



Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων  
Εισαγωγή σε VLSI

1ο Σετ Ασκήσεων

Διακοπτική συμπεριφορά των τρανζίστορ - σχεδιασμός πυλών CMOS -  
εισαγωγή στο φυσικό σχεδιασμό (layout)

Μανόλης Καλλίγερρος (kalliger@aegean.gr)

### Διαδικαστικά

Η καταληκτική ημερομηνία παράδοσης των ασκήσεων είναι η Δευτέρα 4/4/2011. 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). Σε όσες ασκήσεις απαιτείται χρήση του εργαλείου Electric, στην αναφορά σας θα πρέπει να υπάρχουν screenshots των ζητούμενων κυκλωμάτων ή εξομοιώσεων (χρησιμοποιήστε το πλήκτρο Print Screen ή κάποιο πρόγραμμα για image capturing). Πριν σώσετε μία εικόνα επιλέξτε Window • Color Schemes • White Background Colors, ώστε οι εικόνες σας να είναι πιο ευανάγνωστες.

### Άσκηση 1

- Χρησιμοποιώντας MOS τρανζίστορ, σχεδιάστε μία CMOS πύλη NAND τεσσάρων εισόδων.
- Εξηγήστε τη λειτουργία της πύλης (πότε η έξοδος οδηγείται στο λογικό 0 και πότε στο λογικό 1 – πώς λειτουργούν τα τρανζίστορ σε αυτές τις περιπτώσεις) θεωρώντας διακοπτική συμπεριφορά των τρανζίστορ (ON - OFF). **Μη δώσετε πίνακα αλήθειας**, αλλά εξηγήστε με λόγια (εν συντομία) τη λειτουργία της πύλης.
- Φτιάξτε ένα stick διάγραμμα της πύλης.
- Υπολογίστε την επιφάνεια της πύλης NAND χρησιμοποιώντας το stick διάγραμμα του υποερωτήματος 1.γ.

### Άσκηση 2

α) Χρησιμοποιώντας το μικρότερο δυνατό αριθμό από τρανζίστορ, σχεδιάστε σύνθετες πύλες CMOS που να υλοποιούν καθεμία από τις ακόλουθες συναρτήσεις:

i)  $F_1 = \overline{A \cdot (B + C \cdot D)}$

ii)  $F_2 = \overline{AB + ABE + CD + DE}$

*Σημείωση: Για να προκύψουν τα λιγότερα δυνατά τρανζίστορ θα χρειαστεί να κάνετε αλγεβρικές πράξεις και παραγοντοποιήσεις στη λογική έκφραση της  $F_2$ .*

- Φτιάξτε το stick διάγραμμα κάθε πύλης.
- Υπολογίστε την επιφάνεια κάθε πύλης από το αντίστοιχο stick διάγραμμα.

### Άσκηση 3

Το κρατούμενο  $C_2$  ενός αθροιστή πρόβλεψης κρατούμενου (carry lookahead adder) υπολογίζεται από τη συνάρτηση  $C_2 = G_1 + P_1(G_0 + P_0C_0)$ .

α) Σχεδιάστε μία πύλη CMOS που να υπολογίζει το  $\overline{C_2}$  χρησιμοποιώντας το μικρότερο δυνατό αριθμό από τρανζίστορ (δηλ., μην αναπτύξετε, αλλά αφήστε παραγοντοποιημένη την έκφραση του  $C_2$  που σας δίνεται).

β) Κατασκευάστε στο Electric το σχηματικό της πύλης που σχεδιάσατε, θεωρώντας ότι όλα τα pMOS τρανζίστορ έχουν πλάτος 16λ και όλα τα nMOS 8λ. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας το IRSIM, εξομοιώστε πλήρως (με όλους τους δυνατούς συνδυασμούς των εισόδων) την πύλη σας, ώστε να διαπιστώσετε ότι λειτουργεί σωστά. Για την υλοποίηση του υποερωτήματος αυτού, συμβουλευτείτε τις παραγράφους III – V του αρχείου Lab0.pdf (δείτε την παράγραφο «Σχετικά με το Electric» στο τέλος των εκφωνήσεων). Ζητούνται τα screenshots τόσο του σχηματικού που σχεδιάσατε, όσο και της εξομοίωσης που πραγματοποιήσατε.

