

Εργαστήριο 10: Τρανζίστορες Επίδρασης Πεδίου (FET) και ο Αντιστροφέας CMOS

11 έως 13 Μαΐου 2010 (βδομάδα 11)

Διάβασμα: Η λειτουργία και οι εξισώσεις ρεύματος-τάσης των τρανζίστορες τύπου FET περιγράφονται μεν στο βιβλίο Rizzoni (τόμος B'), και μπορείτε να τα διαβάσετε από εκεί, αλλά περιγράφονται καλύτερα στις παρακάτω πηγές, και προτείνεται να τα διαβάσετε από εκεί. Η συνάρτηση μεταφοράς (τάσεις εισόδου-εξόδου) του αντιστροφέα CMOS δεν υπάρχει στο βιβλίο Rizzoni, και πρέπει να διαβάσετε σχετικά από την παρακάτω πηγή:

- Δομή, λειτουργία, και εξισώσεις ρεύματος-τάσης των τρανζίστορες επίδρασης πεδίου (FET): Κεφάλαιο 5, §5.1 και §5.2, σελ. 395-418, από το βιβλίο Sedra & Smith (τρίτη επιλογή βιβλίου μαθήματος), τόμος Α'. Διαβάστε ως εξής: εγκυκλοπαιδικά τις σελ. 395-400, γιά να καταλάβετε τη δομή και λειτουργία των MOS FET's· προσεκτικά τις σελ. 401-405, γιά να καταλάβετε τις περιοχές λειτουργίας και τη σχέση ρεύματος-τάσεων· προσεκτικά τις σελ. 407-412, γιά να μάθετε τις περιοχές λειτουργίας (σχήμα 5.13) και τις εξισώσεις ρεύματος-τάσεων (5.5), (5.6), (5.7), και (5.13)· στα γρήγορα τη σελ. 415 (έως μέσο της 416) γιά την (κατοπτρική) συμμετρία των PMOS ως προς τα NMOS· και τη σελ. 418 σαν επανάληψη.
- Τα παραπάνω θέματα, και επιπλέον και ένα εξαιρετικό **υδραυλικό ανάλογο**, παρουσιάζονται επίσης με θαυμάσιο τρόπο στις σημειώσεις του μαθήματος, εαρινού εξαμήνου 2009, από τον Δρ. Γιώργο Δημητράκοπουλο: <http://www.csd.uoc.gr/~hy121/09a/HY121-set11.pdf>
- Ο αντιστροφέας CMOS, η συνάρτηση τάσης εισόδου - τάσης εξόδου του, η κατανάλωση ενέργειάς του, και η οδήγηση χωρητικών φορτίων από αυτόν: §13.5, σελ. 1244-1252, από το βιβλίο Sedra & Smith, τόμος B'· επίσης, λίγα γιά τις πύλες NAND και NOR, §13.6, σελ. 1254-1256. Διαβάστε προσεκτικά τις σελ. 1244-1248 και 1250-1252.

Πείραμα 10.1: Εξισώσεις Ρεύματος-Τάσεων του MOS FET

Μελετήστε το φύλλο δεδομένων του ολοκληρωμένου κυκλώματος CD4007 που θα σας δοθεί στο εργαστήριο, και που περιέχει 3 τρανζίστορες NMOS και 3 PMOS: <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/cd4007ub.pdf> Σε αυτό το πείραμα, θα μετρήσετε μερικές από τις καμπύλες $I_{DS} - V_{DS}$, γιά μερικές διαφορετικές τιμές της παραμέτρου V_{GS} , γιά ένα από τα τρανζίστορες NMOS του chip.

