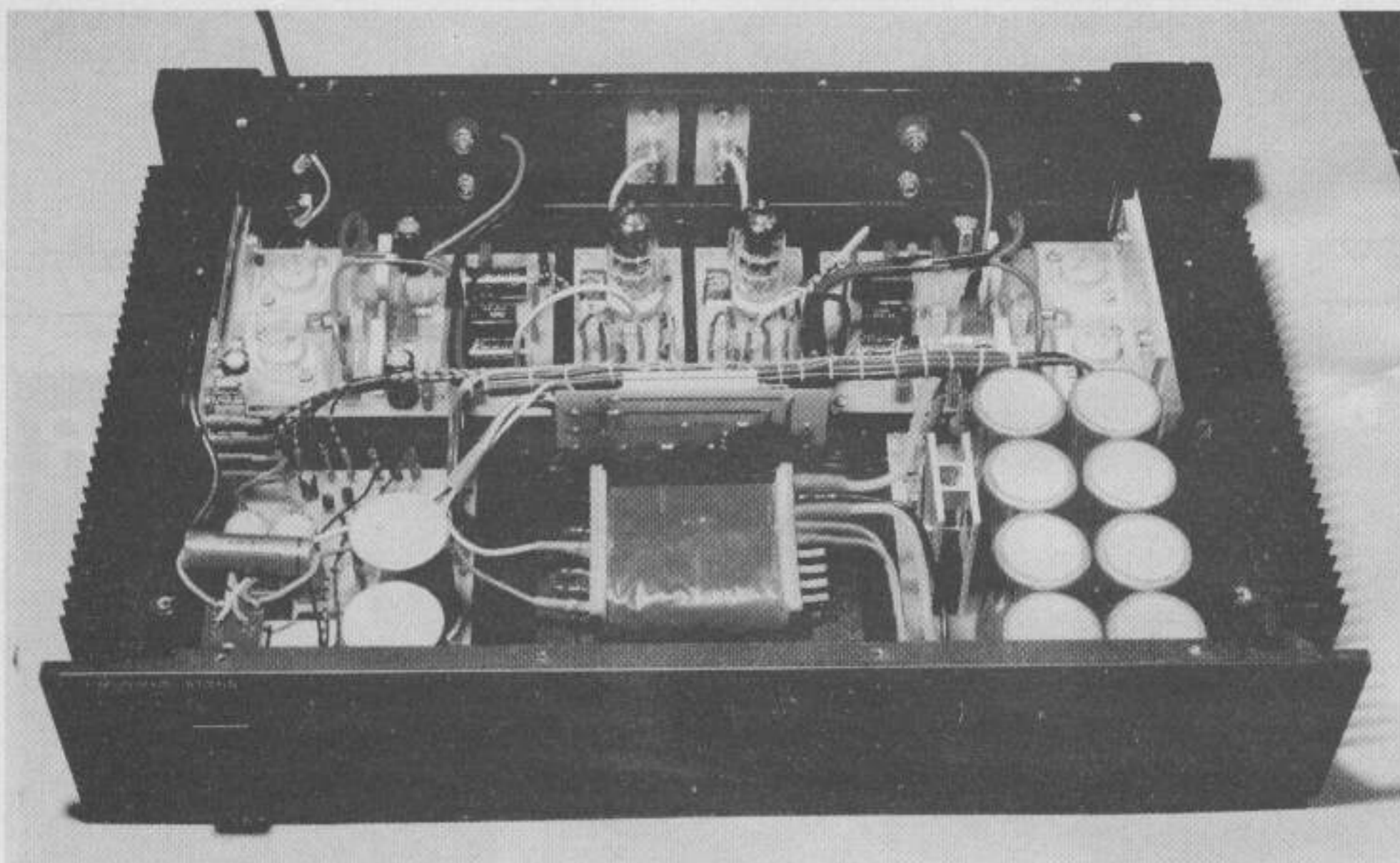


Στην ερώτηση αν οι ενισχυτές που χρησιμοποιούν τρανζίστορ είναι καλύτεροι από αυτούς με λυχνίες δεν μπορεί να δοθεί απάντηση με μια μόνο λέξη. Όλα εξαρτώνται από την εφαρμογή. Οι ενισχυτές με λυχνίες έχουν καλύτερη δυναμική χαρακτηριστική δηλαδή υπάρχει μια βαθμιαία αλλαγή στα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους ενώ στην περίπτωση των τρανζίστορ αυτή η αλλαγή είναι πολύ πιο απότομη. Ο υβριδικός ενισχυτής του άρθρου μας είναι ένας ελκυστικός συμβιβασμός. Βαθμίδες εισόδου με λυχνίες και βαθμίδες εξόδου με τρανζίστορ. Σαν αποτέλεσμα έχουμε ένα ενισχυτή που συνδυάζει τα καλύτερα χαρακτηριστικά των δύο κόσμων.

Υβριδικός ενισχυτής ισχύος

Συνδυασμός δύο διαφορετικών κόσμων



τάση της πύλης τους παραμένει σταθερή με την βοήθεια πηγών σταθερού ρεύματος και διόδων zener. Σαν αποτέλεσμα έχουμε ένα πολύ καλό ενισχυτή που μπορεί να κατασκευαστεί σχετικά εύκολα. Στην διαδρομή του σήματος υπάρχει μια μόνο λυχνία και δύο τρανζίστορ. Η ποιότητα του ήχου που παράγει είναι εξαιρετική και η ισχύς εξόδου του είναι τέτοια που μπορεί εύκολα να δυσαρεστήσει τους γείτονες. Η αντίσταση εισόδου είναι αρκετά μεγάλη, οπότε οι συσκευές CD μπορούν να συζευχθούν απευθείας μέσω ενός στερεοφωνικού ποτενσιόμετρου 47-100 KΩ.

Ο ενισχυτής τάσης

Το κυκλωματικό διάγραμμα του ενισχυτή τάσης SRPP φαίνεται στο σχήμα 1. Όπως αναφέραμε χρησιμοποιεί μια διπλοτρίοδο λυχνία τύπου PCC88. Στην είσοδο έχουμε απευθείας σύζευξη (DC) με αντίσταση της τάξης των 100 KΩ (R1). Η ανοδική τάση κυμαίνεται μεταξύ 130-140 V. Η ιδανική τιμή της είναι 138 V και δεν πρέπει να ξεπερνά τα 150 V. Καθένα από τα νήματα θέρμανσης απαιτεί τάση 7 V και επειδή συνδέονται σε σειρά η ολική τάση πρέπει να είναι 14 V. Παράλληλα με τα νήματα θέρμανσης συνδέονται αποζευκτικοί πυκνωτές τανταλίου τιμής 10 μF. Η άνοδος της δεύτερης τριόδου

Ανεξαρτήτως των πλεονεκτημάτων ή μειονεκτημάτων των ενισχυτών με λυχνίες ή τρανζίστορ που οφείλονται είτε στην φύση των εξαρτημάτων είτε στον σχεδιασμό των κυκλωμάτων, οι λυχνίες λειτουργούν καλύτερα σαν ενισχυτές τάσης ενώ τα τρανζίστορ σαν ενισχυτές ρεύματος. Αν χρησιμοποιηθούν λυχνίες στις βαθμίδες εξόδου θα έχουμε ένα επιπλέον μειονέκτημα, τον μετασχηματιστή εξόδου, που η τιμή του είναι ανάλογη με την ποιότητα του. Το κύκλωμα μας είναι υβριδικό από την άποψη ότι χρησιμοποιεί λυχνίες στην ενίσχυση τάσης και τρανζίστορ MOSFET στην ενίσχυση ρεύματος.

Ο ενισχυτής τάσης είναι ένα κύκλωμα push-pull σταθεροποιημένο σε σειρά (series regul-

ated push-pull, SRPP) που δίνει μεγάλη ενίσχυση και εξαιρετική ποιότητα. Βασίζεται σε μια διπλοτρίοδο λυχνία τύπου PCC88, που έχει εξαιρετική διαγωγιμότητα και απαιτεί σχετικά χαμηλές ανοδικές τάσεις.

Ο ενισχυτής ρεύματος κατασκευάζεται με τρανζίστορ MOSFET που η λειτουργία τους είναι παρόμοια με αυτή των λυχνιών και έχουν πολύ υψηλή αντίσταση εισόδου. Τα τρανζίστορ αυτά είναι συνδεσμοποιημένα σαν ακόλουθοι πηγής. Η

Προδιαγραφές

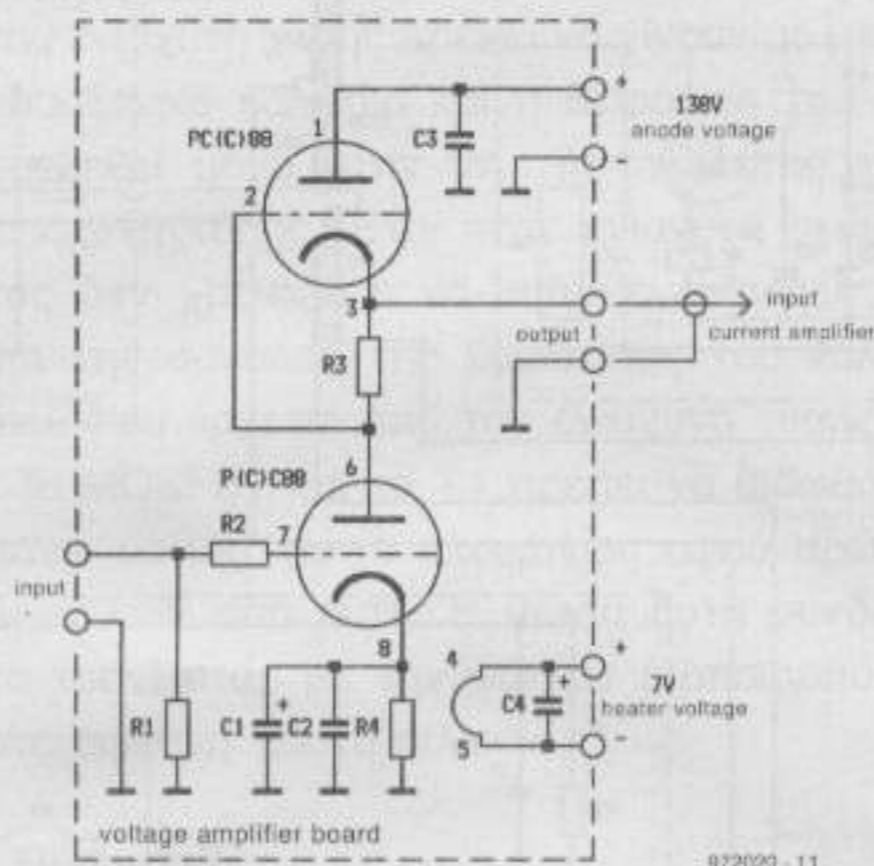
Ευαισθησία εισόδου για πλήρη έξοδο	900 mV
Αντίσταση εισόδου	100 KΩ
Ισχύς εξόδου με πλήρη οδήγηση	
1 KHz ημιτονικό σήμα σε 4 Ω	2x.65 W
Ενίσχυση στο 1 KHz	25 dB
Συντελεστής απόσβεσης στο 1 KHz	3.2
Απόκριση συχνοτήτων: 10 Hz	0 dB
100 KHz	-1.7 dB

αποζευγνύεται με τον πυκνωτή πολυεστέρα 47 nF/250V (C3).

