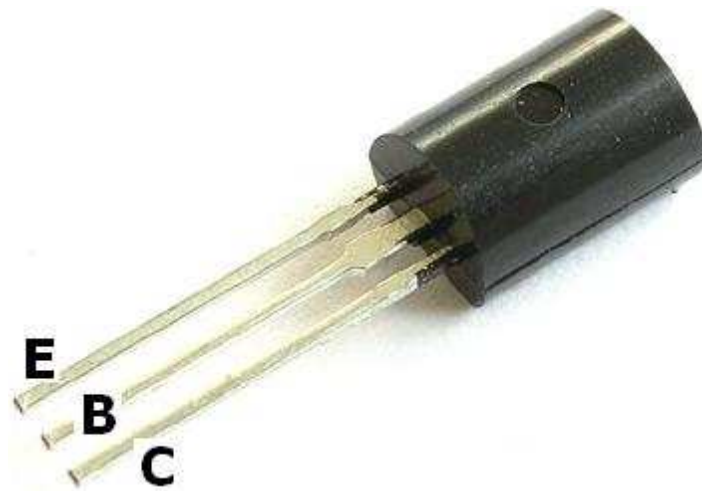




**Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΡΕΘΥΜΝΟΥ  
ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:**

**ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΤΑΛΙΟΥ ΥΠΕΡΟΔΗΓΗΣΗΣ ΤΡΑΝΣΙΣΤΟΡ**



Φοιτητής: Κακουλάκης Δημήτρης, Α.Μ.: 332  
Επιβλέποντες καθηγητές: Χρήστος Χρήστου και Εμμανουήλ Βενιέρης

**ΡΕΘΥΜΝΟ 2014**

## Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	02
Ευχαριστίες	03
Περίληψη	04
Abstract	05
<b>Κεφάλαιο 1:</b> Η προέλευση της παραμόρφωσης του μουσικού ήχου – Ιστορικά	06
Κεφάλαιο 1.1: Προ-παραμόρφωσης περίοδος	06
Κεφάλαιο 1.2: Τυχαίες ανακαλύψεις	07
Κεφάλαιο 1.3: Rumble (Μουσική επιτυχία των Link Wray and His Ray Men	09
Κεφάλαιο 1.4: Από τη Γενική Ιδέα ως την Ηλεκτρονική	11
<b>Κεφάλαιο 2:</b> Θεωρητική και Πειραματική Ανάλυση του Κυκλώματος	14
Κεφάλαιο 2.1: Βαθμίδα 1	15
Κεφάλαιο 2.2: Βαθμίδα 2	18
Κεφάλαιο 2.3: Βαθμίδα 3	22
Κεφάλαιο 2.4: Συνδυάζοντας τις Βαθμίδες 1, 2 και 3	25
Κεφάλαιο 2.5: Εξομοίωση Κυκλώματος για 440/800 Hz	28
<b>Κεφάλαιο 3:</b> Πειραματική μέτρηση με Παλμογράφο	33
<b>Κεφάλαιο 4:</b> Κατασκευαστική Ανάλυση του Κυκλώματος	36
Κεφάλαιο 4.1: Πίνακας εξαρτημάτων του κυκλώματος	36
Κεφάλαιο 4.2: Ακουστική δοκιμή	39
Συμπεράσματα	40
Βιβλιογραφία	41

### Ευχαριστίες

Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα πρώτα πρώτα να εκφράσω στους επιβλέποντες Καθηγητές μου, τους κυρίους Χρήστου Χρήστο, Βενιέρη Εμμανουήλ και του Πιοτογιαννάκη Στέλιου, που με υπομονή και κατανόηση με βοήθησαν σ' αυτή μου την εργασία και γενικότερα σ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, όπως και όλοι οι Καθηγητές του Τμήματος μας.

Ευχαριστίες επίσης θα ήθελα να εκφράσω στο φίλο μου Βελεγράκη Γιάννη, απόφοιτο του Α.Ε.Ι. Κρήτης του τμήματος επιστήμης υπολογιστών και μεταπτυχιακό ερευνητή του Ι.Τ.Ε., που πρόθυμα με βοήθησε ιδιαίτερα με τον ηλεκτρονικό του εξοπλισμό, στο να ολοκληρώσω την πτυχιακή μου.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ να πω στους Γονείς μου και σ' όλα τα μέλη της Οικογένειας μου, που με μεγάλη αγάπη με στηρίζουν συναισθηματικά κυρίως, αλλά και οικονομικά, καθ' όλη τη περίοδο της φοιτητικής μου ζωής.

Με απεριόριστη εκτίμηση και σεβασμό - Δ.Κ.

### **Περίληψη**

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας, είναι ο σχεδιασμός ενός εναλλακτικού κυκλώματος πεταλιού, παραμόρφωσης και υπεροδήγησης.

Το Transistor που προσδίδει την παραμόρφωση και την υπεροδήγηση, θα πολώνεται σε διαφορετικές τάσεις, έτσι ώστε να μετακινείται το σημείο λειτουργίας του. Έτσι με την προσθήκη ενός ρυθμιστικού ποτενσιομέτρου (Knob), θα μεταβάλλεται η τάση πόλωσης, προσδίδοντας στο υπό τροποποίηση σήμα, διαφοροποίηση των αρμονικών που παράγονται, πράγμα που θα επιφέρει “χρωματικές” αλλαγές σε αυτό.

### **Λέξεις κλειδιά**

Transistor, πόλωση, υπεροδήγηση, παραμόρφωση, ενισχυτής, πετάλι, ψαλίδισμα.

### **Abstract**

The purpose of this paper is to design an alternative circuit of overdrive.

The Transistor that is being overdriven, is tested under several bias voltages, resulting in different operation points. Therefore adding a potentiometer (Knob), that controls the bias voltage, enables us to alter the harmonic content of the signal, thus changing its acoustic tone.

### **Keywords**

Transistor, bias, overdrive, distortion, amplifier, pedal, clipping.

## **Κεφάλαιο 1: Η προέλευση της παραμόρφωσης του μουσικού ήχου – Ιστορικά**

Εάν ανοίξετε ένα ραδιόφωνο σήμερα που εκπέμπει ροκ μουσική, θα διακρίνετε μια μορφή ηχητικής επίδρασης, που μας είναι πλέον γνωστή και προέρχεται από την παραμόρφωση μουσικών ήχων, όπως συνηθίζουμε να λέμε τα ηχητικά εφέ. Η παραμόρφωση είναι τόσο δημοφιλής, και χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό, ώστε να είναι σχεδόν δεδομένη πια. Κάθε ενισχυτής φαίνεται να έχει κάποιο είδος ποτενσιομέτρου, που αυξάνει την απόδοση, ή το δυναμισμό του. Κάθε ρυθμός φαίνεται να έχει ένα συγκεκριμένο ήχο, που συνδέεται με την παραμόρφωση. Υπάρχει μια ευρεία ποικιλία των πεταλιών εφέ, που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία διαφόρων τύπων παραμορφωμένων τόνων. Μπορεί να είναι οι λεπτές αποχρώσεις fuzz που χρησιμοποιούνται σε blues, μέχρι το βαρύ overdrive που χρησιμοποιείται σε metal. Κάθε εποχή, όπως fuzz του '60, του '80 ή metal, ή grunge, έχει κάποιο παραμορφωμένο ήχο που χαρακτηρίζει τη μοναδικότητα της.

Παραμόρφωση είναι ο ήχος που έχει προσδιορίσει το ροκ σε όλη του την ιστορία. Η παραμόρφωση σήμερα επικρατεί σχεδόν σαν μια δεύτερη σκέψη και είναι δύσκολο να πιστέψουμε ότι υπήρξε εποχή χωρίς αυτήν. Η ιστορία της παραμόρφωσης είναι κάπως θολή, αφού δεν υπάρχει κανένας συγκεκριμένος καινοτόμος, ή ένας ακριβής χρόνος, ή τόπος, προέλευσης του. Όπως συμβαίνει με πολλές ανακαλύψεις, οι ρίζες της παραμόρφωσης ξεκίνησαν από ένα ατύχημα.

### **Κεφάλαιο 1.1: Προ-παραμόρφωσης περίοδος**

Η ηλεκτρική κιθάρα ήρθε περίπου τη δεκαετία του 1920, όταν ο θρυλικός μουσικός και καινοτόμος Les Paul άρχισε να πειραματίζεται συνδέοντας ένα μικρόφωνο στο κοίλο σώμα της ακουστικής του κιθάρας. Το 1932, η Electro Sting Instrument Corporation, με ένα σχέδιο του Adolph Rickenbacher και του George Beauchamp και με τη δεξιοτεχνία του Harry Watson, δημιούργησαν τη πρώτη ηλεκτρική κιθάρα.

Όπως προφανώς μπορεί κανείς να φανταστεί, η τεχνολογία εκείνης της περιόδου, απείχε πολύ μακριά από το τέλειο. Οι κιθάρες ήταν ακόμα κοίλα σώματα, και η τεχνολογία που χρησιμοποιούταν για να μεταφέρει τον ήχο από την κιθάρα στον ενισχυτή, ήταν στοιχειώδης στην καλύτερη περίπτωση. Ο ήχος δύσκολα ελέγχονταν, ιδιαίτερα στους υψηλούς τόνους. Αυτό προκαλούσε ανεξέλεγκτη ανατροφοδότηση. Όταν οι ενισχυτές με λυχνίες (περισσότερο γνωστοί ως ενισχυτές λυχνίας) εξωθήθηκαν στα όρια του

ηχητικού τους εύρους, οι τύποι των κυμάτων τους ψαλιδίστηκαν. Με απλά λόγια, τα ηχητικά κύματα είχαν αλλάξει, δημιουργώντας το κλασικό overdrive ήχο.



Το πρώτο συμπαγές σώμα ηλεκτρικής κιθάρας, που κατασκευάστηκε ήταν η Fender Telecaster, σχεδιασμένη από τον Leo Fender το 1946, έκανε τον ήχο του πολύ πιο εύκολο να ελεγχθεί, και προορίζονταν να παίξει σε υψηλότερο επίπεδο εξόδου. Το πρόβλημα ήταν, το στυλ της μουσικής δημοφιλούς κατά τη δεκαετία του 1940, που ήταν πολύ παραδοσιακό. Στυλ όπως jazz, blues, gospel που είχε ένα καλά καθορισμένο ήχο, η σκέψη του να παραμορφωθεί αυτός ήχος, δεν είχε ποτέ καν ληφθεί υπόψιν διεθνώς. Τι είδους παραμόρφωσης χρειαζόταν, ήταν κάτι καινούριο, ένα διαφορετικό είδος ήχου, μιας και δεν είχε καμία προηγούμενη ιστορία, και θα μπορούσε να παιχτεί και να πειραματιστεί από μουσικούς που ήθελαν να κάνουν κάτι νέο και πρωτοποριακό.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1950, ένα νέο στυλ άρχισε να απευθύνεται στη νεολαία της Αμερικής. Αν και δανείστηκε το ύφος του, από τους μουσικούς προγόνους του, δεν είχε καμία ιστορία από μόνο του και πρόσφερε γόνιμο έδαφος για τους μουσικούς και τους καινοτόμους, για να τους βοηθήσει να καθορίσουν τον ήχο του. Το ύφος, όπως ο Alan Freed αργότερα θα έδινε το φημισμένο όνομα του, ήταν το rock and roll.

## **Κεφάλαιο 1.2: Τυχαίες ανακαλύψεις**

Παρά το πρόσφορο έδαφος, η παραμόρφωση δεν είχε ακόμα επιδιωχθεί και εφαρμοστεί ενεργά. Η περισσότερη παραμόρφωση της πρόωρης χρήσης,

ανακαλύφθηκε τυχαία από μουσικούς που τους άρεσε ο ήχος και αποφάσισαν να συνεχίσουν να τον χρησιμοποιούν.

Μια από τις πρώτες χρήσεις παραμόρφωσης, ήταν στο τραγούδι Rocket 88 , που εκτελέστηκε από τους The Kings of Rhythm και γράφτηκε από τον Ike Turner. Αν και γραμμένο ως rhythm and blues τραγούδι, έγινε ένα από τα πρώτα ροκ εν ρολ τραγούδια, αν όχι το πρώτο και υπήρξε αργότερα μία μικρή επιτυχία, για μία πιο γνωστή μπάντα, Bill Haley and the Comets.

Σε κάθε περίπτωση, ο παραμορφωμένος τόνος ήρθε περίπου, όταν ο ρυθμικός κιθαρίστας Willie Kizart έφτασε στο στούντιο με ένα κατεστραμμένο ενισχυτή. Ο παραγωγός Sam Phillips αργότερα ισχυρίστηκε ότι, ο ενισχυτής είχε πέσει από την κορυφή του αυτοκινήτου του Kizart, ενώ ο Turner ισχυρίστηκε ότι, ο ενισχυτής είχε μείνει στο πορτ-μπαγκάζ και είχε διαβρωθεί εσωτερικά, πράγμα που προκάλεσε τη ζημιά. Σε κάθε περίπτωση, η μπάντα και ο Phillips αγάπησαν τον ήχο, και δημιούργησαν αυτό που θεωρείται (αν και συχνά αμφισβητείται), ως η πρώτη καταγραφή παραμόρφωσης.

