

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών



Γκέκας Άγγελος 10405  
Παπαδάκης Κωνσταντίνος Φώτιος 10371  
Παρασίου Δημήτριος 11329

Εργασία στο μάθημα Ηλεκτρονική 2

Θεσσαλονίκη, Μάιος 2025

# Περιεχόμενα

<b>1 Εργαστηριακή Άσκηση 1</b>	<b>1</b>
1.1 Βήμα 7 . . . . .	1
1.1.1 Ανάλυση με LT spice . . . . .	1
1.1.2 Θεωρητική Ανάλυση . . . . .	2
1.2 Βήμα 8 . . . . .	4
<b>2 Εργαστηριακή Άσκηση 3</b>	<b>7</b>
2.1 Βήμα 10 . . . . .	7
2.2 Βήμα 11 . . . . .	15
2.3 Βήμα 12 . . . . .	16
<b>3 Εργαστηριακή Άσκηση 4</b>	<b>19</b>
3.1 Βήμα 7 . . . . .	19
3.2 Βήμα 8 . . . . .	20
<b>4 Εργαστηριακή Άσκηση 5</b>	<b>25</b>
4.1 Βήμα 13 . . . . .	25

# Κατάλογος Σχημάτων

1.1 Κύκλωμα Διαφορικού Ενισχυτή . . . . .	1
1.2 Είσοδος και Έξοδος Ενισχυτή με Χρονική Ανάλυση . . . . .	2
1.3 Κύκλωμα Διαφορικού Ενισχυτή για DC Sweep . . . . .	3
1.4 Είσοδος και Έξοδος Ενισχυτή με DC Sweep . . . . .	4
1.5 Κύκλωμα 1-8 . . . . .	4
1.6 Ισοστάθμιση Τάσεων Συλλεκτών . . . . .	5
1.7 Τάσεις Εισόδου και Εξόδου . . . . .	6
1.8 Ενίσχυση στις Συχνότητες $100 \text{ Hz} - 1 \text{ MHz}$ . . . . .	6
 2.1 Κύκλωμα 3-3 . . . . .	 7

2.2	Ρύθμιση της αντίστασης $R_B$	8
2.3	Τάσεις στους ακροδέκτες των τρανζίστορ	9
2.4	Είσοδος και Έξοδος (χωρίς πυκνωτή $C_{E2}$ )	10
2.5	Μεταβολή του πλάτους εισόδου (χωρίς πυκνωτή $C_{E2}$ )	11
2.6	Κύκλωμα 3-3 με πυκνωτή $C_{E2}$	11
2.7	Μεταβολή του πλάτους εισόδου (με πυκνωτή $C_{E2}$ )	12
2.8	Κύκλωμα 3-3 με ανάδραση	12
2.9	AC sweep για την έξοδο του κυκλώματος 3-3 με ανάδραση	13
2.10	Κύκλωμα 3-4	13
2.11	AC sweep στην έξοδο του κυκλώματος 3-4	14
2.12	Χρονική ανάλυση του κυκλώματος 3-4	15
2.13	Μετρήσεις Εργαστηριακής Άσκησης 3 (πρώτη σελίδα)	17
2.14	Μετρήσεις Εργαστηριακής Άσκησης 3 (δεύτερη σελίδα)	18
3.1	Κύκλωμα Συγχριτή Schmitt Trigger	19
3.2	Κύκλωμα Γεννήτριας Παλμών	20
3.3	Κύκλωμα Ανιχνευτή Διέλευσης από Μηδενική Τάση	20
3.4	Είσοδος - Έξοδος Schmitt Trigger	21
3.5	Είσοδος - Έξοδος Schmitt Trigger Εργαστήριο	21
3.6	Έξοδος Γεννήτριας Παλμών	22
3.7	Έξοδος Γεννήτριας Παλμών Εργαστήριο	23
3.8	Είσοδος - Έξοδος Ανιχνευτή Διέλευσης από Μηδενική Τάση με $C=4.7\mu F$	23
3.9	Είσοδος - Έξοδος Ανιχνευτή Διέλευσης από Μηδενική Τάση με $C=1\mu F$	24
3.10	Είσοδος - Έξοδος Ανιχνευτή Διέλευσης από Μηδενική Τάση Εργαστήριο	24
4.1	Κύκλωμα Ταλαντωτή	25
4.2	Έξοδος Ταλαντωτή για Διάφερες Τιμές της Παραμέτρου $r$	26
4.3	Έξοδος Ταλαντωτή με Σταθερό $r$ για $C = 1.5 \text{ nF}$	26
4.4	Έξοδος Ταλαντωτή με Σταθερό $r$ για $C = 47 \text{ nF}$	27
4.5	Μετρήσεις Εργαστηριακής Άσκησης 5	27

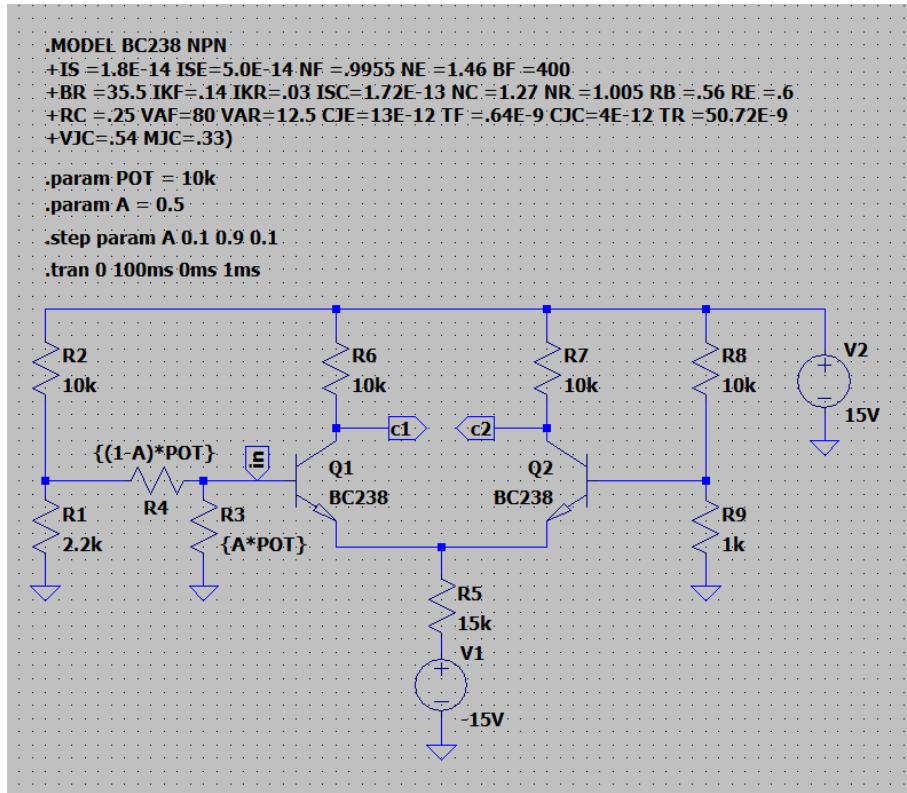
# Κεφάλαιο 1

## Εργαστηριακή Άσκηση 1

### 1.1 Βήμα 7

#### 1.1.1 Ανάλυση με LT spice

Για την χρονική ανάλυση υλοποιήθηκε το κύκλωμα του σχήματος 1-7 του φυλλαδίου, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.1.

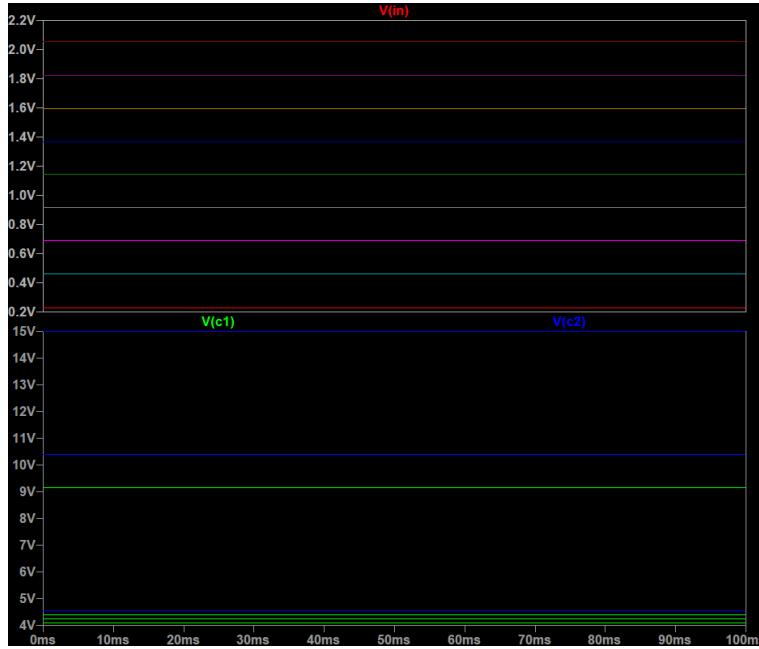


Σχήμα 1.1: Κύκλωμα Διαφορικού Ενισχυτή

Οι τάσεις εισόδου (in) και εξόδου (c1, c2) φαίνονται στα διαγράμματα του σχήματος 1.2.

Για την ανάλυση DC sweep αντικαταστάθηκε ο ροοστάτης με μια πηγή τάσης, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.3.

Οι τάσεις εισόδου και εξόδου που προκύπτουν φαίνονται στα διαγράμματα του σχήματος 1.4.



Σχήμα 1.2: Είσοδος και Έξοδος Ενισχυτή με Χρονική Ανάλυση

### 1.1.2 Θεωρητική Ανάλυση

Όσων αφορά την θεωρητική ανάλυση, υιοθετούμε τις κλασικές παραδοχές  $\beta = 100$  και  $V_{BE} = 0.5 \text{ V}$  για τα τρανζίστορ. Τότε βλέπουμε ότι για  $V_{in} = 0$  είναι  $V_{B1} = 0$  άρα το  $Q_1$  είναι σε αποκοπή και ισχύει  $V_{C1} = 15 \text{ V}$ . Η  $V_{B2}$  υπολογίζεται από τον διαιρέτη τάσης:

$$V_{B2} = V_2 \frac{1k \Omega}{10k \Omega + 1k \Omega} = 1.363 \text{ V}$$

Συνεπώς, για το ρεύμα  $I_{C2}$  έχουμε:

$$I_{C2} = \beta I_{B2} = \beta \frac{V_{B2} - V_{BE} - V_1}{(\beta + 1)R_5} = 1.047 \text{ mA}$$

Άρα έχουμε:

$$I_{E2} = \frac{\beta + 1}{\beta} I_{C2} = 1.057 \text{ mA}, \quad V_{C2} = V_2 - I_{E2}R_7 = 4.53 \text{ V}$$

Συνεπώς η τάση στην έξοδο είναι:

$$V_{out} = V_{C1} - V_{C2} = 10.47 \text{ V}$$

Έχουμε επίσης:

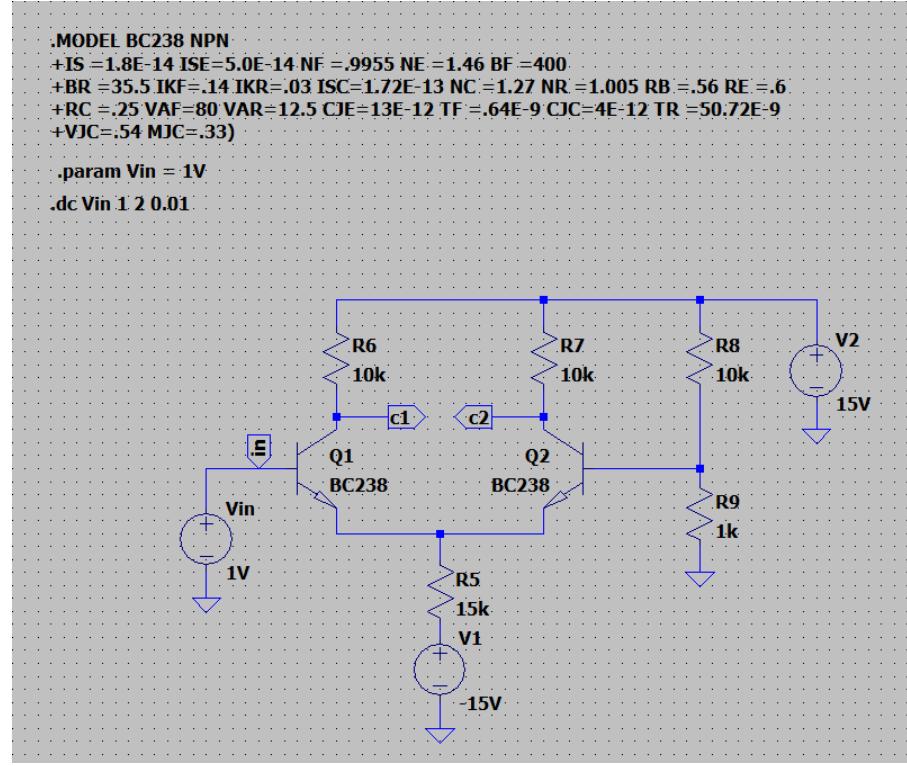
$$V_A = V_1 + I_{E2}R_5 = 0.855 \text{ V}$$

