

# **Πανεπιστήμιο Κύπρου** Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Σύντομη Εισαγωγή στο PSPICE

Δρ. Κωνσταντίνος Πίτρης

Λευκωσία, 2010

© 2010 Κωνσταντίνος Πίτρης,

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Κύπρου

Απαγορεύεται η ολική ή μερική αναπαραγωγή του παρόντος κειμένου με ηλεκτρονικό, φωτοτυπικό ή οποιονδήποτε άλλο τρόπο χωρίς τη γραπτή άδεια του συγγραφέα.

# Πίνακας Περιεχομένων

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	III
ΚΕΦΆΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
Εγκατάσταση	
Είσοδος της τοπολογίας του κυκλωματός	
Ανάλύση του Κύκλωματος	
Απλά στοιχεία DC	
ΚΕΦΆΛΑΙΟ 2 – ΑΝΆΛΥΣΗ DC	
Метаволн Пнгнх DC	
Μεταβολή Πολλαπλών Πηγών DC	
Ισοδύναμο Κύκλωμα Thevenin	
Ανάλύση Ευαίσθησιας	
Ακριβεία Αντιστάσεων	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	
Метаватік'н Алалухн	
Συναρτήσεις Κατά Τμήματα Γραμμικές (Piecewise Linear)	
Διακοπτές	
Μεταβολές Τιμών	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΟ	
Ημιτονοείδεις Πηγές	
Πηγές ΑС	
Μεταβολές τιμών	
Δіаграмма Bode	

# Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή

Υπάρχουν πολλά προγράμματα ανάλυσης κυκλωμάτων. Τα προγράμματα αυτά εξομοιώνουν τη συμπεριφορά των κυκλωμάτων σε επίπεδο μοντέλων. Ένα ευρέως διαδεδομένο και διεθνώς αποδεκτό πρόγραμμα είναι το πρόγραμμα SPICE, (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis). Το πρόγραμμα αυτό αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο του Berkeley της Καλιφόρνιας το 1973. Έκτοτε, έχουν κυκλοφορήσει πολλές βελτιωμένες εκδόσεις του προγράμματος. Μια έκδοση του προγράμματος από την Cadence για προσωπικούς υπολογιστές κυκλοφορεί με την ονομασία Orcad PSPICE Lite, και είναι γραμμένη σε παραθυρικό περιβάλλον. Οι σημειώσεις αυτές αναφέρονται στην έκδοση 9.2 αυτού του προγράμματος.

Το SPICE αποτελεί μία ειδικής μορφής γλώσσα προγραμματισμού, σχεδιασμένη για την περιγραφή ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και την προσομοίωση της λειτουργίας τους. Ως γλώσσα προγραμματισμού το SPICE ενσωματώνει μία συλλογή εντολών για τη μαθηματική περιγραφή ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, δηλαδή τον ορισμό της τοπολογίας τους τον ορισμό του μαθηματικού μοντέλου λειτουργίας των στοιχείων τους και την εφαρμογή των νόμων του Kirchoff σε αυτά. Με τα γραφικά βοηθήματα που προσφέρουν τα σύγχρονα προγράμματα SPICE, όπως αυτό της Orcad, οι εντολές του προγραμματισμού δημιουργούνται αυτόματα από τη τοπολογία του κυκλώματος. Με το Spice μπορείτε να:

- 1. Περιγράψετε το κύκλωμα το οποίο θέλετε να μελετήσετε
- 2. Καθορίσετε ποιου είδους ανάλυση θα θέλετε να εφαρμόσετε στο κύκλωμα
- 3. Αναλύσετε το κύκλωμα και να πάρετε από τον υπολογιστή γραφικές παραστάσεις των αποτελεσμάτων.

#### Εγκατάσταση

Η εγκατάσταση του προγράμματος γίνεται από το αρχείο "Setup.exe" που βρίσκεται στο ψηφιακό δίσκο που πήρατε στο εργαστήριο. Ακολουθήστε τις οδηγίες του προγράμματος. Όταν ερωτηθείτε ποια προγράμματα θα θέλετε να εγκαταστήσετε, επιλέξετε Capture CIS, PSpice και Layout (βλ. σχήμα 1.1.)



**Σχήμα 1.1** 

#### Είσοδος της τοπολογίας του κυκλώματος

Η είσοδος της τοπολογίας του κυκλώματος μπορεί να γίνει και με γραφικό τρόπο, με το πρόγραμμα "Capture CIS Lite Edition."

Από το μενού διαλέξτε File→New→Project. Αυτή η επιλογή οδηγεί στη δημιουργία ενός καινούργιου έργου (project). Δώστε ένα όνομα στο έργο σας και καθορίστε το χώρου όπου θα αποθηκεύονται τα αρχεία του. Επιλέξετε "Analog or Mixed AD" ως τύπο του έργου(βλ σχήμα 1.2A.)

Ακολούθως, επιλέξετε ένα άδειο έργο (blank project) οπότε και θα ανοίξει το σχεδιάγραμμα μέσα στο οποίο θα σχηματίσετε το κύκλωμα σας (βλ. σχήμα 1.2B.)



