

Ένισχυτής ισχύος Hi-Fi με την EL156

Η επιστροφή ενός θρύλου

Από τον Gerhard Haas



Χάρη στην μεγάλη της αντοχή, η θρυλική πλέον πέντοδος λυχνία ενίσχυσης ήχου EL156 έχει βρει τον δρόμο της σε πολλές επαγγελματικές μονάδες. Στα προτερήματα της περιλαμβάνονται όχι μόνον το ελκυστικό της σχήμα, αλλά και τα εντυπωσιακά ηχητικά χαρακτηριστικά που διαθέτει. Για τον λόγο αυτό σας παρουσιάζουμε το κλασσικό κύκλωμα που ακολουθεί, το οποίο έχουμε ελαφρώς αναβαθμίσει εισάγοντας ορισμένα σύγχρονα και υψηλής ποιότητας εξαρτήματα.

Η EL156 κατασκευαζόταν στο -επίσης- θρυλικό εργοστάσιο λυχνιών της Telefunken στο Ούλμ, δίπλα στον ποταμό Δούναβη στην Γερμανία. Η συγκεκριμένη λυχνία έδινε ενισχυτές με ισχύ εξόδου μέχρι 130 Watt, όπου χρησιμοποιούνταν μόλις δύο λυχνίες στην βαθμίδα εξόδου και μία λυχνία οδήγησης. Οι γνήσιες EL156 δεν βρίσκονται πλέον καινούργιες σε λογικές τιμές, αλλά είναι επίσης δύσκολο να βρεθούν και μεταχειρισμένες. Οι αρχικές μονάδες χρησιμοποιούσαν μεταλλική βάση λυχνίας η οποία και εξακολουθεί να διατίθεται στην αγορά, αλλά μία σύγχρονη σχεδίαση που χρησιμοποιεί γνήσιες λυχνίες με μεταλλική βάση θεωρούμε ότι θα ήταν τελειώς εξωπραγματική, δοθείσης μάλιστα και της έλλειψης γνήσιων λυχνιών σε προσιτές τιμές.

Χώρα κατασκευής: Κίνα

Για καλή μας τύχη, η συγκεκριμένη λυχνία εξακολουθεί να παράγεται στην Κίνα με την βοήθεια μάλιστα των γνήσιων μηχανημάτων της Telefunken. Στην έδραση χρησιμοποιείται πλέον μία κανονική βάση οκτώ επαφών, η οποία διατηρεί την διάταξη ακροδεκτών που είχαν οι EL84, 6L6, KT88 και όλες οι παρόμοιες λυχνίες. Οι συγκεκριμένες συσκευές δεν θα λέγαμε ότι είναι ακριβώς φθηνές, αλλά εν πάσει περιπτώσει η τιμή τους δεν είναι παράλογη ενώ οι λυχνίες διατίθενται πλέον μαζί με την βάση. Η σύγκριση με τις γνήσιες λυχνίες της Telefunken δείχνει ότι οι νέες λυχνίες αποτελούν πράγματι πετυχημένα μηχανικά και ηλεκτρικά αντίγραφα των προκατόχων τους, και εξακολουθούν να είναι κατάλληλες για χρήση σε ενισχυτές υψηλής πιστότητας.

Πριν προχωρήσουμε στην περιγραφή της σχεδίασης, αξίζει να ρίξουμε μία ματιά σε ορισμένα ειδικά χαρακτηριστικά των εν λόγω λυχνιών. Στον Πίνακα που παρατίθεται στην συνέχεια συγκρίνουμε τα βασικά χαρακτηριστικά της EL156 με αυτά της γνωστής και καταξιωμένης EL34. Η πληροφόρηση που αναφέρεται στον πίνακα, καθορίζει σε μεγάλο βαθμό και την σχεδίαση του ενισχυτή. Για να έχουμε επαρκή ισχύ στην έξοδο, η τάση ανόδου θα πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια αυτής του πλέγματος θωράκισης. Το κύκλωμα οδήγησης θα πρέπει να είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να συνεργάζεται άνετα με την σχετικά χαμηλή εμπέδηση φορτίου

που εμφανίζουν οι αντίστροφες διαρροές πλέγματος. Η δημοφιλής ECC83 (12AX7) απορρίπτεται διότι λειτουργεί με μόνον 1 mA. Η διπλή τριόδος λυχνία ήχου ECC82 (12AU7) είναι σε θέση να λειτουργήσει με ρεύμα ανόδου 10 mA, οπότε μάλλον δείχνει κατάλληλη δυστυχώς όμως η απολαβή ανοικτού θρόγγου είναι μόλις 17, τιμή η οποία δεν αρκεί για να έχουμε ικανοποιητική ευαισθησία ακόμη και χωρίς αρνητική ανάδραση. Η ECC81(12AT7) όμως η οποία διαθέτει απολαβή ανοικτού θρόγγου 60 και είναι σε θέση να λειτουργήσει με ρεύματα ανόδου μέχρι τα 10 mA, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη ενός κυκλώματος με χαμηλή εμπέδηση.

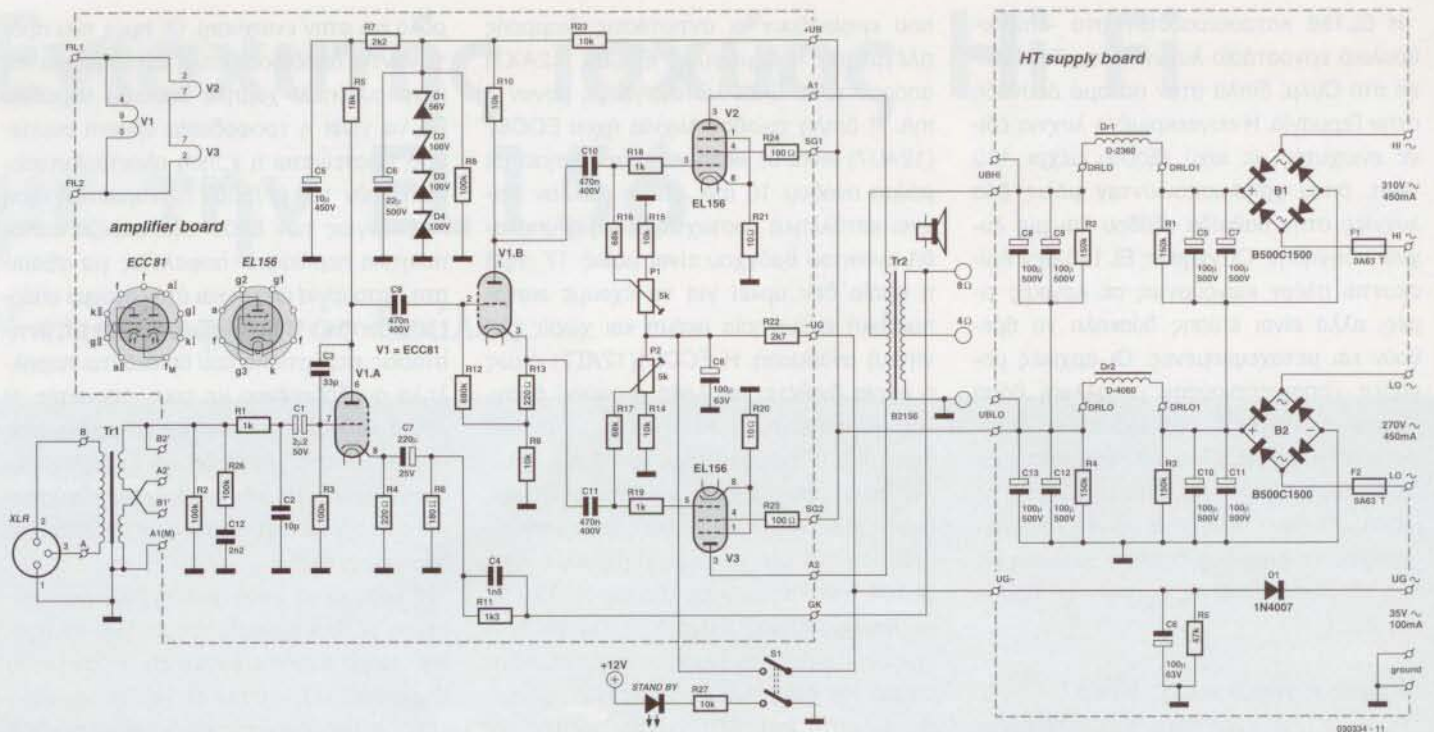
Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε δύο EL156, για να πάρουμε μία έξοδο 130 W με παραμόρφωση μόλις 6 %. Για να βελτιώσουμε όμως την αξιοπιστία και να αυξήσουμε την ζωή των λυχνιών, περιορίσαμε την μέγιστη ισχύ. Μία γνήσια 'υψηλής πιστότητας' έξοδος με ισχύ 100 W και χαμηλή παραμόρφωση, είναι καλύτερη από τα 130 W στα 6 %, ειδικά μάλιστα όταν υπάρχει μία μεγάλη συνιστώσα στην -ανεπιθύμητη- τρίτη αρμονική.

