

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

Δρ. Δ. Λαμπάκης
(10^η σειρά διαφανειών)

Σχεδιασμός και Προσομοίωση Βασικών Κυκλωμάτων Τεχνολογίας CMOS

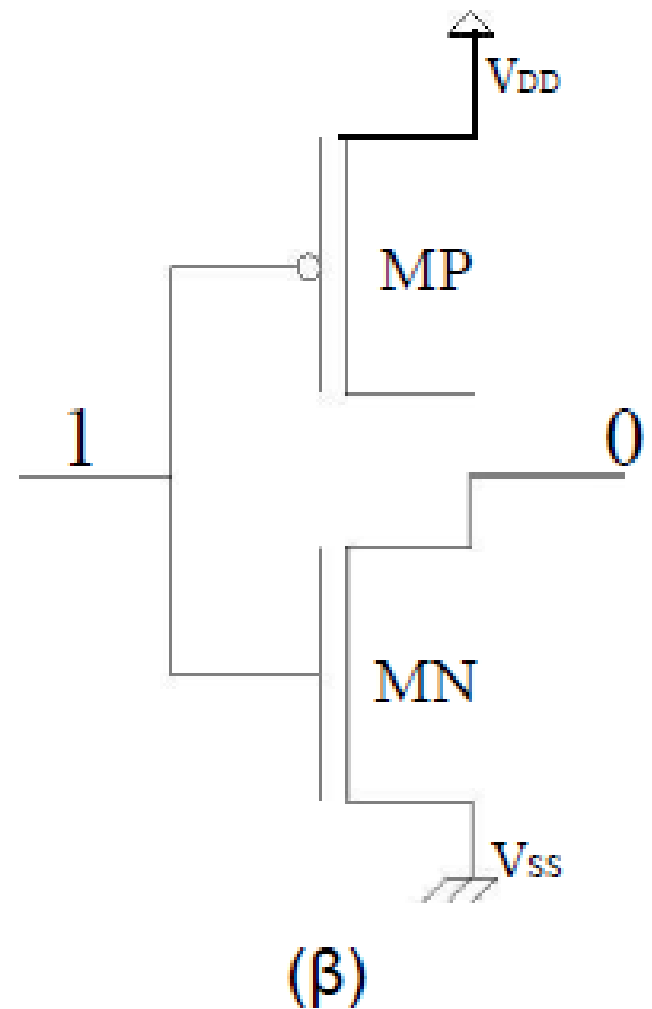
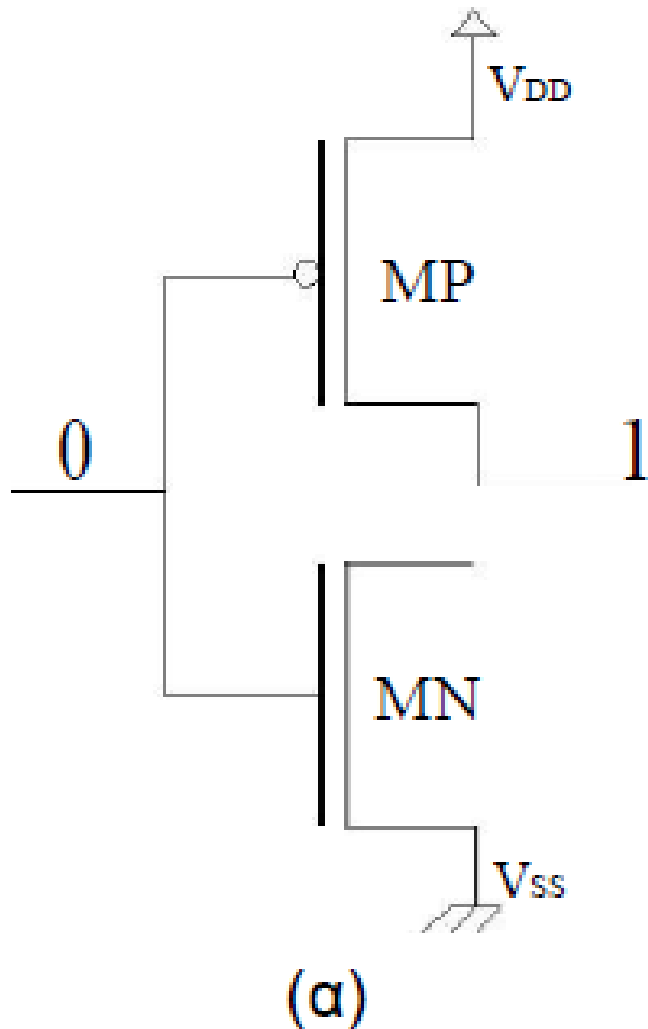
Με βάση το εργαλείο σχεδιασμού Microwind

Σκοπός: η πλήρη κατανόηση της διαδικασίας σχεδιασμού και προσομοίωσης.

Η ανάλυση βασίζεται σε τρανζίστορ τύπου NPN, ισχύουν όμως τα αντίστοιχα για τρανζίστορ PNP.

CMOS Αντιστροφέας

Έστω το κυκλωματικό διάγραμμα ενός CMOS αντιστροφέα



CMOS Αντιστροφέας

(α) Όταν το σήμα εισόδου είναι το λογικό '0', το nMOS τρανζίστορ βρίσκεται στην αποκοπή, ενώ το pMOS τρανζίστορ άγει, φορτίζοντας την έξοδο του αντιστροφέα στην τάση V_{DD} , δηλαδή στο λογικό '1'.

(β) Όταν αντίθετα το σήμα εισόδου είναι το λογικό '1', το pMOS τρανζίστορ βρίσκεται στην αποκοπή ενώ το nMOS τρανζίστορ εκφορτίζει την έξοδο, παράγοντας το λογικό '0'.

CMOS Αντιστροφέας

Επιλέγουμε CMOS τεχνολογία 1,2 μm

Προχωρούμε στον σχεδιασμό σύμφωνα με τα εξής βήματα:

(α) Δημιουργία του στρώματος πολυκρυσταλλικού πυριτίου (Polysilicon):

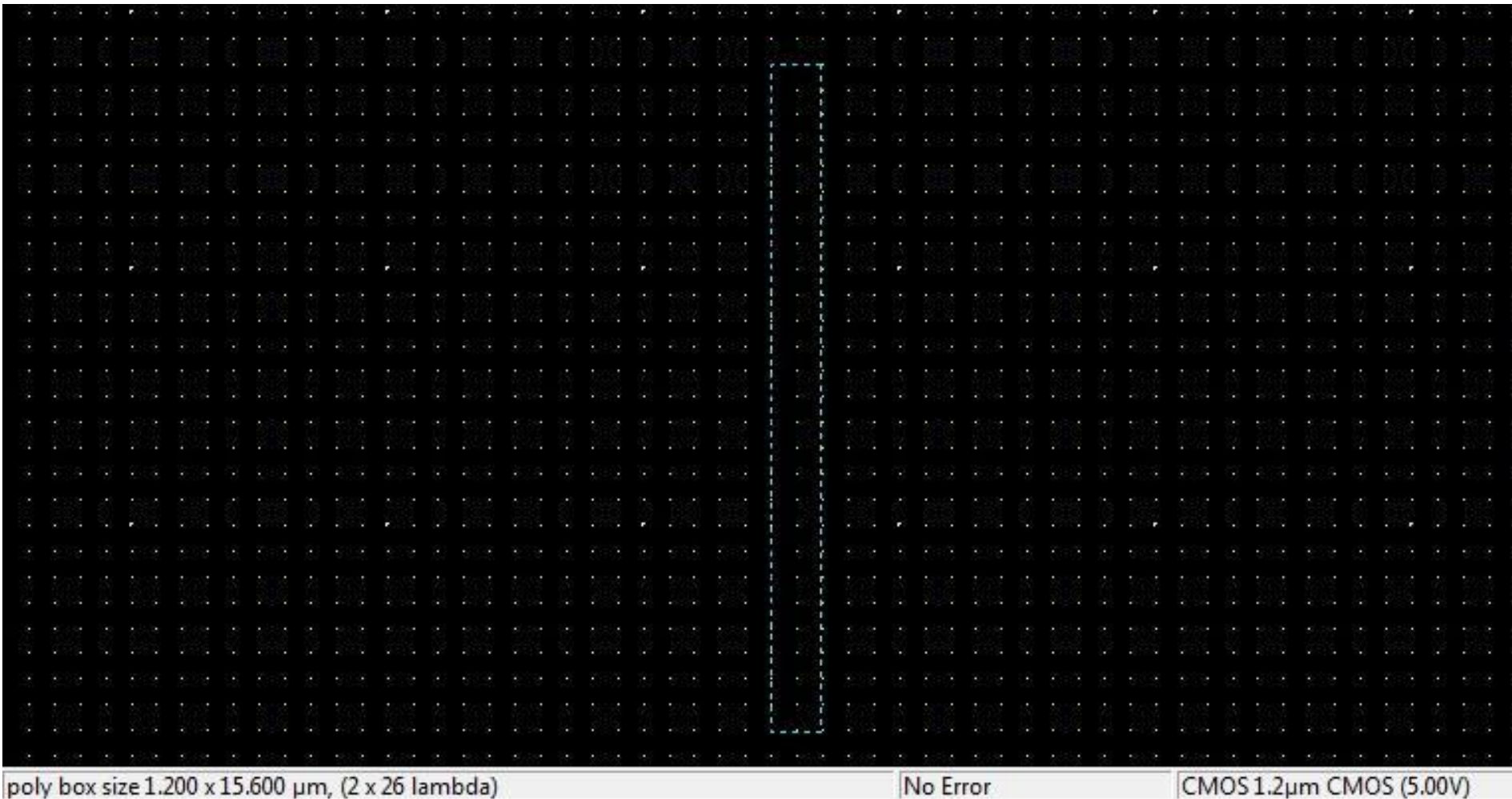
Επιλέγουμε (από την παλέτα) το στρώμα του πολυπυριτίου (Polysilicon).