άρα η ελάχιστη τάση εισόδου  $V_{in}$  για την οποία το  $Q_1$  βγαίνει από την αποκοπή είναι:

$$V_{in,\min} = V_A + V_{BE} = 1.355 \text{ V}$$

Όταν  $V_{in} - V_{B2} = 1.363 \text{ V}$  θα έχουμε ίσα ρεύματα στους συλλέκτες:

$$I_{C1} = I_{C2} = \beta I_B = 0.523 \text{ mA}$$



Σχήμα 1.3: Κύκλωμα Διαφορικού Ενισχυτή για DC Sweep

Τότε έχουμε:

$$V_{C1} = V_{C2} = V_2 - I_{C1,C2} R_{6,7} = 9.77 \text{ V}, \quad V_{out} = V_{C1} - V_{C2} = 0$$

Για την μεταβολή της τάσης στον συλλέκτη του  $Q_1$  έχουμε:

$$V_{C1} = \frac{\beta R_{C1}}{2(r_{bb'} + r_{b'e})} (V_{in2} - V_{in1}) = -52.05 \Delta V_{in} \Rightarrow \Delta V_{in} = \frac{5.23}{52.05} = 1.005 \text{ V}$$

Συνεπώς, όταν η  $V_{in}$  αυξάνεται κατά  $0.1004 \text{ V}$ , η τάση στην συλλέκτη του  $Q_2$  ανεβαίνει κατά  $5.23 \text{ V}$  ενώ στον συλλέκτη του  $Q_1$  κατεβαίνει κατά  $5.23 \text{ V}$ .

Για  $V_{in} = V_{in,\max} = 2.7 \text{ V}$  έχουμε:

$$I_{C1} = \frac{\beta(V_{in,\max} - V_{BE} - V_1)}{(\beta + 1)R_5} = 1.134 \text{ mA}$$

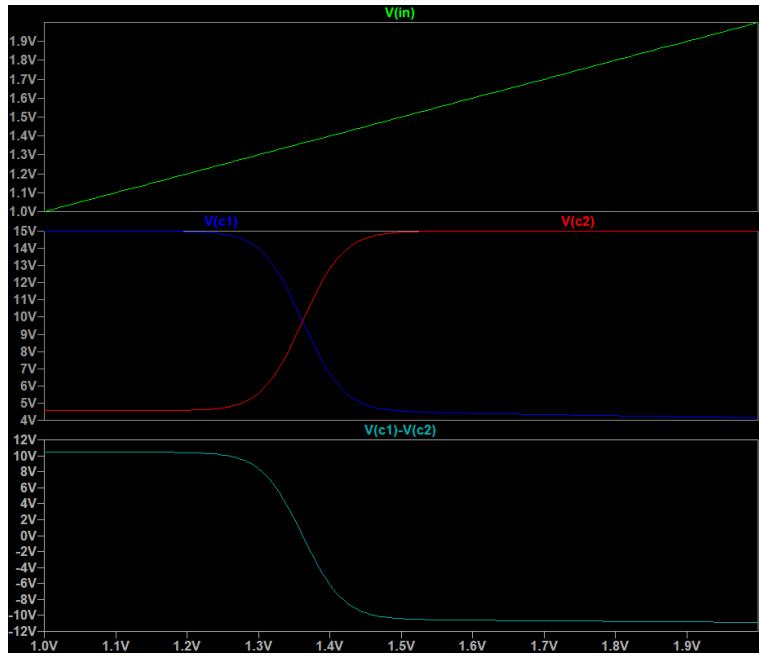
άρα τότε:

$$V_{C1} = V_2 - I_{C1} R_6 = 3.66 \text{ V}$$

Συνοψίζοντας, τα θεωρητικά αποτελέσματα για την σχέση των τιμών εισόδου και εξόδου φαίνονται στον πίνακα:

$V_{in}$	$V_{C1}$	$V_{C2}$	$V_{out}$
$0 \text{ V} - 1.355 \text{ V}$	$15 \text{ V}$	$4.54 \text{ V}$	$10.46 \text{ V}$
$1.363 \text{ v}$	$9.77 \text{ V}$	$9.57 \text{ V}$	$0 \text{ V}$
$1.463 \text{ V}$	$4.54 \text{ V}$	$15 \text{ V}$	$-10.46 \text{ V}$
$2.7 \text{ V}$	$3.66 \text{ V}$	$15 \text{ V}$	$-11.34 \text{ V}$

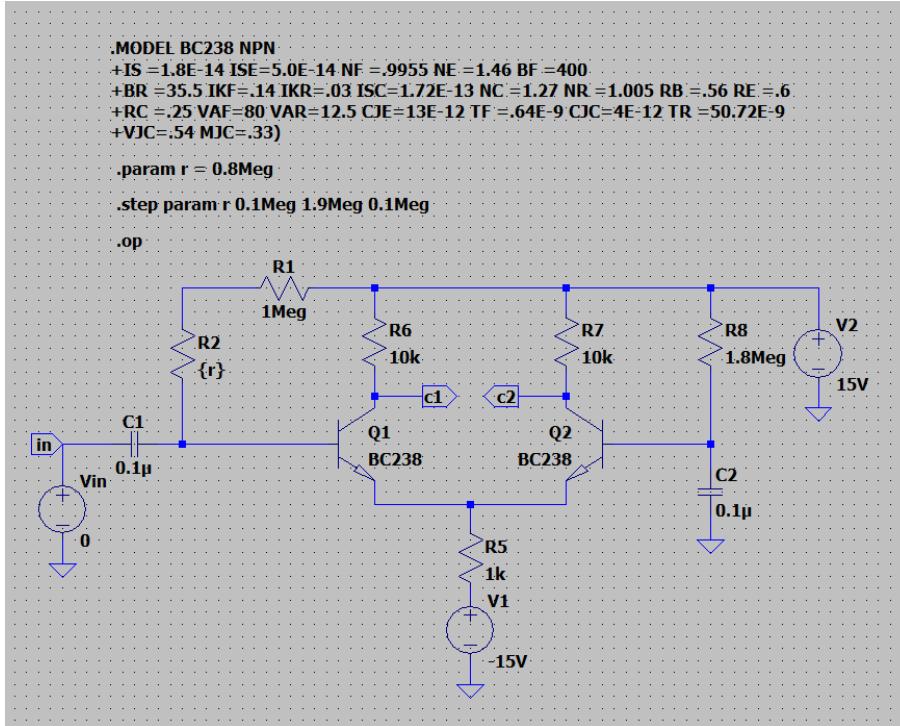
Τα παραπάνω αποτελέσματα είναι πολύ κοντινά και με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων και με τις τιμές που μετρήθηκαν στο εργαστήριο.



Σχήμα 1.4: Είσοδος και Έξοδος Ενισχυτή με DC Sweep

## 1.2 Βήμα 8

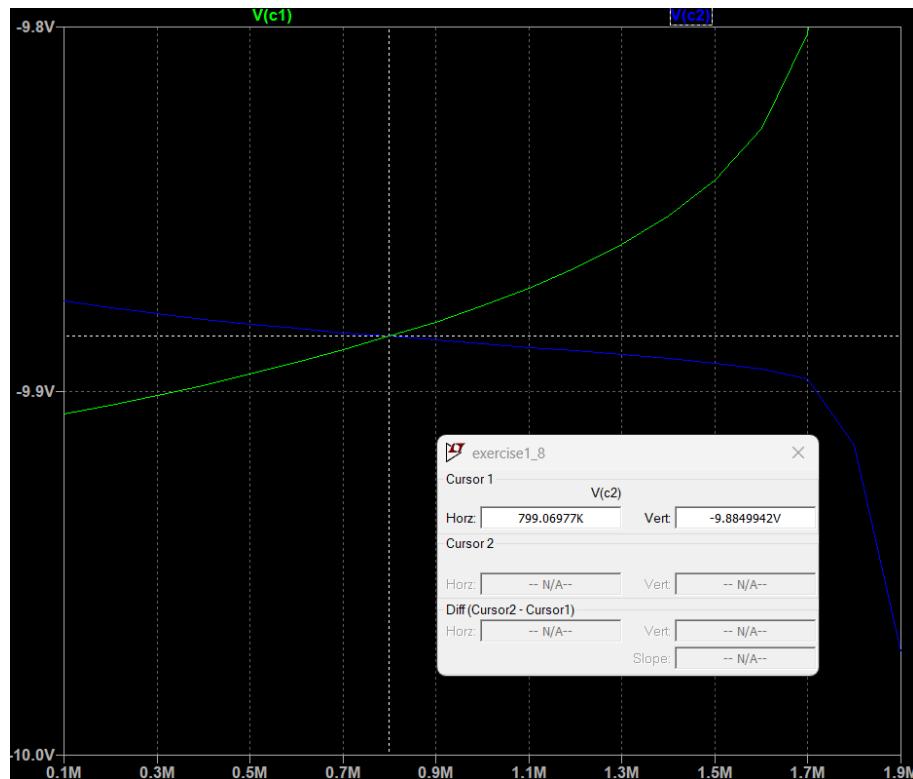
Υλοποιήθηκε το κύκλωμα 1-8 του φυλλαδίου, χωρίς την πηγή τάσης, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.5.



Σχήμα 1.5: Κύκλωμα 1-8

Με παραμετρική ανάλυση στην παράμετρο  $r$  της αντίστασης  $R_2$  βρέθηκε ότι η τάση στους

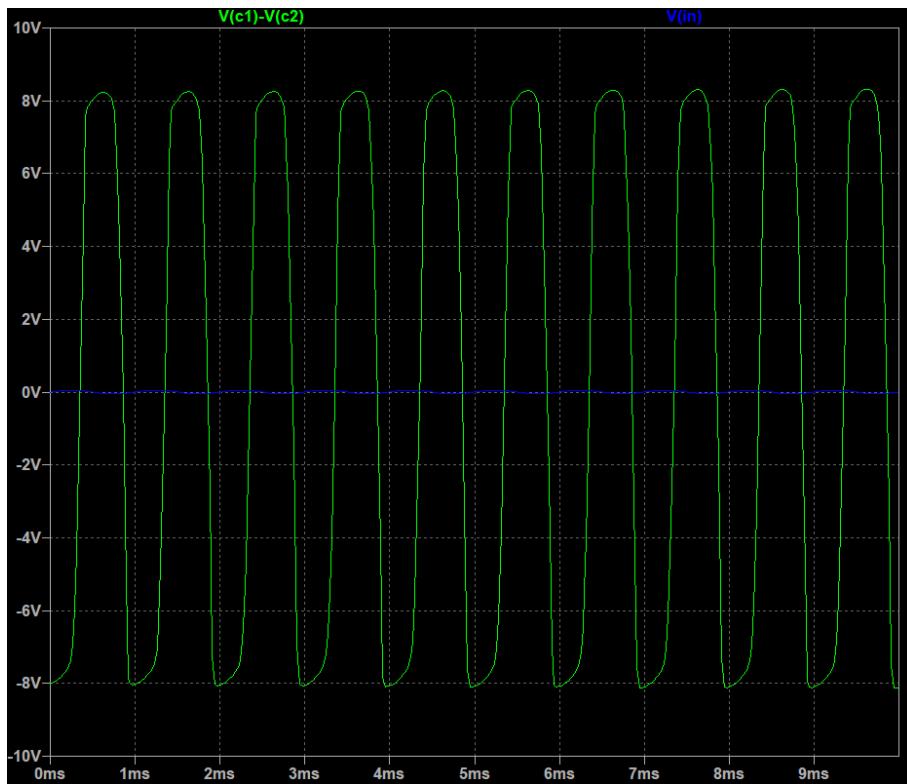
συλλέκτες των τρανζίστορ γίνονται ίσες για  $r = 0.8 M\Omega$ , όπως φαίνεται στο σχήμα 1.6.



