

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ**

Περίληπτικές σημειώσεις

**ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ ΙΣΧΥΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2002**





## Μελέτη και κατασκευή ενισχυτή ακουστικών συχνοτήτων.

Σ' αυτή την εργαστηριακή άσκηση μελετάται ένας απλός ενισχυτής ακουστικών συχνοτήτων, χαμηλής ισχύος (~10W) που υλοποιείται με bipolar τρανζίστορς.

### Ποιοτική Ανάλυση του Ενισχυτή Ισχύος.

Το κύκλωμα αποτελείται από τέσσερις βασικές μονάδες:

**Πηγή σταθερού ρεύματος.** Η πηγή αποτελείται από το τρανζίστορ Qb, τις διόδους D1 και D2, την αντίσταση R13 και το trimmer R1. Η αντίσταση R13 πολώνει ορθά τις διόδους D1 και D2 με ρεύμα περίπου 1mA. Έτσι η τάση στην βάση του Qb είναι σταθερή (~1.7V) αφού κάθε μία από τις διόδους έχει τάση αγωγής ~0.85V. Συνεπώς το ρεύμα συλλέκτη του Qb είναι σταθερό και μπορεί να ρυθμιστεί από το trimmer R1. Ρυθμίζοντας το trimmer στα 45Ω, έχουμε ρεύμα συλλέκτη στο Qb περίπου 20mA. Ας σημειωθεί ότι το ρεύμα του Qb 'καθρεφτίζεται' μέσω του Qm στα Qc και Q1b.

**Διαφορικός ενισχυτής.** Ο διαφορικός ενισχυτής αποτελείται από το διαφορικό ζεύγος Qd1, Qd2, την πηγή σταθερού ρεύματος Qc και την αντίσταση φορτίου που υλοποιείται από το Q1 και την αντίσταση R15. Το διαφορικό ζεύγος πολώνεται με το μισό του ρεύματος συλλέκτη του Qc (δηλαδή 10mA) δίνοντας μία διαγωγιμότητα  $gm \sim 0.4S$ . Ας σημειωθεί ότι το ρεύμα συλλέκτη του Qd1 'καθρεφτίζεται' μέσα από την αντίσταση φορτίου Q1 στο Q1m και συνεπώς το ρεύμα που ρέει από το Q1 ισούται με το ρεύμα που ρέει από το Q1m. Οι αντιστάσεις R15 και R16 έχουν σαν στόχο να μειώσουν την ασυμμετρία που μπορεί να έχουν τα δύο τρανζίστορς.

**Ενισχυτής τάσης.** Ο ενισχυτής τάσης υλοποιείται από τα τρανζίστορς Q1m και Q1b παρέχοντας ένα πολύ μεγάλο κέρδος τάσης μεταξύ εισόδου και εξόδου. Το κέρδος εξαρτάται από την διαγωγιμότητα του τρανζίστορ Q1m (που είναι ίδια με αυτή του Q1 και συνεπώς ίδια με αυτή του διαφορικού ενισχυτή) και την αντίσταση που 'βλέπει' το Q1m στον συλλέκτη. Με δεδομένο ότι οι αντιστάσεις Rο των Q1m και Q1b είναι πολύ μεγάλες, η επικρατούσα αντίσταση είναι η αντίσταση εξόδου του ενισχυτή πολλαπλασιασμένη επί το κέρδος ρεύματος των darlington τρανζίστορς.

**Πολλαπλασιαστής  $V_{BE}$ .** Ο πολλαπλασιαστής  $V_{BE}$  υλοποιείται από το τρανζίστορ Qn και τις αντιστάσεις R8 και R9 (στην πλακέτα οι δύο αυτές αντιστάσεις έχουν αντικατασταθεί από το trimmer R9). Ρυθμίζοντας τις τιμές των αντιστάσεων R8 και R9 μπορούμε να ρυθμίσουμε την τάση που αναπτύσσεται στα TP4 και TP5 έτσι ώστε να πολώσουμε το Push Pull ζεύγος στην μόλις στην ενεργό περιοχή. Η τάση του πολλαπλασιαστή ισούται περίπου με  $V_{BE} \cdot (R8+R9)/R9$ . Συνηθίζεται, το τρανζίστορ Qn να βρίσκεται σε θερμική επαφή με τα τρανζίστορς εξόδου έτσι ώστε η αλλαγή της θερμοκρασίας των τρανζίστορς εξόδου να επηρεάζει την τάση  $V_{BE}$  του Qn και το ρεύμα πόλωσης της βαθμίδας εξόδου να σταθεροποιείται.

