



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

Σωτήριος Ματακιάς



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

**Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών**



4^η ΕΝΟΤΗΤΑ

Το διπολικό τρανζίστορ και το MOSFET

11^ο – 12^ο – 13^ο – 14^ο – 15^ο Εργαστήριο

ΦΥΛΛΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

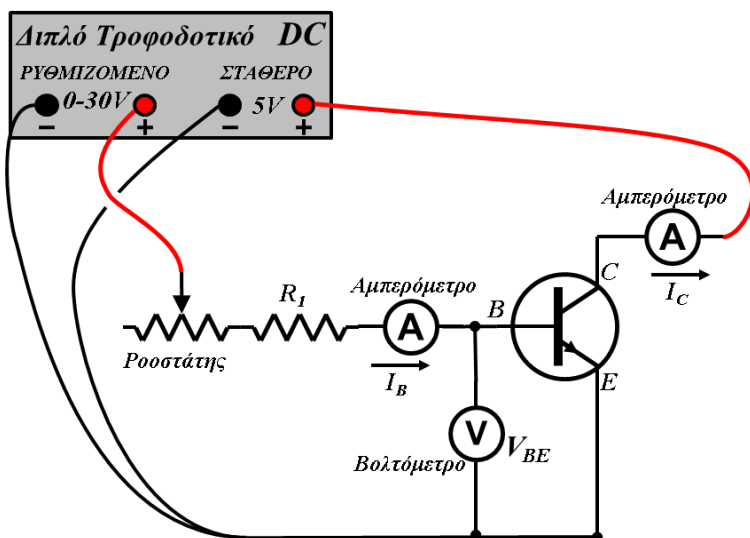


Άσκηση 11^η.

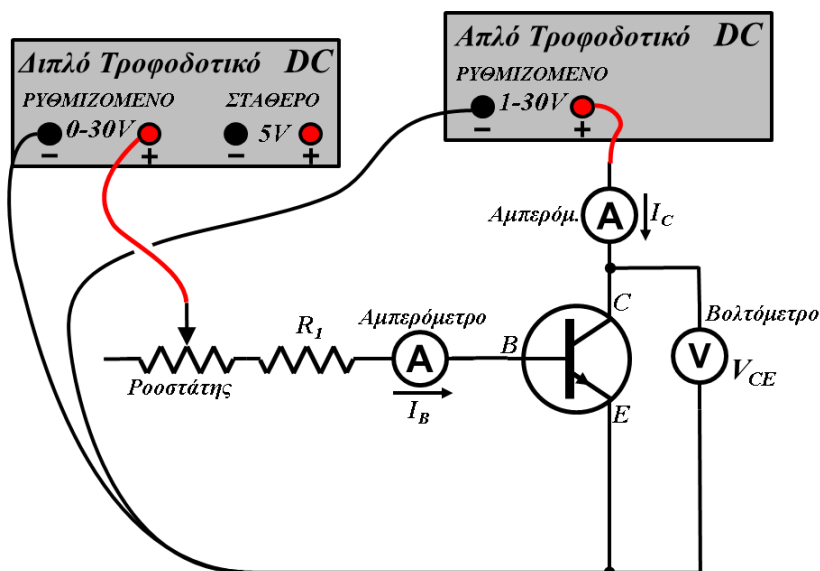
11.1 Στατικές χαρακτηριστικές κοινού εκπομπού του διπολικού τρανζίστορ.

Στόχος: Μελέτη και χάραξη των χαρακτηριστικών κοινού εκπομπού (ΚΕ) του διπολικού τρανζίστορ 2N2219.

Υλοποίηση: Υλοποιήστε το κύκλωμα του Σχήματος 1α. Χρησιμοποιήστε για την βάση του τρανζίστορ την αντίσταση $R_I = 1k\Omega$, το ποτενσιόμετρο (μεταβλητή αντίσταση) και ως πηγή $V_{πηγ} = V_{DC}$ το τροφοδοτικό ρυθμιζόμενης συνεχούς τάσης 0-30V για την τροφοδοσία της βάσης και την σταθερή τάση 5V για την τροφοδοσία του συλλέκτη.



Σχήμα 1α. Το κύκλωμα λήψης μετρήσεων για τις DC χαρακτηριστικές ΚΕ του τρανζίστορ. Προσοχή η ένδειξη του βολτομέτρου του ρυθμιζόμενου τροφοδοτικού να είναι από 1,5 έως 3V.



Σχήμα 1β. Το κύκλωμα λήψης μετρήσεων για τις DC χαρακτηριστικές ΚΕ του τρανζίστορ. Προσοχή η ένδειξη του ρυθμιζόμενου τροφοδοτικού της βάσης του τρανζίστορ να είναι από 1,5 έως 3V.

