

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΟΔΗΓΟΣ

Εμμ. Δρης, Θ. Αλεξόπουλος, Σ. Μαλτέζος, Β. Πέογλος,  
Γ. Τσιπολίτης, Δ. Τσουκαλάς  
Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών  
ΕΜΠολυτεχνείο

Αθήνα 2003

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ηλεκτρονικά είναι απαραίτητο εργαλείο για όσους ασχολούνται με πειραματική Φυσική. Το φυλλάδιο αυτό είναι μια απόπειρα να γραφεί ένα βοήθημα για το Εργαστήριο Ηλεκτρονικών που διδάσκεται στην Κατεύθυνση Φυσικού Εφαρμογών της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών του ΕΜΠολυτεχνείου. Το εργαστήριο γίνεται σε συνδυασμό με διδασκαλία Εισαγωγής στα Ηλεκτρονικά. Για να είναι αποτελεσματικό το εργαστήριο πρέπει ο φοιτητής να έχει τις απαραίτητες γνώσεις που αποκτώνται με τη διδασκαλία και την κατάλληλη μελέτη που συνοδεύει τη διδασκαλία.

Διαλέχθηκαν 4 αντιπροσωπευτικές εργαστηριακές ασκήσεις. Μέρος της εργασίας που απαιτείται γίνεται στο εργαστήριο (κατασκευή του κυκλώματος και μετρήσεις) και το άλλο μέρος που συνίσταται στην ανάλυση των αποτελεσμάτων (αριθμητικοί υπολογισμοί και θεωρητικές εκτιμήσεις), γίνεται στο σπίτι. Δίνεται η ευκαιρία να εξοικειωθούν οι φοιτητές με τη χρήση του πακέτου SPICE, το οποίο είναι πολύ χρήσιμο εργαλείο για ανάλυση ηλεκτρονικών και ηλεκτρολογικών κυκλωμάτων. Επίσης, είναι δυνατό κάποιος να χρησιμοποιεί για υπολογισμούς και πακέτα όπως το MATLAB ή άλλα παρόμοια.

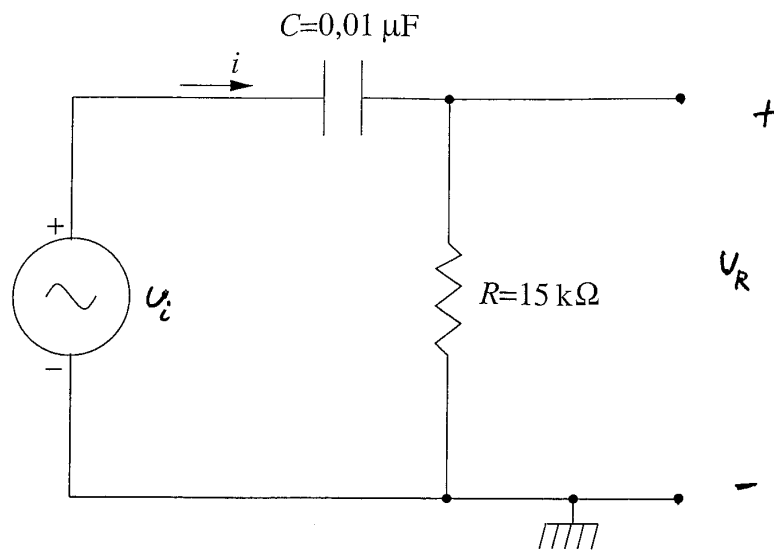
Αθήνα 26/8/2003

## Άσκηση 1

### Παθητικά Φίλτρα.

Σε αυτό το πείραμα μετρίεται η ενίσχυση (απολαβή, κέρδος ή συνάρτηση μεταφοράς) και η διαφορά φάσης εξόδου εισόδου για υψιπερατό και βαθυπερατό φίλτρα ως συναρτήσεις της συχνότητας. Οι μετρήσεις συγκρίνονται με τα αποτελέσματα θεωρητικών υπολογισμών. Προτείνεται να γίνεται χρήση του SPICE.

