



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

2^η Σειρά Ασκήσεων

Καθ. Παύλος-Πέτρος Σωτηριάδης

11 Απριλίου 2022

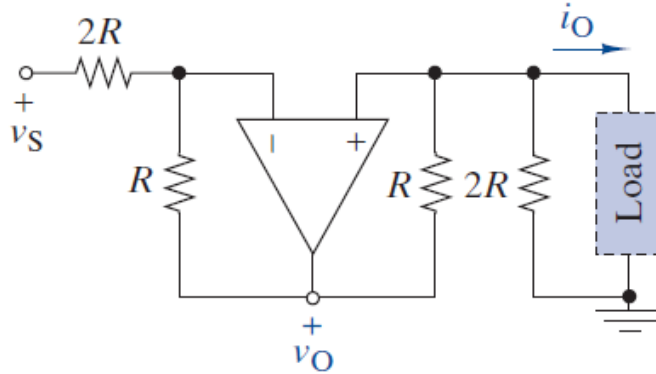
Μελέτη: Από το βιβλίο Μικροηλεκτρονικά Κυκλώματα του Sedra Smith, 7^η έκδοση το 2^ο κεφάλαιο (Τελεστικοί ενισχυτές) και το 4^ο κεφάλαιο (Δίοδοι).

Διευκρινίσεις:

- Οι ασκήσεις είναι ατομικές και παραδίδονται **ηλεκτρονικά** στη σελίδα του μαθήματος στο helios, έως και την Τρίτη, **26 Απριλίου 2022**. Η μορφή του αρχείου να είναι μόνο **PDF**. Προτείνεται η συμπίεσή του.
- Χρησιμοποιήστε τα Θεωρήματα Thévenin, Norton, Επαλληλίας και Millman στις ασκήσεις που περιέχουν ανάλυση κυκλωμάτων όσο μπορείτε περισσότερο. Κάθε επιστημονικά τεκμηριωμένη λύση θα θεωρηθεί ορθή.
- Σε όσες ασκήσεις ζητείται χρήση **LT SPICE**, να παρουσιάσετε και σχολιάσετε συνοπτικά τις κατάλληλες γραφικές παραστάσεις για τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων.
- Σε όσες ασκήσεις δεν δίνονται τιμές στοιχείων βρείτε την απάντηση σε μορφή γενικού τύπου.
- Ορθή επίλυση **όλων των σειρών** ασκήσεων που θα δοθούν μέσα στο εξάμηνο προσδίδει βαθμολογική ενίσχυση ως και **1 μονάδα** στον τελικό βαθμό. Η παράδοσή τους **δεν** είναι υποχρεωτική, αλλά συνίσταται για την κατάλληλη προετοιμασία.

Άσκηση 1

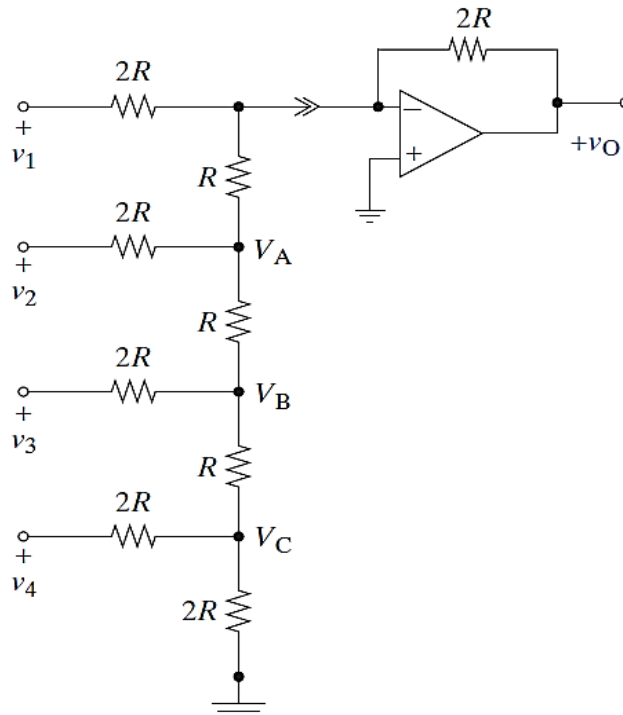
Στη διάταξη του σχήματος 1, δείξτε ότι για γραμμική περιοχή λειτουργίας του τελεστικού ενισχυτή ισχύει $i_o = -u_s/2R$. Ποια λειτουργία επιτελεί το κύκλωμα;



