

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Εργαστήριο Τεχνολογίας Υλικού και Αρχιτεκτονικής Υπολογιστών

OrCAD - PSPICE

*Το Αναλογικό Περιβάλλον Σχεδίασης και
Προσομοίωσης Κυκλωμάτων*



Γεώργιος Τσιατούχας



2016

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	3
Εισαγωγικό Σημείωμα	4
Εισαγωγή στο OrCAD Περιβάλλον Σχεδίασης (Αναλογικός και Μικτού Σήματος Σχεδιασμός).....	5
1. Διαδικασία Σχεδιασμού.	5
1.1. Δημιουργία νέου Project.	5
1.2. Περιβάλλον εργασίας.....	8
1.3. Τοποθέτηση στοιχείων στο σχηματικό	11
1.4. Τοποθέτηση θυρών εισόδου/εξόδου	15
1.5. Διασυνδέσεις.....	16
1.6. Διαμόρφωση/ αλλαγή παραμέτρων ηλεκτρονικών στοιχείων	18
2. Διαδικασία Προσομοίωσης.	21
2.1 Αρχικοποίηση του περιβάλλοντος προσομοίωσης	21
2.2 Προσομοίωση	23
2.2.1 Ανάλυση στο πεδίο του χρόνου (time domain – transient)	27
2.2.2 DC ανάλυση σάρωσης (DC sweep)	30
2.2.3 Ανάλυση στο πεδίο των συχνοτήτων - AC ανάλυση σάρωσης (AC sweep)	33
3. Ιεραρχικός Σχεδιασμός.	35

Εισαγωγικό Σημείωμα

Το Orcad είναι μία ολοκληρωμένη λύση για σχεδιασμό κυκλωμάτων σε επίπεδο σχηματικού κυκλώματος ή με την χρήση γλωσσών υψηλής περιγραφής (HDL). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σχεδιασμό PCBs (printed circuit board layout), FPGAs (field programmable gate arrays) και PLDs (programmable logic devices). Επίσης παρέχει δυνατότητες προσομοίωσης ψηφιακών και αναλογικών κυκλωμάτων με δυνατότητα παρακολούθησης των κυματομορφών.

Με την χρήση του Orcad Capture μπορούν να γίνει σχεδίαση ψηφιακών και αναλογικών κυκλωμάτων με την χρήση ειδικού σχηματικού editor. Ο χρήστης επιλέγει τα στοιχεία του κυκλώματος (πύλες, αντιστάσεις, πυκνωτές, τρανζίστορ, ολοκληρωμένα κλπ) τα οποία τοποθετεί στο σχηματικό του διάγραμμα και τα συνδέει μεταξύ τους με γραμμές διασύνδεσης. Δίνει ονόματα σε εισόδους εξόδους αλλά και στις ενδιάμεσες γραμμές προκειμένου να μπορέσει αργότερα να παρακολουθήσει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

Μετά τον σχεδιασμό του κυκλώματος ο χρήστης μπορεί να εκτελέσει τις απαραίτητες προσομοιώσεις με τη χρήση κατάλληλων εργαλείων προκειμένου να επιβεβαιώσει την σωστή λειτουργία του. Κατά την διάρκεια του σχεδιασμού των κυκλωμάτων καθώς και σε όλες τις φάσεις, ο χρήστης μπορεί να εκτυπώσει τα στοιχεία που επιθυμεί (σχηματικό, κυματομορφές, ανάλυση υλικού κλπ). Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να έχει μία πλήρη τεκμηρίωση του σχεδιασμού του.

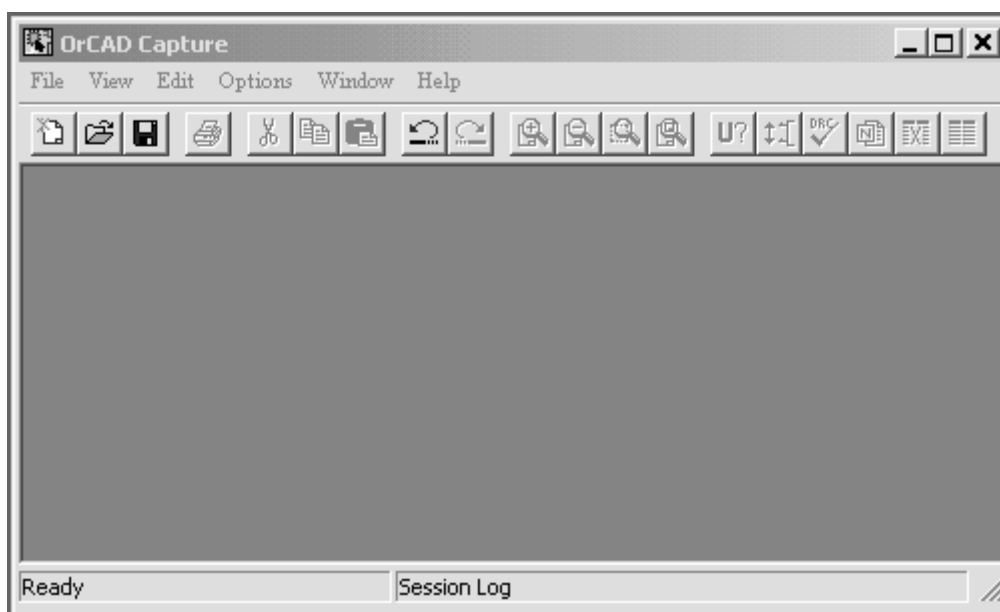
Το Orcad, ως ένα ολοκληρωμένο εργαλείο σχεδίασης, παρέχει τόσο σε γενικό όσο και σε ειδικό επίπεδο πολλές πρόσθετες δυνατότητες οι οποίες όμως δεν κρίνεται σκόπιμο να αναλυθούν στο παρόν εισαγωγικό εγχειρίδιο χρήσης.

Εισαγωγή στο OrCAD Περιβάλλον Σχεδίασης (Αναλογικός και Μικτού Σήματος Σχεδιασμός)

1. Διαδικασία Σχεδιασμού.

1.1. Δημιουργία νέου Project.

Αρχικά επιλέξτε από τα Προγράμματα των Windows την επιλογή *Orcad Release 9* και εκτελέστε το πρόγραμμα σχεδίασης κυκλωμάτων (*Capture*). Στην οθόνη του υπολογιστή σας θα πρέπει να εμφανιστεί το παράθυρο του Σχήματος 1.1.



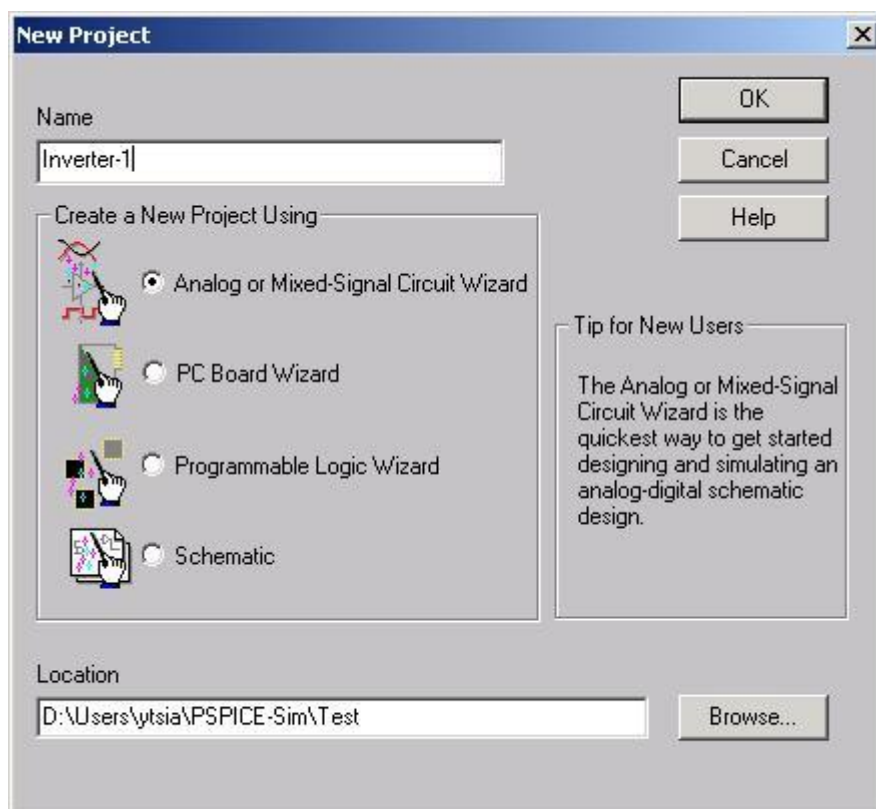
Εικόνα 1.1. Το περιβάλλον εργασίας Orcad Capture

Αυτό είναι το περιβάλλον εργασίας Capture το οποίο θα χρησιμοποιείτε στην σχεδίασή σας. Έχει υλοποιηθεί ακολουθώντας τις βασικές αρχές των παραθυρικών εφαρμογών. Έτσι ο χρήστης που είναι εξοικειωμένος με το λειτουργικό σύστημα Windows 98, 2000, ... μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί στο περιβάλλον του εργαλείου.

Μπορούμε εύκολα να διακρίνουμε την γραμμή κύριων εντολών (*File, View, Edit, Options, Window, Help*), από την οποία μπορούμε να εκτελέσουμε όλες τις

λειτουργίες του εργαλείου. Όταν δημιουργήσουμε κάποιον σχεδιασμό θα δούμε ότι η γραμμή εντολών εμπλουτίζεται και με άλλες λειτουργίες. Κάτω από την γραμμή εντολών υπάρχουν κουμπιά συντόμευσης με τα οποία μπορούμε εύκολα και γρήγορα να εκτελέσουμε μία εντολή.

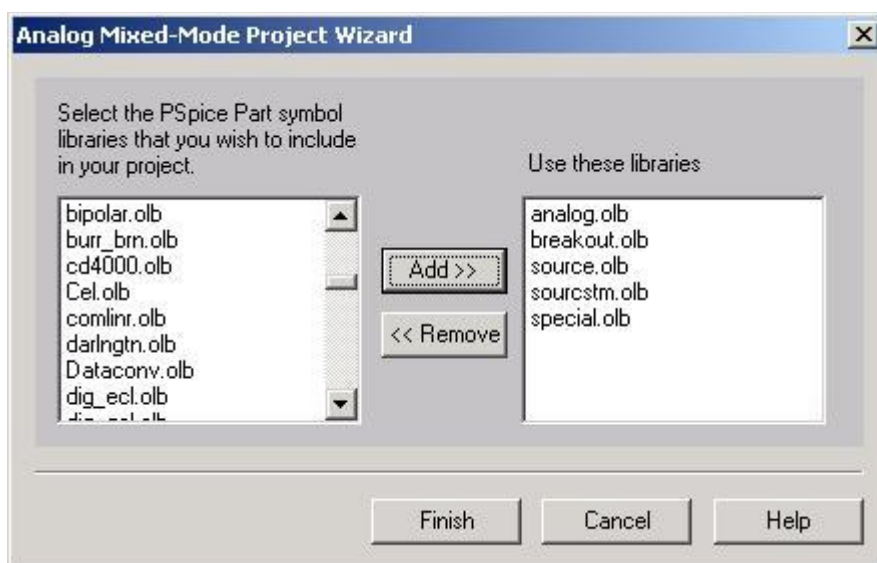
Το πρώτο βήμα στην διαδικασία σχεδιασμού ενός κυκλώματος είναι η δημιουργία ενός περιβάλλοντος που θα περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα υλικά (ολοκληρωμένα, πύλες, βιβλιοθήκες μοντέλων & προσομοίωσης) που θα χρησιμοποιήσουμε. Για τον λόγο αυτό δημιουργούμε ένα Project το οποίο εξοπλίζουμε με όλες τις απαραίτητες πληροφορίες σχεδίασης και προσομοίωσης. Για να δημιουργήσουμε ένα νέο Project επιλέγουμε *File > New > Project* οπότε εμφανίζεται το παράθυρο διαλόγου του Σχήματος 1.2 το οποίο θα μας καθοδηγήσει στον ορισμό των βασικών παραμέτρων του σχεδιασμού μας.



Σχήμα 1.2. Δημιουργία νέου project

Στο πεδίο Name εισάγουμε το όνομα του Project το οποίο σχετίζεται με το κύκλωμα που σχεδιάζουμε (παράδειγμα Inverter-1). Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο θέμα της ονοματολογίας σε κάθε φάση του σχεδιασμού. Η τακτική αυτή μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στην τεκμηρίωση του σχεδιασμού. Αμέσως μετά

ορίζουμε τον τύπο του Project. Στα πλαίσια των εργαστηριακών ασκήσεων μικτού αναλογικού / ψηφιακού σχεδιασμού θα χρησιμοποιήσουμε μόνο τον τύπο *Analog or Mixed Signal Circuit Wizard*. Στο πεδίο *Location* ορίζουμε το πλήρες μονοπάτι του δίσκου στο οποίο θα τοποθετηθεί το Project. Μπορούμε εναλλακτικά να χρησιμοποιήσουμε την επιλογή *Browse* η οποία είναι γνωστή από τις παραθυρικές εφαρμογές. Όταν ολοκληρώσουμε, περνάμε στο επόμενο παράθυρο που φαίνεται στο Σχήμα 1.3 στο οποίο επιλέγουμε τις βιβλιοθήκες ηλεκτρονικών στοιχείων που θα συμπεριληφθούν στο σχεδιασμό μας.



Σχήμα 1.3. Επιλογή βιβλιοθηκών ηλεκτρονικών στοιχείων.

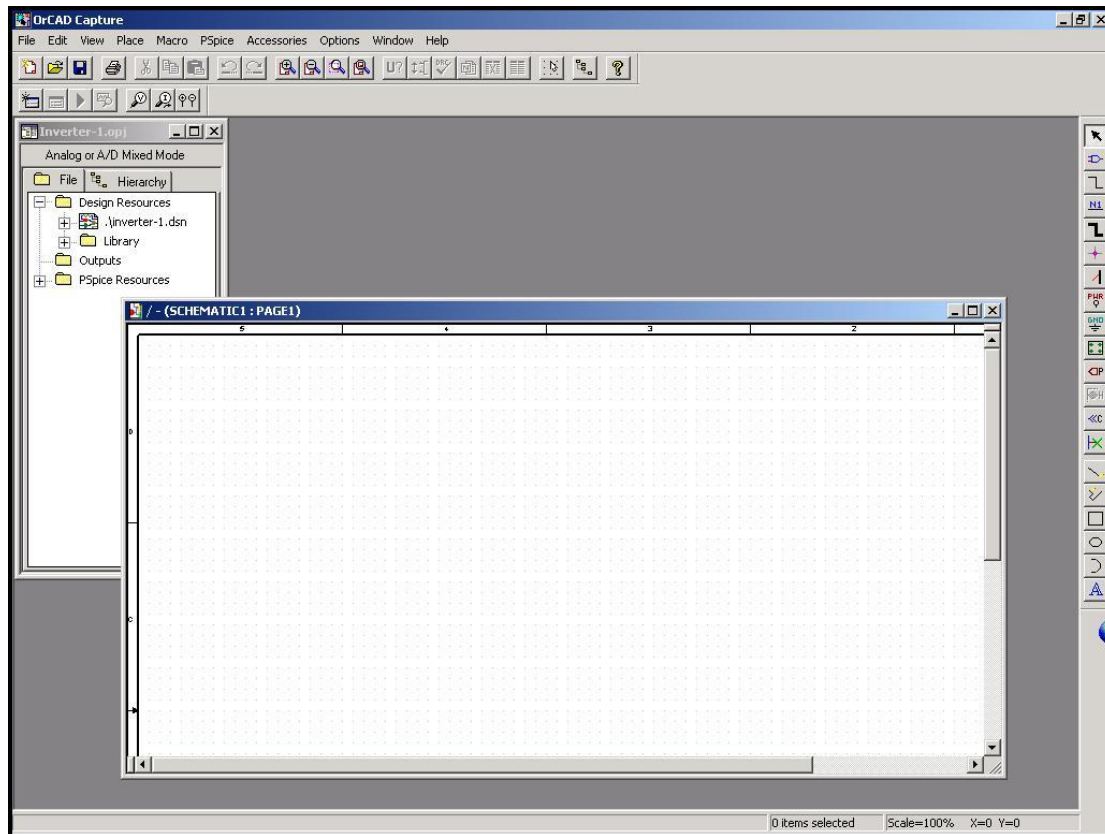
Στο αριστερό πεδίο βρίσκονται κατηγοριοποιημένα σε βιβλιοθήκες όλα τα διαθέσιμα ηλεκτρονικά στοιχεία. Οι κυριότερες βιβλιοθήκες που θα χρησιμοποιηθούν στην αναλογική σχεδίαση είναι οι ακόλουθες:

- **Analog.olb:** Περιέχει ιδανικά στοιχεία όπως αντιστάσεις, πυκνωτές, πηνία κλπ.
- **Breakout.olb:** Περιέχει τα βασικά ηλεκτρονικά στοιχεία όπως διόδους και τρανζίστορ.
- **Source.olb:** Περιέχει διάφορες πηγές ρεύματος και τάσης.

Συνιστούμε να συμπεριλαμβάνετε όλες τις βιβλιοθήκες σε κάθε Project για την αποφυγή λαθών. Επιλέγουμε τις βιβλιοθήκες και τις προσθέτουμε στον σχεδιασμό μας χρησιμοποιώντας τα κουμπιά *Add-Remove*.

1.2. Περιβάλλον εργασίας

Αφού ορίσαμε τις βασικές παραμέτρους του Project μπορούμε να προχωρήσουμε στον σχεδιασμό του κυκλώματος. Πρώτα όμως θα κάνουμε μία σύντομη περιήγηση στο περιβάλλον εργασίας.



