



ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Κατασκευή και μελέτη κυκλώματος αυτόματου
ελέγχου κέρδους μικροφωνικής προενίσχυσης με
λυχνίες.**

Του φοιτητή Φίλιππου Κωνσταντινίδη

Αρ. Μητρώου: 511051

**Επιβλέπων
Γιώργος Μπάμνιος
Καθηγητής**

Θεσσαλονίκη, Σεπτέμβριος 2022

Τίτλος Δ.Ε.: Κατασκευή και μελέτη κυκλώματος αυτόματου ελέγχου κέρδους μικροφωνικής προενίσχυσης με λυχνίες.

Κωδικός Δ.Ε.: 19142

Όνοματεπώνυμο φοιτητή/τών : Φίλιππος Κωνσταντινίδης

Όνοματεπώνυμο εισηγητή : Γιώργος Μπάμνιος

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε.: 26-11-2019

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε.: 1-9-2022

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Κωνσταντινίδη Φίλιππου που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιοδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

Για το Ροκ

Πρόλογος

Ο κόσμος των αναλογικών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων που αφορούν την επεξεργασία του ήχου, ειδικά σε ένα μουσικό περιβάλλον, έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για εμένα ως μουσικός, τεχνικός ήχου και ηλεκτρονικός. Σε ένα μουσικό περιβάλλον η έννοια του "αποδοτικού" κυκλώματος δεν συμβαδίζει παράλληλα με την έννοια του "αποτελεσματικού" κυκλώματος και αυτός είναι ο λόγος που ακόμα και σήμερα οι λυχνίες και τα βινύλια, ενώ είναι ξεπερασμένες τεχνολογίες όσον αφορά την απόδοσή τους, παραμένουν στο επίκεντρο της αγάπης και της κατανάλωσης από τους μουσικόφιλους ηχοτεχνολόγους. Η πτυχιακή εργασία που επέλεξα, περιλαμβάνει την ανάλυση και συνδυασμό δύο πολύ ενδιαφερόντων κυκλωμάτων για εμένα, λόγω του χαρακτήρα τους ή/και της ιστορικής τους σημασίας. Η ενισχυτική μονάδα "G9" της εταιρίας "Gyraf" εκπληρώνει ένα χρόνιο πόθο μου να ασχοληθώ με την κατασκευή λαμπάτου ενισχυτή ενώ ο απλός μα ιδιαίτερα ευφυής σχεδιασμός της αποτελεί ένα καλό βήμα γνωριμίας με τις λυχνίες. Η compression μονάδα της UREI "1176 FET Compressor" είναι τόσο έντονα συνδεδεμένη με την σύγχρονη μουσική ιστορία που θεωρείται απαραίτητη η μελέτη της για όποιον ασχολείται με κυκλώματα μουσικής παραγωγής και ηχητικής επεξεργασίας. Η διαδικασία της μελέτης, κατανόησης και κατασκευής της συνδυασμένης παρούσας μονάδας αποδείχθηκε ένας φοβερός αγώνας μιας και σε κάθε μικρό βήμα εμφανίστηκαν πολλές προκλήσεις, που οδήγησαν σε πολλές μικρές απογοητεύσεις μέχρι την ολοκλήρωση της κατασκευής. Τέλος, εκτιμώντας την γνώση και την εμπειρία που αποκόμισα από αυτήν τη διαδικασία, θεωρώ πως έχω βγει πλείστα κερδισμένος. Η γνώση όμως δεν μπορεί ποτέ να είναι πλήρης και είμαι σίγουρος πως υπάρχουν πολλά ακόμα κρυφά μυστικά να μάθω από τα κυκλώματα αυτής της εργασίας στο μέλλον.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την κατασκευή μιας μικροφωνικής μονοκάναλης προενίσχυσης (Mic Pre-Amp) με δυνατότητα δυναμικής επεξεργασίας (Compression). Η χρήση μιας τέτοιας μονάδας είναι καθαρά στουντιακή και αφορά στην ηχογράφιση και επεξεργασία σημάτων από μικροφωνική πηγή ή ηλεκτρικό μουσικό όργανο. Η μονάδα είναι βασισμένη σε δύο προϊόντα της διεθνούς αγοράς της μουσικής παραγωγής. Η προενίσχυση βασίζεται στην Gyratec IX της Δανέζικης εταιρίας Gyraf και χρονολογείται στο 2006 (8th revision), ενώ ο compressor βασίζεται στον 1176LN peak limiter της UREI (σήμερα Universal Audio) και χρονολογείται από το 1978. Ο σκοπός ήταν το πάντρεμα του 1176 compressor με ένα λαμπάτο ενισχυτικό στάδιο αντί για το δικό του πρωτότυπο με τα τρανζίστορ.

Τα κυκλώματα που αποτελούν την μονάδα επιλέχθηκαν με βασικό κριτήριο το προσωπικό ενδιαφέρον του γράφοντος για τους συγκεκριμένους τύπους κυκλωμάτων καθώς και το εύρος διαθέσιμων πληροφοριών για τη λειτουργία και χρήση τους.

Abstract

This thesis aims at the construction of a single-channel microphone pre-amplifier (Mic PreAmp) with the possibility of dynamic processing (Compression). The use of such a unit is purely for studio purposes and concerns the recording and processing of signals from a microphone source or an electric musical instrument. The unit is based on two products of the international music production market. The preamp is based on the Gyratec IX of the Danish company Gyraf and dates from 2006 (8th revision), while the compressor is based on the 1176LN peak limiter from UREI (today Universal Audio) and dates from 1978. The purpose was to merge the 1176 compressor with a tube amplifier stage instead of its own transistor prototype.

The circuits that make up the unit were selected based on the writer's personal interest in the specific types of circuits as well as the range of available information on their operation and use.

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ πολύ την Έφη και τον Αρχέλαο για την υπομονή τους απέναντι στο ημιμαθές άτομό μου, καθώς και για την στήριξή τους σε όλα τα βήματα για την εκπλήρωση αυτής της εργασίας. Επίσης ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στην κοινότητα του www.hlekttronika.gr για το ζήλο να με βοηθήσουν να βρω απαντήσεις στα πολλά ερωτήματά μου γύρω από τον κόσμο των ηλεκτρονικών. Τέλος ευχαριστώ τον κ. Γιώργο Μπάμνιο και τους καθηγητές μου στη σχολή για τη βοήθεια, τη γνώση και τις προκλήσεις.

1.9.2022

Κωνσταντινίδης Φίλιππος

Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος	iii
Περίληψη.....	viii
Abstract	v
Ευχαριστίες	viii
Πίνακας περιεχομένων.....	vii
Πίνακας σχημάτων.....	ix
Πίνακας πινάκων.....	xi
Εισαγωγή.....	xii
1 Χρήσιμες Έννοιες και Θεωρία	1
1.1 Εύρος Ακουστικών Συχνοτήτων	1
1.2 Ηλεκτρονική λυχνία - Λυχνία κενού	2
1.2.1 Τρίοδος	2
1.2.2 Τετράοδος	3
1.2.3 Πεντάοδος	4
1.2.4 Λυχνία Κατευθυνόμενης Δέσμης - Beam Tetrode	5
1.3 Βρόχος Κοινής Γείωσης - Ground Loop	7
2 Κυκλώματα Ενίσχυσης - Gyraf G9 Tube Preamplifier	8
2.1 Προενισχυτικό στάδιο - Preamp	10
2.1.1 Έλεγχος κέρδους και αρνητική ανάδραση	10
2.2 Τελικό στάδιο ενίσχυσης - Poweramp	11
2.3 Μετασηματιστές εισόδου-εξόδου.....	12
2.4 Περιφερειακά - Πρόσθετες λειτουργίες	15
2.4.1 Mic Input - Instrument Input.....	15
2.4.2 PAD - 48V.....	16
2.5 G9 Preamplifier - 1176 FET Compressor - Power Supply	16
3 Κύκλωμα Αυτόματου Ελέγχου Κέρδους - 1176 FET Compressor	20
3.1 Compression - Συμπίεση Δυναμικού Εύρους	20
3.1.1 Universal Audio's 1176LN FET Compressor.....	21
3.2 FET - Αντίσταση Ελεγχόμενη από Τάση	21
3.3 Ανίχνευση Κορυφής	23
3.3.1 "AC Split" - Buffers Αναστροφής Φάσης	23
3.3.2 Πλήρης Ανόρθωση Τάσης - Μετατροπή από AC σε DC.....	26
3.3.3 Έλεγχος φόρτισης του πυκνωτή - Attack και Release	28
3.3.4 Ο διακόπτης "Ratio"	33
4 Κυκλώματα Τροφοδοσίας	36
4.1 Τροφοδοσία Πυράκτωσης Λυχνιών - Heaters +12V.....	36

4.2	Τροφοδοσία Λειτουργίας Λυχνιών - High Tension +245V	38
4.3	Τροφοδοσία Πυκνωτικού Μικρόφωνου - Phantom Power +48V.....	40
4.4	Τροφοδοσίες του 1176 Compressor - Compressor +30V/-10V.....	42
5	Η Κατασκευή Της Μονάδας	53
5.1	Πλακέτες Κατασκευών - Κατασκευή των κυκλωμάτων	45
6	Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις	53
	Βιβλιογραφία	54

Πίνακας σχημάτων

Εικόνα 1. Οι 7 περιοχές του φάσματος ακουστικών συχνοτήτων από 20 Hz ως 20.000 Hz.	1
Εικόνα 2. Γραφική απεικόνιση της τριόδου.	2
Εικόνα 3. Γραφική απεικόνιση της τετραόδου.	3
Εικόνα 4. The Tetrode Kink.	4
Εικόνα 5. Γραφική απεικόνιση της πενταόδου.	5
Εικόνα 6. Γραφική απεικόνιση της λυχνίας κατευθυνόμενης δέσμης.	6
Εικόνα 7. Η δέσμη ηλεκτρονίων σε λυχνία κατευθυνόμενης δέσμης.	6
Εικόνα 8. Η δημιουργία ενός βρόχου κοινής γείωσης.	7
Εικόνα 9. Η διάσπαση ενός βρόχου κοινής γείωσης.	7
Εικόνα 10. G9 Amplifier - Παρατηρούμε δύο στάδια ενίσχυσης να σχηματίζονται από τα δύο μισά της λυχνίας U1 και της λυχνίας U2.	9
Εικόνα 11. Ισοδύναμο κύκλωμα του πρώτου ενισχυτικού σταδίου με απλοποιημένη τη μορφή του διακόπτη κέρδους.	11
Εικόνα 12. Η δεύτερη και τελική βαθμίδα ενίσχυσης "SRPP" απομονωμένη.	12
Εικόνα 13. Unbalanced σύνδεση.	13
Εικόνα 14. Balanced σύνδεση.	13
Εικόνα 15. Balanced/Unbalanced σύνδεση με μετασχηματιστή στην είσοδο και την έξοδο του κυκλώματος.	14
Εικόνα 16. Phantom Power 48V ασκείται στην μικροφωνική είσοδο για τροφοδότηση πυκνωτικής κάψας.	15
Εικόνα 17. Οι διακόπτες για την 48V phantom τροφοδοσία και την PAD ελάττωση σήματος εισόδου.	16
Εικόνα 18. Το ενισχυτικό κύκλωμα G9 μαζί με το FET που πραγματοποιεί το compression.	17
Εικόνα 19. Το κύκλωμα ανίχνευσης κορυφής του 1176.	18
Εικόνα 20. Το πλήρες κύκλωμα τροφοδοσίας.	19
Εικόνα 21. Ψαλιδισμός της εξόδου κατά την ενίσχυση. Το σήμα ξεπέρασε τα όρια της λυχνίας εξόδου. Κίτρινο: Είσοδος, Μπλε: Έξοδος.	21
Εικόνα 22. Μερικές εκδοχές του 1176 από την Universal Audio.	21
Εικόνα 23. N-channel FET ως Αντίσταση Ελεγχόμενη από Τάση.	22
Εικόνα 24. Το κύκλωμα διαχωρισμού του σήματος (<i>AC Split</i>).	24
Εικόνα 25. Ψαλιδισμός της εξόδου χωρίς την <i>Rf</i> . Κίτρινο: Είσοδος - Μπλε: Έξοδος.	25
Εικόνα 26. Η πρώτη βαθμίδα χωρίς την αντίσταση αρνητικής ανάδρασης <i>Rf</i>	26
Εικόνα 27. Ψαλιδισμός της εξόδου με την αρνητική ανάδραση. Κίτρινο: Είσοδος - Μπλε: Έξοδος.	26
Εικόνα 28. Ανορθωτής Πλήρους Κύματος - Μετατροπή του AC σήματος σε DC τάση.	27
Εικόνα 29. Ανόρθωση τάσης χωρίς πυκνωτή εξομάλυνσης.	27
Εικόνα 30. Ανόρθωση τάσης με τον πυκνωτή εξομάλυνσης.	27
Εικόνα 31. Η τάση ελέγχου είναι μηδενική κατά την αύξηση του σήματος.	28
Εικόνα 32. Η τάση ελέγχου αυξάνεται κατά το χρόνο που το σήμα είναι θετικό.	28
Εικόνα 33. Ο έλεγχος της τάσης κατωφλίου μπορεί να πραγματοποιηθεί με ένα ποτενσιόμετρο.	28
Εικόνα 34. Ο έλεγχος της φόρτισης και εκφόρτισης του πυκνωτή.	29
Εικόνα 35. Η εξέλιξη της τάσης ελέγχου όταν ο πυκνωτής εκφορτίζεται προς την γείωση. Η τάση ελέγχου είναι θετική. Κίτρινο: Σήμα $V+$, Μπλε: Τάση Ελέγχου.	30
Εικόνα 36. Η αρνητική τάσης πόλωσης για την εκφόρτιση του πυκνωτή.	31

Εικόνα 37. Η εξέλιξη της τάσης ελέγχου όταν ο πυκνωτής εκφορτίζεται προς την V_{bias} . Η τάση ελέγχου είναι αρνητική. Κίτρινο: Σήμα $V+$, Μπλε: Τάση Ελέγχου	31
Εικόνα 38. Αριστερά: Εξωτερική μονάδα μετρητή VU. Δεξιά: Ο μετρητής VU στην εκδοχή του 1176 της εταιρίας "Purple Audio".	32
Εικόνα 39. Ratio στη θέση 1.....	34
Εικόνα 40. Ratio στη θέση 2.....	34
Εικόνα 41. Ratio στη θέση 3.....	34
Εικόνα 42. Ratio στη θέση 4.....	34
Εικόνα 43. Το κύκλωμα ελέγχου κέρδους του 1176 στην ολότητά του.....	35
Εικόνα 44. Η +12V τροφοδοσία για την πυράκτωση των λυχνιών.	37
Εικόνα 45. Η +245V τροφοδοσία για την ενισχυτική λειτουργία των λυχνιών.....	39
Εικόνα 46. Η +48V Phantom τροφοδοσία για σύνδεση πυκνωτικού μικρόφωνου.....	41
Εικόνα 47. Το κύκλωμα τροφοδοσίας του compression προσφέρει την +30V τάση των τρανζίστορ και την -10V τάση πόλωσης του FET.	43
Εικόνα 48. Πλακέτα Paxolin Tag Board. Paxolin ονομάζεται το καφετί φύλλο που αποτελεί την βάση της πλακέτας.....	45
Εικόνα 49. Ο ενισχυτής σε tag board.....	46
Εικόνα 50. Τρεις διαφορετικοί τύποι διάτρητων πλακετών.....	46
Εικόνα 51. Η πλακέτα του μετασχηματιστή εξόδου.....	47
Εικόνα 52. Η πλακέτα των λυχνιών και η βάση για την τοποθέτηση.....	47
Εικόνα 53. Οι λυχνίες του ενισχυτή τοποθετημένες στις πλακέτες τους,	47
Εικόνα 54. Η τυπωμένη πλακέτα που απέτυχε.	48
Εικόνα 55. Οι δύο όψεις της πλακέτας του compression όπως σχεδιάστηκαν στο KiCad και τυπώθηκαν.	49
Εικόνα 56. Οι δύο όψεις της πλακέτας της τροφοδοσίας όπως σχεδιάστηκαν στο KiCad	50
Εικόνα 57. Οι δύο όψεις της πλακέτας της τροφοδοσίας όπως τυπώθηκαν.	51
Εικόνα 58. Η μονής όψης πλακέτα του Gain όπως σχεδιάστηκε στο KiCad και τυπώθηκε.	52
Εικόνα 59. Μερικές από τις δοκιμές που δεν πέτυχαν.....	52

Πίνακας πινάκων

Πίνακας 1. Εσωτερική αντίσταση FET και τάση ελέγχου.....	22
--	----

Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία εστιάζει κατά κύριο λόγο στην ανάλυση της λειτουργίας του κυκλώματος που πραγματοποιεί τον έλεγχο του κέρδους (gain reduction) στον πυρήνα του 1176 FET compressor. Η πραγματική μονάδα φέρει ένα στάδιο ενίσχυσης στην είσοδο το οποίο τροφοδοτεί το κύκλωμα του ελέγχου κέρδους και εν συνεχεία ένα τελικό στάδιο ενίσχυσης. Τα δύο στάδια ενίσχυσης βασίζονται σε κυκλώματα με τρανζίστορ. Στην είσοδο αναλαμβάνει ένα κύκλωμα με τελεστικό ενισχυτή να πραγματοποιήσει την αποθορυβοποίηση (balanced-unbalanced) ενώ στην έξοδο ένας μετασχηματιστής κάνει την ανάστροφη δουλειά (unbalanced-balanced).

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, τα δύο στάδια ενίσχυσης με τρανζίστορ έχουν αντικατασταθεί με παρόμοιας διάταξης ενισχυτικά στάδια που λειτουργούν με λυχνίες. Πιο συγκεκριμένα, είναι τα ενισχυτικά στάδια που φέρει ο μικροφωνικός ενισχυτής 'Gyratex 9' της εταιρίας 'Gyraf'. Επίσης το κύκλωμα αποθορυβοποίησης στην είσοδο του 1176 έχει αντικατασταθεί με τον 'XSM600/10k' μετασχηματιστή της 'Edcor' ενώ στην έξοδο παραμένει ένας μετασχηματιστής για την unbalanced-balanced σύνδεση και είναι ο 'LL5402' της 'Lundahl'.

Ουσιαστικά η εργασία είναι μια απόπειρα να αφαιρεθούν τα στοιχεία ημιαγωγών (σίλικόνης: τρανζίστορ - τελεστικοί ενισχυτές) από την ροή του σήματος, που έχουν ως χαρακτηριστικό την ενίσχυση των περιττών αρμονικών συχνοτήτων, με λυχνίες και μετασχηματιστές που ενισχύουν της άρτιες αρμονικές συχνότητες.

Το πρώτο κεφάλαιο είναι μια εισαγωγή-παρουσίαση των διάφορων τύπων ηλεκτρονικής λυχνίας κενού και των λειτουργιών τους. Επίσης αναφέρονται κάποιες πληροφορίες για τις ακουστικές συχνότητες που επεξεργάζεται η μονάδα μα και για τους βρόχους κοινής γείωσης που αποτελούν ένα σύνηθες πρόβλημα στις ηλεκτρονικές ιδιοκατασκευές υψηλής τάσης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο ξεκινάει η παρουσίαση των ενισχυτικών σταδίων που βασίζονται στον ενισχυτή "Gyratex 9". Επίσης θα γίνει μια αναφορά σε κάποιες εξωτερικές λειτουργίες που προστέθηκαν για να βοηθήσουν στην χρηστικότητα της μονάδας στα πλαίσια μιας ηχογράφησης.

Το τρίτο κεφάλαιο περιέχει όλη την ανάλυση της λειτουργίας του αυτόματου ελέγχου κέρδους του 1176 FET Compressor, καθώς και τα συμπεράσματα από την μελέτη του κυκλώματος και την αντικατάσταση των τρανζίστορ ενισχυτικών με λυχνίες.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα κυκλώματα τροφοδοσίας και μετατροπής από εναλ λασσόμενο ρεύμα σε σταθερό για την λειτουργία των επιμέρους στοιχείων της κατασκευής.

Στο πέμπτο κεφάλαιο εμφανίζονται εικόνες της κατασκευής και των πλακετών, καθώς και μια σύντομη παρουσίαση της κατασκευής αυτών.

Το έκτο και τελευταίο κεφάλαιο αποτελεί τον επίλογο και περιέχει μερικά συμπεράσματα και παρατηρήσεις.

Κεφάλαιο 1

Χρήσιμες Έννοιες και Θεωρία

Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε κάποιες έννοιες που διέπουν το αντικείμενο της εργασίας και ίσως φανούν χρήσιμες στην κατανόηση των κυκλωμάτων που θα παρουσιαστούν αλλά και των προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν. Θα μάθουμε για το εύρος των ακουστικών συχνοτήτων στο οποίο λειτουργεί η μονάδα μας, τις λυχνίες κενού και κάποια βασικά για την λειτουργία τους, ενώ θα δούμε τι πρόβλημα μπορεί να μας δημιουργήσει μια ανυγιής γείωση.

1.1 Εύρος Ακουστικών Συχνοτήτων

Η αποτελεσματική συχνοτική επεξεργασία σημάτων των μουσικών οργάνων, απαιτεί να γνωρίζουμε που τοποθετείται κάθε όργανο στο ακουστικό συχνοτικό φάσμα καθώς και που πρέπει να επεμβούμε συχνοτικά για να ωραιοποιήσουμε τον ήχο του. Αρχικά θα χωρίσουμε το ακουστικό φάσμα σε 7 διαφορετικές περιοχές (frequency bands).

Audio Frequency Bands
Sub Bass (20 - 60 Hz)
Bass (60 - 250 Hz)
Lower Mid (250 - 500 Hz)
Mid (500 Hz - 2 kHz)
High Mid (2-4 kHz)
Presence (4 - 6 kHz)
Brilliance (6 - 20 kHz)

Εικόνα 1. Οι 7 περιοχές του φάσματος ακουστικών συχνοτήτων από 20 Hz ως 20.000 Hz.

Όπως παρατηρούμε, η ανθρώπινη ακοή εκτείνεται από τα 20Hz ως τα 20kHz. Όσον αφορά το σχεδιασμό της δικής μας μονάδας, θα περιορίσουμε τις περιοχές σε 3, συνοψίζοντας τις Sub Bass και Bass σε “Low”, τις Lower Mid, Mid και High Mid σε “Middle”, τις Presence και Brilliance σε “High”.

Ας σταθούμε λίγο στις 7 περιοχές παρατηρώντας τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε μίας.

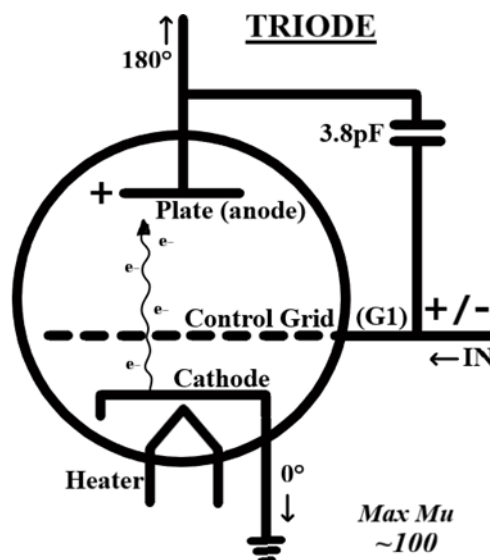
- **Sub Bass (20–60Hz):** Στη χαμηλότερη περιοχή του φάσματος ξεκινούν συχνοτικά όργανα όπως το μπάσο, η μπότα (kick drum), το όμποε, το τρομπόνι κλπ. Σε αυτή την περιοχή κυρίως αισθανόμαστε τις δονήσεις στο κορμί μας, παρά τις ακούμε με τα αυτιά μας.
- **Bass (60–250Hz):** Σε αυτήν την περιοχή ξεκινούν συχνοτικά το τσέλο, η κιθάρα, η γαλλική κόρνα και η ανδρική φωνή. Οι πρώτες ευδιάκριτες νότες της μουσικής εμφανίζονται εδώ. Μια

- έντονη παρουσία σε αυτή την περιοχή προσφέρει περισσότερο όγκο στο κομμάτι μας.
- **Lower Mid (250–500Hz):** Τα περισσότερα γυναικεία φωνητικά ξεκινούν σε αυτήν την περιοχή. Οι θεμελιώδεις συχνότητες της κιθάρας, του πιάνου, των φωνητικών και των περισσότερων οργάνων βρίσκονται εδώ. Μικρές επεμβάσεις σε αυτήν την περιοχή έχουν μεγάλο αντίκτυπο στη χροιά των οργάνων.
- **Mid (500 Hz–2kHz):** Η μεσαία περιοχή τείνει να είναι υπερφορτωμένη από πληροφορία, καθώς όλα τα όργανα έχουν μεγάλη παρουσία εδώ. Πολλές ενδιαφέρουσες χροιές αλλά και πολλά ανεπιθύμητα προβλήματα εμφανίζονται σε αυτό το εύρος και οι επεμβάσεις μας πρέπει να είναι πολύ συνειδητές.
- **High Mid (2– 4 kHz):** Σε αυτήν την περιοχή θα παρθούν οι σημαντικότερες αποφάσεις όσον αφορά τις κιθάρες και τα φωνητικά (οι κυριότερες χρήσης μιας μικροφωνικής προενίσχυσης). Οι επεμβάσεις εδώ θα επηρεάσουν την διακρίσιμότητα των χειλικών και οδοντικών φθόγγων της φωνής (π, β, μπ, ντ κλπ.). Επίσης εδώ μπορούμε να αγριέψουμε τις ηλεκτρικές κιθάρες. Μια ενίσχυση των φωνητικών στα 3kHz θα τα κάνει πιο ευδιάκριτα.
- **Presence (4–6KHz):** Η “παρουσία”. Αυτή η περιοχή μας βοηθάει να διακρίνουμε πιο καθαρά τα όργανα και τις φωνές. Μια ενίσχυση των φωνητικών στα 5kHz θα τα φέρει πιο κοντά στον ακροατή.
- **Brilliance (6–20KkHz):** Η “λαμπρότητα”. Εδώ θα δούμε να ξεχωρίζουν τα μεταλλικά κρουστά (κύμβαλα–πιατίνια). Επίσης θα εδώ κάνουμε πιο “καθαρά” τα φωνητικά μας, με προσοχή όμως μιας κι εδώ βρίσκονται τα συριστικά σύμφωνα (το ύπουλο “τελικό ζ”). Εδώ οι παρεμβάσεις μας είναι κυρίως διορθωτικές.

1.2 Ηλεκτρονική λυχνία - Λυχνία κενού

1.2.1 Τρίοδος

Η τρίοδος είναι ο συνηθέστερος τύπος λυχνίας κενού που συναντάμε σε κυκλώματα ενίσχυσης ακουστικών συχνοτήτων. Αποτελείται από τρεις (3) επαφές ελέγχου, εξ' ου και η ονομασία της. Στην πραγματικότητα η τρίοδος έχει δύο ακόμα επαφές (μια τροφοδοσία και μια γείωση) που αφορούν το λεπτό σύρμα (heater) που θερμαίνει την κάθοδο ώστε να απελευθερώσει τα ηλεκτρόνια της προς την άνοδο.



Εικόνα 2. Γραφική απεικόνιση της τριόδου.

Η κάθοδος είναι πολωμένη αρνητικά, ενώ η πλάκα (plate) της ανόδου θετικά. Τα αρνητικά ηλεκτρόνια τείνουν να απωθούνται από την αρνητική κάθοδο και να έλκονται από την θετική άνοδο η οποία

τροφοδοτείται από τάση της τάξης των $100-400\text{ Volt}$. Έστω ένα ημιτονοειδές σήμα εισόδου εισέρχεται στο πλέγμα ελέγχου (*control grid - G1*). Στις θετικές τιμές του σήματος, το πλέγμα G1 πολώνεται *θετικότερα της καθόδου* και επιτρέπει στα ηλεκτρόνια να κινηθούν προς την άνοδο *αυξάνοντας* το ρεύμα της. Η κάθοδος είναι συνδεδεμένη στη γείωση κι έτσι όταν η είσοδος λάβει αρνητικές τιμές, θα είναι *αρνητικότερη της καθόδου* και θα απωθεί τα ηλεκτρόνια από την άνοδο, *μειώνοντας* το ρεύμα της. Η συχνότητα μεταβολής της τάσης πλέγματος δημιουργεί ένα ρεύμα αντίστοιχης μεταβολής στην άνοδο, πολύ μεγαλύτερης τάσης. Έτσι η λυχνία λειτουργεί σαν ενισχυτής τάσης.

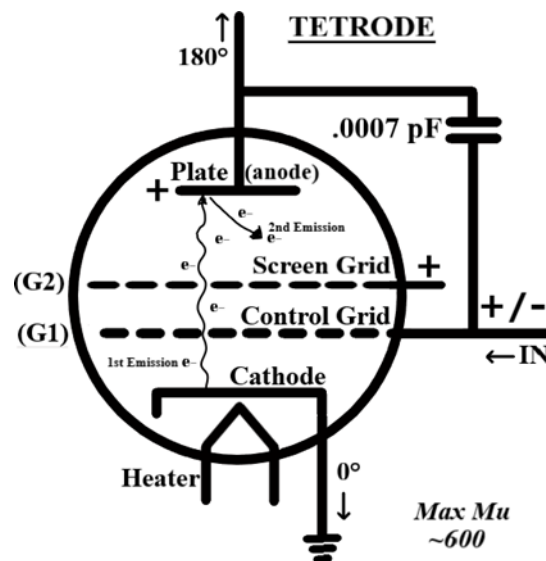
Η απλότητα της αρχιτεκτονικής μιας τριόδου οδήγησε στην δημιουργία λυχνιών διπλών τριόδων (Duo-triode), όπου δύο πανομοιότυπες τριόδοι εμπεριέχονται σε μία λυχνία. Τέτοιου είδους τριόδους θα χρησιμοποιήσουμε στα ενισχυτικά στάδια της μονάδας της εργασίας.