Το όλο κύκλωμα αναπτύσσεται επάνω σε τέσσερις πλακέτες οι οποίες σχηματίζουν ένα ενιαίο σώμα. Στο Σχήμα 1 περιγράφεται το κύκλωμα της τροφοδοσίας παρέα με το κύκλωμα του ενισχυτή. Οι πυκνωτές του τροφοδοτικού προστίθενται για να φιλτράρουν την υψηλή τάση ανόδου με στόχο να επιτευχθεί η απαιτούμενη σταθερότητα τάσης. Για να παραχθούν τα σχετικά υψηλά ρεύματα που απαιτούνται από τα πλέγματα θωράκισης των EL156, παράγονται δύο χωριστές υψηλές τάσεις από δύο μονωμένα τυλίγματα μετασχηματιστών ('hi' και 'lo') με την βοήθεια γεφυρών ανόρθωσης. Αμέσως μετά την ανόρθωση οι συγκεκριμένες τάσεις συνδέονται σε σειρά και φιλτράρονται χωριστά. Το στραγγαλιστικό πηνίο Dr1 με τιμή 2,3 H, έχει ονομαστικά χαρακτηριστικά ρεύματος 0,3 A και φιλτράρει την τροφοδοσία της ανόδου, ενώ το Dr2 με τιμή 4 H και ονομαστικό ρεύμα 0,18 A, φιλτράρει την τάση του πλέγματος θωράκισης. Από την τάση τροφοδοσίας του πλέγματος, τροφοδοτείται επίσης και η λυχνία οδήγησης. Η τάση του πλέγματος θωράκισης θα πρέπει να είναι προσεκτικά φιλτραρισμένη, δεδομένου ότι ο οποιοσδήποτε θόρυβος που υπάρχει επάνω σε αυτήν θα ενισχυθεί στην έξοδο (το πλέγμα έχει ένα

ρόλο και στην ενίσχυση). Οι τιμές που προτείνονται αποδίδουν καλό φιλτράρισμα και κατά συνέπεια χαμηλά επίπεδα θορύβου. Για να γίνει η τροφοδοσία αρκετά συμπαγής, προτείνεται η χρήση ηλεκτρολυτικών πυκνωτών 100 μF/500V η ονομαστική τάση λειτουργίας των 500V εξασφαλίζει ικανοποιητικά περιθώρια ασφαλείας για αξιοπιστη λειτουργία ακόμη και όταν έχουμε υπέρταση δικτύου. Να σημειώσουμε και τις αντίστροφες εκφόρτισης που βρίσκονται παράλληλα συνδεδεμένες με τους πυκνωτές. Η αρνητική τάση πόλωσης του πλέγματος παρέχεται από μία δίοδο και ένα ηλεκτρολυτικό πυκνωτή, και η τάση αυτή φιλτράρεται στην συνέχεια επάνω στην πλακέτα του ενισχυτή.

Η κατασκευή ενός υπερ-γραμμικού ενισχυτή με την βοήθεια της EL156 και υψηλής τάσης ανόδου, είναι κάτι ανέφικτο. Το ίδιο ισχύει και για την EL34. Για τον λόγο αυτό, ο μετασχηματιστής εξόδου συνδέεται με τέτοιο τρόπο ώστε η εμπέδηση σύνδεσης του πλέγματος της λυχνίας εξόδου, να είναι σημαντικά χαμηλότερη συγκρινόμενη με τα συμβατικά κυκλώματα λυχνιών, και εξαιρετικά χαμηλότερη από την μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή των 100 KΩ. Με τον τρόπο αυτό καλύπτονται οι απαιτήσεις σχετικά με τις ανοχές των λυχνιών, και δεν απαιτείται επιλογή των λυχνιών μέσα από διαδικασίες δοκιμών.

Οι πυκνωτές σύζευξης C9 έως C11 έχουν σχετικά μεγάλες τιμές. Η επιλογή αυτή επιβάλλεται από την ανάγκη διαχείρισης επαρκώς χαμηλών συχνοτήτων στο κύκλωμα χαμηλής εμπέδησης. Οι βαθμίδες εισόδου και αναστροφής φάσης (V1 και V2 αντίστοιχα) έχουν σχετικά χαμηλές αντιτάσεις ανόδου και καθόδου. Η τάση τροφοδοσίας προς τις βαθμίδες εισόδου και αντιστροφής φάσης ελέγχεται από τις διόδους ζέ-νερ D1 έως D4. Το σημείο λειτουργίας της V1 είναι κατά συνέπεια ανεξάρτητο των διακυμάνσεων της τάσης τροφοδοσίας που προκαλούνται από την βαθμίδα οδήγησης της εξόδου. Οι R1 και C2 μπλοκάρουν τις υψηλές συχνοτήτες, ενώ την ίδια δουλειά κάνει και ο πυκνωτής C4 (συνδεδεμένος παράλληλα με την αντίσταση αρνητικής ανάδρασης R11). Οι R4 και R6 βρίσκονται παράλληλα με τα σήματα AC, και σε συνδυασμό με την αντίσταση αρνητικής ανάδρασης R11 καθορίζουν την συνολική απολαβή. Ο ενισχυτής είναι σχεδιασμένος με ένα μέσο ποσό αρνητικής ανάδρασης, γε-



Σχήμα 1. Η καρδιά του ενισχυτή ισχύος με λυχνίες, παρέα με τον μετασχηματιστή εξόδου και την τροφοδοσία υψηλής τάσης.

γονός το οποίο βελτιώνει την ποιότητα του παραγόμενου ήχου.

