



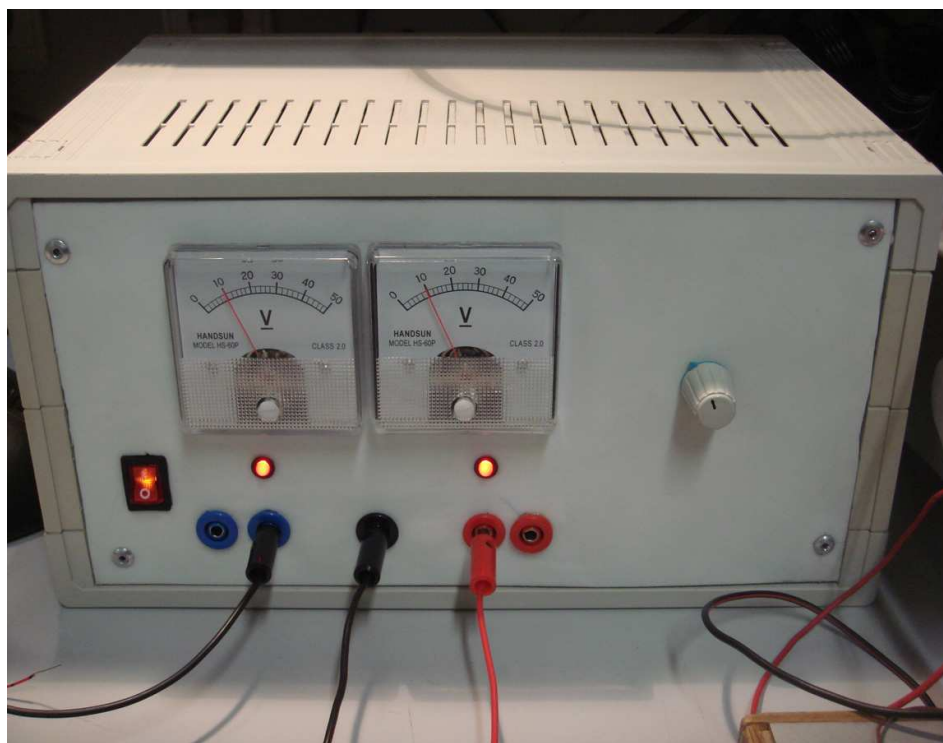
Α.Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης
Τμήμα Ηλεκτρονικής

**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ : ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΟ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ 2x30V



ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΜΠΙΖΟΠΟΥΛΟΣ ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΗΣ

**ΦΟΙΤΗΤΗΣ : ΠΑΠΑΙΩΑΝΝΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
ΚΑΣ:502253**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3-4
Περίληψη.....	5
Πρόλογος.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ.....	7
1.1 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ.....	7
1.2 Μετασχηματιστής υποβιβασμού.....	7-9
1.3 Απώλειες από σίδηρο.....	9-10
1.4 Απώλειες από χαλκό.....	10
1.5 Απώλειες από μαγνητική σκέδαση.....	10-11
1.6 Υπολογισμός μετασχηματιστή υποβιβασμού χαμηλής ισχύος.....	11-13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ.....	18
ΑΝΟΡΘΩΣΗ.....	18
2.1.α Απλή ανόρθωση.....	18
2.1.β Απλή ανόρθωση χωρίς πυκνωτή εξομάλυνσης.....	18-19
2.1.γ Απλή ανόρθωση με πυκνωτή εξομάλυνσης.....	19-21
2.1.δ Διπλή ανόρθωση.....	22
2.1.δ.1 Διπλή ανόρθωση με δυο διόδους.....	22-24
2.1.δ.2 Διπλή ανόρθωση με γέφυρα.....	25-26
2.1.δ.3 Διπλή ανόρθωση με πυκνωτή εξομάλυνσης.....	26-27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ	
ΜΕΛΕΤΗ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΩΝ	
3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	28
3.1.1 Τύποι τροφοδοτικών.....	28
3.2 Μετασχηματιστής.....	29-30
3.3 Ανορθωτής.....	30
3.4 Διπλή ανόρθωση με γέφυρα.....	31
3.5 Εξομάλυνση.....	31-32
3.6 Σταθεροποιητής.....	32-33
3.7 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΖΟΥΝ ΕΝΑ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ.....	33-34
3.7.1 Μετρήσεις που περιγράφουν την ποιότητα ενός τροφοδοτικού.....	34-35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ	
ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΟ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ 2x30V.....	36
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.....	36
ΤΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ.....	36-39
ΤΟ ΤΥΠΩΜΕΝΟ ΚΥΚΛΩΜΑ.....	40
ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.....	41
Η ΤΑΣΗ ΕΞΟΔΟΥ $V_{DC}=0V$.....	42
Η ΤΑΣΗ ΕΞΟΔΟΥ ΘΕΤΙΚΗ $V_{DC}=10V$.....	43
Η ΤΑΣΗ ΕΞΟΔΟΥ ΑΡΝΗΤΙΚΗ $V_{DC}=-10V$.....	44
Ο ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΥΜΑΤΩΣΗΣ.....	45
ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΛΙΚΩΝ.....	46
DATA SHEETS.....	47
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	85

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι διάφορες ηλεκτρονικές συσκευές όπως οι Ραδιοφωνικοί και τηλεοπτικοί δέκτες, τα μαγνητόφωνα, τα ηλεκτρόφωνα, τα συστήματα ενδοσυνεννοήσεως, τηλεπικοινωνιών κ.λ.π αποτελούνται από επί μέρους βαθμίδες.

Οι βαθμίδες αυτές είναι ενισχυτές τάσεως και ισχύος σημάτων ακουστικών, ραδιοφωνικών ή τηλεοπτικών συχνοτήτων, φωρατές, ταλαντωτές κ.λ.π.

Κάθε μία από τις βαθμίδες αυτές περιλαμβάνει διάφορα εξαρτήματα όπως πηνία, αντιστάσεις, πυκνωτές, διόδους και transistor.

Οι διόδοι καθώς και τα transistor αποτελούν το σπουδαιότερο εξάρτημα μιας βαθμίδας σε μία ηλεκτρονική συσκευή και η εργασία τους απαιτεί απαραίτητως ύπαρξη τάσεων συνεχούς ρεύματος διαφόρων τιμών. Έτσι παρίσταται ανάγκη χρησιμοποίησης πηγών συνεχούς ρεύματος για την κανονική λειτουργία των διαφόρων ηλεκτρονικών συσκευών.

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια σήμερα παρέχεται υπό μορφή εναλλασσόμενου ρεύματος λόγω των πλεονεκτημάτων που παρέχει αυτό έναντι του συνεχούς ρεύματος αφ' ενός στην απλή κατασκευή των γεννητριών και αφ' ετέρου στις μικρές απώλειες κατά την μεταφορά και διανομή του.

Στην πατρίδα μας ή απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια παράγεται και διανέμεται από την ΔΕΗ στους διάφορους καταναλωτές με τάσεις :

- α. 220 V για μονοφασικές καταναλώσεις και
- β. 380 V για τριφασικές καταναλώσεις.

Η συχνότητα του εν λόγω εναλλασσόμενου ρεύματος είναι $F=50$ c/sec.

Η παραπάνω περίπτωση απαιτεί την χρήση των τροφοδοτικών συσκευών για την καλή εργασία των διαφόρων ηλεκτρονικών συσκευών .Η σύνδεση μιας τροφοδοτικής συσκευής με την πηγή ac. και με την ηλεκτρονική συσκευή δείχνεται στο σχήμα 1:



Σχήμα 1: Η σύνδεση τροφοδοτικής συσκευής dc

Όλα τα ηλεκτρονικά κυκλώματα λειτουργούν με συνεχείς τάσεις. Η τάση που έχουμε στη διάθεσή μας είναι τα 220 volt του δικτύου, η οποία εναλλάσσεται σε συχνότητα 50 HZ. Πρέπει, λοιπόν, για να τροφοδοτήσουμε οποιοδήποτε ηλεκτρονικό κύκλωμα από την τάση του δικτύου να τη μετατρέψουμε πρώτα σε συνεχή τάση, μικρότερη ή μεγαλύτερη των 220 volt, ανάλογα με τις προδιαγραφές του κυκλώματος που θα τροφοδοτήσουμε.

Τα κυκλώματα που μετατρέπουν την εναλλασσόμενη τάση του δικτύου σε συνεχή τάση κατάλληλη για την τροφοδοσία ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, ονομάζονται τροφοδοτικά κυκλώματα.

Η μετατροπή της τάσης του δικτύου σε εναλλασσόμενη τάση ,διαφορετική των 220 volt, ονομάζεται μετασχηματισμός.

Η μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή ονομάζεται ανόρθωση.

Η ανορθωμένη τάση είναι συνεχής μεταβαλλόμενη. Η μεταβολή αυτή ονομάζεται κυμάτωση. Η συχνότητα αυτής της μεταβολής ονομάζεται συχνότητα κυμάτωσης. Η εξάλειψη της κυμάτωσης (ή μείωση) ονομάζεται εξομάλυνση. Η εξομάλυνση επιτυγχάνεται με τα φίλτρα εξομάλυνσης.

Τα τροφοδοτικά για βελτίωση της τάσης εξόδου τους, μπορεί να έχουν και κυκλώματα ρύθμισης ή σταθεροποίησης.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η βασικότερη κατασκευή για κάθε ερασιτέχνη και επαγγελματία , ήταν και είναι ένα τροφοδοτικό. Σχέδια τροφοδοτικών έχουν δημοσιευτεί πολλά. Σχεδόν όλα όμως, αναφέρονται σε απλή τροφοδοσία. Το συγκεκριμένο σχέδιο έρχεται να λύσει τα προβλήματα που παρουσιάζονται, όταν κάποιο κύκλωμα απαιτεί συμμετρική τροφοδοσία. Έτσι, όταν θέλετε να δοκιμάσετε κάποιον ενισχυτή ή προενισχυτή ή άλλη κατασκευή, πριν την τοποθετήσετε στο κουτί, το τροφοδοτικό που σας προτείνουμε θα σας λύσει τα χέρια. Το τροφοδοτικό παρέχει συμμετρική τάση 2x30V και ρεύμα 2x1,5 A, με τον κατάλληλο μετασχηματιστή, ρυθμίζονται δε και οι δύο τάσεις με ένα κοινό ποτενσιόμετρο. Σαν κατασκευή είναι απλή και συμπαγής, ενώ το κόστος της είναι χαμηλό. Εδώ πρέπει να τονίσουμε ότι υπάρχει μόνο ποτενσιόμετρο για να ρυθμίζει την τάση εξόδου. Οι δύο τάσεις έχουν την ίδια απόλυτη τιμή και διαφέρουν στο πρόσημο

Πρόλογος

Όλα τα ηλεκτρονικά κυκλώματα λειτουργούν με συνεχείς τάσεις . Η τάση που έχουμε στη διάθεση μας (εκτός από τις μπαταρίες) είναι τα 220V του δικτύου, η οποία εναλλάσσεται σε συχνότητα 50 Hz . Πρέπει, λοιπόν, για να τροφοδοτήσουμε οποιοδήποτε ηλεκτρονικό κύκλωμα από την τάση του δικτύου να την μετατρέψουμε πρώτα σε συνεχή τάση, μικρότερη ή μεγαλύτερη των 220V, ανάλογα με τις προδιαγραφές του κυκλώματος που θα τροφοδοτήσουμε .

Τα κυκλώματα που μετατρέπουν την τάση του δικτύου σε συνεχή τάση κατάλληλη για την τροφοδοσία ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, ονομάζονται τροφοδοτικά κυκλώματα.

Η μετατροπή της τάσης του δικτύου σε εναλλασσόμενη τάση ονομάζεται μετασχηματισμός.

Η μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή ονομάζεται ανόρθωση.

Η ανορθωμένη τάση είναι συνεχής μεταβαλλόμενη. Η μεταβολή αυτή ονομάζεται κυμάτωση.

Η συχνότητα μεταβολής, συχνότητα κυμάτωσης.