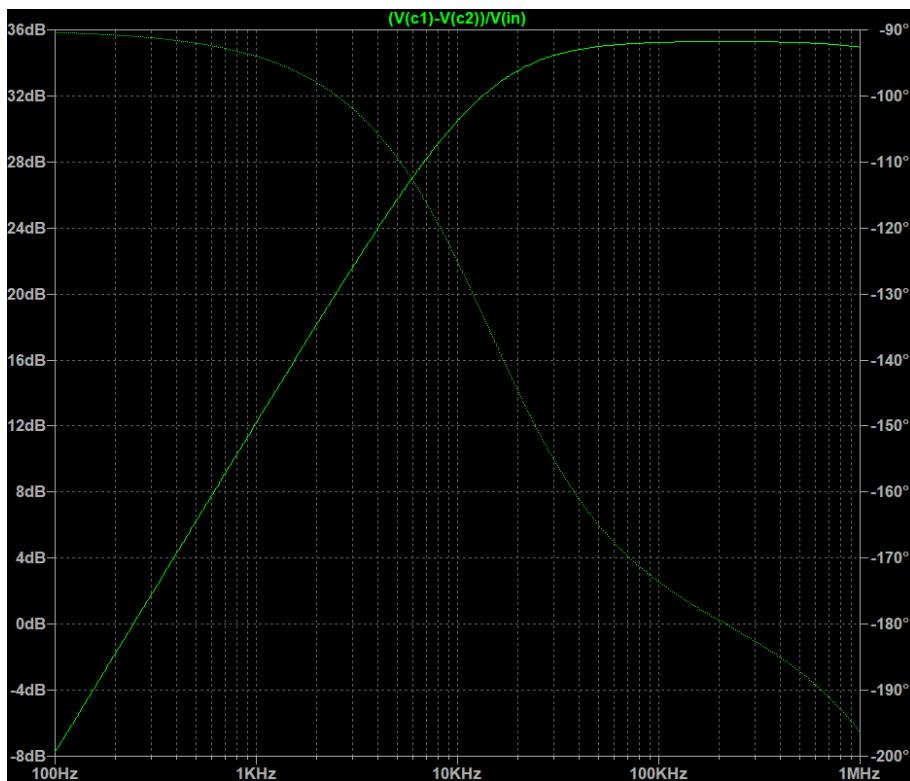
Σχήμα 1.6: Ισοστάθμιση Τάσεων Συλλεκτών

Με αυτήν την τιμή της παραμέτρου  $r$  και με AC πηγή τάσης εισόδου πλάτους  $0.1 V$  peak to peak, οι τάσεις εισόδου και εξόδου φαίνονται στο σχήμα 1.7.

Με AC ανάλυση για την πηγή  $V_{in}$  στο εύρος συχνοτήτων  $100 Hz - 1 MHz$  η ενίσχυση του σήματος εισόδου φαίνεται στο σχήμα 1.8.



Σχήμα 1.7: Τάσεις Εισόδου και Εξόδου



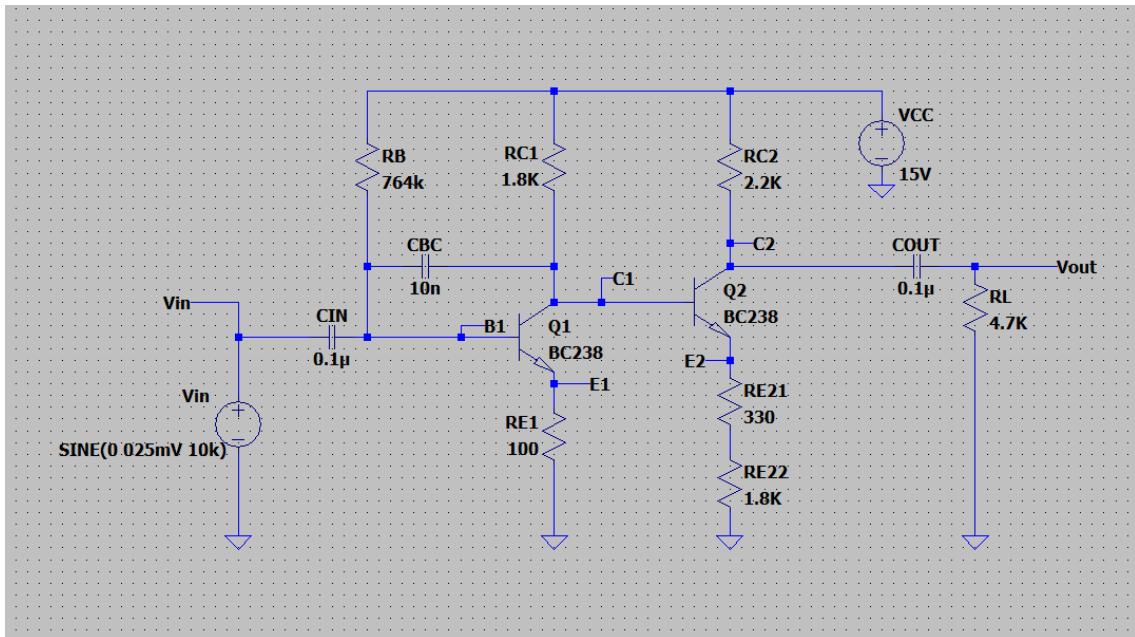
Σχήμα 1.8: Ενίσχυση στις Συχνότητες  $100 \text{ Hz} - 1 \text{ MHz}$

## Κεφάλαιο 2

# Εργαστηριακή Άσκηση 3

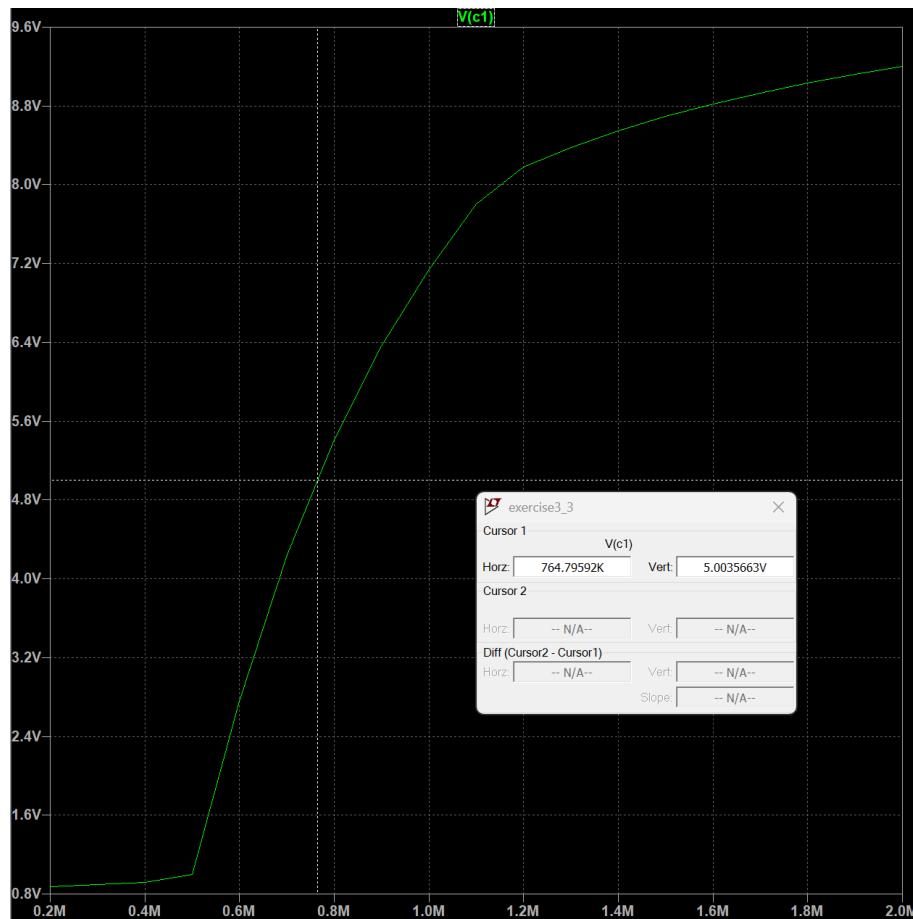
### 2.1 Βήμα 10

Τηλοποιήθηκε το κύκλωμα 3-3 του φυλλαδίου όπως φαίνεται στην εικόνα 2.1.



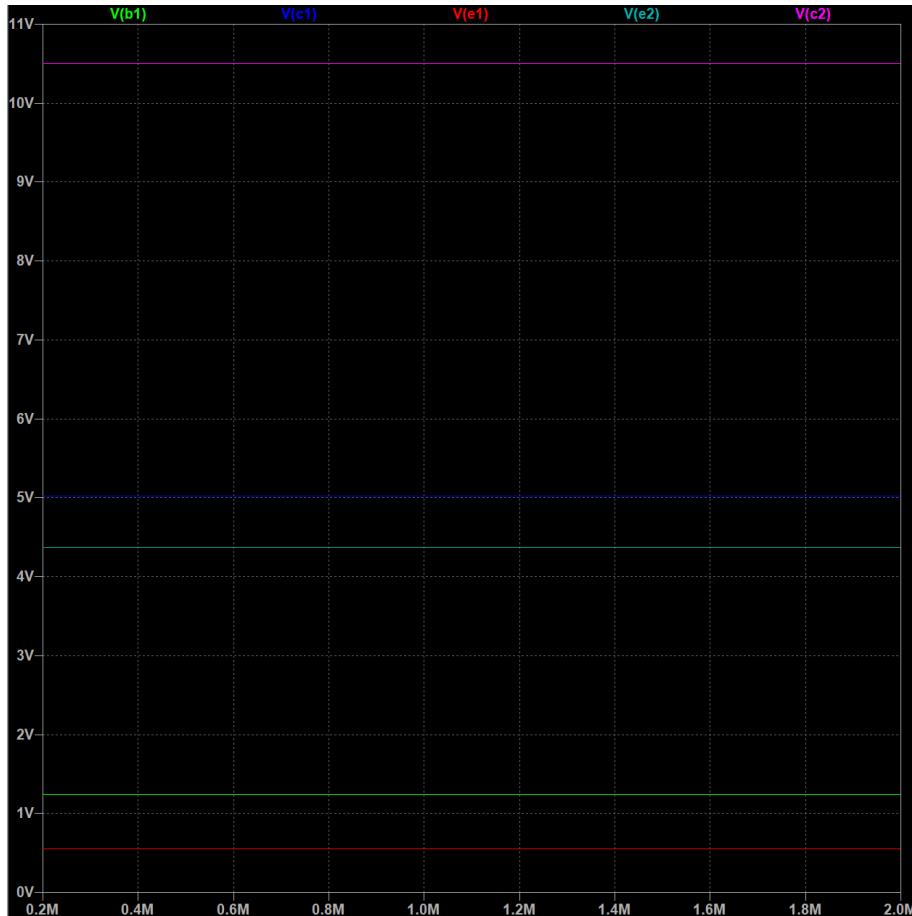
Σχήμα 2.1: Κύκλωμα 3-3

Η τιμή της αντίστασης  $R_B$  επιλέχθηκε με παραμετρική ανάλυση, ώστε η τάση στον συλλέκτη του  $Q_1$  να είναι ίση με 5 V, όπως φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 2.2.



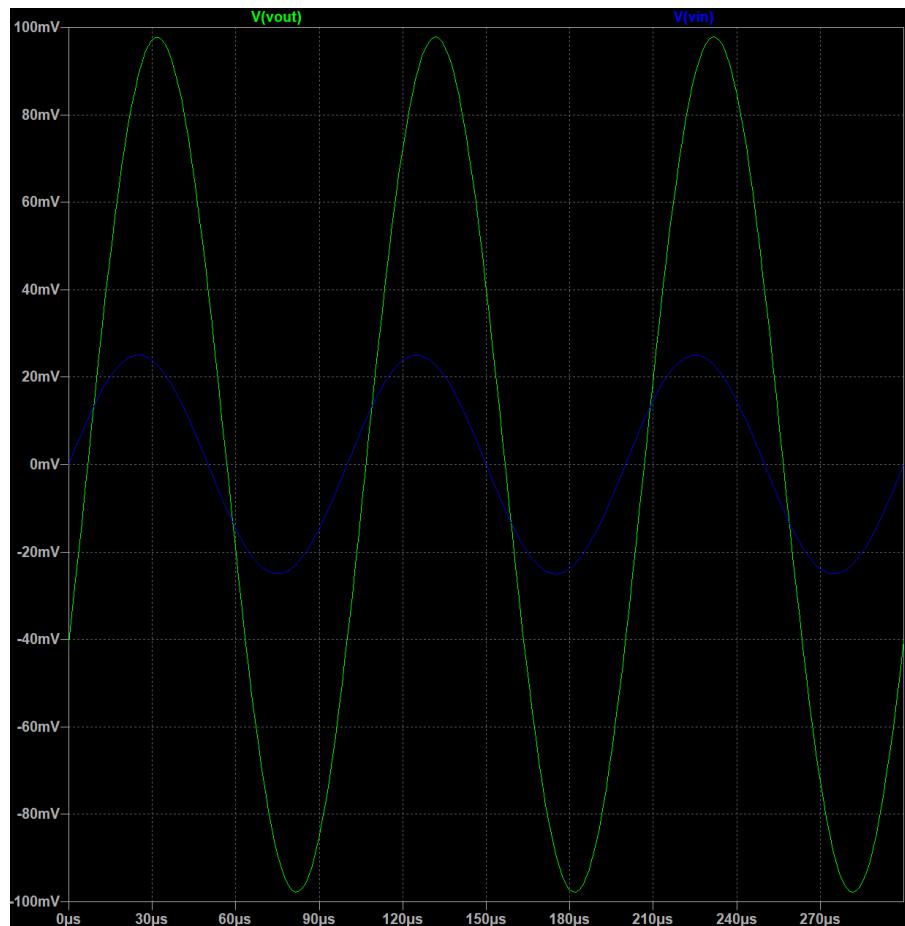
Σχήμα 2.2: Πύθμιση της αντίστασης  $R_B$

Οι τάσεις στους ακροδέκτες των δύο τρανζίστορ φαίνονται στο σχήμα 2.3.



