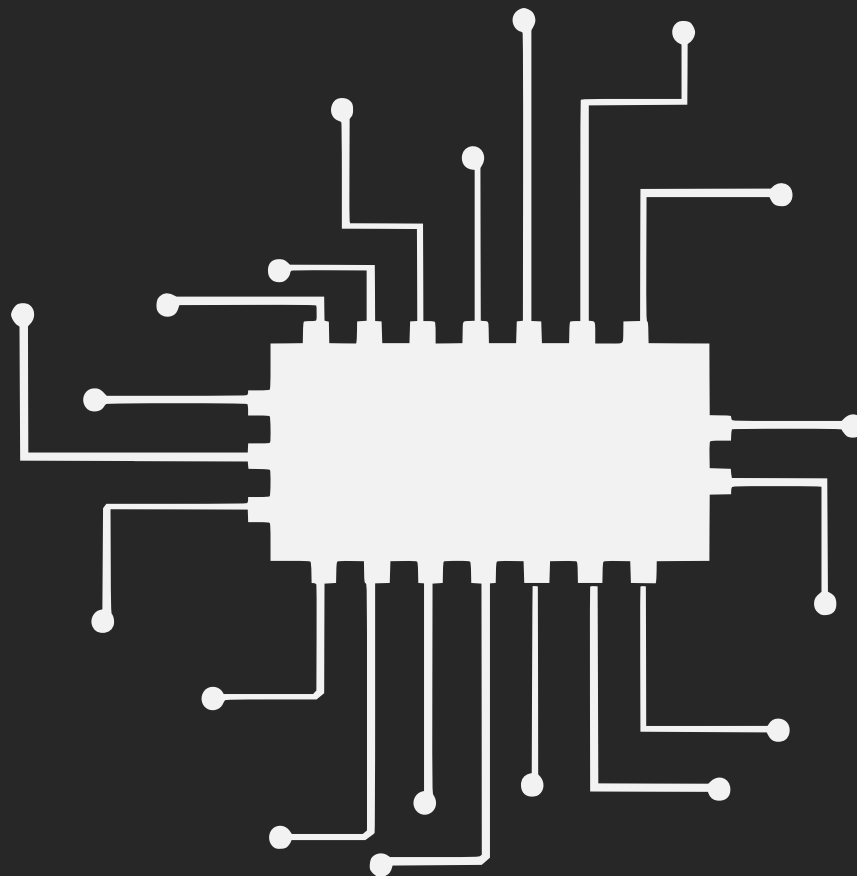


# ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ II

## Αναφορά 5ης Εργαστηριακής Άσκησης

«ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΕΝΙΣΧΥΤΩΝ ΣΤΙΣ ΥΨΗΛΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ»



**LAB31138249**



Μπεχτσούδης Χρήστος 2016030005

















Γάκης Κωσταντίνος 2011030066







Γαλάνης Μιχάλης 2016030036

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

*Οι παρακάτω σύνδεσμοι είναι διαδραστικοί.  
Πατήστε σε κάποιο από αυτούς για τη μετάβαση στο κατάλληλο τμήμα της αναφοράς.*

	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
	ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΕΝΙΣΧΥΤΗ (5.3α) .....	1
	Θεωρητική Ανάλυση (DC – Προεργασία) .....	1
	Θεωρητική Ανάλυση (AC – Προεργασία) .....	2
	Πειραματική Διαδικασία.....	5
	Σύγκριση Θεωρητικών – Πειραματικών Τιμών .....	5
	ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΕΝΙΣΧΥΤΗ (5.3β) .....	6
	Πειραματική Διαδικασία.....	6
	Επεξεργασία & Σύγκριση Μετρήσεων .....	6
	Προσομοίωση .....	7
	Διαγράμματα .....	8
	ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΕΝΙΣΧΥΤΗ (5.3γ) .....	11
	Πειραματική Διαδικασία & Επεξεργασία Μετρήσεων ...	11
	Διαγράμματα .....	12

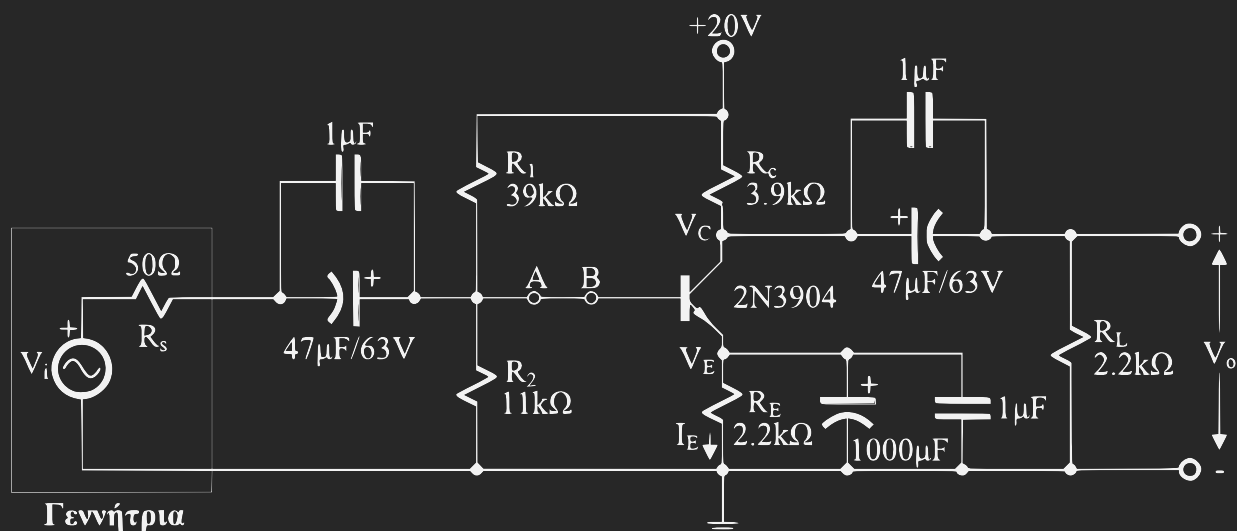
	Προσομοίωση .....	13
	Διαγράμματα .....	13
	Σύγκριση Bode (Θεωρητικό – Πειραματικό) .....	14
	Σύγκριση Bode (Πειραματικό – SPICE) .....	14

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτή την εργαστηριακή αναφορά παρουσιάζεται η μελέτη μας στην απόκριση ενισχυτών στις υψηλές συχνότητες.

## ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΕΝΙΣΧΥΤΗ (5.3α)

Παρακάτω παρουσιάζεται το κύριο κύκλωμα της άσκησης χρησιμοποιώντας τρανζίστορ **2N3904** και θέτοντας  $v_i = 0$ :



## Θεωρητική Ανάλυση (DC – Προεργασία)

Από γνωστές θεωρητικές σχέσεις, υπολογίζουμε γρήγορα τα παρακάτω:

$$V_B = \frac{11}{39 + 11} = 4.4V$$

$$V_E = 3.75V$$

Επίσης:

$$V_E - I_E R_E = 0 \Leftrightarrow$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} \cong 1.7mA$$

Ισχύει επιπλέον ότι:

$$I_E = \frac{\beta + 1}{\beta} I_C \Leftrightarrow I_C \cong I_E \cong 1.7mA$$

Οπότε:

$$V_C = 20 - I_C R_C \Leftrightarrow \\ V_C = 13.37V$$



### Θεωρητική Ανάλυση (AC – Προεργασία)

Υπολογίσαμε τις τιμές των παραμέτρων ως εξής (με  $V_T = 25mV$ ,  $25^\circ$ ):

$$g_{b'e} = \frac{g_m}{h_{fe}} \Leftrightarrow g_{b'e} = \frac{1}{v_\pi}$$

$$r_{bb'} = v_x$$

$$h_{ie} = v_x + v_\pi \Leftrightarrow r_{bb'} = h_{ie} - v_\pi$$

Άρα:

$$v_\pi = \frac{V_T}{I_B} = \frac{\beta V_T}{I_C} = 1.9k\Omega$$

$$g_{b'e} = \frac{I_C}{\beta V_T} = 0.5263mS$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = 68mS$$

$$r_{bb'} = h_{ie} - \frac{\beta V_T}{I_C} = 0.6k\Omega$$

Για την εύρεση του κέρδους τάσης για τις μεσαίες συχνότητες:

$$R_B = R_1 || R_2 = 8.6k\Omega$$

$$h_{ie} = 2.5k\Omega$$

$$R_{tot} = R_L || R_C \cong 1.4k\Omega$$

Από Thevenin έχουμε:

$$R_{TH} = R_B || R_S \cong 49.71\Omega$$

$$V_{TH} = \frac{R_B}{R_B + R_S} V_S \cong 0.9942V_S$$

$$U_{r\pi} = \frac{r_\pi}{v_x + v_\pi + R_{TH}} V_{TH} = \frac{v_\pi}{h_{ie} + R_{TH}} V_{TH} \cong 0.74V_S$$

$$V_o = -g_m U_{r\pi} R_{tot} = -0.74V_S g_m R_{tot} \Leftrightarrow$$

$$\frac{V_o}{V_S} = -0.74g_m R_{tot} \cong -70.5$$

Άρα:

$$A_m = -70.5 = 37dB$$

Υψηλή συχνότητα (3db):

$$A_{db} = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C} \quad \text{Q.}$$

$$R = (R_s + r_{be}) // r_{be} = \frac{(R_s + r_{be}) \cdot r_{be}}{(R_s + r_{be}) + r_{be}} = \frac{6500 \cdot 0.5263 \cdot 10^3}{6500 + 0.5263 \cdot 10^3}$$

$$= \frac{6500 \cdot 0.5263 \cdot 10^3}{6500 + 526.3} = \frac{0.65k\Omega \cdot 0.5263k\Omega}{0.65k\Omega + 0.5263k\Omega} = \frac{1.235k\Omega}{1.1763k\Omega}$$

$$= 0.484k\Omega = 484\Omega = R$$

$$C = C_e + C_c \cdot (1 + g_m \cdot R_L) = 8 \cdot 10^{-12} + 4 \cdot 10^{-12} \cdot (1 + 68 \cdot 10^3 \cdot 2.2 \cdot 10^3 \Omega)$$

$$= 8 \cdot 10^{-12} + 4 \cdot 10^{-12} \cdot (1 + 68 \cdot 2.2) = 8 \cdot 10^{-12} + 4 \cdot 10^{-12} \cdot (1 + 151.6)$$

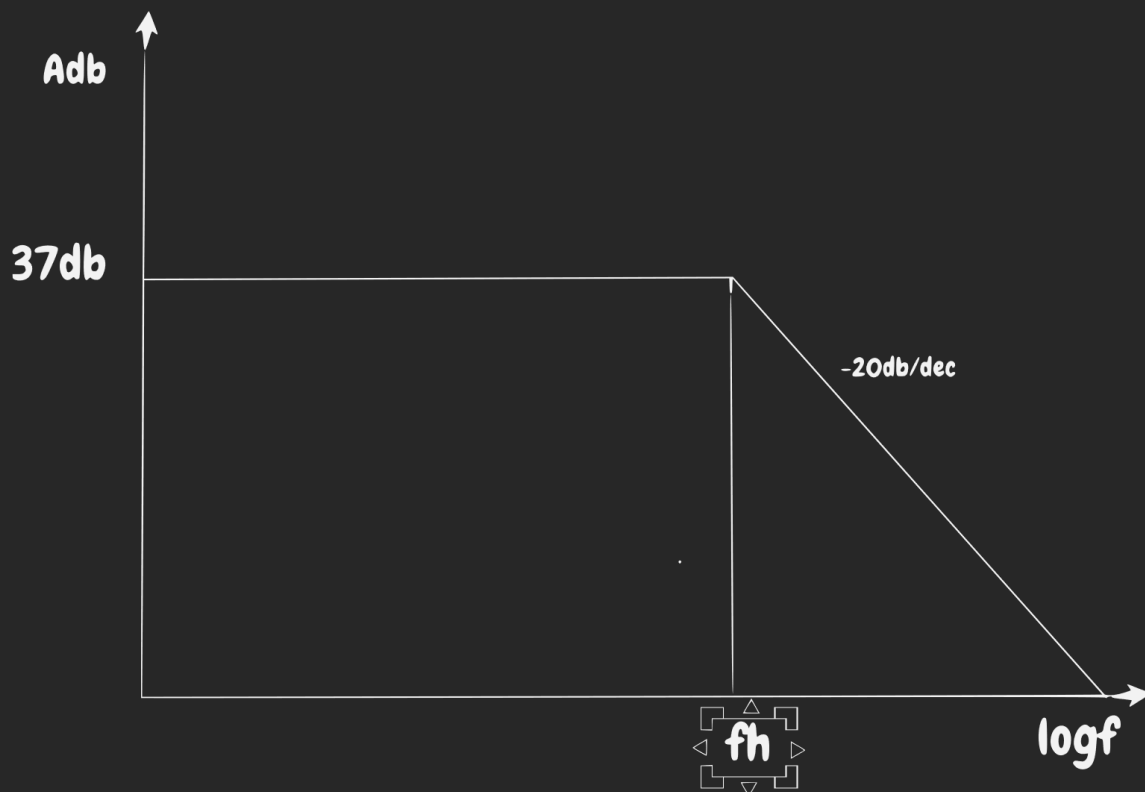
$$= 8 \cdot 10^{-12} + 4 \cdot 10^{-12} \cdot 152.6 = 8 \cdot 10^{-12} + 610.4 \cdot 10^{-12} = 618.4 \cdot 10^{-12} = 618.4 \text{ pF} = C$$

$$Q \Rightarrow f_H = \frac{1}{2\pi \cdot 484 \cdot 618.4 \cdot 10^{-12}} = \frac{1}{3039.5 \cdot 10^{-12}}$$

$$= \frac{1}{3.0395 \cdot 10^{-9}} = \frac{1}{3.0395 \cdot 10^{-9}} = \frac{1}{3.0395 \cdot 10^{-9}}$$

$$= 0.1136 \cdot 10^9 = 1.1 \cdot 10^8 = 1.1 \text{ MHz}$$

Κέρδος τάσης για μεσαίες και υψηλές συχνότητες:





