

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Εργαστήριο Συστημάτων VLSI και Αρχιτεκτονικής Υπολογιστών

OrCAD - PSPICE

*Το Αναλογικό Περιβάλλον Σχεδίασης και
Προσομοίωσης Κυκλωμάτων*



Γεώργιος Τσιατούχας



2021

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	3
Εισαγωγικό Σημείωμα	4
Εισαγωγή στο Περιβάλλον Σχεδίασης OrCAD(16.5) (Αναλογικός και Μικτού Σήματος Σχεδιασμός).....	5
1. Διαδικασία Σχεδιασμού.	5
1.1. Δημιουργία νέου Project.	5
1.2. Περιβάλλον εργασίας.....	7
1.3. Τοποθέτηση κυκλωματικών στοιχείων στο σχηματικό	9
1.4. Τοποθέτηση θυρών εισόδου/εξόδου	13
1.5. Διασυνδέσεις.....	14
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.	36
3.1 Σχεδιασμός υποκυκλωμάτων	36
3.2 Σχεδιασμός με τη χρήση συμβόλων	38

Εισαγωγικό Σημείωμα

Το OrCAD είναι μία ολοκληρωμένη λύση για σχεδιασμό κυκλωμάτων σε επίπεδο σχηματικού κυκλώματος ή με την χρήση γλωσσών περιγραφής υλικού (Hardware Description Languages - HDL). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σχεδιασμό σε επίπεδο PCB (printed circuit board), FPGA (field programmable gate arrays) και PLD (programmable logic devices). Επίσης παρέχει δυνατότητες προσομοίωσης ψηφιακών και αναλογικών κυκλωμάτων με δυνατότητα παρακολούθησης των κυματομορφών.

Με την χρήση του OrCAD Capture μπορεί να πραγματοποιηθεί η σχεδίαση ψηφιακών και αναλογικών κυκλωμάτων με τη χρήση ειδικού καμβά σχεδίασης. Ο χρήστης επιλέγει τα στοιχεία του κυκλώματος (πύλες, αντιστάσεις, πυκνωτές, τρανζίστορ, ολοκληρωμένα κ.λ.π.) 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 σχετικών εργαλείων προκειμένου να επιβεβαιώσει την σωστή λειτουργία του. Κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού των κυκλωμάτων και σε όλες τις φάσεις, ο χρήστης μπορεί να εκτυπώσει τα στοιχεία που επιθυμεί (σχηματικό, κυματομορφές, ανάλυση υλικού κ.λ.π.). 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.

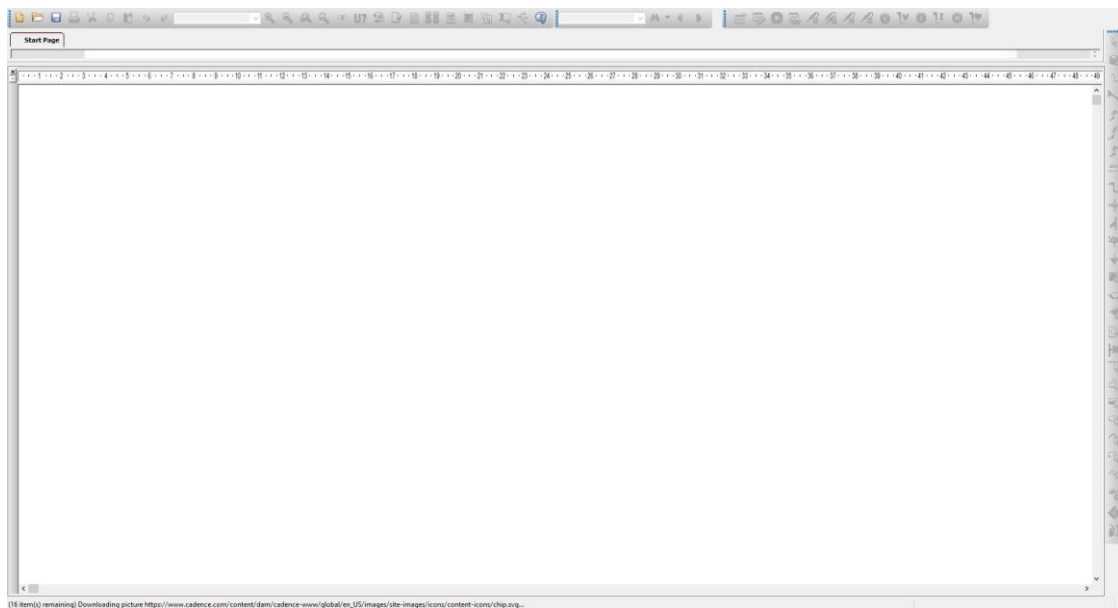
Εισαγωγή στο Περιβάλλον Σχεδίασης OrCAD(16.5)

(Αναλογικός και Μικτού Σήματος Σχεδιασμός)

1. Διαδικασία Σχεδιασμού.

1.1. Δημιουργία νέου Project.

Αρχικά στα Προγράμματα των Windows επιλέξτε από τη λίστα των εργαλείων το *Orcad Capture* και εκτελέστε το (*Orcad Capture CIS*). Στην οθόνη του υπολογιστή σας θα πρέπει να εμφανιστεί το παράθυρο του Σχήματος 1.1.



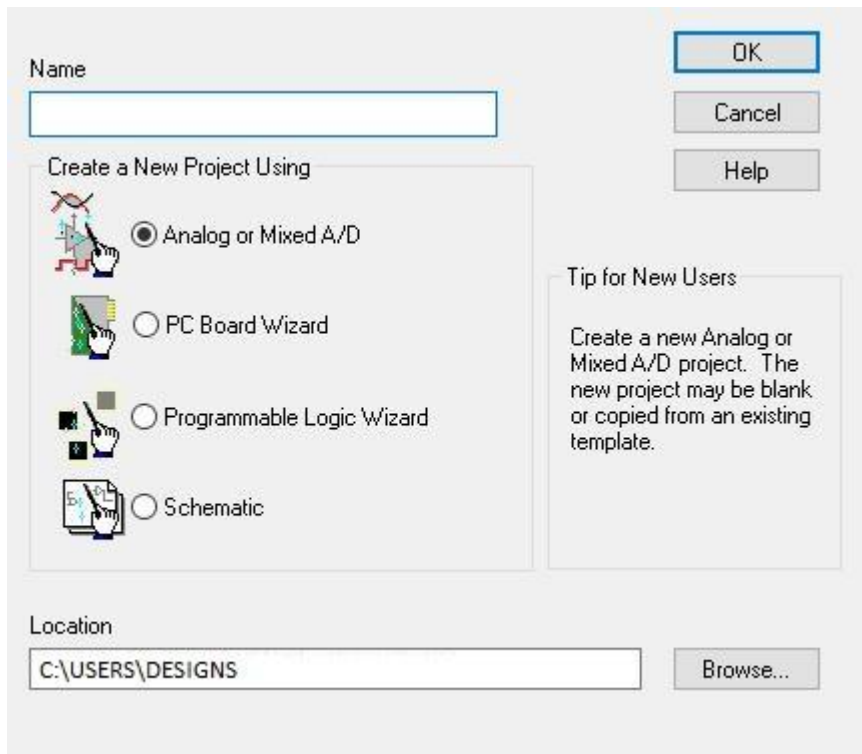
Εικόνα 1.1. Το περιβάλλον εργασίας Orcad Capture

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 των Windows μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί στο περιβάλλον του εργαλείου.

Στο άνω τμήμα διακρίνουμε τη γραμμή των επιλογών (*File, View, Edit, Options, Window, Help*), από την οποία μπορούμε να εκτελέσουμε όλες τις λειτουργίες του εργαλείου. Όταν δημιουργήσουμε κάποιον σχεδιασμό θα δούμε ότι κάτω από τη

γραμμή των επιλογών εμφανίζονται κουμπιά συντόμευσης με τα οποία μπορούμε εύκολα και γρήγορα να εκτελέσουμε διάφορες εντολές.

Το πρώτο βήμα στην διαδικασία σχεδιασμού ενός κυκλώματος είναι η δημιουργία ενός περιβάλλοντος το οποίο θα περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα δεδομένα (σύμβολα, βιβλιοθήκες μοντέλων & προσομοίωσης) που θα χρησιμοποιήσουμε. Για το 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.



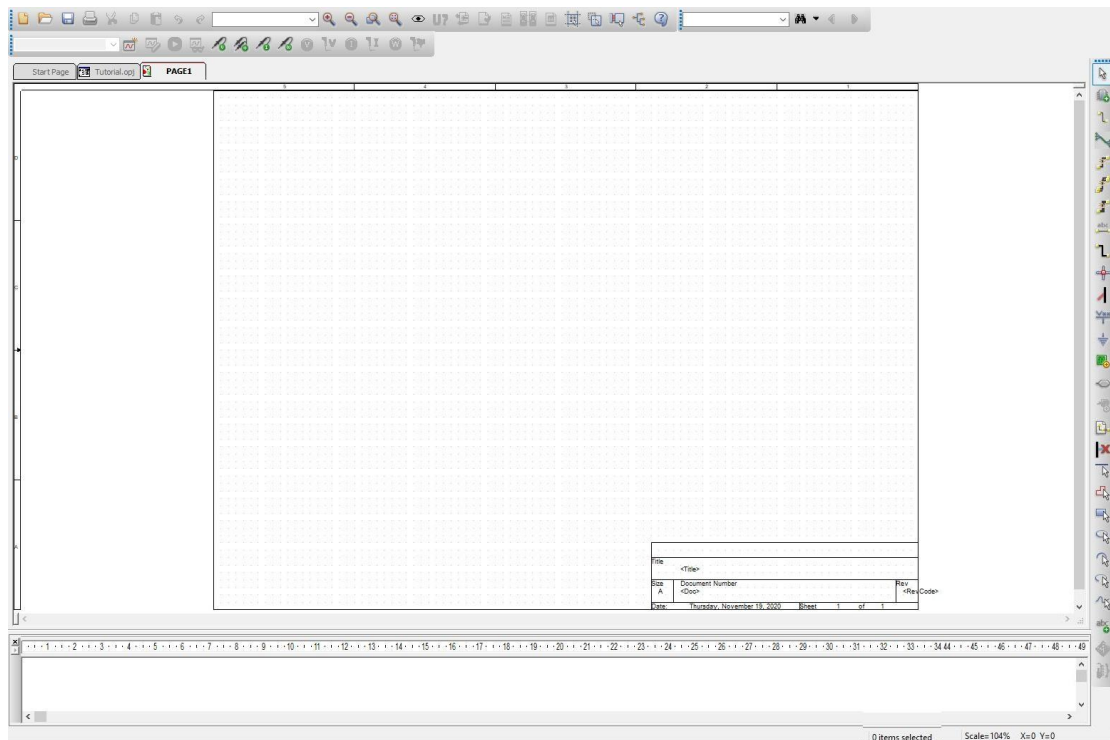
Σχήμα 1.2. Δημιουργία νέου project

Στο πεδίο Name εισάγουμε το όνομα του Project το οποίο καλό είναι να σχετίζεται με το κύκλωμα που σχεδιάζουμε (παράδειγμα Inverter-1). Δεν χρησιμοποιούμε Ελληνικούς χαρακτήρες και δεν αφήνουμε κενά! 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 θα χρησιμοποιήσουμε μόνο τον τύπο *Analog or Mixed A/D*. Στο πεδίο

Location ορίζουμε το πλήρες μονοπάτι στο δίσκο όπου θα τοποθετηθεί το Project. Μπορούμε εναλλακτικά να χρησιμοποιήσουμε την επιλογή Browse για τον καθορισμό της διαδρομής. Όταν ολοκληρώσουμε, περνάμε στο περιβάλλον σχεδίασης όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.3.

1.2. Περιβάλλον εργασίας

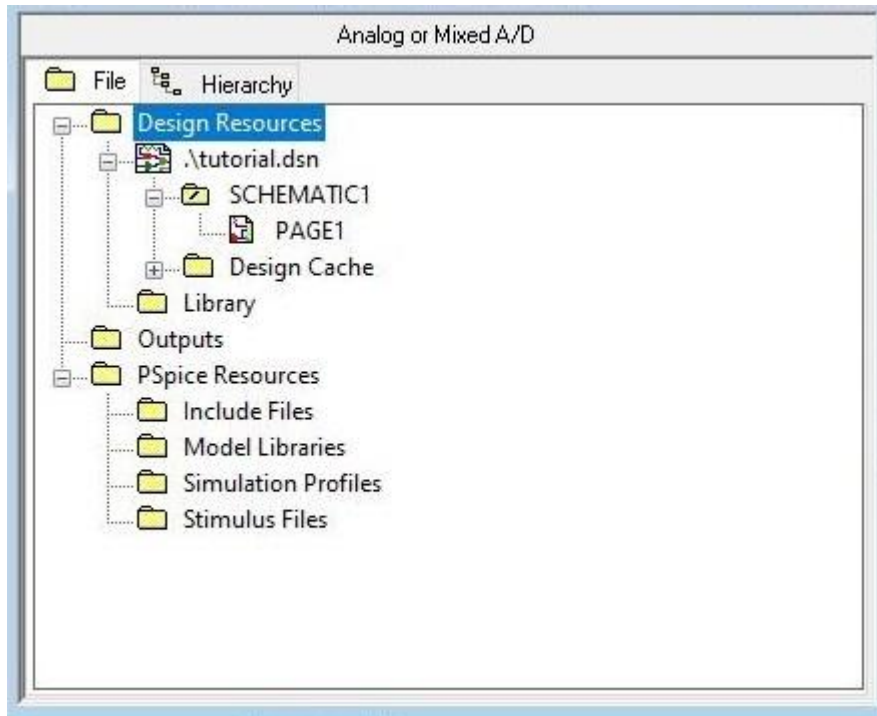
Στο περιβάλλον σχεδίασης του Σχήματος 1.3 παρατηρούμε τον καμβά σχεδίασης για το σχηματικό του κυκλώματος με το όνομα *Schematic1: Page1* (το όνομα μπορεί να τροποποιηθεί) και δεξιά τη στήλη με τα εργαλεία σχεδίασης. Αρχικά θα κάνουμε μία σύντομη περιήγηση στο περιβάλλον εργασίας.



Σχήμα 1.3. Το περιβάλλον σχεδίασης του OrCAD.

Αν ελαχιστοποιήσουμε το παράθυρο του καμβά σχεδίασης, τότε εμφανίζεται το παράθυρο του *Project Manager* όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.4. Μέσω του Project Manager έχουμε τη γενική διαχείριση του Project. Στην ουσία πρόκειται για μία ιεραρχική παρουσίαση των κυκλωματικών σχεδιασμών, 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 οντότητα του Project.



Σχήμα 1.4. Ο Project Manager.