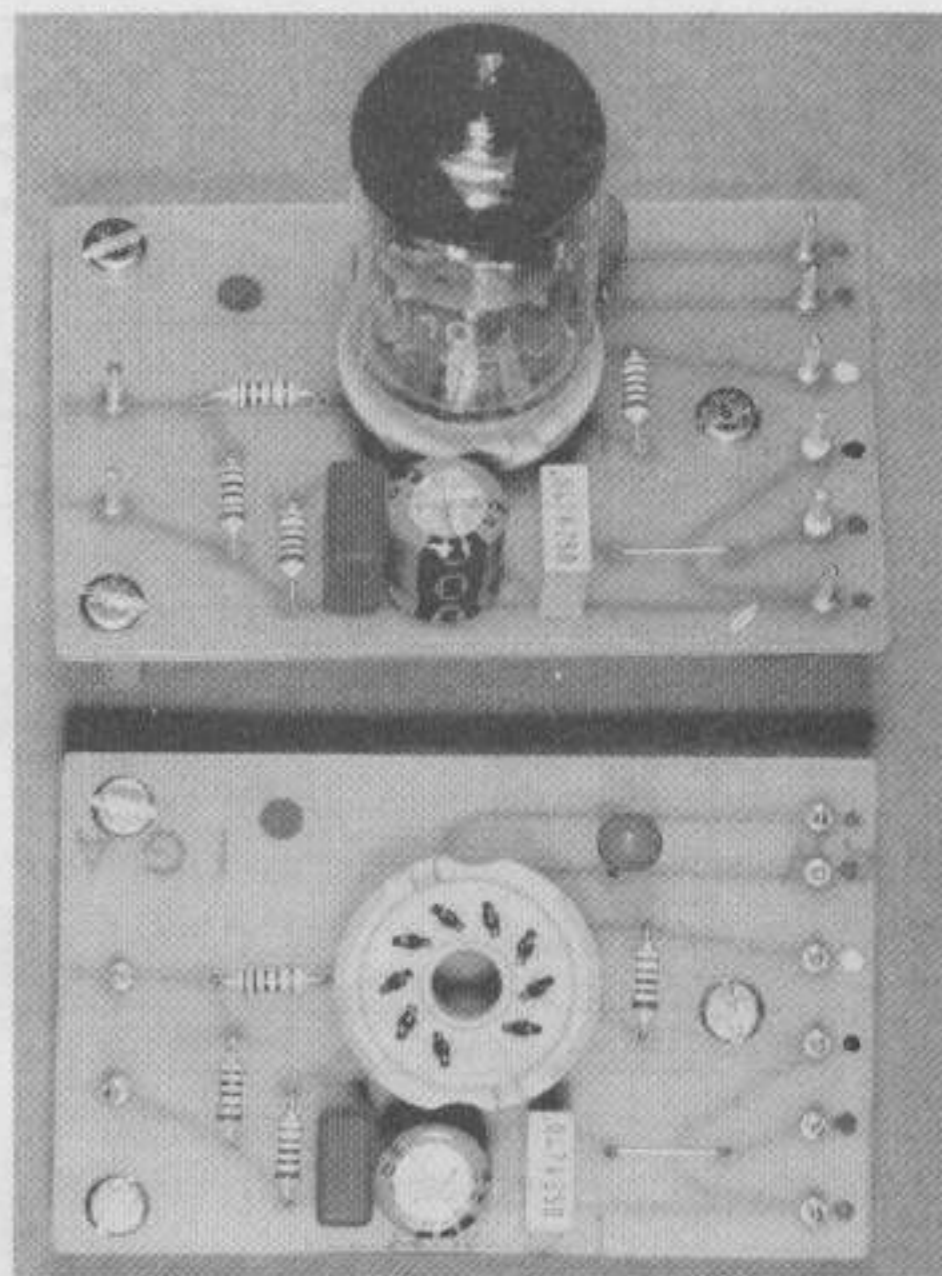
Ο ενισχυτής ρεύματος

Το κυκλωματικό διάγραμμα του ενισχυτή ρεύματος φαίνεται στο σχήμα 2. Βασίζεται στα τρανζίστορ T4 και T5, τύπου 2SK176 (ή 2SC175) και 2SJ56 (ή 2SJ55) αντίστοιχα. Αν σας αρκεί ισχύς εξόδου 50 W τότε η τάση τροφοδοσίας μπορεί να ελαττωθεί στα ± 30 V και τα παραπάνω τρανζίστορ μπορούν να αντικατασταθούν από άλλα τύπου IRF530/IRF9530 και IRF540/IRF9540 αντίστοιχα της International Rectifier.

Οι πυκνωτές εισόδου C1 και C2 είναι τύπου πολυπροπυλενίου (MKP) και συνδέονται παράλληλα με τους πυκνωτές πολυεστέρα C3 και C4 αντίστοιχα. Κατά την έναρξη της τροφοδοσίας του κυκλώματος οι πυκνωτές αυτοί



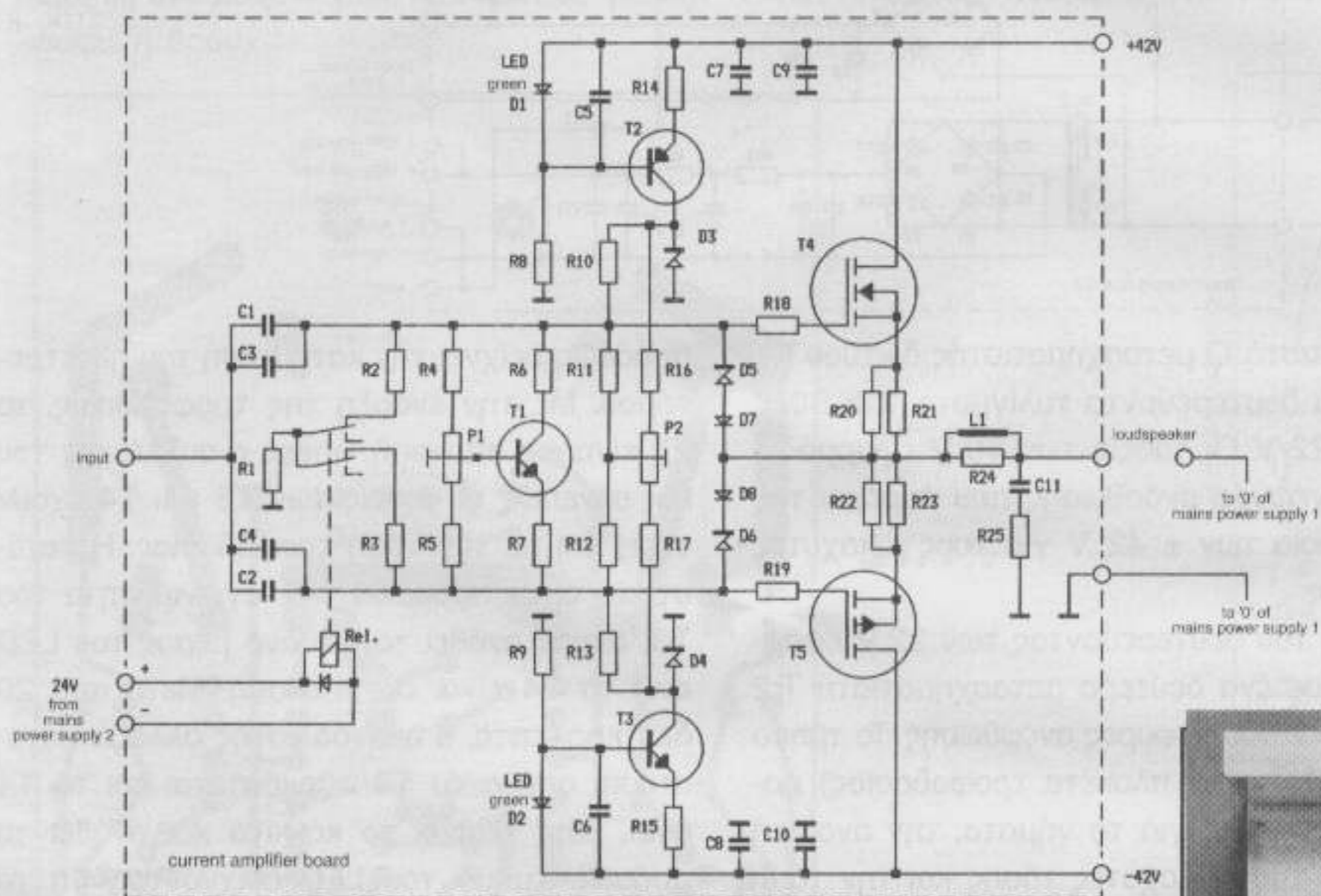
Σχήμα 1. Η πλακέτα του ενισχυτή τάσης περιέχει εκτός από τη λυχνία PCC88 και μερικά ακόμα εξαρτήματα



δο TYL:IGETA γύρω από την αντίσταση R24. Αποτελείται από 20 σπείρες χάλκινου βερνικωμένου σύρματος διαμέτρου 1 mm και τυλίγεται με την βοήθεια ενός τρυπανιού διαμέτρου 10 mm. Το δικτύωμα R25-C11 είναι ένα φίλτρο Boucherot.