#### A. Υψιπερατό φίλτρο C-R



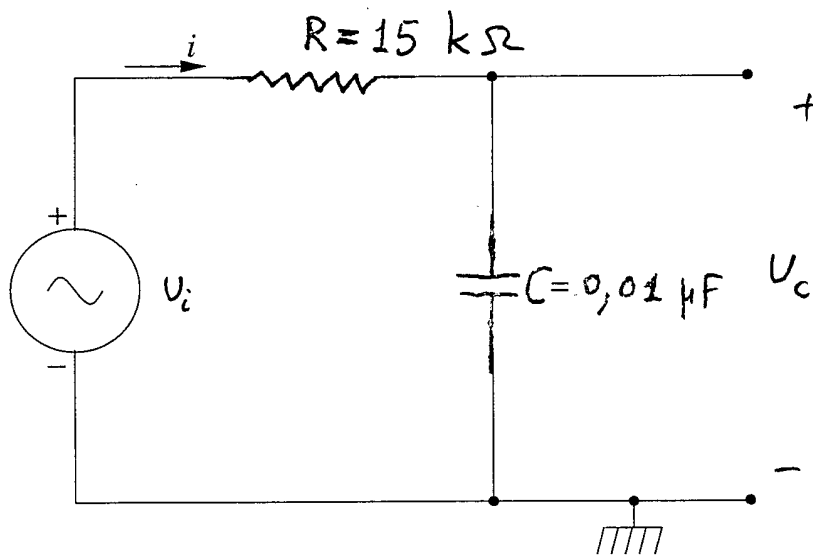
Σχήμα 1.1

1. Να φτιάξετε το υψιπερατό φίλτρο C-R που φαίνεται στο Σχήμα 1.1. Για αρμονικές τάσεις,  $v_i$ , διαφόρων συχνοτήτων  $f$ , να μετρήσετε και να καταγράψετε σε πίνακα τις τιμές των πλατών,  $\hat{v}_i$  και  $\hat{v}_R$  και τη διαφορά φάσης,  $\varphi$ , μεταξύ  $v_R$  και  $v_i$  ως συναρτήσεις της συχνότητας  $f$ . Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε για τη μέτρηση των τάσεων, όργανο DMM (Digital Multimeter – ψηφιακό πολύμετρο) που μετρά την ενεργό τιμή της αρμονικής τάσης ή παλμογράφο που μπορεί να μετρά το πλάτος της αρμονικής κυματομορφής. Να πάρετε περίπου 15 μετρήσεις από  $f=500$  Hz μέχρι  $f=150$  kHz πολλαπλασιάζοντας το  $f$  κατά έναν παράγοντα 1,5 για κάθε μέτρηση. Για να μετρήσετε τη διαφορά της φάσης μεταξύ των  $v_R$  και  $v_i$  να χρησιμοποιήσετε τον παλμογράφο.
2. Να υπολογίσετε την ενίσχυση (κέρδος) τάσης,  $\hat{v}_R / \hat{v}_i$  σε dB, ( $A_{dB}$ ), για τις διάφορες συχνότητες και να καταχωρήσετε τις τιμές στον προηγούμενο πίνακα. Η συχνότητα καμψής  $f_b$  (ονομάζεται και συχνότητα μισής ισχύος ή συχνότητα 3 dB ή κρίσιμη συχνότητα και συμβολίζεται και με  $f_{3dB}$  ή  $f_c$ ) αντιστοιχεί σε  $\varphi=45^\circ$  και  $A_{dB} = -3$  dB. Να προσδιορίσετε την κρίσιμη συχνότητα αυτής της μέτρησης και μετά το  $f/f_b$  για κάθε μέτρηση και να καταχωρίσετε αυτές τις τιμές στον πίνακα. Να συγκρίνετε την  $\omega_b = 2\pi f_b$  με

αυτή που περιμένετε θεωρητικά για το κύκλωμά σας με τις συγκεκριμένες τιμές  $R$ ,  $C$ .

3. Να κάνετε τη γραφική παράσταση των  $A_{dB}$  και  $\varphi$  συναρτήσει του  $\omega/\omega_b$  ( $=f/f_b$ ). Να χρησιμοποιήσετε λογαριθμικό άξονα για το  $\omega/\omega_b$ . Να προσδιορίσετε γραφικά την ασυμπτωτική συμπεριφορά του  $A_{dB}$  για  $\omega \ll \omega_b$ , δηλαδή να υπολογίσετε την κλίση του  $A_{dB}$  ως προς  $\log_{10}(\omega/\omega_b)$ , σε decibel ανά δεκάδα, dB/δεκάδα (δηλαδή ανά δεκαπλασιασμό συχνότητας), και decibel ανά οκτάβα, dB/οκτάβα (δηλαδή ανά διπλασιασμό συχνότητας).
4. Να συγκρίνετε τις μετρήσεις σας με τη θεωρία κάνοντας γραφική παράσταση των θεωρητικών προβλέψεων για το  $A_{dB}$  και τη φάση  $\varphi$  ως προς  $\omega/\omega_b$ . Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε το SPICE ή οποιοδήποτε άλλο υπολογιστικό πακέτο ή να γράψετε σχετικό πρόγραμμα για υπολογιστή.

### B. Βαθυπερατό φίλτρο R – C



Σχήμα 1.2

Να φτιάξετε ένα βαθυπερατό φίλτρο R-C όπως στο Σχήμα 1.2. Να επαναλάβετε τα βήματα 1 – 4. Η ασυμπτωτική συμπεριφορά είναι για  $\omega \gg \omega_b$ .