Ας δούμε μερικά χαρακτηριστικά αλλά και κάποιες ατέλειες της τριόδου.

- + Πολύ χαμηλή στάθμη θορύβου
- + Παράγουν άρτιες αρμονικές που θεωρούνται πιο ευχάριστες στο άκουσμα.
- + Ανθεκτικές στις θερμοκρασιακές διαφορές αλλά και σε μεγάλες τάσεις και ρεύματα, ένα χαρακτηριστικό που καθιστά την κατασκευή κυκλωμάτων με λυχνίες ιδιαίτερα επικίνδυνη.
- Η τριόδος παρουσιάζει υψηλή παράσιτη χωρητικότητα μεταξύ των πλακών της, της τάξης των 3.8pF , που την καθιστά ευάλωτη σε παρεμβολές από υψηλές συχνότητες.
- Περιορισμένο ρεύμα στην άνοδο δημιουργεί την ανάγκη για μετασχηματιστή εξόδου.
- Με μέγιστο συντελεστή ενίσχυσης $\mu=100$ χρειαζόμαστε περισσότερα στάδια ενίσχυσης.

1.2.2 Τετράοδος

Το πρώτο βήμα για την επίλυση της μεγάλης παράσιτης χωρητικότητας της τριόδου, έγινε με την προσθήκη ενός ακόμη προστατευτικού πλέγματος (*screen grid - G2*) ανάμεσα στο πλέγμα ελέγχου G1 και στην άνοδο.

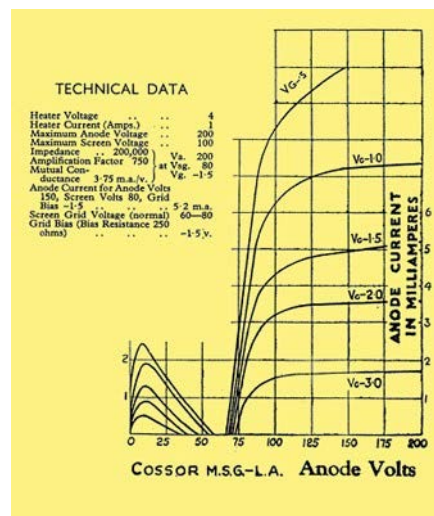


Εικόνα 3. Γραφική απεικόνιση της τετραόδου.

Φορτισμένο μονίμως θετικά σε μια τάση ίση ή λίγο μικρότερη της ανόδου, το προστατευτικό πλέγμα G2 έλκει τα ηλεκτρόνια της καθόδου επιταχύνοντάς τα στην πορεία τους προς την άνοδο.

Όσο εκπληκτική κι αν είναι αυτή η προσθήκη, έρχεται με ένα μεγάλο κόστος στην σταθερότητα της λειτουργίας της τετραόδου. Τα υπερφορτισμένα ηλεκτρόνια προσκρούουν στην πλάκα της ανόδου με αποτέλεσμα ένα ποσοστό αυτών να εξοστρακίζονται (δευτερογενής εκπομπή) προς το προστατευτικό πλέγμα G2. Η δευτερογενής εκπομπή ηλεκτρονίων φορτίζει αρνητικότερα το πλέγμα G2 όπου δημιουργείται ροή ρεύματος, με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η τάση του και να χάνει τη προστατευτική του ιδιότητα. Επίσης όσο αυξάνεται η τάση ανόδου, θα αυξάνεται και η ταχύτητα πρόσκρουσης των ηλεκτρονίων άρα και η δευτερογενής εκπομπή αυτών με αποτέλεσμα περισσότερες απώλειες μέσω του G2 και τη μείωση του ρεύματος ανόδου.

Η ασταθής λειτουργία της τετραόδου είναι γνωστή ως “The Tetrode Kink” που στα ελληνικά σημαίνει “Η λόξα της τετραόδου”.



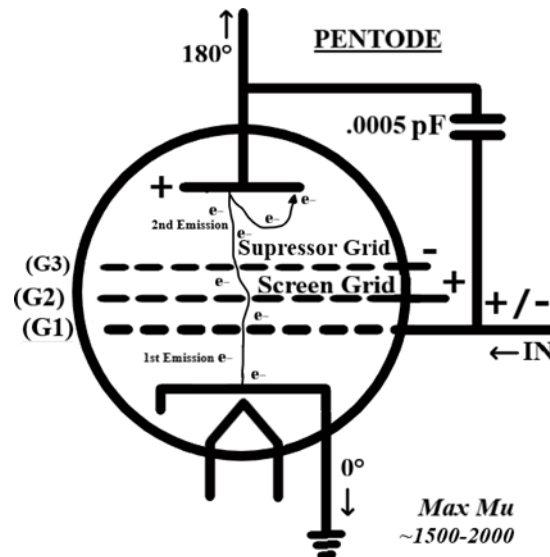
Εικόνα 4. The Tetrode Kink.

Από το σχήμα λοιπόν, παρατηρούμε πως η περιοχή κάτω των 100V τάσης ανόδου παρουσιάζει αστάθεια στο ρεύμα εξόδου και άρα στο ενισχυμένο σήμα. Οι μεταβολές στην τάση της ανόδου καθιστούν αδύνατο το να αποφύγουμε την συγκεκριμένη περιοχή, έτσι η τετραόδος σπανίως χρησιμοποιείται σε κυκλώματα ενίσχυσης ακουστικών συχνοτήτων, αλλά θα τη συναντήσουμε σε κυκλώματα ταλάντωσης (oscillation).

- + Μηδαμινή χωρητικότητα μεταξύ των πλακών, της τάξης των .0007p.
- + Αύξηση στη μέγιστη τιμή του συντελεστή ενίσχυσης 600 Mu.
- Η δέσμευση ηλεκτρονίων από το προστατευτικό πλέγμα αγγίζει το 20% των συνολικών εκπομπών. Αποτέλεσμα η μείωση της απόδοσης εξόδου.
- Η ασταθής λειτουργία προκαλεί φαινόμενα ταλάντωσης στην έξοδο (self-oscillation).

1.2.3 Πεντάοδος

Τα κυριότερα προβλήματα της τετραόδου κλήθηκε να διορθώσει η πεντάοδος με την προσθήκη ενός ακόμη πλέγματος καταστολέα (Suppressor Grid – G3) στη λυχνία.



Εικόνα 5. Γραφική απεικόνιση της πενταόδου.

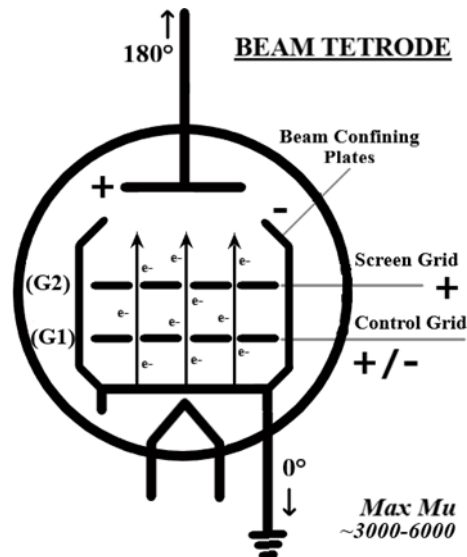
Το πλέγμα καταστολέας φορτισμένο αρνητικά σε δυναμικό ίσο με της καθόδου, εξάλειψε τις ταλαντώσεις τάσης της εξόδου με αποτέλεσμα να σταθεροποιηθεί η λειτουργία της. Η παράσιτη χωρητικότητα μειώθηκε ακόμα περισσότερο, ενώ η απόδοση αυξήθηκε 20 φορές πάνω από της τριόδου. Ο σχεδιασμός της πενταόδου όμως δεν είναι τέλειος. Η πολυπλοκότερη διαδρομή της πορείας των ηλεκτρονίων έχει αυξήσει τα επίπεδα θορύβου συγκριτικά με της αθόρυβης τριόδου. Επίσης, λόγω της μη ευθυγράμμισης των οπών, των τριών πλεγμάτων, πολλά ηλεκτρόνια στην πορεία τους παγιδεύονται ανάμεσα στα πλέγματα και δεσμεύονται από το G2, περιορίζοντας το ρεύμα της ανόδου.

Θετικά κι αρνητικά της πενταόδου λυχνίας:

- + Επιπλέον μείωση της παράσιτης χωρητικότητας μεταξύ των πλακών.
- + Μεγάλη αύξηση του συντελεστή ενίσχυσης 1500-2000 Mu.
- + Η ταλάντωση της τάσης εξόδου εξαλείφεται. Επιτυγχάνεται η ομαλή λειτουργία.
- Αύξηση της στάθμης θορύβου, ειδικά εν συγκρίσει με της 'αθόρυβης' τριόδου.
- Αντίθετα με τις τριόδους, η πεντάοδος παράγει περιττές αρμονικές.
- Το ρεύμα της ανόδου παραμένει χαμηλό λόγω της δέσμευσης ηλεκτρονίων από το προστατευτικό πλέγμα.

1.2.4 Λυχνία Κατευθυνόμενης Δέσμης - Beam Tetrode

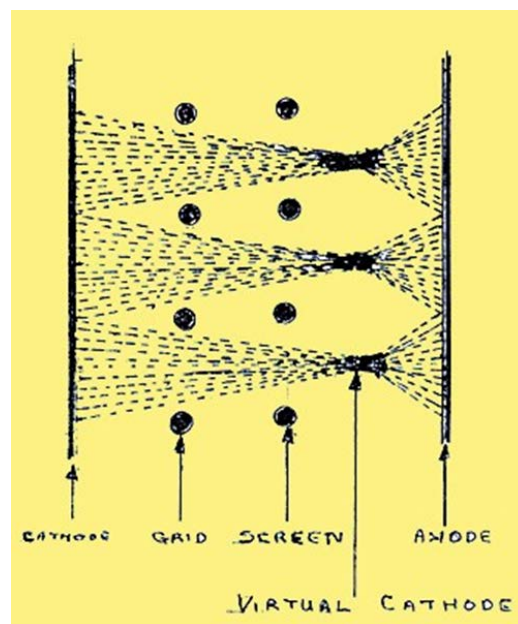
Η προσθήκη του πλέγματος καταστολής (Suppressor Grid) στην πεντάοδο κατοχυρώθηκε από την Mullard ως δική της πατέντα. Έτσι διάφορες εταιρίες που κατασκεύαζαν λυχνίες πενταόδου, έπρεπε να πληρώσουν δικαιώματα στην Mullard για την προσθήκη του πλέγματος καταστολής. Σε μια προσπάθεια να πετύχει τα ίδια αποτελέσματα αποφεύγοντας την πληρωμή δικαιωμάτων, η βρετανική εταιρία EMI, κατέληξε στην παραγωγή της απόλυτης λυχνίας κενού, την λυχνία κατευθυνόμενης δέσμης.



Εικόνα 6. Γραφική απεικόνιση της λυχνίας κατευθυνόμενης δέσμης

Η λυχνία κατευθυνόμενης δέσμης φέρει δύο μεταλλικές πλάκες αρνητικά φορτισμένες, οι οποίες περικλείουν και κατευθύνουν την πορεία των ηλεκτρονίων προς την άνοδο. Πολύ σημαντική λεπτομέρεια στο σχεδιασμό είναι η απόλυτη ευθυγράμμιση των δύο πλεγμάτων. Όπως θα δούμε στην παρακάτω απεικόνιση (Εικόνα 3), τα ηλεκτρόνια ανάμεσα στο πλέγμα G2 και στην πλάκα της ανόδου, δημιουργούν μια υψηλή συγκέντρωση αρνητικού φορτίου (virtual cathode). Τα ηλεκτρόνια που εξοστρακίζονται από την πλάκα, απωθούνται πίσω προς την πλάκα της ανόδου χωρίς να δεσμεύονται πλέον από το προστατευτικό πλέγμα G2.

Στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 7) απεικονίζεται η σχέση της τάσης ανόδου με το ρεύμα ανόδου στις πενταόδους εν συγκρίσει με λυχνίες κατευθυνόμενης δέσμης. Ενώ οι κατευθυνόμενης δέσμης λυχνίες εμφανίζουν ανώμαλη συμπεριφορά σε τάσεις κάτω των 150V (τάση ανόδου), παρατηρούμε πως με την σωστή πόλωση του προστατευτικού πλέγματος (screen grid) στα 0 ως -15V η συμπεριφορά τους εξομαλύνεται και είναι αποδοτικότερη.



Εικόνα 7. Η δέσμη ηλεκτρονίων σε λυχνία κατευθυνόμενης δέσμης.

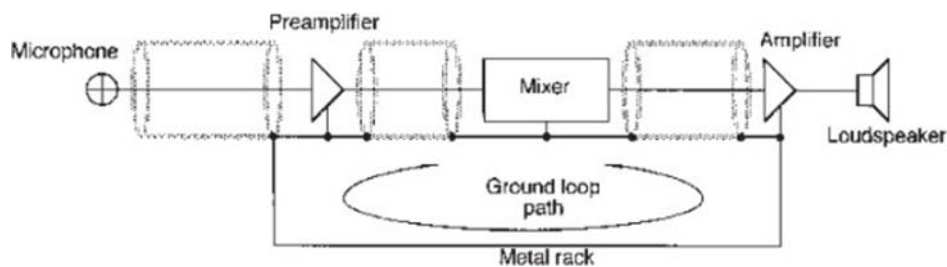
Η λυχνία κατευθυνόμενης δέσμης ήρθε να λύσει όλα τα προβλήματα των προηγούμενων λυχνιών. Θα τις συναντήσουμε σε κυκλώματα τελικών ενισχυτών υψηλής ευκρίνειας (Hi-Fi Power Amplifiers) ως τελική βαθμίδα ενίσχυσης, αλλά και σε μια πληθώρα άλλων εφαρμογών.

+ Η ευθυγράμμιση των πλεγμάτων οδήγησε στην ελάττωση των ηλεκτρονίων που δεσμεύει το προστατευτικό πλέγμα στο 1%.

Εντυπωσιακή αύξηση του συντελεστή ενίσχυσης 3000-6000 Mu .

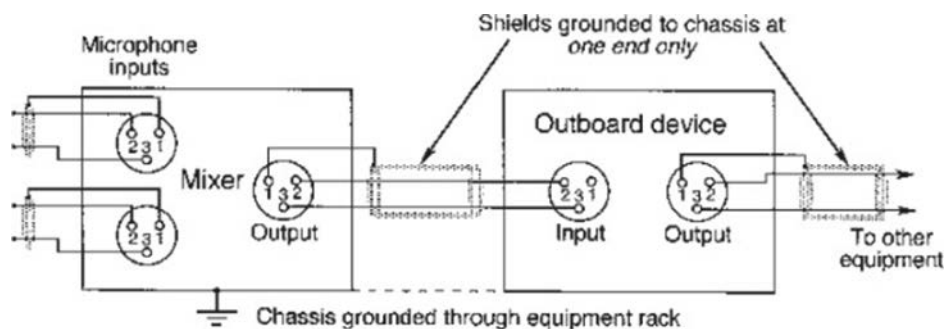
1.3 Βρόχος Κοινής Γείωσης - Ground Loop

Από τα συνηθέστερα προβλήματα στα συστήματα μετάδοσης ηχητικών σημάτων είναι η παρουσία βρόχων κοινής γείωσης (*Ground Loops*). Όταν δύο σημεία ενός κυκλώματος πρέπει να γειώνονται στο ίδιο σημείο αναφοράς αλλά στην πραγματικότητα οι γειώσεις αυτών παρουσιάζουν μια διαφορά δυναμικού, τότε δημιουργείται ένας βρόχος κοινής γείωσης. Οι βρόχοι αυτοί είναι ισχυρή πηγή θορύβων και παρεμβολών στα συστήματα ήχου, εικόνας και μεταφοράς δεδομένων. Μια κοινή πρακτική για την αποφυγή δημιουργίας ενός τέτοιου βρόχου, είναι η σύνδεση των γειώσεων όλων των κυκλωμάτων που φέρουν σήματα, σε ένα μοναδικό σημείο πάνω στο κύκλωμα. Αυτό είναι που αποκαλούμε "Γείωση Αστέρα" (*Star Ground*) και είναι μια πρακτική που εφαρμόζεται από τους ραδιοφωνικούς πομπούς με λυχνίες του 1960 ως και τις SMD πλακέτες των υπολογιστών του σήμερα.



Εικόνα 8. Η δημιουργία ενός βρόχου κοινής γείωσης.

Στην εικόνα 8 φαίνεται πώς δημιουργείται ένα "ground loop". Παρατηρούμε πως οι επιμέρους συσκευές γειώνονται μέσω των καλωδίων που τις συνδέουν αλλά και μέσω των μεταλλικών σασί που τις περικλείουν. Όποια εναλλασσόμενη πηγή τροφοδοτήσει το σύστημα, θα δημιουργήσει ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο, του οποίου η παρουσία στον βρόχο θα προκαλέσει την ροή ενός μικρού ρεύματος. Είναι απαραίτητο να διασπάσουμε τη συνέχεια του βρόχου της κοινής γείωσης, πράγμα που επιτυγχάνεται όπως περιγράφει η εικόνα 9. Τα μικροφωνικά καλώδια γειώνονται στην είσοδο του μίκτη για να απομονώσουν το μικρόφωνο από τυχών ηλεκτροστατικές παρεμβολές (RF). Έπειτα από τον μίκτη, οι συσκευές γειώνονται μόνο στην έξοδό τους, διασπώντας έτσι το βρόχο αλλά παραμένοντας γειωμένες στο ίδιο δυναμικό.



Εικόνα 9. Η διάσπαση ενός βρόχου κοινής γείωσης.

Κεφάλαιο 2

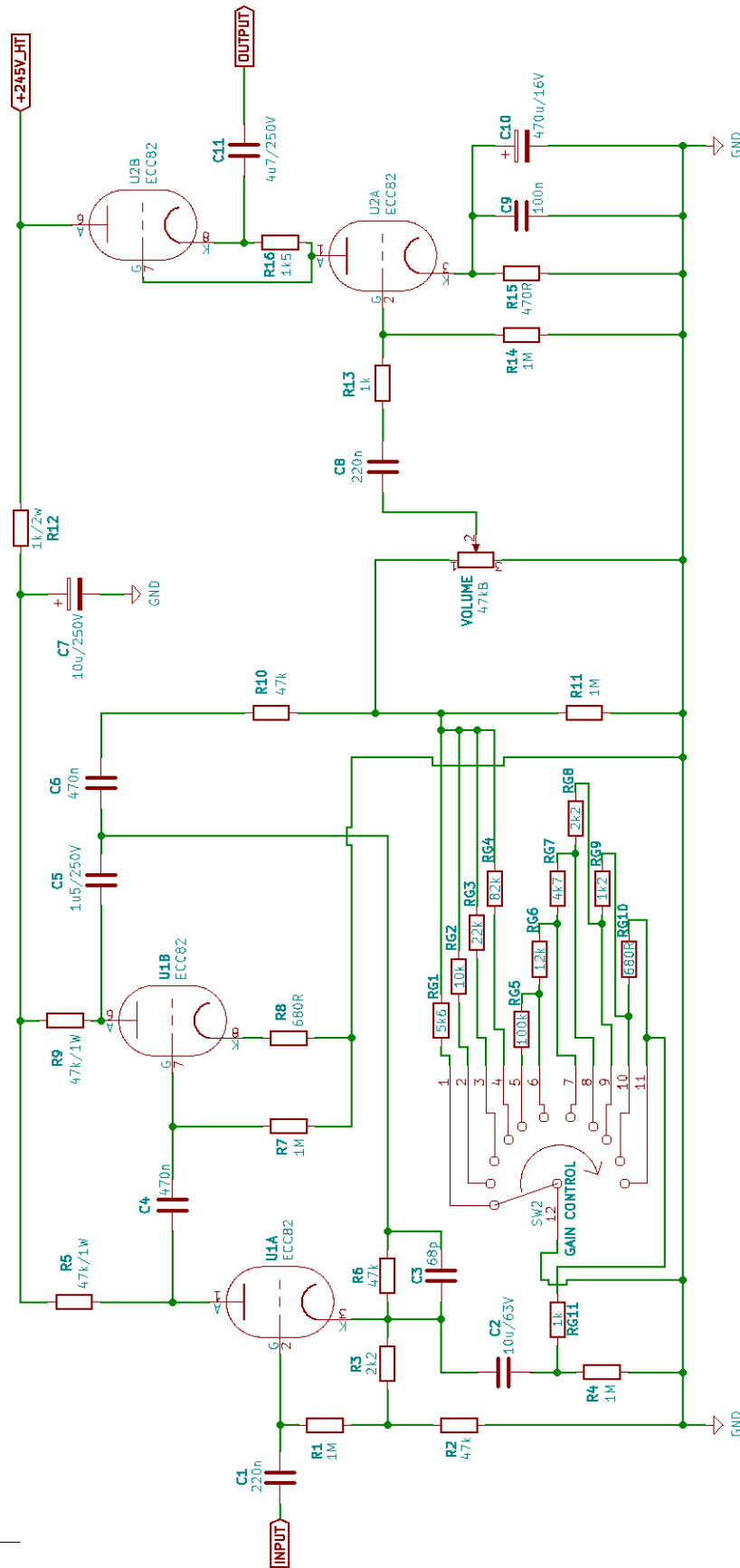
Κυκλώματα Ενίσχυσης - Gyraf G9 Tube Preamplifier

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα κυκλώματα ενίσχυσης με λυχνίες, οι μετασχηματιστές εισόδου και εξόδου και η χρήση τους καθώς και κάποια περιφερειακά στοιχεία που αφορούν την χρησιμότητα της μονάδας. Θα εστιάσουμε ιδιαίτερα στον έλεγχο του κέρδους και την διαχείρισή του από τον χρήστη μέσω εξωτερικού ποτενσιόμετρου - πολυδιακόπτη, καθώς και στην καθοριστικής σημασίας αρνητική ανάδραση του προενισχυτικού σταδίου.

Το κύκλωμα του ενισχυτή.

Ως ενισχυτικό κύκλωμα επιλέχθηκε ο ενισχυτής G9 της Δανικής εταιρίας *Gyraf* (Εικόνα 10). Ο σχεδιασμός του βασίζεται στη χρήση δύο λυχνιών διπλής τριόδου (τέσσερις τριόδοι, δύο σε κάθε λυχνία - τύπου ECC82/12AU7) όπου η μία λυχνία (δύο τριόδοι) αποτελεί το πρώτο στάδιο ενίσχυσης (προενίσχυση - preamp) ενώ η δεύτερη λυχνία το τελικό στάδιο ενίσχυσης (τελικός ενισχυτής - power amp).

Η συγκεκριμένη μονάδα αποτελείται από δύο πανομοιότυπα αλλά ξεχωριστά κανάλια (τέσσερις λυχνίες) που δουλεύουν υπό κοινή τροφοδοσία αλλά με ξεχωριστούς διακόπτες παραμετροποίησης για κάθε ένα. Ο σκοπός της ύπαρξης δύο όμοιων είναι η -στερεοφωνική συνήθως- ηχογράφηση πηγών με δύο μικρόφωνα. Στην παρούσα κατασκευή χρησιμοποιήθηκε ένα μόνο κανάλι. Ο σχεδιασμός για δύο πανομοιότυπα κανάλια θα δημιουργούσε πολλά προβλήματα από θέμα κόστους αλλά και θέμα χωροταξικό στο κατασκευαστικό κομμάτι. Βασικότερα διπλασιάζεται το κόστος των υλικών ενώ θα πρέπει να προτιμηθούν ποιοτικότερα υλικά με μεγαλύτερη ακρίβεια τιμών για να πετύχουμε δύο όμοιες μονάδες. Τέλος, ο χρηστικός σκοπός του μηχανήματος, στην δική μας περίπτωση, είναι η ηχογράφηση μονής πηγής με έμφαση στη φωνή, το μπάσο και ίσως κάποιο ακουστικό όργανο όπως η ακουστική/κλασσική κιθάρα, με χρήση πυκνωτικού μικρόφωνου.



Εικόνα 10. G9 Amplifier - Παρατηρούμε δύο στάδια ενίσχυσης να σχηματίζονται από τα δύο μισά της λυχνίας U1 και της λυχνίας U2.

2.1 Προενισχυτικό στάδιο - Preamp

Τον ρόλο της προενίσχυσης αναλαμβάνει ένας αναστρέφον ενισχυτής σε συνδεσμολογία καταρράκτη με αρνητική ανάδραση και ρυθμιζόμενο κέρδος. Στην 'Εικόνα 10' βλέπουμε το κύκλωμα του ενισχυτή. Τα δύο μισά της λυχνίας U1 απαρτίζουν το πρώτο ενισχυτικό στάδιο, ενώ το δεύτερο ενισχυτικό στάδιο στελεχώνει η λυχνία U2. Ο σχεδιασμός το πρώτου σταδίου βασίζεται στον χαμηλό συντελεστή ενίσχυσης της λυχνίας ECC82(12AU7) ενώ ο έλεγχος του κέρδους μέσω του διακόπτη "GAIN" συνδέεται με την αρνητική ανάδραση του σήματος εξόδου από την άνοδο της λυχνίας U1B στην κάθοδο της λυχνίας U1A, μέσω της αντίστασης $R6=47K\Omega$. Αργότερα θα δούμε πως από την έξοδο του πρώτου σταδίου ενίσχυσης τροφοδοτείται και το κύκλωμα αυτομάτου ελέγχου κέρδους που είναι και το κύριο αντικείμενο μελέτης της εργασίας.

2.1.1 Έλεγχος κέρδους και αρνητική ανάδραση

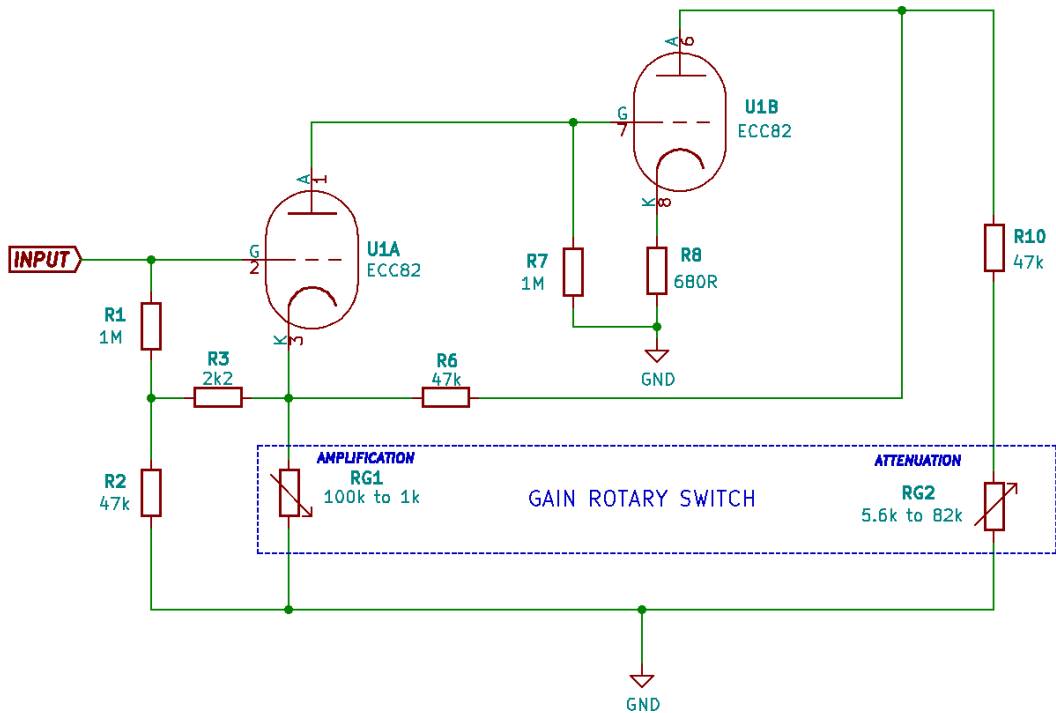
Στην 'Εικόνα 3' παρουσιάζεται το ισοδύναμο κύκλωμα του προενισχυτικού σταδίου, όπως αφορά το εναλλασσόμενο σήμα της εισόδου. Ο περιστροφικός διακόπτης ελέγχου κέρδους (GAIN) αποτελείται από 11 βήματα αυξανόμενου κέρδους και απλοποιημένος μπορεί να περιγραφεί από τις δύο μεταβαλλόμενες αντιστάσεις RG1 και RG2.

Στα πρώτα βήματα (1-4) του διακόπτη ενεργοποιείται η αντίσταση RG2 με τιμές αύξουσας μεταβολής από $5,6K\Omega$ ως $82K\Omega$. Η αντίσταση $R10=47K\Omega$ δημιουργεί έναν διαιρέτη τάσης με την RG2 μειώνοντας το πλάτος του σήματος εξόδου. Όσο αυξάνει η τιμή της RG2, αυξάνει και το πλάτος εξόδου. Η $R11=1M\Omega$ (Εικόνα 2) απομονώνει την έξοδο από την γείωση κατά την απουσία της RG2 στο δεύτερο μισό του διακόπτη.