Η εξάλειψη της κυμάτωσης (ή μείωση) λέγεται εξομάλυνση. Τα τροφοδοτικά, για βελτίωση της τάσης εξόδου τους, μπορεί να έχουν και κυκλώματα ρύθμισης ή σταθεροποίησης.

Στην παρακάτω εργασία θα πραγματοποιήσουμε μια ανάλυση τον τροφοδοτικών καθώς και τον επιμέρους ηλεκτρονικών κυκλωμάτων που τα αποτελούν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ

Μετασχηματιστής

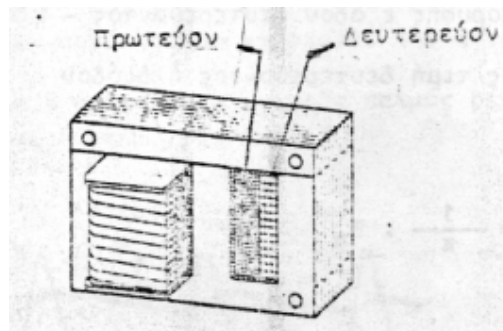
Ο μετασχηματιστής παίρνει από το δίκτυο την ισχύ που θέλουμε (σε συνάρτηση με τη τάση που επιθυμούμε) και ταυτόχρονα απομονώνει τα άλλα τμήματα από το δίκτυο.

Τα κύρια χαρακτηριστικά που προσέχουμε σε έναν μετασχηματιστή είναι τα εξής :

A)Να έχει πυρήνα καλής ποιότητας ώστε να μην οδηγείται στον κόρο εξ' αιτίας των στιγμιαίων ρευμάτων που διαρρέουν το δευτερεύον.

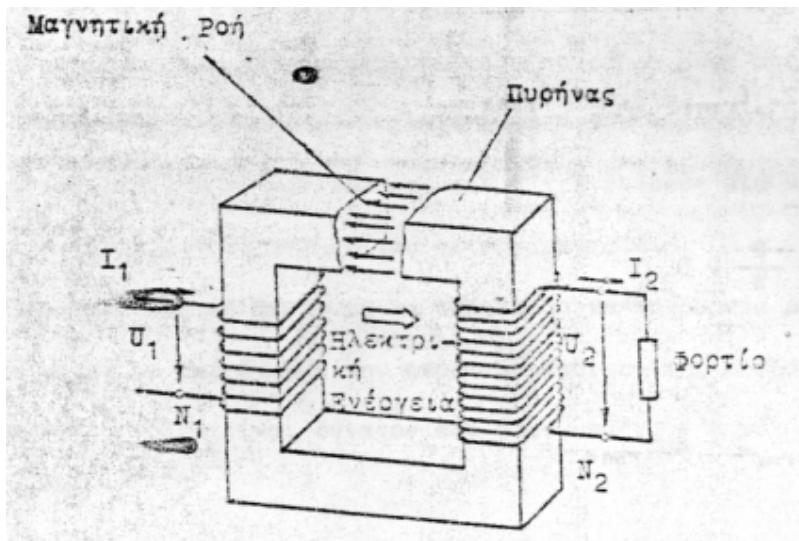
B)Η τάση στο δευτερεύον να μην πέφτει κάτω από την τιμή για την οποία έχει υπολογιστεί, την στιγμή που τραβάει το μέγιστο υπολογισμένο ρεύμα.

1.2 Μετασχηματιστής υποβιβασμού



σχήμα 1

Με τον μετασχηματιστή του σχήματος 1 μεταφέρουμε την ισχύ από το πρωτεύον τύλιγμα στο δευτερεύον με μαγνητική σύζευξη.



σχήμα 2

Τυλίγοντας το πρωτεύον πηνίο του μετασχηματιστή επάνω σε σιδηρομαγνητικό το τροφοδοτούμε (σχήμα 2) με την ανάλογη τάση της πηγής (V_1). Για πιο έντονη σύζευξη τυλίγουμε στο ίδιο υλικό και το δευτερεύον στο οποίο συνδέεται το φορτίο μας . Έτσι όλη σχεδόν η μαγνητική ροή του πρωτεύοντος (που αναπτύσσεται στο πρωτεύον πηνίο) περνά από το δευτερεύον πηνίο.

Η εφαρμογή εναλλασσόμενης τάσης στο πρωτεύον E_p προκαλεί στον από σίδηρο πυρήνα μία μαγνητική ροή. Το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται επάγει μία τάση στο δευτερεύον E_Δ της ίδιας συχνότητας με την E_p και ισχύει η σχέση

$$E_\Delta = 4,44 \cdot f \cdot N \cdot F \cdot 10^{-4} \text{ (VOLT)} \quad (1-1)$$

f = η συχνότητα σε Hz

N = αριθμός σπειρών

F = ενεργός διατομή πυρήνα

B = μαγνητική επαγωγή (TESLA)

Η σχέση (1-1) με την μαγνητική επαγωγή σε GAUSS είναι :

$$E_\Delta = 4,44 \cdot f \cdot N \cdot F \cdot B \cdot 10^{-8} \quad (1-2)$$

Όπου : η συχνότητα σε Hz

η διατομή του πυρήνα σε CM^2 =

και η μαγνητική επαγωγή σε GAUSS

Η σχέση (1-1) γίνεται γενικά : $\frac{N}{E} = \frac{10^4}{4,44 \cdot f \cdot F \cdot B}$ και για συχνότητα = 50Hz έχουμε:

$$\frac{N}{E} = \frac{10^4}{4,44 \cdot 50 \cdot F \cdot B} = \frac{45}{F \cdot B} \text{ (σπειρές)/(volt)}$$

Βλέπουμε λοιπόν ότι ο αριθμός σπειρών ανά Volt εξαρτάται από την διατομή F του πυρήνα.

Χρήση του μετασχηματιστή:

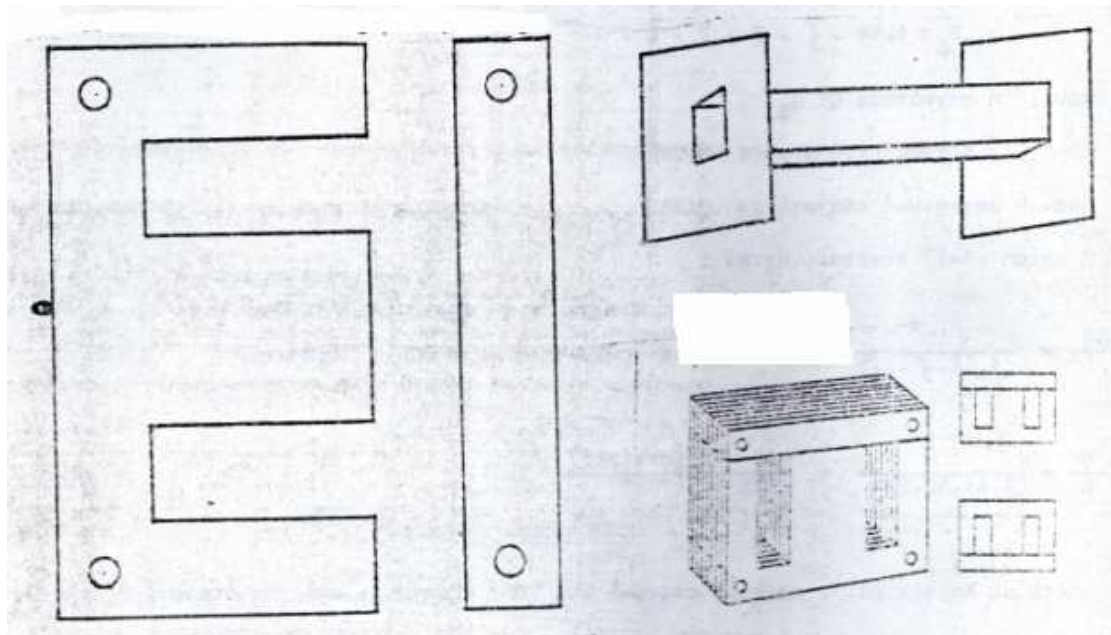
Ο μετασχηματιστής έχει πολλές χρήσεις (ανύψωση – υποβιβασμό τάσης, μέτρηση ρευμάτων σε δίκτυα υψηλών τάσεων, στις τηλεπικοινωνίες, σε όλες σχεδόν τις ηλεκτρονικές συσκευές κ.λ.π).

1.3 Απώλειες από σίδηρο

Οι απώλειες αυτές προέρχονται από το υλικό του πυρήνα και τις αντιλαμβανόμαστε όταν ακουμπώντας τον πυρήνα, βλέπουμε ότι ζεσταίνεται. Έχουμε δε δύο ειδών απώλειες σιδήρου(του πυρήνα).

α) Δινορεύματα Φουκώ : Μπορούμε να πούμε απλά ότι μεταβαλλόμενης της μαγνητικής ροής δημιουργούνται στον πυρήνα επί μέρους πηγές (Η.Ε.Δ.) από επαγωγή με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ρεύματα. Έτσι χάνουμε ενέργεια. Το χάσιμο της ενέργειας αυτής το αντιλαμβανόμαστε με την θερμότητα που αναπτύσσεται στον πυρήνα .

Ο περιορισμός της απώλειας αυτής επιτυγχάνεται με την χρησιμοποίηση ελασμάτων (σχήμα 3) για τον σχηματισμό πυρήνων και όχι συμπαγούς υλικού. Ένας επί πλέον παράγων που επηρεάζει τις απώλειες δινορευμάτων και τις αυξάνει είναι και η συχνότητα.. Γι'αυτό στις υψηλές συχνότητες οι μετασχηματιστές έχουν ειδικό τρόπο κατασκευής του πυρήνα από κόκκους μονωμένους μεταξύ τους.



σχήμα 3

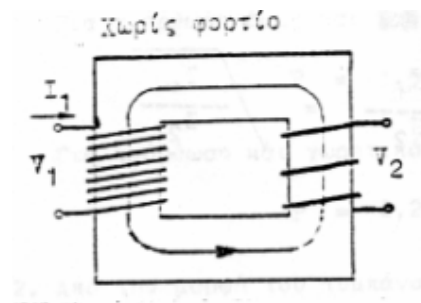
β) Μαγνητική υστέρηση : Είναι το φαινόμενο κατά το οποίο μέρος της μαγνητικής επαγωγής εξακολουθεί να υπάρχει, ενώ μηδενίστηκε η ένταση H του πεδίου που την προκάλεσε.

1.4 Απώλειες από χαλκό.

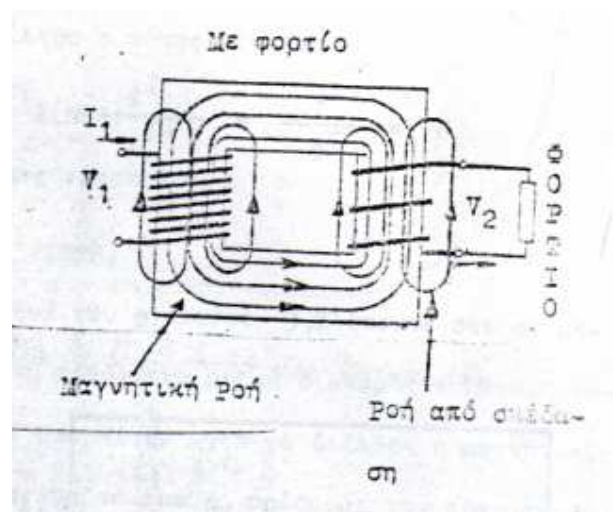
Οι απώλειες αυτές προέρχονται από τις ωμικές αντιστάσεις των αγωγών με τα οποία τυλίγουμε το πρωτεύον και το δευτερεύον. Αυτές τις απώλειες τις καταλαβαίνουμε από την αναπτυσσόμενη θερμότητα στον μετασχηματιστή. Πρέπει να έχουμε υπ'όψη μας ότι όταν δεν υπάρχει φορτίο (σχήμα 4) στο δευτερεύον, τότε οι απώλειες από χαλκό είναι πάρα πολύ μικρές, επειδή στην εν κενό λειτουργία, ή στην λειτουργία χωρίς φορτίο από το πρωτεύον περνά το μικρότερο ρεύμα πρωτεύοντος, το οποίο είναι το 5% μέχρι το 10% του ρεύματος (I_1) στο πρωτεύον για πλήρες ρεύμα δευτερεύοντος.

