

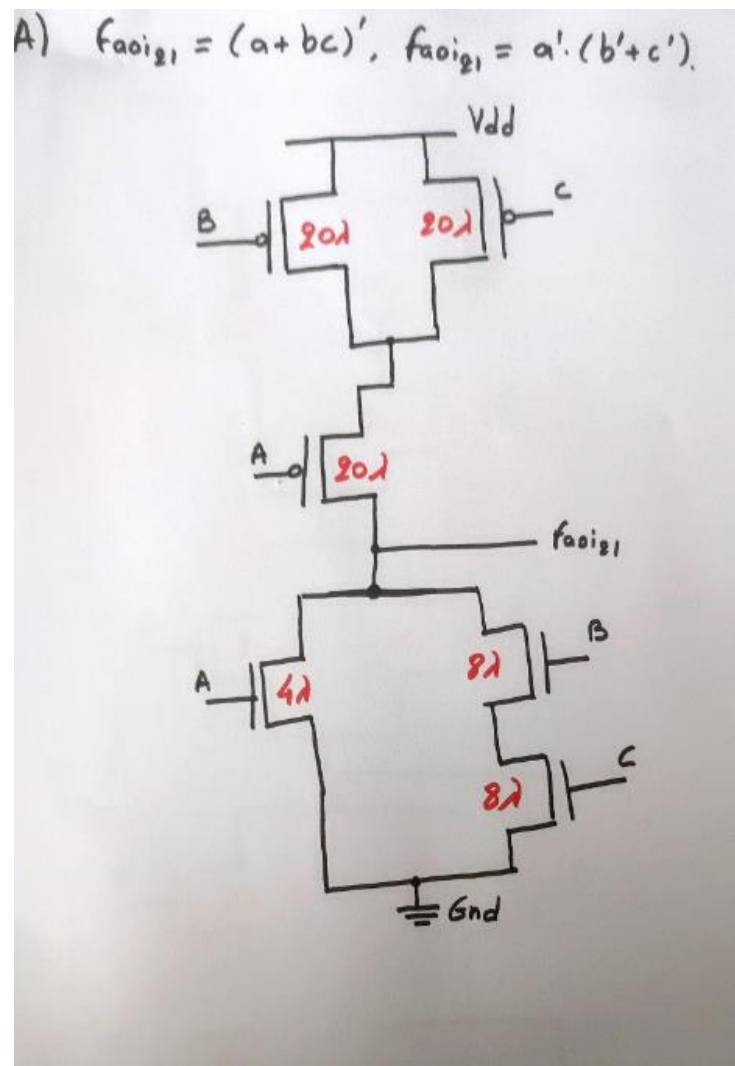
3η Εργαστηριακή Εργασία-Ψηφιακά Συστήματα VLSI

Όνομα: Καπάκος Γεώργιος

ΑΕΜ: 03165

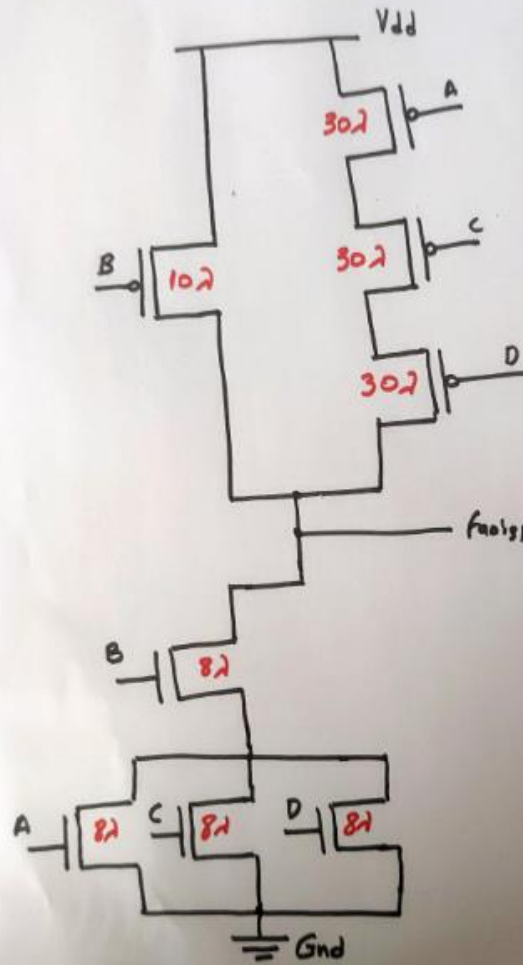
A)

faoi21:



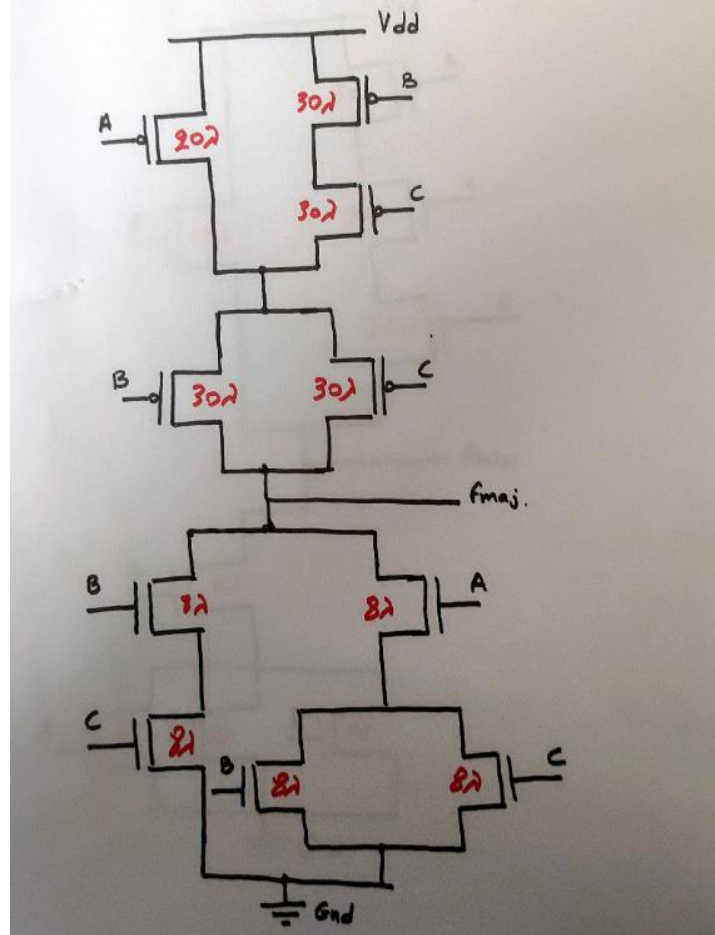
faoi31:

A) $f_{out1} = (ab + b(c+d))' = (b(a+c+d))'$
 $f_{out1} = b' + (a' \cdot c' \cdot d')$



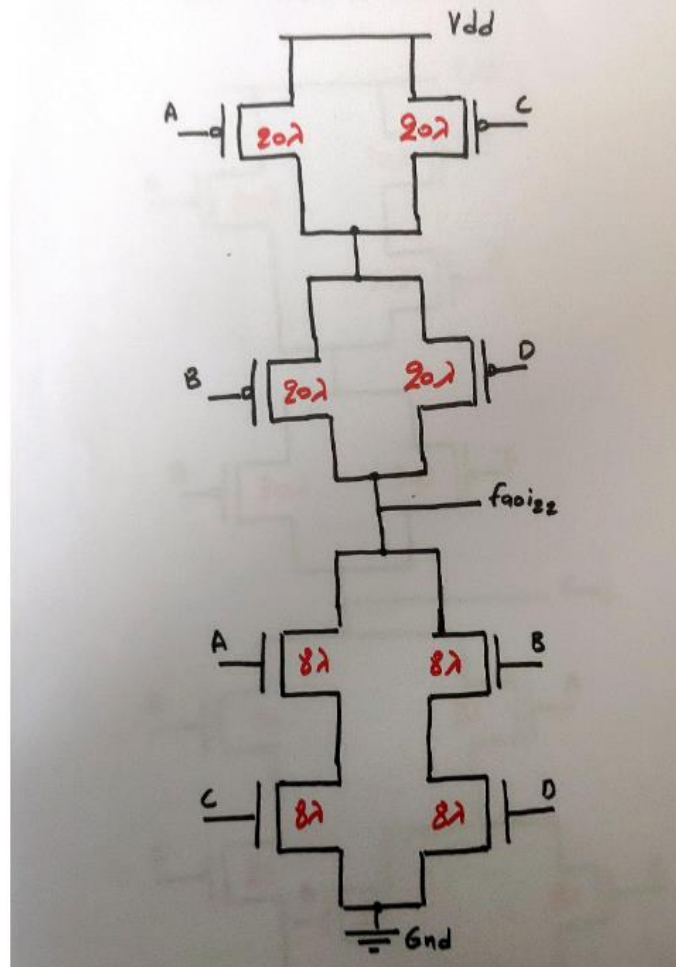
f_{mag}:

A) $f_{maj} = (ab+bc+ac)' = (a(b+c)+bc)'$
 $f_{maj} = (a'+b') \cdot (b'+c') \cdot (a'+c') = (a'+(b' \cdot c')) \cdot (b'+c')$



faoi22:

A) $f_{aoi22} = (ac + bd)'$, $f_{aoi22} = (a' + c') \cdot (b' + d')$.



Το πλάτος ενός τρανζίστορ είναι αντιστρόφως ανάλογο της αντίστασης που εμφανίζει. Οπότε, για nMOS transistor $R_n = 13k\Omega$ θα έχω $W_n = 2\lambda * 2 = 4\lambda$, ελάχιστο πλάτος, αφού θέλουμε το pull down stage να έχει συνολική αντίσταση $6,5k\Omega$, άρα $13/6,5 = 2$, από κει προκύπτει ο συντελεστής που πολλαπλασιάζω το 2λ , για να βρω το ελάχιστο πλάτος.

Αντίστοιχα για το pMOS transistor $R_p = 31k\Omega$ θα έχω $W_p = 2\lambda * 5 = 10\lambda$, ελάχιστο πλάτος, αφού θέλουμε το pull up stage να έχει συνολική αντίσταση $6,5k\Omega$, άρα $31/6,5 = 4,76923077$, δηλαδή περίπου 5, από κει προκύπτει ο συντελεστής που πολλαπλασιάζω το 2λ , για να βρω ελάχιστο πλάτος.

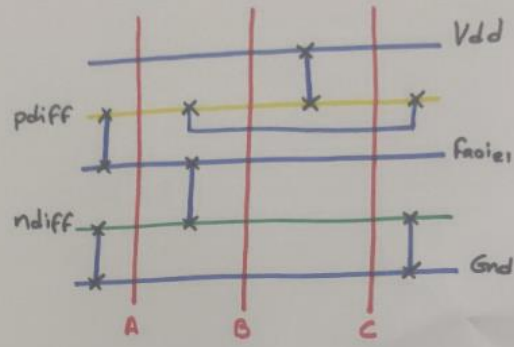
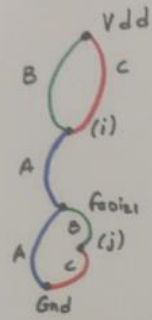
Τελικά προκύπτει $W_n = 4\lambda$ & $W_p = 10\lambda$.

Εάν τα τρανζίστορ βρίσκονται σε σειρά σε ένα μονοπάτι, τότε πολλαπλασιάζω τα πλάτη επί τον αριθμό των τρανζίστορ στο μονοπάτι. Εάν είναι παράλληλα δεν υπάρχει τέτοιο πρόβλημα.

Στις εικόνες παραπάνω παρατηρούμε την υλοποίηση των συνδυαστικών κυκλωμάτων καθώς και τα πλάτη των τρανζίστορ.