Γύρω στο 1956, ο κιθαρίστας Johnny Burnette των Johnny Burnette Trio, είχε ένα ατύχημα με μια από τους λυχνίες του ενισχυτή του, όπου χάλασε κατά τη διάρκεια του show, ενώ διασκεύαζε το Train Kept A - Rollin του Tiny Bradshaw (ένα τραγούδι που αργότερα έγινε επιτυχία των Aerosmith). Το κοινό λάτρεψε αυτό το τραγούδι, ενώ ένας τοπικός κριτικός αφιέρωσε στον ήχο ένα υπερενθουσιώδες άρθρο. Αυτό οδήγησε τον Burnette να διατηρήσει τον ήχο, όταν θα ηχογραφούσε το τραγούδι στο στούντιο.

Ακόμη και μουσικοί όπως ο Willie Johnson και Chuck Berry (ο ήχος των οποίων προήλθε από την προαναφερθείσα μέθοδο αποκοπής, παίζοντας με μικρότερους ενισχυτές στο μέγιστο των δυνατοτήτων τους), που χρησιμοποιούν τις πρώτες γνωστές μορφές της overdrive, πράγμα που δεν έγινε εύκολα αποδεκτό, ούτε οποιαδήποτε συσκευή, ή πετάλι ποδιού για την αναπαραγωγή ήχου. Ο ήχος ήταν εκεί, απλά δεν είχε αποκτήσει ακόμη τη προσοχή που του άρμοζε, για να απευθυνθεί με απαιτήσεις προς τις μάζες.

Για άλλη μια φορά, η παραμόρφωση χρειάζεται κάτι μεγάλο να συμβεί, για να κάνει το επόμενο βήμα προς τα εμπρός . Αυτό το επόμενο μεγάλο βήμα συνέβη εν μέρει χάρη σε ένα κατσαβίδι , ένα μιούζικαλ του Broadway , και μια σφοδρή διαμάχη.



### Κεφάλαιο 1.3: Rumble (Μουσική επιτυχία των Link Wray and His Ray Men

Link Wray ήταν ένας βετεράνος του πολέμου της Κορέας, που είχε χάσει τον ένα πνεύμονα, πράγμα που οφειλόταν σε φυματίωση. Αν και οι γιατροί του είπαν ότι ποτέ δεν θα είναι σε θέση να τραγουδήσει, ο Wray το έκανε, αν και πολύ σπάνια. Τα περισσότερα από τα τραγούδια του ήταν instrumental.



Το 1958, ο ίδιος και η μπάντα του, ο Link Wray and his Ray Men, ήταν η κύρια μπάντα ενός Αμερικάνικου show, όπου εμφανιζόντουσαν στην Ουάσιγκτον. Σε ένα live show το 1958 στο Fredericksburg, η μπάντα προσπάθησε να καταλήξει στο κατάλληλο ήχο για την επιτυχία των The Diamonds, το The Stroll. Η μπάντα επινόησε να παρουσιάσει ένα blues τραγούδι με μεγάλη ένταση, που το ακροατήριο αγάπησε τόσο, ώστε στη συνέχεια να απαιτήσει να το επαναλάβει αρκετές φορές εκτός προγράμματος. Το τραγούδι αργότερα πήρε το τίτλο Oddball.

Ο παραγωγός της Cadence Records, ο Archie Bleyer άκουσε το τραγούδι και κάλεσε το συγκρότημα να το ηχογραφήσουν στο στούντιο τους, αλλά ο Wray δεν ήταν ευχαριστημένος με τον ήχο, και ήθελε να αναδημιουργήσει τους παραμορφωμένους τόνους που είχε επί σκηνής, έτσι πήρε ένα κατσαβίδι και άνοιξε αρκετές τρύπες στον ενισχυτή, και δημιούργησε ήχο που ήταν πολύ άγριο, κάτι που του άρεσε πολύ περισσότερο και ταίριαζε με τις προτιμήσεις του.

Ο Bleyer μίσησε την ηχογράφηση, αλλά άρεσε ιδιαίτερα στην θετή κόρη του. Επιπλέον ρώτησε τον πατριό της, αν ήταν δυνατόν να αλλάξουν το όνομα του τραγουδιού σε Rumble, σαν φόρο τιμής στο West Side Story, επειδή το

τραγουδι της θύμισε το γνωστό musical. Η λέξη rumble ήταν αργκό εκείνη την εποχή, έννοια σχετική με τις συμμορίες των γειτονιών. Ο Bleyer υποχρεώθηκε μετά απ' αυτά και κυκλοφόρησε το τραγούδι κάτω από το νέο τίτλο.

Ωστόσο, το αμερικανικό κοινό δεν το είδε με την μάλλον αθώα σύσταση του και θεώρησε ότι είχε γραφτεί για να προκαλέσει σκόπιμα τη παραβατική διάθεση των ανηλίκων. Επιπλέον, το τραγούδι ήταν πολύ βαρύτερο και περιείχε ένα πολύ πιο μοχθηρό ήχο, από εκείνο που το κοινό συνήθιζε να ακούει. Ως αποτέλεσμα, το τραγούδι είχε απαγορευτεί σε πολλούς ραδιοφωνικούς σταθμούς σε όλη την Αμερική και τη Μεγάλη Βρετανία. Ακόμη και σήμερα, εξακολουθεί να είναι το μόνο instrumental που έχει απαγορευτεί από τα Αμερικάνικα ερτζιανά κύματα. Παρά το γεγονός αυτό, έγινε ένα από τα Top 20 hit και στις δύο χώρες, και τράβηξε την προσοχή πολλών μουσικών, κυρίως από το εξωτερικό .

Δύο συγκροτήματα άρχισαν να τρυπούν τους ενισχυτές τους, για να αναδημιουργήσουν σε ήχους που ήθελαν. Το πρώτο ήταν οι Kinks, των οποίων το κομμάτι με τίτλο You Really Got Me, έγινε συντριπτική επιτυχία (1ο στη Μεγάλη Βρετανία, και στα Top 10 στις ΗΠΑ ), χρησιμοποίησε ένα παρόμοιο τύπο ήχου, καθώς επίσης και δυνατές χορδές, στοιχεία παρόμοια με το στυλ του Wray.

Το δεύτερο συγκρότημα που συναγωνίστηκε τον ήχο αυτό, ήταν ένα συγκρότημα που θα γινόταν γνωστό για την εσκεμμένη καταστροφή των μουσικών του οργάνων, οι Who. Οι Who χρησιμοποίησαν παραμορφωμένους τόνους και επιθετικές ενισχυμένες χορδές, έτσι καθιέρωσαν το χαρακτηριστικό τους ήχο, και έγιναν ροκ θρύλοι.

Αυτά ήταν μόλις δύο από τα συγκροτήματα που χρησιμοποιούσαν αυτό τον ήχο, σίγουρα υπήρξαν και άλλα. Τώρα η παραμόρφωση είχε οπαδούς τόσο στο εξωτερικό όσο και στις Ηνωμένες Πολιτείες. Το ερώτημα δεν ήταν πλέον για το πώς να τη δημιουργήσουν, αλλά το πώς να την ελέγξουν. Υπήρξε ένας τρόπος για να αναδημιουργήσουν τον ήχο για κάθε κιθάρα και ενισχυτή. Ακόμα καλύτερα, υπήρξε ένας τρόπος για τον ήχο όχι μόνο να δημιουργηθεί, αλλά να ελεγχθεί και να μεταβληθεί κατά τη βούληση του μουσικού. Για άλλη μια φορά, το θέμα θα έρθει στους μεγάλους καινοτόμους του σήμερα, που θα είναι σε θέση να απαντήσουν.

#### Κεφάλαιο 1.4: Από τη Γενική Ιδέα ως την Ηλεκτρονική

Πρώτα ήταν στους ενισχυτές που αρχίσαμε να βλέπουμε την εισαγωγή των παραμορφωμένων τόνων. Εν τω μεταξύ ο Leo Fender και ο Jim Marshall που ήταν γνωστοί για τους ενισχυτές τους, που διέθεταν ένα ωραίο καθαρό ήχο σε μια υψηλότερη απόδοση, από τους της προηγούμενης γενιάς



ενισχυτές. Αμφότεροι επίσης δημιούργησαν ενισχυτές με ελαφριά παραμόρφωση, χωρίς να καταστρέφουν τον ήχο. Ο Marshall πήγε τα πράγματα ένα βήμα παραπέρα, αφού πολλοί μουσικοί που αγαπούσαν τη δουλειά του και απαίτησαν να έχουν ήχο που θα ήταν βαρύτερος και πιο δυνατός.

Ο Marshall έψαχνε τρόπο να μειώσει το κόστος παραγωγής. Οι προηγούμενοι ενισχυτές του, είχαν ήδη τη δυνατότητα να παράγουν ότι είναι τώρα γνωστό, ως το κλασικό ήχο Marshall, ο οποίος εξακολουθεί να είναι δημοφιλής στη μουσική σήμερα, ειδικά στη metal. Αρχικά, ο Marshall είχε αντιγράψει τον Fender Bassman, προκειμένου να χτίσει το πρώτο του μοντέλο. Αλλά μια αδέξια συμφωνία διανομής με την Rose- Morris το 1965, είχε τιμολογήσει τους ενισχυτές του, έτσι ώστε τους έθετε εκτός αγοράς σε ορισμένες περιοχές, οπότε άρχισε να προμηθεύει υλικά αποκλειστικά στο Ηνωμένο Βασίλειο. Ένας νέος τύπος λυχνίας χρησιμοποιήθηκε στους ενισχυτές του, και ο ήχος έγινε πιο πλούσιος και πιο επιθετικός.

Ένας νεαρός άνδρας της blues με το όνομα Eric Clapton, είχε μόλις μπει στους Breakers του John Mayall. Ο Eric ήταν φίλος του Marshall και συχνά ασκούταν στο κατάστημα του. Ο Marshall δημιούργησε το περίφημο Bluesbreaker. Αν και η παραμόρφωση δεν ήταν τόσο βαριά, σαν μερικά από τα άλλα συγκροτήματα εκείνης της εποχής, ο ήχος έδωσε νέα πνοή στο κλασικό ήχο των blues. Το πιο σημαντικό σημείο είναι η θεμελιώδης σχέση ανάμεσα σε αυτόν και Clapton, η οποία οδήγησε στο πιο βαρύ

παραμορφωμένο ήχο την ημέρα που ο Marshall σχεδίασε τους ενισχυτές Clapton που χρησιμοποιήθηκαν στους Cream.

Εν τω μεταξύ, ο Jon Entwistle και ο Pete Townsend και οι δύο των The Who, μάχονταν μεταξύ τους για το ποιος θα μπορούσε να έχει μεγαλύτερη ένταση. Ο Townsend απευθύνθηκε στον Marshall, ο οποίος με τη σειρά του, δημιούργησε το πρώτο ενισχυτή 100 watt, και πήγε το rock σε ένα νέο επίπεδο έντασης.

Αλλά ακόμη και πριν από τον Marshall, και πίσω στις Ηνωμένες Πολιτείες, ένας μουσικός από το Νάσβιλ ονομαζόμενος Grady Martin ετοίμαζε κάτι. Το 1960, κατά την ηχογράφηση που έκανε με τον Marty Robins, ένας από τους ενισχυτές άρχισε να παράγει ένα παραμορφωμένο τόνο, λόγω βλάβης στα ηλεκτρονικά του ενισχυτή. Με μια πρωτοφανή κίνηση, ο Robbins βρήκε το σφάλμα, και χωρίς να το διορθώσουν, δημιούργησαν ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που αναπαράχθηκε δημιουργώντας το πρώτο fuzzbox.

Παρεμφερής με τον ήχο του Marty Robins, The Ventures άρχισαν το 1962 να χρησιμοποιούν σε κάποιες από τις πρώτες γνωστές ηχογραφήσεις το fuzzbox. Το fuzzbox έγινε έθιμο να κατασκευάζεται για την μπάντα από έναν φίλο τους. Μαζί με τον μικρό ρόλο που έπαιξαν οι Ventures, η άνοδος των The Kinks και των The Who, έστρεψε τη προσοχή σε πολλούς άλλους μουσικούς στο νέο παραμορφωμένο ήχο. Η ίδια η παραμόρφωση ενώ γνωστοποιήθηκε από μόνη της στο κοινό, με το τραγούδι You Really Got Me, το fuzzbox εξακολουθούσε να ψάχνει για το αντιπροσωπευτικό τραγούδι, που θα προσκολληθεί σ' αυτό.

Το τραγούδι ήρθε το 1965, με τη μορφή που δημιούργησαν οι λίγες πολύ γνωστές νότες, που θα εκτοξεύσουν ένα από τα μεγαλύτερα συγκροτήματα όλων των εποχών, να ξεκινήσουν μια καριέρα που θα έκανε ένας τραγουδιστής, ένας κιθαρίστας, ένα οικείο όνομα, δημιουργούν πολλές αντιπαραθέσεις, και να ανεβάζουν τις πωλήσεις των fuzzbox της Gibson όταν μεσουρανούσαν. Αυτό το τραγούδι, ήταν το Satisfaction ένα από τα πρώτα hit των Rolling Stones. Ο κιθαρίστας Keith Richards ήθελε να χρησιμοποιήσει το fuzzbox μόνο για λίγο για να το αξιολογήσει. Ωστόσο, κάθε άλλος Stone, ο μάνατζερ τους, καθώς και ο μηχανικός ήχου, αποφάσισαν οριστικά να το κρατήσουν, έτσι μια κατηγορία κλασική γεννήθηκε. Το Gibson Maestro Fuzz - Tone, που χρησιμοποιήθηκε στην πίστα, έγινε τόσο δημοφιλές, ώστε η Gibson είχε sold out ολόκληρο το απόθεμα σε λιγότερο από ένα χρόνο.