1.5 Απώλειες από μαγνητική σκέδαση

Οφείλονται στο ότι μέρος της μαγνητικής ροής (σχήμα 5) που δημιουργείται στο πρωτεύον δεν περνά στο δευτερεύον.



σχήμα 4



σχήμα 5

Στο παρακάτω σχήμα 6 έχουμε ορισμένα στοιχεία του μετασχηματιστή και τις μεταξύ τους σχέσεις αν υπάρχουν.

V_1 = τάση πρωτεύοντος πηνίου (τυλίγματος)

V_2 = τάση δευτερεύοντος

I_1 = ρεύμα πρωτεύοντος

Z_1 = σύνθετη αντίσταση πρωτεύοντος

I_2 = ρεύμα δευτερεύοντος

Z_2 = σύνθετη αντίσταση δευτερεύοντος

N_1 = σπείρες πρωτεύοντος

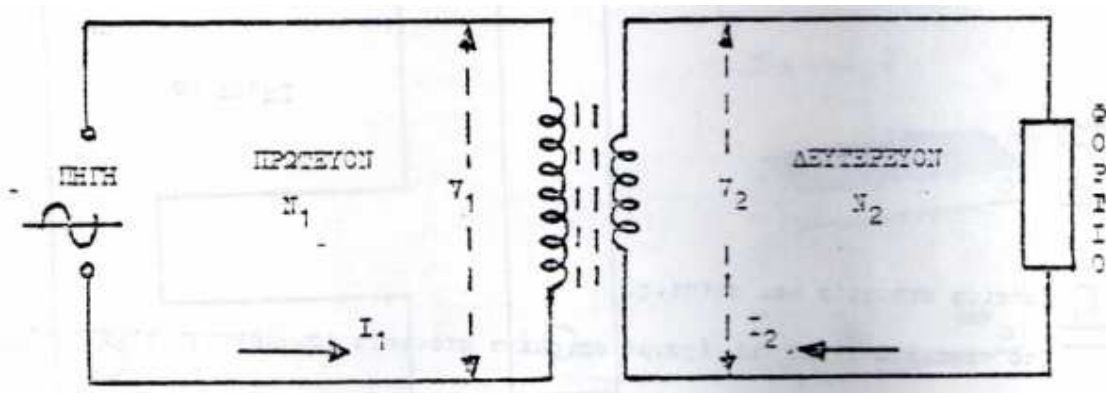
N = λόγος μετασχηματισμού

N_2 = σπείρες δευτερεύοντος

P = ισχύς μετασχηματιστή

$$P = V_1 \cdot I_1 = V_2 \cdot I_2$$

$$N = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}}$$



σχήμα 6

1.6 Υπολογισμός μετασχηματιστή υποβιβασμού χαμηλής ισχύος

Ξέρουμε ότι ο γενικός τύπος της ισχύος είναι :

$$P = V_2 \cdot I_2$$

Για ανόρθωση όμως και επαγωγικό φίλτρο ο τύπος γίνεται :

$$P = 1,5 \cdot V_{2(RMS)} \cdot I_{2(RMS)}$$

Για ανόρθωση και χωρητικό φίλτρο ο τύπος γίνεται :

$$P = 2,2 \cdot V_{2(RMS)} \cdot I_{2(RMS)}$$

Από την μορφή του τυμπάνου και του πυρήνα του σχήματος 3 , βλέπουμε ότι σε μετασχηματιστή μικρής ισχύος χρησιμοποιείται η ορθογώνια μορφή διατομής πυρήνα. Η κανονική τιμή της διατομής F του πυρήνα είναι απαραίτητη, για να διέλθει η μαγνητική ροή και να έχουμε μετασχηματισμό της ισχύος. Με τον όρο F_R ορίζουμε την πραγματική διατομή του πυρήνα, αν δηλαδή ενώσουμε όλα τα φύλλα και σχηματίσουμε το απαιτούμενο εμβαδόν F_R (CM^2). Με τον όρο F_A ορίζουμε την διατομή που σχηματίζεται, όταν τα φύλλα που αποτελούν τον πυρήνα μονωθούν.

Η γενική σχέση υπολογισμού των διατομών σε CM^2 (τετραγ. εκατ.) είναι :

$$F_R = 1,2 \cdot P^{1/2}$$

$$F_A = 1,32 \cdot P^{1/2}$$

Με γνωστή την ισχύ και την διατομή F από τον πίνακα 1 διαλέγουμε τον κατάλληλο πυρήνα που υπάρχει στο εμπόριο.

Γνωρίζοντας την διατομή F_R μπορούμε να βρούμε τον αριθμό των σπειρών ανά VOLT (N_1/V και N_2/V) και το συνολικό αριθμό σπειρών στο πρωτεύον και στο δευτερεύον. Ο αριθμός σπειρών στο πρωτεύον και το δευτερεύον εξαρτάται μεν από την διατομή του πυρήνα, την συχνότητα, αλλά κυρίως εξαρτάται από την μαγνητική επαγωγή, η τιμή της οποίας διαλέγεται έτσι ώστε να μην παραμορφώνεται η μετασχηματισμένη τάση.

1^{ος} τρόπος υπολογισμού σπειρών, για μαγνητική επαγωγή $B = 1$ TESLA

Οι σπείρες ανά VOLT στο πρωτεύον είναι :

$$\frac{N_1}{V} = \frac{47,25}{F_R}$$

και στο δευτερεύον λόγω απωλειών :

$$\frac{N_2}{V} = \frac{50}{F_R}$$

2^{ος} τρόπος υπολογισμού από βιοτεχνίες :

$$\frac{N_1}{V} = \frac{45}{F_R} \text{ και } \frac{N_2}{V} = \frac{45}{F_R} \cdot 1,05$$

3^{ος} τρόπος υπολογισμού από γερμανικές κατασκευές :

Λαμβάνεται η μαγνητική επαγωγή $B = 1,2$ TESLA περίπου και :

$$N_1 = \frac{45}{F_R \cdot B} = \frac{45}{F_R \cdot 1,2} = \frac{37,5}{F_R}$$

Στο δευτερεύον λόγω απωλειών αυξάνεται ο αριθμητής κατά μία μονάδα :

$$N_2 = \frac{45 \cdot 1,0266}{F_R \cdot 1,2} = \frac{38,5}{F_R}$$

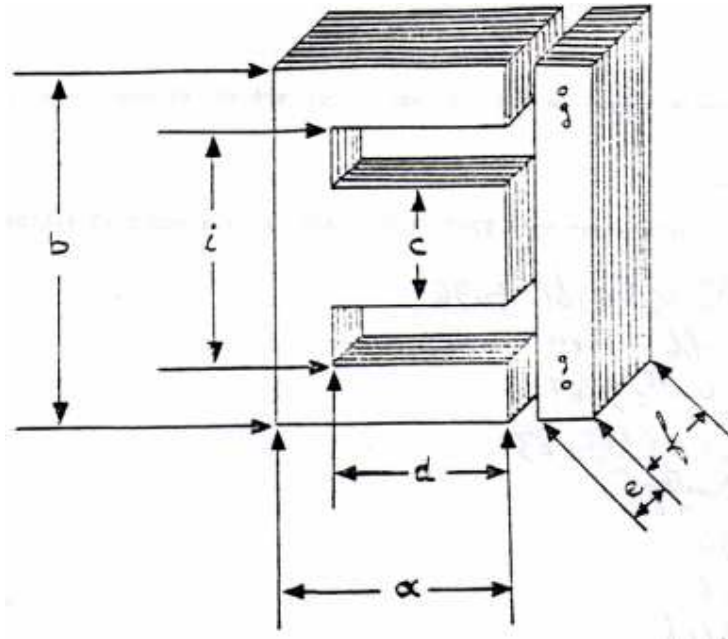
4^{ος} τρόπος από το βιβλίο του DIETER NUHRMANN βλέπουμε στον πίνακα 3 πόσο απλοποιεί τον υπολογισμό για κάθε πυρήνα. Για παράδειγμα λοιπόν αν διαλέγαμε έναν πυρήνα ισχύος 205 VA, θα δούμε το κάθε ζητούμενο που χρειάζεται, προσέχοντας το σχήμα 1. Γενικά όμως δίνει ότι η μαγνητική επαγωγή είναι περίπου $B \approx 1,4$ TESLA.

Οι σπείρες πρωτεύοντος είναι :

$$N_1 = \frac{10^4}{4,44 \cdot 50 \cdot F_R \cdot 1,4} = \frac{32,175}{F_R}$$

Ορίζει όμως σαν διατομή F_R το γινόμενο $c \cdot f$ πολλαπλασιαζόμενο επί έναν συντελεστή $\approx 0,94$ λόγω βαφής των ελασμάτων. Άρα ο γενικός τύπος είναι :

$$N = \frac{34,228}{F_R}$$



σχήμα 7

5^{ος} τρόπος από την γνωστή ισχύ P του μετασχηματιστή, τις γνωστές τάσεις V_1 και V_2 άρα και τον λόγο N , βρίσκουμε τα ρεύματα που διαρρέουν το πρωτεύον (I_1) και το δευτερεύον (I_2). Από τον πίνακα 2 βρίσκουμε για κάθε ένταση τι σύρμα θα χρησιμοποιήσουμε στο τύλιγμα κάθε πηνίου. Για κάθε ρεύμα λοιπόν βρίσκουμε την πιο κοντινή και μεγαλύτερη διάμετρο σύρματος σε χιλιοστά. Πρέπει να ξέρουμε ότι τα σύρματα του πίνακα 2 είναι μονωμένα με εμαγιέ, γι'αυτό οι άκρες τους πρέπει να ξυθούν καλά και να γανωθούν με καλά για τέλεια επαφή.

Διαστάσεις πυρήνων μετασχηματιστών σε συνάρτηση με την ισχύ.

Πυρήνας	Ισχύς	Πυρήνας	Ισχύς
10 X 10	0,69 VA	36 X 30	81
10 X 15	1,56	28 X 40	87
14 X 14	2,66 = 3	32 X 35	87
14 X 15	3,06	28 X 43	100
16 X 16	4,55 = 5	32 X 38	102,68 = 100
16 X 20	7,11 = 7	32 X 40	113
18 X 18	7,28	36 X 37	123
20 X 20	11,11 = 12	36 X 38	129,96 = 130
20 X 21	12,25	32 X 45	144
22 X 23	17	36 X 42	158
22 X 25	17,36 = 18	32 X 50	177
20 X 26	18,7	40 X 40	177,77 = 180
20 X 30	25	40 X 41	186
25 X 25	27,12 = 28	36 X 47	198
22 X 30	30	40 X 45	225
26 X 26	31	40 X 50	277,77 = 280
22 X 34	38	45 X 46	297
25 X 30	39 = 40	40 X 53	312
28 X 28	42,68 = 45	40 X 55	336,11 = 350
28 X 29	45	45 X 50	351
26 X 36	60	40 X 60	410
28 X 34	62	50 X 50	434
28 X 35	66,69 = 70	50 X 55	525 = 550
32 X 32	72,8 = 75	50 X 60	625
28 X 38	78	50 X 65	733

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΠΙΝΑΚΑ 1

Πύρηνες	Ισχύς	Πύρηνες	Ισχύς
50 X 70	850	80 X 80	2.844
60 X 60	900	80 X 85	3.211
60 X 65	1.056	80 X 90	3.600
60 X 70	1.225	80 X 100	4.444
60 X 75	1.406	90 X 90	4.556
60 X 80	1.600	90 X 100	5.625
64 X 70	1.393	90 X 110	6.806
64 X 80	1.820	90 X 120	8.100
75 X 80	2.500		

