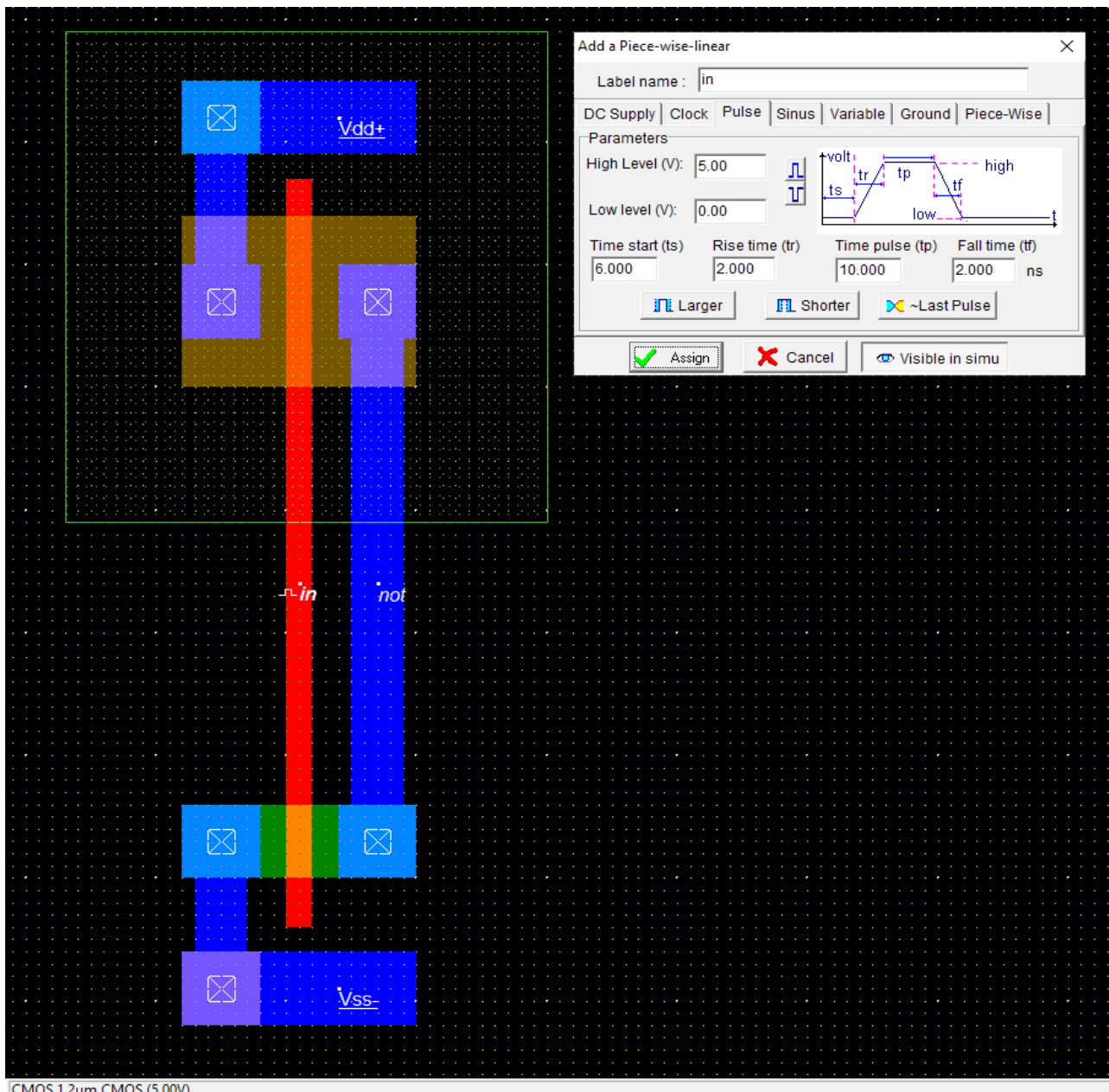


3η Εργαστηριακή Άσκηση

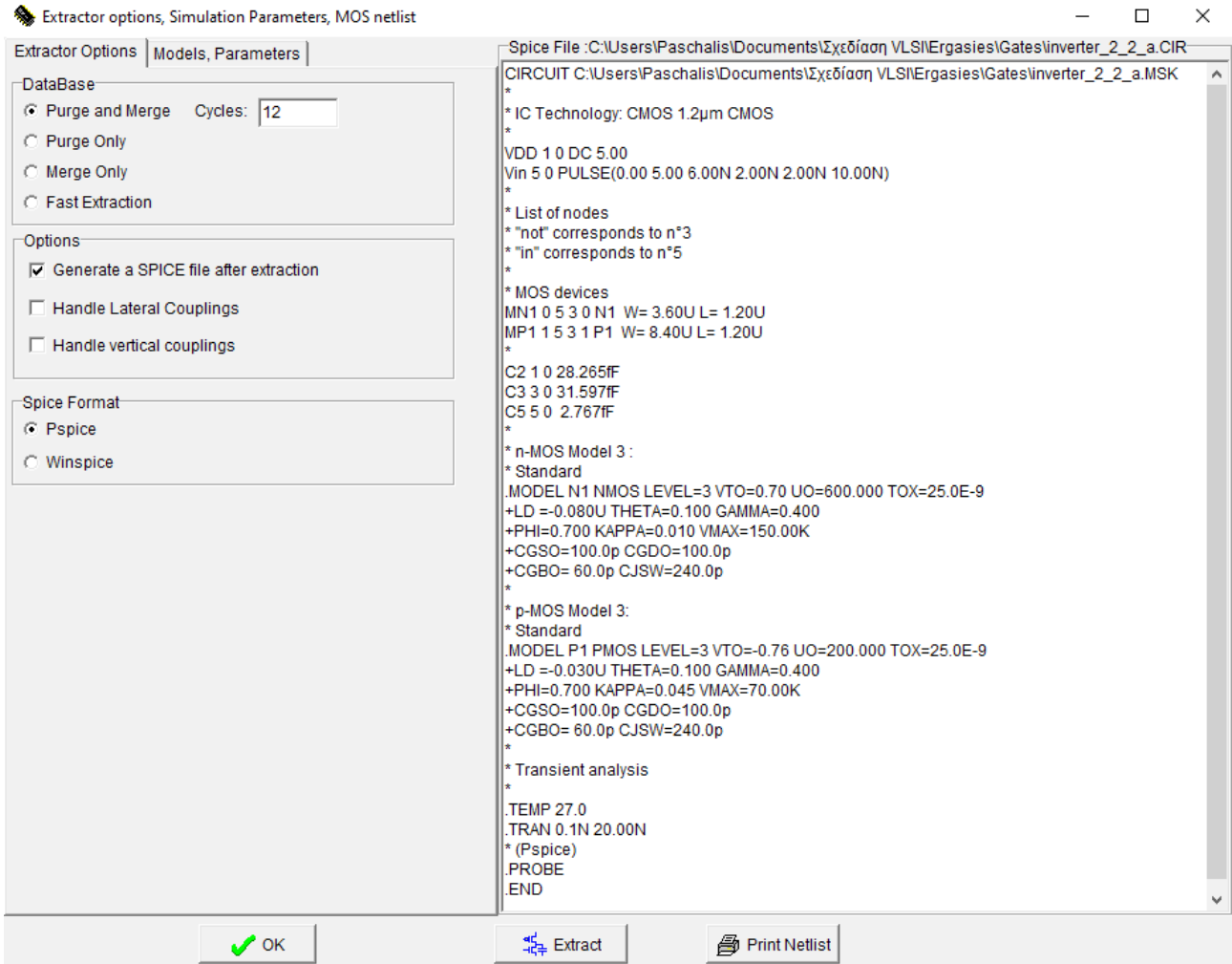
Μελέτη της Κατανάλωσης Ενέργειας και Φυσικός Σχεδιασμός Πυλών CMOS Πολύπλοκης Λογικής

2.2 Πειραματική Μελέτη Συνιστωσών Κατανάλωσης

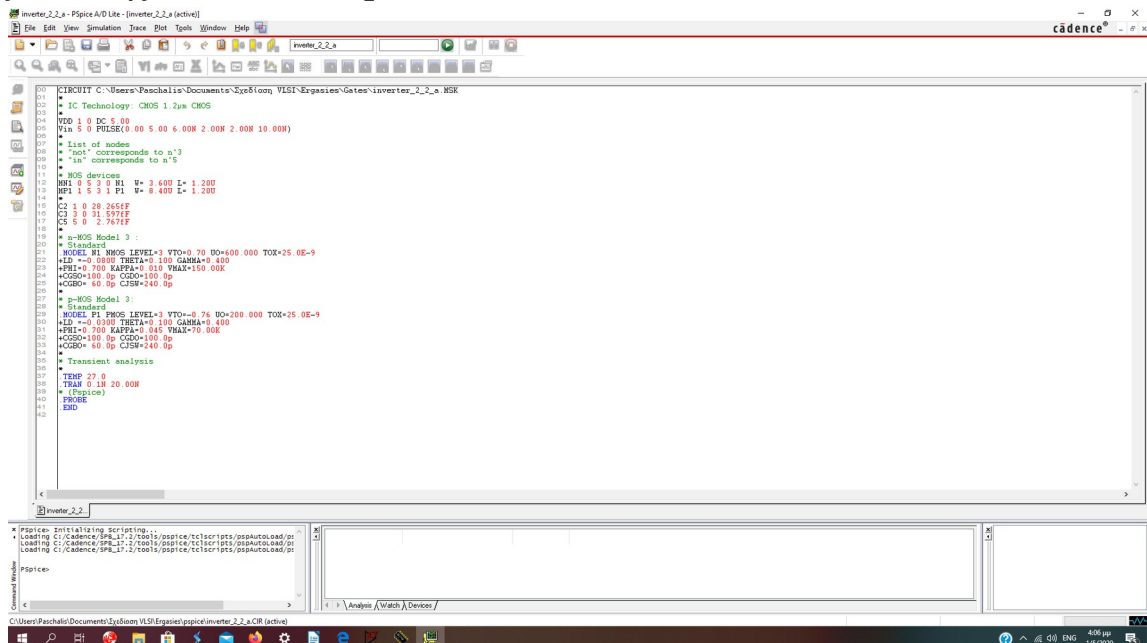
α) Σχεδιάστε έναν αντιστοφέα με τα παρακάτω χαρακτηριστικά: $L_n = L_p = 2\lambda = 1,2 \mu\text{m}$, $W_n = 3,6 \mu\text{m}$ και $W_p = 8,4 \mu\text{m}$, πλάτος λωρίδων μετάλλου τροφοδοσίας και γείωσης $3,6 \mu\text{m}$ και πλάτος διασυνδέσεων $2,4 \mu\text{m}$. Εφαρμόστε στην είσοδο του αντιστροφέα έναν παλμό με αρχικό χρόνο 6 ns στο μηδέν, χρόνους ανόδου και καθόδου 2 ns και χρόνο διάρκειας 10 ns .