Σχήμα 1.2

Για να τοποθετήσετε τα στοιχεία στο σχεδιάγραμμα μπορείτε να επιλέξετε από το μενού Place→Part ή να επιλέξετε το δεύτερο κουμπί στη γραμμή εργαλείων δεξιά. Μετά από αυτή την επιλογή θα ανοίξει ο διάλογος επιλογής στοιχείων. Την πρώτη φορά που θα τρέξετε αυτό το πρόγραμμα ο διάλογος αυτός θα είναι άδειος. Μπορείτε να προσθέσετε στοιχεία στο διάλογο με το να προσθέσετε συλλογές (libraries) από στοιχεία. Αρχίστε από τις συλλογές που περιλαμβάνονται με το πρόγραμμα. Πατήστε το κουμπί "Add Library" και επιλέξετε όλες τις συλλογές που βρίσκονται στο "C:\Program Files\OrcadLite\Capture\Library\PSpice." Στο σχήμα 1.3Α επιλέγουμε όλες τις συλλογές και στο σχήμα 1.3Β βλέπουμε το αποτέλεσμα της επιλογής. Για να δούμε τα περιεχόμενα μιας συλλογής επιλέγουμε τη συλλογή από τις επιλογές κάτω δεξιά. Μπορούμε να επιλέξουμε και περισσότερες από μια επιλογές. Για αν επιλέζουμε ένα στοιχείο γράφουμε το στοιχείο από το χώρο που ονομάζεται "Part List."

Browse File	Place Parts
Look in: 🔁 PSpice 💌 🗲 🛍 📅	VDC Capel
탄밀 abm.olb 탄밀 sourcstm.olb 탄밀 analog.olb 탄밀 special.olb 탄밀 analog_p.olb 탄밀 breakout.olb	Partiat Print/TVSPEDAL Print/TVSPEDAL Print/TVSPEDAL STM14/SOURCE STM4/SOURCE
Esii eval.ob Esi source.ob	VAL/SOURCE VOCADURE E E
File name:     "special.olb" "abm.olb" "analog.olb" "analog_o.     Open       Files of type:     Capture Library(*.olb)     Cancel	ANALOG P BREAKDUT Design Cache EVAL SOURCSTM SOURCSTM Ref Design Cache Patts per Rig: 1 Source Source Patts per Rig: 1
Copen as read-only	B

Σχήμα 1.3

Αφού επιλέξουμε το στοιχείο που θέλουμε πατούμε το κουμπί "OK" και τοποθετούμε, πατώντας το αριστερό κουμπί στο ποντίκι, το στοιχείο στο σημείο που θέλουμε πάνω στο σχεδιάγραμμα. Για να σταματήσει η τοποθέτηση περισσότερων από αυτό το στοιχείο πατούμε είτε το πρώτο κουμπί στη γραμμή εργαλείων δεξιά είτε το δεξί κουμπί στο ποντίκι και επιλέγουμε "End Mode" από το μενού ή ακόμα και πατώντας το κουμπί ESC. Για να περιστρέψετε ένα στοιχείο 90°, πατήστε "Ctrl-R" ή να επιλέξετε την κατάλληλη επιλογή από το μενού που παρουσιάζεται όταν πατήσουμε το δεξί κουμπί στο ποντίκι. Στο σχήμα 1.4Α βλέπουμε ότι έχουμε τοποθετήσει μια πηγή και δύο αντιστάσεις και ετοιμαζόμαστε να σταματήσουμε την τοποθέτηση στοιχείων.

Πριν χρησιμοποιούμε κάποιο στοιχείο θα χρειαστεί, κατά πάσα πιθανότητα να αλλάξουμε την τιμή του. Με διπλό πάτημα του αριστερού κουμπιού στο ποντίκι ή πάτημα του δεξιού κουμπιού στο ποντίκι και επιλογή από το μενού "Edit Properties" πάνω στη τιμή του στοιχείου, ανοίγει ο διάλογος που μας επιτρέπει να την αλλάξουμε. Στο σχήμα 1.4B βλέπουμε πως μπορούμε να αλλάξουμε την τιμή της πηγής σε 12 V.





Το τελευταίο στάδιο στη κατασκευή του κυκλώματος είναι να τοποθετήσουμε τη γείωση η οποία πρέπει να βρίσκεται στο κόμβο 0 του κυκλώματος. Ο πιο εύκολος τρόπος να γίνει αυτό είναι να πατήσετε το κουμπί "GND" στη γραμμή εργαλείων δεξιά και να τοποθετήσετε τη γείωση με όνομα "0" στο σημείο όπου επιθυμούμε (βλ. σχήμα 1.5A.) Αν αυτό το στοιχείο δεν υπάρχει τότε πρέπει να πατήσετε το κουμπί "Add Library" και να προσθέσετε τη συλλογή "source" από τον κατάλογο PSpice (C:\Program Files\OrcadLite\Capture\Library\PSpice.) Στο σχήμα 1.5B βλέπετε το συμπληρωμένο κύκλωμα.