Τέλος, το 1966, ένας νεαρός κιθαρίστας ο James Marshall Hendrix (περισσότερο γνωστός ως Jimi), άρχισε να χρησιμοποιεί περισσότερο από ένα fuzzbox συνδυάζοντας τα με άλλα καινοτόμα εφέ, όπως το πεντάλ Wah Wah και το Univibe (περισσότερο γνωστό ως phaser). Με το πρωτοποριακό ήχο του, τα εφέ των πεταλιών του εισήλθαν στον κόσμο του rock and roll, που οδηγεί σε νέους ήχους που παράγονται από τις εταιρείες σε όλο τον κόσμο, και η παραμόρφωση ήταν τώρα ένα μέρος της rock and roll για να μείνει.

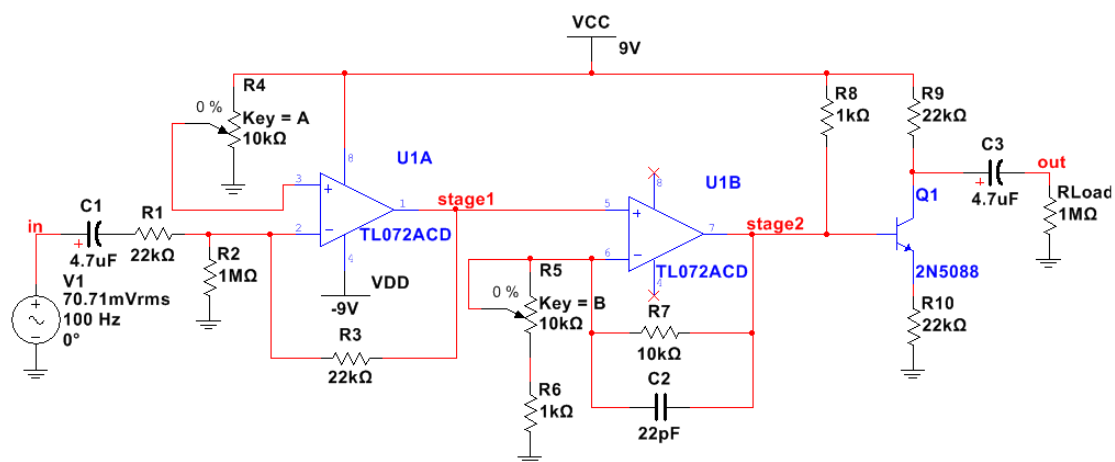


Για τώρα και στο μέλλον, η παραμόρφωση θα είναι πάντα στα ερτζιανά . Οι νέες μπάντες θα πρέπει με μικροαλλαγές, να τις προσαρμόζουν στο ύφος τους. Από κάθε τυχαίο ξεκίνημα, σε μια πλήρη απογείωση στα ερτζιανά κύματα, η παραμόρφωση θα συνεχίσει να δίνει rock, metal , blues, ή οτιδήποτε στυλ είναι που χρησιμοποιείται ο χαρακτηριστικός ήχος που το ορίζει .

## Κεφάλαιο 2: Θεωρητική και Πειραματική Ανάλυση του Κυκλώματος

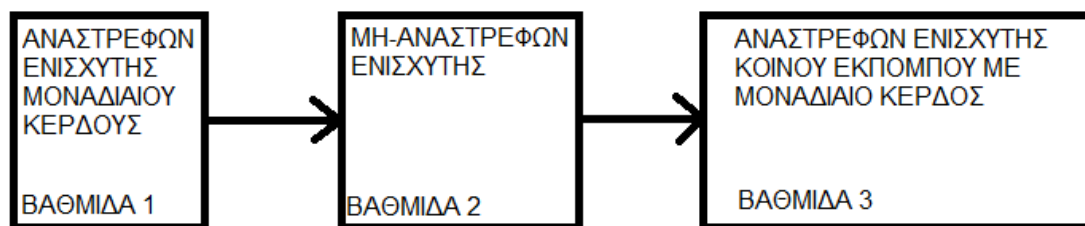
Η κατασκευή αυτή είναι ουσιαστικά ένα πετάλι παραμόρφωσης που υπερδοηγεί ένα τρανζίστορ (Single Transistor Overdrive). Στο κύκλωμα αυτό μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε όποιο τρανζίστορ θέλουμε.

Παρακάτω παρατίθεται το πλήρες σκαρίφημα του κυκλώματος με σκοπό την περαιτέρω ανάλυσή του.



Εικόνα 1: Το πλήρες κύκλωμα

Σαν ολότητα το συγκεκριμένο κύκλωμα λειτουργεί ως εξής:



Το συνολικό κύκλωμα μπορούμε να το χωρίσουμε σε 3 βαθμίδες προενίσχυσης:

1. **Βαθμίδα 1:** Αναστρέφων ενισχυτής μοναδιαίου κέρδους
2. **Βαθμίδα 2:** Μη-Αναστρέφων ενισχυτής
3. **Βαθμίδα 3:** Αναστρέφων ενισχυτής κοινού εκπομπού με μοναδιαίο κέρδος

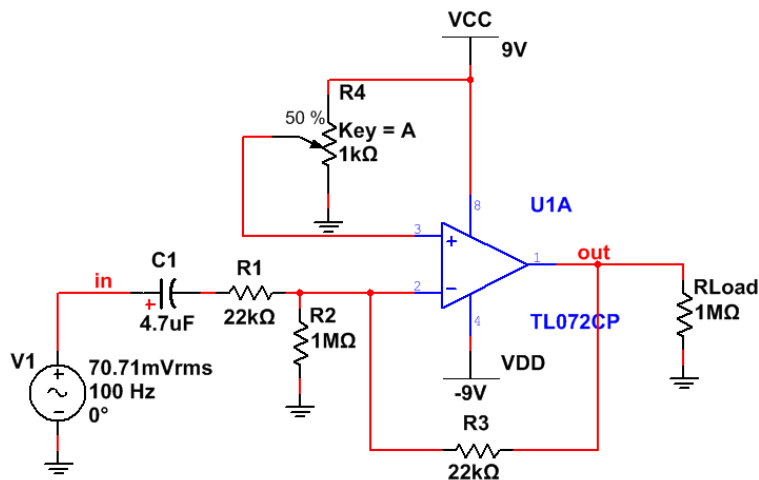
Πριν προχωρήσουμε στην μελέτη του κυκλώματος σαν σύνολο, έχει νόημα να δούμε τη κάθε βαθμίδα χωριστά και ποια είναι τα χαρακτηριστικά του αυτά, που εκμεταλλευόμαστε στο συνολικό κύκλωμα.

Για να μελετήσει κανείς κάθε βαθμίδα ξεχωριστά, πρέπει να το «απομονώσει» από τις άλλες βαθμίδες και να μελετήσει την σχέση εισόδου-εξόδου, χωρίς την επήρεια παρασιτικών και μη γραμμικών στοιχείων, που εμπεριέχουν οι άλλες βαθμίδες. Έτσι για την εξομοίωση, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε μία ιδανική πηγή τάσης (μηδενική εμπέδηση εξόδου **V1**) και ένα ελαφρύ φορτίο (παθητική μεγάλη αντίσταση **RLoad**) στην έξοδο, για να μπορούμε να μελετήσουμε την θεωρητική συμπεριφορά των σταδίων. Χρησιμοποιώντας αυτά τα δύο στοιχεία, αναλύουμε τα χαρακτηριστικά κάθε βαθμίδας αυτής καθαυτής.

Το σήμα εισόδου που χρησιμοποιήθηκε, είναι ένα ημίτονο των 70.71mVrms, δηλαδή  $100V_{peak}=200V_{p-p}$ . Η τάση αυτή είναι ενδεικτική της τάσης που βγάζει μία ηλεκτρική κιθάρα, μπορούμε να πούμε ότι είναι ο μέσος όρος διαφόρων κιθάρων και μαγνητών, καθώς και ο μέσος όρος της περιβάλλουσας έντασης (envelope), μίας νότας από ηλεκτρική κιθάρα που περιλαμβάνει τα επιμέρους attack, decay και release. Επίσης η συχνότητα του σήματος είναι 100 Hz, που είναι περίπου η ανοιχτή χορδή Λα της κιθάρας (επιλέξαμε 100Hz αντί του 110Hz που είναι η πραγματική Λα συχνότητα, για λόγους ευκολίας προσομοίωσης και υπολογισμών). Επίσης μια τέτοια συχνότητα, χαμηλή αντί για υψηλή της κιθάρας μπορεί να μας δείξει και την συμπεριφορά στις μπάσες συχνότητες.

### **Κεφάλαιο 2.1: Βαθμίδα 1**

Η τοπολογία της Βαθμίδας 1, είναι ενός αναστρέφων τελεστικού ενισχυτή με την χρήση αρνητικής ανάδρασης.



Σχήμα 1: Βαθμίδα 1 του συνολικού κυκλώματος

Γνωρίζουμε από την θεωρία για τους τελεστικούς ενισχυτές ότι το κέρδος τάσης μια τέτοιας τοπολογίας είναι η εξής:

$$A_v = -\frac{R_f}{R_g} = -\frac{R_3}{(R_1 || R_2)} \cong -\frac{R_3}{R_1} = -1$$

Παρατηρούμε, ότι η Βαθμίδα 1 είναι ενισχυτής με μοναδιαίο κέρδος τάσης. Η τοπολογία αυτή είναι γνωστή ως Voltage Follower ή Buffer Amplifier. Για τους σκοπούς της εξομοίωσης, χρησιμοποιούμε μια ιδανική πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος V1 και ένα πολύ ελαφρύ **παθητικό** φορτίο  $R_{load}=1M\Omega$ , ώστε να μην αλλοιώνει την θεωρητική λειτουργία του κυκλώματος, καθώς εδώ θέλουμε να μελετήσουμε τα χαρακτηριστικά της Βαθμίδας 1. (Αλλά και στο πραγματικό κύκλωμα το επόμενο στάδιο είναι αρκετά «ιδανικό», αφού αποτελείται από τελεστικό ενισχυτή που έχει αρκετά μεγάλη εμπέδηση.)

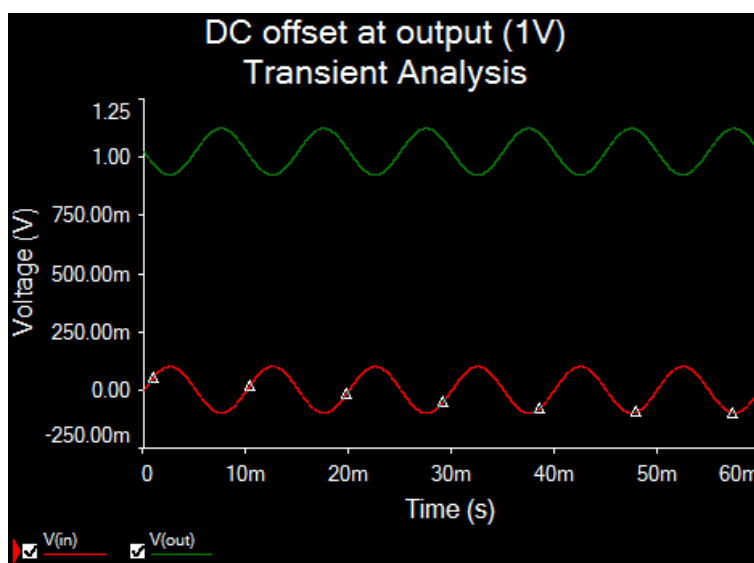
Σκοπός της Βαθμίδας 1 βέβαια, εκτός από την απομόνωση της επόμενης Βαθμίδας από την προηγούμενη πηγή, είναι και ο καθορισμός του DC offset ολόκληρου του κυκλώματος. Όπως βλέπουμε στο Σχήμα 1, η (+) είσοδος του ενισχυτή δεν είναι συνδεδεμένη στην γείωση, αλλά σε ένα διαιρέτη τάσης. Οπότε η τιμή που μπορεί να πάρει είναι από 0V έως 9V (που είναι η θετική τροφοδοσία).

Για την παραδοσιακή λειτουργία της Βαθμίδας 1 σαν ενισχυτή με μοναδιαίο κέρδος, η (+) θα πρέπει να παραμένει κοντά στο 0V. Ωστόσο, αυξάνοντας την τάση στην (+) πετυχαίνουμε την παραγωγή DC offset στην έξοδο του



ενισχυτή. Οπότε, εισάγοντας ένα AC σήμα στην (-) είσοδο του ενισχυτή με X Volts στην (+) είσοδο, η έξοδος θα είναι το AC σήμα μας, ανεβασμένο κατά X Volts στον άξονα y.

Πιο εμπειριστατωμένα θα λέγαμε, ότι το zero-crossing point του AC σήματός μας έχει γίνει από 0V σε X Volt. Για παράδειγμα στο Σχήμα 2, βλέπουμε μία εξομοίωση στο χρόνο (time domain) για τη Βαθμίδα 1, που φαίνεται στο Σχήμα 1. Δίνοντας ένα AC σήμα 70.71 mVrms στην (-) είσοδο και 1V στην (+) είσοδο, η παραγόμενη έξοδος (πράσινη κυματομορφή στο Σχήμα 2), είναι το ίδιο AC σήμα αλλά «ανεβασμένο» κατά περίπου 1V στον άξονα y.