Επιγραμματικά θα αναλύσουμε τους κυριότερους καταλόγους που μας ενδιαφέρουν:

- *Design Resources*: Είναι ο κύριος κατάλογος που περιέχει το σχεδιασμό. Αποτελείται από δύο βασικά μέρη: τα σχηματικά του σχεδιασμού (κάτω από τον κατάλογο με το όνομα του σχεδιασμού και κατάληξη *.dsn*) και τις βιβλιοθήκες (κάτω από τον κατάλογο *Library*). Ειδικότερα τα επιμέρους σχηματικά του σχεδιασμού αποθηκεύονται σε περισσότερους από έναν καταλόγους με ονόματα που δίνουμε εμείς (όπως εδώ *Schematic1*). Το κάθε σχηματικό 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 σχεδιασμούς ή κυκλωματικά στοιχεία τα οποία έχουμε χρησιμοποιήσει έως την τρέχουσα χρονική στιγμή στον γενικότερο 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

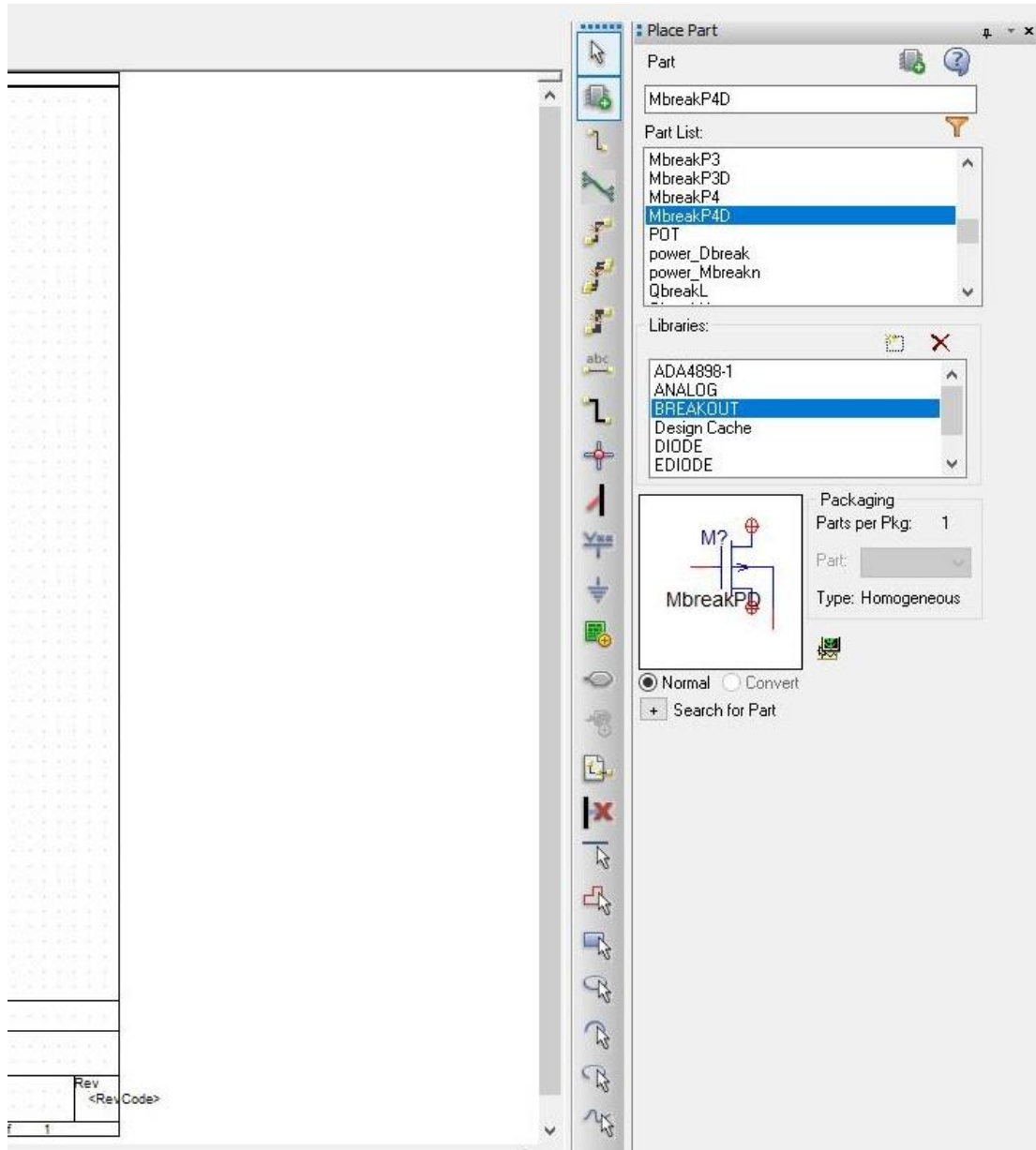
PSPICE. Ενσωματώνει διάφορους υποκαταλόγους που περιέχουν πρόσθετα αρχεία για την προσομοίωση (Include Files), βιβλιοθήκες μοντέλων για την προσομοίωση των ηλεκτρονικών στοιχείων της σχεδίασης (Model Libraries), διαμορφώσεις (προφίλ) του περιβάλλοντος προσομοίωσης (Simulation Profiles) καθώς και αρχεία με κυματομορφές των σημάτων εισόδου του υπό προσομοίωση κυκλώματος (Stimulus Files).

Το δεύτερο βασικό παράθυρο του περιβάλλοντος εργασίας ενός Project είναι το παράθυρο του καμβά σχεδίασης του σχηματικού (Σχήμα 1.3). 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 στήλη εργαλείων με τις συντομεύσεις των πιο απαραίτητων λειτουργιών σχεδίασης.

1.3. Τοποθέτηση κυκλωματικών στοιχείων στο σχηματικό

Είμαστε πλέον σε θέση να ξεκινήσουμε την σχεδίαση ενός κυκλώματος. Φέρνουμε το παράθυρο του σχηματικού στο προσκήνιο και παρατηρούμε ότι εμφανίζεται η στήλη με τα εργαλεία σχεδίασης στο δεξιό τμήμα της οθόνης. Εάν μετακινήσουμε το ποντίκι πάνω σε κάποιο από τα κουμπιά συντόμευσης θα δούμε ότι εμφανίζεται ο τίτλος της λειτουργίας που αντιστοιχεί σε αυτό. Όλες αυτές οι λειτουργίες βρίσκονται και στην γραμμή εντολών, στην 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 από τη στήλη εργαλείων την εντολή *Place_Part* η οποία ανοίγει στο δεξί τμήμα του παραθύρου το πλαίσιο επιλογών που φαίνεται στο Σχήμα 1.5.



Σχήμα 1.5. Επιλογή κυκλωματικού στοιχείου.

Στο πεδίο *Libraries* αναζητούμε την βιβλιοθήκη που περιέχει το σύμβολο του pMOS τρανζίστορ (στο παράδειγμά μας είναι η βιβλιοθήκη Breakout). Μετά την επιλογή της βιβλιοθήκης, στο πεδίο με τίτλο *Part* εισάγουμε το όνομα του στοιχείου που θέλουμε να τοποθετήσουμε στο σχηματικό μας (MbreakP4D) ή αν δεν το θυμόμαστε το αναζητούμε στο πεδίο *Part_List*. Εάν επιλέξουμε ένα οποιοδήποτε στοιχείο τότε κάτω από το πεδίο *Libraries* εμφανίζεται το σύμβολο με το οποίο θα αναπαρίσταται στο σχηματικό μας. Αν η ζητούμενη βιβλιοθήκη δεν υπάρχει θα πρέπει να προστεθεί στο Project. Για την προσθήκη μιας βιβλιοθήκης θα πρέπει στην δεξιά άνω γωνία του πεδίου *Libraries* να ενεργοποιήσουμε την επιλογή *Add_Library*

ώστε να ανοίξει το παράθυρο εύρεσης και προσθήκης της βιβλιοθήκης. Ο φάκελος στον οποίο υπάρχουν οι βιβλιοθήκες με τα σύμβολα των κυκλωματικών στοιχείων που συνοδεύουν το OrCAD βρίσκεται κάτω από το φάκελο εγκατάστασης του εργαλείου στον υποφάκελο *tools/capture/library/pspice*. Ένα αρχείο βιβλιοθήκης με σύμβολα κυκλωματικών στοιχείων έχει επέκταση *.olb*. Οι κυριότερες βιβλιοθήκες που θα χρησιμοποιηθούν στην αναλογική σχεδίαση είναι οι ακόλουθες:

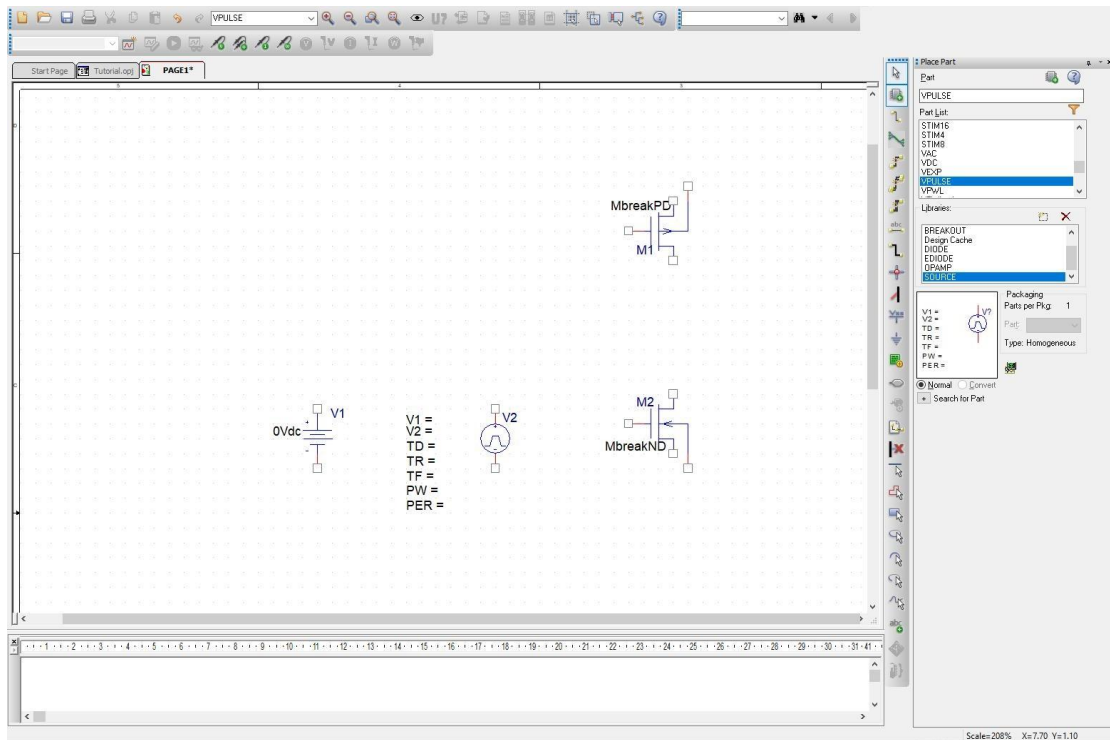
- **Analog.olb:** Περιέχει ιδανικά στοιχεία όπως αντιστάσεις, πυκνωτές, πηνία κλπ.
- **Breakout.olb:** Περιέχει τα βασικά ηλεκτρονικά στοιχεία όπως διόδους και τρανζίστορ.
- **Source.olb:** Περιέχει διάφορες πηγές ρεύματος και τάσης.

Συνιστούμε να συμπεριλαμβάνετε όλες τις βιβλιοθήκες σε κάθε Project για την αποφυγή λαθών. Υπάρχει και η δυνατότητα αφαίρεσης κάποιας βιβλιοθήκης.

Όταν ολοκληρώσουμε την επιλογή του κυκλωματικού στοιχείου που επιθυμούμε πατάμε στην επάνω δεξιά γωνία στο εικονίδιο *Place_Part_ (Enter)* για να το τοποθετήσουμε στο σχηματικό. 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, στο επιθυμητό σημείο του σχηματικού (βλ. Σχήμα 1.6). Θα παρατηρήσουμε ότι το αντίγραφο του στοιχείου συνεχίζει να είναι προσκολλημένο στον δείκτη του ποντικιού και με την ίδια διαδικασία μπορούμε να τοποθετήσουμε όσα άλλα αντίγραφα απαιτούνται σε άλλα σημεία 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 1.6. Τοποθέτηση κυκλωματικών στοιχείων 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.

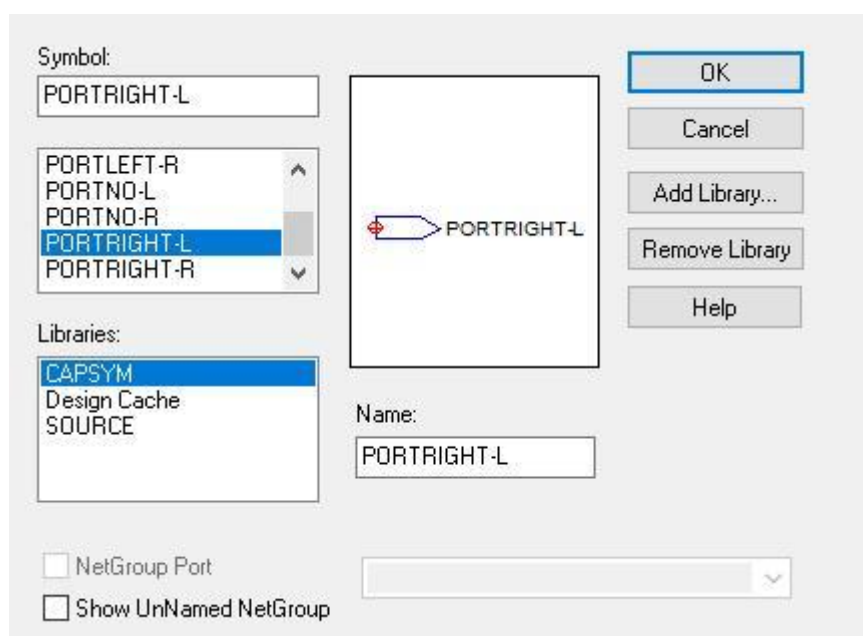
Με την ίδια διαδικασία επιλέγουμε και τοποθετούμε στο σχηματικό το nMOS τρανζίστορ (MbreakND). Το όνομα M2 του τρανζίστορ δίδεται αυτόματα από το εργαλείο. Και πάλι η φορά του βέλους στη γραμμή πόλωσης του υποστρώματος υποδηλώνει τον τύπο του τρανζίστορ. Ακολουθώντας, με παρόμοιο τρόπο τοποθετούμε στο σχηματικό την πηγή σταθερής τροφοδοσίας VDC (όνομα V1) και την πηγή παλμών VPULSE (όνομα V2) από την βιβλιοθήκη SOURCE (βλ. Σχήμα 1.6).