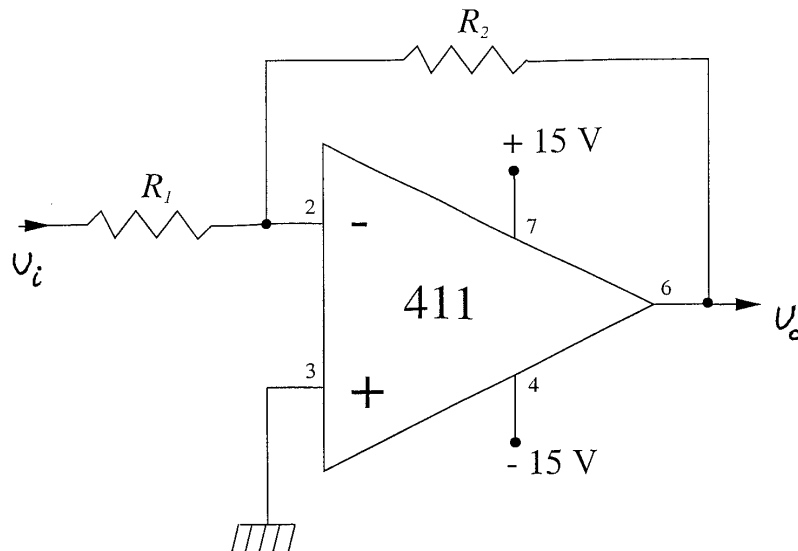
## Άσκηση 2

### Τελεστικοί Ενισχυτές

Στόχος της άσκησης είναι η εξοικείωση με βασικά κυκλώματα που χρησιμοποιούν τελεστικούς ενισχυτές. Μελετούνται βασικά αναλογικά και μη αναλογικά κυκλώματα που απαντούν σε πλήθος εφαρμογών. Στα αναλογικά κυκλώματα γίνεται μελέτη της εξάρτησης από τη συχνότητα. Γίνεται χρήση του SPICE.

#### A. Γραμμικά κυκλώματα

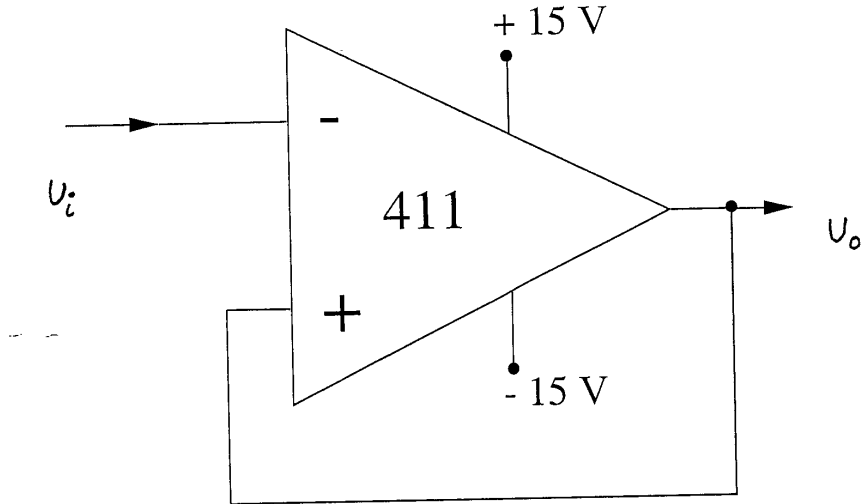
1. Να φτιαχτεί το κύκλωμα του Σχήματος 2.1. Για  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$  και  $R_2 = 30 \text{ k}\Omega$  και αρμονικό σήμα εισόδου πλάτους περίπου  $0,05 \text{ V}$ , να μετρήσετε το πλάτος της τάσης εξόδου και τη διαφορά φάσης εξόδου-εισόδου, για τιμές συχνοτήτων,  $f$ , μεταξύ  $50 \text{ Hz}$  και  $200 \text{ kHz}$  (πάρτε περίπου 3 σημεία / δεκάδα (δεκάδα σημαίνει δεκαπλασιασμός συχνότητας)). Να κάνετε τη γραφική παράσταση της ενίσχυσης τάσης ως προς τη συχνότητα  $A=A(f)$ . Να προσδιορίσετε τη συχνότητα καμψής,  $f_b'$ , την ενίσχυση  $A_0$  για μικρές συχνότητες (dc) και το γινόμενο εύρους ζώνης (συχνοτήτων)  $f_t$ , ή εύρος ζώνης μοναδιαίας ενίσχυσης (Unity Gain Bandwidth). Να προσέξετε ότι ο ενισχυτής είναι αναστρέφων! Στη συνέχεια να υποθέσετε ότι  $\omega_b = 10\pi \text{ rad/s} = 31,4 \text{ rad/s}$  και να υπολογίσετε το  $A_0$  (ενίσχυση dc ανοικτού βρόχου).