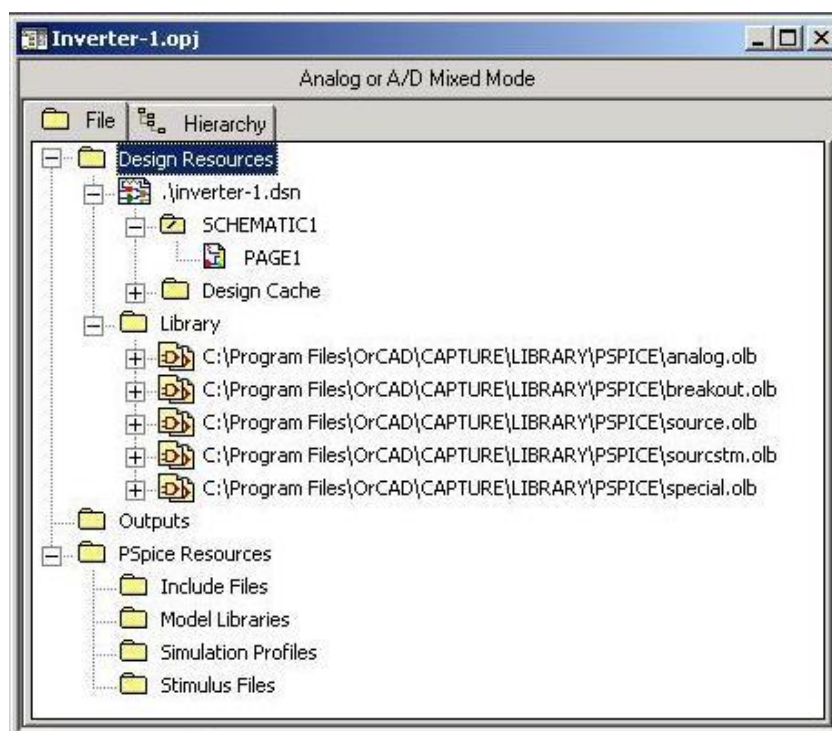
Σχήμα 1.4. Βασικό περιβάλλον εργασίας του Project.

Στο Σχήμα 1.4 βλέπουμε το περιβάλλον εργασίας του Project που δημιουργήσαμε. Η πρώτη παρατήρηση που κάνουμε είναι ο εμπλουτισμός της γραμμής των κύριων εντολών με την προσθήκη νέων εντολών. Αυτή η αλλαγή οφείλεται στον ορισμό των παραμέτρων του Project. Κάτι ανάλογο παρατηρούμε και στα κουμπιά συντόμευσης, πολλά από τα οποία είναι πλέον ενεργοποιημένα. Ανάλογα με το επιμέρους παράθυρο που θα τοποθετείται στο προσκήνιο, θα ενεργοποιούνται και θα απενεργοποιούνται κάποια από αυτά.

Στο κέντρο της οθόνης έχουν δημιουργηθεί δύο νέα παράθυρα, το παράθυρο του *Project Manager* (αριστερά) και το παράθυρο σχεδίασης του σχηματικού του

κυκλώματος με το όνομα *Schematic: Page1*.

Ο Project Manager έχει την γενική διαχείριση του Project. Εάν μεγαλώσουμε το παράθυρό του θα δούμε την εικόνα του Σχήματος 1.5. Στην ουσία πρόκειται για μία ταξινόμηση των κυκλωμάτων, των υλικών, των βιβλιοθηκών και των παραμέτρων της προσομοίωσης, που χρησιμοποιούνται στο Project προκειμένου να μπορεί ο χρήστης να ανατρέχει στα δεδομένα του σχεδιασμού του. Οι πληροφορίες αυτές είναι ταξινομημένες με μορφή καταλόγων και ο κάθε κατάλογος αναπαριστά μία συγκεκριμένη λογική ενότητα του Project.



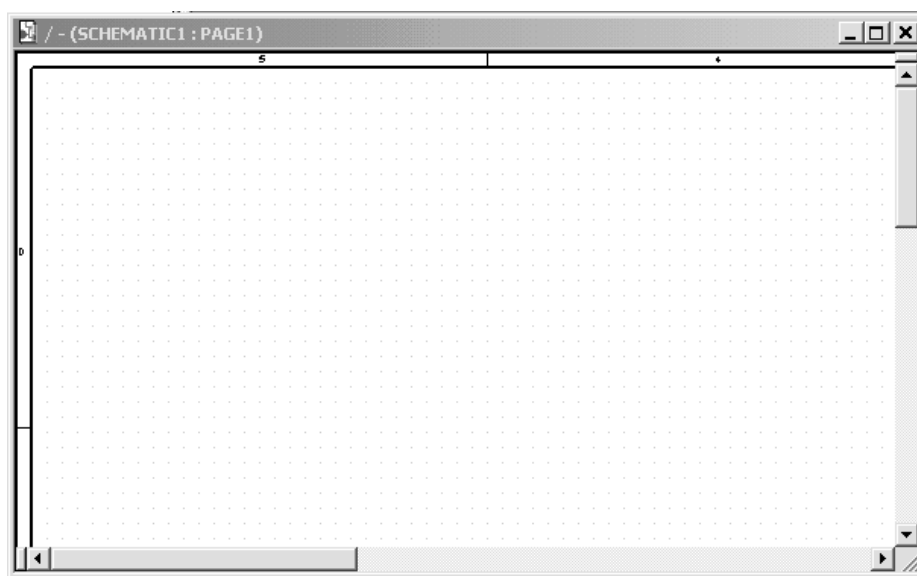
Σχήμα 1.5. Ο Project Manager.

Επιγραμματικά θα αναλύσουμε τους κυριότερους καταλόγους που μας ενδιαφέρουν:

- **Design Resources:** Είναι ο κύριος κατάλογος του σχεδιασμού. Αποτελείται από δύο βασικά μέρη: τα αρχεία του σχεδιασμού (κάτω από τον κατάλογο με το όνομα του σχεδιασμού και κατάληξη *.dsn*) και τις βιβλιοθήκες (κάτω από τον κατάλογο *Library*). Ειδικότερα τα αρχεία σχεδιασμού αποθηκεύονται σε περισσότερους από έναν καταλόγους με ονόματα που δίνουμε εμείς (όπως *Schematic1*). Ο κάθε σχεδιασμός τοποθετείται σε μία σελίδα *Page* την οποία μπορούμε να δούμε σε μορφή σχηματικού διαγράμματος. Ένας ειδικός κατάλογος είναι ο κατάλογος *Design Cache* ο οποίος περιέχει τα ηλεκτρονικά κυκλώματα ή

κυκλωματικά στοιχεία που έχουμε χρησιμοποιήσει έως την τρέχουσα χρονική στιγμή στον σχεδιασμό μας.

- Outputs: Σε αυτόν τον κατάλογο τοποθετούνται διάφορα αρχεία εξόδου όπως αναφορές λαθών, αναφορές υλικών, περιγραφές του κυκλώματος σε διάφορα format κλπ.
- PSpice Resources: Σε αυτόν τον κατάλογο τοποθετούνται όλα τα αρχεία που είναι απαραίτητα για την προσομοίωση του κυκλώματος με το εργαλείο προσομοίωσης PSPICE. Ενσωματώνει διάφορους υποκαταλόγους που περιέχουν πρόσθετα αρχεία για την προσομοίωση (Include Files), βιβλιοθήκες μοντέλων για την προσομοίωση των ηλεκτρονικών στοιχείων της σχεδίασης (Model Libraries), διαμορφώσεις (προφίλ) του περιβάλλοντος προσομοίωσης (Simulation Profiles) καθώς και αρχεία με κυματομορφές των σημάτων εισόδου του υπό προσομοίωση κυκλώματος (Stimulus Files).



Σχήμα 1.6. Παράθυρο σχηματικού.

Το δεύτερο βασικό παράθυρο του περιβάλλοντος εργασίας του Project (Σχήμα 1.4) είναι το παράθυρο του σχηματικού (βλ. Σχήμα 1.6). Αποτελείται από ένα πλέγμα πάνω στο οποίο τοποθετούμε τα ηλεκτρονικά στοιχεία του σχεδιασμού μας. Εάν τοποθετήσουμε το ποντίκι πάνω σε ένα σημείο του παραθύρου θα παρατηρήσουμε

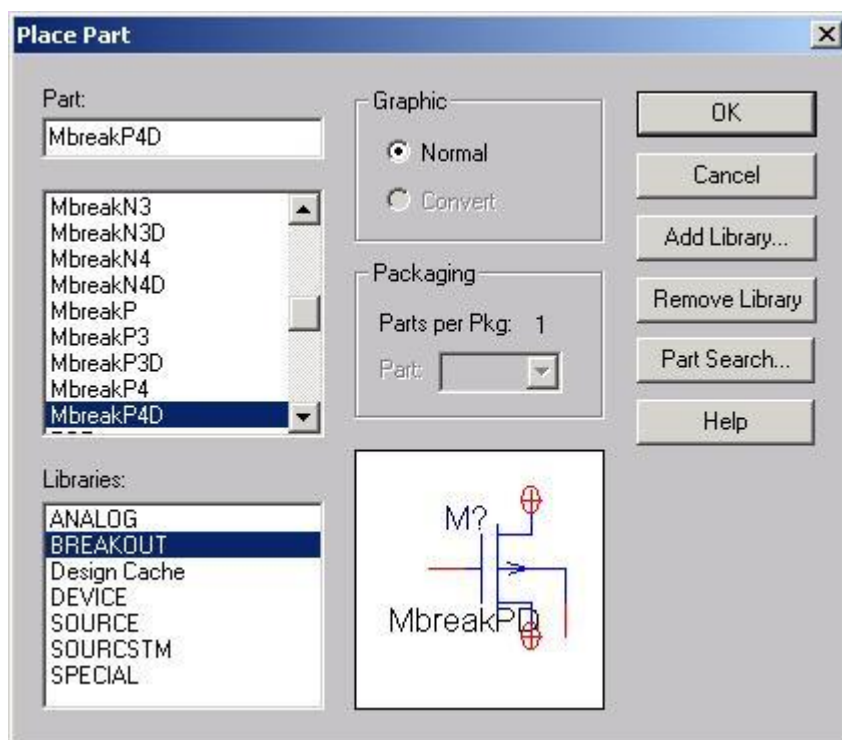
ότι στην κάτω δεξιά γωνία του περιβάλλοντος εργασίας εμφανίζονται οι συντεταγμένες του σημείου αυτού. Εάν μετακινήσουμε τον δείκτη του ποντικιού θα παρατηρήσουμε ότι οι τιμές αυτές ανανεώνονται ανάλογα με την θέση στην οποία βρίσκεται ο δείκτης. Τέλος στο δεξιό μέρος της οθόνης εμφανίζεται μία κάθετη γραμμή εργαλείων με τις συντομεύσεις των πιο απαραίτητων λειτουργιών σχεδίασης.

1.3. Τοποθέτηση στοιχείων στο σχηματικό

Είμαστε πλέον σε θέση να ξεκινήσουμε την σχεδίαση του κυκλώματος. Φέρνουμε το παράθυρο του σχηματικού στο προσκήνιο και παρατηρούμε ότι εμφανίζεται η μπάρα με τα εργαλεία σχεδίασης στο δεξιό τμήμα της οθόνης. Εάν μετακινήσουμε το ποντίκι πάνω σε κάποιο από τα κουμπιά συντόμευσης της θα δούμε ότι εμφανίζεται ο τίτλος της λειτουργίας που αντιστοιχεί σε αυτό. Όλες αυτές οι λειτουργίες βρίσκονται και στην γραμμή εντολών, κατηγορία *Place*. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τον τρόπο εκτέλεσής τους.

Έστω ότι ο στόχος του σχεδιασμού μας είναι ένας CMOS αναστροφέας (inverter). Θα ξεκινήσουμε να τοποθετούμε τα απαραίτητα ηλεκτρονικά στοιχεία για την δημιουργία του κυκλώματος (στην προκειμένη περίπτωση MOS τρανζίστορς). Θα τοποθετήσουμε αρχικά ένα pMOS τρανζίστορ. Για να τοποθετήσουμε ένα οποιοδήποτε ηλεκτρονικό στοιχείο στο σχηματικό μας χρησιμοποιούμε την εντολή *Place>Part* η οποία ανοίγει το παράθυρο διαλόγου που φαίνεται στο Σχήμα 1.7.

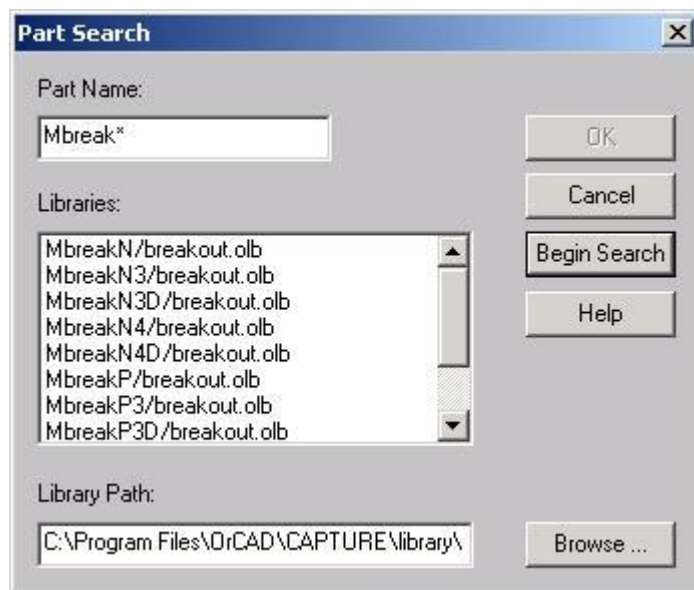
Στο πεδίο με τίτλο *Part* εισάγουμε το όνομα του στοιχείου που θέλουμε να τοποθετήσουμε στο σχηματικό μας. Αυτό θα πρέπει υποχρεωτικά να ανήκει σε κάποια από τις βιβλιοθήκες που έχουμε προσθέσει στο Project. Οι βιβλιοθήκες αυτές βρίσκονται στο πεδίο με τον τίτλο *Libraries*. Μπορούμε να επιλέξουμε προσωρινά οποιαδήποτε και οσεσδήποτε από αυτές τις βιβλιοθήκες. Ανάμεσα στα πεδία *Parts* και *Libraries* βρίσκεται ένα τρίτο που περιέχει αλφαβητικά όλα τα στοιχεία των επιλεγμένων βιβλιοθηκών. Εάν επιλέξουμε ένα οποιοδήποτε στοιχείο τότε δεξιά από το πεδίο *Libraries* εμφανίζεται το σύμβολο με το οποίο θα αναπαρίσταται στο σχηματικό μας.



Σχήμα 1.7. Επιλογή στοιχείου κυκλώματος.

Μία άλλη δυνατότητα είναι η προσθήκη ή αφαίρεση κάποιας βιβλιοθήκης.

Σε περίπτωση που δεν θυμόμαστε το ακριβές όνομα του στοιχείου που θέλουμε να εισάγουμε τότε μπορούμε να το ψάξουμε χρησιμοποιώντας την επιλογή *Part Search* η οποία φαίνεται στο Σχήμα 1.8.

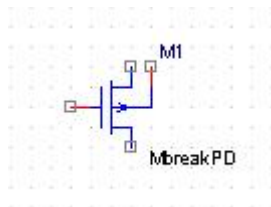


Σήμα 1.8. Ανεύρεση στοιχείου.

Στο πεδίο Part name εισάγουμε το τμήμα του ονόματος που ψάχνουμε ακολουθούμενο από χαρακτήρες εύρεσης όπως ο * (κάθε αριθμός οποιονδήποτε χαρακτήρων) και ο ? (ένας οποιοσδήποτε χαρακτήρας) των οποίων την χρήση γνωρίζουμε. Από τα στοιχεία που προκύπτουν στο πεδίο Libraries μπορούμε πλέον να εντοπίσουμε το ζητούμενο.

Όταν ολοκληρώσουμε με την επιλογή του ηλεκτρονικού στοιχείου που επιθυμούμε το τοποθετούμε στο σχηματικό όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.9. Παρατηρούμε ότι στον δείκτη του ποντικιού έχει προσκολληθεί ένα αντίγραφο του στοιχείου που επιλέξαμε. Εάν πατήσουμε το δεξιό πλήκτρο του ποντικιού εμφανίζονται διάφορες επιλογές με τις οποίες μπορούμε να αλλάξουμε την κατεύθυνση και τις ιδιότητες του στοιχείου. Για να το τοποθετήσουμε αρκεί να πατήσουμε μία φορά το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού, σε κάποιο σημείο του σχηματικού. Αμέσως μετά θα παρατηρήσουμε ότι συνεχίζει να είναι προσκολλημένο ένα αντίγραφο στον δείκτη του ποντικιού το οποίο με την ίδια διαδικασία μπορούμε να τοποθετήσουμε σε οποιοδήποτε άλλο σημείο του σχηματικού. Για να αναιρέσουμε αυτή η διαδικασία πατάμε το πλήκτρο Escape.

Παρατηρούμε ότι πάνω στο σύμβολο του τρανζίστορ αναγράφονται ο τύπος του (MbreakPD) και το όνομα του στοιχείου στην σχεδίαση (M1). Το όνομα αυτό πρέπει να είναι μοναδικό για κάθε ηλεκτρονικό στοιχείο της σχεδίασης ώστε αυτή να μπορεί αργότερα να προσομοιωθεί. Το τρανζίστορ αναγνωρίζεται ως pMOS από το βέλος στην γραμμή του ακροδέκτη πόλωσης του υποστρώματος το οποίο έχει φορά από το κανάλι προς τον ακροδέκτη. Οι ακροδέκτες του τρανζίστορ αναγνωρίζονται ως ασύνδετοι από τα μικρά τετράγωνα που υπάρχουν στις άκρες τους. Πάνω σε αυτά τα τετράγωνα θα πρέπει να ακουμπήσουμε αργότερα τις κατάλληλες γραμμές διασύνδεσης.