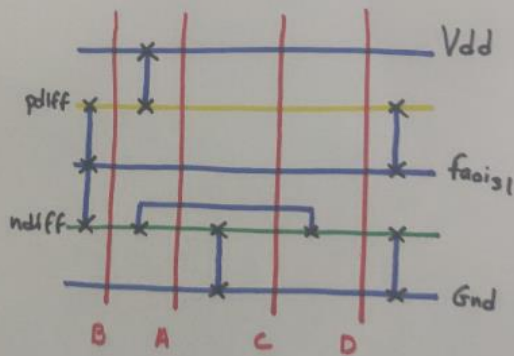
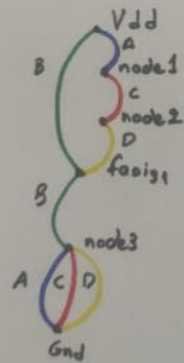
B)

B) faoi₂₁:

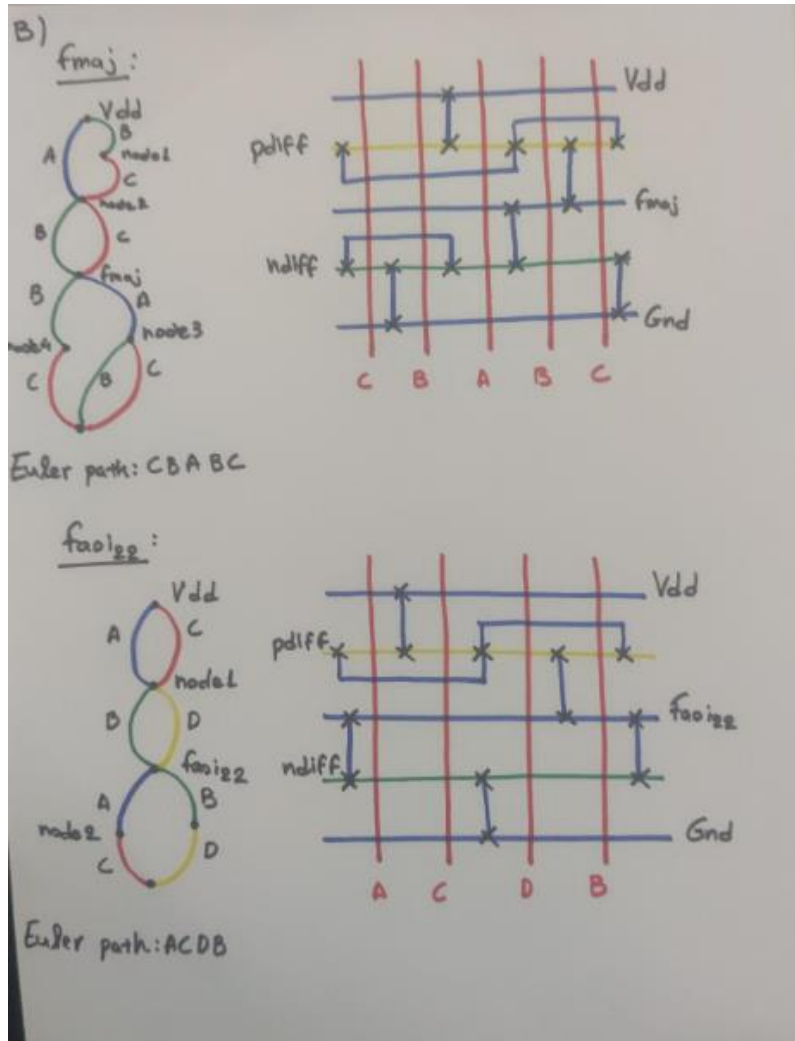


Euler path: ABC

faoi₃₁:



Euler path: BACD

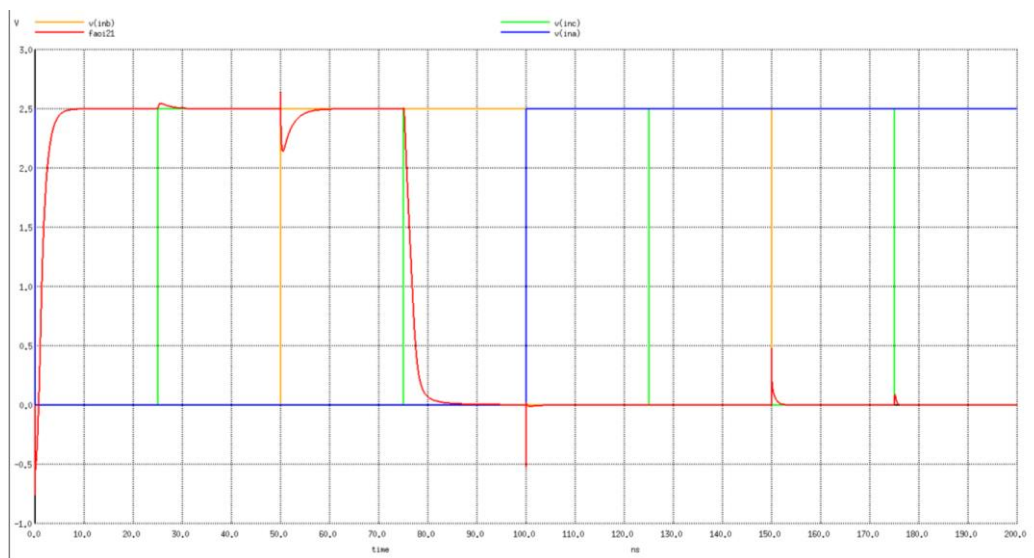
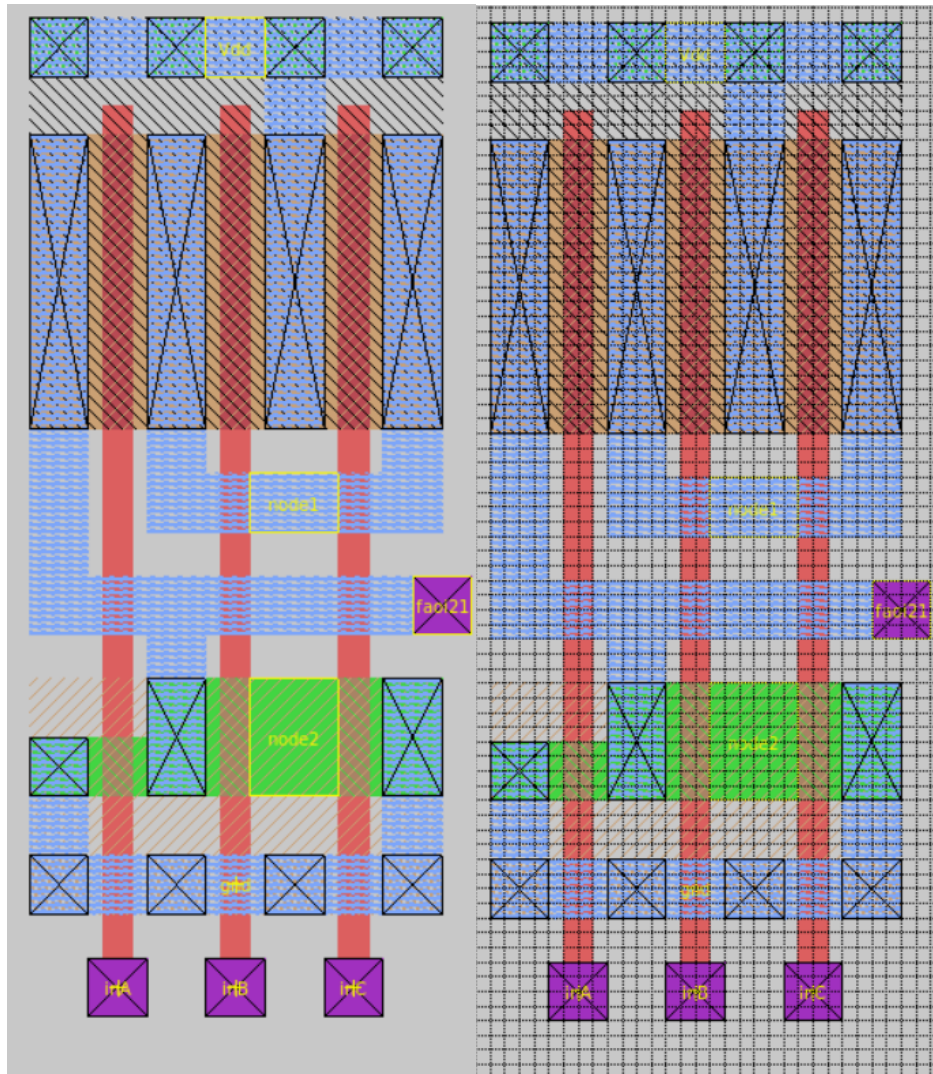