## Πειραματική Διαδικασία

Οι τιμές των τάσεων  $V_B$ ,  $V_E$ ,  $V_C$  ως προς τη γείωση μετρήθηκαν στο εργαστήριο και έχουν τις παρακάτω τιμές σε **RMS**:

$$V_B = 4.378V$$

$$V_E = 3.710V$$

$$V_C = 13.356V$$

Στη συνέχεια, υπολογίστηκε το DC ρεύμα του εκπομπού:

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = 1.686mA$$



## Σύγκριση Θεωρητικών – Πειραματικών Τιμών

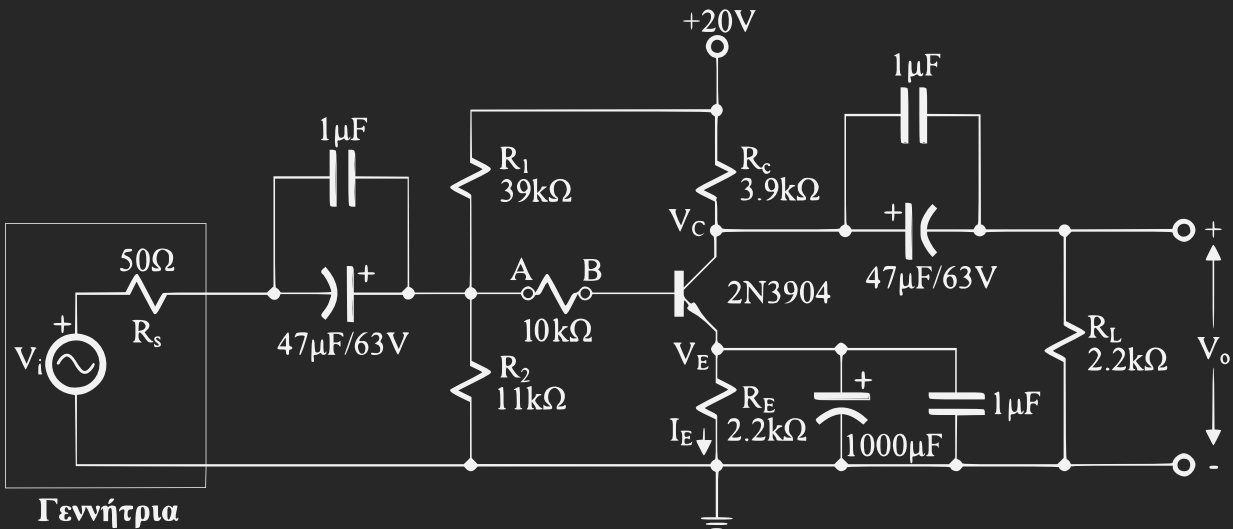
Μέγεθος	Θεωρητική τιμή	Πειραματική τιμή
$V_B (V)$	4.4	4.378
$V_E (V)$	3.75	3.710
$V_C (V)$	13.37	13.356
$I_C (mA)$	1.7	1.686

Παρατηρούμε ότι οι πειραματικές τιμές συμβαδίζουν απόλυτα με τις θεωρητικές με υπερβολικά μικρές αποκλίσεις.



## ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΕΝΙΣΧΥΤΗ (5.3β)

Αντικαθιστούμε το βραχυκύκλωμα A-B με αντίσταση  $10k\Omega$ . Θέτουμε επίσης και ημιτονοειδές σήμα  $v_i = 5kHz$ .



## Πειραματική Διαδικασία

Αυξήσαμε προοδευτικά το πλάτος της τάσης εισόδου  $v_i$  μέχρι η διαφορική τάση μεταξύ σημείων A και B να γίνει ίση με  $100mV$ . Τότε μετρήσαμε τις παρακάτω τιμές τάσεων εισόδου και εξόδου του τρανζίστορ (σε peak-peak):

$$V_B = 3.7div \cdot 10mV/div = 37mV$$

$$V_o = 5.5div \cdot 500mV/div = 2.75V$$

## Επεξεργασία & Σύγκριση Μετρήσεων

Από τις παραπάνω μετρήσεις υπολογίζουμε τα ζητούμενα μεγέθη:

$$h_{ie} = \frac{V_B}{100mV} (10k\Omega) = \frac{37mV}{100mV} (10k\Omega) \Leftrightarrow$$