**Βαθμίδα Εξόδου.** Η βαθμίδα εξόδου είναι σε συνδεσμολογία Push-Pull. Τα τρανζίστορς Qo1, Qo3 και Qo2, Qo4 υλοποιούν δύο darlington τρανζίστορς NPN και PNP αντίστοιχα με κέρδος ρεύματος ~2000-3000. Οι αντιστάσεις R2 και R6 πολώνουν τα τρανζίστορς και βοηθούν την γρήγορη απόσυρση φορτίων βάσης των τρανζίστορς ισχύος. Τα τρανζίστορς Qp1, Qp2 βραχυκυκλώνουν τις βάσεις των darlington όταν το ρεύμα εξόδου ξεπερνά τα ~1400mA προστατεύοντας τα από βραχυκύκλωμα της εξόδου.

### Υπολογισμός ισχύος.

Έχοντας αποφασίσει να τροφοδοτήσουμε με συμμετρική τροφοδοσία  $V_{CC}=12\text{Volts}$  μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η τάση εξόδου μπορεί να κινείται άνετα μέχρι τα  $V_m=11.5\text{Volt peak}$ . Συνεπώς η rms τάση εξόδου θα είναι  $8\text{V}$ . Επιπλέον πρέπει να τονιστεί ότι τα τρανζίστορς που έχουμε επιλέξει αντέχουν μέγιστο ρεύμα  $1.5\text{A}$ .

Με βάση τον παρακάτω πίνακα μπορούμε να υπολογίσουμε τα κρίσιμα μεγέθη του κυκλώματος εξόδου.

Περιγραφή	Τύπος	Τιμή για $R_L=8\Omega$	Τιμή για $R_L=4\Omega$
$I_{max}$ : Μέγιστο ρεύμα τροφοδοτικού	$\frac{V_m}{R_L}$	1.43A (1.4A)	2.88A (1.4A)
$V_{max}$ : Μέγιστη Τάση εξόδου (με current limit)	$I_{C\ max} \cdot R_L$	11.2V	5.6V
Ισχύς Εξόδου	$\frac{V_{max}^2}{2R_L}$	7,84W	3,92W
Ισχύς Τροφοδοτικού (σε μέγιστη τάση εξόδου)	$2 \times \frac{I_{C\ max}}{\pi} \cdot V_{CC}$	2*5.35W	2*5.35W
Τάση εξόδου που έχουμε την μέγιστη κατανάλωση στα τρανζίστορς	$\frac{2}{\pi} \cdot V_{CC}$	7.64V	7.64 (5.6V)
Μέγιστη ισχύς στα τρανζίστορς εξόδου	$\frac{2 \cdot V_{CC}^2}{\pi^2 \cdot R_L}$	3.64W	7,3W (6.77W)