Μετά την εισαγωγή της τοπολογίας του κυκλώματος, η μαθηματική περιγραφή του κυκλώματος γίνεται με εντολές περιγραφής, μέσω του προγράμματος, χωρίς την παρέμβαση του χρήστη. Οι εντολές προσδιορίζονται με βάση τη γνωστή ανάλυση κόμβων, (nodal analysis). Ως μηδενικός κόμβος λαμβάνεται ο κόμβος αναφοράς του κυκλώματος. Η θέση κάθε στοιχείου καθορίζεται από

τους κόμβους, μεταξύ των οποίων συνδέεται. Εξυπακούεται ότι, στο πρόγραμμα είναι διαθέσιμα τα μοντέλα για κάθε ηλεκτρικό ή ηλεκτρονικό στοιχείο όπως και τα μοντέλα των διαφόρων πηγών σήματος ή τροφοδοσίας, αφού, η εξομοίωση γίνεται πάντοτε σε επίπεδο μοντέλων των στοιχείων. Από τη στιγμή, που η μαθηματική περιγραφή του κυκλώματος έχει ολοκληρωθεί, το πρόγραμμα αναλαμβάνει τον προσδιορισμό των τάσεων όλων των κόμβων και των ρευμάτων όλων των κλάδων. Αυτό επιτυγχάνεται με επίλυση, μέσω αριθμητικής ανάλυσης, του συστήματος των γραμμικών ή μη γραμμικών εξισώσεων, που περιγράφει το κύκλωμα. Επίσης, ανάλογα με το είδος ανάλυσης, που ακολουθείται, προσδιορίζονται ένα πλήθος παραμέτρων εξόδου.

Αν θέλετε να δείτε το κατάλογο με τις εντολές που σχηματίζουν το κύκλωμα του σχήματος 1.5B, μπορείτε να επιλέξετε από το μενού "PSpice→Create Net List" και ακολούθως "PSpice→View Net List" οπότε και θα δείτε:

* source	THE	BEST CIRSUIT	
V_V1		N00286 0 12V	
R_R1		N00286 N00144	3k
R_R2		0 N00144 6k	

Κάθε στοιχείο του κυκλώματος χαρακτηρίζεται από το τύπο του στοιχείου (π.χ. R), από το όνομα του (π.χ. R1), από τους κόμβους στους οποίους είναι ενωμένο (π.χ. N00286 και N00144) και την τιμή του (π.χ. 3 k.)

#### Ανάλυση του Κυκλώματος

Το πρόγραμμα SPICE μπορεί να αναλύσει το κύκλωμα με διάφορους τρόπους. Μια απλή ανάλυση είναι ο υπολογισμός των τάσεων σε όλους του κόμβους του κυκλώματος. Η ανάλυση αυτή ονομάζεται "ανάλυση πόλωση" (bias.) Αρχίζετε με τον καθορισμό μιας νέας προσομοίωσης SPICE από το μενού PSpice→ New Simulation Profile. Ονομάζετε την προσομοίωση (σχήμα 1.6A) και επιλέγετε όπως και στο σχήμα 1.6B.





Όταν επιλέξετε από το μενού PSpice  $\rightarrow$  Run θα δείτε να εμφανίζεται ο διάλογος της προσομοίωσης (σχήμα 1.7Α.) Για να δείτε τα αποτελέσματα αυτού του απλού παραδείγματος μπορείτε να πατήσετε το τρίτο κουμπί στη γραμμή εργαλείων αριστερά ή να επιστρέψετε στο σχεδιάγραμμα όπου οι τιμές φαίνονται τώρα πάνω στο κύκλωμα (σχήμα 1.7B.) Στο κείμενο που θα εμφανιστεί στο διάλογο της προσομοίωσης θα βρείτε τις τιμές της τάσης που αντιστοιχεί σε κάθε κόμβο καθώς και το ρεύμα και ισχύ που καταναλώνεται από το κύκλωμα. Οι κόμβοι είναι αριθμημένοι όπως και στο κατάλογο εντολών του κυκλώματος που είδατε πιο πάνω. Για να εμφανιστούν στο σχεδιάγραμμα του κυκλώματος και οι τιμές του ρεύματος ή της ισχύος επιλέξετε από το μενού "PSPICE  $\rightarrow$  Bias Points  $\rightarrow$  Enable Bias Current Display" ή "Enable Bias Power Display".



Το αρχείο εξόδου μπορεί να έχει την πιο κάτω μορφή:

```
**** 05/16/05 19:49:57 ************* PSpice Lite (Mar 2000) **********************
** Profile: "SCHEMATIC1-MyBias"
* * * *
      CIRCUIT DESCRIPTION
                       *****
** Creating circuit file "the best cirsuit-schematic1-mybias.sim.cir"
*Libraries:
* Local Libraries :
* From [PSPICE NETLIST] section of C:\Program Files\OrcadLite\PSpice\PSpice.ini file:
.lib "nom.lib"
*Analysis directives:
.PROBE V(*) I(*) W(*) D(*) NOISE(*)
.INC ".\the best cirsuit-SCHEMATIC1.net"
**** INCLUDING "the best cirsuit-SCHEMATIC1.net" ****
* source THE BEST CIRSUIT
V_V1
          N00286 0 12V
          N00286 N00144
R_R1
                      3k
R_R2
          0 N00144 6k
**** RESUMING "the best cirsuit-schematic1-mybias.sim.cir" ****
.END
** Profile: "SCHEMATIC1-MyBias"
****
       SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION
                                  TEMPERATURE = 27.000 DEG C
                                                          *******
*****
NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE
(N00144) 8.0000(N00286) 12.0000
VOLTAGE SOURCE CURRENTS
NAME
          CURRENT
          -1.333E-03
v_v1
TOTAL POWER DISSIPATION 1.60E-02 WATTS
JOB CONCLUDED
TOTAL JOB TIME
                       .02
```

Πριν παραδώσετε ένα κύκλωμα, καλό θα ήταν να συμπληρώσετε τα στοιχεία σας στο κάτω δεξιά μέρος της σελίδας. Με διπλό πάτημα του αριστερού κουμπιού στο ποντίκι, πάνω από κάθε πεδίο, θα δείτε το διάλογο που θα σας επιτρέψει να βάλετε τα δικά σας στοιχεία, όπως π.χ. τον τίτλο του εργαστηρίου και το όνομα σας (βλ. σχήμα 1.8Α.)