Στα τελευταία βήματα (5-11) του διακόπτη, απομακρύνεται πλέον η αντίσταση RG2 από το κύκλωμα και ενεργοποιείται η αντίσταση RG1 με τιμές φθίνουσας μεταβολής από $100K\Omega$ ως $1K\Omega$. Σκοπός της είναι να ελαττώσει το σήμα ανάδρασης προς την κάθοδο της U1A, με αποτέλεσμα να αυξηθεί το κέρδος της βαθμίδας. Εδώ η $R4=1M\Omega$ (Εικόνα 2) απομονώνει την κάθοδο από την γείωση κατά την απουσία της RG1 στα πρώτα βήματα του διακόπτη, εξασφαλίζοντας την ελάχιστη ολική ενίσχυση της βαθμίδας.

Στο εύρος των τιμών για RG1 και RG2, το ολικό κέρδος της βαθμίδας διαμορφώνεται από $A=0.15$ ως και $A=9$.

Ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζει η ύπαρξη του πυκνωτή C2 (Εικόνα 2) ο οποίος απαγορεύει τη διέλευση του DC δυναμικού της καθόδου προς την γείωση. Η κάθοδος της λυχνίας (Pin 3) είναι απαραίτητο να βρίσκεται σε κάποιο θετικότερο δυναμικό από την είσοδο (πλέγμα - Pin 2) για να είναι επιτυχής η λειτουργία της λυχνίας ως ενισχυτή. Στην προκειμένη περίπτωση η κάθοδος εμφανίζει τάση $V_{k1}=60V_{dc}$ ενώ το πλέγμα $V_{g1}=53V_{dc}$. Έτσι έχουμε μια διαφορά δυναμικού της τάξης των 7V με την κάθοδο θετικότερη του πλέγματος.

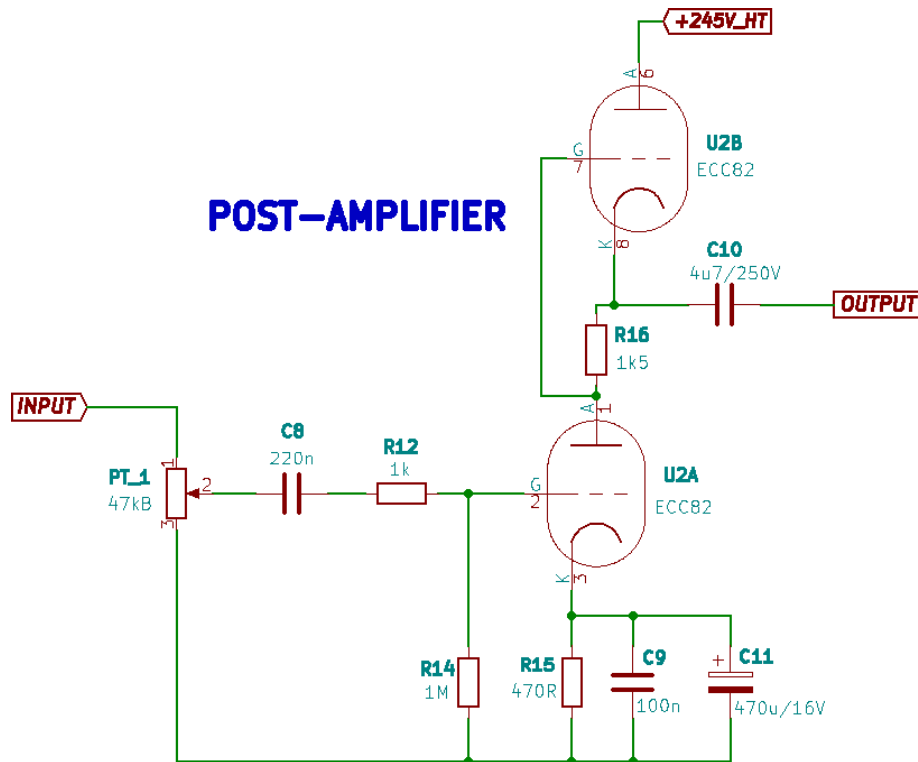


Εικόνα 11. Ισοδύναμο κύκλωμα του πρώτου ενισχυτικού σταδίου με απλοποιημένη τη μορφή του διακόπτη κέρδους.

Στον πραγματικό διακόπτη, για την RG1, σε κάθε βήμα μια αντίσταση έρχεται να αντικαταστήσει την προηγούμενη αυξάνοντας την τιμή της. Κατά το πέμπτο (5) βήμα, η RG1 αποσπάται από το κύκλωμα και εγκαθίσταται η RG2. Για τα επόμενα βήματα οι αντιστάσεις είναι σε σειρά με αθροιστική τιμή αντίστασης $R_{sum} = 121K\Omega$. Κάθε βήμα λοιπόν του διακόπτη αφαιρεί από το άθροισμα μια αντίσταση, μειώνοντας έτσι το ποσοστό αρνητικής ανάδρασης και αυξάνοντας το κέρδος.

2.2 Τελικό στάδιο ενίσχυσης - Poweramp

Η δεύτερη βαθμίδα ενίσχυσης αποτελείται από δύο λυχνίες σε μια push-pull διάταξη που κάποιοι συγγραφείς του παρελθόντος έχουν ονομάσει "SRPP". Τα αρχικά "SRPP" κατά το άρθρο του Merlin Blencowe "The Optimised SRPP Amp" σημαίνουν "Shunt-Regulated Push-Pull" και αναφέρονται στην ιδιότητα της αντίστασης $R_{16} = 1.5K\Omega$ να ελέγχει το ρεύμα ροής της εξόδου προς το φορτίο, ανάλογα με την τιμή του φορτίου αν αυτό μεταβάλλεται. Η ιδιότητα αυτή του κυκλώματος αφορά κυρίως την χρήση του ως τελικό ενισχυτή ακουστικών (ειδικά σε High fidelity συστήματα) όπου τα φορτία κυμαίνονται από 15Ω ως 300Ω . Στην δική μας περίπτωση, τον ρόλο του φορτίου καλύπτει ο μετασχηματιστής εξόδου για τον οποίο θα δούμε κάποια πράγματα σε επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 12. Η δεύτερη και τελική βαθμίδα ενίσχυσης "SRPP" απομονωμένη.

Από την έξοδο της πρώτης ενισχυτικής βαθμίδας, το σήμα συναντάει έναν ροοστάτη που ρυθμίζει το ποσοστό σήματος που θα εμφανιστεί στην είσοδο της δεύτερης βαθμίδας. Το κέρδος της SRPP βαθμίδας δεν επηρεάζεται και είναι σταθερά $A=15$. Το συνολικό κέρδος του ενισχυτή με τον διακόπτη "GAIN" και τον ροοστάτη "VOLUME" στην μέγιστη θέση είναι $A=135$.

2.3 Μετασηματιστές εισόδου-εξόδου

Προτού εστιάσουμε στην επιλογή των μετασηματιστών για την είσοδο και έξοδο του ενισχυτή, ας μπούμε στη διαδικασία να ξεχωρίσουμε τις πηγές που πιθανό να τροφοδοτήσουν την μονάδα μας. Θα ξεχωρίσουμε τις πηγές μας σε δύο βασικές κατηγορίες:

- **Πηγές χαμηλού σήματος - Mic Level:** Μικρόφωνα, Ηλεκτρική Κιθάρα, Μπάσο
- **Πηγές υψηλού σήματος - Line Level:** Ηλεκτρικό πιάνο, synthesizer, drum machine

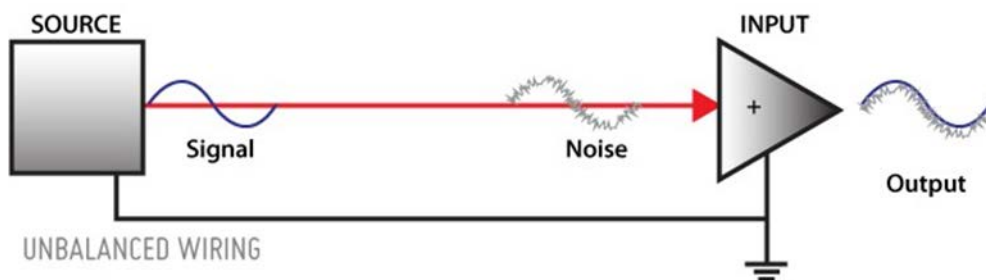
Ο διαχωρισμός των δύο γίνεται με βάση το πλάτος σήματος που εκπέμπουν. Έτσι όταν αναφερόμαστε σε *Mic Level*, το πλάτος εξόδου είναι τυπικά της τάξης των millivolts. Τυπικά ένα δυναμικό μικρόφωνο έχει έξοδο από 50mV ως 300-400mV_{pp} αν η πηγή που το κινεί είναι μια φωνή ή ένα έγχορδο, ενώ ένα κρουστό σε δυνατό κρότο μπορεί να αποδώσει και 700mV_{pp}. Αυτό είναι συμπέρασμα που βγήκε από τον γράφοντα μετρώντας την έξοδο δυναμικών μικροφώνων με διαφορετικές πηγές. Οι τιμές αυτές διαφοροποιούνται ανάλογα με τον τύπο του μικροφώνου, την πηγή που το κινεί αλλά και τον τρόπο που αυτή η πηγή ερμηνεύει, καθώς και από την συχνοτική περιοχή που παράγει το σήμα της. Μια κιθάρα ή ένα μπάσο παράγουν ένα πλάτος σήματος 50-150mV_{pp} κι αυτό επίσης εξαρτάται από το όργανο, τον τρόπο που παίζεται αλλά και από την συχνοτική περιοχή που δοκιμάζεται.

Σκοπός του ενισχυτή είναι να μετατρέψει το Mic Level σε Line Level που τυπικά είναι της τάξης των 1V-3V_{pp}. Οι κονσόλες μίξης, οι ψηφιακές κάρτες ήχου και τα προγράμματα ηχογράφησης είναι σχεδιασμένα να δέχονται Line Level για να αποδώσουν τα βέλτιστα. Ένας άλλος σκοπός του ενισχυτή είναι να "χρωματίσει"

τον ήχο με "ευχάριστο" τρόπο, κάτι που είναι στην πραγματικότητα υποκειμενικό κριτήριο αλλά όχι απόλυτα. Η επιλογή ενός μετασχηματιστή, ειδικά για την είσοδο μιας ενισχυτικής μονάδας, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα ηχητικά χαρακτηριστικά και τον τρόπο που επιδρά στο σήμα. Στην παρούσα εργασία δε θα ασχοληθούμε με τα ηχητικά χαρακτηριστικά αλλά με τα τεχνικά οφέλη ενός μετασχηματιστή ανάλογα την θέση που καλύπτει.

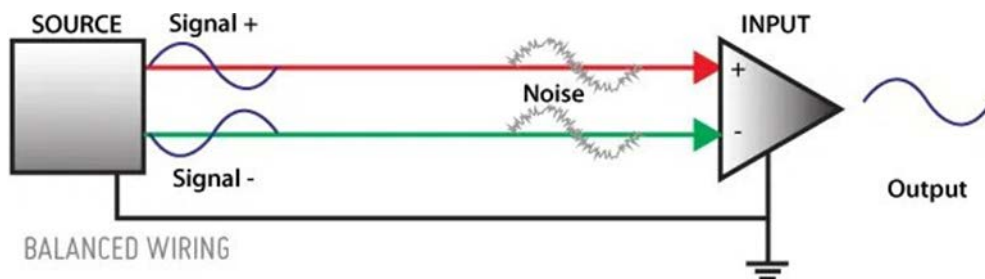
Αποθρομβοποίηση - Balanced / Unbalanced σύνδεση

Μια κύρια λειτουργία που μπορεί να καλύψει η τοποθέτηση ενός μετασχηματιστή στην είσοδο του ενισχυτή είναι η αποθρομβοποίηση του σήματος κατά τη μεταφορά του από την πηγή μέσω των χάλκινων αγωγών του καλωδίου. Όπως είναι γνωστό, ένα χάλκινο καλώδιο μπορεί να λειτουργήσει σαν κεραία και να αντλήσει παρεμβολές από το περιβάλλον οι οποίες 'ταξιδεύοντας' μαζί με το σήμα της πηγής καταλήγουν να ενισχυθούν από την μονάδα μας (Εικόνα 5). Μια κοινή λύση είναι αυτό που αποκαλούμε "Balanced" σύνδεση.



Εικόνα 13. Unbalanced Σύνδεση.

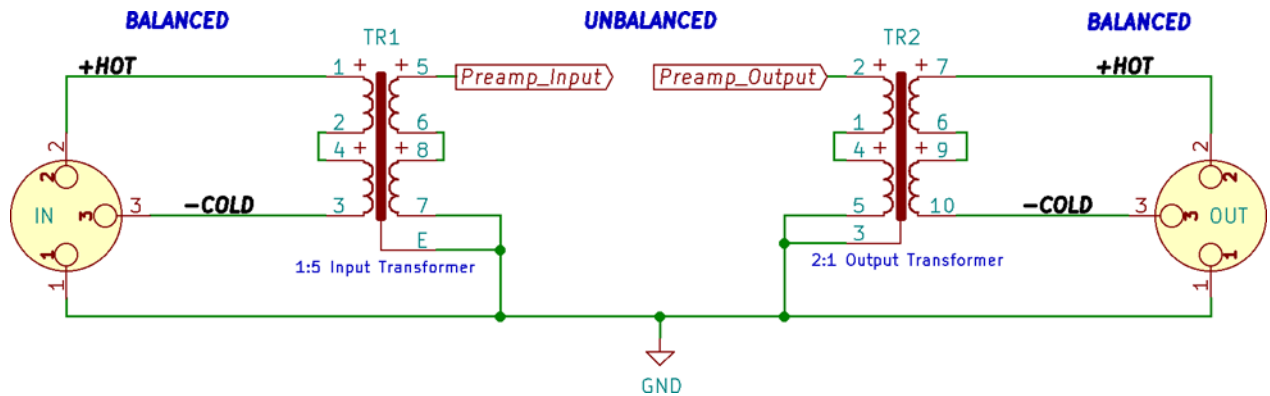
Η Unbalanced σύνδεση πραγματοποιείται με ένα καλώδιο δύο αγωγών, εκ των οποίων ο ένας φέρει το σήμα (+ ή Hot) ενώ ο άλλος την γείωση (Ground ή GND). Έτσι ο θόρυβος και το σήμα ταξιδεύουν μαζί. Μια Balanced σύνδεση πραγματοποιείται με ένα καλώδιο τριών αγωγών, όπου ένας επιπλέον αγωγός (- ή Cold) φέρει το ίδιο σήμα αλλά με ανεστραμμένη φάση (διαφορά φάσης 180°). Ο θόρυβος ανάμεσα στα καλώδια Hot και Cold θα είναι συμφασικός ενώ το σήμα ανεστραμμένο. Στην είσοδο της ενισχυτικής μονάδας, τοποθετείται μια διαφορική βαθμίδα με σκοπό να αναστρέψει το περιεχόμενο του cold αγωγού και να το προσθέσει με το hot. Τα δύο σήματα είχαν αρχικά αντίθετες φάσεις ενώ οι δύο θόρυβοι είχαν την ίδια φάση. Μετά την αναστροφή τους, τα δύο σήματα είναι πλέον συμφασικά ενώ οι θόρυβοι αντίθετοι. Κατά την πρόσθεση λοιπόν των δύο σημάτων διπλασιάζεται το πλάτος του σήματος (6dB ενίσχυση) ενώ οι θόρυβοι αλληλοακυρώνονται.



Εικόνα 14. Balanced σύνδεση.

Πρόκειται για μια πολύ απλή πρακτική που βασίζεται πλήρως στην μαθηματική θεωρία πως προσθέτοντας δύο ίσους μα αντίθετους αριθμούς το αποτέλεσμα θα είναι μηδενικό ($-18 + 18 = 0$) Έτσι μπορούμε να πούμε επίσης πως τα δύο αντίθετα σήματα αφαιρούνται το ένα από το άλλο οπότε το τελικό σήμα διπλασιάζεται ($18 - (-18) = 36$) ενώ οι δύο ίσοι και συμφασικοί θόρυβοι αφαιρούνται και μηδενίζονται (Εικόνα 6).

Αντίστοιχα στην έξοδο του ενισχυτή επιθυμούμε το unbalanced πλέον σήμα να μετατραπεί σε balanced για να οδηγηθεί σε οποιαδήποτε επόμενη εξωτερική μονάδα -μίκτης, κάρτα ήχου κλπ. Πάλι αυτόν το ρόλο θα παίξει ένας μετασχηματιστής τοποθετημένος στην έξοδο ο οποίος θα δημιουργεί ένα σήμα για το *hot* και ένα ίσο μα αντίστροφο για το *cold*.

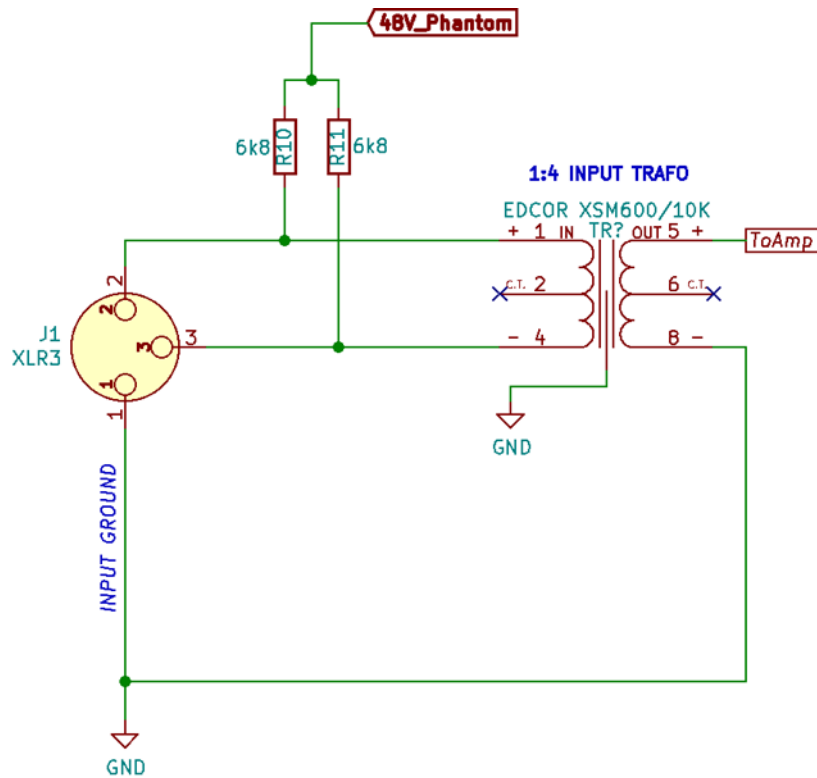


Εικόνα 15. Balanced/Unbalanced σύνδεση με μετασχηματιστή στην είσοδο και την έξοδο του κυκλώματος.

Γαλβανική Απομόνωση - Phantom Power

Ένας μετασχηματιστής είναι στην ουσία δύο πηνία που μεταφέρουν ηλεκτρομαγνητικά την ενέργεια το ένα στο άλλο. Έτσι το ρεύμα στο πρωτεύον πηνίο δεν μεταφέρεται στο δεύτερο μέσω ενός αγωγού (ηλεκτρική μεταφορά) αλλά "αντιγράφεται" από το δεύτερο πηνίο μέσω της ηλεκτρομαγνητικής εκπομπής. Έτσι το κύκλωμα που προηγείται της μονάδας είναι γαλβανικά απομονωμένο από αυτήν, όπως και το κύκλωμα που θα ακολουθεί την έξοδό της. Αυτή είναι μια πολύ καλή πρακτική προστασίας των κυκλωμάτων και σε περίπτωση βλάβης σε κάποια προηγούμενη μονάδα, να μην προχωρήσει και σε αυτήν. Επίσης είναι ένας καλός τρόπος να απομονώσεις το κύκλωμα από τα χαρακτηριστικά της πηγής που δέχεται ή της μονάδας στην οποία θα καταλήξει η έξοδος, όπως ακριβώς θα έκανε και ένας buffer, χωρίς όμως την ανάγκη για δική του τροφοδοσία και τον σχεδιασμό πρόσθετου κυκλώματος.

Βέβαια ενώ με τον μετασχηματιστή είναι η διαδικασία πιο εύκολη, δεν είναι αποδοτική οικονομικά μιας και το κόστος τους είναι υπερπολλαπλάσιο του κόστους κατασκευής ενός κυκλώματος buffer με τελεστικό ενισχυτή. Στο τέλος της ημέρας όμως, μιλάμε για έναν μικροφωνικό ενισχυτή και σε αυτές τις μονάδες οι μετασχηματιστές προτιμώνται για τα ηχητικά χαρακτηριστικά τους από πλήθος κατασκευαστών ανά τις δεκαετίες.



Εικόνα 16. Phantom Power 48V ασκείται στην μικροφωνική είσοδο για τροφοδότηση πυκνωτικής κάψας.

Μιλήσαμε λίγο για τα δυναμικά μικρόφωνα ως πιθανή πηγή για την είσοδο του ενισχυτή, μα υπάρχουν και άλλες κατηγορίες μικροφώνων που χρησιμοποιούνται μανιωδώς σε ηχογραφήσεις, ειδικά όταν πρόκειται για ανθρώπινη φωνή - τραγούδι. Φυσικά η αναφορά γίνεται για τα πυκνωτικά μικρόφωνα, τα οποία πέρα από τα διαφορετικά ηχητικά τους χαρακτηριστικά, έχουν μια βασική κατασκευαστική διαφορά από τα δυναμικά. Ενώ σε ένα δυναμικό μικρόφωνο η τάση δημιουργείται από ένα πηνίο του οποίου ο πυρήνας πάλλεται με την πίεση του αέρα καθώς μιλάς μπροστά του, σε ένα πυκνωτικό η μεμβράνη που πάλλεται αποτελεί την μια πλάκα ενός πυκνωτή ο οποίος φορτίζεται λιγότερο ή περισσότερο ανάλογα με την απόσταση της μεμβράνης από την πίσω σταθερή πλάκα. Κατ' επέκταση, τα πυκνωτικά μικρόφωνα χρειάζονται ένα κύκλωμα τροφοδοσίας για να μετατρέψουν αυτό το ανεπαίσθητο ρεύμα σε μια χρήσιμη κυματομορφή. Τα διεθνή πρότυπα κατασκευαστών έχουν συμφωνήσει σε μια τάση +48V (*phantom power*) η οποία θα πρέπει να ασκείται συμμετρικά στην έξοδο του μικροφώνου από τους *hot* και *cold* αγωγούς (Εικόνα 16). Η γαλβανική απομόνωση που προσφέρει ο μετασχηματιστής, μας εξυπηρετεί στην προκειμένη περίπτωση γιατί δεν επιτρέπει την *phantom* τάση να εμφανιστεί στην είσοδο του ενισχυτή μα μόνο ως τροφοδοσία στο μικρόφωνο.

2.4 Περιφερειακά - Πρόσθετες λειτουργίες

Εδώ θα δούμε τις διαφορετικές εισόδους που μπορεί να δεχθεί η μονάδα και τους τύπος βη- σμάτων που χρειάζονται, ενώ επίσης θα δούμε για κάποιες πρόσθετες λειτουργίες με τη χρήση διακοπών που διευρύνουν τη χρησιμότητα της μονάδας.

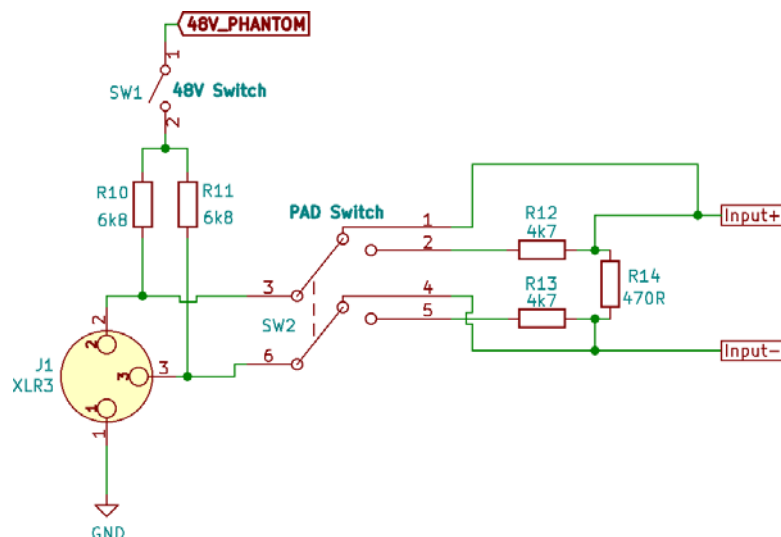
2.4.1 Mic Input - Instrument Input

Χωρίσαμε τις πιθανές εισόδους σε δύο κατηγορίες - χαμηλού σήματος και υψηλού σήματος. Εμβαθύνοντας στις πηγές χαμηλού σήματος, μπορούμε να ξεχωρίσουμε δύο κατηγορίες επιπλέον, τα μικρόφωνα και τα ηλεκτρικά όργανα (μπάσο, κιθάρα). Για τα μικρόφωνα υπάρχει η είσοδος μέσω XLR βύσμα η οποία οδηγείται στην είσοδο του μετασχηματιστή. Για την περίπτωση που θέλουμε να συνδέσουμε

ένα ηλεκτρικό μπάσο, υφίσταται πλέον μια είσοδος με βύσμα Mono Jack 6.3mm. Τα ηλεκτρικά όργανα τέτοιου τύπου δεν έχουν την δυνατότητα για balanced έξοδο και τυπικά φέρουν μια 6.3mm Jack έξοδο για σύνδεση με κάποιο σύστημα. Η έξοδος αυτή θα ονομάζεται "Instrument Input" και σε αντίθεση με την μικροφωνική είσοδο θα παρακάμπτει τον μετασχηματιστή οπότε συνδέεται απευθείας στην προενισχυτική βαθμίδα. Επειδή σε κανονικές συνθήκες ένα ηλεκτρικό όργανο παράγει μεγαλύτερη τάση από ένα μικρόφωνο, παρακάμπτουμε τον μετασχηματιστή για να στερήσουμε την ενίσχυσή του από το σήμα. Επίσης οι μετασχηματιστές έχουν την τάση να χρωματίζουν τον ήχο, πολλές φορές αποδυναμώνοντας τις μπάσες συχνότητες, κάτι που ίσως να μην επιθυμούμε. Με κάποιον αντάπτορα από Jack 6.3mm σε XLR μπορούμε κάλλιστα να συνδέσουμε ηλεκτρικό όργανο στην μικροφωνική είσοδο ή ακόμα και το ανάποδο.

2.4.2 PAD - 48V

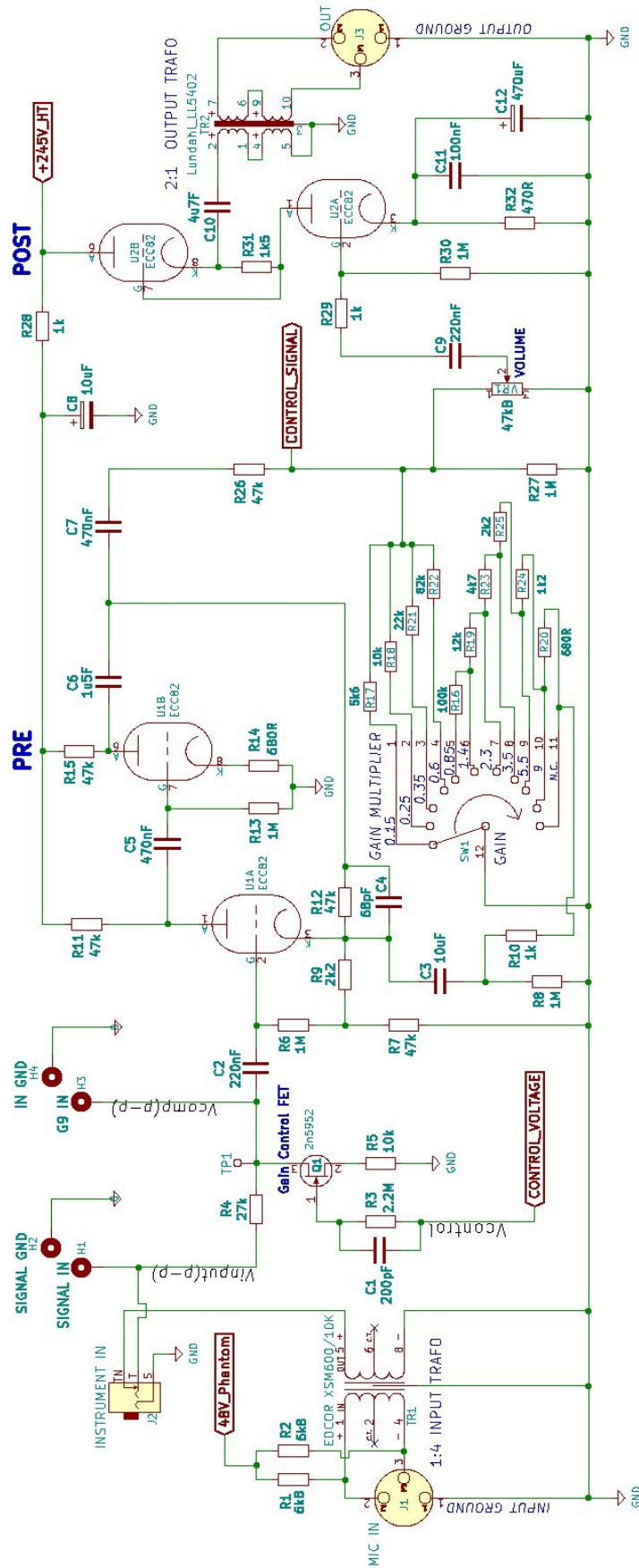
Στο μπροστινό πάνελ της μονάδας βρίσκονται δύο διακόπτες. Ένας διακόπτης αφορά την ενεργοποίηση της +48V phantom τάσης και συνδέεται μόνο με την Mic είσοδο. Επίσης βρίσκεται ένας διακόπτης "PAD" που συνδέεται πάλι στην μικροφωνική είσοδο και η δουλειά του είναι να μειώσει το σήμα εισόδου σε περίπτωση που συνδεθεί κάποια "Line Level" πηγή. Θεωρητικά μια line πηγή θα συνδεθεί στην είσοδο "instrument", μα έχουμε αναφερθεί πολλάκις στα ηχητικά χαρακτηριστικά του μετασχηματιστή εισόδου και πολλές φορές σε έναν μουσικό κόσμο προσπαθούμε να τα αξιοποιήσουμε ποικιλοτρόπως.