Σχήμα 2.1

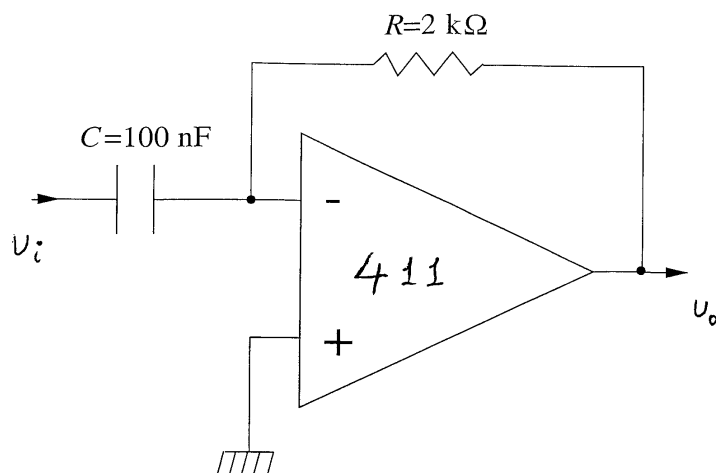
2. Να κάνετε τις ίδιες μετρήσεις για  $R_1=1 \text{ k}\Omega$  και  $R_2=5 \text{ k}\Omega$ . Να χαράξετε την καμπύλη  $A=A(f)$  στο ίδιο σχήμα με την προηγούμενη. Να προσδιορίσετε το γινόμενο εύρους ζώνης (συχνοτήτων)  $f_t$ .

3. Να κάνετε τις γραφικές παραστάσεις για τις περιπτώσεις 1 και 2 με χρήση ανάλυσης με το SPICE .
4. Να φτιάξετε το κύκλωμα του Σχήματος 2.2 και βάζοντας διάφορες κυματομορφές στην είσοδό του να επισημάνετε τι κάνει. Να ερμηνεύσετε τα αποτελέσματα θεωρητικά.

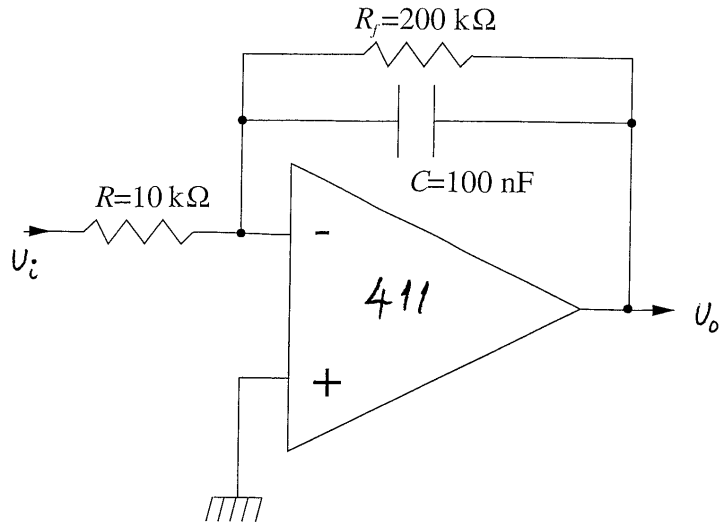


Σχήμα 2.2

5. Να εξηγήσετε τι κάνουν τα κυκλώματα των Σχημάτων 2.3 και 2.4 και χρησιμοποιώντας στην πρώτη περίπτωση τριγωνικούς παλμούς πλάτους περίπου 1 V να βεβαιωθείτε ότι βρίσκετε αυτά που προβλέψατε για  $f=1$  kHz. Να σχεδιάσετε τις διάφορες κυματομορφές.