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. 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

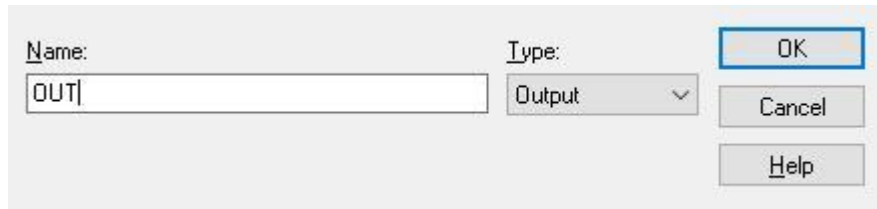
Αφού ολοκληρώσουμε την εισαγωγή των στοιχείων του κυκλώματος θα πρέπει να ορίσουμε τις εισόδους και/ή τις εξόδους του. Αυτό το πετυχαίνουμε με την χρήση Ιεραρχικών Θυρών (Hierarchical Ports). Στη δεξιά στήλη των εργαλείων επιλέγουμε το εικονίδιο *Place_Port* οπότε εμφανίζεται το παράθυρο του Σχήματος 1.7. Στο πεδίο *Libraries* επιλέγουμε τη βιβλιοθήκη CAPSYM. Από τις διαθέσιμες θύρες, θα χρησιμοποιούμε ως θύρα εξόδου στους σχεδιασμούς μας την θύρα με το όνομα **PORTRIGHT-L**. Η τοποθέτησή της γίνεται όπως νωρίτερα στην περίπτωση των ηλεκτρονικών κυκλωματικών στοιχείων.



Σχήμα 1.7. Τοποθέτηση θυρών Εισόδου/Εξόδου.

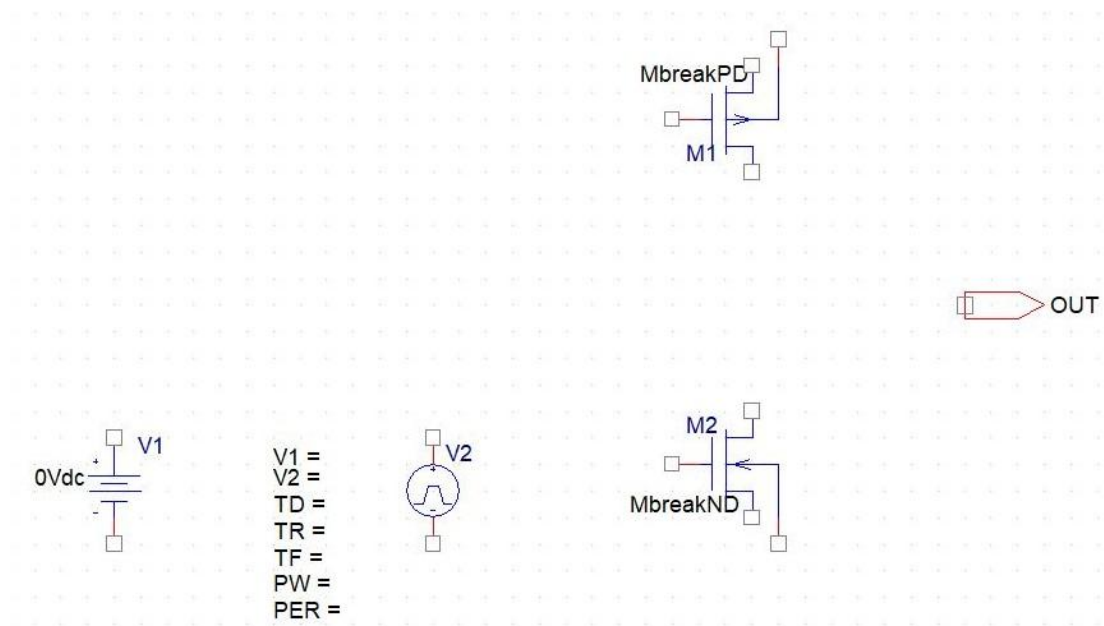
Αφού επιλέξουμε OK στο παράθυρο του Σχήματος 1.7 και πριν τοποθετήσουμε την θύρα στο σχηματικό, πατώντας το δεξιό πλήκτρο του ποντικιού επιλέγουμε *Edit*

Properties. Τότε ανοίγει το παράθυρο διαλόγου που φαίνεται στο Σχήμα 1.8 όπου εισάγουμε το όνομα της θύρας (OUT – το όνομα είναι της επιλογής μας αρκεί να είναι με Αγγλικούς χαρακτήρες και χωρίς κενά!) και τον τύπο της θύρας (Output στην περίπτωση μας). Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να ορίσουμε τις εισόδους – εξόδους του κυκλώματος.



Σχήμα 1.8. Ιδιότητες θύρας.

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



Σχήμα 1.9. 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 σχεδιάσουμε ένα καλώδιο (wire) από το ένα σημείο στο άλλο. Όπως αναφέραμε οι ακροδέκτες επισημαίνονται με τα τετράγωνα επάνω στα σύμβολα των στοιχείων.

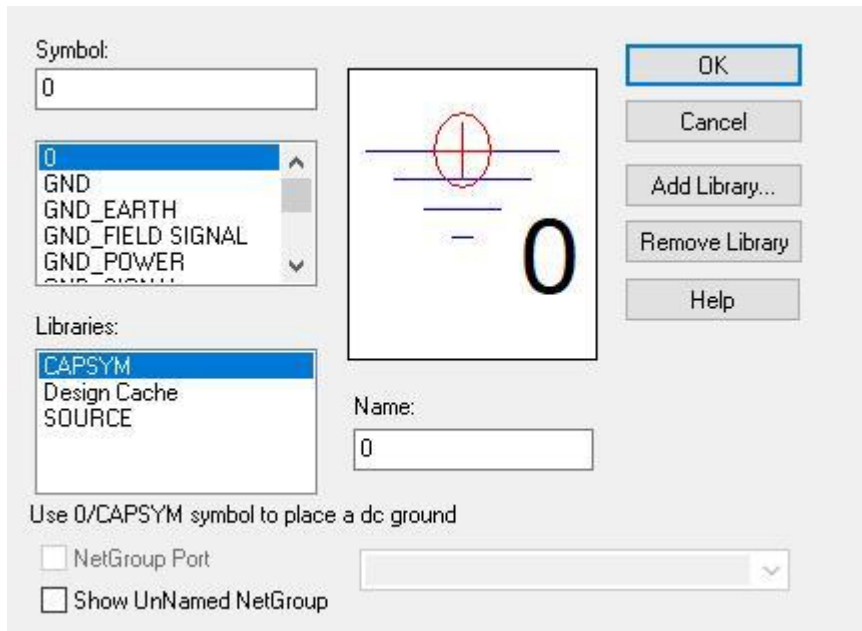
Για να σχεδιάσουμε ένα καλώδιο επιλέγουμε στη δεξιά στήλη των εργαλείων το εικονίδιο *Place_Wire*. Πηγαίνουμε τον δείκτη του ποντικιού στο σημείο που θέλουμε να ξεκινήσει το καλώδιο και πατάμε μια φορά (όχι συνεχόμενα) το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού. Όσο μετακινούμε το ποντίκι παρατηρούμε ότι διαγράφεται το καλώδιο. Εάν σε κάποιο σημείο θέλουμε να ορίσουμε μία γωνία και να αλλάξουμε κατεύθυνση στην καλωδίωση, πατάμε πάλι μία φορά το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού. Για να ολοκληρώσουμε τη δρομολόγηση του καλωδίου και να πραγματοποιήσουμε την επιθυμητή σύνδεση είτε με ένα άλλο καλώδιο είτε με τον ακροδέκτη ενός κυκλωματικού στοιχείου πατάμε μια φορά το αριστερό πλήκτρο πάνω στο δεύτερο καλώδιο ή στον ακροδέκτη. Στην περίπτωση σύνδεσης καλωδίου με άλλο καλώδιο τοποθετείται αυτόματα στο σημείο της επαφής μια ένωση (junction). Αν θέλουμε να τερματίσουμε τη δρομολόγηση του καλωδίου χωρίς αυτό να συνδεθεί κάπου, πατάμε δύο φορές το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού οπότε τοποθετείται αυτόματα μια ένωση (junction). Δύο καλώδια μπορούν να διασταυρώνονται χωρίς να υπάρχει επαφή, οπότε σε αυτή την περίπτωση δεν είναι συνδεδεμένα. Για να σταματήσουμε την διαδικασία τοποθέτησης καλωδίων πατάμε *Escape*.

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

1. Δύο καλώδια που διασταυρώνονται μπορούν να συνδεθούν αν τοποθετήσουμε μία ένωση στο σημείο της επαφής. Αυτό επιτυγχάνεται επιλέγοντας στη δεξιά στήλη των εργαλείων το εικονίδιο *Place_Junction*. Στην άκρη του ποντικιού εμφανίζεται μια τελεία και πατώντας με αριστερό κλικ πάνω στο σημείο της διασταύρωσης σχηματίζεται μια επαφή. Αν επαναλάβουμε τη διαδικασία η επαφή ακυρώνεται.
2. Εάν από κάποιο σημείο ενός καλωδίου ξεκινήσουμε ένα δεύτερο καλώδιο μία ένωση τοποθετείται αυτόματα και τα δύο καλώδια είναι συνδεδεμένα.
3. Εάν δύο καλώδια, τα οποία δεν έχουν καμία επαφή, έχουν το ίδιο όνομα τότε θεωρείται ότι είναι συνδεδεμένα.

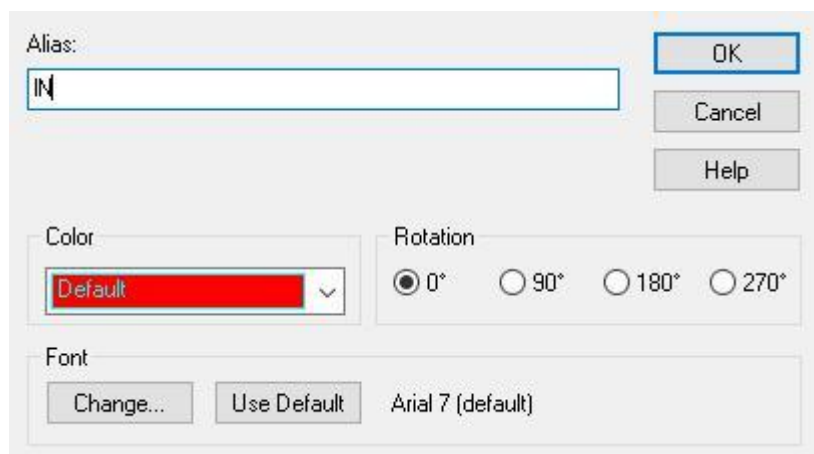
Μετά την τοποθέτηση του κάθε καλωδίου μπορεί να επιβεβαιωθεί η ορθότητα των

διασυνδέσεων ως εξής: επιλέγουμε το καλώδιο και πατάμε το δεξιό πλήκτρο του ποντικιού. Από τις επιλογές ενεργοποιούμε την *Select Entire Net*. Με τον τρόπο αυτό θα υποδειχθούν με αλλαγή χρώματος όλα τα καλώδια που είναι συνδεδεμένα με το συγκεκριμένο καλώδιο.



Σχήμα 1.10. Επιλογή σημείου αναφοράς – γείωση (GND).

Τέλος, αφού έχουν πραγματοποιηθεί οι διασυνδέσεις καθορίζεται το σημείο αναφοράς του κυκλώματος (γη – ground) και τοποθετείται το κατάλληλο σύμβολο επιλέγοντας στη δεξιά στήλη των εργαλείων το εικονίδιο *Place_Ground*. Στο παράθυρο του Σχήματος 1.10 παρουσιάζεται το σχετικό περιβάλλον επιλογής που μοιάζει με εκείνο του Σχήματος 1.7. Επιλέγουμε το σύμβολο με το όνομα «0», αν και μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και άλλα σύμβολα από το σχετικό παράθυρο. **Προσοχή:** με την τοποθέτηση του συμβόλου της γείωσης θα πρέπει να φροντίσουμε επιλέγοντάς το και πηγαίνοντας με δεξί κλικ στη διόρθωση των ιδιοτήτων (*Edit Properties*) να αλλάξουμε στο πεδίο *Name* το όνομα σε 0 (μηδέν). Χωρίς την αλλαγή του ονόματος το κύκλωμα δεν μπορεί να προσομοιωθεί με τη χρήση του εργαλείου προσομοίωσης PSPICE που θα γνωρίσουμε στη συνέχεια. Το σύμβολο που επιλέξαμε έχει εξ ορισμού όνομα 0.

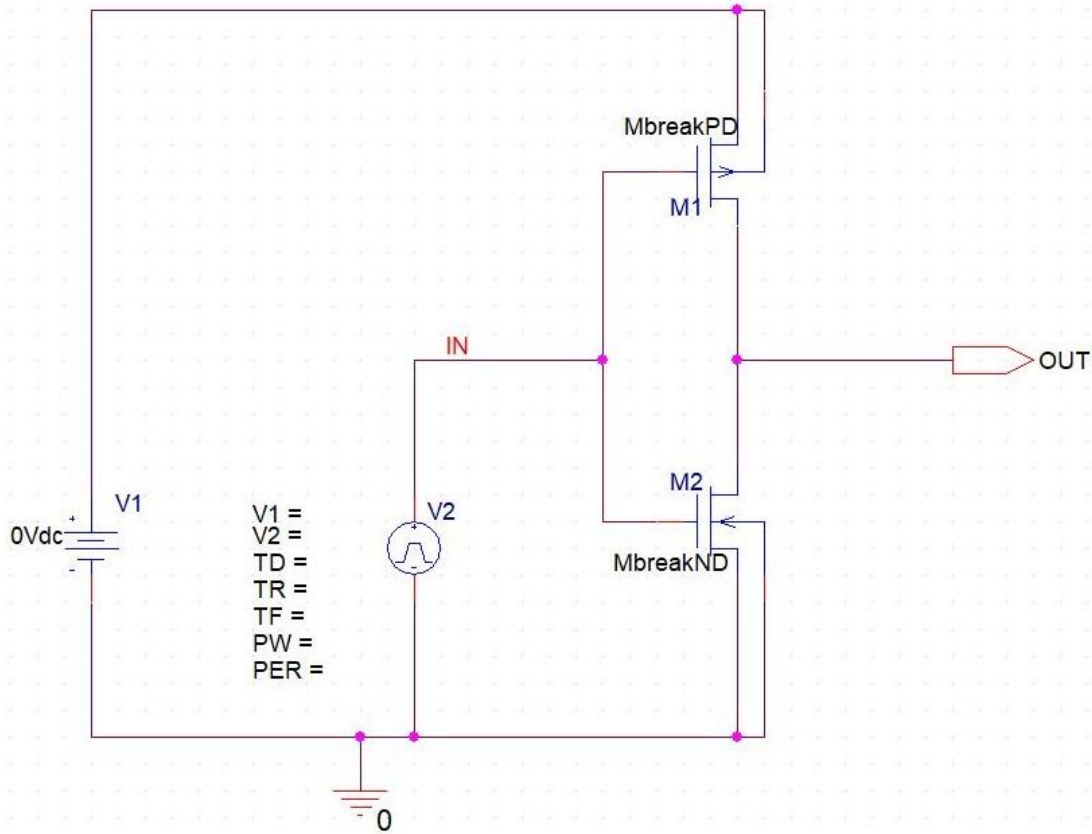


Σχήμα 1.11. Ονοματοδοσία καλωδίων.