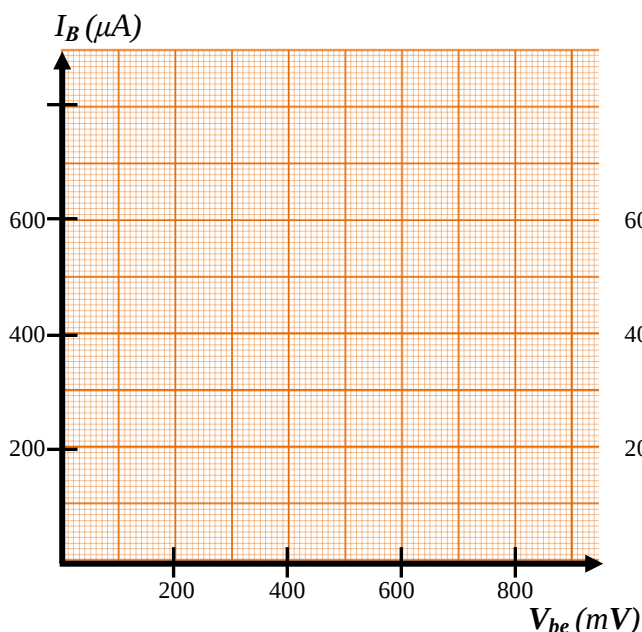
(Α) Ρυθμίστε το τροφοδοτικό του κυκλώματος πόλωσης της βάσης του τρανζίστορ περίπου στα 3V. Μεταβάλλοντας τον ροοστάτη, δώστε διαδοχικά στο ρεύμα της βάσης, I_B , τις τιμές του Πίνακα 1 και λάβετε μετρήσεις της τάσης βάσης-εκπομπού, V_{BE} , και του ρεύματος συλλέκτη, I_C , ώστε να συμπληρώσετε τον Πίνακα 1.



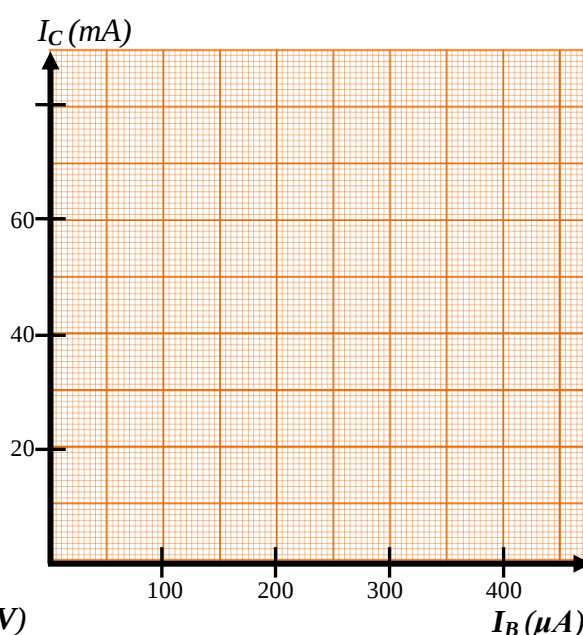
ΠΙΝΑΚΑΣ 1

$V_{CE} = 5V = \text{σταθ.}$		
$I_B(\mu A)$	$V_{BE}(mV)$	$I_C(mA)$
100		
150		
200		
250		
300		
350		
400		

(Β) Με βάση τις μετρήσεις του Πίνακα 1, σχεδιάστε τη χαρακτηριστική εισόδου, $I_B = f(V_{BE})$, και τη χαρακτηριστική μεταφοράς, $I_C = f(I_B)$, του τρανζίστορ στα διαγράμματα των Σχημάτων 2 και 3 αντίστοιχα.



Σχήμα 2. Χαρακτηριστική εισόδου του τρανζίστορ.



Σχήμα 3. Χαρακτηριστική καμπύλη μεταφοράς.

(Γ) Από τη χαρακτηριστική του Σχήματος 3 υπολογίστε την ενίσχυση ρεύματος, β_{DC} ή h_{FE} , του τρανζίστορ και συγκρίνετε με την τιμή που δίνει ο κατασκευαστής στην αντίστοιχη σελίδα.

(Δ) Πραγματοποιήστε την συνδεσμολογία του κυκλώματος του Σχήματος 1β.

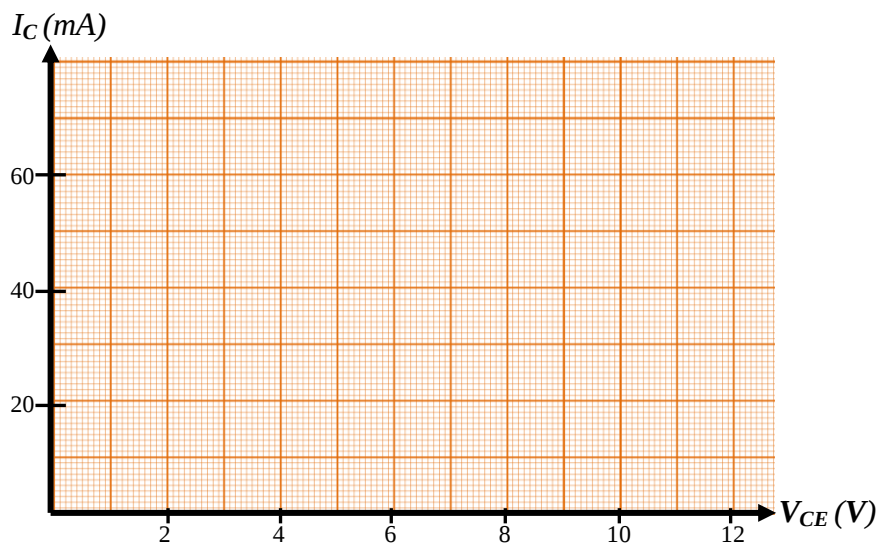
(Ε) Λάβετε μετρήσεις του ρεύματος συλλέκτη, I_C , για τις τιμές του V_{CE} που δίνονται στον Πίνακα 2, διατηρώντας το ρεύμα της βάσης, I_B , σταθερό στις τιμές που υποδεικνύονται στην αντίστοιχη στήλη του Πίνακα 2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

