



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής
Εργαστήριο Ηλεκτρονικής

Εισαγωγικό Εργαστήριο Ηλεκτρονικής και Τηλεπικοινωνιών

Εισαγωγή στο LTspice

Νικόλαος Βουδούκης
Οκτώβριος 2021

LTspice

Το πρόγραμμα είναι ελεύθερο.

Μπορείτε όμως να το κατεβάσετε από τον ιστότοπο (site) της

Linear Technology <http://www.linear.com/>

ή να γράψετε στο google **Ltspice free download**

και να επιλέξετε την τελευταία διαθέσιμη έκδοση.

- Latest Version:LTspice XVII LATEST
- Requirements:Windows 7 / Windows 8 / Windows 10
- <https://www.filehorse.com/download-ltspice/>

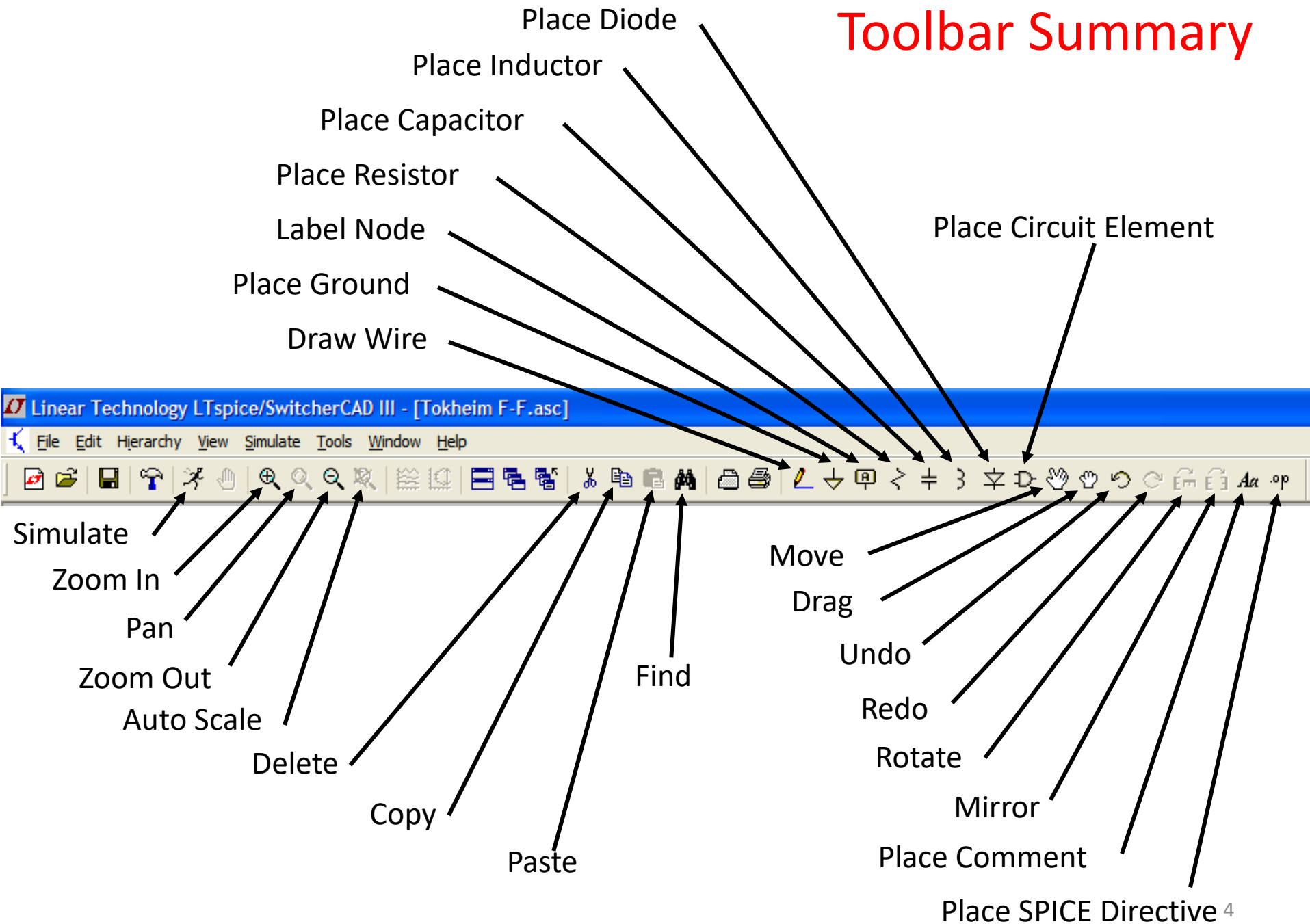
LTspice

Το LTspice είναι μια εφαρμογή προσομοίωσης πολύ καλής απόδοσης, με μοντέλα για προσομοίωση αναλογικών κυκλωμάτων καθώς και μια βιβλιοθήκη συσκευών για γενική προσομοίωση κυκλωμάτων.

Υπάρχει ένα αρκετά πλήρες σύνολο πόρων που διατίθενται στο μενού βοήθειας, συμπεριλαμβανομένων και παραδειγμάτων σχετικά με τη χρήση του.

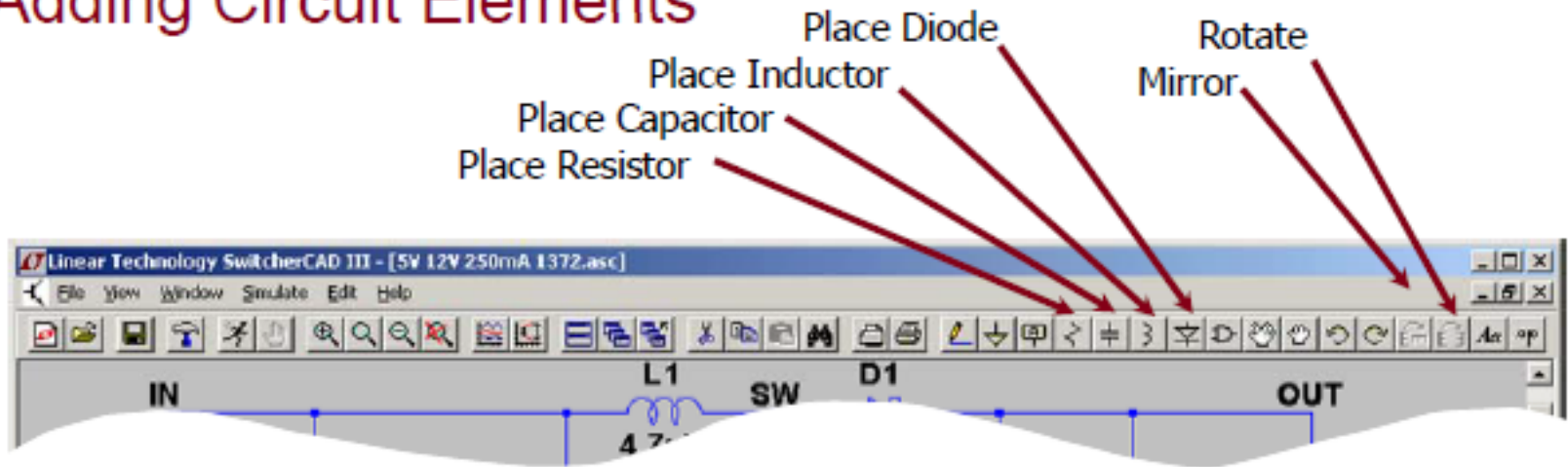
Το πρόγραμμα συνοδεύεται με περισσότερα από 2.000 σύμβολα. Αυτά τα σύμβολα καλύπτουν τα περισσότερα από τα ολοκληρωμένα κυκλώματα και πολλά εξαρτήματα γενικής χρήσης για τον σχεδιασμό κυκλωμάτων, ωστόσο, μπορείτε και εσείς να σχεδιάσετε τα δικά σας σύμβολα για συσκευές που θέλετε να εισαγάγετε στο πρόγραμμα.