Στην είσοδο του ενισχυτή, τοποθετείται ένας μετασχηματιστής τύπου E-1220 (Tr1) με λόγο σπειρών 1:2. Με τον τρόπο αυτό

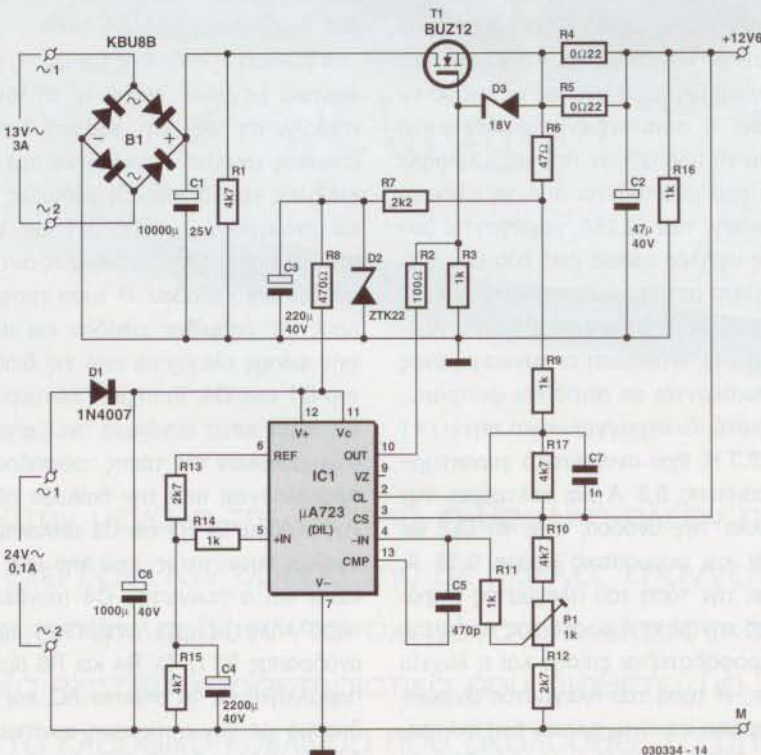
αποκτάται επαρκής ευαισθησία αλλά και απομόνωση. Οι διαφορικές ή περίπου διαφορικές συνδέσεις ήχου, είναι σύμφωνα με την θεωρία λιγότερο ευπαθείς στις παρεμβολές και αποτρέπουν την δημιουργία βρόγγ-

χων γης. Ο λόγος επίσης του 1:2 παρέχει μία επί πλέον ευαισθησία της τάξης των 6 dB χωρίς πρόσθετο θόρυβο, αφήνοντας λίγο περισσότερο περιθώριο στην αρνητική ανάδραση. Η πλακέτα πάντως του τυπωμένου κυκλώματος επιτρέπει και την 1:1 σύνδεση, όπου βέβαια για να έχουμε πλήρη οδηγηση θα χρειαστούμε διπλάσια στάθμη σήματος στην είσοδο. Ο επιθυμητός λόγος σύνδεσης είναι δυνατόν να επιλεγεί μέσω συρμάτων γεφυρών. Ο συνδυασμός των C12 και R26 αντισταθμίζει την υπολειπόμενη απόκριση του μετασχηματιστή στις υψηλότερες συχνότητες.

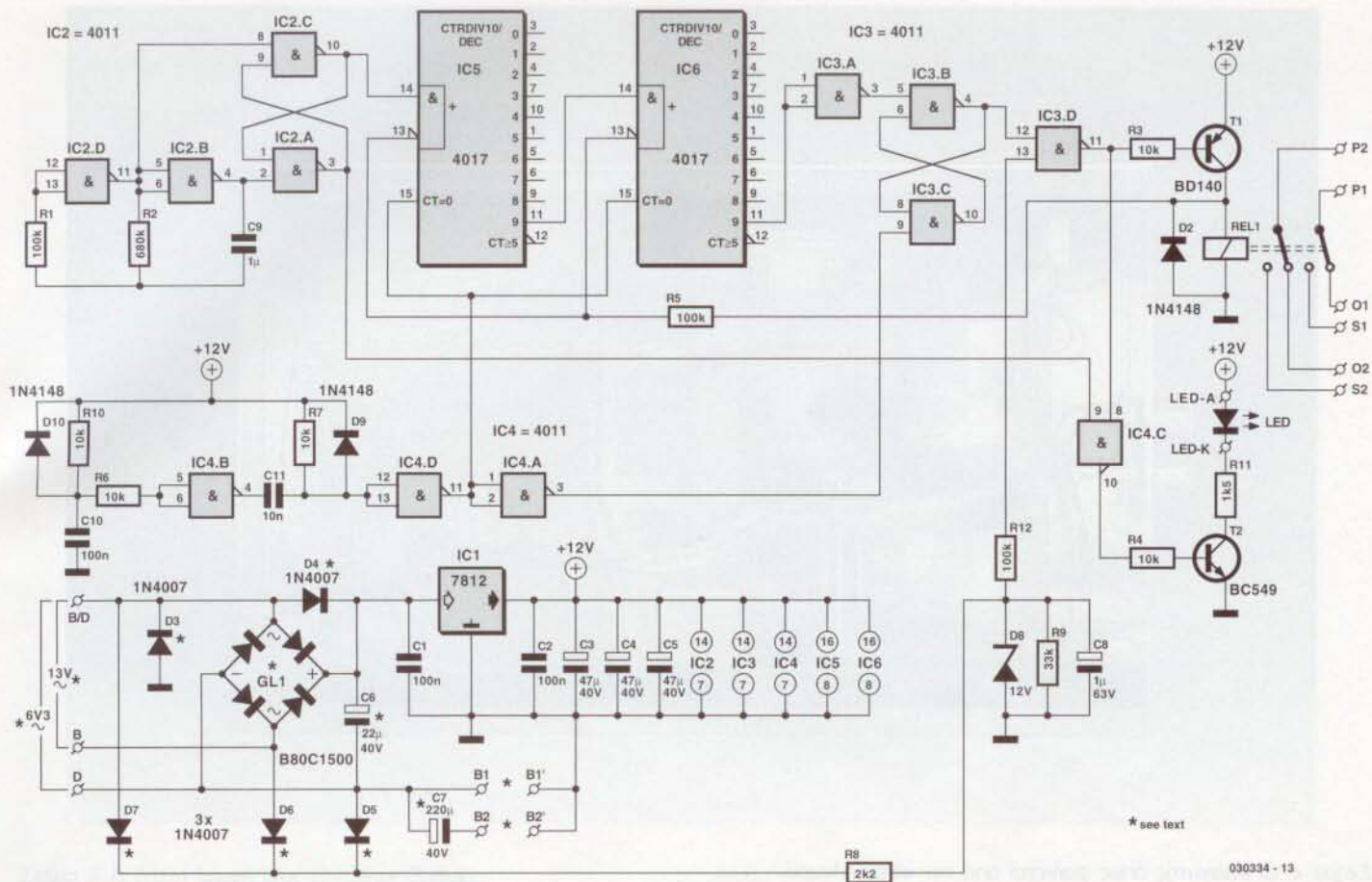
Αναμονή

Οι βαθμίδες ισχύος εξόδου με λυχνίες, σχεδιάζονται συχνά με επιπλέον δυνατότητα λειτουργίας σε κατάσταση αναμονής. Στην συγκεκριμένη κατάσταση η τάση ανόδου μετάζεται εκτός, ενώ η θέρμανση και οι υπόλοιπες τάσεις παραμένουν ως έχουν. Με τον τρόπο αυτό επιμηκύνεται η ζωή των λυχνιών εξόδου, ενώ με το που εξέρχεται ο ενισχυτής από την κατάσταση αναμονής, η βαθμίδα είναι αμέσως έτοιμη να λειτουργήσει.

