



Τμήμα Μηχανικών Μουσικής Τεχνολογίας & Ακουστικής

**Πτυχιακή εργασία**

**"Ανάλυση, μετατροπή και κατασκευή του  
πεταλιού Fuzz Face"**

φρουδάκης Δημήτρης

A.M. 535

Επιβλέπων Καθηγητής : Βενιέρης Μανώλης

Ρέθυμνο, Σεπτέμβριος 2014

## ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και ιδιαίτερα την μητέρα μου που τόσα χρονιά είχε την υπομονή να με στηρίζει ψυχολογικά και οικονομικά και που χωρίς την υποστήριξη της δεν θα ήμουν εδώ σήμερα. Τον κύριο Μανώλη Βενιέρη, τον επιβλέπων καθηγητή μου που με βοήθησε όποτε και σε ότι τον χρειάστηκα. Τον Μανώλη Παπαχατζάκη για την πρόσφορα του εξοπλισμού του αλλά και των γνώσεων του που βοήθησαν τα μέγιστα στην πραγματοποίηση αυτής της εργασίας. Τους φίλους μου, Ηλία, Θανάση, Αντρέα, την Ευγενία, την Μαρία, την Βάσια και οποιον άλλο μπορεί να ξεχνώ για τις προσπάθειες τους να με κρατήσουν συγκεντρωμένο και κινητοποιημένο κάθε ένας με τον τρόπο του κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής.

## Περίληψη

---

Αυτή η πτυχιακή με τίτλο "Ανάλυση, μετατροπή και κατασκευή του πεταλίου FuzzFace" ασχολήθηκε με την ηλεκτρονική μορφή του πεταλίου αυτού.

Αρχικά κάνει μια ιστορική ανάδρομη ώστε ο αναγνώστης να μάθει πως ξεκίνησε και από ποιους δημιουργήθηκε, ποιοι το χρησιμοποίησαν και πως άλλαξε με την πάροδο του χρόνου.

Ακολουθεί μια ανάλυση του κυκλώματος ώστε να καταλάβουμε πως λειτουργεί σε ηλεκτρονικό επίπεδο. Μετά από πολλές προσομοιώσεις και πειραματισμούς καταλήξαμε σε μια νέα και προσωπική μετατροπή όπου έχει την δυνατότητα να αντιμετωπίσει μερικά από τα γνωστά προβλήματα που υπάρχουν στα τρανζίστορ Γερμανίου που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του πεταλίου αυτού. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και δημιουργικά για την ανεύρεση νέων ηχοχρωμάτων. Κάτι τέτοιο δεν θα μπορούσε να μείνει στα χαρτιά όποτε η κατασκευή του ήταν απαραίτητη. Από τις μετρήσεις και το ηχητικό αποτέλεσμα μπορέσαμε και βγάλαμε συμπεράσματα για το πως λειτουργεί, τι καταφέραμε και φυσικά γεμίσαμε ιδέες για μελλοντικές μετατροπές και χρήσεις.

## Πίνακας περιεχομένων

Λίστα με σύμβολα και συντμήσεις.....	2
Ευρετήριο εικόνων.....	2
Ευρετήριο τύπων.....	3
Ευρετήριο πινάκων.....	3
Πρόλογος.....	4
1.1 Παραμόρφωση.....	5
1.2 Ιστορικά.....	6
2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά – Αρχή λειτουργίας.....	10
2.3 Κοινές μετατροπές.....	14
2.3.1 Roger Mayer mod.....	14
2.3.2 Fuller mod.....	15
2.3.3 Vox Tone Bender Mod.....	16
3.2 Προσομοίωση κυκλώματος.....	18
3.3 Μετρήσεις πραγματικού κυκλώματος.....	20
3.4 Νέες μετατροπές.....	22
3.5 Κατασκευή Πεταλιού.....	23
4.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης.....	25
4.2 Αποτελέσματα πραγματικού κυκλώματος.....	26
5.1 Συμπεράσματα.....	29
Βιβλιογραφία.....	32

## Λίστα με σύμβολα και συντμήσεις

---

FF - Fuzz Face

Fuzz Face - Η κοινή ονομασία του κυκλώματος που εξετάζεται σε αυτήν την πτυχιακή

VF - Ανάδραση τάσης

CC - Κοινού συλλέκτη

DC - Συνεχές ρεύμα

AC - Εναλλασσόμενο ρεύμα

Mod - Μετατροπή

$\beta$  - Κέρδος τρανζίστορ

Pot - Ποτενσιόμετρο

PSPICE - πρόγραμμα SPICE για προσωπικό υπολογιστή

Min - Ελάχιστη τιμή

Max - Μεγίστη τιμή

## Ευρετήριο εικόνων

---

Εικ. 1	Διαφημιστική εικόνα Fuzz-Tone.....	7
Εικ. 2	Fuzz Face.....	8
Εικ. 3	Κοινό Fuzz Face.....	10
Εικ. 4	Ασύμμετρος ψαλιδισμός.....	11
Εικ. 5	Μετατροπή του Roger Mayer.....	14
Εικ. 6	Μετατροπή του Fuller.....	15

Εικ. 7	Μετατροπή Vox Amplification.....	16
Εικ. 8	Μετατροπή του Φρουδάκη Δημήτρη.....	18
Εικ. 9	Τρόπος δοκιμής τρανζίστορ Γερμανίου.....	21
Εικ. 10	Κυματομορφή εξόδου για κέρδη Q1 $\beta=70$ , Q2 $\beta=120$ .....	25
Εικ. 11	Κυματομορφή εξόδου για κέρδη Q1 $\beta=186$ , Q2 $\beta=200$ .....	25
Εικ. 12	Κυματομορφή εξόδου για $R_{fuzz} \min$ , $R_{Vf} \min$ .....	26
Εικ. 13	Κυματομορφή εξόδου για $R_{fuzz} \max$ , $R_{Vf} \min$ .....	27
Εικ. 14	Κυματομορφή εξόδου για $R_{fuzz} \min$ , $R_{Vf} \max$ .....	27
Εικ. 15	Κυματομορφή εξόδου για $R_{fuzz} \max$ , $R_{Vf} \max$ .....	28
Εικ. 16	Σύγκριση θεωρητικού με προσομοιωμένο ασύμμετρο ψαλιδισμό.....	29
Εικ. 17	Σύγκριση της εισόδου με την έξοδο του πραγματικού κυκλώματος.....	29

## Ευρετήριο τύπων

---

2.1	Συχνότητα αποκοπής κυκλώματος.....	14
3.1	Κέρδος τρανζίστορ.....	23

## Ευρετήριο πινάκων

---

3.2	Παράμετροι για PSPICE του μοντέλου AC128.....	19
3.3	Μετρήσεις αντιστάσεων.....	20
5.1	Επηρεασμός κυκλώματος από τις αλλαγές του κέρδους των τρανζίστορ.....	30

## Πρόλογος

---

Οι μουσικοί εδώ και χρόνια παραμορφώνουν τον ήχο της κιθάρας ώστε να έχουν μια πλουσιότερη παλέτα ηχοχρωμάτων. Οι πρώτοι “παραμορφωτές” που δημιουργήθηκαν, κατασκευάστηκαν με την αφαίρεση ηλεκτρονικών στοιχείων από ηχητικές συσκευές με ανοιγμένες τρύπες σε ηχεία ή από τύχη. Αργότερα, οι ηλεκτρονικοί κατάφεραν να αναπαράγουν αυτά τα εφέ, αρχικά με λυχνίες και στη συνέχεια με τρανζίστορ.

Παρ’ όλο που το Fuzz Face δημιουργήθηκε στα μέσα τις δεκαετίας του ’60 εξακολουθεί μέχρι και σήμερα να είναι δημοφιλές για τον ήχο του, αν και είναι γνωστό ότι αυτός διαφέρει από συσκευή σε συσκευή. Αυτό συμβαίνει γιατί τα πρώτα πετάλια που κατασκευάστηκαν χρησιμοποιούσαν τρανζίστορ γερμανίου. Τα τρανζίστορ αυτά ήταν πολύ πιο ασταθή από τα τρανζίστορ πυριτίου που χρησιμοποιούμε σήμερα ενώ είχαν και μεγάλες διαφορές το ένα από το άλλο. Τα πετάλια που χρησιμοποιούσαν τρανζίστορ πυριτίου ωστόσο, δεν είχαν τον ίδιο ήχο με τα αντίστοιχα γερμανίου.

## 1.1 Παραμόρφωση

---

Αν προσπαθήσουμε να ταξινομήσουμε τις παραμορφώσεις, αυτό που θα συναντήσουμε πρώτο είναι το *overdrive*. Αυτό το είδος παραμόρφωσης προκύπτει όταν η είσοδος που παίρνουμε από μια κιθάρα ξεπερνά την χωρητικότητα των λυχνιών του ενισχυτή. Το *overdrive* θα το χαρακτηρίζαμε ως μια ζεστή και γήινη παραμόρφωση, σε αντίθεση με το *Fuzz Face* που είναι πολύ διαφορετικό. Οδηγημένα τρανζίστορ μέχρι τον ψαλιδισμό του σήματος εισόδου δημιουργούν ένα ηχώχρωμα συνθετικό και σίγουρα όχι γήινο. Πολλές παραμορφώσεις στους πρώτους δίσκους της ροκ ήταν συνέπεια ατυχημάτων, ενώ άλλες προκλήθηκαν από επιτηδευμένες καταστροφές και αλλοιώσεις. Ένα παράδειγμα είναι οι τρύπες που έκανε στο ηχείο του ενισχυτή του ο “Link Wray” για το τραγούδι “Rumble”, θέλοντας να το κάνει να ακουστεί τραχύ και άγριο.



## 1.2 Ιστορικά

---

Το Fuzz face είναι ακόμα και σήμερα ένα αίνιγμα. Τι είναι αυτό που φέρνει ένα τόσο απλό πετάλι τόσο κοντά στο θρύλο;

Όλα ξεκίνησαν το καλοκαίρι του 1960 όταν στα Nashville studios προσέλαβαν τον Grady Martin, να δουλέψει πάνω σε μια ηχογράφιση του Marty Robbins. Εκεί μια δυσλειτουργία στην κονσόλα γέννησε τον ήχο του Fuzz.