β) Για την ακριβή μέτρηση των ρευμάτων στους εσωτερικούς κόμβους του κυκλώματος θα χρησιμοποιηθεί ο προσομοιωτής PSpice, καθώς το Microwind δεν παρέχει αυτήν τη δυνατότητα. Έτσι, πρέπει να παραχθεί η ισοδύναμη περιγραφή του κυκλώματος στη μορφή που απαιτείται από το PSpice. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί επιλέγοντας την εντολή “Convert Into...” → “Spice Netlist” από την καρτέλα “File”, έτσι εμφανίζεται το παράθυρο



γ) Από τον κατάλογο προγραμμάτων ανοίξτε το PSpice AD και εισάγετε το κύκλωμα μέσω της εντολής “File” → “Open”.



```

00 CIRCUIT C:\Users\Paschalis\Documents\Σχεδίαση VLSI\Ergasies\Gates\inverter_2_2_a.MSK
01 *
02 * IC Technology: CMOS 1.2μm CMOS
03 *
04 VDD 1 0 DC 5.00
05 Vpulse 5 0 PULSE(0.00 5.00 6.00N 2.00N 2.00N 10.00N)
06 *
07 * List of nodes
08 * "out1" corresponds to n*3
09 * "pulse" corresponds to n*5
10 *
11 * MOS devices
12 MN1 0 5 3 0 N1 W= 3.60U L= 1.20U
13 MP1 1 5 3 1 P1 W= 8.40U L= 1.20U
14 *
15 C2 1 0 28.265fF
16 C3 3 0 29.422fF
17 C5 5 0 1.633fF
18 *
19 * n-MOS Model 3 :
20 * Standard
21 .MODEL N1 NMOS LEVEL=3 VTO=0.70 UO=600.000 TOX=25.0E-9
22 +LD =-0.080U THETA=0.100 GAMMA=0.400
23 +PHI=0.700 KAPPA=0.010 VMAX=150.00K
24 +CGSO=100.0p CGDO=100.0p
25 +CGBO= 60.0p CJSW=240.0p
26 *
27 * p-MOS Model 3:
28 * Standard
29 .MODEL P1 PMOS LEVEL=3 VTO=-0.76 UO=200.000 TOX=25.0E-9
30 +LD =-0.030U THETA=0.100 GAMMA=0.400
31 +PHI=0.700 KAPPA=0.045 VMAX=70.00K
32 +CGSO=100.0p CGDO=100.0p
33 +CGBO= 60.0p CJSW=240.0p
34 *
35 * Transient analysis
36 *
37 .TEMP 27.0
38 .TRAN 0.1N 20.00N
39 * (Pspice)
40 .PROBE
41 .END
42

```

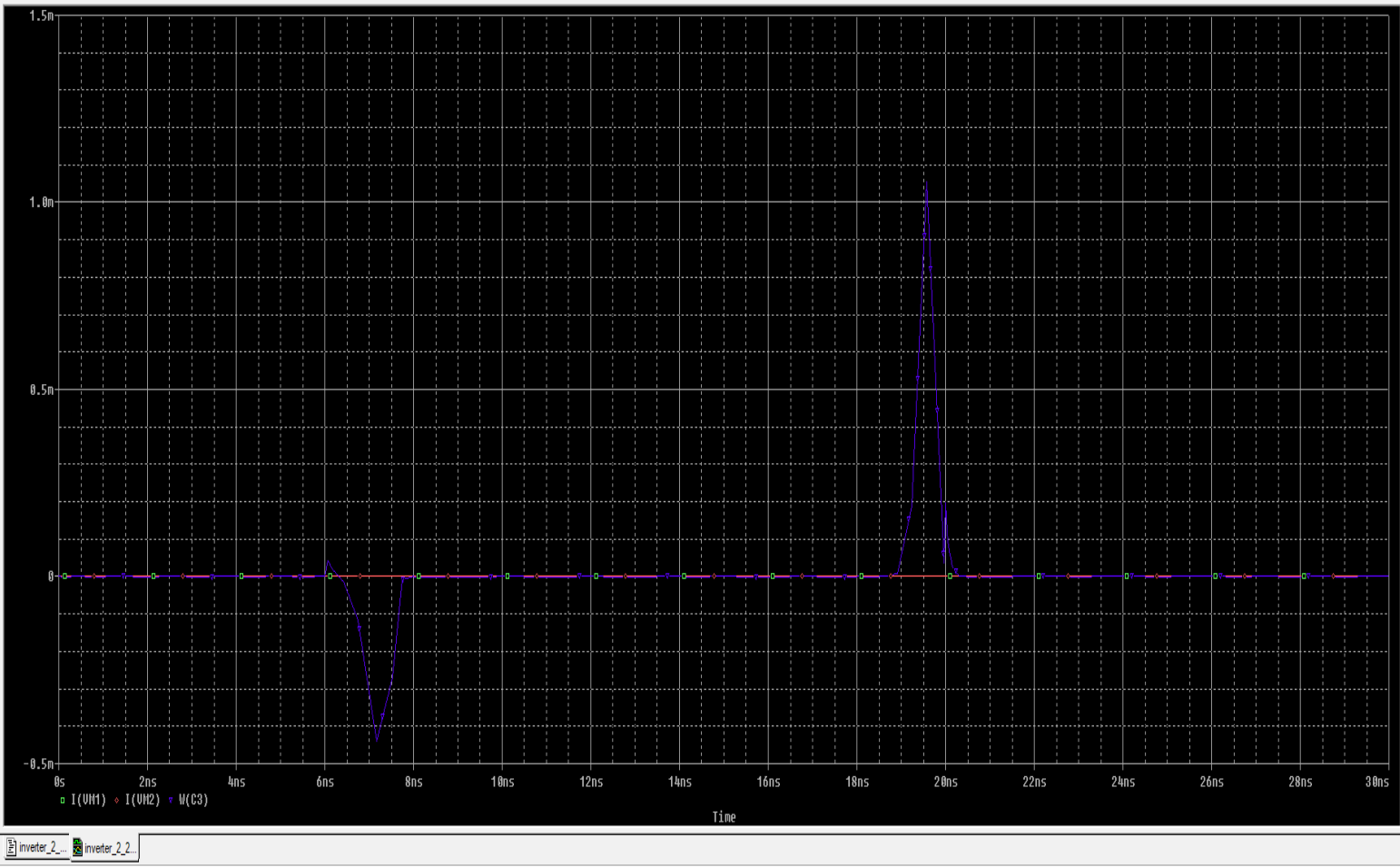
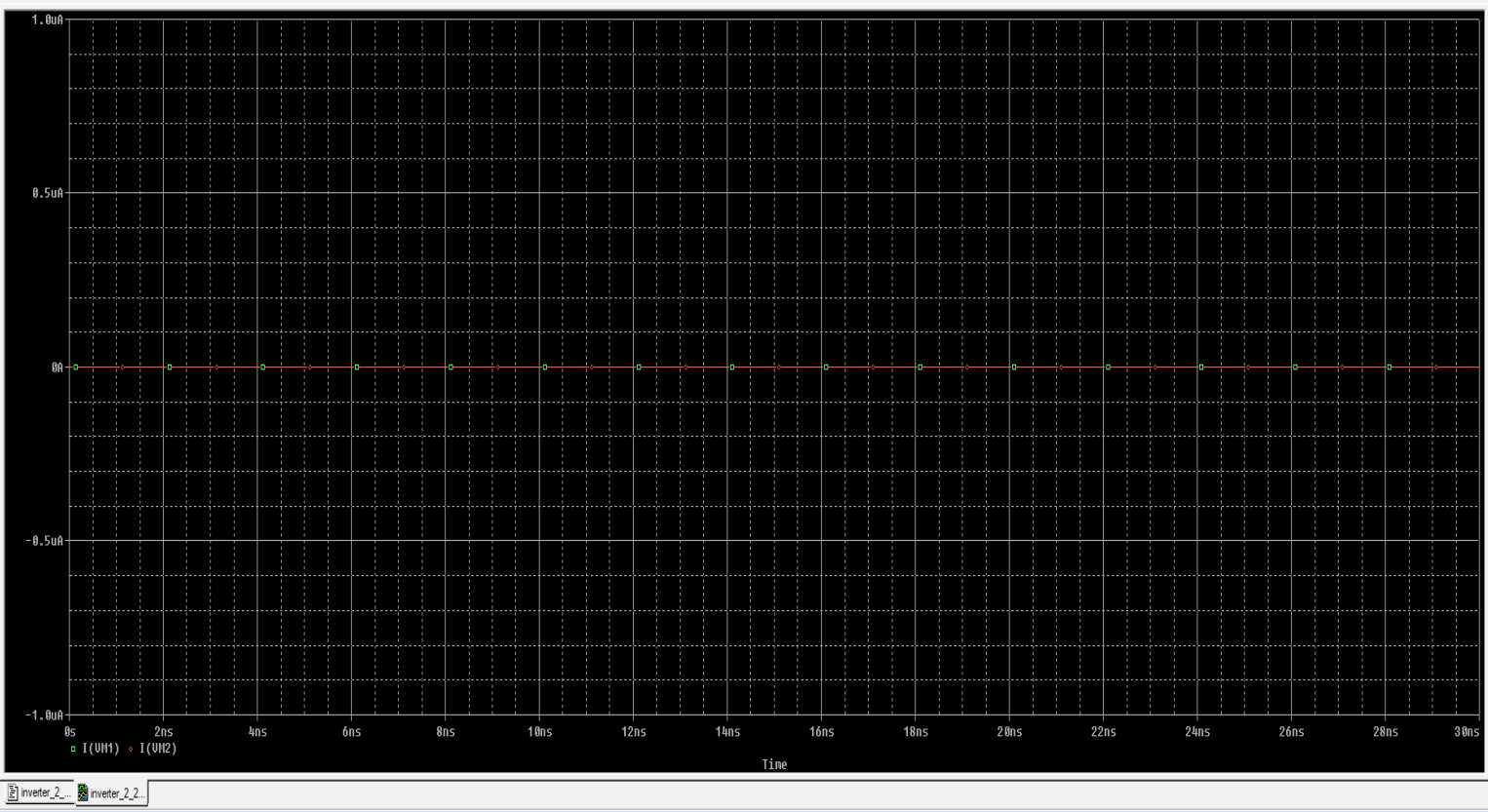
d) Ακολουθώντας τον παραπάνω τρόπο δήλωσης, τροποποιείτε το Spice μοντέλο του κυκλώματος ώστε να εισάγετε δύο πηγές μηδενικής DC τάσης στα σημεία που δείχνουν τα βέλη του Σχ. 2 παράγοντας το κύκλωμα του Σχ. 3. Επίσης μεταβάλλετε τον χρόνο προσομοίωσης σε 30 ns.

```

00 CIRCUIT C:\Users\Paschalis\Documents\Σχεδίαση VLSI\Ergasies\Gates\inverter_2_2_a.MSK
01 *
02 * IC Technology: CMOS 1.2μm CMOS
03 *
04 VDD 1 0 DC 5.00
05 Vpulse 5 0 PULSE(0.00 5.00 6.00N 2.00N 2.00N 10.00N)
06 VM1 4 3 DC 0.00 ←
07 VM2 3 2 DC 0.00 ←
08 *
09 * List of nodes
10 * "out1" corresponds to n*3
11 * "pulse" corresponds to n*5
12 *
13 * MOS devices
14 MN1 0 5 3 0 N1 W= 3.60U L= 1.20U
15 MP1 1 5 3 1 P1 W= 8.40U L= 1.20U
16 *
17 C2 1 0 28.265fF
18 C3 3 0 29.422fF
19 C5 5 0 1.633fF
20 *
21 * n-MOS Model 3 :
22 * Standard
23 .MODEL N1 NMOS LEVEL=3 VTO=0.70 UO=600.000 TOX=25.0E-9
24 +LD =-0.080U THETA=0.100 GAMMA=0.400
25 +PHI=0.700 KAPPA=0.010 VMAX=150.00K
26 +CGSO=100.0p CGDO=100.0p
27 +CGBO= 60.0p CJSW=240.0p
28 *
29 * p-MOS Model 3:
30 * Standard
31 .MODEL P1 PMOS LEVEL=3 VTO=-0.76 UO=200.000 TOX=25.0E-9
32 +LD =-0.030U THETA=0.100 GAMMA=0.400
33 +PHI=0.700 KAPPA=0.045 VMAX=70.00K
34 +CGSO=100.0p CGDO=100.0p
35 +CGBO= 60.0p CJSW=240.0p
36 *
37 * Transient analysis
38 *
39 .TEMP 27.0
40 .TRAN 0.1N 30.00N ←
41 * (Pspice)
42 .PROBE
43 .END
44