Η τροφοδοσία

Το τροφοδοτικό του ενισχυτή φαίνεται στο σχήμα 3 και αποτελείται από 5 μέρη. Το πρώτο από αυτά τοποθετείται πριν από τον μετασχηματιστή δικτύου παρέχει ομαλό ξεκίνημα στις βαθμίδες εξόδου και επίσης εμποδίζει



Σχήμα 2. Ο ενισχυτής εξόδου βασίζεται σε MOSFETs.

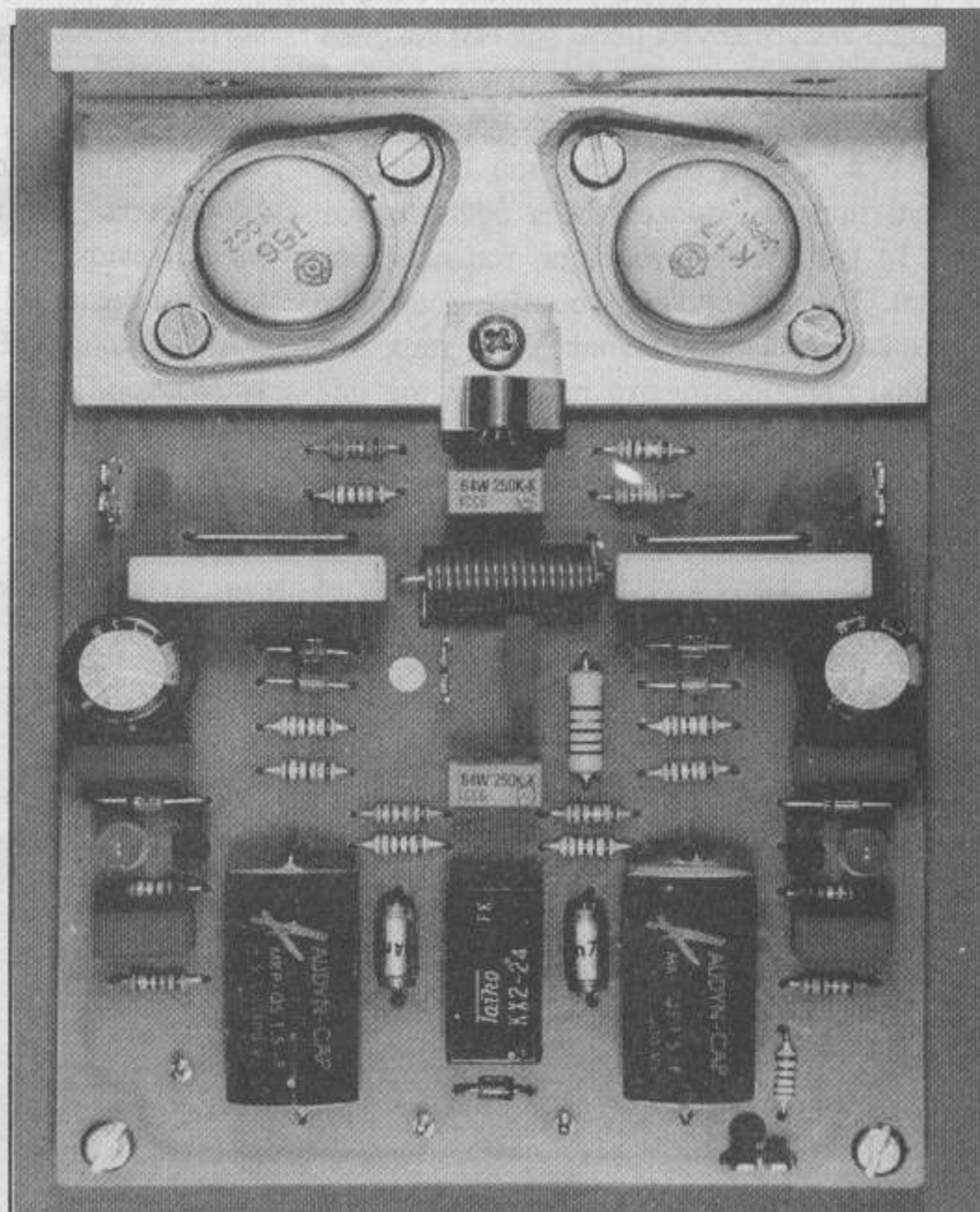
συνδέονται στην γη μέσω των αντιστάσεων R1-R3 και των επαφών του ηλεκτρονόμου. Οι επαφές του ηλεκτρονόμου ανοίγουν μετά από 20 s περίπου, όταν δηλαδή οι πυκνωτές έχουν φορτιστεί πλήρως έτσι ώστε να μην προκαλούνται ενοχλητικοί θόρυβοι στην έξοδο.

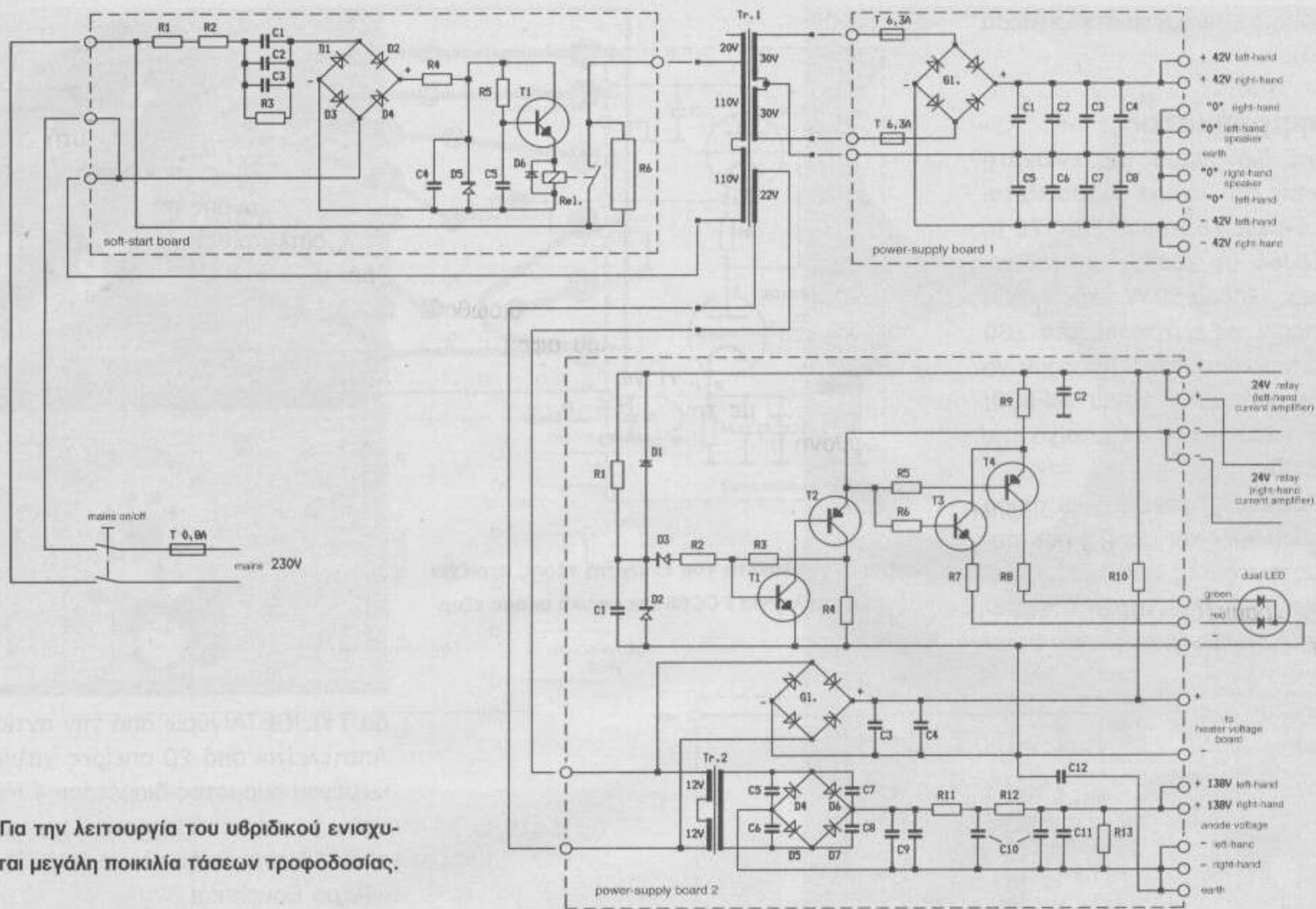
Το σήμα εισόδου εφαρμόζεται στις πύλες των MOSFET μέσω των πυκνωτών εισόδου και των R18 και R19 αντίστοιχα. Τα τρανζίστορ T2 και T3 λειτουργούν σαν πηγές σταθερού ρεύματος και εξασφαλίζουν σταθερή συνεχή τάση στις πύλες των MOSFET. Με το P2 εξασφαλίζουμε την απαραίτητη συμμετρία στην πόλωση των πυλών. Το ρεύμα ηρεμίας ρυθμίζεται με το P1. Οι δίοδοι προστασίας D5-D8 εμποδίζουν τις τάσεις των πυλών να πάρουν απαγορευτικά υψηλές τιμές.

Προσέξτε ότι οι τιμές των αντιστάσεων R18 και R19 δεν είναι ίσες. Με τον τρόπο αυτό

αντισταθμίζονται οι διαφορετικές χωρητικότητες εισόδου των δύο MOSFET καναλιού η και ρ αντίστοιχα. Οι αντιστάσεις αυτές συνδέονται απευθείας στις αντίστοιχες πύλες και δεν τοποθετούνται πάνω στην πλακέτα.