Παρ' όλο που το fuzz χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον στην rock και στην ηλεκτρική κιθάρα, έκανε την πρώτη του εμφάνιση στο σόλο του μπάσου του Country τραγουδιστή Marty Robbins, στο τραγούδι "Don't worry". Το τραγούδι εκτοξεύθηκε στα charts, οπού και έμεινε για 12 εβδομάδες. Με άλλα λόγια αυτά τα 19 δευτερόλεπτα παραμόρφωσης προανήγγειλαν τις δεκαετίες που θα ακολουθούσαν.

Ο τεχνικός ήχου Glenn T. Snoddy μας λέει στο βιβλίο του "How does it sound now", ότι κατάφερε να βρει τον τρόπο να αναπαράγει «αυτόν τον απαίσιο ήχο» (μιλώντας για τον ήχο του Fuzz), ώστε να μπορούν να τον χρησιμοποιήσουν και άλλοι μουσικοί, πράγμα που θεωρείται και το μεγαλύτερο του επίτευγμα.

Η αναπαραγωγή αυτού του ήχου θα ήταν και το πρώτο Fuzz πετάλι, το Maestro Fz-1 Fuzz tone, το οποίο επέτρεπε στους εκάστοτε μουσικούς να αλλάζουν τον ήχο του οργάνου τους (κιθάρα κατά βάση) από καθαρό σε Fuzz, με ένα απλό πάτημα του ποδιού. Οι αρχικές πωλήσεις του πεταλιού ήταν απογοητευτικές, ίσως γιατί η διαφημιστική καμπανιά έλεγε ότι αυτό το πετάλι κάνει τη κιθάρα να μοιάζει με σαξόφωνο. Όλα αυτά άλλαξαν το 1965, οπού ένα μεγάλο συγκρότημα τις εποχής, οι Rolling Stones, χρησιμοποίησαν το fuzz στο κομμάτι τους "I can't get no satisfaction". Μετά από αυτό όλοι ήθελαν αυτόν τον ήχο και έτσι το Fuzz έγινε δημοφιλές.



εικ.1 - Διαφημιστική εικόνα Fuzz-tone

Ένα χρόνο μετά, η αγγλική εταιρία Arbiter Electronics κυκλοφόρησε αυτό που αδιαμφισβήτητα θα γινόταν ένα από τα πιο αγαπητά πετάλια για κιθάρα ίσως όλων των εποχών, το Fuzz Face, οπού είναι και το πετάλι που μας ενδιαφέρει από την πληθώρα πεταλιών Fuzz που έχουν κυκλοφορήσει.

Η απλότητα αυτού του πεταλιού σε σχεδιαστικό επίπεδο ήταν τεραστία. Δύο τρανζίστορ, τρεις πυκνωτές και μερικές αντιστάσεις κατάφεραν να παράξουν ένα μαγικό ήχο και να διαμορφώνουν τον ήχο της κιθάρας μέχρι και σήμερα.

Το Arbiter Fuzz Face όπως λεγόταν αρχικά, αργότερα μετονομάστηκε σε Dallas Arbiter. Εμφανίστηκε στα τέλη του 1966 και σχεδόν αμέσως υιοθετήθηκε από έναν μεγάλο κιθαρίστα τις εποχής, τον Jimmy Hendrix, ο οποίος το έφερε στο επίκεντρο της προσοχής των μουσικών. Από τότε, σταδιακά, δημιουργήθηκε ένα μεγάλο fun club από μεγάλους κιθαριστές που εισήγαγαν το συγκεκριμένο πετάλι στο σπλοστάσιο τους, όπως ο David Gilmour, ο Eric Johnson, ο Stevie Ray Vaughan, ο Pete Townsend και άλλοι.

Τι να είναι αυτό που κάνει τον ήχο του Fuzz τόσο ξεχωριστό ώστε να θεωρείται από μερικούς κιθαρίστες τόσο μεγαλειώδης; Ένα μεγάλο μέρος της επιτυχίας του αυτής οφείλετε στον σχεδιασμό του. Καταλαβαίνει κανείς ότι με τόσο λίγα στοιχεία η ποιότητα και η επιλογή τους είναι μεγίστης σημασίας. Από εκεί και περά, αυτό θα μας βοηθήσει να καταλάβουμε πως απέκτησαν την φήμη ότι είναι ασταθή. Το σίγουρο είναι ότι μερικά από αυτά τα πετάλια ακούγονταν απλά “άσχημα”.

Οι πρώτες εκδόσεις του Fuzz Face, από το 1966 μέχρι το 1969, χρησιμοποιούσαν τρανζίστορ γερμανίου AC128 και NKT275 και εκεί κρύβονται όλα τα πλεονεκτήματα που το κάνουν τόσο ιδιαίτερο, αλλά και τα μειονεκτήματα του.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στα πετάλια από το 1969 άρχισαν να χρησιμοποιούν τρανζίστορ πυριτίου, πλαστικά BC183LS, ενώ αργότερα τρανζίστορ μεταλλικού περιβλήματος BC108CS. Αυτά, ήταν πολύ πιο σταθερά από αυτά του γερμανίου, ωστόσο μετέτρεψαν τον ήχο σε πολύ πιο “σκληρό”.

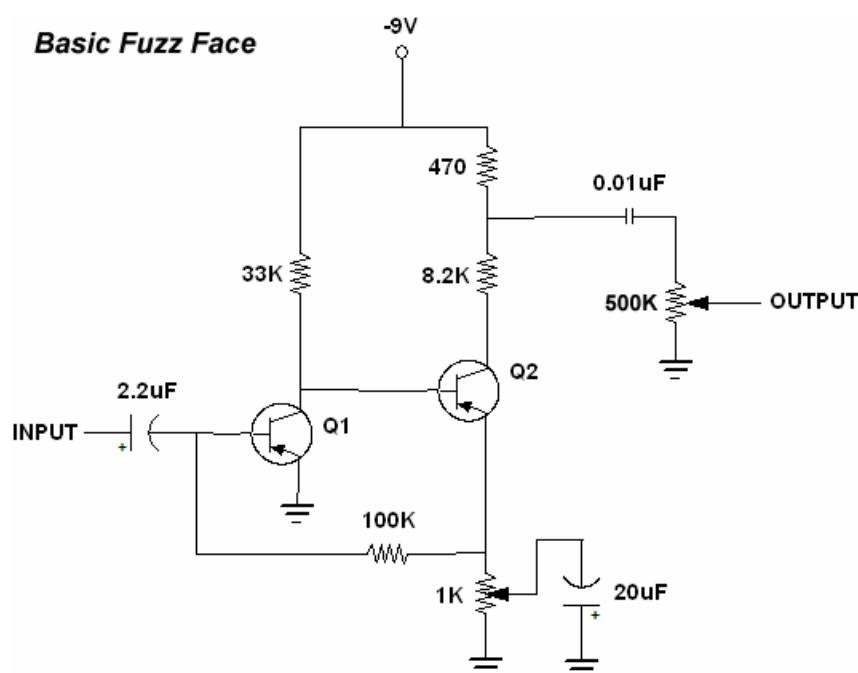


εικ.2 - Fuzz Face

Το πετάλι ήταν μεταλλικό και κυκλικό στο σχήμα του, ο ίδιος ο Ivon Arbiter είχε την αυτή την ιδέα, όταν είδε μια στρογγυλή βάση μικρόφωνου. Είχε δυο ποτενσιόμετρα, ένα για την ένταση και ένα για την παραμόρφωση(fuzz) καθώς και ένα διακόπτη on/off. Μια ενδιαφέρουσα παρατήρηση είναι ότι το πετάλι σχεδιάστηκε έτσι ώστε να παραπέμπει σε ένα χαρούμενο πρόσωπο, με τα ποτενσιόμετρα για μάτια, τον διακόπτη για μύτη, το όνομα του για στόμα και την ελαστική επένδυση για μούσι.

## 2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά – Αρχή λειτουργιάς

2 τρανζίστορ, 3 πυκνωτές, μερικές αντιστάσεις και 2 ποτενσιόμετρα, ένα κύκλωμα τόσο απλό για μια συσκευή παραμόρφωσης.



εικ.3 - Κοινό Fuzz Face

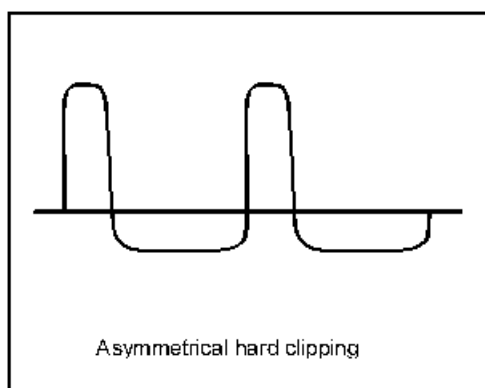
Το πρώτο τρανζίστορ του κυκλώματος έχει μια πολύ απλή συνδεσμολογία, ένας πυκνωτής για να μπλοκάρει τυχόν DC ρεύματα απευθείας στην βάση του, ο εκπομπός γειωμένος και μια αντίσταση συλλέκτη. Το οδηγούμενο φορτίο μεταφέρετε απευθείας στην βάση του δευτέρου τρανζίστορ. Αυτό σε φυσιολογικές συνθήκες θα μας έδινε το μεγαλύτερο δυνατό κέρδος του κυκλώματος αλλά υπάρχει μια αντίσταση ανάδρασης στον εκπομπό του δευτέρου τρανζίστορ που το εμποδίζει.

Το δεύτερο τρανζίστορ είναι συνδεδεμένο σε συνδεσμολογία κοινού συλλέκτη (CC). Αυτό για το πρώτο τρανζίστορ σημαίνει ότι η αντίσταση 100KΩ είναι όντως αντίσταση ανάδρασης όπου από εκεί οδηγείται ένα μέρος του σήματος από τον συλλέκτη του δευτέρου τρανζίστορ στην βάση του πρώτου. Αυτή η συνδεσμολογία ονομάζεται “ανάδρασης τάσης, Voltage Feedback (VF)” και είναι μια από τις

ιδιαίτερες ιδιότητες του Fuzz Face “FF” και θα αποτελέσει τον κορμό στην συνέχεια τις εργασίας αυτής.