Σχήμα 2: Εξομοίωση στο time domain της Βαθμίδας 1.

Προφανώς και δίνοντας αρκετή τάση στην (+) είσοδο μπορεί να ξεπεράσουμε τα όρια που ισχύουν για το εύρος των εισόδων αλλά και το εύρος των εξόδων. Στην περίπτωση αυτή, ο ενισχυτής παύει να συμπεριφέρεται με γραμμικό τρόπο.

Όπως μάθαμε από την θεωρία μια είσοδος δεν μπορεί να έχει τάση ψηλότερη από  $V_{CC}-V_{CM(HI)}$  και χαμηλότερη από  $V_{DD}-V_{CM(LO)}$ . Στην περίπτωση μας ενδιαφέρει μόνο η περίπτωση του θετικού ορίου, καθώς ο ενισχυτής έχει

συμμετρική τροφοδοσία και η (+) είσοδος του, μπορεί να έχει τάση μόνο στο διάστημα [0V, 9V].

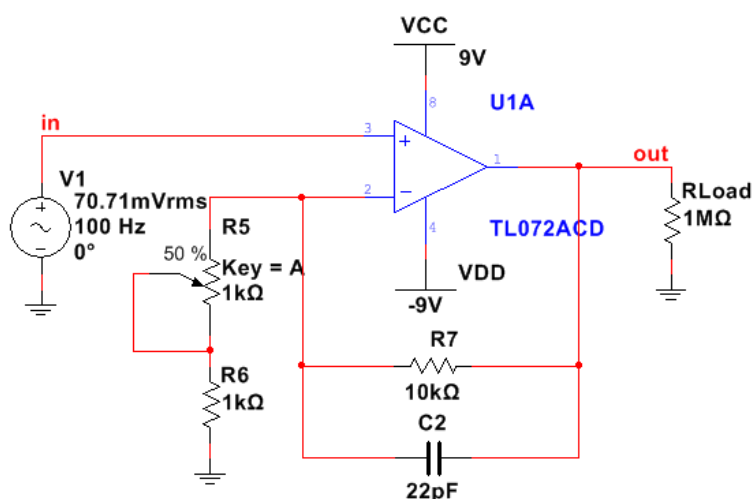
Όπως και για τις εισόδους, όρια υπάρχουν και για τις εξόδους. Για την περίπτωση μας η έξοδος της Βαθμίδας 1, μπορεί να οδηγήσει τον ενισχυτή σε *Saturation*, όταν περάσει το θετικό όριο  $V_{CC} - V_{SAT(HI)}$ .

Εάν στην έξοδο της Βαθμίδας 1 συνδεθεί η επόμενη Βαθμίδα και έχουμε αρκετό DC offset στην έξοδο, τότε η επόμενη Βαθμίδα μπορεί να υπεροδηγηθεί κοντά στα όρια της θετικής του τροφοδοσίας και να αρχίσει να ψαλιδίζει (clipping) το σήμα. Όσο πιο πολύ DC offset έχει η έξοδος της Βαθμίδας 1, τόσο πιο έντονο θα είναι το clipping στη Βαθμίδα; 2 και συνεπώς η αρμονική παραμόρφωση.

## Κεφάλαιο 2.2: Βαθμίδα 2

Η Βαθμίδα 2 είναι ένας κοινός μη-αναστρέφων τελεστικός ενισχυτής με αρνητική ανάδραση. Η Βαθμίδα 2 είναι υπεύθυνη εξολοκλήρου για την ενίσχυση της τάσης του σήματος, καθώς οι Βαθμίδες 1 και 3 είναι ενισχυτές με μοναδιαίο κέρδος τάσης. Στο Σχήμα 3 απεικονίζεται το κύκλωμα της Βαθμίδας

2, μαζί με μια ιδανική πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος V1 και ενός παθητικού ελαφρού φορτίου  $R_{Load}=1M\Omega$



Σχήμα 3: Βαθμίδα 2, μη-ανάστροφος ενισχυτής τάσης με αρνητική ανάδραση.

Το κέρδος τάσης της Βαθμίδας 2 ορίζεται από την εξίσωση:

$$A_v = 1 + \frac{R_f}{R_g} = 1 + \frac{R7}{R5 + R6}$$

Η R5 είναι στην πραγματικότητα μια μεταβλητή αντίσταση – ένα ποτενσιόμετρο 3 άκρων – που καθορίζει το κέρδος τάσης της Βαθμίδας 2. Έτσι το μέγιστο κέρδος τάσης που μπορούμε να πετύχουμε είναι:

$$A_{v(MAX)} = 1 + \frac{10k\Omega}{1k\Omega} = 11$$

και το ελάχιστο:

$$A_{v(MIN)} = 1 + \frac{10k\Omega}{11k\Omega} \cong 1.909$$

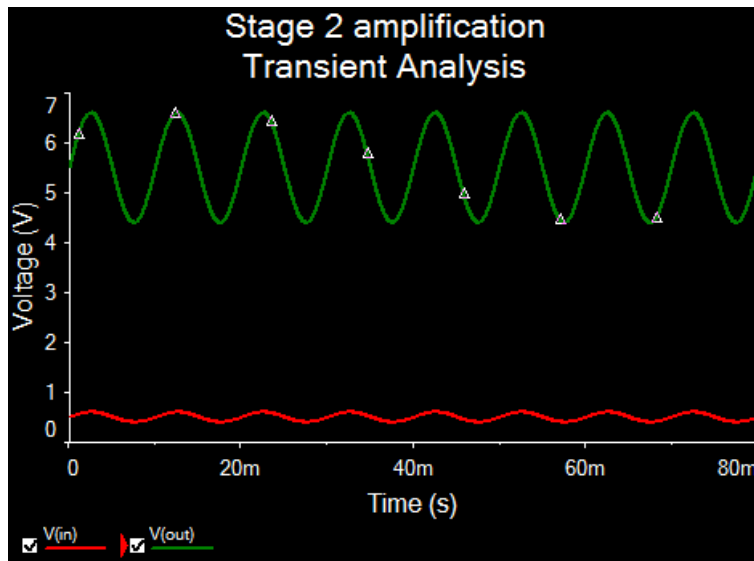
Εάν η προηγούμενη Βαθμίδα μας έχει παράγει DC offset στην έξοδό του, τότε προφανώς αυτό το DC offset θα το λάβει η Βαθμίδα 2 και θα το ενισχύσει και αυτό ακριβώς, όπως ενισχύει και το εναλλασσόμενο σήμα. Μπορούμε να επινοήσουμε μία εξίσωση που θα περιέχει και την περίπτωση που υπάρχει DC offset στις εισόδους της Βαθμίδας 2 και μας δίνει την παραγόμενη τάση στην έξοδο:

$$V_{out} = V_{in(DC)} \cdot A_v + V_{in(ACRMS)} \cdot A_v$$

Όπου  $V_{in(DC)}$  είναι η τάση του DC offset στην είσοδο,  $V_{in(ACRMS)}$  είναι η RMS τάση του σήματος χωρίς το DC offset και  $A_v$  είναι το κέρδος τάσης της τοπολογίας της Βαθμίδας 2. Ο όρος  $V_{in(DC)}A_v$  του δεξιού μέρους της εξίσωσης μας δείχνει το ενισχυμένο πλέον DC offset που θα υπάρχει στην έξοδο της Βαθμίδας 2 και ο όρος  $V_{in(ACRMS)}A_v$  την RMS τάση του ενισχυμένου σήματος μόνο (χωρίς offset) στην έξοδο. Για παράδειγμα εάν είχαμε στην είσοδο 0.5V DC offset και 70.71mVrms AC σήμα, με  $R5 = 0\Omega$  (ώστε να πετύχουμε το μέγιστο κέρδος τάσης), τότε θα παίρναμε τάση εξόδου:

$$V_{out} = 0.5V \cdot 11 + 0.07071 \cdot 11 = 5.5V + 0.77781$$

Το οποίο σημαίνει ότι θα έχουμε 5.5V DC offset και επιπλέον ένα σήμα 0.7781V RMS στην έξοδο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4: Ενίσχυση στη Βαθμίδα 2

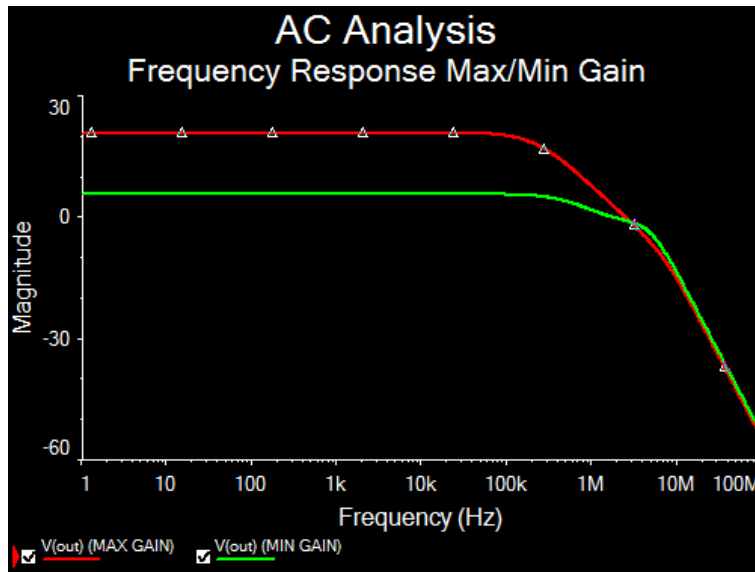
Ο πυκνωτής C2 στον ενισχυτή λειτουργεί σαν ενεργό χαμηλοπερατό φίλτρο και βοηθάει στο να έχει ο ενισχυτής καλύτερη συχνотική απόκριση (γραμμικότητα), στην σταθερότητα – μειώνοντας την ενίσχυση των υψηλών συχνοτήτων, που είτε μπορεί να προκαλέσουν ταλάντωση, είτε δεν θέλουμε να τις περάσουμε στην επόμενη Βαθμίδα. Στα Σχήματα 5 και 6 φαίνεται η συχνотική απόκριση της Βαθμίδας 2 με τον  $C2 = 22\text{pF}$ , καθώς και η απόκριση φάσεως. Από την απόκριση φάσεως βλέπουμε, ότι ο C2 δεν πρόκειται θεωρητικά ποτέ να προκαλέσει πρόβλημα σταθερότητας, καθώς η φάση έχει περάσει τις  $90^\circ$  πριν το κέρδος τάσης να είναι μικρότερο του μοναδιαίου (0dB) (κριτήριο Nyquist).

Στο κύκλωμά μας, το φίλτρο που υλοποιείται από τον C2, R5, R6 και R7 στο βρόγχο της ανάδρασης, είναι 1<sup>ης</sup> τάξεως και η συχνότητα αποκοπής  $f_{-3\text{dB}}$  του φίλτρου είναι περίπου:

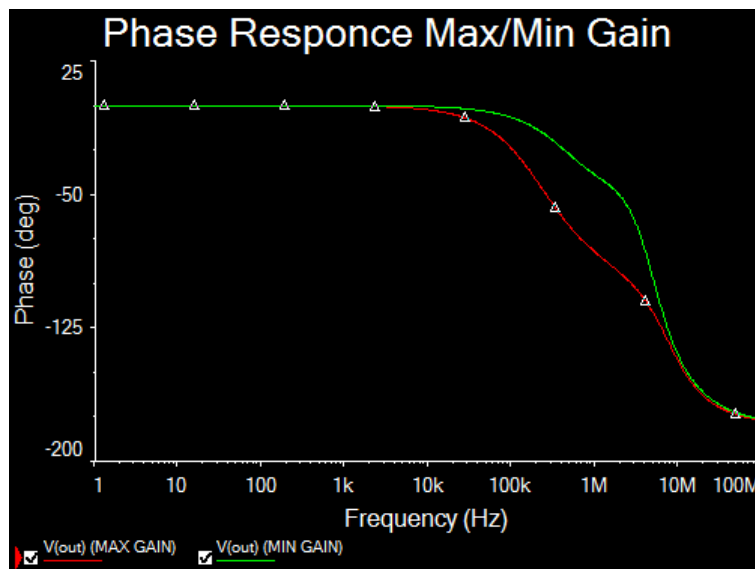
$$f_{-3\text{dB}} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi(R7 \parallel (R5 + R6))C2}$$

Το τελικό φίλτρο θα είναι 2<sup>ας</sup> ή και παραπάνω τάξης, καθώς περιλαμβάνει και την συχνотική απόκριση του ίδιου του τελεστικού ενισχυτή (όπως φαίνεται από τα Σχήματα 5 και 6, όπου φαίνονται οι διάφοροι πόλοι).

Και στις δύο περιπτώσεις (μέγιστο και ελάχιστο κέρδος τάσης) βλέπουμε ότι ο πυκνωτής C2, δεν επηρεάζει τις ακουστές συχνότητες, καθώς ο πρώτος πόλος βρίσκεται πολύ παραπάνω από τα 22 kHz.



