

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧ. & ΜΗΧ. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**  
**ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΙΙΙ**

Σκοπός της εργασίας είναι να γνωρίσετε τη διαδικασία σχεδιασμού ενός πραγματικού κυκλώματος και να κατανοήσετε απευθείας μέσω της πράξης τα προβλήματα που αντιμετωπίζει ένας σχεδιαστής. Στην παρούσα εργασία ζητείται ο σχεδιασμός ενός τελεστικού ενισχυτή σε τεχνολογία MOS 0.35, σύμφωνα με τις παρακάτω προδιαγραφές (Πίνακας 1). Επίσης ζητείται να γραφεί στο Matlab σκριπτάκι το οποίο οποίο θα υπολογίζει αυτόματα την αριθμητική επίλυση του τελεστικού, με βάση τις προδιαγραφές του. Στο τέλος θα παραδοθεί (ανεβάζοντας στην ενότητα εργαστήρια στο ethmmy) πολυσέλιδο pdf το οποίο θα περιλαμβάνει την αριθμητική επίλυση, το σκριπτάκι, screenshots από τη σχεδίαση και όλα τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που θα αποδεικνύουν την επαλήθευση των προδιαγραφών.

Έστω  $\xi$  διψήφιος αριθμός από το 0 έως το 99 με τα δύο τελευταία ψηφία του AEM του κάθε φοιτητή. Λόγου χάρη για AEM 1234 έχουμε  $\xi=34$ , για το AEM 4567 έχουμε  $\xi=67$  κοκ. Ο παρακάτω πίνακας περιγράφει τις προδιαγραφές για κάθε φοιτητή ανάλογα με τον αριθμό  $\xi$  που προκύπτει από το AEM του.

Προδιαγραφή	Τιμή συναρτήσεσι του AEM
CL	$(2+0,01\xi)$ pF
SR	$>(18+0,01\xi)$ V/ $\mu$ s
Vdd	$(1,8+0,003\xi)$ V
Vss	$-(1,8+0,003\xi)$ V
GB	$>(7+0,01\xi)$ MHz
A	$>(20+0,01\xi)$ dB
P	$<(50+0,01\xi)$ mW

Πίνακας 1

Τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσετε είναι τα ίδια με αυτά της τυπικής διαδικασίας σχεδιασμού οποιουδήποτε ολοκληρωμένου κυκλώματος. Ειδικότερα,

1. **Αρχική φάση:** Εισάγετε τις δεδομένες προδιαγραφές στον αλγόριθμο σχεδίασης TE και

έχετε την πρώτη εκτίμηση των απαιτούμενων τιμών  $W$ .

**2. Προσομοίωση:** Σχεδιάζετε το κύκλωμα και το προσομοιώνετε με το SPICE. Ελέγχετε τις προδιαγραφές. Εάν τις έχετε πιάσει όλες, τότε... κάτι κάνετε λάθος! (Είναι σχεδόν αδύνατον να συμβεί αυτό για οποιοδήποτε κύκλωμα). Εάν έχετε μεγάλη απόκλιση στις προδιαγραφές συγκρίνετε τα ρεύματα που προβλέπει ο αλγόριθμος για κάθε τρανζίστορ με αυτά της προσομοίωσης. Εάν οι τιμές των ρευμάτων είναι κοντινές τότε μπορείτε να προχωρήσετε στο επόμενο βήμα. Εάν όχι, τότε πιθανώς κάνατε κάποιο σφάλμα στις πράξεις. Εκτελέστε τον αλγόριθμο ξανά.

**3. Μικρορυθμίσεις (tuning):** Εδώ ξεκινά η διαδικασία του tuning, δηλαδή προσπαθείτε με μικροαλλαγές να πετύχετε καλύτερη σύγκλιση των τιμών. Σε αυτό το βήμα μεγάλη βοήθεια προσφέρουν οι παραμετρικές αναλύσεις που παρέχονται από το SPICE. Μην μεταβάλλετε παραμέτρους αυθαίρετα. Ανατρέξτε στις σημειώσεις του μαθήματος, όπου περιγράφεται κάθε τρανζίστορ ποια προδιαγραφή επηρεάζει.