Μια πολύ χρήσιμη δυνατότητα που έχουμε στην διάθεσή μας είναι η ονοματοδοσία των καλωδίων, έτσι ώστε να μπορούμε εύκολα μετά την προσομοίωση να εντοπίσουμε τα σήματα των οποίων τις κυματομορφές θέλουμε να απεικονίσουμε στη οθόνη μας. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, επιλέγουμε στη δεξιά στήλη των εργαλείων το εικονίδιο *Place_Net_Alias* και στο παράθυρο που αναδύεται (βλ. Σχήμα 1.11) δίνουμε το επιθυμητό όνομα (εδώ θέλουμε να δώσουμε το όνομα «IN» στο καλώδιο που συνδέεται στο θετικό ακροδέκτη της πηγής σήματος V2 καθώς ο σχετικός κόμβος είναι η είσοδος (input) του κυκλώματος). Πατώντας OK εμφανίζεται στην άκρη του ποντικιού ένα ορθογώνιο το οποίο θα πρέπει να τοποθετήσουμε έτσι ώστε, είτε να εφάπτεται με την κάτω πλευρά του πάνω στο καλώδιο (για την περίπτωση οριζόντιου καλωδίου) είτε με την αριστερή πλευρά του πάνω στο καλώδιο (για την περίπτωση κατακόρυφου καλωδίου). Πατώντας αριστερό κλικ το καλώδιο ονοματίζεται.

Δεν χρειάζεται να ονοματίσουμε το καλώδιο της εξόδου του κυκλώματος, η οποία επίσης μας ενδιαφέρει, καθώς το όνομα της θύρας «OUT» ανατίθεται αυτόματα και στο καλώδιο στο οποίο αυτή συνδέεται.

Στο Σχήμα 1.12 φαίνεται το σχηματικό του κυκλώματος μετά την ολοκλήρωση των διασυνδέσεων, του ορισμού της γείωσης και της ονοματοδοσίας.

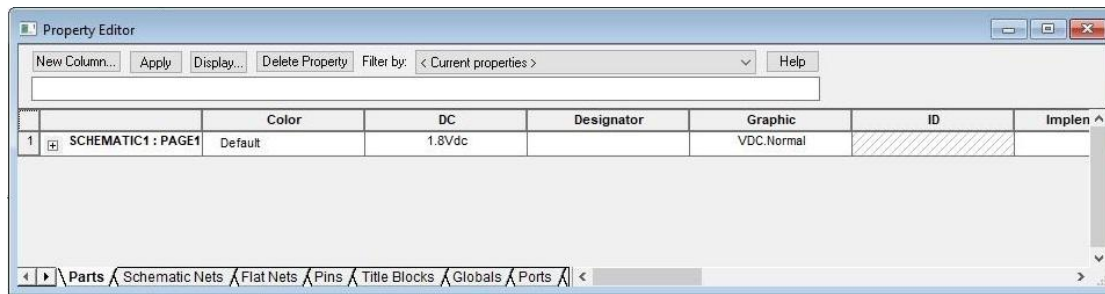


Σχήμα 1.12. Ολοκλήρωση των διασυνδέσεων.

1.6. Διαμόρφωση/ αλλαγή παραμέτρων ηλεκτρονικών στοιχείων

Επιλέγοντας ένα κυκλωματικό στοιχείο και πατώντας δεξί κλικ στο ποντίκι ενεργοποιούμε τη δυνατότητα διόρθωσης των ιδιοτήτων του *Edit_Properties*, έτσι ώστε να διαμορφώσουμε/τροποποιήσουμε τις παραμέτρους που το χαρακτηρίζουν.

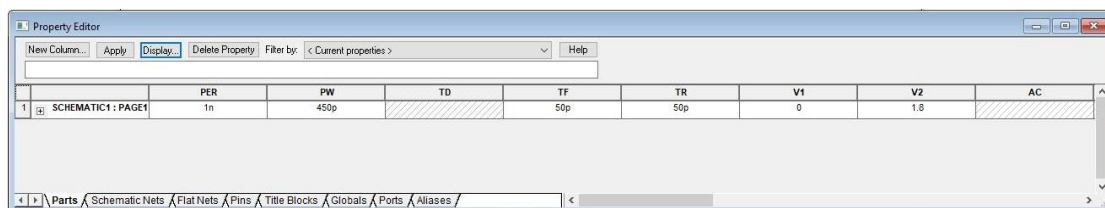
Αρχικά επιλέγουμε την πηγή τάσης DC V1 για την διαμόρφωση της τιμής της τάσης τροφοδοσίας που αυτή θα παρέχει στο κύκλωμα. Στο Σχήμα 1.13 δίδεται το παράθυρο στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η διαμόρφωση/αλλαγή των παραμέτρων της τροφοδοσίας V1. Η τιμή που ενδιαφέρει στην παρούσα φάση είναι αυτή της DC τάσης η οποία διαμορφώνεται σε 1.8V (**προσοχή**: δεν χρησιμοποιούμε ποτέ το Ελληνικό κόμμα «,»). Εναλλακτικά, θα μπορούσαμε και πάλι να ορίσουμε την τιμή της τάσης, πατώντας με διπλό αριστερό κλικ πάνω στην ένδειξη της τιμής 0Vdc της πηγής τάσης V1 και αλλάζοντας στο παράθυρο που θα αναδυθεί την τιμή από 0V σε 1.8V. Επιστρέφουμε στο σχηματικό επιλέγοντας *Window > SCHEMATIC1:PAGE1*.



Σχήμα 1.13. Διαμόρφωση/αλλαγή παραμέτρων της 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 1.14. 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 1ns, ενώ στο πεδίο PW ορίζεται ο χρόνος της θετικής ημιπεριόδου του παλμού (450ps). Τέλος στα πεδία TR και TF προσδιορίζονται οι χρόνοι ανόδου και καθόδου του σήματος (50ps) καθώς αυτό μεταβαίνει από την τάση V1 στην τάση V2 και αντίστροφα. Η παράμετρος TD αφορά την καθυστέρηση έναρξης του σήματος και δεν χρειάζεται να οριστεί. Παρατηρήστε ότι οι μονάδες μέτρησης μπορεί να μην δηλωθούν καθώς το OrCAD τις αναγνωρίζει και τις συμπληρώνει αυτόματα. Ζητώντας ο κύκλος λειτουργίας (duty cycle) του σήματος που θα παράγει η πηγή τετραγωνικού παλμού να είναι 50%, ορίσαμε το πλάτος του παλμού ως:

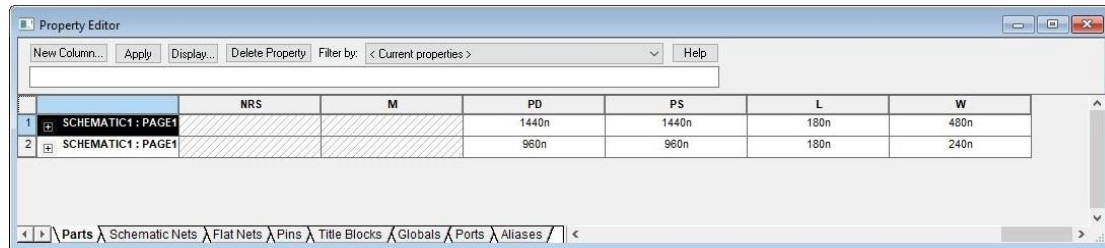
$$PW = (PER/2) - TR = 500ps - 50ps = 450ps.$$



Σχήμα 1.14. Διαμόρφωση/αλλαγή παραμέτρων της πηγής V2.

Τέλος διαμορφώνονται οι παράμετροι των τρανζίστορ M1 και M2. Στο Σχήμα 1.15 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 W=240nm και L=180nm αντίστοιχα. Επιπλέον προσδιορίζονται οι περιμέτροι των διαχύσεων της υποδοχής (drain) PD και της πηγής

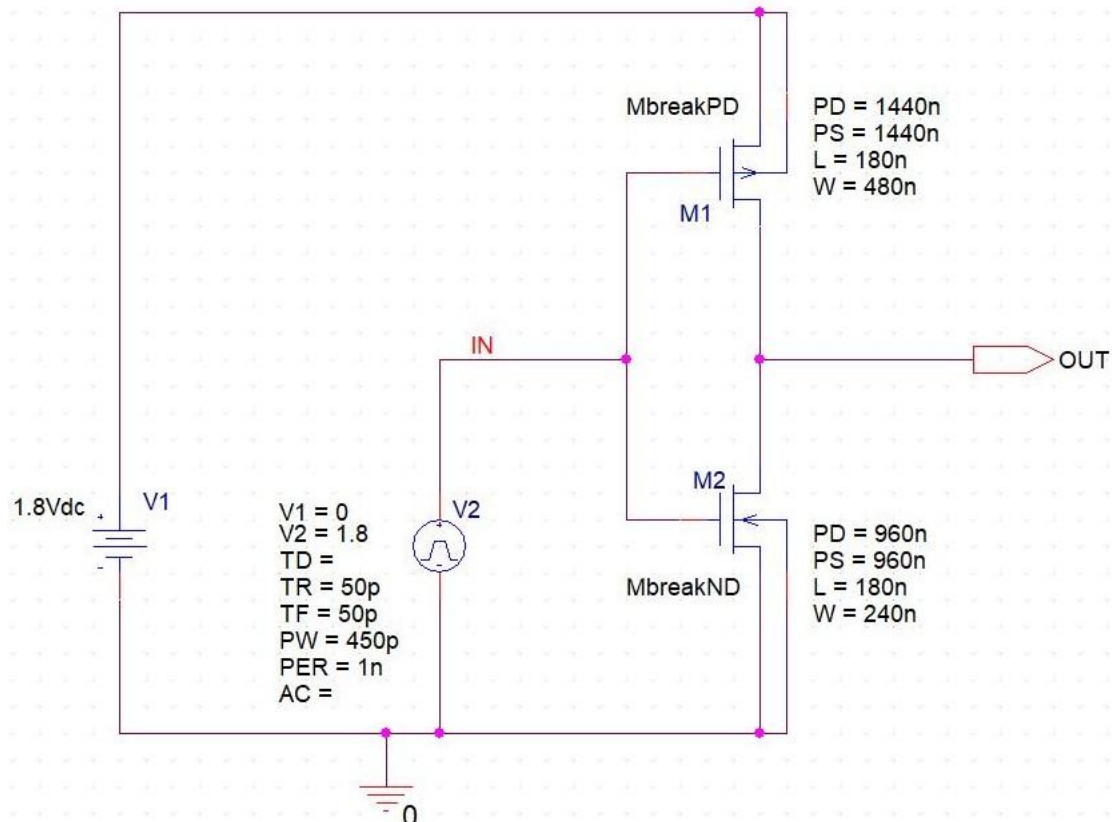
(source) PS του τρανζίστορ σε $PD=PS=960\text{nm}$ και στις δύο περιπτώσεις. Παρόμοια οι αντίστοιχες παράμετροι του pMOS τρανζίστορ διαμορφώνονται ως εξής: $W=480\text{nm}$, $L=180\text{nm}$ και $PD=PS=1440\text{nm}$. Θεωρήστε ότι $PD=PS=2\times(W+240)\text{nm}$.



	NRS	M	PD	PS	L	W
1 SCHEMATIC1 : PAGE1			1440n	1440n	180n	480n
2 SCHEMATIC1 : PAGE1			960n	960n	180n	240n

Σχήμα 1.15. Διαμόρφωση/αλλαγή παραμέτρων τρανζίστορ M2.

Αν επιθυμούμε κάποιες παράμετροι να εμφανίζονται στο σχηματικό, τότε στο παράθυρο διόρθωσης των ιδιοτήτων τις επιλέγουμε πατώντας διαδοχικά Ctrl και αριστερό κλικ πάνω στα ονόματά τους και στη συνέχεια με δεξί κλικ πάνω σε ένα από αυτά επιλέγουμε *Display > Name and Value* και πατάμε OK. Στο Σχήμα 1.16 φαίνεται το τελικό σχηματικό του κυκλώματος.



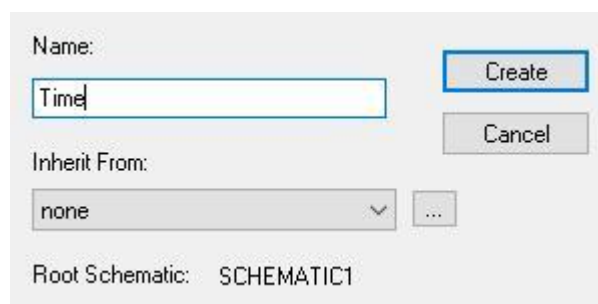
Σχήμα 1.16. Το τελικό σχηματικό του κυκλώματος.

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 επαληθεύεται ότι το κύκλωμα έχει σχεδιαστεί σωστά, εάν λειτουργεί με τον αναμενόμενο τρόπο.

2.1 Αρχικοποίηση του περιβάλλοντος προσομοίωσης

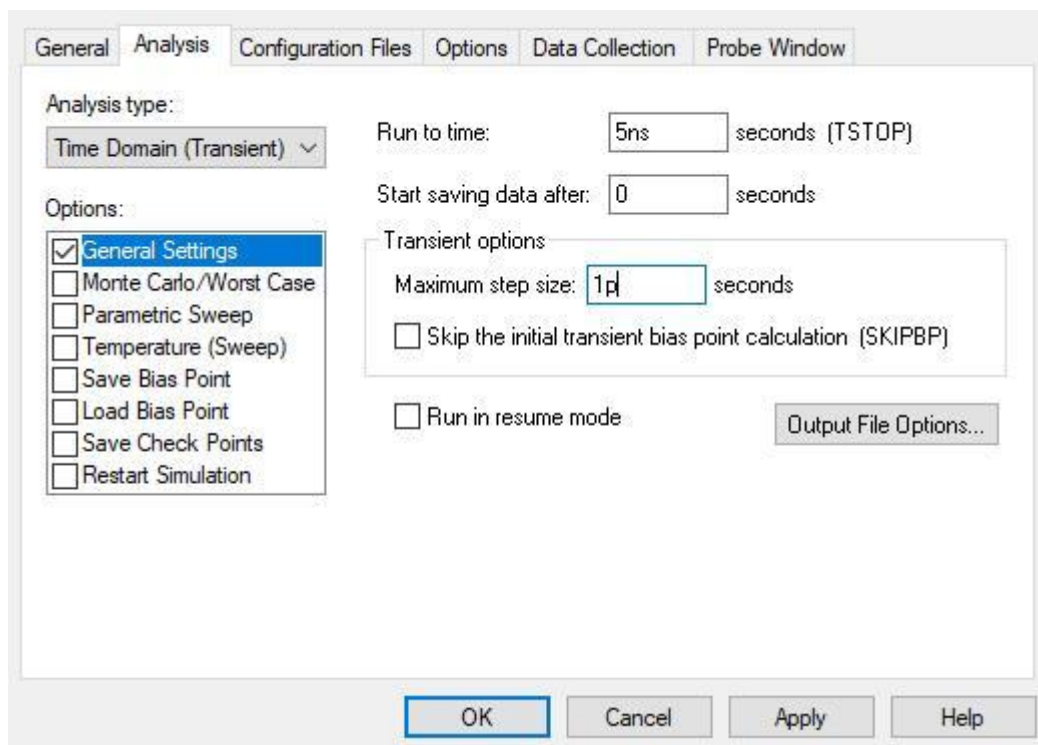
Το περιβάλλον προσομοίωσης που διαθέτει το OrCAD για την προσομοίωση αναλογικών κυκλωμάτων και κυκλωμάτων μεικτού (αναλογικού/ψηφιακού) σήματος ονομάζεται PSpICE και βασίζεται στο λογισμικό προσομοίωσης SPICE. Ως πρώτο βήμα, θα πρέπει να αρχικοποιηθεί το περιβάλλον προσομοίωσης ώστε να οριστούν οι παράμετροι 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 αποθηκευτεί η πληροφορία που αφορά την τρέχουσα διαδικασία προσομοίωσης. Ονοματίζουμε την τρέχουσα προσομοίωση ως Time καθώς θα δουλέψουμε στο πεδίο του χρόνου και πατάμε *Create*.