Σχεδιάζουμε μια λωρίδα πολυπυριτίου μήκους 2λ , το οποίο αποτελεί το μήκος καναλιού των τρανζίστορ που πρόκειται να δημιουργηθούν, δηλαδή $L_n = L_p = 2\lambda = 1,2 \mu\text{m}$.

Κατά τη διάρκεια της σχεδίασης, στη γραμμή σύνοψης που βρίσκεται στο κάτω μέρος της εφαρμογής φαίνεται το μήκος και το πλάτος του σχεδιαζόμενου στοιχείου καθώς και η τεχνολογία σχεδιασμού

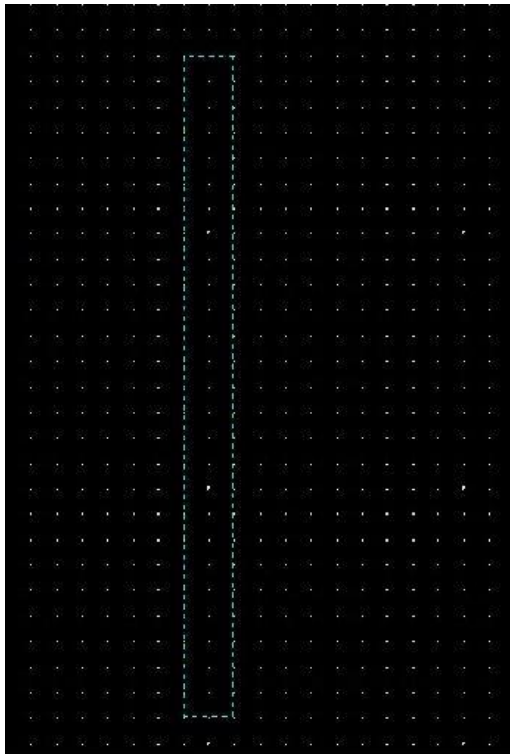
CMOS Αντιστροφέας

Σχεδιασμός πολυπυριτίου

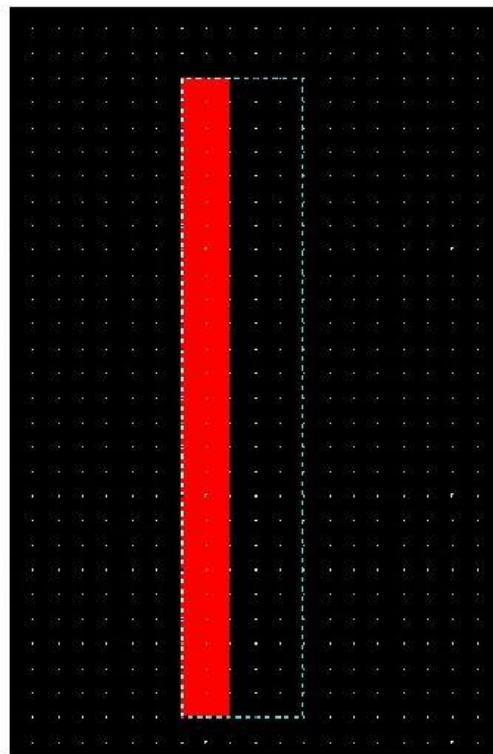


CMOS Αντιστροφέας

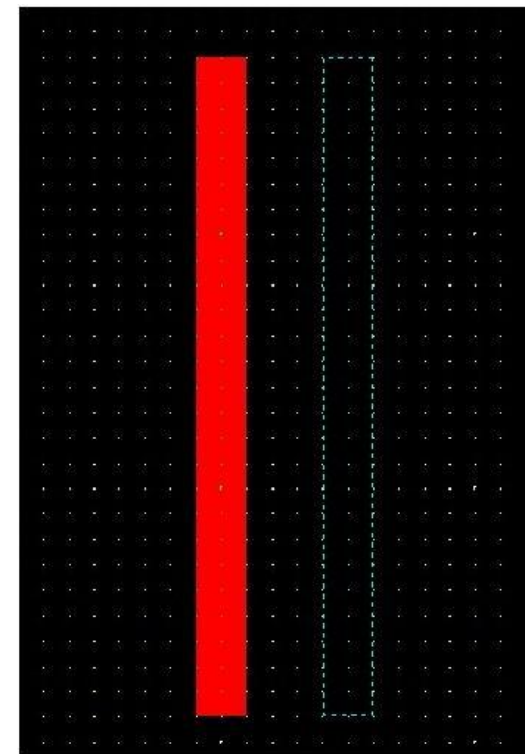
Το στοιχείο που σχεδιάστηκε μπορεί να μετακινηθεί εφόσον επιλεγεί ολόκληρο (Μετακίνηση, Αλλαγή μεγέθους, Αντιγραφή)



Give the target location for moving 1 elements ...



Stretch box to size 3.000 x 15.600 μm , (5 x 26 lambda)



Give the target location for copying 1 elements ...

CMOS Αντιστροφέας

(β) Δημιουργία των στρωμάτων διάχυσης (Diffusion):

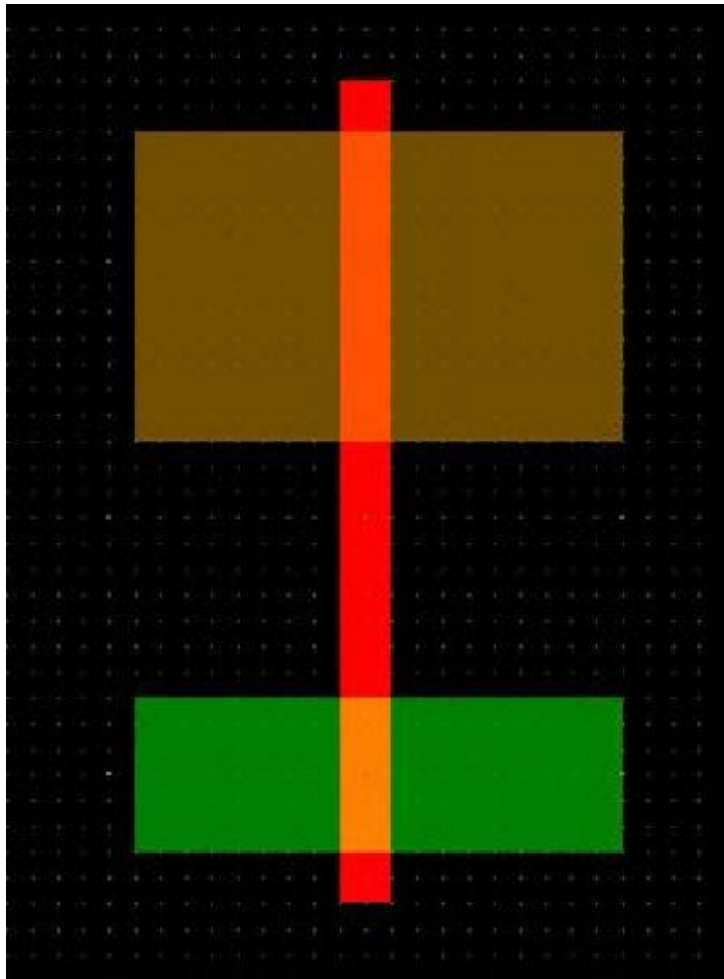
Επιλέγουμε το στρώμα της διάχυσης τύπου N (N+ Diffusion) και σχεδιάστε μία ορθογώνια περιοχή πλάτους $W_n = 3,6 \mu\text{m}$ στο κάτω μέρος της λωρίδας πολυπυριτίου. Η περιοχή τομής του πολυπυριτίου και της διάχυσης αποτελεί το κανάλι ενός NMOS τρανζίστορ.

