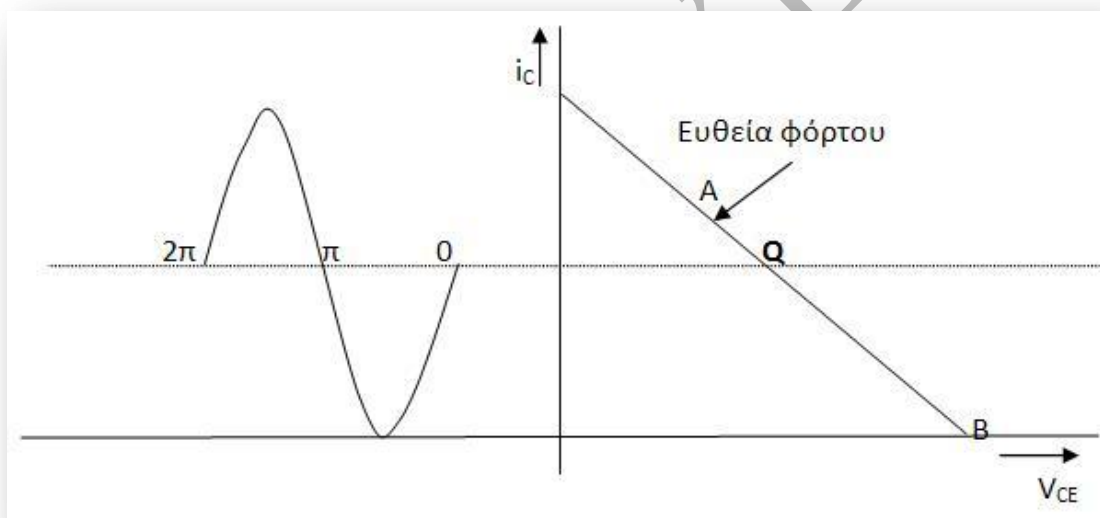


## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ PUSH-PULL ΤΑΞΗΣ ΑΒ

### ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ενισχυτές ισχύος αποτελούν μια ιδιαίτερη κατηγορία ενισχυτών που χαρακτηριστικό τους είναι η μεγάλη ισχύς που μπορούν να αποδώσουν στο φορτίο. Η ισχύς αυτή τυπικά κυμαίνεται από μερικά Watt μέχρι μερικές εκατοντάδες Watt. Με τέτοια ισχύ απαιτείται να τροφοδοτήσουμε φορτία με χαμηλές αντιστάσεις όπως είναι τα μεγάφωνα (π.χ. 2Ω, 4Ω, 8Ω, 16Ω, κ.λ.π.) και οι σερβοκινητήρες. Ανάλογα με τον τρόπο που πολώνουμε τους ενισχυτές ισχύος διακρίνουμε και την “τάξη” στην οποία εργάζονται. Έτσι οι τάξεις λειτουργίας των ενισχυτών είναι οι : **τάξη Α**, **τάξη Β**, **τάξη ΑΒ**, **τάξη C**, και **τάξη D**. Οι τάξεις λειτουργίας δίνονται σχηματικά παρακάτω.

