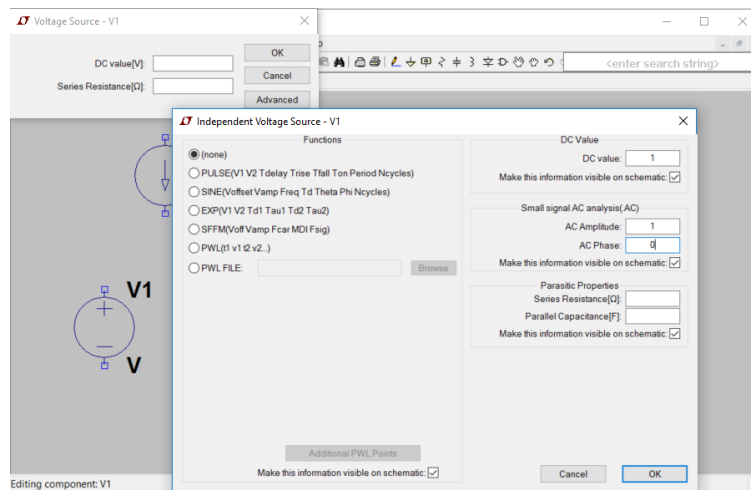


Figure A.16: LT Spice - Editarea parametrilor unei surse de tensiune.

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 eficientă a unei analize impune existența câtorva elemente (se observă în Figure A.17):

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

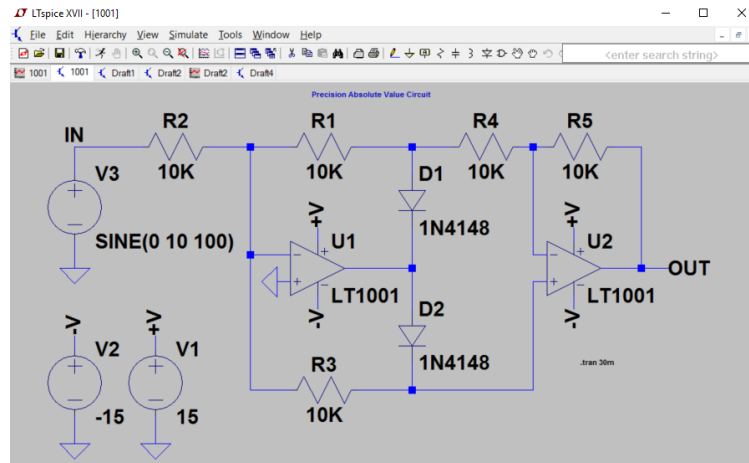


Figure A.17: LT Spice - Exemplu schema completa pregatita de simulare.

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 Figure A.18, analiza DC se poate activa din meniul *Edit · SPICE Analysis · DC sweep* cu următoarele opțiuni (vezi Figure 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 Figure A.18).

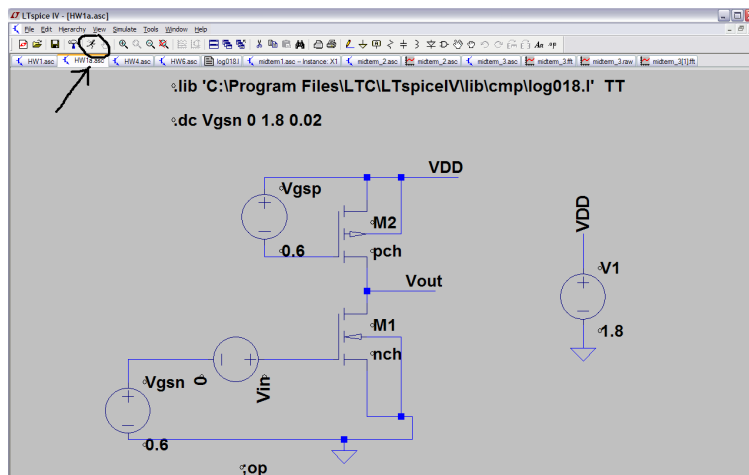


Figure A.18: LT Spice - Exemplu schema completa pregatita de simulare.