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

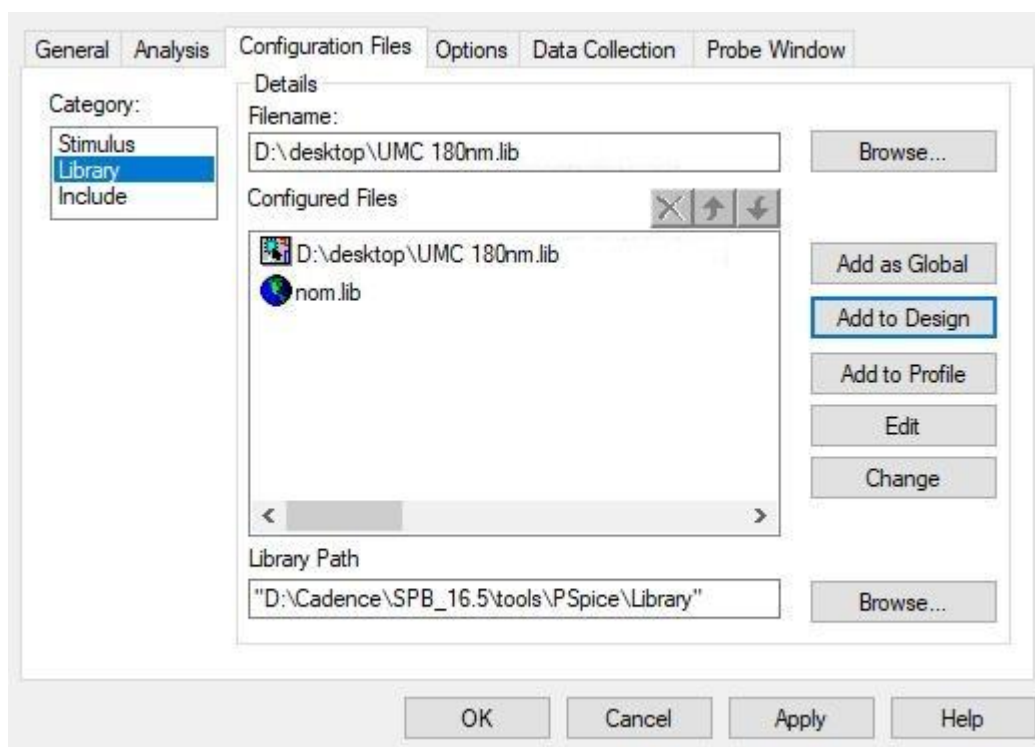
προσομοιωτής (*Time Domain - Transient, DC Sweep, AC Sweep/Noise, Bias Point*). Αναλυτική περιγραφή των διαφόρων τύπων θα δοθεί στη συνέχεια. Στην παρούσα φάση επιλέγουμε τον τύπο ανάλυσης στο πεδίο του χρόνου (*Time Domain - Transient*) και στις επιλογές (Options) το πεδίο της γενικής μορφοποίησης (*General Settings*). Επιπρόσθετα προσδιορίζουμε τον κυκλωματικό χρόνο της προσομοίωσης (*Run to Time*) ίσο με 5ns και το μέγιστο βήμα με το οποίο θα κινείται ο προσομοιωτής (*Maximum Step Size*) ίσο με 1ps.



Σχήμα 2.2. Καθορισμός τύπου ανάλυσης και σχετικών παραμέτρων.

Στη συνέχεια μεταβαίνουμε στο πεδίο των βιβλιοθηκών (*Configuration_Files > 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 της τεχνολογίας CMOS των 180nm της εταιρείας κατασκευής ολοκληρωμένων κυκλωμάτων UMC. Επιπρόσθετα, χωρίς να είναι υποχρεωτικό, στο πεδίο *Probe_Window* επιλέγουμε *Last_Plot*.

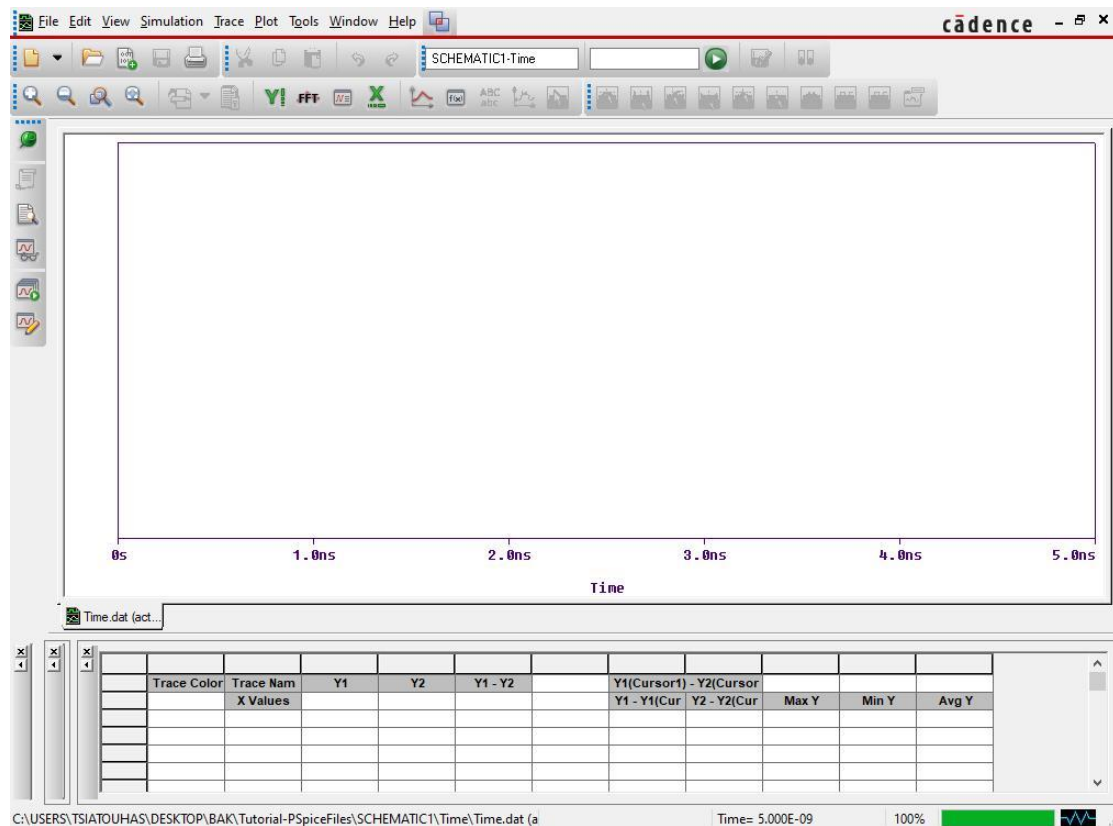


Σχήμα 2.3. Καθορισμός βιβλιοθήκης παραμέτρων.

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.



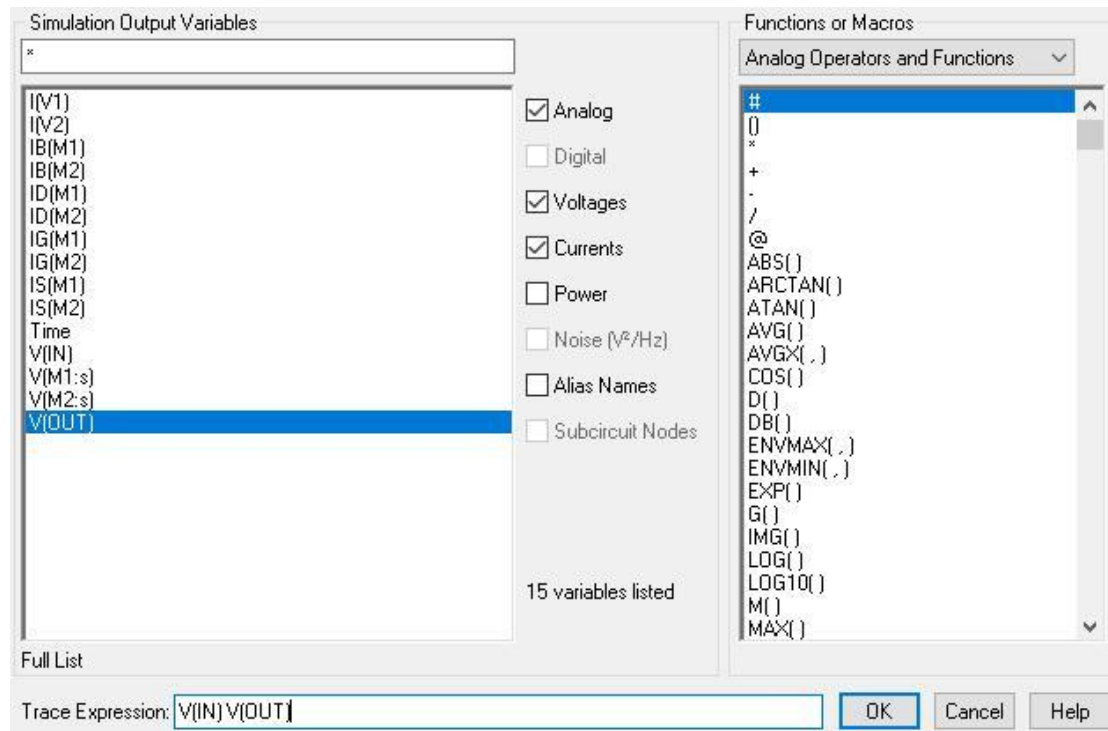
Σχήμα 2.4. Παράθυρο επισκόπησης των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.

Στο παράθυρο του Σχήματος 2.4 μπορούμε να διακρίνουμε τη γραμμή επιλογών (*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 επιλογών υπάρχουν κουμπιά συντόμευσης με τα οποία μπορούμε εύκολα και γρήγορα να εκτελέσουμε μία εντολή.

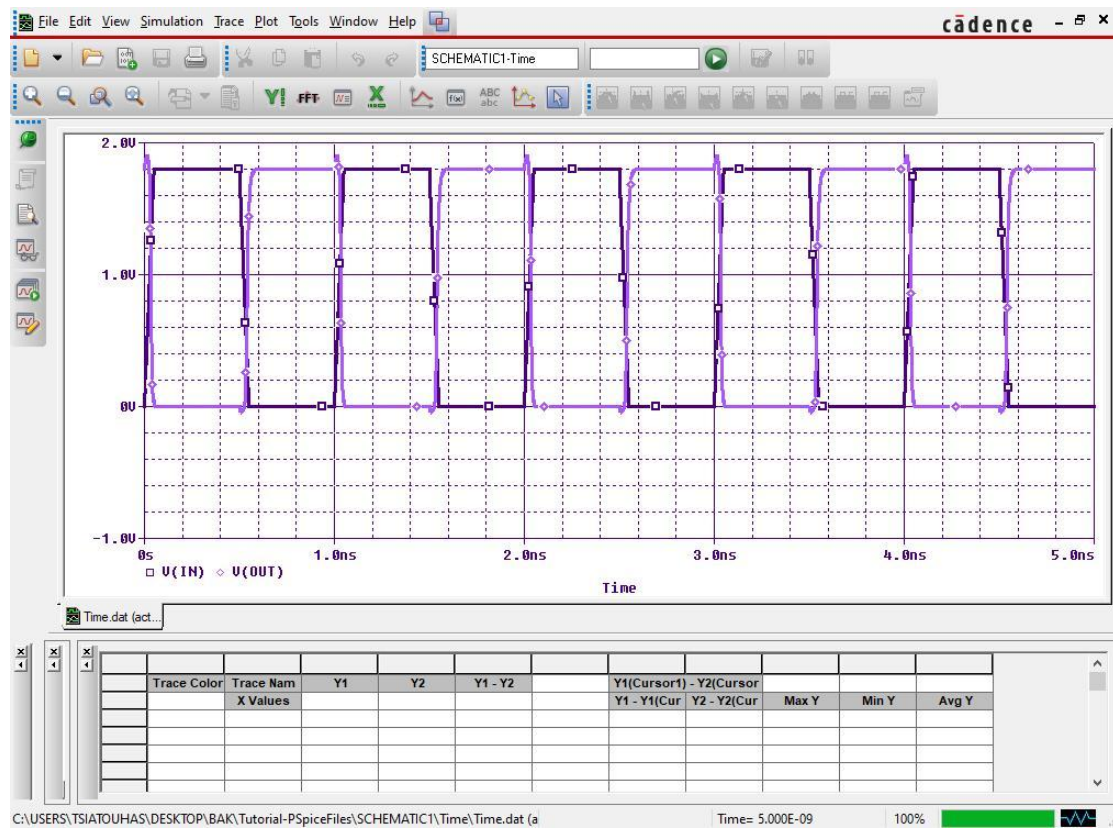
Παρατηρούμε ότι στο κεντρικό τμήμα του παραθύρου κυριαρχεί το σύστημα των αξόνων όπου θα αποτυπωθούν οι γραφικές απεικονίσεις των κυματομορφών των διαφόρων σημάτων τάσης/ρεύματος στους κόμβους/κλάδους του κυκλώματος. Καθώς ο τύπος της ανάλυσης που επιλέξαμε νωρίτερα αναφέρεται στο χρονικό πεδίο, ο x-άξονας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

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 η τάση σε έναν κόμβο ή το ρεύμα σε έναν κλάδο του κυκλώματος 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 έχουν επιλεγθεί οι μεταβλητές των τάσεων V(IN) και V(OUT) για την απεικόνιση των κυματομορφών του σήματος στην είσοδο IN και στην έξοδο OUT 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 κυματομορφών.

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 IN και στην έξοδο OUT του κυκλώματος καθώς και της κυματομορφής του ρεύματος ID(M1) που διέρχεται από τον ακροδέκτη της υποδοχής (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 παρουσιασθή 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 PSPICE στο Σχήμα 2.2, την *Time Domain* ή *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 \Rightarrow 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.