#### A) ΤΑΞΗ Α

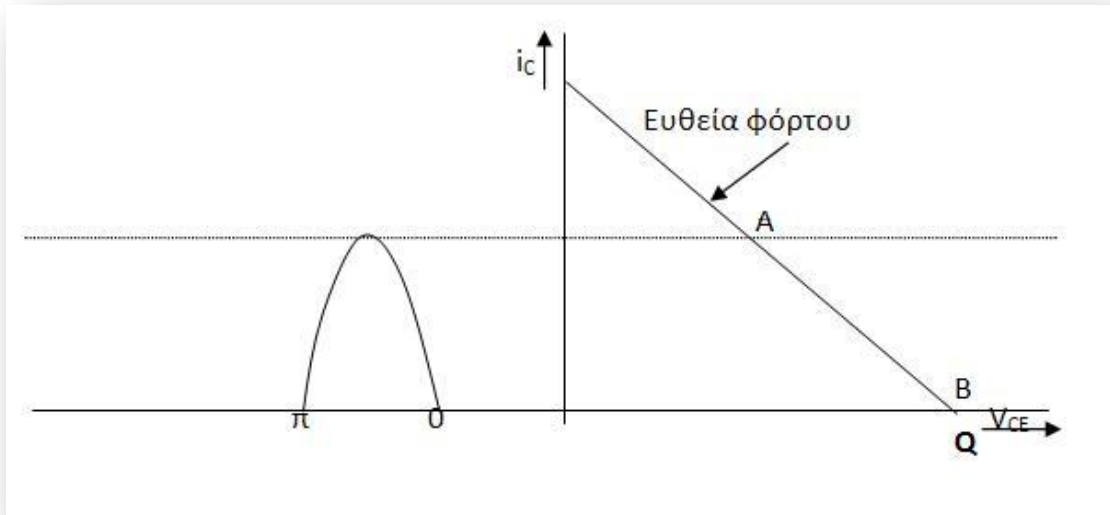


Σχήμα 1 Λειτουργία ενισχυτή σε τάξη Α – καμπύλες εξόδου

Κατά τη λειτουργία του ενισχυτή σε τάξη Α το σημείο πόλωσης του ενισχυτή τοποθετείται στο μέσο περίπου της ευθείας φόρτου ώστε το πλάτος του ρεύματος που να μπορεί να δώσει ο ενισχυτής να είναι το μεγαλύτερο δυνατό. Έτσι ένα ημιτονικό σήμα ενισχύεται ως έχει χωρίς παραμόρφωση (σχήμα).

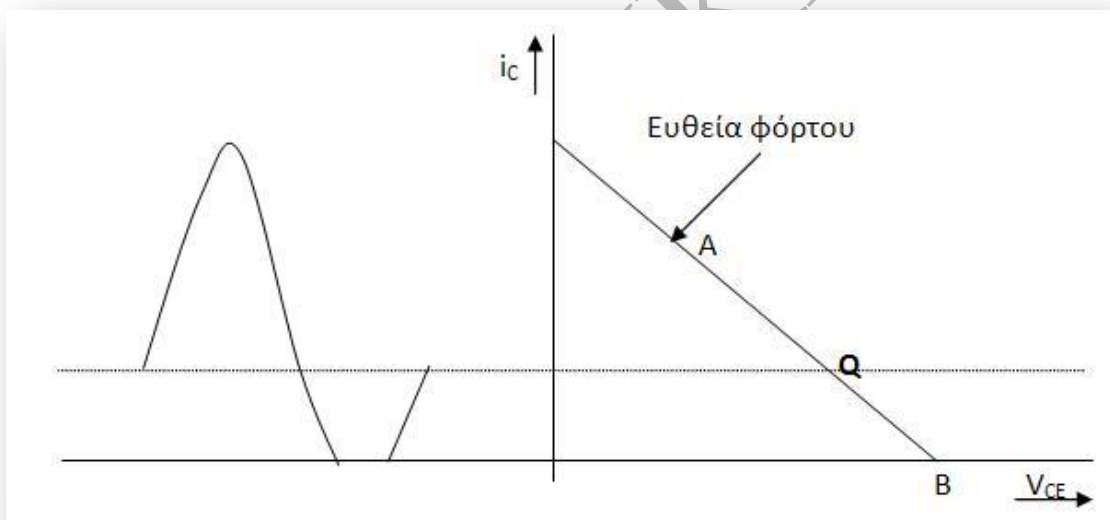
#### B) ΤΑΞΗ Β

Κατά τη λειτουργία του ενισχυτή σε τάξη Β το σημείο πόλωσης Q τοποθετείται στο άκρο Β της ευθείας φόρτου, έτσι το τρανζίστορ άγει μόνο κατά τη μια ημιπερίοδο, δηλαδή κατά  $180^\circ$ , πράγμα που εφαρμόζεται σε ενισχυτές push-pull.