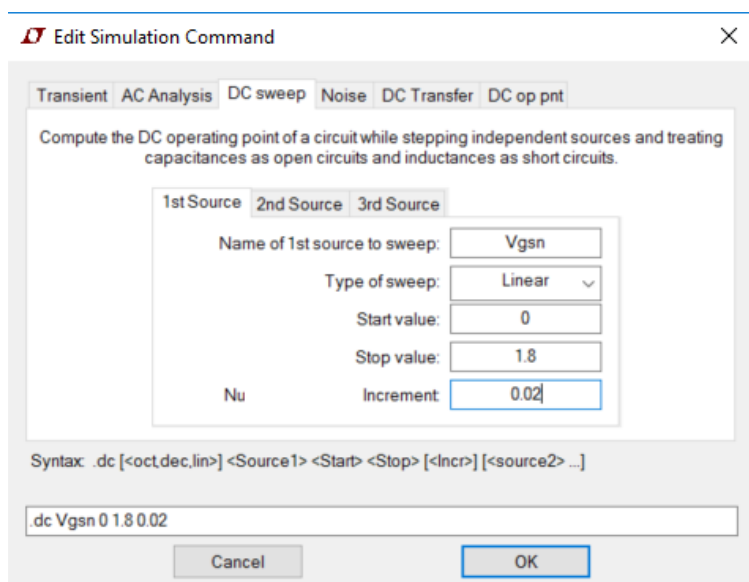


Figure A.19: LT Spice - Editare analiza DC.

A.2.6 Rezultatele simulării DC

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 Figure A.20). Pentru a adăuga un nou semnal, se utilizează comanda *Right Click* în fereastra, 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*.

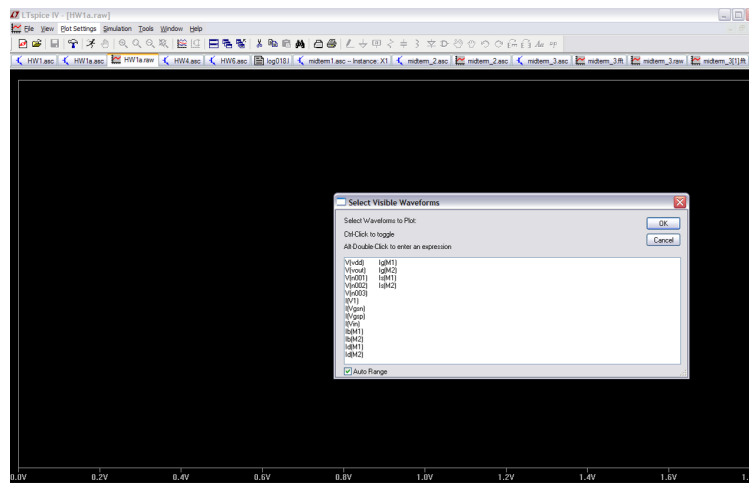


Figure A.20: LT Spice - Vizualizarea formelor de unda.

A.2.7 Analiza DC op pnt

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 Figure A.21).

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

Log.

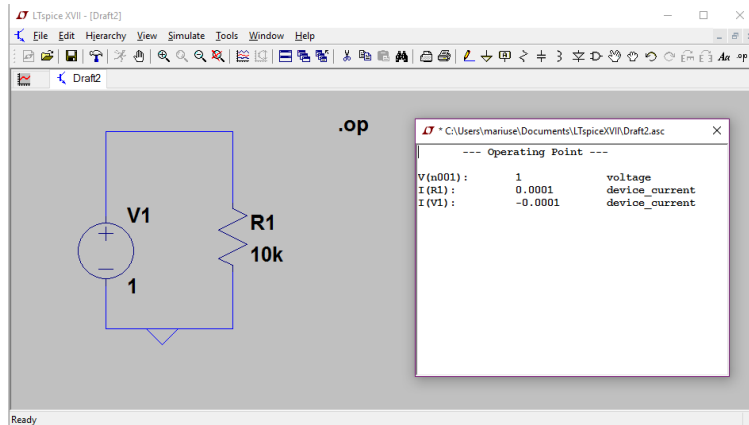


Figure A.21: LT Spice - Punctul static de functionare.