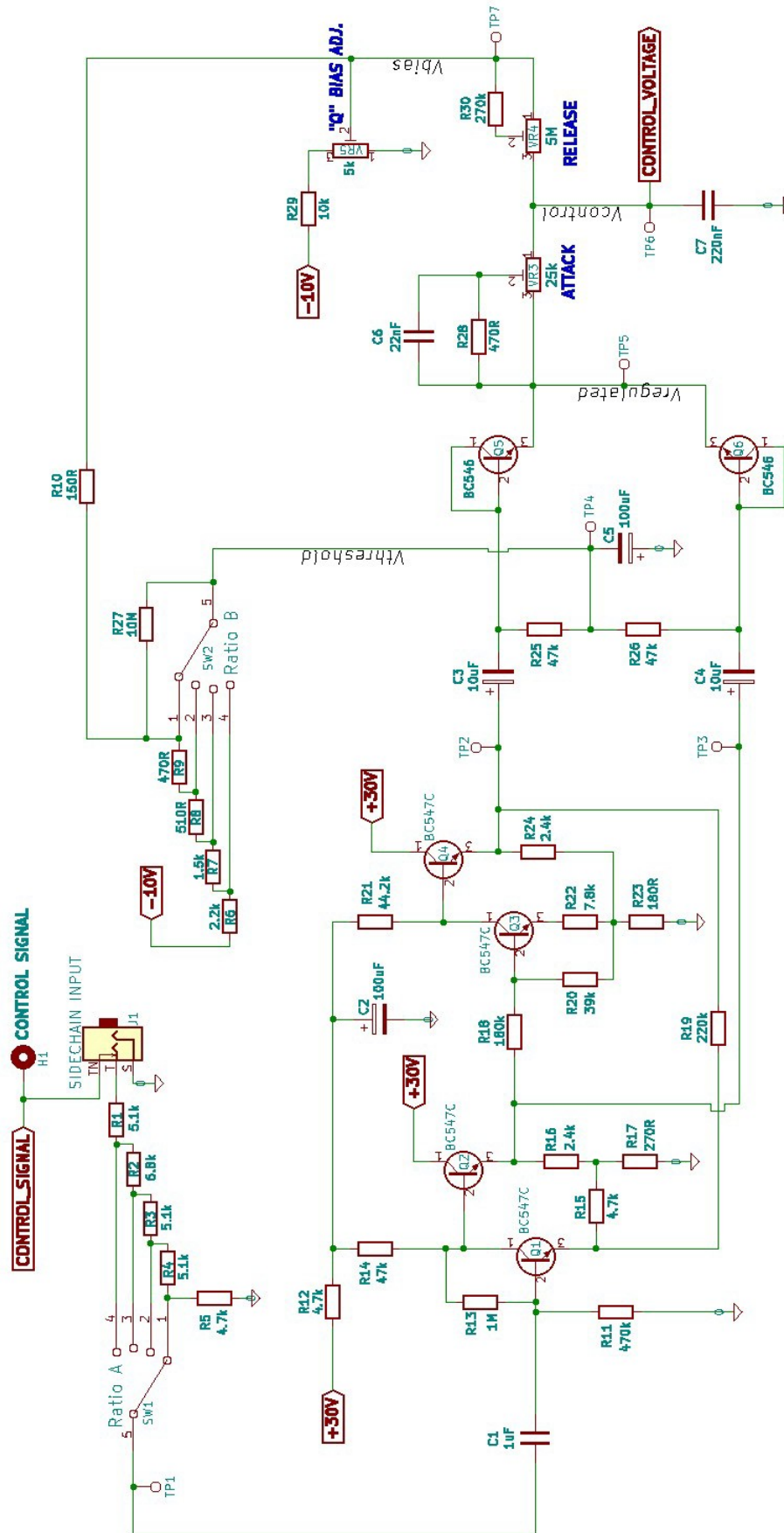
Εικόνα 17. Οι διακόπτες για την 48V phantom τροφοδοσία και την PAD ελάττωση σήματος εισόδου.

2.5 G9 Preamplifier - 1176 FET Compressor - Power Supply

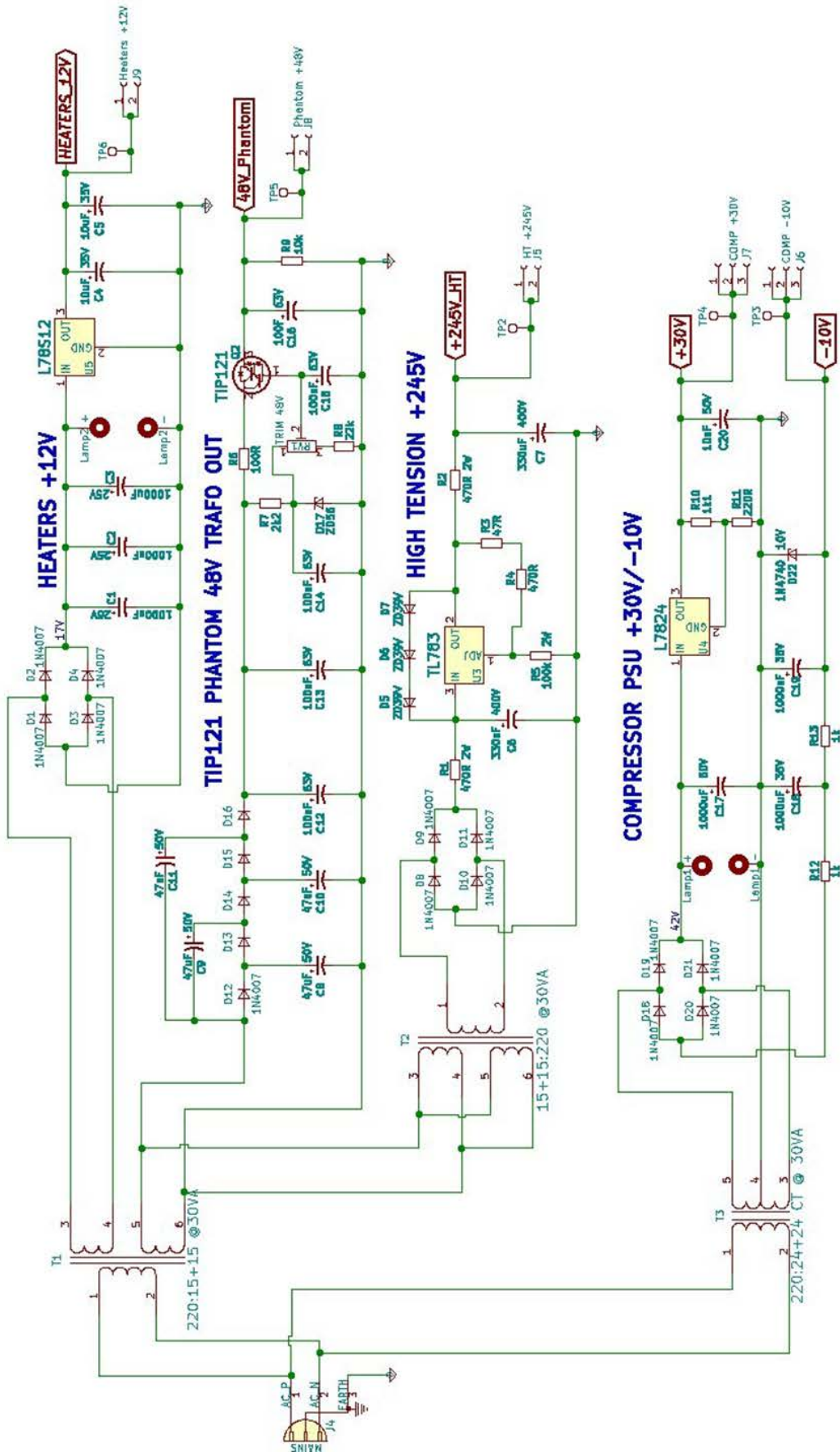
Στην παρούσα ενότητα θα απεικονιστούν τα τρία κυκλώματα - της προενίσχυσης, ο τομέας του compression, το κύκλωμα της τροφοδοσίας - ξεχωριστά.



Εικόνα 18. Το ενισχυτικό κύκλωμα G9 μαζί με το FET που πραγματοποιεί το compression.



Εικόνα 19. Το κύκλωμα ανίχνευσης κορυφής του 1176.



Εικόνα 20. Το πλήρες κύκλωμα τροφοδοσίας.

Κεφάλαιο 3

Κύκλωμα Αυτόματου Ελέγχου Κέρδους- 1176 FET Compressor

Σε αυτό το κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με το κύριο αντικείμενο μελέτης αυτής της εργασίας που είναι ο αυτόματος έλεγχος κέρδους του ενισχυτή (AGC - Automatic Gain Control) ή αλλιώς "Compression". Θα αναλύσουμε τί σημαίνει "compression", πως επιτυγχάνεται και ποιος είναι ο σκοπός της ύπαρξής του σε μια ηχητική μονάδα. Τέλος θα δούμε σε ποια σημεία έχει έλεγχο παραμετροποίησης ο χρήστης και γιατί.

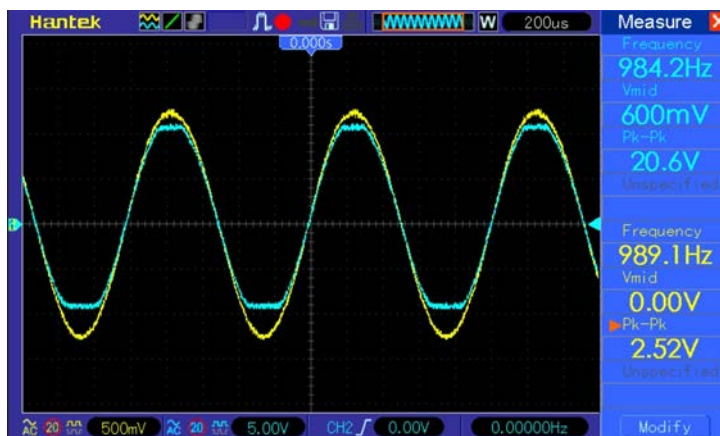
3.1 Compression - Συμπίεση Δυναμικού Εύρους

Compression" ή αλλιώς "Δυναμική Συμπίεση" είναι μια διαδικασία κατά την οποία περιορίζεται το δυναμικό εύρος μεταξύ των ισχυρότερων και των ασθενέστερων σημείων ενός ηχητικού σήματος. Αυτό επιτυγχάνεται ενισχύοντας τα ασθενή μέρη και εξασθενώντας τα ισχυρά.

Ως "Δυναμικό Εύρος" ορίζεται η απόσταση μεταξύ του δυνατώτερου και του χαμηλότερου σε ένταση χρήσιμοι ήχου που περιλαμβάνει ένα ηχητικό σήμα, ενώ με την έννοια "χρήσιμος" περιγράφουμε την ηχητική πληροφορία που θέλουμε να αποτυπωθεί στην ηχογράφιση ή να αναπαραχθεί από τα ηχεία.

Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε πως το ηχητικό σήμα είναι μια ηχογράφιση φωνής όπου το ασθενέστερο μέρος είναι ένας ψίθυρος και το ισχυρότερο είναι μια κραυγή, ενώ αυτά τα δύο στοιχεία διαδέχονται το ένα το άλλο σε διάφορα σημεία της ηχογράφησης η οποία θα πραγματοποιηθεί σε μια εκτέλεση από την αρχή ως το τέλος. Έτσι για να αποτυπώσουμε και τον ψίθυρο μα και την κραυγή σε μια ένταση που θα είναι και τα δύο ευδιάκριτα (στην περίπτωση του ψίθυρου) αλλά δε θα ξεπεράσουν τα όρια που μπορεί να δουλέψει ο ενισχυτής μας (στην περίπτωση της κραυγής- peak limiting) είναι εύλογο πως χρειαζόμαστε περισσότερη ενίσχυση στους ψιθύρους και λιγότερη στις κραυγές. Οι επιλογές μας είναι δύο σε αυτό το παράδειγμα. Η μία είναι να προσληφθεί κατάλληλος τεχνίτης με μόνη του αρμοδιότητα το να ανεβάζει το *gain* του ενισχυτή κατά τους ψιθύρους του τραγουδιστή και να κατεβάζει το *gain* όταν αυτός κραυγάζει. Η δεύτερη επιλογή είναι να χρησιμοποιηθεί μια "Compressor" μονάδα.

Τι κάνει λοιπόν μια "Compressor" μονάδα; Συνήθως εντοπίζει ποια σημεία είναι δυνατότερα από ένα επιθυμητό όριο που θέτουμε και τα χαμηλώνει σε ένταση. Αυτή η διαδικασία μπορεί να έχει δύο σκοπούς. Ο ένας είναι πλήρως τεχνικός και αφορά την προστασία της ενισχυτικής μονάδας ή του συστήματος αναπαραγωγής από το να δεχθούν υψηλότερο σήμα από το όριό τους με αποτέλεσμα να ψαλιδίσει η κυματομορφή μας (clipping - *Εικόνα 21*). Αυτό γίνεται αντιληπτό ως παραμόρφωση και (σε αυτή την περίπτωση) είναι δυσάρεστο στην ακρόαση και πιθανώς καταστροφικό για το ηχητικό σύστημα. Ο δεύτερος σκοπός έχει τεχνικές μα και ψυχοακουστικές ρίζες μιας και αφορά το πως αντιλαμβανόμαστε σαν ακροατές μια μουσική σύνθεση, πως παρουσιάζονται τα διάφορα όργανα σε ένα μουσικό κομμάτι και πως αισθανόμαστε τον ρυθμό. Η δυναμική συμπίεση στην πραγματικότητα επιτυγχάνεται από όλα τα μέσα αναπαραγωγής του ήχου ειδικά όταν αυτά έχουν διακριτά όρια λειτουργίας όπως ένα ηχείο (ένα μεγάφωνο μπορεί να κινηθεί μια μέγιστη απόσταση προτού σκιστεί) ή μια κάψα μικροφώνου. Επίσης δυναμική συμπίεση προσφέρουν τα ηλεκτρονικά στοιχεία (τρανζίστορ, λυχνίες, πυκνωτές) και αυτό οφείλεται στην ταχύτητα απόκρισής τους. Περισσότερα θα δούμε παρακάτω στην ανάλυση του κυκλώματος.



Εικόνα 21. Ψαλιδισμός της εξόδου κατά την ενίσχυση. Το σήμα ξεπέρασε τα όρια της λυχνίας εξόδου.
Κίτρινο: Είσοδος, Μπλε: Έξοδος

3.1.1 Universal Audio's 1176LN FET Compressor

Η μονάδα που θα μελετήσουμε είναι βασισμένη στο μοντέλο 1176 της Universal Audio. Ο 1176 compressor -της τότε UREI- εισήχθη στην αγορά το 1967 και σηματοδότησε την μετάβαση από της λυχνίες κενού στα τρανζίστορ και τους ημιαγωγούς. Ο 1176 λοιπόν θεωρείται -και όχι άδικα- ένα από τα πρότυπα μηχανήματα compression σε ένα studio και ο ήχος του έχει χαρακτηρίσει πολλές γενεές μουσικών δίσκων ανεξαρτήτως είδους, καταγωγής ή μουσικής κατάρτισης. Πολλές εταιρίες έκτοτε έχουν αντιγράψει το σχέδιό του με μεγάλη επιτυχία και υπάρχουν πλέον επιλογές για όλες τις τσέπες. Η ιστορικότητά του, ο ήχος του και η πληθώρα αντιγραφών, πληροφοριών και σχηματικών, ήταν τα κίνητρα για να ασχοληθούμε με την εν λόγω μονάδα.

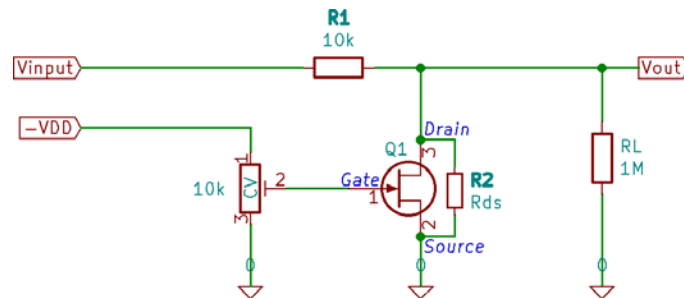


Εικόνα 22. Μερικές εκδοχές του 1176 από την Universal Audio.

3.2 FET - Αντίσταση Ελεγχόμενη από Τάση

Ο 1176 αποκαλείται "FET Compressor" διότι το εξάρτημα που πραγματοποιεί την ελάττωση του πλάτους σήματος είναι ένα "FET Transistor". Σε αυτό το κύκλωμα το FET χειραγωγεί το σήμα στην είσοδο του ενισχυτή και όχι την έξοδο, ενώ η έξοδος επηρεάζεται σαν αποτέλεσμα. Το τρανζίστορ επίδρασης πεδίου (field effect transistor - FET) αποτελείται από τρεις απολήξεις: την **πηγή** (source), την **πύλη** (gate) και την **απαγωγό** (drain). Η ροή του ρεύματος από την πηγή προς την απαγωγό μπορεί να ρυθμιστεί με την εφαρμογή μιας τάσης στην πύλη η οποία θα μεταβάλλει την αγωγιμότητα -άρα την αντίσταση- μεταξύ πηγής και απαγωγού.

Στο "Σχήμα 23" η αντίσταση **R2** είναι η εσωτερική αντίσταση μεταξύ πηγής και απαγωγού του τρανζίστορ **Q1**. Εφαρμόζεται μια αρνητική τάση στην πύλη μέσω του ποτενσιόμετρου **CV** (*CV-Control Voltage*). Μεταβάλλοντας την τάση πύλης με το ποτενσιόμετρο, η αντίσταση **R2** αυξάνεται ή μειώνεται μεταβάλλοντας την αγωγιμότητα του τρανζίστορ προς την γείωση. Η έξοδος (*Vout*) είναι αποτέλεσμα του διαιρέτη τάσης μεταξύ *R1*, *R2* και της εισόδου *Vinput*. Όταν αυξάνεται η *R2*, αυξάνεται η *Vout* και όταν μειώνεται η *R2*, μειώνεται η *Vout*.



Εικόνα 23. N-channel FET ως Αντίσταση Ελεγχόμενη από Τάση.

Για ένα *N-channel* FET η τάση ελέγχου στην πύλη πρέπει να είναι αρνητική, αντίθετα με ένα *P-channel* FET. Σε ένα *P-channel* FET η αντίσταση μεταξύ πηγής και απαγωγού μειώνεται καθώς μειώνεται και η τάση ελέγχου, πετυχαίνοντας την ελάχιστη δυνατή τιμή όταν η τάση ελέγχου μηδενιστεί. Εφ' όσον η μηδενική τάση πύλης σχετίζεται με την ελάχιστη τιμή εσωτερικής αντίστασης, σε ένα *N-channel* FET η αντίσταση θα αυξηθεί καθώς εφαρμόζεται αρνητικότερη τάση στην πύλη.

Αυτή είναι η βάση της λειτουργίας του 1176. Στο δικό μας σχέδιο, μια σταθερή αρνητική τάση εφαρμόζεται στην πύλη του τρανζίστορ εν ηρεμία, ενώ η τάση ελέγχου που εφαρμόζεται στην πύλη είναι στην πραγματικότητα το σήμα εισόδου μεταφρασμένο σε μια θετική DC τάση. Η θετική τάση ελέγχου εφαρμόζεται στην πύλη η οποία βρίσκεται ήδη σε ένα αρνητικό δυναμικό οπότε η τάση της πύλης θετικοποιείται ενώ φροντίζουμε να μην ξεπεράσει ποτέ το μηδέν. Το αποτέλεσμα είναι πως μειώνεται η (αρνητική) τάση της πύλης καθώς αυξάνεται το σήμα εισόδου, προκαλώντας την αντίσταση πηγής-απαγωγού να μειωθεί και το σήμα εξόδου να μειωθεί λόγω του διαιρέτη τάσης *R1-R2*.

Είναι μια αρκετά απλή στην κατανόηση ιδέα εάν πρώτα ξεκαθαρίσουμε την σχέση μεταξύ τάσης ελέγχου της πύλης με την εσωτερική αντίσταση του FET. Ο "Πίνακας 1" παρουσιάζει τις πειραματικές τιμές του κυκλώματος που απεικονίζει το "Σχήμα 23", για την εσωτερική αντίσταση του τρανζίστορ **Q1**, τον ρόλο του οποίου κάλυψε ένα 2n5952 FET.

Πίνακας 1: Εσωτερική αντίσταση FET και τάση ελέγχου.

Εσωτερική αντίσταση του FET σε σχέση με την τάση ελέγχου	
Τάση Πύλης (Τάση Ελέγχου)	Αντίσταση Πηγής-Απαγωγού
$CV = 0V$	$R_{ds} = 216\Omega$
$CV = -0.6V$	$R_{ds} = 300\Omega$
$CV = -1.17V$	$R_{ds} = 500\Omega$
$CV = -1.5V$	$R_{ds} = 1K\Omega$
$CV = -1.7V$	$R_{ds} = 1.6K\Omega$
$CV = -1.8V$	$R_{ds} = 3K\Omega$
$CV = -2V$	$R_{ds} = 9K\Omega$
$CV = -2.1V$	$R_{ds} = 20K\Omega$
$CV = -2.25V$	$R_{ds} = 34K\Omega$
$CV = -2.5V$	$R_{ds} = 41.3K\Omega$
$CV < -2.5V$	$R_{ds} = 41.3K\Omega$

Παρατηρούμε πως η αντίσταση πηγής - απαγωγού δεν μεταβάλλεται γραμμικά. Για $CV = 0V$ ως $CV = -1.5V$ έχουμε 1.5V μεταβολή στην πύλη και περίπου 800Ω μεταβολή στην εσωτερική αντίσταση. Ωστόσο, καθώς αυξάνουμε την τάση ελέγχου (αρνητικότερη) από $CV = -2V$ ως $CV = -2.5V$ έχουμε μεταβολή 0.5V στην πύλη ενώ περίπου 30KΩ μεταβολή στην εσωτερική αντίσταση. Αυτό σημαίνει πως μια ελάχιστη μεταβολή στην τάση ελέγχου για την περιοχή από 2V ως -2.5V θα οδηγήσει σε μια σημαντική μεταβολή στην αντίσταση του FET και κατ' επέκταση μια πιο ευδιάκριτη διαφορά στην ένταση του σήματος εξόδου.

3.3 Ανίχνευση Κορυφής

Για να μπορέσουμε να εκμεταλλευτούμε την ιδιότητα του FET να μεταβάλλει την αγωγιμότητά του για ένα "compression" κύκλωμα, πρέπει να μπορούμε να μεταβάλλουμε την τάση ελέγχου σε σχέση με το πλάτος σήματος της εισόδου. Όμως το σήμα εισόδου προσφέρει μια AC τάση ενώ το FET χρειάζεται μια DC τάση. Αυτό που θα κάνουμε είναι να μετατρέψουμε ένα δείγμα του AC σήματος σε μια DC τάση χρησιμοποιώντας ένα κύκλωμα "ανιχνευτή κορυφής".

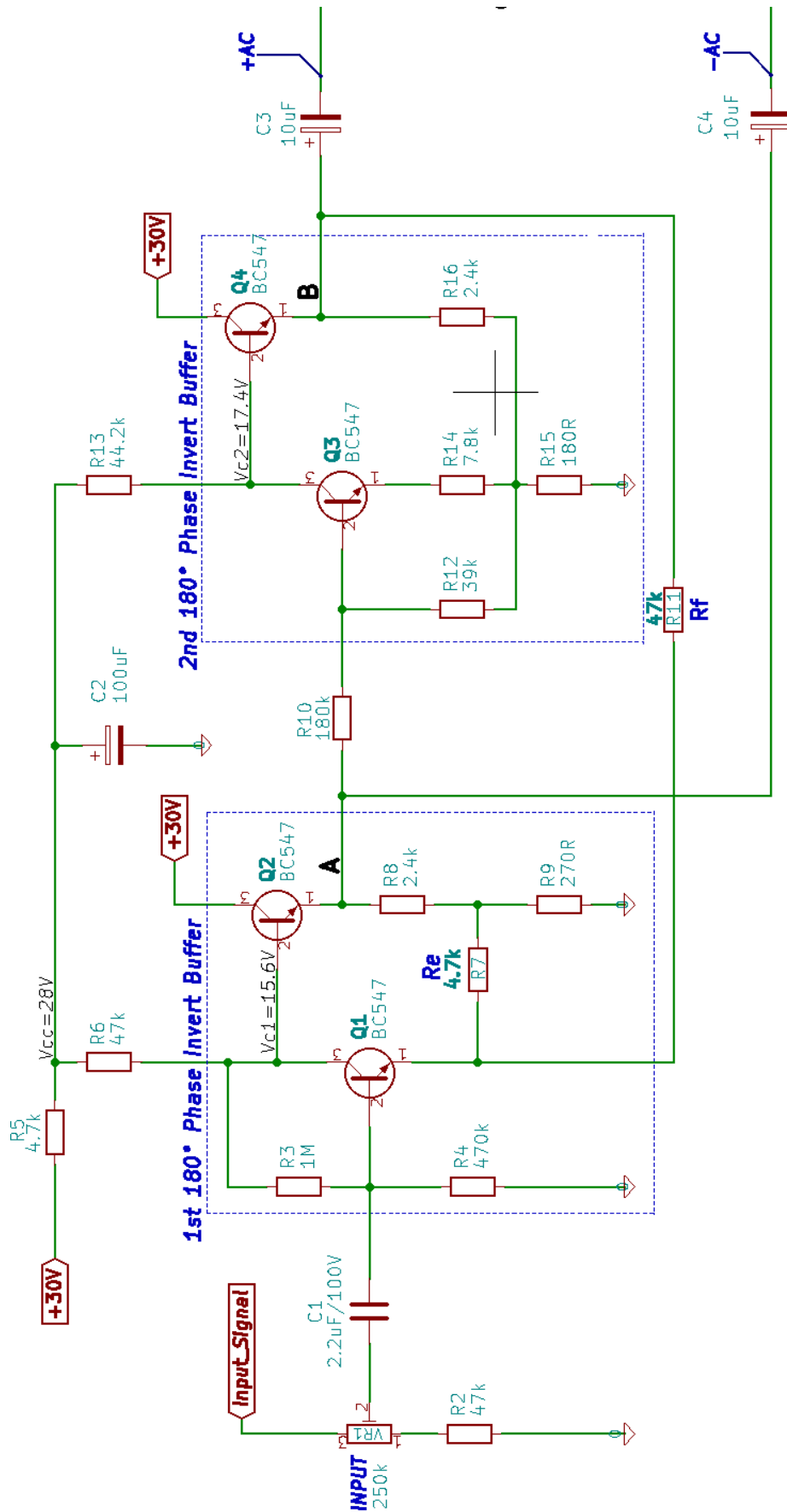
Για να μπορέσει να απεικονισθεί σωστά το κύκλωμα θα το χωρίσουμε σε δύο τμήματα.

3.3.1 'AC Split' - Buffers Αναστροφής Φάσης

Το πρώτο τμήμα αποτελείται από δύο κυκλώματα αντιστροφής φάσης, το καθ' ένα εκ' των οποίων οδηγεί έναν *buffer*, που παράγουν δύο όμοια μα αντίθετα (180° μεταξύ τους διαφορά φάσης) σήματα. Τα δύο σήματα είναι αντίγραφα του σήματος εισόδου, μόνο ενισχυμένα κατά έναν συντελεστή ενίσχυσης περίπου ίσο με 10 (επίσης το ένα εκ των δύο είναι ανεστραμμένο). Η λειτουργικότητα του παρακάτω κυκλώματος βασίζεται στην ύπαρξη της αντίστασης R_f ($R_{11}=47k\Omega$) η οποία ανατροφοδοτεί το σήμα από τον εκπομπό του $Q4$ στον εκπομπό του $Q1$ (αρνητική ανάδραση). Ας δούμε όμως γιατί είναι τόσο πολύ σημαντική η R_f .