Σχήμα 2 Λειτουργία ενισχυτή σε τάξη B – καμπύλες εξόδου

Γ) ΤΑΞΗ AB

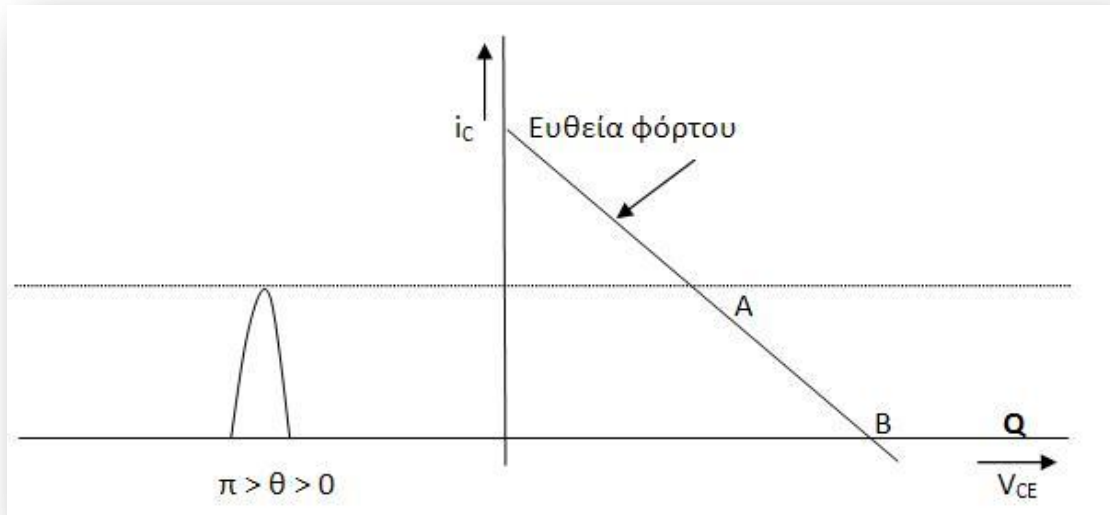


Σχήμα 3 Λειτουργία ενισχυτή σε τάξη AB – καμπύλες εξόδου

Κατά τη λειτουργία σε τάξη AB το σημείο πόλωσης βρίσκεται μεταξύ των σημείων A και B. Η γωνία διέλευσης είναι μεγαλύτερη των  $180^{\circ}$ .

Δ) ΤΑΞΗ C

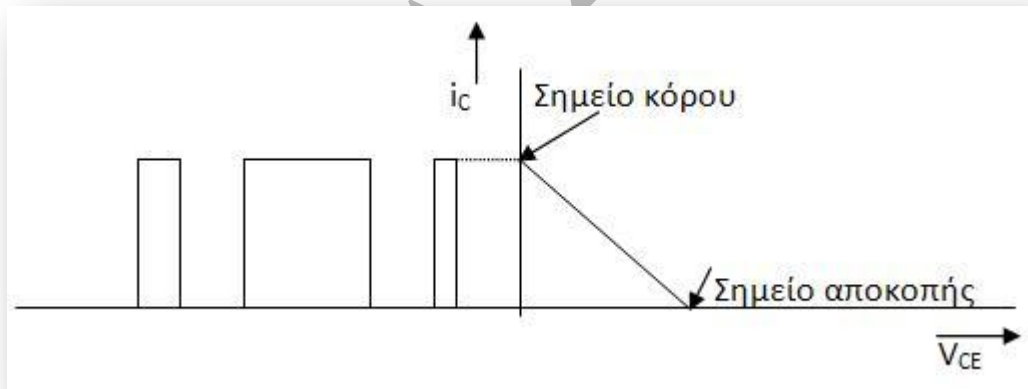
Κατά τη λειτουργία του ενισχυτή σε τάξη C το σημείο πόλωσης τοποθετείται δεξιότερα από το άκρο B της ευθείας φόρτου οπότε το τρανζίστορ άγει για λιγότερο από  $180^{\circ}$ , η πόλωση του τρανζίστορ είναι τέτοια ώστε το δυναμικό του σήματος εισόδου να προκαλεί ρεύμα στη βάση μόνο όταν ξεπεράσει μια ορισμένη τιμή, έτσι περνά μόνο ένα μέρος της θετικής ημιπεριόδου του ημιτονικού σήματος. Η τάξη αυτή εφαρμόζεται σε ενισχυτές υψηλής συχνότητας.



Σχήμα 4 Λειτουργία ενισχυτή σε τάξη C – καμπύλες εξόδου

**Ε) ΤΑΞΗ D**

Τέλος αναφέρουμε τη λειτουργία των ενισχυτών σε τάξη D. Εδώ το τρανζίστορ λειτουργεί σε δύο καταστάσεις, κόρου – αποκοπής, και δίνει παλμούς διαμορφωμένους κατά διάρκεια, αφού οδηγηθεί από σήμα τετραγωνικής μορφής χαμηλής ισχύος. Παρέχει αυτός ο ενισχυτής μεγάλη απόδοση ισχύος αλλά χρειάζεται φίλτρο για τη απόρριψη των πολλών αρμονικών που βγάζει.