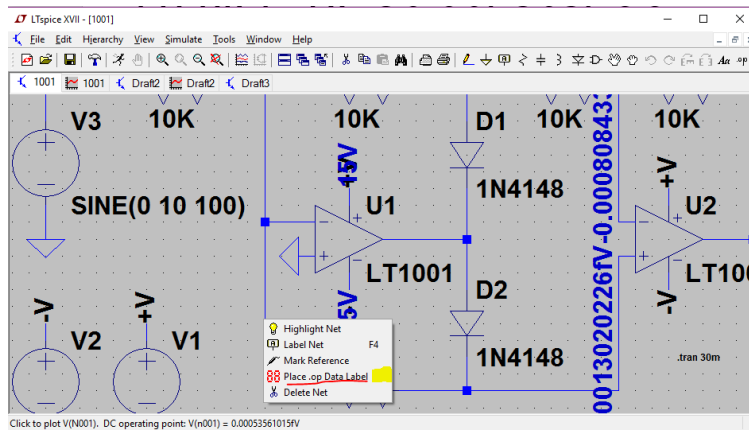


Figure A.22: LT Spice - Afisarea unei tensiune in schema.

A.2.8 Raspunsul in frecventa

Permite vizualizarea răspunsului în frecvență al unui circuit pentru un domeniu fixat de frecvență. 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 V1 astfel: *Right Click* pe sursă V1, selectăm modul *Advanced*, după care atribuim parametrului AC *Amplitude* valoarea 1 (vezi Figure A.23). Al doilea pas este

să activăm analiza AC (*Edit · SPICE Analysis · AC analysis*) folosind următorii parametri (vezi Figure A.24):

1. Type of Sweep: Decade;
2. Number of points per decade: 20;
3. Start Frequency: 1k;
4. Stop Frequency: 100G.

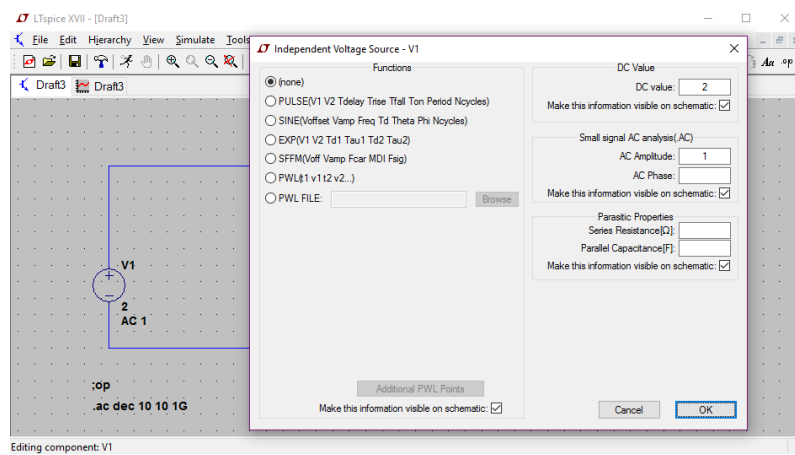


Figure A.23: LT Spice - Editarea sursei V1.

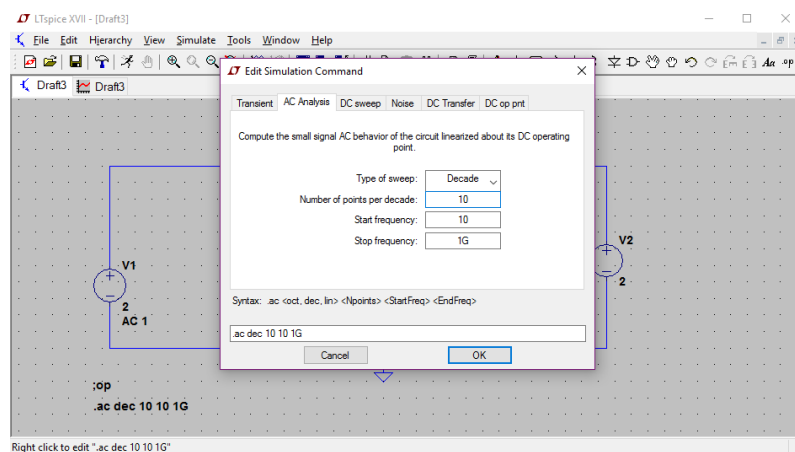


Figure A.24: LT Spice - Pornirea unei simulări AC.