Στις παραπάνω εικόνες παρατηρούμε τα stick diagrams των συναρτήσεων του 1^{ου} ερωτήματος. Τα stick diagrams υλοποιήθηκαν, μετά από την χρήση Euler paths, για την κάθε συνάρτηση, για να αποφευχθούν τυχόν “κοψίματα” στο ndiffusion & pdiffusion.

c)

Με την χρήση του μάτζικ από τα stick diagrams, που έχουμε υλοποιήσει πάνω παίρνουμε τα παρακάτω σχήματα, καθώς και τους πίνακες αληθείας από τις συναρτήσεις και τις κυματομορφές τους στο ngspice, που επαληθεύουν τους πίνακες αληθείας.

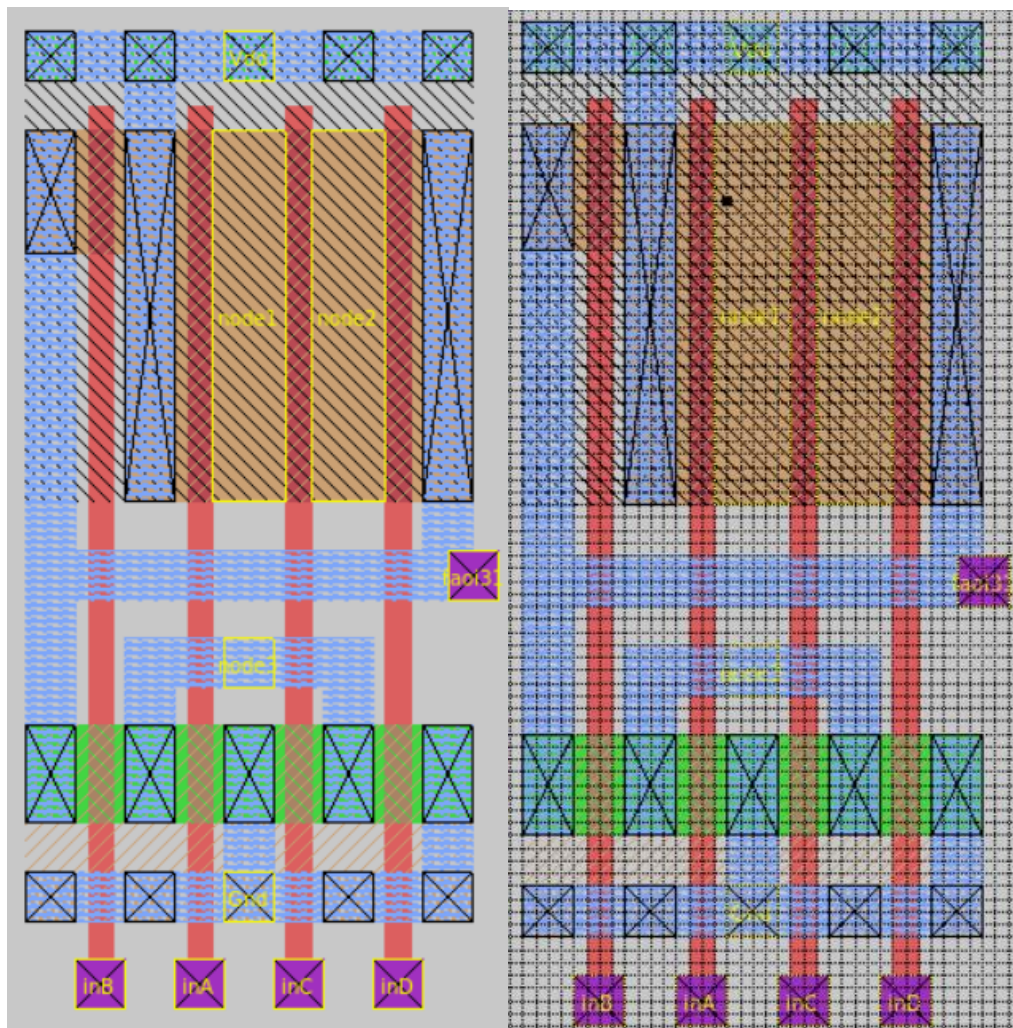
faoi₂₁:

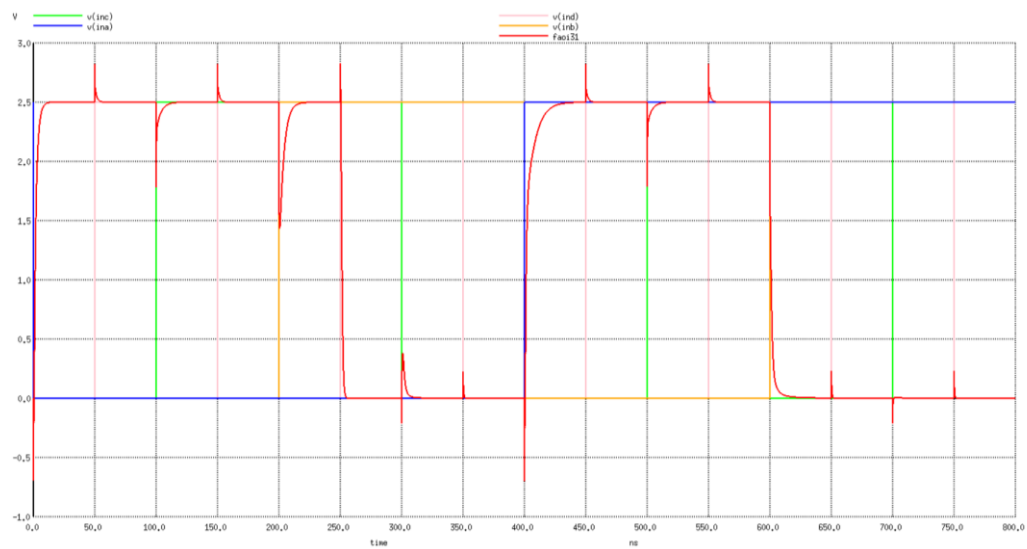


A **B** **C** **Faoi21**

0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

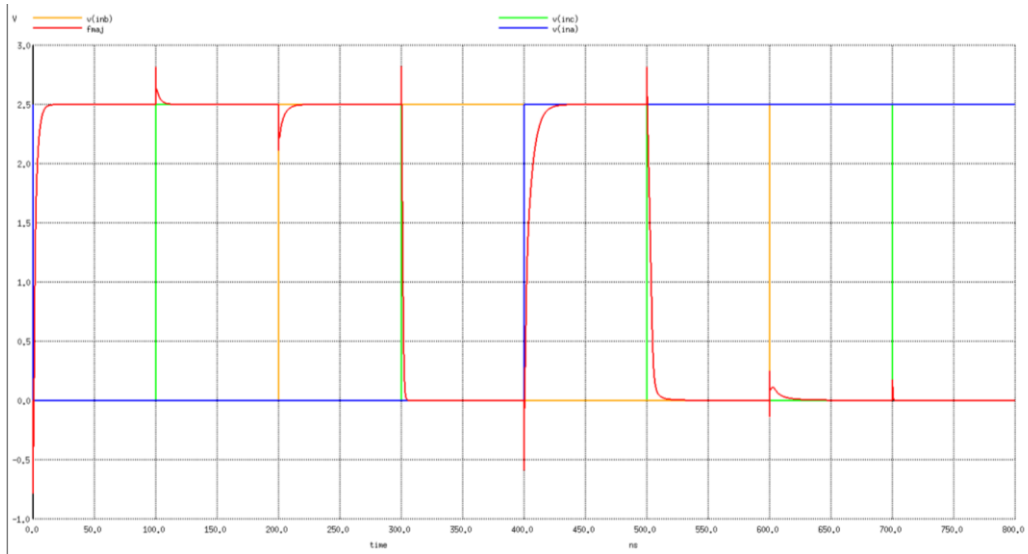
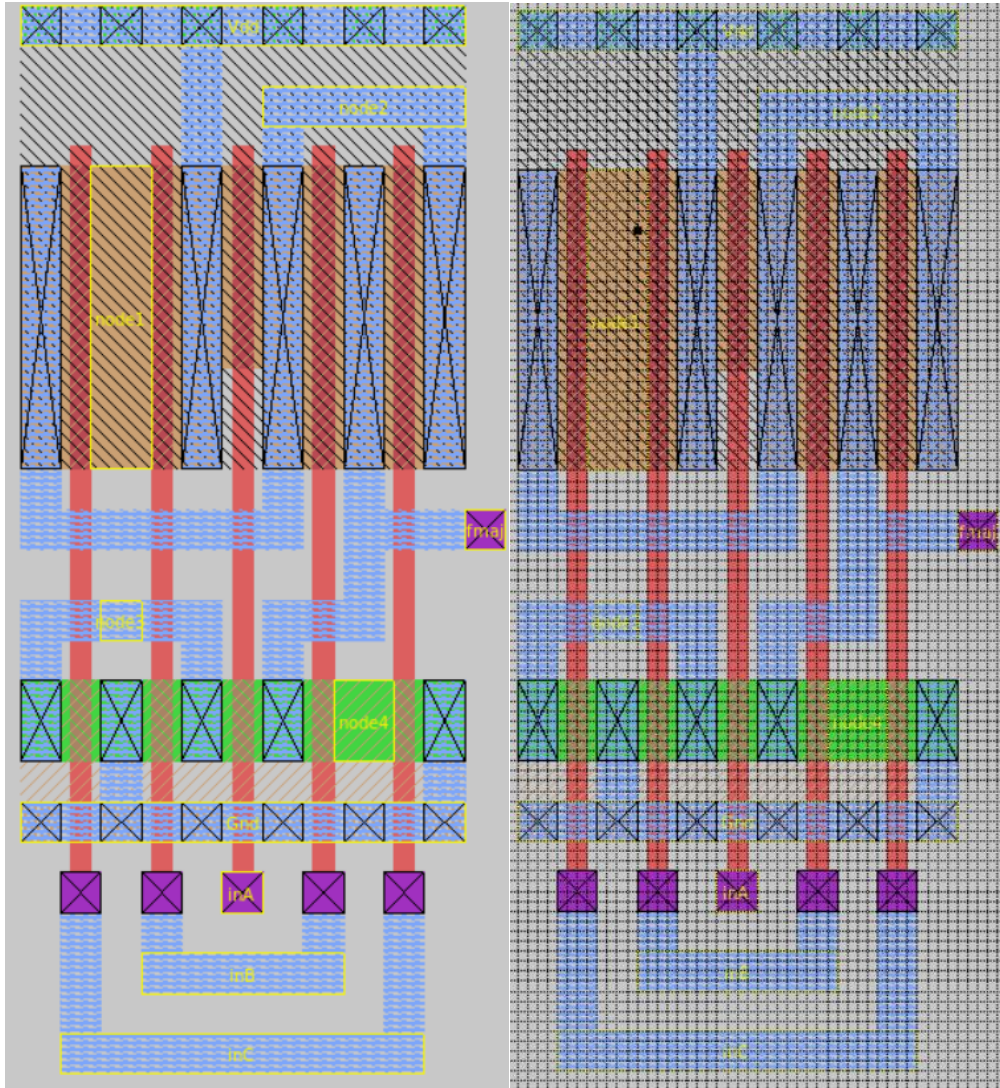
faoi31:





A	B	C	D	Faai31
0	0	0	0	1
0	0	0	1	1
0	0	1	0	1
0	0	1	1	1
0	1	0	0	1
0	1	0	1	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	0	1	1
1	0	1	0	1
1	0	1	1	1
1	1	0	0	0
1	1	0	1	0
1	1	1	0	0
1	1	1	1	0

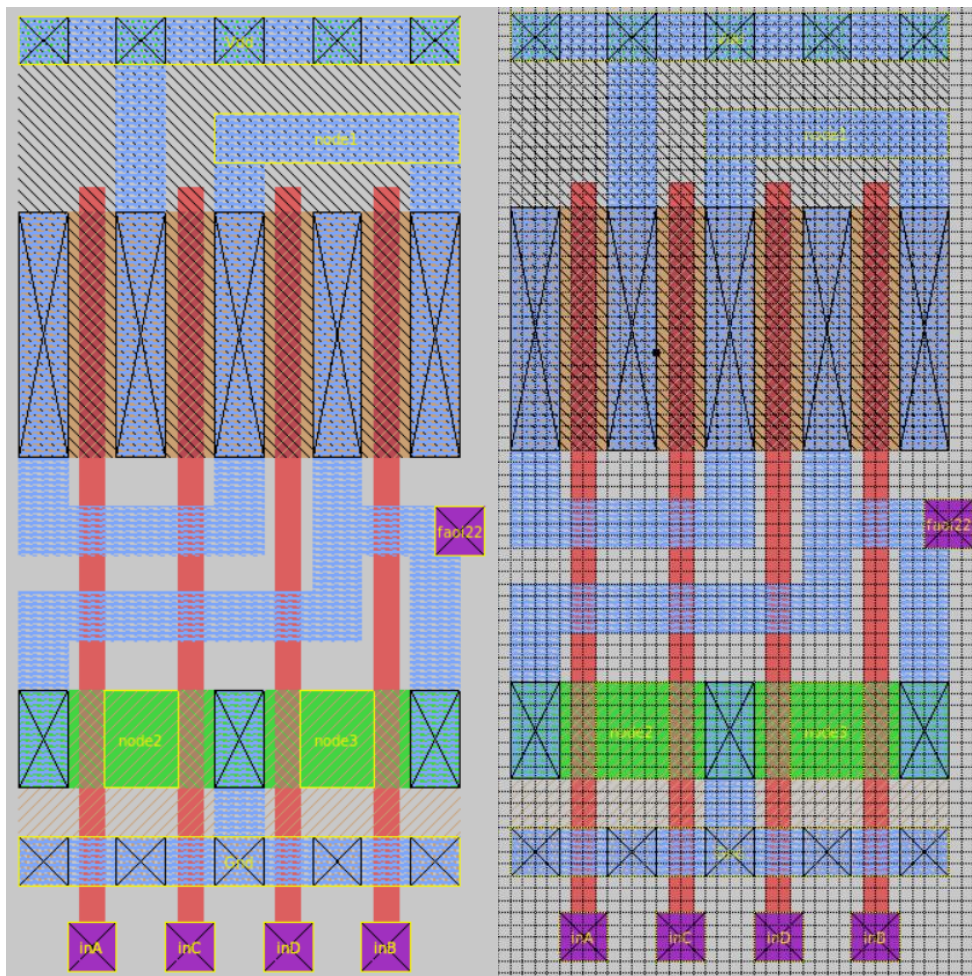
fmaj:

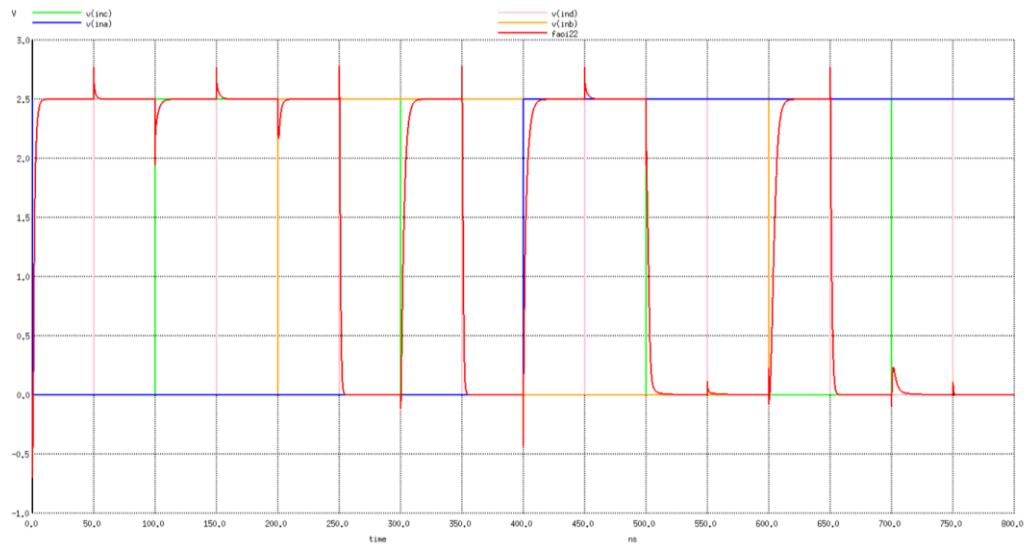


A **B** **C** **Fmaj**

0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

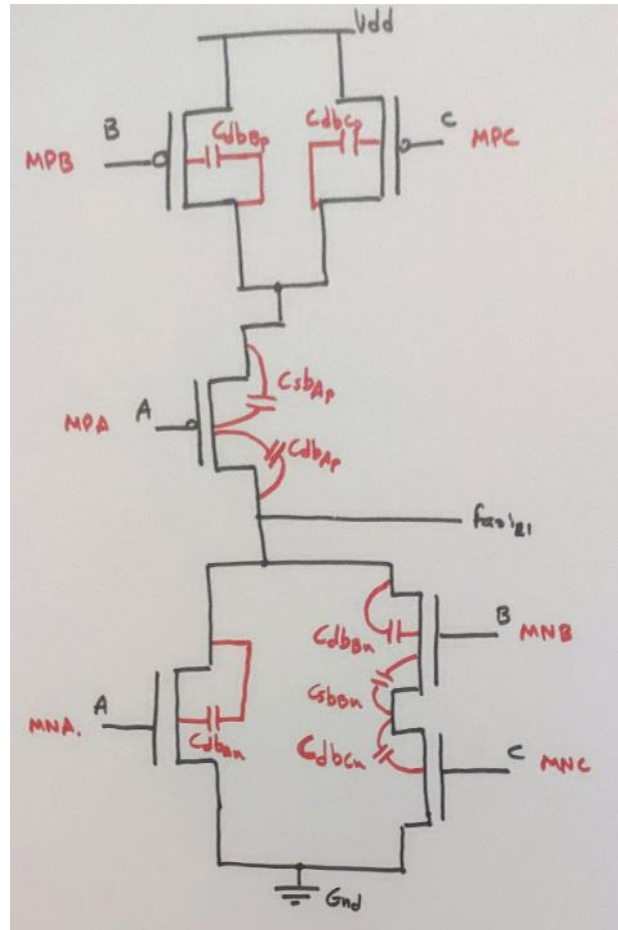
faoi22:





A	B	C	D	Faoi22
0	0	0	0	1
0	0	0	1	1
0	0	1	0	1
0	0	1	1	1
0	1	0	0	1
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	0	1	1
1	0	1	0	0
1	0	1	1	0
1	1	0	0	1
1	1	0	1	0
1	1	1	0	0
1	1	1	1	0

D)



Θα υπολογίσουμε τις διαστάσεις των τρανζίστορ του συνδυαστικού κυκλώματος faoi21. Για τον υπολογισμό του εμβαδού του κάθε τρανζίστορ του κυκλώματος μετράω τα κουτάκια από τα οποία αποτελείται στο magic. Οπότε παίρνουμε τον παρακάτω πίνακα:

Transistor	W(λ)	AS(λ^2)	AD(λ^2)	PS(λ)	PD(λ)
MNA	4 λ	20 λ^2	20 λ^2	14 λ	10 λ
MNB	8 λ	24 λ^2	24 λ^2	6 λ	6 λ
MNC	8 λ	40 λ^2	24 λ^2	18 λ	6 λ
MPA	20 λ	60 λ^2	100 λ^2	6 λ	30 λ
MPB	20 λ	60 λ^2	60 λ^2	6 λ	6 λ
MPC	20 λ	60 λ^2	100 λ^2	6 λ	30 λ

Για $\lambda = 0.125\mu\text{m}$ έχω:

Transistor	W(μm)	AS(μm^2)	AD(μm^2)	PS(μm)	PD(μm)
MNA	0,5	0,3125	0,3125	1,75	1,25
MNB	1	0,375	0,375	0,75	0,75
MNC	1	0,625	0,375	2,25	0,75
MPA	2,5	0,9375	1,5625	0,75	3,75
MPB	2,5	0,9375	0,9375	0,75	0,75
MPC	2,5	0,9375	1,5625	0,75	3,75

Τα MNA, MNB, MNC περιγράφουν τα nMOS transistor με εισόδους A, B, C.

Τα MPA, MPB, MPC περιγράφουν τα pMOS transistor με εισόδους A, B, C.

Με την χρήση των εμβαδών του παραπάνω πίνακα υπολογίζουμε τις χωρητικότητες διάχυσης, για μετάβαση 1->0 :

Οι χωρητικότητες διάχυσής τους είναι:

pMOS:

$$C_{dbpA} = K_{pj} * AD_p * C_j + K_{pjsw} * PD_p * C_{jsw} = 0,79 * 1,5625 * 1,9 + 0,86 * 3,75 * 0,22 = 3,0548125 \text{ fF}$$

$$C_{sbpA} = K_{pj} * AS_p * C_j + K_{pjsw} * PS_p * C_{jsw} = 0,79 * 0,9375 * 1,9 + 0,86 * 0,75 * 0,22 = 1,5490875 \text{ fF}$$

$$C_{dbpB} = K_{pj} * AD_p * C_j + K_{pjsw} * PD_p * C_{jsw} = 0,79 * 0,9375 * 1,9 + 0,86 * 0,75 * 0,22 = 1,5490875 \text{ fF}$$

$$C_{dbpC} = K_{pj} * AD_p * C_j + K_{pjsw} * PD_p * C_{jsw} = 0,79 * 1,5625 * 1,9 + 0,86 * 3,75 * 0,22 = 3,0548125 \text{ fF}$$

nMOS:

$$C_{dbnA} = K_{nj} * AD_n * C_j + K_{njsw} * PD_n * C_{jsw} = 0,57 * 0,3125 * 2 + 0,61 * 1,25 * 0,28 = 0,56975 \text{ fF}$$