### Θερμική ανάλυση

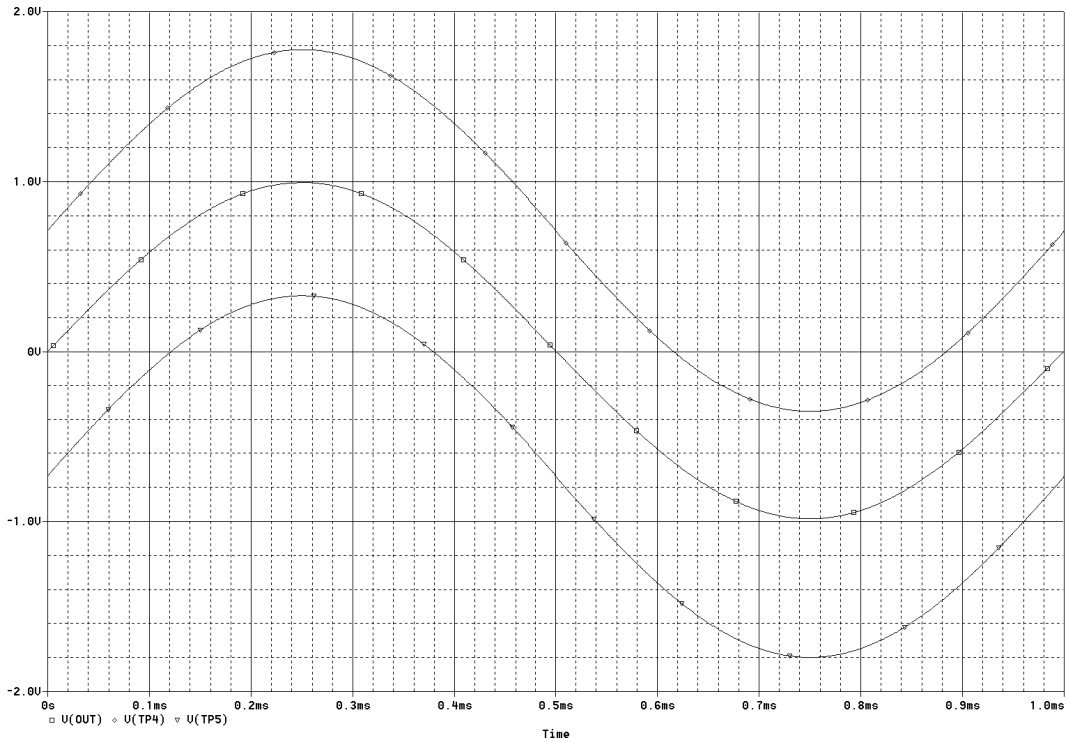
Τα τρανζίστορς εξόδου έχουν Θερμική αντίσταση ένωσης - κελύφους της  $10^\circ\text{C/W}$  και θερμική αντίσταση κελύφους - αέρα της  $100^\circ\text{C/W}$ . Με βάση τις προδιαγραφές η θερμοκρασία κελύφους του τρανζίστορ δεν πρέπει να ξεπεράσει τους  $70^\circ\text{C}$ . Πρέπει να υπολογίσουμε την θερμική αντίσταση του ψυγείου  $\theta_{ra}$  με δεδομένο ότι η μέγιστη κατανάλωση ισχύος σε κάθε τρανζίστορ δεν ξεπερνά τα  $\sim 3.5\text{W}$  ( $6.77\text{W}/2$ ) και ότι η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι το πολύ  $40^\circ\text{C}$ :

$$T_c = 70^\circ\text{C} = \frac{\theta_{ca} \cdot \theta_{ra}}{\theta_{ca} + \theta_{ra}} \cdot P_{max} + T_a = \frac{100 \cdot \theta_{ra}}{100 + \theta_{ra}} \cdot 3.5 + 40 \rightarrow \theta_{ra} = 4.3^\circ\text{C/W}$$

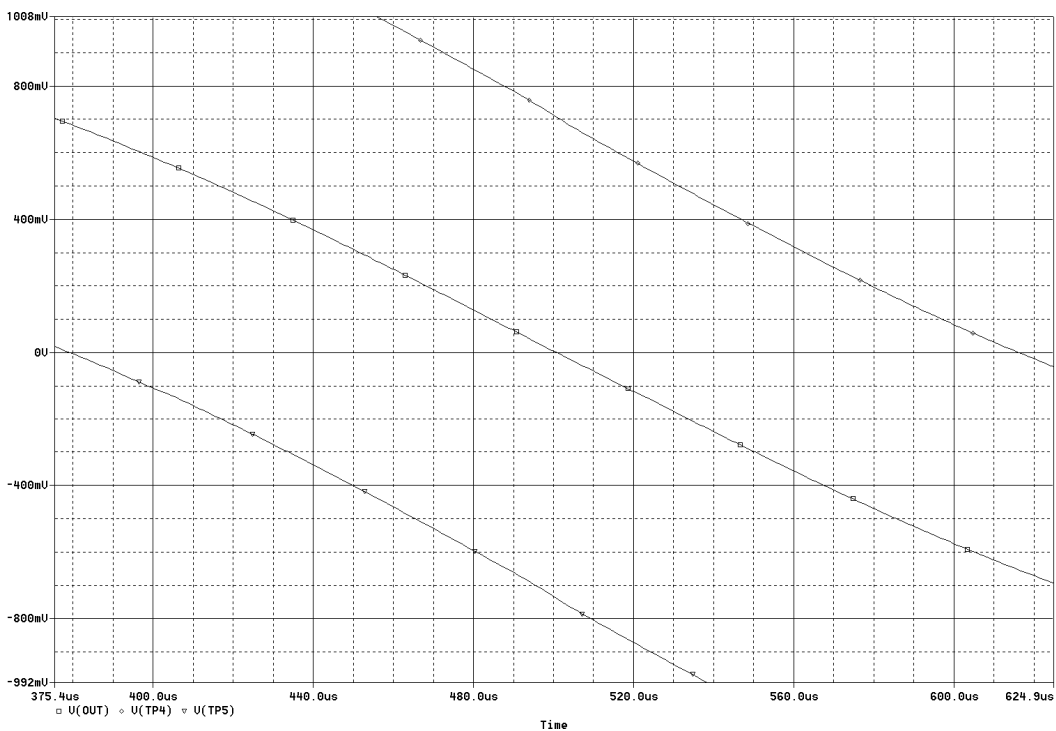
Σ' αυτή την περίπτωση η θερμοκρασία της ένωσης θα είναι  $35^\circ\text{C}$  ψηλότερη από την θερμοκρασία κελύφους (που ισούται με την θερμοκρασία του ψυγείου) δηλαδή η θερμοκρασία της ένωσης θα είναι  $105^\circ\text{C}$ .