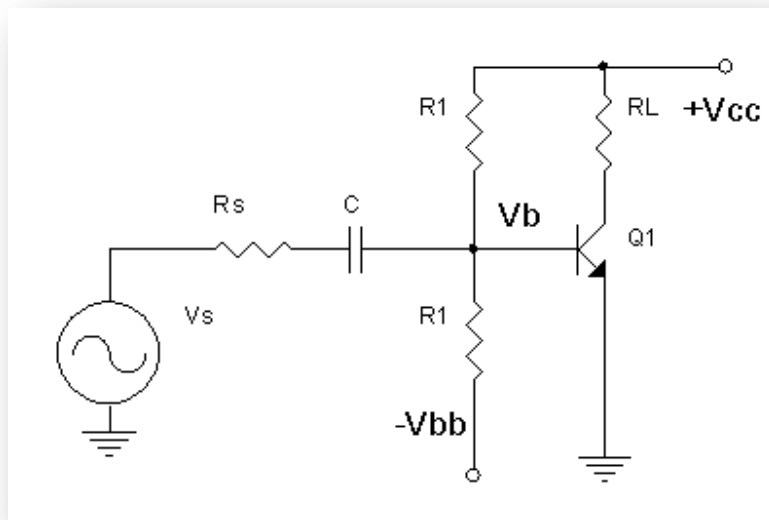


Σχήμα 5 Λειτουργία ενισχυτή σε τάξη D

Σήμερα κατασκευάζονται αρκετοί ενισχυτές τάξης D (ψηφιακοί ενισχυτές) και μάλιστα πολλές φορές Hi-End, οι οποίοι στην έξοδο τους έχουν πολύ μεγάλα φίλτρα πηνίων – πυκνωτών (L-C).

Στο παρακάτω σχήμα δίνεται ένας ενισχυτής κοινού εκπομπού ο οποίος μπορεί να λειτουργήσει σε τάξη **A, B, AB, C** μεταβάλλοντας αντίστοιχα το δυναμικό  $V_b$ .

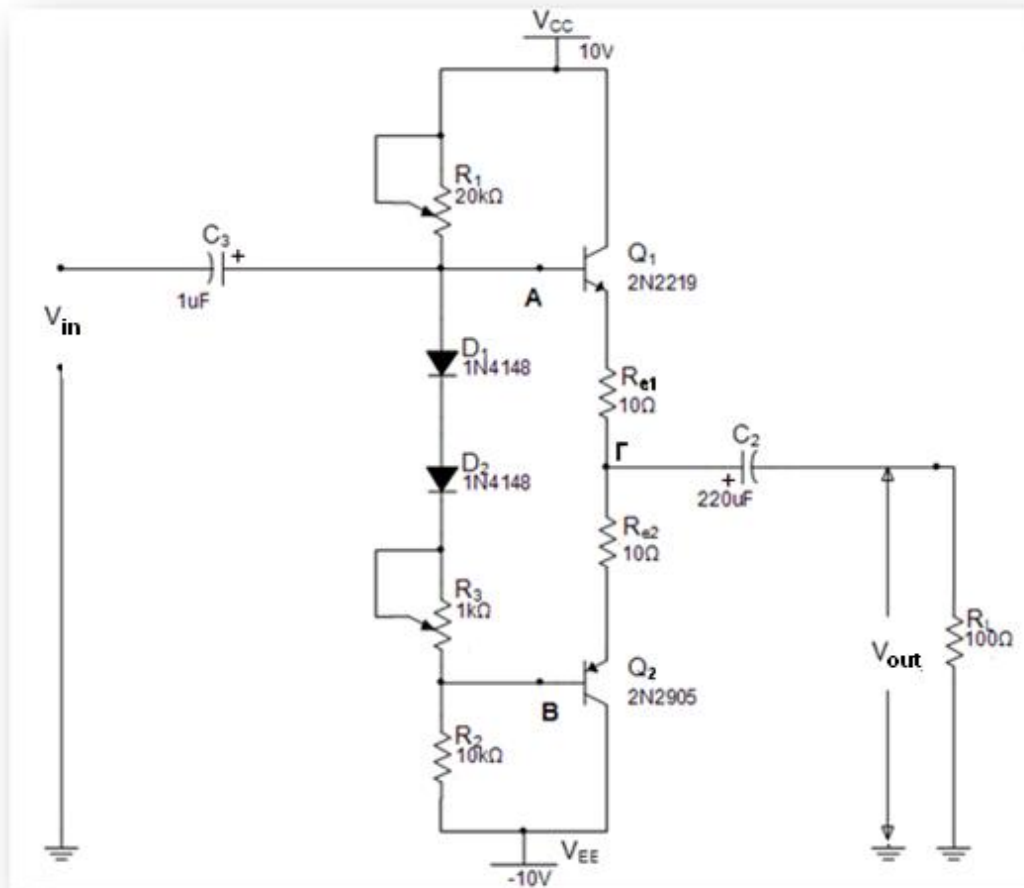
Έτσι για τάξη A πρέπει να έχουμε τη συνθήκη  $0.6V < V_b < 0.8V$ . Για τάξη B πρέπει  $V_b = 0.6\text{Volt}$  ενώ για τάξη C πρέπει  $V_b < 0.6\text{Volt}$ .