Όμοια, σχεδιάζουμε τη διάχυση τύπου P (P+ Diffusion) πλάτους $W_p = 7,2 \mu\text{m}$ στο πάνω μέρος της λωρίδας πολυπυριτίου.

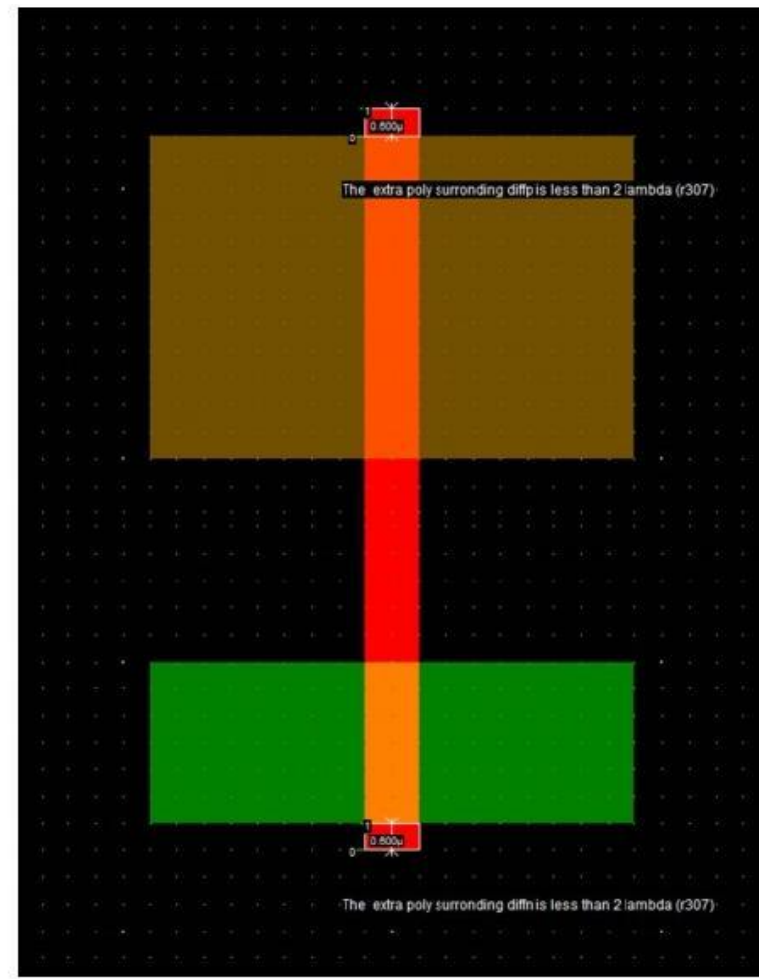
Σημείωση: Μετά από κάθε βήμα προτείνεται η διενέργεια ελέγχου των κανόνων σχεδιασμού, ώστε να διορθώνονται έγκαιρα τα σφάλματα προτού ο σχεδιασμός γίνει περισσότερο πολύπλοκος.

CMOS Αντιστροφή

Σχεδιασμός διαχύσεων



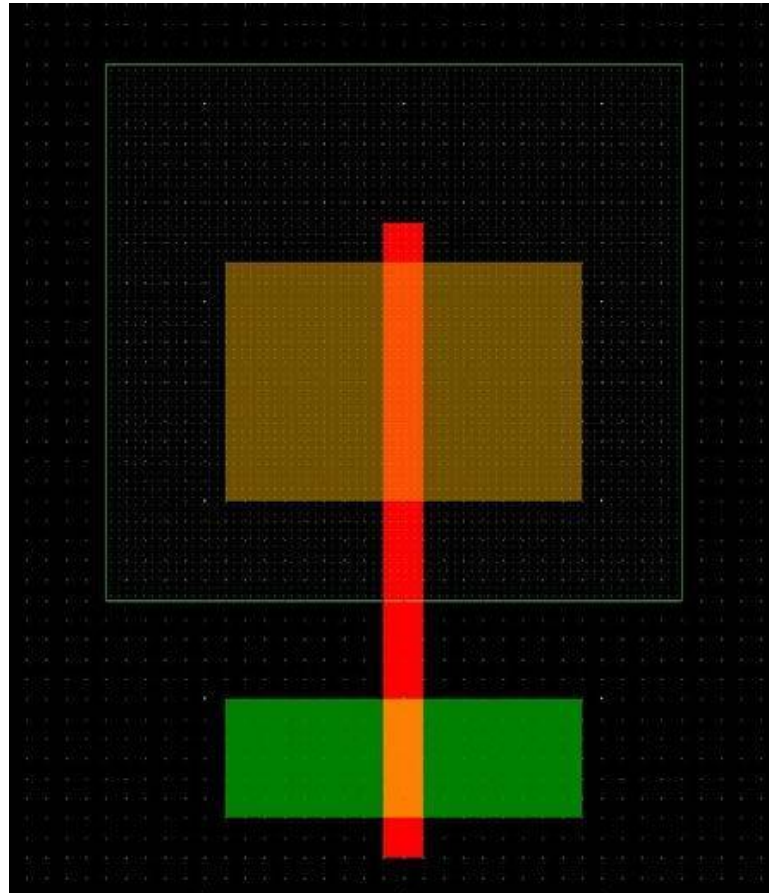
Έλεγχος κανόνων σχεδιασμού



CMOS Αντιστροφέας

(γ) Δημιουργία του πηγαδιού τύπου N (N Well):

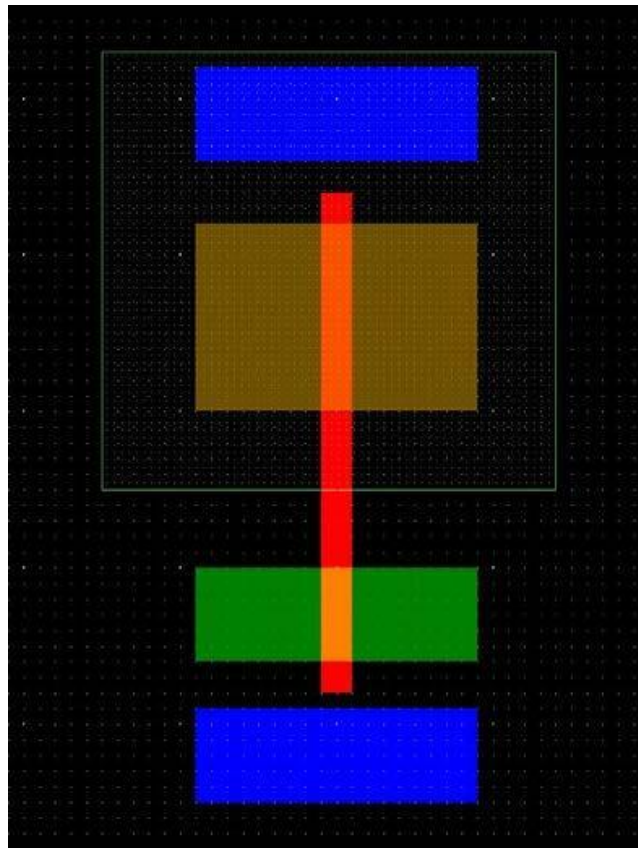
Έχοντας επιλέξει το στρώμα πηγαδιού τύπου N (N Well) σχεδιάζουμε μια ορθογώνια περιοχή περικλείοντας τη διάχυση τύπου P.