### ***Το φαινόμενο Cross-Over.***

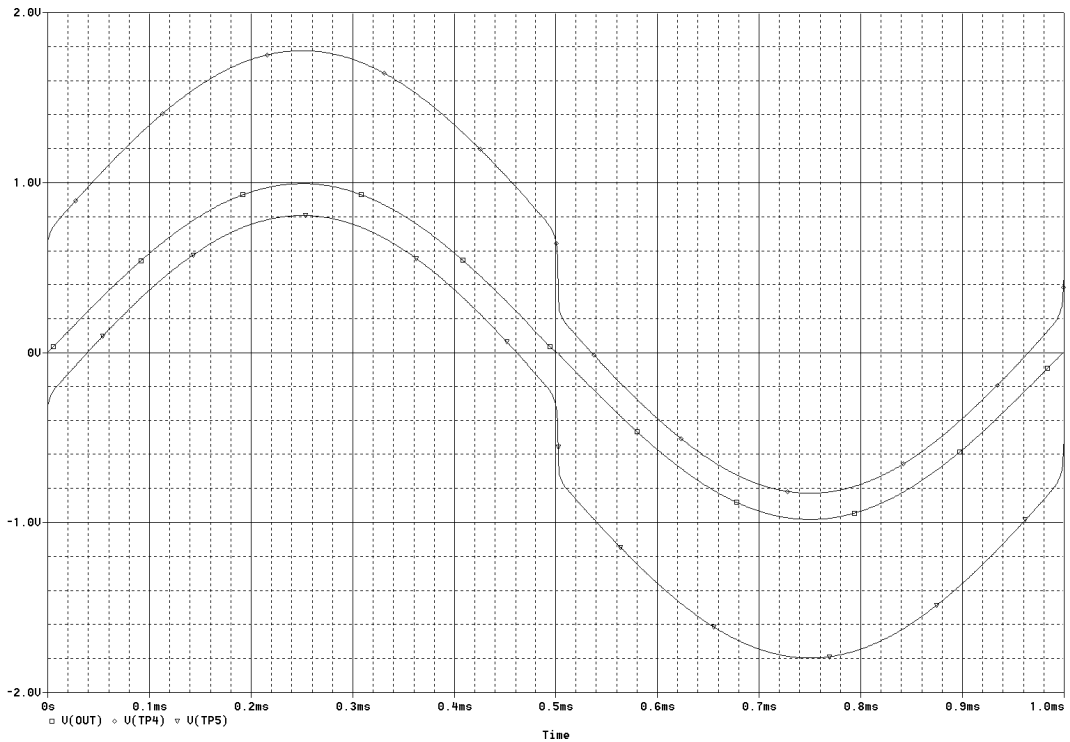
Η σωστή ρύθμιση του πολλαπλασιαστή VBE συμβάλλει στην καλή ποιότητα του σήματος εξόδου. Στο παρακάτω σχήμα έχουμε ρυθμίσει την αντίσταση R8, R9 σε 3K3, 4K7 αντίστοιχα επιτυγχάνοντας μία τάση πόλωσης του Push Pull ζεύγους ~1.45V. Το στάδιο εξόδου είναι μόλις ορθά πολωμένο έχοντας πολύ μικρό ρεύμα ηρεμίας (μερικά  $\mu\text{A}$ ). Παρ' όλα αυτά η έξοδος και οι τάσεις πόλωσης φαίνονται εντάξει.