Σχήμα 1

Άσκηση 2

Το σχήμα 2 απεικονίζει μια διάταξη R-2R DAC (Digital-to-Analog Converter). Οι ψηφιακές τάσεις εισόδου u_1 - u_4 μπορεί να λάβουν τιμές 5V (για το λογικό 1) ή 0V (για το λογικό 0). Ποια η έξοδος του DAC όταν τα λογικά σήματα στις εισόδους u_1 - u_4 λαμβάνουν αντίστοιχα τις τιμές 1, 1, 0 και 1; Υποθέστε ότι ο τελεστικός ενισχυτής βρίσκεται στη γραμμική περιοχή λειτουργίας.



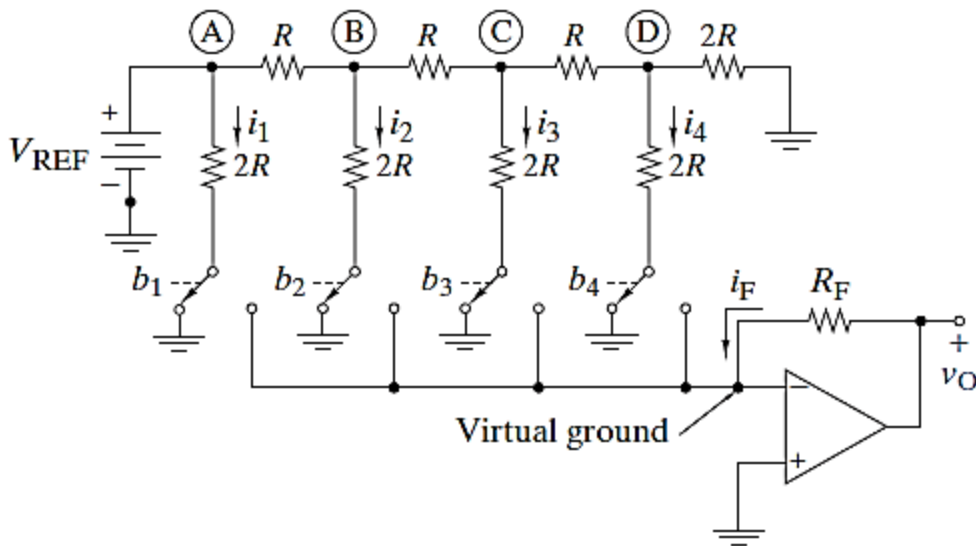
Σχήμα 2

Άσκηση 3

Το κύκλωμα του σχήματος 3 είναι ένας 4bit DAC. Η έξοδος του DAC είναι η τάση u_o , ενώ η είσοδος του είναι ο δυαδικός κώδικας που παριστάνεται από τα bits b_1 - b_4 . Τα bits εισόδου είναι 0 (low) ή 1 (high) και καθένα από αυτά ελέγχει τον αντίστοιχο διακόπτη b_1 - b_4 . Όταν τα bits είναι στο low (0), οι διακόπτες τους βρίσκονται στην αριστερή θέση, οδηγώντας τα ρεύματα που διαρρέουν τις αντιστάσεις $2R$ στη γη. Όταν είναι στο high (1), οι διακόπτες τους μετακινούνται στη δεξιά θέση, οδηγώντας τα παραπάνω ρεύματα προς τον αναστρέφοντα ακροδέκτη του τελεστικού ενισχυτή. Οι τιμές των ρευμάτων που διαρρέουν τις αντιστάσεις $2R$ δε μεταβάλλονται όταν αλλάζουν θέσεις οι διακόπτες, καθώς ο αναστρέφοντας ακροδέκτης του τελεστικού ενισχυτή αποτελεί ουσιαστικά μια εικονική γη.