Διάμετρος (χιλιοστά)	Ρεύμα (Α)	Διάμετρος (χιλιοστά)	Ρεύμα (Α)	Διάμετρος (χιλιοστά)	Ρεύμα (Α)
0,05	0,005	0,45	0,4326	1,7	5,897
0,06	0,008	0,5	0,51	1,8	6,612
0,08	0,013	0,55	0,61734	1,9	7,367
0,1	0,020	0,6	0,73469	2	8,163
0,12	0,029	0,63	0,810	2,1	9
0,13	0,035	0,65	0,86224	2,2	9,877
0,14	0,040	0,7	1	2,3	10,795
0,15	0,045	0,75	1,147	2,5	12,755
0,16	0,05224	0,8	1,306	2,6	13,795
0,18	0,06612	0,85	1,474	2,7	14,877
0,2	0,08163	0,9	1,653	2,8	16
0,22	0,09877	0,95	1,841	3	18,367
0,25	0,12755	1	2,04	3,2	20,897
0,28	0,16	1,05	2,25	3,5	25
0,3	0,18367	1,1	2,469	4	32,653
0,315	0,2025	1,2	2,938	4,5	41,326
0,32	0,20897	1,3	3,448	4,8	47,02
0,35	0,25	1,4	4	5	51,02
0,4	0,32653	1,5	4,591	5,5	61,734
0,42	0,36	1,6	5,224	6	73,469

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

Ένταση ρεύματος ανά τετραγωνικό χιλιοστό

$$2,5948 \cdot \frac{A}{mm^2}$$

Εμβαδόν σύρματος $E = \pi \cdot \tau^2$ ($\tau = \text{ακτίνα} = \text{διάμετρος} / 2$)

και ρεύμα = $E \cdot 2,5984$

Πορτίνα Σ I	Ισχύς P [VA]	Απόδο- ση η)	Όση VOLT		A [cm ²]	[kg]	a [cm]	b [cm]	c [cm]	d [cm]	e [cm]	$d - \frac{i-c}{2}$ [cm]	f [cm]	μέτρος g [mm]	h [cm]	B [Π]
			Πρωτ	Δευτ												
42-14	2,5	0,4	19,3	46	1,8	0,11	2,8	4,2	1,4	2,1	0,7	1,5	1,4	3,5	3,5	1,33
48-16	5	0,5	14,6	27	2,4	0,17	3,2	4,8	1,6	2,4	0,8	1,9	1,6	3,5	4,0	1,34
54-18	9	0,6	11,4	18	3,0	0,25	3,6	5,4	1,8	2,7	0,9	2,4	1,8	3,5	4,5	1,35
60-20	14	0,65	9	13	3,7	0,34	4,0	6,0	2,0	3,0	1,0	3,0	2,0	3,5	5,0	1,36
66-22a	21	0,70	7,3	10	4,5	0,45	4,4	6,6	2,2	3,3	1,1	3,6	2,2	4,5	5,5	1,37
66-34b	31	0,79	5	6,3	7,1	0,7	4,4	6,6	2,2	3,3	1,1	4,7	3,4	4,5	5,5	1,36
76-26	43	0,76	5,1	6,2	6,35	0,79	5,2	7,8	2,6	3,9	1,3	5,0	2,6	4,5	6,5	1,38
84-28a	58	0,82	4,5	5,3	7,4	0,93	5,6	8,4	2,8	4,2	1,4	5,9	2,8	4,5	7,0	1,38
84-42b	82	0,87	3,2	3,7	11,1	1,4	5,6	8,4	2,8	4,2	1,4	6,9	4,2	4,5	7,0	1,35
92-23a	70	0,76	6,3	7,4	5,0	0,72	6,25	9,2	2,3	5,1	1,15	5,9	2,3	4,5	8,2	1,49
92-32b	95	0,82	4,5	5,0	6,9	1,0	6,25	9,2	2,3	5,1	1,15	5,9	3,2	4,5	8,2	1,47
96-34a	100	0,85	3,2	3,6	10,2	1,5	6,4	9,6	3,2	4,8	1,6	7,7	3,4	5,5	8,0	1,40
96-44b	125	0,89	2,6	2,9	13,3	1,9	6,4	9,6	3,2	4,8	1,6	7,7	4,4	5,5	8,0	1,36
96-58c	160	0,91	2,0	2,2	17,4	2,5	6,4	9,6	3,2	4,8	1,6	7,7	5,8	5,5	8,0	1,32
120-40a	205	0,90	2,2	2,4	15,0	2,7	8,0	12,0	4,0	6,0	2,0	12,0	4,0	6,6	10,0	1,38
120-52b	255	0,92	1,8	1,9	19,6	3,5	8,0	12,0	4,0	6,0	2,0	12,0	5,2	6,6	10,0	1,33
130-35a	260	0,87	3,3	3,51	11,84	2,4	8,75	13,0	3,5	7,0	1,75	12,25	3,6		9,5	1,47
130-45b	310	0,91	2,59	2,72	15,13	3	8,75	13,0	3,5	7,0	1,75	12,25	4,6		9,5	1,43
150-40a	400	0,90	2,59	2,72	15,0	3,5	10,0	15,0	4,0	8,0	2,0	16,0	4,0		11,0	1,46
150-50b	450	0,92	2,08	2,18	18,68	4,4	10,0	15,0	4,0	8,0	2,0	16,0	5,0		11,0	1,43
150-60c	550	0,925	1,74	1,8	22,56 ⁹	5,2	10,0	15,0	4,0	8,0	2,0	16,0	6,0		11,0	1,39

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΝΟΡΘΩΣΗ

Είναι μια συσκευή που μπορούμε να μετατρέψουμε το εναλλασσόμενο ρεύμα σε ρεύμα που να έχει μόνο μια φορά, δηλαδή σε συνεχές ρεύμα .

Έχουμε δύο είδη ανόρθωσης α) Απλή ανόρθωση β) Διπλή ανόρθωση

2.1.α. Απλή ανόρθωση

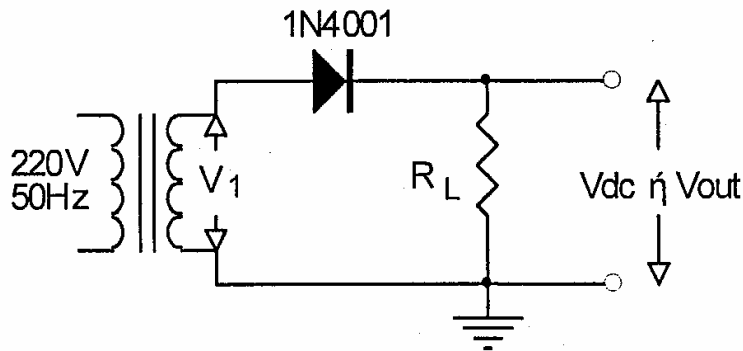
Όπως ξέρουμε όταν μια δίοδος πολώνεται ορθά (η τάση ανόδου είναι κατά 0,7 V μεγαλύτερη της καθόδου) παρουσιάζει μικρή αντίσταση και άγει, ενώ όταν πολώνεται ανάστροφα παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση και δεν άγει. Αυτή η συμπεριφορά της διόδου, δηλαδή η μονόπλευρη αγωγιμότητα την κάνει χρήσιμη σε κυκλώματα ανόρθωσης.

Στη ανόρθωση χρησιμοποιείται η τάση του δικτύου της ΔΕΗ, η οποία ως γνωστόν είναι ημιτονοειδής και σταθερής ενεργής τιμής $220V_{rms} \pm 10\%$ με συχνότητα 50Hz. Επειδή αυτή η τάση είναι μεγάλη, χρησιμοποιούνται σχεδόν πάντοτε μετασχηματιστές (Μ/Τ) για τον υποβιβασμό της. Η περίοδος της κυματομορφής αυτής είναι $T = 1/F = 1/50\text{Hz} = 0,02 \text{ sec}$ ή αλλιώς 20 msec. Δηλαδή σε χρόνο 20 msec έχουμε μια πλήρη θετική και αρνητική εναλλαγή.

2.1.β. Απλή ανόρθωση χωρίς πυκνωτή εξομάλυνσης

Στην απλή ανόρθωση συνδέεται μια δίοδος στο δευτερεύον του Μ/Τ, σε μια τάση V_1 που είναι εναλλασσόμενη και έχει τη μορφή της κυματομορφής (α) του σχήματος 7.

Όταν έχουμε θετική ημιπερίοδο, η τάση V_j που εμφανίζεται στο δευτερεύον του Μ/Τ έχει το (+) επάνω και το (-) κάτω. Η δίοδος πολώνεται ορθά και άγει (μόλις η τάση ανόδου ξεπεράσει τα 0,7 V ως προς την κάθοδο), με αποτέλεσμα να κλείνει κύκλωμα και να έχουμε ροή ρεύματος από το (+) της V_j διαμέσου της διόδου, της αντίστασης φορτίου R_L και πάλι πίσω στο (-) της πηγής. Η ροή του ρεύματος δημιουργεί μια τάση στα άκρα της R_L με τη μορφή της κυματομορφής (β) του σχήματος 7. Στην αρνητική ημιπερίοδο της V η δίοδος πολώνεται ανάστροφα και δεν άγει με αποτέλεσμα να μη περνάει ρεύμα από το φορτίο R_L και η τάση να είναι μηδέν.

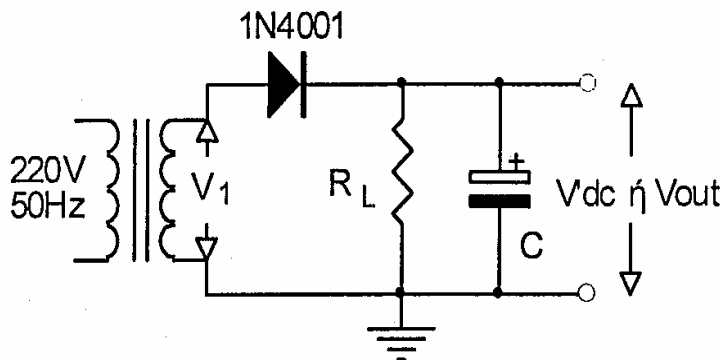


Σχήμα 5: Κύκλωμα απλής ανόρθωσης χωρίς πυκνωτή εξομάλυνσης

Αυτό το ρεύμα που ρέει μέσα από το φορτίο μόνο στη θετική ημιπερίοδο ονομάζεται ημιανορθωμένο ρεύμα και η αντίστοιχη τάση στα άκρα του φορτίου ονομάζεται ημιανορθωμένη τάση. Η όλη διαδικασία ονομάζεται **ημιανόρθωση** ή **απλή ανόρθωση** ή **ανόρθωση μισού κύματος**.