Toolbar Summary



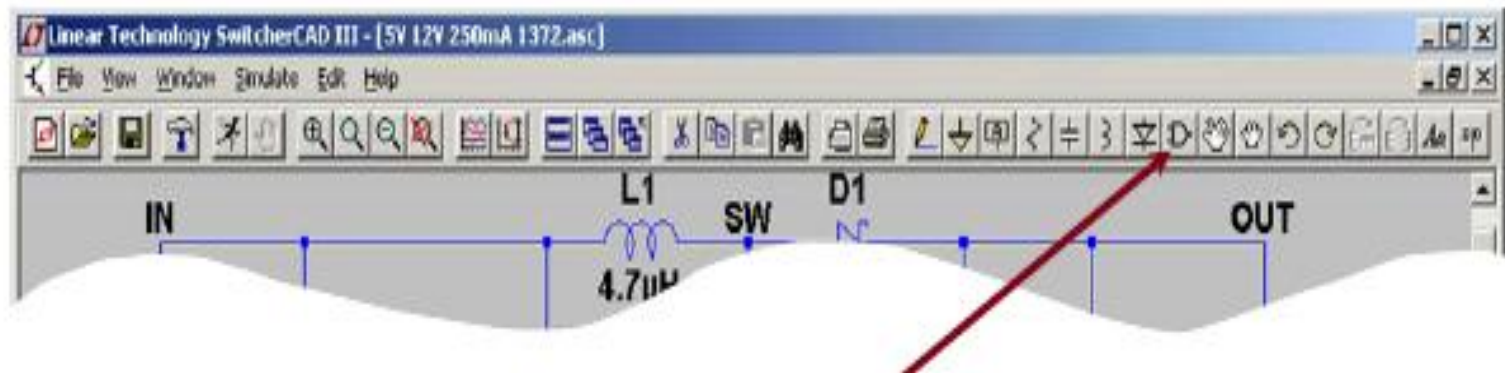
LTspice

Adding Circuit Elements



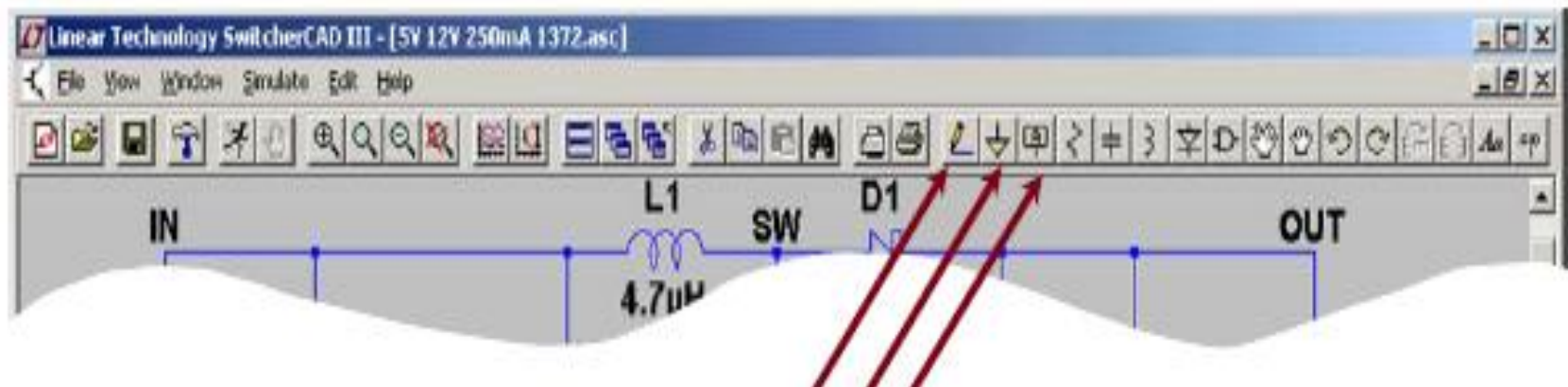
LTspice

Adding Sources, Loads & Additional Circuit Elements



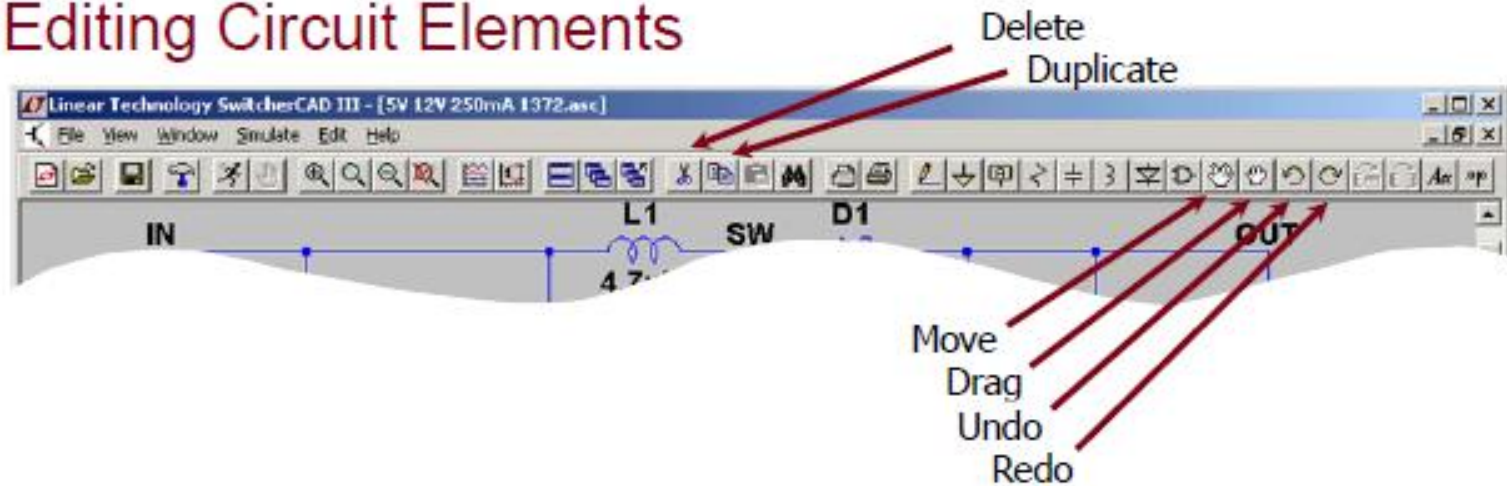
LTspice

Drawing Lines and Labeling Nodes

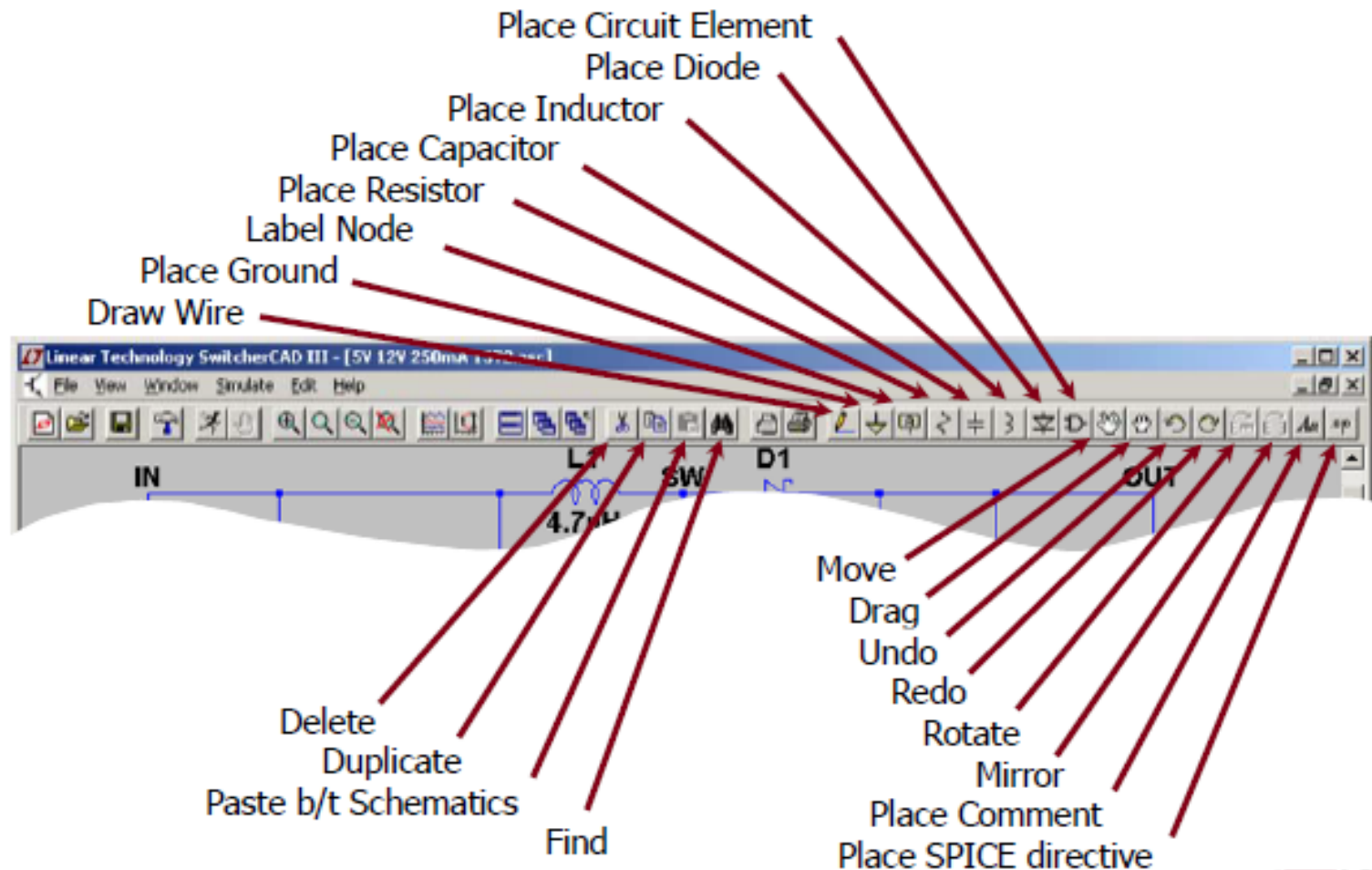


LTspice

Editing Circuit Elements

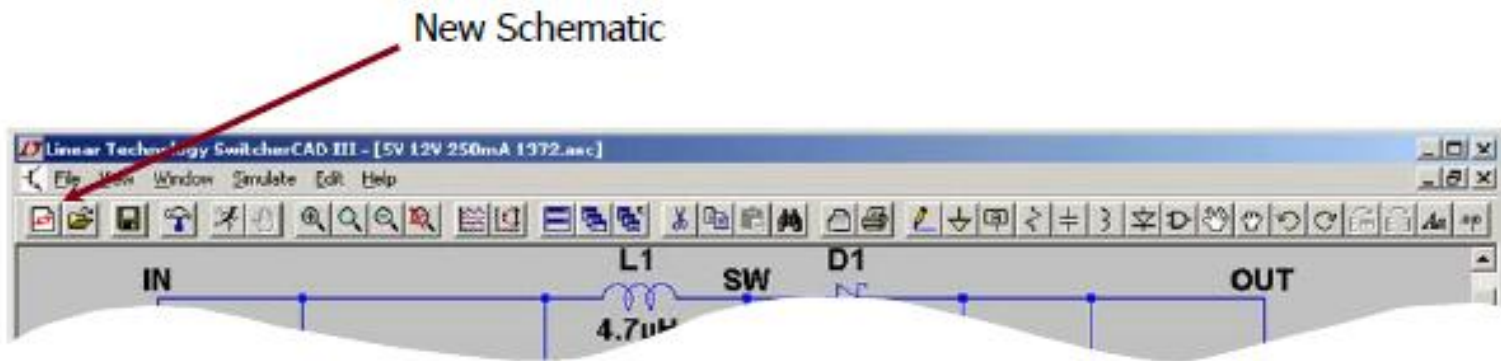


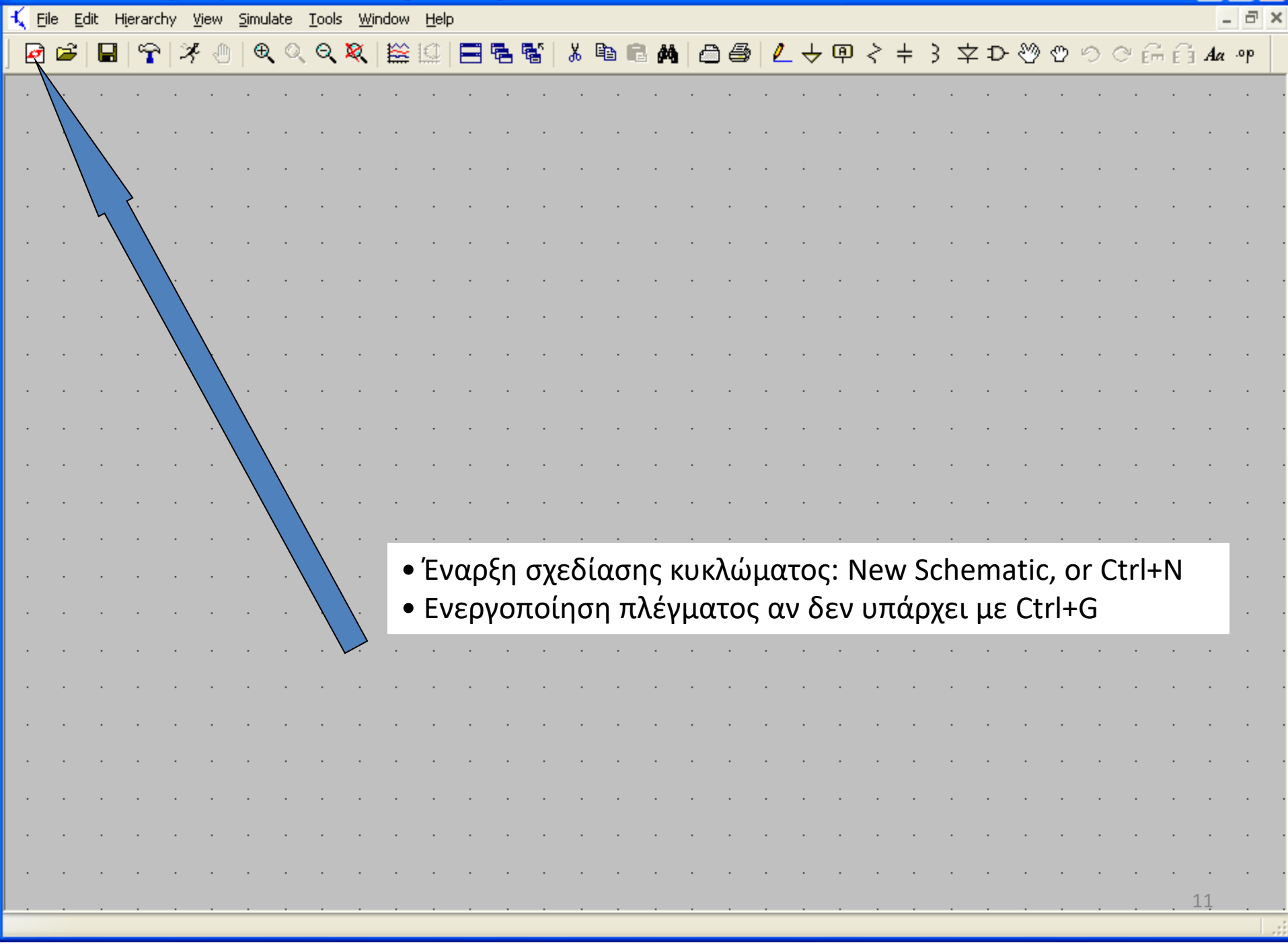
LTspice

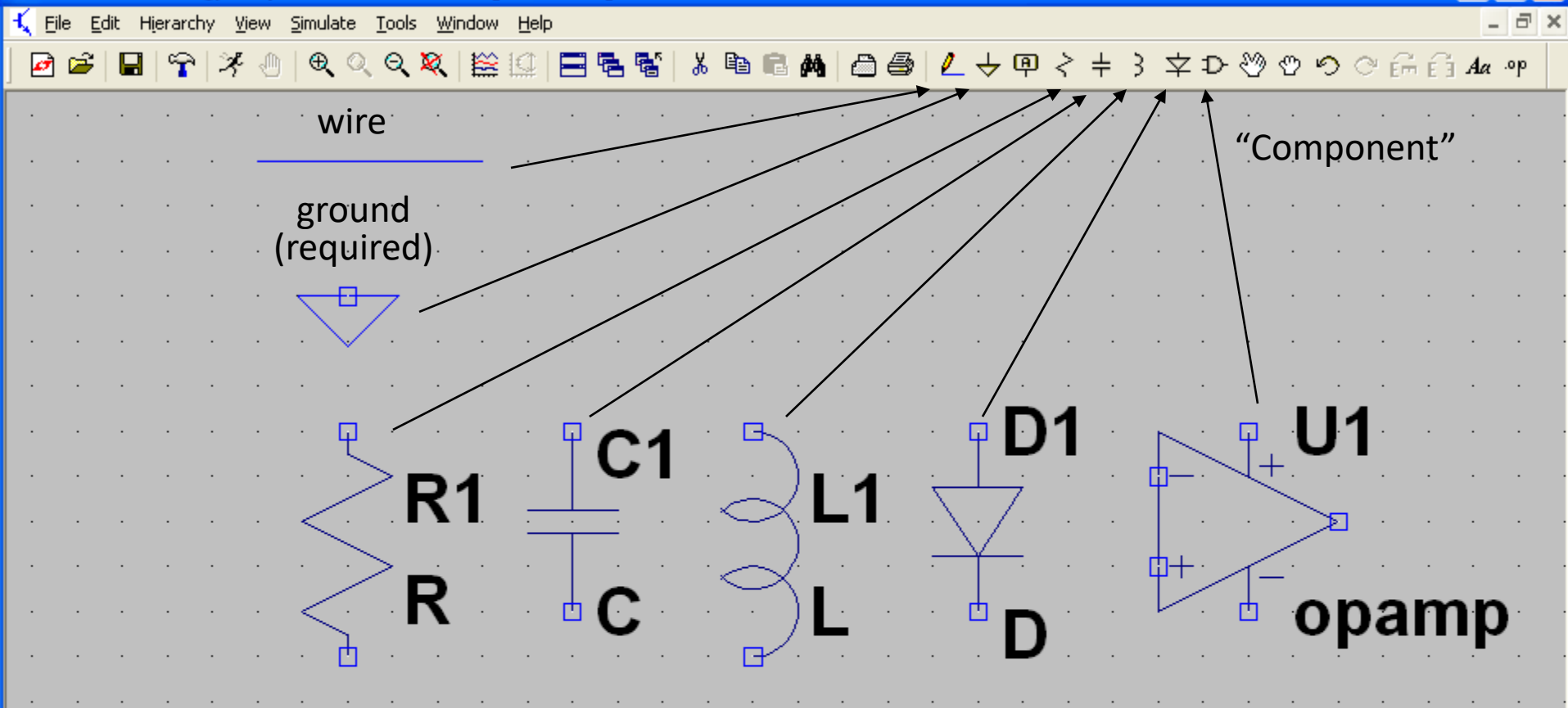


Δημιουργία - σχεδίαση κυκλώματος

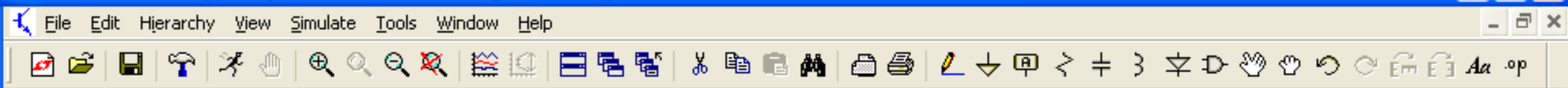
- Ανοίξτε το LTspice
- Επιλέξτε File → New Schematic







- Για προσθήκη ενός στοιχείου, click στο αντίστοιχο εικονίδιο
- Το **Component** button περιέχει συγκεκριμένα στοιχεία (components): voltage and current sources, transistors, opamps, gates, user-defined stuff
- Μπορείτε να κάνετε Delete (F5 or Ctrl-X), Move (F7) components και Drag (F8) (σύνδεση με καλώδια -wires)



Για περιστροφή ενός εξαρτήματος
([rotate](#)) πριν την τοποθέτησή του
πιέστε **Ctrl-R**

Για καθρεπτισμό ενός εξαρτήματος
([mirror](#)) πριν την τοποθέτησή του
πιέστε **Ctrl-E**

Προθέματα (Prefixes) είναι είτε με μικρά είτε με κεφαλαία (*case insensitive*): T = t, G = g, κτλ...