```

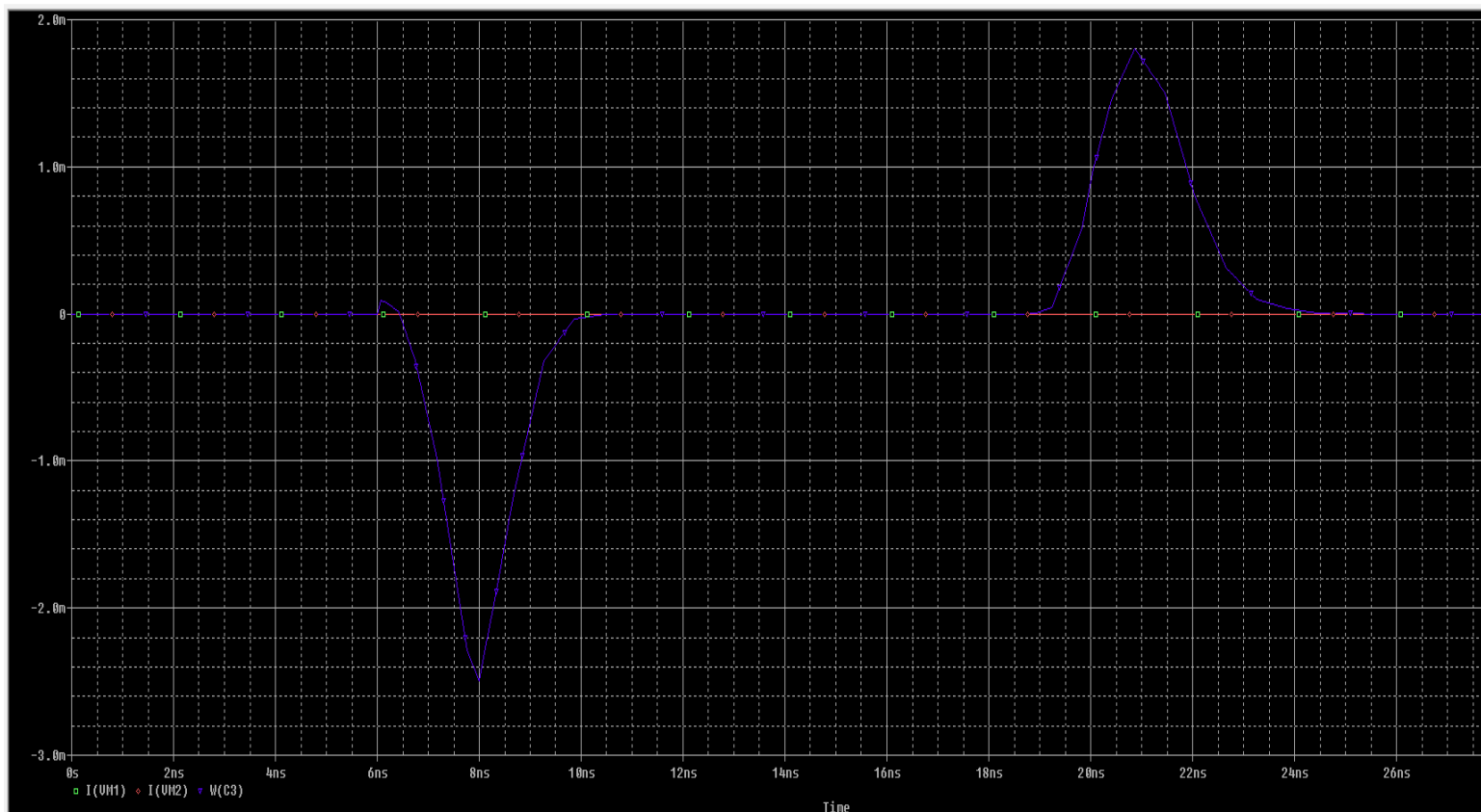
ε) Εκτελέστε την προσομοίωση επιλέγοντας την εντολή “Run” από την καρτέλα “Simulate”. Η εισαγωγή των κυματομορφών πραγματοποιείται επιλέγοντας την εντολή “Add Trace...” από την καρτέλα “Trace”. Αρχικά παρατηρείστε τα ρεύματα τα $I(VM1)$ και $I(VM2)$ των πηγών μηδενικής τάσης και στη συνέχεια την κατανάλωση στον κόμβο εξόδου $W(C4)$.



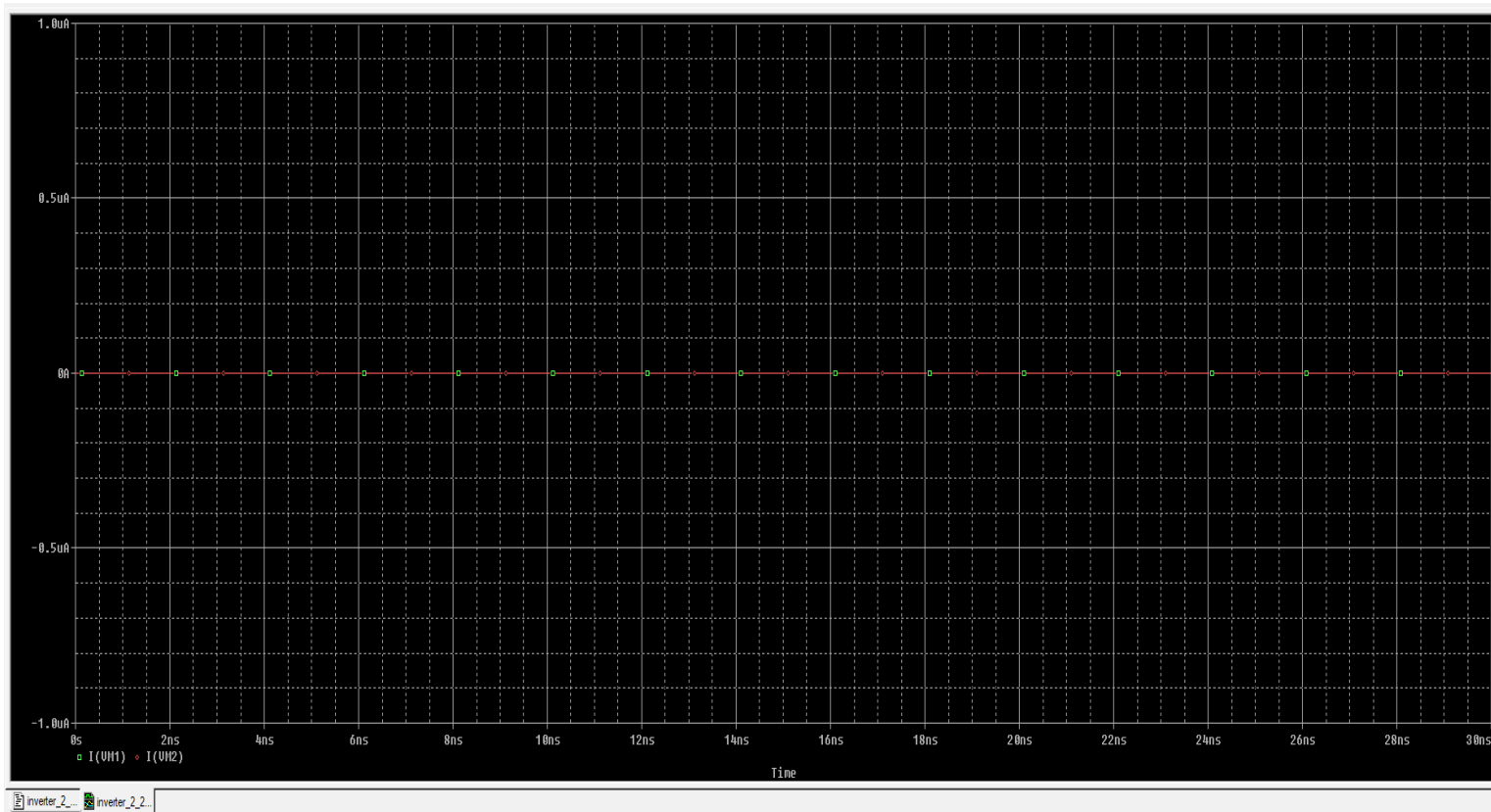
□ $I(VM1)$ ♦ $I(VM2)$ ▼ $W(C3)$

f) Αυξήστε το φορτίο εξόδου στα 300 fF, μεταβάλλοντας τη χωρητικότητα του κόμβου εξόδου (C3), και παρατηρήστε τη μεταβολή των ρευμάτων και της κατανάλωσης στον συγκεκριμένο κόμβο.

```
00 CIRCUIT C:\Users\Paschalis\Documents\Σχεδίαση VLSI\Ergasies\Gates\inverter_2_2_a.MSI
01 *
02 * IC Technology: CMOS 1.2μm CMOS
03 *
04 VDD 1 0 DC 5.00
05 Vpulse 5 0 PULSE(0.00 5.00 6.00N 2.00N 2.00N 10.00N)
06 VM1 4 3 DC 0.00
07 VM2 3 2 DC 0.00
08 *
09 * List of nodes
10 * "out1" corresponds to n*3
11 * "pulse" corresponds to n*5
12 *
13 * MOS devices
14 MN1 0 5 3 0 N1 W= 3.60U L= 1.20U
15 MP1 1 5 3 1 P1 W= 8.40U L= 1.20U
16 *
17 C2 1 0 28.265fF
18 C3 3 0 300fF ←
19 C5 5 0 1.633fF
20 *
21 * n-MOS Model 3 :
22 * Standard
23 .MODEL N1 NMOS LEVEL=3 VTO=0.70 UO=600.000 TOX=25.0E-9
24 +LD =-0.080V THETA=0.100 GAMMA=0.400
25 +PHI=0.700 KAPPA=0.010 VMAX=150.00K
26 +CGSO=100.0p CGDO=100.0p
27 +CGBO= 60.0p CJSW=240.0p
28 *
29 * p-MOS Model 3:
30 * Standard
31 .MODEL P1 PMOS LEVEL=3 VTO=-0.76 UO=200.000 TOX=25.0E-9
32 +LD =-0.030V THETA=0.100 GAMMA=0.400
33 +PHI=0.700 KAPPA=0.045 VMAX=70.00K
34 +CGSO=100.0p CGDO=100.0p
35 +CGBO= 60.0p CJSW=240.0p
36 *
37 * Transient analysis
38 *
39 .TEMP 27.0
40 .TRAN 0.1N 30.00N
41 * (Pspice)
42 .PROBE
43 .END
44
```