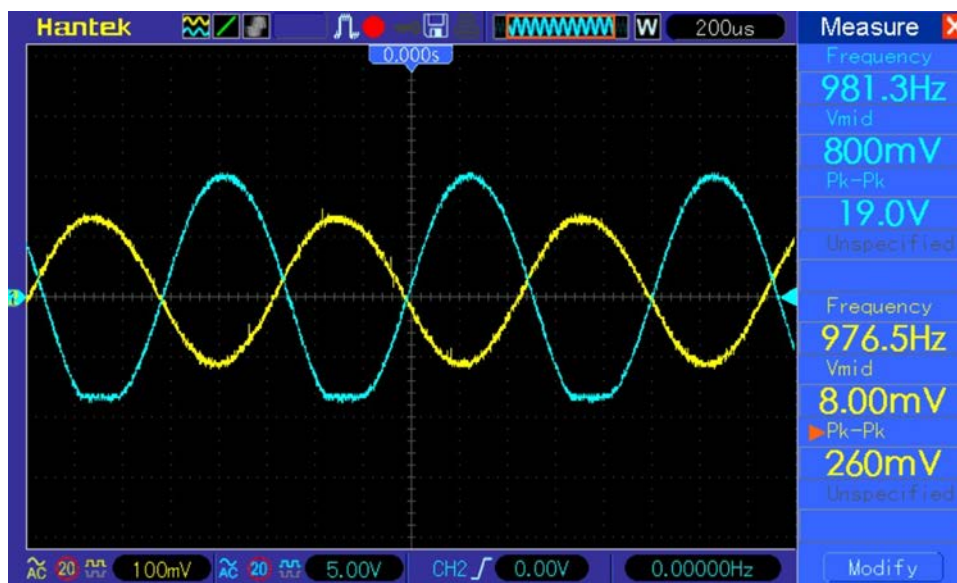
Το τρανζίστορ $Q1$ σχηματίζει έναν αναστρέφον ενισχυτή κοινού-εκπομπού που δημιουργεί ένα ανεστραμμένο κατά 180° -από την είσοδο- σήμα στο σημείο "A" μέσω ενός *buffer* από το τρανζίστορ $Q2$. Ο ενισχυτής αυτός έχει συντελεστή ενίσχυσης περίπου 60. Το $Q2$ συντελεί έναν ακόλουθο τάσης μοναδιαίου κέρδους.

Το τρανζίστορ $Q3$ σχηματίζει έναν αναστρέφον ενισχυτή κοινού-εκπομπού που δημιουργεί ένα σήμα ανεστραμμένο κατά 180° από το σημείο "A" μέσω ενός *buffer* από το τρανζίστορ $Q4$ στο σημείο "B". Συμπεραίνεται λοιπόν πως το σήμα στο σημείο "B" θα είναι συμφασικό του σήματος εισόδου. Αυτή η βαθμίδα έχει συντελεστή ενίσχυσης περίπου ίσο με 1. Το $Q4$ είναι επίσης συνδεδεμένο ως ακόλουθος τάσης μοναδιαίου κέρδους.



Εικόνα 24. Το κύκλωμα διαχωρισμού του σήματος (AC Split).

Σε αυτό το σημείο πρέπει να θυμηθούμε πως το κύκλωμα αυτό είναι μέρος μιας "Compressor" μονάδας. Το σήμα εισόδου του "compressor" αναμένεται να είναι στα 10-400mV (αν προέρχεται από μικρόφωνο) μέχρι τα 1-2V, ανάλογα με την πηγή. Το προενισχυτικό στάδιο της μονάδας θα ενισχύσει αυτό το σήμα και μετά θα τροφοδοτήσει το κύκλωμα "ανίχνευσης κορυφής" με ένα σήμα περί τα 5V σε πλάτος και περισσότερο. Για το "AC Split" κύκλωμά μας αυτό είναι ένα πολύ μεγάλο πλάτος τάσης, μιας και οτιδήποτε πάνω από τα 250mV τάσης εισόδου οδηγεί σε ψαλιδισμό της εξόδου (αναφερόμαστε στην περίπτωση που η R_f δεν είναι παρούσα στο κύκλωμα και ο ενισχυτής του $Q1$ έχει ενίσχυση 60). Το μέγιστο απαραμόρφωτο σήμα εξόδου είναι περίπου 18V. Αυτός είναι ο βασικός λόγος που έχουμε έναν διαιρέτη τάση με ποτενσιόμετρο για να ρυθμίζουμε την τάση στην είσοδο του "AC Split" κυκλώματος. Παρ' όλα αυτά δεν είναι αρκετό.

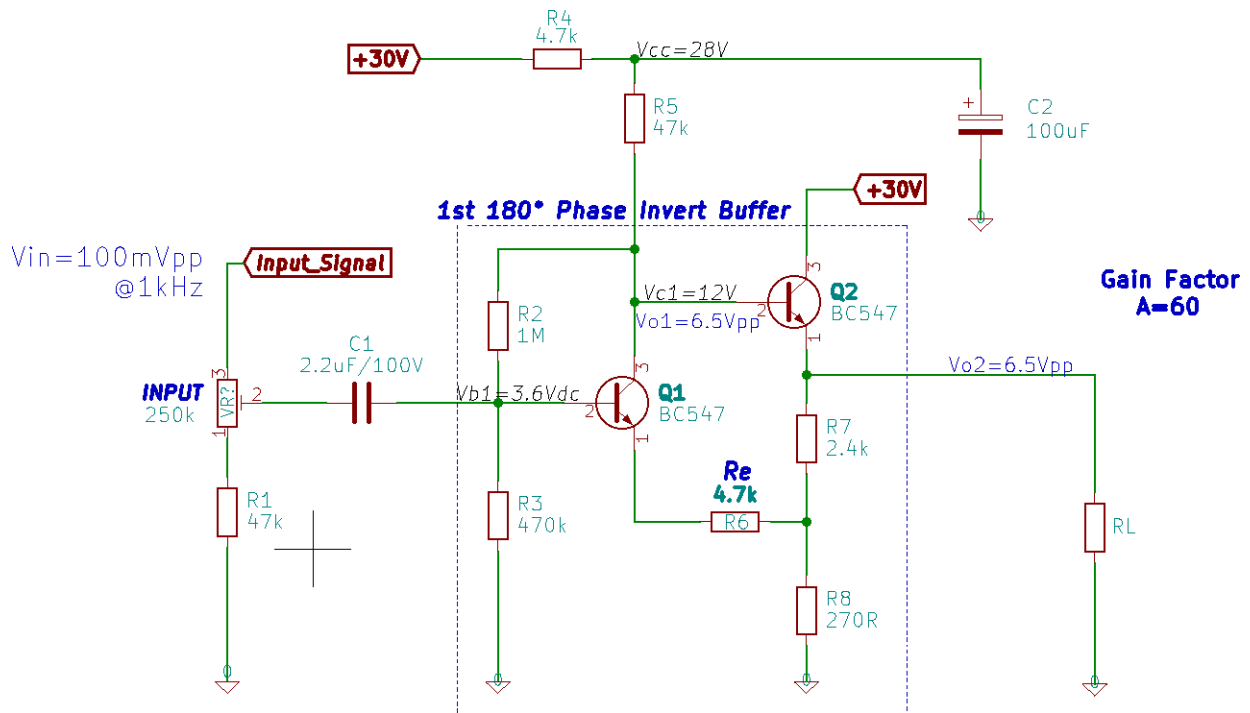


Εικόνα 25. Ψαλιδισμός της εξόδου χωρίς την R_f . Κίτρινο: Είσοδος - Μπλε: Έξοδος

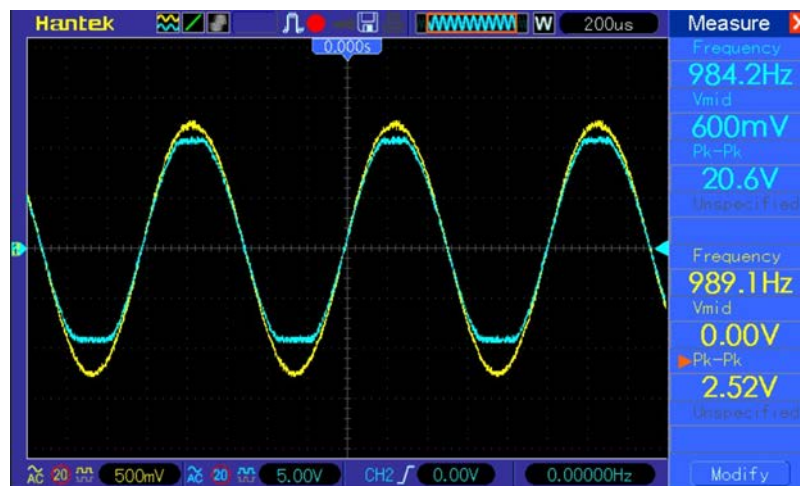
Η αντίσταση R_f αναλαμβάνει το ρόλο της αρνητικής ανάδρασης, ανατροφοδοτώντας το σήμα εξόδου στον εκπομπό του ενισχυτή εισόδου. Το κύκλωμα χωρίς την αντίσταση ανάδρασης είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο για να υπολογισθεί το κέρδος με ακρίβεια, η R_f απλοποιεί την διαδικασία.

$$\text{Συντελεστής Κέρδους: } A = R_f/R_e = 47k\Omega/4.7k\Omega = 10$$

Παρατηρούμε λοιπόν πως το κέρδος του κυκλώματος μπορεί να ρυθμιστεί με ακρίβεια μεταβάλλοντας την τιμή μιας μόνο αντίστασης (R_f). Αυτό είναι μείζονος σημασίας για έναν ακόμα λόγο. Σε συνήθεις συνθήκες, η θερμοκρασία ενός τρανζίστορ μπορεί να μεταβάλλει το hFE και την εσωτερική του αντίσταση προκαλώντας μικρές ή μεγάλες διαφορές στον συντελεστή κέρδους κατά τη λειτουργία του κυκλώματος. Εφαρμόζοντας την αρνητική ανάδραση, δεν επιτρέπουμε στην θερμοκρασία του τρανζίστορ και κατ' επέκταση στο hFE του να έχει παρά αμελητέα επίδραση στο κέρδος του. Έτσι μπορούμε ακόμα και να αντικαταστήσουμε ένα προβληματικό FET με κάποιο άλλο με χαμηλότερο ή υψηλότερο hFE και το κύκλωμα να δουλεύει άψογα.



Εικόνα 26. Η πρώτη βαθμίδα χωρίς την αντίσταση αρνητικής ανάδρασης R_f .



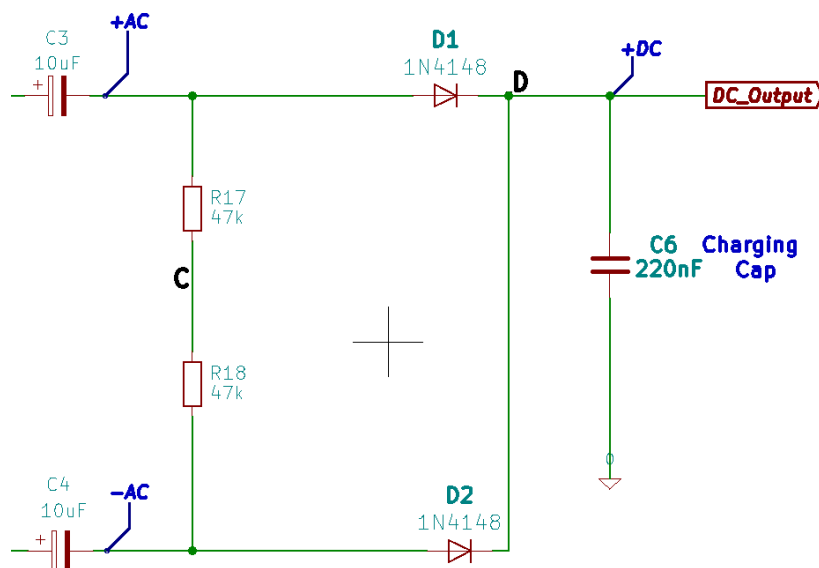
Εικόνα 27. Ψαλιδισμός της εξόδου με την αρνητική ανάδραση. Κίτρινο: Είσοδος - Μπλε: Έξοδος

Όπως βλέπουμε, το μέγιστο σήμα εισόδου πριν το ψαλιδισμό έχει ανέβει στα 2.5V (από τα 250mV). Πλέον τα 5V από το προενισχυτικό στάδιο μπορούμε να τα μετατρέψουμε σε ένα αξιοποιήσιμο πλάτος μόνο με έναν διαιρέτη τάσης. Παρακάτω θα δούμε πως αυτό το σήμα από το "AC Split" κύκλωμα μετατρέπεται σε μια DC τάση για τον έλεγχο της εσωτερικής αντίστασης του FET.

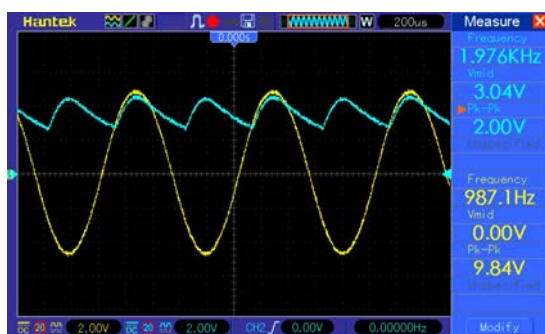
3.3.2 Πλήρης Ανόρθωση Τάσης - Μετατροπή από AC σε DC

Το δεύτερο τμήμα αφορά την μετατροπή της AC τάσης του σήματος σε μια DC τάση (μηδενικής συχνότητας) για την πύλη του FET. Το κύκλωμα είναι μια κλασική περίπτωση ανορθωτή πλήρους κύματος που αποτελείται από τις διόδους $D1$, $D2$ ($1n4148$) και τον $C6=220nF$ ως πυκνωτή εξομάλυνσης.

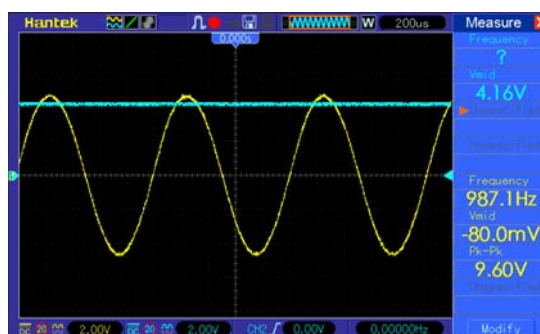
Κατά την θετική ημι-περίοδο άγει η $D1$, φορτίζοντας τον πυκνωτή $C6$ με ένα θετικό ρεύμα. Κατά την αρνητική ημι-περίοδο άγει η $D2$, φορτίζοντας τον πυκνωτή $C6$ με ένα θετικό ρεύμα. Οι πυκνωτές $C3$ και $C4$ είναι πυκνωτές σύζευξης με το "AC Split" κύκλωμα.



Εικόνα 28. Ανορθωτής Πλήρους Κύματος - Μετατροπή του AC σήματος σε DC τάση.



Εικόνα 29. Ανόρθωση τάσης χωρίς πυκνωτή εξομάλυνσης.



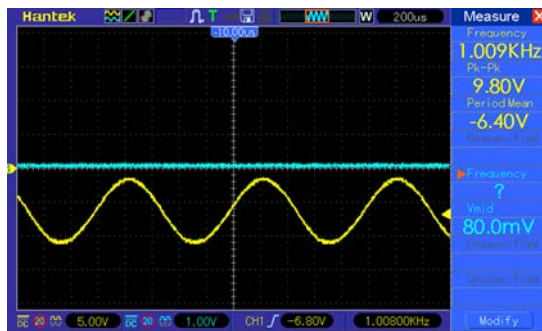
Εικόνα 30. Ανόρθωση τάσης με τον πυκνωτή εξομάλυνσης.

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, ο σκοπός μιας "compressor" μονάδας είναι να ελαττώνει την ένταση της εξόδου όταν η είσοδος ξεπεράσει ένα επιθυμητό όριο που ονομάζεται "Threshold" (κατώφλι). Προς το παρόν, όσο αυξάνεται το πλάτος του σήματος, αυξάνεται και η DC τάση ελέγχου. Εμείς όμως θέλουμε η τάση ελέγχου να αυξάνεται όταν το πλάτος του σήματος ξεπεράσει ένα δοθέν κατώφλι. Στην προκειμένη περίπτωση, κάθε φορά που το σήμα ξεπερνάει το "μηδέν" θα αυξάνεται η τάση ελέγχου και λόγω της πλήρους ανόρθωσης, αυτό θα συμβαίνει σε κάθε ημι-περίοδο, θετική ή αρνητική.

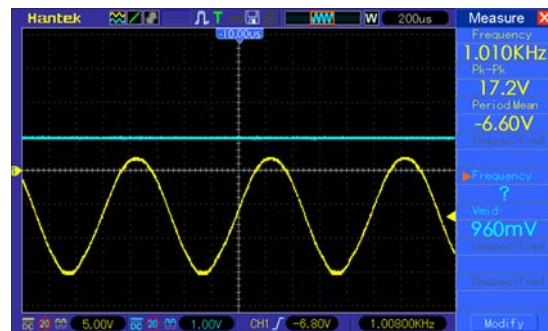
Η λύση που εμπνεύστηκαν οι σχεδιαστές της "Urei" ήταν η εξής. Αν αρχικοποιήσουμε μια αρνητική τάση στις εξόδους του "AC Split" κυκλώματος, άρα πριν τις διόδους ανόρθωσης, η τάση ελέγχου θα αυξάνεται μόνο όταν το σήμα ελέγχου (πριν την ανόρθωση) γίνει θετικό, μιας και για όλες τις τιμές που είναι αρνητικό οι διόδοι δεν άγουν.

Ο διαθέσιμος παλμογράφος έχει μόνο δύο κανάλια οπότε η απεικόνιση των δύο αντίθετων σημάτων προ της ανόρθωσης μαζί με το ο ανορθωμένο σήμα δεν ήταν εφικτό. Ας εξηγηθεί λοιπόν πως στο σχήμα 29 παρόλο που φαίνεται να αυξάνεται η τάση κατά την αρνητική ημιπερίοδο, στην πραγματικότητα άγει η D2 για το -AC σήμα το οποίο είναι επίσης θετικό εκείνη την στιγμή. Η αρνητική τάση πόλωσης "Vthreshold" μετατοπίζει όλη την κυματομορφή κατά τον αρνητικό άξονα έτσι ώστε αυτή να ξεπερνάει το μηδέν μόνο αν αυξηθεί

αρκετά το πλάτος της.

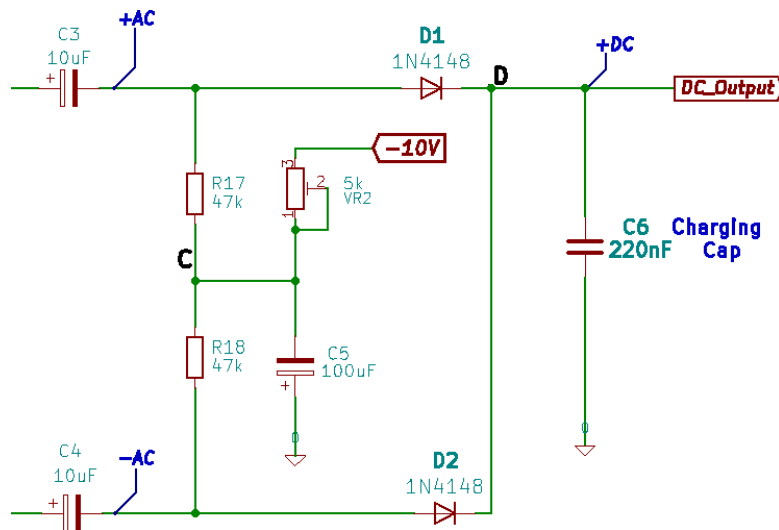


Εικόνα 31. Η τάση ελέγχου είναι μηδενική κατά την αύξηση του σήματος.



Εικόνα 32. Η τάση ελέγχου αυξάνεται κατά το χρόνο που το σήμα είναι θετικό.

Παρατηρούμε λοιπόν πως το σήμα μας τώρα έχει ως σημείο μηδέν τα -6.5V περίπου (φέρεται πάνω σε μια αρνητική DC συνιστώσα). Όταν το σήμα ξεπεράσει τα 6.5V peak (άρα τα 13Vp-p) θα επιτρέψει στις διόδους να άγουν και ο ανορθωτής δημιουργεί μια DC τάση ελέγχου. Έτσι αν μπορούμε να ελέγξουμε το πόσο αρνητικότερη θα είναι αυτή η DC συνιστώσα (άρα πόσο μακριά θα βρίσκεται από το μηδέν), μπορούμε να ελέγξουμε και πόσο σύντομα στην αύξηση του σήματος θα σταλθεί η τάση ελέγχου στο FET.



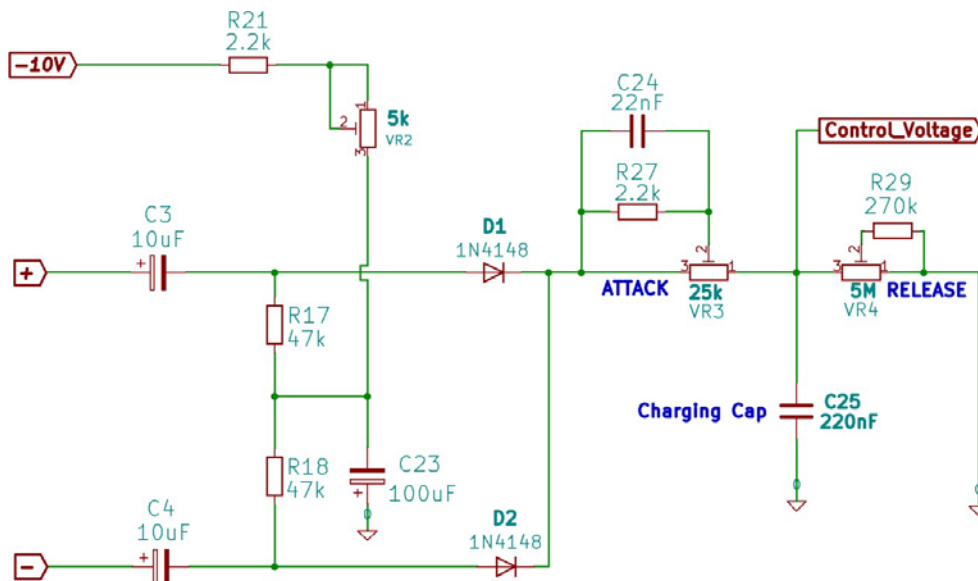
Εικόνα 33. Ο έλεγχος της τάσης κατωφλίου μπορεί να πραγματοποιηθεί με ένα ποτενσιόμετρο.

3.3.3 Έλεγχος φόρτισης του πυκνωτή - Attack και Release

Σε ένα μουσικοτεχνολογικό περιβάλλον, έχει πολύ μεγάλη σημασία η μουσικότητα στην χρήση του εξοπλισμού καθώς και η παραμετροποίηση των χαρακτηριστικών του από τον χρήστη ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα. Η μουσικότητα καθορίζεται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά μιας μονάδας που μπορούν να αλλοιώσουν τον ήχο και να διαστρεβλώσουν την ψυχοακουστική αντίληψη στην δομή της μουσικής. Πολλές φορές αυτό επιτυγχάνεται από τις ατέλειες μιας μονάδας. Η αρμονική παραμόρφωση, η αργή απόκριση, ο θόρυβος και ο περιορισμός του δυναμικού εύρους (dynamic compression) είναι χαρακτηριστικά που οφείλονται στην μη ορθή λειτουργία ενός ενισχυτή ή ενός κυκλώματος γενικότερα, μα είναι όλα αυτά που μπορούν να κάνουν πολύ ενδιαφέρον το ηχητικό αποτέλεσμα. Είναι ακριβώς αυτός ο λόγος που η δημιουργία της τέχνης κοντράρει την λογική της τεχνολογίας. Είναι ακριβώς αυτός ο λόγος που δεν δύναται καλλιτέχνης τεχνοκράτης. Είναι ακριβώς αυτός ο λόγος που συχνά μιλάμε για "στουντιακή μαγεία".

Έτσι λοιπόν και σε αυτήν την περίπτωση θα δώσουμε τον έλεγχο της χρονικής απόκρισης της μονάδας στον χρήστη για να μπορέσει να αξιοποιήσει την ατέλεια της μονάδας και να δημιουργήσει ένα ενδιαφέρον ηχητικό αποτέλεσμα.

Η απόκριση του κυκλώματος αφορά την ταχύτητα με την οποία θα ανταποκρίνεται η τάση ελέγχου του FET στις αλλαγές του πλάτους του σήματος εισόδου. Η τάση ελέγχου πηγάζει από την φόρτιση και την εκφόρτιση του πυκνωτή $C25=220nF$ του σχήματος 34. Η ταχύτητα φόρτισης του πυκνωτή ελέγχεται από το "Attack" ποτενσιόμετρο $VR3=25k$ ενώ η εκφόρτισή του ελέγχεται από το "Release" ποτενσιόμετρο $VR4=5M$. Από την κατασκευαστική εταιρία του 1176 δίνεται πως η ταχύτητα φόρτισης κυμαίνεται από 800μsec ως τα 20μsec, ενώ η ταχύτητα εκφόρτισης κυμαίνεται από 1.1sec ως και 50msec.



Εικόνα 34. Ο έλεγχος της φόρτισης και εκφόρτισης του πυκνωτή.

Η σταθερά χρόνου για την φόρτιση και την εκφόρτιση του πυκνωτή είναι: $\tau = RC$. Η εκφόρτιση του πυκνωτή πραγματοποιείται μέσω του ποτενσιόμετρου $VR4$ και της αντίστασης $R29=270k$ οπότε η ταχύτερη τιμή εκφόρτισης θα είναι:

$$t2_{min} = VR4 * C25 = 5M\Omega * 220nF = 59msec$$

ενώ η βραδύτερη τιμή θα είναι:

$$t2_{max} = R29 * C25 = 270k * 220nF = 1.1sec$$

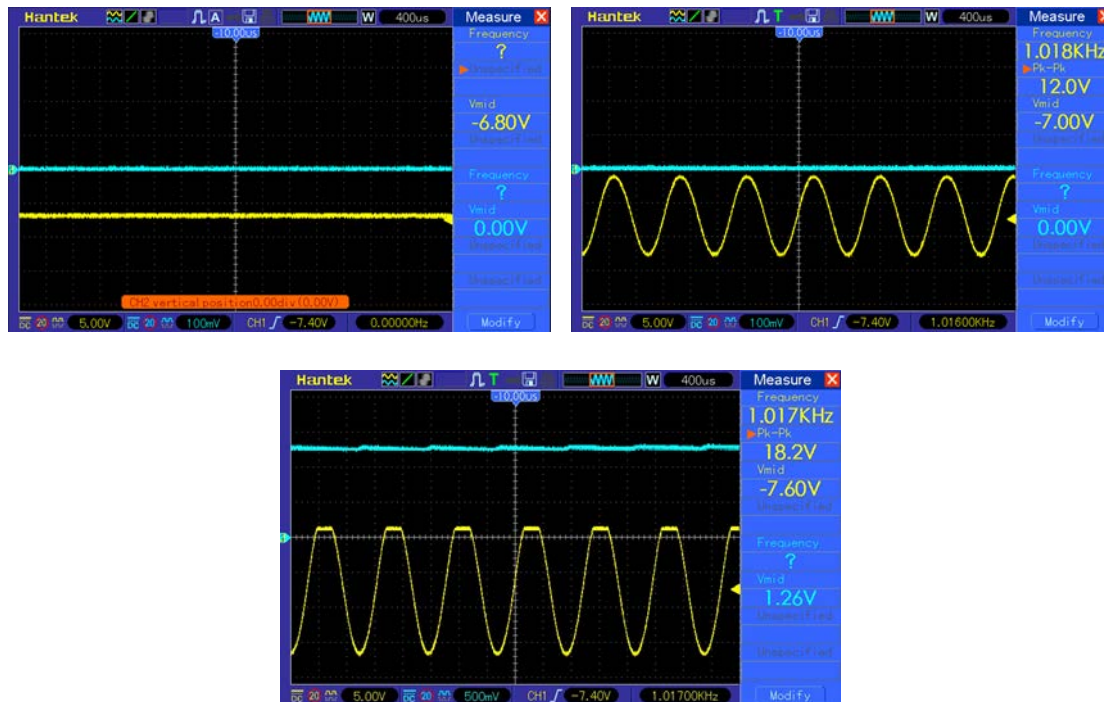
Η φόρτιση του πυκνωτή γίνεται μέσω του ποτενσιόμετρου $VR3$ και της αντίστασης $R27=2.2k$. Η ταχύτερη τιμή φόρτισης του πυκνωτή είναι:

$$t1_{min} = R27 * C25 = 2.2k\Omega * 220nF = 440\mu sec$$

ενώ η βραδύτερη τιμή είναι:

$$t1_{max} = (VR3 + R27) * C25 = 27.2k\Omega * 220nF = 6msec$$

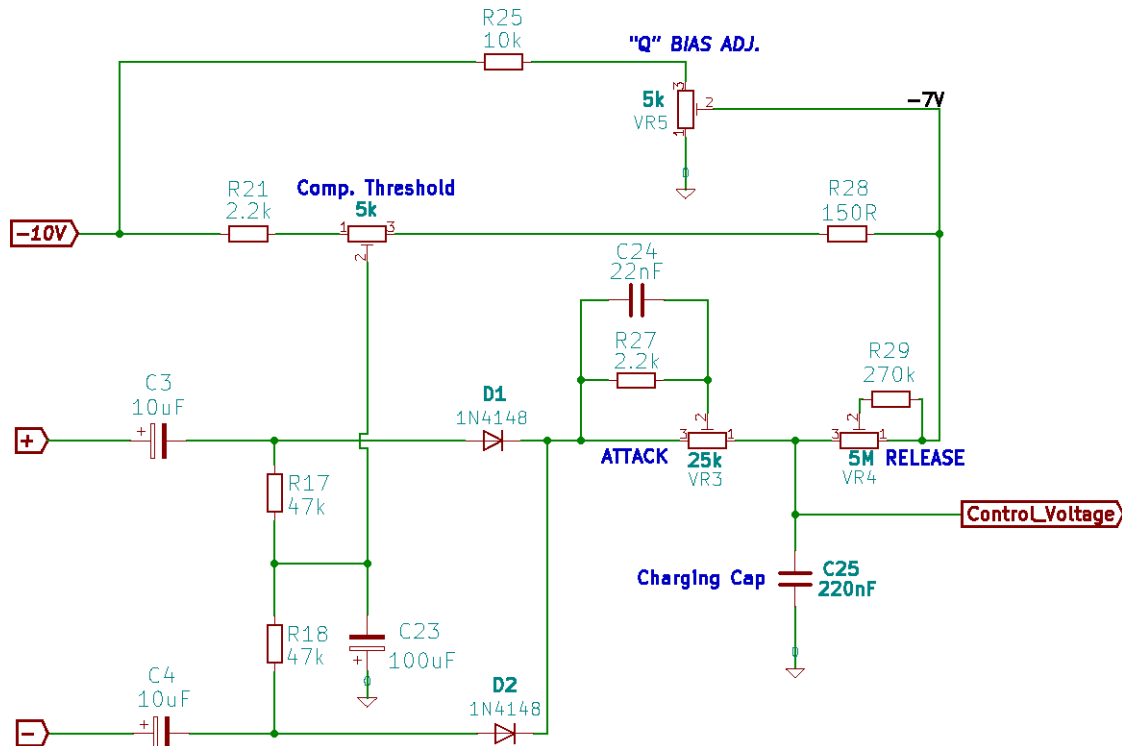
Παρατηρούμε λοιπόν πως οι τιμές που υπολογίσαμε για την φόρτιση του πυκνωτή δεν ανταποκρίνονται στις τιμές που δηλώνει η κατασκευαστική εταιρία για την ταχύτητα απόκρισης του κυκλώματος, ενώ οι τιμές εκφόρτισης είναι ακριβείς. Επίσης, από την τοπολογία του κυκλώματος του σχήματος 34, προκύπτει πως η τάση ελέγχου είναι αρχικώς 0V και καθώς ο πυκνωτής φορτίζεται από την θετική τάση των διόδων ανόρθωσης η τάση ελέγχου αποκτά μια θετική τιμή. Το n-channel FET που χρησιμοποιούμε εμείς όμως περιμένει μια αρνητική τάση στην πύλη του για να ξεκινήσει να άγει. Επίσης είδαμε πως μια τάση -3V περίπου στην πύλη του FET είναι το κομβικό σημείο από το οποίο το FET μπορεί να αξιοποιηθεί σαν μεταβλητή αντίσταση και να επηρεάσει το κέρδος της μονάδας. Το κύκλωμα της εικόνας 34 είναι ελλιπές.