CMOS Αντιστροφέας

δ) Δημιουργία των γραμμών τροφοδοσίας και γείωσης:

Επιλέξτε το στρώμα μετάλλου (Metal 1) και σχεδιάζουμε δύο λωρίδες στο πάνω και κάτω σημείο του σχεδιασμού, οι οποίες θα λειτουργήσουν ως γραμμές τροφοδοσίας και γείωσης, αντίστοιχα.



CMOS Αντιστροφέας

Λογική διόδου-τρανζίστορ (DTL):

ε) Δημιουργία των γραμμών διασύνδεσης και τοποθέτηση επαφών:

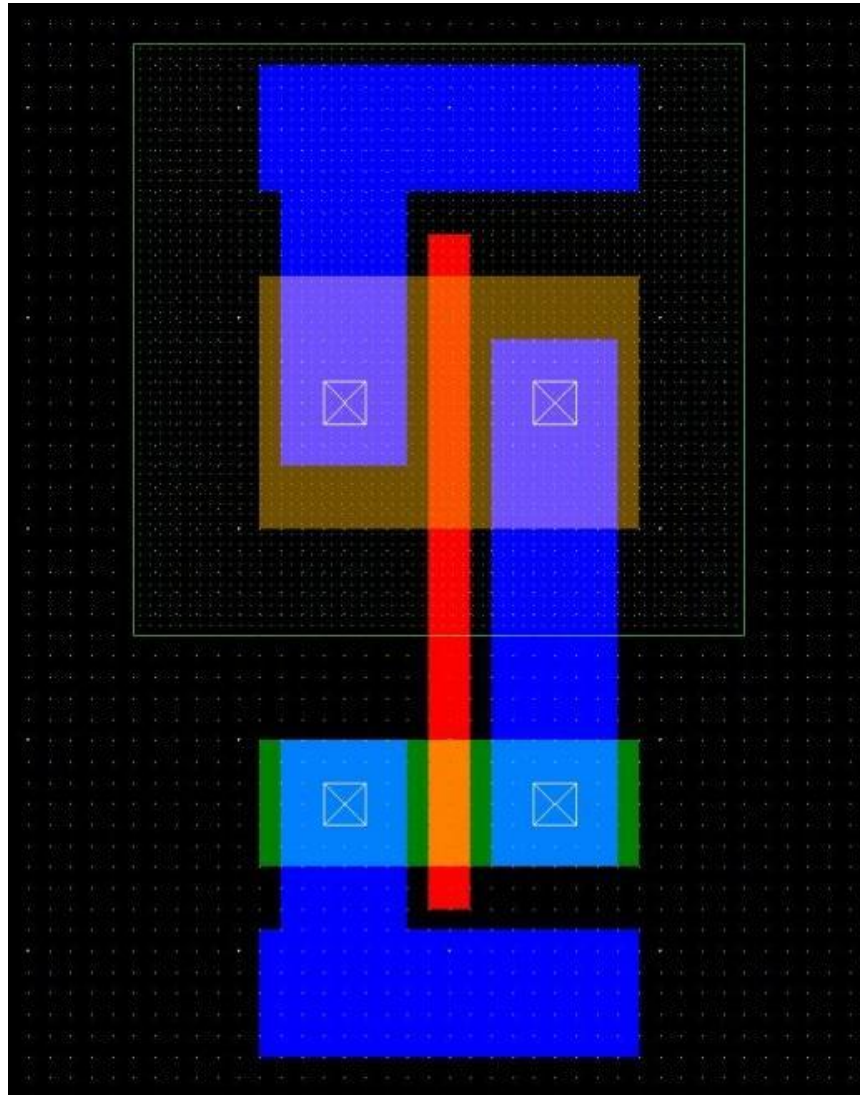
Χρησιμοποιώντας το στρώμα μετάλλου (Metal 1) διασυνδέουμε τις διαχύσεις των P και N τρανζίστορ ώστε να δημιουργήσουν τον κόμβο εξόδου, ενώ οι άλλες δύο θα συνδεθούν με τη γραμμή τροφοδοσίας και γείωσης, αντίστοιχα.

Επειδή όλα τα στρώματα που σχεδιάστηκαν βρίσκονται σε διαφορετικά επίπεδα, για τη σύνδεσή τους απαιτείται η δημιουργία των κατάλληλων επαφών.

Επιλέγουμε από την παλέτα τις κατάλληλες επαφές και τις τοποθετούμε ανάλογα με τα στρώματα που θέλουμε να συνδεθούν.

CMOS Αντιστροφείας

Διασύνδεση και τοποθέτηση επαφών

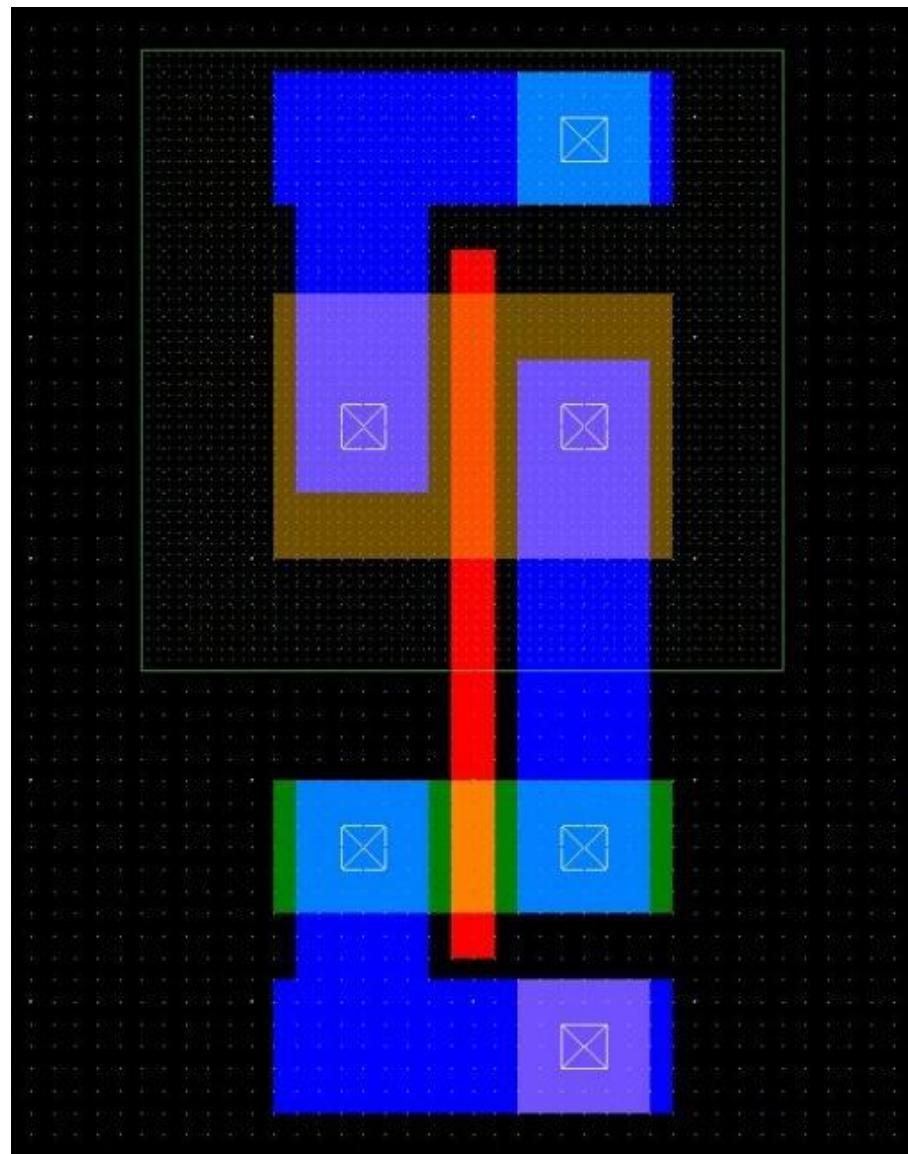


Σημείωση: Όταν χρησιμοποιείται το δεύτερο στρώμα μετάλλου (Metal 2), εκτός από την αντίστοιχη επαφή για τη σύνδεση με άλλο στρώμα, απαιτείται επιπλέον η τοποθέτηση της επαφής Metal1/Metal2.