	ΣΤΑΘΕΡΟ $I_B = 150\mu A$	ΣΤΑΘΕΡΟ $I_B = 200\mu A$	ΣΤΑΘΕΡΟ $I_B = 250\mu A$
$V_{CE}(V)$	$I_C(mA)$	$I_C(mA)$	$I_C(mA)$
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			



(ΣΤ) Με βάση τις μετρήσεις του Πίνακα 2, σχεδιάστε τις τρεις χαρακτηριστικές καμπύλες εξόδου $I_C = f(V_{CE})|_{I_B=150\mu A}$, $I_C = f(V_{CE})|_{I_B=200\mu A}$, $I_C = f(V_{CE})|_{I_B=250\mu A}$.



Σχήμα 4. Χαρακτηριστικές εξόδου του τρανζίστορ.

11.2 Οδηγίες αναφοράς

- (i) Την επόμενη εβδομάδα να φέρετε σε κόλλα αναφοράς συμπληρωμένους τους Πίνακες 1 και 2, την ερώτηση (Γ) και τα διαγράμματα των Σχημάτων 2,3, 4.
- (ii) Σημειώστε το σημείο λειτουργίας (I_{BQ} , V_{CEQ})=(200μΑ, 5V) πάνω στις χαρακτηριστικές εισόδου, μεταφοράς και εξόδου του τρανζίστορ (Σχήματα 2,3 και 4).

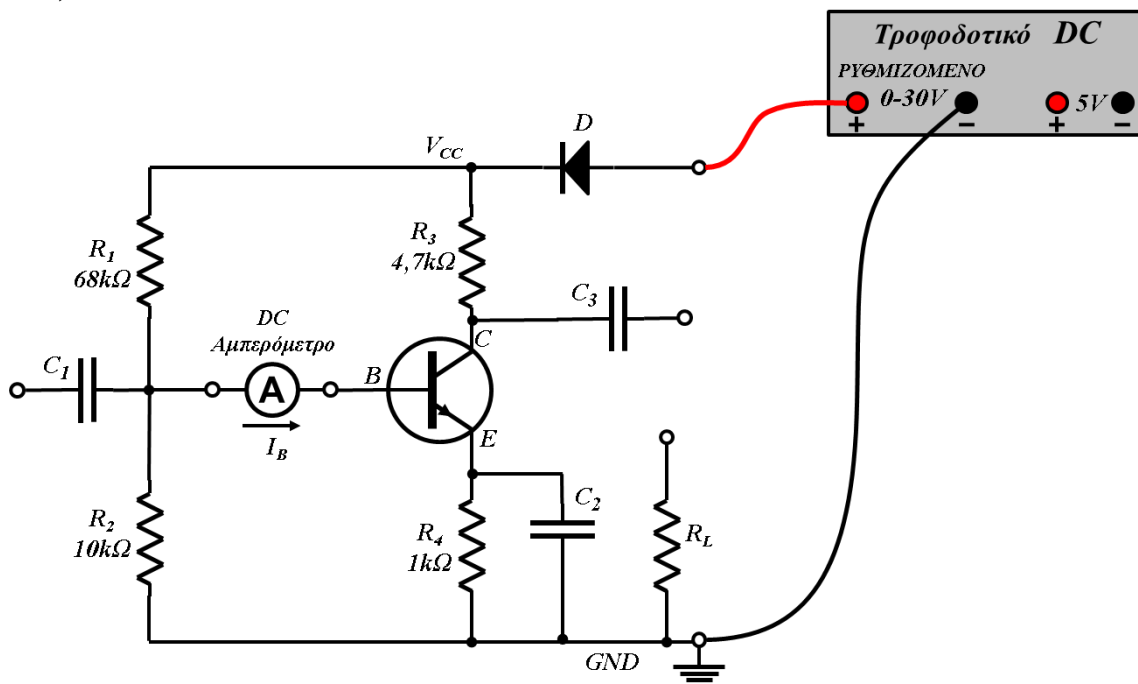


Άσκηση 12^η.

12.1 Ενισχυτής κοινού εκπομπού, DC λειτουργία.

Στόχος: Μελέτη συνδεσμολογίας Κοινού Εκπομπού (ΚΕ) στη CD λειτουργία και μετρήσεις τάσεων και ρευμάτων του τρανζίστορ.