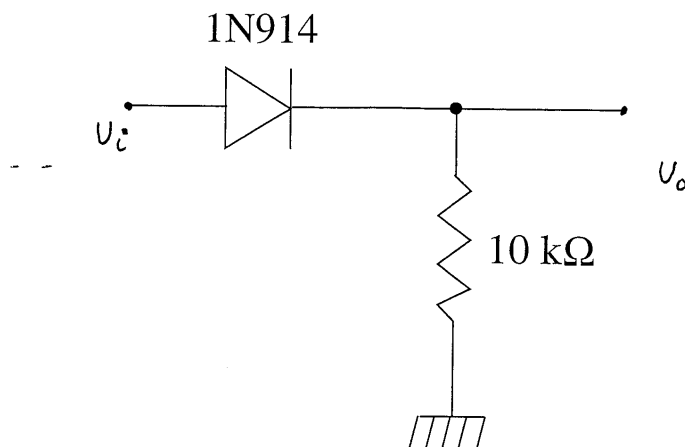
Σχήμα 2.3



Σχήμα 2.4

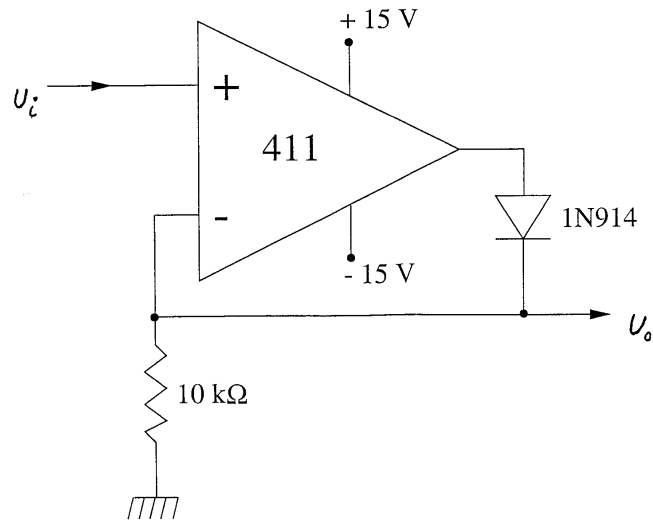
### B. Μη γραμμικά κυκλώματα

1. Να χρησιμοποιήσετε εναλλασσόμενη τάση συχνότητας περίπου 100 Hz στην είσοδο του κυκλώματος του Σχήματος 2.5 και να παρατηρήσετε την έξοδο. Το πλάτος της τάσης να είναι περίπου 2 V. Να σχεδιάσετε τι βλέπετε στον παλμογράφο για την είσοδο και την έξοδο. Να εξηγήσετε το αποτέλεσμα.



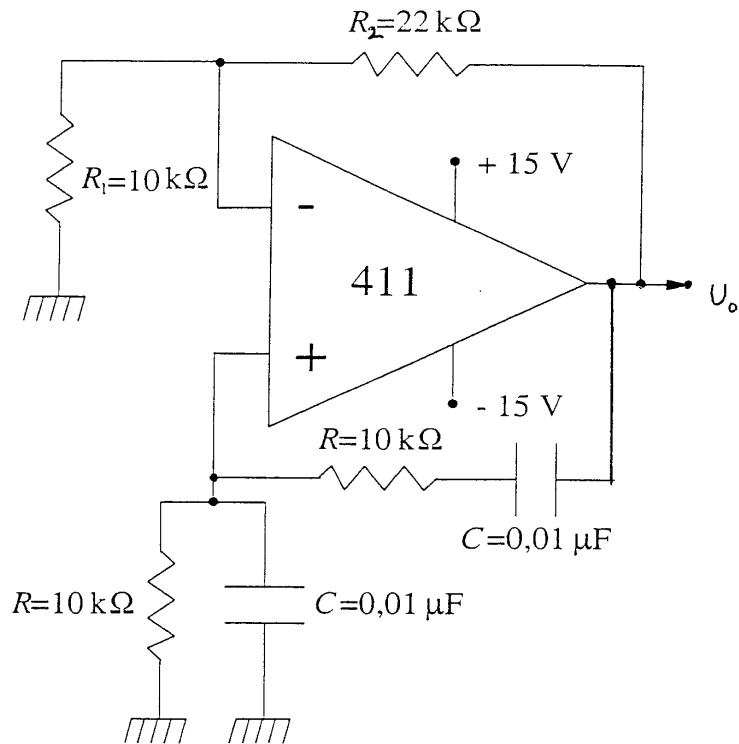
Σχήμα 2.5

2. Να φτιάξετε το κύκλωμα του Σχήματος 2.6 και να επαναλάβετε τις μετρήσεις του 1. Να εξηγήσετε το αποτέλεσμα.



Σχήμα 2.6

3. Να φτιάξετε το κύκλωμα ταλαντωτού τύπου Γέφυρας - Wien, Σχήμα 2.7. Να υπολογίσετε και να μετρήσετε τη συχνότητα ταλάντωσης. Να συγκρίνετε τις τιμές αυτές. Να κάνετε το  $R_1 = 5 \text{ k}\Omega$  και στη συνέχεια  $R_1 = 15 \text{ k}\Omega$ . Να εξηγήσετε τι παρατηρείτε. Να σχεδιάσετε κατά προσέγγιση τις διάφορες κυματομορφές. Να μελετήσετε τη συμπεριφορά του κυκλώματος με τη χρήση του SPICE.



Σχήμα 2.7



## Άσκηση 3

### Ψηφιακά κυκλώματα.

Σκοπός αυτής της άσκησης είναι να αποκτηθεί εμπειρία στη χρήση ψηφιακών λογικών κυκλωμάτων. Τέτοια κυκλώματα χρησιμοποιούνται πολύ σε υπολογιστές αλλά και σε πειράματα όπως είναι τα πειράματα φυσικής.

Συνήθως στο εργαστήριο χρησιμοποιούμε ολοκληρωμένα κυκλώματα της οικογένειας TTL (transistor transistor logic), σε μορφή πακεταρίσματος 14 pin dual in line (DIP), δηλαδή τα ολοκληρωμένα έχουν 14 ποδαράκια. Η τροφοδοσία τους γίνεται με ονομαστική τάση + 4,75 V και καταστρέφονται αν η τάση γίνει μεγαλύτερη από + 5,5 V ή έστω και για λίγο αρνητική.