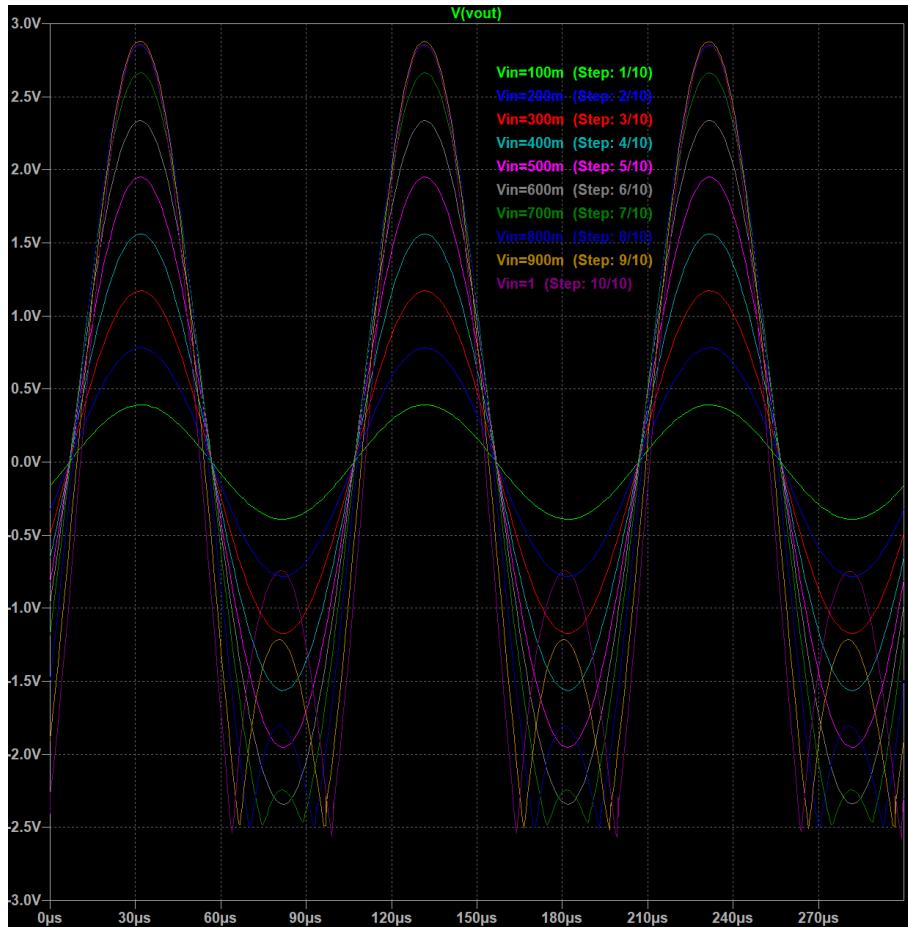
Σχήμα 2.3: Τάσεις στους ακροδέκτες των τρανζίστορ

Βάλαμε σήμα  $50 \text{ mV}$  peak to peak και συχνότητας  $10 \text{ kHz}$  στην είσοδο του κυκλώματος. Η είσοδος και η έξοδος φαίνονται στο διάγραμμα του σχήματος 2.4. Η ενίσχυση που παρατηρείται είναι ίση με 3.92.



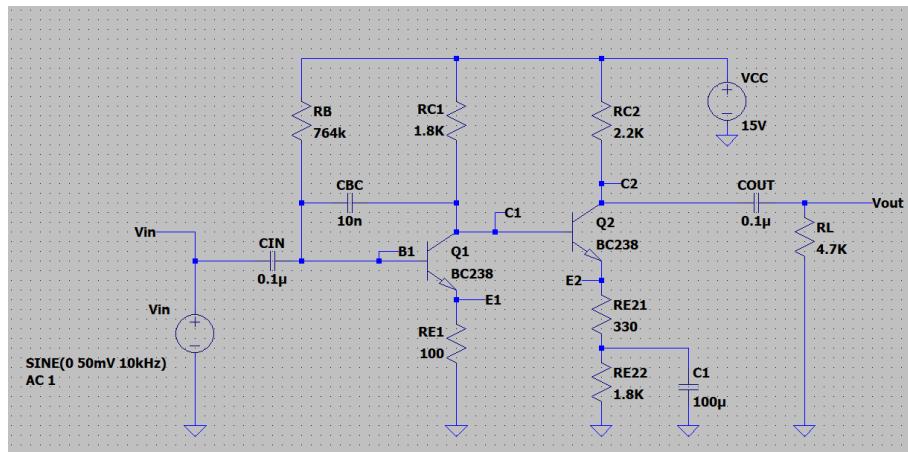
Σχήμα 2.4: Είσοδος και Έξοδος (χωρίς πυκνωτή  $C_{E2}$ )

Μεταβλήθηκε το πλάτος του σήματος εισόδου μέχρι η έξοδος να αρχίσει να παραμορφώνεται, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.11. Το μέγιστο πλάτος εισόδου για το οποίο δεν υπάρχει παραμόρφωση στην έξοδο είναι 600 mV (ή 1.2 V peak to peak).



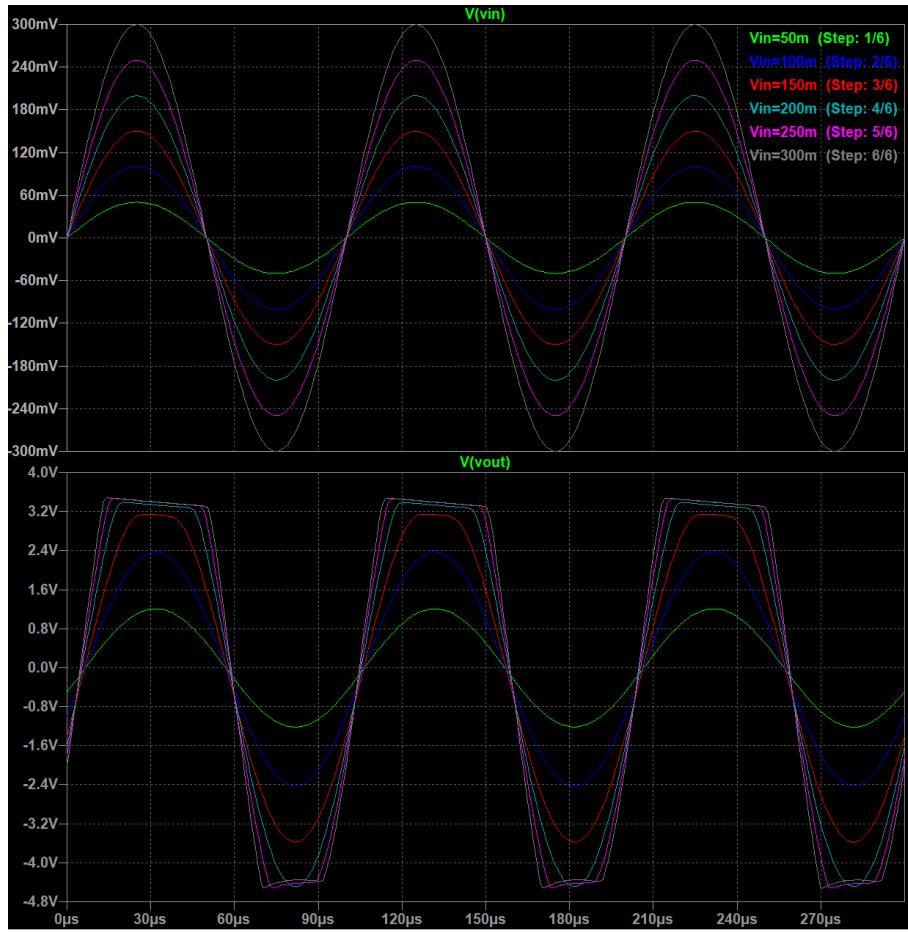
Σχήμα 2.5: Μεταβολή του πλάτους εισόδου (χωρίς πυκνωτή  $C_{E2}$ )

Συνδέθηκε ο πυκνωτής  $C_{E2}$ , όπως φαίνεται στο σχήμα 2.6.



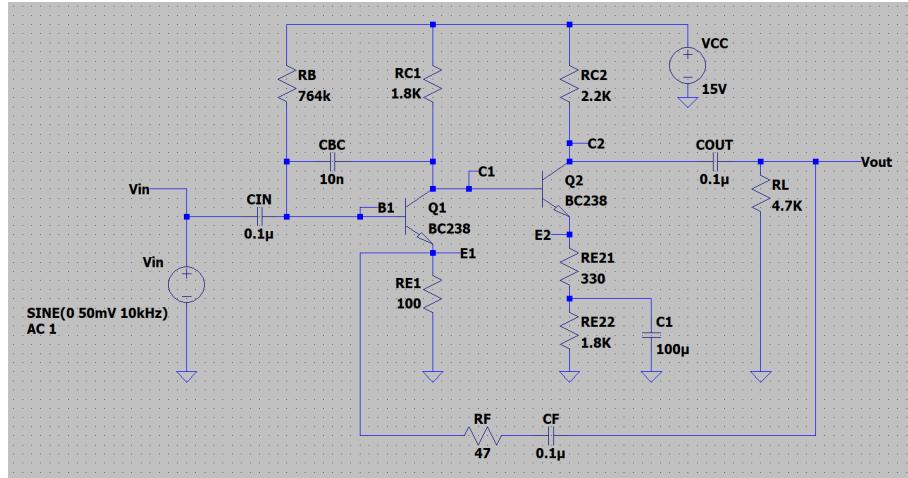
Σχήμα 2.6: Κύκλωμα 3-3 με πυκνωτή  $C_{E2}$

Μεταβλήθηκε και πάλι το πλάτος εισόδου μέχρι να παρατηρηθεί παραμόρφωση στην έξοδο, η οποία ξεκίνησε για πλάτος εισόδου ίσο με 150 mV (ή 300 mV peak to peak), όπως φαίνεται στο σχήμα 2.7.



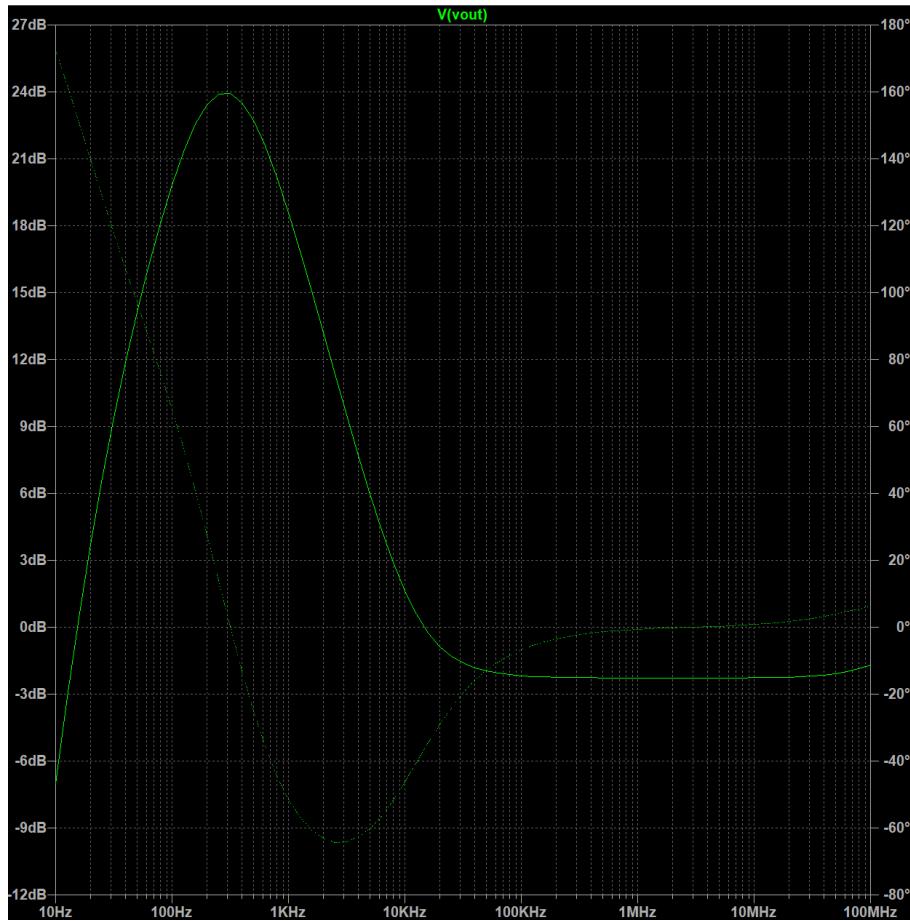
Σχήμα 2.7: Μεταβολή του πλάτους εισόδου (με πυκνωτή  $C_{E2}$ )

Προσθέτοντας τον κλάδο ανάδρασης  $R_F-C_F$  έχουμε το σχήμα 2.8.