- T = terra = 10^{12}
- G = giga = 10^9
- MEG = meg = 10^6
- K = kilo = 10^3
- M = milli = 10^{-3}
- U = micro = 10^{-6}
- N = nano = 10^{-9}
- P = pico = 10^{-12}
- F = femto = 10^{-15}

Δεν χρειάζονται μονάδες, εννοούνται(π.χ.“1M” είναι 1mV αν εισάγεται τάση, 1ms αν πρόκειται για χρόνο κτλ.)

File Edit Hierarchy View Simulate Tools Window Help

Δεξί κλικ (Right-click)
για εισαγωγή τιμής
(component value)

R1
R

V1
V

Resistor - R1

Manufacturer: OK
Part Number: Cancel
Select Resistor

Resistor Properties

Resistance[Ω]:

Tolerance[%]:

Power Rating[W]:

Voltage Source - V1

DC value[V]: OK
Series Resistance[Ω]: Cancel
Advanced

This is node N001.

15

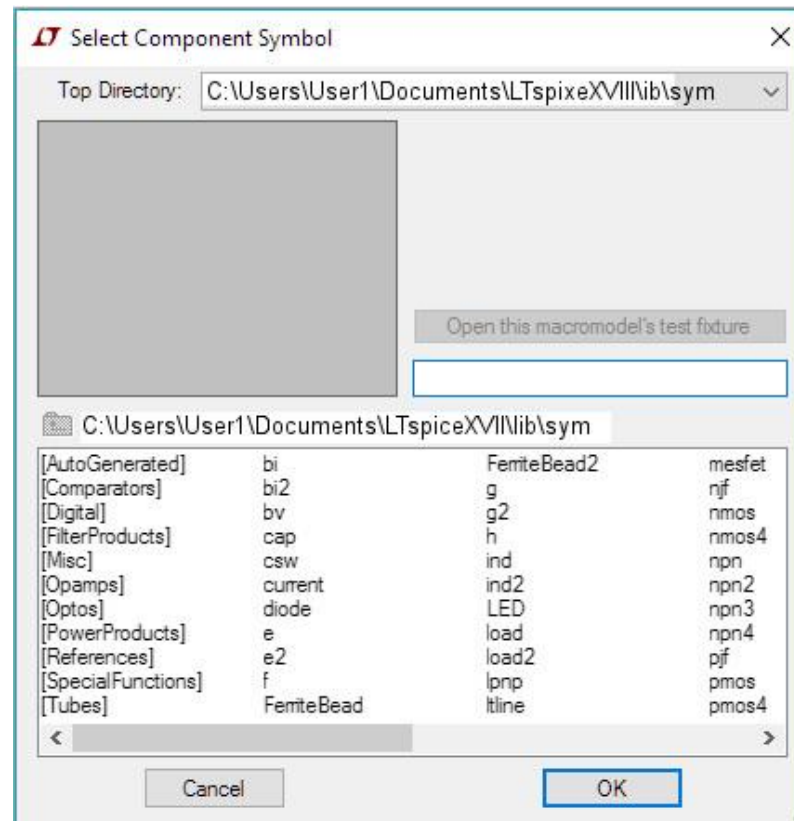
Σχεδίαση κυκλώματος – Βασικές οδηγίες

- Ανοίγουμε το menu File → New Schematic ή επιλέγουμε το εικονίδιο της γραμμής εργαλείων.
- Πιέζουμε το πλήκτρο R ή επιλέγουμε το εικονίδιο για να τοποθετήσουμε μία αντίσταση.
- Εμφανίζεται το σύμβολο της αντίστασης το οποίο μετακινούμε στη θέση που θέλουμε να τοποθετήσουμε την αντίσταση. Πριν από την τοποθέτηση, αν πατήσουμε στο πληκτρολόγιο Ctrl-R το σύμβολο περιστρέφεται κατά 90° κάθε φορά. Για την τελική τοποθέτηση πιέζουμε το αριστερό κουμπί του ποντικιού.
- Ο δείκτης του ποντικιού δεν γίνεται + , αλλά παραμένει το σύμβολο της αντίστασης, ώστε να μπορούμε να τοποθετήσουμε και άλλες αντιστάσεις στο κύκλωμα.
- Αν δεν χρειαζόμαστε άλλη αντίσταση πατάμε το πλήκτρο Esc ή πιέζουμε το δεξί κουμπί του ποντικιού. Με την ίδια διαδικασία τοποθετούμε και έναν πυκνωτή.

Σχεδίαση κυκλώματος – Βασικές οδηγίες

Έστω ότι χρειαζόμαστε μια πηγή τάσης (voltage).

Επιλέγουμε το εικονίδιο της γραμμής εργαλείων και εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο (Select Component Symbol).



Σχεδίαση κυκλώματος – Βασικές οδηγίες

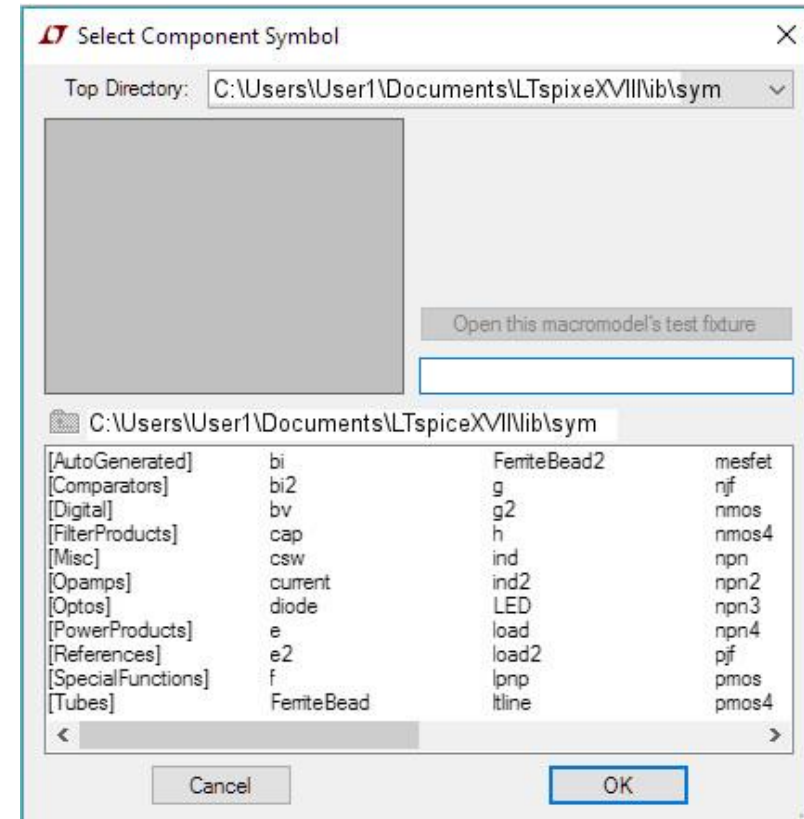
Εδώ φαίνεται ο κατάλογος όλων των στοιχείων που υπάρχουν στις βιβλιοθήκες του LTspice.

Τα ονόματα μέσα σε αγκύλες είναι φάκελοι.


Για παράδειγμα, αν επιλέξουμε τη καταχώρηση [Opamps] θα δούμε τον κατάλογο με τους διαθέσιμους τελεστικούς ενισχυτές.



Τα υπόλοιπα είναι απλά στοιχεία, π.χ. το nprn είναι διπολικό τρανζίστορ τύπου nprn, το current είναι μία πηγή ρεύματος κ.λ.π.

Επιλέγουμε, λοιπόν, το στοιχείο **Voltage** και μετά το OK και τοποθετούμε μια πηγή τάσης, όπως και με τα προηγούμενα στοιχεία.



Σχεδίαση κυκλώματος – Βασικές οδηγίες

Για να συνδέσουμε τα στοιχεία του κυκλώματος επιλέγουμε με το ποντίκι το εικονίδιο  και τραβάμε τις γραμμές σύνδεσης των στοιχείων (σε κάθε γωνία της γραμμής πατάμε πάλι το ποντίκι για να γίνει εύκολα η αλλαγή της διεύθυνσης της καλωδίωσης).