1. Οι στάθμες των λογικών σημάτων είναι:  
 4,75 V - λογικό 1 (ΕΝΑ).  
 2,00 V - ελάχιστη τιμή τάσης που αναγνωρίζεται με αξιοπιστία ως λογικό 1.  
 1,40 V - στάθμη μετάβασης.  
 0,80 V - μέγιστη τάση που αναγνωρίζεται με αξιοπιστία ως λογικό 0 (ΜΗΔΕΝ).
2. Η καθυστέρηση εισόδου εξόδου για πύλη NAND είναι περίπου 13 ns .
3. Η εμπέδηση (αντίσταση) εξόδου είναι περίπου 50 Ω.
4. Τα κυκλώματα λειτουργούν στον αέρα (χωρίς ιδιαίτερη ψύξη) σε περιοχή θερμοκρασιών 0 °C - 70 °C .

Α. Να χρησιμοποιήσετε πύλες NAND δυο εισόδων για να φτιάξετε κυκλώματα που πραγματοποιούν τις κατωτέρω λογικές συναρτήσεις. Συγκεκριμένα, να σχεδιάσετε το διάγραμμα του κυκλώματος και να προσδιορίσετε πειραματικά τον πίνακα αλήθειας:

α) Πύλη AND με 2 εισόδους.

$$C = A \text{ AND } B, C = A \cdot B$$

β) Πύλη αποκλειστικού OR 2 εισόδων.

$$C = A \oplus B, C = A \cdot \bar{B} + \bar{A} \cdot B$$

γ) Να χρησιμοποιήσετε πύλες NAND για να φτιάξετε το κύκλωμα που πραγματοποιεί την παρακάτω συνάρτηση.

$$D = (A \cdot B) + C$$

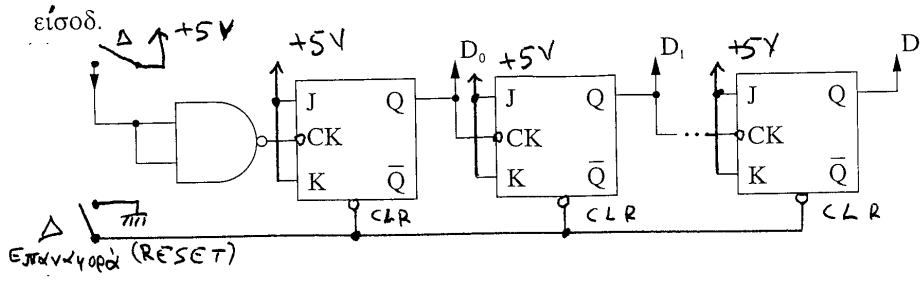
δ) Να σχεδιάσετε με πύλες NAND (χωρίς να φτιάξετε το κύκλωμα με ολοκληρωμένα) έναν συγκριτή δυο αριθμών  $A, B$  που ο καθένας έχει δυο ψηφία (bit) .

Ο συγκριτής θα έχει 4 εισόδους και ισχύει,

αν  $A=B$  η έξοδος  $C=1$ ,

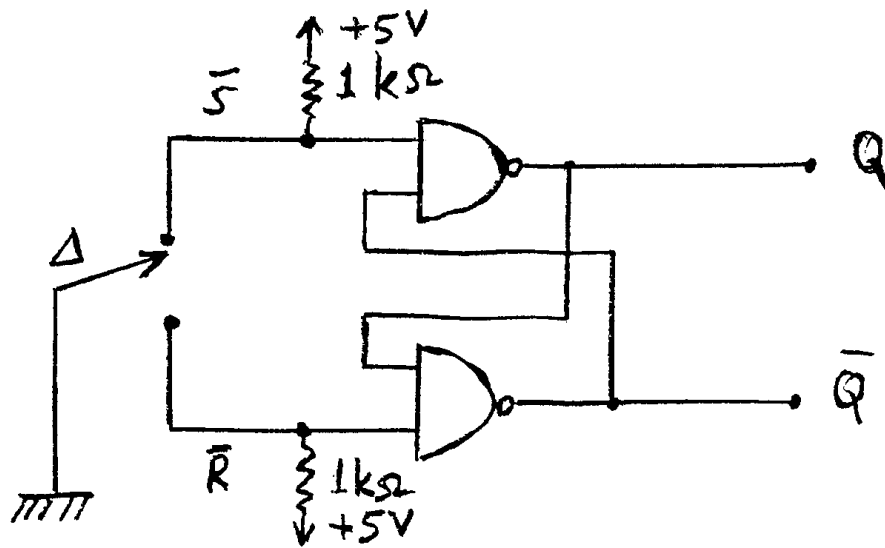
αν  $A \neq B$  τότε η έξοδος  $C=0$ .

ε) Να φτιάξετε έναν απαριθμητή με 4 ψηφία (4 bit), Σχήμα 3.1, αυτό σημαίνει ότι μετρά από 0 μέχρι το 15 ( $=2^4 - 1$ ).