Χρησιμοποιήστε δύο τροφοδοτικά γιά να μπορείτε να ελέγχετε ανεξάρτητα την τάση πύλης V_{GS} (ελεγκτήρια τάση) και την τάση V_{DS} στο ελεγχόμενο κύκλωμα. Συνδέστε τους αρνητικούς πόλους και των δύο τροφοδοτικών στον ακροδέκτη πηγής (S), pin 7, του πρώτου τρανζίστορ NMOS (το pin 7 είναι αυτό που συνδέεται και στο υπόστρωμα των τριών τρανζίστορες NMOS, το οποίο είναι υλικό τύπου p και πρέπει να είναι ανάστροφα πολωμένο, δηλαδή συνδεδεμένο στην αρνητικότερη τάση του κυκλώματος). Ρυθμίστε το πρώτο τροφοδοτικό σε μιά χαμηλή τάση, π.χ. 2 V, και το δεύτερο

τροφοδοτικό σε τάση 6 V και **όριο ρεύματος 8 mA** (σημαντικό, γιά να προστατέψτε το τρανζίστορ από υπερθέρμανση). Συνδέστε το θετικό πόλο του πρώτου τροφοδοτικού στην πύλη του τρανζίστορ, pin 6, δίνοντας έτσι την τάση V_{GS} , και το θετικό πόλο του δεύτερου τροφοδοτικού στην υποδοχή (αποδέκτη - drain) του τρανζίστορ, pin 8 δίνοντας έτσι την τάση V_{DS} . Βάλτε το μετρητή του πρώτου τροφοδοτικού να μετρά τάση, ενώ του δεύτερου να μετρά συνήθως ρεύμα αλλά μερικές φορές και τάση.

Μετρήστε πρώτα την τάση κατωφλίου (threshold voltage - V_T) του τρανζίστορ: Ανεβάζετε σιγά-σιγά την τάση V_{GS} της πύλης από το μηδέν προς τα επάνω, μέχρις ότου να δείτε κάποιο μη μηδενικό ρεύμα, I_{DS} , να περνά από την υποδοχή· στη μέτρηση αυτή, φροντίστε στο μετρητή ρεύματος του δεύτερου τροφοδοτικού να μπορείτε να παρακολουθείτε και πολύ μικρά ρεύματα (μA). Η τάση V_{GS} που ίσα-ίσα αφήνει να περνά κάποιο μη μηδενικό ρεύμα I_{DS} είναι η τάση κατωφλίου.

Μετρήστε στη συνέχεια τη σχέση $I_{DS} = f(V_{DS})$ γιά τις εξής τιμές V_{GS} : τάση κατωφλίου + 1 V, τάση κατωφλίου + 2 V, τάση κατωφλίου + 3 V, και τάση κατωφλίου + 4 V (τέσσερις καμπύλες ρεύματος-τάσης αποδέκτη). Γιά κάθε τιμή V_{GS} , μεταβάλετε την τάση του δεύτερου τροφοδοτικού από 0 έως 8 V, σε πολλαπλά βήματα, και μετράτε το αντίστοιχο ρεύμα κάθε φορά. Παραστήστε τις μετρήσεις σας σε 4 καμπύλες.

Πείραμα 10.2: Τάσεις Εισόδου-Εξόδου Αντιστροφέα CMOS

Στο κύκλωμα του προηγούμενου πειράματος, 10.1, συνδέστε και το πρώτο (αριστερά) τρανζίστορ PMOS ώστε να φτιάξετε έναν αντιστροφέα CMOS: Μεταφέρετε το δεύτερο τροφοδοτικό στο pin 14 (πηγή και υπόστρωμα του τρανζίστορ PMOS), και συνδέστε μεταξύ τους τα pins 8 και 13 (NMOS drain, PMOS drain) καθώς επίσης συνδέστε στο ίδιο σημείο (έξοδος του αντιστροφέα) το βολτόμετρο (πολύμετρο). Το πρώτο τροφοδοτικό, στο pin 6, συνεχίζει να τροφοδοτεί τις πύλες και των δύο τρανζίστορς, NMOS και PMOS (είσοδος του αντιστροφέα).

Ρυθμίστε την τάση τροφοδοσίας (δεύτερο τροφοδοτικό) στα 6 V, και αλλάξτε την τάση εισόδου (πρώτο τροφοδοτικό) από τα 0 έως τα 6 V, σε πολλαπλά βήματα, και μετρώντας κάθε φορά την τάση εξόδου. Απεικονίστε τις μετρήσεις σας σε μία καμπύλη. Επαναλάβετε γιά μια-δυό άλλες τάσεις τροφοδοσίας (π.χ. 4 V, 8 V). Σε τι αντιστοιχεί η τάση κατωφλίου που μετρήσατε στο προηγούμενο πείραμα;