Υλοποίηση: (Α) Υλοποιήστε την συνδεσμολογία του κυκλώματος του Σχήματος.1 (τρανζίστορ BC338)..



Σχήμα 1. Ενισχυτής ΚΕ. Μετρήσεις του DC σημείου λειτουργίας. Προσοχή: Η τάση τροφοδοσίας πρέπει να είναι 18V μεταξύ των κόμβων V_{CC} και GND , δηλαδή μετά τη διόδο προστασίας.

(Β) Ρυθμίστε την DC τάση τροφοδοσίας μεταξύ των κόμβων V_{CC} και GND στα 18V. Μετρήστε το ρεύμα της βάσης:

$$I_B = \dots\dots\dots$$

(Γ) Μετρήστε με το DC βολτόμετρο τα δυναμικά V_C , V_B , V_E ως προς τη γη (GND , σημείο αναφοράς των τάσεων) του κυκλώματος.

$$V_C = \dots\dots\dots \quad V_B = \dots\dots\dots \quad V_E = \dots\dots\dots$$

(Δ) Βάσει των μετρήσεων αυτών υπολογίστε την V_{R3} , την V_{BE} , την V_{CE} , το I_C , και το h_{FE} .

$$V_{R3} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \quad V_{BE} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

$$V_{CE} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \quad V_{CB} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

$$I_C = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \quad h_{FE} = \beta = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$



(Ε) Η τιμή της h_{FE} που υπολογίσατε είναι μέσα στα όρια που δίνει ο κατασκευαστής του τρανζίστορ (BC338);

Απάντηση:

(ΣΤ) Υπολογίστε θεωρητικά το σημείο λειτουργίας του κυκλώματος, αν λάβετε την $V_{BE}=0.7V$ και την $h_{FE}=100$. Συγκρίνετε με τις τιμές που βρήκατε πειραματικά.

$I_B =$

$I_E =$

$I_C =$

$V_{CE} =$

$V_{CB} =$

Απάντηση:

12.2 Οδηγίες αναφοράς

Την επόμενη εβδομάδα να φέρετε συμπληρωμένες τις ερωτήσεις (Δ), (Ε) και (ΣΤ).

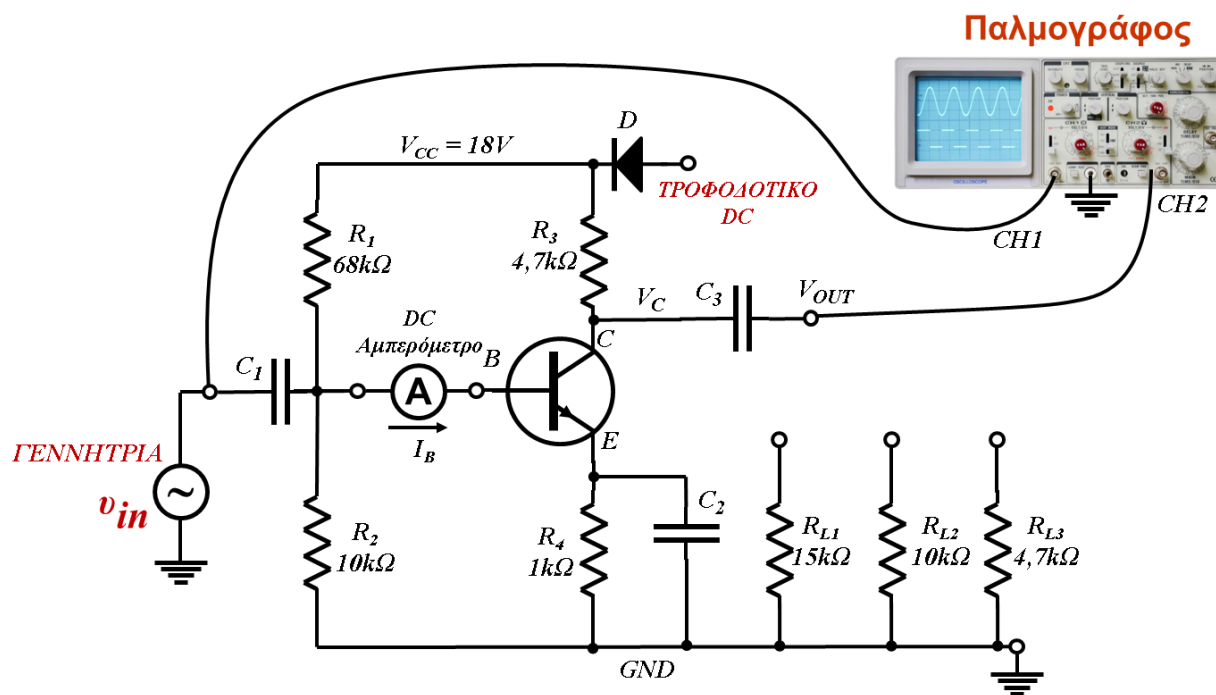


Άσκηση 13^η.

13.1 Ενισχυτής κοινού εκπομπού, AC λειτουργία.

Στόχος: Μελέτη συνδεσμολογίας Κοινού Εκπομπού (ΚΕ) στην AC λειτουργία και μετρήσεις τάσεων και ρευμάτων του τρανζίστορ.