Σχήμα 1.8

# Απλά στοιχεία DC

Το SPICE παρέχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσετε διάφορα στοιχεία στο κύκλωμα σας, όπως:







**Σημείωση**: Στις εξαρτημένες πηγές, τα δεξιά άκρα αποτελούν την πηγή και τα αριστερά άκρα αντιστοιχούν στους κόμβους ελέγχου.

#### Κεφάλαιο 2 – Ανάλυση DC

#### Μεταβολή Πηγής DC

Με τη βοήθεια του PSPICE μπορούμε να δούμε πως μεταβάλλονται οι τιμές της τάσης και του ρεύματος σε ένα κύκλωμα όταν μια ή περισσότερες πηγές μεταβάλλονται γραμμικά. Αρχίζουμε με ένα παράδειγμα με μια μεταβαλλόμενη πηγή τάσης. Στο σχήμα 2.1 βλέπουμε ένα απλό κύκλωμα. Για πηγές χρησιμοποιούνται τα στοιχεία Vsrc και Isrc από τη συλλογή Source. Στο παράδειγμα, η πηγή Isrc έχει τιμή 5Α συνεχόμενο (DC) ρεύμα. Για να αλλάξετε την τιμή πρέπει να επιλέξετε την κατάλληλη λειτουργία (σε αυτή την περίπτωση DC) και είτε με διπλό πάτημα του αριστερού κουμπιού στο ποντίκι είτε με πάτημα του δεξιού κουμπιού και επιλογή Edit Properties, να ανοίξετε το διάλογο και να θέσετε την τιμή σε 5.





Μετά από ανάλυση DC ή AC ο χρήστης μπορεί να δει τα αποτελέσματα είτε σε γραφικές παραστάσεις είτε τυπωμένα στο αρχείο εξόδου. Για να δημιουργηθούν γραφικές παραστάσεις των μεταβαλλόμενων παραμέτρων, δεν χρειάζονται οποιαδήποτε επιπρόσθετα στοιχεία στο κύκλωμα. Για να καταγραφούν, όμως, οι τιμές παραμέτρων που μας ενδιαφέρουν στο αρχείο εξόδου, χρησιμοποιούνται τα στοιχεία IPrint και VPrint από τη συλλογή Special. Στην περίπτωση του VPrint υπάρχουν δύο επιλογές, VPrint1 για μονοπολικές τάσεις (ως προς τη γείωση) και VPrint2 για διπολικές τάσεις. Είναι πολύ σημαντικό να ενώσετε τα δυο αυτά στοιχεία με τη σωστή κατεύθυνση. Το ρεύμα πρέπει να εξέρχεται από την πλευρά με το (-) σύμβολο του IPrint και ο αρνητικός πόλος της τάσης πρέπει να είναι ενωμένος με την πλευρά με το (-) σύμβολο του VPrint. Για να αντιστρέψετε τους κόμβους αυτών των δύο στοιχείων, όπως φαίνεται και στο σχήμα, πατήστε πάνω από το στοιχείο το δεξί κουμπί στο ποντίκι και R2 και το ρεύμα διατρέχει το IPrint από δεξιά προς αριστερά. Για να τυπώσουν αυτά τα δύο στοιχεία τις μεταβολές DC πρέπει, και στις δυο περιπτώσεις, να πατήσετε το δεξί κουμπί στο ποντίκι, να επιλέξετε Edit Properties και να τοποθετήσετε Y στο DC (σχήμα 2.1 B.)

Πριν τρέξετε την ανάλυση μεταβολής DC πρέπει να δημιουργήσετε μια νέα προσομοίωση SPICE, όπως και στο προηγούμενο κεφάλαιο, μόνο που αυτή τη φορά πρέπει να επιλέξετε DC Sweep. Καθορίζεται τα χαρακτηριστικά της μεταβολής όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2A. Όταν τρέξετε την προσομοίωση μπορείτε να δείτε τα αποτελέσματα είτε στο κείμενο του αρχείου εξόδου, πατώντας το τρίτο κουμπί στη γραμμή εργαλείων αριστερά (σχήμα 2.2B) είτε γραφικά. Για να δείτε τα αποτελέσματα γραφικά πατήστε το τέταρτο κουμπί στη γραμμή εργαλείων αριστερά και επιλέξετε V1(R1)-V2(R1) θα δείτε γραφικά τη διαφορά τάσης μεταξύ των δύο κόμβων της αντίστασης R2 σαν συνάρτηση της τάσης V1 (Σχήμα 2.3A.) Μπορείτε να προσθέσετε και άλλες γραφικές παραστάσεις στους ίδιους άξονες με τον ίδιο τρόπο. Μπορείτε επίσης να προσθέσετε καινούργιους άξονες (Add Plot Window) ή να αλλάξετε τα χαρακτηριστικά των αξόνων από το μενού Plot. Στο σχήμα 2.3B βλέπουμε την τάση στο κόμβο 2 της R2 (V2(R2)), πάντοτε ως προς τη γείωση, όσο και το ρεύμα που διαπερνά την αντίσταση R2 (I(R2)). (Σημείωση: Κόμβος 1 είναι αριστερά στις οριζόντιες αντιστάσεις ή κάτω στις κάθετες.)