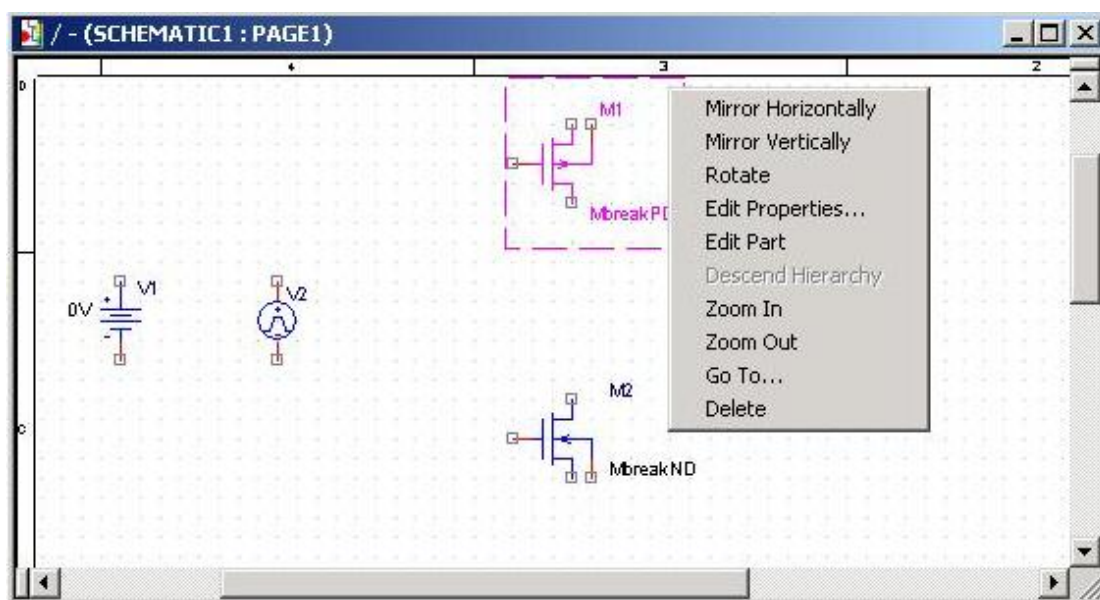
Σχήμα 1.9. Το pMOS τρανζίστορ στο σχηματικό.

Καθώς οι ακροδέκτες Source και Drain του τρανζίστορ είναι ισοδύναμοι μεταξύ

τους, ως Source λαμβάνεται ο ακροδέκτης προς τον οποίο στρέφεται ο ακροδέκτης του υποστρώματος (Substrate - Bulk), δηλ. ο αριστερός από τους δύο ακροδέκτες στο επάνω μέρος του συμβόλου.

Με την ίδια διαδικασία επιλέγουμε και τοποθετούμε στο σχηματικό το nMOS τρανζίστορ (MbreakND). Το όνομα M2 του τρανζίστορ δίδεται αυτόματα από το εργαλείο. Και πάλι η φορά του βέλους στη γραμμή πόλωσης του υποστρώματος υποδηλώνει τον τύπο του τρανζίστορ. Ακολούθως, με παρόμοιο τρόπο τοποθετούμε στο σχηματικό την πηγή σταθερής τροφοδοσίας VDC (όνομα V1) και την πηγή παλμών VPULSE (όνομα V2) από την βιβλιοθήκη SOURCE.

Τοποθετώντας τον δείκτη του ποντικιού επάνω σε οποιοδήποτε ηλεκτρονικό στοιχείο του σχηματικού και πατώντας το αριστερό πλήκτρο μπορούμε να το επιλέξουμε. Ως επιλεγμένο ένα στοιχείο περικλείεται σε ένα διάστικτο πλαίσιο. Η επιλογή ενός στοιχείου μας επιτρέπει με το συνεχόμενο πάτημα του αριστερού πλήκτρου του ποντικιού επάνω σε αυτό να το μετακινήσουμε σε οποιαδήποτε θέση μέσα στο σχηματικό. Επιπλέον, με το πάτημα του δεξιού πλήκτρου του ποντικιού επάνω στο επιλεγμένο στοιχείο μας παρέχονται πρόσθετες δυνατότητες μέσω του ενός παραθύρου επιλογών/ενεργειών όπως αυτό φαίνεται στο Σχήμα 1.10.



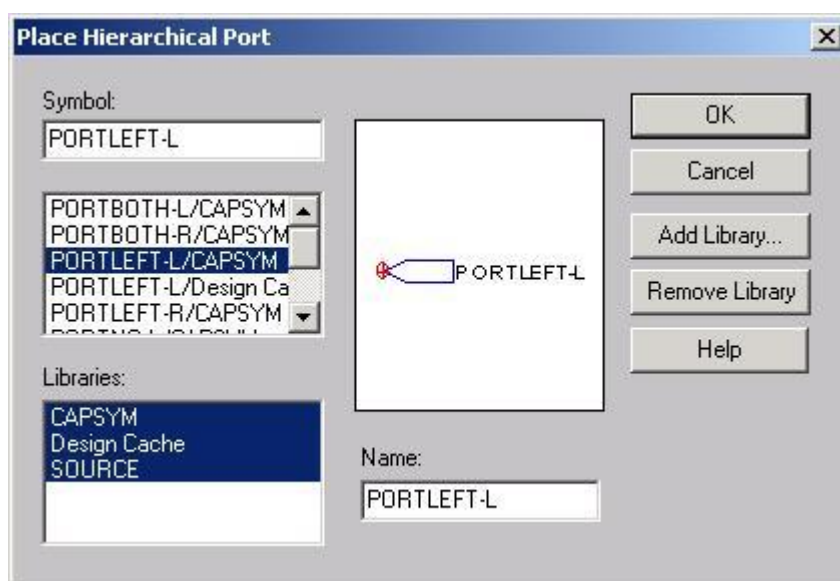
Σχήμα 1.10. Ενεργοποίηση του παράθυρου επιλογών/ενεργειών.

Οι σημαντικότερες από αυτές τις επιλογές είναι ο οριζόντιος και κατακόρυφος καθρεπτισμός του στοιχείου (*Mirror Horizontally/Vertically*), η περιστροφή του

(*Rotate*) και η καταχώρηση/αλλαγή των κυκλωματικών παραμέτρων προσομοίωσης του ηλεκτρονικού στοιχείου (*Edit Properties ...*) στην οποία θα αναφερθούμε αργότερα.

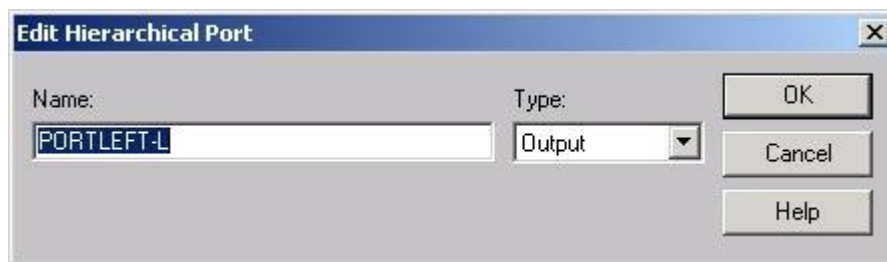
1.4. Τοποθέτηση θυρών εισόδου/εξόδου

Αφού ολοκληρώσουμε την εισαγωγή των στοιχείων του κυκλώματος θα πρέπει να ορίσουμε τις εισόδους και/ή τις εξόδους του. Αυτό το πετυχαίνουμε με την χρήση Ιεραρχικών Θυρών (Hierarchical Ports). Εκτελούμε την εντολή *Place>Hierarchical Port* ή *Place Port* οπότε εμφανίζεται το παράθυρο του Σχήματος 1.11 το οποίο είναι σχεδόν ίδιο με το παράθυρο του Σχήματος 1.7. Μπορούμε να επιλέξουμε οποιοδήποτε σχήμα θύρας επιθυμούμε αλλά εδώ θα χρησιμοποιούμε πάντα την θύρα με το όνομα **PORTLEFT-L**. Η τοποθέτησή της γίνεται όπως στην περίπτωση των ηλεκτρονικών στοιχείων οπότε μπορούμε να την στρέψουμε προς όποια κατεύθυνση θέλουμε.



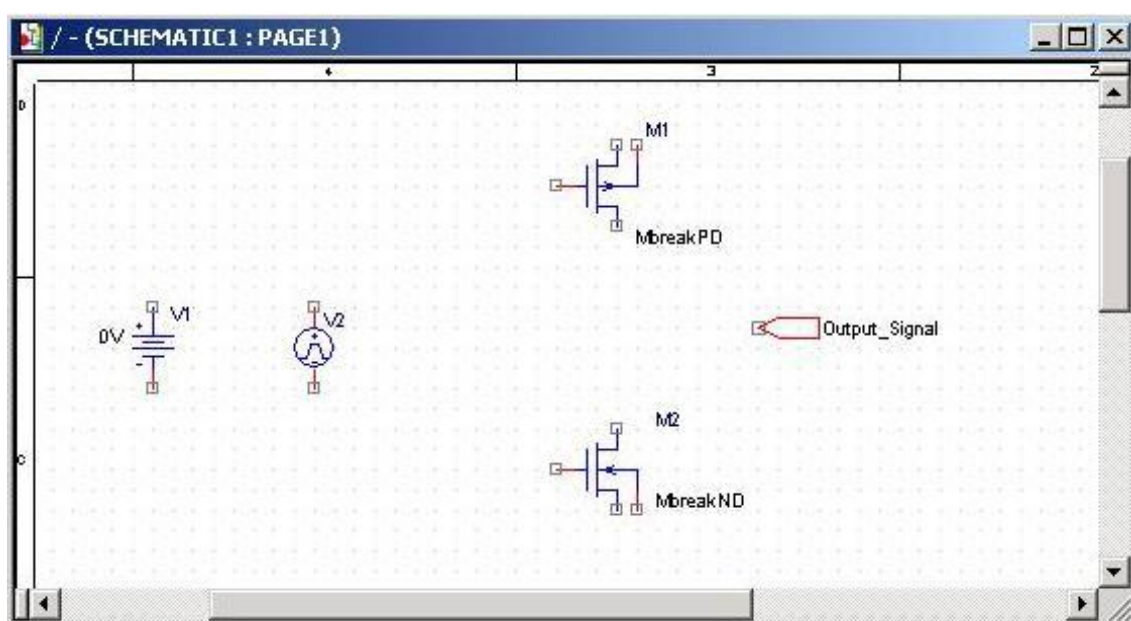
Σχήμα 1.11. Τοποθέτηση θυρών Εισόδου/Εξόδου.

Αφού επιλέξουμε OK στο παράθυρο του Σχήματος 1.11 και πριν τοποθετήσουμε την θύρα στο σχηματικό, πατώντας το δεξιό πλήκτρο του ποντικιού επιλέγουμε *Edit Properties*. Τότε ανοίγει το παράθυρο διαλόγου που φαίνεται στο Σχήμα 1.12 όπου εισάγουμε το όνομα της θύρας και τον τύπο της (Είσοδος/Εξοδος – Input/Output). Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να ορίσουμε τις εισόδους – εξόδους του κυκλώματος.



Σχήμα 1.12. Ιδιότητες θύρας.

Μετά την τοποθέτηση των κυκλωματικών στοιχείων το σχηματικό του κυκλώματος θα είναι αυτό του Σχήματος 1.13.



Σχήμα 1.13. Τρέχουσα εικόνα του σχηματικού.

1.5. Διασυνδέσεις

Το τελευταίο βήμα στην σχεδίαση ενός κυκλώματος είναι η διασύνδεση των ηλεκτρονικών στοιχείων που τοποθετήσαμε στο σχηματικό. Για να πετύχουμε την διασύνδεση δύο στοιχείων θα πρέπει να εντοπίσουμε τα επιθυμητά σημεία (ακροδέκτες) στα οποία πρέπει να διασυνδεθούν και να τραβήξουμε ένα καλώδιο (wire) από το ένα σημείο στο άλλο. Όπως αναφέραμε οι ακροδέκτες επισημαίνονται με τα κόκκινα τετράγωνα επάνω στα σύμβολα των στοιχείων.

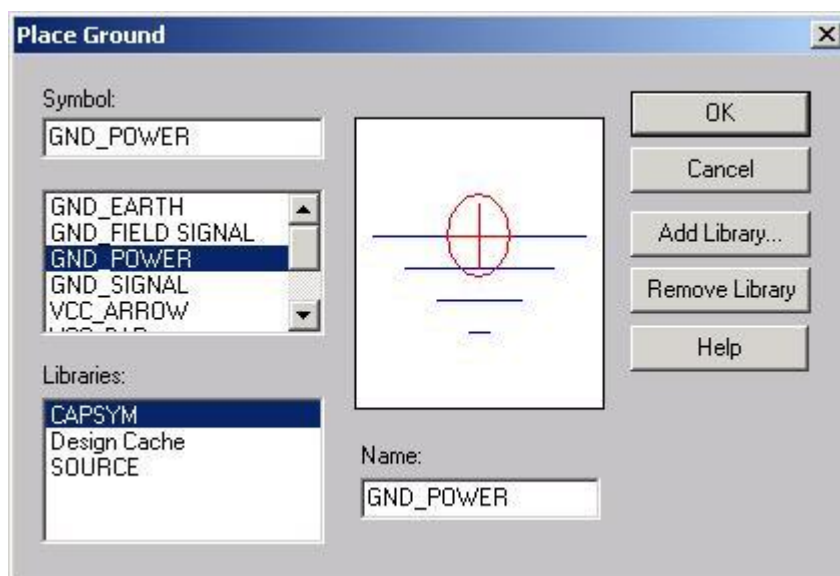
Για να τραβήξουμε ένα καλώδιο επιλέγουμε την εντολή *Place>Wire*. Πηγαίνουμε τον δείκτη του ποντικιού στο σημείο που θέλουμε να ξεκινήσει το καλώδιο και

πατάμε το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού. Όσο μετακινούμε το ποντίκι παρατηρούμε ότι διαγράφεται το καλώδιο. Εάν σε κάποιο σημείο θέλουμε να ορίσουμε μία κορυφή και να αλλάξουμε κατεύθυνση στην καλωδίωση, πατάμε μία φορά το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού. Για να σταματήσουμε το καλώδιο στο άλλο άκρο του, όπου θέλουμε να κάνουμε και την δεύτερη σύνδεση πατάμε δύο φορές το πλήκτρο του ποντικιού οπότε τοποθετείται αυτόματα ένωση (junction). Για να σταματήσουμε την διαδικασία τοποθέτησης καλωδίων πατάμε Escape.

ΠΡΟΣΟΧΗ: Δύο καλώδια μπορούν να είναι φυσικά συνδεδεμένα με μία από τις ακόλουθες μεθόδους:

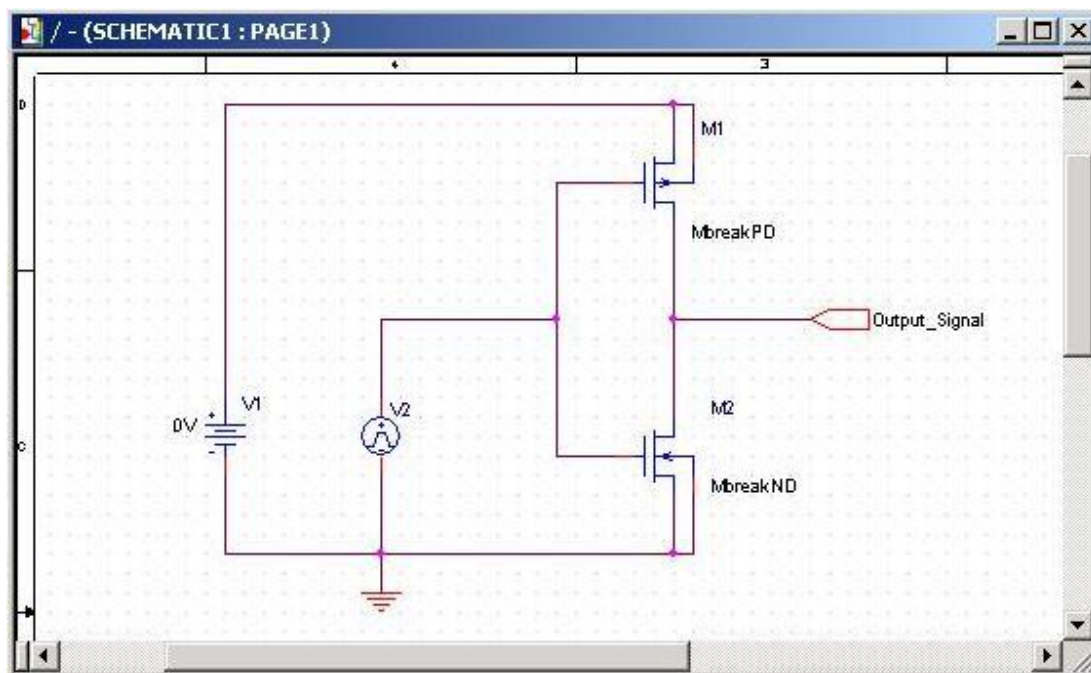
1. Εάν διασταυρώσουμε δύο καλώδια το ένα πάνω από το άλλο και τοποθετήσουμε μία ένωση (*Place Junction*) στο σημείο που διασταυρώνονται.
2. Εάν από κάποιο σημείο ενός καλωδίου ξεκινήσουμε ένα άλλο καλώδιο μία ένωση τοποθετείται αυτόματα και τα δύο καλώδια ενώνονται.
3. Εάν δύο καλώδια δεν έχουν καμία επαφή αλλά το ίδιο όνομα τότε θεωρείται ότι είναι συνδεδεμένα.