Εικόνα 35. Η εξέλιξη της τάσης ελέγχου όταν ο πυκνωτής εκφορτίζεται προς την γείωση. Η τάση ελέγχου είναι θετική. Κίτρινο: Σήμα V+ , Μπλε: Τάση Ελέγχου

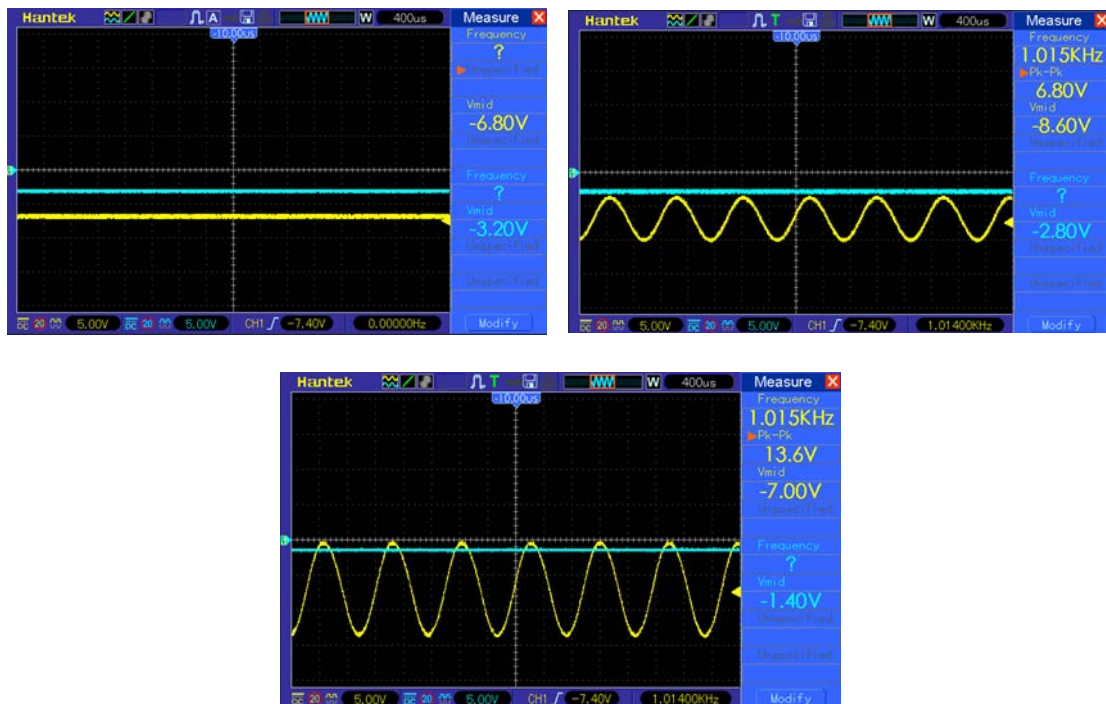
Το κύκλωμα ολοκληρώνεται με την προσθήκη μιας αρνητικής τάσης πόλωσης στην εκφόρτιση του πυκνωτή (Σχήμα 36) αντί για την γείωση. Ο κύριος "Bill Putnam" εφευρέτης, ιδρυτής της εταιρίας UREI και πατέρας του 1176, έχει σχεδιάσει ένα κύκλωμα του οποίου τα επιμέρους στοιχεία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους σε μεγάλο βαθμό καθιστώντας την πλήρη και ακριβής ανάλυση του σχεδόν αδύνατη. Ίσως εκεί να βρίσκεται και η φοβερή ποιότητα αυτής της μονάδας και η διαχρονική της αξία.

Στο δεξί άκρο του VR4 ασκούμε πλέον μια αρνητική τάση η οποία μπορεί να ορισθεί μέσω του ποτενσιόμετρου VR5. Η τάση αυτή αναφέρεται συχνά ως το "Σημείο Q" και είναι άκρως επιδραστική στην απόκριση και συμπεριφορά της μονάδας, ενώ θα αναφερόμαστε σε αυτήν ως "Vbias". Η Vbias αρχικοποιεί την τάση ελέγχου σε μια αρνητική τιμή περίπου στα -3V. Όταν η τάση των διόδων επιτρέψει στον πυκνωτή να φορτιστεί, αυτός δημιουργεί μια θετική τάση, αναγκάζοντας την αρνητική τάση ελέγχου να κινηθεί θετικότερα (προς το μηδέν).



Εικόνα 36. Η αρνητική τάσης πόλωσης για την εκφόρτιση του πυκνωτή.

Έτσι λοιπόν έχουμε ισοροπήσει την πύλη του FET γύρω από μια αρνητική τάση ελέγχου, περίπου στο όριο κατά το οποίο αυτό αρχίζει να παρουσιάζει μια εσωτερική αντίσταση αρκετά υψηλή, ενώ καθώς το σήμα εισόδου αυξάνεται ωθεί την αντίσταση αυτή να μειωθεί με αποτέλεσμα να μειωθεί το σήμα εξόδου.



Εικόνα 37. Η εξέλιξη της τάσης ελέγχου όταν ο πυκνωτής εκφορτίζεται προς την V_{bias} . Η τάση ελέγχου είναι αρνητική. Κίτρινο: Σήμα $V+$, Μπλε: Τάση Ελέγχου

Εδώ ακριβώς κρύβεται και η απάντηση για τις λανθασμένες τιμές της ταχύτητας φόρτισης του πυκνωτή. Ως "Attack" του compressor δεν ορίζεται η ταχύτητα που ο πυκνωτής φορτίζεται. Αφορά το πόσο γρήγορα θα μειώσει την ένταση το FET όταν η τάση εισόδου ξεπεράσει το επιθυμητό κατώφλι. Αυτό καθορίζεται από το πόσο μακριά από το κομβικό σημείο των περίπου $-3V$ έχει πολωθεί η πύλη του FET.

Αν για παράδειγμα η πύλη του FET βρίσκεται στα $-6V$ σταθερά, το σήμα εισόδου ξεπεράσει το κατώφλι και ο πυκνωτής ξεκινήσει να φορτίζεται, η τάση ελέγχου θα γίνει θετικότερη. Έστω πως η τάση ελέγχου γίνεται κατά $3V$ θετικότερη. Η πύλη πλέον βρίσκεται στα $-3V$ που είναι ακριβώς το κομβικό σημείο, άρα δεν έχει ξεκινήσει να άγει και το σήμα μας μένει ανεπηρέαστο. Βλέπουμε λοιπόν πως ο πυκνωτής φορτίστηκε μα δεν υπάρχει κανένα "Attack" μιας και δεν υπάρχει κανένα "compression".

Όσον αφορά το "Release" όμως, οι τιμές μας έχουν υπολογισθεί σωστά διότι κατά την ανάποδη διαδικασία (κατά την εκφόρτιση του πυκνωτή) η τάση ελέγχου θα επιστρέφει στην αρχική της κατάσταση όσο αποφορτίζεται ο πυκνωτής και σε όλη αυτή τη διάρκεια θα αυξάνεται σιγά σιγά η αντίσταση του FET. Άρα θα βρίσκεται διαρκώς στην περιοχή λειτουργίας του μέχρι να αποφορτιστεί τελείως και να έρθει στην αρχική τάση ηρεμίας.

Το συμπέρασμα που προκύπτει από τις παραπάνω παρατηρήσεις, είναι πως το ποτενσιόμετρο της V_{bias} μας δίνει πρόσβαση στην πιο καίρια παραμετροποιήσιμη τιμή του κυκλώματος και μπορεί να διαμορφώσει πλήρως την συμπεριφορά της compressor μονάδας. Η κατασκευαστική εταιρία στο εγχειρίδιο χρήσης του 1176 δίνει συγκεκριμένες οδηγίες για την εύρεση της σωστής τιμής για την V_{bias} . Το ποτενσιόμετρο VR5 βρίσκεται μέσα στην πλακέτα ως "trimmer" και ο σκοπός είναι αφού βρεθεί η κατάλληλη θέση, να παραμείνει εκεί για ορθή λειτουργία.

Μια ακόμα παρατήρηση που πρέπει να κάνουμε, είναι πως το ποτενσιόμετρο VR4 που ελέγχει την εκφόρτιση του πυκνωτή, στην πραγματικότητα επεμβαίνει σε μεγάλο βαθμό και στην V_{bias} η οποία αυξομειώνεται ανάλογα με τη θέση του VR4. Κατά τα συμπεράσματα του γράφοντα, αυτή είναι μια ακόμα από τις "ατέλειες" του κυκλώματος του 1176. Πολλά στοιχεία του βλέπουμε να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με αποτέλεσμα οι τιμές που περιμένουμε να δούμε να είναι τελείως προσεγγίσιμες και πολλές φορές να μην ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Η V_{bias} ορθώς θα πρέπει να ρυθμιστεί με βάση το compression που προσφέρει σε dB. Αυτό για να συμβεί θα πρέπει να υπάρχει μια εξωτερική μονάδα που συγκρίνει τα σήματα πριν και μετά το compression. Αυτό το ρόλο στις μονάδες 1176 καλύπτει ο μετρητής "VU". Στην δική μας μονάδα ο μετρητής δεν έχει συμπεριληφθεί, μα έχει γίνει μια πρόβλεψη για να τοποθετηθεί στο μέλλον. Έτσι θα προχωρήσουμε τη μελέτη θεωρώντας πως η V_{bias} θα παρουσιάζει μια τάση περίπου $-7V$ έτσι ώστε η τάση ελέγχου σε κατάσταση ηρεμίας να είναι περίπου στα $-3V$ και άρα στο κομβικό σημείο της εκκίνησης του compression.



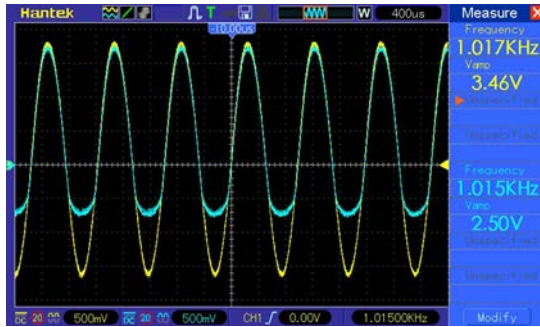
Εικόνα 38. Αριστερά: Εξωτερική μονάδα μετρητή VU. Δεξιά: Ο μετρητής VU στην εκδοχή του 1176 της εταιρίας "Purple Audio".

3.3.4 Ο διακόπτης "Ratio"

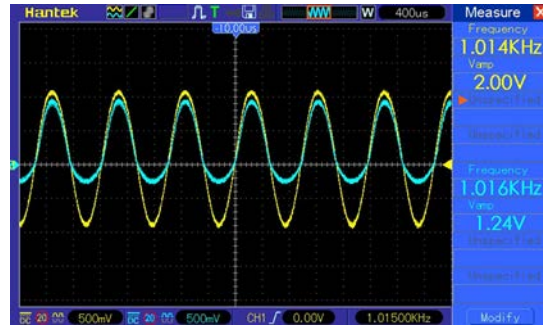
Η μονάδα αποτελείται από πολλά διακριτά στελέχη των οποίων η πολυπλοκότητα μας ώθησε να τα αναλύσουμε ξεχωριστά σε απλοποιημένες μορφές. Η εικόνα 43 απεικονίζει ολόκληρο το κύκλωμα ελέγχου του κέρδους αν απομονωθεί από τον ενισχυτή με τις λυχνίες. Στη διαδρομή του σήματος υπάρχει μόνο μια αντίσταση ($R31$) ενώ η λειτουργία του FET ($Q5$), όπως την αναλύσαμε νωρίτερα, αναλαμβάνει τον έλεγχο (την ελάττωση, για να είμαστε ακριβείς) της έντασης του σήματος εξόδου.

Ο έλεγχος του "compression ratio" (λόγος συμπίεσης του σήματος) γίνεται από τον διακόπτη $SW1$ ο οποίος φέρει 4 διακριτές θέσεις. Ο διακόπτης $SW1$ είναι ένας διπλός διακόπτης ο οποίος μας επιτρέπει να επηρεάσουμε ταυτόχρονα δύο διαφορετικές περιοχές του κυκλώματος. Η πρώτη περιοχή είναι ο διαιρέτης τάσης στην είσοδο που καθορίζει το ποσοστό του σήματος που θα εισέρθει στο "AC Split" κύκλωμα. Η δεύτερη περιοχή είναι ο ροοστάτης που καθορίζει την αρνητική τάση που πολώνει της διόδους του ανορθωτή πλήρους κύματος και επηρεάζει το κατώφλι. Οι τιμές των αντιστάσεων έχουν επιλεγθεί έτσι ώστε σε κάθε θέση από 1-4 ο λόγος συμπίεσης να αυξάνεται. Στην πρώτη θέση αναφέρεται λόγος συμπίεσης περίπου 1:4 ενώ στην τελευταία περίπου 1:20. Ως λόγος συμπίεσης ορίζεται η μεταβολή της εισόδου (σε dB) για μεταβολή της εξόδου κατά 1dB.

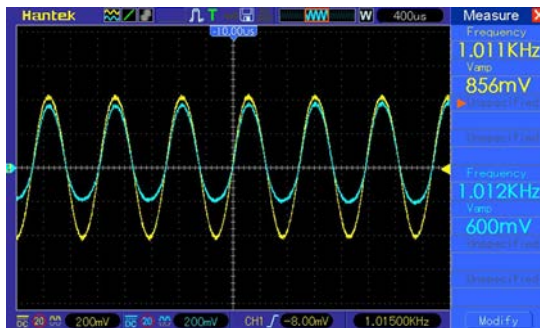
Στην πραγματικότητα όμως, ο λόγος συμπίεσης επηρεάζεται πολύ από το πλάτος του σήματος εισόδου. Το compression κύκλωμα τροφοδοτείται από το ενισχυτικό κύκλωμα $G9$ το οποίο φέρει έναν έλεγχο κέρδους (διακόπτης "Gain"). Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα ο διακόπτης $Gain$ του ενισχυτικού σταδίου να επηρεάζει πάρα πολύ τον λόγο συμπίεσης της compression μονάδας. Βλέπουμε πάλι πως τα επιμέρους στοιχεία της μονάδας αλληλοεπηρεάζονται σε βαθμό που καθιστά ιδιαίτερα δύσκολο να προβλέψουμε με ακρίβεια την συμπεριφορά της. Επειδή ο διακόπτης "Gain" φέρει διακριτές τιμές, ο ακριβής έλεγχος της ενίσχυσης είναι αδύνατος. Κάθε θέση από τις 11 του διακόπτη ορίζει ένα συγκεκριμένο ποσοστό ενίσχυσης. Έτσι το να κουρδίσουμε το κύκλωμα για μια ακριβή αύξηση 1dB στο σήμα εισόδου είναι αδύνατο. Αν ο διακόπτης "Gain" ήταν ένα ποτενσιόμετρο (άρα με μη πεπερασμένες τιμές στη διαδρομή του) θα ήταν εφικτό να κουρδίσουμε με ακρίβεια το κύκλωμα. Η φύση του κέρδους όμως στην μονάδα $G9$ δεν μας επιτρέπει να χρησιμοποιήσουμε ποτενσιόμετρο, μιας και πάλι ο έλεγχος γίνεται σε δύο διαφορετικά σημεία από έναν διπλό διακόπτη. Αυτός είναι ο λόγος που δεν ασχοληθήκαμε με την τοποθέτηση ενός μετρητή VU στη μονάδα. Εάν στο μέλλον γίνει νέα μελέτη για τοποθέτηση ποτενσιόμετρου στη θέση του διακόπτη "Gain", τότε μπορεί να εγκατασταθεί κι ένας μετρητής. Ως τότε η μονάδα θεωρείται πως έχει 4 τιμές λόγου συμπίεσης που κυμαίνονται από πολύ χαμηλή συμπίεση ως πολύ υψηλή συμπίεση και για την ελαφριά χρήση που προορίζεται, αυτό είναι αρκετό.



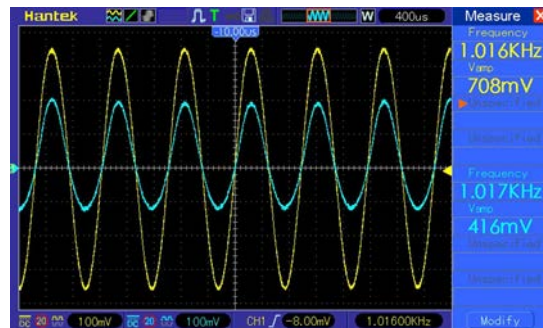
Εικόνα 39. Ratio στη θέση 1.



Εικόνα 40. Ratio στη θέση 2.

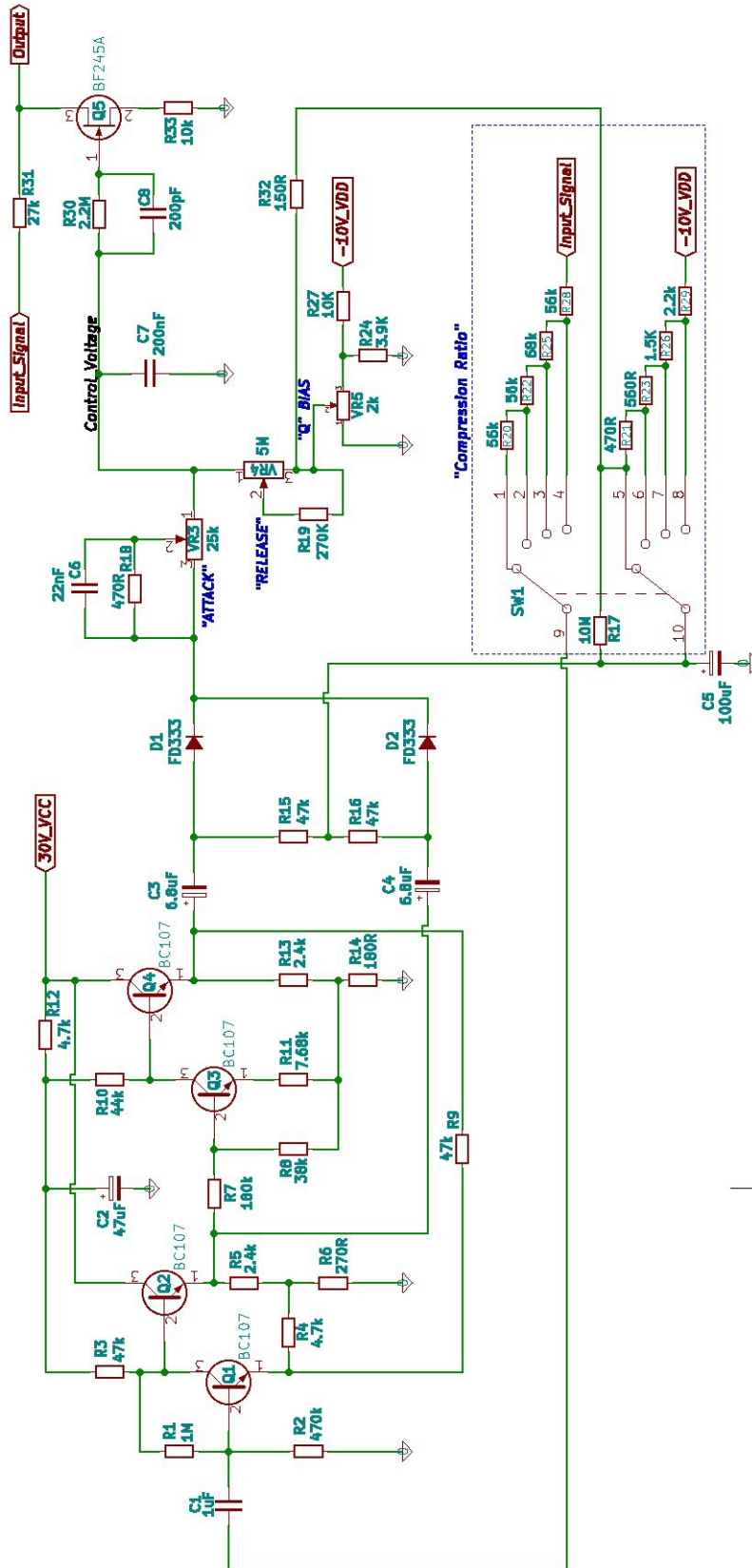


Εικόνα 41. Ratio στη θέση 3.



Εικόνα 42. Ratio στη θέση 4.

Οι παραπάνω εικόνες απεικονίζουν το σημείο που η πύλη του FET διεγείρεται και αρχίζει να παρουσιάζει πτώση της εσωτερικής του αντίστασης και αύξηση της αγωγιμότητάς του.



Εικόνα 43. Το κύκλωμα ελέγχου κέρδους του 1176 στην ολότητά του.

Κεφάλαιο 4

Κυκλώματα Τροφοδοσίας

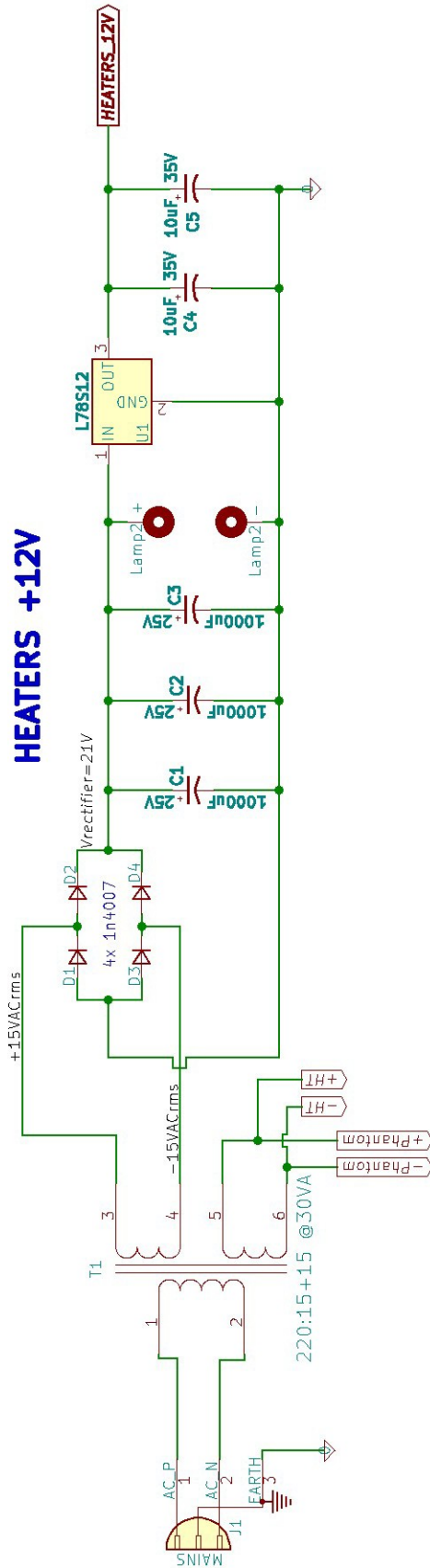
Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε τα κυκλώματα τροφοδοσίας τάσης και ρεύματος που επι- λέχθηκαν. Θα δούμε διάφορες τεχνικές σταθεροποίησης καθώς και πολλαπλασιασμού της τάσης. Ιδιαίτερη αναφορά θα γίνει στην θερμική απαγωγή των εξαρτημάτων ισοστάθμισης τάσης και την σημαντικότητά της.

Όλες οι τάσεις τροφοδοσίας του κυκλώματος είναι σταθερού ρεύματος (DC). Για το σχεδια- σμό των τροφοδοσιών χρησιμοποιήθηκαν τρεις τοροειδείς μετασχηματιστές και τέσσερα διαφο- ρετικά κυκλώματα ανόρθωσης. Οι τοροειδείς μετασχηματιστές προτιμώνται διότι είναι λιγότερο επιρρεπείς σε ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες με αποτέλεσμα να προσφέρουν στην καλύτερη σηματοθορυβική σχέση του κυκλώματος. Οι DC τροφοδοσίες που χρειάστηκαν είναι οι εξής:

- Τροφοδοσία πυράκτωσης των λυχνιών: Heaters +12V
- Τροφοδοσία λειτουργίας των λυχνιών: HT +245V (*High Tension*)
- Τροφοδοσία Phantom Power: +48V
- Τροφοδοσία κυκλώματος ανίχνευσης κορυφής του *compressor*: +30V
- Αρνητική τάση πόλωσης του FET: -10V (*παρέχεται από το κύκλωμα των +30V*)

4.1 Τροφοδοσία Πυράκτωσης Λυχνιών - Heaters +12V

Η τροφοδοσία των +12V για την πυράκτωση των νημάτων (*filaments*) της λυχνίας, βασίστηκε στην λειτουργία του **L78S12** ισοσταθμιστή τάσεως. Η κάθε λυχνία "τραβάει" περίπου 600mA ρεύμα κατά την έναυση του νήματος και σταθεροποιείται περίπου στα 400mA όταν σταθεροποιηθεί η θερμοκρασία των νημάτων. Ο *L78S12* προσφέρει μέχρι 2A ρεύμα και άρα καλύπτει επαρκώς τις ανάγκες των λυχνιών.



Εικόνα 44. Η +12V τροφοδοσία για την πυράκτωση των λυχνιών.

Ο μετασχηματιστής *T1* αναλαμβάνει να μετατρέψει τα 220VAC της παροχής σε **15VACrms**. Οι διόδοι D1-D4 σε συνδεσμολογία γέφυρας πλήρους ανόρθωσης μετατρέπουν τα 15VACrms σε 21VDC:

$$V_{\text{rectifier}} = V_{\text{ACrms}}/0.707 = 15V_{\text{rms}}/0.707 = 21.2V_{\text{DC}}$$

Οι πυκνωτές C1-C3 εξομαλύνουν την κυμάτωση της τάσης από την έξοδο της γέφυρας ανόρθωσης ενώ ο L78S12 σταθεροποιεί την τάση στα +12V. Τέλος δύο πυκνωτές εξομάλυνσης διορθώνουν οποιαδήποτε ελάχιστη κυμάτωση από την έξοδο του ισοσταθμιστή με αποτέλεσμα να έχουμε λιγότερο από 50mV κυμάτωση στην έξοδο.