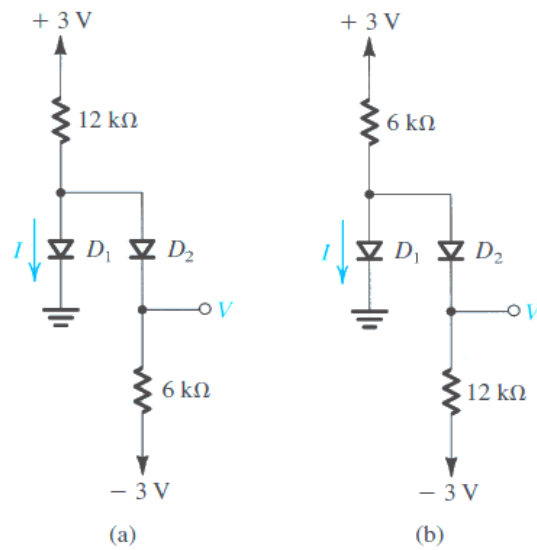
1. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο αναστρέφον ακροδέκτης είναι εικονική γη, δείξτε ότι για τα ρεύματα i_j , με $j=1,2,3,4$ που διαρρέουν τις αντιστάσεις $2R$ ισχύει $i_j = V_{REF} / 2^j R$
2. Δείξτε ότι στον αναστρέφοντα ακροδέκτη ισχύει για τα ρεύματα $\sum_{j=1}^4 b_j i_j = -i_F$
3. Αξιοποιώντας κατάλληλα τα παραπάνω αποτελέσματα, αποδείξτε ότι η τάση εξόδου του τελεστικού ενισχυτή είναι:

$$u_o = -\frac{R_F}{2R} V_{REF} \sum_{j=1}^4 \frac{b_j}{2^{j-1}}$$



Σχήμα 3

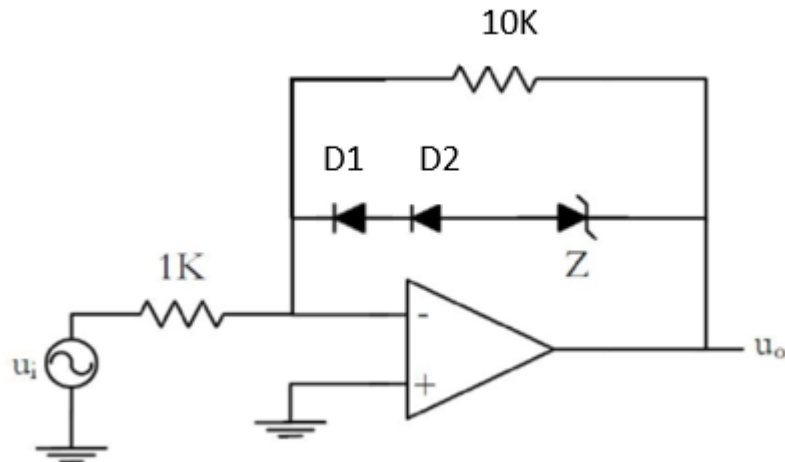
Άσκηση 4 Spice



Σχήμα 4

Στα κυκλώματα του σχήματος 4, βρείτε τις τιμές I και V εάν Α) Οι διόδοι είναι ιδανικές και Β) Παρουσιάζουν πτώση τάσης 0.7V . Έπειτα, να βρείτε τις αντίστοιχες τιμές με χρήση του λογισμικού LT SPICE και χρησιμοποιώντας το μοντέλο διόδου 1N914.