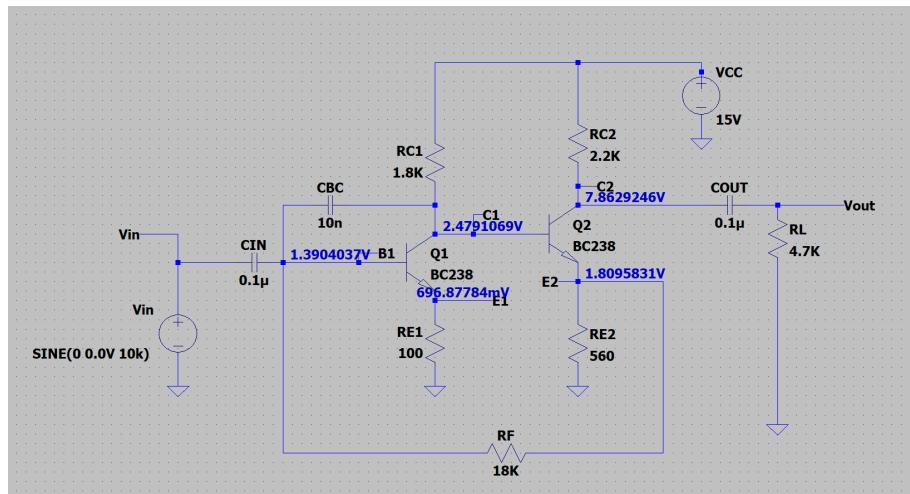
Σχήμα 2.8: Κύκλωμα 3-3 με ανάδραση

Παρατηρούμε την εξής γραφική παράσταση 2.9.



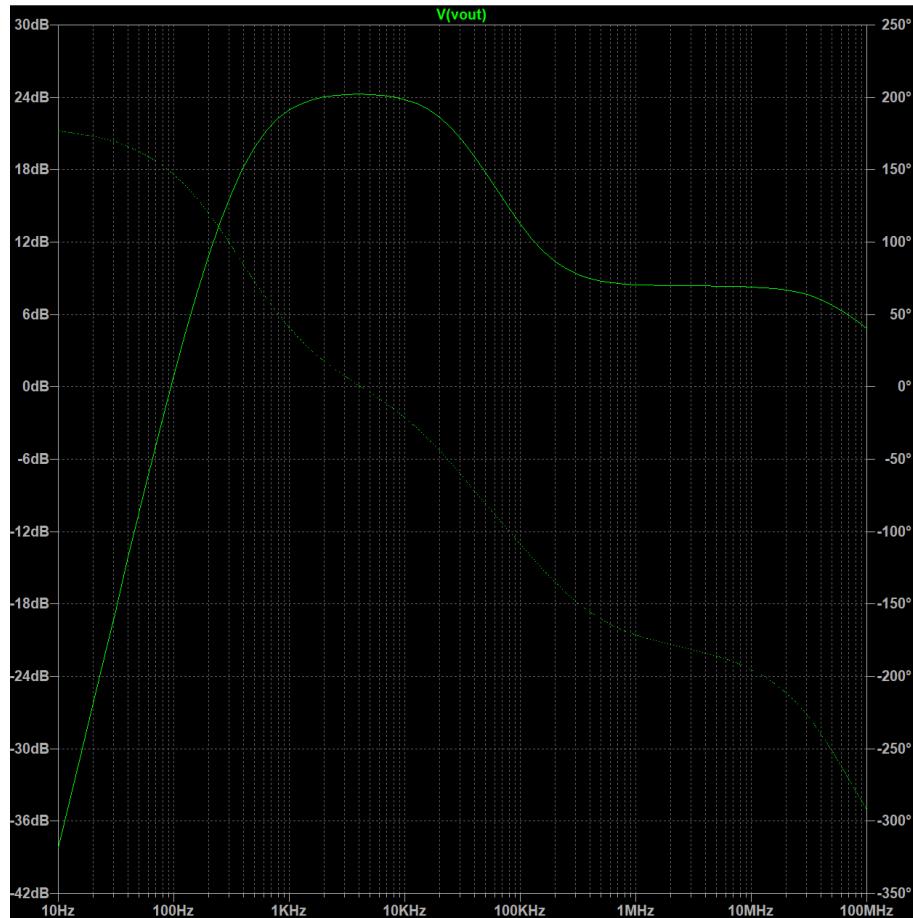
Σχήμα 2.9: AC sweep για την έξοδο του κυκλώματος 3-3 με ανάδραση

Ακολουθεί το κύκλωμα 3-4 του φυλλαδίου του εργαστηρίου όπου οι καινούριες τιμές τάσης των δύο τρανζίστορ είναι ως εξής:



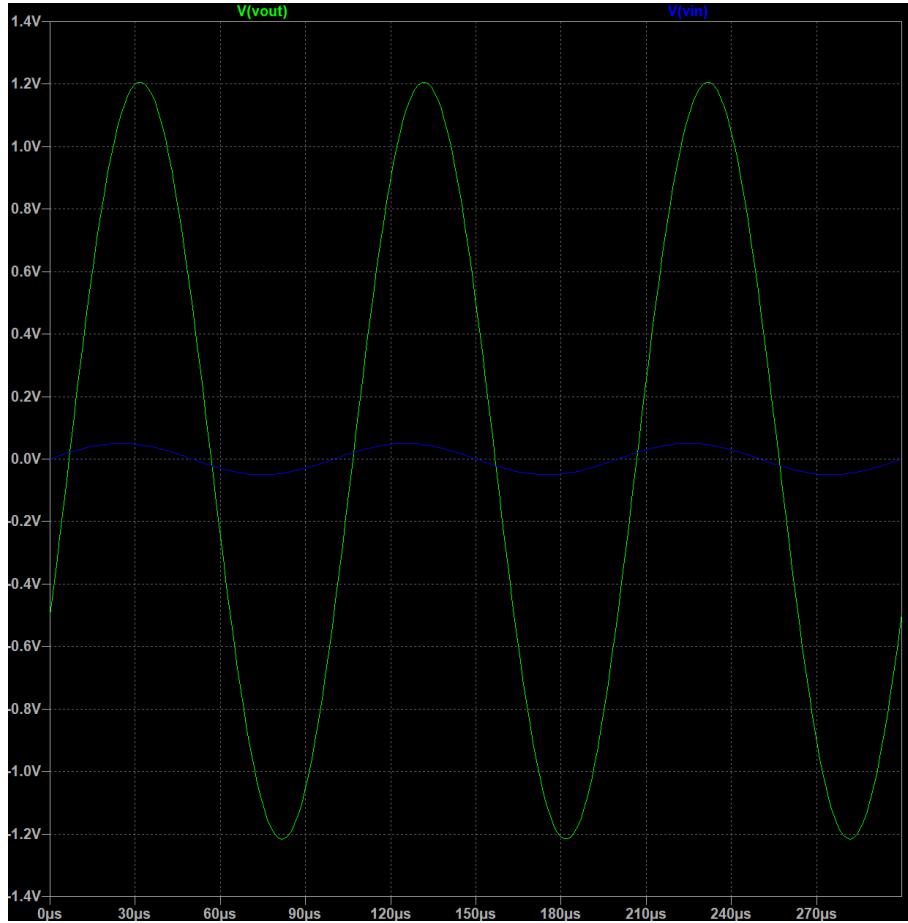
Σχήμα 2.10: Κύκλωμα 3-4

Μετά από AC ανάλυση προκύπτει η παρακάτω γραφική παράσταση:



Σχήμα 2.11: AC sweep στην έξοδο του κυκλώματος 3-4

Η χρονική ανάλυση του κυκλώματος έχει ως εξής:



Σχήμα 2.12: Χρονική ανάλυση του κυκλώματος 3-4

## 2.2 Βήμα 11

Για την θεωρητική ανάλυση των κυκλωμάτων θεωρούμε τις τιμές:

$$V_{BE} = 0.672 \text{ V}, \quad \beta = 333$$

οι οποίες μετρήθηκαν στο εργαστήριο. Ισχύουν οι σχέσεις:

$$I_{C1} = \frac{V_{CC} - V_{C1}}{R_{C1}} = 5.55 \text{ mA}$$

$$I_{E1} = \frac{\beta + 1}{\beta} I_C = 5.56 \text{ mA}$$

$$V_{E1} = R_{E1} I_{E1} = 0.556 \text{ V}$$

$$V_{B1} = V_{E1} + V_{BE} = 1.228 \text{ V}$$

$$I_{B1} = \frac{I_{C1}}{\beta} = 0.017 \text{ mA}$$

άρα για την  $R_B$  έχουμε:

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{B1}}{I_{B1}} = 810.11 \text{ kA}$$

Στο τρανζίστορ  $Q_1$  ισχύει:

$$V_{C1} = 5 \text{ V}$$

$$V_{B1} = 1.228 \text{ V}$$

$$V_{E1} = 0.556 \text{ V}$$

$$I_{C1} = 5.55 \text{ mA}$$

$$I_{B1} = 0.017 \text{ mA}$$

Στο τρανζίστορ  $Q_2$  ισχύει:

$$V_{B2} = V_{C1} = 5 \text{ V}$$

$$V_{E2} = V_{B2} - V_{BE} = 4.32 \text{ V}$$

$$I_{E2} = \frac{V_{E2}}{R_{E21} + R_{E22}} = 2.028 \text{ mA}$$

$$I_{C2} = \frac{\beta}{\beta + 1} I_{E2} = 2.022 \text{ mA}$$

$$I_{B2} = \frac{I_{C2}}{\beta} = 0.006 \text{ mA}$$

Για τον ενισχυτή έχουμε:

$$g_{m1} = \frac{I_{C1}}{V_T} = 0.213 \text{ A/V}$$

$$g_{m2} = \frac{I_{C2}}{V_T} = 0.077 \text{ A/V}$$

$$r_{b'e1} = \frac{\beta}{g_{m1}} = 1563 \Omega$$

$$r_{b'e2} = \frac{\beta}{g_{m2}} = 4324 \Omega$$

Συνεπώς για τις δύο βαθμίδες ενίσχυσης ισχύει:

$$A_1 = -\frac{R'_{C1}}{R'_{E1}} = -\frac{1.8 \text{ k}\Omega \parallel (r_{b'e2} + (\beta + 1)(R_{E21} + R_{E22}))}{100 \Omega \parallel (47 \Omega + 2200 \Omega \parallel 4700 \Omega)} = -19.11$$

$$A_2 = -\frac{\beta R'_{C2}}{R'_{E2}} = -\frac{333(220\Omega \parallel 100\Omega + 47\Omega \parallel 4700\Omega)}{1800\Omega \parallel (r_{b'e2} + (\beta + 1)2130\Omega)} = -21.33$$

Για την συνολική ενίσχυση με ανάδραση έχουμε:

$$F = \frac{R_{E1}}{R_{E1} + R_F} = 0.68$$

$$A_F = \frac{A_1 A_2}{1 + A_1 A_2 F} = 1.465$$

## 2.3 Βήμα 12

Στα σχήματα 2.13 και 2.14 φαίνονται οι μετρήσεις του εργαστηριακού πειράματος για την άσκηση 3.