A.2.9 Analiza Transient

Permite vizualizarea răspunsului în timp al unui circuit. Pentru a putea realiza o analiză *Transient* este necesar ca la primul pas să aplicăm un semnal variabil în timp, e.g., *SINE*, unei surse din circuit, în cazul nostru *V1*, astfel: *Right Click* pe sursă *V1*, selectăm modul *Advanced · SINE*, după care atribuim parametrului *DC Offset* valoarea 0, parametrului *Amplitude* valoarea 1 și frecvenței *Freq* valoarea 100k (vezi Figure A.25). Al doilea pas este să activăm analiza *Transient* (*Edit · SPICE Analysis · Transient analysis*), după care să edităm parametrul *Stop Time* (vezi Figure A.26), alocându-i acestuia o valoare convenabil aleasă, astfel încât să putem vizualiza cel puțin 5 perioade ale semnalului de intrare.

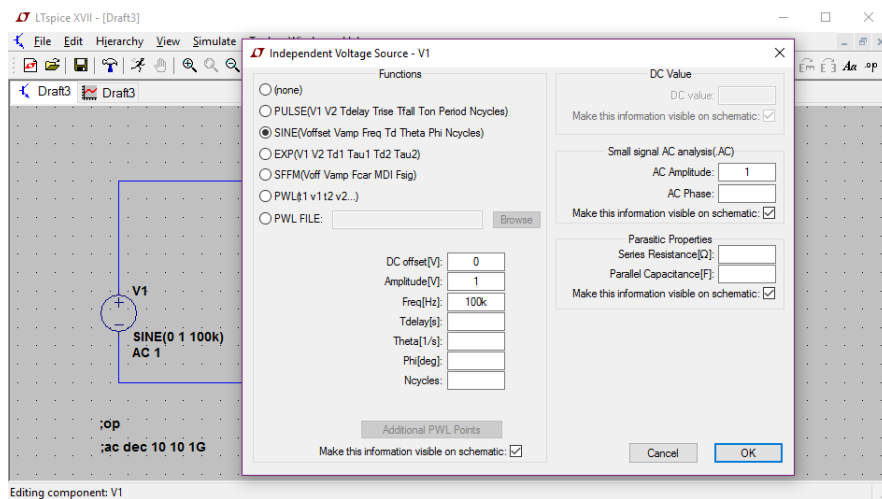


Figure A.25: LT Spice - Editarea sursei V1.

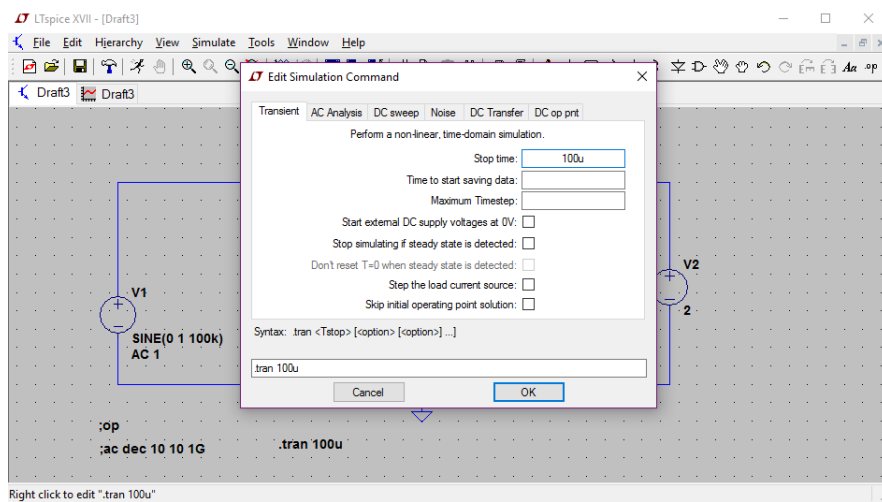


Figure A.26: LT Spice - Pornirea unei simulări Transient.