Σχήμα 3.1

Να βάλετε στις εξόδους ( $D^0, D^1, D^2, D^3$ ) LED σε σειρά με κατάλληλο αντιστάτη.  
 Να δώσετε γνωστό πλήθος παλμών στην είσοδο του ακουμπώντας πολλές φορές την είσοδο στην τροφοδοσία των +5 V . Μετρά σωστά το σύστημα;  
 Να φτιάξετε το κύκλωμα του Σχήματος 3.2 το οποίο λέγεται debouncer.  
 Βεβαιωθείτε ότι ισχύει ο παρακάτω πίνακας αλήθειας. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε κύκλωμα αντιστάτη με LED στην έξοδο Q.  
 Να συνδέσετε την έξοδο Q στην είσοδο του απαριθμητή. Με το διακόπτη Δ στην είσοδο του κυκλώματος να δώσετε παλμούς όπως προηγουμένως. Βλέπετε διαφορά από πριν;



Σχήμα 3.2

Πίνακας αλήθειας του debouncer

$\bar{S}$	$\bar{R}$	Q	$\bar{Q}$
1	1	ΔΕΝ ΑΛΛΑΖΕΙ	
0	1	1	0
1	0	0	1
0	0	ΜΗ ΕΠΙΤΡΕΠΤΗ	

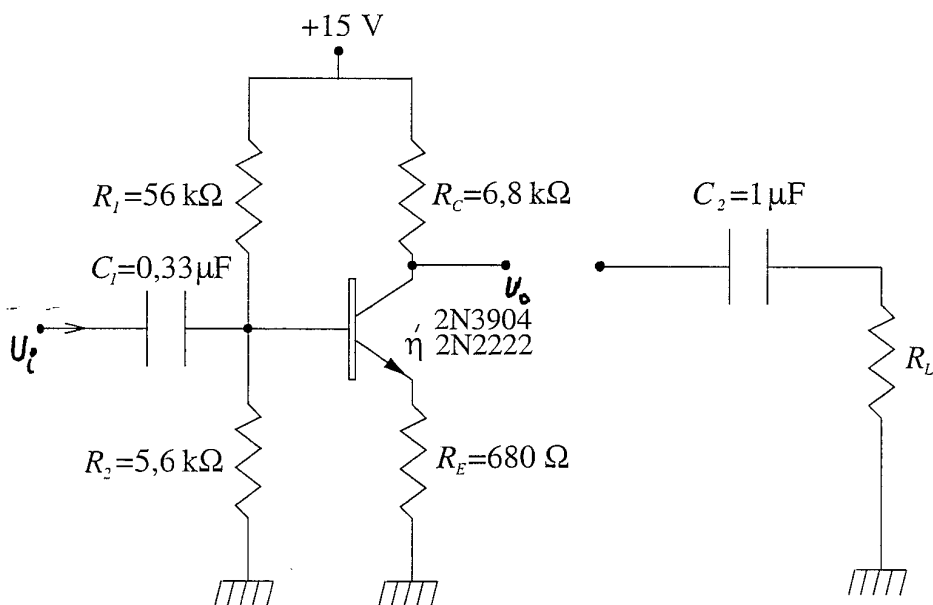
## Άσκηση 4

### Βασικά Κυκλώματα Ενισχυτών με Τρανζίστορ

Σε αυτή την άσκηση θα μελετήσουμε δυο κυκλώματα ενισχυτών. Το ένα είναι κύκλωμα ενισχυτή κοινού εκπομπού με τρανζίστορ και το άλλο κοινού συλλέκτη με τρανζίστορ. Γίνονται μετρήσεις και ανάλυση των μετρήσεων καθώς και θεωρητικοί υπολογισμοί. Ζητείται ανάλυση με το SPICE.

#### A. Ενισχυτής κοινού εκπομπού (CE)

Να χρησιμοποιήσετε το κύκλωμα του Σχήματος 4.1, όπου το τρανζίστορ είναι σε κανονική λειτουργία.