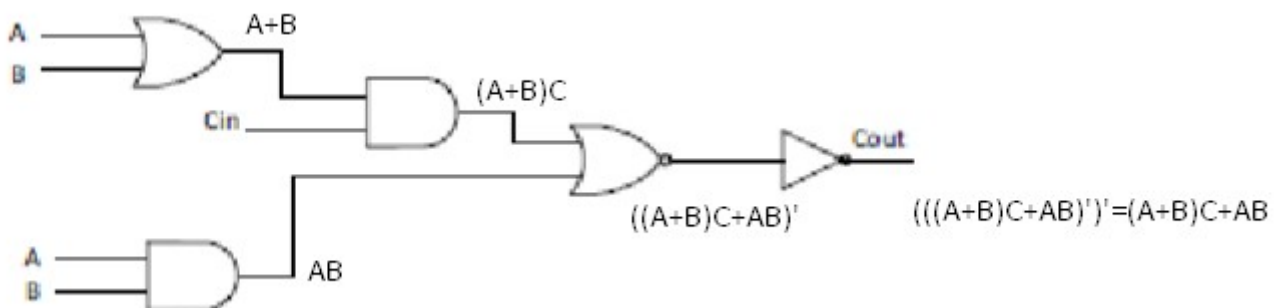
g) Μεταβάλλετε τους χρόνους ανόδου και καθόδου της κυματομορφής εισόδου σε 4 ns και παρατηρείστε τη μεταβολή των ρευμάτων των πηγών.



3 Φυσικός Σχεδιασμός Πολύπλοκων Λογικών Συναρτήσεων

3.2 Πειραματική Μελέτη Φυσικού Σχεδιασμού με Euler Paths

α) Στο Σχ. 7 δίνεται το διάγραμμα σε επίπεδο λογικών πυλών του κυκλώματος που παράγει το κρατούμενο σε έναν πλήρη αθροιστή. Να παραχθεί η λογική συνάρτηση που υλοποιεί το κύκλωμα αυτό και στη συνέχεια να σχεδιαστεί το κυκλωματικό διάγραμμα σε επίπεδο στοιχείων τύπου n και p, έτσι ώστε να είναι δυνατός ο φυσικός του σχεδιασμός κατά συνεχή τρόπο (δηλαδή σε μια βαθμίδα και έναν αντιστροφέα).



Μονοπάτι Euler (κύκλωμα Euler) ονομάζεται ένα μονοπάτι (κύκλωμα) που περνάει ακριβώς μία φορά από κάθε ακμή του γραφήματος.

3.2

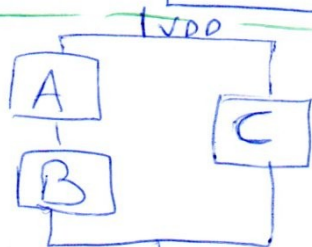
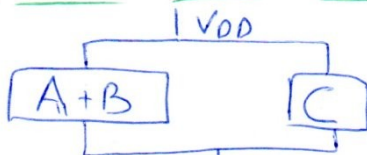
a)

$$(A+B)C + AB$$

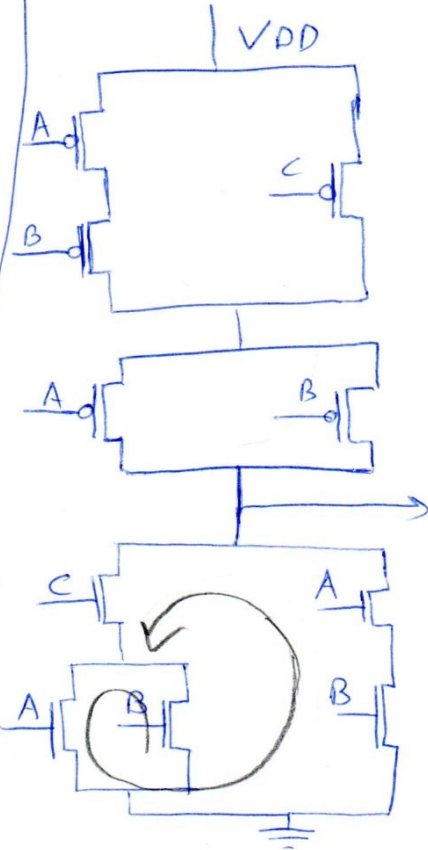
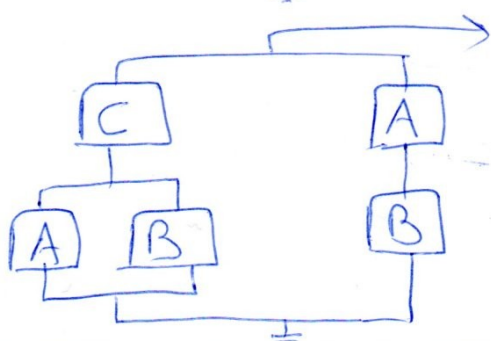
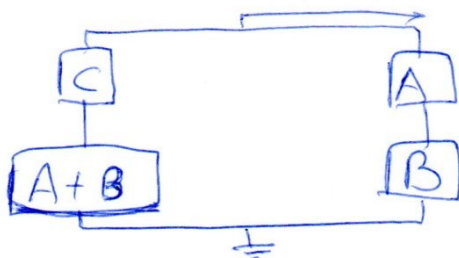
PMOS