CMOS Αντιστροφέας

στ) Δημιουργία επαφών πόλωσης:

Τοποθετούμε τις κατάλληλες επαφές ώστε να συνδεθεί το πηγάδι τύπου N με την τροφοδοσία και το υπόλοιπο υπόστρωμα τύπου P με τη γείωση.



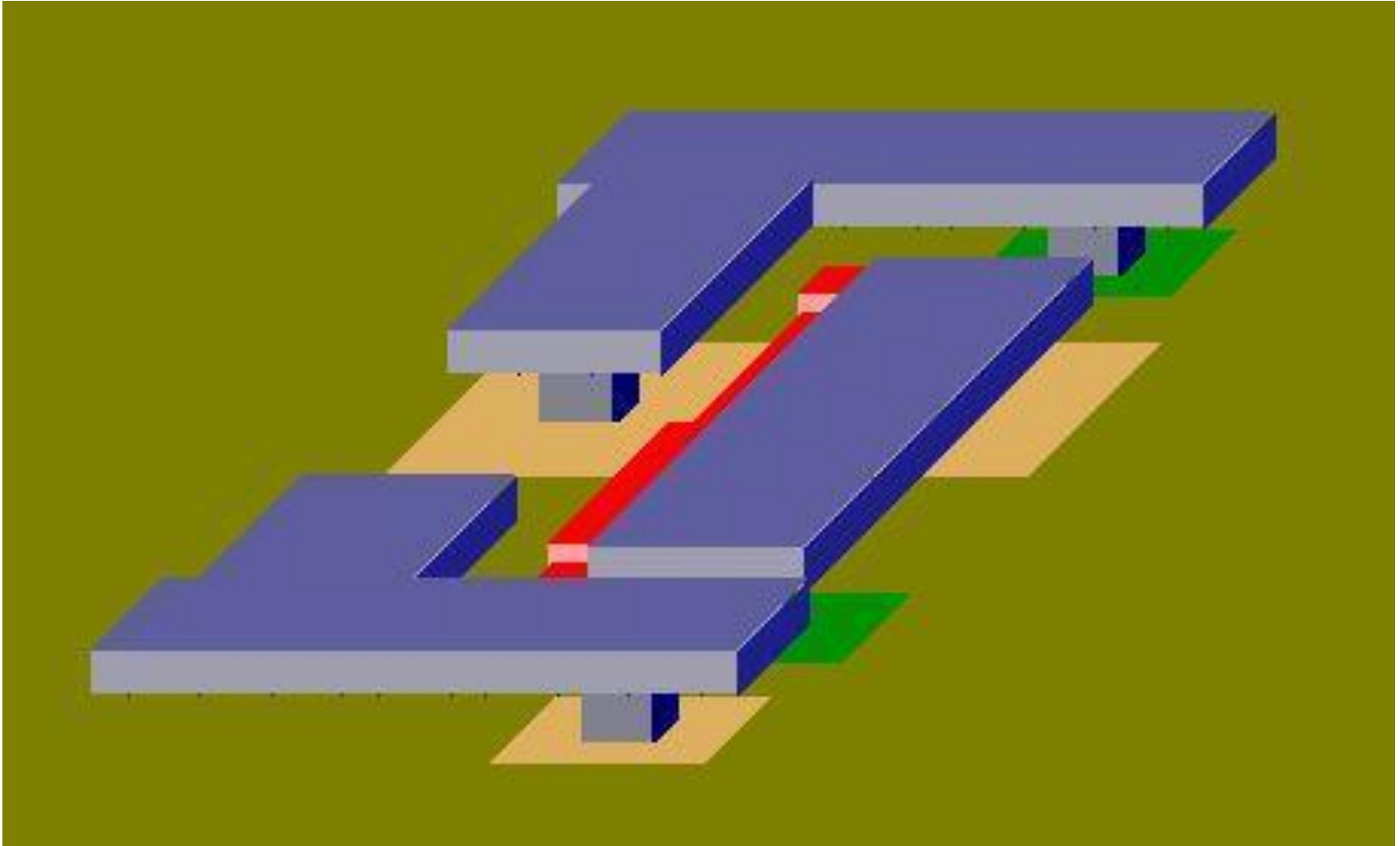
CMOS Αντιστροφέας

Παρατήρηση της Διαδικασίας Κατασκευής

Πατώντας συγκεκριμένα εικονίδια μπορούμε να παρατηρήσουμε αναλυτικά τη διαδικασία κατασκευής του κυκλώματος που σχεδιάστηκε.

CMOS Αντιστροφέας

Τριδιάστατη αναπαράσταση κατασκευής του αντιστροφέα

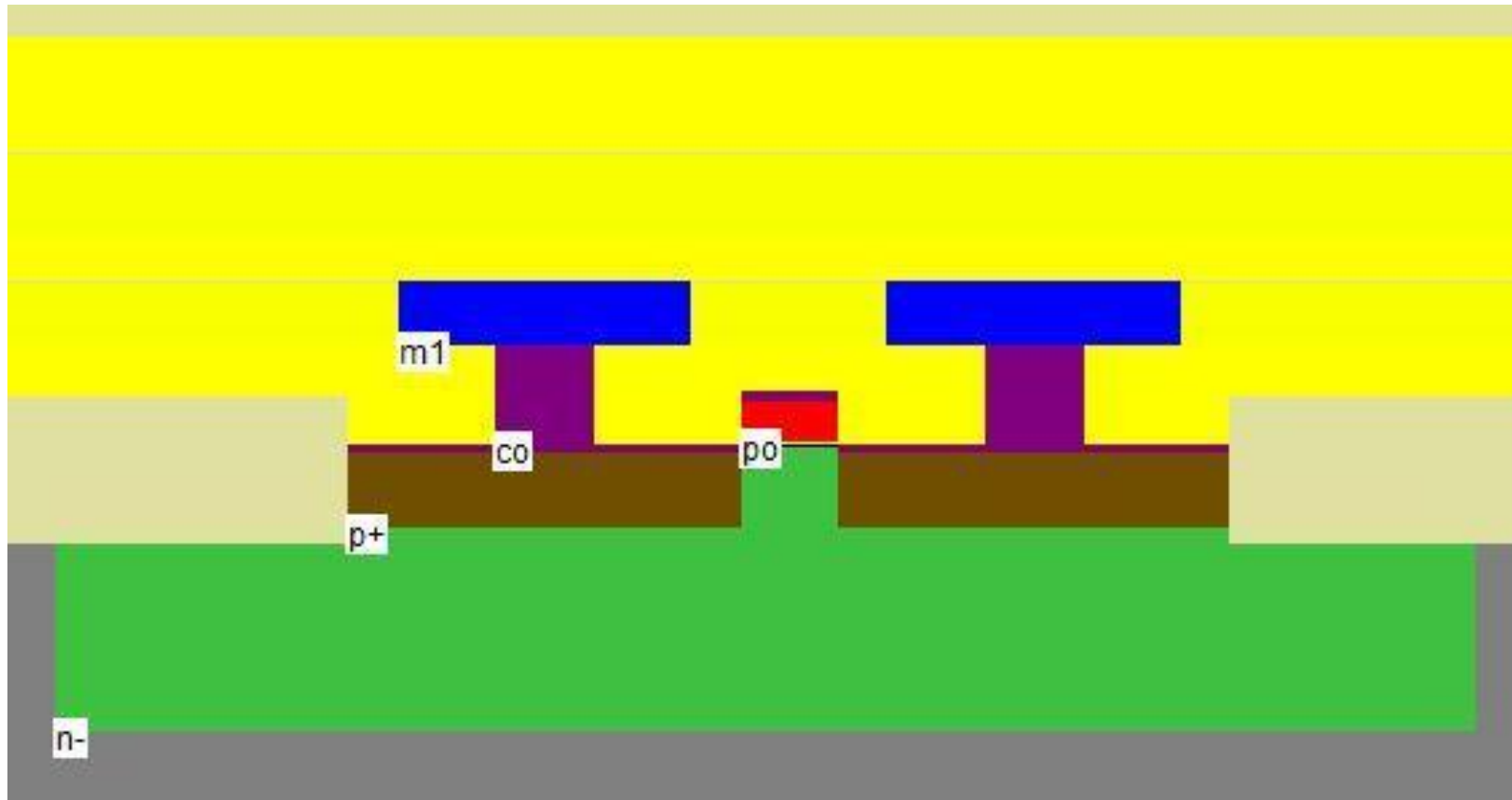


CMOS Αντιστροφέας

Επιλέγοντας το κατάλληλο εικονίδιο τομής και δημιουργώντας μια τομή στην κάτοψη του σχεδιασμένου κυκλώματος, μπορούμε να παρατηρήσουμε την πλάγια όψη στο επίπεδο που δημιουργήσαμε μετά την κατασκευή του κυκλώματος.