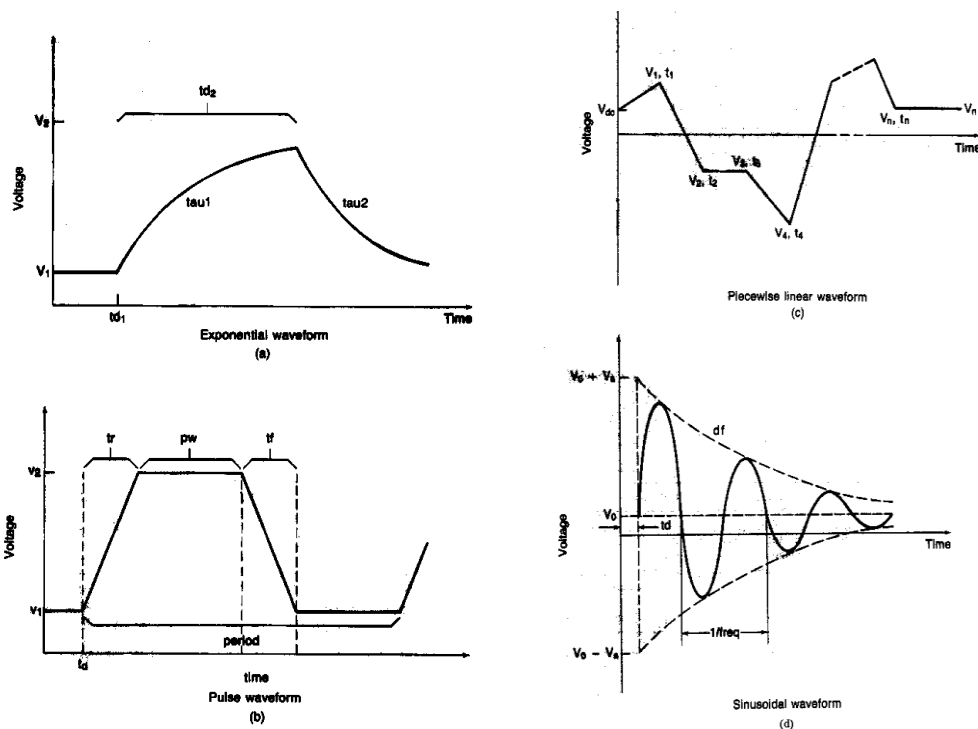
Στη συνέχεια μετακινούμαστε στο πεδίο των βιβλιοθηκών (*Configuration_Files > Libraries*) για να επιλέξουμε το αρχείο με τις παραμέτρους των ηλεκτρονικών στοιχείων που θα χρησιμοποιήσει ο προσομοιωτής (βλ. Σχήμα 2.3). Οι βιβλιοθήκες των παραμέτρων των ηλεκτρονικών στοιχείων που χρησιμοποιεί ο προσομοιωτής δεν σχετίζονται με τις βιβλιοθήκες των ηλεκτρονικών στοιχείων του σχηματικού οι οποίες περιέχουν μόνο σύμβολα αυτών των στοιχείων. Με πλοήγηση (*Browse*) προσδιορίζεται 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 ψηλότερα στη στοίβα. Η επιλογή του φακέλου 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 στο διάστημα αυτό 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 τα ζεύγη 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}).



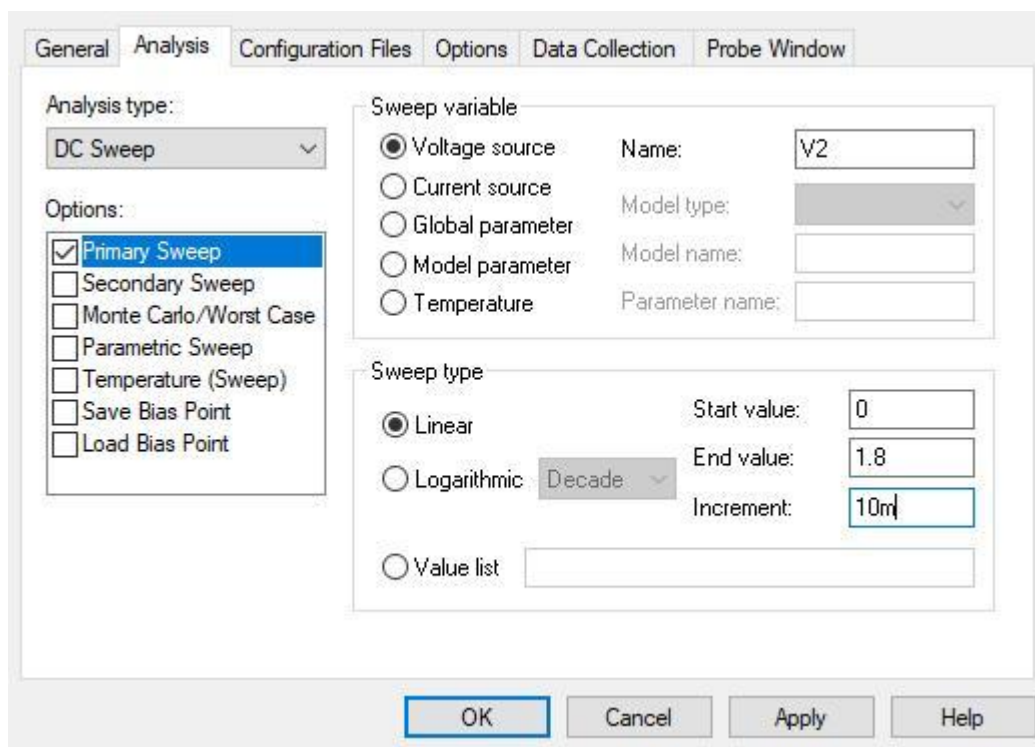
Σχήμα 2.8. Διαγράμματα καθορισμού κυματομορφών πηγών τάσης.

2.2.2 DC ανάλυση σάρωσης (DC sweep)

Κατά την DC ανάλυση σάρωσης ως προς μια μεταβλητή (πηγή σήματος, παράμετρο, 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 1.16. 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. 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*)».

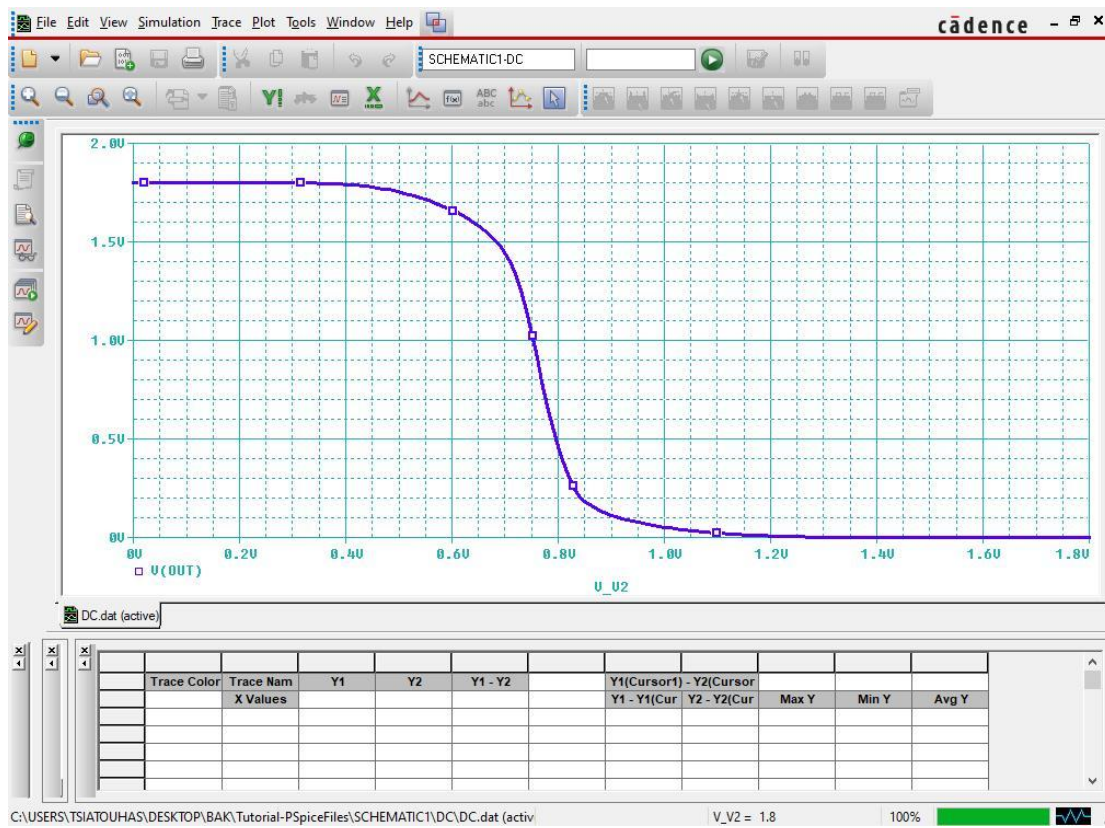
Επιλέγουμε ως μεταβλητή σάρωσης, στο πεδίο Sweep Variable, την πηγή τάσης V2 (*Voltage Source*) που παρέχει το σήμα εισόδου στο κύκλωμα. Στο πεδίο του τύπου της σάρωσης επιλέγουμε αν η σάρωση θα είναι γραμμική (*Linear*) ή λογαριθμική (*Logarithmic*). Θέτουμε γραμμική σάρωση και επιλέγουμε αρχική τιμή της σάρωσης (*Start Value*) τα 0V, τελική τιμή (*End Value*) τα 1.8V και βήμα (*Increment*) τα 10mV.



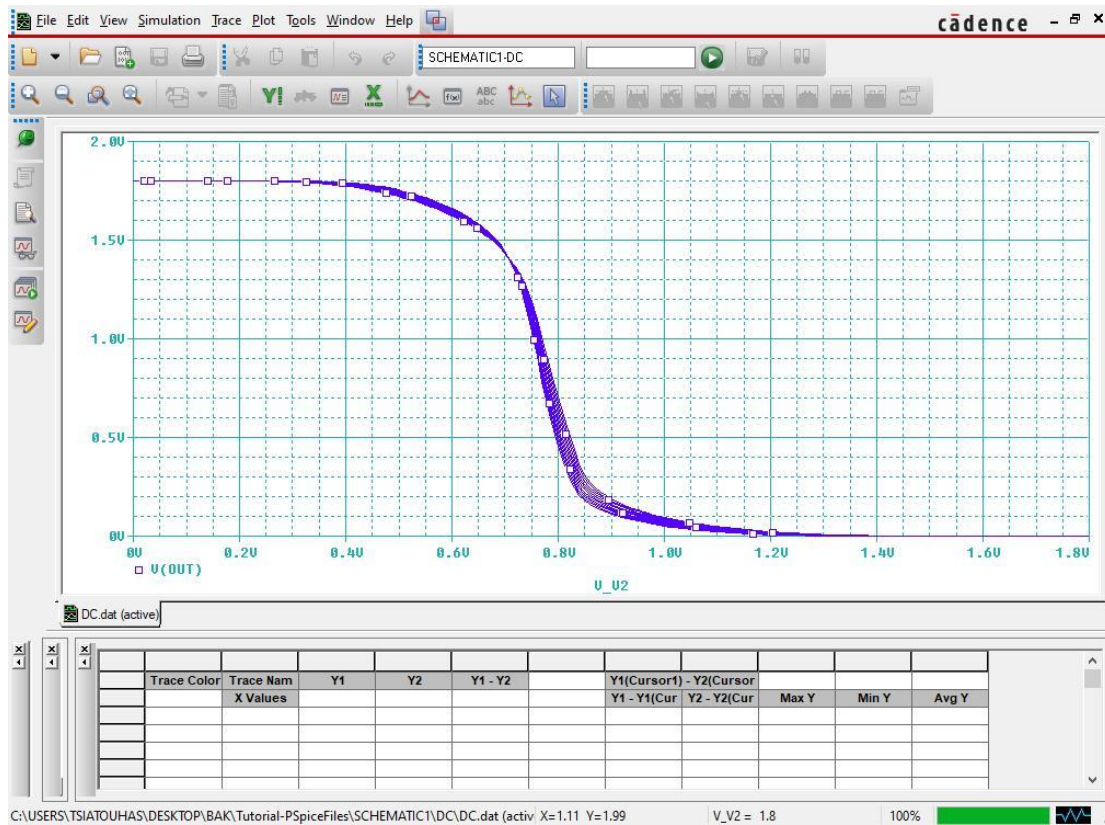
Σχήμα 2.9. Αρχικοποίηση της DC ανάλυσης σάρωσης.

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 την βιβλιοθήκη της UMC είμαστε έτοιμοι να εκτελέσουμε την προσομοίωση. Στο Σχήμα 2.10 δίδεται η απόκριση του PSPICE για το κύκλωμα του Σχήματος 1.16 και για τις ανωτέρω επιλογές της DC ανάλυσης σάρωσης. Αποδίδεται το σήμα τάσης της εξόδου OUT ως προς το σήμα τάσης της πηγής σήματος V2 το οποίο είναι το σήμα εισόδου IN (χαρακτηριστική εισόδου/εξόδου).



Σχήμα 2.10. Απόκριση PSICE στην DC ανάλυση σάρωσης.



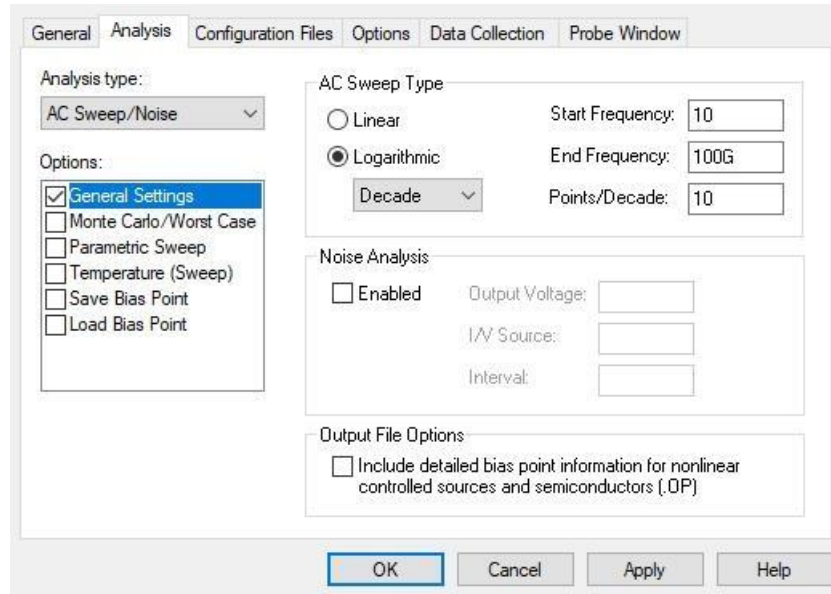
Σχήμα 2.11. Απόκριση με δύο μεταβλητές για την DC ανάλυση σάρωσης.

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 της DC ανάλυσης σάρωσης όπου ως δεύτερη μεταβλητή ορίστηκε η θερμοκρασία (από 25°C ως 125°C με βήμα 10°C).

