



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 2020-2021

Εργασία σε πρόγραμμα προσομοίωσης LT Spice

Καθ. Παύλος-Πέτρος Σωτηριάδης

Προετοιμασία και επιμέλεια: Χρήστος Δήμας Υ.Δ.

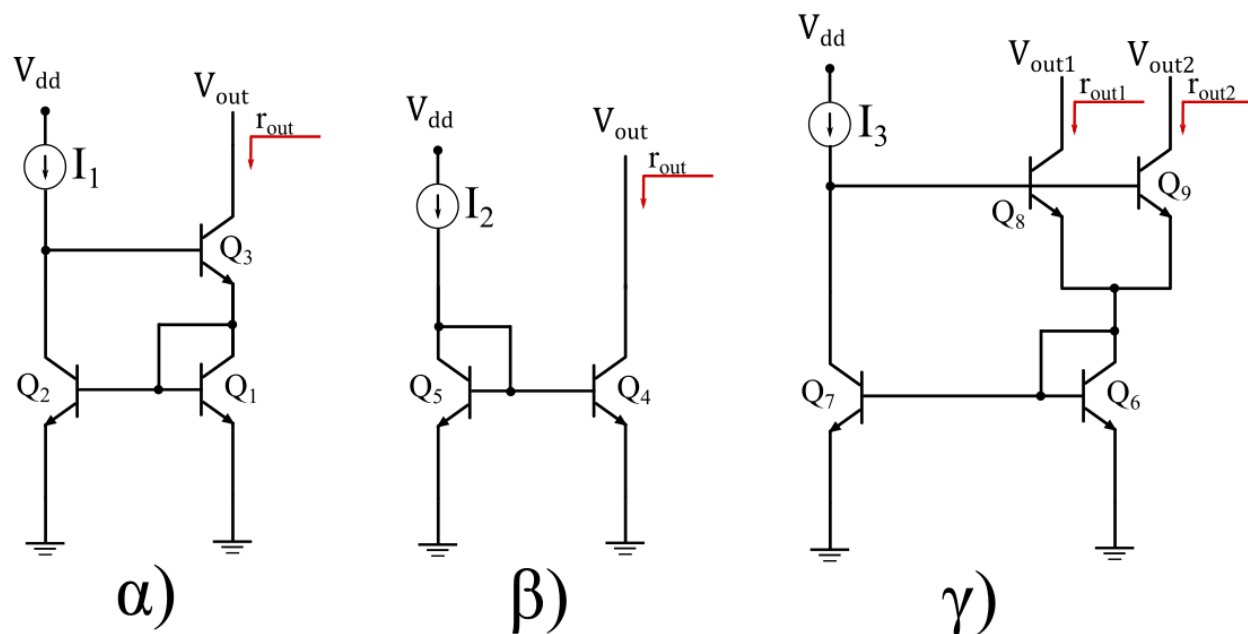
21 Μαΐου 2021

Οδηγίες-Διευκρινίσεις:

- Η εργασία είναι **προαιρετική**, ατομική και παραδίδεται **ηλεκτρονικά** στη σελίδα του μαθήματος στο mycourses, έως και την Τετάρτη, **30 Ιουνίου 2021**.
- 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 αναφορά θα πρέπει να περιέχει επαρκείς αιτιολογήσεις και συγκρίσεις με τις αναμενόμενες συμπεριφορές των κυκλωμάτων από τη θεωρία.
- 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.

Μέρος 1^ο (30%)

Για τους τρεις καθρέπτες ρεύματος του παρακάτω σχήματος, δίνονται $V_{CC}=10V$ και $I_1=I_2=I_3=1mA$. Για τα Q_1-Q_9 , χρησιμοποιείτε το διπολικό τρανζίστορ 2N3904.



Σχήμα 1

A) Ποια η αντίσταση εξόδου r_{out} του καθρέπτη Wilson α) για $V_{out} = 5V$ στην συχνότητα $f = 100Hz$; (Hint: Θεωρήστε πηγή **μόνο για AC** προσομοίωση στον κόμβο εξόδου, με DC 5V και AC 1).

