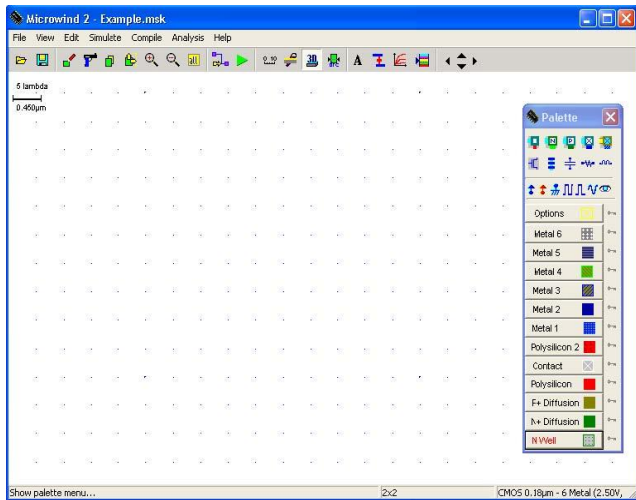


5^ο Εργαστήριο

Εργασία 1- Εισαγωγή στο MICROWIND

1. Εισαγωγή στο MICROWIND. Βασικές επιλογές και λειτουργίες.

Θα χρησιμοποιήσουμε το εργαλείο λογισμικού MICROWIND για να μιλήσουμε για τις έννοιες του φυσικού σχεδιασμού διατάξεων και κυκλωμάτων.



Εικόνα. Η κεντρική επιφάνεια εργασίας του MICROWIND.

Στη γραμμή μενού, υπάρχουν όλες οι επιλογές από όπου μπορούν να ξεκινήσουν όλες οι διαδικασίες του εργαλείου.

Στη δεύτερη γραμμή (toolbar) υπάρχει μία σειρά από εργαλεία τα οποία ενεργοποιούνται με το πάτημα του δεξιού πλήκτρου του ποντικιού.

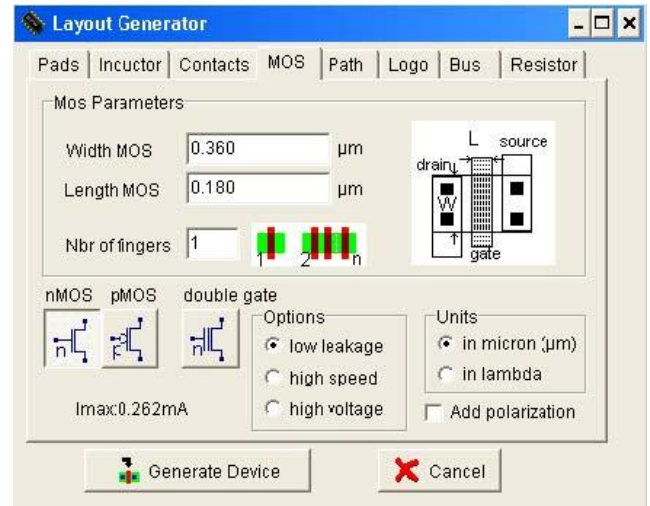
Τέλος στη δεξιά πλευρά της επιφάνειας εργασίας υπάρχει μία παλέτα εργαλείων η οποία περιέχει:

- τα διάφορα στρώματα - επίπεδα του φυσικού σχεδιασμού για την κάθε τεχνολογία,
- μία σειρά από επαφές και διατάξεις (devices) που παράγονται αυτόματα καθώς και
- τα βασικά ηλεκτρικά στοιχεία (τάση τροφοδοσίας, γείωση και γεννήτριες παλμών) που απαιτούνται για την προσομοίωση του κυκλώματος.

2. Σχεδίαση ενός N-MOS transistor με $W=0.36$ και $L=0.18$ στην τεχνολογία CMOS 0.18um με χρήση της γεννήτριας στοιχείων (device generator).

Από το menu **File** → **select foundry** επιλέξτε το αρχείο της τεχνολογίας 0.18um **cmos018.rul**.

Επιλέξτε από την παλέτα εργαλείων το σύμβολο του τρανζίστορ. Στη φόρμα που εμφανίζεται συμπληρώστε τα στοιχεία για το W και το L του nmos.



Εικόνα. Layout generator.

Πατώντας το **Generate Device** και κάνοντας κλικ με το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού σε ένα σημείο της επιφάνειας εργασίας εμφανίζεται ένα τρανζίστορ σύμφωνα με τις διαστάσεις που έχουν επιλεγεί.

Στην επιφάνεια εργασίας του MICROWIND, το πλέγμα είναι σε μονάδες λάμδα και όχι σε μικρόμετρα. Αυτό μας βοηθά στο να μπορούμε να προσομοιώσουμε την ίδια χωροθεσία σε οποιαδήποτε τεχνολογία CMOS. Η τιμή του λάμδα είναι το μισό του ελάχιστου μήκους πύλης από polysilicon.