- Σε κάθε κύκλωμα του spice πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον ένα σημείο του κυκλώματος συνδεδεμένο στη γείωση  (κόμβος μηδέν), αλλιώς δεν γίνεται προσομοίωση. Οι υπόλοιποι κόμβοι απαριθμούνται ως N001, N002 κ.λ.π.
- Το LTspice επιτρέπει την αλλαγή των ονομάτων των κόμβων που παράγονται αυτομάτως όταν σχεδιάζουμε το κύκλωμα. Αν επιλέξουμε το εικονίδιο της γραμμής εργαλείων  θα εμφανιστεί το παράθυρο Net Name

Σχεδίαση κυκλώματος – Βασικές οδηγίες

Γείωση

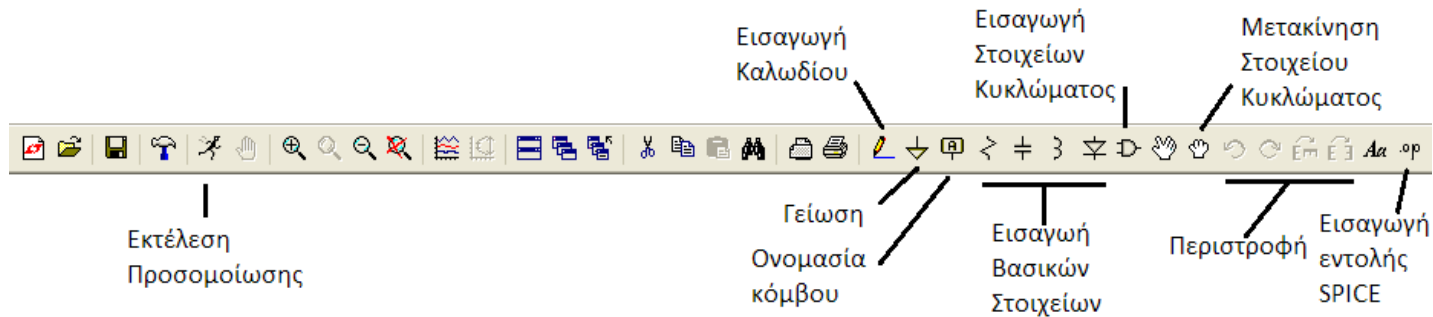
- Για να γίνει προσομοίωση στο LTSpice απαιτείται να γειωθεί κάποιος κόμβος του κυκλώματος με το σύμβολο της γείωσης. Σε αντίθετη περίπτωση θα εμφανιστεί μήνυμα σφάλματος.

Ονομασία κόμβου

- Για την καλύτερη ανάλυση των αποτελεσμάτων, είναι βολικό να δίνετε ονομασία στους κόμβους του κυκλώματος που θέλετε να μετρήσετε τάσεις ή ρεύματα.

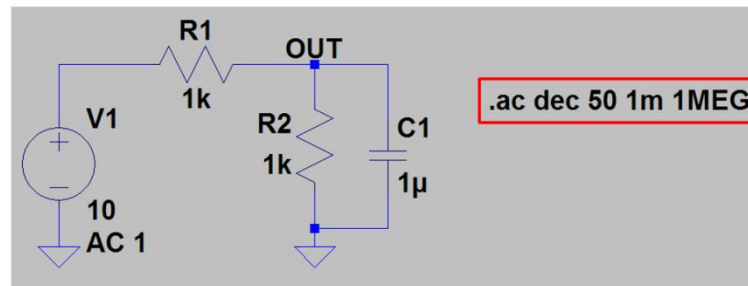
Βασικές οδηγίες

Βασικές Εντολές



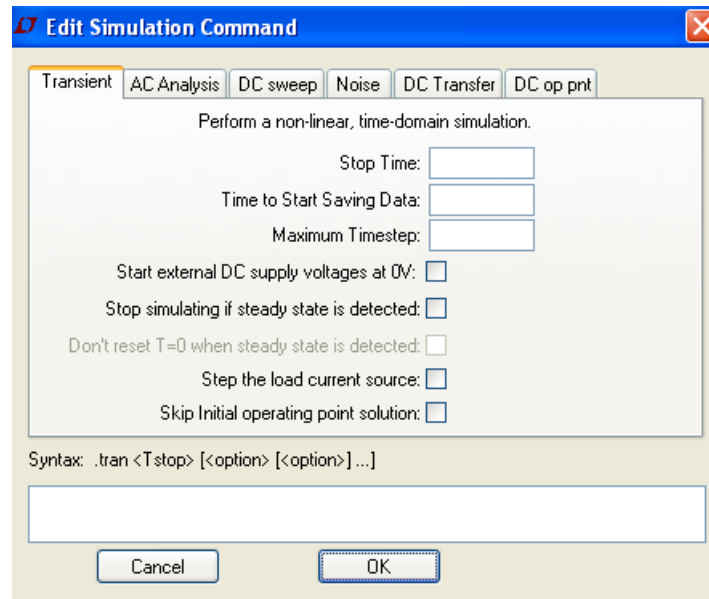
Εκτέλεση Προσομοίωσης

Το LTSpice δίνει την δυνατότητα εκτέλεσης διαφόρων ειδών προσομοίωσης (DC operating point, Transient, AC Analysis κ.α.). Πατώντας το κουμπί «Εκτέλεση Προσομοίωσης», εκτελείται η προσομοίωση (μία η περισσότερες) σύμφωνα με τις οδηγίες που έχουν τοποθετηθεί στο σχηματικό. Οι οδηγίες μπορούν να τοποθετηθούν είτε απευθείας μέσω του κουμπιού «Εισαγωγή εντολής Spice» είτε μέσω του γραφικού περιβάλλοντος (Simulate->Edit Simulation Cmd).



Προσομοίωση

- Παράθυρο του **Edit Simulation Command**



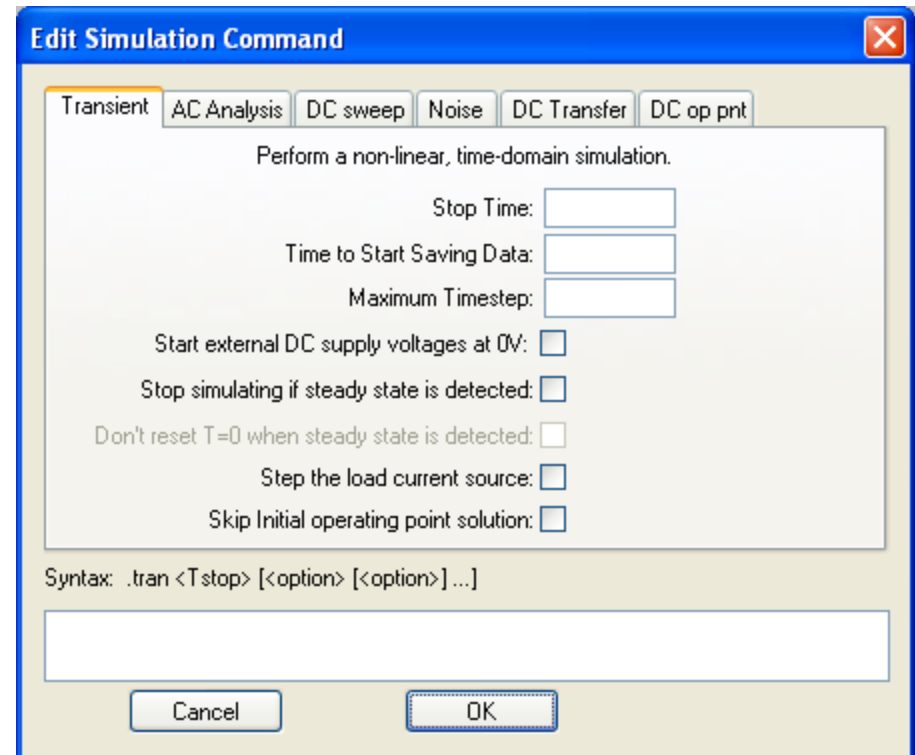
Προσομοιώσεις - SPICE analysis

“Σχεδιάστε” το κύκλωμα.

Επιλέξτε Simulate → Edit Simulation Cmd

Επιλογές:

- Transient analysis
- AC small signal anlysis
- DC sweep
- Noise analysis
- DC transfer function
- DC operating point (Q-pt)



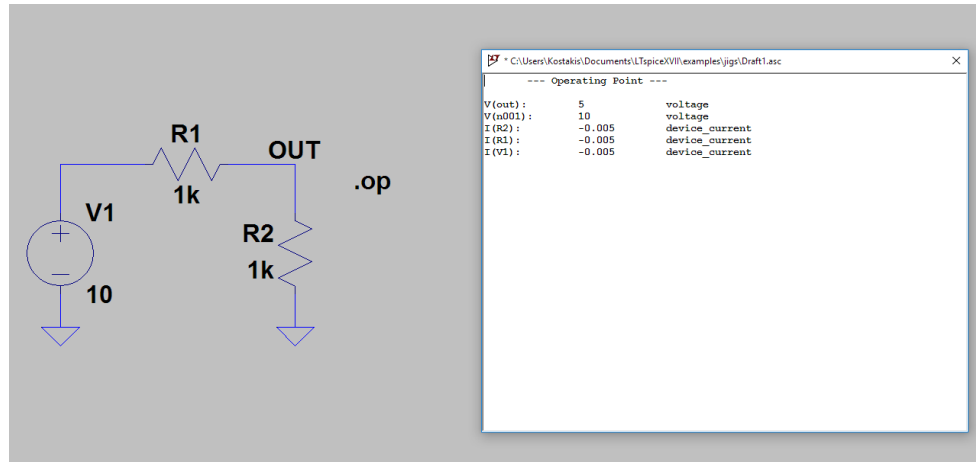
Εκτέλεση Προσομοίωσης

Σημείο λειτουργίας DC – DC ανάλυση

Εντολή spice **.op** ή από το μενού,

Simulate->Edit Simulation Cmd->DC op pnt.