Οι αντιστάσεις των πηγών R20, R21 και R22, R23 που κάθε μια είναι 0.47 Ω μπορούν να αντικατασταθούν από μια αντίσταση τιμής 0.25 Ω που τοποθετείται πάνω στη πλακέτα στις θέσεις των R20 και R22. Η αυτεπαγωγή L1 στην έξο-





Σχήμα 3. Για την λειτουργία του υβριδικού ενισχυτή, χρειάζεται μεγάλη ποικιλία τάσεων τροφοδοσίας.

το κάψιμο των ασφαλειών λόγω των υψηλών ρευμάτων που αναπτύσσονται κατά την έναρξη της τροφοδοσίας του ενισχυτή. Τα ρεύματα αυτά περιορίζονται δραστικά από την αντίσταση R6 στα πρώτα δευτερόλεπτα λειτουργίας του ενισχυτή.

Η τάση του δικτύου εφαρμόζεται σε μια γέφυρα ανόρθωσης μέσω των R1, R2 και C1-C3 (που εκφορτίζονται μέσω της R3) και μετά σε ένα σταθεροποιητή τάσης 15 V. Ο πυκνωτής C5 φορτίζεται μέσω της R5 και μετά από 2 s η τάση στα άκρα του φτάνει σε τέτοια τιμή που προκαλεί την αγωγιμότητα του T1 και την ενεργοποίηση του ηλεκτρονόμου. Τότε οι επαφές του ηλεκτρονόμου βραχυκυκλώνουν την R6 και όλη η τάση του δικτύου εφαρμόζεται στο πρωτεύον του με-

τασχηματιστή. Ο μετασχηματιστής δικτύου Tr1 έχει τρία δευτερεύοντα τυλίγματα: 2 x 30 V και 1 x 22 V. Οι τάσεις των 30 V εφαρμόζονται σε γέφυρα ανόρθωσης που παρέχει την τροφοδοσία των ± 42 V για τους ενισχυτές ρεύματος.

Η τάση του δευτερεύοντος των 22 V εφαρμόζεται σε ένα δεύτερο μετασχηματιστή Tr2 και μετά σε δύο γέφυρες ανόρθωσης. Το τμήμα αυτό (πάνω στην πλακέτα τροφοδοσίας) παρέχει τις τάσεις για τα νήματα, την ανοδική τάση για τους ενισχυτές τάσης και την τάση τροφοδοσίας του ηλεκτρονόμου στην πλακέτα του ενισχυτή ρεύματος (σχήμα 2) μέσω ενός κυκλώματος καθυστέρησης.

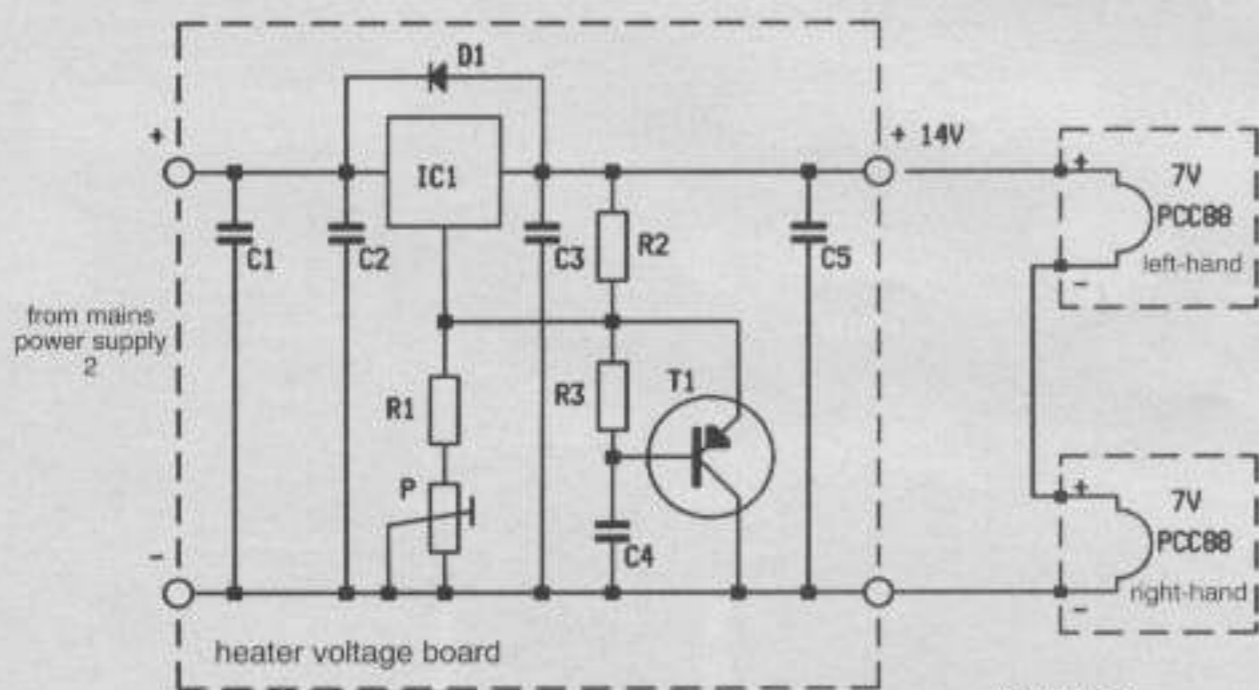
Το κύκλωμα καθυστέρησης βασίζεται στα τρανζίστορ T1 και T2 που σχηματίζουν ένα σκανδαλιστή Schmitt. Ο πυκνωτής C1 φορτίζεται μέσω της R1 μέχρι η τάση στα άκρα του φτάσει τα 10 V. Όταν συμβεί αυτό άγει η D3, ο σκανδαλιστής αλλάζει κατάσταση και ενεργοποιείται ο ηλεκτρονόμος του ενισχυτή ρεύματος. Έτσι οι επαφές του ηλεκτρονόμου αποσυνδέουν τις αντιστάσεις προστασίας R1-R3 στην είσοδο του ενισχυτή ρεύματος.

Το διπλό LED στην

πρόσοψη δείχνει την κατάσταση του ηλεκτρονόμου. Με την έναρξη της τροφοδοσίας, το T2 είναι σε αποκοπή, οπότε ο συλλέκτης του και συνεπώς οι βάσεις των T3 και T4 έχουν τάση ίση με την τάση τροφοδοσίας. Η κατάσταση αυτή προκαλεί την αγωγιμότητα του T3, οπότε ανάβει το κόκκινο μέρος του LED ενώ το T4 είναι σε αποκοπή. Μετά από 20 δευτερόλεπτα, ο σκανδαλιστής αλλάζει κατάσταση, οπότε το T3 αποκόπτεται και το T4 άγει. Τότε σβήνει το κόκκινο και ανάβει το πράσινο τμήμα του LED δείχνοντας ότι το κύκλωμα λειτουργεί. Με την διακοπή της τροφοδοσίας, ο C1 εκφορτίζεται μέσω της διόδου D1. Οι αντιστάσεις R9 και R10 και ο πυκνωτής C2 αποζευγνύουν την τροφοδοσία του ηλεκτρονόμου.

Το δευτερεύον των 22 V του Tr1 συνδέεται με το δευτερεύον τυλίγμα του Tr2. Επειδή το ρεύμα που χρειάζονται οι δύο λυχνίες δεν ξεπερνά τα 5 mA, οι προδιαγραφές του μετασχηματιστή Tr2 (ρεύμα 150 mA) επαρκούν και με το παραπάνω. Η τάση στο πρωτεύον, 130 V περίπου, ανορθώνεται από τις διόδους D4-D8 και εξομαλύνεται από τους πυκνωτές C9 και C10. Οι πυκνωτές C5-C8 και ο C11 εξουδετερώνουν τις παρεμβολές του δικτύου. Με την διακοπή της τροφοδοσίας, οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές C9 και C10 εκφορτίζονται μέσω της αντίστασης R13.

Η αρνητική μη σταθεροποιημένη τάση για την θέρμανση των νημάτων (περίπου 24 V) συνδέεται στην γη του κυκλώματος μέσω του πυκνωτή C12. Η τάση αυτή εφαρμόζεται στην είσοδο ενός ολοκληρωμένου σταθεροποιητή



Σχήμα 4. Η τάση θέρμανσης για την PCC88 είναι σταθεροποιημένη. Ωστόσο σημαντικότερος παράγοντας είναι η τιμή του ρεύματος θέρμανσης που πρέπει να είναι 300 mA.

μεταβλητής τάσης IC1 που βρίσκεται πάνω στην πλακέτα της τάσης θέρμανσης των νημάτων (σχήμα 4). Το τρανζίστορ T1 παρέχει βαθμιαία αύξηση της τάσης τροφοδοσίας για τα νήματα, ενώ ο σταθεροποιητής χρειάζεται έναν μικρό ψύκτη.

Κατασκευή

Ο στερεοφωνικός ενισχυτής αποτελείται από οκτώ πλακέτες (σχήμα 5), που δεν είναι διαθέσιμες από το περιοδικό. Σε όλες τις πλακέτες πρέπει να τοποθετηθούν κατάλληλοι συνδετήρες ώστε να διασυνδέονται εύκολα μεταξύ τους. Οι συνδετήρες για το τροφοδοτικό δικτύου και τον ενισχυτή ρεύματος πρέπει να έχουν διάμετρο ακροδεκτών 6.3 mm, ενώ οι υπόλοιποι 1.3 mm.

Ακόμα όλες οι γραμμές γείωσης των πλακετών δεν πρέπει να ενωθούν μεταξύ τους παρά σε ένα μόνο σημείο του κουτιού για την αποφυγή βρόγχων γείωσης.