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 parametrului *Amplitude* valoarea V_{in} , restul parametrilor rămânând identici cu cei de la analiza *Transient* (vezi Figure A.27),
2. adăugăm *SPICE directive*: `.param Vin 1V`,
3. adăugăm *SPICE directive*: `.step param Vin list V1 V2 V3 ... VN`.

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

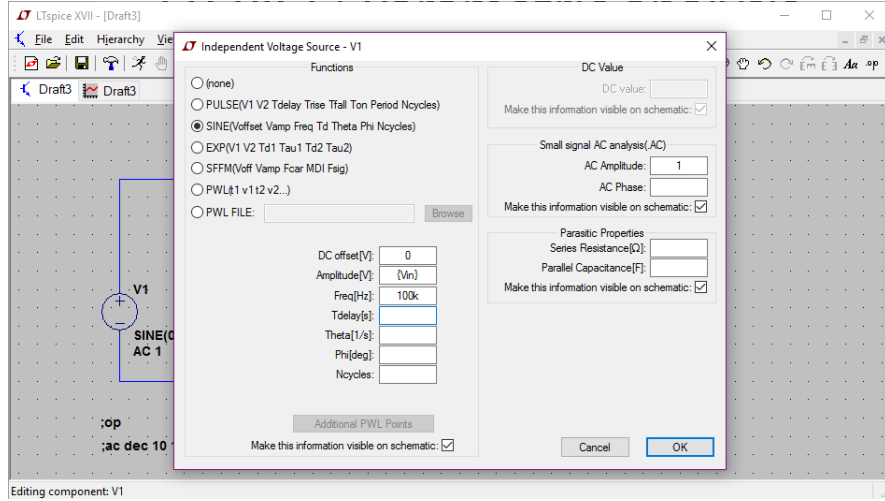


Figure A.27: LT Spice - Editarea sursei V1.

A.2.11 Exemplu: Amplificatorul inversor

Se considera circuitul din Figure A.28, $V1$, $V2$, $V3$ fiind de tipul *voltage*, iar amplificatorul operational de tipul *LT1001*. Se realizeaza o analiza *DC* de variabila $V1$, pentru un domeniu de variatie a acesteia cuprins intre -2.5V si 2.5V , cu un pas de 10mV . Dependenta tensiunii de iesire in functie de tensiunea de intrare va avea forma din Figure A.29. Analiza parametrica *DC* se poate extinde adaugand ca parametru si valoarea rezistentei $R1$ (vezi Figure A.28). Dependenta tensiunii de iesire in functie de $V1$ si de $R1$ va avea forma din Figure A.30.

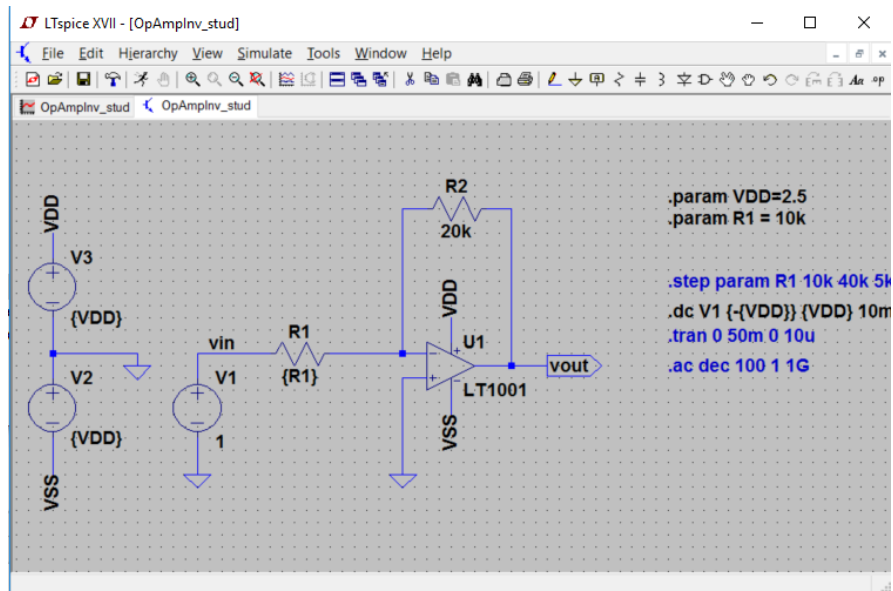


Figure A.28: OpAmp - Configuratia Inversor.