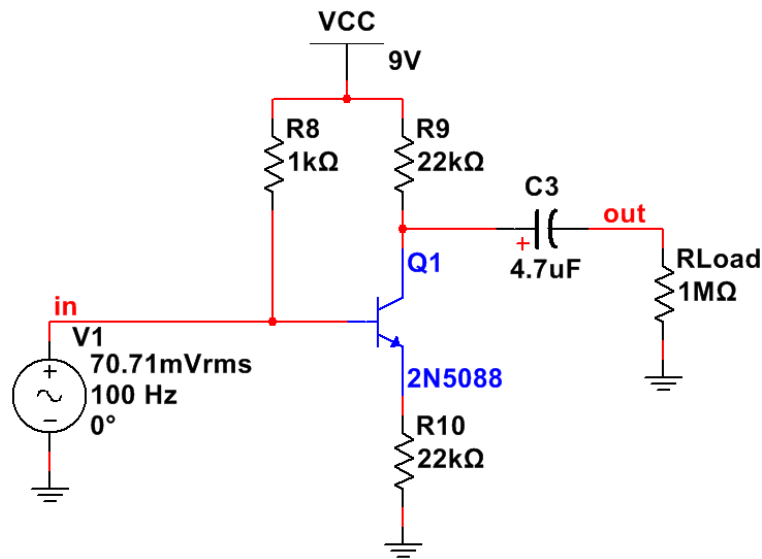
Σχήμα 5: Συχνотική απόκριση Βαθμίδας 2 (Κόκκινο:  $R5=0\Omega$ , Πράσινο:  $R5=10k\Omega$ )



Σχήμα 6: Απόκριση φάσεως Βαθμίδας 2 (Κόκκινο:  $R5=0\Omega$ , Πράσινο:  $R5:10k\Omega$ )

### Κεφάλαιο 2.3: Βαθμίδα 3

Η Βαθμίδα 3 υλοποιεί έναν αναστρέφοντα ενισχυτή μοναδιαίου κέρδους τάσης, χρησιμοποιώντας ένα τρανζίστορ σε τοπολογία κοινού εκπομπού (common emitter). Στο Σχήμα 7 φαίνεται το κύκλωμα της Βαθμίδας 3.



Σχήμα 7: Βαθμίδα 3, ανάστροφος ενισχυτής κοινού εκπομπού

Το κέρδος τάσης ενός τέτοιου κυκλώματος δίνεται από την εξίσωση:

$$A_v = -\frac{R_c}{R_e} = -\frac{R9}{R10} = -\frac{22k\Omega}{22k\Omega} = -1$$

Ο πυκνωτής C3 στην έξοδο της Βαθμίδας, λειτουργεί σαν πυκνωτής σύζευξης (coupling capacitor) απαγορεύοντας οποιοδήποτε DC ρεύμα να εξέλθει/εισέλθει από/προς το κύκλωμα. Αναπόφευκτα χρησιμοποιώντας έναν πυκνωτή εξόδου, δημιουργούμε και ένα υψιπερατό φίλτρο. Για να μην χαλάσουμε την απαιτούσα λειτουργία του κυκλώματος, πρέπει να επιλέξουμε μία κατάλληλη τιμή χωρητικότητας για τον πυκνωτή C3. Η συχνότητα αποκοπής  $f_{-3dB}$  τού φίλτρου εξαρτάται από την τιμή του C3 καθώς και από την **επόμενη αντίσταση/εμπέδηση**. Για το Σχήμα 7 έχουμε:

$$f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi R_{Load} C3} = 0.03383 \text{ Hz}$$

Βέβαια αυτή η συχνότητα αποκοπής ισχύει για το ελαφρύ φορτίο  $R_{Load} = 1\text{M}\Omega$ . Το πραγματικό κύκλωμα περιλαμβάνει στην έξοδο της Βαθμίδας 3 ένα διαιρέτη τάσης, που λειτουργεί σαν ρυθμιστής έντασης και επίσης κάποια άλλη συσκευή συνδεδεμένη σε σειρά μετά από αυτό. Ο συνδυασμός της αντίστασης ρυθμιστή εξόδου και της εμπέδησης εισόδου της επόμενης συσκευής μαζί με τον πυκνωτή  $C3$ , αλλάζουν την συχνότητα αποκοπής του φίλτρου. Για συσκευές όπως ενισχυτές κιθάρας, κάρτες ήχου και συστήματα PA, δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα, καθώς διαθέτουν μεγάλη εμπέδηση εισόδου, οπότε η συχνότητα αποκοπής που δημιουργείται, είναι πολύ κοντά στην θεωρητική με το φορτίο  $R_{Load} = 1\text{M}\Omega$ . Για συσκευές όπως πετάλια (stomp boxes) για κιθάρα, που ίσως έχουν χαμηλότερη εμπέδηση εισόδου, η συχνότητα αποκοπής ίσως ανέβει. Αυτό μπορεί να αποτελεί αυτοσκοπό, για την δημιουργία κάποιου είδους εφέ, ή να είναι αναπόφευκτο και μη ηθελημένο δημιούργημα.

Για παράδειγμα εάν το επόμενο κύκλωμα διαθέτει εμπέδηση εισόδου  $R_{in} = 1\text{k}\Omega$  και ο ρυθμιστής έντασης  $R_{Vol}$  είναι στην μέγιστη αντίσταση (0dB εξασθένηση) τότε:

$$f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi(R_{in} || R_{Vol})C3} = \frac{1}{2\pi(1\text{k}\Omega || 50\text{k}\Omega)4.7\mu\text{F}} \approx \frac{1}{2\pi \cdot 1\text{k}\Omega \cdot 4.7\mu\text{F}} = 33.86 \text{ Hz}$$

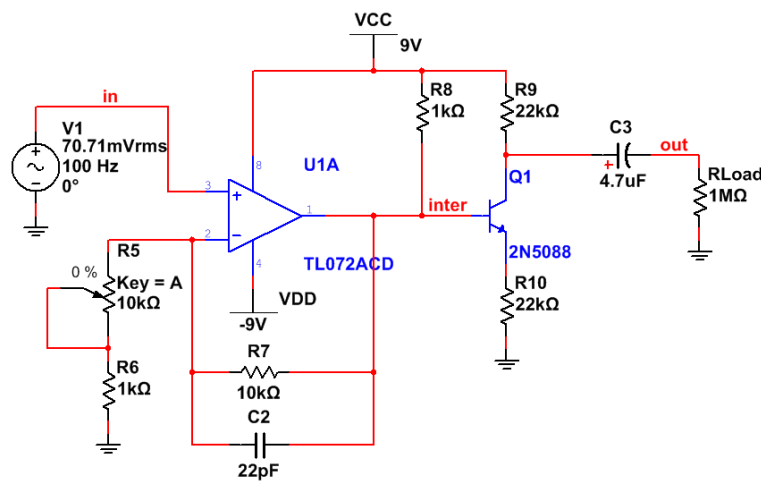
Σε αυτήν την περίπτωση η συχνότητα αποκοπής έχει αυξηθεί, αλλά και πάλι δεν έχει αυξηθεί, τόσο ώστε να επηρεάσει το εύρος συχνοτήτων στο οποίο λειτουργεί μία ηλεκτρική κιθάρα.

Ας εισέλθουμε τώρα στο σημαντικό μέρος της Βαθμίδας 3. Όπως γνωρίζουμε από τη θεωρία, για να λειτουργήσει ένας ενισχυτής τρανζίστορ χωρίς συμμετρική τροφοδοσία, πρέπει να γίνει κάποιου είδους πόλωση στην τάση της βάσης του τρανζίστορ, ώστε και να ξεπεραστεί η τάση κατωφλίου της PN ζεύξης βάσης-εκπομπού  $V_{be}$  του τρανζίστορ, έτσι ώστε να εισέλθει το τρανζίστορ από την περιοχή αποκοπής στην ενεργή περιοχή, αλλά και να θέσει στο τρανζίστορ ένα σημείο λειτουργίας (Q point) που εμείς επιθυμούμε, σύμφωνα πάντα με τις χαρακτηριστικές καμπύλες του εκάστοτε μοντέλου τρανζίστορ.

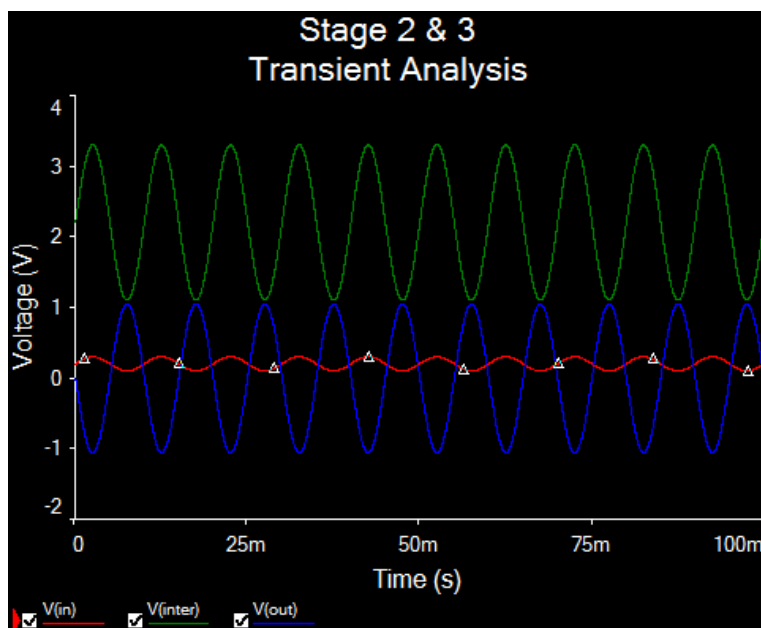
Στη Βαθμίδα 3 δεν υπάρχει κάποιου είδους πόλωση στην βάση του, γιατί η τάση της είναι κοντά στην γείωση (0V). Οπότε η λειτουργία του τρανζίστορ και το κατά πόσο αυτό θα βρίσκεται στην ενεργή περιοχή, εξαρτάται από το DC offset, που υπάρχει στην έξοδο της Βαθμίδας 2 μαζί με το AC σήμα. Έτσι για παράδειγμα εάν έχουμε ένα DC offset περίπου 4.5V, τότε η Βαθμίδα 3 βρίσκεται περίπου στην μέση της ενεργής περιοχής. Στο Σχήμα 8 φαίνονται οι Βαθμίδες 2 και 3 συνδεδεμένες και στο Σχήμα 9 φαίνεται η είσοδος – έξοδος και η ενδιάμεση κυματομορφή από τη Βαθμίδα 2 στη Βαθμίδα 3. Η είσοδος

που δίνεται στη Βαθμίδα 2, είναι ένα AC σήμα 70.71 mVrms μαζί με DC offset 0.2V. Σύμφωνα με αυτά που εξηγήσαμε στην προηγούμενη παράγραφο για τη Βαθμίδα 2, η ενδιάμεση έξοδος (*inter* σήμα στο Σχήμα 9) θα πρέπει να περιέχει 2.2V DC offset και ένα AC σήμα 777.81 mVrms. Τώρα στην βάση του τρανζίστορ της Βαθμίδας 3, υπάρχει τάση πόλωσης ίση με το DC offset που παράχθηκε από τη Βαθμίδα 2,  $V_{bias} = 2.2V$  DC, η οποία βάζει το τρανζίστορ στην ενεργή περιοχή και η οποία με την σειρά της, βγάζει ένα ανεστραμμένο AC σήμα χωρίς παραμόρφωση, περίπου ίσο με το AC σήμα που παράχθηκε από τη Βαθμίδα 2, δηλαδή ίσο με 771.81 mVrms. Ο πυκνωτής εξόδου C3 θα αποκόψει οποιοδήποτε DC offset και θα αφήσει μόνο αυτό το AC σήμα στην έξοδο.

Συνοψίζοντας, βλέπουμε ότι η λειτουργία της Βαθμίδας 3 (σημείο λειτουργίας τρανζίστορ), εξαρτάται άμεσα από την έξοδο της Βαθμίδας 2.