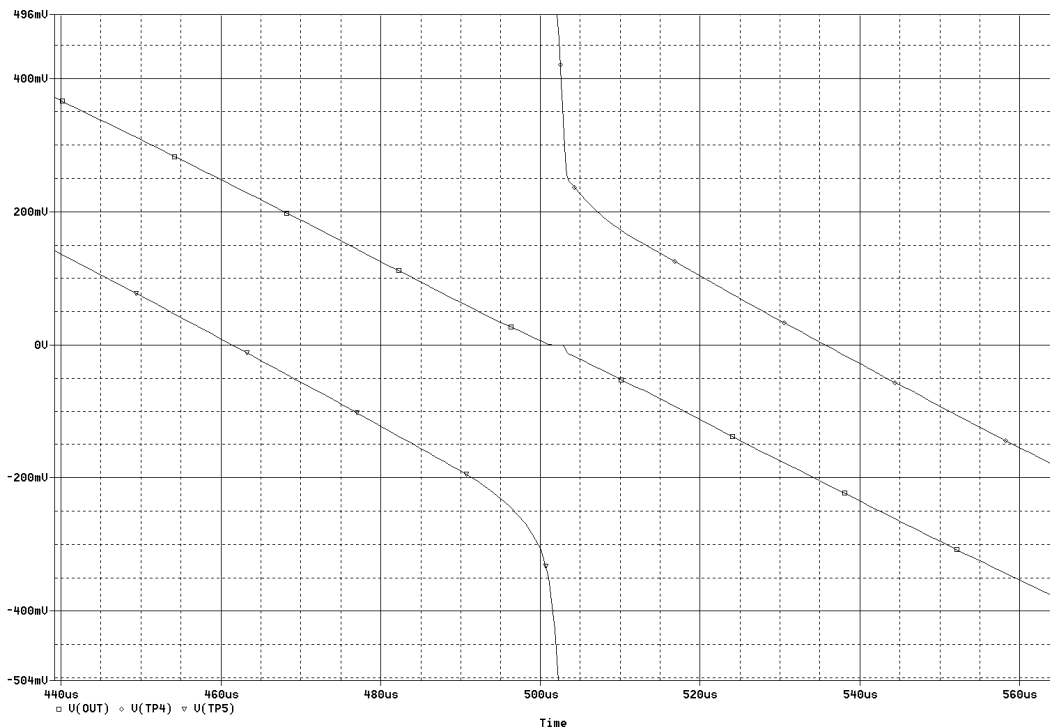
Στο παρακάτω σχήμα δείχνεται η λεπτομέρεια του Crossing Over.



Μία κακή πόλωση της βαθμίδος εξόδου μπορεί να μειώσει σημαντικά την ποιότητα του σήματος εξόδου. Στο παρακάτω σχήμα έχουμε ρυθμίσει την αντίσταση R8, R9 σε 1K1, 4K7 αντίστοιχα, επιτυγχάνοντας μία τάση πόλωσης του Push Pull ζεύγους ~1.0V που συνεπάγεται σε σχεδόν μηδενικό ρεύμα πόλωσης.