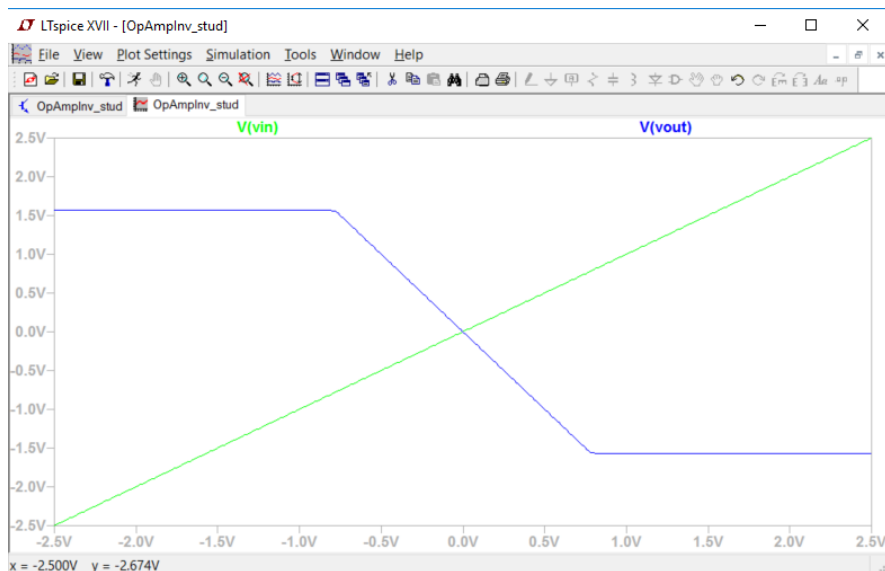


Figure A.29: OpAmp - Analiza DC. Variatia tensiunii de iesire (albastru) in functie de tensiunea de intrare (verde).

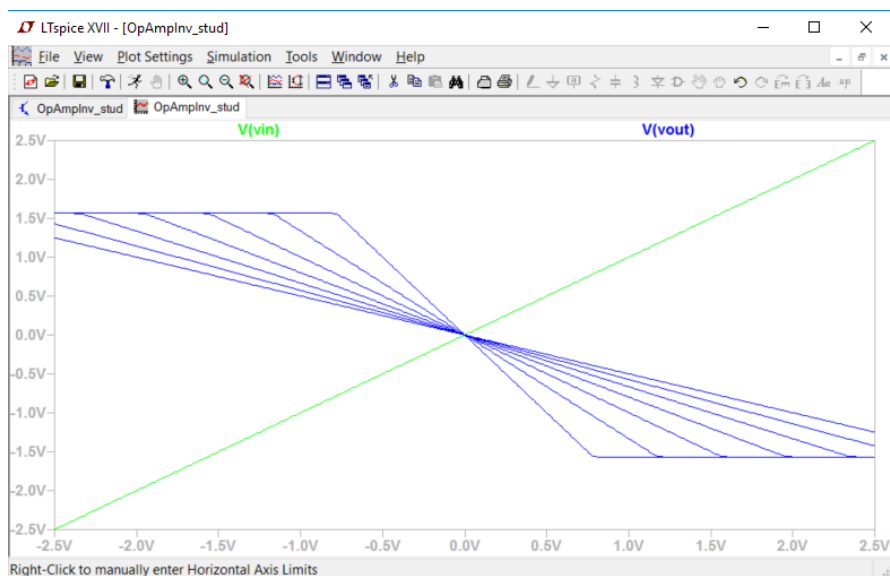


Figure A.30: OpAmp - Analiza DC. Variatia tensiunii de iesire (albastru) in functie de V1 si de R1 (verde).

Pentru același amplificator operational inversor din Figure A.28, adăugăm sursele de tensiune de intrare $V1$ parametrii 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 decada (vezi Figure A.28). Dependența tensiunii de ieșire în funcție de frecvență va avea forma din Figure A.31. Poziționarea cursorului pe grafic se face selectând numele semnalului dorit, în cazul nostru $Vout$.