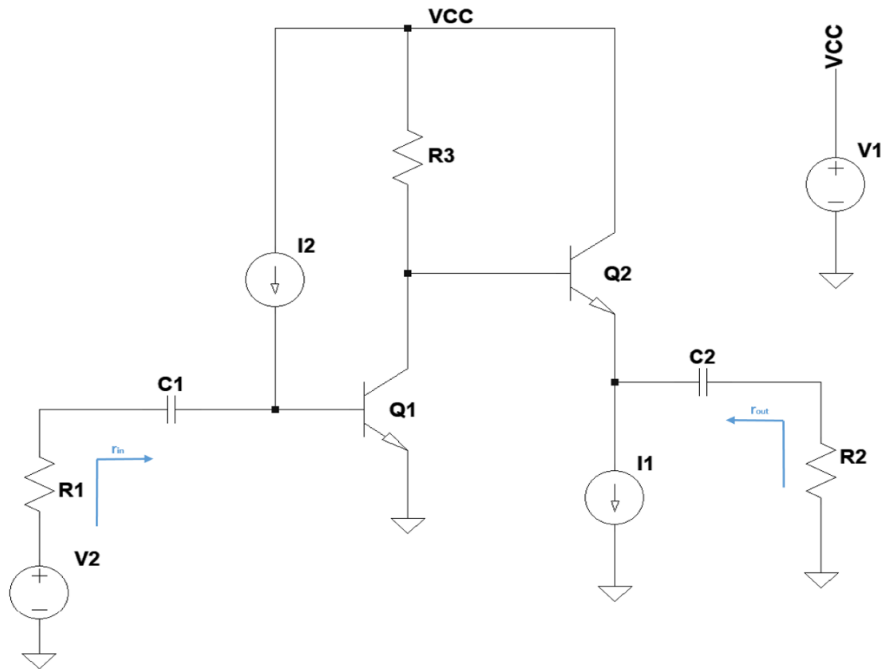
B) Ποια η αντίσταση εξόδου r_{out} του καθρέπτη Widlar β) για $V_{out} = 5V$ στην συχνότητα $f = 100Hz$;

Γ) Ποιες οι αντιστάσεις εξόδου r_{out1} r_{out2} του τροποποιημένου καθρέπτη Wilson γ) για $V_{out1} = V_{out2} = 5V$ στην συχνότητα $f = 100Hz$;

Δ) Ποια η ελάχιστη τάση στον συλλέκτη του Q_3 για την οποία το ρεύμα εξόδου (I_{C3}) είναι ίσο με το ονομαστικό (με απόκλιση το πολύ 5%).

Ε) Ποια η ελάχιστη τάση στον συλλέκτη του Q_4 για την οποία το ρεύμα εξόδου (I_{C4}) είναι ίσο με το ονομαστικό (με απόκλιση το πολύ 5%).

Μέρος 2^ο (30%)



Σχήμα 2

Για το παραπάνω κύκλωμα δίνονται $V_{CC}=10V$, $R_1=1k\Omega$, $R_2=50\Omega$, $R_3=1k\Omega$, $C_1=C_2=100\mu F$ και $I_1=50mA$.

Για τα Q1 και Q2 , χρησιμοποιείτε το διπολικό τρανζίστορ 2N2222.

A) Ποια πρέπει να είναι η τιμή της I_2 , ώστε το ρεύμα συλλέκτη του Q1 να είναι $I_{C1}=5.1mA$; Να παρουσιαστεί η διαδικασία εύρεσης και το κατάλληλο διάγραμμα.