Υλοποίηση: Υλοποιήστε την συνδεσμολογία του κυκλώματος του Σχήματος 1. Προσοχή, να συνδέσετε στην είσοδο του κυκλώματος το σήμα της γεννήτριας μέσω υποβιβαστή ώστε να λάβετε σήμα εισόδου ίσο με $v_{in}(t)=0,02 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 1200 \cdot t)$



Σχήμα 1. Ενισχυτής ΚΕ, AC λειτουργία.

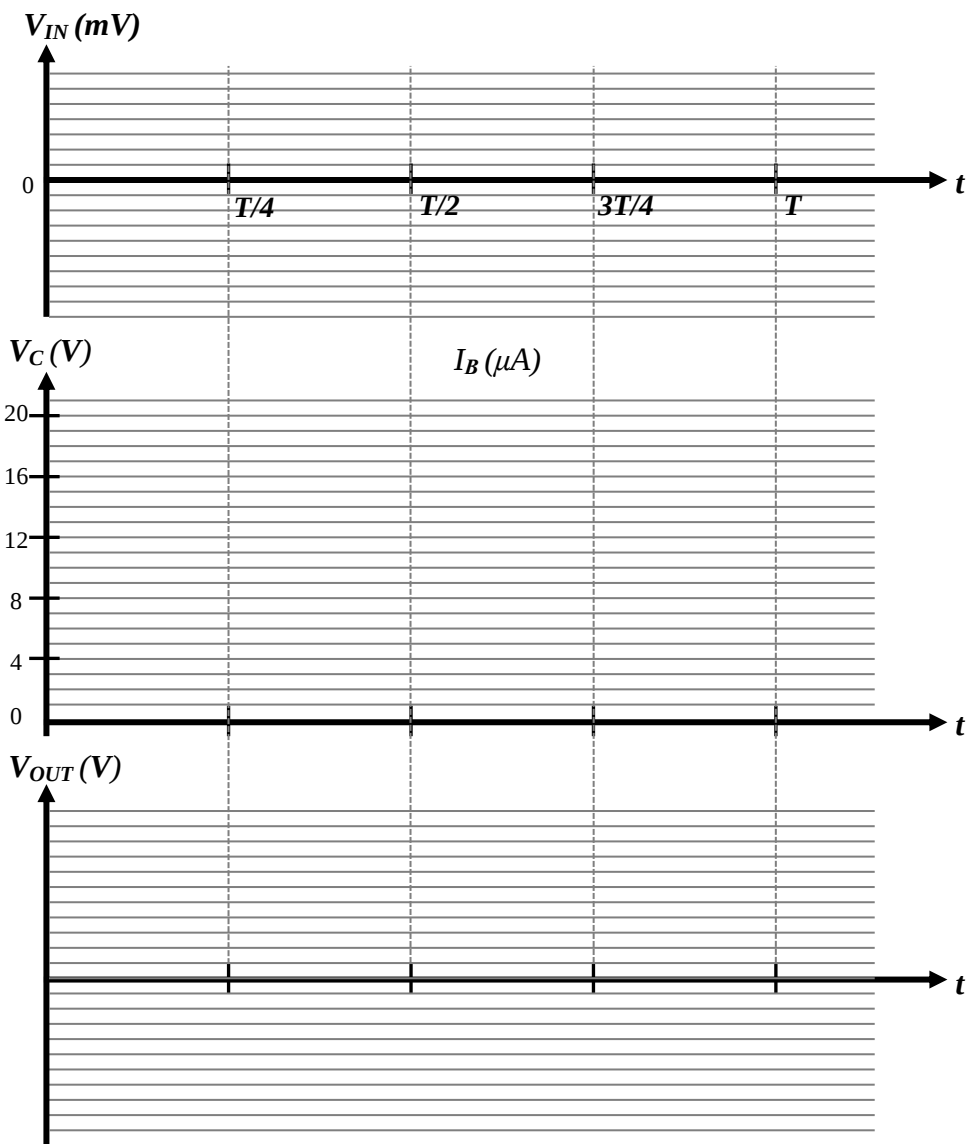
(Α) Μετρήστε το AC ρεύμα της βάσης. $i_{b(rms)} = \dots\dots\dots$

(Β) Παρατηρήστε στον παλμογράφο το σήμα εισόδου και το σήμα εξόδου και σχεδιάστε τις αντίστοιχες κυματομορφές στο Σχήμα 2 και σε βαθμολογημένους άξονες.

(Γ) Λάβετε επίσης στον παλμογράφο την ολική (DC και AC) τάση συλλέκτη v_c και σχεδιάστε την αντίστοιχη κυματομορφή στο Σχήμα 2.