$$(A+B)C$$

$$AB$$

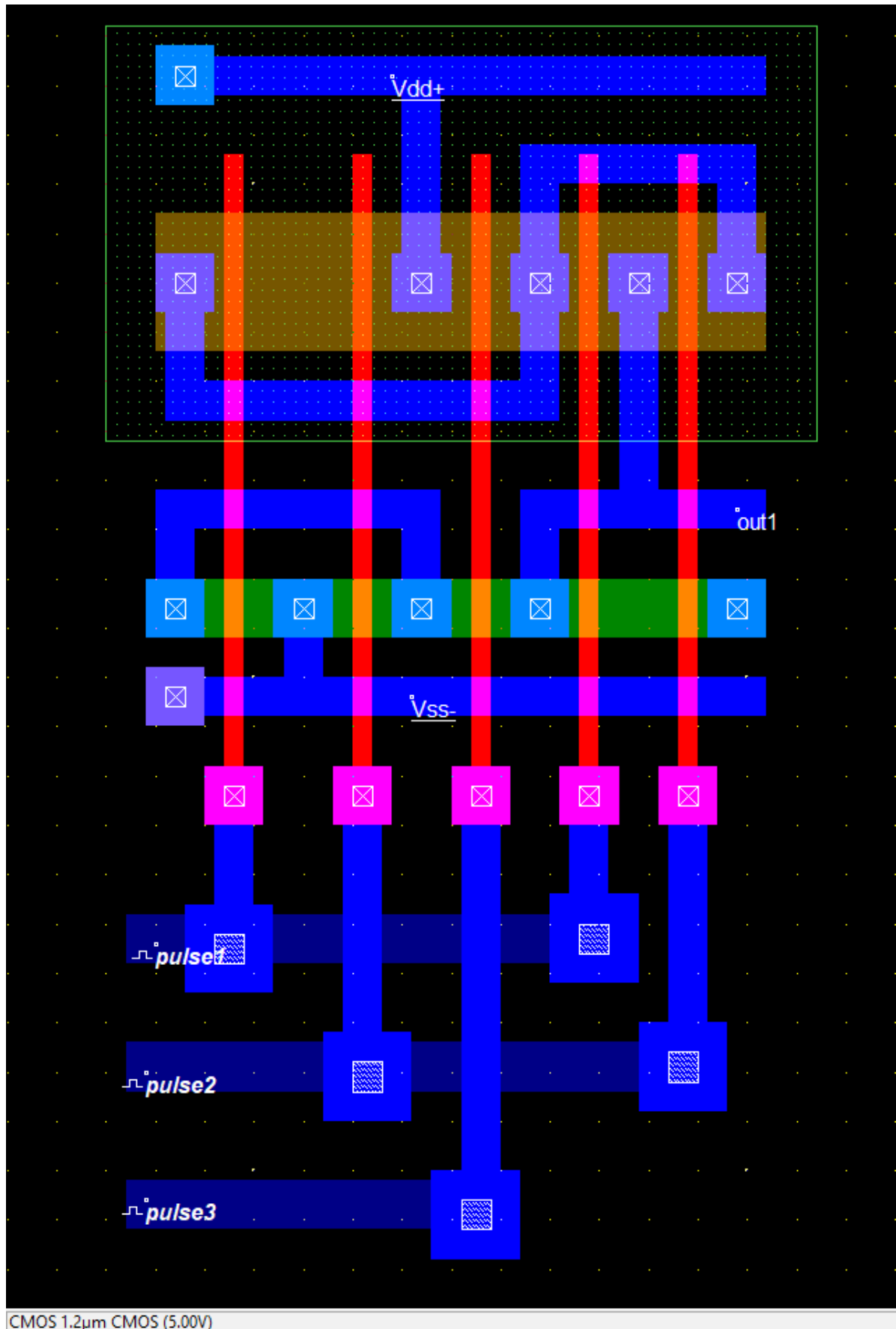


$$(A+B)C + AB$$

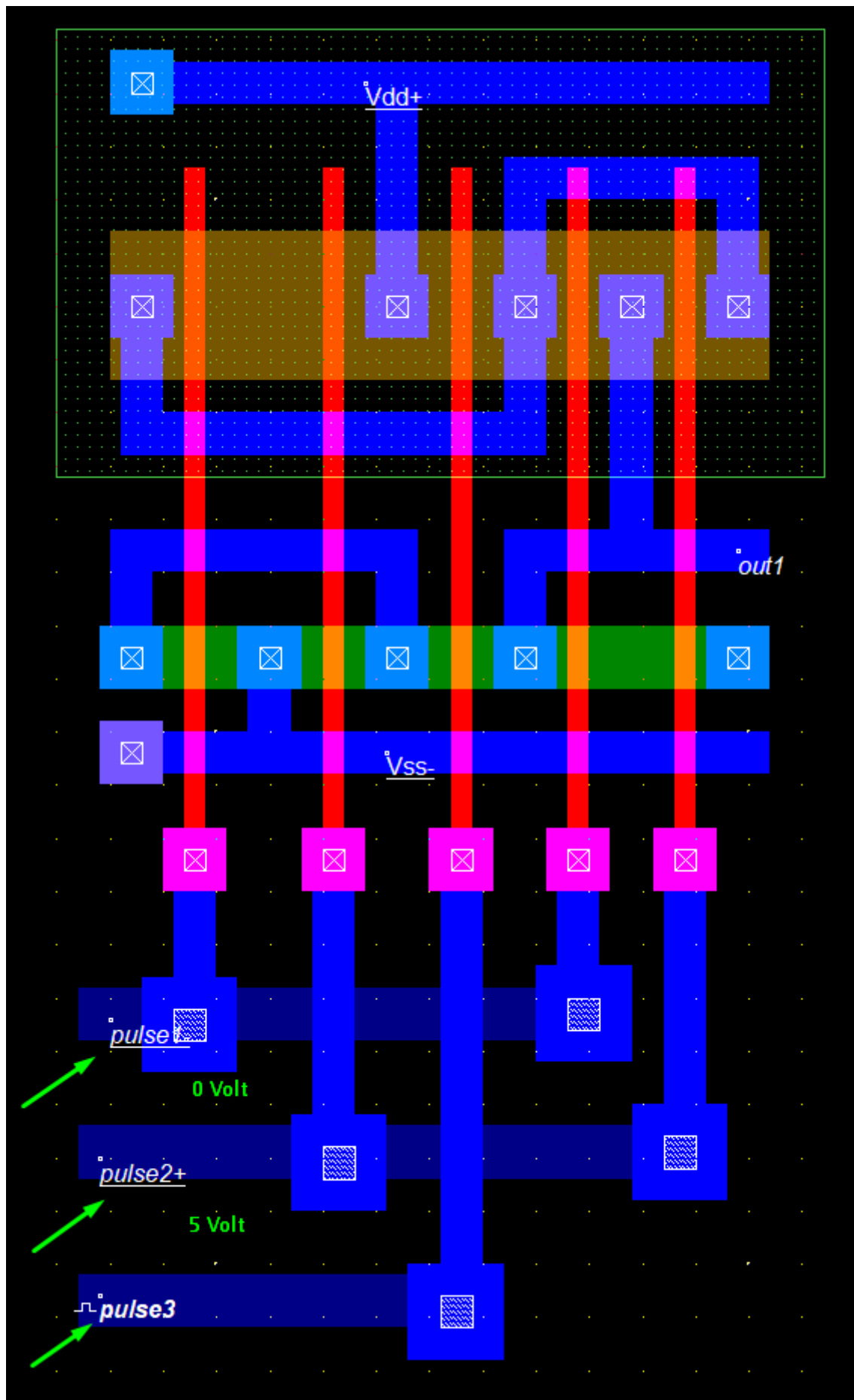


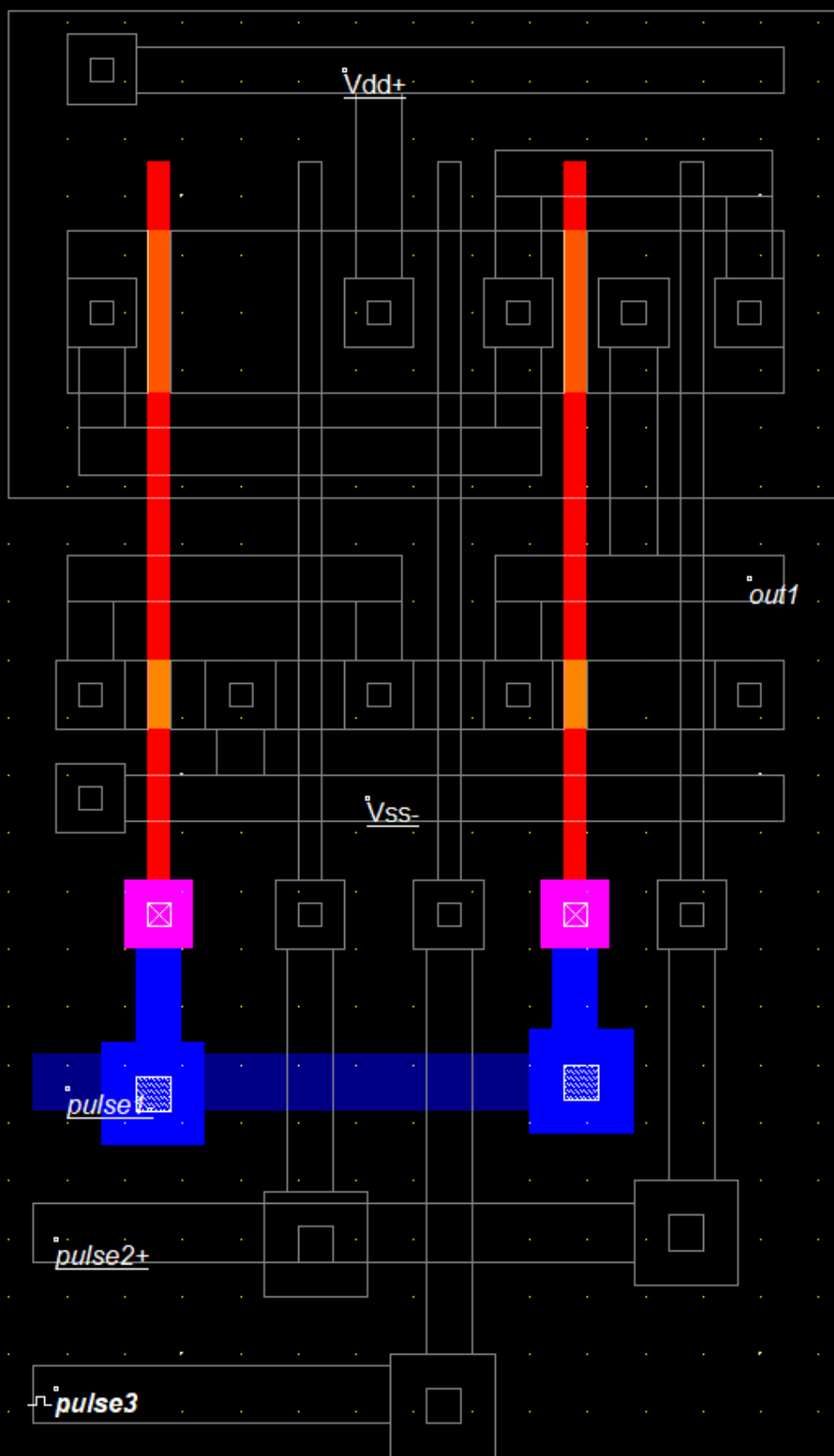
NMOS

b) Βρείτε ένα μονοπάτι Euler και σχεδιάστε το κύκλωμα παραγωγής του κρατούμενου χρησιμοποιώντας τα εξής χαρακτηριστικά: $L_n = L_p = 1,2 \mu\text{m}$, $W_n = 3,6 \mu\text{m}$, $W_p = 8,4 \mu\text{m}$, πλάτος λωρίδων τροφοδοσίας και γείωσης $3,6 \mu\text{m}$ και πλάτος διασυνδέσεων $2,4 \mu\text{m}$.



ε) Μετρείστε τις χωρητικότητες εισόδου και εξόδου του κυκλώματος και την καθυστέρηση του παραπάνω κυκλώματος από την είσοδο C_{in} στην έξοδο. Κατά την προσομοίωση χρησιμοποιείτε διαδοχικούς παλμούς στην είσοδο C_{in} με χρόνους ανόδου και καθόδου 2 ns, χρόνο διάρκειας 7 ns και αρχικό χρόνο 2 ns και εφαρμόστε σταθερές στάθμες στις υπόλοιπες δύο εισόδους ($B = 5\text{ V}$, $A = 0\text{ V}$).





Navigator

Ctrlk Props Device

Node "pulse1"

Property: ground

Appear in simu

53.71 fF

1604 ohm

181 μ m

0.06 nH

pulse1, visible, ground

—Node Properties—

CAPA:(53.71fF)

.Metal Capa:14.05 fF

.Crosstalk:0.00 fF

.Diffusion:0.00 fF

.Gate:39.66 fF

RESISTANCE:(1604ohm)

.Metal Res: 1 Ohm

.Poly Res:1600 Ohm

.Cont/Via Res: 3 Ohm

.Diff Res : 0 Ohm

DELAY:

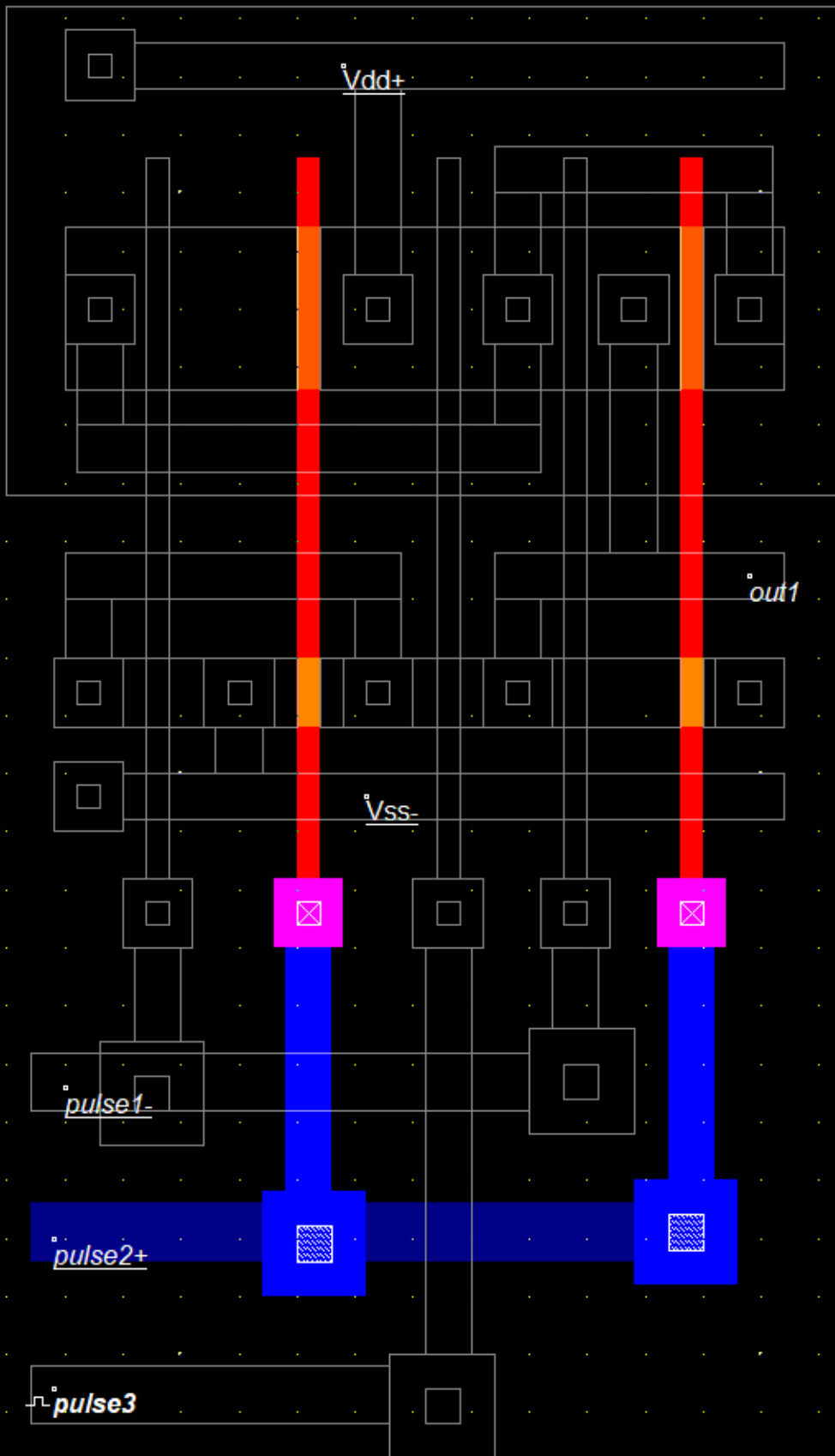
.Rise delay:0.000 ns

.Fall delay:0.000 ns

INDUCTANCE:

.L=0.06 nH

Hide Unselect



Navigator

Ctrlk Props Device

Node "pulse2"

Property: 5.000V

Appear in simu

56.63 fF

1605 ohm

202 μ m

0.06 nH

pulse2, visible, supply

---Node Properties---

CAPA:(56.63fF)

.Metal Capa:16.97 fF

.Crosstalk :0.00 fF

.Diffusion :0.00 fF

.Gate :39.66 fF

RESISTANCE:(1605ohm)

.Metal Res: 2 Ohm

.Poly Res :1600 Ohm

.Cont/Via Res: 3 Ohm

.Diff Res : 0 Ohm

DELAY:

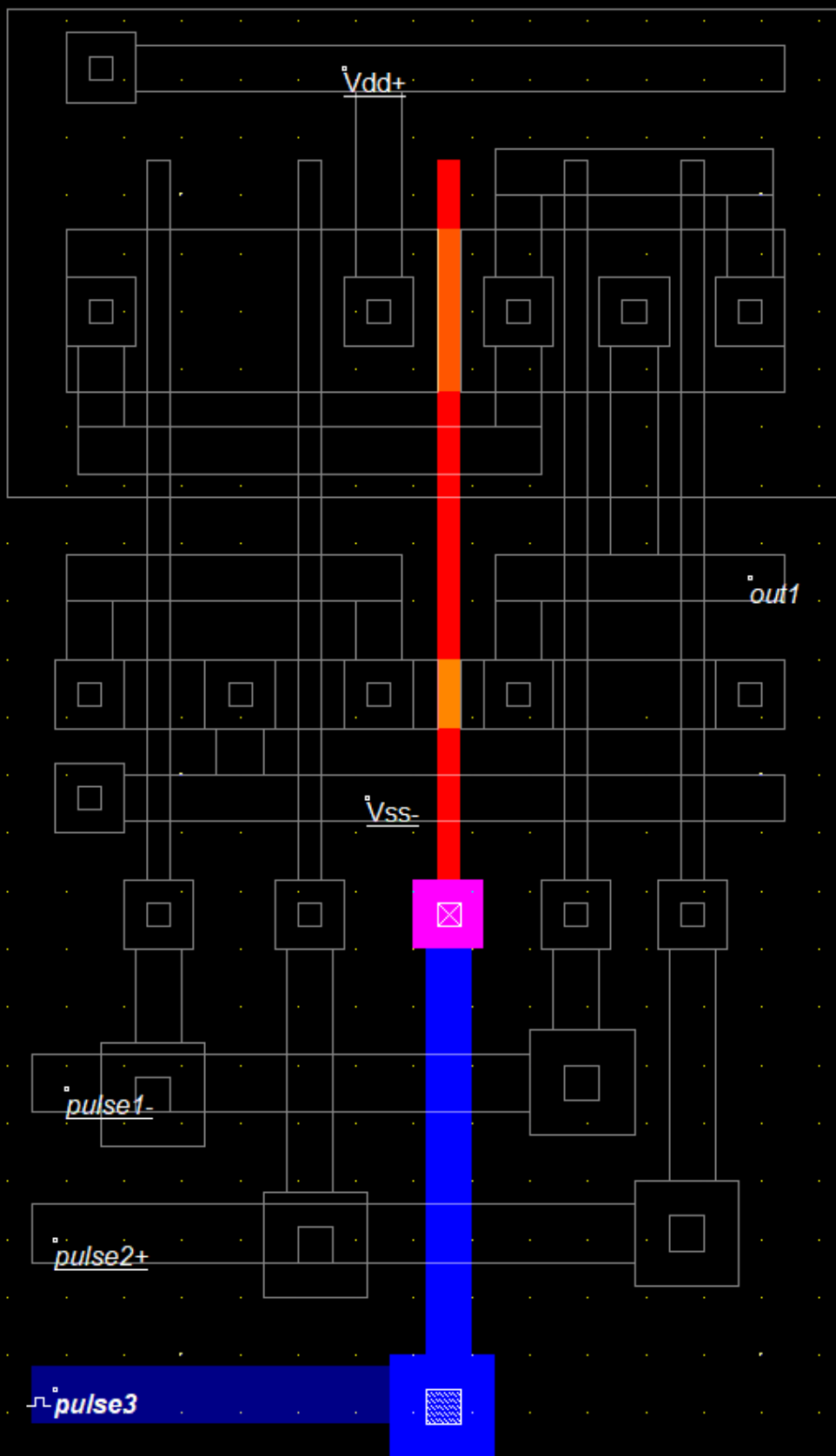
.Rise delay :0.000 ns

.Fall delay :0.000 ns

INDUCTANCE:

.L=0.06 nH

Hide Unselect



Navigator

Ctlk Props Device

Node "pulse3"

Property: pulse

Appear in simu

31.05 fF

802 ohm

110 μ m

0.03 nH

pulse3, visible , pulse

---Node Properties---

CAPA:(31.05fF)

.Metal Capa:11.22 fF

.Crosstalk :0.15 fF

.Diffusion :0.00 fF

.Gate :19.83 fF

RESISTANCE:(802ohm)

.Metal Res: 1 Ohm

.Poly Res :800 Ohm

.Cont/Via Res: 1 Ohm

.Diff Res : 0 Ohm

DELAY:

.Rise delay :0.000 ns

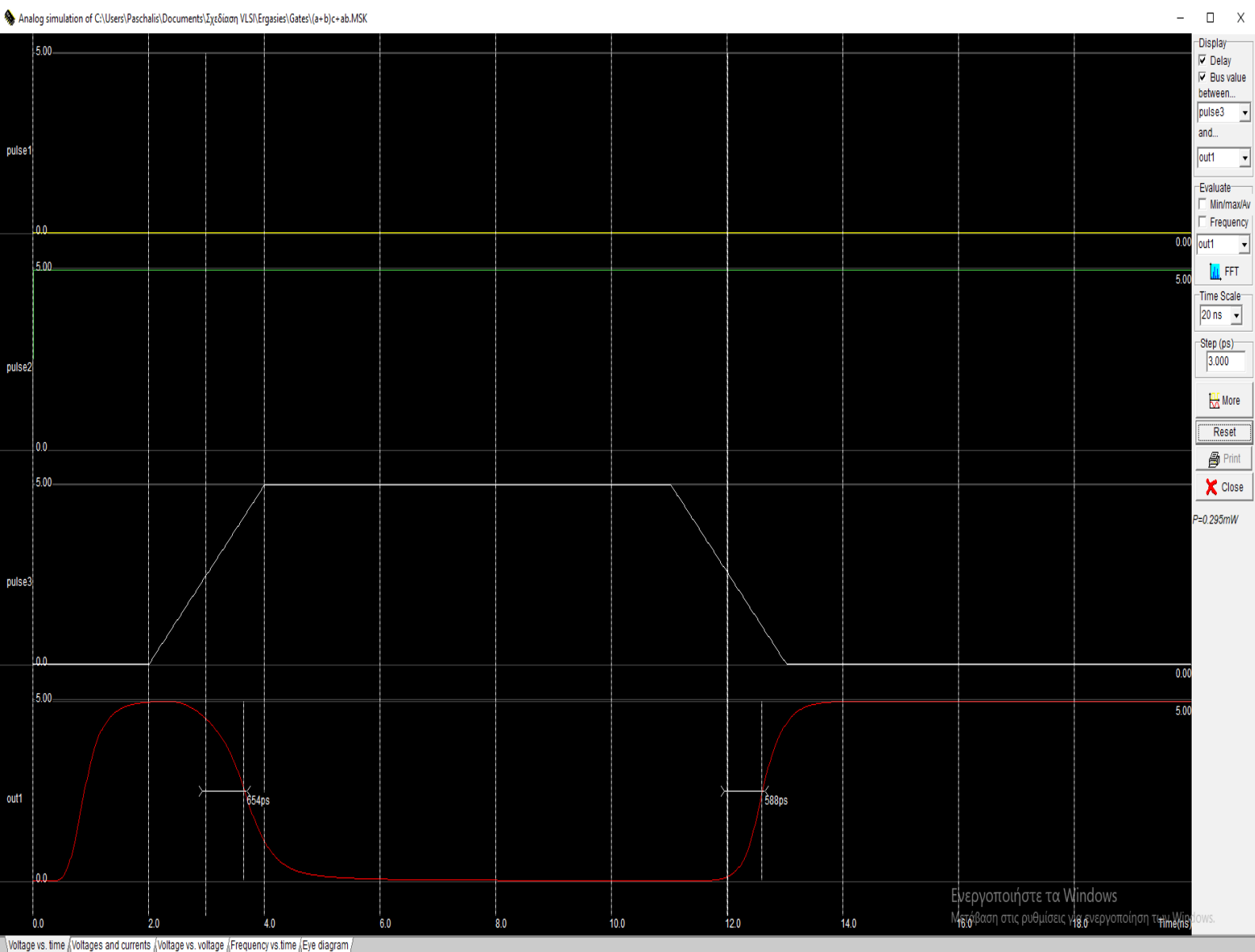
.Fall delay :0.000 ns

INDUCTANCE:

.L=0.03 nH

Hide

Unselect

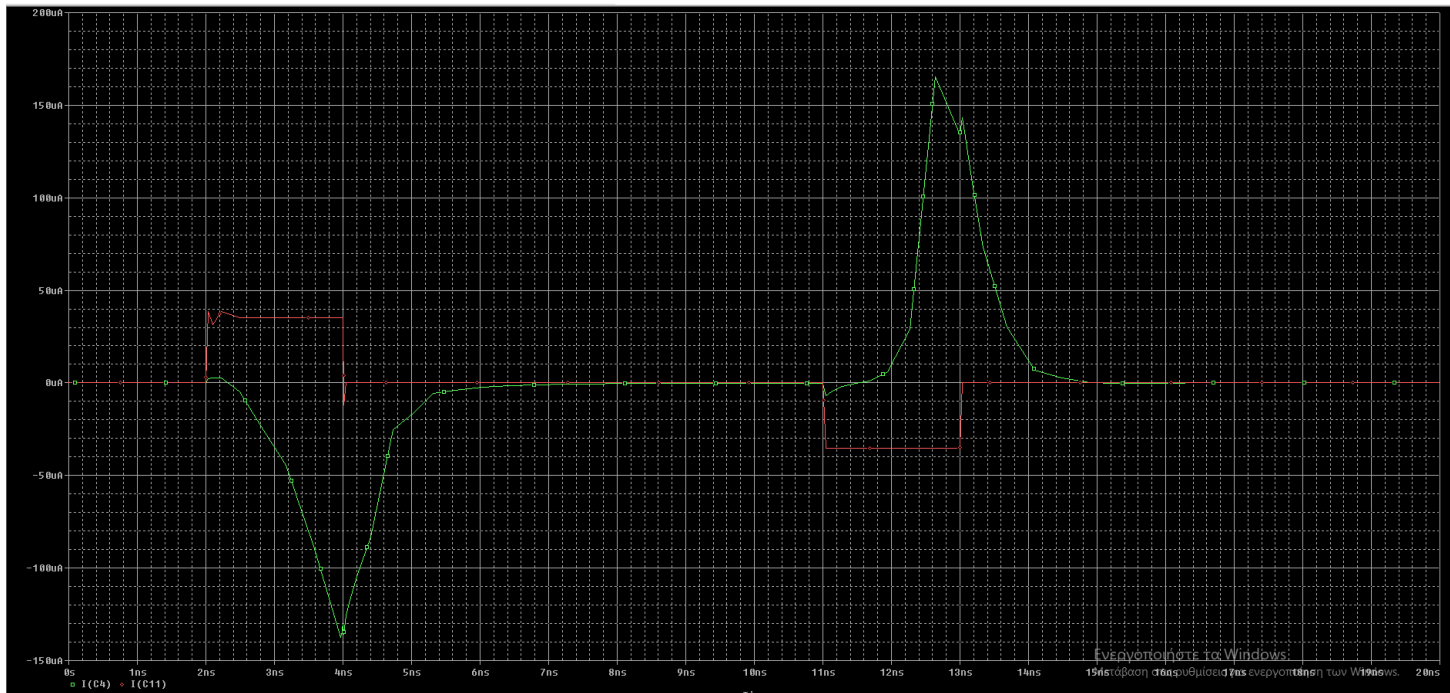


d) Προσθέστε στο PSpice ισοδύναμο του κυκλώματος τις κατάλληλες πηγές μηδενικής τάσης, έτσι ώστε να μετρήσετε τα ρεύματα φόρτισης και εκφόρτισης του εσωτερικού κόμβου και της συνολικής εξόδου, καθώς και τα ρεύματα βραχυκυκλώματος στο κύκλωμα που σχεδιάστηκε.

```

00 CIRCUIT C:\Users\Paschalis\Documents\Σχεδιασµ VLSI\Ergasies\Gates\ (a+b)c+ab.MSK
01 *
02 * IC Technology: CMOS 1.2µm CMOS
03 *
04 VDD 1 0 DC 5.00
05 Vpulse3 11 0 PULSE(0.00 5.00 2.00N 2.00N 2.00N 7.00N)
06 *
07 * List of nodes
08 * "N3" corresponds to n`3
09 * "out1" corresponds to n`4
10 * "N5" corresponds to n`5
11 * "N7" corresponds to n`7
12 * "N8" corresponds to n`8
13 * "N9" corresponds to n`9
14 * "pulse2" corresponds to n`10
15 * "pulse3" corresponds to n`11
16 * "pulse1" corresponds to n`12
17 *
18 * MOS devices
19 MN1 8 1 7 0 N1 W= 3.60U L= 1.20U
20 MN2 4 0 8 0 N1 W= 3.60U L= 1.20U
21 MN3 9 11 4 0 N1 W= 3.60U L= 1.20U
22 MN4 0 1 9 0 N1 W= 3.60U L= 1.20U
23 MN5 9 0 0 0 N1 W= 3.60U L= 1.20U
24 MP1 4 1 3 1 P1 W= 8.40U L= 1.20U
25 MP2 3 0 4 1 P1 W= 8.40U L= 1.20U
26 MP3 1 11 3 1 P1 W= 8.40U L= 1.20U
27 MP4 5 1 1 1 P1 W= 8.40U L= 1.20U
28 MP5 3 0 5 1 P1 W= 8.40U L= 1.20U
29 *
30 C2 1 0 36.739fF
31 C3 3 0 60.988fF
32 C4 4 0 33.953fF
33 C5 5 0 22.150fF
34 C7 7 0 9.183fF
35 C8 8 0 9.161fF
36 C9 9 0 26.637fF
37 C10 1 0 24.228fF
38 C11 11 0 14.036fF
39 *
40 * n-MOS Model 3 :
41 * Standard
42 .MODEL N1 NMOS LEVEL=3 VTO=0.70 UO=600.000 TOX=25.0E-9
43 +LD =-0.080U THETA=0.100 GAMMA=0.400
44 +PHI=0.700 KAPPA=0.010 VMAX=150.00K
45 +CGSO=100.0p CGDO=100.0p
46 +CGBO= 60.0p CJSW=240.0p
47 *
48 * p-MOS Model 3:
49 * Standard
50 .MODEL P1 PMOS LEVEL=3 VTO=-0.76 UO=200.000 TOX=25.0E-9
51 +LD =-0.030U THETA=0.100 GAMMA=0.400
52 +PHI=0.700 KAPPA=0.045 VMAX=70.00K
53 +CGSO=100.0p CGDO=100.0p
54 +CGBO= 60.0p CJSW=240.0p
55 *
56 * Transient analysis
57 *
58 .TEMP 27.0
59 .TRAN 0.1N 20.00N
60 * (Pspice)
61 .PROBE
62 .END
63

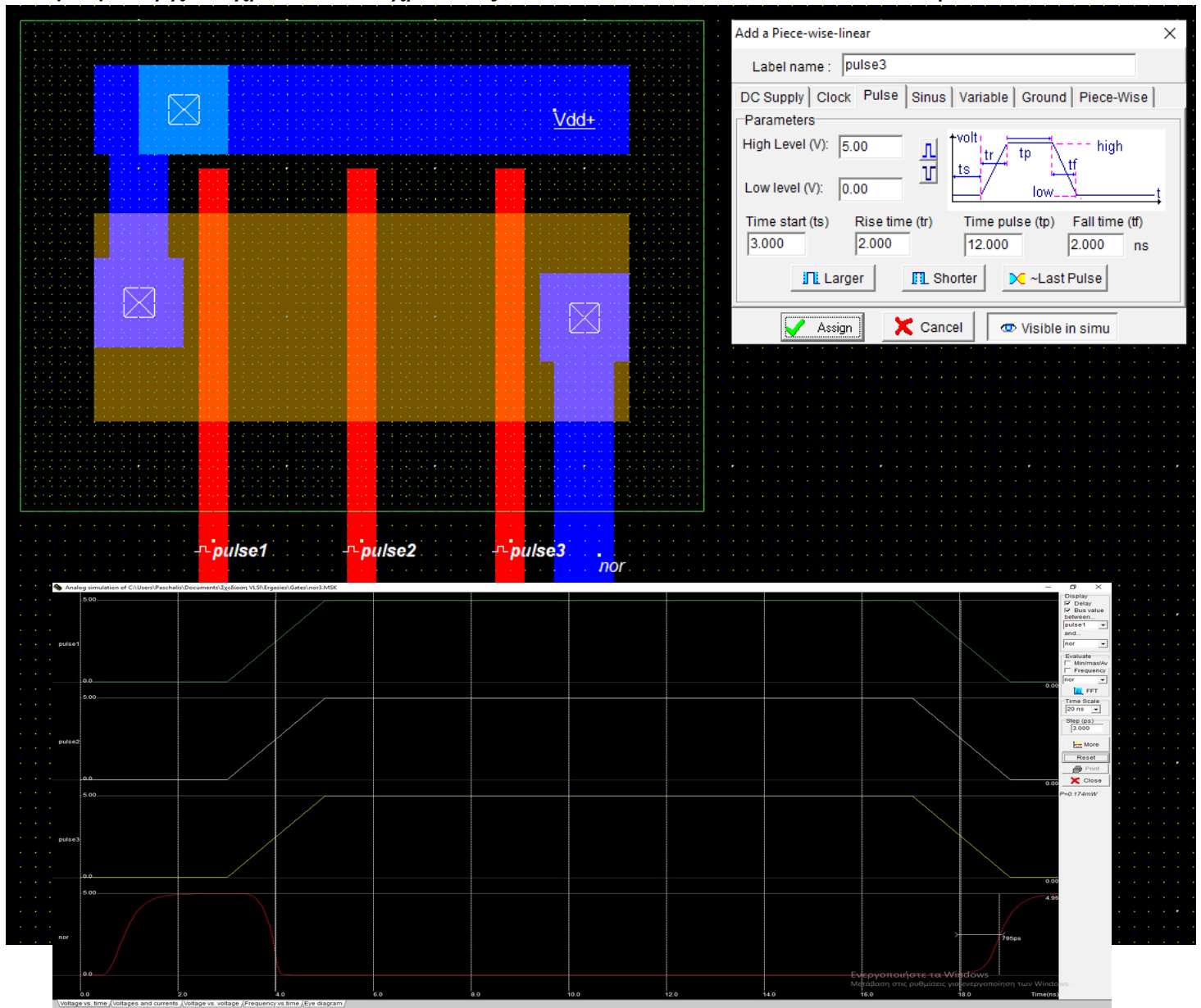
```