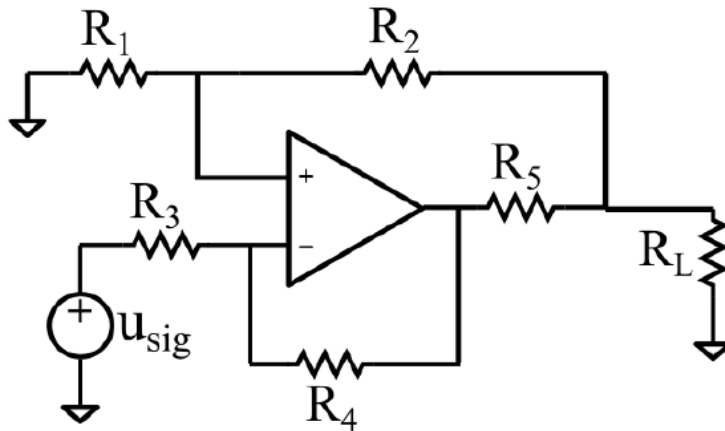
B) Να σχεδιαστεί το διάγραμμα Bode ενίσχυσης και φάσης σε κατάλληλο εύρος συχνοτήτων. Ποια η συχνότητα f_{-3dB} του παραπάνω ενισχυτή; Συμφωνεί το κέρδος στην ωφέλιμη ζώνη συχνοτήτων με το θεωρητικό αναμενόμενο;

Γ) Να σχεδιαστεί το διάγραμμα της αντίστασης εισόδου του ενισχυτή (όπως υποδεικνύεται στο σχήμα) σε κατάλληλο εύρος συχνοτήτων. Οι τιμές του διαγράμματος να είναι σε Ohm (γραμμικός y άξονας) και ο άξονας συχνοτήτων λογαριθμικός. Ποια η αντίσταση εισόδου r_{in} του παραπάνω ενισχυτή στην συχνότητα $f = 10kHz$; Συμφωνεί η αντίσταση εισόδου κοντά στο DC με την αναμενόμενη θεωρητική;

Δ) Να σχεδιαστεί το διάγραμμα της αντίστασης εξόδου του ενισχυτή (όπως υποδεικνύεται στο σχήμα) σε κατάλληλο εύρος συχνοτήτων. Οι τιμές του διαγράμματος να είναι σε Ohm (γραμμικός y άξονας) και ο άξονας συχνοτήτων λογαριθμικός. Ποια η αντίσταση εξόδου r_{out} του παραπάνω ενισχυτή στην συχνότητα $f = 10kHz$; Συμφωνεί η αντίσταση εξόδου κοντά στο DC με την αναμενόμενη θεωρητική;

Μέρος 3^ο (25%)

Η παρακάτω διάταξη ονομάζεται Howland Current Source/ Pump (HCP). Είναι ένας ενισχυτής τάσης σε ρεύμα (VCCS) που χρησιμοποιείται για δημιουργία πηγών ρευμάτων σε χαμηλές και μεσαίες συχνότητες, με αρκετές παραλλαγές. Το ρεύμα οδηγείται στο φορτίο R_L .



Σχήμα 3

A) Εκτελέστε transient προσομοίωση για πηγή πλάτους 1V και συχνότητα 10kHz, του ρεύματος εξόδου για τιμές των R_1 - R_4 στα 1k Ω , 10k Ω , 50k Ω και 100 k Ω , και $R_5 = \{1 \text{ k}\Omega, 5 \text{ k}\Omega\}$. Χρησιμοποιείστε τον LT1001 OPAMP και την εντολή “**.step param X list**”. Η προσομοίωση να τερματίζεται στα 0.5ms.

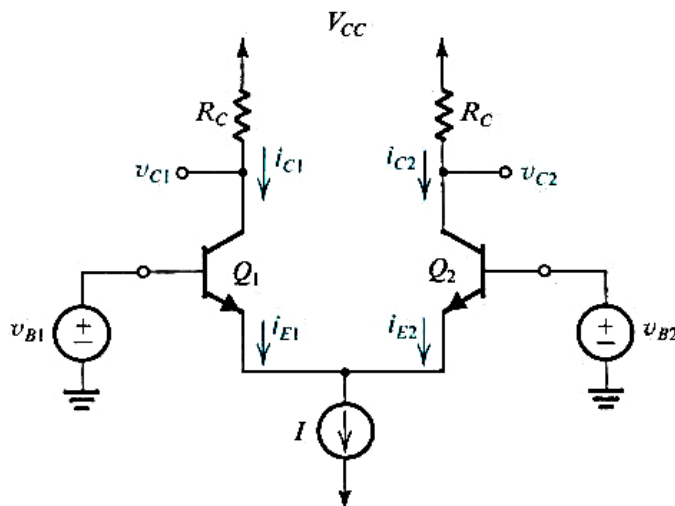
B) Για τιμές R_1 - R_4 100k Ω και $R_5 = 1 \text{ k}\Omega$, εκτελέστε transient προσομοιώσεις για πηγή τάσης πλάτους 0.5, 1, 2 και 3V και συχνότητας 10kHz σε κοινούς άξονες. Χρησιμοποιείστε τον LT1001 OPAMP και την εντολή “**.step param X list**”. Η προσομοίωση να τερματίζεται στα 0.5ms.