(Δ) Από τις μετρήσεις των εργασιών (Α), (Β) και (Γ), υπολογίστε:

- Το ρεύμα του συλλέκτη: $i_{c(rms)} = \dots\dots\dots$
- Τον συντελεστή ενίσχυσης ρεύματος: $h_{fe} = \beta_{AC} = \dots\dots\dots$
- Την απολαβή τάσης: $A_v = \dots\dots\dots$



Σχήμα 2. Κυματομορφές τάσεων εισόδου και εξόδου του ενισχυτή ΚΕ

(Ε) Συνδέστε στην έξοδο του κυκλώματος διαδοχικά τις αντιστάσεις $R_{L1}=15\text{k}\Omega$, $R_{L2}=10\text{k}\Omega$ και $R_{L3}=4,7\text{k}\Omega$ και μετρήστε τις αντίστοιχες τιμές της τάσης εξόδου:

$$v_{RL1} = \dots\dots\dots v_{RL2} = \dots\dots\dots v_{RL3} = \dots\dots\dots$$

(ΣΤ) Από τις μετρήσεις της εργασίας (Ε), πόση είναι η αντίσταση εξόδου του ενισχυτή;

$$R_{out} = \dots\dots\dots$$

(Ζ) Υπολογίστε ποια τιμή θα πάρει η τάση εξόδου, αν στην έξοδο του ενισχυτή συνδέσουμε αντίσταση 8Ω ;

$$v_{out} = \dots\dots\dots$$

13.2 Οδηγίες αναφοράς

Την επόμενη εβδομάδα να φέρετε σε κόλλα αναφοράς συμπληρωμένες τις ερωτήσεις (Γ), (Δ), (Ε), (ΣΤ) και (Ζ) και το Σχήμα 2 (με βαθμονομημένους άξονες).

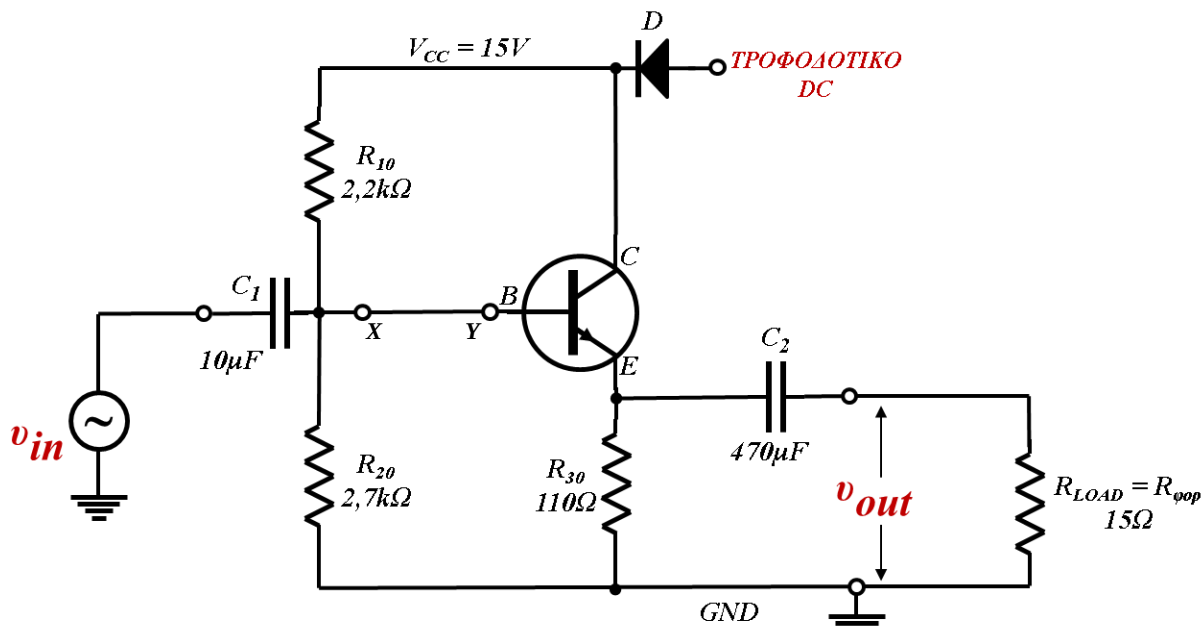


Άσκηση 14^η.

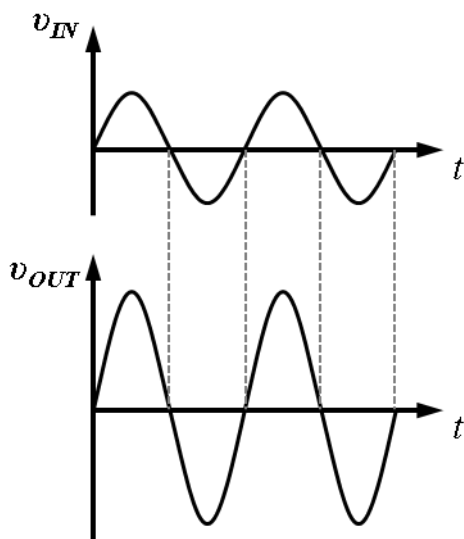
14.1 Ενισχυτής κοινού συλλέκτη.

Στόχος: Μελέτη συνδεσμολογίας Κοινού Συλλέκτη (ΚΣ) στην DC και στην AC λειτουργία.