**Βήμα 1:**

$$\beta_1 = 270.5 \quad \beta_2 = 395.5 \quad \text{Μέσος όρος } \beta = 333$$

Ρύθμιση  $R_B$  για  $V_{C1} = 5\text{ V}$

$$V_{B1} = 1.2 \quad \text{V} \quad V_{C1} = V_{B2} = 0.598 \quad \text{V} \quad V_{E1} = 0.56 \quad \text{V}$$

$$V_{C2} = 10.6 \quad \text{V} \quad V_{E2} = 4.5 \quad \text{V}$$

$$R_B = 1250 \quad \text{k}\Omega$$

**Βήμα 2:**

$$V_{in} = 50\text{ mV}, f=10\text{ kHz}$$

$$V_{out} = 150 \text{ }\mu\text{V pp}$$

$$\text{Ενίσχυση} = 3$$

**Βήμα 3:**

Χωρίς τον πυκνωτή  $C_{E2}$ ,  $f=10\text{ kHz}$

$$V_{in\ MAX} = 1.25 \quad \text{V pp} \quad V_{out\ MAX} = 4.5 \quad \text{V pp}$$

**Βήμα 4:**

Με τον πυκνωτή  $C_{E2}=100\mu\text{f}$ ,  $f=10\text{ kHz}$

$$V_{in\ MAX} = 300 \text{ }\mu\text{V pp} \quad V_{out\ MAX} = 4.5 \text{ V pp}$$

Σχήμα 2.13: Μετρήσεις Εργαστηριακής Άσκησης 3 (πρώτη σελίδα)

$V_B=100 \text{ mV pp}, C_{E2}=100\mu\text{F}$ 

$\Sigma \chi v. V_{in}$ Hz	$\chi \omega r i s \text{ Ανάδραση} \text{ (Βήμα 6)}$	$Mε \text{ ανάδραση} \text{ (Βήμα 7)}$
	$V_{out} \text{ (Volts pp)}$	$C_F=0.1\mu\text{F}, R_F = 47 \Omega$ $V_{out} \text{ (Volts pp)}$
100	1	1
500	2.8	1.25
1kHz	2.7	0.75
5kHz	2.3	0.2
10kHz	2.2	0.12
50KHz	1.1	0.08
100kHz	0.8	0.075
500kHz	0.4	0.07
1MHz	0.3	0.07

**Βήμα 8:**

$$V_{B1} = 2.39 \text{ V} \quad V_{C1} = V_{B2} = 0.71 \text{ V} \quad V_{E1} = 1.38 \text{ V} \quad V_{C2} = 0.35 \text{ V} \quad V_{E2} = 1.74 \text{ V}$$

**Βήμα 9:**

$$f=10\text{kHz}, V_{in} = 100 \text{ mV}$$

$$R_{in} = \quad R_{out} =$$

$$V_{out} = \quad \text{V pp}$$

$$\text{Ενίσχυση} =$$

$\Sigma \chi v. V_{in}$ Hz	$V_{out}$ Volts pp
100	0.09
500	1.9
1kHz	1.4
5kHz	1.5
10kHz	1.25
50KHz	0.8
100kHz	0.5
500kHz	0.21
1MHz	0.18

Σχήμα 2.14: Μετρήσεις Εργαστηριακής Άσκησης 3 (δεύτερη σελίδα)

## Κεφάλαιο 3

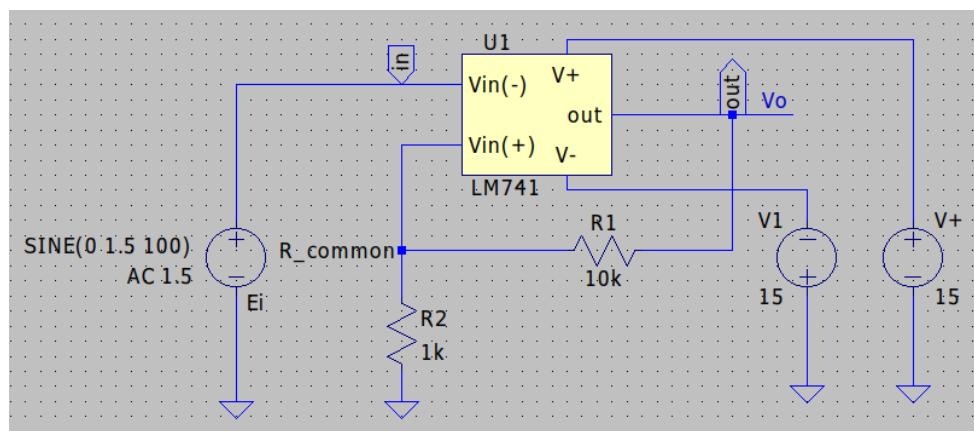
# Εργαστηριακή Άσκηση 4

### 3.1 Βήμα 7

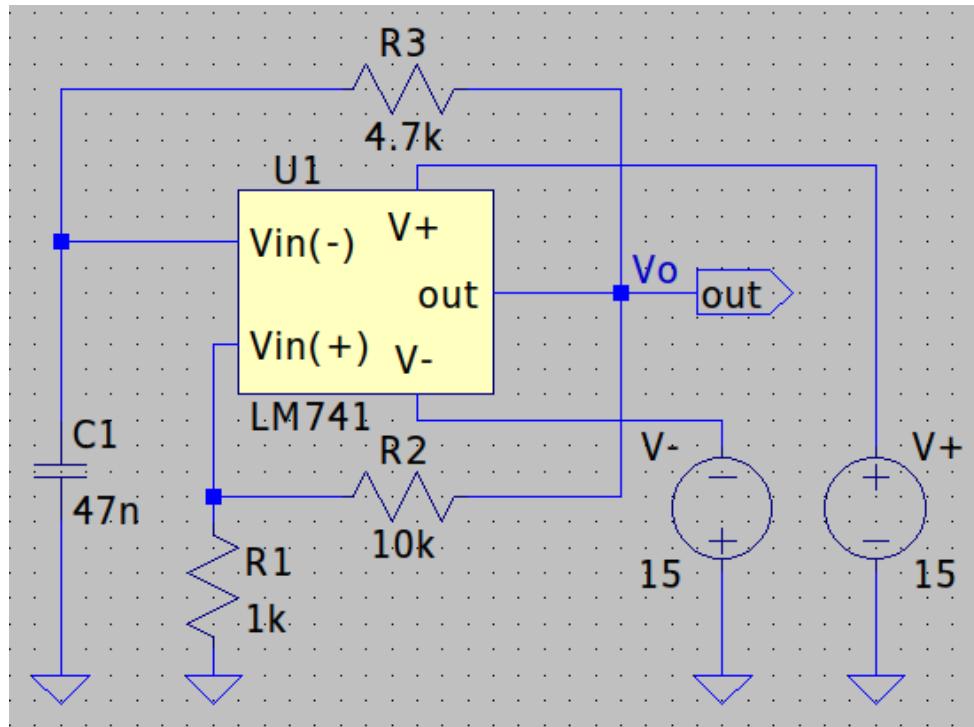
Η τέταρτη εργαστηριακή άσκηση εξετάζει τρεις διαφορετικές εφαρμογές του τελεστικού ενισχυτή.

1. Κύκλωμα Συγχριτή Schmitt Trigger
2. Κύκλωμα Γεννήτριας Παλμών
3. Κύκλωμα Ανιχνευτή Διέλευσης από Μηδενική Τάση

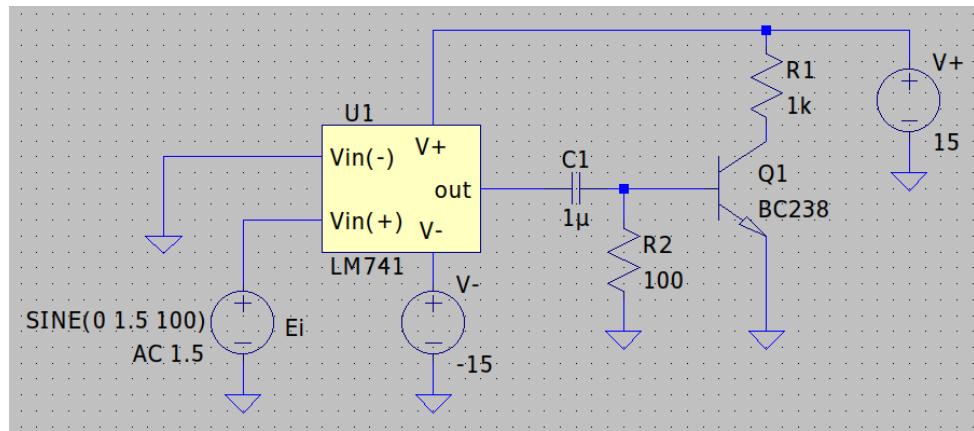
Ακολουθούν τα σχετικά σχήματα 3.1 3.2 3.3.



Σχήμα 3.1: Κύκλωμα Συγχριτή Schmitt Trigger



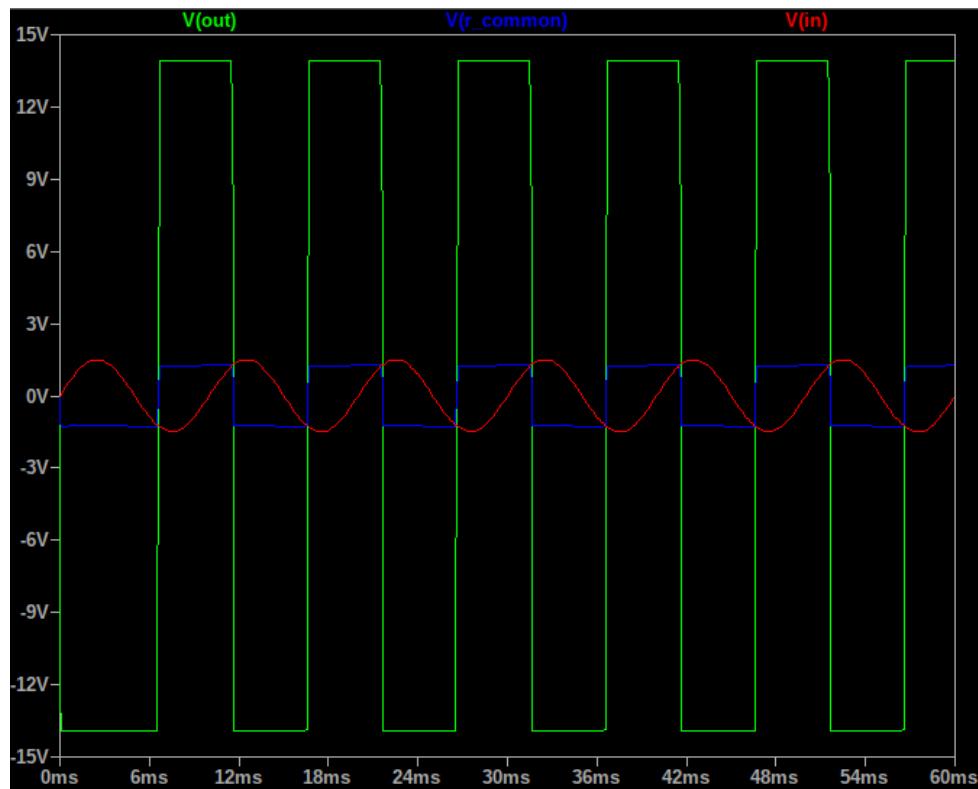
Σχήμα 3.2: Κύκλωμα Γεννήτριας Παλμών



Σχήμα 3.3: Κύκλωμα Ανιχνευτή Διέλευσης από Μηδενική Τάση

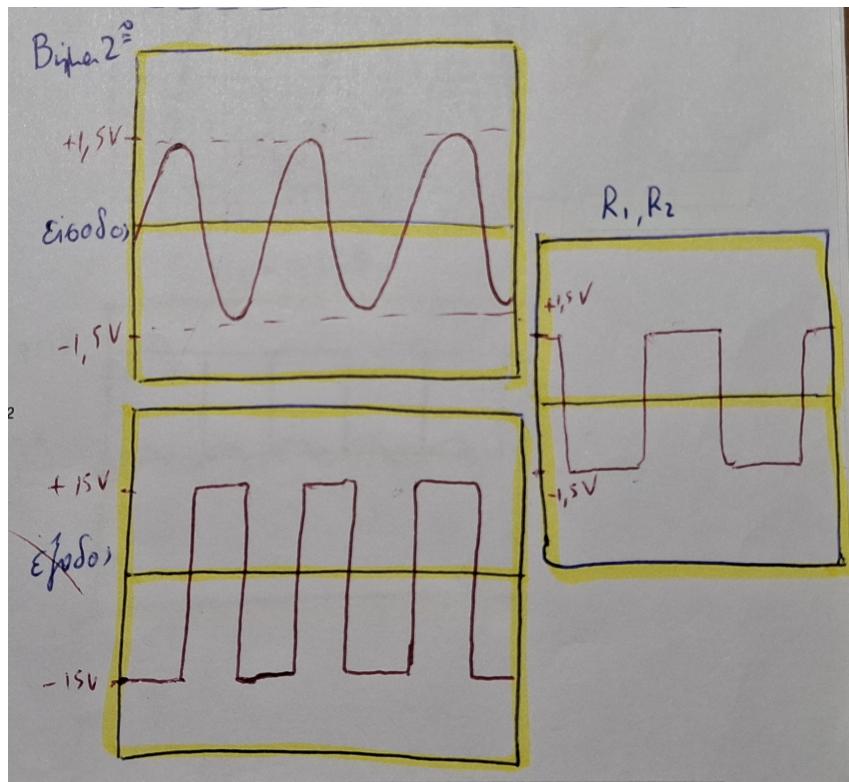
### 3.2 Βήμα 8

Ξεκινώντας από το κύκλωμα Schmitt Trigger, παρατηρούμε ότι η τάση στο κοινό σημείο των αντιστάσεων  $R_1$  και  $R_2$  είναι λίγο μικρότερη από το σήμα εισόδου και η έξοδος κυμαίνεται κοντά στα  $14V$  3.4.