Άσκηση 5 Spice

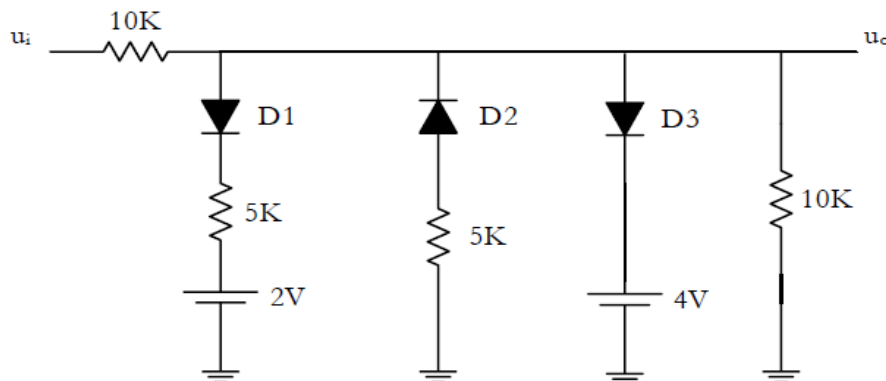


Σχήμα 5

Στο κύκλωμα του σχήματος 5, να βρεθεί και να σχεδιαστεί η χαρακτηριστική συνάρτηση μεταφοράς $u_o=f(u_i)$. Δίνεται ότι οι διόδοι D_1 και D_2 είναι όμοιες με τάση αγωγής $0.7V$, και η zener έχει τάση διάσπασης $9.1V$. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας το λογισμικό LT SPICE, τρέξτε μια DC sweep στην έξοδο u_o για είσοδο u_i από $-10V$ μέχρι $+10V$, θεωρώντας για τον Opamp το μοντέλο AD8065, για τις διόδους D_1 και D_2 το 1N914 και για τη zener το TDZ9_1B (ή άλλο με παρόμοια τάση zener). Ο Opamp να έχει συμμετρική τροφοδοσία στα $\pm 15V$.

Πως ερμηνεύετε το αποτέλεσμα της προσομοίωσης (συνοπτικά);

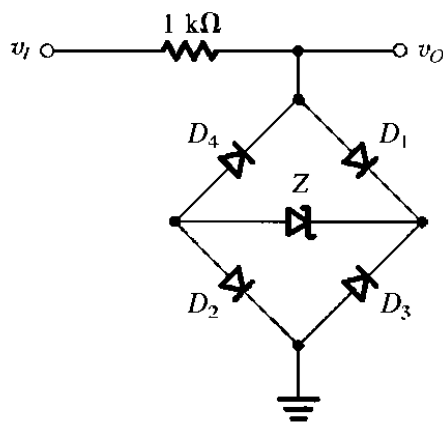
Άσκηση 6 Spice



Σχήμα 6

Για το κύκλωμα του σχήματος 6, να βρείτε και να σχεδιάσετε τη χαρακτηριστική μεταφοράς της εξόδου σε συνάρτηση με την είσοδο (για είσοδο από -15V μέχρι 15V), θεωρώντας πως οι διόδοι παρουσιάζουν πτώση τάσης αγωγής 0.7V . Εκτελέστε την αντίστοιχη προσομοίωση στο LT SPICE, χρησιμοποιώντας το μοντέλο διόδου 1N914.

Άσκηση 7



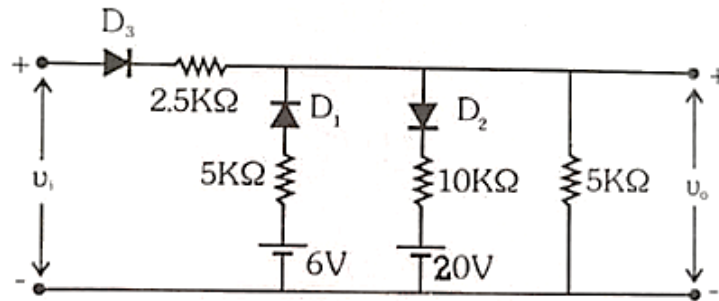
Σχήμα 7

Για το κύκλωμα του σχήματος 7, θεωρείστε ότι οι διόδοι D_1 - D_4 παρουσιάζουν πτώση τάσης αγωγής 0.7V , ενώ η διόδος zener τάση zener 6.8V . Να βρείτε και να σχεδιάσετε τη χαρακτηριστική μεταφοράς της εξόδου σε συνάρτηση με την είσοδο (για είσοδο από -15V μέχρι 15V).