CMOS Αντιστροφέας

Για παράδειγμα, δημιουργώντας μια οριζόντια τομή στο τρανζίστορ τύπου P, μπορεί να παρατηρηθεί η **εγκάρσια τομή** του PMOS τρανζίστορ.



Προσομοίωση του CMOS

Αντιστροφέα

Πριν την έναρξη της προσομοίωσης είναι αναγκαία η εισαγωγή των πηγών τάσης στο κύκλωμα καθώς και ο καθορισμός των διεγέρσεων και των κόμβων παρατήρησης κατά την προσομοίωση.

(Επιλέγοντας το κατάλληλο εικονίδιο από το μενού του λογισμικού).

Εκτός από την εισαγωγή του ονόματος σε έναν κόμβο, με τον συγκεκριμένο τρόπο μπορεί να εισαχθεί οποιαδήποτε διέγερση στο κύκλωμα.

Προσομοίωση του CMOS

Αντιστροφέα

Αναλυτικά έχουμε:

→Καθορισμός τροφοδοσίας και γείωσης: Από το μενού, επιλέγω τα σύμβολα τροφοδοσίας (V_{dd} supply) και γείωσης (Ground) και τα τοποθετούμε τα στις αντίστοιχες λωρίδες μετάλλου.

→Καθορισμός εξόδου: Από το μενού καθορίζω το όνομα του κόμβου εξόδου.

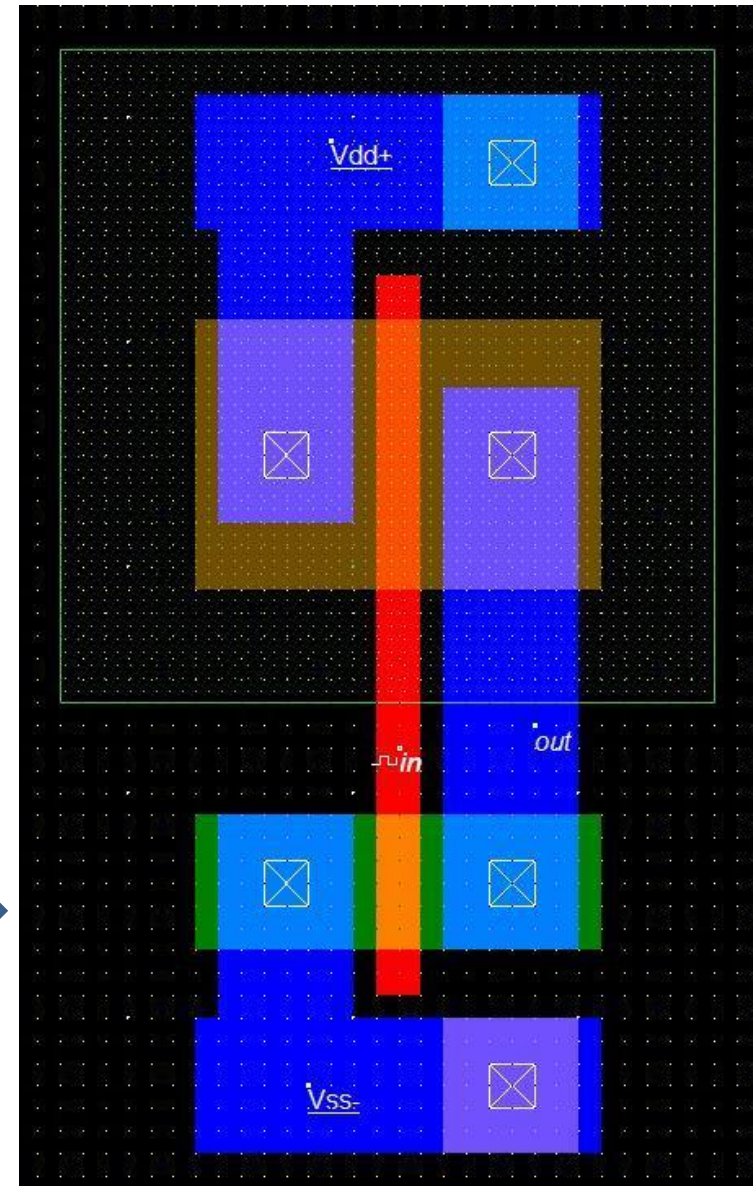
→Καθορισμός διέγερσης.

Προσομοίωση του CMOS

Αντιστροφέα

Αφού καθοριστούν οι διεγέρσεις και η έξοδος του κυκλώματος, ο σχεδιασμός του αντιστροφέα πριν την έναρξη της προσομοίωσης λαμβάνει την διπλανή μορφή

Φυσικός σχεδιασμός
της πύλης CMOS
αντιστροφέα



Προσομοίωση του CMOS

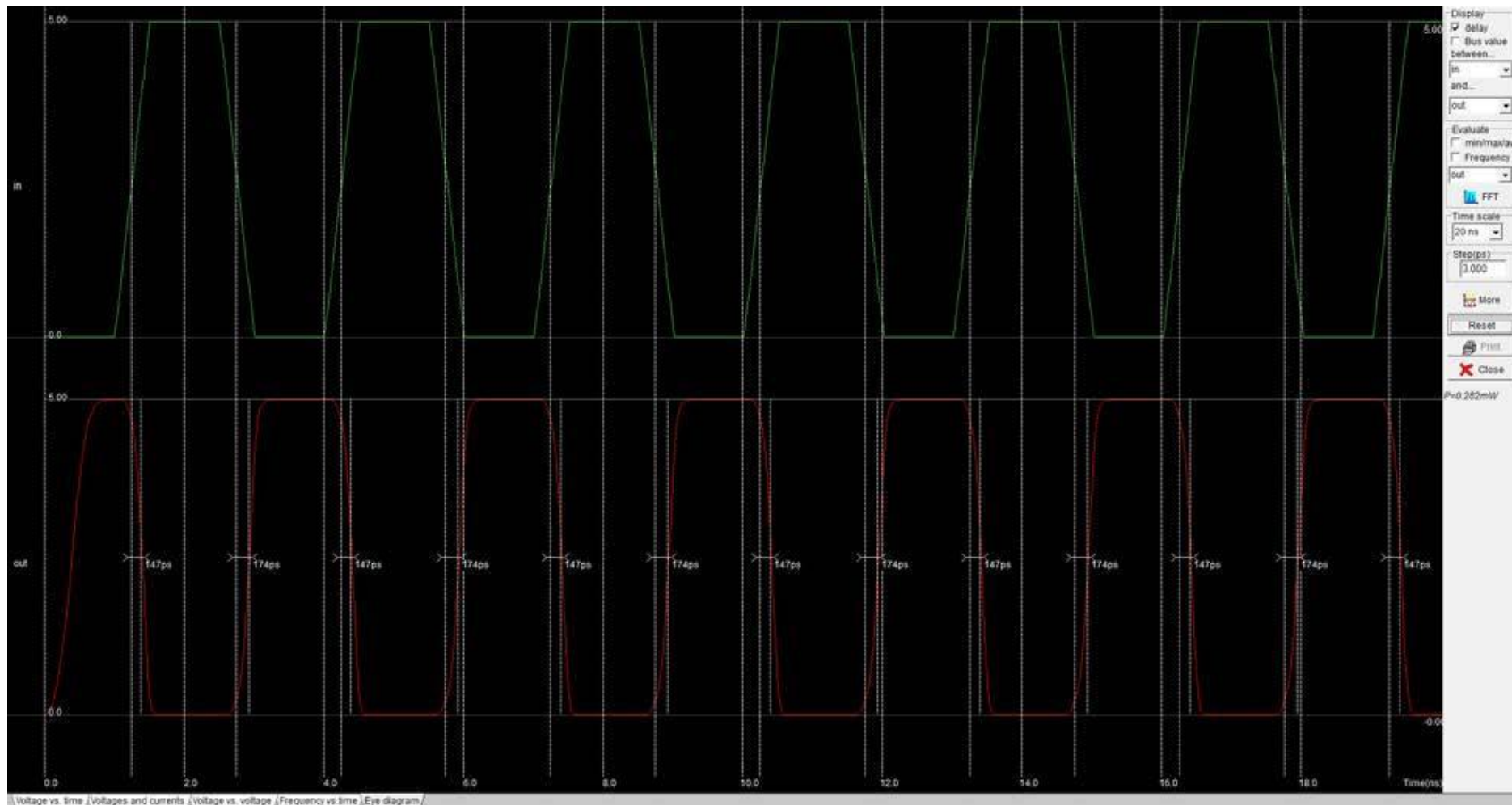
Αντιστροφέα

→ Εκτέλεση της προσομοίωσης: Πατώντας το κατάλληλο εικονίδιο έναρξης προσομοίωσης στο μενού, συνήθως, ανοίγει ένα νέο παράθυρο, όπου φαίνονται οι κυματομορφές των κόμβων για την προσομοίωση.