Σχήμα 3.4: Είσοδος - Έξοδος Schmitt Trigger

Τα ευρήματά μας συνάδουν με τα εργαστηριακά μας αποτελέσματα 3.5.



Σχήμα 3.5: Είσοδος - Έξοδος Schmitt Trigger Εργαστήριο

Αναλυτικότερα βλέπουμε ότι  $V_o = V_{sat} = 14V$ :

$$V_{UT} = +14V \frac{R2}{R1 + R2}, \quad V_{LT} = -14V \frac{R2}{R1 + R2}$$

Αντικαθιστώντας με τις τιμές του κυκλώματος μας έχουμε:

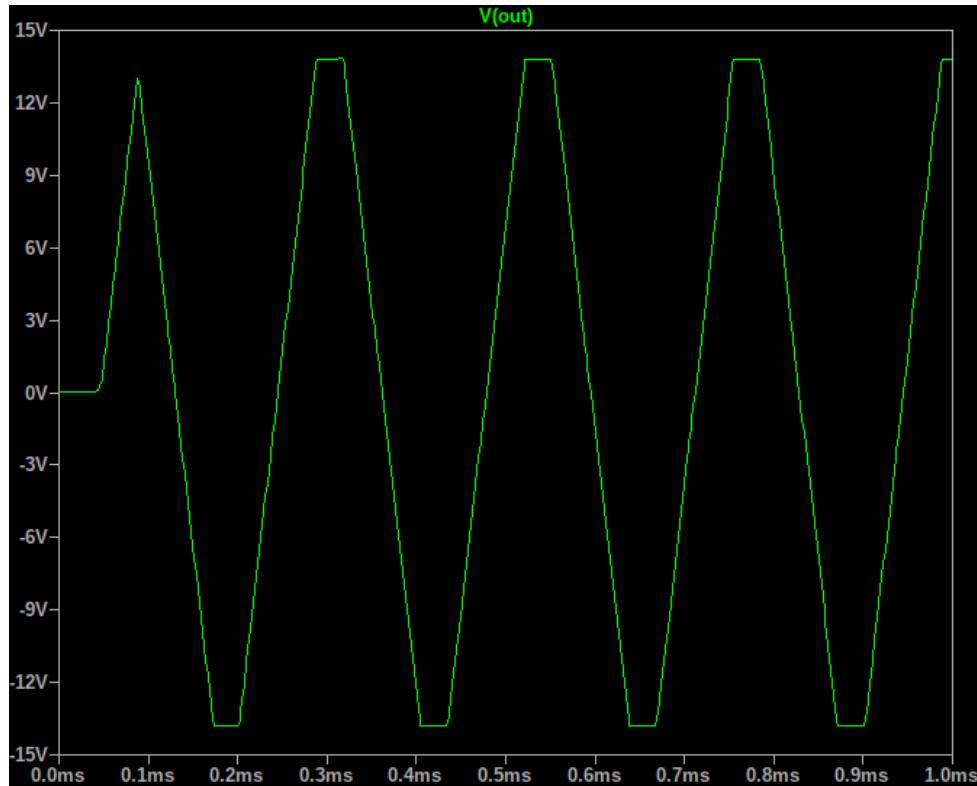
- $V_{UT} = +1.2727$
- $V_{LT} = -1.2727$

Η χρησιμότητά του έγκειται στην προστασία που παρέχει από τον θόρυβο χάρη στην παρουσία υστέρησης  $V_{UT} - V_{LT}$ .

Στη συνέχεια, το κύκλωμα Γεννήτριας Παλμών παράγει ορθογώνιους παλμούς όπου όταν η έξοδος του τελεστικού ενισχυτή ισούται με  $+V_{sat}$  η τιμή στην οποία φορτίζεται ο πυκνωτής είναι:

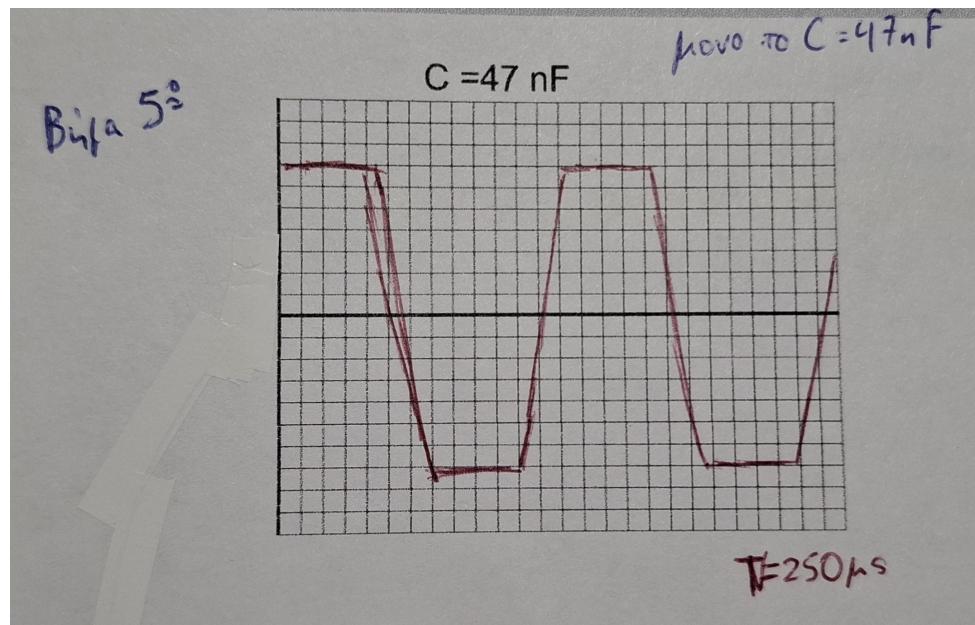
$$V_F = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (+V_{sat})$$

Όταν, όμως, η τάση του πυκνωτή φτάσει  $-V_{sat}$ , εκφορτίζεται λειτουργώντας ως πηγή για τον τελεστικό ενισχυτή 3.6.



Σχήμα 3.6: Έξοδος Γεννήτριας Παλμών

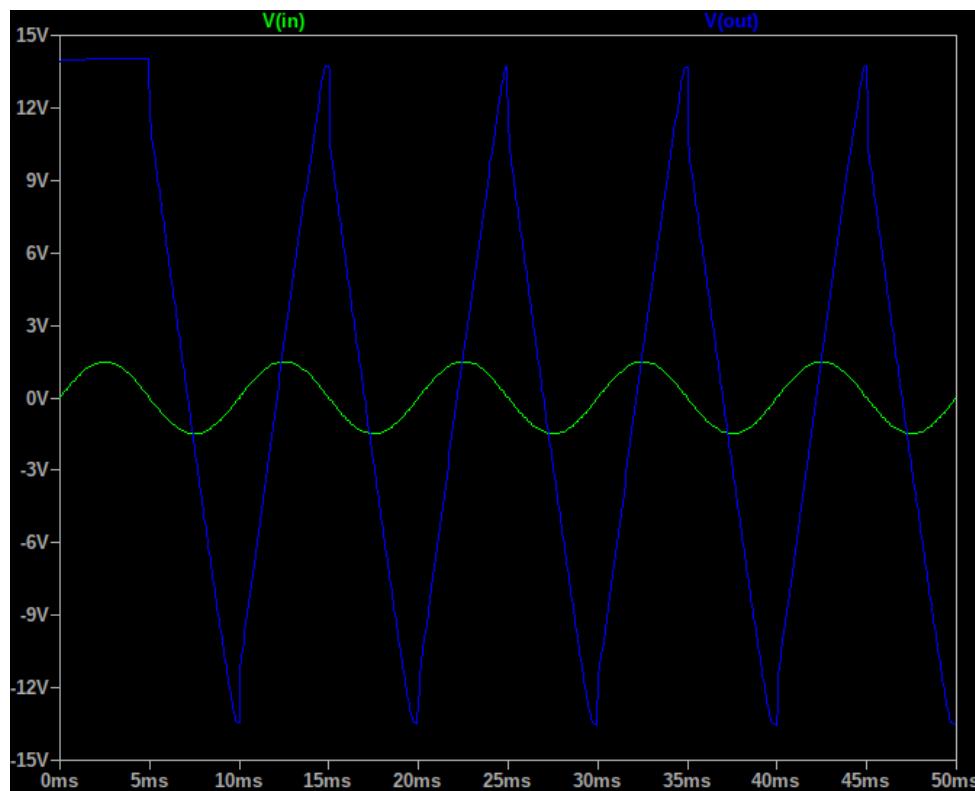
Στο εργαστήριο τα αποτελέσματά μας ήταν πανομοιότυπα 3.7.



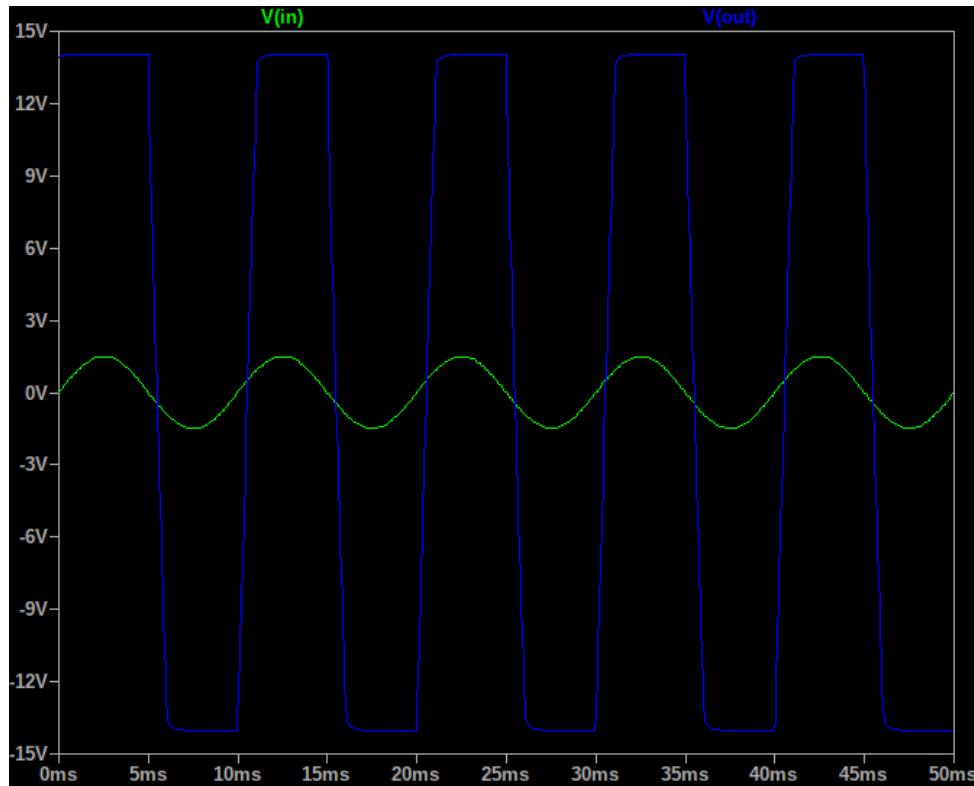
Σχήμα 3.7: Έξοδος Γεννήτριας Παλμών Εργαστήριο

Το παραπάνω κύκλωμα χρησιμοποιείται για την παραγωγή σταθερού παλμού ο οποίος εξαρτάται από την σταθερά χρόνου  $RC$ .

Τέλος, το κύκλωμα Ανιχνευτή Διέλευσης από Μηδενική Τάση παρουσιάζει κορυφή στα  $+V_{sat} \approx +14 V$  όταν η τάση εισόδου είναι θετική. Άλλιως, όταν η τάση εισόδου είναι αρνητική, η τάση εξόδου οδηγείται στα  $-V_{sat} \approx -14 V$  3.8.

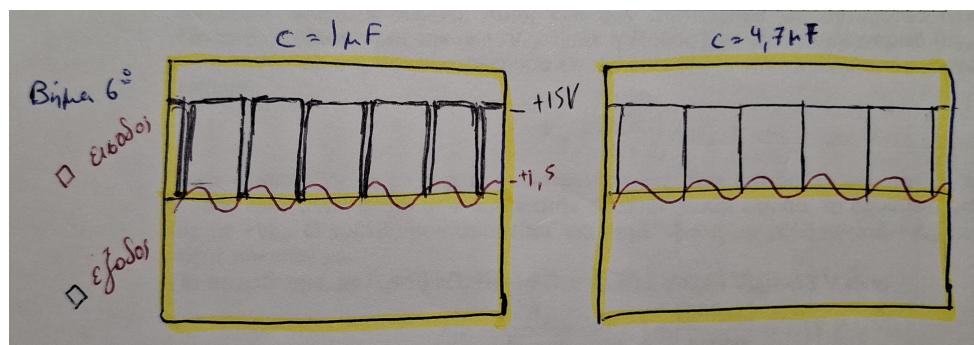
Σχήμα 3.8: Είσοδος - Έξοδος Ανιχνευτή Διέλευσης από Μηδενική Τάση με  $C=4.7\mu F$

Για μικρότερη τιμή πυκνωτή διαχρίνουμε πιο απότομη μετάβαση του τετραγωνικού παλμού και θιστώντας εμφανές το άνω και κάτω πλάτωμα του σήματος εξόδου 3.9.