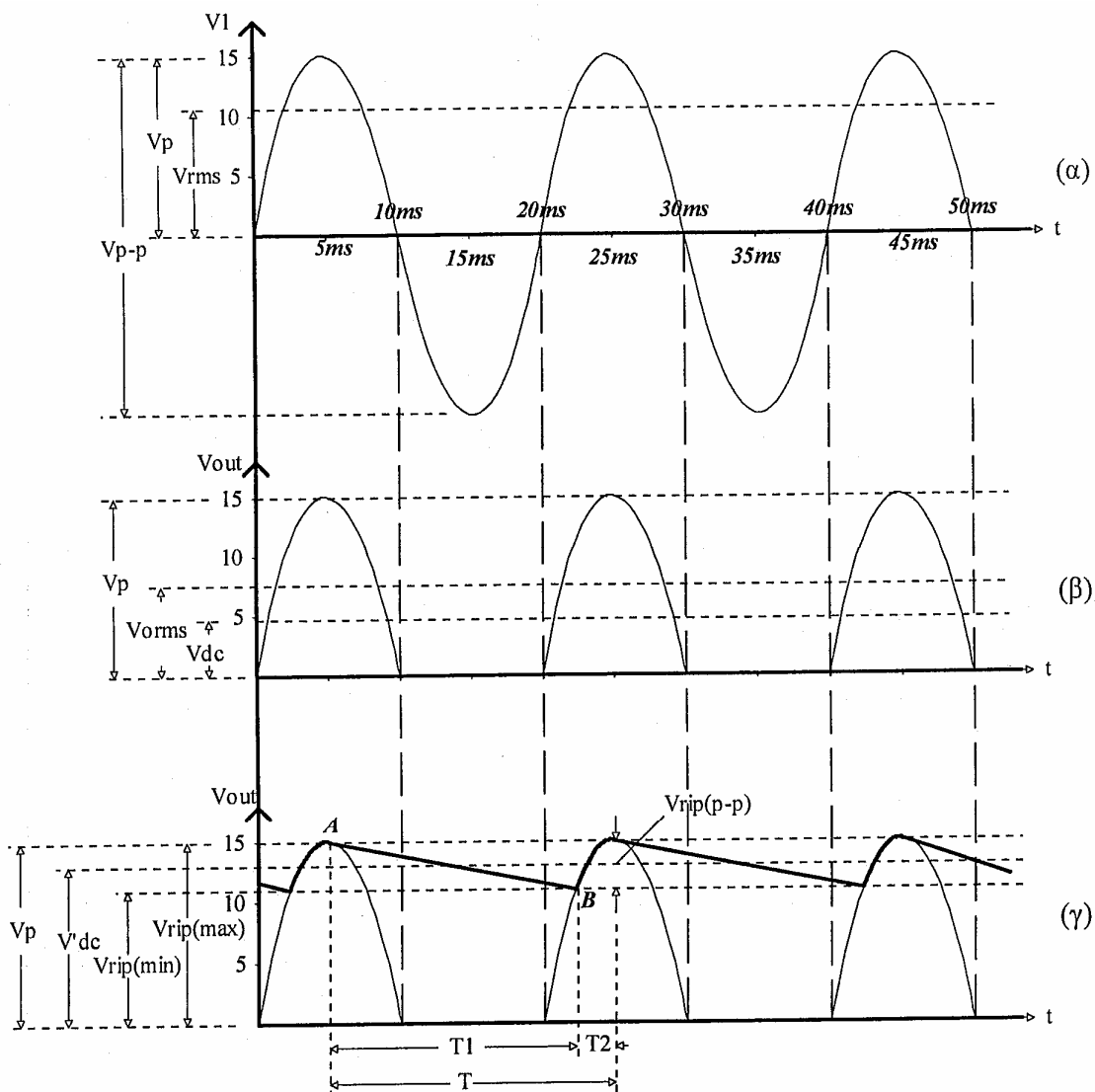
2.1.γ. Απλή ανόρθωση με πυκνωτή εξομάλυνσης

Αν τώρα τοποθετηθεί ένας πυκνωτής, παράλληλα με την αντίσταση R_L όπως φαίνεται στο σχήμα τότε στη θετική ημιπερίοδο και μέχρι να πάρει τη μέγιστη τιμή, ο πυκνωτής φορτίζει γρήγορα στην τάση κορυφής από την πηγή μέσα από τη μικρή αντίσταση της διόδου που άγει, μειωμένη βέβαια κατά $0,7\text{ V}$ που κρατάει στα άκρα της η διόδος ($2^{\text{ος}}$ κανόνας Kirrchoff). Έτσι αν η τάση κορυφής V_p της πηγής V_j είναι π.χ. 10 V , τότε η άνοδος της διόδου επειδή ακουμπάει στη V_j θα έχει 10 V , η κάθοδος όμως θα έχει $9,3\text{ V}$ η οποία είναι και τάση του πυκνωτή, γιατί αυτός ακουμπάει στην κάθοδο της διόδου.



Σχήμα 6: Κύκλωμα απλής ανόρθωσης με πυκνωτή εξομάλυνσης

Καθώς η τάση V_p αρχίσει να μειώνεται, η διάδος παύει να άγει, γιατί η άνοδος έχει μικρότερη τάση από 0,7 V ως προς την κάθοδο. Π.χ. 9,9 V η άνοδος, 9,3 V η κάθοδος. Από το σημείο αυτό (σχήμα 7γ), η διάδος διακόπτει το κύκλωμα με την πηγή και το μόνο κύκλωμα που απομένει είναι αυτό του πυκνωτή με την αντίσταση R_L . Έτσι ο πυκνωτής εκφορτίζει αργά μέσα από τη μεγάλη αντίσταση φορτίου R_L . Η αργή εκφόρτιση φαίνεται με πιο οριζοντιωμένη καμπύλη (σχήμα 7 γ). Η εκφόρτιση θα συνεχιστεί μέχρι να ξανασυνδεθεί η πηγή στο κύκλωμα μέσω της διάόδου. Αυτό θα συμβεί στο σημείο Β, όπου η επόμενη θετική ημιπερίοδος της πηγής θα πολώσει και πάλι ορθά την διάοδο δίνοντας της στην άνοδο 0,7 V περισσότερη τάση από όση έχει εκείνη τη στιγμή η κάθοδος ή ο πυκνωτής που είναι παράλληλα. Ο κύκλος αυτός επαναλαμβάνεται συνεχώς.



Σχήμα 7: (α) Τάση δικτύου ΔΕΗ, (β) απλή ανόρθωση χωρίς πυκνωτή εξομάλυνσης και (γ) απλή ανόρθωση με πυκνωτή εξομάλυνσης

Η ροή του ρεύματος μέσα από την αντίσταση φορτίου R_L , δημιουργεί μια τάση που έχει τη μορφή του σχήματος (γ) παχιά γραμμή. Η τάση αυτή λέγεται **τάση κυμάτωσης (V_{rip})**, μπορεί να μετρηθεί με παλμογράφο σε τιμή p-p και χαρακτηρίζει την ποιότητα των τροφοδοτικών με το **συντελεστή κυμάτωσης (r)**.

$$r = [V_{rip}(rms)/V_{dc}] * 100\%$$

όπου:

r ο συντελεστής κυμάτωσης

$V_{rip}(rms)$ η τάση κυμάτωσης σε τιμή rms

V_{DC} η τάση εξόδου με πυκνωτή (άκρα της R_L) που μετράται με βολτόμετρο DC.

Η σχέση που συνδέει τη $V_{rip}(p-p)$ με τη $V_{rip}(rms)$ είναι

$$V_{rip}(rms) = V_{rip}(p-p) / 2\sqrt{3}$$

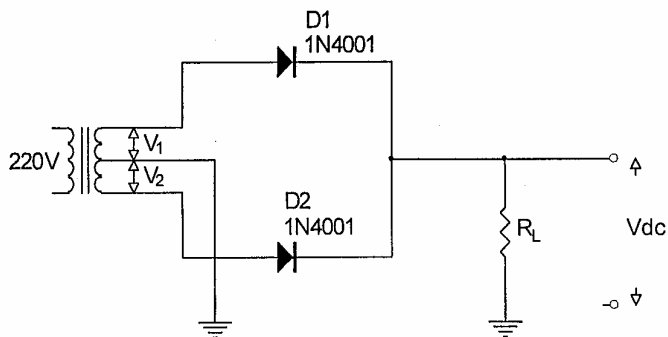
Όπως είδαμε ο πυκνωτής εκφορτίζει στο διάστημα T_1 και φορτίζει στο διάστημα T_2 . Το άθροισμα $T_1 + T_2$ είναι σταθερό και ίσο με T που είναι η περίοδος της συχνότητας της ΔΕΗ. Αν βάλουμε μεγαλύτερο πυκνωτή, θα δέχεται περισσότερα φορτία και θα εκφορτίζει πιο αργά. Αν βάλουμε μεγαλύτερης τιμής αντίσταση και πάλι ο πυκνωτής θα εκφορτίζει πιο αργά μέσα από αυτήν. Συνεπώς και στις δυο περιπτώσεις το T_1 θα μεγαλώσει, το T_2 θα μικραίνει και η κυμάτωση και αυτή θα μικρύνει

2.1.δ. Διπλή ανόρθωση

Η διπλή ανόρθωση μπορεί να γίνει με δυο τρόπους, είτε με δυο διόδους, είτε με τέσσερις διόδους. Θα εξετάσουμε αυτούς τους δυο τρόπους χωριστά.

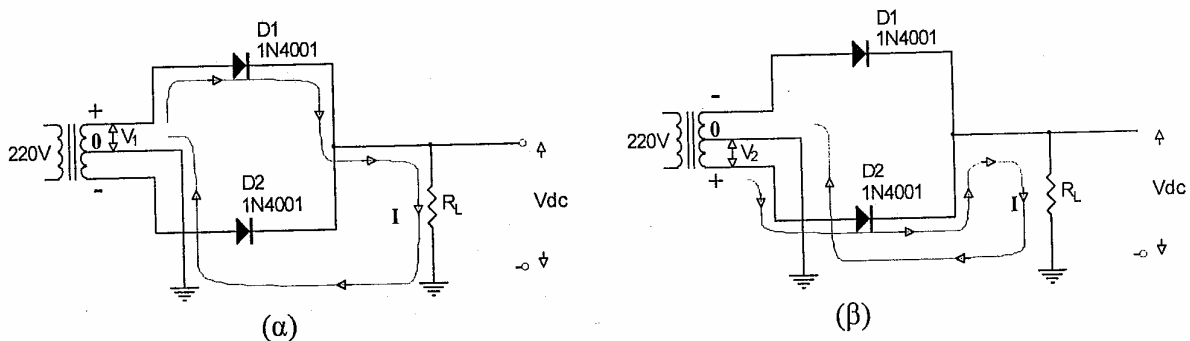
2.1.δ.1. Διπλή ανόρθωση με δυο διόδους

Στη διπλή ανόρθωση με δυο διόδους συνδέονται οι δυο διόδοι στο δευτερεύον ενός Μ/Τ, ο οποίος όμως πρέπει να έχει δυο τυλίγματα με μεσαία λήψη όπως φαίνεται στο σχήμα 8.



Σχήμα 8: Διπλή ανόρθωση με δυο διόδους

Το κάθε τυλίγμα αποτελεί ξεχωριστή πηγή με τάσεις V_1 και V_2 , ίδιου μέτρου με διαφορά φάσης 180° . Όταν εφαρμοστεί η μια ημιπερίοδος της τάσης του δικτύου στο πρωτεύον του Μ/Τ, στα δευτερεύοντα τυλίγματα θα εμφανιστούν οι τάσεις V_1 και V_2 όπως φαίνεται στα σχήματα (α) και (β). Στην άλλη ημιπερίοδο της τάσης του δικτύου θα εμφανιστούν ανάποδα.



Σχήμα 9: Πολικότητες κατά τη διπλή ανόρθωση με δύο διόδους

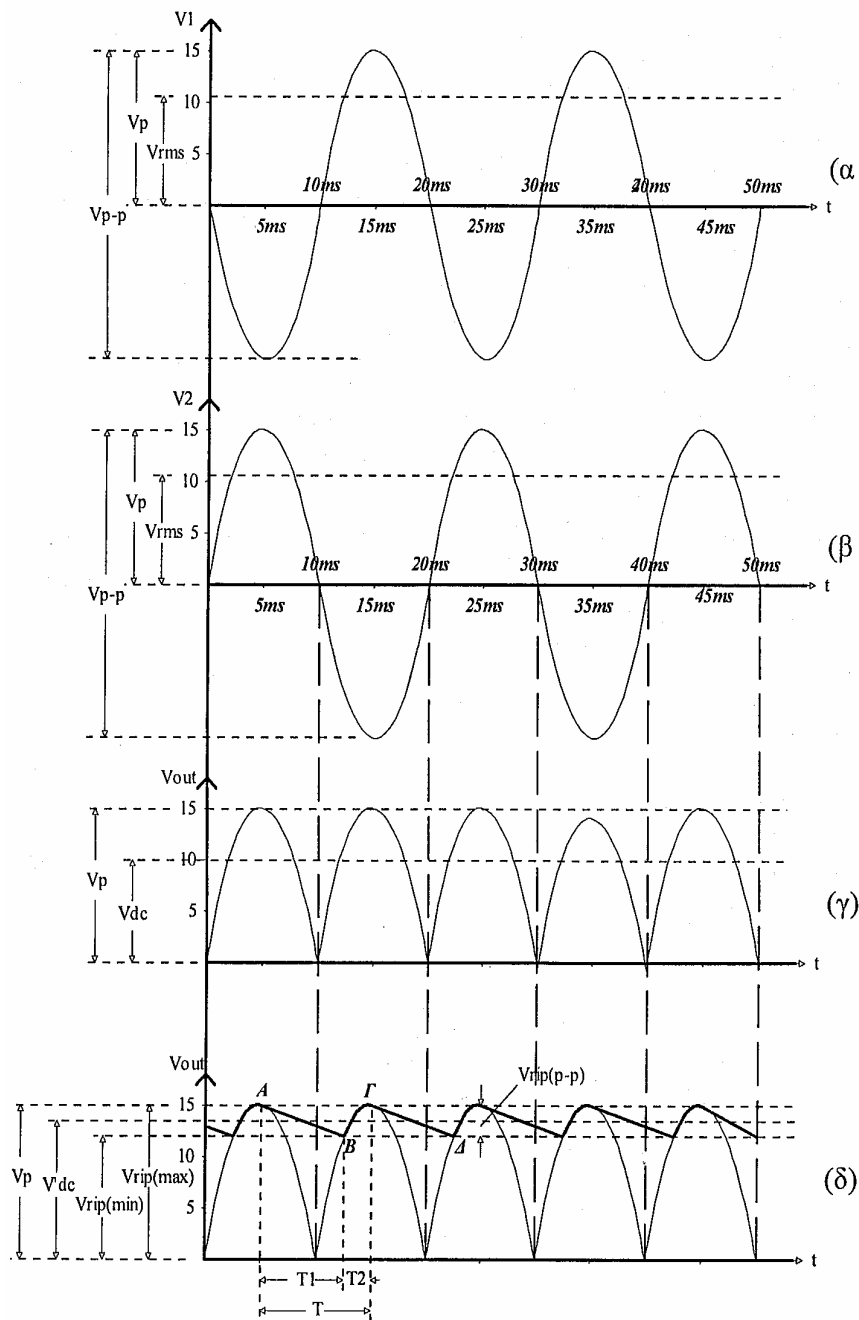
Οι δίοδοι συνδέονται μια σε κάθε τύλιγμα, δημιουργώντας δυο ξεχωριστά κυκλώματα απλής ανόρθωσης που δουλεύουν εναλλάξ. Στη θετική ημιπερίοδο δουλεύει μόνο η D1 και στην αρνητική μόνο η D₂. Η τάση που τελικά ανορθώνεται είναι του ενός μόνο τυλίγματος του M/T.