(Στη συγκεκριμένη περίπτωση θα δείξουμε τις τάσεις των κόμβων εισόδου και εξόδου του αντιστροφέα).

Προσομοίωση του CMOS Αντιστροφέα

Κυματομορφές τάσεων εισόδου και εξόδου



Προσομοίωση του CMOS

Αντιστροφέα

Παρατηρήσεις:

Συνήθως, στο δεξιό μέρος των παραθύρων προσομοίωσης υπάρχουν κάποιες επιλογές σχετικά με τις κυματομορφές που εμφανίζονται.

Μέσω αυτών μπορεί να επιλεγεί η εμφάνιση ή μη της καθυστέρησης μεταξύ δύο συγκεκριμένων κόμβων καθώς και η εμφάνιση της συχνότητας της κυματομορφής σε έναν κόμβο.

Επίσης, μπορεί να μεταβληθεί η κλίμακα χρόνου και το βήμα της προσομοίωσης. Η προσομοίωση μπορεί να συνεχιστεί για όσο χρόνο δηλώνει η κλίμακα χρόνου (την οποία επίσης μπορώ να τη μεταβάλλω, μέσω του μενού)

Προσομοίωση του CMOS

Αντιστροφέα

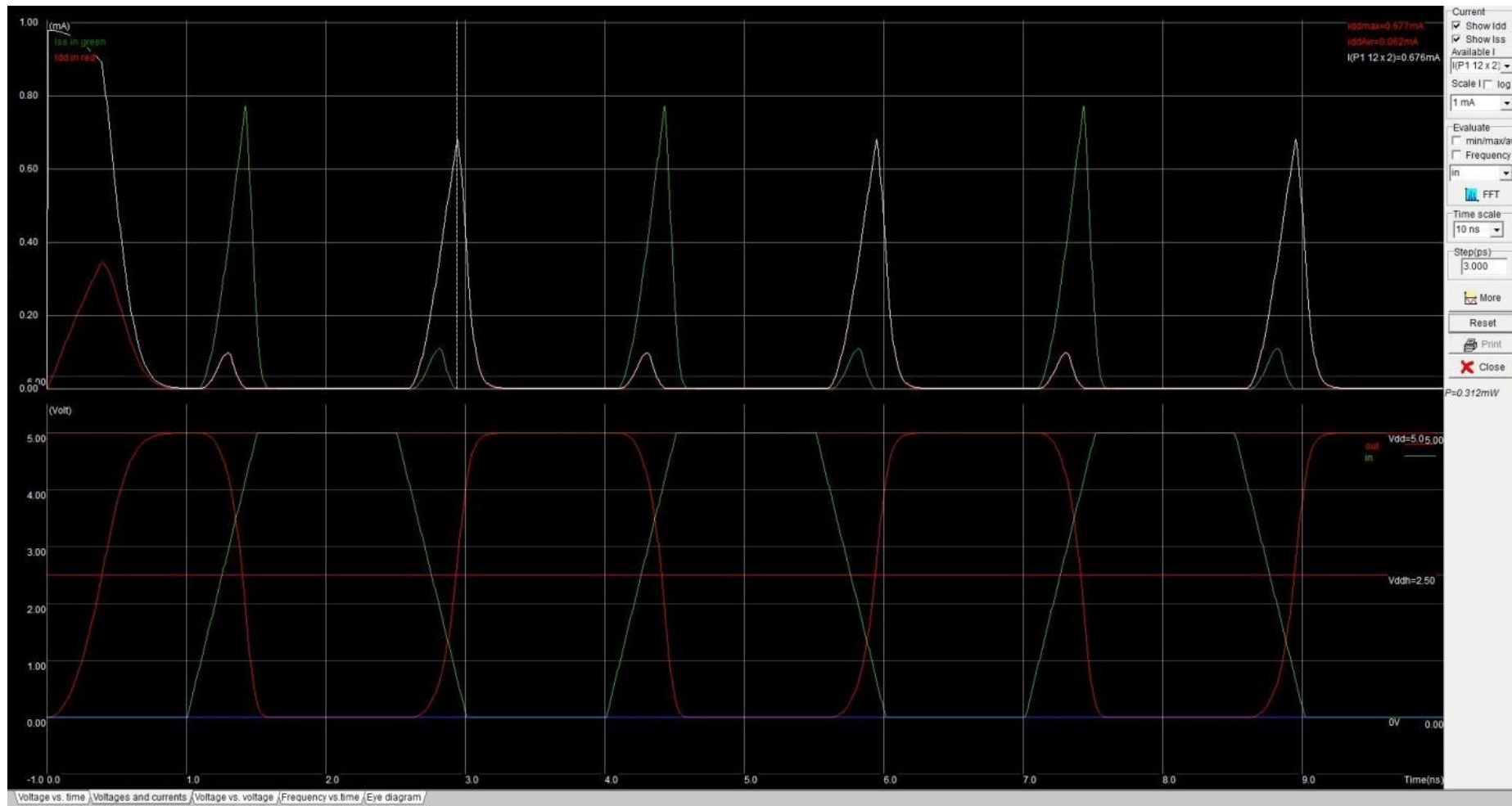
Στο μενού θα εμφανίζονται και επιλογές, μέσω των οποίων μπορούν να παρατηρηθούν διαφορετικές κυματομορφές.

Υπάρχει ακόμη η δυνατότητα να εμφανίζονται οι κυματομορφές των ρευμάτων στο ένα (π.χ. πάνω) μέρος του παραθύρου μαζί με αυτές των τάσεων σε ένα άλλο (π.χ. στο κάτω) μέρος.

Όμοια, μέσω των επιλογών δίνεται η δυνατότητα εμφάνισης των κυματομορφών συγκεκριμένων μεγεθών.