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

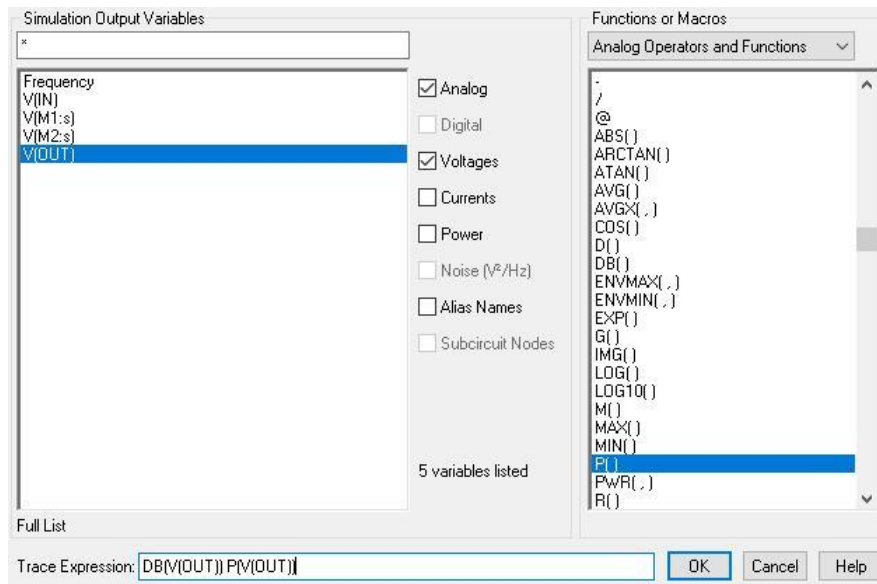
Η ανάλυση στο πεδίο των συχνοτήτων υπολογίζει τις τιμές α) του κέρδους και β) της φάσης των σημάτων τάσης και των ρεύματος στο πεδίο των συχνοτήτων. Με τον όρο ανάλυση στο πεδίο συχνοτήτων εννοούμε “την μικρού σήματος απόκριση στη συχνότητα”, όπου υποθέτουμε ότι τα σήματα εισόδου είναι μικρά σήματα ώστε να ελαχιστοποιούνται τα μη γραμμικά φαινόμενα.

Ως παράδειγμα θα χρησιμοποιήσουμε και πάλι το κύκλωμα του Σχήματος 1.16. Για τις ανάγκες της προσομοίωσης προσθέστε στις ιδιότητες της πηγής σήματος V2 τις παραμέτρους DC=0.77V και AC=1. 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 AC. 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 (10Hz και 1THz) και τον αριθμό των συνολικών σημείων ή των σημείων ανά δεκάδα/οκτάβα αντίστοιχα της προσομοίωσης (10 points/decade). Στην παρούσα φάση δεν επιλέγουμε την ανάλυση θορύβου (Noise Analysis) στο σχετικό πεδίο.



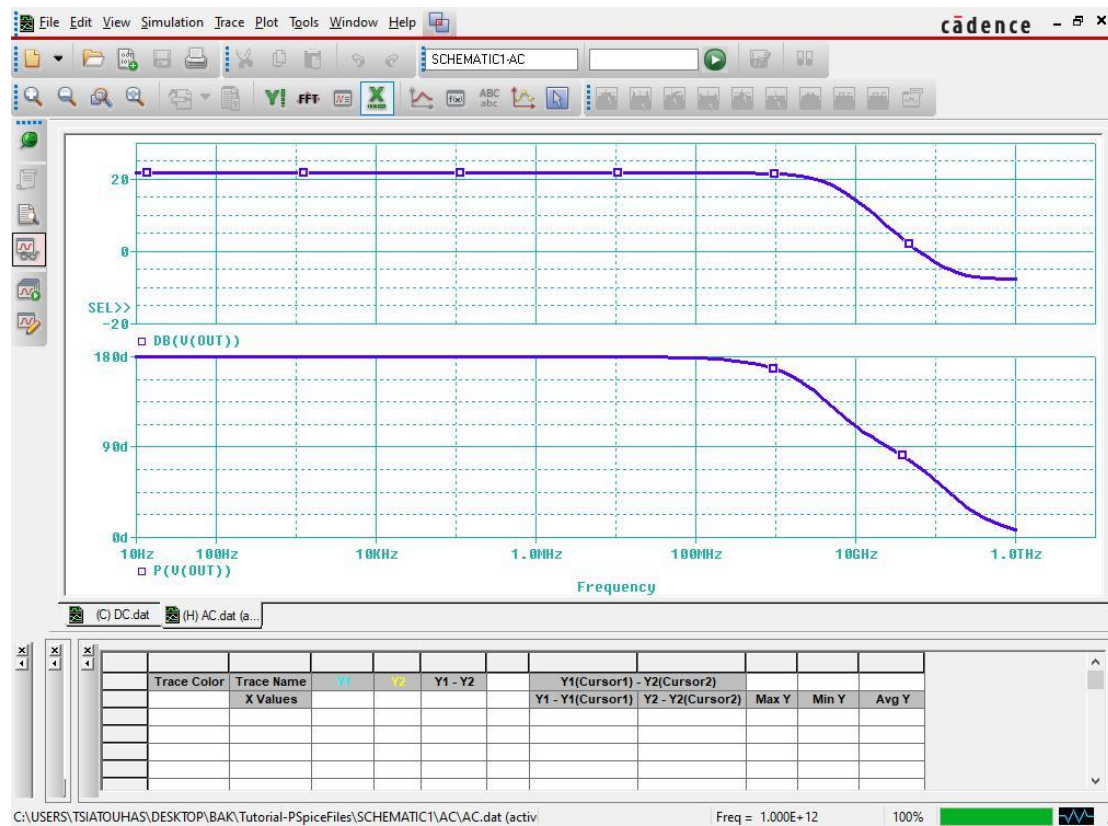
Σχήμα 2.12. Αρχικοποίηση AC ανάλυσης σάρωσης.

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. Επιλέγεται η βιβλιοθήκη της UMC και εκτελείται η προσομοίωση. Στο πεδίο *Trace > Add_Trace* (βλ. Σχήμα 2.13) και στην περιοχή των συναρτήσεων *Functions or Macros* επιλέγουμε τη συνάρτηση $DB()$ ώστε να εμφανιστεί στο πλαίσιο *Trace Expression*. Όσο ο κέρσορας βρίσκεται ανάμεσα στις παρενθέσεις της συνάρτησης $DB()$ πατάμε με αριστερό κλικ στη μεταβλητή σήματος $V(OUT)$ ώστε να καταστεί όρισμα της συνάρτησης. Η απεικόνιση της συνάρτησης $DB(V(OUT))$ θα δώσει το κέρδος (ως προς τη συχνότητα) του σήματος στην έξοδο του κυκλώματος (OUT) αναφορικά με το σήμα στην είσοδο του κυκλώματος (IN). Παρόμοια, στην περιοχή των συναρτήσεων *Functions or Macros* επιλέγουμε τη συνάρτηση $P()$ ώστε να εμφανιστεί στο πλαίσιο *Trace Expression*. Και πάλι, όσο ο κέρσορας βρίσκεται ανάμεσα στις παρενθέσεις της συνάρτησης $P()$ πατάμε με αριστερό κλικ στη μεταβλητή σήματος $V(OUT)$ ώστε να καταστεί όρισμα της συνάρτησης. Η απεικόνιση της συνάρτησης $P(V(OUT))$ θα δώσει τη φάση (ως προς τη συχνότητα) του σήματος στην έξοδο του κυκλώματος (OUT) αναφορικά με το σήμα στην είσοδο του κυκλώματος (IN).



Σχήμα 2.13. Επιλογή συναρτήσεων DB και P στην AC ανάλυση σάρωσης.

Στο Σχήμα 2.14 αποδίδεται, σε διπλό σύστημα αξόνων, το κέρδος και η φάση του σήματος εξόδου OUT ως προς τη συχνότητα, για το κύκλωμα του Σχήματος 1.16 με τις ανωτέρω επιλογές της AC ανάλυσης σάρωσης.



Σχήμα 2.14. Απόκριση PSICE στην AC ανάλυση σάρωσης.

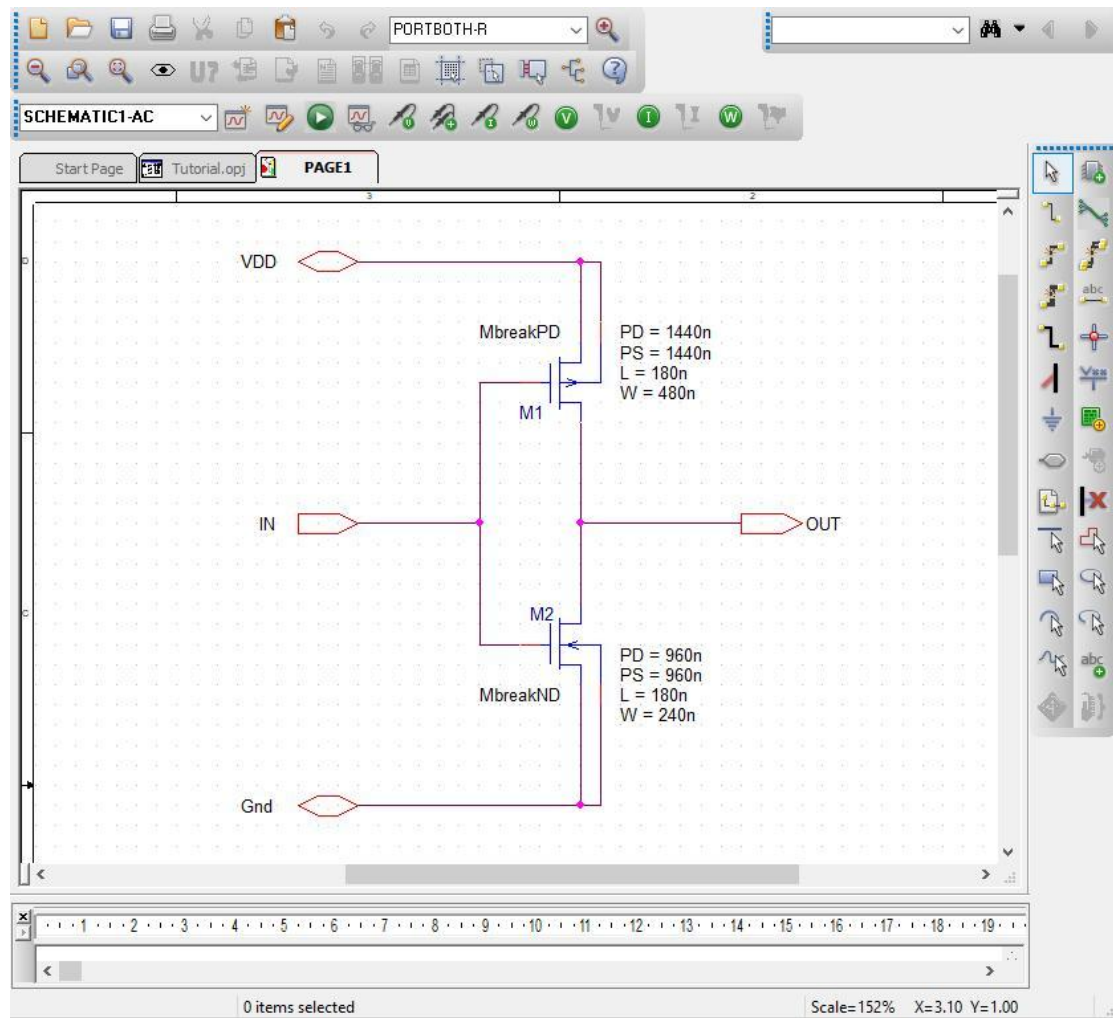
3. Ιεραρχικός Σχεδιασμός.

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 χρησιμοποιούνται 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 υποκυκλωμάτων

Έστω ότι ο αναστροφέας του Σχήματος 1.16 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 1.16 είναι ο ορισμός των ακροδεκτών στους οποίους θα τα σήματα εισόδου και εξόδου καθώς και οι τροφοδοσίες του υποκυκλώματος. 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 “OUT”. 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

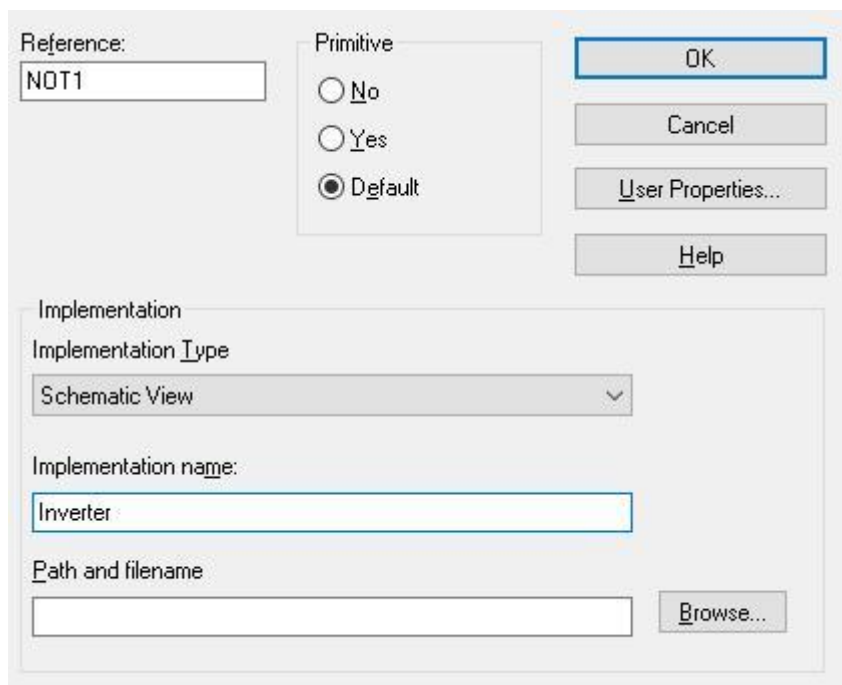
Στο Σχήμα 3.1, η θύρα του σήματος εισόδου ονομάζεται “IN” και είναι τύπου Input, η θύρα του σήματος εξόδου ονομάζεται “OUT” και είναι τύπου Output, ενώ οι θύρες των τάσεων τροφοδοσίας ονομάζονται VDD και Gnd και είναι τύπου Power.