Η συνδεσμολογία ανάδρασης τάσης (VF) μας δίνει την δυνατότητα να πάρουμε την μέγιστη δυνατή απολαβή από οποιοδήποτε τρανζίστορ πράγμα πολύ σημαντικό για μια συσκευή παραμόρφωσης. Επίσης, κάτι άλλο που μας προσφέρει είναι η πολύ χαμηλή αντίσταση εισόδου.

Όταν οδηγούμε την βάση του τρανζίστορ με υψηλό σήμα στην είσοδο η τάση του συλλέκτη οδηγείται προς τον εκπομπό, αυτό ρίχνει την τάση πόλωσης στην αντίσταση ανάδρασης με αποτέλεσμα να ρίχνουμε λίγο το σήμα εισόδου. Γενικότερα τα FF τείνουν να πολώνονται με μονό 0,5V στον συλλέκτη του πρώτου τρανζίστορ, αυτό τους δίνει πολύ headroom. Στην βαθμίδα εισόδου πρώτα θα φτάσει στον κορεσμό στην πολικότητα του σήματος αν το οδηγήσουμε αρκετά, επίσης θα ψαλιδιστεί στην αντίστροφη πολικότητα. Έτσι δημιουργείται ο ασύμμετρος ψαλιδισμός στο FF.



**εικ.4** - Ασύμμετρος ψαλιδισμός

Το δεύτερο τρανζίστορ έχει διάφορες εφαρμογές. Η βάση του είναι συνδεδεμένη στον συλλέκτη του πρώτου τρανζίστορ όποτε το ρεύμα πόλωσης εξαρτάται από την αντίσταση του εκπομπού, στην περίπτωση μας το ποτενσιόμετρο του 1KΩ.

Το κέρδος στο δεύτερο στάδιο του κυκλώματος καθορίζεται από την αναλογία του φορτίου AC στον συλλέκτη προς το φορτίο AC του εκπομπού. “ το AC φορτίο του συλλέκτη είναι το άθροισμα των αντιστάσεων του συλλέκτη ενώ το AC φορτίο του εκπομπού είναι το μέρος του ποτενσιόμετρου  $1K\Omega$  που δεν είναι γειωμένο μέσω του πυκνωτή” άρα βλέπουμε ότι το κέρδος μας μπορεί να είναι από πολύ χαμηλό έως πολύ ψήλο, στην ουσία όσο είναι το εσωτερικό κέρδος του τρανζίστορ όταν το ποτενσιόμετρο είναι τερματισμένο. Υπάρχει και δεύτερος τρόπος να ελέγξουμε το κέρδος τις πρώτης βαθμίδας του κυκλώματος μας και αυτό εξαρτάται από την AC ανάδραση του ποτενσιόμετρου  $1K\Omega$  που περνά μέσα από την  $100K\Omega$  αντίσταση μας, όποτε όταν κλείνουμε το ποτενσιόμετρο η ανάδραση ρίχνει το κέρδος στην πρώτη βαθμίδα. Όσο ανοίγουμε το ποτενσιόμετρο τόσο λιγότερη ανάδραση έχουμε άρα τόσο αυξάνεται το κέρδος τις πρώτης βαθμίδας.

Τώρα, όσο περισσότερο οδηγούμε την δεύτερη βαθμίδα του κυκλώματος τόσο περισσότερο οδηγείτε στον ψαλιδισμό και την αποκοπή της πολικότητας που είχαμε ήδη ελαφρύ ψαλιδισμό στην πρώτη βαθμίδα, όποτε βλέπουμε ότι για χαμηλά σήματα έχουμε ελαφρύ ψαλιδισμό που όσο μεγαλώνουμε το σήμα στην είσοδο τόσο περισσότερο το οδηγούμε προς το σκληρό ψαλιδισμό. Είναι εμφανές ότι το κύκλωμα ανταποκρίνεται στην δυναμική του παιχνιδιού.

Η διαιρεμένη αντίσταση φορτίου στον συλλέκτη της δεύτερης βαθμίδας λειτουργεί σαν ρυθμιστικό έντασης μόνιμα ρυθμισμένο σε χαμηλή τιμή. Αυτό συμβαίνει γιατί η τροφοδοσία μας είναι γειωμένη στο AC λόγω της χαμηλής σύνθετης (AC) αντίστασης της μπαταρίας. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο το ίδιο FF πετάλι ακούγετε διαφορετικά με διαφορετικές μπαταρίες η ακόμα και με την ίδια μπαταρία όσο αυτή αδειάζει, η σύνθετη αντίσταση της μπαταρίας μπορεί να αλλάξει την αξία της μικρότερης αντίστασης κατά ένα σημαντικό ποσοστό.

Η βαθμίδα εξόδου του FF είναι ένα απλό ποτενσιόμετρο με έναν πυκνωτή εξόδου ώστε να κόβει τυχόν DC δυναμικά που θα οδηγούν στον κόρο τις συσκευές που ακολουθούν άλλα επίσης καθορίζει και την συχνότητα αποκοπής του κυκλώματος μας. Συμφώνα με τον R. G. Keen όσο μεγαλώνει η τιμή του πυκνωτή τόσο

περισσότερες χαμηλές συχνότητες θα περάσουν. Η συχνότητα αποκοπής του κυκλώματος μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.1)$$

Οπού C η χωρητικότητα στην είσοδο και R η αντίσταση που συνδέεται στην γη. Στην είσοδο, η αντίσταση είναι  $84K\Omega + R_{fuzz}$  οπού είναι  $1K\Omega$ . Άρα η συχνότητα αποκοπής του υπερπυρατού φίλτρου είναι:

$$f_c = \frac{1}{2\pi(84 + 1K)(2,2\mu)} = 0,86HZ$$

Ανάλογα στην έξοδο έχουμε:

$$f_c = \frac{1}{2\pi(500K)(0,01\mu)} = 31,8HZ$$

Η χαμηλότερη συχνότητα που μπορεί να παράγει μια κιθάρα είναι περίπου  $82,4HZ$  βλέπουμε άρα ότι οι πυκνωτές στο κύκλωμα μας δεν έχουν καμιά ουσιαστική σχέση με τον ήχο στο πετάλι μας.



## 2.3 Κοινές μετατροπές

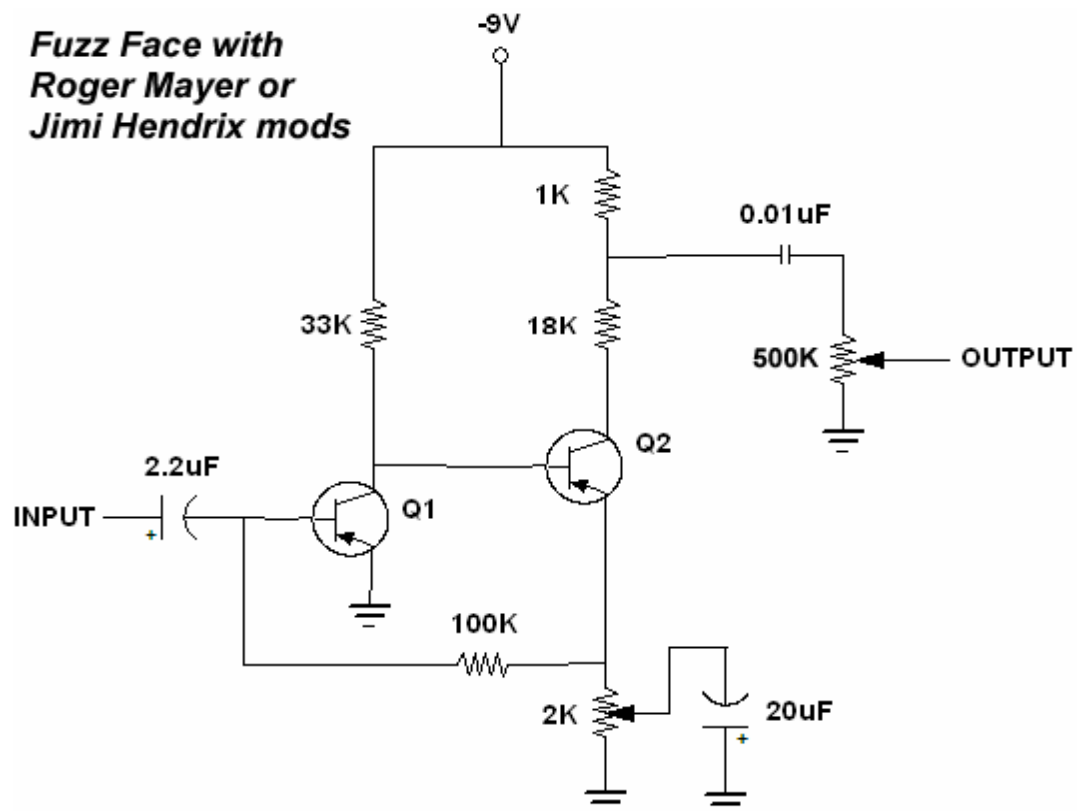
Παρακάτω παραθέτονται μερικές από τις πιο διαδεδομένες μετατροπές που έχουν γίνει στο Fuzz Face.

### 2.3.1 Roger Mayer mod

Όλοι ξέρουν τον Jimmy Hendrix άλλα ελάχιστοι γνωρίζουν τον τεχνικό του, τον Roger Mayer. Ο Roger ήταν αυτός που επέμβαινε στα πετάλια του Hendrix, για να δούμε τη αλλαγές έκανε στο κλασσικό Fuzz Face.

- Άλλαξε την αντίσταση εξόδου των 4.7KΩ με μια του 1KΩ.
- Άλλαξε την αντίσταση συλλέκτη του δευτέρου τρανζίστορ από 8.2KΩ σε 18KΩ
- Άλλαξε την αντίσταση έλεγχου του Fuzz στον εκπομπό του δευτέρου τρανζίστορ από 1K σε 2K

Αυτές οι αλλαγές στην ουσία αλλάζουν το κέρδος άλλα και την ισχύ εξόδου του δευτέρου τρανζίστορ.