Μετά την τοποθέτηση του κάθε καλωδίου μπορεί να επιβεβαιωθεί η ορθότητα των διασυνδέσεων ως εξής: επιλέγουμε το καλώδιο που τοποθετήσαμε και πατάμε το δεξιό πλήκτρο του ποντικιού. Από τις επιλογές ενεργοποιούμε την *Select Entire Net*. Με τον τρόπο αυτό θα μαρκαριστούν όλα τα καλώδια που είναι συνδεδεμένα με το συγκεκριμένο καλώδιο.



Σχήμα 1.14. Επιλογή σημείου αναφοράς - γή.

Τέλος, αφού έχουν τοποθετηθεί και οι διασυνδέσεις επιλέγεται το σημείο αναφοράς του κυκλώματος (γη – ground) και τοποθετείται το κατάλληλο σύμβολο με χρήση της εντολής *Place>Ground*. Στο παράθυρο του Σχήματος 1.14 παρουσιάζεται το σχετικό περιβάλλον επιλογής που μοιάζει με τα αντίστοιχα των Σχημάτων 1.7 και 1.11. Επιλέγουμε το GND_POWER αν και μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και άλλα σύμβολα στο σχετικό παράθυρο. Πριν τοποθετήσουμε τη γη στο σχηματικό, πατώντας το δεξιό πλήκτρο του ποντικιού επιλέγουμε *Edit Properties*, και αλλάζουμε το όνομα από GND_POWER σε 0 (μηδέν). **ΠΡΟΣΟΧΗ:** χωρίς την αλλαγή ονόματος το κύκλωμα δεν μπορεί να προσομοιωθεί με τη χρήση του εργαλείου προσομοίωσης PSPICE που θα δούμε στη συνέχεια. Στο Σχήμα 1.15 φαίνεται το σχηματικό του κυκλώματος μετά την ολοκλήρωση των διασυνδέσεων.



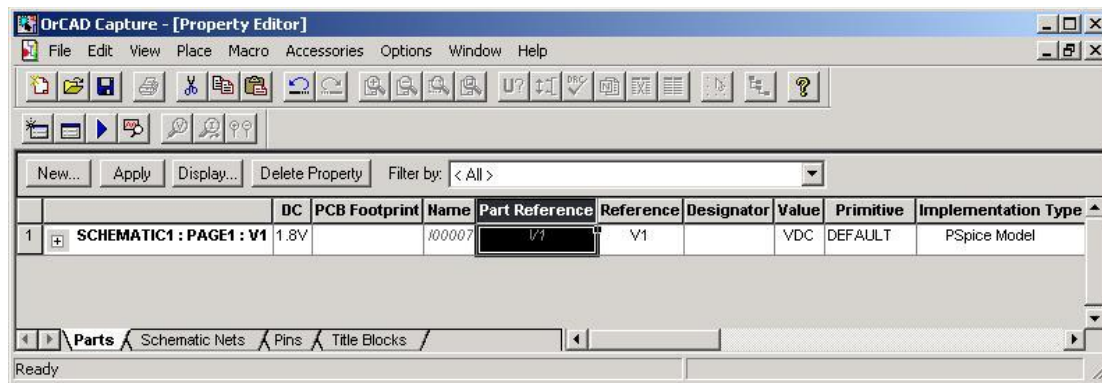
Σχήμα 1.15. Ολοκλήρωση των διασυνδέσεων.

1.6. Διαμόρφωση/ αλλαγή παραμέτρων ηλεκτρονικών στοιχείων

Με την ενεργοποίηση του παραθύρου ενεργειών/επιλογών (βλ. Σχήμα 1.10) δίδεται η δυνατότητα διαμόρφωσης/αλλαγής των παραμέτρων προσομοίωσης των ηλεκτρονικών στοιχείων της σχεδίασης με την επιλογή *Edit Properties*.

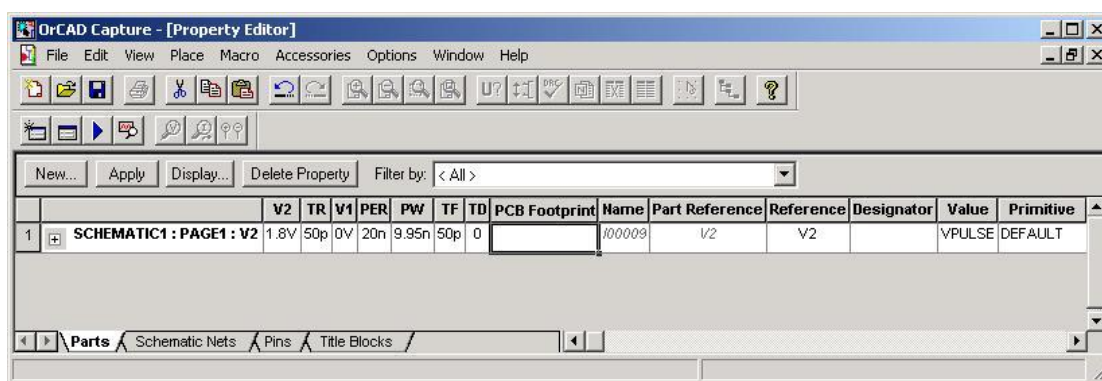
Αρχικά επιλέγουμε την πηγή DC τροφοδοσίας V1 για την διαμόρφωση της τιμής της τάσης που θα παρέχει στο κύκλωμα. Στο Σχήμα 1.16 δίδεται το δημιουργούμενο

παράθυρο που επιτρέπει την διαμόρφωση/αλλαγή των παραμέτρων της τροφοδοσίας V1. Η τιμή που ενδιαφέρει στην παρούσα φάση είναι αυτή της DC τάσης η οποία διαμορφώνεται σε 1.8V.



Σχήμα 1.16. Διαμόρφωση/αλλαγή παραμέτρων πηγής V1.

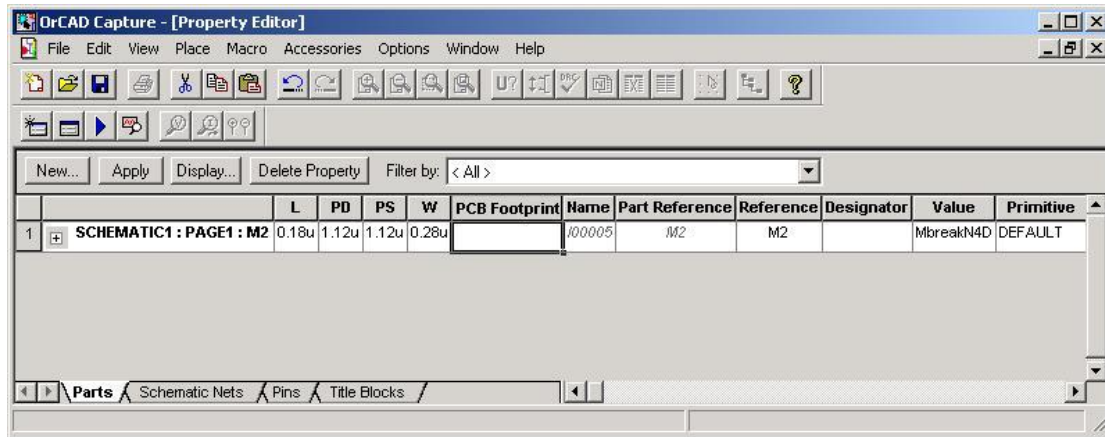
Ακολούθως, επιλέγεται η πηγή δημιουργίας τετραγωνικών παλμών V2. Οι παράμετροι που πρέπει να διαμορφωθούν σε αυτή την περίπτωση είναι πολύ περισσότερες όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.17. Στα πεδία V1 και V2 του παραθύρου ορίζονται τα επίπεδα τάσης (min και max) στα οποία κινείται ο παλμός (V1=0V και V2=1.8V). Στο πεδίο PER καθορίζεται η περίοδος του σήματος, εδώ 20ns, ενώ στο πεδίο PW ορίζεται ο χρόνος της θετικής ημιπεριόδου του παλμού. Τέλος στα πεδία TR και TF προσδιορίζονται οι χρόνοι ανόδου και καθόδου του σήματος καθώς αυτό μεταβαίνει από την τάση V1 στην τάση V2 και αντίστροφα.



Σχήμα 1.17. Διαμόρφωση/αλλαγή παραμέτρων πηγής V2.

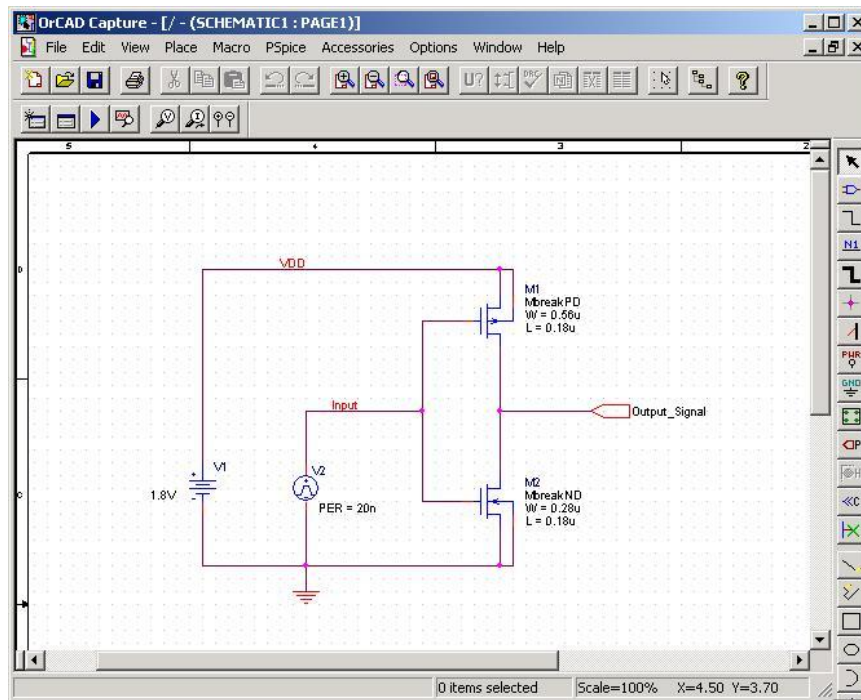
Τέλος διαμορφώνονται οι παράμετροι των τρανζίστορ M1 και M2. Στο Σχήμα 1.18 δίδεται το παράθυρο διαμόρφωσης του nMOS τρανζίστορ M2. Οι παράμετροι

που μας ενδιαφέρουν είναι το πλάτος W και το μήκος του καναλιού L του τρανζίστορ τα οποία διαμορφώνονται σε $0.24\mu\text{m}$ και $0.18\mu\text{m}$ αντίστοιχα. Επιπλέον προσδιορίζονται οι περιμέτροι των διαχύσεων του απαγωγού (drain) PD και της πηγής (source) PS του τρανζίστορ σε $1.12\mu\text{m}$ και στις δύο περιπτώσεις. Παρόμοια οι αντίστοιχες παράμετροι του pMOS τρανζίστορ διαμορφώνονται ως εξής: $W=0.48\mu\text{m}$, $L=0.18\mu\text{m}$ και $PD=PS=1.44\mu\text{m}$. Θεωρήστε ότι $PD=PS=2*(W+0.24)\mu\text{m}$.



Σχήμα 1.18. Διαμόρφωση/αλλαγή παραμέτρων τρανζίστορ M2.

Στο Σχήμα 1.19 φαίνεται το τελικό σχηματικό του κυκλώματος.



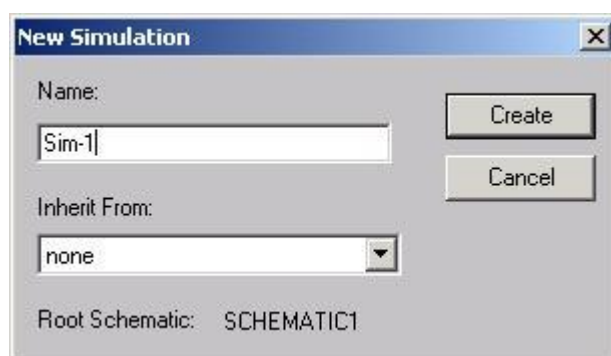
Σχήμα 1.19. Το τελικό σχηματικό του κυκλώματος.

2. Διαδικασία Προσομοίωσης.

Στην ενότητα αυτή θα αναπτυχθεί η διαδικασία της προσομοίωσης που έχει σαν στόχο την επιβεβαίωση του ορθού σχεδιασμού του κυκλώματος και τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας του σύμφωνα με τις προδιαγραφές. Με την προσομοίωση αποδεικνύεται ότι το κύκλωμα έχει σχεδιαστεί σωστά, εάν λειτουργεί με τον αναμενόμενο τρόπο.

2.1 Αρχικοποίηση του περιβάλλοντος προσομοίωσης

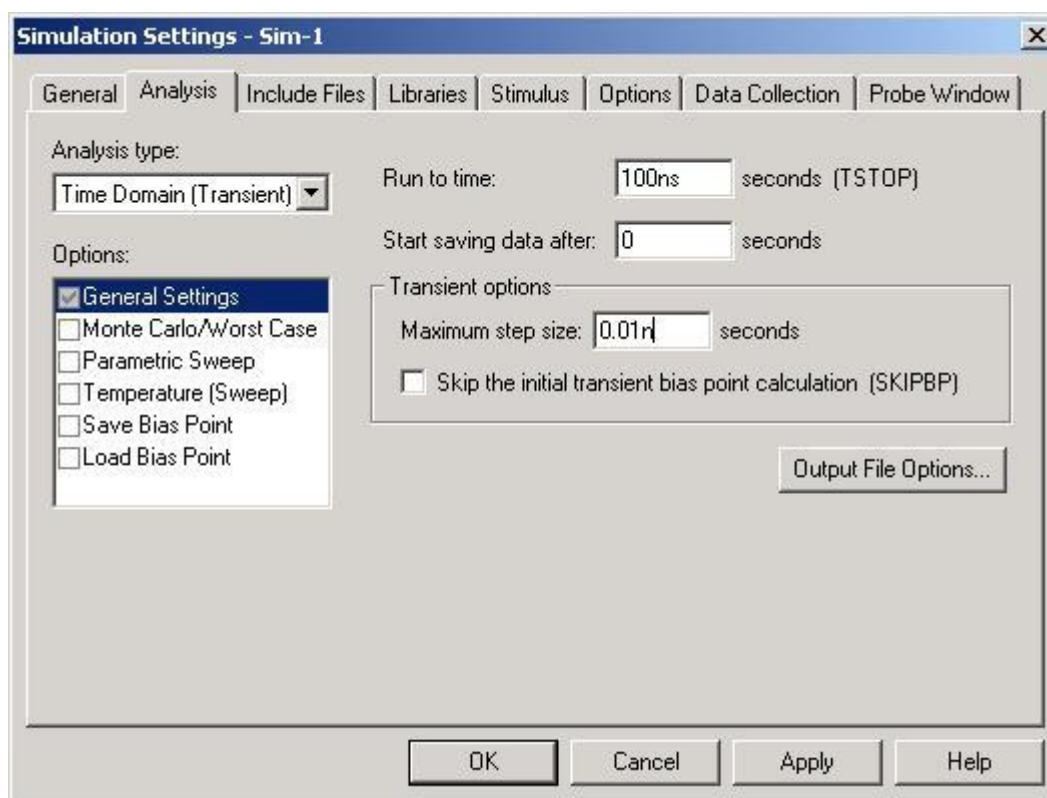
Το περιβάλλον προσομοίωσης που διαθέτει το OrCAD για την προσομοίωση αναλογικών κυκλωμάτων και κυκλωμάτων μεικτού (αναλογικού/ψηφιακού) σήματος ονομάζεται PSPICE και βασίζεται στο εργαλείο προσομοίωσης SPICE. Αρχικά θα πρέπει να αρχικοποιηθεί το περιβάλλον προσομοίωσης ώστε να οριστούν οι παράμετροι της προσομοίωσης και τα αρχεία εκείνα που περιέχουν την απαραίτητη για τον προσομοιωτή πληροφορία σχετικά με τις κυκλωματικές παραμέτρους των κυκλωματικών στοιχείων της σχεδίασης. Για να αρχικοποιήσουμε το PSPICE επιλέγουμε *PSpice > New Simulation Profile* οπότε εμφανίζεται το παράθυρο του Σχήματος 2.1 όπου δίδεται από το χρήστη το όνομα κάτω από το οποίο θα αποθηκευθεί η πληροφορία που αφορά την τρέχουσα διαδικασία προσομοίωσης. Ονοματίζουμε την τρέχουσα προσομοίωση ως Sim-1.



Σχήμα 2.1. Απόδοση ονόματος τρέχουσας προσομοίωσης.