Οι συνδέσεις της εισόδου και της εξόδου του ενισχυτή τάσης πρέπει να γίνουν με μονόμοαξονικό καλώδιο και η θωράκιση του να συνδεθεί μόνο στην γη της πλακέτας του ενισχυτή τάσης. Έτσι στον ενισχυτή ρεύματος δεν χρειάζεται να υπάρχει ακροδέκτης για την σύνδεση της θωράκισης του καλωδίου που έρχεται από τον ενισχυτή τάσης.

Τα MOSFET και το T1 πρέπει να βιδωθούν πάνω σε μια γωνία αλουμινίου αφού πρώτα μονωθούν από αυτή. Η γωνία αυτή συνδέει τα τρανζίστορ με την ψύκτρα (χρησιμοποιήστε άφθονη πάστα σιλικόνης).

Ρύθμιση

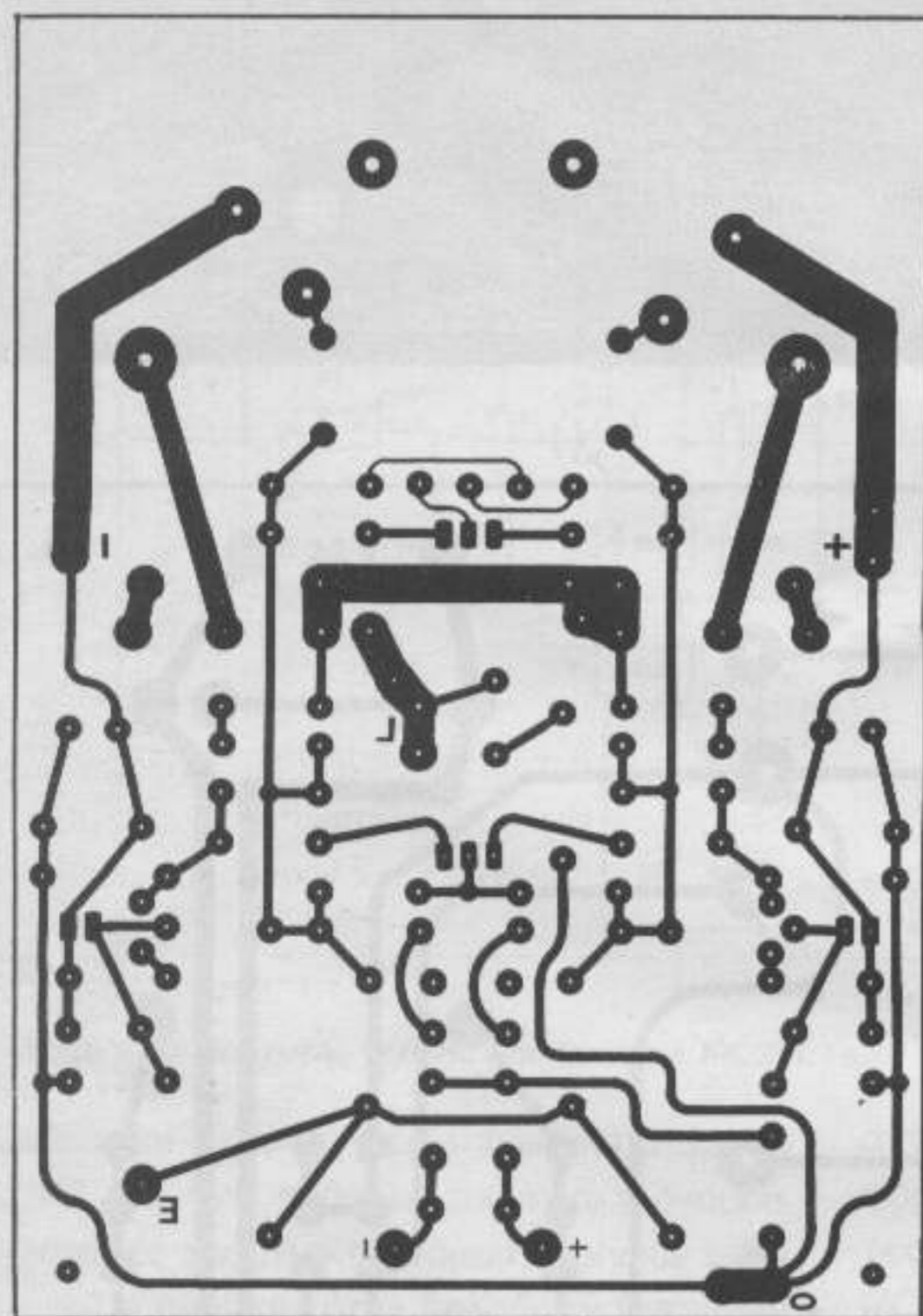
Πριν τροφοδοτήσετε το κύκλωμα θέστε τα τρίμμερ P1 και P2 της πλακέτας του ενισχυτή ρεύματος στην μέση της διαδρομής τους και το τρίμμερ στην πλακέτα τροφοδοσίας των νημάτων στο ελάχιστο. Προσωρινά το-

ποθετήστε σε σειρά με τις γραμμές τροφοδοσίας του ενισχυτή ρεύματος από μια αντίσταση 10 Ω, 1 W. Μην συνδέσετε ακόμα φορτίο στην έξοδο του ενισχυτή.

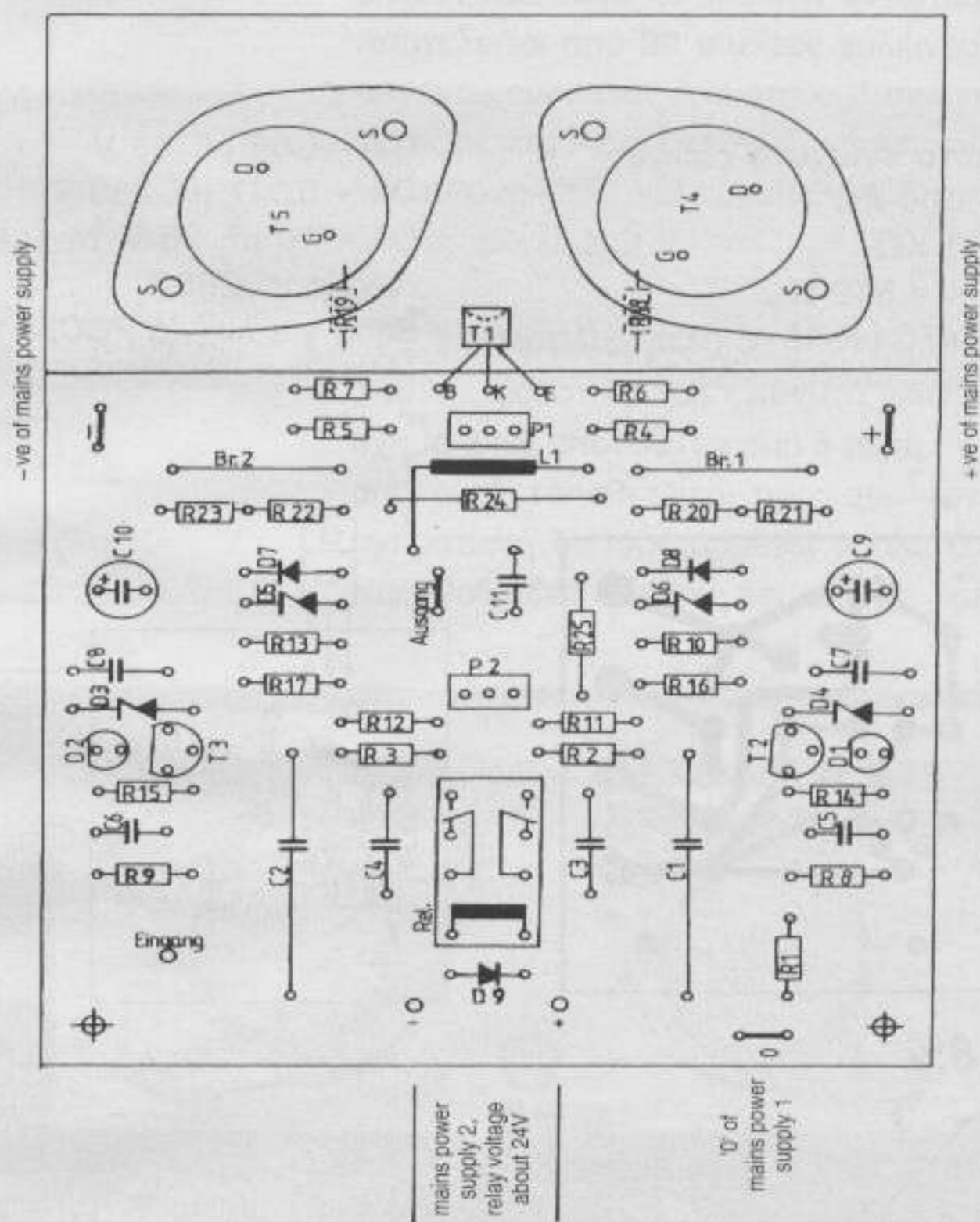
Ανοίξτε την τροφοδοσία και ρυθμίστε την τάση θέρμανσης στα 14 V. Επειδή τα νήματα της διπλοτριόδου PCC88 συνδέονται σε σειρά, είναι προτιμότερο και περισσότερο ακριβές να ρυθμιστεί το ρεύμα θέρμανσης στα 300 mA (μετά από μια περίοδο προθέρμανσης 10 περίπου λεπτών).

Στην συνέχεια συνδέστε ένα ψηφιακό βολτόμετρο (DVM) στις άκρες της αντίστασης των 10 Ω και ρυθμίστε το P1 μέχρι να πάρετε ένδειξη 1 V, που αντιστοιχεί σε ρεύμα ηρεμίας περίπου 100 mA. Μετά τοποθετήστε το βολτόμετρο στους ακροδέκτες εξόδου και ρυθμίστε το P2 για ένδειξη 0 mV.

Κλείστε την τροφοδοσία και αφαιρέστε τις



51.1%



Σχήμα 5. Οι πλακέτες της κατασκευής. Για ένα στερεοφωνικό ενισχυτή απαιτούνται δύο πλακέτες ενισχυτών τάσης και δύο ενισχυτών ρεύματος.