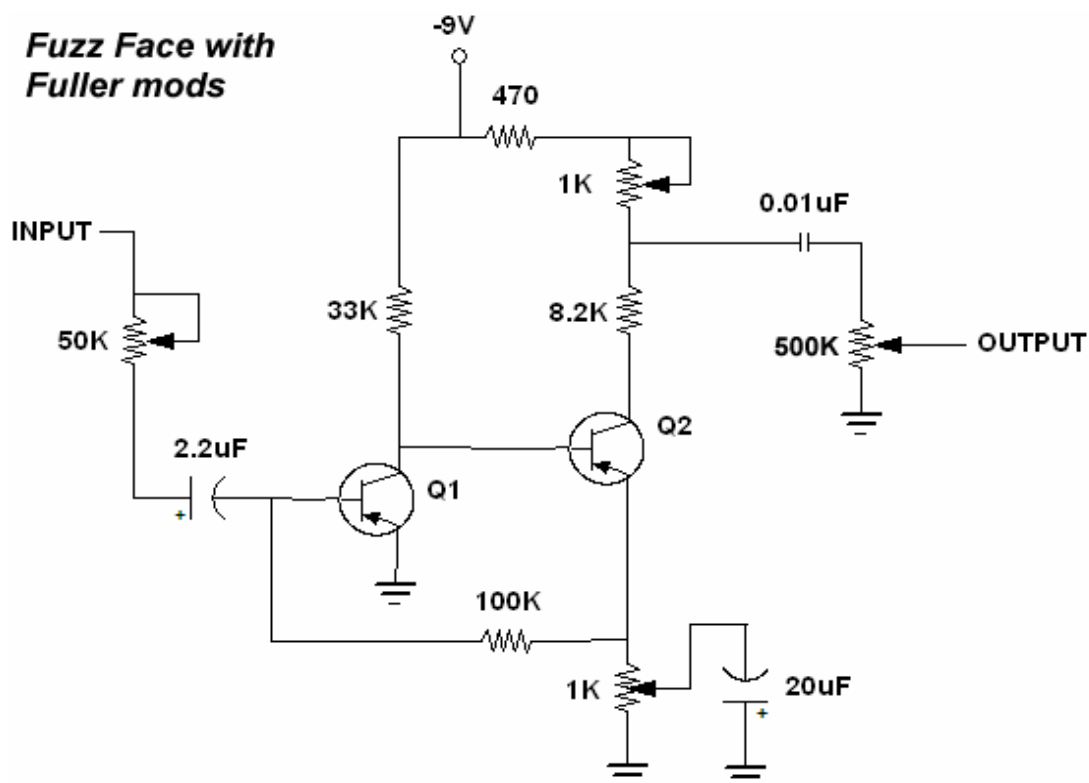
εικ.5 - Μετατροπή του Roger Mayer

### 2.3.2 Fuller mod

Ο Mike Fuller είναι γνωστός κατασκευαστής πεταλιών για κιθάρες και ιδιοκτήτης της Fulltone Custom Effects, για να δούμε τις μετατροπές του.

- Πρόσθεσε ένα ποτενσιόμετρο του 1KΩ σε σειρά με την αντίσταση εξόδου των 470Ω.
- Πρόσθεσε ένα ποτενσιόμετρο των 50KΩ στην είσοδο πριν τον πυκνωτή.

Η πρώτη του προσθήκη μπορεί να μεταβάλλει την αντίσταση εξόδου από 470Ω έως 1.47KΩ, αυτό έχει παρόμοια αποτελέσματα με την μετατροπή του Mayer οπού στην ουσία έχουμε μεγαλύτερο και ρυθμιζόμενο κέρδος στο δεύτερο τρανζίστορ. Η δεύτερη προσθήκη του έχει το ακριβώς αντίθετο αποτέλεσμα, μεγαλώνοντας την αντίσταση εισόδου μικραίνουν το ποσοστό της παραμόρφωσης.



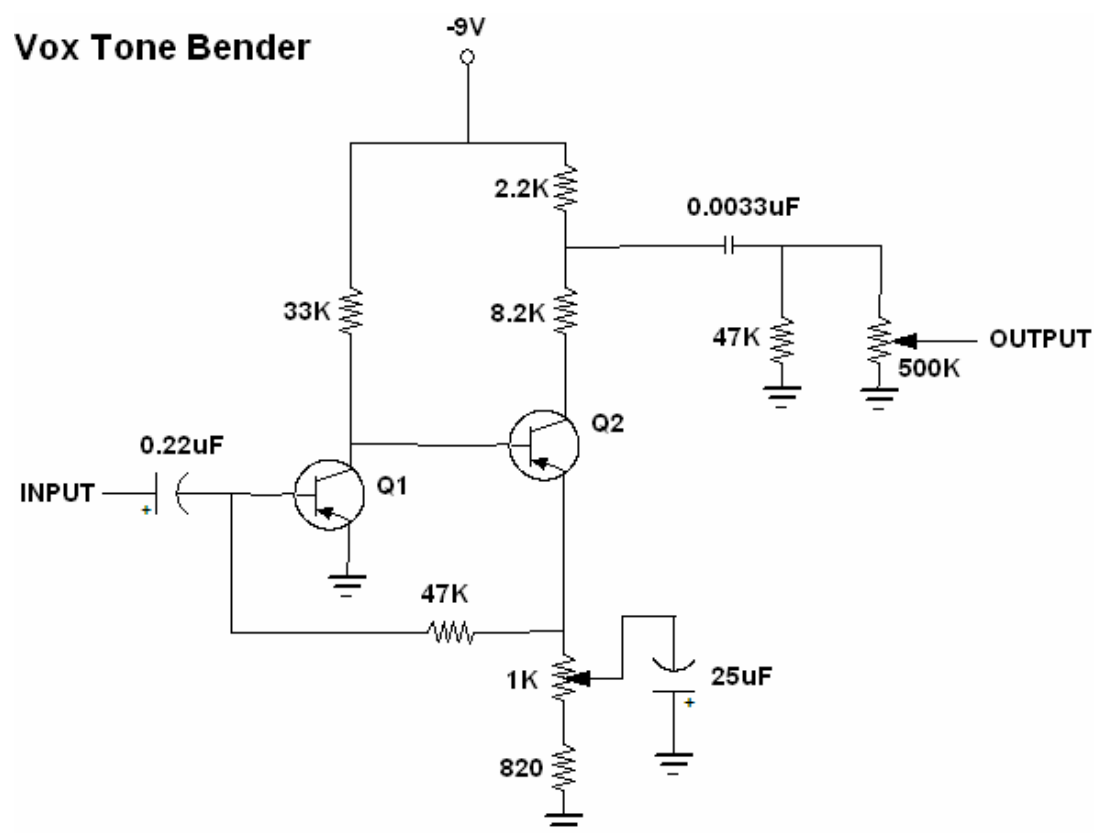
εικ.6 - Μετατροπή του Fuller

### 2.3.3 Vox Tone Bender Mod

Η Vox Amplification, μια μεγάλη εταιρία παράγωγης εφέ και ενισχυτών κιθάρας έβγαλε την δίκια της έκδοση για το Fuzz Face. Η συγκεκριμένη μετατροπή έχει περισσότερες αλλαγές να μην άλλα είναι βασισμένες στο ίδιο μοτίβο. Οι ποιό αξιοσημείωτες είναι:

- Χρησιμοποίησε τρανζίστορ NPN πυριτίου αντί για PNP γερμανίου
- Μείωσε τις τιμές των πυκνωτών ζεύξης.
- Πρόσθεσε μια αντίσταση σε σειρά με το ποτενσιόμετρο του εκπομπού του δεύτερου τρανζίστορ.
- Πρόσθεσε μια αντίσταση παράλληλα με το ποτενσιόμετρο εξόδου.

Αλλάζοντας το τρανζίστορ από γερμανίου σε πυριτίου έπρεπε να αυξήσει και τις τιμές στις αντιστάσεις πολώσεως.



εικ.7 - Μετατροπή Vox Amplification

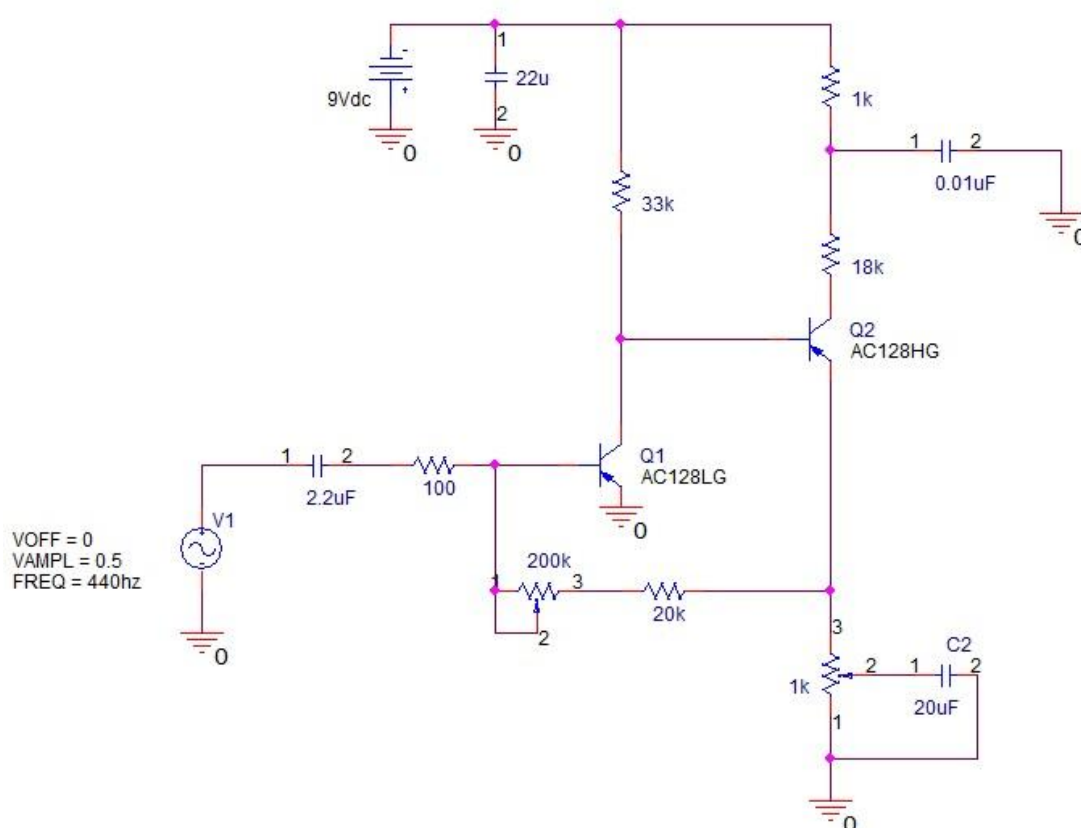
Επιπρόσθετα όπως είπαμε και παραπάνω, σύμφωνα με τον R. G. Keen, αυξάνοντας την τιμή στους πυκνωτές εισόδου και εξόδου αλλάζει και η απόκριση των χαμηλών συχνοτήτων του κυκλώματος. Στην ουσία αλλάζει την συχνότητα αποκοπής του υπερπαρατονίου φίλτρου.