### Διευκρινίσεις:

#### • Τα μοντέλα για τα 2 τρανζίστορ P, N είναι:

Για το pmos:

```
.MODEL pfet PMOS LEVEL=3 PHI=0.600000 TOX=2.1200E-08
+ XJ=0.200000U TPG=-1 VTO=-0.9056 DELTA=1.5200E+00
+ LD=2.2000E-08 KP=2.9352E-05 UO=180.2 THETA=1.2480E-01
+ RSH=1.0470E+02 GAMMA=0.4863 NSUB=1.8900E+16
+ NFS=3.46E+12 VMAX=3.7320E+05 ETA=1.6410E-01
+ KAPPA=9.6940E+00 CGDO=5.3752E-11 CGSO=5.3752E-11
+ CGBO=3.3650E-10 CJ=4.8447E-04 MJ=0.5027
+ CJSW=1.6457E-10 MJSW=0.217168 PB=0.850000
```

Για το nmos:

```
.MODEL nfet NMOS LEVEL=3 PHI=0.600000 TOX=2.1200E-08
+ XJ=0.200000U TPG=1 VTO=0.7860 DELTA=6.9670E-01
+ LD=1.6470E-07 KP=9.6379E-05 UO=591.7 THETA=8.1220E-02
+ RSH=8.5450E+01 GAMMA=0.5863 NSUB=1.6160E+16
+ NFS=5.0000E+12 VMAX=2.0820E+05 ETA=7.0660E-02
+ KAPPA=1.3960E-01 CGDO=4.0241E-10 CGSO=4.0241E-10
+ CGBO=3.6144E-10 CJ=3.8541E-04 MJ=1.1854
+ CJSW=1.3940E-10 MJSW=0.125195 PB=0.800000
```

• Μέσα στον αλγόριθμο σχεδίασης εμφανίζονται κάποιες παράμετροι όπως τα  $k$ ,  $\lambda$ . Αυτά δεν υπάρχουν αυτούσια στο μοντέλο του τρανζίστορ, διότι είναι βιομηχανικό = παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια = μοντελοποιεί περισσότερα φαινόμενα και έτσι χρησιμοποιεί παραμέτρους κατώτερου επιπέδου. Π.χ. για το  $k = \mu C_{ox} = \mu_{ox} \cdot area / tox$  στο εν λόγω μοντέλο ορίζονται αντίστοιχα οι παράμετροι  $u0$ ,  $tox$ , ενώ  $area = W \cdot L$ . Αυτό σημαίνει ότι κάθε τρανζίστορ έχει διαφορετικό  $k$  (στη θεωρία το θεωρούσαμε σταθερό, αλλά για ευκολία στον αλγόριθμο μπορείτε να εισάγετε μια συγκεκριμένη τιμή. Επίσης, προσοχή: οι τιμές των παραμέτρων είναι γενικά διαφορετικές στο P σε σχέση με το N τρανζίστορ. Τι εκφράζει η κάθε παράμετρος μπορείτε να το βρείτε στο βιβλίο του SPICE στο παράρτημα, αλλά και στο manual του προγράμματος.

- Τα  $k_n$ ,  $k_p$  είναι της τάξης των  $50$  έως  $150e-6$
- Ο έλεγχος της εργασίας θα γίνει με βάση το πρόγραμμα Cadence PSPICE Demo. Υπάρχει διαθέσιμο από το site της εταιρείας.
- Η καταληκτική ημερομηνία θα ανακοινωθεί.