Κατάλογος εξαρτημάτων

Πλακέτα ενισχυτή ρεύματος

R1, R2, R3 = 160 Ω

R4 = 680 Ω

R5, R16, R17 = 750 KΩ

R6 = 10 Ω

R7 = 22 KΩ

R8, R9 = 10 KΩ

R10, R13 = 820 KΩ

R11, R12 = 180 KΩ

R14, R15 = 200 Ω

R18 = 680 Ω

R19 = 510 Ω

R20, R21-R23 = 0.47 Ω, 5 W

R24 = 5.1 Ω, 1 W

R25 = 10 Ω, 1 W

P1, P2 = 250 KΩ ποτενσιόμετρα για τοποθέτηση σε πλακέτα

C1, C2 = 1.5 μF, 250 V μεταλλικοί πολυπροπυλενίου (MKP)

C3, C4 = 4.7 μF, 160 V μεταλλικοί πολυεστέρα (MKT)

C5, C6 = 0.68 μF, 63 V

C7, C8 = 0.22 μF, 100 V

C9, C10 = 330 μF, 63 V, ηλεκτρολυτικός

C11 = 0.022 μF, 100 V

D1, D2 = LED, 5 mm, πράσινα

D3, D4 = δίοδοι zener, 15 V, 1 W

D5, D6 = δίοδοι zener, 12 V, 500 mW

D7, D8 = 1N4148

T1 = 2SC1775

T2 = BC 560

T3 = BC 550

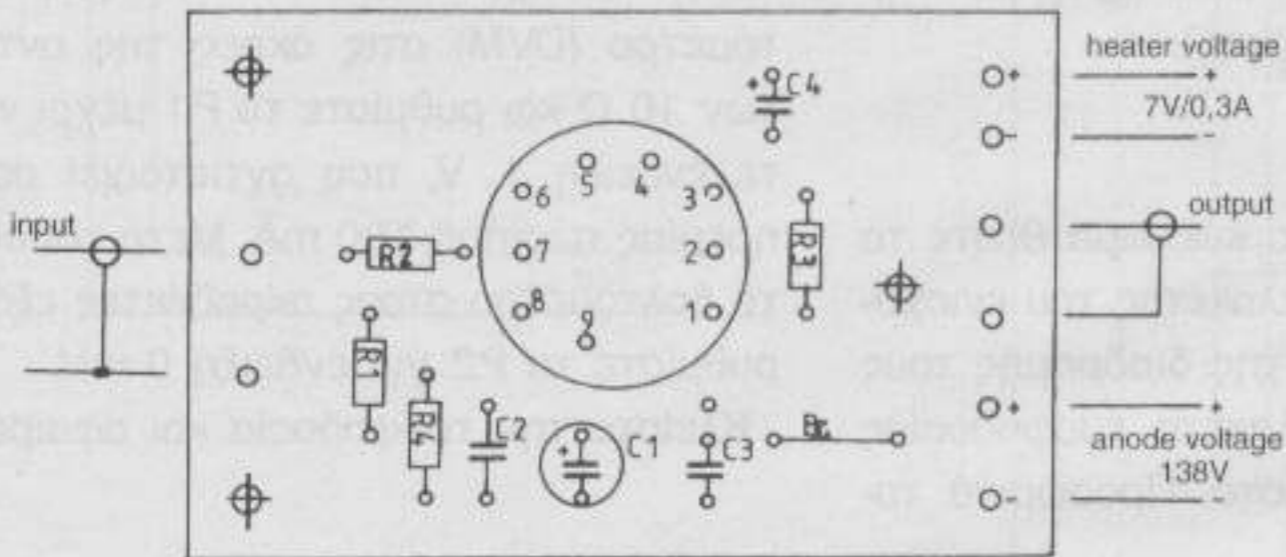
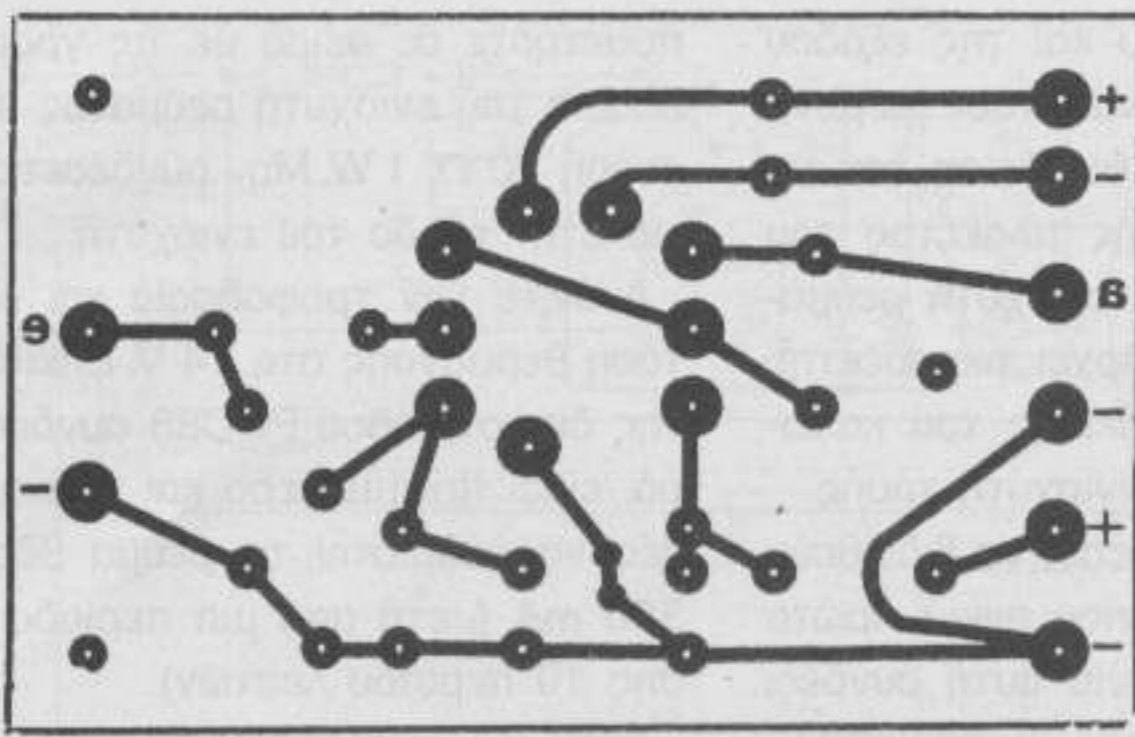
T4 = 2SK176 ή 2SK175 (βλέπε κείμενο)

T5 = 2SJ56 ή 2SJ55 (βλέπε κείμενο)