Αρχείο τεχνολογίας	Ελάχιστο μήκος πύλης	Τιμή λάμδα
Cmos12.rul	1.2 μm	0.6 μm
Cmos08.rul	0.7 μm	0.35 μm
Cmos06.rul	0.5 μm	0.25 μm
Cmos035.rul	0.4 μm	0.2 μm
Cmos025.rul	0.25 μm	0.125 μm
Cmos018.rul	0.2 μm	0.1 μm
Cmos012.rul	0.12 μm	0.06 μm
Cmos90n.rul	0.1 μm	0.05 μm
Cmos65n.rul	0.07 μm	0.035 μm
Cmos45n.rul	0.05 μm	0.025 μm

Πίνακας. Αντιστοιχία μεταξύ λάμδα μονάδων και μm.

Πίνακας. Evolution of key parameters with the technology scale down [ITRS]

Λιθογραφία (μm)	Έτος	Επίπεδα μετάλλου	Τάση παροχής (V)
1.2	1986	2	5
0.7	1988	2	5
0.5	1992	3	3.3
0.35	1994	5	3.3
0.25	1996	6	2.5
0.18	1998	6	1.8
0.12	2001	6-8	1.2
0.09	2003	6-10	1.0
0.065	2005	6-12	0,8


Λιθογραφία (μm)	Πάχος οξειδίου πύλης (nm)	Μέγεθος τσιπ (mm)	Ακροδέκτες εισόδου/εξόδου
1.2	25	5x5	250
0.7	20	7x7	350
0.5	12	10x10	600
0.35	7	15x15	800
0.25	5	17x17	1000
0.18	3	20x20	1500
0.12	2	22x20	1800
0.09	1.8	25x20	2000
0.065	1.6	25x20	3000

Λιθογραφία (μm)	Όνομα αρχείου στοu Microwind
1.2	Cmos12.rul
0.7	Cmos08.rul
0.5	Cmos06.rul
0.35	Cmos035.rul
0.25	Cmos025.rul
0.18	Cmos018.rul
0.12	Cmos012.rul
0.09	Cmos90n.rul
0.065	Cmos65n.rul

3. Σχεδίαση ενός P-MOS transistor με W=0.36 και L=0.18 στην ίδια τεχνολογία με το χέρι (manually).

- **Δημιουργία της περιοχής πολυκρυσταλλικού πυριτίου (polysilicon).**

Επιλέξτε το επίπεδο του πολυκρυσταλλικού πυριτίου πατώντας το αντίστοιχο κουμπί πάνω στην παλέτα εργαλείων.

Στη συνέχεια επιλέγοντας με το mouse το εικονίδιο , από την μπάρα εργαλείων (toolbar) σχεδιάστε μία λωρίδα πολυκρυσταλλικού πυριτίου. Το εύρος της λωρίδας δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 2λ, που είναι το ελάχιστο επιτρεπτό εύρος του πολυκρυσταλλικού πυριτίου. Το μήκος της λωρίδας να είναι τουλάχιστον 16λ.

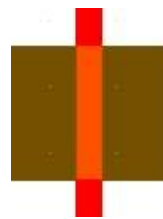
- **Δημιουργία της περιοχής διάχυσης (diffusion).**

Το επόμενο βήμα είναι η τοποθέτηση της διάχυσης.

Αλλάξτε το επίπεδο σχεδιασμού σε διάχυση τύπου p (P+ diffusion, από την παλέτα του Microwind) και σχεδιάστε μία ορθογώνια περιοχή η οποία να τέμνει το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο.

Η τομή μεταξύ αυτής της περιοχής και της λωρίδας πολυκρυσταλλικού πυριτίου δημιουργεί το κανάλι ενός PMOS στοιχείου.

Το πλάτος της διάχυσης πρέπει να είναι 12λ.

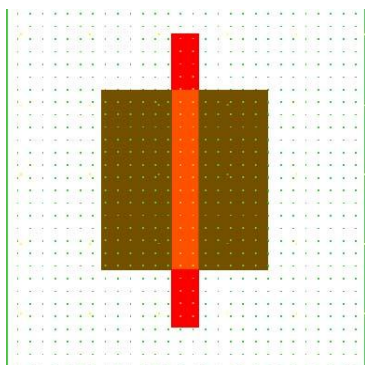


Εικόνα. Λωρίδα polysilicon και διάχυσης p+.