Δίνει έναν πίνακα με ρεύματα και τάσεις ηρεμίας στους διάφορους κόμβους του κυκλώματος.

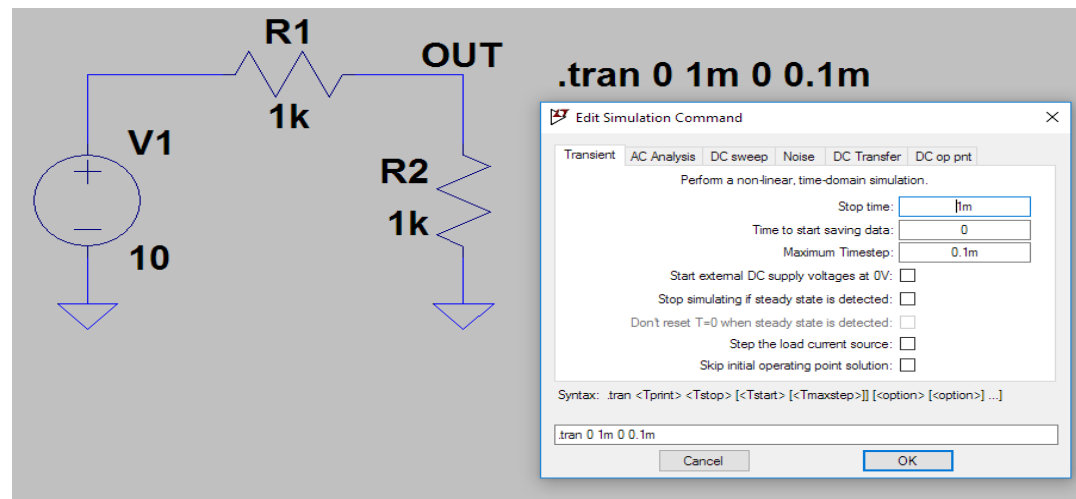


Εκτέλεση Προσομοίωσης

Ανάλυση στον χρόνο – Transient Analysis

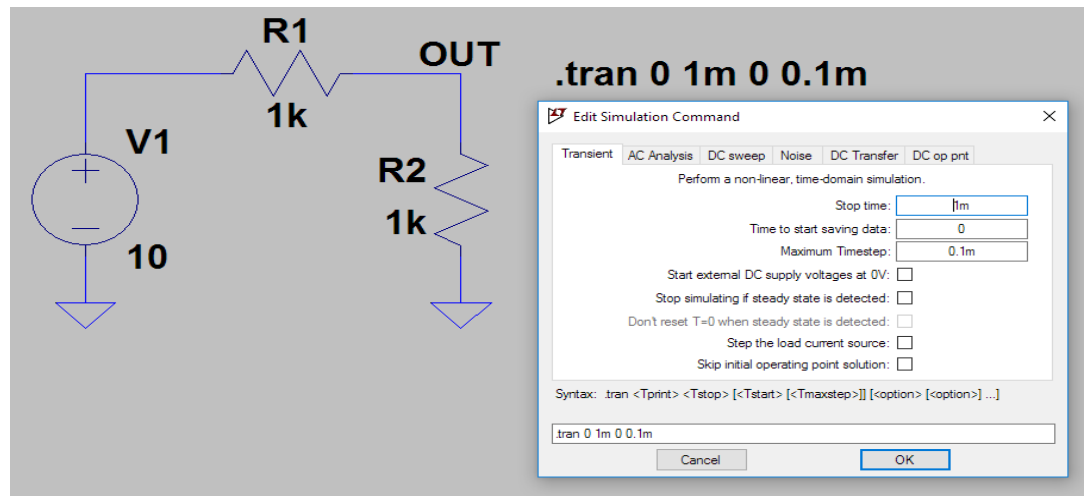
Εντολή Spice **.tran [Tstop] [options]...** ή από το μενού,
Simulate->Edit Simulation Cmd->Transient.

Επιτρέπει την εκτέλεση προσομοίωσης της συμπεριφοράς του κυκλώματος στον χρόνο. Το Tstop είναι ο χρόνος λειτουργίας του κυκλώματος που θα προσομοιωθεί. Τα options είναι πολυάριθμα και καλό είναι να οριστούν από το γραφικό περιβάλλον του LTSpice.



Εκτέλεση Προσομοίωσης

- Στο παράθυρο του **Edit Simulation Command** πέρα από το **Stop Time** και το **Time to Start Saving Data** σημαντικό είναι και το **Maximum Timestep**. Η επιλογή αυτή ορίζει το μέγιστο βήμα χρόνου για την προσομοίωση(αν είναι κενό ρυθμίζεται αυτόματα από το LTSpice).
- Προσοχή: αν είναι πολύ μικρό αυξάνεται σημαντικά ο χρόνος για εκτέλεση της προσομοίωσης.



Εκτέλεση Προσομοίωσης

DC Sweep

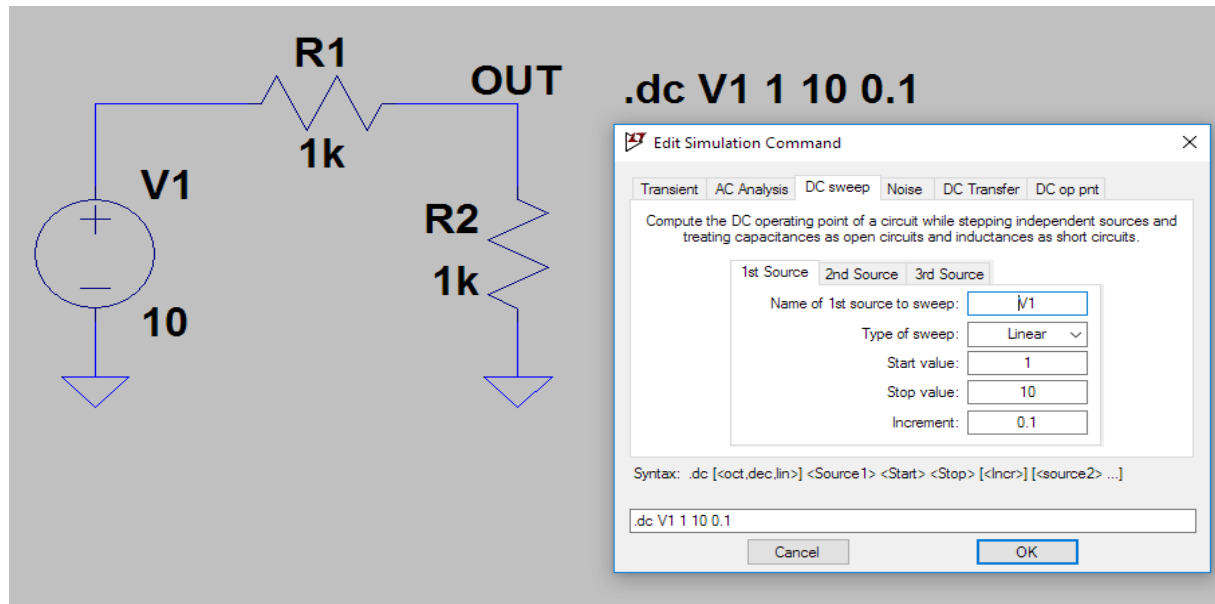
Εντολή Spice **.dc [Vsource] [sweep type] [start V] [end V] [step]** ή από το μενού, Simulate->Edit Simulation Cmd->DC sweep.

Επιτρέπει την εκτέλεση DC ανάλυσης για διάφορες τιμές τάσης μιας πηγής τάσης. Τα ορίσματα της εντολής είναι:

- **Vsource**: Το όνομα της πηγής η τιμή τάσης της οποίας θα μεταβληθεί.
- **Sweep Type**: (προαιρετικό) Παίρνει τιμές **oct** (octave), **dec** (decade), **lin** (linear)
- **Start V**: Αρχική τιμή τάσης της πηγής
- **Stop V**: Τελική τιμή τάσης της πηγής
- **Step**: Βήμα τάσης μεταξύ κάθε προσομοίωσης

Εκτέλεση Προσομοίωσης

- **DC Sweep**
- Εντολή Spice **.dc [Vsource] [sweep type] [start V] [end V] [step]** ή από το μενού, Simulate->Edit Simulation Cmd->DC sweep.
Επιτρέπει την εκτέλεση DC ανάλυσης για διάφορες τιμές τάσης μια πηγής τάσης. Τα ορίσματα της εντολής είναι:



Εκτέλεση Προσομοίωσης

- **AC Analysis**

Εντολή Spice **.ac [Type of Sweep] Npoints StartFreq EndFreq** ή από το μενού, Simulate->Edit Simulation Cmd->AC Analysis.

Επιτρέπει την εκτέλεση AC ανάλυσης για ένα κύκλωμα. Απαιτεί μία πηγή AC τάσης στο κύκλωμα (μέσω πηγής τάσης, ορίζεται μια τιμή τάσης AC στο κατάλληλο πεδίο και διαγράφεται η τάση DC). Τα ορίσματα της εντολής είναι:

Type of Sweep: (προαιρετικό) Παίρνει τιμές **oct** (octave), **dec** (decade), **lin** (linear), **list**.

Για τις 3 πρώτες επιλογές τα υπόλοιπα ορίσματα είναι:

Npoints: Αριθμός σημείων προσομοίωσης ανά οκτάβα ή δεκάδα για τα πρώτα δύο **Type of Sweep** (**oct** και **dec**), συνολικός αριθμός σημείων προσομοίωσης για την επιλογή **lin**.