L1 = δείτε το κείμενο

Re1 = ηλεκτρονόμος μινιατούρα 24 V, δύο επαφών, αντίσταση πηνίου 1400 Ω

70,8%



Πλακέτα ενισχυτή τάσης

R1 = 100 KΩ

R2 = 1 KΩ

R3, R4 = 510 Ω

C1 = 470 μF, 16 V, ηλεκτρολυτικός

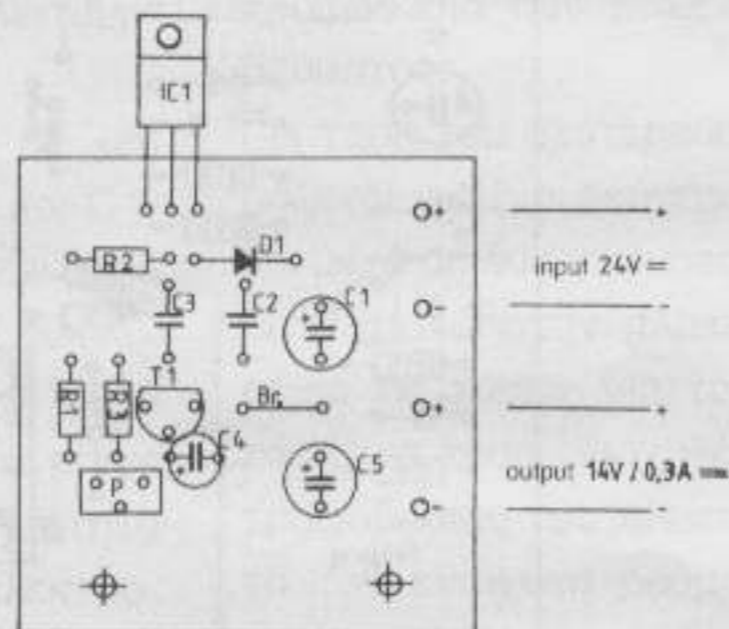
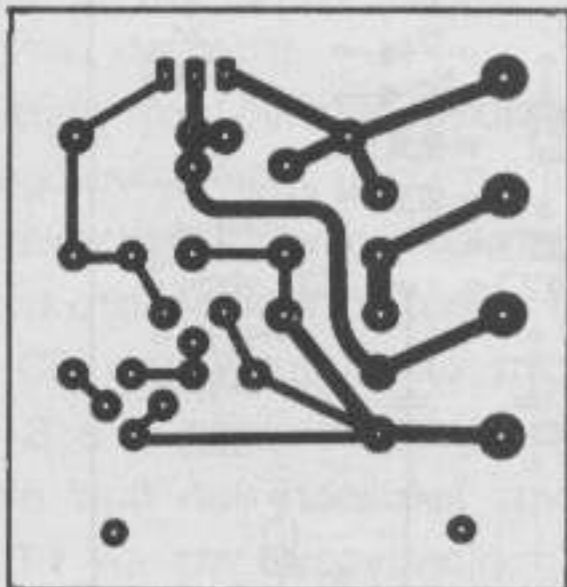
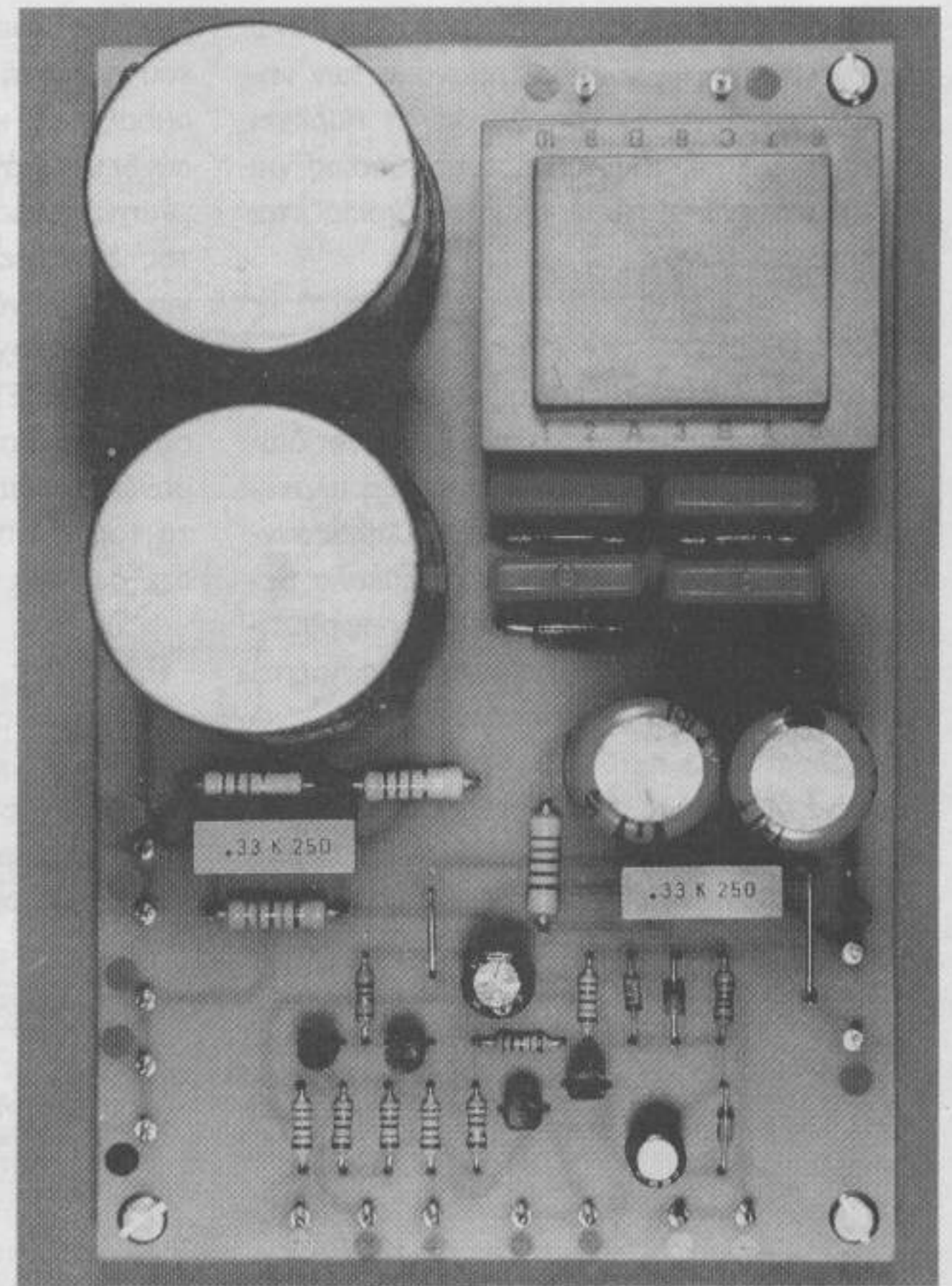
C2 = 0.68 μF, 63 V