Σε ότι αφορά τώρα την υψηλή τάση ανόδου, ένας συνήθης διακόπτης ή ένας ηλεκτρονόμος δεν είναι κατάλληλοι οπότε χρησιμοποιούμε μία διαφορετική προσέγγιση.



Σχήμα 2. Ο συγκεκριμένης χαμηλής πτώσης σταθεροποιητής, παρέχει την τροφοδοσία για τα νήματα θέρμανσης.



Σχήμα 3. Αυτό το έξυπνο κύκλωμα καθυστέρησης εκκίνησης, αποτρέπει την εμφάνιση των χαρακτηριστικών 'κλικ' καθώς και των βουητών ή βόμβων.

γηση. Μέσω του διακόπτη αναμονής βραχυκυκλώνουμε την R22, οπότε αυξάνει η αρνητική τάση πόλωσης του πλέγματος στην λυχνία της βαθμίδας εξόδου και έχουμε πλέον την ροή ενός πολύ μικρού μόνον ρεύματος ηρεμίας. Σύμφωνα με τα βιβλία θεωρητικών δεδομένων σχετικά με τις λυχνίες, η μέθοδος αυτή είναι πολύ καλύτερη από το να μεταγεται εκτός η τροφοδοσία ανόδου διότι η παρατεταμένη λειτουργία με την θέρμανση εντός και χωρίς την εφαρμογή τάσης στην άνοδο υποβαθμίζει την δυνατότητα εκπομπής της καθόδου. Ένα LED συνδεδεμένο με τον δεύτερο πόλο του διπολικού διακόπτη, υποδεικνύει το πότε έχει ενεργοποιηθεί η κατάσταση αναμονής. Το LED είναι δυνατόν να τροφοδοτείται από την τροφοδοσία του θερμαντήρα.

Συνεχής τροφοδοσία θέρμανσης

Για να ελαχιστοποιήσουμε τον θόρυβο, χρησιμοποιούμε μία DC θέρμανση χαμηλής πτώσης τάσης, η οποία υλοποιείται με την βοήθεια του γνωστού σταθεροποιητή τάσης 723 και ενός MOSFET (Σχήμα 2). Η

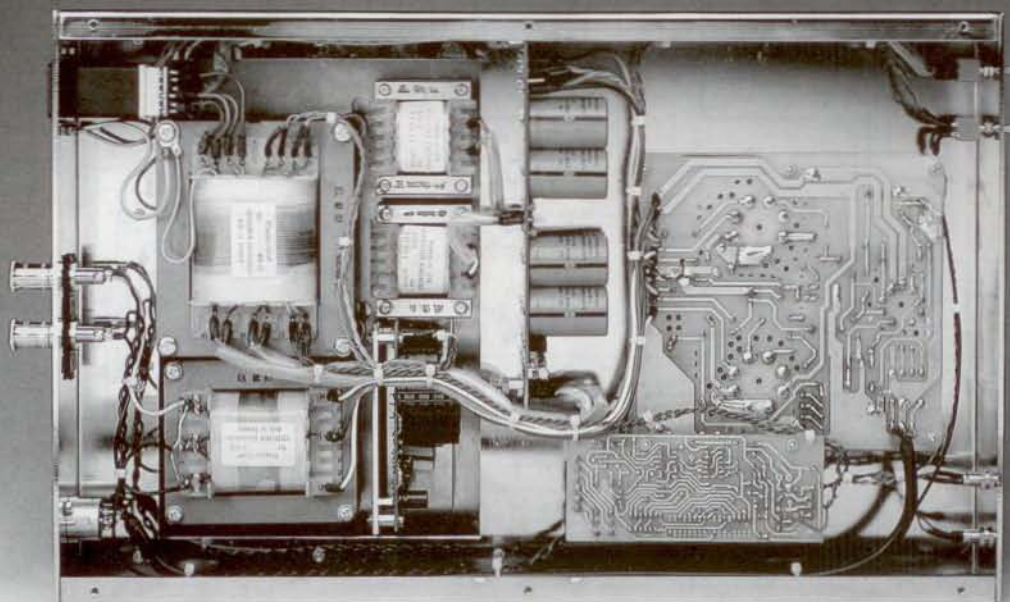
τροφοδοσία σχεδιάστηκε με γνώμονα την ελαχιστοποίηση των απωλειών, και με αυτό το σκεπτικό τα νήματα θέρμανσης των δύο EL156 έχουν συνδεθεί σε σειρά. Η ECC81 είναι δυνατόν να διευθετηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να λειτουργεί με τροφοδοσία 12,6 V. Με διπλάσια τάση (χρησιμοποιώντας δηλαδή 12,6 V αντί για 6,3 V), έχουμε μία ροή ρεύματος στην μισή τιμή της προηγούμενης, το οποίο σημαίνει ότι έχουμε και σημαντικά μειωμένες απώλειες στην γέφυρα ανόρθωσης. Με τις τιμές των εξαρτημάτων που αναφέρονται, οι απώλειες ισχύος στο T1 παραμένουν χαμηλές.

Για να μειωθεί η πτώση τάσης που οφείλεται στο κύκλωμα περιορισμού ρεύματος, χρησιμοποιείται άλλο ένα μικρό κόλπο. Το 723 περιλαμβάνει ένα τρανζίστορ πυριτίου, για περιορισμό ρεύματος, η επαφή βάσης-εκπομπού του οποίου παρακολουθεί την τάση στα άκρα των αισθητήριων αντιστάσεων περιορισμού ρεύματος R4 και R5. Κάτω από κανονικές συνθήκες, το τρανζίστορ θα οδηγείτο σε αποκοπή στα 0,6 V περίπου. Εδώ όμως, η βάση περιλαμβάνει

μία σταθεροποιημένη τάση πόλωσης προερχόμενη από την θερμοκρασιακά αντισταθμισμένη δίοδο ζένερ D2, μέσω των R7 και R8. Η διευθέτηση αυτή έχει σαν αποτέλεσμα να απαιτείται μία αρκετά μικρότερη πτώση τάσης στα άκρα των R4 και R5 για να σκανδαλιστεί ο περιορισμός ρεύματος.

Η τάση αναφοράς που παράγεται από το 723 υποβιβάζεται από τον διαιρέτη τάσης R13 και R15, ενώ ο C4 χρειάζεται βασικά για να απορρίψει οποιονδήποτε θόρυβο επάνω στην τάση αναφοράς (θα μπορούσε βέβαια να είναι και αρκετά μικρότερος). Λόγω της σχετικά μεγάλης χωρητικότητας του πυκνωτή, η τάση στον ακροδέκτη 5 αυξάνει αργά, εξασφαλίζοντας μία 'ήπια εκκίνηση' της τροφοδοσίας του θερμαντήρα. Στην θέση του T1 χρησιμοποιούμε ένα FET τύπου BUZ12 με R_{DSON} μόλις 28 mH.

Είναι σημαντικό να δεβαιωθούμε ότι η διαφορά τάσης μεταξύ της καθόδου και του νήματος δεν είναι πολύ μεγάλη, διαφορετικά θα έχουμε φαινόμενα δημιουργίας ηλεκτρικών τόξων. Η αρνητική πλευρά της τροφοδοσίας του νήματος θα πρέπει κατά συ-



Σχήμα 4. Ο ενισχυτής όπως φαίνεται από την κάτω πλευρά.

