



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ

Τομέας Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής

Εργαστήριο Ηλεκτρονικής

Ηλεκτρονική Ι

4^ο Εξάμηνο, Ακαδημαϊκό Έτος 2021-2022

Εργασία σε πρόγραμμα προσομοίωσης LT SPICE

Καθ. Παύλος-Πέτρος Σωτηριάδης

Προετοιμασία και επιμέλεια: Χρήστος Δήμας Δρ.

29 Απριλίου 2022

Οδηγίες-Διευκρινίσεις:

- Η εργασία είναι **προαιρετική**, ατομική και παραδίδεται **ηλεκτρονικά** στη σελίδα του μαθήματος στο mycourses, έως και την Τετάρτη, **22 Ιουνίου 2022**.
- Παραδοτέο είναι ένα **συμπιεσμένο αρχείο .zip ή .rar** το οποίο περιλαμβάνει: όλα τα αρχεία προσομοιώσεων LT Spice (ASC) με κατάλληλες ονομασίες, μια **αναφορά σε PDF** και ένα αρχείο **.txt με το ονοματεπώνυμο και τον Α.Μ. σας**.
- Η συνεισφορά της εργασίας στην τελική βαθμολογία είναι η ακόλουθη: **100% τελική εξέταση+10% ασκήσεις+ 10% προαιρετική εργασία**.
- Οι γραφικές παραστάσεις στην αναφορά πρέπει να είναι ευανάγνωστες, δηλαδή ή screenshot από το LT SPICE, αλλά με τροποποίηση των γραφικών επιλογών παρουσίασης των προσομοιώσεων (πιο μεγάλες γραμμές, ανοιχτό background), ή με μεταφορά των γραφικών παραστάσεων σε Python ή Matlab.

Άσκηση 1^η (60%)

Στο κύκλωμα 3 ενισχυτικών σταδίων του σχήματος 1 δίνονται: $V_{dd}=15V$, $R_{sig}=50\Omega$, $R_{E1}=R_{E2}=1k\Omega$. Οι πυκνωτές C_1 και C_2 θεωρούνται coupling capacitors (και κατά την θεωρητική εκτίμηση του κέρδους του ενισχυτή μπορούν να θεωρηθούν άπειρης χωρητικότητας). Για τα 3 BJT τρανζίστορ θεωρείστε το μοντέλο 2N3904. Σκοπός της άσκησης είναι να επιλεγούν κατάλληλες τιμές για τα υπόλοιπα ωμικά καθώς και τα χωρητικά στοιχεία του κυκλώματος, ούτως ώστε να επιτευχθούν τα παρακάτω χαρακτηριστικά του ενισχυτή:

- Συνολικό κέρδος $u_o/u_s \geq 50V/V$.
- Κάτω συχνότητα αποκοπής (low cutoff frequency) $f_L \leq 100Hz$.
- $5V \leq V_{E3} \leq 10V$.

Για να επιτύχετε τα παραπάνω, αρχικά πραγματοποιείτε μια θεωρητική ανάλυση του κυκλώματος, θεωρώντας $\beta=300$ για τα τρανζίστορ και άπειρη χωρητικότητα στους πυκνωτές. Στη συνέχεια, χρησιμοποιείτε το πρόγραμμα LT SPICE, και εκτελώντας τις κατάλληλες προσομοιώσεις βρείτε τις τελικές τιμές των στοιχείων. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να ελέγχεται κατά πόσον τα τρανζίστορ βρίσκονται στην ορθή ενεργό περιοχή.