Ας υποθέσουμε ότι εμφανίζεται πρώτα η θετική ημιπερίοδος, οι πολικότητες είναι όπως φαίνονται στο Σχήμα (α). Το (+) επάνω, το (-) κάτω και το (0) στη μέση. Το (0) αποτελεί και το σημείο αναφοράς των μετρήσεων μας, δηλαδή τη γείωση του κυκλώματος. Από τις τάσεις V₁ και V₂, μόνο η V₁ είναι ενεργή γιατί πολώνει ορθά την D1 και δημιουργείται κύκλωμα, ενώ η V₂ είναι ανενεργή γιατί πολώνει ανάστροφα την D₂ και δε δημιουργείται κύκλωμα. Επομένως υπάρχει κύκλωμα μεταξύ +V₁, D₁, R_L, και το ρεύμα θα ακολουθήσει το δρόμο του.

Ας υποθέσουμε τώρα ότι εμφανίζεται η αρνητική ημιπερίοδος, οι πολικότητες είναι όπως φαίνονται στο Σχήμα (β). Το (-) επάνω, το (+) κάτω και το (0) πάλι στη μέση. Από τις τάσεις V₁ και V₂, μόνο η V₂ είναι ενεργή γιατί πολώνει ορθά την D₂ και δημιουργείται κύκλωμα, ενώ η V₁ είναι ανενεργή γιατί πολώνει ανάστροφα την D1 και δε δημιουργείται κύκλωμα. Επομένως υπάρχει κύκλωμα μεταξύ +V₂, D₂, R_L και (0). Το ρεύμα τώρα θα ακολουθήσει το δρόμο του Σχήματος (β).

Βλέπουμε ότι μια λειτουργεί η μια δίοδος και μια η άλλη. Το ρεύμα (I) όμως και στις δυο περιπτώσεις περνάει μέσα από την αντίσταση R_L με την ίδια φορά. Έτσι η τάση που παίρνουμε στην έξοδο έχει τη μορφή της κυματομορφής (γ). Αυτό το ρεύμα που ρέει μέσα από το φορτίο ονομάζεται πλήρως ανορθωμένο ρεύμα και η αντίστοιχη τάση στα άκρα του φορτίου ονομάζεται πλήρως ανορθωμένη τάση. Η όλη διαδικασία ονομάζεται **διπλή ανόρθωση**.

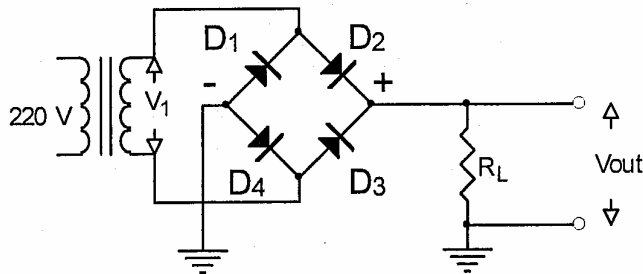
Αν προσέξουμε καλά την ανορθωμένη τάση, θα παρατηρήσουμε ότι αυτή έχει τη μισή περίοδο από αυτήν που εφαρμόσαμε, έχει δηλαδή τη διπλάσια συχνότητα (100 Hz). επίσης η μέγιστη τάση που παίρνουμε είναι η μισή από όση βγάζει ο M/T από το ένα του άκρο ως το άλλο.



Σχήμα 10: (α) Τάση δικτύου ΔΕΗ, (β) τάση στην έξοδο του μετασχηματιστή (γ) διπλή ανόρθωση χωρίς πυκνωτή εξομάλυνσης και (δ) διπλή ανόρθωση με πυκνωτή εξομάλυνσης

2.1.δ.2. Διπλή ανόρθωση με γέφυρα

Στη διπλή ανόρθωση με γέφυρα συνδέονται τέσσερις δίοδοι στο δευτερεύον ενός Μ/Τ, χωρίς μεσαία λήψη όπως φαίνεται στο σχήμα 11.

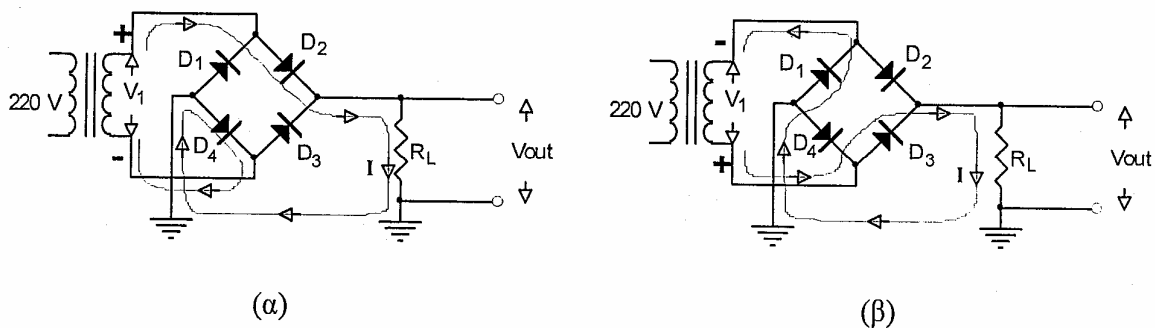


Σχήμα 11: Διπλή ανόρθωση με γέφυρα

Οι δίοδοι συνδέονται ως εξής: οι δύο δίοδοι π.χ. D_2 και D_3 με τις καθόδους ενωμένες να αποτελούν την έξοδο (+). Οι άλλες δύο δίοδοι D_1 και D_4 με τις ανόδους ενωμένες να αποτελούν την έξοδο (-). Τέλος ενώνονται μεταξύ τους τα δυο αυτά συμπλέγματα και τα σημεία της ένωσης τους συνδέονται στο δευτερεύον του Μ/Τ. μεταξύ των σημείων (+) και (-) συνδέεται το φορτίο R_L .

Ας υποθέσουμε τώρα ότι εμφανίζεται πρώτα η θετική ημιπερίοδος, οι πολικότητα στο δευτερεύον του Μ/Τ είναι όπως φαίνονται στο σχήμα 12α. Το (+) επάνω, το (-) κάτω. Οι δίοδοι D_2 και D_4 πολώνονται ορθά και άγουν, ενώ οι D_1 και D_3 πολώνονται ανάστροφα και δεν άγουν. Οπότε δημιουργείται κύκλωμα μεταξύ + V_1 , D_2 , R_L , D_4 και - V_1 . το ρεύμα θα ακολουθήσει το δρόμο του σχήματος (α).

Στην αρνητική ημιπερίοδο, οι πολικότητα στο δευτερεύον του Μ/Τ είναι όπως φαίνονται στο σχήμα (β). Το (-) επάνω, το (+) κάτω. Οι δίοδοι D_1 και D_3 πολώνονται ορθά και άγουν, ενώ οι D_2 και D_4 πολώνονται ανάστροφα και δεν άγουν. Οπότε δημιουργείται κύκλωμα μεταξύ + V_1 , D_3 , R_L , D_1 και - V_1 το ρεύμα θα ακολουθήσει το δρόμο του σχήματος (β).

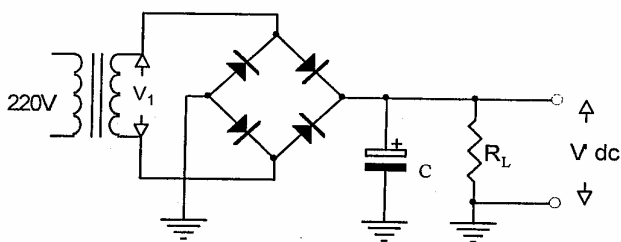


Σχήμα 12: Διπλή ανόρθωση με γέφυρα (α) θετική ημιπερίοδος και (β) αρνητική ημιπερίοδος

Βλέπουμε λοιπόν ότι στη μια ημιπερίοδο λειτουργούν οι δύο διόδοι και στην άλλη οι άλλες δύο. Το ρεύμα (I) όμως και στις δυο περιπτώσεις περνάει μέσα από την αντίσταση R_L με την ίδια φορά. Έτσι η τάση που παίρνουμε στην έξοδο έχει και πάλι τη μορφή της κυματομορφής (γ). Το ρεύμα που ρέει μέσα από το φορτίο ονομάζεται πλήρως ανορθωμένο ρεύμα και η αντίστοιχη τάση στα άκρα του φορτίου ονομάζεται πλήρως ανορθωμένη τάση. Η όλη διαδικασία ονομάζεται **ανόρθωση με γέφυρα**.

2.1.δ.3. Διπλή ανόρθωση με πυκνωτή εξομαλυνσης

Αν τώρα τοποθετηθεί ένας πυκνωτής, παράλληλα με την αντίσταση R_L όπως φαίνεται στο σχήμα 13 τότε με την ίδια λογική που είπαμε στην προηγούμενη παράγραφο θα πάρουμε την κυματομορφή (δ)



Σχήμα 13: Διπλή ανόρθωση με πυκνωτή εξομαλυνσης

Στη θετική ημιπερίοδο και μέχρι να πάρει τη μέγιστη τιμή, ο πυκνωτής φορτίζει γρήγορα στην τάση κορυφής από την πηγή μέσα από τη μικρή αντίσταση των δυο διόδων που άγουν, μειωμένη βέβαια κατά 1,4 V που κρατάνε στα άκρα τους οι δίοδοι, σημείο Α. Καθώς η τάση εισόδου αρχίζει να μειώνεται, οι δίοδοι παύουν να άγουν και ο πυκνωτής εκφορτίζει αργά μέσα από τη μεγάλη αντίσταση φορτίου R_L , μέχρι το σημείο Β. στην αρνητική ημιπερίοδο, ξαναφορτίζει ο πυκνωτής στην τιμή κορυφής μέσα από τις άλλες δυο διόδους μέχρι το σημείο Γ και όταν η τάση εισόδου της αρνητικής ημιπεριόδου αρχίσει και αυτή να μειώνεται, οι δίοδοι παύουν να άγουν και ο πυκνωτής εκφορτίζει μέχρι το σημείο Δ, Ο κύκλος αυτός επαναλαμβάνεται συνεχώς.