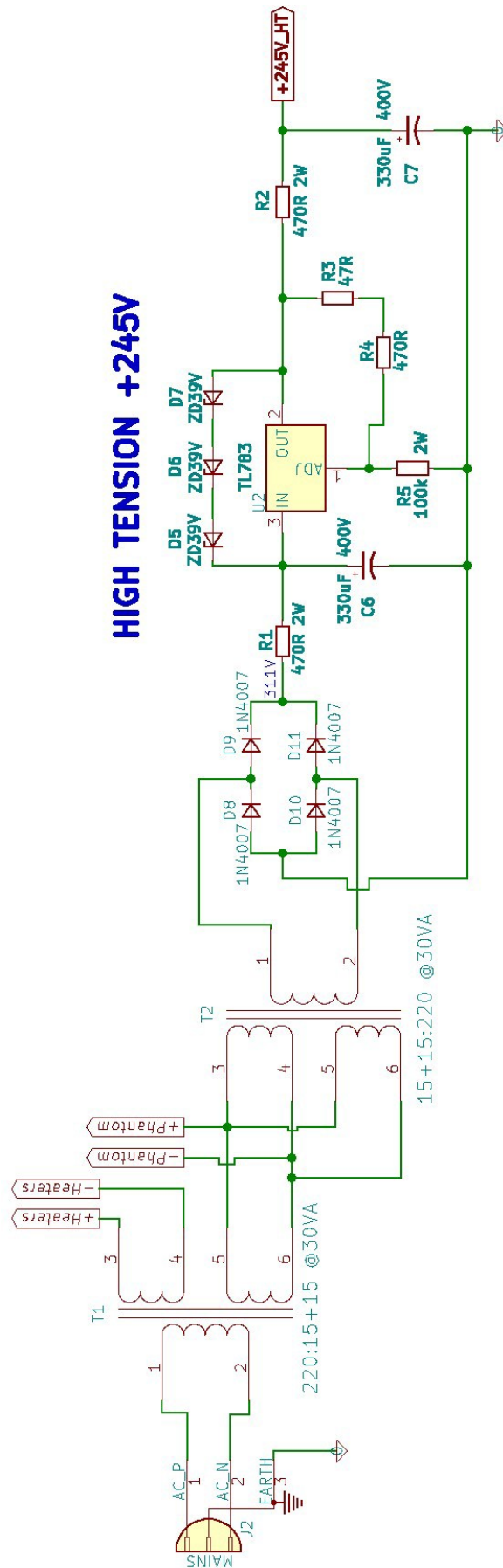
Το βασικό πρόβλημα που έπρεπε να επιλυθεί σε αυτό το κύκλωμα είναι η θερμική απαγωγή του ισοσταθμιστή. Από τα 21V της γέφυρας στα 12V του ισοσταθμιστή, εμφανίζονται 9V τάσης που πρέπει να καταναλωθούν από τον L78S12 με αποτέλεσμα να αναπτύσει υψηλές θερμοκρασίες στο εσωτερικό του. Χρησιμοποιώντας μια απλή ψύκτρα για τρανζίστορ, ο L78S12 θερμαίνεται πολύ πέρα από τις ανοχές του με αποτέλεσμα να καταρρέει η τροφοδοσία μέσα σε λίγα λεπτά από την έναυση. Η ψύκτρα που κατάφερε να διατηρήσει την θερμοκρασία του L78S12 κάτω από το όριο, είναι ογκώδης και δύσκολο να τοποθετηθεί στην πλακέτα που κατασκευάστηκε. Τελικά όλοι οι ισοσταθμιστές και των υπόλοιπων κυκλωμάτων τροφοδοσίας βιδώθηκαν στο μεταλλικό σασί με τη χρήση θερμοαγωγίμων επιθεμάτων σιλικόνης και θερμοαγωγίμης πάστας. Το εγχείρημα λειτούργησε εξαιρετικά.

Τα επιθέματα σιλικόνης προσφέρουν ένα ακόμα απαραίτητο χαρακτηριστικό, την απομόνωση του τρανζίστορ από το μεταλλικό σασί της κατασκευής που λειτουργεί ως γείωση. Πολλά τρανζίστορ έχουν το σασί τους συνδεδεμένο με το ένα ποδαράκι τους και σε περίπτωση που έρθει σε επαφή με το γειωμένο σασί της κατασκευής δημιουργούν πρόβλημα στη λειτουργία, κάτι που μπορεί να είναι πολύ επικίνδυνο για ένα κύκλωμα τροφοδοσίας, ειδικά υψηλών τάσεων και ρευμάτων. Για τον ίδιο λόγο, πλαστικές βίδες και παξιμάδια χρησιμοποιήθηκαν για αυτή τη διαδικασία.

Ο μετασχηματιστής *T1* φέρει ένα ακόμα τύλιγμα των 15Vrms το οποίο όμως δε χρησιμοποιείται στην πυράκτωση των νημάτων αλλά για την τροφοδοσία των +48V Phantom και την υψηλή τάση +245V HT για την λειτουργία των λυχνιών.

4.2 Τροφοδοσία Λειτουργίας Λυχνιών - High Tension +245V

Για την τροφοδοσία της υψηλής τάσης των λυχνιών χρησιμοποιήθηκε ένας ισοσταθμιστής μεταβλητής τάσης, ο **TL783**. Ο TL783 μπορεί να προσφέρει μέχρι 700mA ρεύματος εξόδου, που είναι υπεραρκετά για τις ανάγκες του ενισχυτή ο οποίος δεν παρουσιάζει παραπάνω από 250mA κατανάλωση για τη τροφοδοσία των λυχνιών. Ο μόνος περιορισμός που μας απασχολεί είναι η τάση εισόδου του δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 125V σε σχέση με την τάση εξόδου του αλλιώς κινδυνεύει να καταστραφεί.



Εικόνα 45. Η +245V τροφοδοσία για την ενισχυτική λειτουργία των λυχνιών.

Οι μετασχηματιστές T1 και T2 είναι πανομοιότυποι μα συνδεδεμένοι αντίστροφα. Ο T2 δέχεται τα 15VACrms από το τύλιγμα του T1 που περισσεύει και τα μετατρέπει σε 220VACrms. Σημειώνεται πως τα κυκλώματα για την *phantom* και την *high tension* τροφοδοσία δεν έχουν υψηλές απαιτήσεις σε ρεύμα, ειδικά αυτή η συνδεσμολογία δε θα ήταν ιδανική.

Κατά την ίδια διαδικασία, οι διόδοι D8-D11 ανορθώνουν την τάση του μετασχηματιστή στα 311VDC. Η αντίσταση R1=470Ω περιορίζει το ρεύμα που μπορεί να δεχθεί ο TL783 στα 600mA μα λόγω της υψηλής κατανάλωσής της απάγει υψηλή θερμοκρασία, γι' αυτό χρησιμοποιείται μια αντίσταση των 2watt τουλάχιστον. Ο πυκνωτής C6 αναλαμβάνει την εξομάλυνση της τάσης εισόδου.

Ενδιαφέρον έχει η διαδικασία μετατροπής της τάσης των 311V σε 245V για την ενισχυτική λειτουργία των λυχνιών. Ο TL783 παρουσιάζει μια τάση αναφοράς $V_{ref}=1.25V$ στο *Pin 1:ADJ*. Οι αντιστάσεις R5 και R4+R3 δημιουργούν ένα διαιρέτη τάσης από την έξοδο (*Pin 2:OUT*) προς το Pin 2 το οποίο βρίσκεται στο γνωστό δυναμικό $V_{ref}=1.25V$.

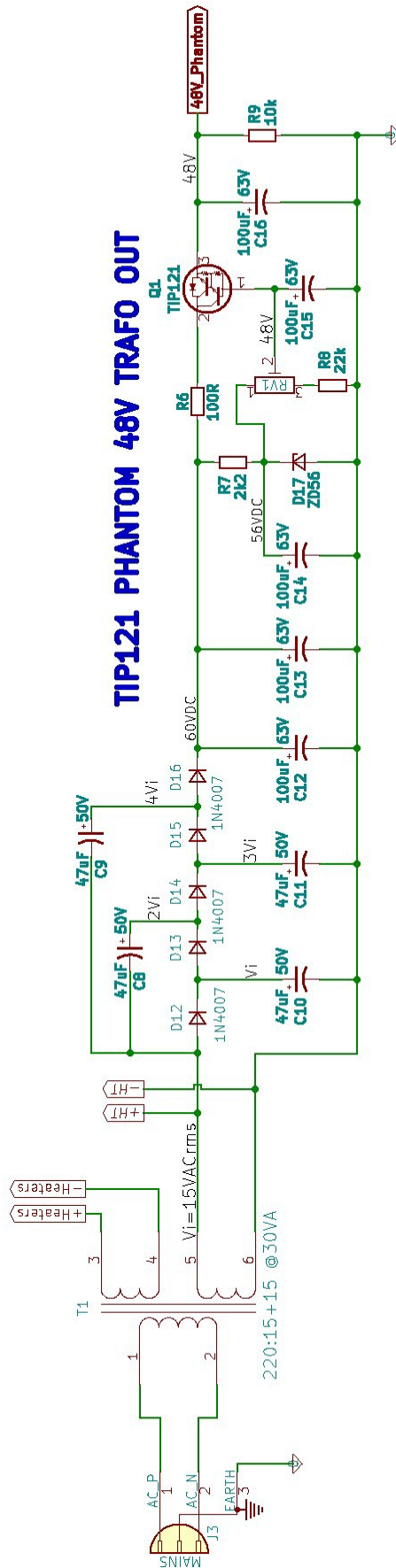
$$V_{out} = V_{ref} * (1 + R5/R3 + R4) = 1.25V * (1 + 100k/517\Omega) = 243V$$

Στην πραγματικότητα οι ανοχές των αντιστάσεων μας προσφέρουν τάση λίγο παραπάνω από τα 245V στην έξοδο. Η αντίσταση R5 απάγει ένα μεγάλο ποσοστό του ρεύματος προς τη γείωση και γι' αυτό δε μπορεί να είναι μικρότερη των 2 Watt. Η αντίσταση R2 διατηρεί το ρεύμα περίπου στα 500mA που είναι υπέρτακτο για τις ανάγκες μας, ενώ ο πυκνωτής C7 εξομαλύνει την οποιαδήποτε κυμάτωση της εξόδου.

Νωρίτερα αναφέραμε πως ο TL783 δε μπορεί να παρουσιάζει διαφορά τάσης από την είσοδο στην έξοδο μεγαλύτερη των 125V και επειδή είναι απαραίτητο να διατηρηθεί αυτή η συνθήκη, οι διόδοι ζένερ από το Pin 2 στο Pin 3 βεβαιώνουν πως είσοδος δε μπορεί να ξεπεράσει τα 117V από την έξοδο.

4.3 Τροφοδοσία Πυκνωτικού Μικρόφωνου - Phantom Power +48V

Για τα +48V της phantom τροφοδοσίας χρησιμοποιήθηκε το *darlington transistor TIP121*. Το darlington τροφοδοτεί ένας πολλαπλασιαστής τάσης με διόδους και πυκνωτές για να σχηματίσει την τάση των 48V από μια πηγή των 15V. Η phantom τροφοδοσία δεν χρειάζεται μεγάλη παροχή ρεύματος (<10mA) μα χρειάζεται σταθερή τάση. Έτσι ένας πολλαπλασιαστής τάσης είναι αρκετός για να δώσει ζωή σε ένα πυκνωτικό μικρόφωνο.



Εικόνα 46. Η +48V Phantom τροφοδοσία για σύνδεση πυκνωτικού μικρόφωνα.

Ο πολλαπλασιαστής τάσης αποτελείται από τις διόδους D12-D16 και τους πυκνωτές C8-12, ενώ χρειάζεται 5 περιόδους εναλλασσόμενου ρεύματος για να φορτίσει πλήρως σε τάση 5 φορές την τάση εισόδου.

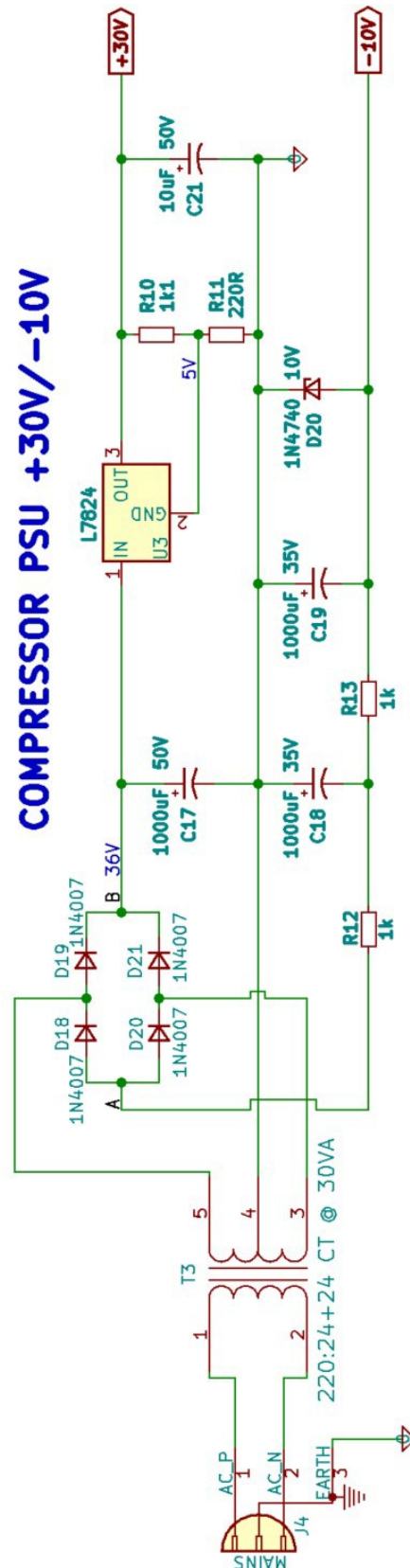
Στην πρώτη περίοδο φορτίζεται ο πυκνωτής C8 με τάση V_i . Στην δεύτερη περίοδο φορτίζεται ο πυκνωτής C9 με τάση V_i συν την τάση του πυκνωτή C8: $V[C9] = V_i + V[C8] = 2V_i$. Αντίστοιχα στην τρίτη περίοδο φορτίζεται ο πυκνωτής C10 με τάση V_i συν τις τάσεις των προηγούμενων πυκνωτών: $V[C10] = 3V_i$. Στην τέταρτη περίοδο φορτίζεται με την ίδια λογική και ο πυκνωτής C11: $V[C11] = 4V_i$ και τέλος κατά την πέμπτη περίοδο φορτίζονται οι πυκνωτές C12-C13 με τάση $5V_i$, ενώ αναλαμβάνουν και την εξομάλυνση της κυμάτωσης της τάσης πριν την σταθεροποίηση από το darlington.

Η τάση ρυθμίζεται στα 48V από τον διαιρέτη τάσης που αποτελούν οι αντιστάσεις R7/R8 και το ποτενσιόμετρο RV1. Η ZD56 ζένερ εξασφαλίζει μια σταθερή τάση στα 56V στην αρχή του διαιρέτη τάσης έτσι ώστε να μην υπόκειται σε διακυμάνσεις που μπορεί να αποβούν μοιραίες για μια πυκνωτική κάψα, ενώ απάγει και μεγάλο μέρος της τάσης από τον πολλαπλασιαστή χωρίς να ζορίζονται οι αντιστάσεις το διαιρέτη, μειώνοντας την πιθανότητα σφάλματος αυτών. Τέλος ο πυκνωτής C16 προσφέρει μια επιπλέον εξομάλυνση των κυματώσεων που διέφυγαν του τρανζίστορ ενώ μια αντίσταση R9 εξασφαλίζει ένα σταθερό φορτίο στο κύκλωμα. Οι πυκνωτικές κάψες μπορεί να διαφέρουν πολύ στην αντίσταση φορτίου που προσφέρουν στο κύκλωμα και κατ' επέκταση μπορεί να αλλάξει κατά πολύ η τάση που θα δουν από την phantom τροφοδοσία.

Το κύκλωμα τροφοδοτείται με 15VAC από το δεύτερο τύλιγμα του μετασχηματιστή T1, το ίδιο τύλιγμα που τροφοδοτεί την *high tension* τροφοδοσία των λυχνιών. Η χαμηλή κατανάλωση ρεύματος και των δύο αυτών σταδίων επιτρέπει την κοινή τροφοδοσία από ένα τύλιγμα χωρίς προβλήματα και κυρίως χωρίς προσθήκη θορύβων στο κύκλωμα. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό η HT+ τάση να διατηρηθεί 'καθαρή' από θορύβους και επιπλέον στρεσάρισμα διότι είναι αυτή που αναλαμβάνει την ενίσχυση του σήματος.

4.4 Τροφοδοσίες του 1176 Compressor - Compressor +30V/-10V

Το τελευταίο κύκλωμα τροφοδοσίας αναλαμβάνει πλήρως την τροφοδοσία για όλα τα μέρη του compression. Οι ανάγκες του 1176 είναι μια τάση +30V για την τροφοδοσία των τρανζίστορ καθώς και μια αρνητική τάση -10V για την πόλωση του FET. Για την τροφοδοσία του κυκλώματος από την κεντρική γραμμή της ηλεκτροδότησης επιλέχθηκε ένας μετασχηματιστής 220VAC:24VACrms+24VACrms με ένα κεντρικό ακροδέκτη στη μέση του δευτερεύοντος τυλίγματος (C.T. όπως "Center Tapped") το οποίο θα αποτελέσει και την γείωση της συγκεκριμένης τροφοδοσίας.



Εικόνα 47. Το κύκλωμα τροφοδοσίας του compression προσφέρει την +30V τάση των τρανζίστορ και την -10V τάση πόλωσης του FET.

+30VDC Τροφοδοσία

Η σταθεροποίηση των +30V πραγματοποιείται από τον ισοσταθμιστή τάσης **L7824**. Ο L7824 προσφέρει μέχρι 24V στην έξοδό του αλλά υπάρχει η δυνατότητα με ένα τέχνασμα να ανεβάσουμε αυτή την τάση μερικά volt παραπάνω ώστε να κερδίσουμε τα απαιτούμενα 30V. Το τέχνασμα αυτό πραγματοποιείται με τον διαιρέτη τάσης που διαμορφώνουν οι αντιστάσεις R10/R11 και την φαινομενική γείωση του *Pin2 :GND* του L7824 και δουλεύει ως εξής: Εάν το Pin 2 τοποθετηθεί απευθείας στην γείωση, τότε η έξοδος του L7824 στο Pin 3 θα είναι 24V (V_{out}). Αν το Pin 2 τοποθετηθεί σε μια τάση αναφοράς V_{ref} , τότε η τάση εξόδου θα είναι: $V_{out} = 24V + V_{ref}$ Στην προκειμένη περίπτωση χρειαζόμαστε $V_{out} = 30V$ οπότε πρέπει $V_{ref} = 6V$ από την παραπάνω σχέση. Έτσι ο διαιρέτης τάσης των αντιστάσεων R10/R11 διαμορφώνεται ως εξής:

$$V_{ref} = V_{out} * (R11/R10 + R11)$$

Η επιλογή των αντιστάσεων γίνεται πρώτα πειραματικά επιλέγοντας για την R10 μια τιμή κοντά στα 1kΩ. Έτσι λύνοντας προς R11 η παραπάνω εξίσωση μας δίνει R11=220, επιλέγοντας πάντα τιμές κοντά σε αυτές που μπορούμε να βρούμε εύκολα στην αγορά (R10=1100Ω και R11=220Ω). Παρ' όλα αυτά αν λύσουμε για τις δεδομένες τιμές την εξίσωση θα δούμε πως $V_{ref}=5V$. Πειραματικά όμως λόγω των ανοχών των αντιστάσεων μα και λόγω του ότι το L7824 σταθεροποιεί λίγο παραπάνω από τα 24V, η έξοδος μας θα είναι 29,5V μέχρι 30,5V που είναι μια ανεκτή διαφορά για τη λειτουργία των τρανζίστορ στα συγκεκριμένα κυκλώματα.

-10VDC Τροφοδοσία

Η αρνητική τροφοδοσία των -10V προσφέρεται από την **1n4740** ζένερ δίοδο η οποία δημιουργεί μια σταθερή τάση αναφοράς -10V μεταξύ της γείωσης από το κεντρικό ακροδέκτη του μετασχηματιστή, και της αρνητικής πλευράς της γέφυρας ανόρθωσης (ανάμεσα στις διόδους D18-D20 όπου κανονικά θα είχαμε την γείωση του κυκλώματος). Η γέφυρα ανορθώνει την τάση τροφοδοσίας μεταξύ των σημείων A-B ως εξής:

$$V_{rectified} = (2 * V_{peak})/3.14$$

όμως $V_{peak} = 48VAC_{rms}/0.707$ επειδή τροφοδοτούμε μεταξύ των δύο άκρων του δευτερεύοντος τυλίγματος που προσφέρουν $24 + 24 = 48VAC_{rms}$.

έτσι

$$V_{rectifier} = (2 * 68V)/3.14 = 43VDC$$

Η τροφοδοσία των 43V επαρκεί για να πάρουμε την τροφοδοσία των +30V καθώς και την αρνητική -10V. Επειδή για την αρνητική τροφοδοσία δεν χρησιμοποιήθηκε κάποιος ισοσταθμιστής τάσης πέρα από την ζένερ, επιστρατεύθηκαν δυο πυκνωτές των 1000uF (C18-C19) προς εξομάλυνσης της κυμάτωσης. Οι αντιστάσεις R12=R13=1kΩ βρίσκονται προς περιορισμού του ρεύματος στην αρνητική τροφοδοσία όπου οι απαιτήσεις είναι μηδαμινές.

Κεφάλαιο 5

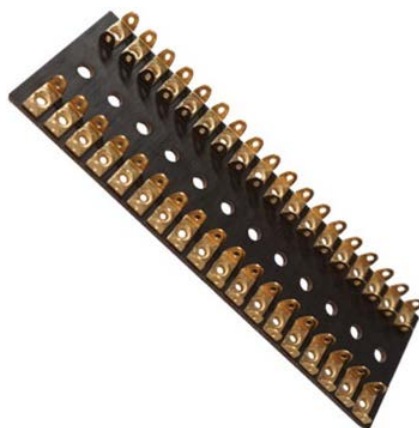
Η Κατασκευή Της Μονάδας

5.1 Πλακέτες Κατασκευών - Κατασκευή των κυκλωμάτων

Για την κατασκευή των κυκλωμάτων που απαρτίζουν την μονάδα χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις διαφορετικοί τύποι πλακετών. Αυτό συνέβη για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες κάποιων τμημάτων της μονάδας ή για να επιλύσουν προβλήματα που προέκυψαν στην πορεία του σχεδιασμού. Θα δούμε παρακάτω τί τύπου πλακέτες χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε τμήμα, γιατί έγινε αυτή η επιλογή και τι προβλήματα επιλύσανε ή δημιούργησαν στην πορεία. Η ενισχυτική μονάδα κατασκευάστηκε με τρεις διαφορετικούς τύπους πλακέτας, συμπεριλαμβανομένου και του μετασχηματιστή εξόδου ο οποίος δεν είχε τη δυνατότητα να τοποθετηθεί πάνω στο σασί από μόνος του.

Tag Boards - Point to Point

Ένα μεγάλο κομμάτι της πλακέτας και ιδίως τα εξαρτήματα που φέρουν σήμα ή τη γείωση αυτού, πραγματοποιήθηκε σε πλακέτα τύπου "Tag Board". Οι πλακέτες αυτές, σε διάφορες παραλλαγές, χρησιμοποιούνται πολλά χρόνια για την κατασκευή χειροποίητων ενισχυτών και είναι ευρέως διαδεδομένες στους ερασιτέχνες κατασκευαστές αλλά και στους επαγγελματίες "παλαιάς σχολής".



Εικόνα 48. Πλακέτα Paxolin Tag Board. Paxolin ονομάζεται το καφετί φύλλο που αποτελεί την βάση της πλακέτας.

Επειδή οι αντιστάσεις και οι πυκνωτές που επιλέχθηκαν για την κατασκευή του ενισχυτή είναι κυρίως οριζόντιας αρχιτεκτονικής (τα 'ποδαράκια' τους βρίσκονται παράλληλα με το κορμί τους, στις δύο άκρες), ενώ πολλοί πυκνωτές έχουν ιδιαίτερα παχιά διατομή στις απολήξεις τους, μια τυπική διάτρητη ερασιτεχνική πλακέτα δεν είναι η κατάλληλη επιλογή. Πέρα από το γεγονός ότι πολλά εξαρτήματα δε θα χωρούσαν στις οπές της, το μέγεθός της θα ήταν πολύ μεγάλο και ο ανεκμετάλλευτος χώρος πολύς. Επίσης η εμφάνιση μιας "Tag Board" πλακέτας παραπέμπει στο παλαιομοδίτικο χειροποίητο στυλ λαμπάτου ενισχυτή και τελικά έχει κι αυτό την αξία του.

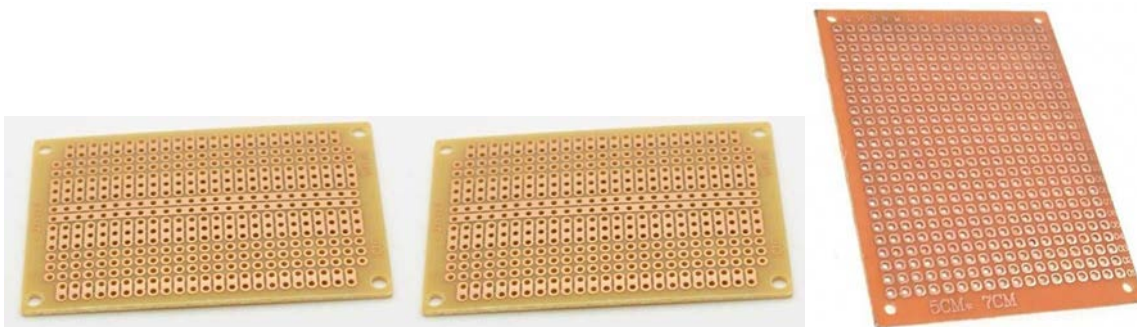


Εικόνα 49. Ο ενισχυτής σε tag board.

Οι Tag Boards όπως και οι Perf Boards ανήκουν σε μια κατηγορία κατασκευών που ονομάζεται "Point-to-Point". Στις Point-to-Point κατασκευές, τα εξαρτήματα τοποθετούνται σε σταθερά σημεία και η μεταξύ τους σύνδεση γίνεται εξωτερικά με καλώδια ή χάλκινους αγωγούς. Αυτού του τύπου οι κατασκευές κερδίζουν στην ευκολία κατασκευής, για έναν ερασιτέχνη κατασκευαστή, συγκριτικά με τις τυπωμένες πλακέτες που χρειάζονται ψηφιακό σχεδιασμό και ένα εργοστάσιο να τις τυπώσει. Το αδύναμο σημείο τους είναι πως με τόσους αγωγούς που εμπλέκονται στις διατομές που έχουν τα καλώδια σε τέτοιες περιπτώσεις, το κύκλωμα είναι πολύ επιρρεπές σε θορύβους από τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία που δημιουργούνται, ειδικά στα άκρα του ηχητικού φάσματος. Έτσι αυτή η μέθοδος δε μπορεί να χαρακτηριστεί ως η αποδοτικότερη αλλά μάλλον η βολικότερη.

Perf Boards - Διάτρητη Πλακέτα - Point to Point

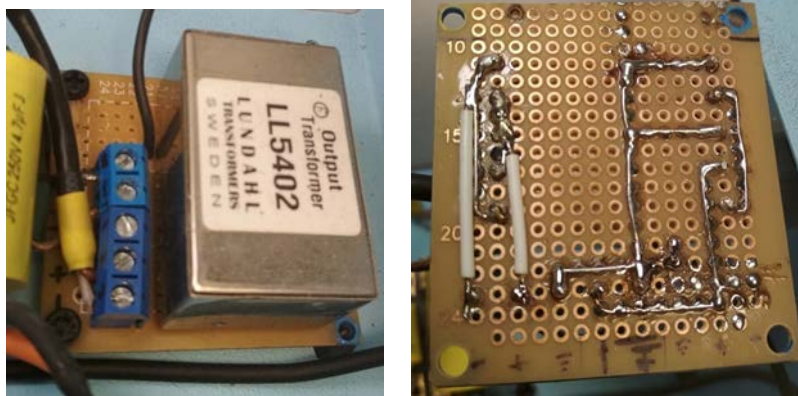
Με την αφορμή της αναφοράς στις Point-to-Point πλακέτες, ας δούμε μια ακόμη τέτοια μορφή πλακέτας που αυτή τη φορά επιλέχθηκε να στηρίξει τον μετασχηματιστή εξόδου της μονάδας. Οι διάτρητες πλακέτες είναι μάλλον ο πιο διαδεδομένος τρόπος για ερασιτεχνικές κατασκευές στην εποχή μας, ειδικά σε κυκλώματα χαμηλής τάσης. Υπάρχουν πολλές εκδοχές της διάτρητης πλακέτας, με τις οπές της να συνδέονται σε σειρά μεταξύ τους ή ανά τριάδες κ.τ.λ. Στην δική μας περίπτωση χρησιμοποιήθηκε πλακέτα χωρίς συνδέσεις όπου κάθε οπή στην μια πλευρά της φέρει ένα φύλο χαλκού στο οποίο κολλάται το εξάρτημα, ενώ η σύνδεσή του με τα υπόλοιπα γίνεται πάλι με καλώδια ή χάλκινους αγωγούς, ακόμα και με λιωμένο καλάι.



Εικόνα 50. Τρεις διαφορετικοί τύποι διάτρητων πλακετών.

Ο μετασχηματιστής εξόδου "Lundahl LL5402" είναι σχεδιασμένος για τυπωμένες πλακέτες και δεν έχει

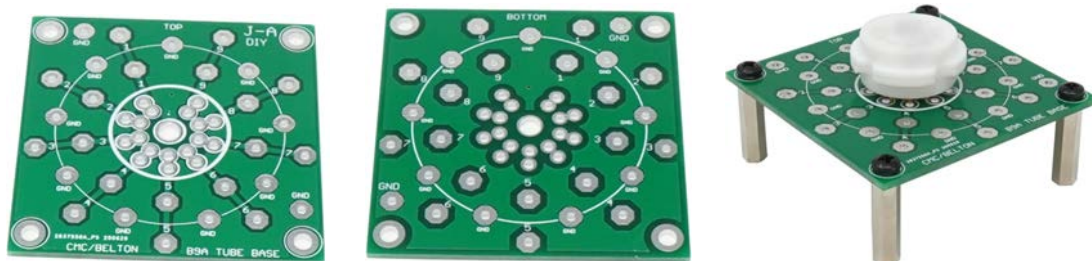
τη δυνατότητα να βιδωθεί απευθείας στο σασί. Έτσι η διάτρητη πλακέτα χρησιμοποιήθηκε ως βάση για τον μετασχηματιστή και βιδώθηκε αυτή στο σασί για χάρη του. Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται οι συνδέσεις στην πίσω πλευρά της πλακέτας καθώς και οι μπλε ακροδέκτες για τη σύνδεση των καλωδίων εισόδου-εξόδου και γείωσης.