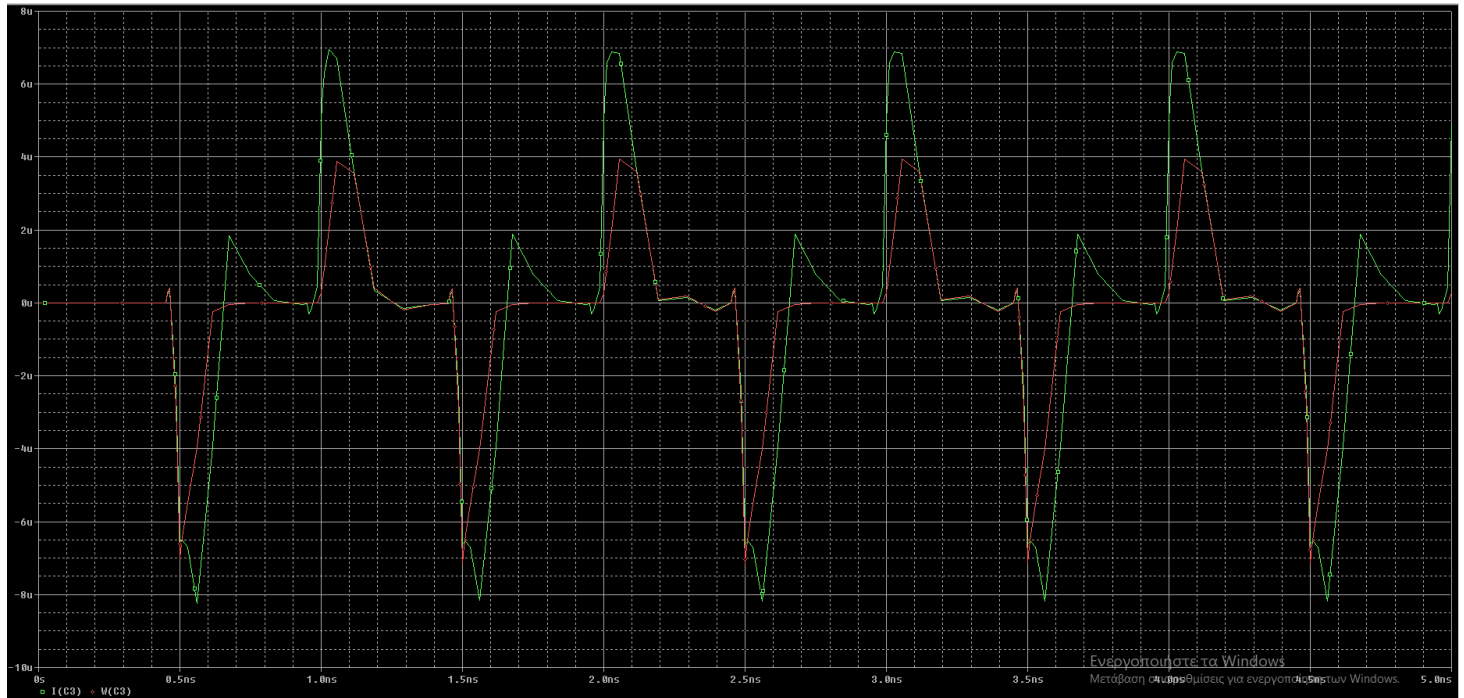
4 Ερωτήσεις

4.1 Μελέτη Συνιστωσών Κατανάλωσης

α) Σχεδιάστε μια πύλη NOR τριών εισόδων με τα εξής χαρακτηριστικά: $L_n = L_p = 1,2 \mu\text{m}$, $W_n = 3,6 \mu\text{m}$, $W_p = 8,4 \mu\text{m}$, πλάτος λωρίδων μετάλλου τροφοδοσίας και γείωσης $3,6 \mu\text{m}$ και πλάτος διασυνδέσεων $2,4 \mu\text{m}$. Εφαρμόστε σε όλες τις εισόδους της πύλης έναν παλμό με αρχικό χρόνο 3 ns , χρόνους ανόδου και καθόδου 2 ns και διάρκεια 12 ns .



b) Μετρείστε κατά προσέγγιση την ενέργεια βραχυκυκλώματος και την ενέργεια που καταναλώνεται λόγω του χωρητικού φορτίου στην έξοδο κατά τη διάρκεια ενός παλμού εισόδου με τη βοήθεια πηγών μηδενικής τάσης.

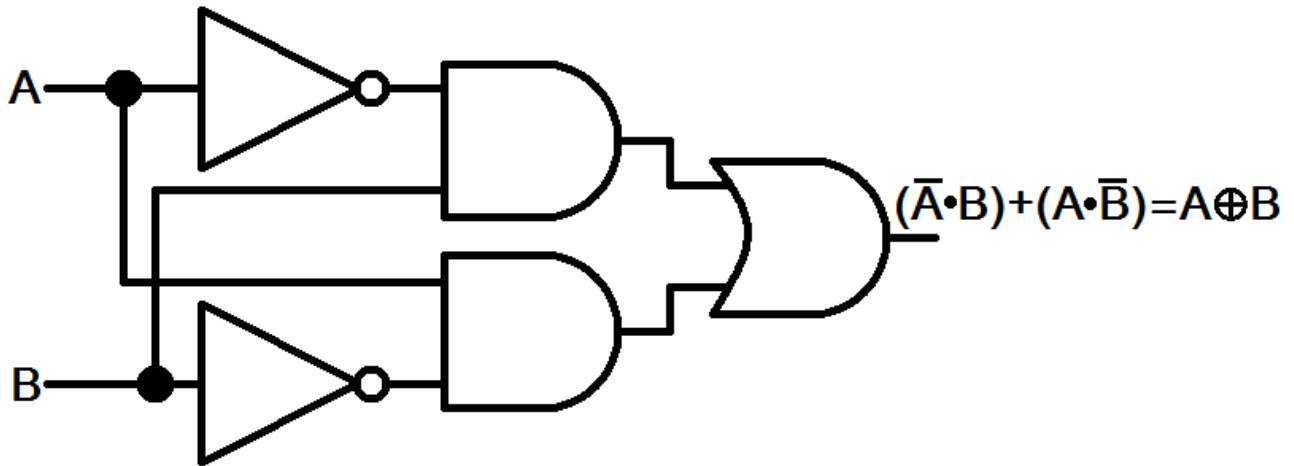
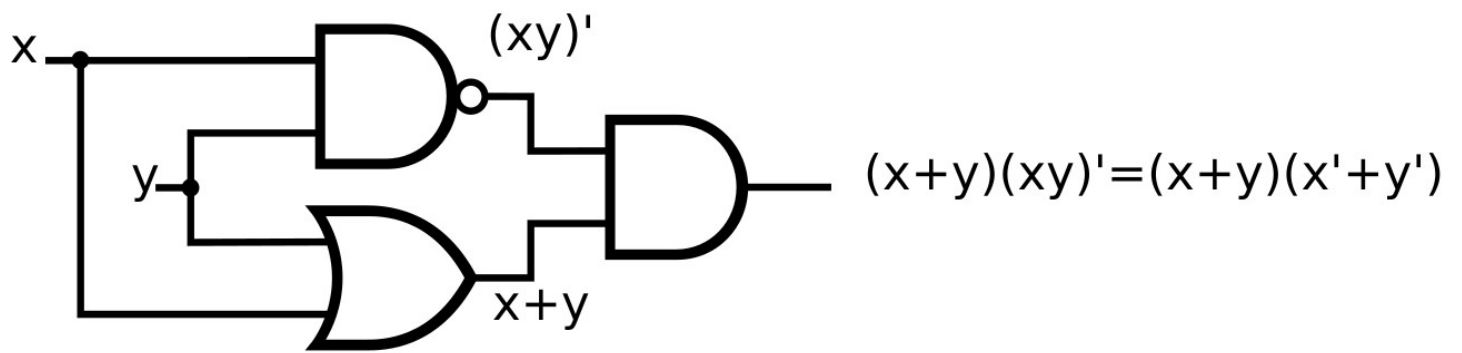


c) Επαναλάβετε τη μέτρηση και των δύο τύπων κατανάλωσης ενέργειας θέτοντας παλμό μόνο στη μία είσοδο της πύλης, ενώ στις υπόλοιπες σταθερές στάθμες. Πού οφείλεται η ενδεχόμενη αλλαγή στις τιμές των ενεργειών που μετρήθηκαν;

4.2

Σχεδιασμός Πυλών Σύνθετης Λογικής

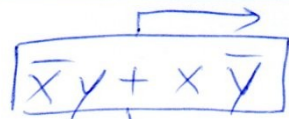
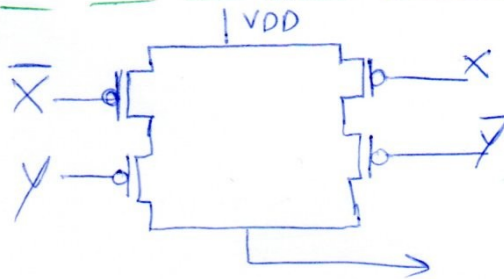
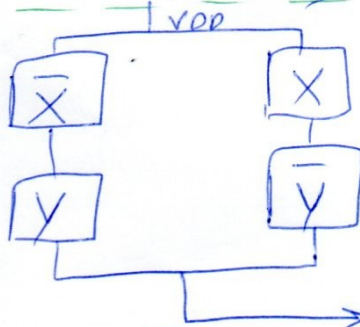
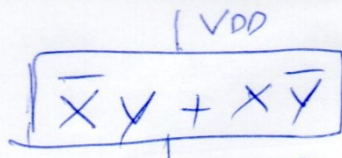
a) Σχεδιάστεσε επίπεδο λογικών πυλών μία πύλη XOR ως $(x+y)(x'y')???$ $[(x+y)(x'+y')]$ ώστε να είναι δυνατή η υλοποίησή της στο φυσικό επίπεδο με τη βοήθεια των μονοπατιών Euler.



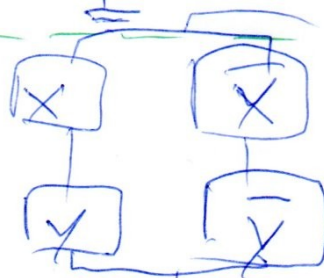
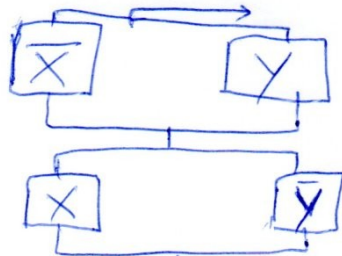
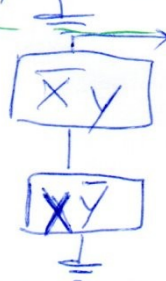
b) Σχεδιάστε σε επίπεδο τρανζίστορ την παραπάνω πύλη. Στη συνέχεια επιλέξτε τα κατάλληλα μονοπάτια Euler και σχεδιάστε την πύλη στο φυσικό επίπεδο.

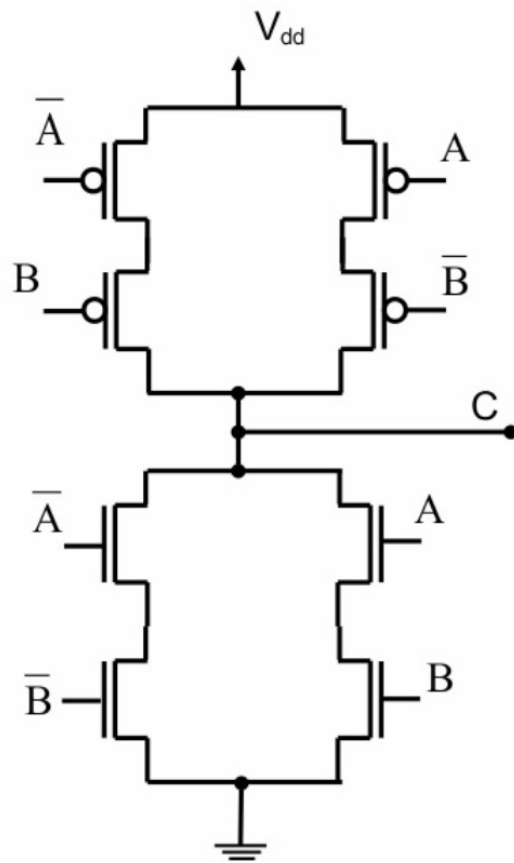
4
b)

PMOS



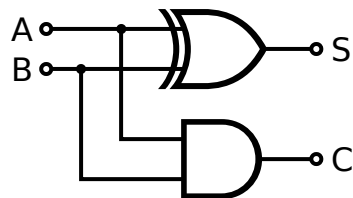
NMOS





c)

Half adder



Full adder