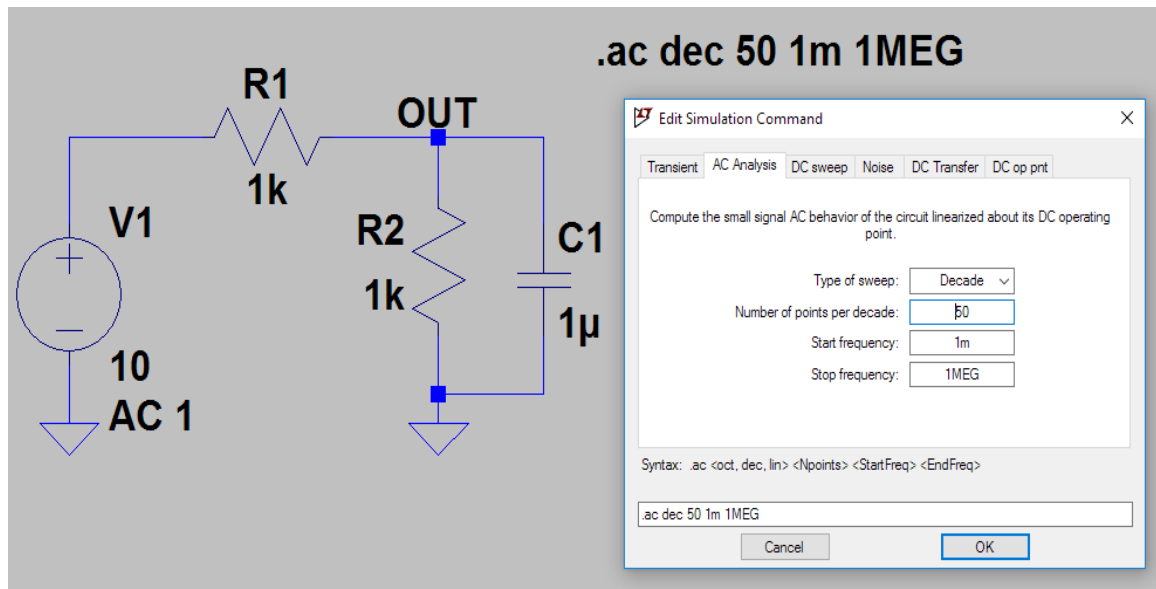
StartFreq: Αρχική συχνότητα

EndFreq: Τελική συχνότητα

Αν το **Type of Sweep** είναι **list** τότε τα ορίσματα είναι μια σειρά από συχνότητες στις οποίες θα γίνει ανάλυση, χωρισμένες με κενό ανάμεσα τους.

Εκτέλεση Προσομοίωσης

- **AC Analysis**
- Εντολή Spice **.ac [Type of Sweep] Npoints StartFreq EndFreq** ή από το μενού, Simulate->Edit Simulation Cmd->AC Analysis.
- Επιτρέπει την εκτέλεση AC ανάλυσης για ένα κύκλωμα. Απαιτεί μία πηγή AC τάσης στο κύκλωμα (μέσω πηγής τάσης, ορίζεται μια τιμή τάσης AC στο κατάλληλο πεδίο και διαγράφεται η τάση DC).



Χρήσιμες Εντολές SPICE

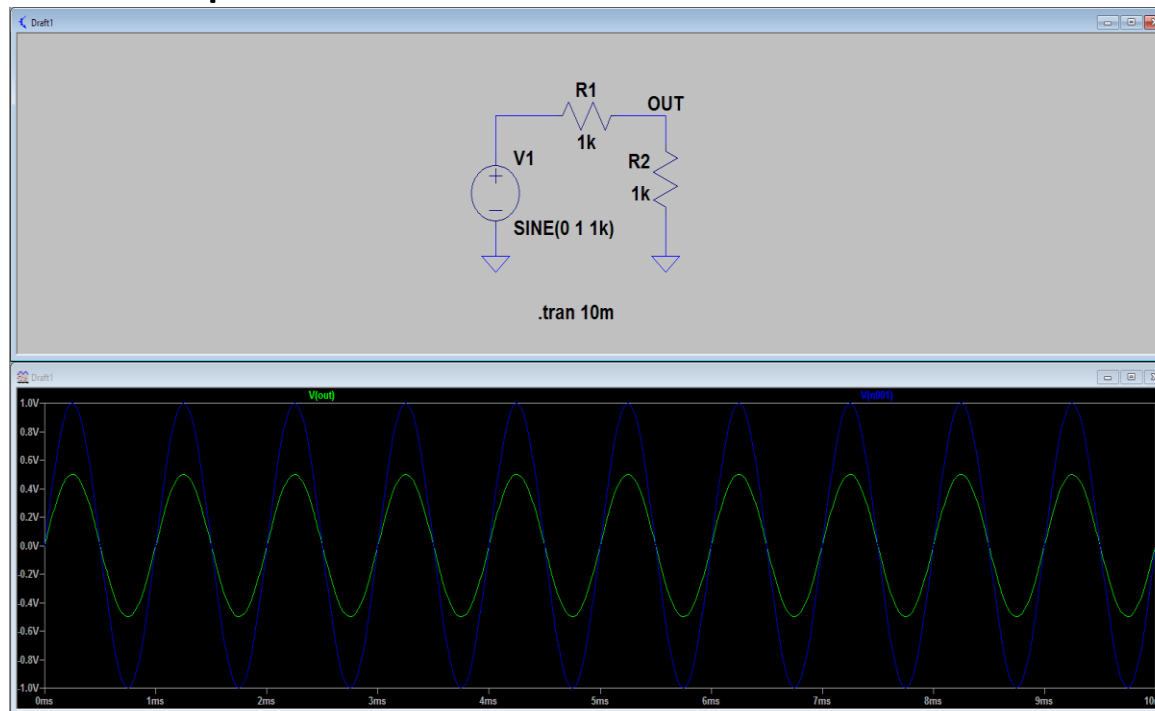
Επαναλαμβανόμενη ανάλυση για διάφορες τιμές παραμέτρου

Εντολή: **.step param [Variable Name] list [values]**

Εκτελεί την προσομοίωση πολλαπλές φορές αλλάζοντας κάθε φορά την τιμή της παραμέτρου **[Variable Name]** σε κάθε μία από τις τιμές στην λίστα **[values]**. Η παράμετρος αυτή μπορεί να είναι οποιαδήποτε τιμή στο κύκλωμα. Για την εισαγωγή της πρέπει να γραφεί το όνομα της ακριβώς και μέσα σε άγκιστρα (πχ αν η παράμετρος X αντιπροσωπεύει την τιμή μιας αντίστασης τότε στην αντίσταση αυτή το value θα είναι {X})

Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Μετά την εκτέλεση της προσομοίωσης, εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο για γραφικές παραστάσεις. Επιλέγοντας ένα συγκεκριμένο κόμβο ή στοιχείο στο σχηματικό με το probe τάσης (σε κόμβους) ή ρεύματος (σε στοιχεία), εμφανίζεται η αντίστοιχη γραφική παράσταση.



Αλλαγή στον τίτλο του διαγράμματος και γραφική παράσταση

- Δεξί κλικ στον τίτλο του διαγράμματος
- (μπορούμε να τον αλλάξουμε)
- Γράφουμε π.χ. στο V_{out}

$V_{out}/2$ ή $V_{out}/3$

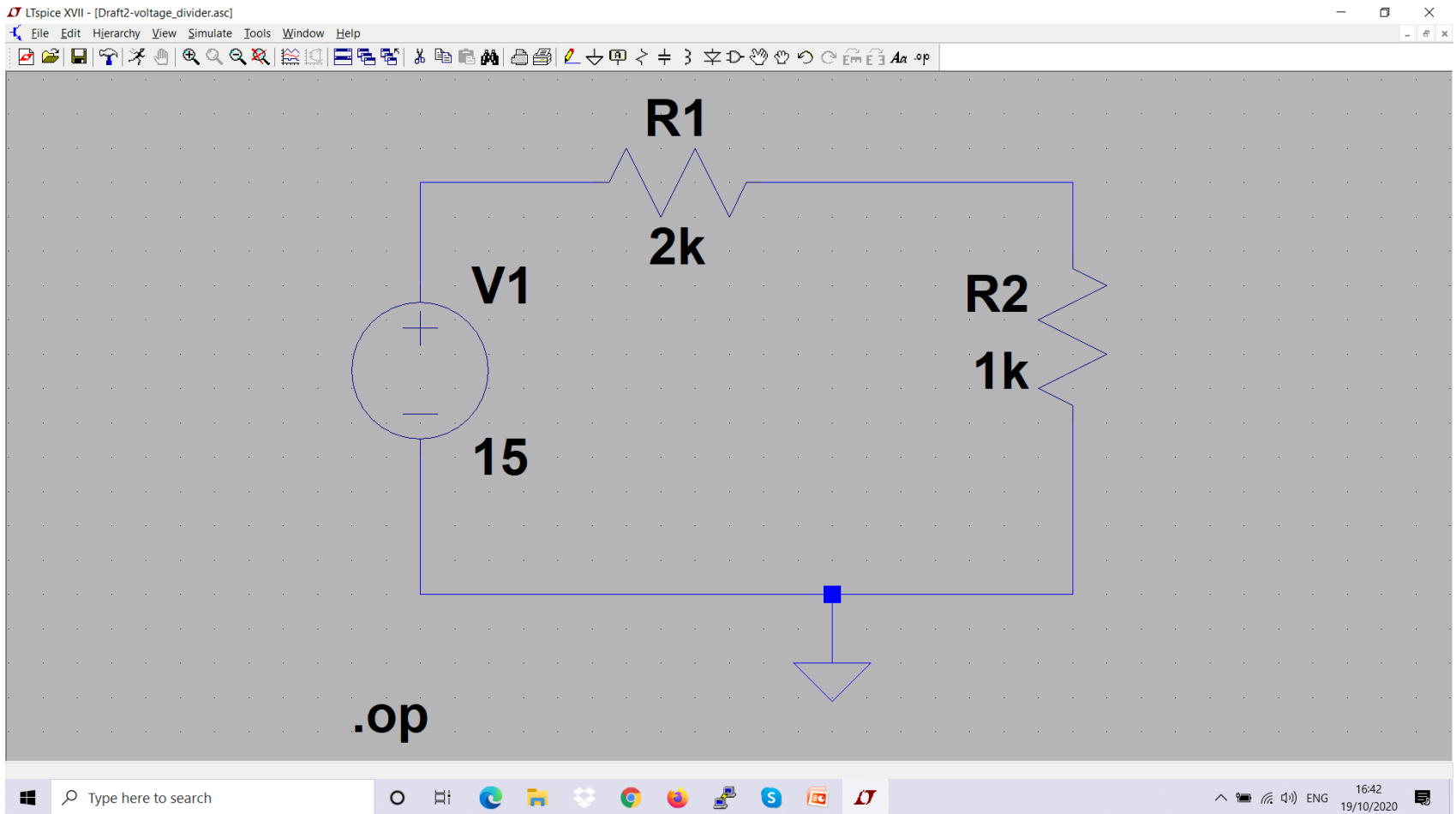
και παίρνουμε την αντίστοιχη γραφική.