Εικόνα 51. Η πλακέτα του μετασχηματιστή εξόδου.

Print Circuit Boards

Κατά την αναζήτηση υλικών για την κατασκευή της μονάδας, όταν ακόμα βρισκόμουν στην αρχή της έρευνας, βρήκα τις παρακάτω τυπωμένες πλακέτες σε ένα ηλεκτρονικό κατάστημα για την τοποθέτηση λυχνιών σε ενισχυτές. Η λύση της τυπωμένης πλακέτας είναι σίγουρα η καλύτερη από όλες τις πιθανές πλευρές. Έχουν πολύ υψηλή αντοχή σε μηχανικές πιέσεις, σε τάσεις και ρεύματα, στην καταπόνηση των κολλήσεων αλλά και στις παρεμβολές. Η επιλογή τους κρίθηκε κομβική για την κατασκευή.



Εικόνα 52. Η πλακέτα των λυχνιών και η βάση για την τοποθέτηση.

Οι λυχνίες είναι απαραίτητο να μπορούν να αντικατασταθούν χωρίς πολύ κόπο, οπότε χρησιμοποιήθηκαν ειδικές βάσεις για λυχνίες 9 άκρων οι οποίες συγκολλούνται στην πλακέτα. Οι λυχνίες τοποθετούνται στις βάσεις και στηρίζονται μηχανικά χωρίς κολλήσεις. Έτσι είναι πολύ πιο απλή η αντικατάστασή τους.



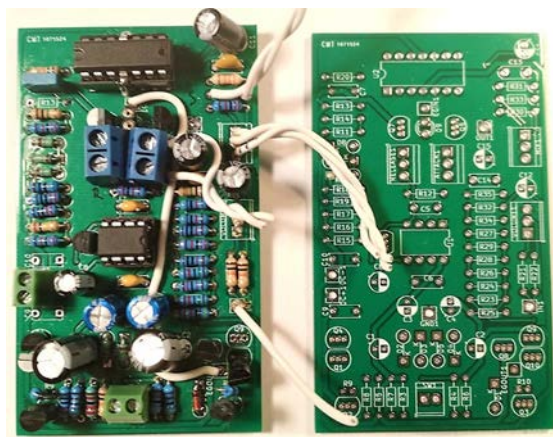
Εικόνα 53. Οι λυχνίες του ενισχυτή τοποθετημένες στις πλακέτες τους.

Σχεδιασμός Τυπωμένης Πλακέτας - Ιδιοκατασκευή Πλακέτας Διπλής Όψης

Μια από τις πιο δύσκολες και χρονοβόρες διαδικασίες στην κατασκευή της μονάδας ήταν η κατασκευή τυπωμένων πλακετών για την τροφοδοσία και την πλακέτα του κυκλώματος που αφορά τον αυτόματο έλεγχο κέρδους (compression). Το αρχικό σχέδιο για τοποθέτηση της τροφοδοσίας σε διάτρητες πλακέτες (όπως έγινε με τον μετασχηματιστή εξόδου) αποδείχθη ιδιαίτερα προβληματικό για πολλούς λόγους. Αρχικά ο τρόπος που δημιουργούνται οι αγωγοί, καθιστά την αντικατάσταση εξαρτημάτων, σε περίπτωση βλάβης, πολύ δύσκολη διαδικασία. Κατά την έρευνα χρειάστηκαν πολλές δοκιμές σε αντιστάσεις και πυκνωτές, συνδέσεις καλωδίων και τρανζίστορ και πολλές φορές το εγχείρημα κατέληγε σε αποτυχία λόγω κάποιου λάθους μιας και έπρεπε να μάχομαι διαρκώς με τον διαθέσιμο χώρο και με την κατασκευή των αγωγών στην πίσω πλευρά της πλακέτας. Επίσης ένα μεγάλο θέμα που προέκυπτε ήταν η παρουσία βρόχων κοινών γειώσεων και κατ' επέκταση θορύβου στο κύκλωμα των λυχνιών.

Έτσι στην πορεία, με σκοπό την επίλυση αυτών των προβλημάτων, κατέληξα στον σχεδιασμό τυπωμένων πλακετών δύο όψεων με σκοπό να τυπωθούν εργοστασιακά, ενώ στο ίδιο μοτίβο σχεδιάστηκε πλακέτα και για το κύκλωμα του αυτομάτου ελέγχου. Το εγχείρημα οδηγήθηκε σε μια εκ νέου αποτυχία λόγω ενός λάθους στο σχεδιασμό που стоίχισε πολύ χρόνο και 10 άχρηστες πλέον πλακέτες (ένα εργοστάσιο δε μπορεί να τυπώσει μόνο ένα τεμάχιο οπότε η παραγγελία έγινε για τον ελάχιστο δυνατό αριθμό).

Τελικά πήρα την απόφαση να δοκιμάσω να φτιάξω τις δικές μου πλακέτες διπλής όψης με την παλιά μέθοδο της αποχάλκωσης. Με αυτό τον τρόπο ήξερα πως τουλάχιστον όποιο λάθος μου μπορώ να το διορθώσω κατασκευάζοντας μια πλακέτα εκ νέου και έχω πλήρη έλεγχο της διαδικασίας. Επίσης είναι φοβερή η δυνατότητα να μπορείς να φτιάξεις τη δική σου πλακέτα και ήταν μια γνώση που επιθυμούσα να κατακτήσω.

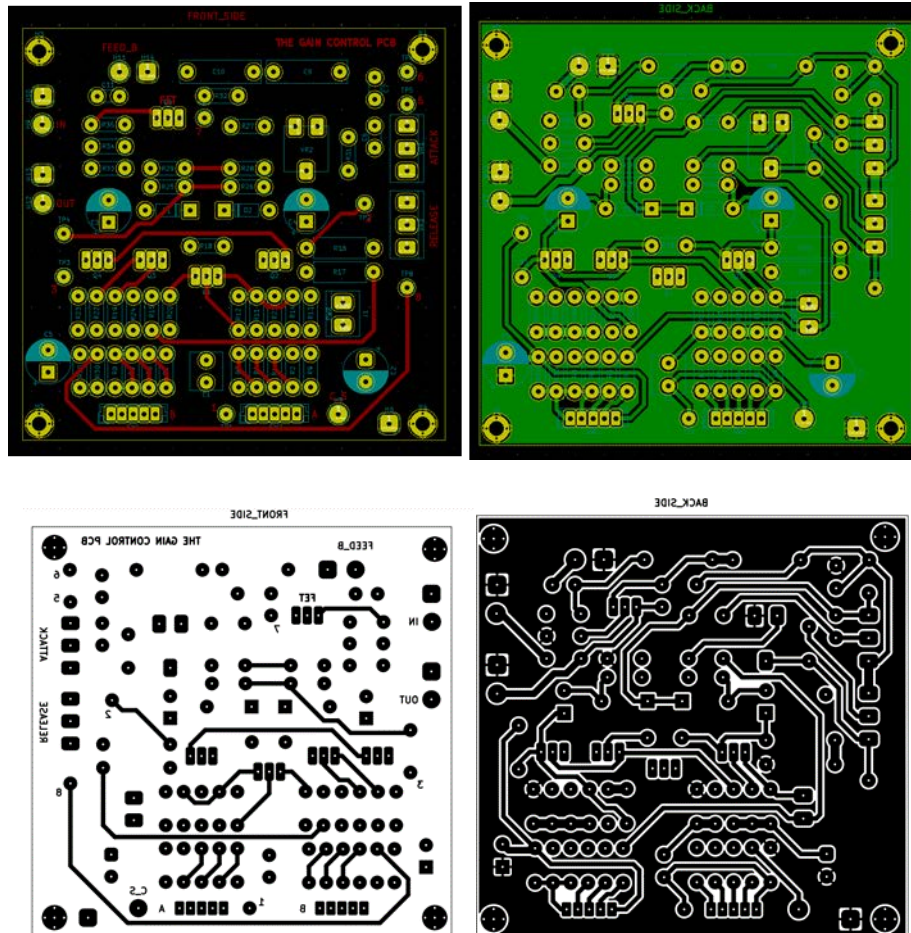


Εικόνα 54. Η τυπωμένη πλακέτα που απέτυχε.

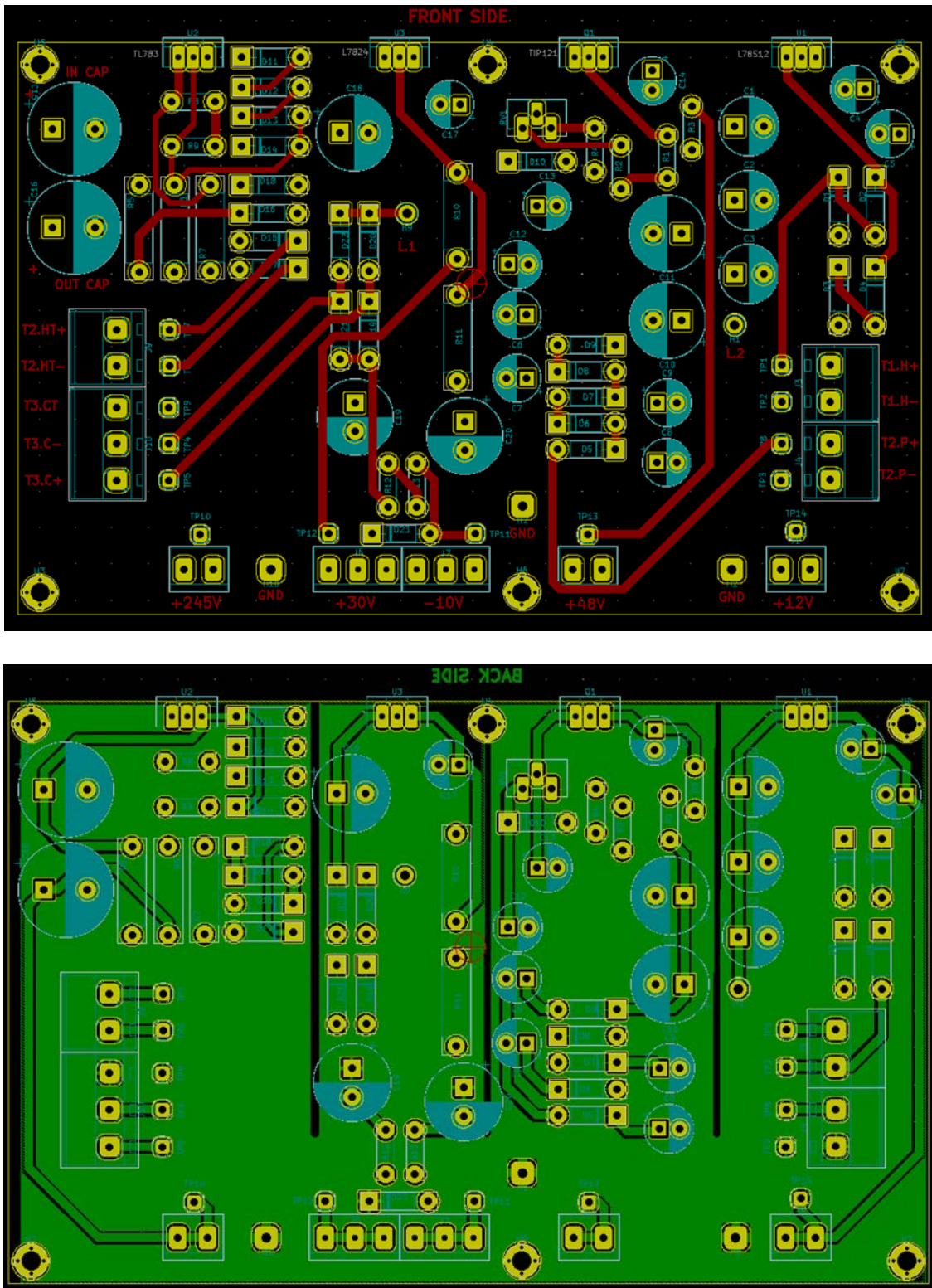
Η διαδικασία για την κατασκευή τυπωμένης πλακέτας με την μέθοδο της αποχάλκωσης ξεκινάει με τον σχεδιασμό της πλακέτας σε κάποιο software. Η επιλογή μου ήταν το KiCAD στο οποίο σχεδιάζω όλα μου τα κυκλώματα. Στο KiCad σχεδιάστηκαν τρεις πλακέτες, μια για όλη την τροφοδοσία, μια για τον αυτόματο έλεγχο κέρδους και τέλος μια για τον διακόπτη του Gain που ελέγχει το κέρδος της προενίσχυσης (βλ. Κεφάλαιο 2). Η διαδικασία του σχεδιασμού πέρασε από πολλά στάδια και πολλές δοκιμές μέχρι να καταλήξει σε επιτυχία. Οι πλακέτες χαλκού έχουν ένα φύλλο χαλκού σε κάθε τους πλευρά και ένα φύλλο μόνωσης στο κέντρο που τα διαχωρίζει. Κατά την διαδικασία της αποχάλκωσης, οι δύο πλευρές δε μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους αν δεν εισαχθεί κάποιος αγωγός (π.χ. το ποδαράκι μιας διόδου) και κολληθεί και από τις δύο πλευρές με καλάι στην πλακέτα. Στις τυπωμένες πλακέτες των εργοστασίων, εισάγεται ένας αγωγός για την επικοινωνία των δύο πλευρών και κάθε εξάρτημα μπορεί να κολληθεί από την μία πλευρά

μόνο. Αυτό το χαρακτηριστικό κάνει το σχεδιασμό ιδιαίτερα πολύπλοκο και ο σχεδιαστής πρέπει να έχει ένα πολύ ξεκάθαρο σχέδιο για το πως θα κατανείμει τα εξαρτήματα στον διαθέσιμο χώρο χωρίς να οδηγηθεί σε σφάλματα που μπορούν να αποβούν μοιραία. Ας θυμηθούμε πως οι τάσεις που εμπλέκονται σε ένα τέτοιο κύκλωμα είναι της τάξης των 245V και οι καταναλώσεις σε κάποιες περιπτώσεις ξεπερνούν το 1A.

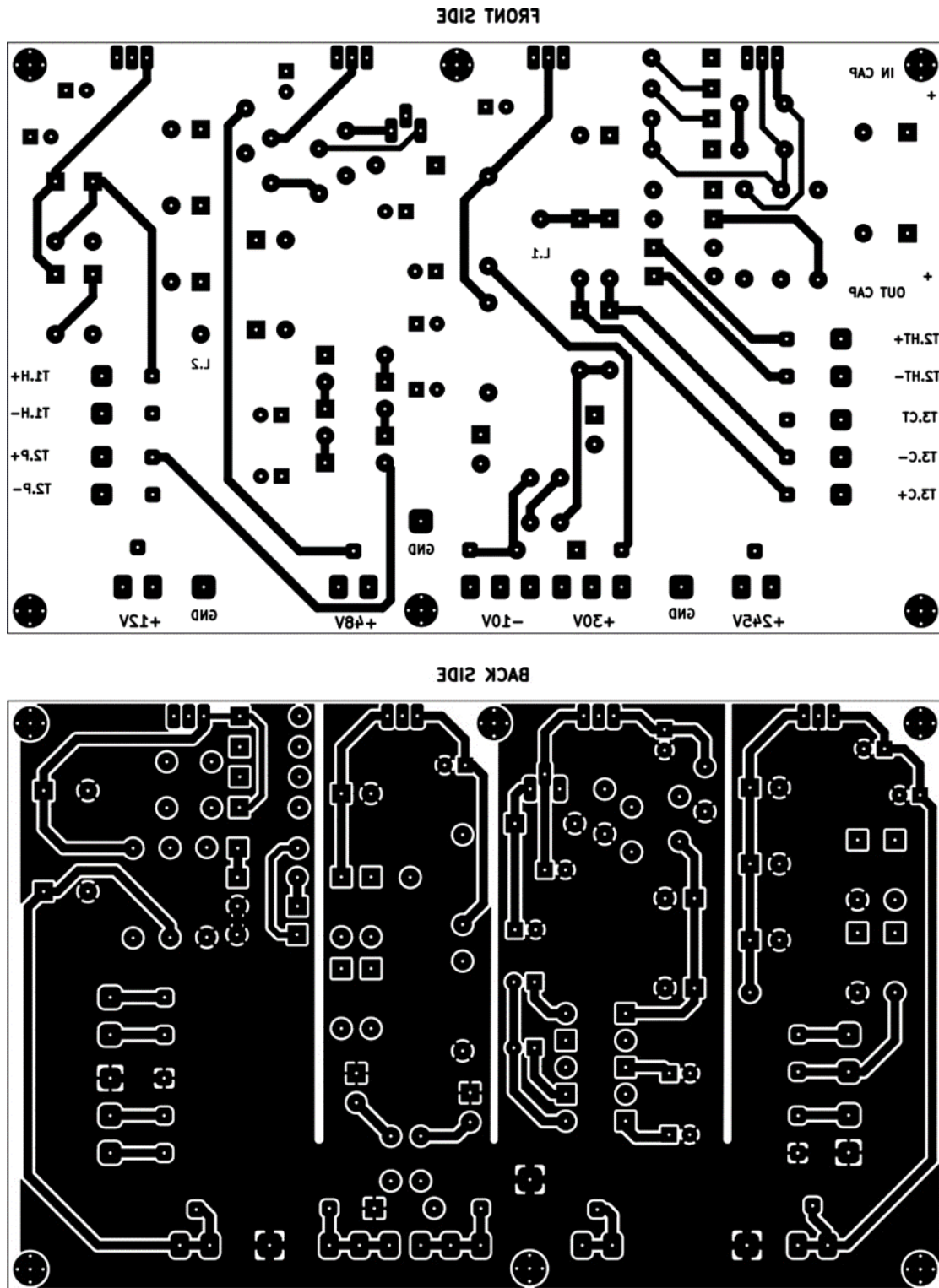
Η διαδικασία της αποχάλκωσης είναι καταγεγραμμένη και γνωστή αλλά η διαδικασία της κατασκευής πλακέτας διπλής όψεως με αυτή τη μέθοδο δεν είναι κάτι που κάνουν πολλοί τεχνίτες. Επειδή η διαδικασία είναι ιδιαίτερα κουραστική και απαιτεί πολλές φωτογραφίες ή βίντεο για να γίνει κατανοητή, δε θα την αναλύσουμε στην εργασία αυτή. Παρακάτω παρατίθενται μερικές φωτογραφίες από τις πλακέτες καθώς και τα κυκλώματα όπως σχεδιάστηκαν για τύπωμα στο KiCad.



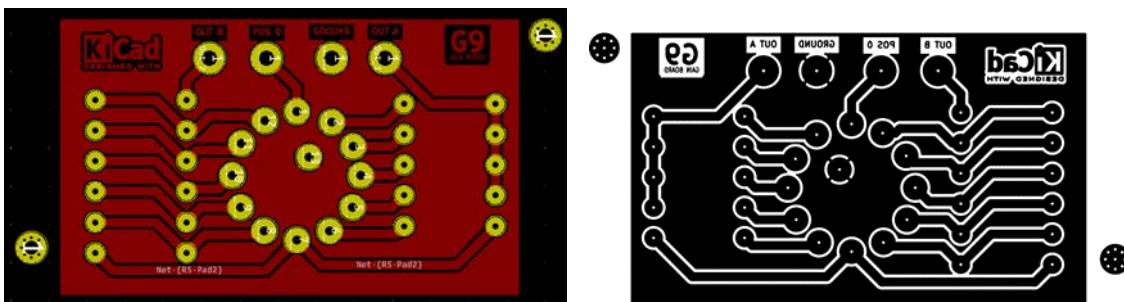
Εικόνα 55. Οι δύο όψεις της πλακέτας του compression όπως σχεδιάστηκαν στο KiCad και τυπώθηκαν.



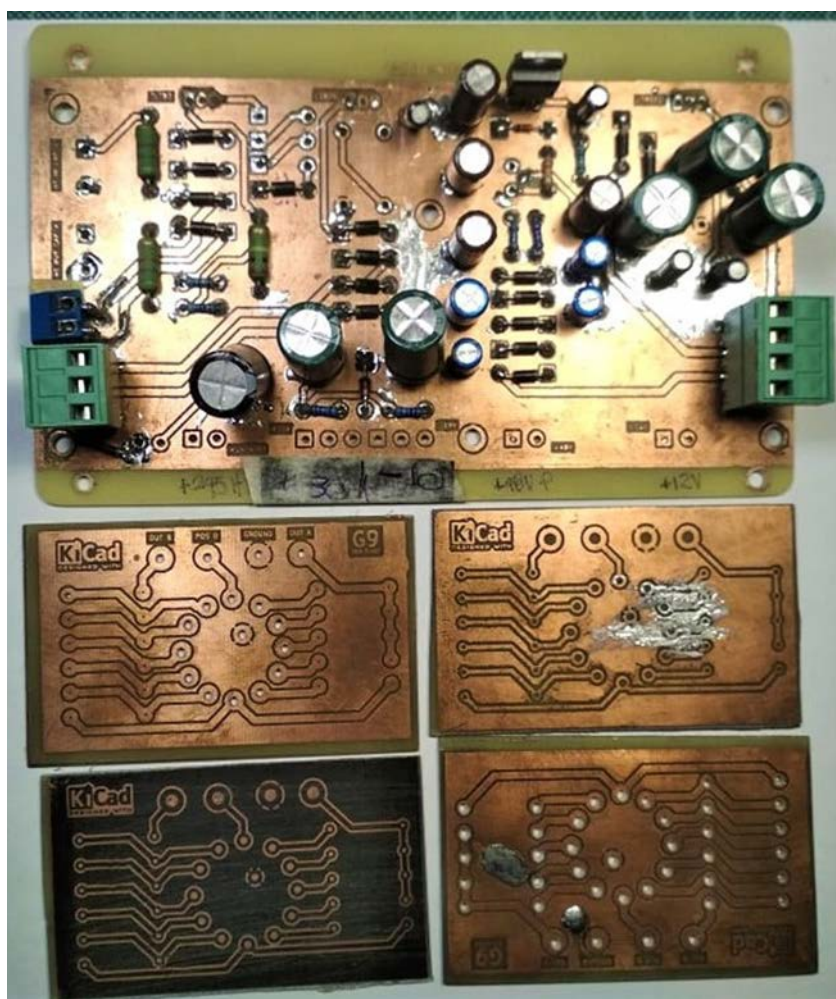
Εικόνα 56. Οι δύο όψεις της πλακέτας της τροφοδοσίας όπως σχεδιάστηκαν στο KiCad



Εικόνα 57. Οι δύο όψεις της πλακέτας της τροφοδοσίας όπως τυπώθηκαν.



Εικόνα 58. Η μονής όψης πλακέτα του Gain όπως σχεδιάστηκε στο KiCad και τυπώθηκε.



Εικόνα 59. Μερικές από τις δοκιμές που δεν πέτυχαν.

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα - Παρατηρήσεις

Η διαδρομή μέσα από την μελέτη και κατασκευή της μονάδας ήταν συναρπαστική μα με πολλά εμπόδια. Τα κυκλώματα μελετήθηκαν έμπρακτα στήνοντας κάθε τομέα στο ράστερ και μελετώντας το πως συμπεριφέρεται και πως επηρεάζει τα υπόλοιπα κυκλώματα. Έτσι με βάση τη θεωρία των κυκλωμάτων, βγήκαν τα συμπεράσματα για τη λειτουργία και τη σημασία τους μέσα στην μονάδα.

Ιδιαίτερη πρόκληση αποδείχθηκε η κατασκευή της μονάδας. Πολύ χρόνος καταναλώθηκε στην προσπάθεια να μειωθεί ο θόρυβος της προενίσχυσης με διάφορες μεθόδους που δεν οδήγησαν πουθενά. Τελικά εξαιρετικό ρόλο έπαιξε η εκ' νέου καλωδίωση όλων των γειώσεων του κυκλώματος με σκοπό την απομάκρυνσή τους από τις τροφοδοσίες, καθώς και ο ανασχεδιασμός της πλακέτας τροφοδοσίας έτσι ώστε να αποφευχθούν τυχών βρόχοι γείωσης. Όλες οι εξωτερικές καλωδιώσεις από και προς τις πλακέτες γίνανε με θωρακισμένα καλώδια (shielded – μπλεντάζ) με τον αγωγό της θωράκισης συνδεδεμένο στην κεντρική γείωση στην μία μόνο πλευρά, με σκοπό την αποφυγή βρόχων γείωσης. Τέλος τη μεγαλύτερη διαφορά έκανε από θέμα θορύβου η αλλαγή των λυχνιών σε νέες με επιχρυσωμένα πόδια. Ο θόρυβος πλέον βρίσκεται σε αποδεκτά επίπεδα.

Στην αρχή του σχεδιασμού έγινε μια προσπάθεια να αντικατασταθεί ο μετασχηματιστής της τροφοδοσίας του *compression* (+30/-10 V) με ένα κύκλωμα που θα αξιοποιούσε τους μετασχηματιστές της προενίσχυσης με μια τοπολογία μεταγωγικού τύπου (*switching power supply*). Το πρόβλημα που προέκυψε ήταν ένας υψίσυχνος θόρυβος με αρμονικές από τα 6kHz ως τα 30kHz που δε γινόταν να εξαλειφθεί χωρίς την χρήση μετασχηματιστή απομόνωσης, ενώ ακόμα κι έτσι παραμέναν κάποια ψεγάδια θορύβου ειδικά σε χαμηλές ενισχύσεις όπου το σήμα δεν τον υπερκαλύπτει. Ο σκοπός ήταν να μειωθεί το κόστος της αγοράς μετασχηματιστών και η δυσκολία εύρεσης αυτών μα τελικά η χρήση τους αποδείχθηκε ευκολότερη.

Ως μελλοντικές αλλαγές θα έθετα την προσθήκη ενός μετρητή τύπου VU για την απεικόνιση του *compression ratio*. Επίσης για την μείωση του κόστους κατασκευής θα αντικαταστάουσα τον μετασχηματιστή εισόδου με ένα κύκλωμα με τελεστικούς ενισχυτές για την μετατροπή από *balanced* σε *unbalanced* σήμα, ενώ ιδανικά το ίδιο θα γινόταν και στην έξοδο. Μια τέτοια παρέμβαση θα αλλοίωνε τον χαρακτήρα της μονάδας η οποία διαφημίζει την μεταγωγή του σήματος μόνο μέσω αγωγών, λυχνιών και μετασχηματιστών και όχι ημιαγωγών και εξαρτημάτων σιλικόνης. Επιπλέον θα πειραματιζόμουν με τυχόν ανασχεδιασμό του διακόπτη “Gain” της προενίσχυσης και την μετατροπή του σε ποτενσιόμετρο για την επίλυση των προβλημάτων που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3.

Η μονάδα αποτελεί τη συγχώνευση δύο μηχανημάτων με τα δικά τους προτερήματα μα και μειονεκτήματα να της προσδίδουν ένα ιδιαίτερο χαρακτήρα. Ένα συμπέρασμα που προέκυψε από το όλο εγχείρημα είναι πως ο σχεδιασμός μιας αντίστοιχης μονάδας και η κατασκευή της είναι δύο αλληλένδετες διαδικασίες και ειδικά ο σχεδιασμός πρέπει να λαμβάνει διαρκώς υπ' όψιν την κατασκευή της. Πολλές φορές οι τοπολογίες που επιλέγονται θα δείξουν και τον δρόμο για το πως η κατασκευή θα προχωρήσει.

Τελικά ήταν μια διαφωτιστική διαδικασία μιας και αποτελεί την πρώτη τόσο σύνθετη κατασκευή μου κι ελπίζω πως τα μαθήματα που πήρα να με βοηθήσουν στο μέλλον να σχεδιάσω τη δική μου μονάδα καλύτερα και πιο αποτελεσματικά.

Βιβλιογραφία

- [BLE10] Merlin Blencowe. *The Optimised SRPP Amp*. 2010. URL: http://www.valvewizard.co.uk/SRPP_Blencowe.pdf.
- [BLE16] Merlin Blencowe. *Designing High-Fidelity Tube Preamps*. Merlin Blencowe, 2016, σ. 431. ISBN: 9780956154538.
- [KSA14] Jacalyn Kelly, Tara Sadeghieh και Khosrow Adeli. «Peer review in scientific publications: Benefits, critiques, & a survival guide». Στο: *EJIFCC* 25.3 (Οκτ. 2014), σ. 228. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27683470><http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27683470>.
- [OWS05] Bobby Owsinski. *The Recording Engineers Handbook*. Artist Pro Publishing, 2005, σ. 385. ISBN: 1932929002.
- [PUT00] Bill Putnam. *Model 1176LN Solid-State Limiting Amplifier - MANUAL*. 2000. URL: http://www.advancedaudiorentals.com/docs/Urei%201176LN_manual.pdf.
- [REN11] RENESAS. *Grounding Techniques*. 2011. URL: <https://www.renesas.com/eu/en/document/apn/an1681-grounding-techniques?language=en>.
- [WHI95] Bill Whitlock. *Interconnection of Balanced and Unbalanced Equipment*. 1995. URL: https://www.jhbrandt.net/wp-content/uploads/2014/11/Interconnection_of_Balanced_and-Unbalanced-Equipment.pdf.