- **Δημιουργία του “πηγαδιού” τύπου-n (n-well).**


Για να ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός του PMOS στοιχείου, αλλάξτε το επίπεδο σχεδιασμού σε n-well από την παλέτα και σχεδιάστε μια ορθογώνια περιοχή γύρω από τη λωρίδα διάχυσης p-τύπου, που αποτελεί το “πηγάδι” μέσα στο οποίο αναπτύσσεται το PMOS στοιχείο.

Η περιοχή του n-well πρέπει να εκτείνεται τουλάχιστον 6λ γύρω από την περιοχή της διάχυσης.



Εικόνα. Λογίδα polysilicon, διάχυσης p+ και πηγαδιού n, ολοκληρώνουν την τοπολογία ενός pmos.


4. Έλεγχος των σχεδιαστικών λαθών.

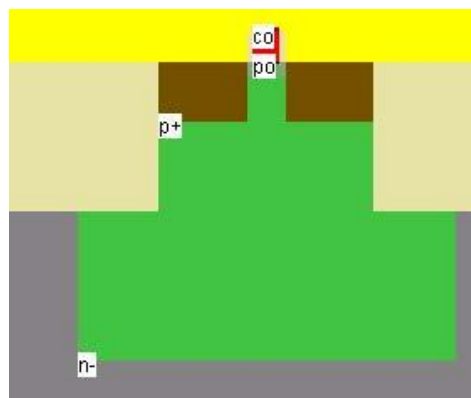
Για να βεβαιωθείτε ότι δεν παραβιάζετε τους κανόνες σχεδιασμού μπορείτε σε όποια φάση της σχεδίασης θέλετε να επιλέξετε το εικονίδιο  που βρίσκεται στην μπάρα με τα εργαλεία του Microwind.

Τότε το πρόγραμμα ελέγχει το κύκλωμα σας για τυχόν λάθη στη σχεδίαση σε σχέση με τους κανόνες σχεδιασμού που έχετε αρχικά επιλέξει και ο ελεγκτής των κανόνων σχεδιασμού (design rule checker) του εργαλείου υποδεικνύει τι λάθος έγινε και σε ποιο σημείο του κυκλώματος.

5. Τομή και 3-D απεικόνιση των transistors που σχεδιάστηκαν στα προηγούμενα βήματα.

- **Παρατήρηση της εγκάρσιας τομής του κυκλώματος.**

Επιλέγοντας το εικονίδιο  μπορείτε να δείτε μία κάθετη τομή του κυκλώματος. Η τομή αυτή ορίζεται σχεδιάζοντας μία ευθεία γραμμή πάνω στο κύκλωμα κρατώντας το κουμπί του mouse πατημένο. Για παράδειγμα ξεκινώντας από τα αριστερά του PMOS στοιχείου και πηγαίνοντας προς τα δεξιά, μπορείτε να παρατηρήσετε την εγκάρσια τομή του.



Εικόνα. Τομή του pmos.

- **Παρατήρηση των βημάτων κατασκευής σε 3D.**

Επιλέγοντας το εικονίδιο 3-D μπορείτε να δείτε μία βήμα προς βήμα τρισδιάστατη απεικόνιση της διαδικασίας κατασκευής του τρανζίστορ που σχεδιάσατε πάνω στην επιφάνεια του δισκιδίου του πυριτίου.

Εργασία 2 - Προσομοίωση nmos και pmos

1. Ο εξομοιωτής του MICROWIND.

Επιλέγοντας το **menu simulate** από τη γραμμή των pull-down menus του MICROWIND μπορείτε να καθορίσετε τις παραμέτρους της εξομοίωσης.

ΠΡΟΣΟΧΗ: Να επιλέγετε πάντα εξομοίωση με χρήση του μοντέλου BSIM4 για τα τρανζίστορ. Επιλογή από το **menu Simulate** → **Using model** → **BSIM4(advanced)**.

2. Εξομοίωση ενός n-mos και ενός p-mos transistor με διαστάσεις $W=0.36\mu\text{m}$ και $L=0.18\mu\text{m}$ σε τεχνολογία CMOS 0.18 μm .

- Παραγωγή των χαρακτηριστικών I_d vs V_d για διαφορετικές τάσεις πύλης V_g .
- Σύγκριση n-mos και p-mos transistors.
- Παραμετρική ανάλυση των χαρακτηριστικών IV ως προς το πλάτος καναλιού του transistor.

Υλοποιήστε τα ζητούμενα a-c στο TINA. Χρησιμοποιήστε μοντέλο BSIM3 για τις διατάξεις.

3. Μελέτη της απόκρισης των δύο τύπων transistor ως διακόπτες με είσοδο τετραγωνικό παλμό χωρίς φορτίο και με φορτίο 0.2pF.

α. Σχεδιάστε ένα n-mos τρανζίστορ με διαστάσεις $W=0.36\mu\text{m}$ και $L=0.18\mu\text{m}$ χρήση της γεννήτριας στοιχείων.

