



Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

Εισαγωγή σε VLSI

2ο Σετ Ασκήσεων

Θεωρία και μοντελοποίηση MOS τρανζίστορ, RC μοντέλο καθυστέρησης

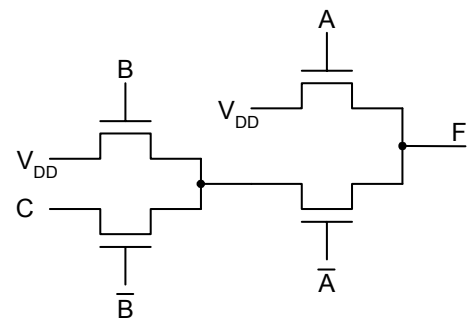
Μανόλης Καλλίγερος (kalliger@aegean.gr)

### Διαδικαστικά

Η καταληκτική ημερομηνία παράδοσης των ασκήσεων είναι η Κυριακή 8/5/2011. Μπορείτε να παραδώσετε τις αναφορές σας είτε σε έντυπη μορφή (κατά τη διάρκεια των μαθημάτων ή στη θυρίδα μου, στον 1ο όροφο του κτηρίου Λυμπέρη), είτε ηλεκτρονικά (η **έντυπη** μορφή είναι προτιμότερη).

### Άσκηση 1

α) Εξηγήστε αναλυτικά ποια συνάρτηση υλοποιεί το κύκλωμα του διπλανού σχήματος. Για να διευκολυνθείτε, θεωρήστε τα τρανζίστορ σαν ιδανικούς διακόπτες και φτιάξτε τον πίνακα αλήθειας του κυκλώματος. Εξηγήστε όμως πως προκύπτει η κάθε τιμή του πίνακα αλήθειας.



β) Θεωρήστε έναν CMOS αντιστροφέα στην έξοδο

F του κυκλώματος του υποερωτήματος (α). Αν  $V_{DD} = 2,5V$  και  $V_{tn} = -V_{tp} = 0,5V$ , υπολογίστε την τάση στους εσωτερικούς κόμβους και στην έξοδο του νέου κυκλώματος (**αυτού με τον αντιστροφέα**) όταν:

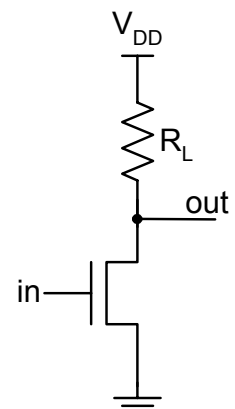
i)  $A = B = C = 0V$

ii)  $A = B = 0V$  και  $C = 2,5V$

**Προσοχή:** Τα τρανζίστορ δεν θεωρούνται πλέον ιδανικοί διακόπτες.

### Άσκηση 2

Θεωρήστε ότι για το nMOS τρανζίστορ του αντιστροφέα του διπλανού σχήματος ισχύει ότι  $\epsilon_{ox} = 34,515 \cdot 10^{-14} \text{ F/cm}$ ,  $t_{ox} = 40 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$ ,  $\mu_n = 180 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{sec})$ ,  $W/L = 2$  και  $V_t = 0,4V$ . Χρησιμοποιώντας όποιο πρόγραμμα επιθυμείτε (π.χ., λογιστικό φύλλο, Matlab, κ.τ.λ.), σχεδιάστε την DC χαρακτηριστική μεταφοράς του αντιστροφέα για  $V_{DD} = 1,8V$  και  $R_L = 20K\Omega$ . Για να υπολογίσετε την τάση  $V_{out}$  σε σχέση με τη  $V_{in}$  του αντιστροφέα, θα πρέπει να παράγετε μία σχέση εξισώνοντας τα ρεύματα που διαρρέουν την αντίσταση και το τρανζίστορ (το ρεύμα της αντίστασης δίνεται από το νόμο του Ohm). Η σχέση αυτή θα είναι



διαφορετική για κάθε διαφορετική περιοχή λειτουργίας του τρανζίστορ (άρα λοιπόν θα πρέπει να βρείτε για ποιες περιοχές τιμών της  $V_{in}$  το τρανζίστορ βρίσκεται στην αποκοπή, στη γραμμική περιοχή και στον κόρο, και για καθεμία από τις περιοχές αυτές θα πρέπει να υπολογίσετε τη σχέση της  $V_{out}$  με τη  $V_{in}$ ). Θεωρήστε το ιδανικό μοντέλο λειτουργίας του τρανζίστορ, ενώ, για ευκολία, θεωρήστε ότι το ρεύμα γραμμικής περιοχής δίνεται από τη σχέση  $I_{ds} = \beta \cdot (V_{gs} - V_t) \cdot V_{ds}$ .