Αμέσως μετά εμφανίζεται το παράθυρο διαλόγου του Σχήματος 2.2 το οποίο θα μας καθοδηγήσει στον ορισμό των βασικών παραμέτρων του προσομοιωτή. Η πρώτη επιλογή είναι ο καθορισμός του τύπου της ανάλυσης που θα επιτελέσει ο

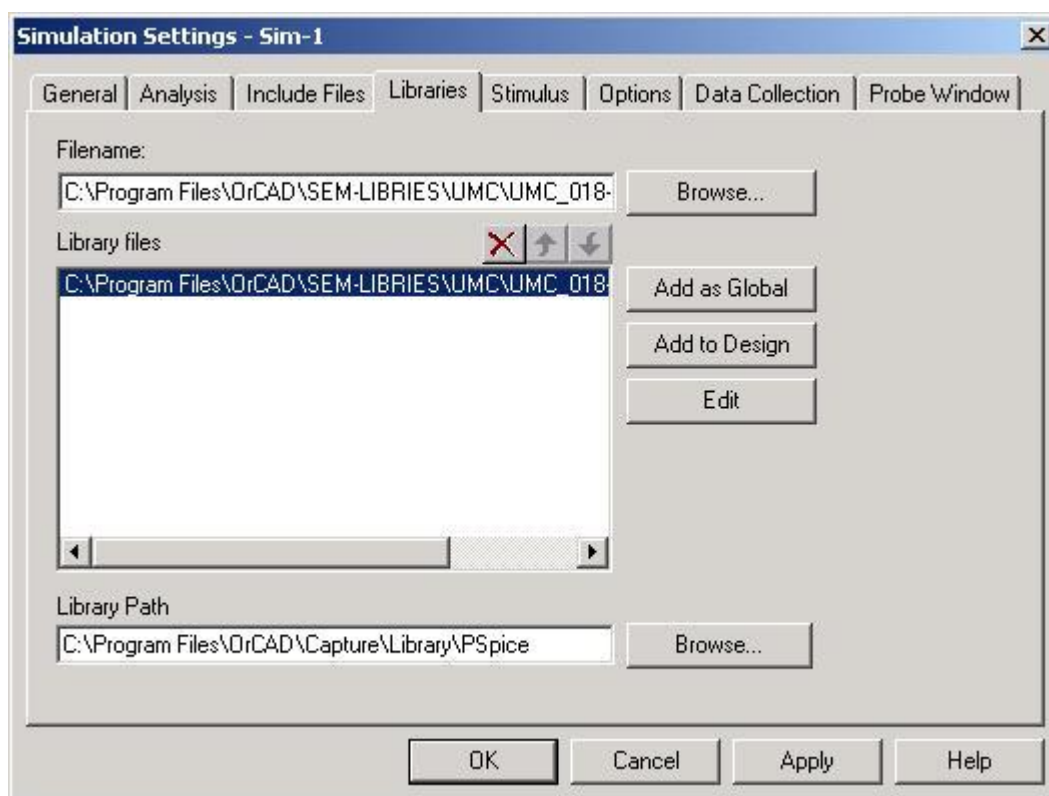
προσομοιωτής (Time Domain - Transient, DC Sweep, AC Sweep/Noise, Bias Point). Αναλυτική περιγραφή των διαφόρων τύπων θα δοθεί στη συνέχεια. Στην παρούσα φάση επιλέγουμε τον τύπο ανάλυσης στο πεδίο του χρόνου (Time Domain - Transient) και στις επιλογές (Options) το πεδίο της γενικής μορφοποίησης (General Settings). Επιπρόσθετα προσδιορίζουμε τον κυκλωματικό χρόνο της προσομοίωσης (Run to Time) ίσο με 100ns και το μέγιστο βήμα με το οποίο θα κινείται ο προσομοιωτής (Maximum Step Size) ίσο με 0.01ns.



Σχήμα 2.2. Καθορισμός τύπου ανάλυσης.

Στη συνέχεια μετακινούμαστε στο πεδίο των βιβλιοθηκών (Libraries) για να προσδιοριστεί το αρχείο με τις παραμέτρους των ηλεκτρονικών στοιχείων που θα χρησιμοποιήσει ο προσομοιωτής (βλ. Σχήμα 2.3). Οι βιβλιοθήκες των παραμέτρων των ηλεκτρονικών στοιχείων που χρησιμοποιεί ο προσομοιωτής δεν σχετίζονται με τις βιβλιοθήκες των ηλεκτρονικών στοιχείων του σχηματικού οι οποίες περιέχουν μόνο σύμβολα αυτών των στοιχείων. Με την κατάλληλη πλοήγηση (Browse) επισημαίνεται το κατάλληλο αρχείο στο σκληρό δίσκο του συστήματος και προστίθεται στα αρχεία βιβλιοθηκών της σχεδίασης με χρήση της επιλογής *Add to Design*. Τα αρχεία βιβλιοθηκών μιας σχεδίασης μπορούν να είναι περισσότερα του

ενός αλλά ενεργό είναι πάντα αυτό που βρίσκεται στην κορυφή της στοίβας. Η θέση των αρχείων αυτών στο δίσκο βρίσκεται στην διακριτική ευχέρεια του χρήστη. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέγουμε το αρχείο βιβλιοθήκης με τις παραμέτρους των τρανζίστορ σε τεχνολογία 0.18μm της κατασκευάστριας εταιρείας κυκλωμάτων ημιαγωγών UMC.

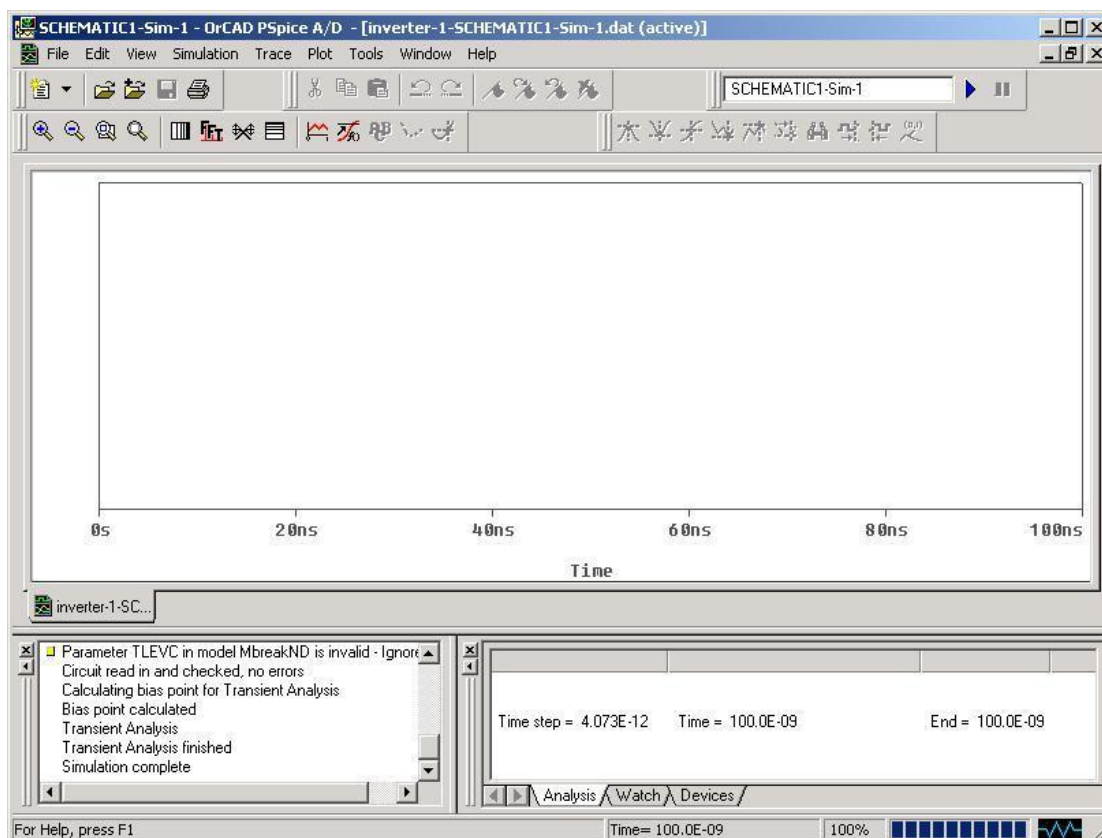


Σχήμα 2.3. Καθορισμός βιβλιοθήκης παραμέτρων.

Διατηρώντας τις υπόλοιπες παραμέτρους της προσομοίωσης ενεργοποιούμε τις επιλογές *Apply* και *OK* και επανερχόμαστε στο περιβάλλον σχεδίασης. Να επισημανθεί ότι οποιαδήποτε στιγμή μπορούμε να επαναδιαμορφώσουμε το περιβάλλον προσομοίωσης με την εντολή *PSpice > Edit Simulation Settings*.

2.2 Προσομοίωση

Με καθορισμένες τις παραμέτρους της προσομοίωσης μπορούμε από το περιβάλλον σχεδίασης να καλέσουμε τον προσομοιωτή PSpice. Η κλήση πραγματοποιείται με την εντολή *PSpice > Run* και έχει ως αποτέλεσμα το άνοιγμα του παραθύρου επισκόπησης των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.4.



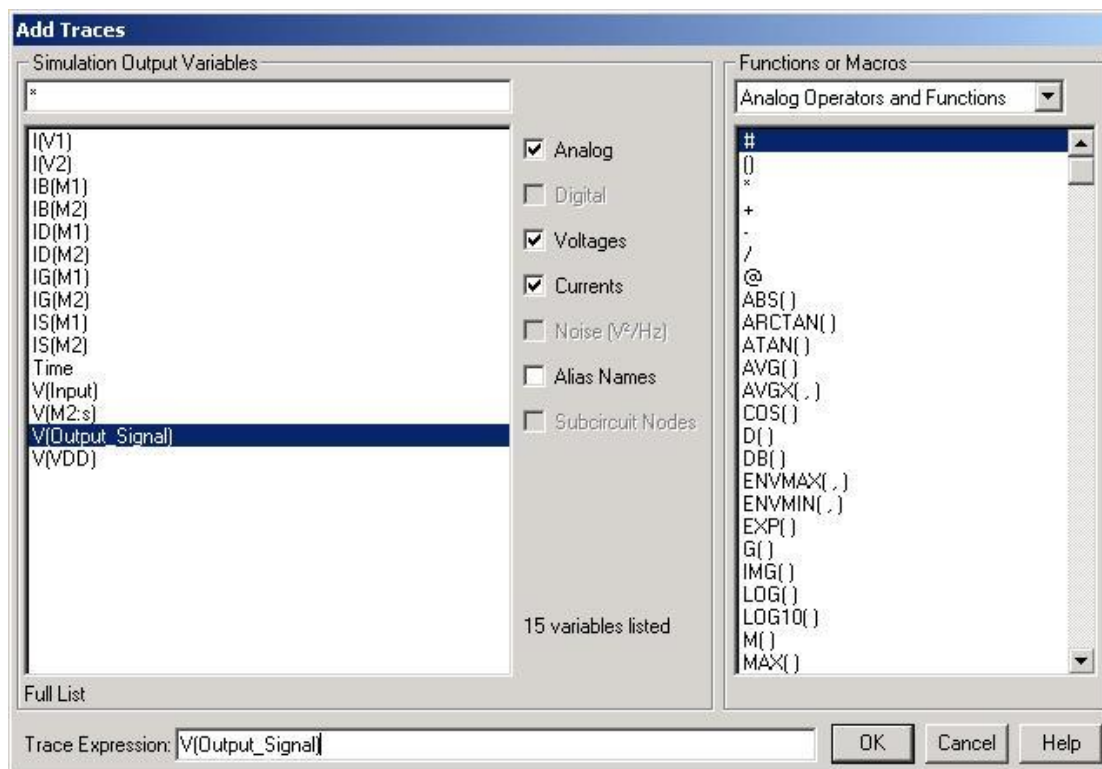
Σχήμα 2.4. Παράθυρο επισκόπησης των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.

Στο παράθυρο του Σχήματος 2.4 μπορούμε να διακρίνουμε την γραμμή κύριων εντολών (*File, Edit, View, Simulation, Trace, Plot, Tools, Window, Help*), από την οποία παρέχεται η δυνατότητα εκτέλεσης όλων των λειτουργιών του εργαλείου. Κάτω από την γραμμή εντολών υπάρχουν κουμπιά συντόμευσης με τα οποία μπορούμε εύκολα και γρήγορα να εκτελέσουμε μία εντολή.

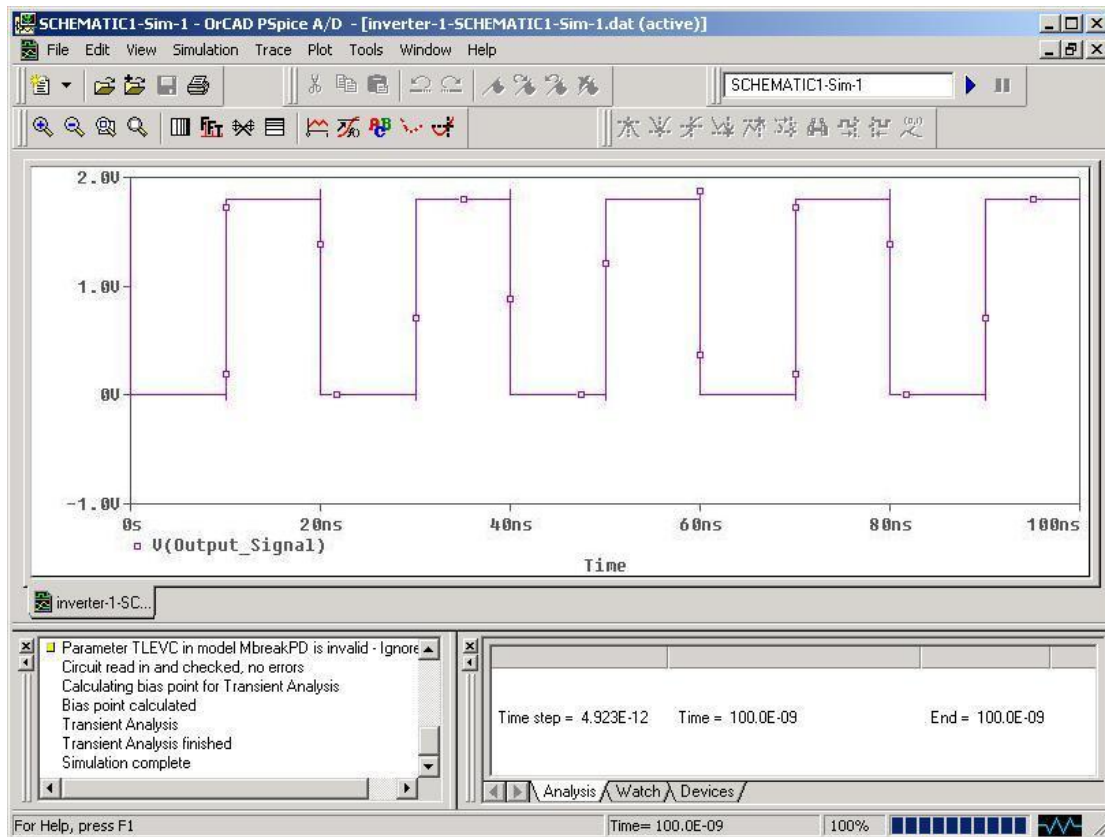
Παρατηρούμε ότι στο κεντρικό τμήμα του παραθύρου κυριαρχεί το σύστημα των αξόνων όπου θα αποτυπωθούν οι γραφικές απεικονίσεις των κυματομορφών των διαφόρων σημάτων στους κόμβους και τους κλάδους του κυκλώματος. Καθώς ο τύπος της ανάλυσης που επιλέξαμε νωρίτερα αναφέρεται στο χρονικό πεδίο, ο χ-άξονας του συστήματος φέρει τον κυκλωματικό χρόνο προσομοίωσης.

Για την αποτύπωση των επιθυμητών κυματομορφών επιλέγουμε την εντολή *Trace > Add Trace*. Στο νέο παράθυρο που ανοίγει και παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.5, δίδεται μία λίστα με όλα τα ρεύματα στους ακροδέκτες των ηλεκτρονικών στοιχείων της σχεδίασης και όλες τις τάσεις στους κόμβους του με το όνομα Μεταβλητές Εξόδου (*Output Variables*). Υποστηρίζονται διάφορες μορφές ονοματολογίας με

αποτέλεσμα το ρεύμα σε έναν ακροδέκτη κάποιου ηλεκτρονικού στοιχείου να περιγράφεται με περισσότερους του ενός τρόπους. Απενεργοποιώντας την επιλογή *Alias Names* μπορούμε να αποφύγουμε την παρουσία πολλαπλών ονομάτων. Επιλέγοντας με το ποντίκι κάποια μεταβλητή εξόδου παρατηρούμε ότι το όνομά της προστίθεται στο πεδίο *Trace Expression*. Μπορούμε να επιλέξουμε ταυτόχρονα περισσότερες της μίας μεταβλητής αλλά καλό θα είναι να μην επιλέγουμε ταυτόχρονα και τάσεις και ρεύματα παρά μόνο έναν από τους δύο τύπους μεταβλητών. Δίδοντας OK οι κυματομορφές όλων των επιλεγμένων μεταβλητών εξόδου απεικονίζονται στο σύστημα των αξόνων του κύριου παραθύρου του προσομοιωτή. Στην περίπτωση του Σχήματος 2.5 έχει επιλεγθεί η μεταβλητή της τάσης V(Output_Signal) για την απεικόνιση της κυματομορφής του σήματος στην έξοδο Output_Signal του κυκλώματος. Στο Σχήμα 2.6 δίδεται η απεικόνιση της κυματομορφής εξόδου στο σύστημα αξόνων του κυρίως παραθύρου. Με την επανάληψη της εντολής *Trace > Add Trace* μπορούμε να απεικονίσουμε στο ίδιο σύστημα αξόνων οσοδήποτε νέες κυματομορφές σημάτων επιθυμούμε.