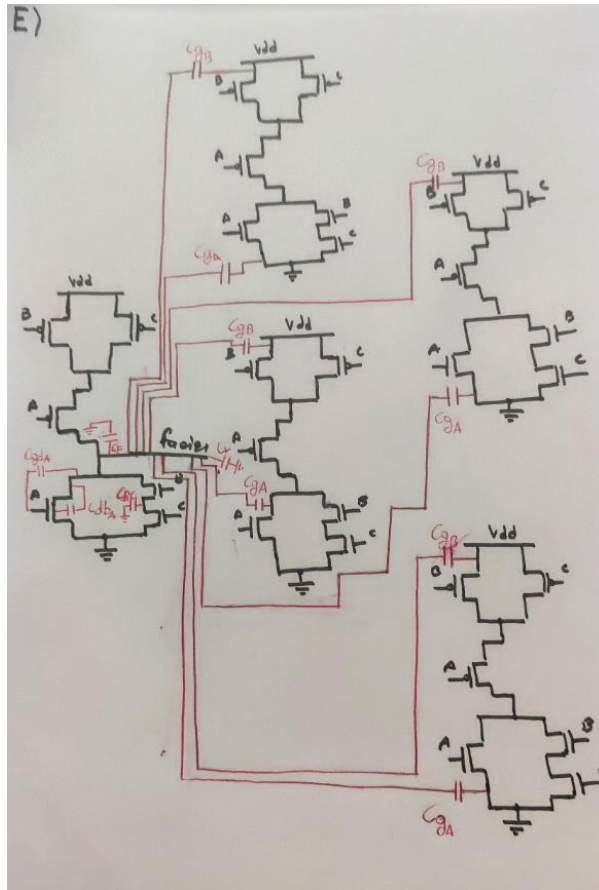
$$C_{dbnB} = K_{nj} * AD_n * C_j + K_{njsw} * PD_n * C_{jsw} = 0,57 * 0,375 * 2 + 0,61 * 0,75 * 0,28 = 0,5556 \text{ fF}$$

$$C_{sbnB} = K_{nj} * AS_n * C_j + K_{njsw} * PS_n * C_{jsw} = 0,57 * 0,375 * 2 + 0,61 * 0,75 * 0,28 = 0,5556 \text{ fF}$$

$$C_{dbnC} = K_{nj} * AD_n * C_j + K_{njsw} * PD_n * C_{jsw} = 0,57 * 0,375 * 2 + 0,61 * 0,75 * 0,28 = 0,5556 \text{ fF}$$

Οι χωρητικότητες από το source στο bulk, των υπόλοιπων τρανζίστορ επειδή είτε συνδέονται στην πηγή είτε στην γείωση παραλείπονται.

E)



Οι συνδέσεις που παρατηρούμε στο σχήμα με τους πυκνωτές θα χρησιμοποιηθούν για την εύρεση της καθυστέρησης Elmore.

Δεν διαλέγω το μονοπάτι που περιέχει το nMOS transistor μόνο του. Επιλέγω το άλλο μονοπάτι που περιέχει σε σειρά δύο nMOS transistors. Δεν γίνεται να επιλέξω και τα 2, επειδή θα δημιουργήσει γέφυρα στο κύκλωμα. Το μονοπάτι μας έχει την χωρητικότητα C_{bc} , ανάμεσα στο B & C transistor και την χωρητικότητα C_f . Επιπλέον το pull-up stage δεν μετέχει καθόλου στην έξοδο του κυκλώματος, αφού μας ζητείται η χειρίστη περίπτωση μόνο του σταδίου καθέλκυσης.

Επιπρόσθετα παρατηρούμε από το σχήμα ότι δύο πηγές σε κάθε ένα από τα 4 παράλληλα κυκλώματα μία από το pull-up stage & μία pull-down stage, εμφανίζουν 2 χωρητικότητες.

Υπολογίζουμε τις χωρητικότητες για το κύκλωμα:

$$C_{bc} = C_{db_c} + C_{sb_b} + 2 C_{gd_c} + 2 C_{gs_b} \quad (1)$$

$$C_{gd_c} = C_{gd_{on}} \cdot W_n = 0,31 \cdot 1 = 0,31 \text{ fF}$$

$$C_{gs_b} = C_{gs_{on}} \cdot W_n = 0,31 \cdot 1 = 0,31 \text{ fF}$$

$$(1) \Rightarrow C_{bc} = 0,5556 + 0,5556 + 2 \cdot 0,31 + 2 \cdot 0,31 = \underline{2,3512 \text{ fF}}$$

$$C_F = C_{db_b} + 2 C_{gd_b} \quad (2)$$

$$C_{gd_b} = C_{gd_{on}} \cdot W_n = 0,31 \cdot 1 = 0,31 \text{ fF}$$

$$(2) \Rightarrow C_F = 0,5556 + 0,31 \cdot 2 = \underline{1,1756 \text{ fF}}$$

$$C_L = C_F + C_{g_B} \cdot 4 + C_{g_A} \cdot 4 \quad (3)$$

$$C_{g_B} = (C_{gd_{op}} + C_{gs_{op}}) \cdot W_p + C_{ox} \cdot W_p \cdot L_p$$

$$C_{g_B} = (0,27 + 0,27) \cdot 2,5 + 6 \cdot 2,5 \cdot 0,25$$

$$C_{g_B} = 5,1 \text{ fF}$$

$$C_{g_A} = (C_{gd_{on}} + C_{gs_{on}}) \cdot W_n + C_{ox} \cdot W_n \cdot L_n$$

$$C_{g_A} = (0,31 + 0,31) \cdot 0,5 + 6 \cdot 0,5 \cdot 0,25$$

$$C_{g_A} = 1,06 \text{ fF}$$

$$(3) \Rightarrow C_L = 1,1756 + 20,4 + 4,24 \Leftrightarrow \boxed{C_L = 25,8156 \text{ fF}}$$

Αφού υπολογίσαμε όλες τις χωρητικότητες που θα χρειαστούμε για το κύκλωμα τώρα μπορούμε να βρούμε την καθυστέρηση Elmore:

Από τον τύπο της καθυστέρησης Elmore έχω:

$$\tau = R_n \cdot (C_{bc} + C_L) + R_n \cdot C_L$$

$$\tau = 13 \cdot (2,3512 + 25,8156) + 13 \cdot 25,8156$$

$$\tau = 707,7712 \text{ psec}$$