β. Για να γίνει εξομοίωση στο πεδίο του χρόνου και να εμφανιστούν οι σχετικές κυματομορφές πρέπει να δώσετε ονόματα στους κόμβους του κυκλώματος και να ορίσετε τις τροφοδοσίες (V_{dd} και V_{ss}). Τα εργαλεία για την εκτέλεση των διαδικασιών αυτών βρίσκονται στην τρίτη γραμμή εργαλείων της παλέτας.

Επιλέγοντας, για παράδειγμα, το **add clock** εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο που σας παρέχει τη δυνατότητα να ορίσετε το όνομα του κόμβου και να επιλέξετε τους χρόνους ανόδου και καθόδου και το εύρος των παλμών και το αν η κυματομορφή αυτή θα εμφανίζεται στην εξομοίωση.

Δώστε στο drain του τρανζίστορ το όνομα **inp** και ένα παλμό με διάρκεια low και high 1.95nsec και χρόνο ανόδου και καθόδου 50psec.

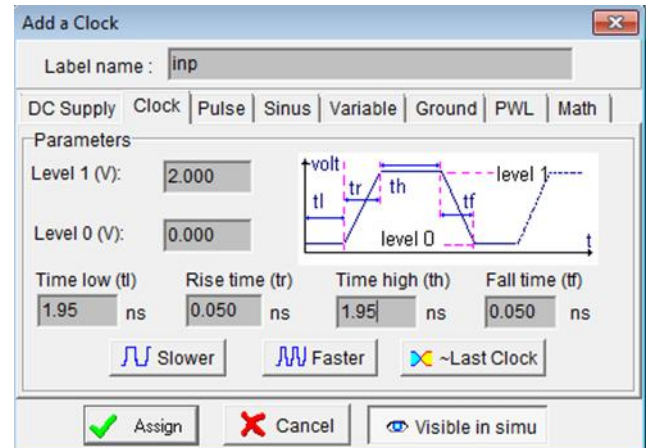
Στο gate του τρανζίστορ το όνομα **enable** και παλμό με διάρκεια low και high 10.8 nsec και χρόνο ανόδου και καθόδου 50psec.

Στην πηγή δώστε την ονομασία **out** και επιλέξτε **Visible in simulation**.

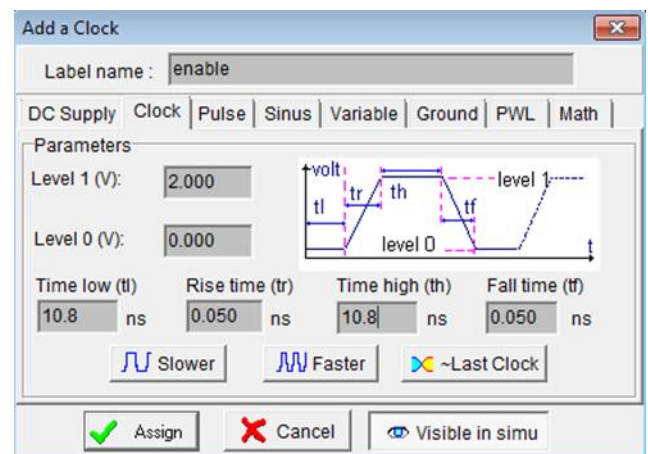
Εκτελέστε την προσομοίωση.

γ. Τοποθετήστε έναν πυκνωτή 0.2pF στην έξοδο.

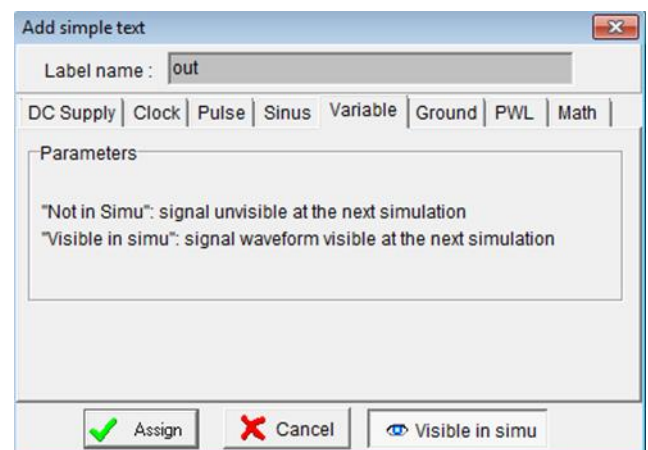
Τι πρέπει να κάνετε για να γίνουν και πάλι τετραγωνικοί οι παλμοί στην έξοδο;