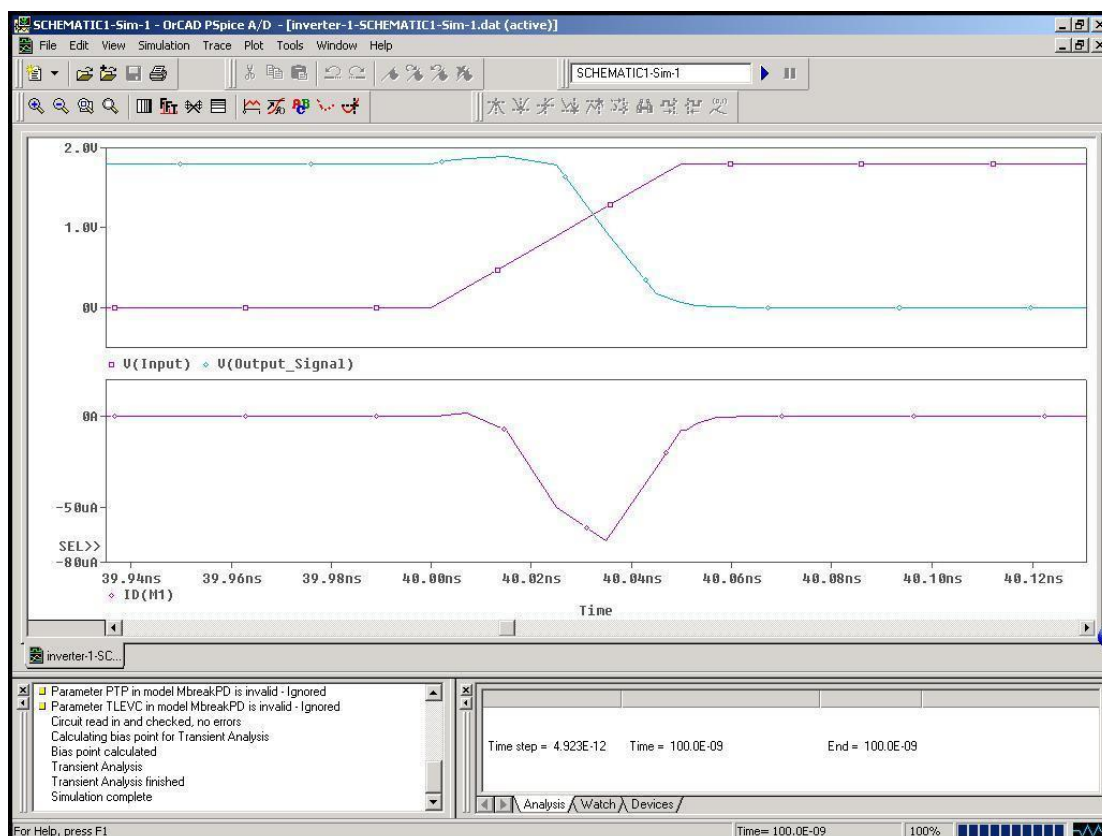


Σχήμα 2.5. Επιλογή κυματομορφών προς απεικόνιση.



Σχήμα 2.6. Απεικόνιση κυματομορφής.

Είναι δυνατή η προσθήκη περισσότερων του ενός αξόνων συντεταγμένων με την εντολή *Plot > Add Plot to Window*. Στο Σχήμα 2.7 δίδεται το παράθυρο απεικόνισης του προσομοιωτή όπου έχουν προστεθεί δύο συστήματα αξόνων για την απεικόνιση των κυματομορφών των τάσεων στην είσοδο Input και στην έξοδο Output_Signal του κυκλώματος καθώς και της κυματομορφής του ρεύματος ID(M1) που διέρχεται από τον ακροδέκτη του απαγωγού (drain) του pMOS τρανζίστορ M1. Στην παρούσα απεικόνιση έχει γίνει εστίαση σε ένα σχετικά περιορισμένο μέρος των κυματομορφών με τη χρήση των εντολών εστίασης Zoom. Παρατηρήστε ότι επιλέξαμε η κυματομορφή του ρεύματος να παρουσιαστεί σε ξεχωριστό σύστημα αξόνων από εκείνο των τάσεων.



Σχήμα 2.7. Πολλαπλά συστήματα αξόνων.

2.2.1 Ανάλυση στο πεδίο του χρόνου (time domain – transient)

Η προσομοίωση στο πεδίο του χρόνου μας δίνει την συμπεριφορά του κυκλώματος παρουσιάζοντας τη χρονική εξέλιξη των τιμών των τάσεων στους κόμβους του και των ρευμάτων στους κλάδους του. Στην προηγούμενη ενότητα 2.1 δόθηκαν όλα τα βασικά βήματα για την αρχικοποίηση της ανάλυσης στο πεδίο του χρόνου, μέσω των παραθύρων των Σχημάτων 2.2 και 2.3.

Επιλέγοντας στο παράθυρο αρχικοποίησης του PSICE στο Σχήμα 2.2 την Transient ανάλυση, προσδιορίζουμε επιπρόσθετα τον κυκλωματικό χρόνο της προσομοίωσης (Run to Time) ο οποίος είναι αναγκαίος για τη μελέτη του κυκλώματος καθώς και το μέγιστο χρονικό βήμα με το οποίο θα κινείται ο προσομοιωτής (Maximum Step Size). Ο κυκλωματικός χρόνος είναι ο χρόνος για τον οποίο το κύκλωμα λειτουργεί (με βάση τις τιμές των εισόδων που του παρέχουμε) και για τον οποίο ο προσομοιωτής μας παρέχει πληροφορία για την συμπεριφορά του κυκλώματος. Το χρονικό βήμα καθορίζει τις χρονικές στιγμές για τις οποίες ο

προσομοιωτής μας παρέχει αυτή την πληροφορία και προσδιορίζει την ακρίβεια της προσομοίωσης (μικρότερο βήμα – μεγαλύτερη ακρίβεια). Ο χρόνος που διαρκεί μια προσομοίωση σε μια μηχανή είναι συνάρτηση του κυκλωματικού χρόνου προσομοίωσης και του χρονικού βήματος, όντας μικρότερος για μικρό κυκλωματικό χρόνο και μεγάλο βήμα.

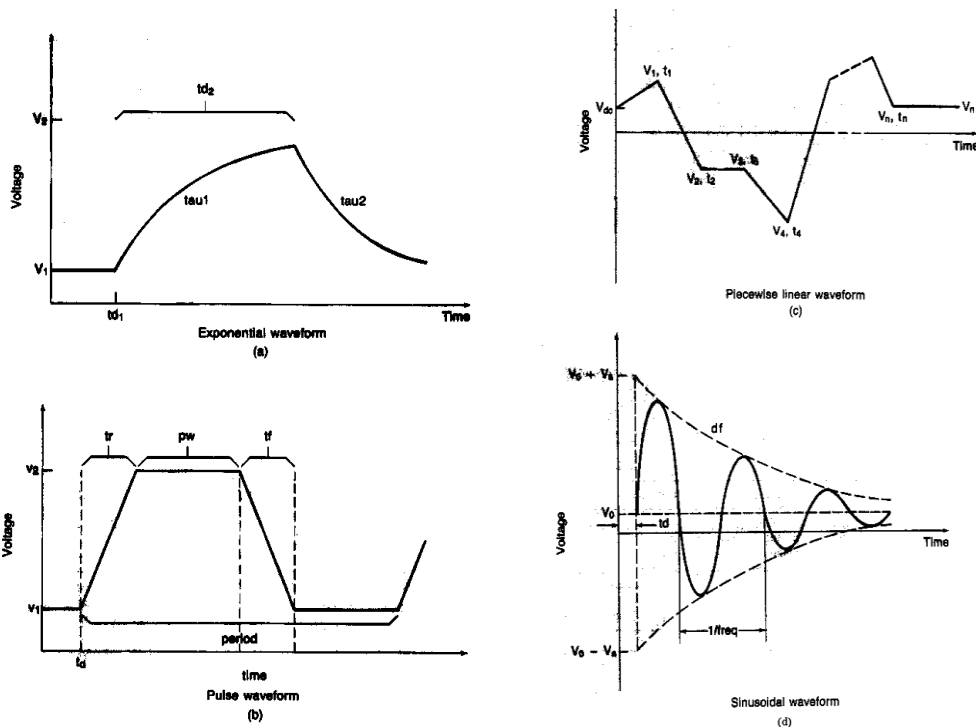
Στη συνέχεια μετακινούμαστε στο πεδίο των βιβλιοθηκών (Libraries) για να επιλέξουμε το αρχείο με τις παραμέτρους των ηλεκτρονικών στοιχείων που θα χρησιμοποιήσει ο προσομοιωτής (βλ. Σχήμα 2.3). Οι βιβλιοθήκες των παραμέτρων των ηλεκτρονικών στοιχείων που χρησιμοποιεί ο προσομοιωτής δεν σχετίζονται με τις βιβλιοθήκες των ηλεκτρονικών στοιχείων του σχηματικού οι οποίες περιέχουν μόνο σύμβολα αυτών των στοιχείων. Με πλοήγηση (Browse) επισημαίνεται το κατάλληλο αρχείο στο σκληρό δίσκο του συστήματος και προστίθεται στα αρχεία βιβλιοθηκών της σχεδίασης με χρήση της επιλογής *Add to Design*. Τα αρχεία βιβλιοθηκών μιας σχεδίασης μπορούν να είναι περισσότερα του ενός. Αν για κάποιο κυκλωματικό στοιχείο (π.χ. τρανζίστορ) υπάρχουν περισσότερα του ενός αρχεία βιβλιοθηκών με παραμέτρους για αυτό το στοιχείο, ενεργές είναι οι παράμετροι του αρχείου που βρίσκεται στην κορυφή της στοίβας. Η επιλογή της τοποθέτησης αυτών των αρχείων στο δίσκο βρίσκεται στην διακριτική ευχέρεια του χρήστη.

Για να εκτελεστεί η ανάλυση στο πεδίο του χρόνου θα πρέπει να δοθεί η πληροφορία της χρονικής εξέλιξης των σημάτων που τροφοδοτούν το υπό προσομοίωση κύκλωμα, επιτελώντας το ρόλο σημάτων εισόδου. Για την περιγραφή αυτών των σημάτων διατίθενται διάφορες πηγές τάσης και ρεύματος οι οποίες είναι προσβάσιμες με την εντολή *Place > Part* και επιλέγοντας στο πεδίο των βιβλιοθηκών (Libraries) τη βιβλιοθήκη *Source* (εδώ αναφερόμαστε σε βιβλιοθήκες συμβόλων). Οι κυριότεροι τύποι πηγών τάσης και ρεύματος αναλύονται ακολούθως.

- VDC, IDC: πρόκειται για πηγές τάσης και ρεύματος αντίστοιχα σταθερής (DC) τιμής. Το μόνο πεδίο που απαιτείται να συμπληρωθεί στις ιδιότητες (*επιλογή στοιχείου > δεξί κλικ ποντικιού > Edit properties*) σε αυτού του τύπου τις πηγές είναι εκείνο της DC τιμής.
- VEXP, IEXP: πρόκειται για πηγές σήματος με εκθετική συμπεριφορά (βλ. Σχήμα 2.8(a)). Στα πεδία των παραμέτρων συμπληρώνονται τα ακόλουθα, α) V1 / I1 και V2 / I2 η αρχική τιμή του σήματος και η τιμή σήματος κορυφής

αντίστοιχα (σε volt/ampere), β) TD1 ο αρχικός χρόνος καθυστέρησης εκκίνησης της κυματομορφής (σε sec) όπου το σήμα φέρει την προσδιορισθείσα αρχική τιμή ($V1/I1$), γ) TC1 η σταθερά χρόνου με την οποία ακολούθως μεταβάλλεται εκθετικά η κυματομορφή από την αρχική τιμή στην τιμή κορυφής (σε sec), δ) TD2 ο χρόνος που διαρκεί η προηγούμενη μεταβολή (σε sec) και ε) TC2 η σταθερά χρόνου με την οποία μεταβάλλεται το σήμα από την τιμή κορυφής πίσω στην αρχική τιμή (σε sec).

- VPULSE, IPULSE: είναι πηγές περιοδικού τετραγωνικού παλμού (βλ. Σχήμα 2.8(b)). Τα πεδία που πρέπει να συμπληρωθούν στις ιδιότητες της πηγής είναι, α) PER που προσδιορίζει την περίοδο (σε sec), β) PW που προσδιορίζει το πλάτος του σήματος (σε sec), γ) TF και TR που είναι οι χρόνοι μετάβασης (καθόδου και ανόδου αντίστοιχα) του σήματος (σε sec), δ) TD που προσδιορίζει την καθυστέρηση έναρξης του παλμού σε σχέση με τον χρόνο εκκίνησης της προσομοίωσης (σε sec) και ε) $V1 / I1$, $V2 / I2$ που είναι η αρχική τιμή του παλμού και η τιμή μετάβασης του παλμού αντίστοιχα (σε volt/ampere).
- VPWL, IPWL: είναι πηγές που περιγράφονται από κυματομορφές γραμμικών τμημάτων (PWL waveform – piecewise linear waveform) (βλ. Σχήμα 2.8(c)). Τα πεδία που συμπληρώνονται είναι εκείνα των τιμών σήματος V_i / I_i (σε volt/ampere) και των αντίστοιχων χρόνων T_i (σε sec), τόσα όσα απαιτούνται για την περιγραφή της κυματομορφής.
- VSIN, ISIN: είναι πηγές ημιτονικού σήματος (βλ. Σχήμα 2.8(d)). Τα πεδία ενδιαφέροντος είναι, α) TD που προσδιορίζει την καθυστέρηση έναρξης του σήματος σε σχέση με τον χρόνο εκκίνησης της προσομοίωσης (σε sec), β) VOFF / IOFF η μετατόπιση της τιμής του σημείου ταλάντωσης ως προς το μηδέν (offset) (σε volt/ampere), γ) VAMPL / IAMPL το πλάτος της ταλάντωσης (σε volt/ampere), δ) FREQ η συχνότητα της ταλάντωσης (σε Hz), ε) PHASE η φάση του σήματος (σε degree) και στ) DF ο παράγοντας υποβάθμισης του σήματος στο χρόνο (σε sec^{-1}).



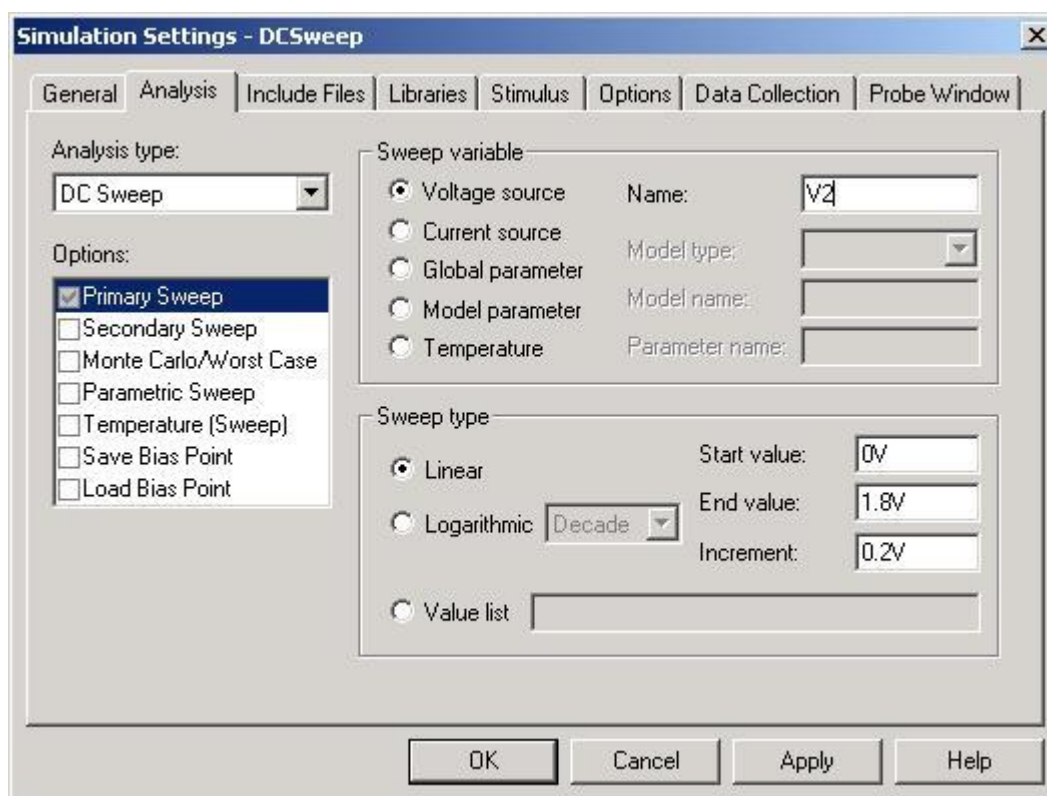
Σχήμα 2.8. Διαγράμματα καθορισμού κυματομορφών πηγών τάσης.

2.2.2 DC ανάλυση σάρωσης (DC sweep)

Κατά την DC ανάλυση σάρωσης ως προς μια μεταβλητή (πηγή σήματος, παράμετρος, θερμοκρασία), ο προσομοιωτής υπολογίζει το σημείο λειτουργίας του κυκλώματος για κάθε τιμή της μεταβλητής μέσα από ένα προκαθορισμένο πεδίο τιμών σάρωσης και με βάση ένα προκαθορισμένο βήμα. Το αποτέλεσμα είναι οι τιμές των τάσεων και των ρευμάτων στους κόμβους και τις διακλαδώσεις του κυκλώματος για κάθε τιμή της μεταβλητής σάρωσης.