*Υπόδειξη:* Όταν το nMOS τρανζίστορ γίνεται ON, εισέρχεται στην περιοχή του κόρου. Θα χρειαστεί να εξηγήσετε την υπόθεση αυτή και να αποδείξετε ότι όντως ισχύει από τις σχέσεις των τάσεων.

### Άσκηση 3

Πρόσφατα πιάσατε δουλειά σε μία νέα εταιρεία που σχεδιάζει επεξεργαστές χαμηλής κατανάλωσης ισχύος. Με σκοπό να εξοικειωθείτε με την τεχνολογία που χρησιμοποιεί η εταιρεία την περίοδο αυτή, ζητήσατε από τους νέους σας συναδέλφους να σας παρέχουν τις I-V χαρακτηριστικές των τρανζίστορ της τεχνολογίας. Δυστυχώς, κανένας δεν φάνηκε πρόθυμος να σας βοηθήσει. Παρόλα αυτά, ο συγγάτοικος του γραφείου σας είχε συλλέξει, μετά από εξομοιώσεις σε Spice, κάποια δεδομένα για τα τρανζίστορ της τεχνολογίας λίγες μέρες νωρίτερα. Τα δεδομένα αυτά φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Μέτρηση	$V_{gs}$	$V_{ds}$	$V_{sb}$	$I_{ds}$
1	-2,5V	-2,5V	0V	-84,375μA
2	1V	1V	0V	0μA
3	-0,7V	-0,8V	0V	-1,04μA
4	-2V	-0,8V	0V	-45,76μA
5	-2,5V	-2,5V	-0,8V	-72μA
6	-2,5V	-1,5V	0V	-80,625μA
7	-2,5V	-0,8V	0V	-66,56μA

Ο συνάδελφός σας όμως δεν είχε χρόνο να ταξινομήσει τα δεδομένα. Τα μόνα στοιχεία που είχε φροντίσει να εξασφαλίσει είναι ότι η τάση velocity saturation είναι  $V_{dsat} = -1V$  και ότι  $\Phi_s = 0,6V$  (*Προσοχή: η τιμή της  $V_{dsat}$  είναι σταθερή γιατί ο συνάδελφός σας θεωρεί το ενοποιημένο μοντέλο του ρεύματος του τρανζίστορ, στο οποίο  $V_{dsat} = E_c L$  ανεξάρτητα της τάσης  $V_{gs}$* ). Απαντήστε στις εξής ερωτήσεις:

α) Οι μετρήσεις που σας δόθηκαν αφορούν ένα nMOS ή ένα pMOS τρανζίστορ; Εξηγήστε την απάντησή σας.

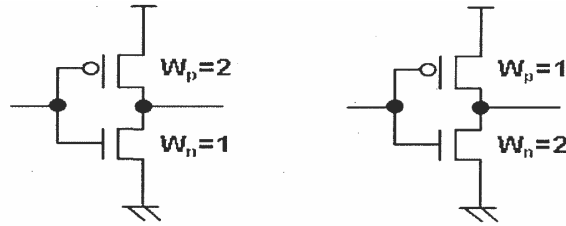
β) Ποιες είναι οι τιμές των παραμέτρων  $V_{t0}$ ,  $\gamma$  και  $\lambda$  για το συγκεκριμένο τρανζίστορ.

γ) Σε ποια περιοχή λειτουργεί το τρανζίστορ σε κάθε μέτρηση; Οι δυνατές επιλογές είναι: Αποκοπή, Γραμμική, Κόρος και Velocity Saturation (πρώτος κόρος λόγω κορεσμού της ταχύτητας των φορέων).

### Άσκηση 4

Θεωρήστε δύο CMOS αντιστροφείς με διαφορετικά μεγέθη τρανζίστορ. Ο αριστερός αντιστροφέας έχει ισορροπημένες καθυστερήσεις, θεωρώντας ότι η ισοδύναμη αντίσταση

των pMOS τρανζίστορ είναι διπλάσια από αυτή των nMOS. Η ισορροπία αυτή δεν ισχύει για το δεύτερο αντιστροφέα.



Έστω ότι χρησιμοποιείτε τους αντιστροφείς αυτούς για να κατασκευάσετε έναν κυκλικό ταλαντωτή (ring oscillator) N σταδίων. Με ποιον αντιστροφέα ο ταλαντωτής θα επιτύγχανε υψηλότερη συχνότητα λειτουργίας; Ποια είναι η ποσοστιαία διαφορά μεταξύ των περιόδων των δύο κυκλωμάτων; Στις απαντήσεις σας χρησιμοποιήστε το RC μοντέλο καθυστέρησης.