Η τάση κυμάτωσης V_{rip} που δημιουργείται εδώ είναι σαφώς μικρότερη από αυτήν της απλής ανόρθωσης, γιατί ο πυκνωτής εκφορτίζει με τον ίδιο ρυθμό μεν αλλά στο μισό χρόνο από ότι στην απλή ανόρθωση, επομένως όταν έρθει η επόμενη ημιπερίοδος βρίσκει τον πυκνωτή με περισσότερα φορτία και συνεπώς με μεγαλύτερη τάση.

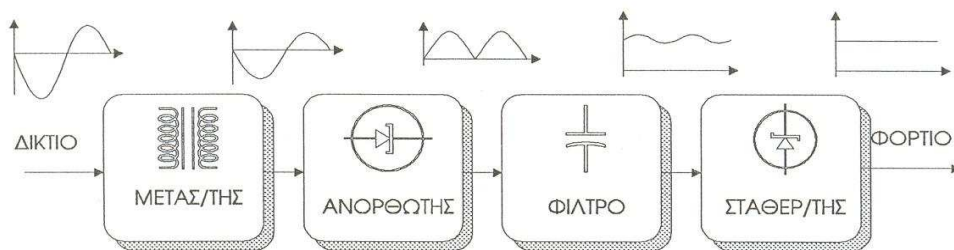
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Έχοντας κάνει στο προηγούμενο κεφάλαιο λεπτομερή ανάλυση, τον επιμέρους κυκλωμάτων που αποτελούν ένα τροφοδοτικό, σε αυτό συνοψίζοντας αυτά που μάθαμε θα ξεκινήσουμε να κατασκευάζουμε θεωρητικά ένα τροφοδοτικό, να δούμε από ποιιά εξαρτήματα αποτελείται και ποιος ο ρόλος του καθενός.

3.1.1 Τύποι τροφοδοτικών

Υπάρχουν πολλοί τύποι τροφοδοτικών. Τα περισσότερα είναι σχεδιασμένα να μετατρέπουν υψηλή τάση AC σε μία κατάλληλη χαμηλότερη ώστε να τροφοδοτήσουμε ηλεκτρονικά κυκλώματα και συσκευές. Το σύνολο του τροφοδοτικού μπορεί να απεικονιστεί σε μπλοκ διάγραμμα όπως φαίνεται παρακάτω.



Σχ.1:Μπλοκ διάγραμμα τροφοδοτικού

Μετασχηματιστής : Ρυθμίζει την στάθμη AC μετασχηματίζοντας την κυρίως τάση (220V) σε μικρότερη ή μεγαλύτερη.

Ανορθωτής : Μετατρέπει την εναλλασσόμενη τάση (AC) σε συνεχή τάση (DC).

Εξομάλυνση : Μειώνει την κυμάτωση της DC τάσης που εμφανίζεται μετά την ανόρθωση.

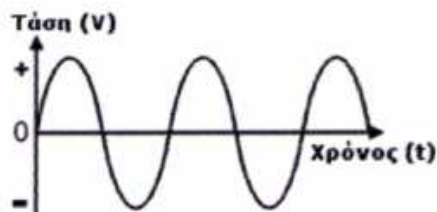
Σταθεροποιητής : Εξαλείφει την κυμάτωση διατηρώντας σταθερή τάση εξόδου ανεξάρτητα από τις μεταβολές του ρεύματος.

3.2 Μετασχηματιστής

Ο μετασχηματιστής εκμεταλλεύεται τους νόμους της επαγωγής και μετασχηματίζει τα στοιχεία του ρεύματος, την τάση V και την ένταση I . Λειτουργεί μόνο με AC τάση και αποτελείται από δύο ή περισσότερα τυλίγματα, το πρωτεύον που τροφοδοτείται από την τάση του δικτύου και το δευτερεύον ή τα δευτερεύοντα τα οποία δίνουν μικρότερες ή μεγαλύτερες τάσεις. Τα τυλίγματα τυλίγονται γύρω από ένα υλικό με βάση το σίδηρο, τον πυρήνα, που βοηθάει το μετασχηματισμό αυξάνοντας την αυτεπαγωγή. Αν το δευτερεύον δίνει μεγαλύτερη τάση έχουμε μετασχηματιστές ανύψωσης τάσης, αν το δευτερεύον δίνει μικρότερη τάση έχουμε τους μετασχηματιστές υποβιβασμού τάσης και τέλος αν τα δευτερεύοντα δίνουν και μεγαλύτερες και μικρότερες τάσεις από την τάση δικτύου τότε έχουμε τους μικτούς μετασχηματιστές. Οι μετασχηματιστές σπαταλούν πολύ λίγη ενέργεια οπότε η ενέργεια εξόδου είναι σχεδόν ίση με την ενέργεια εισόδου. Η απόδοση ενός μετασχηματιστή φτάνει το 80% μέχρι 95% ενώ το υπόλοιπο είναι απώλειες (δινορεύματα υστέρησης, σκέδαση κ.α.). Η αναλογία των σπειρών κάθε τυλίγματος καθορίζει τις τάσεις του μετασχηματιστή. Ένας μετασχηματιστής υποβιβασμού τάσης έχει πολλές σπείρες στο πρωτεύον τύλιγμα που συνδέεται κυρίως τάση (220V), και λίγες σπείρες στο δευτερεύον που παρέχει την χαμηλή τάση εξόδου.

$$\eta = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

V1: Τάση στο πρωτεύον
V2: Τάση στο δευτερεύον
N1: Αριθμός σπειρών στο πρωτεύον
N2: Αριθμός σπειρών στο δευτερεύον





Transformer
κύκλωμα σύμβολο

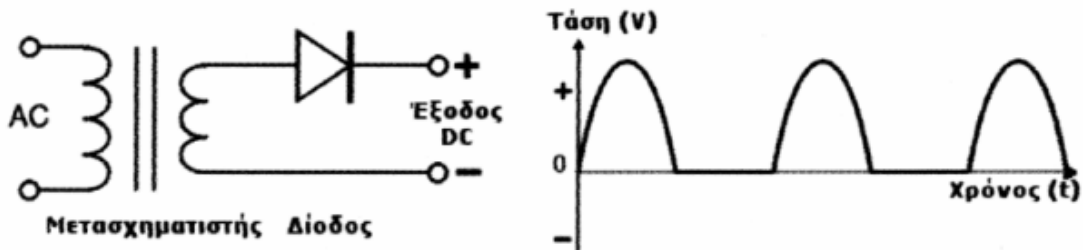


3.3 Ανορθωτής

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι συνδεσμολογίας διόδων για να πραγματοποιηθεί ένας ανορθωτής. Ο πιο σημαντικός και συνηθισμένος είναι "η διπλή ανόρθωση με γέφυρα" και προσφέρει ανόρθωση πλήρους κύματος. Ανόρθωση πλήρους κύματος επιτυγχάνεται επίσης και με δύο διόδους σε έναν μετασχηματιστή με μεσαία λήψη αλλά αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται σπάνια.

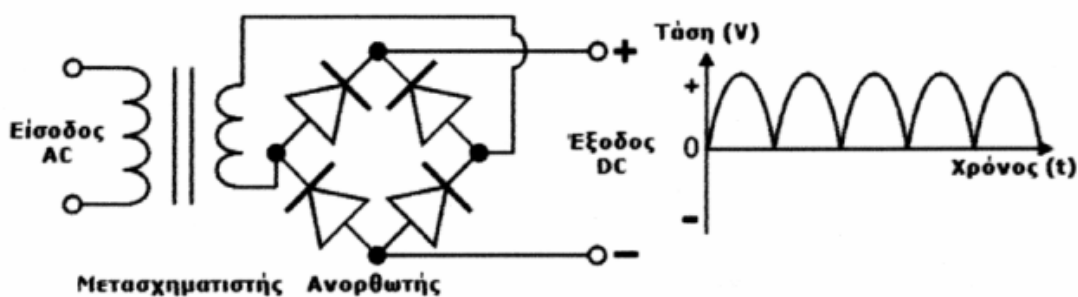
Απλή ανόρθωση

Μία μόνο διάδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ανορθωτής αλλά η διάδος άγει μόνο κατά την διάρκεια της θετικής ημιπεριόδου. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει ρεύμα μόνο για το μισό της περιόδου και το κύκλωμα ονομάζεται ανορθωτής μισού κύματος.



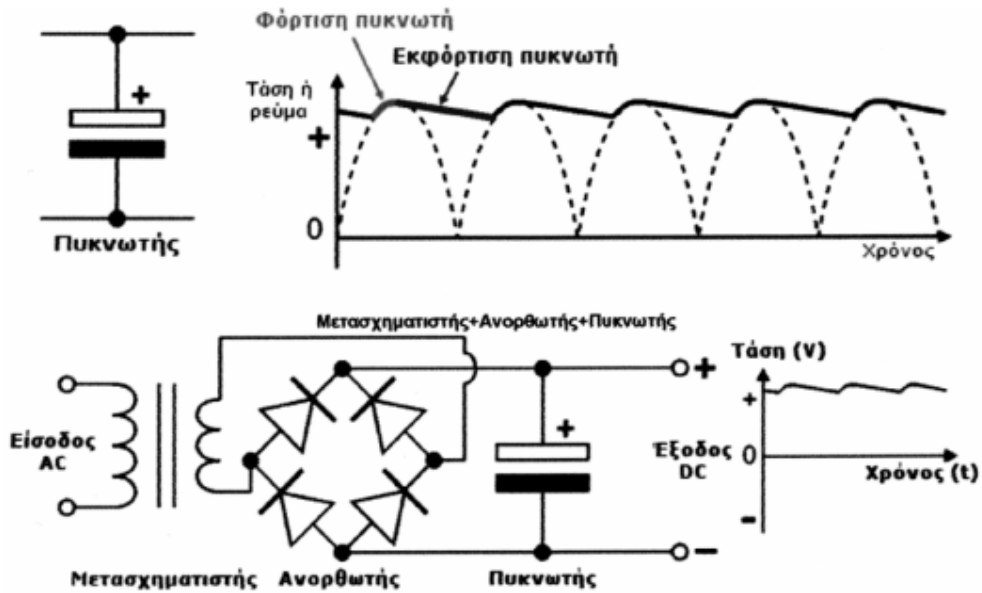
3.4 Διπλή ανόρθωση με γέφυρα

Η ανόρθωση με γέφυρα αποτελείται από 4 διόδους και κυκλοφορεί στο εμπόριο σαν ένα εξάρτημα αλλά μπορεί επίσης να κατασκευαστή με 4 διόδους. Ονομάζεται ανορθωτής πλήρους κύματος γιατί οι διόδοι άγουν ανά δύο σε κάθε ημιπερίοδο (αρνητική και θετική) του σήματος εισόδου. Το κύριο χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης ανόρθωσης είναι ότι χρησιμοποιείται μετασχηματιστής χωρίς μεσαία λήψη. Επίσης κάθε διόδος έχει στα άκρα της κατά την ανάστροφη περίοδο την τάση του μετασχηματιστή



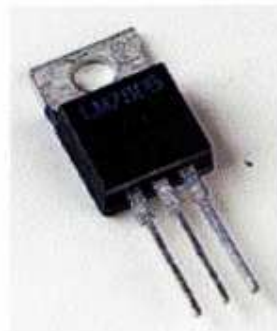
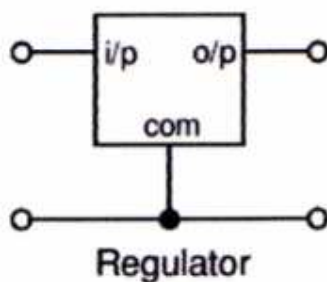
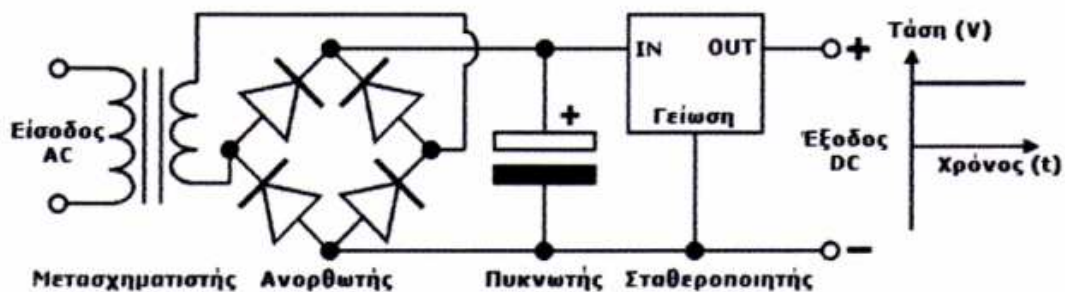
3.5 Εξομάλυνση

Η εξομάλυνση (φιλτράρισμα) επιτυγχάνεται με ένα ηλεκτρολυτικό πυκνωτή μεγάλης χωρητικότητας συνδεδεμένο παράλληλα με το φορτίο. Ο πυκνωτής αποθηκεύει ενέργεια (γρήγορη φόρτιση) κατά τη διάρκεια της περιόδου αγωγής και την αποδίδει την ενέργεια στο φορτίο (εκφόρτιση) κατά τη διάρκεια της περιόδου μη αγωγής. Η εξομάλυνση αυξάνει την μέση τάση DC (τα $1.41 \times \text{RMS}$). Για παράδειγμα 12V RMS AC μετά από ανορθωτή πλήρους κύματος θα μειωθούν περίπου σε 10.6V DC (τα 1.4V θα χαθούν λόγω πτώσης τάσης στις διόδους -0.66V ανά διόδο πιο συγκεκριμένα). Με την τοποθέτηση του πυκνωτή εξομάλυνσης θα έχουμε $10.6 \times 1.41 = 14.9\text{V DC}$. Το παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζει την μη φιλτραρισμένη κυμάτωση DC (διακεκομμένη γραμμή) και την φιλτραρισμένη (έντονη γραμμή).