Μία λυχνία είναι πάντα μία λυχνία...

Παράμετρος	Σύμβολο	EL34	EL156	Μονάδες
Τάση νημάτων θέρμανσης	U_f	6,3	6,3	V
Ρεύμα νημάτων θέρμανσης	I_f	1,5	1,9	A
Μέγιστη τάση ανόδου	$U_{\text{αντmax}}$	800	800	V
Μέγιστη τάση καθόδου	$I_{\text{κτmax}}$	150	180	mA
Μέγιστη απαγωγή ισχύος από την άνοδο	$P_{V\text{max}}$	25/27,5	40	W
Μέγιστη απαγωγή ισχύος από το πλέγμα θωράκισης	$P_{\text{πρ2}}$	8	8/12	W
Ρεύμα πλέγματος θωράκισης	I_{g2}	11/22	5/25	mA
Μέγιστη τάση πλέγματος θωράκισης	U_{g2max}	425	450	V
λειτουργία σε τάξη AB		425	350	
Τάση πόλωσης πλέγματος	$U_{\text{π}}$	-39	-24	V
AC τάση οδήγησης πλέγματος	U_{g1AC}	23	18	V
Διαγωγιμότητα	S	11	13	mA/V
Εσωτερική αντίσταση	R_i	15	20	KΩ
Μέγιστη αντίσταση διαρροής πλέγματος	R_{g1max}	700	100	KΩ

Σε ορισμένες περιπτώσεις τα μεγέθη έχουν υποστεί στρογγυλοποίηση ή αποτελούν ενδεικτικές τιμές αφού δεν υπάρχει συμφωνία όλων των βιβλίων δεδομένων σε όλα τα μεγέθη. Οι τιμές που ακολουθούν την πλάγια γραμμή αναφέρο-

νται σε μέγιστη οδήγηση.

Οι EL34 και EL156 αποτελούν γνήσιες πέντοδες λυχνίες ισχύος ήχου, και όχι τέτροδες λυχνίες εκπομπής ισχύος, όπως οι 6L6, KT88 και 6550. Μοιάζουν αρκετά η μία με την άλλη, αλλά δεν είναι από κάθε

άποψη ίδιες. Η EL156 απαιτεί 27 % περίπου περισσότερη ισχύ στα νήματα, ενώ είναι σε θέση να προσφέρει 20 % περίπου υψηλότερο ρεύμα καθόδου. Η μέγιστη απαγωγή ισχύος ανόδου είναι περίπου 60 % υψηλότερη από αυτή της EL34.



Σχήμα 5. Η ζεστή λάμψη μίας EL156 εν δράσει...

Επίσης η EL156 χαρακτηρίζεται από υψηλότερη εσωτερική αντίσταση, υψηλότερη διαγωγιμότητα, υψηλότερο ρεύμα και ελαφρώς χαμηλότερη τάση πόλωσης πλέγματος. Η μέγιστη οδήγηση είναι επίσης δυνατόν να επιτευχθεί με μικρότερη τάση οδήγησης πλέγματος. Λόγω όλων των προηγούμενων χαρακτηριστικών με την EL156 μπορούμε να επιτύχουμε υψηλότερη απολαβή σε σύγκριση με την EL34, και συνεπεία αυτού (παρά την υψηλή ισχύ εξόδου), στην βαθμίδα οδήγησης χρειαζόμαστε μόνον μία διπλή τριόδο.

Και για τις δύο λυχνίες, υπάρχει ένα σύνολο λεπτομερειών που χρειάζονται προσοχή σε λειτουργία υψηλής ισχύος. Σε υψηλότερες τάσεις τροφοδοσίας, η τάση του πλέγματος θωράκισης πρέπει να σταθεροποιηθεί σε μία μέγιστη τιμή, ενώ είναι γενικά απαραίτητο να εκκωρηθεί και μία σταθερή τάση πόλωσης πλέγματος. Η μέγιστη επιτρεπτή αντίσταση διαρροής πλέγματος, είναι σημαντικά χαμηλότερη της EL156 σε σχέση με την EL34, και η μέγιστη τιμή καθορίζεται στο φυλλάδιο δεδομένων της κάθε λυχνίας. Θεωρητικά, μία λυχνία είναι δυνατόν να οδηγηθεί χωρίς

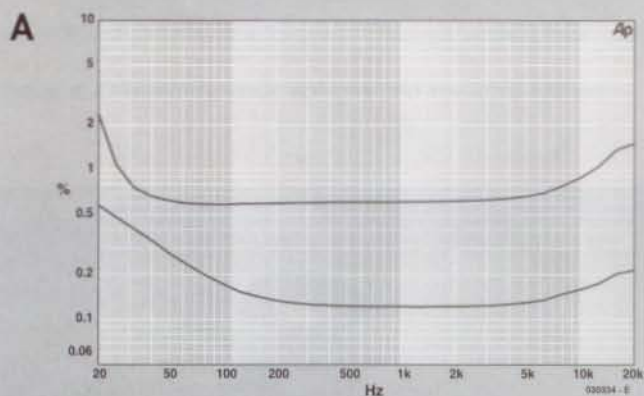


απαγόμενη ισχύ, αλλά στην πράξη υπάρχει μία μικρή ροή ρεύματος πλέγματος η οποία θα πρέπει να 'φύγει'. Το συγκεκριμένο θέμα θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψη κατά την σχεδίαση του κυκλώματος οδήγησης. Η EL156 μπορεί να οδηγηθεί αποδοτικά, μόνον όταν η τάση ανόδου είναι επαρκώς υψηλή (η ισχύς έχει το τίμημα

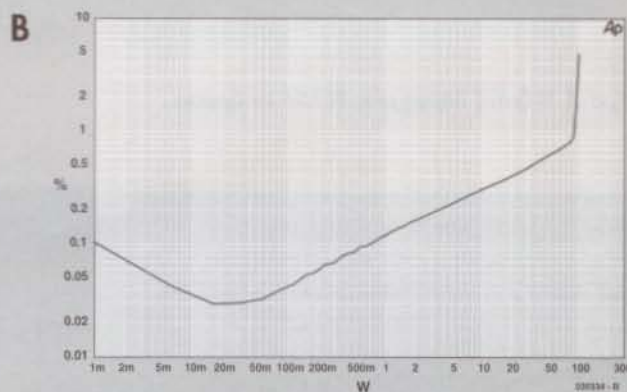
της). Σε ένα κύκλωμα τριόδου λυχνίας που λειτουργεί σε τάξη AB - push-pull, η απαγόμενη ισχύς μπορεί να φθάσει τα 30 Watt. Η τάση του πλέγματος θωράκισης για την EL156 σε λειτουργία υψηλής ισχύος και σε τάξη AB - push-pull, πρέπει να είναι τουλάχιστον 350 V, ενώ για την EL34 απαιτούνται τουλάχιστον 400 V.