Σχήμα 6

Με ρύθμιση του δυναμικού  $V_b$  επιλέγουμε την τάξη λειτουργίας του ενισχυτή.

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ



Σχήμα 7 Ενισχυτής Push-pull τάξης AB

Ο ενισχυτής του σχήματος 7 είναι σε τάξη AB, δηλαδή το σημείο πόλωσης βρίσκεται μεταξύ των σημείων A, B και η γωνία διέλευσης είναι μεγαλύτερη των  $180^\circ$ . Ο ενισχυτής αυτός είναι ένας ακόλουθος τάσης που μπορεί να ενισχύσει το ρεύμα και όχι την τάση ενός σήματος. Οι αντιστάσεις  $R_1$  και  $R_2$  μαζί με τις διόδους  $D_1$  και  $D_2$  αποτελούν το δικτύωμα πόλωσης του ενισχυτή και τον πολώνουν σε τάξη AB, έτσι ώστε για μηδενικό σήμα εισόδου να ρέει μέσα από τα τρανζίστορ μικρό ρεύμα ηρεμίας.

Οι διόδοι  $D_1$  και  $D_2$  τοποθετούνται για την εξάλειψη της παραμόρφωσης crossover που εμφανίζεται λόγω της νεκρής ζώνης τάσης που υπάρχει στα τρανζίστορ, στην χαρακτηριστική τους ρεύματος-τάσης. Η εν σειρά με αυτές μεταβλητή αντίσταση  $R_3$  για την εξάλειψη της παραμόρφωσης crossover.

Για να πραγματοποιηθεί το πείραμα απαιτούνται τα παρακάτω εξαρτήματα:

ΥΛΙΚΑ	ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ
Q <sub>1</sub>	2N2219	1
Q <sub>2</sub>	2N2905	1
R <sub>1</sub> (τρίμερ)	22ΚΩ	1
R <sub>2</sub>	10ΚΩ	1
R <sub>3</sub> (τρίμερ)	1ΚΩ	1
R <sub>C2</sub>	3,3ΚΩ	1
R <sub>e1</sub> =R <sub>e2</sub>	10Ω	1
R <sub>L</sub>	100Ω	1
C <sub>1</sub>	1μF/25V	1
D <sub>1</sub> =D <sub>2</sub>	1N4148	2

### 1<sup>ο</sup> Βήμα

Αφού κατασκευάσετε το κύκλωμα βραχυκυκλώστε τα σημεία **A** και **B**, και στη συνέχεια ρυθμίστε την **R<sub>1</sub>** ώστε η DC τάση εξόδου **V<sub>Γ</sub>** να είναι στα λίγα **mV**. **ΠΡΟΣΟΧΗ – ΑΛΛΙΩΣ ΘΑ ΚΑΟΥΝ ΤΑ Q1 ΚΑΙ Q2**. Να μετρηθούν τα δυναμικά για τα δυο τρανζίστορ καθώς και η τάση ηρεμίας του ενισχυτή **V<sub>Ο</sub>** με τη βοήθεια του ψηφιακού πολυμέτρου, χωρίς σήμα εισόδου.