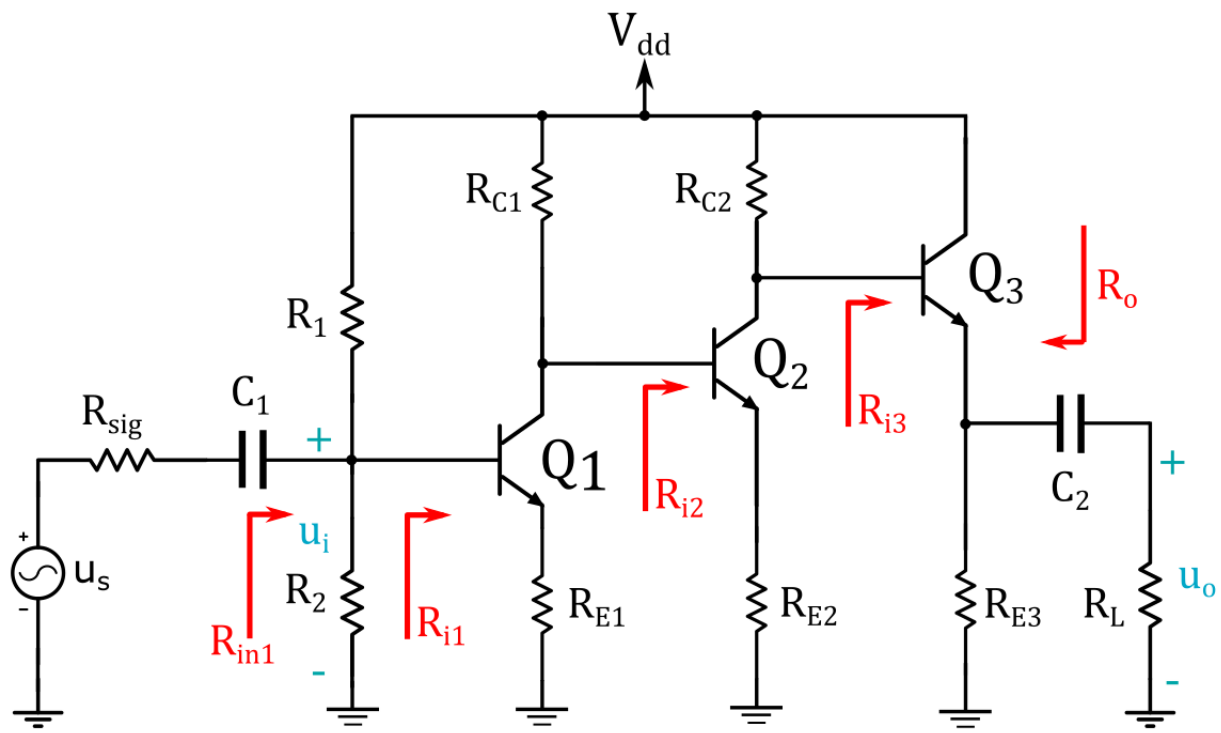
Στην αναφορά σας να συμπεριληφθούν:

-Η θεωρητική ανάλυση του κυκλώματος (DC ανάλυση για να βρείτε πως εξαρτώνται τα ρεύματα των BJT από τα στοιχεία του ενισχυτή-υποθέτοντας ότι βρίσκονται στην ορθή ενεργό περιοχή- και AC ανάλυση για να βρείτε από τι εξαρτάται το κέρδος).

-Περιγραφή (συμπεριλαμβανομένων και κατάλληλων γραφικών παραστάσεων) της μεθόδου που ακολουθήθηκε στις προσομοιώσεις για να καταλήξετε στις τιμές των στοιχείων.

Για τις τελικές τιμές των στοιχείων και με τη χρήση του προγράμματος προσομοίωσης LT SPICE:

- Οι DC τάσεις και τα ρεύματα των transistor, ως αποτέλεσμα .op προσομοίωσης, καθώς και αιτιολόγηση ότι αυτά βρίσκονται στην ορθή ενεργό περιοχή.
- Διαγράμματα BODE κέρδους και φάσης για το συνολικό ενισχυτή και για συχνότητες από 1Hz μέχρι και 1GHz.
- Διάγραμμα αντίστασης εισόδου R_{in1} συναρτήσει της συχνότητας, για το ίδιο εύρος συχνοτήτων.
- Transient προσομοίωση της τάσης εξόδου για ημιτονοειδές σήμα εισόδου πλάτους 2mV και συχνότητας 1kHz (σε διάστημα 5 περιόδων).