### 3.1 Μεθοδολογία

Το κύκλωμα του Fuzz Face το προσεγγίσαμε με 2 διαφορετικούς τρόπους. Πρώτα, το κύκλωμα προσομοιώθηκε σε περιβάλλον PSPICE ώστε να μπορέσουμε να καταλάβουμε τι θα πάρουμε στην έξοδο του και πως οι αλλαγές στα εξαρτήματα του θα επηρέαζαν το αποτέλεσμα στην έξοδο. Μετά φτιάξαμε ένα αναλογικό Fuzz Face ώστε να μπορέσουμε να μετρήσουμε μια πραγματική έξοδο του και φυσικά να ακούσουμε το αποτέλεσμα.

### 3.2 Προσομοίωση κυκλώματος

Το κύκλωμα του Fuzz Face κατασκευάστηκε στο πρόγραμμα προσομοίωσης OrCAD PSPICE όπως ακριβώς το βλέπουμε εδώ.



εικ.8 - Μετατροπή του Φρουδάκη Δημήτρη

Όπως περιμέναμε, το κύκλωμα μας δίνει ασύμμετρο ψαλιδισμό. Το κύκλωμα το οδηγήσαμε με διαφορετικές τιμές στην είσοδο ώστε να μπορέσουμε να προσομοιώσουμε την πραγματική τάση που μας δίνει μια ηλεκτρική κιθάρα. Οι τιμές της τάσης εισόδου είναι από 100mV έως 1V με συχνότητα τα 440HZ. Αυτές οι τιμές επιλέχτηκαν μετά από μετρήσεις σε πραγματική κιθάρα και από έρευνα για διαφόρους μαγνήτες ώστε να έχουμε σχεδόν όλο το εύρος δυναμικών της κιθάρας. Τα τρανζίστορ AC128LG και AC128HG δημιουργήθηκαν στο PSPICE μια και δεν υπήρχαν στις ήδη υπάρχουσες βιβλιοθήκες ώστε να μπορέσουμε να προσομοιώσουμε το κύκλωμα. Μια μεγάλη διάφορα των τρανζίστορ γερμανίου με του πυριτίου είναι το φράγμα δυναμικού όπου για το γερμάνιο είναι στα 0.2V ενώ για το πυρίτιο στα 0.7V. Τα κέρδη των τρανζίστορ αρχικά είχαν τιμές 70 και 120, όπου έχουν οριστεί από τους μουσικούς ως τις ιδανικές. Για να φτιάξουμε τα πρώτα μοντέλα στο PSPICE χρησιμοποιήσαμε ένα υπάρχον μοντέλο ενός ημιαγωγού πυριτίου και αλλάξαμε τις τιμές για το φράγμα δυναμικού (Vje και Vjc) σε 0.2V και το Bf στο επιθυμητό κέρδος. Η μονή διάφορα στα μοντέλα AC128LG και AC128HG είναι η τιμή του Bf.

<code>.model AC128lg</code>	PNP(Bf=70 Vje=0.2 Is=1.41f Xti=3 Eg=1.11 Ne=1.5 Ise=0 Ikf=80m Xtb=1.5 Br=4.977 Nc=2 Isc=0 Ikr=0 Rc=2.5 Cjc=9.728p Mjc=0.5776 Vjc=0.2 Fc=0.5 Cje=8.063p Mje=0.3677 Tr=33.42n Tf=179.3p Itf=0.4 Vtf=4 Xtf=6 Rb=10)
-----------------------------	--

**Πινάκας 3.2** - Παράμετροι PSPICE μοντέλου AC128

### 3.3 Μετρήσεις πραγματικού κυκλώματος

---

Για να έχουμε μια πλήρη εικόνα για το πραγματικό μας κύκλωμα μετρήσαμε τα χαρακτηριστικά του κάθε εξαρτήματος. Για τις αντιστάσεις χρησιμοποιήσαμε πολύμετρο ώστε να καθορίσουμε τις ακριβείς τιμές τους. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

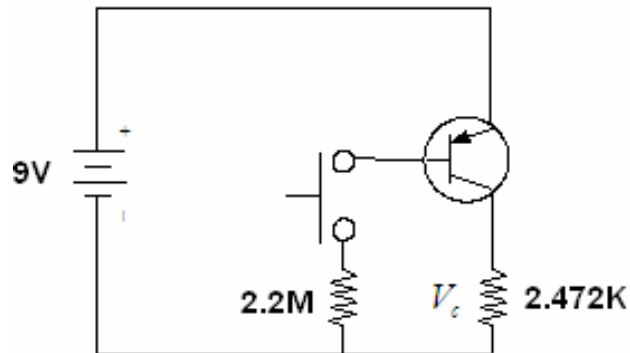
	Αναμενόμενη ( $\Omega$ )	Μετρήσιμη ( $\Omega$ )
<b>R1</b>	100	83.7
<b>R2</b>	33K	32.9K
<b>R3</b>	18K	17.9K
<b>R4</b>	1K	0.98K
<b>R5</b>	22K	22.2K
<b>POT1</b>	1K	0.98K
<b>POT2</b>	500K	475K

**πίνακας 3.3** - Μέτρηση αντιστάσεων

Όπως βλέπουμε σχεδόν όλες οι τιμές είναι πολύ κοντά στις ιδανικές. Η αντίσταση με την μεγαλύτερη διαφοροποίηση είναι η αντίσταση εισόδου όπου αυτό θα μας δώσει μεγαλύτερο σήμα στην είσοδο του κυκλώματος. Επίσης το pot2 έχει μια σχετικά μεγάλη διαφοροποίηση αλλά από την στιγμή που είναι το ποτενσιόμετρο για την έξοδο του κυκλώματος η μονή διάφορα που θα δούμε θα είναι μια μικρή πτώση στην τελική ένταση του κυκλώματος μας.

Για την μέτρηση του κέρδους ( $\beta$ ) των τρανζίστορ κατασκευάσαμε ένα απλό κύκλωμα το οποίο βλέπουμε εδώ.

## Germanium Transistor Testing



εικ.9 - Τρόπος δοκιμής τρανζίστορ Γερμανίου

Για την μέτρηση του κέρδους των τρανζίστορ χρειαζόμαστε την τάση  $V_{csc}$  (διακόπτης κλειστός) πάνω στην αντίσταση συλλέκτη 2,472K με τον διακόπτη κλειστό και η τάση  $V_{cso}$  (διακόπτης ανοιχτός) πάνω στην ίδια αντίσταση με τον διακόπτη ανοιχτό. Για την μέτρηση μας χρησιμοποιήσαμε μια μπαταρία 9V όπου την μετρήσαμε και ήταν όντως 9V ακριβώς. Με αυτήν την συνδεσμολογία μπορούμε εύκολα να μετρήσουμε το κέρδος του εκάστοτε τρανζίστορ

$$\beta = V_{csc} - V_{cso} \quad (3.1)$$

Τα κέρδη των τρανζίστορ μετά από τις μετρήσεις είναι:

- 186 για το Q1
- 200 για το Q2

Βλέπουμε ότι οι τιμές είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές που οι μουσικοί ορίζουν ως ιδανικές.



### 3.4 Νέες μετατροπές

---

Έχουμε αναφέρει παραπάνω ότι τα τρανζίστορ Γερμανίου έχουν εξαιρετικά ασταθή χαρακτηριστικά πράγμα κακό για ηλεκτρονικές συσκευές πόσο μάλλον για μια συσκευή ήχου που θέλουμε να έχει την ίδια και σταθερή απόδοση κάθε φορά. Πως μπορούμε να αποκτήσουμε μια μορφή σταθερότητας; Όπως είδαμε υπάρχουν παρά πολλές μετατροπές του κυκλώματος στην προσπάθεια να σταθεροποιηθούν και να φέρουν τον ήχο του FF στα μετρά τους.

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 8 παραπάνω υπάρχει ένα ποτενσιόμετρο σε σειρά με την αντίσταση ανάδρασης. Αναφέραμε παραπάνω κάποιες από τις ιδιότητες της συνδεσμολογίας ανάδρασης τάσης (VF).

Ανάδραση ονομάζεται η ανατροφοδότηση της εξόδου ενός συστήματος στην είσοδο του. Τα συστήματα με βρόχο ανάδρασης είναι σημαντικά σε πολλά τεχνολογικά συστήματα. Η ανάδραση μπορεί να είναι είτε αρνητική ανάδραση είτε θετική ανάδραση. Αρνητική ανάδραση έχουμε όταν ένα μέρος του σήματος εξόδου αφαιρείται από το σήμα εισόδου με αποτέλεσμα στην είσοδο να τείνει να αποκαταστήσει την ισορροπία. Θετική ανάδραση έχουμε όταν η ανάδραση προστίθεται και ενισχύει οποιαδήποτε μεταβολή κατάστασης, για παράδειγμα αύξηση της εξόδου προστίθεται στην είσοδο και προκαλεί περαιτέρω αύξηση.

Σε αυτήν την συνδεσμολογία εμείς προσθέσαμε μια ρυθμιζόμενη αντίσταση σε σειρά με την αντίσταση ανάδρασης ώστε να μπορούμε να μεταβάλλουμε την τιμή της κατά βούληση. Με αυτόν τον τρόπο ελέγχουμε το ποσοστό του σήματος που ανατροφοδοτείται στην είσοδο του τρανζίστορ και κατ' επέκταση και το κέρδος του. Έτσι μπορούμε να φέρουμε το κύκλωμα στα επίπεδα που θέλουμε σε περίπτωση αστοχίας του κέρδους που επιθυμούμε από τα τρανζίστορ. Κάτι τόσο απλό μπορεί να μας προσφέρει λύσεις και να μας γλυτώσει ένα μεγάλο μέρος από το κόστος διαλογής των τρανζίστορ.