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

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

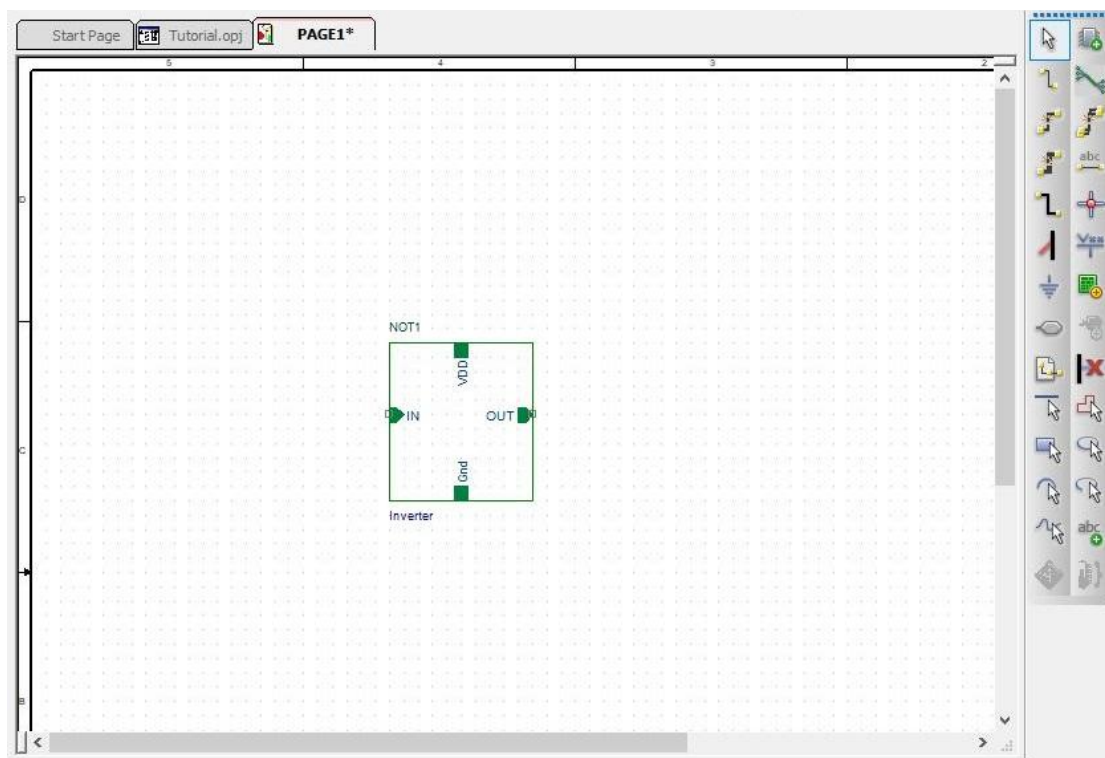
3.2 Σχεδιασμός με τη χρήση συμβόλων

Στη παρούσα παράγραφο θα σχεδιάσουμε μία ακολουθία από δύο αναστροφείς (δηλ. έναν buffer) χρησιμοποιώντας το υποκύκλωμα του αναστροφέα που σχεδιάσαμε νωρίτερα. Αρχικά δημιουργούμε το σχηματικό “Buffer”. Ακολούθως επιλέγουμε στη δεξιά στήλη των εργαλείων το εικονίδιο *Place_Hierarchical_Block* για να δημιουργήσουμε στον καμβά σχεδίασης το εικονίδιο (σύμβολο) του πρώτου αναστροφέα του κυκλώματος. 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 “NOT1”. 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, δηλ. “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.



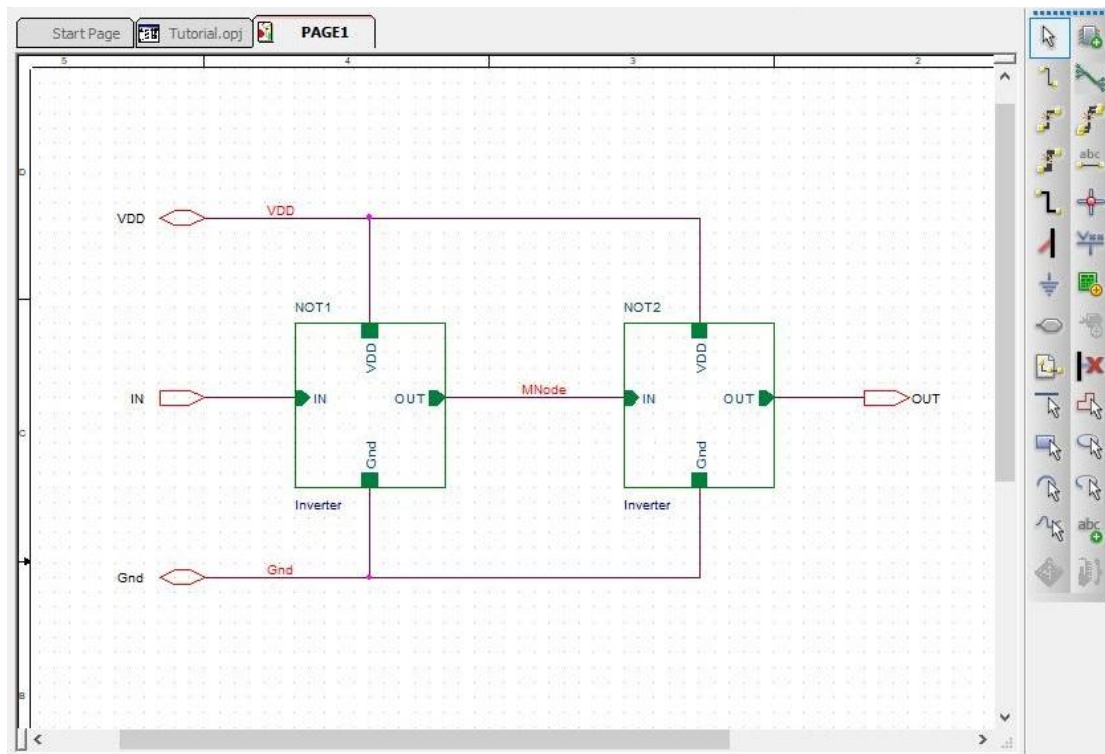
Σχήμα 3.2. Τοποθέτηση ιεραρχικού υποκυκλώματος

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 υποκύκλωμα του πρότυπου αναστροφέα. Η κατεύθυνση (φορά) του σήματος κάθε θύρας (είσοδος, έξοδος, τροφοδοσία) γίνεται αντιληπτή από τη μορφή τους. Οι θύρες αυτές μπορούν να αναδιαταχθούν σε οποιαδήποτε πλευρά του συμβόλου επιθυμούμε, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.3. Συνηθίζουμε, χωρίς να είναι υποχρεωτικό, οι είσοδοι να είναι δεξιά, οι έξοδοι αριστερά, η τροφοδοσία VDD στο επάνω μέρος και η τροφοδοσία της γείωσης Gnd στο κάτω μέρος του συμβόλου. Στο επάνω αριστερά μέρος του συμβόλου εμφανίζεται το όνομα αναφοράς “NOT1” 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 “NOT2”. Το ίδιο μπορεί να πραγματοποιηθεί και με την επιλογή του πρώτου συμβόλου και εν συνεχεία την αντιγραφή και επικόλλησή του στον καμβά. Το όνομα αναφοράς θα αλλάξει αυτόματα σε “NOT2”.



Σχήμα 3.3. Σύμβολο υποκυκλώματος.

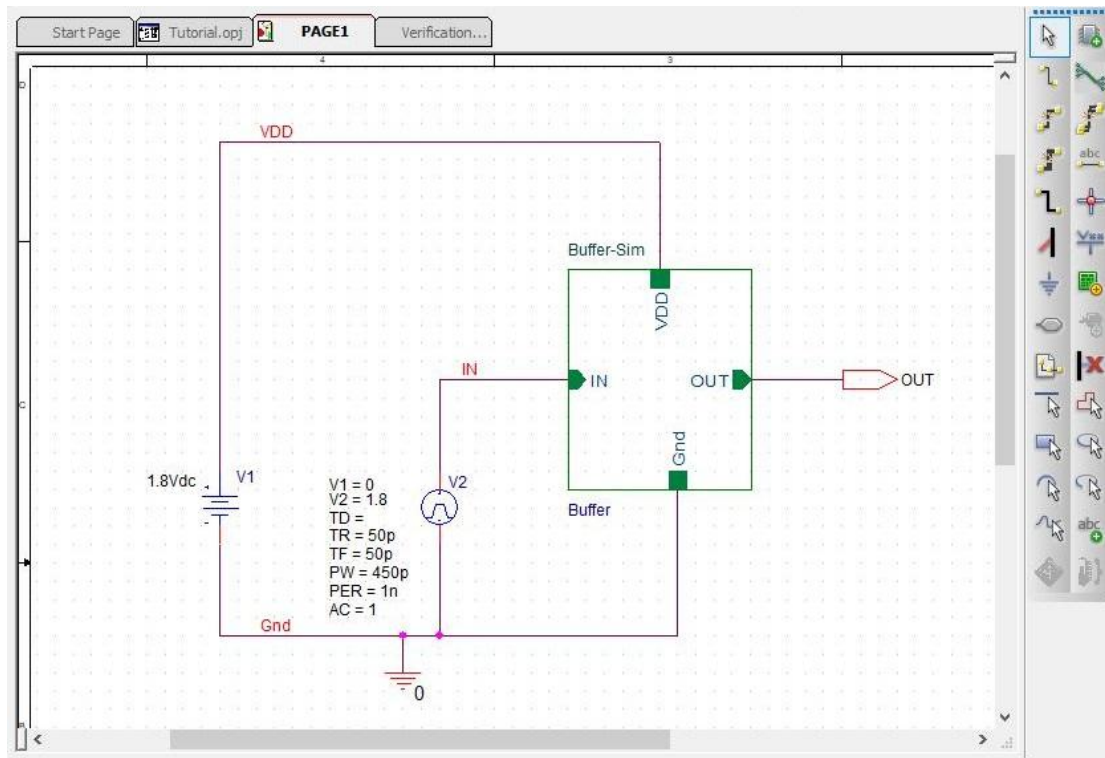
Στη συνέχεια, τοποθετούμε τις θύρες εισόδου/εξόδου και τροφοδοσίας, όπως ωρίτερα και πραγματοποιούμε τις απαραίτητες διασυνδέσεις. Στο Σχήμα 3.4 φαίνεται το τελικό σχέδιο της ακολουθίας των δύο αναστροφέων που υλοποιούν τον Buffer. Το γεγονός ότι οι θύρες εισόδου/εξόδου του Buffer έχουν το ίδιο όνομα με εκείνες του κάθε αναστροφέα (Inverter), δεν επηρεάζει τη λειτουργία του κυκλώματος, καθώς τα ονόματα εντός των συμβόλων δεν συσχετίζονται με εκείνα που βρίσκονται εκτός αυτών. Κατά αυτόν τον τρόπο, έχοντας ακολουθήσει εκ νέου τα βήματα αυτής της ενότητας ορίσαμε το νέο σχηματικό των δύο αναστροφέων ως ένα υποκύκλωμα κατάλληλο για χρήση σε ένα ανώτερο επίπεδο του ιεραρχικού σχεδιασμού.



Σχήμα 3.4. Το τελικό σχηματικό της ακολουθίας των δύο αναστροφέων “Buffer”.

Ακολούθως, δημιουργούμε το σχηματικό “Verification” για την επαλήθευση, μέσω προσομοιώσεων, της λειτουργίας του κυκλώματος “Buffer”. Στη συνέχεια, επιλέγοντας και πάλι το εικονίδιο *Place_Hierarchical_Block* δημιουργούμε στον καμβά σχεδίασης το σύμβολο του “Buffer”. Τέλος, τοποθετούμε τις πηγές τροφοδοσίας και σήματος οι οποίες απαιτούνται για τη διαδικασία της

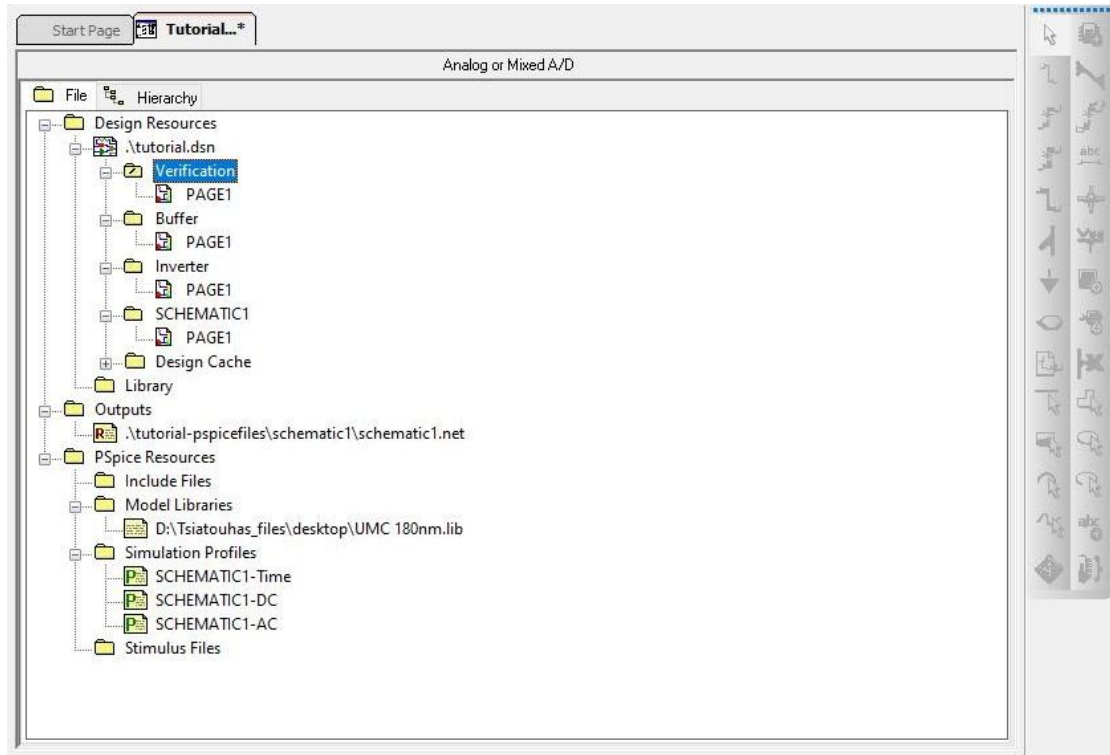
προσομοίωσης. Στο Σχήμα 3.5 φαίνεται το τελικό σχέδιο έτοιμο για προσομοίωση με το PSPICE, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην ενότητα 2.



Σχήμα 3.5. Το τελικό σχηματικό του κυκλώματος προς προσομοίωση.

Για την προσομοίωση του νέου σχηματικού (“Verification”) θα πρέπει να προσέξουμε ώστε στο παράθυρο του *Project Manager* να το τοποθετήσουμε ψηλά στην ιεραρχία του project κάτω από το πεδίο .dsn (εδώ tutorial.dsn) ως ριζικό (root) σχηματικό, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.6. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να επιλέξουμε στον *Project Manager* το σχηματικό “Verification” και με δεξί κλικ να εφαρμόσουμε την εντολή “*Make Root*”. Αν απαιτηθεί θα πραγματοποιηθεί αποθήκευση του project. Το σχηματικό θα ανέλθει στην κορυφή πάνω από όλα τα υπόλοιπα σχηματικά που έχουμε σχεδιάσει (ως πρώτος υποφάκελος αμέσως κάτω από το tutorial.dsn) και θα φέρει ένα χαρακτηριστικό “/” εντός του συμβόλου αριστερά του ονόματός του.

Στο παράθυρο του *Project Manager* στο Σχήμα 3.6, μπορούμε να παρατηρήσουμε κάτω από το πεδίο *Simulation Profiles*, την καταχώρηση των τριών προφίλ προσομοίωσης που είχαμε ορίσει (Time, DC και AC), τα οποία είναι δυνατόν να απαιτηθεί να αντιγραφούν και να επαναχρησιμοποιηθούν στο νέο κύκλο προσομοιώσεων.



Σχήμα 3.6. Καθορισμός ριζικού σχηματικού.