γ) Δώστε ένα stick διάγραμμα του φυσικού σχεδίου (layout) της πύλης και υπολογίστε την επιφάνειά της από αυτό.

δ) Φτιάξτε το φυσικό σχέδιο της πύλης στο Electric (συμβουλευτείτε την παράγραφο XI του αρχείου Lab0.pdf), θεωρώντας και πάλι ότι όλα τα pMOS τρανζίστορ έχουν πλάτος 16λ και όλα τα nMOS 8λ. Ποιο είναι το εμβαδόν που καταλαμβάνει ο σχεδιασμός όταν οι γραμμές  $V_{DD}$  και Gnd ανατίθενται σε μέταλλο-1 και έχουν πλάτος 2 φορές το ελάχιστο δυνατό (δηλαδή 8λ); Για την υλοποίηση των διασυνδέσεων της πύλης, χρησιμοποιήστε μόνο γραμμές μετάλλου-1 και πολυσιλικόνης. Εξομοιώστε πλήρως τον σχεδιασμό σας στο IRSIM ώστε να διαπιστώσετε ότι λειτουργεί σωστά και δώστε screenshots τόσο του σχεδιασμού, όσο και της εξομοίωσης.

### Άσκηση 4

Επαναλάβετε τα βήματα της Άσκησης 3 για τη συνάρτηση  $F = A \cdot B \cdot C + \overline{D}$ . Η συνάρτηση θα πρέπει να υλοποιηθεί με τον ελάχιστο αριθμό από τρανζίστορ, οπότε θα πρέπει να ελαχιστοποιήσετε τον αριθμό των αντιστροφών (σε εισόδους ή/και στην έξοδο του κυκλώματος) που θα χρησιμοποιήσετε.

#### Σχετικά με το Electric

Τι να κατεβάσω και από πού; Το εργαλείο Electric διανέμεται δωρεάν από την ηλεκτρονική διεύθυνση <http://www.staticfreesoft.com/> καθώς και από το <ftp://ftp.gnu.org/gnu/electric/>. Λεπτομέρειες σχετικά με το ποια αρχεία του εργαλείου πρέπει να κατεβάσετε θα δοθούν κατά τη διάρκεια των φροντιστηρίων του μαθήματος. Για να βοηθηθείτε στην υλοποίηση των ασκήσεων, κατεβάστε το αρχείο <http://www3.hmc.edu/~harris/class/e158/07/Lab0.pdf>, το οποίο είναι μία εισαγωγή στη φυσική σχεδίαση με χρήση του εργαλείου Electric. Το manual του Electric μπορείτε να το κατεβάσετε από την ηλεκτρονική διεύθυνση <http://www.staticfreesoft.com/productsDocumentation.html>.

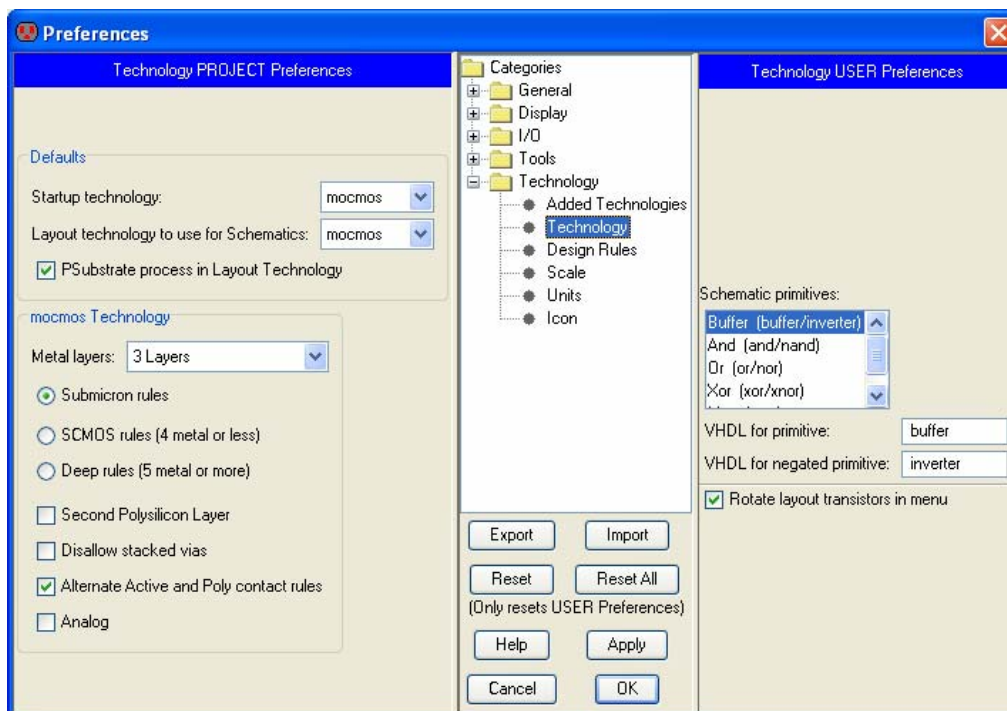
Πώς να εγκαταστήσω και να τρέξω το Electric; Το Electric είναι γραμμένο σε γλώσσα προγραμματισμού Java και διανέμεται σε ένα και μοναδικό .jar αρχείο (υποθέτοντας την