Ένα μέρος της αρχικής αντίστασης ανάδρασης (20K) διατηρήθηκε εκεί έστω και σε μειωμένη τιμή για την αποφυγή βραχυκυκλώματος σε περίπτωση μηδενισμού της.

### 3.5 Κατασκευή Πεταλίου

---

Η διαδικασία που ακλουθήσαμε για την κατασκευή της πλακέτας του πεταλίου FF μπορούμε να την χωρίσουμε σε 6 στάδια.

- Σχεδιασμός και εκτύπωση
- Τύπωση κυκλώματος στην φωτοευαίσθητη πλακέτα
- Εμφάνιση κυκλώματος
- Αποχάλκωση
- Διάτρηση
- Κόλληση

Ο σχεδιασμός της πλακέτας έγινε στο NI Multisim και στην συνέχεια εκτυπώθηκε σε διαφάνεια με εκτυπωτή Inkjet.

Για την τύπωση του κυκλώματος χρησιμοποιήσαμε μια ιδιοκατασκευή με λάμπες φθορίου και τζαμί. Από την στιγμή που κόψαμε την πλακέτα μας στα επιθυμητά μεγέθη, αφαιρέσαμε την προστατευτική μεμβράνη και εφαρμόσαμε πάνω την εκτυπωμένη διαφάνεια και την εκθέσαμε στην υπέρυθρη ακτινοβολία από τις λάμπες φθορίου για 315 δευτερόλεπτα.

Για την εμφάνιση του κυκλώματος βάλουμε σε μια πλαστική λεκάνη 1L νερό και περίπου 7gr ποτάσα, μόλις διαλύθηκε αφαιρέσαμε την μεμβράνη και βουτήξαμε μέσα στο διάλυμα την πλακέτα. Αφού αναδεύαμε και ξαναβυθίζαμε την πλακέτα με αργές κινήσεις άρχισε σιγά σιγά να εμφανίζεται το κύκλωμα μας. Μόλις το κύκλωμα εμφανίστηκε ολόκληρο ξεπλύναμε την πλακέτα με άφθονο νερό. Σε όλη αυτήν την διαδικασία είχαμε το χαμηλότερο δυνατόν φωτισμό.

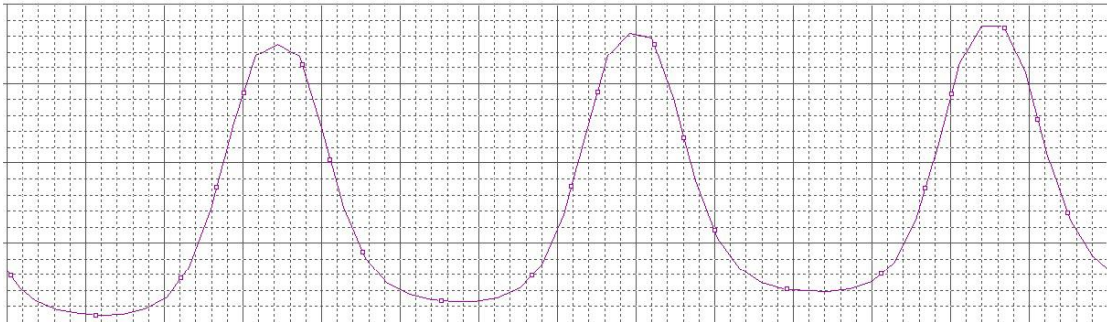
Για την αποχάλκωση βάλουμε σε μια πλαστική λεκάνη ένα μπουκάλι υδροχλωρικό οξύ, βυθίσαμε μέσα την πλακέτα και προσθέσαμε και περίπου 5ml περιντρόλ (υπεροξειδίο του υδρογόνου) σε ένα καλά αεριζόμενο χώρο. Ξαναρχίσαμε την ανάδευση με αργές κινήσεις βλέποντας τον χαλκό να εξαφανίζεται με κάθε λεπτό που περνούσε στα μη τυπωμένα σημεία της πλακέτας. Όταν το κύκλωμα μας ήταν το μόνο που είχε μείνει στην πλακέτα και αφού ελέγξαμε την πλακέτα για τυχών

βραχυκυκλώματα, την αφαιρέσαμε από την λεκάνη και ξεπλύναμε με άφθονο νερό και τρίψαμε με ένα συρματάκι για να φύγουν υπολείμματα χαλκού που ίσως να είχαν μείνει.

Από αυτό το σημείο και μετά η διαδικασία ήταν πολύ απλή. Η διάτρηση της πλακέτας έγινε με τρυπάνι μικρού διαμετρήματος στα προκαθορισμένα σημεία και μετά ακολούθησε η κόλληση των εξαρτημάτων πάνω της.

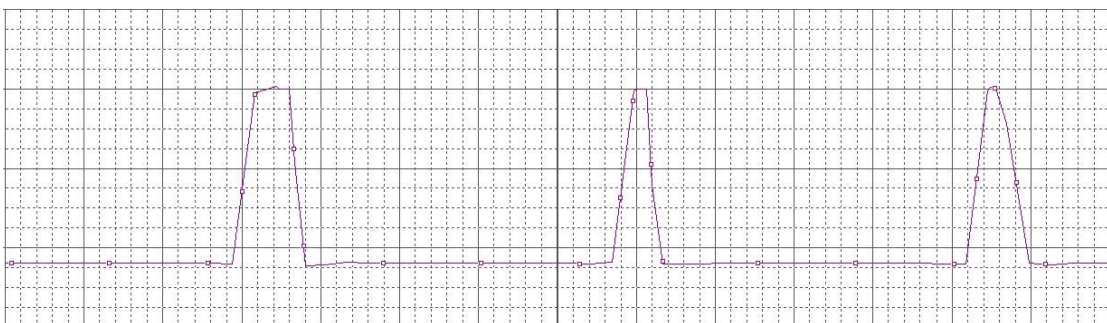
## 4.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε την κυματομορφή στην έξοδο του κυκλώματος προσομοίωσης με 0.5V στην είσοδο και τα ιδανικά κέρδη για τα τρανζίστορ, 70 για το Q1 και 120 για το Q2.



**εικ.10** - Q1  $\beta=70$ , Q2  $\beta=120$

Εδώ βλέπουμε την έξοδο του κυκλώματος πάλι με 0.5V στην είσοδο αλλά με τα κέρδη των τρανζίστορ στις τιμές του πραγματικού κυκλώματος, 186 για το Q1 και 200 για το Q2.



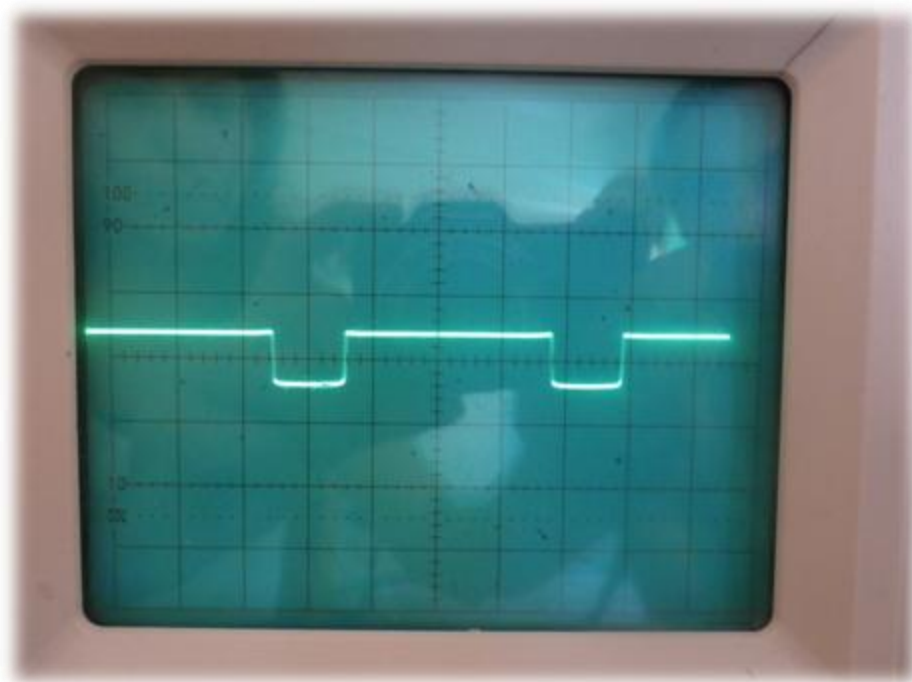
**εικ.11** - Q1  $\beta=186$ , Q2  $\beta=200$

## 4.2 Αποτελέσματα πραγματικού κυκλώματος

Σε αυτήν την παράγραφο θα παρουσιαστούν μια σειρά φωτογραφιών που παρουσιάζουν την έξοδο του κυκλώματος που κατασκευάσαμε όπως εμφανίζονται στον παλμογράφο. Ο παλμογράφος είναι ρυθμισμένος στα  $0.5ms/div$  για οριζόντιο άξονα και  $0.5V/div$  για τον κάθετο. Στην είσοδο του πεταλίου δώσαμε ένα σήμα ημιτόνου πλάτους  $0.5V$  peak to peak και συχνότητας  $440Hz$ .