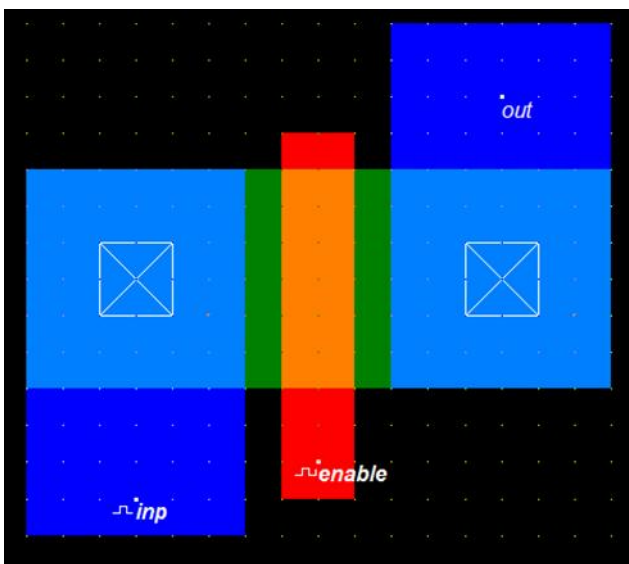
Εικόνα. Add Clock – inp.



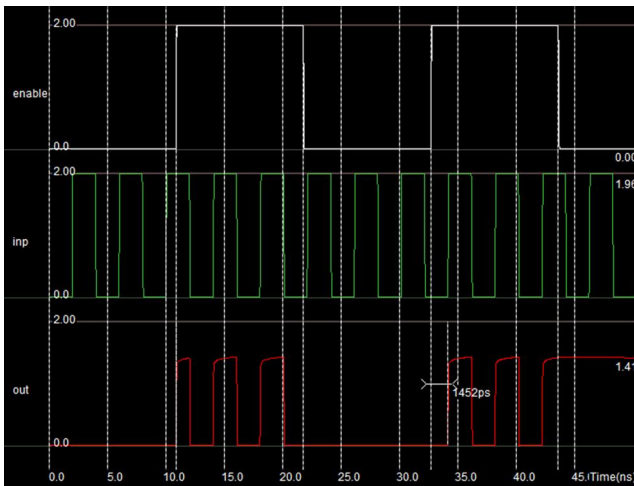
Εικόνα. Add Clock – enable.



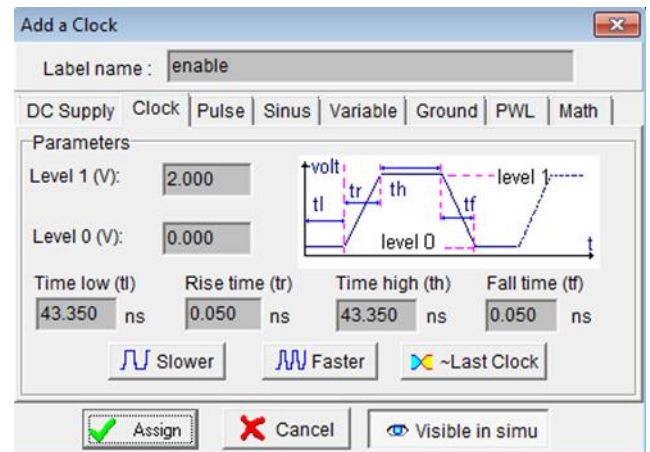
Εικόνα. Add Variable – out.



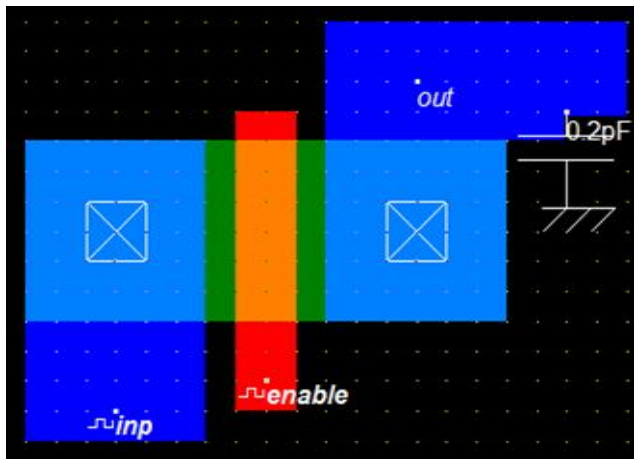
Εικόνα. n-mos τρανζίστορ με διαστάσεις $W=0.36\mu\text{m}$ και $L=0.18\mu\text{m}$.