Q1		Q2	
<b>h<sub>FE1</sub></b>		<b>h<sub>FE2</sub></b>	
<b>V<sub>E1</sub></b>		<b>V<sub>E2</sub></b>	
<b>V<sub>B1</sub></b>		<b>V<sub>B2</sub></b>	
<b>V<sub>C1</sub></b>		<b>V<sub>C2</sub></b>	
<b>R<sub>1</sub> =</b>		<b>V<sub>Γ</sub> =</b>	

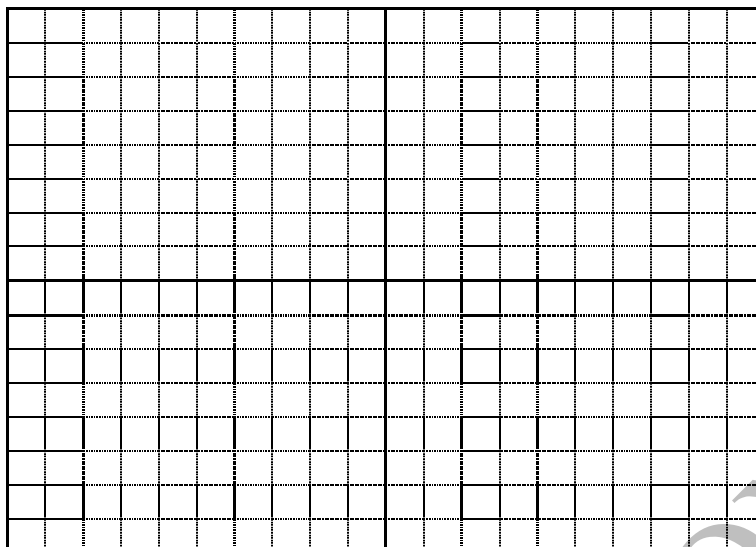
Πίνακας 1

### 2<sup>ο</sup> Βήμα

Να συνδεθεί η γεννήτρια ημιτονοειδούς σήματος στην είσοδο του ενισχυτή. Να δώσετε σήμα πλάτους **V<sub>p-p</sub>=5V** και συχνότητας **f=1KHz**. Τα σημεία **AB** παραμένουν βραχυκυκλωμένα. Να συνδεθεί ο παλμογράφος στην είσοδο και στην έξοδο του κυκλώματος και να σχεδιαστούν οι κυματομορφές εισόδου – εξόδου σε χρονικό συσχετισμό. Παρατηρείστε την παραμόρφωση crossover. Στη συνέχεια αποβραχυκυκλώστε τα σημεία **AB** και ρυθμίστε την **R<sub>3</sub>** ώστε να εξαλειφθεί η παραμόρφωση. Σχεδιάστε και τη νέα κυματομορφή εξόδου.

<b>R<sub>3</sub></b>	
----------------------	--

Πίνακας 2



**3<sup>ο</sup> Βήμα - Εύρεση της ζώνης συχνοτήτων λειτουργίας (BW) του ενισχυτή.**

Δώστε ημιτονικό σήμα εισόδου από την γεννήτρια, σταθερού πλάτους  $V_i=5V_{pp}$  και συχνότητας από  $f_1=10\text{Hz}$  έως  $f_2=2.000.000\text{Hz}$ , συμπληρώσετε τον παρακάτω πίνακα και κατασκευάστε το συχνотικό διάγραμμα λειτουργίας του ενισχυτή, σε ημιλογαριθμικό χαρτί.

**Υπενθύμιση:** Οι συχνότητες θλάσεως ( $f_c$ ) είναι στα  $0,707V_o$  ή  $-3\text{dB}$  του κέρδους Α.  
 Να υπολογιστεί το εύρος ζώνης συχνοτήτων (bandwidth) του ενισχυτή  $BW = f_{c2} - f_{c1}$ .

.....  
 .....  
 .....

BW	
----	--

Πίνακας 3

**4<sup>ο</sup> Βήμα**

Να υπολογίσετε για σήμα εξόδου  $V_o = 4,4\text{Volt}$  την ισχύ  $P_o$  που καταναλώνεται στο

φορτίο ( $P_o = \frac{V_{rms}^2}{R_L} = \frac{V_P^2}{2R_L} = \frac{V_{PP}^2}{8R_L}$ )