Στον πάγκο του εργαστηρίου

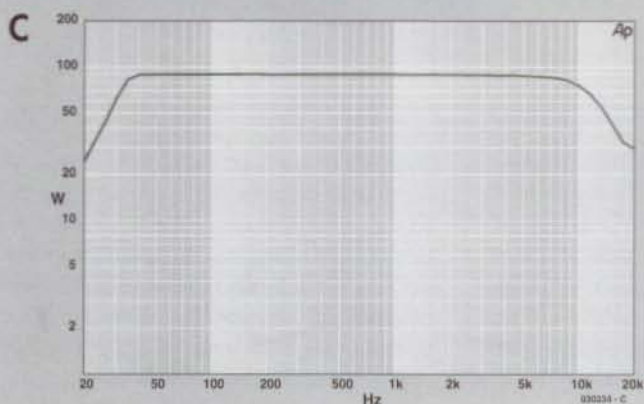
Παράμετρος	Συνθήκες	Τιμή	Μονάδες
Ευαισθησία εισόδου	90 W, 1 % THD+N	1,4	V _{eff}
Εμπέδηση εισόδου	20 Hz	4	KΩ
	1 kHz	9	KΩ
	20kHz	1,08	KΩ
Ισχύς εξόδου ημίτονου	1% THD+N	90	W
Εύρος ζώνης συχνοτήτων	-3 dB, 1 W	41	KHz
Ρυθμός ανόδου	10 μs βήμα	5	V/μs
Λόγος σήματος προς θόρυβο	στο 1 W,	88	dB
	εύρος ζώνης 22 Hz - 22 kHz	102	BA
Αρμονική παραμόρφωση και θόρυβος	1 W	1 kHz	0,12%
		20 KHz	0,21%
σε εύρος ζώνης συχνοτήτων πάνω από 80 KHz.	50 W	1 kHz	0,6%
		20 KHz	1,43%
Παραμόρφωση ενδοδιαμόρφωσης	50 Hz: 7 KHz = 4:1	1 W	0,5%
		50 W	2,6%
Δυναμική παραμόρφωση ενδοδιαμόρφωσης	3,15 KHz τετράγωνο και 15 KHz ημίτονο	1 W	0,064%
		50W	0,33%
Συντελεστής απόσβεσης	1 KHz 20 KHz	2,9	
		2,3	



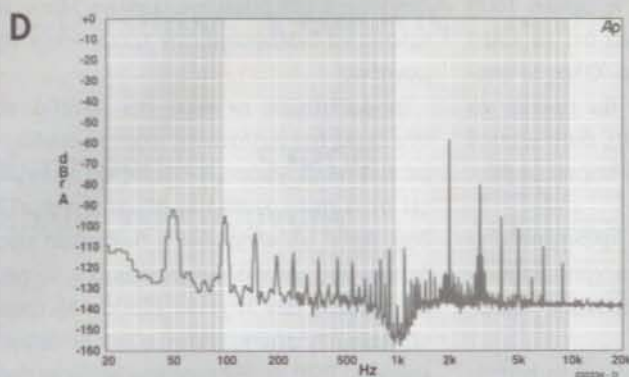
Στο **Σχήμα Α** έχουμε την συνολική αρμονική παραμόρφωση συν τον θόρυβο (THD+N) σε συνάρτηση με την συχνότητα, όταν ο ενισχυτής οδηγείται στο 1 W και στα 50 W. Η μέτρηση έγινε με εύρος ζώνης συχνοτήτων 80 KHz. Όπως είναι αναμενόμενο από ένα ενισχυτή με λυχνίες, η παραμόρφωση αυξάνει όσο ο πυρήνας του μετασχηματιστή εξόδου πλησιάζει τον κορεσμό. Το συγκεκριμένο γεγονός δεν αποτελεί ιδιαίτερο μειονέκτημα, διότι το ανθρώπινο αυτί είναι αναίσθητο στις χαμηλές συχνότητες και τις υψηλότερες στάθμες παραμόρφωσης δεν τις βρίσκει ενοχλητικές.



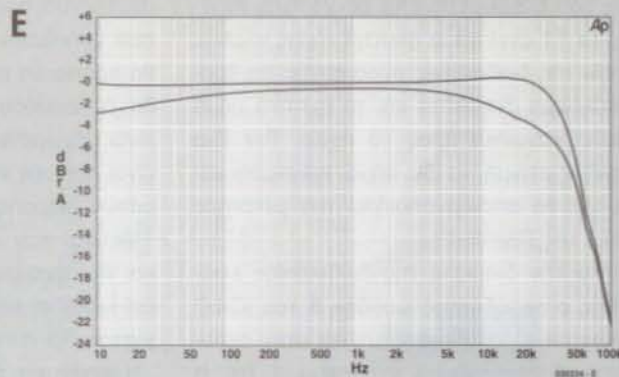
Στο **Σχήμα Β** έχουμε την παραμόρφωση σαν συνάρτηση της στάθμης οδήγησης. Η παραμόρφωση αυξάνει από τα περίπου 50 mW και πέρα, και καθορίζεται από αρμονικές συνιστώσες. Η μέτρηση έγινε με εύρος ζώνης συχνοτήτων από 22 Hz έως 22 KHz για να αναδειχθεί περισσότερο εμφανώς το φαινόμενο της αρμονικής παραμόρφωσης σε χαμηλές στάθμες ισχύος. Στα 90 W ο ενισχυτής αρχίζει να κόβει (ψαλίδισι).



Στο **Σχήμα Γ** περιγράφεται η μέγιστη ισχύς σε συνάρτηση με την συχνότητα για σταθερή παραμόρφωση (στην συγκεκριμένη περίπτωση 1 %). Το εύρος ζώνης συχνοτήτων που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση παραμόρφωσης ήταν 80 KHz. Η μέγιστη ισχύς αρχίζει να πέφτει προς τα κατώτερα και ανώτερα άκρα της κλίμακας συχνοτήτων του ενισχυτή. Στο ανώτερο άκρο του εύρους συχνοτήτων η κατάσταση δεν είναι ιδιαίτερα κακή, δεδομένου ότι έτσι κι αλλιώς εδώ γενικά χρειάζεται λιγότερη ισχύς. Τα πράγματα διαφοροποιούνται κάτω από τα 40 Hz, όπου οι βαθείς τόνοι συχνά απαιτούν μεγάλα μεγέθη ισχύος.



Στο **Σχήμα D** έχουμε μία φασματική ανάλυση της παραμόρφωσης σε ένα ημιτονικό σήμα 1 KHz και σε ισχύ εξόδου 1 Watt. Σχεδόν ολόκληρη η παραμόρφωση οφείλεται την δεύτερη αρμονική στα -58,3 dB. Η τρίτη αρμονική βρίσκεται στα -80 dB και όλες οι υπόλοιπες αρμονικές μαζί με τον βόμβο του δικτύου βρίσκονται κάτω από τα -90 dB. Η συνιστώσα του βόμβου κατά κύριο λόγο οφείλεται στο μαγνητικό πεδίο των μετασχηματιστών (συνιστώσα 50 Hz). Διαφορετικά, η συνιστώσα των 100 Hz θα αναμενόταν να είναι αρκετά ισχυρότερη.



Τελειώνοντας έχουμε το **Σχήμα E**, στο οποίο απεικονίζεται η επίδραση του κυκλώματος εισόδου στον ενισχυτή, όπου μία αντίσταση 4,7 KΩ και ένας πυκνωτής 2,2 nF συνδέονται ουσιαστικά παράλληλα με το δευτερεύον του μετασχηματιστή εισόδου. Εάν η εμπέδηση εξόδου του προενισχυτή είναι μεγαλύτερη από 50 Ω, τότε επιδρά σαφώς η εμπέδηση εισόδου του ενισχυτή ισχύος. Η επάνω καμπύλη περιγράφει την κανονική απόκριση συχνότητας με εμπέδηση 20 Ω, ενώ στα 600 Ω η απόκριση συχνότητας πέφτει σημαντικά τόσο στο ανώτερο όσο και στο κατώτερο άκρο των ορίων του εύρους συχνοτήτων.