C3 = 0.047 μF, 250 V

C4 = 10 μF, 35 V τανταλίου

Λυχνία PCC88

Βάση για λυχνία PCC88 για πλακέτα



53,8%

Πλακέτα τάσης θέρμανσης

R1 = 2.2 KΩ

R2 = 270 Ω

R3 = 150 KΩ

P1 = 1 KΩ τρίμμερ

C1 = 47 μF, 35 V ηλεκτρολυτικός

C2, C3 = 0.1 μF, 100 V

C4 = 4.7 μF, 16 V ηλεκτρολυτικός

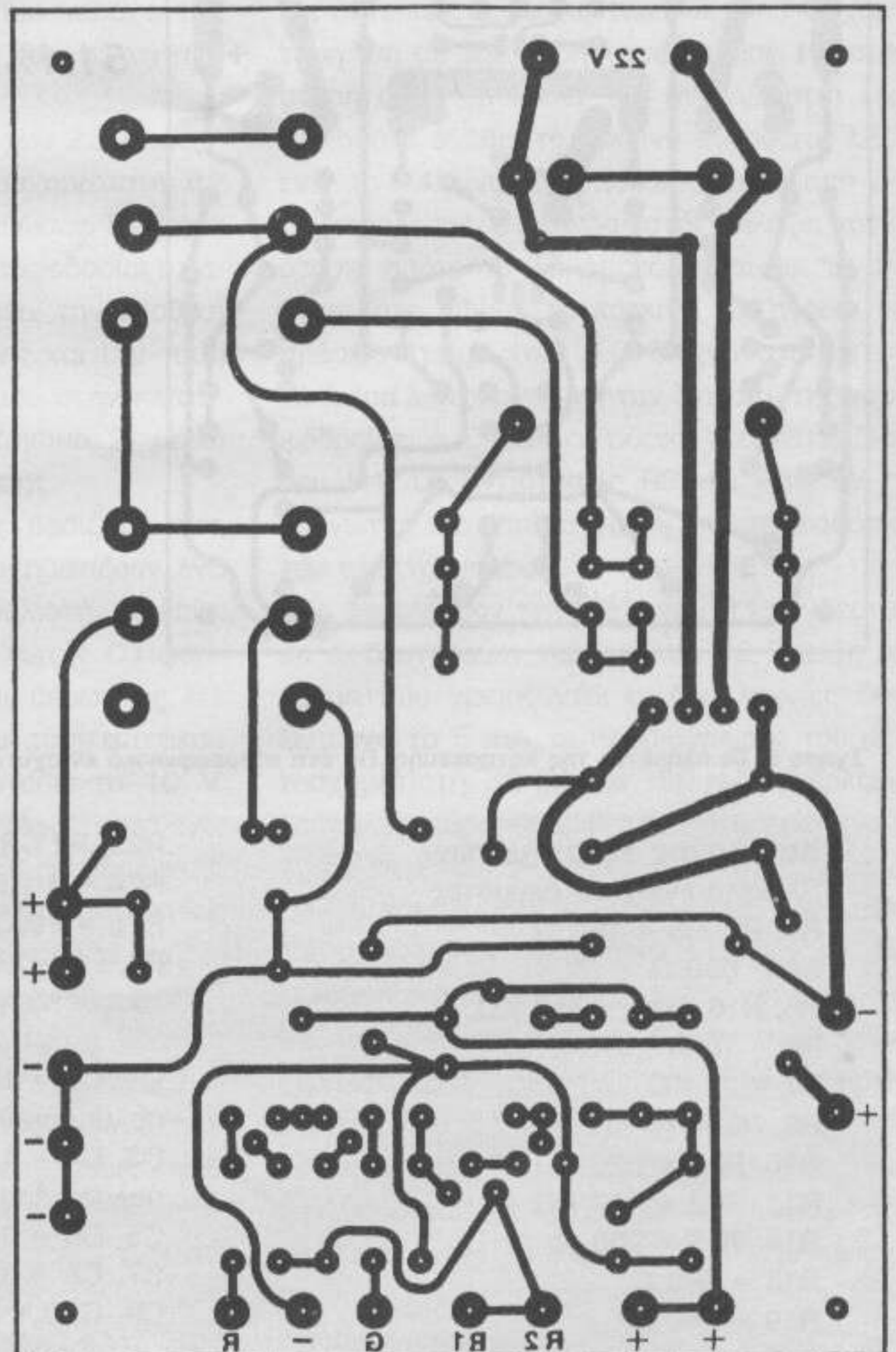
C5 = 470 μF, 16 V ηλεκτρολυτικός

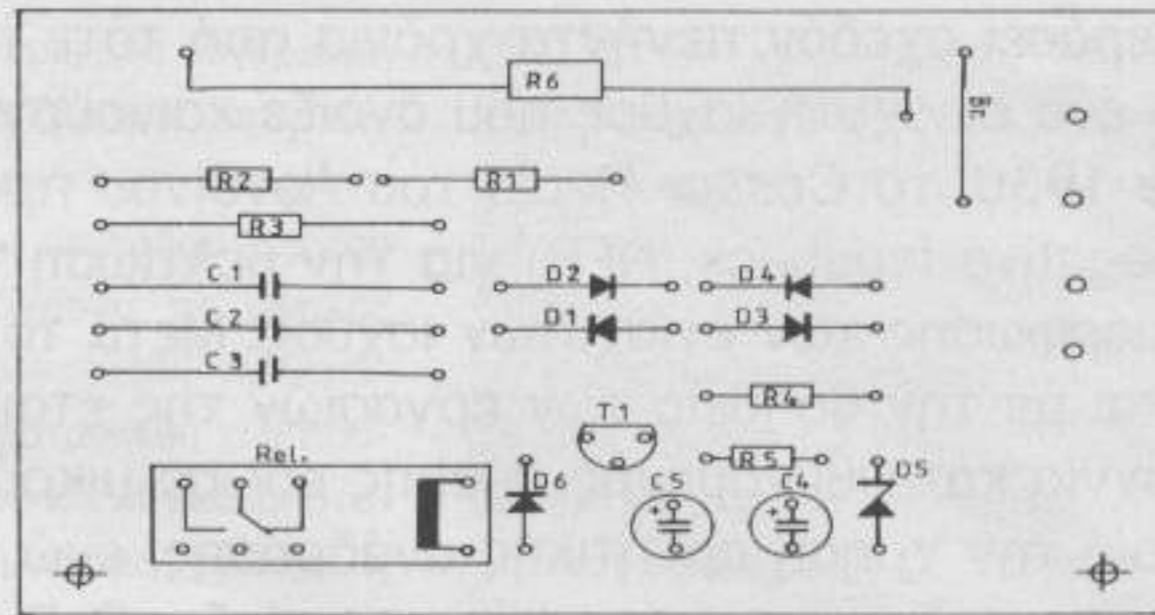
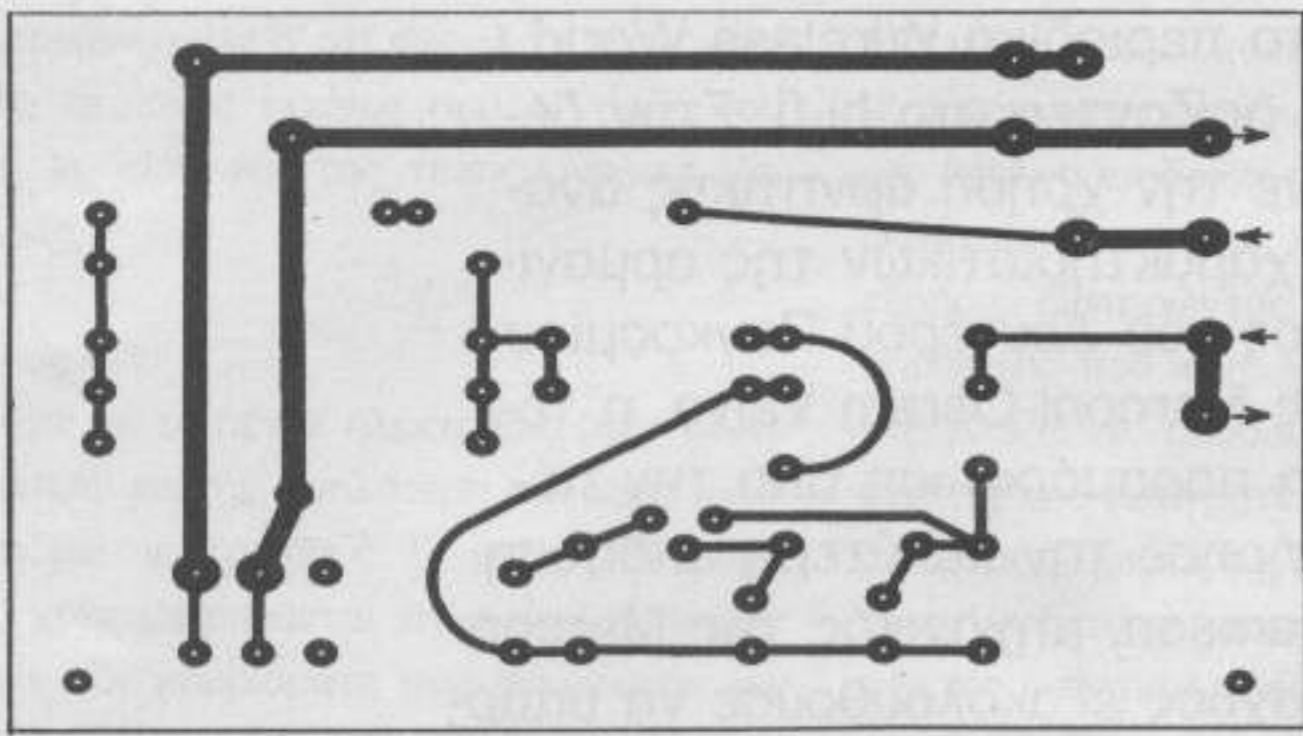
D1 = 1N4148

T1 = BC 560

IC1 = LM317

64%



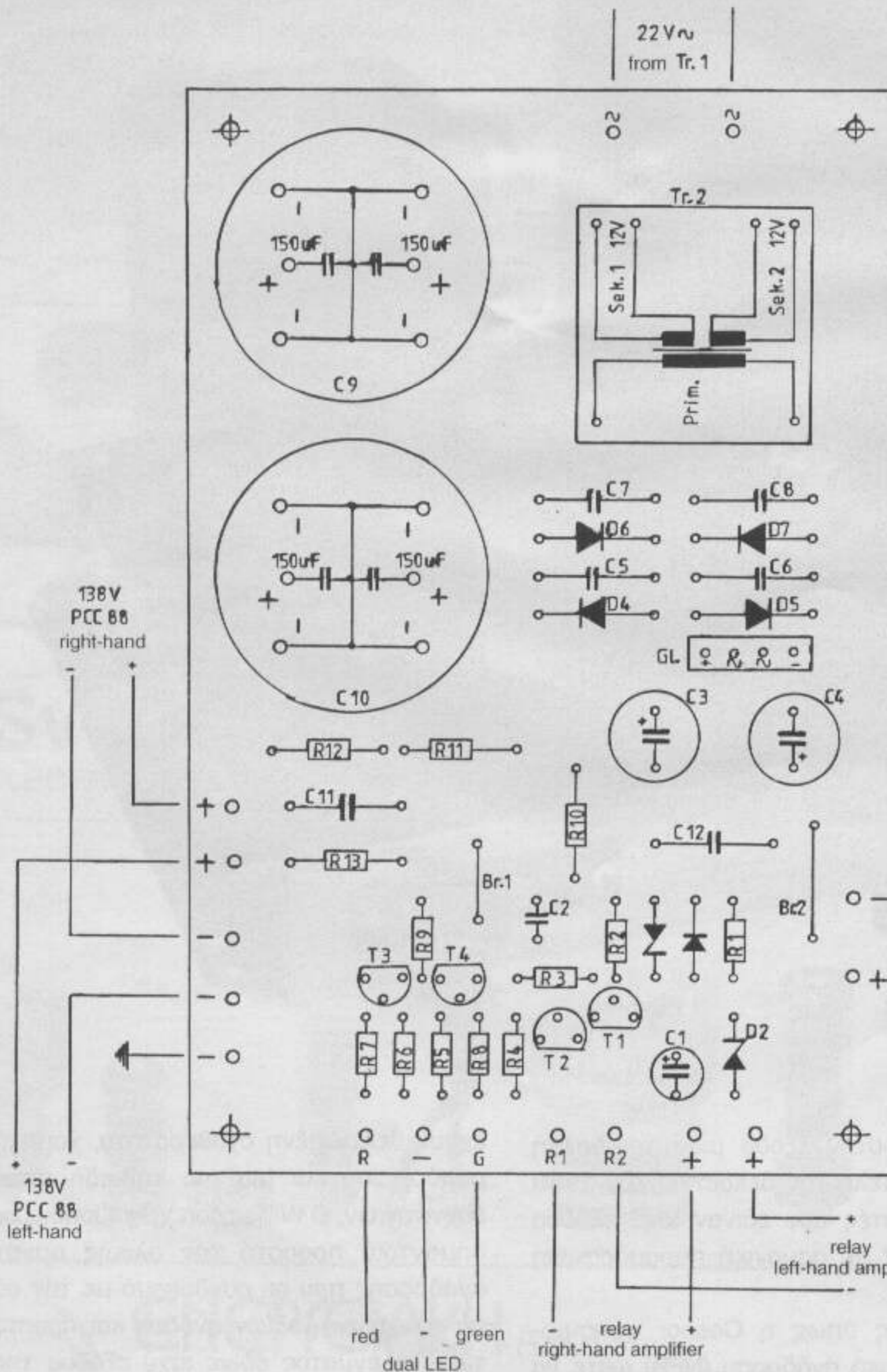


Πλακέτα ομαλής έναρξης της τροφοδοσίας

- R1, R4 = 120 Ω, 1 W
- R2 = 150 Ω, 1 W
- R3 = 1 MΩ, 1 W
- R5 = 10 KΩ
- R6 = 100 Ω, 11 W
- C1 = 0.1 μF, 250 V, a.c
- C2, C3 = 0.33 μF, 250 V

- C4 = 470 μF, 16 V, ηλεκτρολυτικός
- C5 = 100 μF, 16 V, ηλεκτρολυτικός
- D1-D4 = 1N4007
- D5 = δίοδος zener, 15 V, 1 W
- D6 = 1N4148
- T1 = BC 550
- Rel1 = ηλεκτρονόμος 12 V, μιας επαφής 16 A

δύο αντιστάσεις των 10 Ω. Ανοίξτε πάλι την τροφοδοσία, συνδέστε το βολτόμετρο κατά μήκος της R20 ή της R22 και αν χρειάζεται ρυθμίστε πάλι το P1 για να πάρετε ένδειξη 230-250 mV. Αφήστε ανοικτό τον ενισχυτή για δύο περίπου ώρες και ελέγξτε πάλι την τάση. Ολοκληρώνοντας, συνδέστε πάλι το βολτόμετρο (DVM) στους ακροδέκτες εξόδου, ελέγξτε για τάση 0 mV και αν χρειάζεται ρυθμίστε πάλι το P2.



Πλακέτα κυρίως τροφοδοτικού

- R1 = 330 KΩ
- R2, R3, R5, R6 = 100 KΩ
- R4 = 10 Ω
- R7, R8 = 1.3 KΩ
- R9 = 100 Ω
- R10 = 220 Ω, 1 W
- R11, R12 = 1 KΩ, 1 W
- R13 = 220 KΩ, 1 W
- C1 = 100 μF, 16 V, ηλεκτρολυτικός
- C2 = 100 μF, 35 V, ηλεκτρολυτικός
- C3, C4 = 2200 μF, 40 V, ηλεκτρολυτικός
- C5-C8 = 0.01 μF, 250 V
- C9, C10 = 150 μF, 350 V
- C11, C12 = 0.33 μF, 250 V
- D1 = 1N4148
- D2 = δίοδος zener, 12 V, 500 mW
- D3 = δίοδος zener, 10 V, 500 mW
- D4-D7 = 1N4007
- G1 = B40C1500/1000
- T1, T3 = BC 550
- T2, T4 = BC 560
- Tr2 = Μετασχηματιστής με προδιαγραφές 130 V πρωτεύον, 2 x 12 V δευτερεύον, ρεύμα 150 mA.