Σχήμα 3.9: Είσοδος - Έξοδος Ανιχνευτή Διέλευσης από Μηδενική Τάση με  $C=1\mu F$

Εδώ τα αποτελέσματα του εργαστηρίου 3.10 διαφέρουν λίγο από αυτά του SPICE. Τα πειραματικά γραφήματα αδυνατούν να αποτυπώσουν το τριγωνικό σήμα ενώ το τετραγωνικό μένει την περισσότερη ώρα στο πάνω πλάτωμα επιστρέφοντας στιγμιαία στο μηδέν.



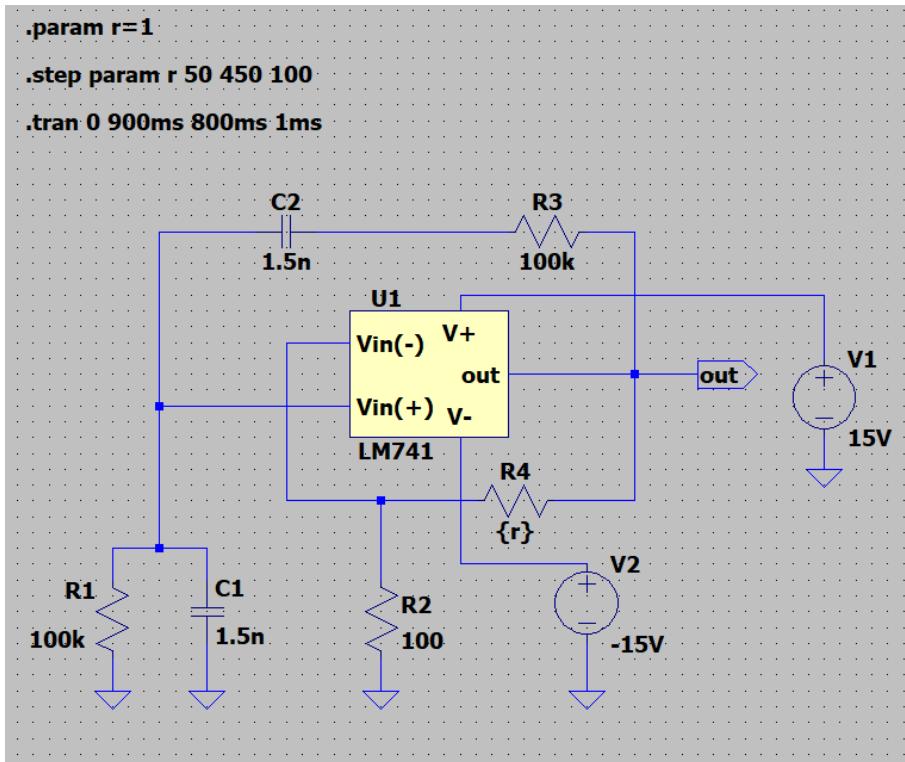
Σχήμα 3.10: Είσοδος - Έξοδος Ανιχνευτή Διέλευσης από Μηδενική Τάση Εργαστήριο

## Κεφάλαιο 4

# Εργαστηριακή Άσκηση 5

### 4.1 Βήμα 13

Τλοποιήθηκε το κύκλωμα του σχήματος 5-4 του φυλλαδίου, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.1.

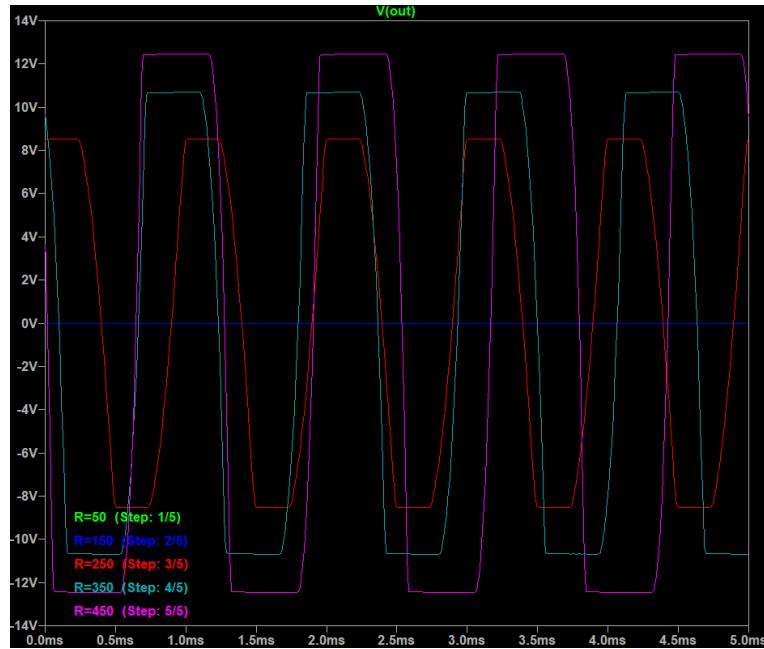


Σχήμα 4.1: Κύκλωμα Ταλαντωτή

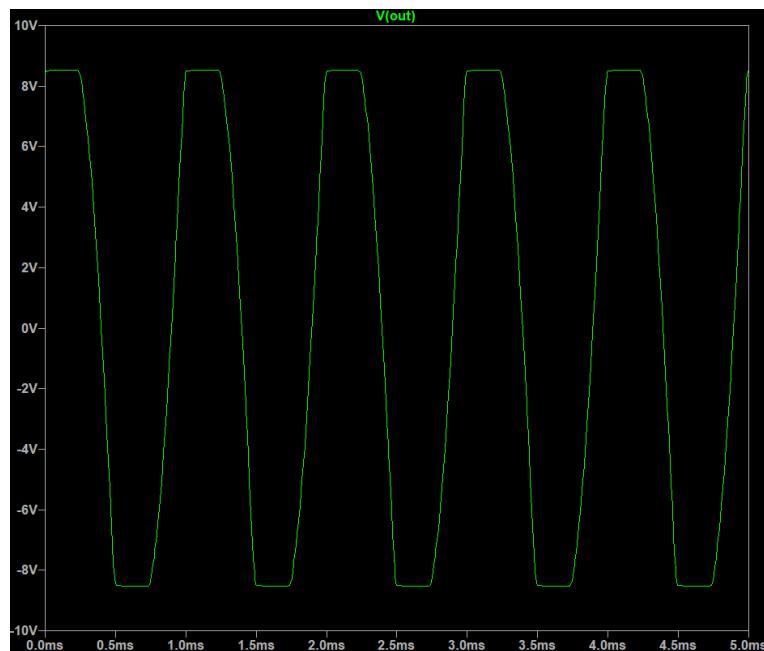
Η τάση στον κόμβο εξόδου (out) του τελεστικού ενισχυτή για της διάφορες τιμές της παραμέτρου  $r$  της μεταβλητής αντίστασης  $R_4$  φαίνεται στη σχήμα 4.2. Παρατηρούμε ότι η μέγιστη τιμή της αντίστασης για την οποία έχουμε ταλαντώσεις σταθερού πλάτους είναι, όπως και στο εργαστηριακό πείραμα, η  $r = 250 \Omega$ .

Σταθεροποιώντας την παράμετρο  $r$  στα  $250 \Omega$  παίρνουμε την κυματομορφή του σχήματος 4.3 στην έξοδο του ταλαντωτή.

Παρατηρούμε ότι η περίοδος της ταλάντωσης είναι  $T = 1 \text{ ms}$  και η αντίστοιχα η συχνότητα

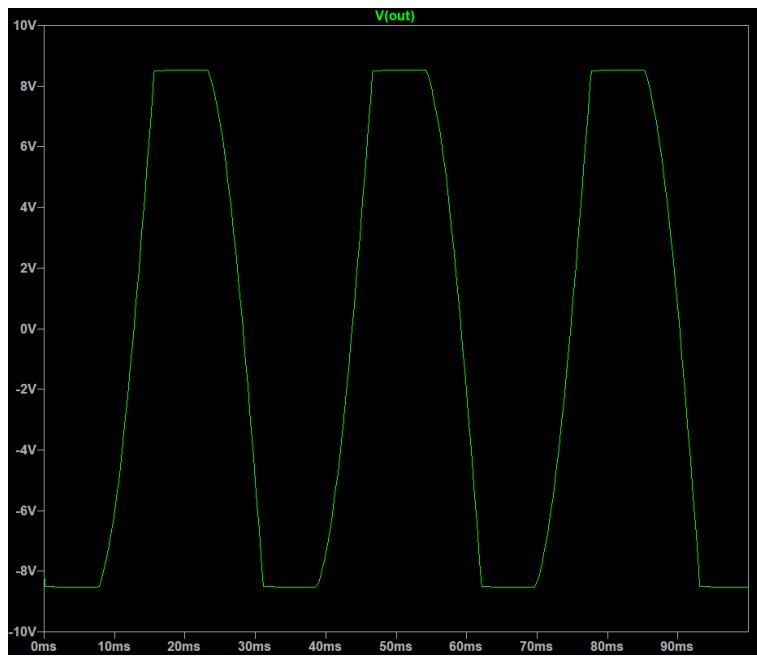


Σχήμα 4.2: Έξοδος Ταλαντωτή για Διάφερες Τιμές της Παραμέτρου  $r$



Σχήμα 4.3: Έξοδος Ταλαντωτή με Σταθερό  $r$  για  $C = 1.5 \text{ nF}$

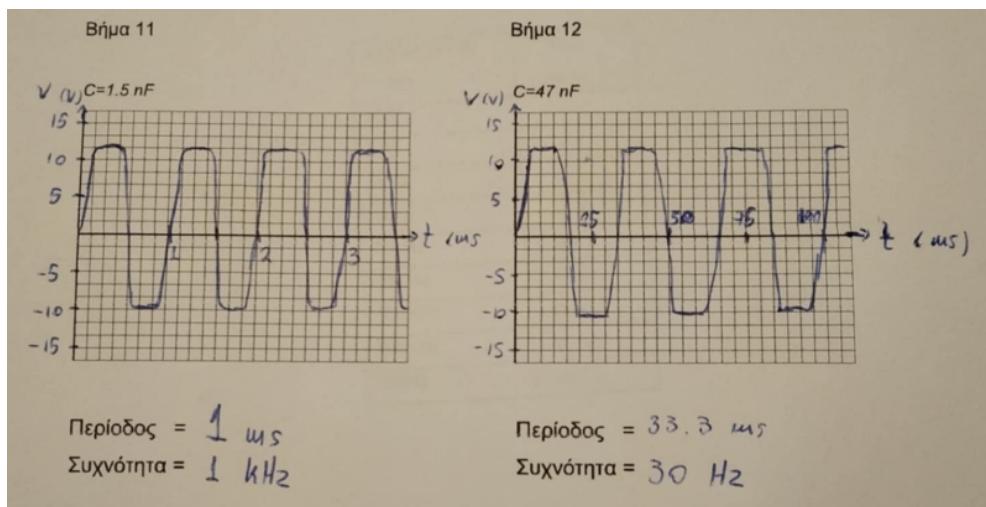
είναι  $f = 1 \text{ kHz}$ , δεδομένα που συμφωνούν ακριβώς με τις αντίστοιχες τιμές που μετρήθηκαν στο εργαστηριακό πείραμα. Αλλάζοντας τις τιμές των πυκνωτών  $C_1$  και  $C_2$  σε  $47 \text{ nF}$  παίρνουμε στην έξοδο του ταλαντωτή την κυματομορφή του σχήματος 4.4, για το χρονικό διάστημα  $800 \text{ ms} - 900 \text{ ms}$ .



Σχήμα 4.4: Έξοδος Ταλαντωτή με Σταθερό  $r$  για  $C = 47 \text{ nF}$

Με την αλλαγή των πυκνωτών, η καινούρια περίοδος είναι  $T = 31.03 \text{ ms}$  και η καινούρια συχνότητα είναι  $f = 32.2 \text{ Hz}$ . Οι αντίστοιχες τιμές μετρήθηκαν στο εργαστήριο είναι  $T = 33.3 \text{ ms}$  και  $f = 30 \text{ Hz}$ .

Τα γραφήματα που σχεδιάστηκαν στο εργαστηριακό πείραμα, τα οποία είναι πολύ παρόμοια με αυτά που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις, φαίνονται στην εικόνα 4.5.



Σχήμα 4.5: Μετρήσεις Εργαστηριακής Άσκησης 5