$$h_{ie} = 3.7k\Omega$$

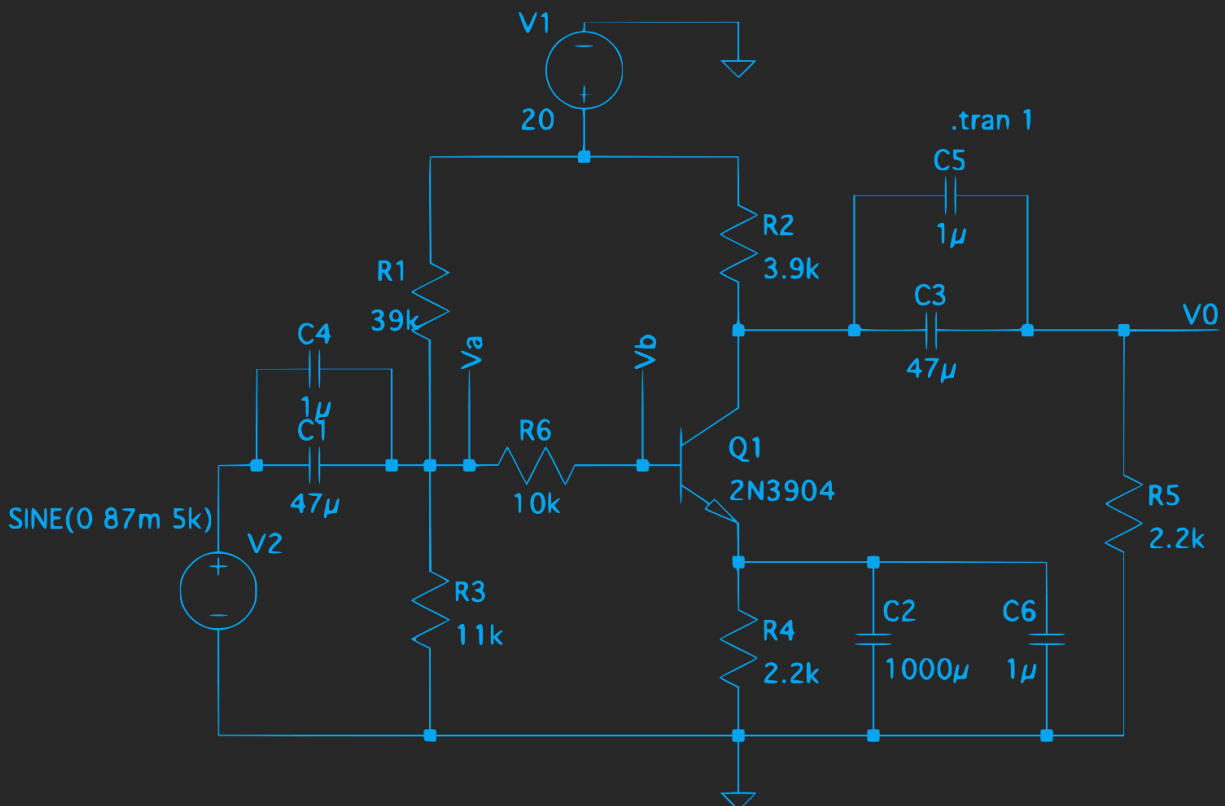
Οι παράμετροι  $g_{b'e}$  και  $g_m$  παραμένουν ίδιοι (δεν υπάρχει απόκλιση) ενώ η παράμετρος  $r_{bb'}$  υπολογίζεται με τον ακόλουθο τρόπο:

$$r_{bb'} = h_{ie} - \frac{BV_T}{I_C} = 1.8k\Omega$$

**⚠ Παρατήρηση:** Η παράμετρος  $r_{bb'}$  έχει μεγάλη απόκλιση από τη θεωρητική λόγω λάθος μέτρησης κατά τη διεκπεραίωση του εργαστηρίου.

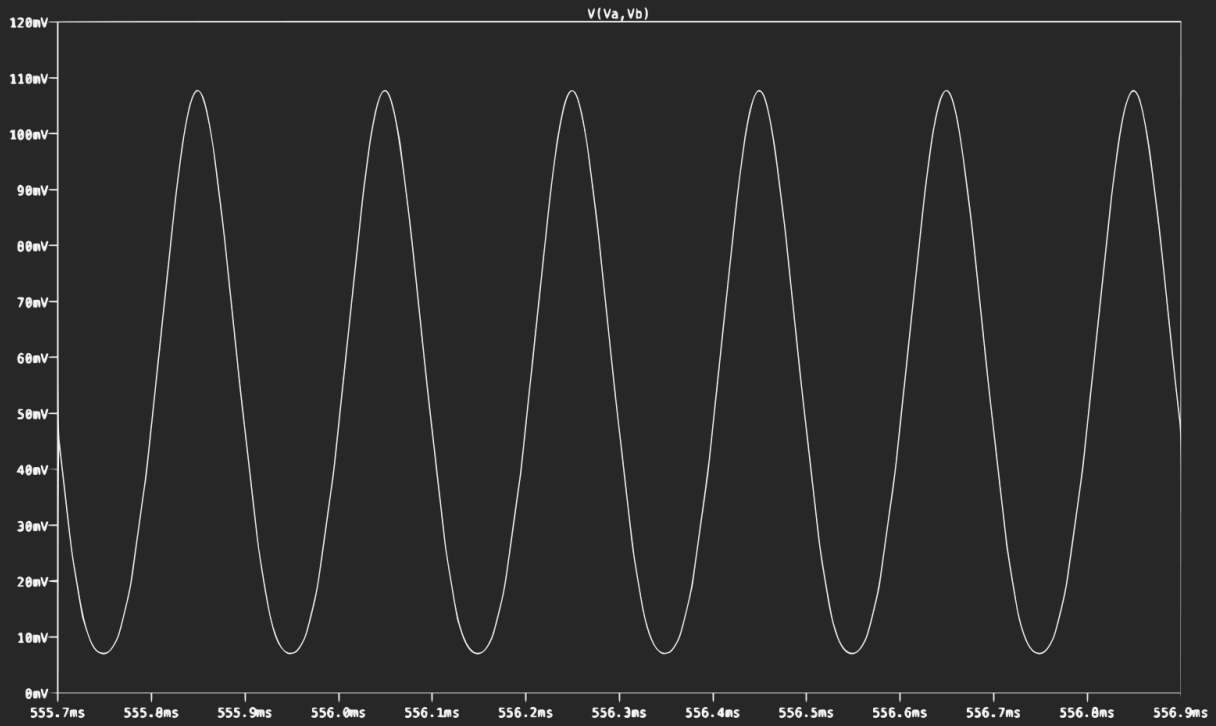
## Προσομοίωση

Σχεδιάσαμε το κύκλωμά μας στο LT SPICE όπως φαίνεται παρακάτω:

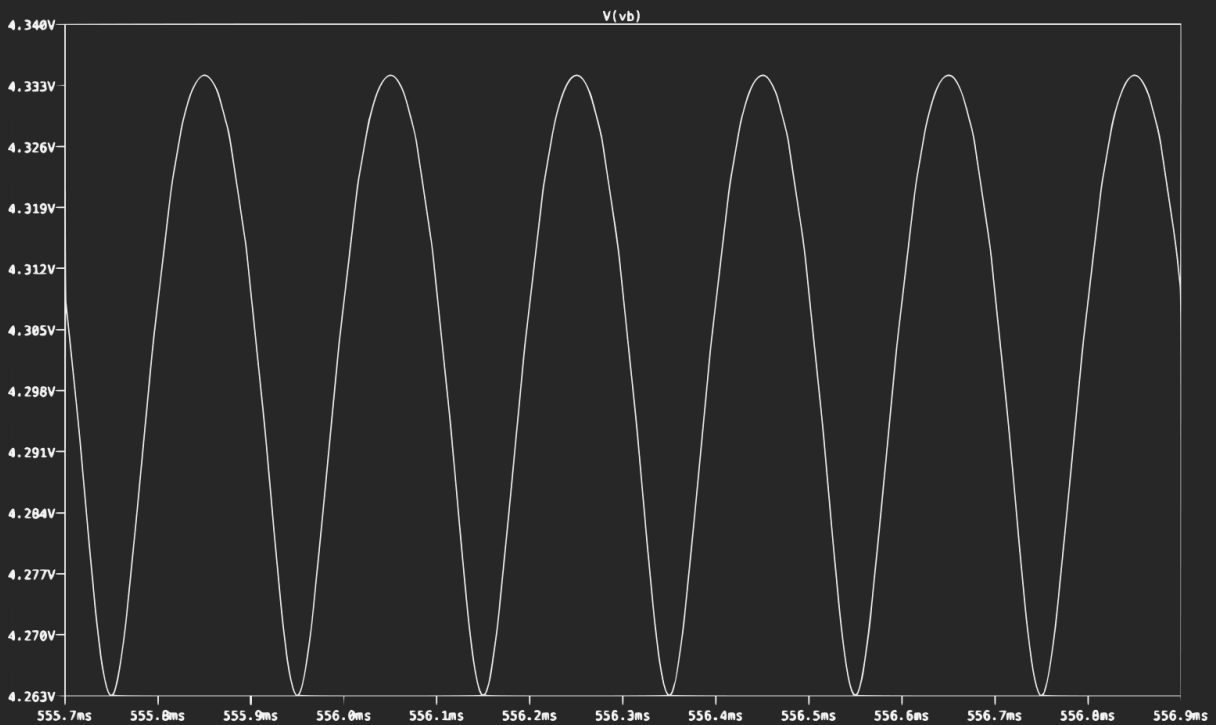


## Διαγράμματα

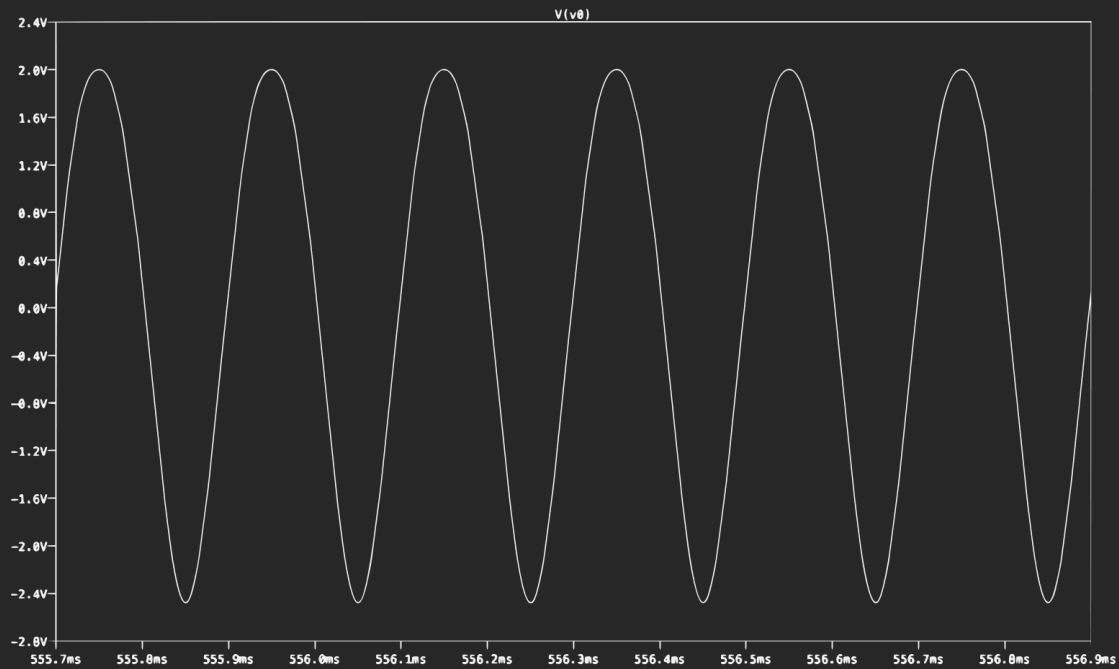
### Διαφορική τάση



### Τάση Εισόδου

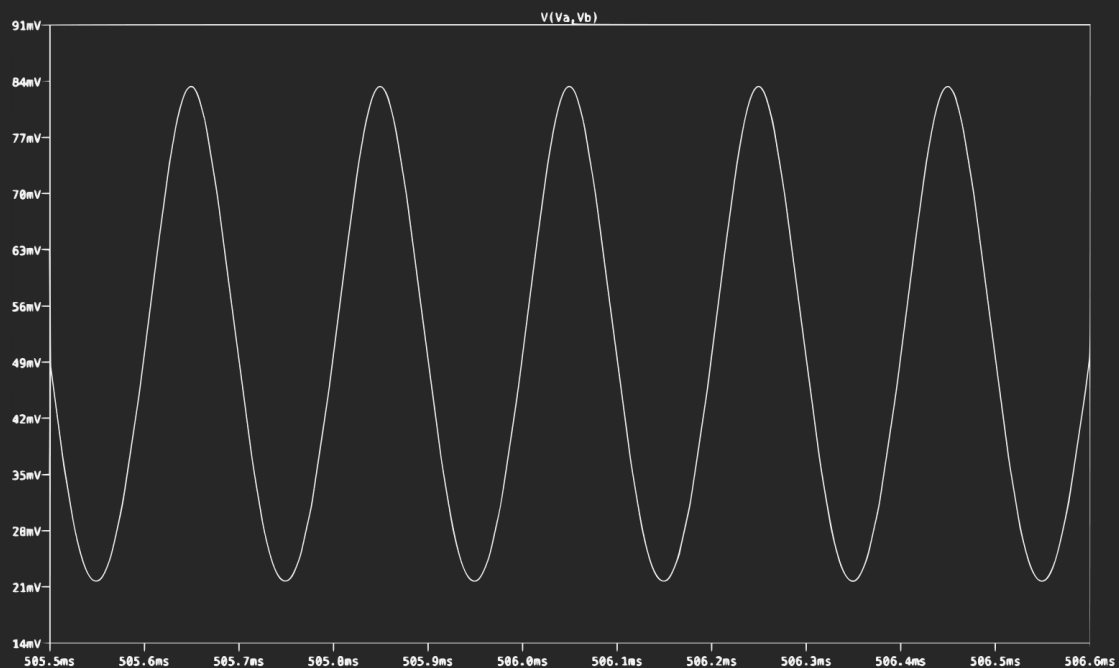


### Τάση Εξόδου

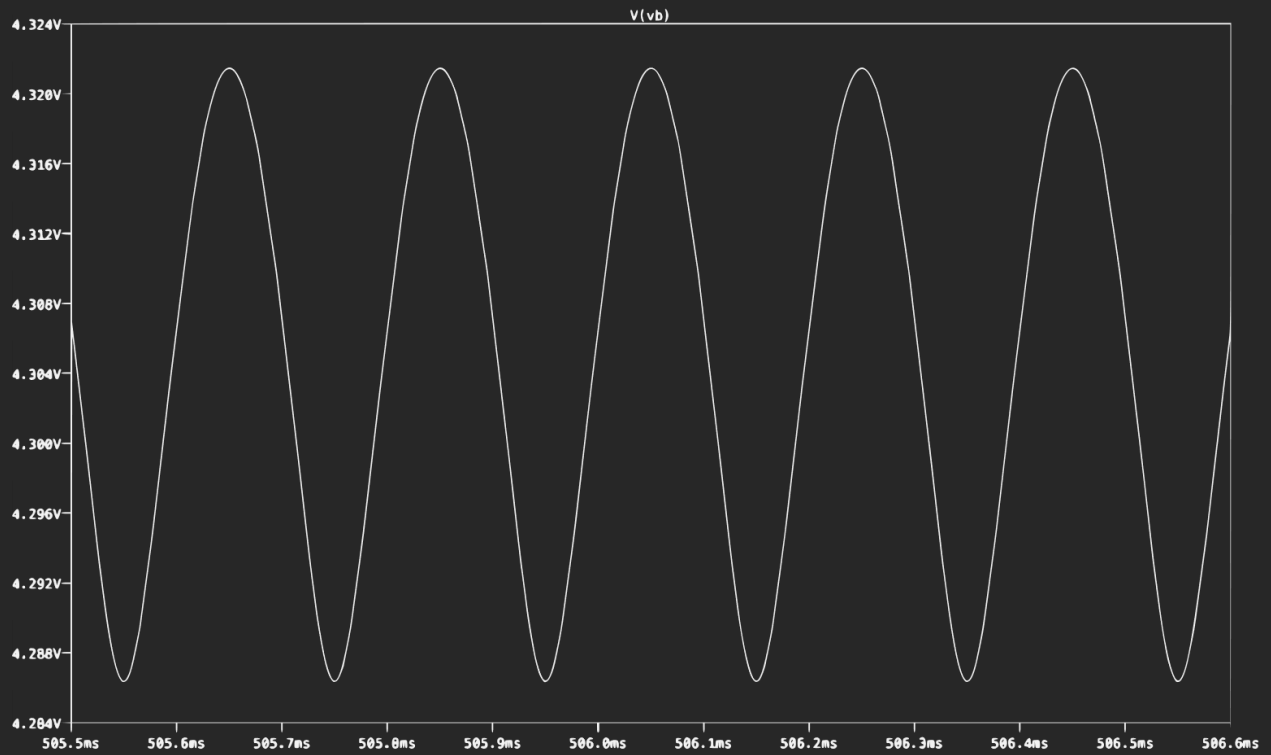


**⚠ Παρατήρηση:** Λόγω μη ακριβούς μέτρησης της διαφορικής τάσης κατά την πειραματική διαδικασία, υπάρχει μεγάλη απόκλιση. Μάλιστα για να προκύψουν οι σωστές πειραματικές τιμές μας, η διαφορική τάση θα πρέπει να προσαρμοστεί στα  $60mV$  (peak-peak) όπως φαίνεται παρακάτω:

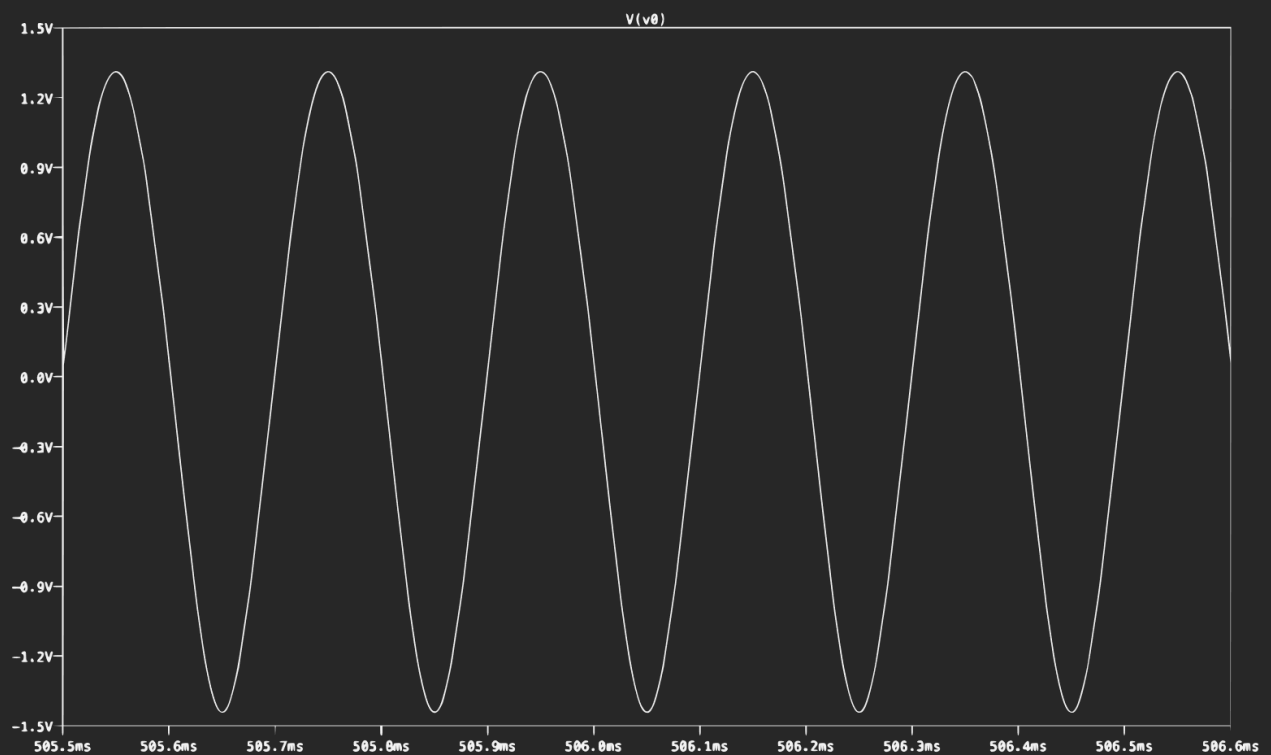
### Διαφορική τάση



### Τάση Εισόδου

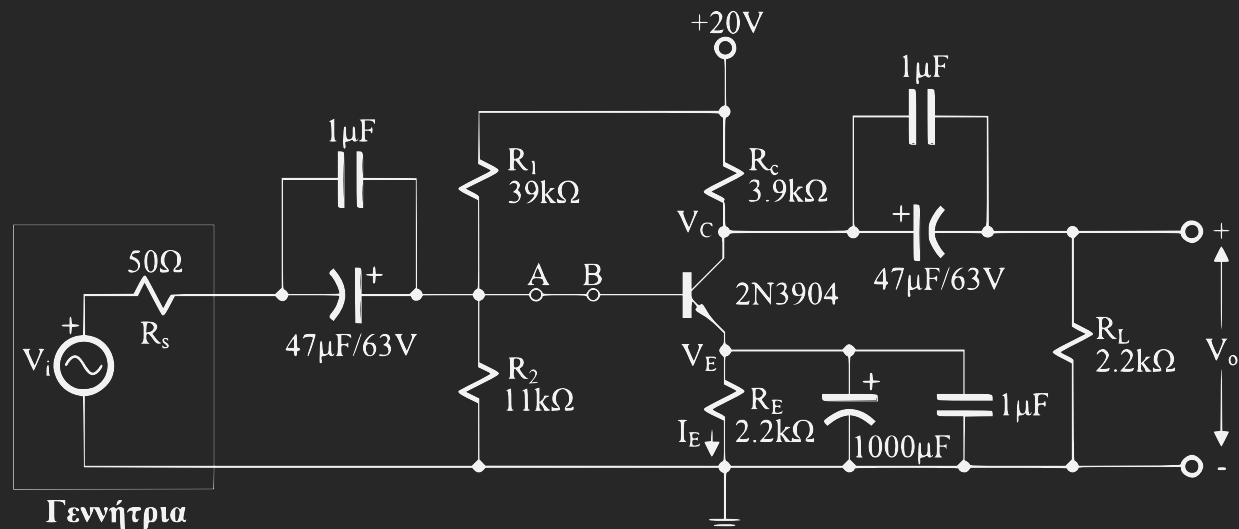


### Τάση Εξόδου



## ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΕΝΙΣΧΥΤΗ (5.3γ)

Αφαιρούμε για άλλη μια φορά την αντίσταση  $10k\Omega$  που προσθέσαμε μεταξύ των σημείων A και B αλλά διατηρούμε αμετάβλητη την ημιτονοειδή τάση εισόδου.



## Πειραματική Διαδικασία & Επεξεργασία Μετρήσεων

Αφού ρυθμίστηκε το πλάτος της τάσης εισόδου  $v_i$  έτσι ώστε η τάση εξόδου  $v_o$  να μη παρουσιάζει οριακά ψαλίδιση μετρήθηκαν αρχικά οι τιμές της τάσης εισόδου και της τάσης εξόδου αντίστοιχα (σε peak-peak):

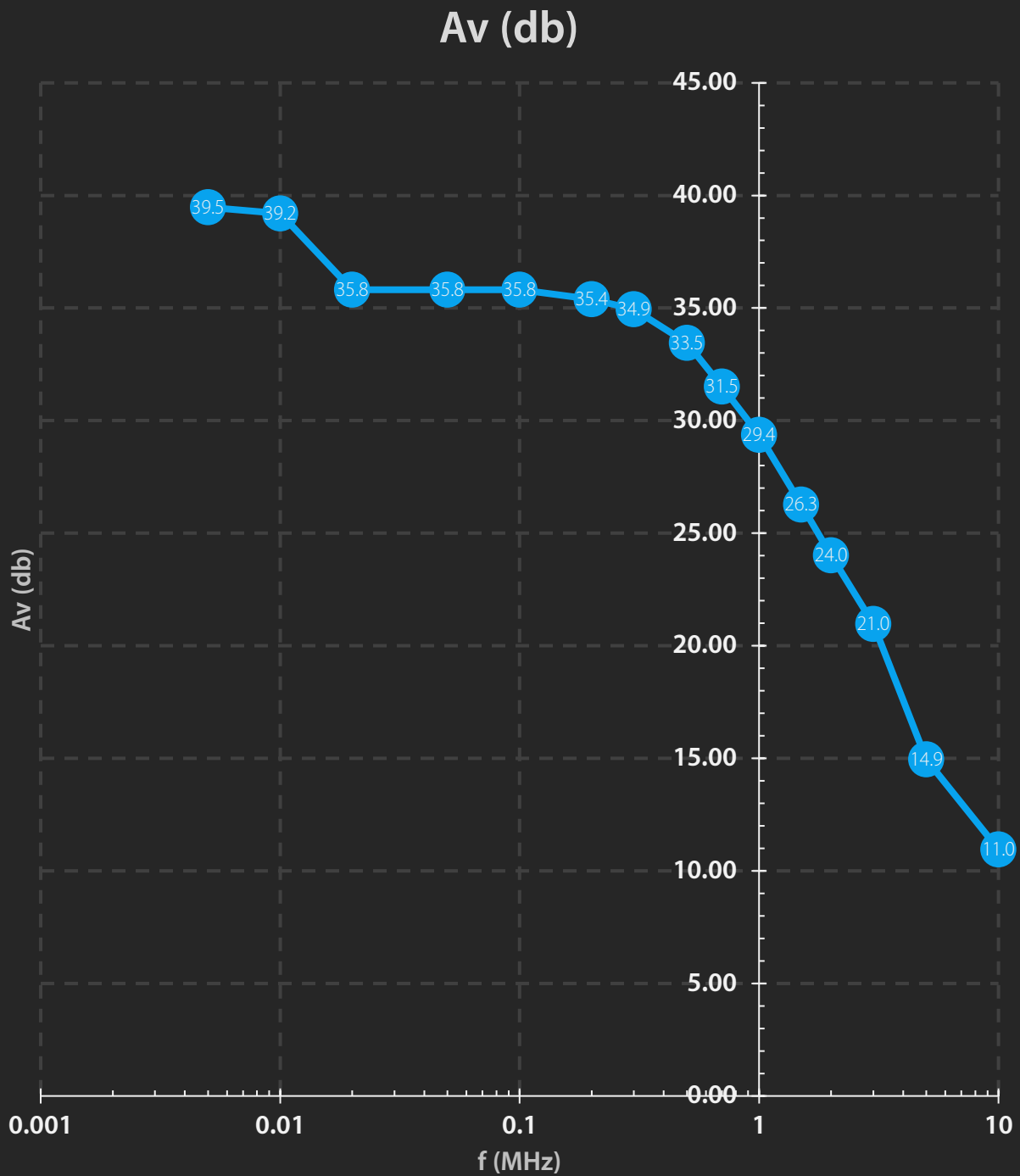
$$V_i = 1.7 \text{ div} \cdot 10 \text{ mV/div} = 17 \text{ mV}$$

$$V_o = 1.6 \text{ V}$$

Μέγεθος	Τιμή														
$F \text{ (MHz)}$	0.005	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	1.5	2	3	5	10
$V_i \text{ (V)}$	0.017														
$V_o \text{ (V)}$	1.6	1.55	1.05	1.05	1.05	1	0.95	0.8	0.64	0.5	0.35	0.27	0.19	0.095	0.06
$A_v \text{ (db)}$	39.4	39.2	35.8	35.8	35.8	35.3	34.9	33.4	31.5	29.3	26.2	24.0	20.9	14.9	10.9