έκδοση 8.11 του Electric, το αντίστοιχο αρχείο είναι το "electricBinary-8.11.jar"). Συνεπώς δεν χρειάζεται καμία εγκατάσταση. Το μόνο που χρειάζεται είναι να τοποθετήσετε στον ίδιο κατάλογο τα αρχεία electricBinary-8.11.jar και electricIRSIM-8.11.jar (το δεύτερο αρχείο είναι του εξομοιωτή IRSIM, ο οποίος έρχεται σαν πρόσθετο, σε ξεχωριστό αρχείο). Για να τρέξει το Electric χρειάζεται έκδοση Java 1.5 ή μεγαλύτερη (μπορεί να τη βρει κανείς στην ηλεκτρονική διεύθυνση <http://java.sun.com>). Το πιο πιθανό όμως είναι ότι θα έχετε ήδη εγκατεστημένη Java στον υπολογιστή σας. Για να εκτελέσετε το Electric, δημιουργήστε μία νέα συντόμευση (shortcut) στον κατάλογο που βάλατε τα σχετικά αρχεία. Η συντόμευση πρέπει να εκτελεί την ακόλουθη εντολή:

```
%windir%\system32\java.exe -classpath "electricBinary-8.11.jar;electricIRSIM-8.11.jar" com.sun.electric.Launcher
```

Δώστε στη συντόμευση όποιο όνομα θέλετε και φροντίστε ώστε **στις ιδιότητες της συντόμευσης, το πεδίο του καταλόγου εκκίνησης (Start in: ) να είναι κενό**. Αφού έχετε κάνει τις προαναφερθείσες ρυθμίσεις, με διπλό click στη συντόμευση θα εκκινήσει το Electric. Περισσότερες λεπτομέρειες για το πως να εκτελέσετε το Electric μπορείτε να βρείτε στην ηλεκτρονική διεύθυνση <http://www.staticfreesoft.com/jmanual/mchap01-03.html>.

Τι ρυθμίσεις χρειάζεται να κάνω; Πριν ξεκινήσετε να φτιάχνετε τους φυσικούς σχεδιασμούς (layout) των Ασκήσεων 3 και 4, επιλέξτε File • Preferences και στην κατηγορία Technology επιλέξτε το bullet Technology. Κάντε τις ρυθμίσεις όπως φαίνονται στην ακόλουθη εικόνα:



Στο bullet Scale της κατηγορίας Technology επιλέξτε την τεχνολογία mocmos και αλλάξτε την τιμή του Technology scale σε 300 nm (αν θέλετε, μπορείτε και να παραλείψετε αυτή την αλλαγή καθώς δεν είναι απαραίτητη). Τέλος, επιλέξτε το bullet Arcs της κατηγορίας General. Επιλέξτε την τεχνολογία mocmos και στο Arc Type το Metal-1. Θέστε το Default width ίσο με 4. Κάντε το ίδιο για το Metal-2, ενώ το default width του Metal-3 πρέπει να τεθεί στο 6.