Γ) Για τιμές των R_1 - R_4 στα 1k Ω , 10k Ω , 50k Ω και 100 k Ω , και $R_5 = \{1 \text{ k}\Omega, 5 \text{ k}\Omega\}$, προσομοιώστε τις τιμές (μέτρο και φάση) της αντίστασης εξόδου του κυκλώματος για εύρος συχνοτήτων 1Hz-10MHz. Ο άξονα y στα πλάτη να είναι λογαριθμικός και να δείχνει τιμές αντιστάσεων σε Ohm. Χρησιμοποιείστε τον LT1001 OPAMP και την εντολή “**.step param X list**”. Που οφείλεται η αλλαγή όσο αυξάνεται η συχνότητα; Τι επιδιώκουμε σε ότι αφορά την αντίσταση εξόδου και γιατί;

Δ) Επαναλάβετε το ερώτημα Γ) αυτή τη φορά χρησιμοποιώντας τον OPAMP ADA4625. Ποιες διαφορές παρατηρείτε; Που μπορεί να οφείλονται; Ποια κατάσταση πρέπει να αποφύγουμε;

Μέρος 4^ο (15%)

Για το διαφορικό ενισχυτή του παρακάτω σχήματος, θεωρείστε $u_{b2}=0$ και χρησιμοποιείτε το transistor 2N2222. Θεωρείστε ότι η u_{b1} μεταβάλλεται από -0.25 μέχρι 0.25 V. Θεωρήστε επίσης ότι $V_{cc}=10$ V και $I=2$ mA.



Σχήμα 4

A) Χαράζτε τη χαρακτηριστική μεταφοράς της διαφορικής εξόδου $u_{c2}-u_{c1}$ ως προς την είσοδο σε κοινούς άξονες για τις ακόλουθες τιμές της αντίστασης R_c : 100Ω , 500Ω , $1k\Omega$, $2k\Omega$, $5k\Omega$, $10k\Omega$. Τι παρατηρείτε; Είναι αναμενόμενο από τη θεωρητική σας ανάλυση;

B) Επαναλάβετε το παραπάνω για το transistor 2N3904. Παρατηρείτε κάποια αλλαγή; Δικαιολογείστε την απάντησή σας με βάση και τη θεωρητική σας ανάλυση.

Γ) Χρησιμοποιώντας το transistor 2N3904, και αντίσταση $R_c=1k\Omega$, χαράζτε την παραπάνω συνάρτηση μεταφοράς για θερμοκρασίες από 0 μέχρι 120 βαθμούς, με βήμα 10 βαθμών, σε κοινούς άξονες. Τι παρατηρείτε; Δικαιολογείστε την απάντησή σας με βάση και τη θεωρητική σας ανάλυση.

Δ) Θεωρήστε ότι οι u_{b1} και u_{b2} στο κάτω άκρο τους αντί γης έχουν ένα dc σήμα 0.5 V (offset). Για τις τιμές της R_c πάνω από το transistor $Q2$ $0.95k\Omega$, $0.98k\Omega$, $1k\Omega$, $1.02k\Omega$ και $1.05k\Omega$, εκτελέστε transient προσομοίωση θεωρώντας πως η u_{b1} είναι ημιτονικό σήμα 1 kHz και πλάτους 0.05 V. Οι γραφικές να παρασταθούν στους ίδιους άξονες. Εάν αυξηθεί αρκετά το πλάτος τι θα συμβεί;