Ας επιστρέψουμε στο κύκλωμα του παραδείγματος μας όπως αυτό δίδεται στο Σχήμα 1.19. Για να αρχικοποιήσουμε το PSpice στην DC ανάλυση σάρωσης επιλέγουμε την εντολή *PSpice > New Simulation Profile* οπότε εμφανίζεται το παράθυρο του Σχήματος 2.1 για την καταχώρηση της πληροφορίας που αφορά την τρέχουσα διαδικασία προσομοίωσης. Ονοματίζουμε την τρέχουσα προσομοίωση ως DC Sweep. Στη συνέχεια εμφανίζεται το παράθυρο του Σχήματος 2.9 για τον προσδιορισμό των παραμέτρων του PSpice κατά την DC ανάλυση σάρωσης. Επιλέγουμε στον τύπο της ανάλυσης (Analysis Type) την «DC ανάλυση σάρωσης (DC Sweep)». Στο πεδίο των επιλογών (Options) θέτουμε την «πρωτεύουσα σάρωση

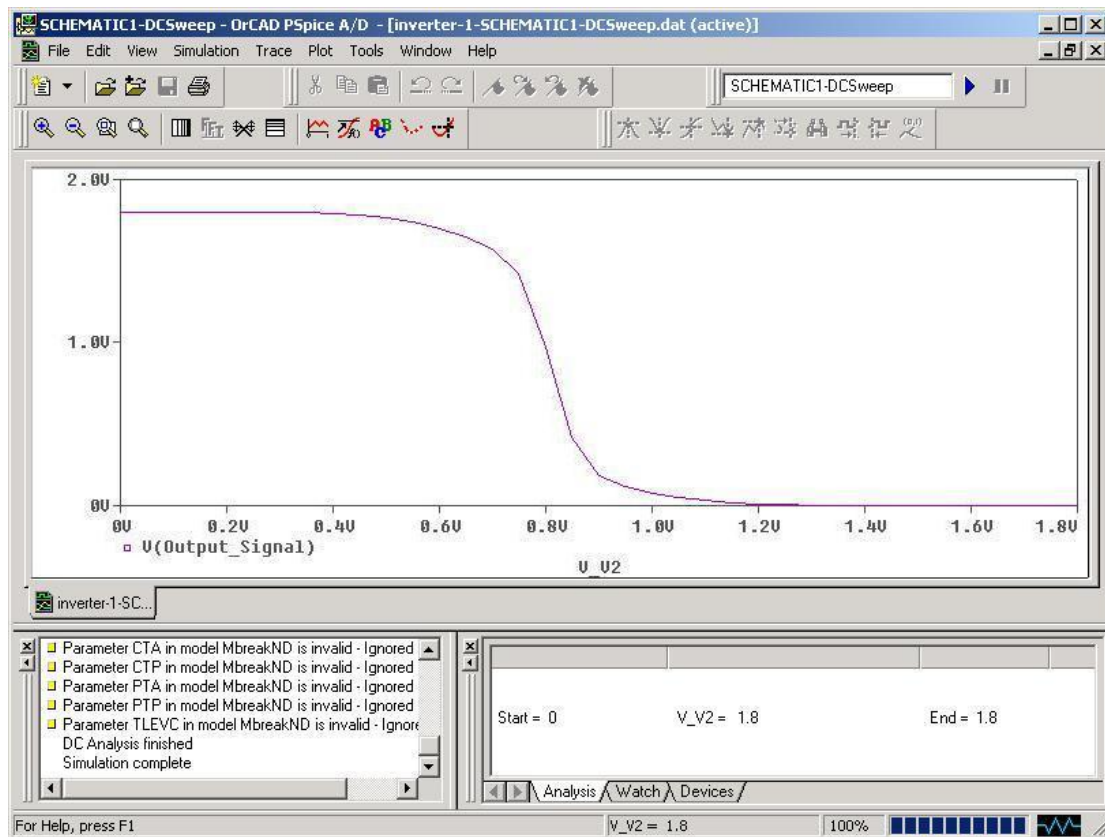
(Primary Sweep)». Επιλέγουμε ως μεταβλητή σάρωσης, στο πεδίο Sweep Variable, την πηγή τάσης V2 (Voltage Source) που παρέχει το σήμα εισόδου στο κύκλωμα. Στο πεδίο του τύπου της σάρωσης επιλέγουμε αν η σάρωση θα είναι γραμμική (Linear) ή λογαριθμική (Logarithmic. Θέτουμε π.χ. γραμμική σάρωση και επιλέγουμε αρχική τιμή της σάρωσης (Start Value) τα 0V, τελική τιμή (End Value) τα 1.8V και βήμα (Increment) τα 0.2V.



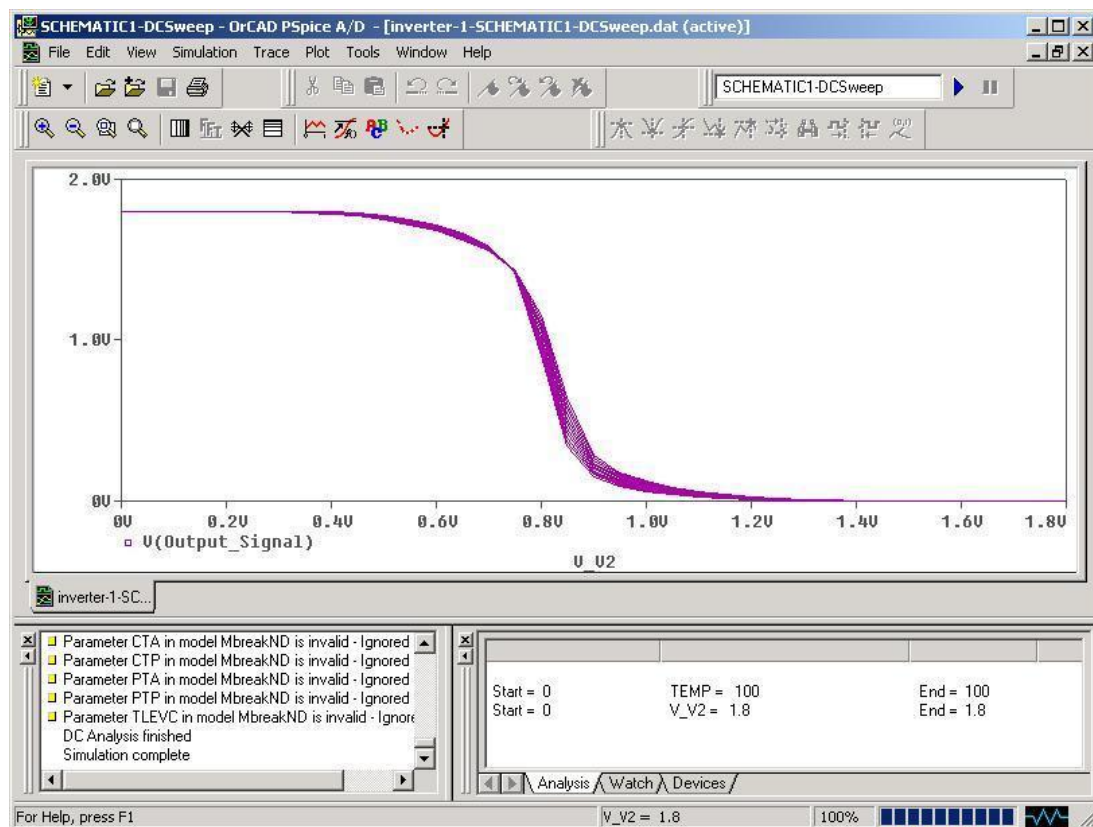
Σχήμα 2.9. Αρχικοποίηση DC ανάλυσης σάρωσης.

Κατά τον ίδιο τρόπο θα μπορούσε να επιλεγεί ως μεταβλητή σάρωσης μία πηγή ρεύματος (Current Source), μία γενική παράμετρος (Global Parameter), μία παράμετρος μοντέλου (Model Parameter) όπως το πλάτος W των τρανζίστορ ή τέλος η θερμοκρασία.

Στη συνέχεια μετακινούμαστε στο πεδίο των βιβλιοθηκών (Libraries), όπως είχαμε δείξει νωρίτερα (βλ. Σχήμα 2.3), για να προσδιοριστεί το αρχείο με τις παραμέτρους των ηλεκτρονικών στοιχείων που θα χρησιμοποιήσει ο προσομοιωτής. Επιλέγοντας τις βιβλιοθήκες της UMC είμαστε έτοιμοι να εκτελέσουμε την προσομοίωση. Στο Σχήμα 2.10 δίδεται η απόκριση του PSPICE για το κύκλωμα του Σχήματος 1.19 και για τις ανωτέρω επιλογές της DC ανάλυσης σάρωσης. Αποδίδεται η τάση της εξόδου Output_Signal ως προς την πηγή σήματος V2.



Σχήμα 2.10. Απόκριση PSICE στην DC ανάλυση σάρωσης.



Σχήμα 2.11. Απόκριση με δύο μεταβλητές για την DC ανάλυση σάρωσης.

Είναι δυνατή η χρήση δύο μεταβλητών για την πραγματοποίηση της DC ανάλυσης σάρωσης. Σε αυτή την περίπτωση, στο πεδίο των επιλογών ενεργοποιούμε ταυτόχρονα και την δευτερεύουσα σάρωση (Secondary Sweep). Ο καθορισμός της δεύτερης μεταβλητής και ο προσδιορισμός των παραμέτρων της ανάλυσης δεν διαφέρει από εκείνον για την πρωτεύουσα σάρωση του Σχήματος 2.9. Το αποτέλεσμα της ανάλυσης είναι ένα σμήνος από καμπύλες που αντιστοιχούν σε διαφορετικές τιμές της δευτερεύουσας μεταβλητής σάρωσης. Στο Σχήμα 2.11 δίδεται η απόκριση DC ανάλυσης σάρωσης όπου ως δεύτερη μεταβλητή ορίστηκε η θερμοκρασία.

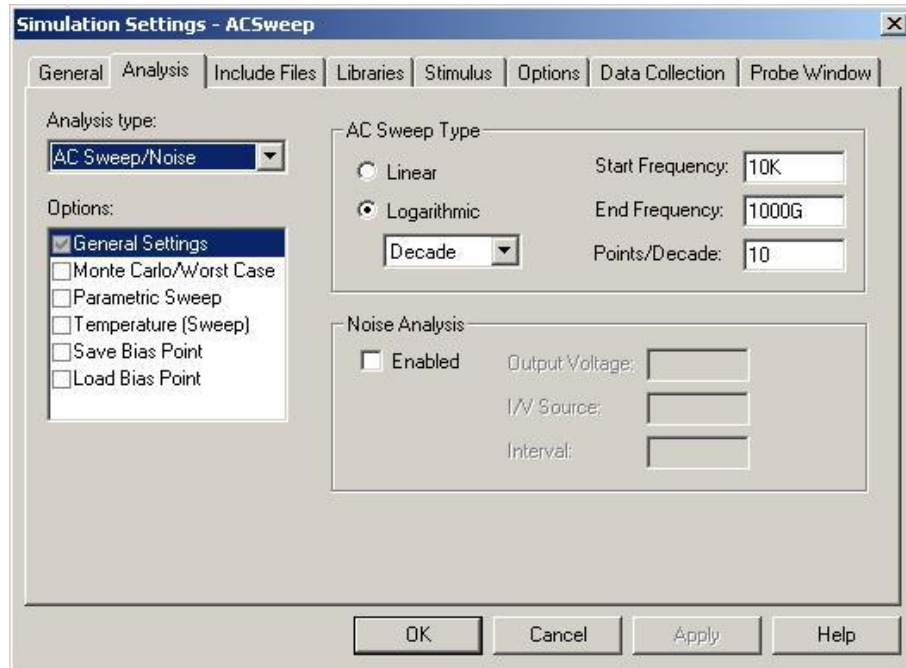
2.2.3 Ανάλυση στο πεδίο των συχνοτήτων - AC ανάλυση σάρωσης (AC sweep)

Η ανάλυση στο πεδίο των συχνοτήτων υπολογίζει τις AC τάσεις στους κόμβους και τα AC ρεύματα στις διακλαδώσεις ενός κυκλώματος σαρώνοντας ένα εύρος συχνοτήτων. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης είναι οι τιμές α) του πλάτους και β) των σχετικών φασικών γωνιών των τάσεων και των ρευμάτων ως προς το πεδίο των συχνοτήτων. Με τον όρο ανάλυση στο πεδίο συχνοτήτων εννοούμε “την μικρού σήματος απόκριση στη συχνότητα”, όπου υποθέτουμε ότι τα σήματα εισόδου είναι μικρά σήματα ώστε να ελαχιστοποιούνται τα μη γραμμικά φαινόμενα.

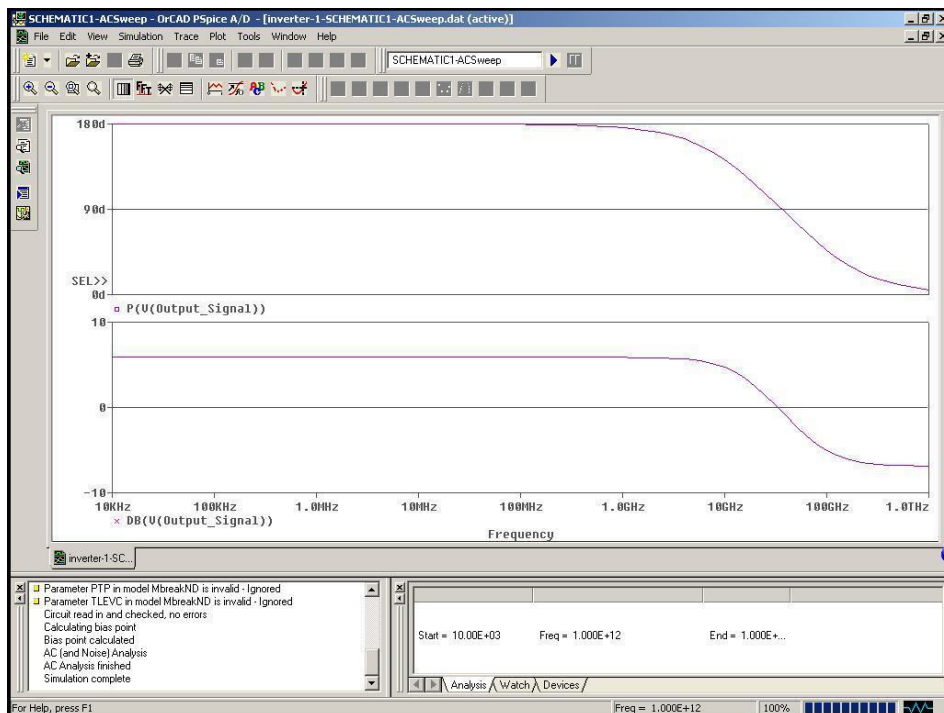
Ως παράδειγμα θα χρησιμοποιήσουμε και πάλι το κύκλωμα του Σχήματος 1.19. Για τις ανάγκες της προσομοίωσης προσθέστε στις ιδιότητες της πηγής σήματος V2 DC=0.9V και AC=0.9V. Η αρχικοποίηση του PSPICE στην AC ανάλυση σάρωσης πραγματοποιείται με την εντολή *PSpice > New Simulation Profile* οπότε εμφανίζεται το παράθυρο του Σχήματος 2.1 για την καταχώρηση της πληροφορίας που αφορά την τρέχουσα διαδικασία προσομοίωσης. Ονοματίζουμε την τρέχουσα προσομοίωση ως ACSweep. Στη συνέχεια εμφανίζεται το παράθυρο του Σχήματος 2.12, για τον προσδιορισμό των παραμέτρων του PSPICE κατά την ανάλυση, όπου επιλέγουμε στον τύπο της ανάλυσης (Analysis Type) την «AC ανάλυση σάρωσης (AC Sweep)». Στο πεδίο των επιλογών (Options) ενεργοποιούμε τη «γενική μορφοποίηση (General Settings)». Στο πεδίο του τύπου της AC σάρωσης (AC Sweep Type), μπορούμε να επιλέξουμε γραμμική ή λογαριθμική σάρωση (συνήθως λογαριθμική) καθορίζοντας την αρχική και τελική συχνότητα και τον αριθμό των συνολικών σημείων ή των σημείων ανά δεκάδα/οκτάβα αντίστοιχα της προσομοίωσης. Στην παρούσα φάση δεν επιλέγουμε την ανάλυση θορύβου (Noise Analysis) στο σχετικό πεδίο.

Στη συνέχεια μετακινούμαστε στο πεδίο των βιβλιοθηκών (Libraries), βλ. Σχήμα 2.3, για να προσδιοριστεί το αρχείο με τις παραμέτρους των ηλεκτρονικών στοιχείων

που θα χρησιμοποιήσει ο προσομοιωτής. Επιλέγονται οι βιβλιοθήκες της UMC και εκτελείται η προσομοίωση. Στο Σχήμα 2.13 δίδεται η απόκριση του PSPICE για το κύκλωμα του Σχήματος 1.19 και για τις ανωτέρω επιλογές της AC ανάλυσης σάρωσης. Αποδίδεται το πλάτος της τάσης εξόδου Output_Signal καθώς και η φασική της γωνία, ως προς τη συχνότητα.



Σχήμα 2.12. Αρχικοποίηση AC ανάλυσης σάρωσης.



Σχήμα 2.13. Απόκριση PSICE στην AC ανάλυση σάρωσης.