**• Η εργασία είναι ατομική και υποχρεωτική. Στο τέλος του εξαμήνου θα εξεταστείτε προφορικά και ατομικά πάνω στην εργασία.**

ΚΑΛΗ ΕΠΙΤΥΧΙΑ

### Ερωτήματα Φοιτητών Προηγούμενων Ετών

1. Για τη μέτρηση του  $A$  (dc open loop gain), GB και περιθωρίου φάσης κάνω AC Sweep με τον τελεστικό σε ανοικτό βρόχο, σωστό;

Κανονικά πρέπει να είναι κλειστό, αλλά σε κάθε περίπτωση πρέπει να έχεις 1 περιθώριο φάσης της τάξης των 45-60ο.

2. Όσον αφορά το SR έκανα το εξής: με τον τελεστικό σε ανοικτό βρόχο γείωσα την αναστρέφουσα είσοδο και στην μη αναστρέφουσα έβαλα πηγή  $v_{sin}$ , έκανα transient αναλυση και με το evaluate measurement βρήκα το Slew rate στην έξοδο. Η έξοδος είχε κανονική μορφή (σαν ορθογωνικός παλμός λόγω του ανω και κάτω κορεσμού και του μεγάλου κέρδους). Το πρόβλημα είναι ότι αν αλλάξει η τιμή του πλάτους ή της συχνότητας της  $v_{sin}$  τότε αλλάζει (τραγικά πολύ) και το slew rate. Τι κάνω;

Προφανώς, όταν τον αφήνεις ανοικτό, λόγω του πολύ μεγάλου κέρδους πάει στον κόρο

και δεν μπορείς να δεις τίποτα. Κλείσε το βρόχο με κάποια αντίσταση για να έχει πεπερασμένο κέρδος.

3. Έστω ότι κάπου κάνω λάθος στις πράξεις και ο τελεστικός που προσομοιώνω δεν είναι ικανός να οδηγήσει το ζητούμενο χωρητικό φορτίο. Πώς θα το καταλάβω αυτό; Πχ θα δω αστάθεια και πότε;

Αν το πραγματικό φορτίο είναι μεγαλύτερο από το υπολογισμένο τότε θα παρατηρήσεις καλύτερη ευστάθεια (ο πόλος πάει πιο βαθιά) μειωμένο σήμα στην έξοδο και μειωμένο SR. Τα αντίστροφα για μικρότερο.

4. Το χωρητικό φορτίο υπάρχει περίπτωση ποτέ (προκειμένου να μετρήσω τα χαρακτηριστικά του TE) να χρειαστεί να αφαιρεθεί και να τοποθετηθεί στη θέση του ωμικό πχ στην AC sweep;

Όχι δεν χρειάζεται.

5. Σαν P<sub>diss</sub> το βιβλίο Holberg παίρνει μόνο την ισχύ των M5 και M6 (βλ. σχήμα στη σελ. 278). Τα άλλα τρανζίστορ γιατί δε λογίζονται;

Για τον τύπο υπολογισμού της ισχύος χρησιμοποιήστε τον

$$P_{diss} = ( I_6 + I_5 ) \times ( V_{DD} + V_{SS} ) .$$

6. Για την σχεδίαση τελεστικού ενισχυτή όπου εμφανίζονται τα CL και P απαιτείται ο καθορισμός της μέγιστης και ελάχιστης τάσης εισόδου από τις προδιαγραφές (το οποίο δεν δίνεται στην εργασία).

Λάβετε τα

$$V_{in(max)} = 100e - 3,$$

$$V_{in(min)} = - 100e - 3$$

7. Πώς υπολογίζω το SR;

Για να μετρήσουμε το SR θέτουμε τον τελεστικό ενισχυτή σε συνδεσμολογία μοναδιαίου κέρδους (unity-gain) και εφαρμόζουμε στην είσοδο τετραγωνικό παλμό πλάτους 1V και πολύ μικρής χρονικής διάρκειας. Έπειτα, το SR υπολογίζεται βρίσκοντας τη μέγιστη κλίση του σήματος εξόδου. Στο PSPICE αυτό γίνεται εύκολα μέσω της συνάρτησης «MAX( D( out ) )», όπου “out” η έξοδος του κυκλώματος.