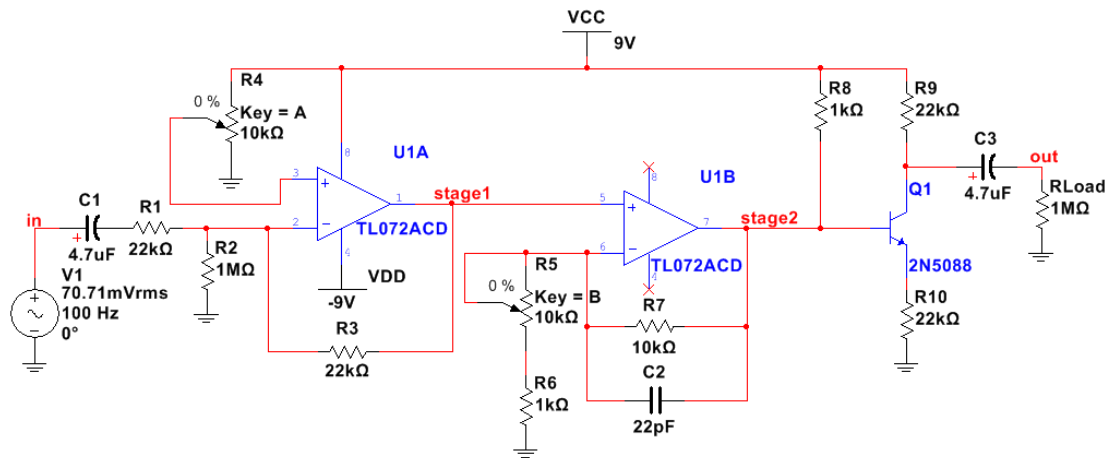
Σχήμα 8: Συνδυασμός Βαθμίδων 2 & 3



Σχήμα 9: Ενισχύση από τις Βαθμίδες 2 & 3



## Κεφάλαιο 2.4: Συνδυάζοντας τις Βαθμίδες 1, 2 και 3



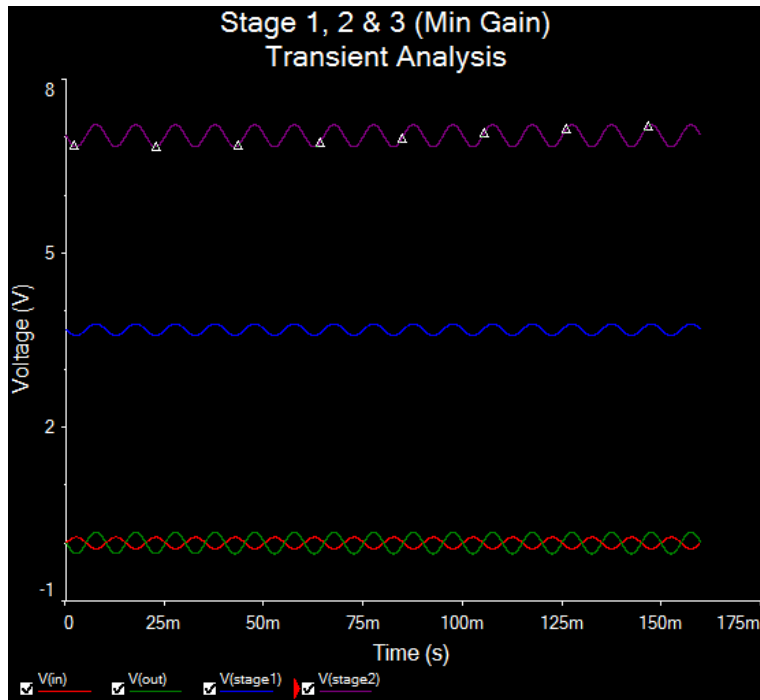
Σχήμα 10: Βαθμίδες 1,2 και 3 σε κύκλωμα

Όπως είδαμε στα προηγούμενα κεφάλαια, μόνο η Βαθμίδα 2 είναι ενισχυτής τάσης με αρκετό κέρδος και οι Βαθμίδες 1 και 3 είναι απλά αναστροφοί ενισχυτές μοναδιαίου κέρδους. Συνδυάζοντας τις Βαθμίδες αυτές, είναι

σημαντικό να βρούμε περιπτώσεις στις οποίες το κύκλωμα αρχίζει να ψαλιδίζει ένα σήμα.

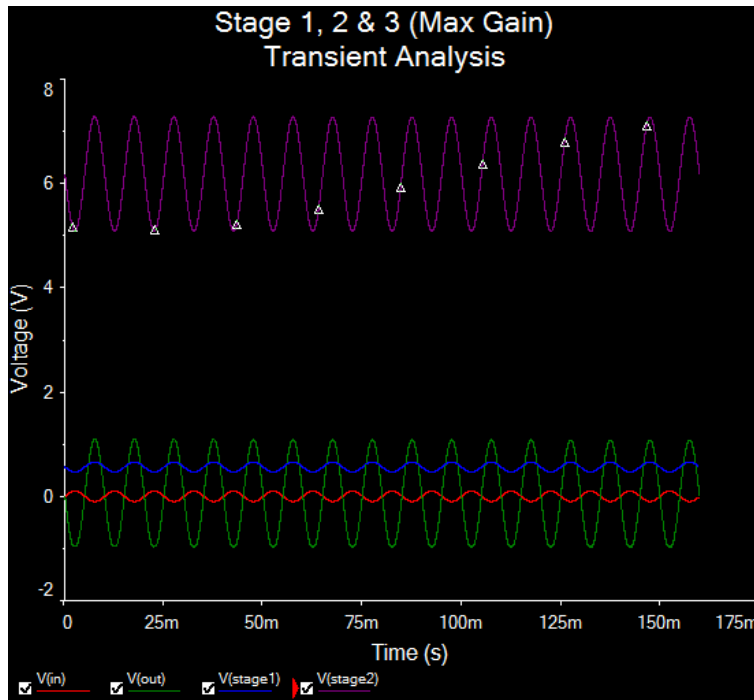
Πρώτα ας εξετάσουμε την περίπτωση στην οποία η Βαθμίδα 2 έχει ρυθμιστεί ώστε να δίνει ελάχιστο κέρδος τάσης, το σήμα εισόδου του κυκλώματος είναι 70.71 mVrms (100Vpeak) και πρέπει να βρούμε την τάση που δίνει το ποτενσιόμετρο R4 στην (+) είσοδο της Βαθμίδας 1 (U1A), ώστε το σήμα να βρίσκεται ακριβώς κάτω από το όριο που το κύκλωμα αρχίζει να παραμορφώνει. Η τάση στην (+) είσοδο της Βαθμίδας 1, παράγει DC offset στην είσοδο της Βαθμίδας 2, που ενισχύεται από τη Βαθμίδα 2 και βγαίνει στην είσοδο της Βαθμίδας 3.

Για τάση 3.24V DC στην (+) είσοδο της Βαθμίδας 1, παράγεται 3.658V DC στην είσοδο της Βαθμίδας 3. Αυτό το σημείο λειτουργίας για τη Βαθμίδα 3, σημαίνει ότι η τάση 70.71mVrms βρίσκεται στο όριο πριν το κύκλωμα αρχίσει να παραμορφώνει και οτιδήποτε πάνω από αυτήν την τιμή, θα παράξει μία παραμορφωμένη έξοδο. Στο Σχήμα 11 βλέπουμε την είσοδο/έξοδο, καθώς και τα σήματα που παράγονται στις εξόδους των Βαθμίδων 1 και 2, V(stage1) και V(stage2) αντίστοιχα. Εάν η είσοδος ή το κέρδος της Βαθμίδας 2 αυξηθούν λίγο, τότε το σήμα θα αρχίσει να ψαλιδίζεται λόγω της υπεροδήγησης του **τομέα εξόδου** ( $V_{SAT(HI)}$ ) της Βαθμίδας 2 και συγκεκριμένα της θετικής μεριάς του σήματος, επειδή πλησιάζει την θετική τροφοδοσία.



Σχήμα 11: Βαθμίδες 1,2 και 3 ακριβώς πριν το όριο παραμόρφωσης ( $R5=10k\Omega$ )

Για μέγιστο κέρδος τάσης βλέπουμε αντίστοιχα, ότι για να μην παραμορφώνει το σήμα η τάση στην (+) είσοδο της Βαθμίδας 1, θα πρέπει να είναι 0.555V DC, το οποίο μεταφράζεται ως 6.238 V DC στην είσοδο της Βαθμίδας 3. Εάν το σήμα της εισόδου αυξηθεί λίγο, τότε η πρώτη Βαθμίδα που θα αρχίζει να παραμορφώνει την κυματομορφή, θα είναι η Βαθμίδα 3 και συγκεκριμένα την αρνητική μεριά της κυματομορφής του σήματος (επειδή αρχίζει το τρανζίστορ της Βαθμίδας 3 να μπαίνει και στην περιοχή αποκοπής). Αυξάνοντας κι άλλο το σήμα, θα αρχίσει να παραμορφώνει και τη Βαθμίδα 2 με την σειρά του, ψαλιδίζοντας την θετική μεριά του σήματος (επειδή η έξοδος του πλησιάζει την θετική τροφοδοσία).



Σχήμα 12: Βαθμίδες 1, 2 και 3 ακριβώς πριν το όριο παραμόρφωσης ( $R5=0k\Omega$ ).

Η τάση που δίνεται στην (+) είσοδο της Βαθμίδας 1, μπορεί να καθορίσει ποια Βαθμίδα θα αρχίσει να υπεροδηγείται (Βαθμίδα 2 ή 3), άρα να καθορίζει ποια πλευρά του σήματος θα ψαλιδίζεται. Όσο αυξάνουμε την τάση αυτή, τόσο πιο πολύ πλησιάζει η έξοδος της Βαθμίδας 2 στην θετική τροφοδοσία και η θετική πλευρά του σήματος αρχίζει να ψαλιδίζεται. Αντίθετα όσο την μειώνουμε, τόσο πιο πολύ κινδυνεύει το τρανζίστορ της Βαθμίδας 3, να εισέλθει στην περιοχή αποκοπής και να ψαλιδίσει την αρνητική πλευρά του σήματος.

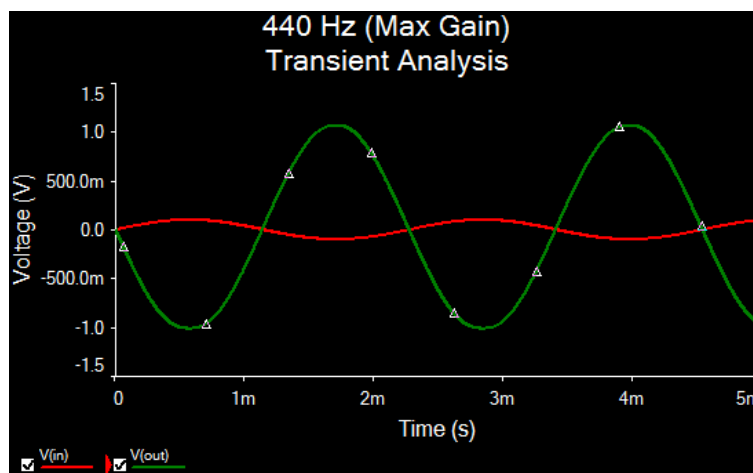
Η Βαθμίδα 2 δεν μπορεί να ψαλιδίσει το σήμα στην αρνητική του πλευρά, διότι η τροφοδοσία είναι συμμετρική και το σήμα δεν μπορεί να φτάσει ποτέ κοντά στην αρνητική τροφοδοσία. Επίσης η Βαθμίδα 3 δεν μπορεί να ψαλιδίσει την θετική πλευρά του σήματος, γιατί ή θα έχει ψαλιδισθεί από πριν στη Βαθμίδα 2 (οι Βαθμίδες έχουν ίδια θετική τροφοδοσία 9V) και αν δεν έχει ψαλιδισθεί στη Βαθμίδα 2, θα είναι χαμηλότερα από το όριο ψαλιδισμού της Βαθμίδας 3 για την θετική πλευρά.

## Κεφάλαιο 2.5: Εξομοίωση κυκλώματος για 440/800 Hz

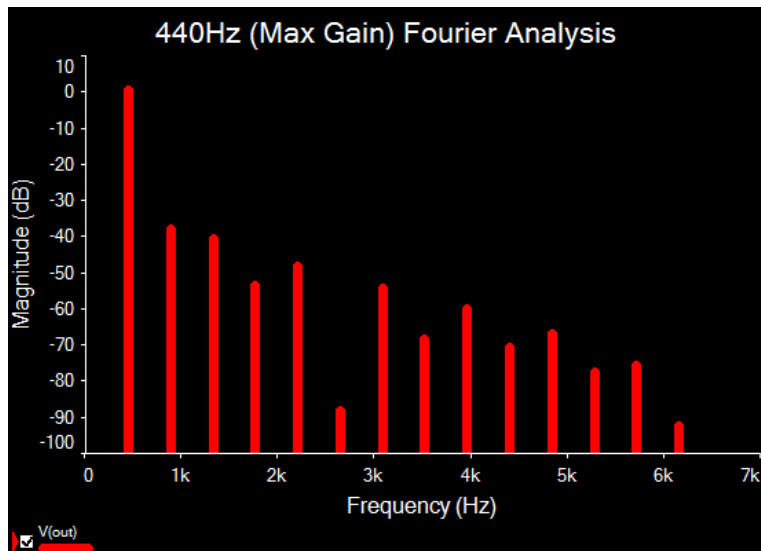
Η εξομοίωση θα ήταν ελλιπής, αν δεν δοκιμάζαμε το κύκλωμα και για εισόδους διαφορετικών συχνοτήτων. Σε αυτήν την ενότητα εξετάζουμε το θεωρητικό και το πρακτικό κύκλωμα για τις συχνότητες των 440 Hz και 880 Hz (νότες A4 και A5). Εξετάζουμε την απόκριση του κυκλώματος συναρτήσει του χρόνου (time domain). Επίσης κάνουμε ανάλυση Fourier (FFT) για την μελέτη 14 αρμονικών συχνοτήτων.

1.α. Είσοδος 440 Hz 70.71 mVrms και ρύθμιση για μέγιστο κέρδος,  $R5=0k\Omega$ .

Στο Σχήμα 13 φαίνεται η χρονική απόκριση για αυτές τις παραμέτρους και στο Σχήμα 14 φαίνεται η ανάλυση Fourier για 14 αρμονικές συχνοτήτες μαζί με την βασική. Βλέπουμε τη σχετικά έντονη παρουσία της 2<sup>ης</sup> (οκτάβας) και 3<sup>ης</sup> αρμονικής, ωστόσο αρκετά χαμηλότερα από την βασική.