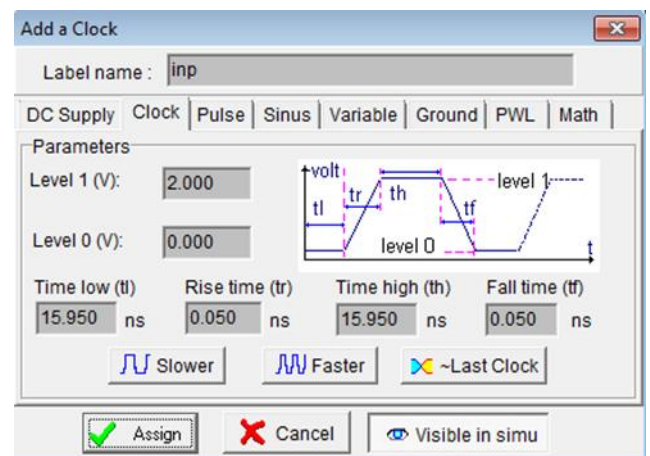
Εικόνα. Αποτελέσματα προσομοίωσης.



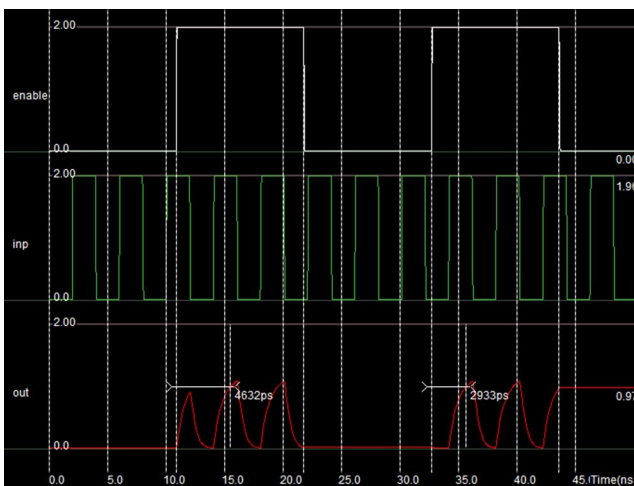
Εικόνα. Αλλαγή στο Clock – enable.



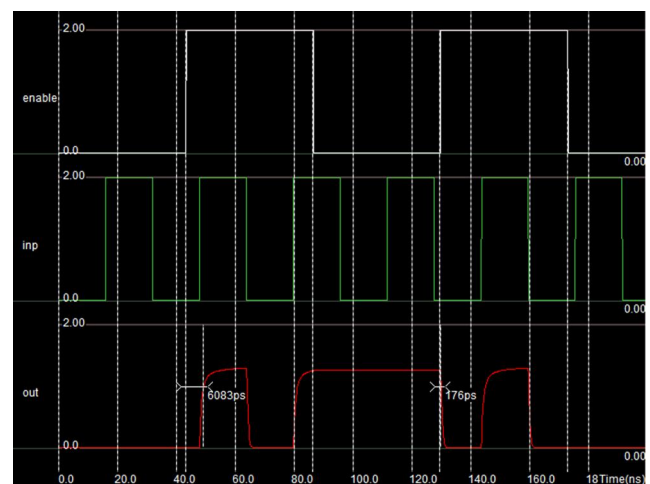
Εικόνα. Εισαγωγή πυκνωτή 0.2pF στην έξοδο.



Εικόνα. Αλλαγή στο Clock – inp.



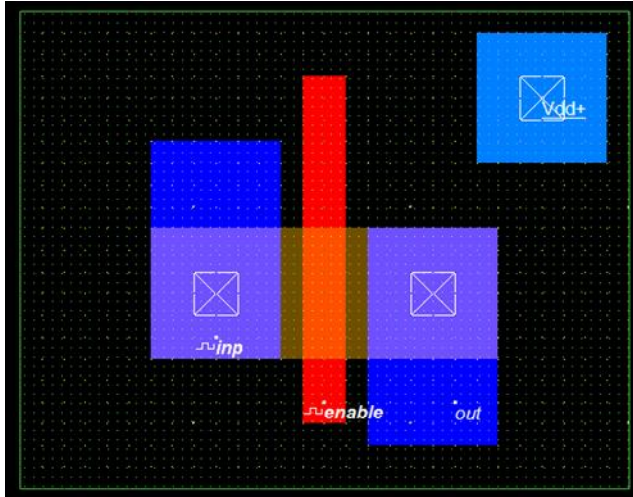
Εικόνα. Αποτέλεσμα προσομοίωσης με πυκνωτή 0.2pF στην έξοδο.