Υλοποίηση: Υλοποιήστε την συνδεσμολογία του κυκλώματος του Σχήματος 1α. Βραχυκυκλώστε τα σημεία X και Y και τροφοδοτήστε το κύκλωμα της άσκησης σας με 15V DC (τρανζίστορ BD135).



Σχήμα 1α. Ενισχυτής Κοινού Συλλέκτη (ΚΣ).



Σχήμα 1β. Κυματομορφές εισόδου και εξόδου του Ενισχυτή ΚΣ.

(Α) Μετρήστε με το DC βολτόμετρο τα δυναμικά V_C , V_B , V_E ως προς τη γη (GND, σημείο αναφοράς των τάσεων) του κυκλώματος.

$V_C = \dots\dots\dots$ $V_B = \dots\dots\dots$ $V_E = \dots\dots\dots$



(B) Βάσει των μετρήσεων της εργασίας (A), υπολογίστε τις τάσεις μεταξύ των ακροδεκτών του τρανζίστορ:

$$V_{BE} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots, \quad V_{CE} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots, \quad V_{CB} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

Είναι το τρανζίστορ πολωμένο στην ενεργό περιοχή; Απάντηση:

(Γ) Αποσυνδέστε το βραχυκύκλωμα των σημείων Y και X και συνδέστε στη θέση του αμπερόμετρο DC. Μετρήστε το ρεύμα της βάσης του τρανζίστορ:

$$I_B = \dots\dots\dots \text{ mA}$$

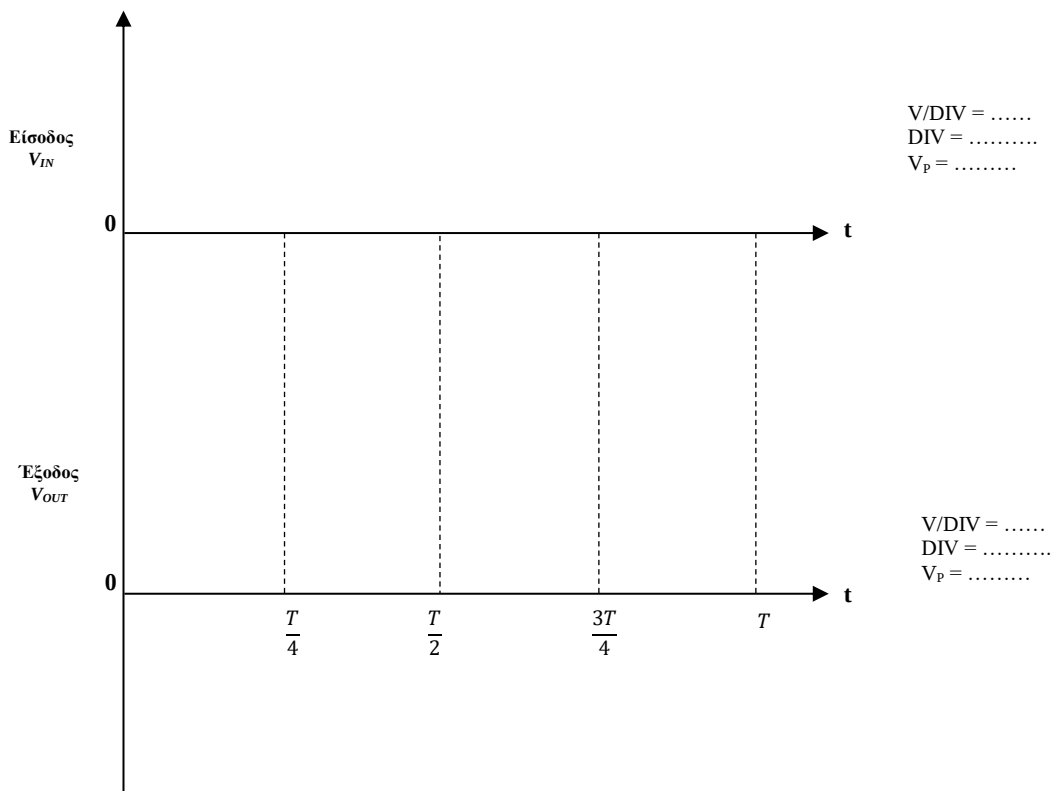
(Δ) Υπολογίστε το ρεύμα του εκπομπού από τις μετρήσεις της εργασίας (B): $I_E = \dots\dots\dots \text{ mA}$

(Ε) Υπολογίστε την DC ενίσχυση ρεύματος, $\beta = h_{FE}$, του τρανζίστορ: $\beta = h_{FE} = \frac{I_C}{I_B} \approx \frac{I_E}{I_B} = \dots\dots\dots$

Συγκρίνετε με την τιμή που δίνει ο κατασκευαστής. Απάντηση:

(ΣΤ) Συνδέστε στην είσοδο του κυκλώματος γεννήτρια Χ.Σ. που να παρέχει ημιτονικό σήμα πλάτους 0,5V (1Vpp) και συχνότητας $f=0,5 \text{ kHz}$.

(Ζ) Σχεδιάστε στο διάγραμμα του Σχήματος 2 που ακολουθεί τις κυματομορφές της τάσης εισόδου και της τάσης εξόδου σε βαθμονομημένους άξονες.