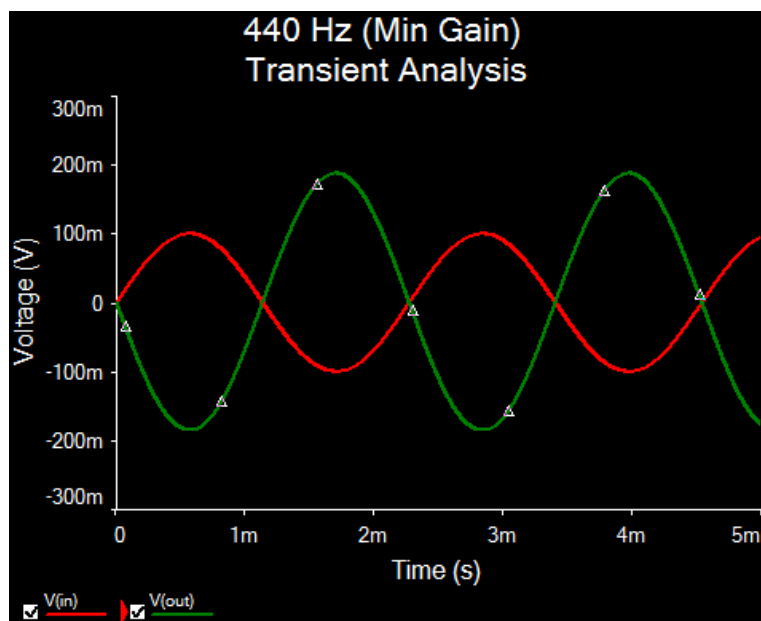
Σχήμα 13: Είσοδος 440 Hz 70.71 mVrms,  $R5=0k\Omega$ .



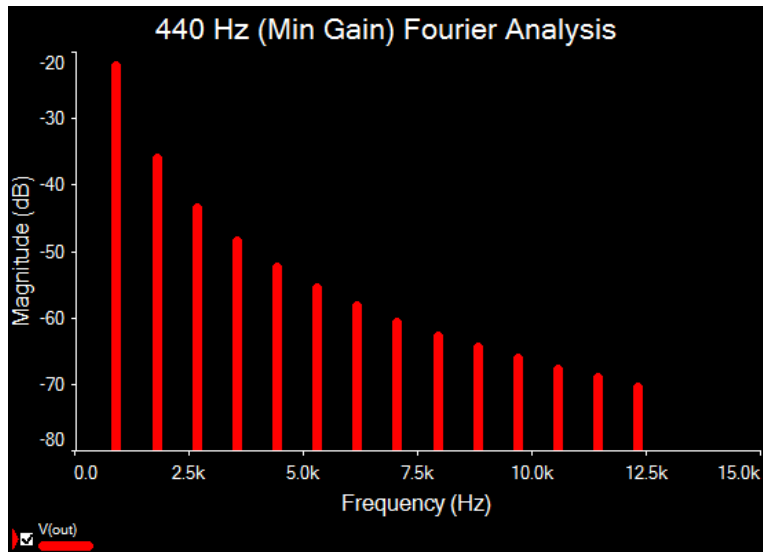
Σχήμα 14: Αρμονικές για είσοδο 440 Hz 70.71 mVrms, R5=0kΩ.

1.β. Είσοδος 440 Hz 70.71 mVrms και ρύθμιση για ελάχιστο κέρδος, R5=10kΩ.

Στα σχήματα 15 και 16 φαίνονται η χρονική απόκριση και ανάλυση Fourier αντίστοιχα. Να σημειώσουμε ότι με αυτές τις παραμέτρους η αρμονική απόκριση δείχνει, όλες τις επόμενες αρμονικές πέραν της βασικής, να ελαττώνονται ομοιόμορφα με πρώτη σε ένταση την 2<sup>η</sup> αρμονική.



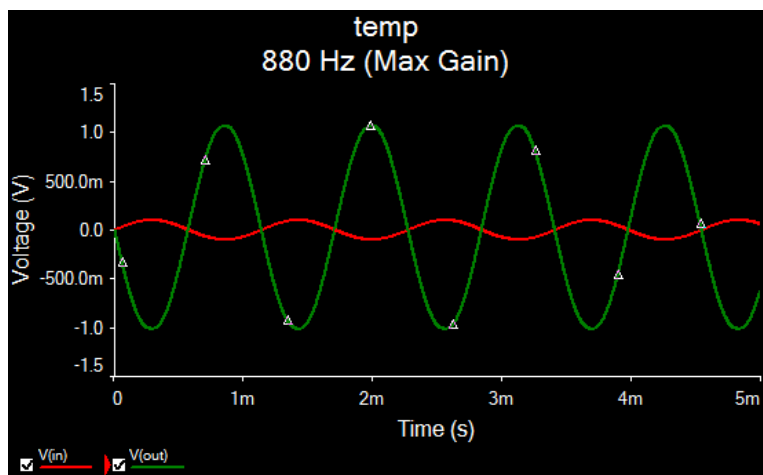
Σχήμα 15: Είσοδος 440 Hz 70.71 mVrms, R5 = 10kΩ.



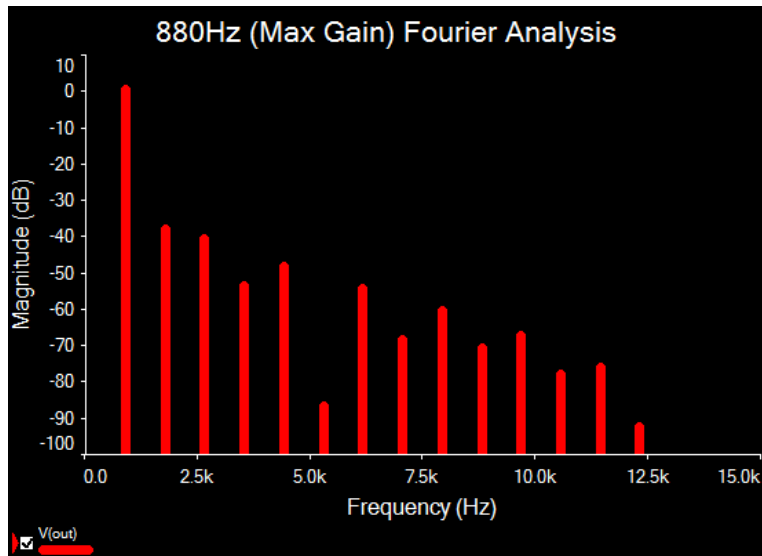
Σχήμα 16: Αρμονικές για είσοδο 440 Hz 70.71 mVrms, R5=10kΩ.

2.α. Είσοδος 880 Hz 70.71 mVrms και ρύθμιση για μέγιστο κέρδος, R5=0kΩ.

Στα σχήματα 17 και 18 φαίνονται η χρονική απόκριση και η ανάλυση Fourier αντίστοιχα. Στο Σχήμα 18 βλέπουμε την κατανομή των αρμονικών συχνοτήτων, να μοιάζει αρκετά με αυτήν που είχαμε για είσοδο 440 Hz (1.α., Σχήμα 14)



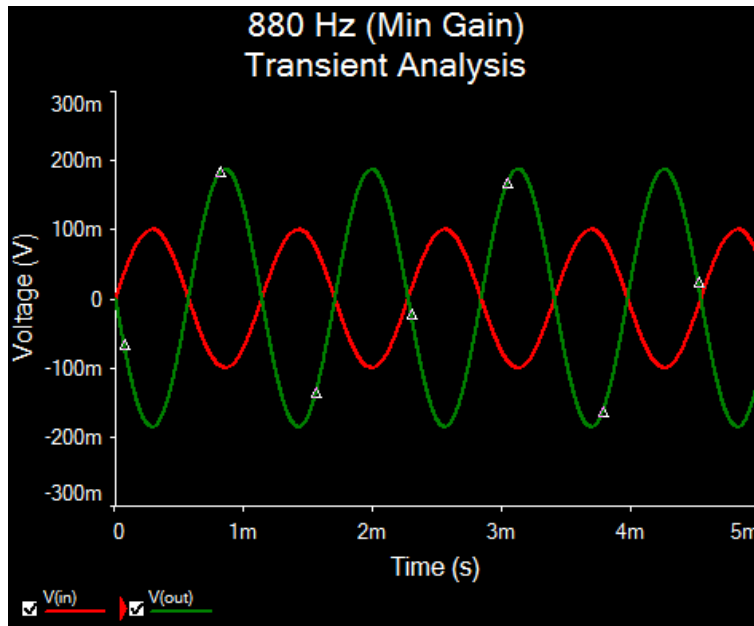
Σχήμα 17: Είσοδος 880 Hz 70.71 mVrms, R5=0kΩ.



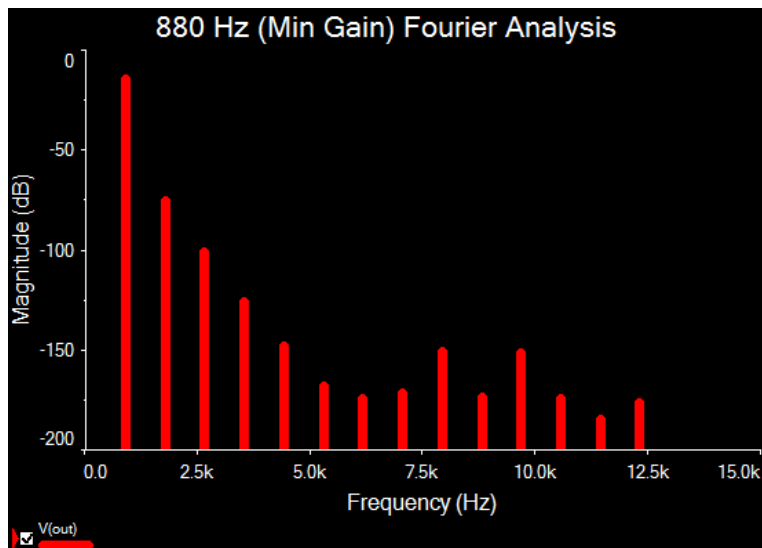
Σχήμα 18: Αρμονικές για είσοδο 880 Hz 70.71 mVrms, R5=0kΩ.

2.β. Είσοδος 880 Hz 70.71 mVrms και ρύθμιση για ελάχιστο κέρδος, R5=10kΩ.

Στα σχήματα 19 και 20 φαίνονται η χρονική απόκριση και η ανάλυση Fourier αντίστοιχα. Αντίθετα με την ομοιότητα των Σχημάτων 18 και 14 για την κατανομή των αρμονικών με βασικές τις 880 Hz και 440 Hz αντίστοιχα, η κατανομή αρμονικών εδώ, δεν μοιάζει με την αντίστοιχη περίπτωση των 440Hz (1.β., Σχήμα 16). Σε αυτήν εδώ την κατανομή βλέπουμε μια επαύξηση των αρμονικών 8 έως 12, αντί να ελαττώνονται ομοιόμορφα όπως στο Σχήμα 16.



Σχήμα 19: Είσοδος 880 Hz 70.71 mVrms,  $R_5=10k\Omega$ .



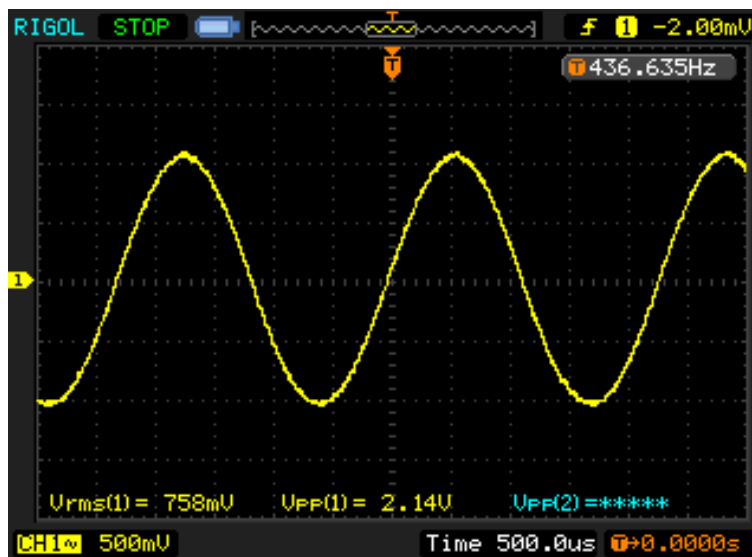
Σχήμα 20: Αρμονικές για είσοδο 880 Hz 70.71 mVrms,  $R_5=10k\Omega$ .



### Κεφάλαιο 3: Πειραματική μέτρηση με Παλμογράφο

Σε αυτήν την ενότητα δείχνουμε τις μετρήσεις που έγιναν με παλμογράφο και αντιστοιχούν στις περιπτώσεις εξομοίωσης της προηγούμενης ενότητας.

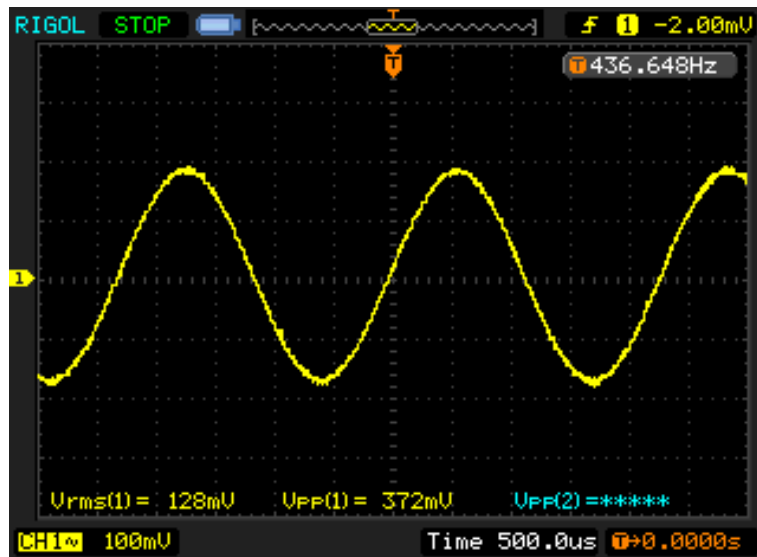
1.α. Είσοδος 440 Hz 70.71 mVrms και ρύθμιση για μέγιστο κέρδος,  $R5=0k\Omega$ . (Σχήμα 21).