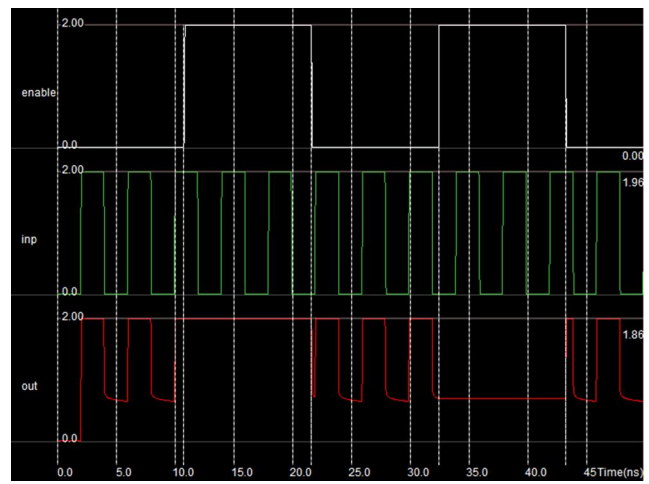
Εικόνα. Νέα αποτελέσματα προσομοίωσης παρουσία του πυκνωτή εξόδου.

4. Επαναλάβετε τα παραπάνω βήματα 3α-3γ για ένα p-mos τρανζίστορ με διαστάσεις $W=0,36 \mu\text{m}$ και $L=0.18 \mu\text{m}$.

ΠΡΟΣΟΧΗ: Για να γίνει σωστή εξομοίωση το πηγάδι τύπου n πρέπει να πολωθεί στην τάση τροφοδοσίας Vdd.

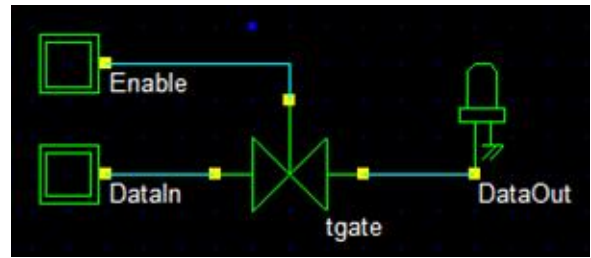


Εικόνα. Το σχέδιο του pmos με πόλωση του πηγαδιού σε Vdd.

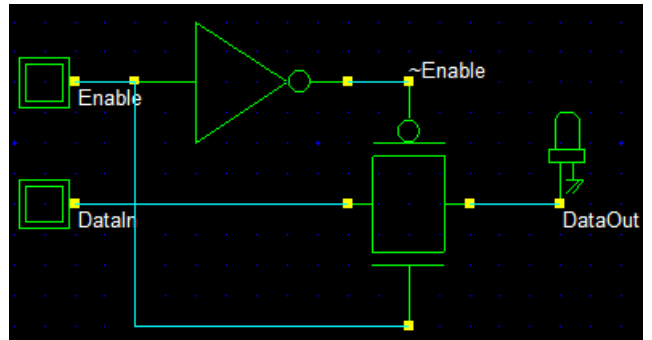


Εικόνα. Αποτελέσματα προσομοίωσης για το pmos.

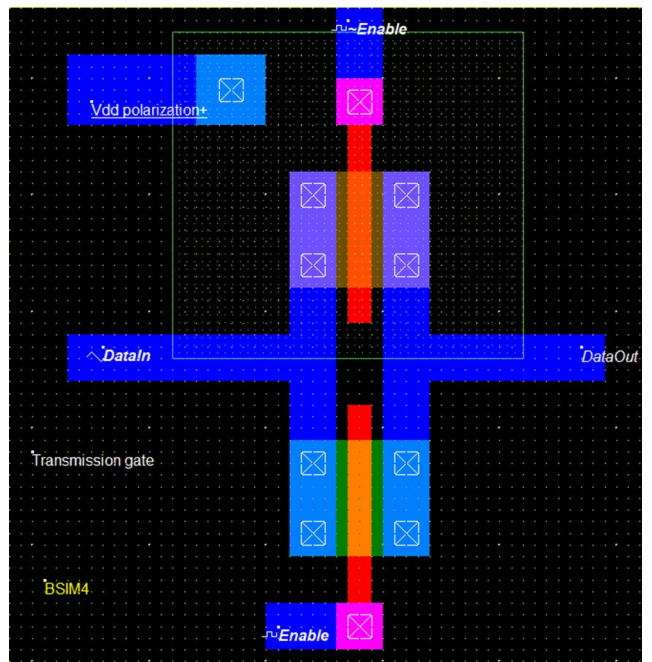
5. Σχεδιάστε και προσομοιώστε κύκλωμα το οποίο να εμφανίζει στην έξοδό του τους παλμούς εισόδου χωρίς αλλοίωση του πλάτους και για τις δύο λογικές στάθμες (transmission gate)..