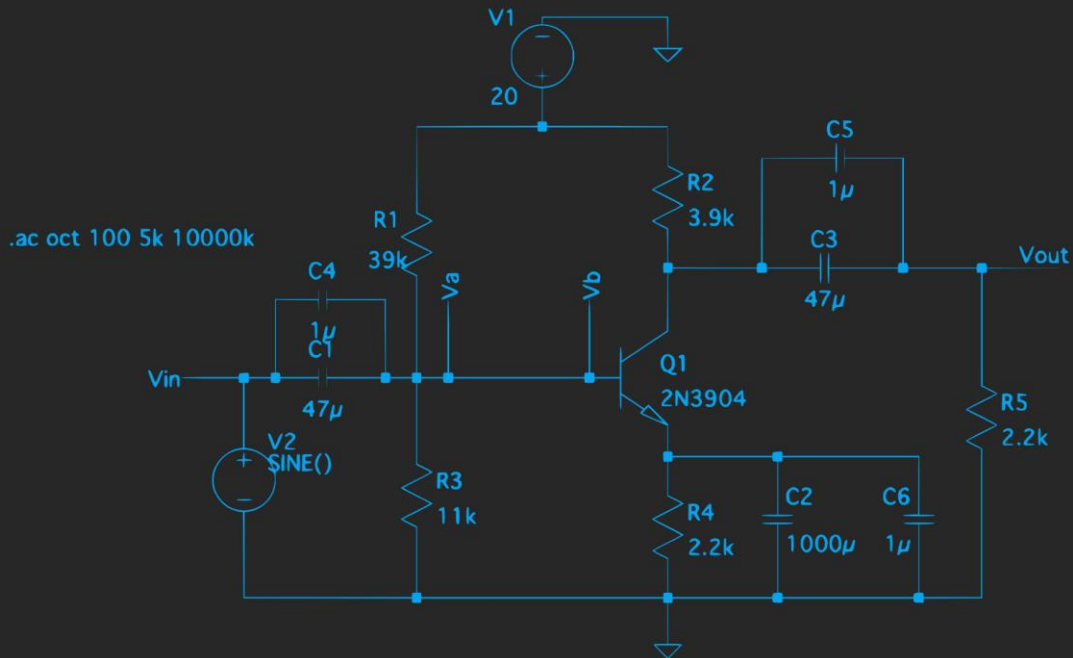
Η πειραματική συχνότητα  $f_H$  της βαθμίδας μετρήθηκε κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας ίση με  $66.54\text{kHz}$ .

## Διαγράμματα



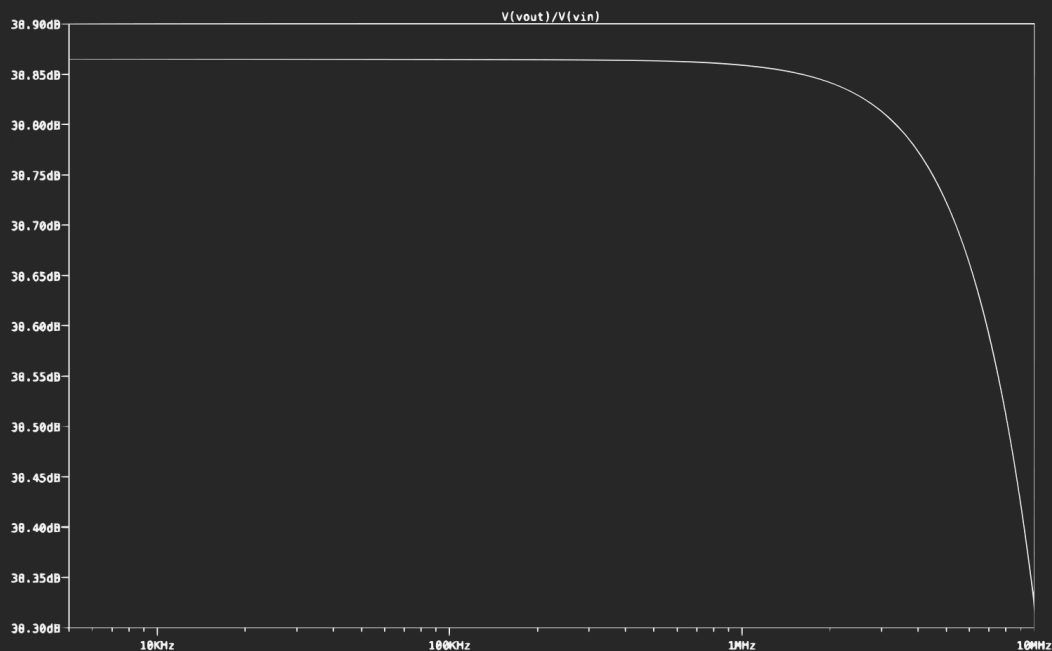
## Προσομοίωση

Κατασκευάσαμε και αυτή τη φορά το σχεδιάγραμμα στο LT SPICE και παρήχθηκε το παρακάτω:



## Διαγράμματα

Η προσομοίωση δημιούργησε την παρακάτω κυματομορφή:





### Σύγκριση Bode (Θεωρητικό – Πειραματικό)

Οι αποκλίσεις μεταξύ θεωρητικού – Πειραματικού διαγράμματος απόκρισης βαθμίδας οφείλονται σε έλλειψη ακρίβειας του παλμογράφου κατά τις μετρήσεις μας. Η ακρίβεια χάνεται ακόμα περισσότερο καθώς κατά τον υπολογισμό του κέρδους τάσης μεσολαβούν πράξεις με στρογγυλοποιήσεις για λόγους ευκολίας. Ακόμα, τα στοιχεία του κυκλώματος δεν είναι ιδανικά και μεγαλοποιούν ακόμα περισσότερο τα σφάλματά μας.

### Σύγκριση Bode (Πειραματικό – SPICE)

Το πειραματικό διάγραμμα με αυτό που δημιουργήθηκε από την προσωμοίωση του SPICE έχουν μικρές αποκλίσεις αλλά αμελητέες καθώς οι καμπύλες έχουν γενικώς ακριβώς την ίδια συμπεριφορά. Παρατηρούμε ότι στο πειραματικό διάγραμμα υπάρχουν κάποιες αναταράξεις και αυτές οφείλονται σε σφάλματα λόγω ανάγνωσης παλμογράφου και σε μη επαρκή δειγματοληψία των μετρήσεών μας.