Σχήμα 2.3

#### Μεταβολή Πολλαπλών Πηγών DC

Με το SPICE μπορούμε να μεταβάλουμε περισσότερες από μία πηγές. Ακολουθώντας τα βήματα που περιγράφονται πιο πάνω μπορούμε να συμπεριλάβουμε και την πηγή ρεύματος ως μεταβλητή. Αυτό γίνεται με την επιπρόσθετη επιλογή Secondary Sweep και τον καθορισμό των παραμέτρων της μεταβολής της πηγής ΙΙ όπως φαίνεται στο σχήμα 2.4Α. Όταν η προσομοίωση τελειώσει θα δείτε πως μεταβάλλεται η τάση μεταξύ των κόμβων της αντίστασης R2 και με τις μεταβολές και των δύο πηγών (Σχήμα 2.4B.)

	Schenderferndeswaspizie popieskold inner [marbarentenbelsenderferndeswaspiziehe (denva)]     Se Ede Vew Smulaton Trace Bot Taols Window Beb #	
Simulation Settings - dosweep2		
General Analysis Include Files       Libraries       Stimulus       Options       Data Collection       Probe Window         Analysis type:       Image: Stimulus       Sweep variable       Image: Sweep variable       Image: Sweep variable         Options:       Image: Sweep variable       Image: Sweep variable       Image: Sweep variable       Image: Sweep variable         Options:       Image: Sweep variable       Image: Sweep variable       Image: Sweep variable       Image: Sweep variable         Image: Sweep variable       Image: Sweep variable       Image: Sweep variable       Image: Sweep variable       Image: Sweep variable         Image: Sweep variable       Image: Sweep variable       Image: Sweep variable       Image: Sweep variable       Image: Sweep variable         Image: Sweep variable       Image: Sweep variable       Image: Sweep variable       Image: Sweep variable         Image: Sweep variable       Image: Sweep variable       Image: Sweep variable       Image: Sweep variable         Sweep variable       Image: Sweep variable       Image: Sweep variable       Image: Sweep variable         Sweep variable       Image: Sweep variable       Image: Sweep variable       Image: Sweep variable         Sweep variable       Image: Sweep variable       Image: Sweep variable       Image: Sweep variable         Sweep variable       S		1000
C Value ligt OK Cancel Apply Help	The test on         If the test on           If stratute controls         Stratute controls           If stratute controls         If stratute controls           If stratute controls         If stratute controls           If reference         If the test of	rd = 5 rd = 100



#### Ισοδύναμο Κύκλωμα Thevenin

Με τη βοήθεια του SPICE μπορείτε να υπολογίσετε το ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin για οποιοδήποτε κύκλωμα. Για να το πετύχετε αυτό χρειάζεστε το ρεύμα για το κλειστό κύκλωμα και την τάση για ανοικτό κύκλωμα μεταξύ των κόμβων a και b. Για να προσομοιώσετε το κλειστό κύκλωμα μπορείτε να χρησιμοποιήσετε μια αντίσταση πολύ μικρότερη από τις υπόλοιπες του κυκλώματος, π.χ. 1 εκατομμύριο φορές μικρότερη και να θέσετε τον κόμβο b ως γείωση. Για να προσομοιώσετε το ανοικτό κύκλωμα μπορείτε να τοποθετήσετε ένα πυκνωτή μεταξύ των δύο κόμβων. Τα δύο κυκλώματα φαίνονται στο σχήμα 2.4 και 2.5 αντίστοιχα. Μετά από ανάλυση πόλωσης και των δύο βλέπουμε ότι το ρεύμα για κλειστό κύκλωμα (δηλαδή η τάση στο κόμβο a) είναι 12V. Το κύκλωμα Thevenin αποτελείται λοιπόν από μια πηγή 12V και μια αντίσταση 6Ω.





#### Ανάλυση Ευαισθησίας

Μια τιμή εξόδου σε ένα κύκλωμα επηρεάζεται από τις τιμές όλων των στοιχείων στο κύκλωμα. Με τη βοήθεια του SPICE μπορείτε να υπολογίσετε πόσο θα αλλάξουν μία ή περισσότερες τιμές εξόδου σαν συνάρτηση των ποσοστιαίων αλλαγών όλων των στοιχείων. Στο κύκλωμα που φαίνεται στο Σχήμα 2.6Α καθορίζεται ένας κόμβος ως τιμή εξόδου. Αυτό γίνεται με την επιλογή του συμβόλου >> από τη γραμμή εργαλείων δεξιά, τοποθέτηση ενός OFFPAGELEFT-R στοιχείου και ονομάζοντας το Out. Δημιουργούμε μια καινούργια προσομοίωση και επιλέγουμε Perform Sensitivity Analysis με έξοδο τη τάση στοη κόμβο Out, δηλαδή V(Out), όπως φαίνεται στο σχήμα 2.6B. Στο Σχήμα 2.7 βλέπετε τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας. Φαίνεται, για παράδειγμα, η τάση V(Out) κυμαίνεται 0.2V ανά ποσοστιαία αλλαγή στην αντίσταση R2. Αυτό σημαίνει ότι αν φτιάξετε το ίδιο κύκλωμα πολλές φορές με αντιστάσεις R2 που έχουν ακρίβεια 10%, η τιμή εξόδου μπορεί να διαφέρει μέχρι και ±2 Vαπό τον αρχικό υπολογισμό.