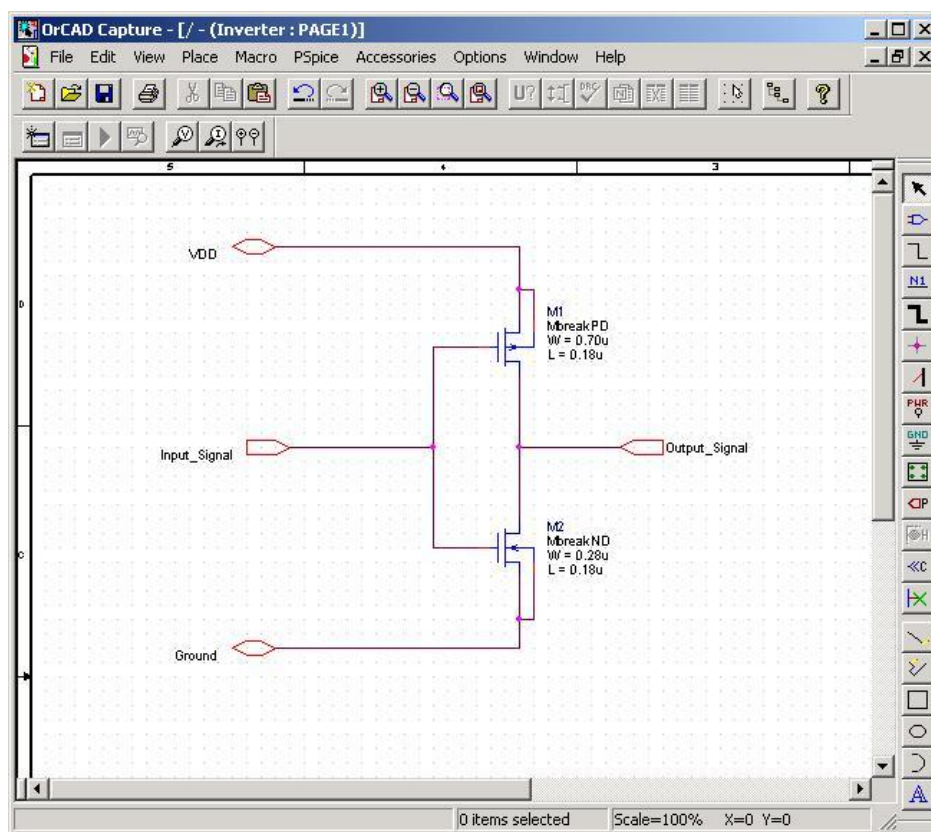
3. Ιεραρχικός Σχεδιασμός.

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστεί εν συντομία η δυνατότητα ιεραρχικού σχεδιασμού που παρέχει το περιβάλλον σχεδίασης του OrCAD. Με την έννοια “ιεραρχικός σχεδιασμός” αναφερόμαστε στην οργάνωση/τμηματοποίηση ενός κυκλώματος (σχεδιασμού) σε υποκυκλώματα τα οποία με την σειρά τους μπορούν να τμηματοποιηθούν περαιτέρω σε άλλα υποκυκλώματα κ.ο.κ. μέχρι ενδεχομένως να καταλήξουμε σε κάποια στοιχειώδη κυκλώματα από τα οποία απαρτίζεται ο συνολικός σχεδιασμός. Η σχεδίαση ξεκινά από τα στοιχειώδη κυκλώματα τα οποία στην συνέχεια καλούνται με τη μορφή συμβόλων στη σχεδίαση των αμέσως ανωτέρω επιπέδων κ.ο.κ. μέχρι το ανώτερο επίπεδο που είναι το συνολικό κύκλωμα. Με τον τρόπο αυτό απλοποιείται η διαδικασία της σχεδίασης καθώς στοιχειώδη κυκλώματα σχεδιάζονται μία φορά και επαναχρησιμοποιούνται όπου απαιτείται στο σχεδιασμό. Επιπλέον, με τη σωστή τμηματοποίηση, ο σχεδιασμός καθίσταται περισσότερο εύληπτος καθώς ιεραρχείται σε διαδοχικά αφαιρετικά επίπεδα, δίδει μεγάλη ευελιξία στον εντοπισμό και τη διόρθωση πιθανών σχεδιαστικών λαθών ενώ παράλληλα γίνεται εύκολα αναγνώσιμος και κατανοητός από άλλες συνεργαζόμενες σχεδιαστικές ομάδες.

3.1 Σχεδιασμός στοιχειωδών κυκλωμάτων - υποκυκλωμάτων

Έστω ότι ο αναστροφέας του Σχήματος 1.19 της προηγούμενης ενότητας αποτελεί ένα στοιχειώδες κύκλωμα ενός σχεδιασμού. Θα τροποποιήσουμε το σχέδιο του αναστροφέα έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε έναν ιεραρχικό σχεδιασμό. Από τη στιγμή που οι προσομοιώσεις έχουν επαληθεύσει την αναμενόμενη λειτουργία του αναστροφέα, η μόνη παρέμβαση που απαιτείται στο σχέδιο του Σχήματος 1.19 είναι ο ορισμός των σημάτων εισόδου και εξόδου του στοιχειώδους κυκλώματος. Για το λόγο αυτό καταργούμε από το σχέδιο τις πηγές τροφοδοσίας V1 και Gnd=0 αντίστοιχα καθώς και την πηγή σήματος εισόδου τετραγωνικού παλμού V2. Οι πηγές τροφοδοσίας και το σήμα εισόδου δεν χρειάζεται να οριστούν στο σχεδιασμό του υποκυκλώματος καθώς θα παρέχονται από το εξωτερικό περιβάλλον (ανώτερο επίπεδο) στο οποίο θα χρησιμοποιηθεί ο αναστροφέας. Έτσι για τις τροφοδοσίες και το σήμα εισόδου θα πρέπει να οριστούν κατάλληλες θύρες

εισόδου/εξόδου. Για το σήμα εξόδου έχει ήδη οριστεί η θύρα εξόδου “Output_Signal”. Στο Σχήμα 3.1 δίδεται το νέο σχηματικό του αναστροφέα, κατάλληλο για χρήση σε έναν ιεραρχικό σχεδιασμό. Για τον τρόπο ορισμού των θυρών ανατρέξτε στην παράγραφο 1.4.



Σχήμα 3.1. Σχηματικό υποκυκλώματος

Στο Σχήμα 3.1, η θύρα του σήματος εισόδου ονομάζεται “Input_Signal” και είναι τύπου Input, η θύρα του σήματος εξόδου ονομάζεται “Output_Signal” και είναι τύπου Output, ενώ οι θύρες των τάσεων τροφοδοσίας ονομάζονται VDD και Ground και είναι τύπου Power.

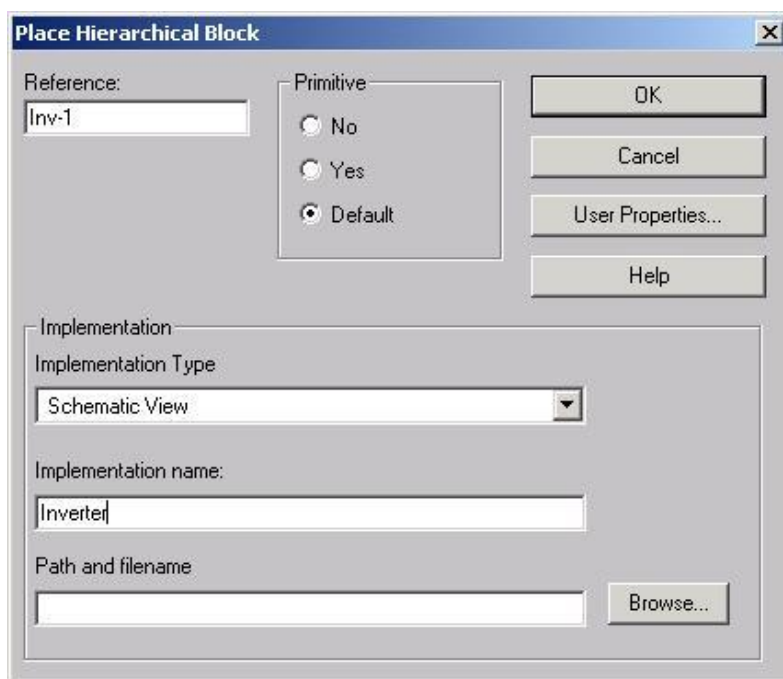
ΠΡΟΣΟΧΗ: Ορίζετε πάντα τις θύρες των σημάτων τροφοδοσίας να είναι τύπου Power.

Κλείνοντας τη σχεδίαση ονοματίστε το νέο σχηματικό ως “Inverter”.

3.2 Σχεδιασμός με τη χρήση συμβόλων

Στη παρούσα παράγραφο θα σχεδιάσουμε μία ακολουθία από δύο αναστροφείς χρησιμοποιώντας το στοιχειώδες κύκλωμα του αναστροφέα που περιγράψαμε

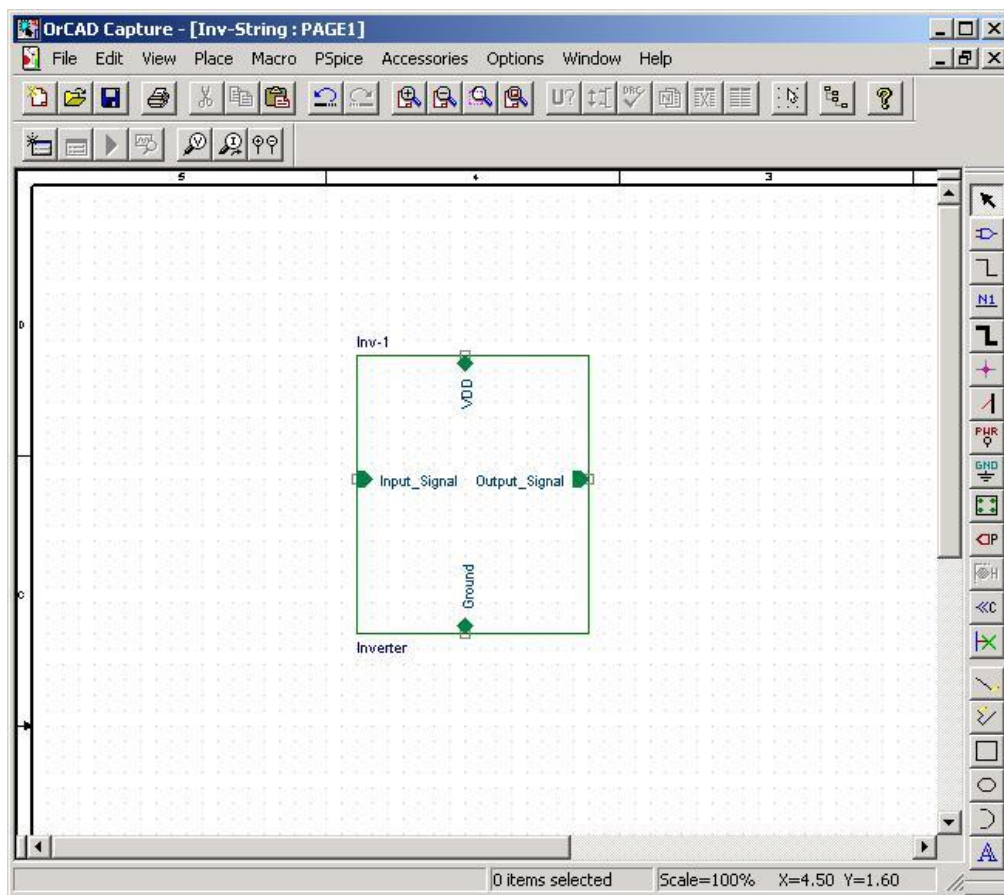
προηγούμενα. Αρχικά δημιουργούμε το σχηματικό “Inv-String”. Ακολουθώντας με την εντολή *Place>Place_Hierarchical_Block* τοποθετούμε τον πρώτο αναστροφέα του κυκλώματος. Με την εκτέλεση της εντολής εμφανίζεται το παράθυρο του Σχήματος 3.2. Στο πεδίο αναφοράς, *Reference*, ορίζουμε το όνομα αναφοράς που θα φέρει το υποκύκλωμα (αναστροφέας) στο σχέδιο μας. Ονομάζουμε τον πρώτο αναστροφέα “Inv-1”. Στο πεδίο του τύπου της υλοποίησης, *Implementation_Type*, επιλέγουμε τον τύπο “Schematic View” καθώς ο πρότυπος αναστροφέας που χρησιμοποιούμε έχει σχεδιαστεί ως ένα σχηματικό. Τέλος στο πεδίο του ονόματος της υλοποίησης, *Implementation_Name*, δίδουμε το όνομα με το οποίο ονοματίσαμε το σχηματικό του αναστροφέα “Inverter”. Το πεδίο διαδρομής και ονόματος αρχείου, *Path_and_Filename*, δεν χρειάζεται να οριστεί καθώς ο πρότυπος αναστροφέας βρίσκεται στο ίδιο project με το νέο σχηματικό και το εργαλείο θα τον εντοπίσει αυτόματα κατά την τοποθέτησή του στο σχέδιο.



Σχήμα 3.2. Τοποθέτηση ιεραρχικού υποκυκλώματος

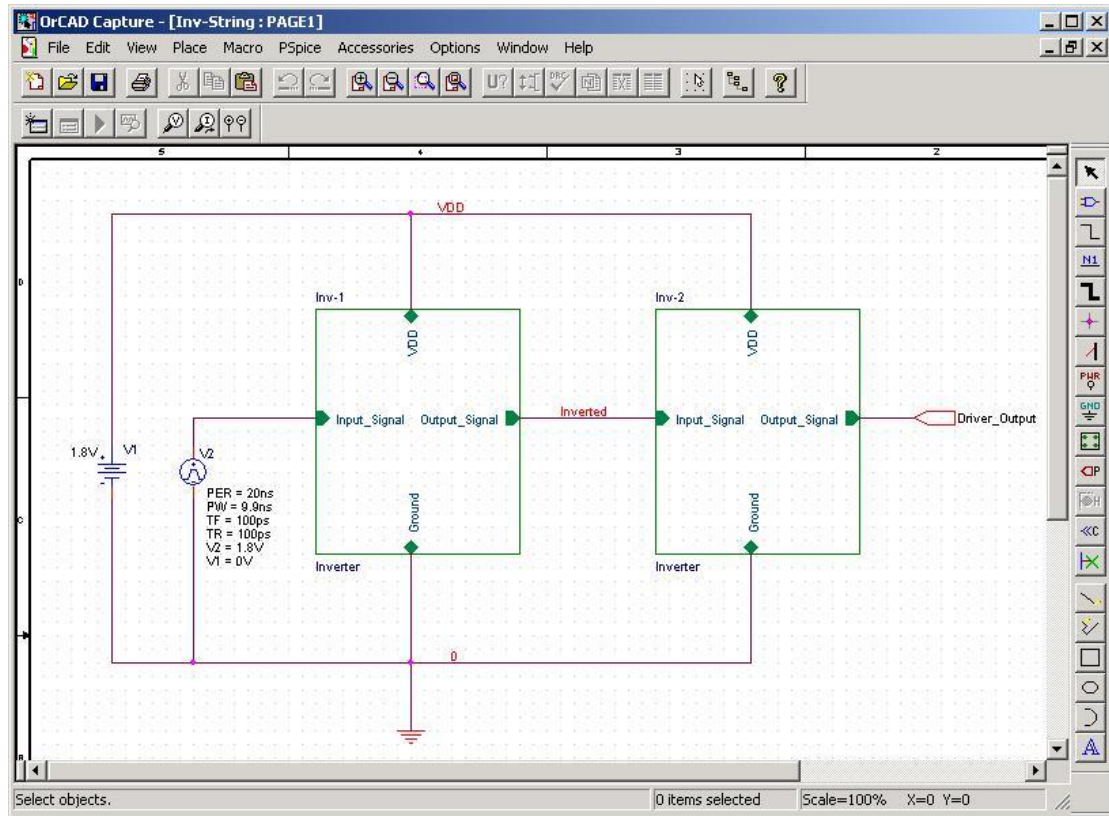
Επιλέγοντας OK στο παράθυρο του Σχήματος 3.2, εμφανίζεται στο παράθυρο του σχηματικού ένας σταυρός με τον οποίο σχεδιάζουμε ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο με τις διαστάσεις που επιθυμούμε για το σύμβολο του αναστροφέα. Αυτόματα μέσα στο παραλληλόγραμμο εμφανίζονται οι θύρες εισόδου/εξόδου που ορίσαμε για το στοιχειώδες κύκλωμα του πρότυπου αναστροφέα.

Η κατεύθυνση σήματος κάθε θύρας γίνεται αντιληπτή από το σύμβολό της. Οι θύρες αυτές μπορούν να επαναδιαταχθούν σε οποιαδήποτε πλευρά του συμβόλου επιθυμούμε, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.3. Στο επάνω αριστερά μέρος του συμβόλου εμφανίζεται το όνομα αναφοράς “Inv-1” και στο κάτω αριστερά μέρος εμφανίζεται το όνομα της υλοποίησης “Inverter”. Με παρόμοιο τρόπο εισάγουμε στο σχέδιό μας και τον δεύτερο αναστροφέα με όνομα αναφοράς “Inv-2”.



Σχήμα 3.3. Σύμβολο στοιχειώδους υποκυκλώματος.

Στη συνέχεια τοποθετούμε τις αναγκαίες πηγές τροφοδοσίας και πηγές σήματος του νέου σχεδιασμού που απαιτούνται για την διαδικασία της προσομοίωσής του, καθώς και όποιες θύρες εισόδου/εξόδου κρίνουμε αναγκαίες. Στο Σχήμα 3.4 φαίνεται το τελικό σχέδιο της ακολουθίας των δύο αναστροφέων έτοιμο για προσομοίωση με το PSPICE. Φυσικά ακολουθώντας εκ νέου τα βήματα αυτής της ενότητας μπορούμε να ορίσουμε το νέο σχηματικό των δύο αναστροφέων ως ένα υποκύκλωμα κατάλληλο για χρήση σε ένα ανώτερο επίπεδο του ιεραρχικού σχεδιασμού κ.ο.κ.



Σχήμα 3.4. Το τελικό σχηματικό της ακολουθίας των δύο αναστροφέων.