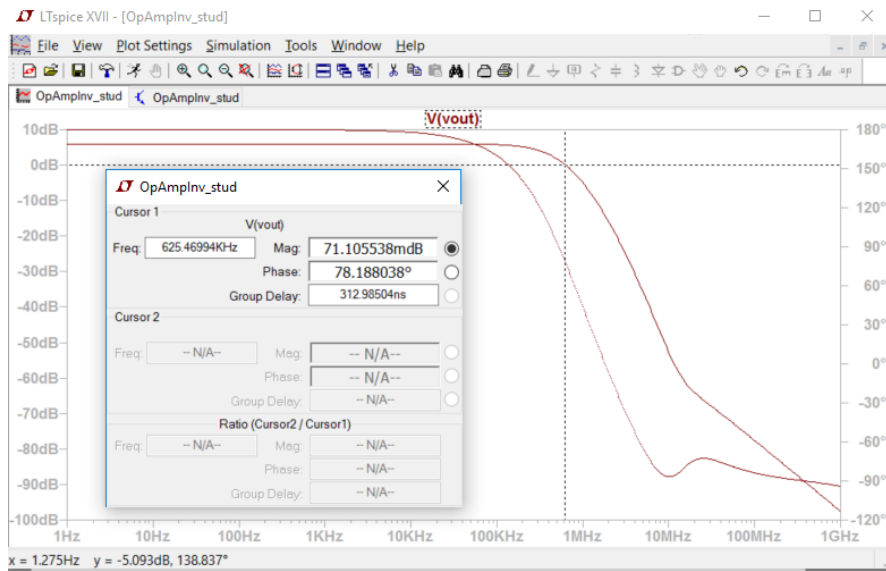


Figure A.31: OpAmp - Analiză AC. Variația tensiunii de ieșire (rosu, axa din stanga) și a fazei (rosu punctat, axa din dreapta) în funcție de frecvență.

În final se va utiliza același circuit din Figure A.28, de data aceasta într-o analiză tranzitorie. 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 de $50ms$ (vezi Figure A.28). Dependența tranzitorie a tensiunii de ieșire și a tensiunii de intrare se observă în Figure A.32.

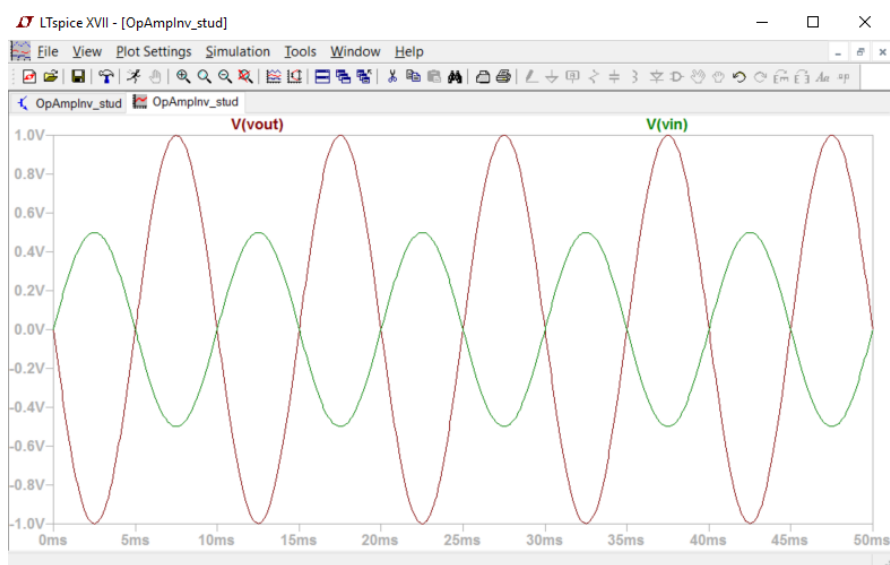


Figure A.32: OpAmp - Analiză tranzitorie. Variația tranzitorie a tensiunii de ieșire (roșu) și a tensiunii de intrare (verde).

Shortcuts

Draw wire	F3
Component	F2
Move	F7
Label Net	F4
SPICE Directive	s
Place GND	g
Copy	F6 or Ctrl+C
Rotate	F7->select object->Ctrl+R
Zoom to fit	Space
Undo	F9

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