Άσκηση 8

Στο κύκλωμα του σχήματος 8, οι διόδοι θεωρούνται ιδανικές. Να σχεδιαστεί η τάση εξόδου u_o συναρτήσει της τάσης εισόδου u_i , αν η u_i κυμαίνεται από 0 μέχρι 50Volt.

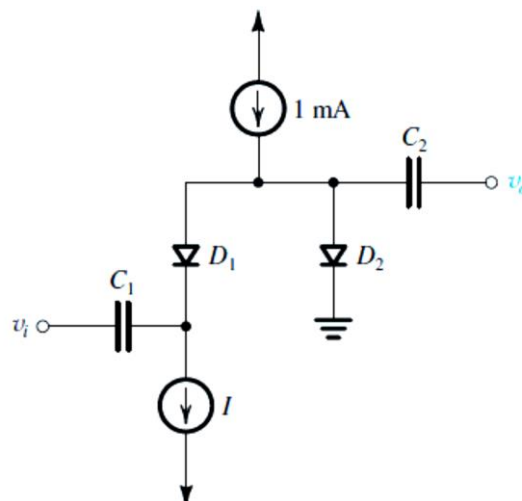
Να επεξηγηθεί επαρκώς το διάγραμμα, σημειώνοντας για κάθε περιοχή ποιες διόδοι άγουν.



Σχήμα 8

Άσκηση 9

Στο χωρητικά συζευγμένο κύκλωμα εξασθενητή (capacitor-coupled attenuator circuit) του σχήματος 9, το I είναι μια dc πηγή ρεύματος ενώ οι χωρητικότητες των πυκνωτών είναι πολύ μεγάλες. Να βρείτε το λόγο της τάσης εξόδου προς την τάση εισόδου ως προς το ρεύμα πόλωσης I , χρησιμοποιώντας μοντέλο μικρού σήματος διόδου.



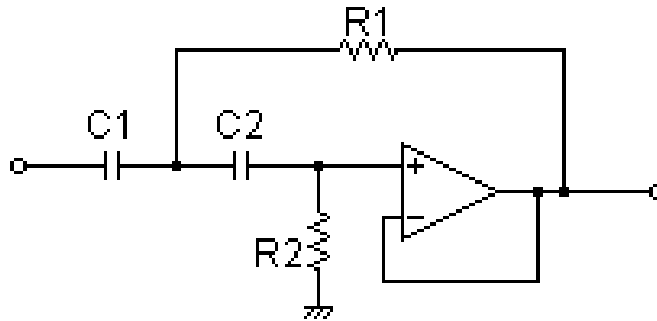
Σχήμα 9

Άσκηση 10 Spice

Στο κύκλωμα του σχήματος 10, θεωρώντας ιδανικό τελεστικό ενισχυτή, να αποδείξετε ότι η συνάρτηση μεταφοράς του φίλτρου είναι:

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

Στη συνέχεια, θεωρώντας $R_1=R_2=16\text{k}\Omega$ και $C_1=C_2=0.01\mu\text{F}$, εκτελέστε AC προσομοίωση στο λογισμικό LT SPICE, για συχνότητες από 1Hz μέχρι 100MHz σε λογαριθμική κλίμακα, για μέτρο και φάση. Τι φίλτρο υλοποιείται; Βρείτε το συντελεστή απόσβεσης ζ , το συντελεστή ποιότητας Q και τη συχνότητα αποκοπής f-3db.



Σχήμα 10