νέπεια να συνδέεται με την αρνητική πλευρά της τροφοδοσίας υψηλής τάσης.

Τριγμοί και βόμβος

Την ώρα που ενεργοποιείται η βαθμίδα εξόδου και πριν φθάσει στην κανονική θερμοκρασία, οι διάφοροι πυκνωτές εξομάλυνσης ή σύζευξης είναι δυνατόν να φορτίζονται με διάφορους ρυθμούς. Αποτέλεσμα αυτού είναι η ενδεχόμενη δημιουργία χαρακτηριστικών ηχητικών τριγμών και βόμβου. Το κύκλωμα του **Σχήματος 3** είναι σε θέση να καταστείλει τους θορύβους αυτής της μορφής με σχετική θα λέγαμε επιτυχία. Οι -σε ηρεμία κλειστές- επαφές του ηλεκτρονόμου βραχυκυκλώνουν την έξοδο του μετασχηματιστή για ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα (για το οποίο δεν δημιουργείται πρόβλημα στην λυχνία της εξόδου) και μόνον όταν παρέλθει αυτό το χρονικό διάστημα οι επαφές του ηλεκτρονόμου ανοίγουν, απομακρύνοντας το βραχυκύκλωμα. Το κύριο πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ότι αποφεύγουμε την εισαγωγή των επαφών του ηλεκτρονόμου μέσα στην γραμμή του σήματος. Η χωροθέτηση της πλακέτας επιτρέπει την τοποθέτηση ενός ηλεκτρονόμου με δύο επαφές μεταγωγής, έτσι ώστε το κύκλωμα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί μαζί και με

άλλες εφαρμογές (συμπεριλαμβανομένης και μίας στερεοφωνικής βαθμίδας εξόδου).

Στην περίπτωση μας το κύκλωμα τροφοδοτείται από την γραμμή των 13 V του θερμαντήρα, από την οποία αντλεί γύρω στα 200 mA.

Για την περίπτωση όπου το κύκλωμα καθυστερημένης ενεργοποίησης πρόκειται να συνδεθεί σε κάποιον υπάρχοντα ενισχυτή, να σημειώσουμε ότι είναι σε θέση να λειτουργήσει το ίδιο καλά και με τροφοδοσία προερχόμενη από γραμμή 6,3 V αρκεί να υπάρχει η απαιτούμενη διαθεσιμότητα σε ρεύμα. Σε μία τέτοια περίπτωση, χρησιμοποιούμε κύκλωμα διπλασιασμού τάσης. Ανάλογα με την τελική επιλογή της τάσης τροφοδοσίας, ορισμένα εξαρτήματα θα πρέπει αντίστοιχα να προστεθούν ή να απομακρυνθούν από το κύκλωμα, όπως υποδεικνύεται και από το σχέδιο τοποθέτησης των εξαρτημάτων αλλά και τον κατάλογο εξαρτημάτων.

Ενεργοποίηση του κυκλώματος

Όταν εφαρμοστεί τροφοδοσία, ο C3 αρχίζει αμέσως να φορτίζει μέσω της R8 φέροντας τον ακροδέκτη 13 του IC1.D σε υψηλή στάθμη, ενώ την ίδια στιγμή ο C10 φορτίζει μέσω της R10. Μόλις επιτευχθεί η τάση εισόδου κατωφλίου του IC4.B η

έξοδος του μετάγεται σε χαμηλή στάθμη, και μέσω του υπερεπατού δικτυώματος που σχηματίζουν οι C11 και R7 δημιουργεί ένα σύντομο χαμηλό παλμό στην είσοδο του IC4.D.

Το σήμα αυτό αναστρέφεται και χρησιμοποιείται για να επανατοποθετήσει τον μετρητή 4017 στο μηδέν, ενώ στην συνέχεια αναστρέφεται εκ νέου και χρησιμοποιείται για την επανατοποθέτηση του flip-flop που σχηματίζουν τα IC3.B και IC3.C. Η έξοδος του συγκεκριμένου flip-flop στον ακροδέκτη 4 μετάγεται σε χαμηλή στάθμη (εάν δεν βρισκόταν ήδη σε χαμηλή στάθμη), οπότε η έξοδος του IC3.D βρίσκεται σε υψηλή στάθμη, το T1 δεν άγει και ο ηλεκτρονόμος δεν κλείνει. Μέσω της διαδικασίας αυτής, η έξοδος του ενισχυτή παραμένει βραχυκυκλωμένη.

Το IC2.B μαζί με το IC2.C σχηματίζουν μία γεννήτρια παλμών στο 1 Hz, η συχνότητα της οποίας καθορίζεται από τον πυκνωτή C9 και την αντίσταση R2. Το flip-flop που σχηματίζεται από τα IC2.A και IC2.B καθιστά τους συγκεκριμένους παλμούς διαθέσιμους στους μετρητές IC5 και IC6 που είναι σε σειρά.

Μετά από 100 βήματα, το flip-flop που αποτελείται από τα IC3.B και IC3.C ενεργοποιείται μέσω του αναστροφέα IC3.A. Η έξο-

δος του IC3.D μεταγεται σε χαμηλή στάθμη, το T1 άγει και ο ηλεκτρονόμος κλείνει. Μέσω της διαδικασίας τώρα αυτής, το βραχυκύκλωμα αναιρείται και το ηχητικό σήμα οδεύει κανονικά προς τα ηχεία. Την ίδια ακριβώς στιγμή, το ίδιο σήμα χρησιμοποιείται για να απενεργοποιήσει του μετρητές μέσω της R5.

Κατά την διάρκεια της διαδικασίας εκκίνησης ο ακροδέκτης εισόδου 8 του IC4.C βρίσκεται σε υψηλή στάθμη και στον ακροδέκτη 9 εμφανίζεται ένα σήμα 1 Hz. Η έξοδος στον ακροδέκτη 10 θα φέρει και αυτή το σήμα του 1 Hz, οπότε το LED θα αναβοσβήνει.

Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία καθυστέρησης ενεργοποίησης, ο ακροδέκτης 8 μεταγεται σε χαμηλή στάθμη οδηγώντας την έξοδο της πύλης NAND σε υψηλή στάθμη και αυτή και το LED πλέον ανάβει μόνιμα.

Διακοπή

Μόλις κλείσει ο ενισχυτής, δεν υπάρχει πλέον καμία τάση στον μετασχηματιστή. Η τάση στον μετασχηματιστή παρακολουθείται διαρκώς από τις D5 και D6 (λειτουργία 13 V) ή από τις D5 και D7 (λειτουργία 6,3 V).

Όταν λοιπόν δεν εμφανίζεται καμία τάση ο ηλεκτρονόμος κλείνει αμέσως, και οι δίοδοι D10 και D9 εξασφαλίζουν ότι οι πυκνωτές C10 και C11 εκφορτίζονται αμέσως. Εάν η τροφοδοσία εφαρμοστεί εκ νέου, τότε πρέπει αν επαναληφθεί ολόκληρος ο παραπάνω κύκλος.