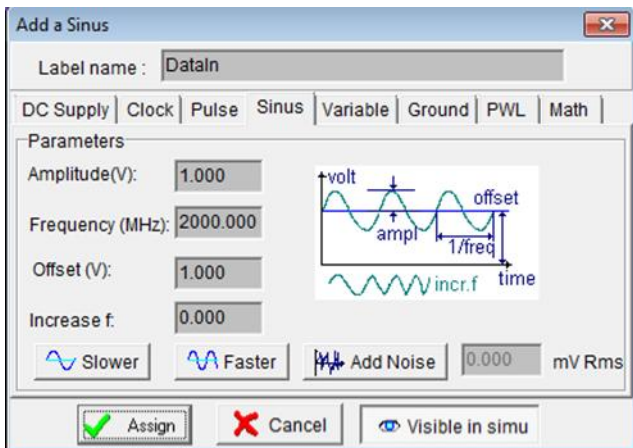
Εικόνα. Σχέδιο πύλης μετάδοσης στο Dsch.



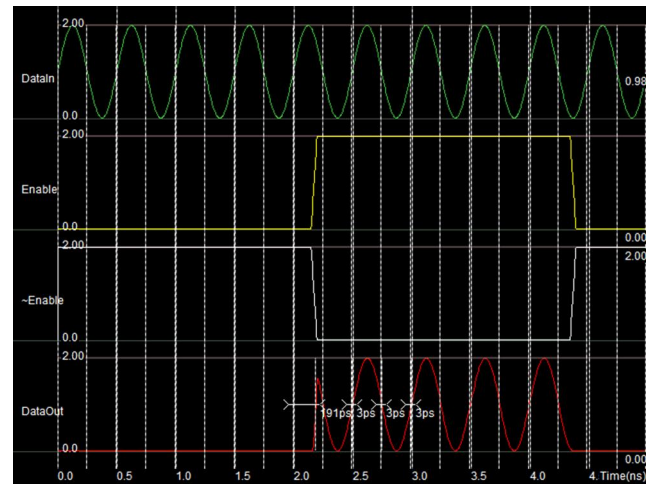
Εικόνα. Εναλλακτικό σχέδιο πύλης μετάδοσης στο Dsch.



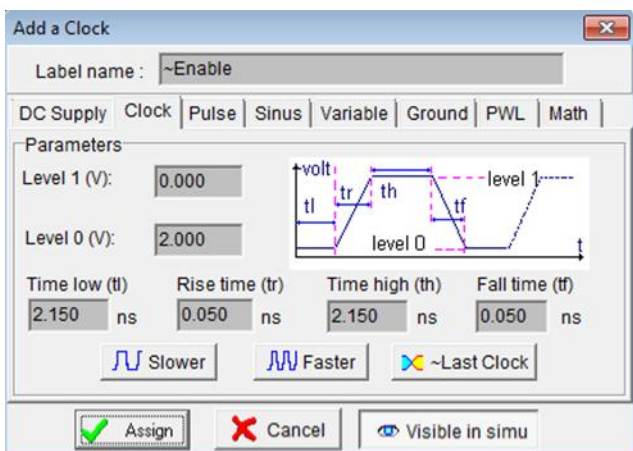
Εικόνα. Δομή πύλης μετάδοσης στο Microwind.



Εικόνα. Χαρακτηριστικά σήματος DataIn.

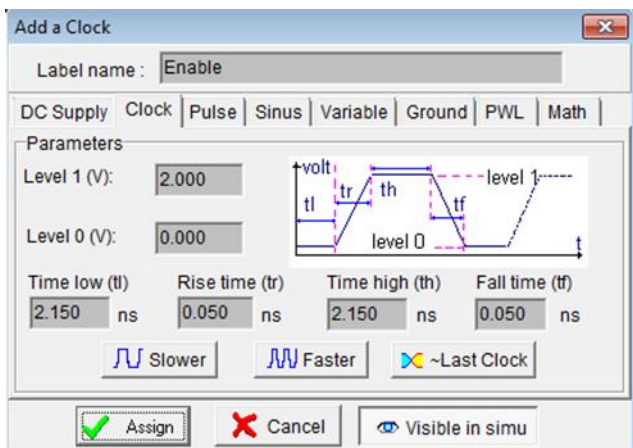


Εικόνα. Προσομοίωσης πύλης μετάδοσης.



Εικόνα. Χαρακτηριστικά ~enable.

6. Σχεδιάστε και προσομοιώστε κύκλωμα το οποίο να εμφανίζει στην έξοδό του τους παλμούς εισόδου χωρίς αλλοίωση του πλάτους και για τις δύο λογικές στάθμες (transmission gate) και να παρουσιάζει την ίδια καθυστέρηση στην ανοδική και την καθοδική παρυφή με φορτίο εξόδου 0.2pF.



Εικόνα. Χαρακτηριστικά enable.