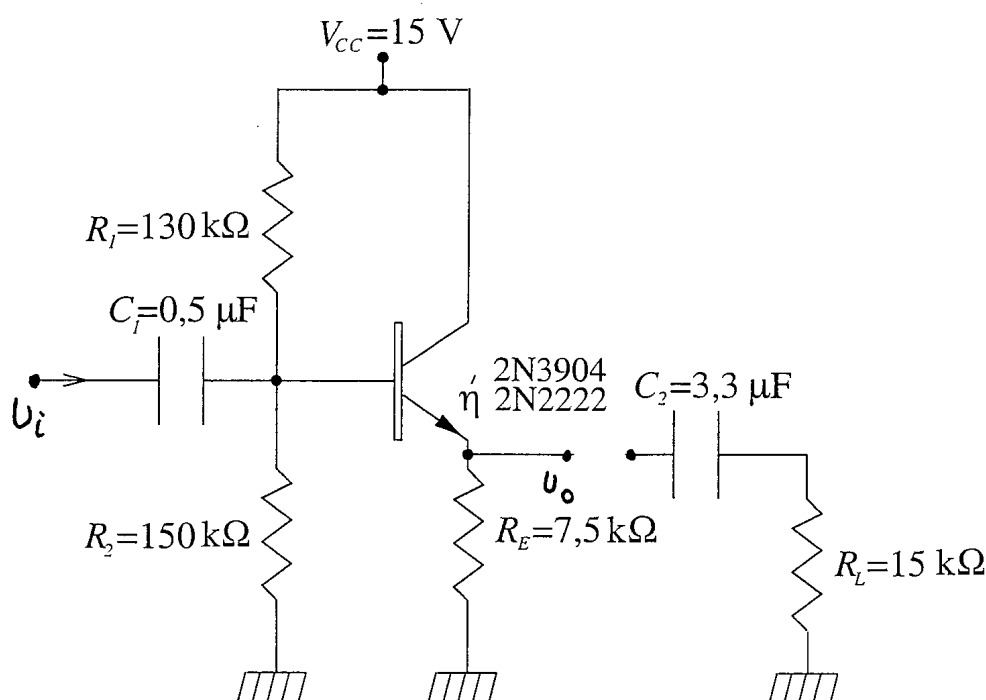
Σχήμα 4.1

1. Να υπολογίσετε θεωρητικά την τιμή του  $I_c$  και να κάνετε μετρήσεις τάσεων ώστε να μπορείτε να την εκτιμήσετε. Συγκρίνετε τα αποτελέσματα.
2. Να κάνετε μετρήσεις για να δείτε πόσο “άκαμπτο” είναι το σύστημα των αντιστατών πόλωσης του τρανζίστορ,  $R_1$ ,  $R_2$ . Συγκεκριμένα, να μετρήσετε την τάση dc στο κοινό σημείο των  $R_1$ ,  $R_2$  έχοντας συνδέσει και τη βάση του τρανζίστορ, στη συνέχεια να κάνετε το ίδιο χωρίς να είναι συνδεδεμένο το τρανζίστορ. Να κάνετε τους σχετικούς θεωρητικούς αριθμητικούς υπολογισμούς.
3. Να υπολογιστεί θεωρητικά η αριθμητική τιμή της ενίσχυσης τάσης του συστήματος χωρίς φόρτο ( $R_L$  πολύ μεγάλο) και για μεσαίες συχνότητες (οι αντιδράσεις των  $C_1$ ,  $C_2$  είναι αμελητέες). Να διαλέξετε ως μεσαία συχνότητα

την  $f=10$  kHz και να κάνετε μετρήσεις για να προσδιορίσετε τη (χαμηλή) συχνότητα καμπής,  $f_b$ , (“γόνατο”).

4. Για  $f=10$  kHz να υπολογίσετε την αριθμητική τιμή της αντίστασης εισόδου του ενισχυτή, θεωρώντας ότι η αντίδραση του πυκνωτή  $C_1$  (πυκνωτής αποσύζευξης) είναι αμελητέα. Να μετρήσετε την αντίσταση εισόδου. Αυτό μπορείτε να το κάνετε βάζοντας αντίσταση στην είσοδο σε σειρά με τον πυκνωτή και μετρώντας τη διαφορά δυναμικού (ac) στα άκρα της για γνωστό σήμα (ac) στην είσοδο του συστήματος.
5. Να υπολογίσετε και να μετρήσετε την αντίσταση εξόδου. Για τη μέτρηση αυτή μπορείτε να χρησιμοποιήσετε κατάλληλους φόρτους στην έξοδο σε σειρά με πολύ μεγάλο πυκνωτή (Σχήμα 4.1).
6. Να αναλύσετε τη συμπεριφορά του κυκλώματος με το SPICE. Να δώσετε τη γραφική παράσταση της ενίσχυσης ως συνάρτηση της συχνότητας. Συνήθως οι κλίμακες των αξόνων είναι λογαριθμικές.

### B. Ενισχυτής κοινού συλλέκτη (CC)



Σχήμα 4.2

1. Να υπολογίσετε τις τιμές των  $V_E$ ,  $V_B$ ,  $I_C$  και να τις μετρήσετε.
2. Να υπολογίσετε αριθμητικά και να μετρήσετε την ενίσχυση για μεσαίες συχνότητες (να διαλέξετε  $f=10$  kHz).
3. Να κάνετε μετρήσεις για να προσδιορίσετε τη (μικρή) συχνότητα καμπής, 3 dB, ( $f_b$ ).
4. Να υπολογίσετε τις αντιστάσεις εισόδου και εξόδου του ενισχυτή χωρίς φόρτο για μεσαίες συχνότητες (η  $C_1$  πολύ μεγάλη).
5. Με το SPICE να προσδιορίσετε την καμπύλη ενίσχυσης (απολαβής) ως προς τη συχνότητα. Συνήθως η γραφική παράσταση γίνεται με λογαριθμικές κλίμακες.