Σχήμα 1

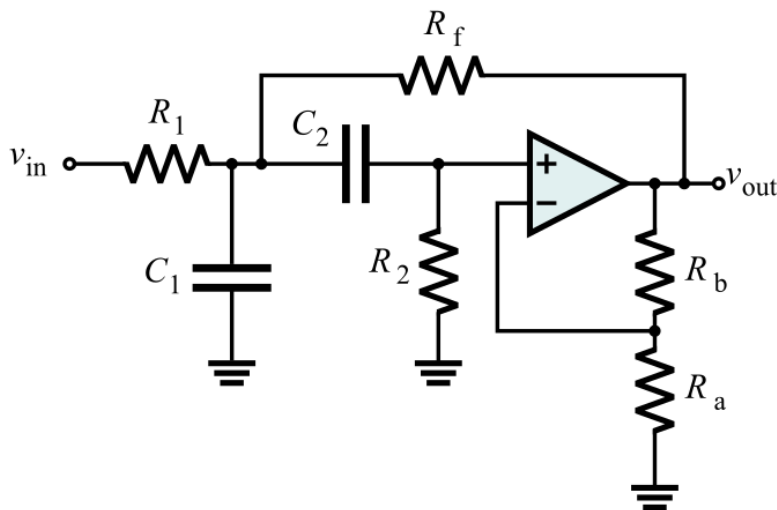
Άσκηση 2^η (40%)

Δίνεται ενεργό φίλτρο του σχήματος 2 (band-pass Sallen-key). Αρχικά να αποδείξετε ότι η συνάρτηση μεταφοράς του είναι η ακόλουθη (θεωρώντας ιδανικό τελεστικό ενισχυτή):

$$H(s) = \frac{\left(1 + \frac{R_b}{R_a}\right) \frac{s}{R_1 C_1}}{s^2 + \left(\frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_2 C_1} + \frac{1}{R_2 C_2} - \frac{R_b}{R_a R_f C_1}\right) s + \frac{R_1 + R_f}{R_1 R_f R_2 C_1 C_2}}$$

Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα LT SPICE, καθώς και την συνάρτηση $H(s)$, να βρείτε τιμές των στοιχείων τέτοιες ώστε να επιτύχετε κεντρική συχνότητα $f_o = 10000 + \langle AM1AM2 \rangle * 1000$ Hz και συντελεστή ποιότητας $Q \geq 0.707$. Όπου **AM1 το προτελευταίο** και **AM2 το τελευταίο** ψηφίο του αριθμού μητρώου (AM) σας. Να χρησιμοποιήσετε **τιμές** διακριτών στοιχείων **που υπάρχουν στο εμπόριο** (δείτε πχ. εδώ <https://www.oreilly.com/library/view/complete-electronics-self-teaching/9781118282328/9781118282328b04.xhtml>), καθώς και το μοντέλο τελεστικού ενισχυτή AD8065 με τροφοδοσία $\pm 12V$. Αποκλίσεις της τάξης μέχρι και 2% από την επιθυμητή f_o θα είναι αποδεκτές.

Παράδειγμα: Για AM 3119989 θα είναι $f_o = 10000 + 89000 = 99000$ Hz.



Σχήμα 2

Στην αναφορά σας να συμπεριληφθούν:

- Η θεωρητική ανάλυση του κυκλώματος για την εξαγωγή της $H(s)$.
- Περιγραφή (συμπεριλαμβανομένων και κατάλληλων γραφικών παραστάσεων) της μεθόδου που ακολουθήθηκε στις προσομοιώσεις για να καταλήξετε στις τιμές των στοιχείων.

Για τις τελικές τιμές των στοιχείων και με τη χρήση του προγράμματος προσομοίωσης LT SPICE:

- Διαγράμματα BODE κέρδους και φάσης για το φίλτρο και για συχνότητες από 1Hz μέχρι και 1GHz.
- Transient προσομοίωση της τάσης εισόδου και εξόδου για σήμα εισόδου τετραγωνικό παλμό από 0 ως 1V, duty cycle 50% και συχνότητας f_0 (σε διάστημα 5 περιόδων).