😹 SCHEMATICI -simplesweep - PSpice A/D Lite - [the best circuit-SCHEMATICI -simplesweep.out. 1] 👘					
🖹 Ele Edit View Simulation Irace Bot Topis Window Help 🛤	_ 8 ×				
1         1					
9 a					
DC SENSITIVITIES OF OUTPUT V(OUT)					
ELEMENT         ELEMENT         ELEMENT           NAME         VALUE         SENSITIVITY         SENSITIVITY           (VOLIS/VIT)         (VOLIS/VIT)         (VOLIS/VIT)         (VOLIS/VIT)					
R_82 1.0008+02 2.0008-01 2.0008-01 R_84 2.5008+01 - 8.0008-01 - 2.0008-01 V_V1 1.2508+02 8.0008-01 1.0008+00					
JOB CONCLUZED TOTAL JOB TIME: .03					
El lu Pi the best cits					
Sinulation ranning. Sinulation ranning. Sinulation ranning. Sinulation complete Sinulation complete	>				
For Help, press F1 100%					
Σχήμα 2.7					

#### Ακρίβεια Αντιστάσεων

Είναι φανερό και από την πιο πάνω ανάλυση ότι η ακρίβεια των αντιστάσεων μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την τιμή εξόδου του κυκλώματος. Στο ίδιο κύκλωμα όπως και προηγουμένως, για να καθορίσετε την ακρίβεια ενός στοιχείου, μέσα στις ιδιότητες (Properties) του καθορίζετε την ανοχή (Tolerance), όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.8 Α. Μπορείτε ακόμα να κάνετε αυτή η ανοχή να φαίνεται στο σχεδιάγραμμα του κυκλώματος αν πατήσετε το κουμπί Display και επιλέξετε Value Only (Σχήμα 2.8 B.)

Property Editor			<	
New Column Apply Display	y Delete Property Filter by:	< Current properties >		
	Source Package Source Part	TOLERANCE Value		
	R R.Normal	10% 100		
✓ ▶ Parts (Schematic Nets)	<u> </u>		Display Propertif Name: TOLEBANCI Value: 10% Display Format ○ Do Not Displa ○ Do Not Displa ○ Do Not Displa ○ Do Not Displa ○ Name Only ○ Name Only ○ Both if Value	E Font Arial 7 Change Use Defa ay alue Exists Color Default Color Default Color Default Color Default Color Default Color C

Σχήμα 2.8

Ακολούθως ετοιμάζετε την καινούργια προσομοίωση. Καθορίζουμε DC Sweep με τιμές της πηγής V1 από 125V σε 125V, δηλαδή καμιά αλλαγή (Σχήμα 2.9 Α.) Ακολούθως επιλέγετε Monte Carlo / Worst Case με τιμή εξόδου V(Out) και στοιχεία με ανοχή only DEV (Σχήμα 2.9 Β.)

Analysis type:	Sweep variable	General Analysis   Include Files   Libraries   Stimulus   Options   Data Collection   Probe Win Analysis type:
DC Sweep 👻	Voltage source Name: V1	DC Sweep
Detions: Secondary Sweep Monte Carlo/Wont Case Parametric Sweep Temperature (Sweep) Save Bias Point Load Bias Point	C Durrent source Model type: Disbat parameter Model name: Temperature Barameter name: Sweep type C Linear End value: 125	Options:         Monte Callo options         Options:           Monte Callo options         Mumber of runs;         Use distributions         Estributions           Barametric Sweep         Save data from         All         Inscription           Save data from         All         Inscription
	C Logaritymic Decade Increment:	Vary devices that have jorly DEV       tolerances         Limit devices to type(s):



Τώρα θα τρέξετε δύο προσομοιώσεις. Μια για να βρείτε τη μέγιστη και μια για να βρείτε την ελάχιστη. Στο προηγούμενο διάλογο (Σχήμα 2.9 B) επιλέγετε More Settings και καθορίζετε στο επόμενο διάλογο ως τιμές τις μέγιστες (End Worst και Case Direction στο Σχήμα 2.10 A.) Όταν τρέξετε αυτή τη προσομοίωση θα δείτε ότι η τιμή της εξόδου μπορεί να φτάσει στο 101.85% της θεωρητικής τιμής (Σχήμα 2.10 B.) Μπορείτε όμως να επιλέξετε και ως τιμές τις ελάχιστες (End Worst και τότε θα δείτε ότι η τιμή της εξόδου μπορεί να πέσει μέχρι και 97.826% της θεωρητικής τιμής (Σχήμα 2.11 A) και τότε θα δείτε ότι η τιμή της εξόδου μπορεί να πέσει μέχρι και 97.826% της θεωρητικής τιμής (Σχήμα 2.11 B.)