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

Συχνότητα f	$V_i$	$V_o$	$A_v = \frac{V_o}{V_i}$	$dB = 20 \cdot \log A_v$
10 Hz	5 V <sub>p-p</sub>			
20 Hz	5 V <sub>p-p</sub>			
50 Hz	5 V <sub>p-p</sub>			
100 Hz	5 V <sub>p-p</sub>			
200 Hz	5 V <sub>p-p</sub>			
300 Hz	5 V <sub>p-p</sub>			
500 Hz	5 V <sub>p-p</sub>			
700 Hz	5 V <sub>p-p</sub>			
1 KHz	5 V <sub>p-p</sub>			
2 KHz	5 V <sub>p-p</sub>			
3 KHz	5 V <sub>p-p</sub>			
4 KHz	5 V <sub>p-p</sub>			
5 KHz	5 V <sub>p-p</sub>			
6 KHz	5 V <sub>p-p</sub>			
8 KHz	5 V <sub>p-p</sub>			
9 KHz	5 V <sub>p-p</sub>			
10 KHz	5 V <sub>p-p</sub>			
15 KHz	5 V <sub>p-p</sub>			
20 KHz	5 V <sub>p-p</sub>			
30 KHz	5 V <sub>p-p</sub>			
40 KHz	5 V <sub>p-p</sub>			
50 KHz	5 V <sub>p-p</sub>			
80 KHz	5 V <sub>p-p</sub>			
100 KHz	5 V <sub>p-p</sub>			
300 KHz	5 V <sub>p-p</sub>			
500 KHz	5 V <sub>p-p</sub>			
1 MHz	5 V <sub>p-p</sub>			
1.5 MHz	5 V <sub>p-p</sub>			
2 MHz	5 V <sub>p-p</sub>			