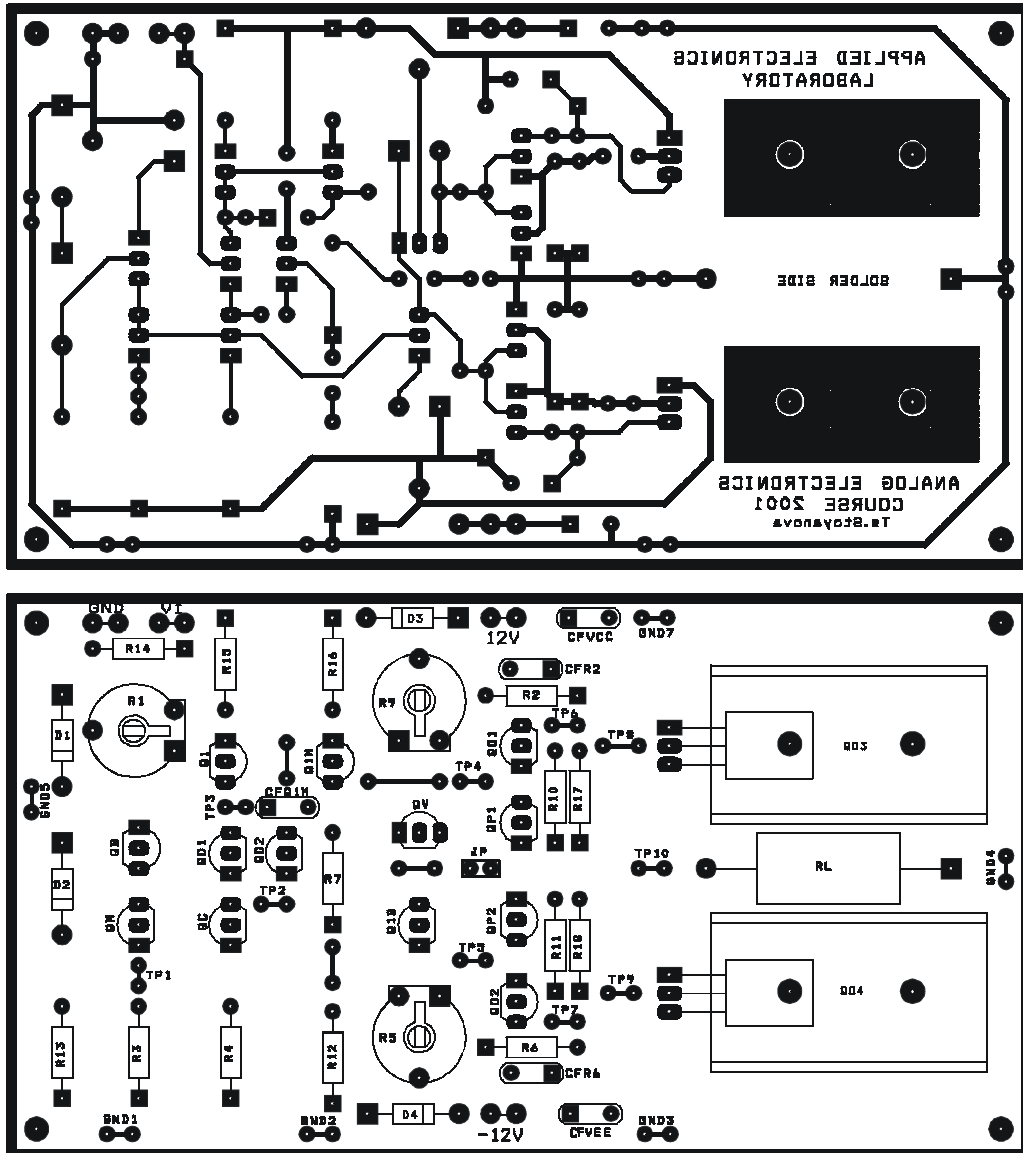
Παρατηρούμε ότι η τάση εξόδου δείχνει να είναι καλή, παρ' όλα αυτά οι τάσεις που οδηγούν τις βάσεις της βαθμίδας εξόδου έχουν απότομες μεταβολές. Αυτό οφείλεται στην ανάδραση του κυκλώματος και στην πολύ μεγάλη ενίσχυση που επιτυγχάνει η δεύτερη βαθμίδα. Αν όμως δούμε όμως στο παρακάτω σχήμα, από πιο κοντά την κυματομορφή εξόδου θα διαπιστώσουμε ότι έχουμε παραμόρφωση.



Από τα παραπάνω γίνεται εμφανές ότι το κριτήριο για την σωστή ρύθμιση της τάσης του πολλαπλασιαστή VBE σε έναν ενισχυτή με ανάδραση είναι η εμφάνιση ομαλού σήματος στις βάσεις της βαθμίδας εξόδου και όχι το ρεύμα πόλωσης των τρανζίστορ εξόδου. Εν' τούτοις συνηθίζεται να δίνουμε πάντα ένα μικρό ρεύμα πόλωσης στα τρανζίστορ εξόδου (5 – 10mA).