Σχήμα 2. Κυματομορφές τάσης εισόδου και εξόδου του Ενισχυτή ΚΣ.

(Η) Από τις μετρήσεις της εργασίας (Ζ), υπολογίστε την απολαβή τάσης του ενισχυτή: $A_V = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \dots\dots$



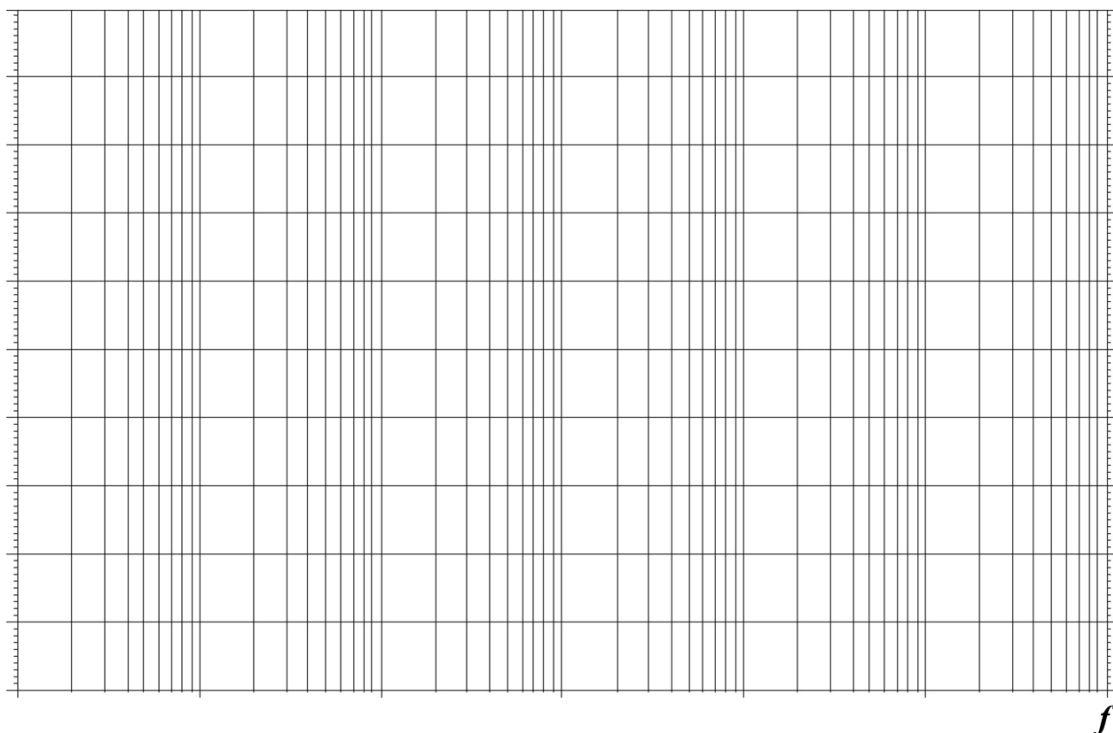
(Θ) Μετρήστε την τάση εξόδου του ενισχυτή για διάφορες τιμές της συχνότητας του σήματος εισόδου ώστε να συμπληρώσετε τον παρακάτω Πίνακα 1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

f (HZ)	U_{in_pp} (V)	U_{out_pp} (V)	$A_v = U_{out} / U_{in}$	$\Delta\phi$ in-out	$A_{v_{dB}} = 20\log A$
100	1V _{pp}				
500	1V _{pp}				
1000	1V _{pp}				
2000	1V _{pp}				
4000	1V _{pp}				
8000	1V _{pp}				
15000	1V _{pp}				
50000	1V _{pp}				

(Ι) Με βάση τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα, σχεδιάστε στο ημιλογαριθμικό διάγραμμα που ακολουθεί την καμπύλη απόκρισης κατά συχνότητα (χαρακτηριστική μεταφοράς), $A_{dB} = f(f)$, του ενισχυτή.

$A_{v_{dB}}$



Σχήμα 3. Καμπύλη απόκρισης συχνότητας ενισχυτή ΚΣ.

(ΙΑ) Από το διάγραμμα της χαρακτηριστικής μεταφοράς, υπολογίστε τις συχνότητες αποκοπής (κάτω και άνω) και το εύρος ζώνης, BW, του ενισχυτή.

$$BW = f_2 - f_1 = \dots\dots\dots$$

(ΙΒ) Συνδέστε στην έξοδο του ενισχυτή (στη θέση της $R_{\text{φορ}}$) μεγάφωνο και ελέγξτε αν αυτό μπορεί να οδηγηθεί από τον ενισχυτή. Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

Απάντηση:.....

14.2 Οδηγίες αναφοράς

Την επόμενη εβδομάδα να φέρετε σε κόλλα αναφοράς συμπληρωμένες τις ερωτήσεις (Α), (Β), (Γ), (Δ), (Ε), (Η) και (ΙΑ), τον Πίνακα 1 και τα Σχήματα 2 και 3 (με βαθμονομημένους άξονες).