Κατασκευή

Ο ενισχυτής αποτελείται από τρεις συνολικά πλακέτες τυπωμένου κυκλώματος και αρκετά περιφερειακά εξαρτήματα στερεωμένα στο κουτί, όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 4**.

Το πρωτότυπο της κατασκευής το τοποθετήσαμε σε ένα γυαλιστερό αλουμινένιο κουτί, με επικάλυψη από νίκελ και χωρίς ραφές. Η χρήση του αλουμινίου εξασφαλίζει θωράκιση από μαγνητικές παρεμβολές, οι οποίες κατά κανόνα πηγάζουν από τα πεδία που δημιουργούν οι μετασχηματιστές. Όλες οι συνδέσεις γης πρέπει να καταλήγουν μαζί στην πλακέτα του ενισχυτή και από εκεί να συνδέονται με το κουτί σε ένα μόνον σημείο, μέσω βίδας ή κόλλησης. Εάν δεν προχωρήσουμε σε αυτό το βήμα, το κουτί θα λειτουργεί σαν κεραία και ο εν-

ισχυτής θα παράγει θόρυβο. Η υψηλή τάση που χρησιμοποιείται σημαίνει ότι το κουτί θα πρέπει να είναι **γειωμένο**. Όλες οι υποδοχές εισόδου και εξόδου θα πρέπει να είναι μονωμένες από το κουτί, διαφορετικά είναι πιθανόν να έχουμε την παρουσία ρευμάτων διαροής.

Μεταξύ των επαφών του ηλεκτρονόμου και των ηχείων θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί καλώδιο με επιφάνεια διατομής τουλάχιστον 0,5 mm².

Η αντίσταση που παρουσιάζουν τα λεπτότερα καλώδια είναι υπερβολικά υψηλή, με αποτέλεσμα την ενδεχόμενη ακρόαση υπόκωφων θορύβων από τα ηχεία κατά την διάρκεια προθέρμανσης του ενισχυτή. Οι επαφές των νημάτων απαιτούν καλώδιο με επιφάνεια διατομής 1,5 mm², οι συνδέσεις γης καλώδιο με επιφάνεια διατομής 0,75 mm², οι συνδέσεις υψηλής τάσης καλώδιο με επιφάνεια διατομής 0,5 mm² και τέλος οι βοηθητικές συνδέσεις τροφοδοσίας καλώδιο με επιφάνεια διατομής 0,25 mm².

Ο βασικός έλεγχος πριν την πρώτη χρήση του ενισχυτή, είναι θα λέγαμε σχετικά εύκολος. Βεβαιωνόμαστε για μία ακόμη φορά ότι όλα τα εξαρτήματα είναι σωστά τοποθετημένα, όπως επίσης και ότι έχει γίνει σωστά η καλωδίωση.

Στην συνέχεια ελέγχουμε τις βοηθητικές τάσεις, αφήνοντας προς το παρόν εκτός την ασφάλεια στην γραμμή υψηλής τάσης. Μόλις εφαρμοστεί η τάση δικτύου, θα πρέπει αμέσως να εμφανιστεί στην βάση της λυχνίας η αρνητική τάση πόλωσης πλέγματος, η οποία μπορεί να ρυθμιστεί με την βοήθεια των αντίστοιχων ποτενσιομέτρων. Για την ώρα θέτουμε την τάση στην μέγιστη αρνητική της τιμή. Στην συνέχεια ελέγχουμε την τάση για τα νήματα και την ρυθμίζουμε στα 12,6 V.

Στην περίπτωση όπου μπορούμε να μεταβάλλουμε την τιμή της τάσης κατά δύο με τρία V, αλλά δεν μπορούμε να επιτύχουμε την τάση των 12,6 V, τότε θα χρειαστεί να τροποποιήσουμε τις τιμές των αντιστάσεων R10 ή R12. Ακολουθώντας τοποθετούμε τις λυχνίες, οπότε και θα πρέπει σύντομα να αρχίσει να θερμαίνεται το νήμα του, όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 5**.

Μπορούμε πλέον να δοκιμάσουμε το κύκλωμα παρουσία της υψηλής τάσης. Είναι απολύτως απαραίτητο να έχουμε διαρκώς συνδεδεμένη στην έξοδο μία αντίσταση φόρτου με ονομαστική ισχύ τουλάχιστον 150 Watt. Εννοείται βέβαια ότι πριν τοπο-

θετήσουμε την ασφάλεια υψηλής τάσης, θα πρέπει να διακόψουμε την τροφοδοσία της μονάδας!

Τροφοδοτούμε εκ νέου την μονάδα, και στα άκρα της αντίστασης φόρτου συνδέουμε ένα παλμογράφο ο οποίος θα εξυπηρετεί στην απεικόνιση του σήματος της εξόδου. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία προθέρμανσης, μπορούμε να ορίσουμε το ρεύμα ηρεμίας των λυχνιών εξόδου. Μετράμε την πτώση τάσης στην κάθε αντίσταση καθόδου R20 και R21, με την βοήθεια ενός πολυμέτρου. Εναλλακτικά ρυθμίζουμε τα ρεύματα μέσω των V2 και V3 έτσι ώστε να έχουμε πτώση τάσης γύρω στα 450 mV, το οποίον αντιστοιχεί σε 45 mA ανά λυχνία. Στην συνέχεια συνδέουμε στην είσοδο μία γεννήτρια σήματος η οποία να παράγει ένα ημιτονικό σήμα 1 KHz, και βαθμιαία αυξάνουμε το πλάτος του σήματος, παρατηρώντας ταυτόχρονα την έξοδο του ενισχυτή στον παλμογράφο.

Η αύξηση του πλάτους θα πρέπει να γίνεται χωρίς την εμφάνιση παραμόρφωσης ή παρασιτικών ταλαντώσεων, μέχρι του σημείου που αρχίζει να εμφανίζεται η ψαλίδιση. Στην περίπτωση όπου ο ενισχυτής παρουσιάζει μία τάση προς ταλάντωση, καλό είναι να ελέγξουμε εάν είναι σωστή η καλωδίωση όπως επίσης και εάν η γη είναι στέρεη.

Εάν με το που ανοίγει ο ενισχυτής εισέρχεται σε ταλαντώσεις μεγάλου πλάτους τις οποίες παρατηρώντας στον παλμογράφο διαπιστώνουμε ότι έχουν συχνότητα περίπου 100 Hz, δείχνουν σαν παραμορφωμένη τετραγωνική κυματομορφή και ακούγονται σαν θόρυβος στον μετασχηματιστή και τις λυχνίες εξόδου, θα πρέπει αμέσως να διακόψουμε την τροφοδοσία. Το συγκεκριμένο φαινόμενο υποδηλώνει ότι ο μετασχηματιστής εξόδου έχει συνδεθεί με λάθος πολικότητα, και η άνοδος 1 θα πρέπει να εναλλαχτεί με την άνοδο 2, αλλάζοντας την θετική ανάδραση σε αρνητική. Εφ' όσον η λειτουργία του κυκλώματος διακοπεί αμέσως, δεν θα προκληθεί καμία σοβαρή βλάβη στις λυχνίες ή σε κάποιο άλλο εξάρτημα.

(030334-1)

Σημείωση: Λόγω χώρου οι πλακέτες και ο κατάλογος υλικών υπάρχουν μόνο στο *Internet*. Έτοιμες πλακέτες καθώς και Kit μπορείτε να παραγγείλεται από τον συγγραφέα (experience.electronics@t-online.de).