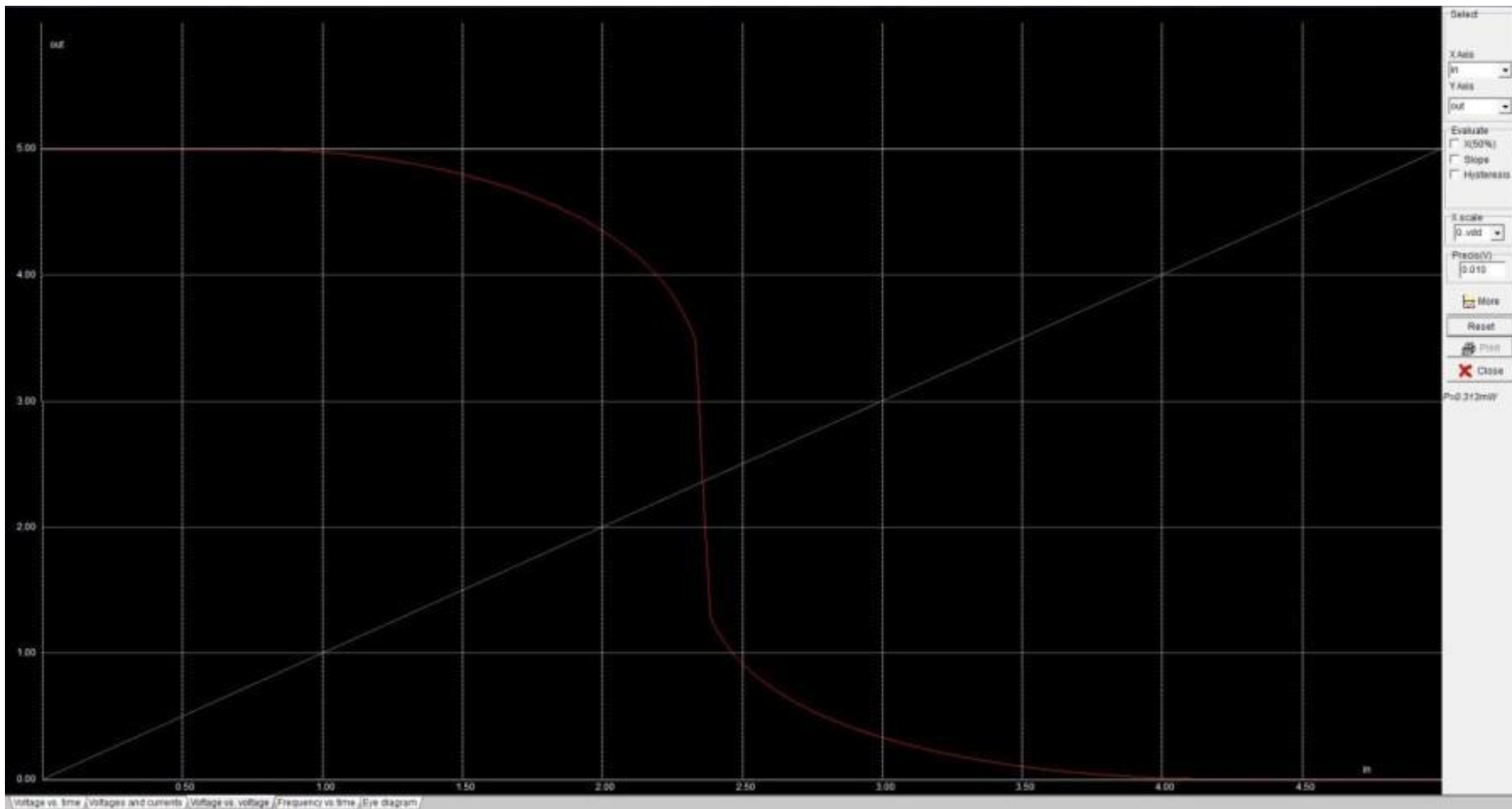
Προσομοίωση του CMOS Αντιστροφέα

Κυματομορφές τάσεων και ρευμάτων



Προσομοίωση του CMOS Αντιστροφέα

Ακόμη, μπορεί να παραχθεί και η **χαρακτηριστική μεταφοράς του αντιστροφέα**.



Προσομοίωση του CMOS

Αντιστροφέα

Παραμετρική ανάλυση του CMOS αντιστροφέα

Τα λογισμικά εργαλεία δίνουν ακόμη τη δυνατότητα παρατήρησης της συμπεριφοράς ορισμένων μεγεθών του κυκλώματος όταν μεταβάλλονται κάποιες από τις παραμέτρους του.

Για να πραγματοποιηθεί η παραμετρική ανάλυση του κυκλώματος πρέπει νωρίτερα να έχει εκτελεστεί η προσομοίωσή του.

Στη συνέχεια, αφού επιλεγεί ο κόμβος παρατήρησης, μπορούν να επιλεγούν οι παράμετροι που πρέπει να μεταβληθούν και να παρατηρηθούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης.

Προσομοίωση του CMOS

Αντιστροφέα

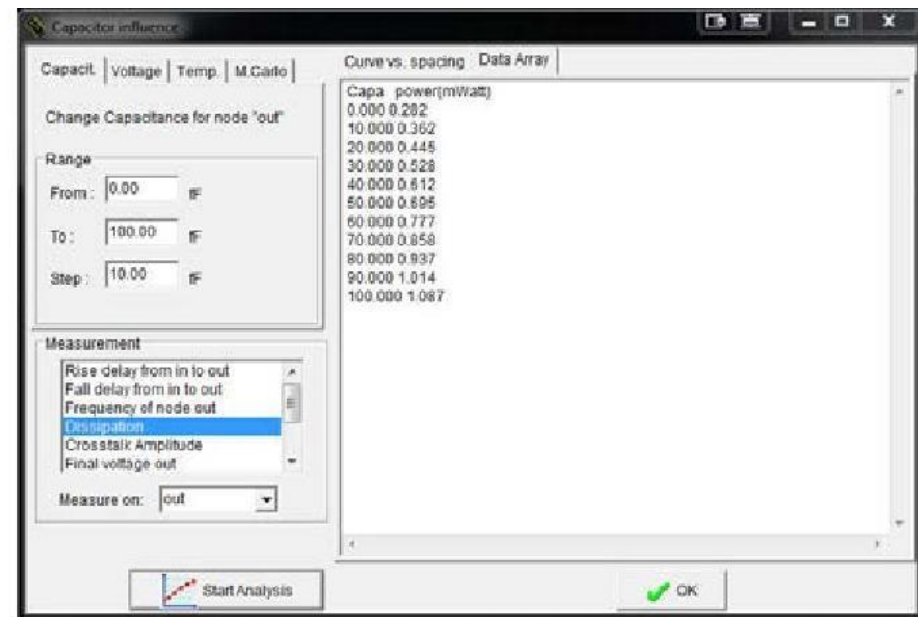
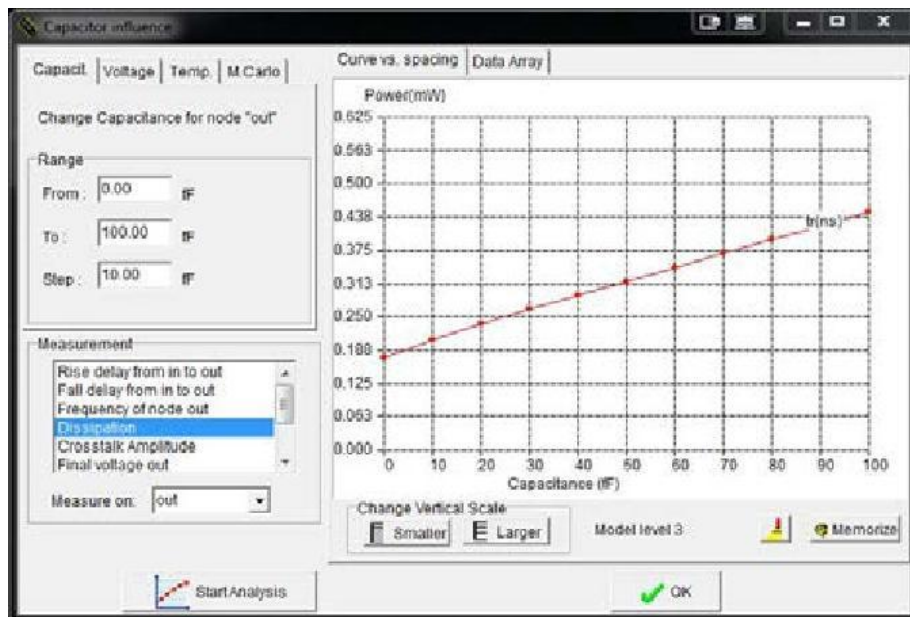
Στη συγκεκριμένη περίπτωση, μπορεί να παρατηρηθεί η επιρροή διαφόρων παραμέτρων στον κόμβο εξόδου του αντιστροφέα, ο οποίος πρέπει να επιλεγεί για την παραμετρική ανάλυση.

Υπάρχει η δυνατότητα επιλογής της παραμέτρου, του εύρους μεταβολής και του βήματος, ενώ μπορεί να επιλέγεται το μετρούμενο μέγεθος.

Όταν πατηθεί το πλήκτρο “Start Analysis” παράγεται η γραφική παράσταση του μετρούμενου μεγέθους ως προς την επιλεγμένη παράμετρο.

Προσομοίωση του CMOS Αντιστροφέα

Παραμετρική ανάλυση κατανάλωσης σε σχέση με τη χωρητικότητα εξόδου



Βιβλιογραφία

“CAD & ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ” Α. ΚΑΡΑΓΚΟΥΝΗΣ, Γ. ΒΕΛΝΤΕΣ, ΤΕΙ ΛΑΜΙΑΣ

**ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ “Βασικές Έννοιες
Ψηφιακών Κυκλωμάτων” Δ.Λιούπης – Μ.Στεφανιδάκης,
Πανεπιστήμιο Πατρών**