Πίνακας 4

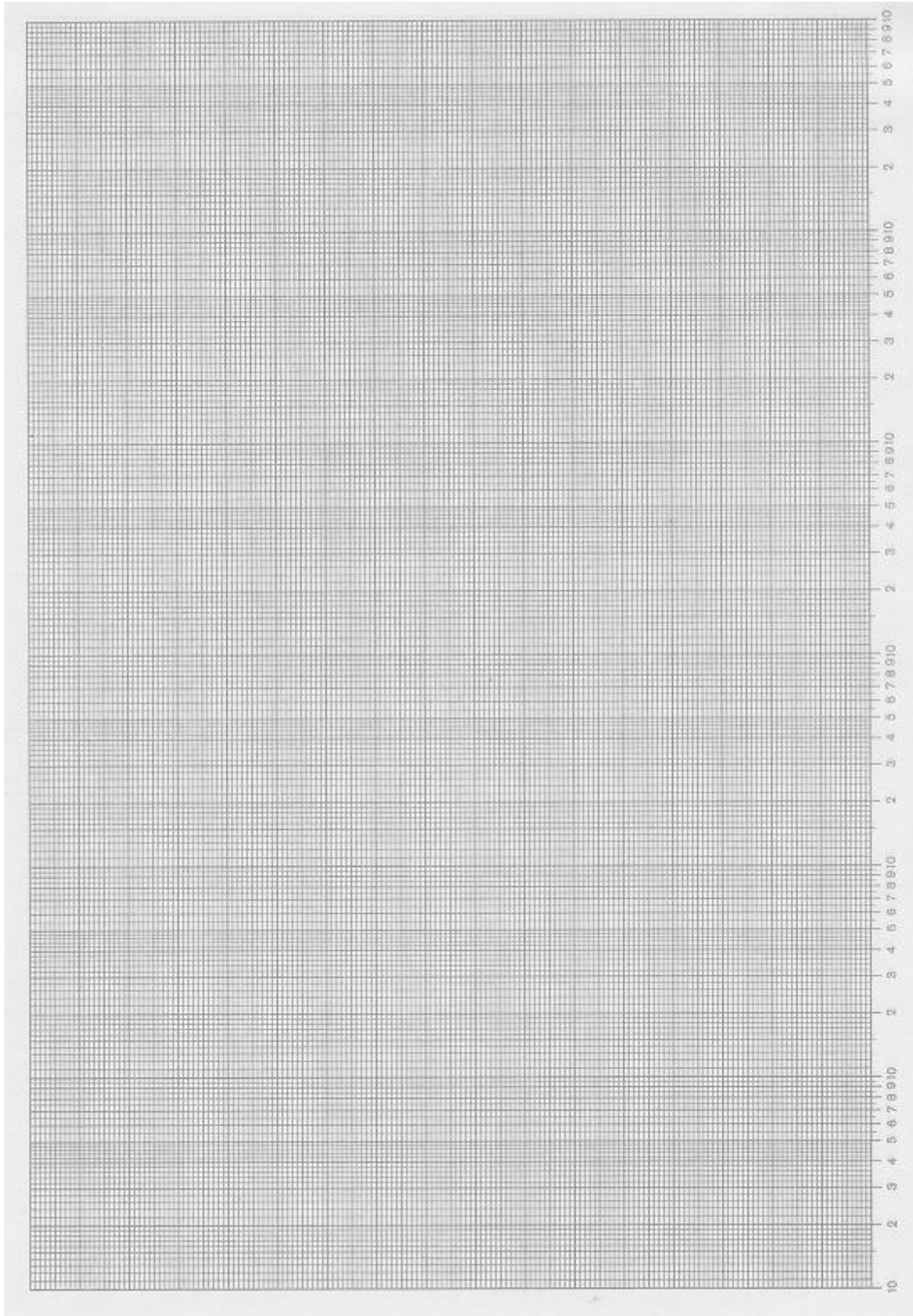
### 5<sup>ο</sup> Βήμα

Να σχεδιαστεί το κύκλωμα του ενισχυτή του σχήματος 8 στο Multisim, να ληφθούν οι απαραίτητες μετρήσεις και να συμπληρωθεί ο πίνακας 5. Για το συχνοτικό διάγραμμα θα χρησιμοποιήσετε τον **Bode Plotter**.

### 6<sup>ο</sup> Βήμα

Τοποθετείστε σε σειρά με την αντίσταση φορτίου  $R_L = 100\Omega$ , ένα μεγάφωνο  $8\Omega$  και δώστε σήμα στην είσοδο και ακούστε το σήμα στην έξοδο.





Ημιλογαριθμικό χαρτί για τη σχεδίαση της συχνοτικής απόκρισης του ενισχυτή.

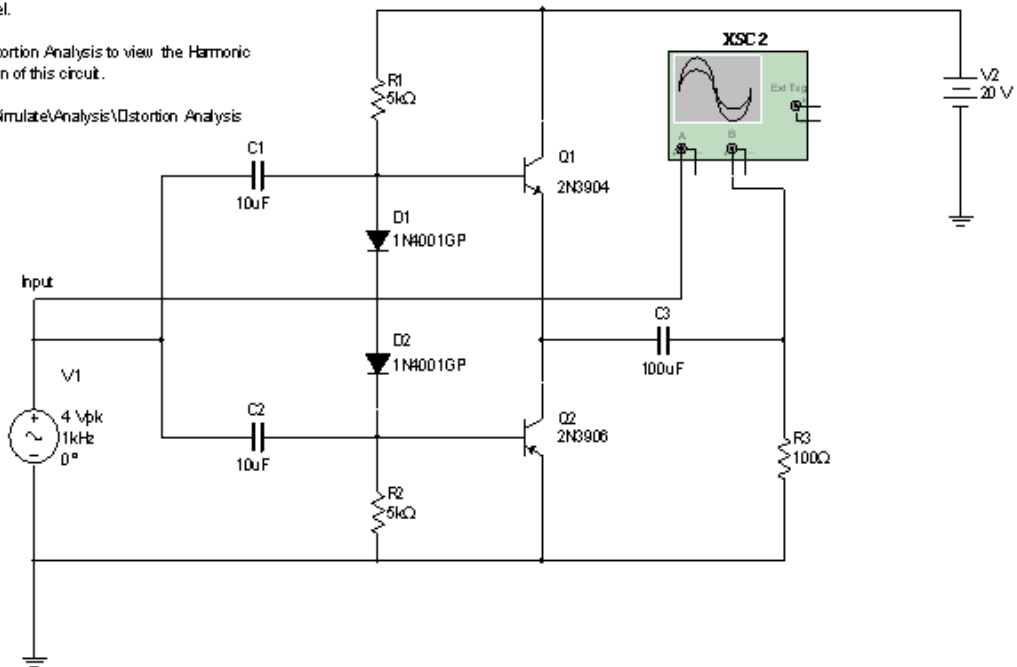
## Class B Push-Pull Amplifier

Choose Simulate/Run to view the operation of the circuit using virtual instruments.

Double click on an instrument to view the panel.

Use Distortion Analysis to view the Harmonic Distortion of this circuit.

Select Simulate/Analysis/Distortion Analysis



Σχήμα 8

Μέγεθος	Θεωρητικά	Πειραματικά	Multisim
$V_{E1}$			
$V_{B1}$			
$V_{C1}$			
$I_{C1}$			
$I_{B1}$			
$I_{E1}$			
$V_{E2}$			
$V_{B2}$			
$V_{C2}$			
$I_{C2}$			
$I_{B2}$			
$I_{E2}$			
$A_V$			
$R_i$			
$R_O$			
BW			

Πίνακας 5