Σχήμα 21: Είσοδος 440 Hz 70.71 mVrms,  $R5=0k\Omega$ .

Συγκρίνοντας την κυματομορφή της εξομοίωσης του Σχήματος 13 με την μέτρηση στο Σχήμα 21, βλέπουμε ότι δεν υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές και η μέτρηση βρίσκεται πολύ κοντά στα θεωρητικά αποτελέσματα.

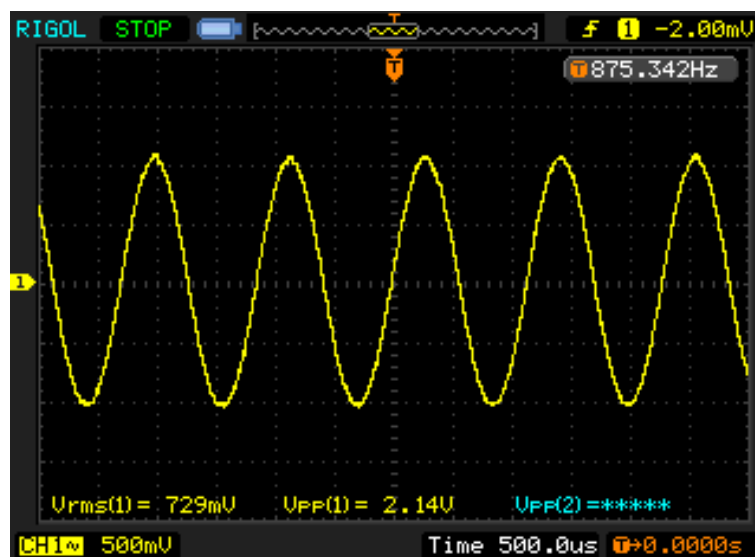
1.β. Είσοδος 440 Hz 70.71 mVrms και ρύθμιση για ελάχιστο κέρδος,  $R5=10k\Omega$ . (Σχήμα 22).



Σχήμα 22: Είσοδος 440 Hz 70.71 mVrms, R5 = 10kΩ.

Συγκρίνοντας το Σχήμα 22 με την αντίστοιχη εξομοίωση στο Σχήμα 15 βλέπουμε ότι τα αποτελέσματα βρίσκονται πάλι πολύ κοντά, απλώς το πειραματικό δείχνει λίγο χαμηλότερο σε ένταση 372mVp-p, αντί ~400mVp-p του θεωρητικού. Αυτή η διαφορά οφείλεται στην μικρή λεπτομέρεια του ποτενσιόμετρου ώστε να μπορέσουμε να θέσουμε ακριβώς το DC offset όπως στην εξομοίωση (coarse granularity).

2.α. Είσοδος 880 Hz 70.71 mVrms και ρύθμιση για μέγιστο κέρδος, R5=0kΩ. (Σχήμα 23).

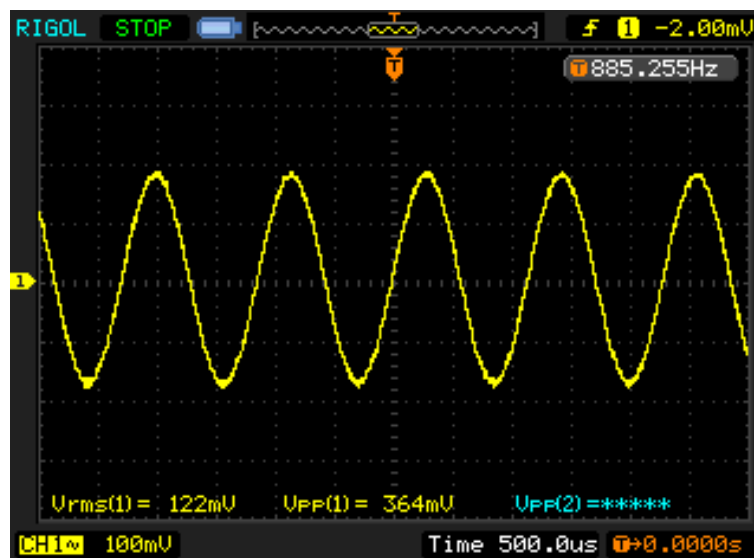


Σχήμα 23: Είσοδος 880 Hz 70.71 mVrms, R5=0kΩ.

Συγκρίνοντας την κυματομορφή της εξομοίωσης του Σχήματος 17 με την μέτρηση στο Σχήμα 23, βλέπουμε ότι δεν υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές και η μέτρηση βρίσκεται πολύ κοντά στα θεωρητικά αποτελέσματα.

2.β. Είσοδος 880 Hz 70.71 mVrms και ρύθμιση για ελάχιστο κέρδος,  $R5=10k\Omega$ . (Σχήμα 24).

Συγκρίνοντας την κυματομορφή της εξομοίωσης του Σχήματος 19 με την μέτρηση στο Σχήμα 24, βλέπουμε ότι δεν υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές και η μέτρηση βρίσκεται πολύ κοντά στα θεωρητικά αποτελέσματα.



Σχήμα 24: Είσοδος 880 Hz 70.71 mVrms,  $R5=10k\Omega$ .

## **Κεφάλαιο 4: Κατασκευαστική Ανάλυση του Κυκλώματος**

Αρχικά στην διάτρητη πλακέτα τοποθετήθηκαν όλα τα εξαρτήματα, έτσι ώστε να μην έχουν αλληλεπίδραση μεταξύ τους, πλην των προγραμματισμένων. Έπειτα σχηματίστηκαν τα χαλκώματα με απογυμνωμένα καλώδια, για τις συνδέσεις των εξαρτημάτων που είχαν απόσταση μεταξύ τους, τέτοια ώστε να μην επιτρέπουν να συνδεθούν τα εξαρτήματα με άλλο τρόπο.

### **Κεφάλαιο 4.1: Πίνακας εξαρτημάτων του κυκλώματος**

Παρακάτω παρατίθενται τα είδη των εξαρτημάτων και οι ποσότητες που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κυκλώματος του πεταλιού υπεροδήγησης.

A/A	ΕΙΔΟΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ
1	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ 1ΜΩ	1
2	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ 22kΩ	4
3	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ 1kΩ	2
4	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ 10kΩ	1
5	ΠΟΤΕΝΣΙΟΜΕΤΡΟ 10kΩ linear	1
6	ΠΟΤΕΝΣΙΟΜΕΤΡΟ 10kΩ log	1
7	ΠΟΤΕΝΣΙΟΜΕΤΡΟ 47kΩ linear	1
8	ΠΥΚΝΩΤΗΣ 22pF	1
9	ΠΥΚΝΩΤΗΣ 4,7μF	2
10	ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΚΥΚΛΩΜΑ TL072	1
11	ΒΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΡΑΝΣΙΣΤΟΡ	3 ΜΟΝΕΣ

Στο κύκλωμα τοποθετήθηκε βάση τρανζίστορ για να μπορούμε να αντικαθιστούμε το εκάστοτε τρανζίστορ με όποιο θέλουμε.

Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία της σύνδεσης των εξαρτημάτων του κυκλώματος, δόθηκε προσοχή στην προσαρμογή του, σε πετάλι για μουσικό όργανο.

Αυτό επιτρέπει στον εκάστοτε χρήστη του πεταλιού, την απαραίτητη διαδραστικότητα και την εύκολη προσβασιμότητα στην αλλαγή παραμέτρων του ήχου που παράγει αυτό (π.χ. αυξομείωση έντασης και παραμόρφωσης).

Πράγμα που έγινε με βάση τα τυποποιημένα πετάλια του εμπορίου. Με άλλα λόγια, θα πρέπει να υπάρχει στο πετάλι ένα input, ένα output και ένα footswitch, που θα ελέγχουν την κατάσταση του πεταλιού δηλαδή on, off switch.

Τα παραπάνω εξαρτήματα τοποθετήθηκαν σε ένα μεταλλικό κουτί, που τρυπήθηκε ανάλογα για να συνδεθούν με τη πλακέτα τα input, output και footswitch αντίστοιχα, τα οποία ήταν βιδωμένα από πριν πάνω στο κουτί. Επίσης πάνω στο κουτί βιδώθηκαν τα ποτενσιόμετρα. Τέλος στην εξωτερική επιφάνεια του κουτιού, αναγράφηκαν οι παράμετροι του πεταλιού (in, out, gain, volume, voltage).





## **Κεφάλαιο 4.2: Ακουστική δοκιμή**

Χρησιμοποιώντας τρία διαφορετικά τρανζίστορ για την Βαθμίδα 3 ηχογραφήθηκαν και παρατηρήθηκε η μουσική χροιά του καθενός. Η ακρόαση έδειξε εντυπωσιακές διαφορές μεταξύ των τριών τρανζίστορ.

Τα τρανζίστορ που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

1. 2n5088
2. bc107
3. bc549

Το κάθε τρανζίστορ ακούστηκε σε τρεις διαφορετικές καταστάσεις: Πλήρως υπεροδηγημένο, λιγότερο υπεροδηγημένο και σχεδόν καθόλου. Και στα τρία τρανζίστορ δοκιμάστηκε το ίδιο μουσικό μοτίβο, με την ίδια ηλεκτρική κιθάρα και τον ίδιο ενισχυτή με τις ίδιες ρυθμίσεις.

Το 2n5088 έδωσε έναν ήχο με έμφαση στις μεσαίες και ισχυρή εξασθένηση στις υψηλές συχνότητες, σε αντίθεση με το bc107 που είχε εξασθένηση στις χαμηλομεσαίες, αφήνοντας να περάσουν οι υψηλές συχνότητες. Το bc549 είχε αρκετό αρμονικό περιεχόμενο σε σχέση με τα προηγούμενα, με έμφαση στις περιπτές αρμονικές, παράγοντας τραχύ ήχο.



## Συμπεράσματα

Στο κύκλωμα που σχεδιάστηκε και μελετήθηκε σε αυτήν την εργασία, εξετάστηκαν ουσιαστικά οι διαφορετικοί τρόποι υπεροδήγησης ενός τρανζίστορ και ενός τελεστικού ενισχυτή, καθώς και οι διαφορές που προκαλούν αυτές στο αρμονικό περιεχόμενο ενός ακουστικού σήματος.

Είδαμε ότι μπορούμε να υπεροδηγήσουμε ένα τρανζίστορ, ώστε να ψαλιδίσει είτε από την άνω μεριά, είτε από την κάτω σε μία κυματομορφή. Γενικά οι υπεροδηγήσεις, μπορούν να προκληθούν με τη σειρά τους με διάφορους τρόπους, είτε αυξάνοντας το πλάτος του σήματος στην είσοδο, είτε επιλέγοντας ακραίο σημείο λειτουργίας, είτε χαμηλώνοντας τις τάσεις τροφοδοσίας. Σε αυτό το κύκλωμα χρησιμοποιήθηκαν οι δύο πρώτοι τρόποι υπεροδήγησης, οι οποίοι μπορούν να ελεγχθούν με την χρήση των ποτενσιόμετρων *Voltage* και *Gain*.

Η κάθε μορφή υπεροδήγησης και η κάθε συσκευή που υπεροδηγείται, παράγει διαφορετικό αρμονικό περιεχόμενο στο εξερχόμενο σήμα. Αυτές οι διαφορές είναι εντυπωσιακά ακουστές στην υπεροδήγηση του τελικού τρανζίστορ (Βαθμίδα 3). Επίσης ακουστή είναι η διαφορά του μοντέλου του τρανζίστορ.



## **Βιβλιογραφία**

1. [http://www.ehow.com/about\\_6653771\\_history-distortion-pedal.html](http://www.ehow.com/about_6653771_history-distortion-pedal.html) (12/11/2013)
2. <http://www2.gibson.com/News-Lifestyle/Features/en-us/who-called-the-fuzz-714.aspx> (14/11/2013)
3. [http://en.wikipedia.org/wiki/Distortion\\_%28music%29](http://en.wikipedia.org/wiki/Distortion_%28music%29) (17/11/2013)
4. [http://www.kitrae.net/music/Fuzz\\_Big\\_Muff\\_Timeline.html](http://www.kitrae.net/music/Fuzz_Big_Muff_Timeline.html) (22/11/2013)
5. Albert Paul Malvino: Βασική Ηλεκτρονική (τέταρτη έκδοση) ISBN: 960-7219-12-0
6. Paul Horowitz, Hill - The Art of Electronics [2nd Eddition]
7. Ron Mancini, Texas Instruments - Op Amps for Everyone, 2002
8. Audio Engineering: Know it All: Douglas Self, Ben Duncan, Ian Sinclair, Richard Brice, John Linsley Hood, Adrew Singmin, Don Davis, Eugene Patronis, John Watkinson.