Σχήμα 2.11

# Κεφάλαιο 3 - Μεταβατική Ανάλυση

#### Μεταβατική Ανάλυση

Με τη βοήθεια του SPICE μπορείτε να μελετήσετε τη απόκριση του συστήματος σαν συνάρτηση του χρόνου. Τις αρχικές τιμές τάσης και ρεύματος για τα στοιχεία σας μπορείτε να τις θέσετε μέσα από τις ιδιότητες του στοιχείου, στη στήλη IC (initial conditions) όπως φαίνεται στα Σχήματα 3.2 και 3.3 για τον πυκνωτή και το πηνίου του κυκλώματος του σχήματος 3.1





Για να τρέξετε τη μεταβατική ανάλυση, δημιουργείτε μια καινούργια προσομοίωση, όπως και στο Σχήμα 3.4 Α. Μια και έχετε καθορίσει τις αρχικές τιμές των στοιχείων, επιλέγετε το SKIPBP. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φαίνονται στο Σχήμα 3.4 Β. Με τη βοήθεια του δρομέα (cursor),

τον οποίο ενεργοποιούμε από το κουμπί 🧩, μπορούμε να μετρήσουμε το χρόνο μέχρι και την πρώτη κορυφή.





#### Συναρτήσεις Κατά Τμήματα Γραμμικές (Piecewise Linear)

Με τη βοήθεια του SPICE μπορείτε να μελετήσετε κυκλώματα με συναρτήσεις κατά τμήματα γραμμικές. Για παράδειγμα, το κύκλωμα του σχήματος 3.5, συμπεριλαμβάνει μια τέτοια πηγή τάσης (VPWL.) Τα χαρακτηριστικά αυτής της πηγής καθορίζονται μέσα στις ιδιότητες του στοιχείου. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.6, η πηγή μεταβάλλεται από 0 σε 60 V μέσα στα πρώτα 40μsec και παραμένει 60 V μέχρι και τα 40 msec αλλά και μετέπειτα. Τα αποτελέσματα στα σχήμα 3.7 (V<sub>2</sub> και V<sub>C1</sub>) προέρχονται από μεταβατική ανάλυση μέχρι και 100 msec. Σε αυτή την περίπτωση ΔΕΝ επιλέγετε SKIPBP μια και σε αυτό το κύκλωμα δεν έχετε καθορίσει τις αρχικές τιμές.









#### Διακόπτες

Το PSPICE προσφέρει τη δυνατότητα χρήσης ρεαλιστικών διακοπτών στις προσομοιώσεις των κυκλωμάτων. Αυτά τα στοιχεία μπορεί να είναι αρχικά ανοικτά (Sw tClose) ή αρχικά κλειστά (Sw\_tOpen). Μέσα στις ιδιότητες των στοιχείων αυτών μπορείτε να καθορίσετε το χρόνο ανοίγματος ή κλεισίματος καθώς και την αντίσταση με το διακόπτη ανοικτό και κλειστό και το χρόνο μετάβασης από τη μια κατάσταση στην άλλη. Στο σχήμα 3.8 βλέπετε ένα κύκλωμα με ένα διακόπτη αρχικά ανοικτό και ο οποίος κλείνει σε χρόνο 1 msec. Στο σχήμα 3.9 φαίνεται η τάση στα άκρα του πυκνωτή, πριν και μετά το κλείσιμο του διακόπτη.



#### Μεταβολές Τιμών

Πολλά κυκλώματα συμπεριλαμβάνουν μεταβλητά στοιχεία. Πιο κάτω θα δείτε ένα παράδειγμα προσομοίωσης ενός κυκλώματος με τέτοιο στοιχείο και συγκεκριμένα μια μεταβλητή αντίσταση (R\_var), όπως και στο σχήμα 3.10. Για το στοιχείο της μεταβλητής αντίστασης καθορίζετε τιμή "RESISTANCE" αντί κάποιας άλλης αριθμητικής τιμής. Είναι επίσης σημαντικό να αλλάξετε την παράμετρο "Set" της μεταβλητής αντίστασης σε 1, διαφορετικά οι τιμές που θα παίρνει θα είναι οι μισές αυτών που εσείς θα επιθυμείτε.

Κατά τον καθορισμό της προσομοίωσης μεταβατικής ανάλυσης, καθορίζεται και "Σάρωση Παραμέτρου" (Parametric Sweep) όπως και στο σχήμα 3.11. Σε αυτή την περίπτωση, η παράμετρος που θέλετε να σαρώσετε είναι η RESISTANCE. Πριν μπορέσετε όμως να προχωρήσετε με την προσομοίωση πρέπει να καθορίσετε ότι η RESISTANCE είναι μια καθολική (global) παράμετρος. Αυτό γίνεται με την προσθήκη στο σχεδιάγραμμα του κυκλώματος ενός στοιχείου παραμέτρων (PARAM). Μετά την προσθήκη του στοιχείου ανοίγετε τις ιδιότητες του και επιλέγετε το κουμπί New Column. Στο διάλογο που ακολουθεί, καθορίζεται μια καινούργια παράμετρο RESISTANCE και της δίνετε μια αρχική τιμή, π.χ. 20. Για να φαίνεται η καινούργια παράμετρος στο σχεδιάγραμμα, επιλέγετε τη στήλη και από το μενού που εμφανίζεται με το πάτημα του δεξιού κουμπιού στο ποντίκι, επιλέγετε Display και από εκεί Name and Value. Ακολούθως τρέχετε την προσομοίωση, της οποίας τα αποτελέσματα βλέπετε στο σχήμα 3.11.