OK

Παραδείγματα κυκλωμάτων και προσομοιώσεων


- Διαιρέτης τάσης
- Διαιρέτης ρεύματος
- Φίλτρο παθητικό
- Ενισχυτής με τελεστικό ενισχυτή

Παράδειγμα: Διαιρέτης τάσης



Adding SPICE directives

Μετά την επιλογή προσομοίωσης simulation command, επιλέξτε το (click) **Run** button 

- Η εντολή Run (Run command) είναι εντολή που έχει το συντακτικό της και μπορεί να γραφεί επιλέγοντας SPICE directive  π.χ. `.ac dec 50 1 1000`
- Μπορείτε να προσθέσετε **άλλες εντολές** SPICE commands **απευθείας** επιλέγοντας το Spice Directive πλήκτρο
- Στο HELP υπάρχουν λεπτομέρειες για τη σύνταξη κάθε εντολής.

Εκτύπωση

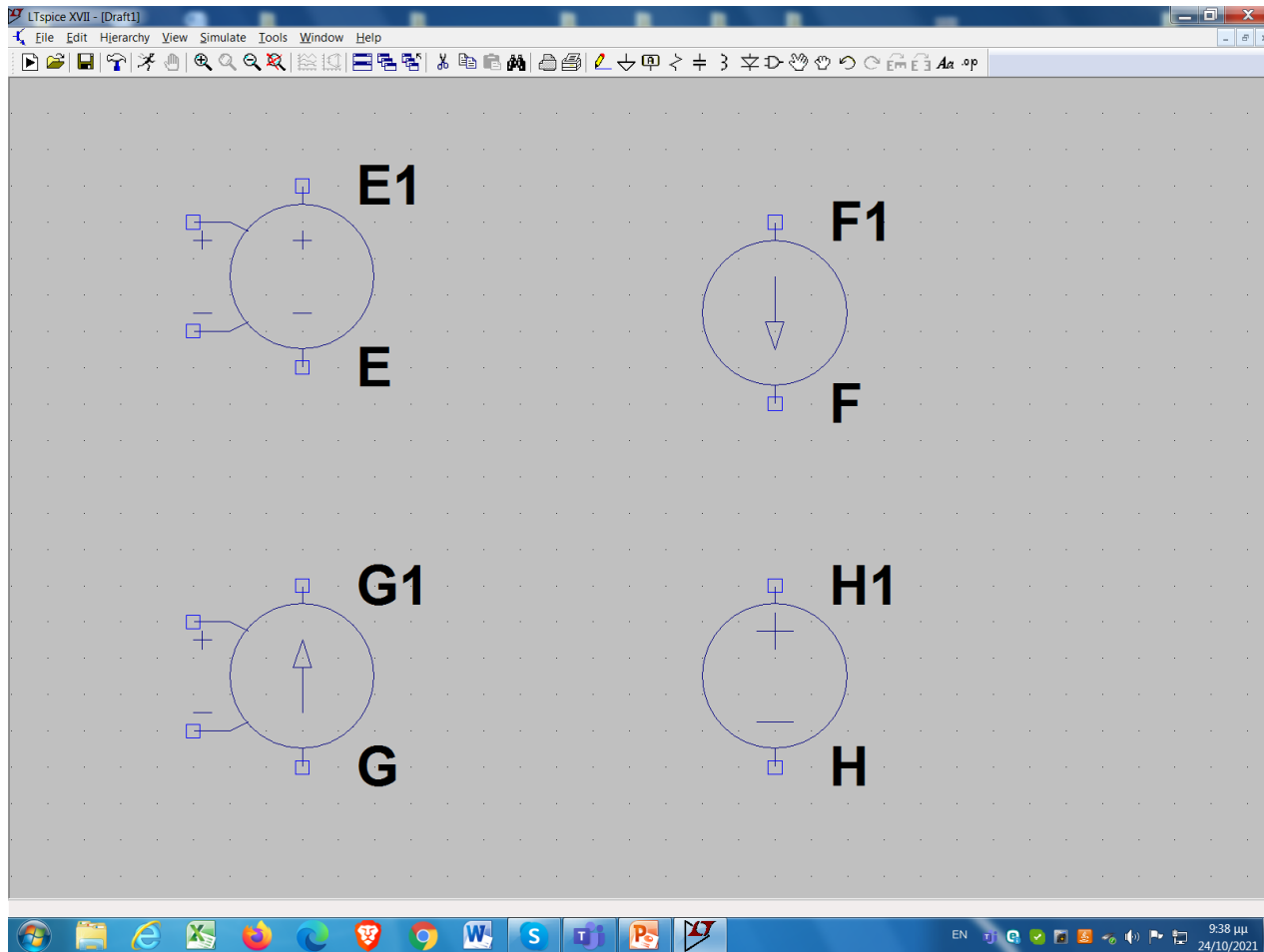
- Tools
 - Copy bitmap to clipboard
 - Άνοιγμα αρχείου word
 - Paste (Ctrl-V)
 - Print
-
- Ή από το εικονίδιο του Print

Εξαρτημένες πηγές στο LTSpice

Υπάρχουν διαθέσιμες 4 εξαρτημένες πηγές στο εικονίδιο Add Component οι οποίες συμβολίζονται με e , f , g , h ως εξής:

- Εξαρτημένη πηγή τάσης από τάση e
- Εξαρτημένη πηγή ρεύματος από ρεύμα f
- Εξαρτημένη πηγή ρεύματος από τάση g
- Εξαρτημένη πηγή τάσης από ρεύμα h

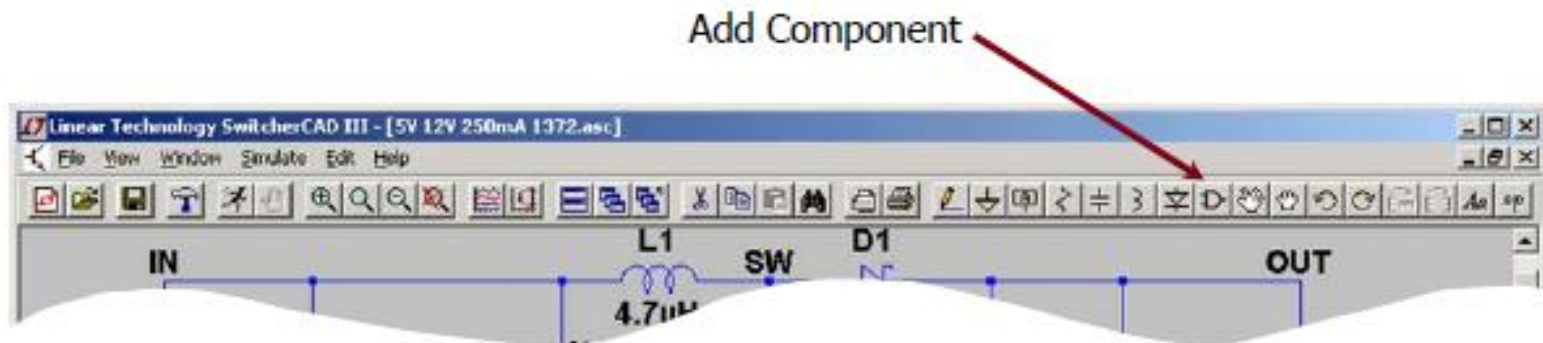
Εξαρτημένες πηγές στο LTSpice



Εισαγωγή εξαρτημένης πηγής

Παράδειγμα : εξαρτημένη πηγή τάσης από τάση

- Εικονίδιο Add Component → e → OK
- Αριστερό κλικ
- Δεξί κλικ



Παράδειγμα κυκλώματος με εξαρτημένη πηγή