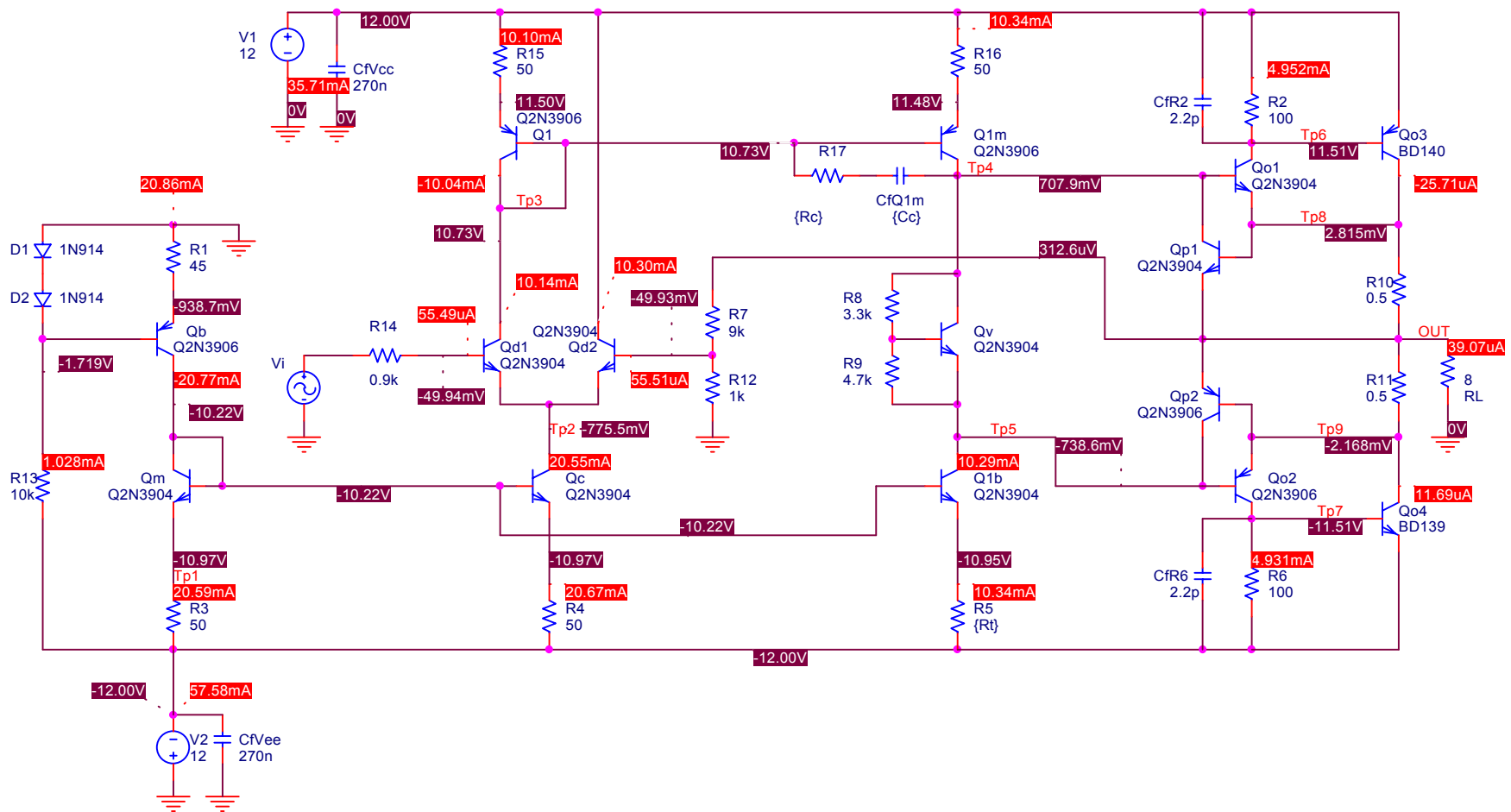
### Παράρτημα.

Το τυπωμένο κύκλωμα και το τοπολογικό σχέδιο των εξαρτημάτων του ενισχυτή δίδεται σε κλίμακα 1:1



### Βιβλιογραφία.

Μικροηλεκτρονικά Κυκλώματα, Τόμος Β', Sedra-Smith, Κεφάλαιο 9, Στάδια Εξόδου και Ενισχυτές Ισχύος, Σελ. 857 - 930



Το σχηματικό διάγραμμα του ενισχυτή με τις τάσεις και τα ρεύματα στα διάφορα σημεία .