**Σχήμα 3.11** 

#### Κεφάλαιο 4 – Ανάλυση ΑC

#### Ημιτονοειδείς Πηγές

Με τη βοήθεια του PSPICE μπορείτε να εξομοιώσετε κυκλώματα με ημιτονοειδείς πηγές. Η γενική μορφή της ημιτονοειδούς πηγής είναι:

$$v_g = VOFF, \quad 0 \le t \le TD$$
  
 $v_g = VOFF + VAMPLe^{-DF(t-TD)} \sin[2\pi FREQ(t-TD)], \quad 0 \le t \le TSTOP$ 

όπου

VOFF = offset voltage VAMPL = amplitude DF = dampening factor TD = delay FREQ = frequency TSTOP = end time

όπως φαίνεται και γραφικά στο πιο κάτω σχήμα.



Για να υλοποιήσετε μια οποιανδήποτε ημιτονοειδή πηγή χρησιμοποιήστε το στοιχείο VSIN (ή ISIN) και καθορίστε τις πιο πάνω παραμέτρους μέσα στις ιδιότητες του στοιχείου, όπως π.χ. στο σχήμα 4.1. (Σημείωση: Οι ιδιότητες του στοιχείου μπαίνουν σε στήλη αν επιλέξετε "Pivot" από το μενού που εμφανίζεται όταν πατήσετε το δεξί κουμπί στο ποντίκι πάνω από το πρώτο τετράγωνο της σειράς με τους τίτλους των ιδιοτήτων.) Αν χρησιμοποιήσετε αυτή την πηγή σε ένα διαιρέτη τάσης όπως στο σχήμα 4.2, τότε θα παρατηρήσετε τα αποτελέσματα του σχήματος 4.3 μετά από μεταβατική ανάλυση 10 δευτερολέπτων.



# Πηγές ΑC

Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε πηγές AC για να μελετήσετε κυκλώματα σε μια ή διάφορες συχνότητες. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται το στοιχείο VAC (ή IAC), όπως στο σχήμα 4.5, και καθορίζονται το πλάτος και η φάση του μόνο (σχήμα 4.6). Ακολουθεί ανάλυση AC, (σχήμα 4.7) η οποία δίνει τα αποτελέσματα που φαίνονται στο σχήμα 4.8. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τα στοιχεία VPRINT και IPRINT όπως και στο κεφάλαιο 2, μόνο που σε αυτή την περίπτωση πρέπει στις ιδιότητες αυτών των στοιχείων να θέσετε το AC σε Y (YES).

Μπορείτε ακόμα να σχεδιάσετε και το πλάτος της ισχύος ια κάθε στοιχείο του κυκλώματος με την εντολή W(R2), W(L1), κλπ.



#### Μεταβολές τιμών

Όπως και με τα κυκλώματα DC, οι τιμές κάποιων στοιχείων μπορούν να μεταβάλλονται. Για παράδειγμα στο κύκλωμα πιο πάνω, ο πυκνωτής μπορεί να γίνει μεταβλητός (σχήμα 4.9.) Σε αυτή την περίπτωση, η προσομοίωση περιλαμβάνει και μια καθολική παράμετρο (CVAL) και μια "σάρωση παραμέτρου" όπως και στο κεφάλαιο 3. Τα αποτελέσματα αυτής της προσομοίωσης φαίνονται στο σχήμα 4.10. Είναι φανερό ότι η ανάλυση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό και βελτιστοποίηση φίλτρων και άλλων παρόμοιων κυκλωμάτων.



#### Διάγραμμα Bode

Αν θέλετε το αποτέλεσμα της προσομοίωσης να αντιστοιχεί στο διάγραμμα bode για το κύκλωμα τότε μπορείτε να επιλέξετε λογαριθμική σάρωση της παραμέτρου και ακολούθως γραφική παράσταση σε dB, όπως π.χ. DB(V2(R2)) στο παράδειγμα του σχήματος 4.11.

fin fik jun Junyaru ji	ace Hat Tgola Mindow	99 <b>1</b>				_ 0
		DEMAND act 【】大平子马冲	) = = = = = = = = = = = = = = = = = = =			
20						
48 18K8z	30002	1000042	380012	1.0mz	3.84Kz	100
	((127)		Frequency			
Mentione_						
AL, pred moving Analysis AL: Analysis tracked Calculating bias point Bias paint calculated AL: (and Novel, Analysis AL: Analysis tracked Simulation (canglette			+ 10.000 +03 Fireq + 11	1000-06 En	d+ 10.000+	
		- I we have	U - and V - and V named	A CONTRACTOR	1000	

Σχήμα 4.11

Το δεύτερο μέρος του διαγράμματος Bode είναι η γραφική παράσταση της φάσης την οποία μπορείτε να πάρετε με την εντολή P(V2(R2)).