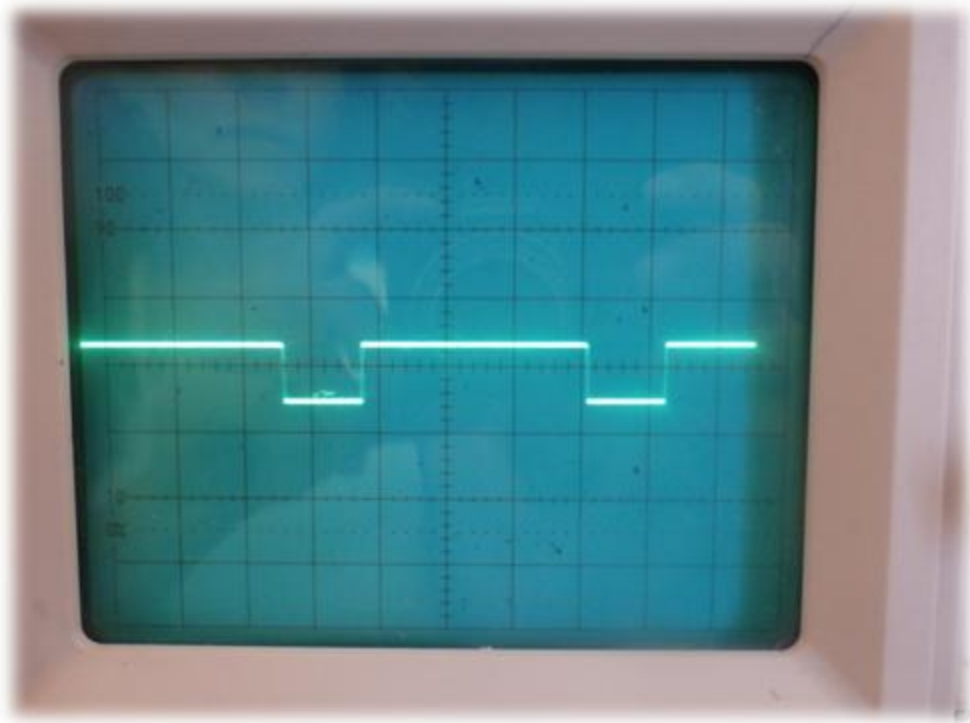
Οι μεταβλητές στις μετρήσεις μας είναι 2, είναι η  $R_{fuzz}$  όπου είναι η αντίσταση έλεγχου του Fuzz τιμής  $1K\Omega$  και η  $R_{Vf}$  που είναι η αντίσταση ανάδρασης που συνδέεται στην βάση του πρώτου τρανζίστορ τιμής  $200K\Omega$ . Η τιμή της έντασης καθ' όλη την διάρκεια των μετρήσεων είναι ρυθμισμένη στο μέγιστο.

Εδώ και οι δυο αντιστάσεις είναι ρυθμισμένες στην μικρότερη δυνατή τιμή.

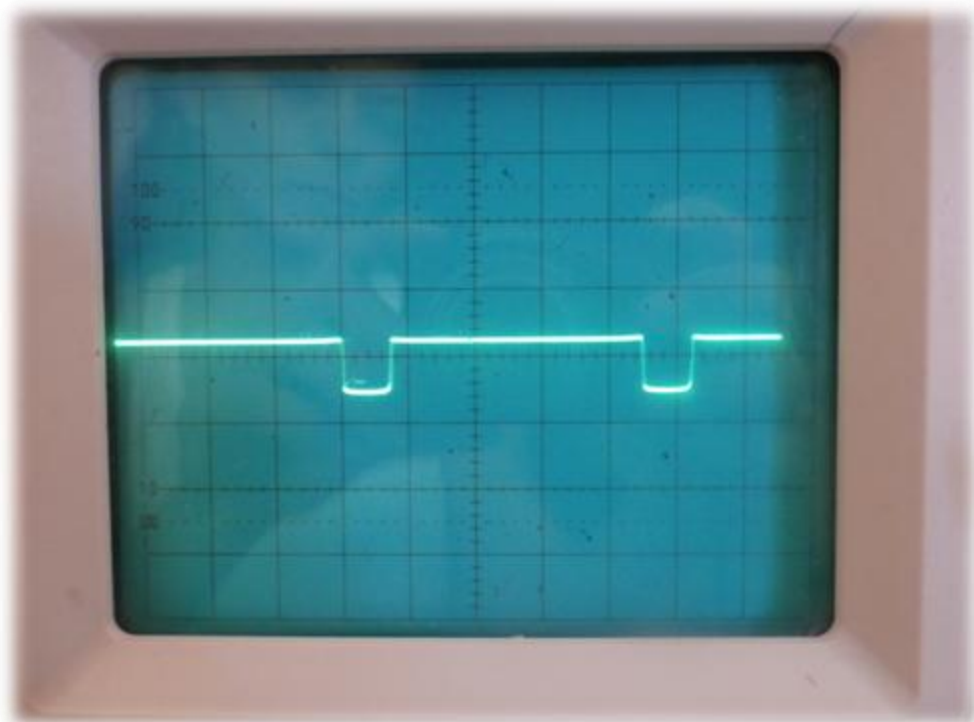


**εικ.12** -  $R_{fuzz}$  min,  $R_{Vf}$  min

Εδώ η  $R_{fuzz}$  είναι στην μεγαλύτερη της τιμή και η  $R_{Vf}$  στην μικρότερη.

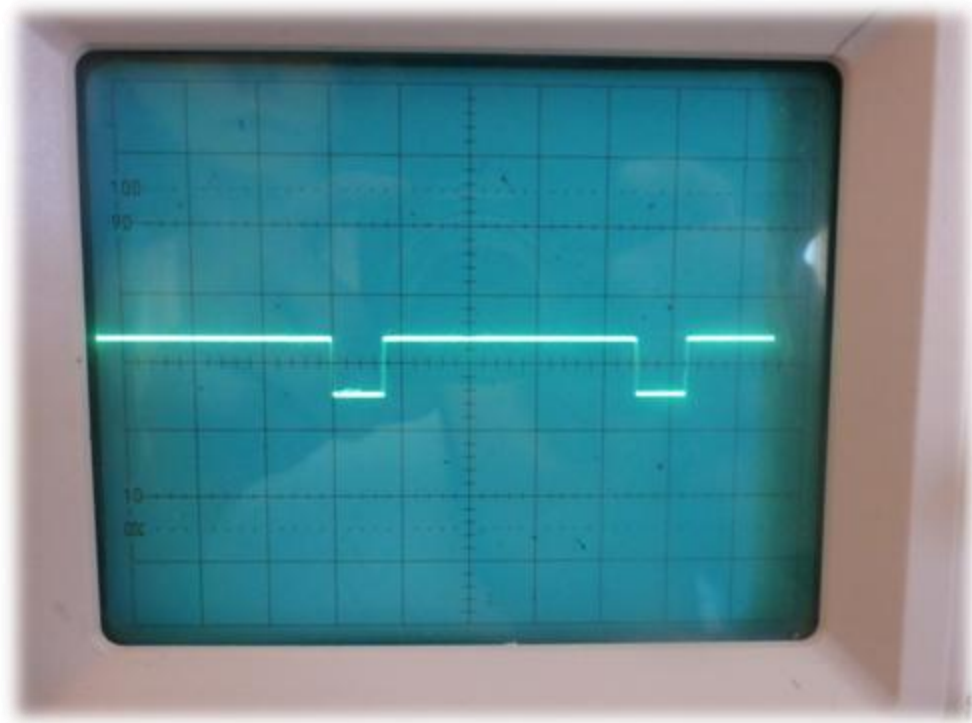


**εικ.13** -  $R_{fuzz}$  max,  $R_{Vf}$  min



**εικ.14** -  $R_{fuzz}$  min,  $R_{Vf}$  max

Στην παραπάνω εικόνα η  $R_{fuzz}$  έχει την μικρότερη της τιμή ενώ η  $R_{Vf}$  έχει την μεγαλύτερη της.



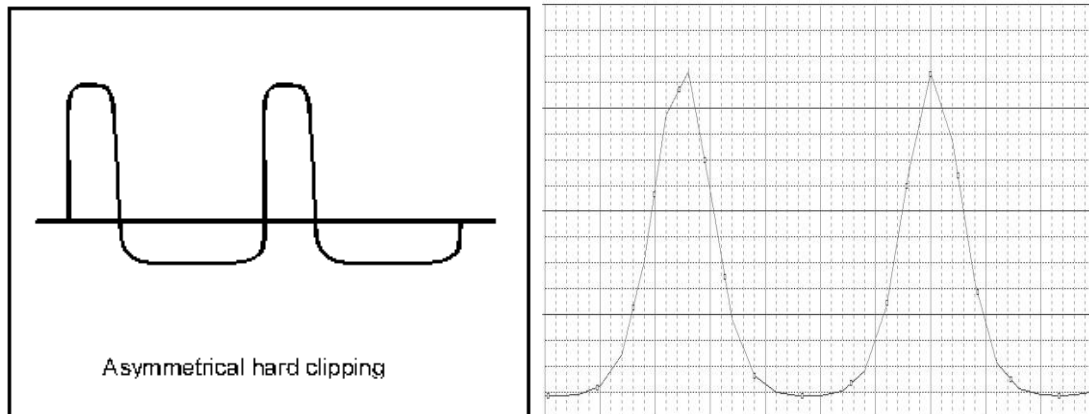
**εικ.15** -  $R_{fuzz} \max, R_{Vf} \max$

Τέλος στην εικ.15 και οι δυο αντιστάσεις είναι στην μεγίστη δυνατή τιμή τους.

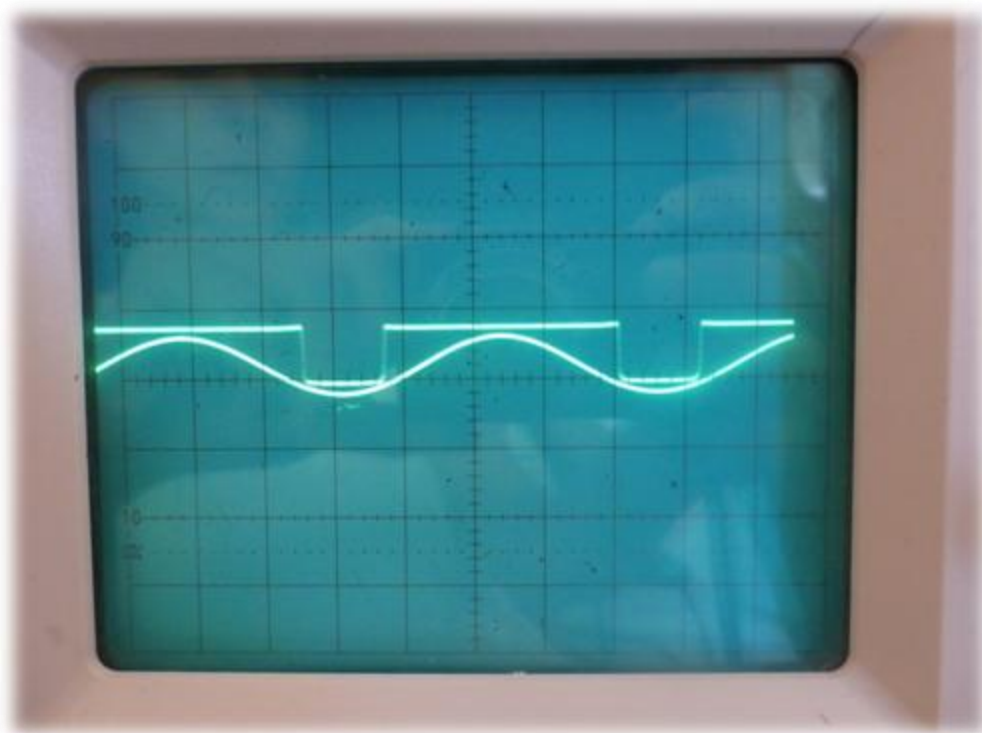


## 5.1 Συμπεράσματα

Μετά από αρκετές προσομοιώσεις φτάσαμε σε κάποια συμπεράσματα. Κατ' αρχάς μπορούμε να δούμε ότι η κυματομορφή στην έξοδο του κυκλώματος είναι πολύ κοντά σε αυτό που συναντήσαμε στην βιβλιογραφία σαν ιδανικό.



**εικ.16** - Σύγκριση θεωρητικού με προσομοιωμένο ασύμμετρο ψαλιδισμό



**εικ.17** - Σύγκριση της εισόδου με την έξοδο του πραγματικού κυκλώματος

Παρατηρήσαμε ότι οι τιμές που αλλάζαμε στο κέρδος του Q1 επηρέαζαν τον τρόπο με τον οποίο το κύκλωμα ψαλίδιζε το σήμα στην είσοδο στην ουσία το ποσοστό της



παραμόρφωσης του κυκλώματος ενώ οι αλλαγές στο κέρδος του Q2 επηρέαζαν κυρίως την συνολική ένταση του κυκλώματος και όχι τόσο το σχήμα αυτής. Συγκεκριμένα όταν το κέρδος του Q2 αυξανόταν τότε έπεφτε το συνολικό κέρδος του κυκλώματος.

	Αυξημένο β	Μειωμένο β
Q1	Αύξηση του ψαλιδισμού	Μείωση του ψαλιδισμού
Q2	Μείωση κέρδους κυκλώματος	Αύξηση κέρδους κυκλώματος

**Πινάκας 5.1** - Επηρεασμός κυκλώματος από τις αλλαγές του κέρδους των τρανζίστορ

Στο πραγματικό κύκλωμα η αστοχία στα κέρδη των τρανζίστορ μόνο μακριά μπορεί να μας κρατήσει από τα ιδανικά αποτελέσματα. Όπως βλέπουμε στην εικ.12 ακόμα και για τις μικρότερες τιμές στις αντιστάσεις έλεγχου και ανάδρασης η κυματομορφή είναι σχεδόν τετραγωνισμένη δηλαδή σε κατάσταση βαρύ ψαλιδισμού και όπως είναι λογικό ακόμα περισσότερο όταν μεγαλώνουμε την τιμή στην αντίσταση έλεγχου. Όταν τώρα αυξήσουμε την τιμή στην αντίσταση ανάδρασης παρατηρούμε ότι δεν αλλάζει τόσο το ποσοστό παραμόρφωσης όσο το on time στην αρνητική ημιπερίοδο (εικ.14) κάτι που περιμέναμε να δούμε μετά τις προσομοιώσεις. Αυτό ακουστικά μεταφράζετε σαν μια ακόμα ποιό τραχιά παραμόρφωση, με αυτό υπόψη φτάνουμε στο συμπέρασμα ότι η μετατροπή στο κύκλωμα μας είναι επιτυχημένη από την στιγμή που αν αφήναμε την αντίσταση ανάδρασης στην αρχική της τιμή θα είχαμε μικρότερο on time και σαν αποτέλεσμα βαρύτερη παραμόρφωση.

Αυτή η μετατροπή μπορεί να μείνει σαν εσωτερικός διορθωτής του κυκλώματος για να μπορούμε να την μεταβάλουμε ανάλογα ώστε να έχουμε παρόμοιο ήχο στα πετάλια που κατασκευάζουμε, αρκεί τα κέρδη των τρανζίστορ να μην μεταβάλλονται παρά πολύ από τις ιδανικές τιμές. Επίσης μπορεί να μεταφερθεί έξω από το πετάλι ίσως και σε συνδυασμό με άλλες αλλαγές π.χ. ένα κύκλωμα ισοστάθμισης και να δημιουργήσουμε κάτι καινούριο και ενδιαφέρον.

Μια άλλη παρατήρηση που έγινε κατά την διάρκεια κατασκευής του κυκλώματος ήταν η ευαισθησία των τρανζίστορ στην θερμοκρασία. Ακόμα και όταν πλησιάζαμε τα χεριά μας πάνω τους η τιμή του κέρδους άλλαζε. Αυτό μας λέει ότι οι μετρήσεις ισχύουν για τις θερμοκρασίες δωματίων που έγιναν και ότι το πετάλι μπορεί να συμπεριφέρεται διαφορετικά σε διαφορετικά μέρη αν και δεν έχουμε προσδιορίσει τις διαφορές στην θερμοκρασία που πρέπει να υπάρχουν για να είναι ακουστή η διάφορα.

Είπαμε παραπάνω, <<2 τρανζίστορ, 3 πυκνωτές, μερικές αντιστάσεις και 2 ποτενσιόμετρα, ένα κύκλωμα τόσο απλό>> τώρα μπορώ να πώ και μαγικό. Οι ικανότητες ενός κυκλώματος σαν και αυτό σταματούν εκεί που σταματά και ιδία μας η φαντασία και δεν είναι τυχαίο ότι ο κόσμος δεν σταμάτησε να ασχολείται ποτέ μαζί του.

Εν κατακλείδι συμπεραίνουμε ότι οι αλλαγές που έγιναν κρίνονται επιτυχημένες αλλά με περιορισμούς, Σε ένα τόσο απλό κύκλωμα η αστοχία έστω και σε ένα εξάρτημα θα δημιουργήσει προβλήματα που ίσως να μην μπορούν να λυθούν. Με την επέμβαση μας μπορέσαμε να περιορίσουμε το πρόβλημα τις αστοχίας του κέρδους των τρανζίστορ όποτε να έχουμε μικρότερο ποσοστό απόρριψης εξαρτημάτων άρα και μεγαλύτερο οικονομικό κέρδος χωρίς να κάνουμε συμβιβασμούς στην ποιότητα του ήχου.

## Βιβλιογραφία

---

Malvino, Albert Paul: Βασική ηλεκτρονική (τετάρτη έκδοση) ISBN 960-7219-12-0

Ρήγας Δημήτριος: Τεχνολογία ηλεκτρονικών εξαρτημάτων (δεύτερη έκδοση) ISBN 960-7219-36-8

[http://www.geofex.com/Article\\_Folders/fuzzface/fffram.htm](http://www.geofex.com/Article_Folders/fuzzface/fffram.htm) (07/08/2013)

[http://en.wikipedia.org/wiki/Fuzz\\_Face](http://en.wikipedia.org/wiki/Fuzz_Face) (07/08/2013)

<http://www.fuzzeffect.com/> (10/08/2013)

<http://www.premiarguitar.com/articles/stompbox-classics-fuzz-face-1>  
(15/01/2014)

[http://www.premiarguitar.com/articles/Roger\\_Mayer\\_Talks\\_Fuzz](http://www.premiarguitar.com/articles/Roger_Mayer_Talks_Fuzz) (15/01/2014)

[http://www.gilmourish.com/?page\\_id=73](http://www.gilmourish.com/?page_id=73) (15/01/2014)

<http://www.stompboxes.co.uk/History.html> (16/01/2014)

<http://blog.wfmu.org/freeform/2007/11/country-fuzz-sp.html> (16/01/2014)

<http://www.theatlantic.com/technology/archive/2011/03/50-years-of-making-fuzz-the-sound-that-defines-rock-n-roll/71959/>  
(16/01/2014)

[http://en.wikipedia.org/wiki/Bipolar\\_junction\\_transistor](http://en.wikipedia.org/wiki/Bipolar_junction_transistor) (05/03/2014)

<http://alltransistors.com/crsearch.php?mat=si&struct=pn&pc=1&ucb=32&uce=16&ueb=10&ic=1&tj=100&ft=1&cc=200&hfe=45&caps=TO1> (05/03/2014)

<http://alltransistors.com/transistor.php?transistor=21205> (05/03/2014)

<http://alltransistors.com/transistor.php?transistor=43895> (05/03/2014)

[http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/A/C/1/2/AC128.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/A/C/1/2/AC128.shtml)  
(06/03/2014)

<https://www.smallbearelec.com/HowTos/FuzzFaceFAQ/FFFAQ.htm> (06/03/2014)

<http://www.geofex.com/efffaq/distn101.htm> (06/03/2014)

[http://www.nordcad.dk/download/Teknik/e-service/90/PSpice\\_model\\_import.html](http://www.nordcad.dk/download/Teknik/e-service/90/PSpice_model_import.html) (12/03/2014)

[http://ecee.colorado.edu/~bart/book/book/chapter5/pdf/ch5\\_6\\_3.pdf](http://ecee.colorado.edu/~bart/book/book/chapter5/pdf/ch5_6_3.pdf) (12/03/2014)

[https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/10566/overton\\_william\\_e\\_200605\\_mast.pdf.pdf](https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/10566/overton_william_e_200605_mast.pdf.pdf) (12/03/2014)

<http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/What-is-vbe-of-a-transistor> (06/04/2014)

<http://electronics.stackexchange.com/questions/91667/why-is-vbe-a-constant-0-7-for-a-transistor-in-the-active-region> (06/04/2014)

[http://virtual.cvut.cz/test/pokusy/submodels/electronic/bjt/npn2\\_rev/index.html](http://virtual.cvut.cz/test/pokusy/submodels/electronic/bjt/npn2_rev/index.html)

<http://network.wenzel.com/misc/spice.htm> (06/04/2014)

<http://electronicdesign.com/analog/what-s-difference-between-voltage-feedback-and-current-feedback-op-a-mps> (10/07/2014)

<http://www.ti.com/lit/an/slva051/slva051.pdf> (10/07/2014)