3.6 Σταθεροποιητής

Οι σταθεροποιητές τάσης είναι ολοκληρωμένα κυκλώματα προρυθμισμένα σε κάποιες τάσεις εξόδου (συνήθως 5 έως 24V) και ως μία συγκεκριμένη ένταση ρεύματος. Οι περισσότεροι σταθεροποιητές περιέχουν κυκλώματα προστασίας υπερφόρτωσης και υπερθέρμανσης. Αρκετοί σταθεροποιητές έχουν τρεις επαφές ή περισσότερες, μοιάζοντας σαν τρανζίστορ ισχύος, και έχουν και μια τρύπα με σκοπό να βιδωθούν πάνω σε ψήκτρα εάν είναι απαραίτητο. Είναι σημαντικό η τάση εισόδου τους να είναι μερικά Volts παραπάνω από την σταθεροποιημένη τάση εξόδου. Ο ρόλος του σταθεροποιητή είναι να εξαλείφει κάθε κυμάτωση που απομένει από τον πυκνωτή εξομάλυνσης και να αποδίδει μία σταθερή τάση εξόδου. Πλέον η τάση εξόδου του σταθεροποιητή είναι κατάλληλη για να τροφοδοτήσουμε οποιαδήποτε συσκευή ή κύκλωμα.



Ρυθμιστή τάσης

3.7 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΖΟΥΝ ΕΝΑ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ

Εξετάζουμε το τροφοδοτικό σαν τετράπολο και μετράμε τα στοιχεία της εισόδου και της εξόδου:

π.χ. είσοδος 220V/0,15A έξοδος 24V/1A

Όταν υπάρχει μετασχηματιστής, στα στοιχεία εισόδου αναφέρεται και η τάση του δευτερεύοντος, καθώς επίσης και η ισχύς του:

π.χ. είσοδος 220V/15V/35W έξοδος 24V/1A

Τα σύμβολα που θα χρησιμοποιηθούν σ'αυτές τις μετρήσεις είναι:

- 1) Τάση πρωτεύοντος σε ενεργό τιμή : V_P
- 2) Τάση δευτερεύοντος σε ενεργό τιμή : V_S
- 3) Ρεύμα δευτερεύοντος σε ενεργό τιμή : I_S
- 4) Συνεχή τάση εξόδου μετά το φίλτρο εξομάλυνσης : V_{dc}
- 5) Συνεχές ρεύμα εξόδου μετά το φίλτρο εξομάλυνσης : I_{dc}
- 6) Συνεχή τάση εξόδου μετά το κύκλωμα σταθεροποίησης : V_0
- 7) Συνεχές ρεύμα εξόδου μετά το κύκλωμα σταθεροποίησης : I_0

Τα τροφοδοτικά μεγάλης ισχύος είναι μονοφασικά αλλά κυρίως τριφασικά μερικών χιλιάδων watt, που η ρύθμισή τους γίνεται με θυρίστορ ισχύος, που είναι ένα διαφορετικό αντικείμενο μελέτης. Τα τροφοδοτικά χαμηλής ισχύος με μία είσοδο μονοφασική απλής και διπλής ανόρθωσης, με φίλτρο χωρητικής εισόδου, τα οποία μπορούμε να χωρίσουμε στις εξής κατηγορίες:

A. Τροφοδοτικά με ασταθεροποιητή έξοδο

1. Με χαμηλή τάση εξόδου, με μετασχηματιστή και μεταβλητή ή αμετάβλητη τάση εξόδου.
2. Με υψηλή τάση εξόδου κυρίως χωρίς μετασχηματιστή με διπλασιασμό ή πολλαπλασιασμό της τάσης.

B. Τροφοδοτικά με σταθεροποιημένη έξοδο (Voltage Regulators)

1. Με μία ή περισσότερες σταθερές τάσεις εξόδου.
2. Με μεταβλητή και σταθεροποιημένη τάση εξόδου.
3. Με σταθεροποίηση παλμοτάσεων ή αλλιώς με διακοπτόμενη ρύθμιση (Switching regulators).

3.7.1 Μετρήσεις που περιγράφουν την ποιότητα ενός τροφοδοτικού

Το ιδανικό τροφοδοτικό δίνει συνεχή τάση εξόδου όμοια με μπαταρίας, με μηδενική εσωτερική αντίσταση. Δηλ. δεν έχει εναλλασσόμενη συνιστώσα (κυμάτωση) και δεν μεταβάλλεται η τιμή της όταν αλλάζει φορτίο. Και φυσικά δεν επηρεάζεται από την μεταβολή της τάσης του δικτύου.

Οι μετρήσεις λοιπόν που περιγράφουν την ποιότητα ενός τροφοδοτικού αναφέρονται στην σταθερότητα της τάσης εξόδου και είναι οι παρακάτω :

1) Τάση κυμάτωσης V_r (ripple) : είναι η εναλλασσόμενη συνιστώσα της τάσης εξόδου V_{dc} ή V_o .

Μετρίεται με τον παλμογράφο στη θέση A.C. για να απομονωθεί η συνεχής συνιστώσα.

2) Συχνότητα κυμάτωσης f_r : Για μονοφασική είσοδο είναι 50 c/s για απλή και 100 c/s για την διπλή ανόρθωση.

3) Συντελεστής κυμάτωσης $r\%$ (ripple factor) : Είναι το ποσοστό της κυμάτωσης ως

προς την τάση εξόδου. Υπολογίζεται από την σχέση : $r\% = \frac{V_r}{V_{dc}} \times 100$

4) Συντελεστή ρύθμισης φορτίου $R_L\%$ (Load Regulation) : Ο συντελεστής R_L μας δείχνει σε τι ποσοστό μεταβάλλεται η τάση εξόδου όταν μεταβάλλεται το φορτίο. Για

να τον βρούμε μετράμε την τάση εξόδου χωρίς φορτίο V_{dc} (N.L.) και την τάση εξόδου με πλήρες φορτίο V_{dc} (F.L) και υπολογίζουμε από τη σχέση :

$$R_l = \frac{V_{dc}(N.L.) - V_{dc}(F.L.)}{V_{dc}(F.L.)} \times 100$$

5) Συντελεστής ρύθμισης δικτύου $R_v\%$ (Line regulation) : Η τάση του δικτύου μας δεν είναι σταθερή στα 220V. Αλλάζει στη διάρκεια της ημέρας και από περιοχή σε περιοχή. Μεταβολές έως και $\pm 20\%$ θεωρούνται παραδεκτές από την Δ.Ε.Η.

Μετρήσεις που περιγράφουν τη λειτουργία ενός τροφοδοτικού ή οποιουδήποτε ηλεκτρονικού κυκλώματος, είναι πιο ενδιαφέρουσες για έναν ηλεκτρονικό. Είναι οι μόνες για τις οποίες ανοίγουμε μια συσκευή. Ενώ οι προηγούμενες γίνονται στην είσοδο ή την έξοδο, αυτές γίνονται μέσα στο κύκλωμα. Ένας ηλεκτρονικός είναι απαραίτητο να έχει υπόψιν του τα εξής :

α) Γνώση του τρόπου λειτουργίας

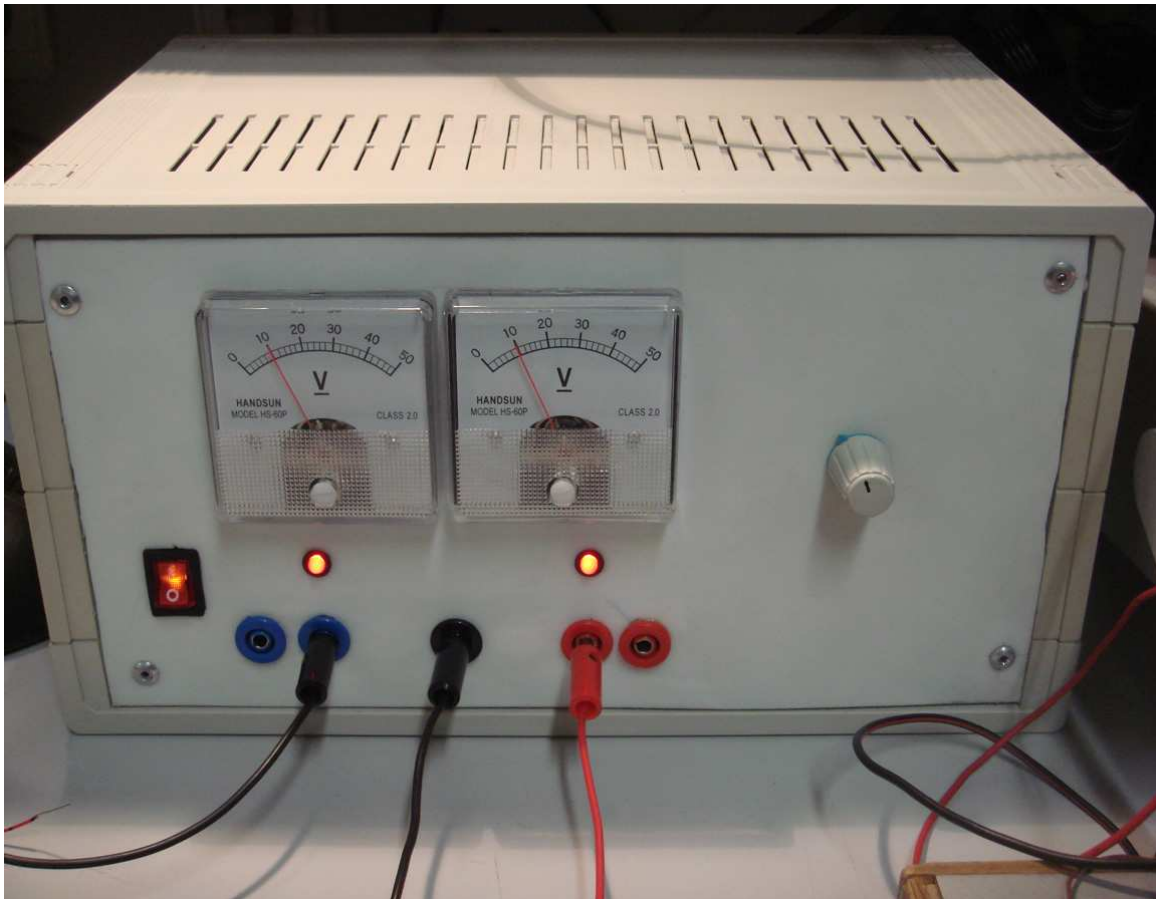
β) Πρωτοβουλία και αιτιολόγηση των μετρήσεων.

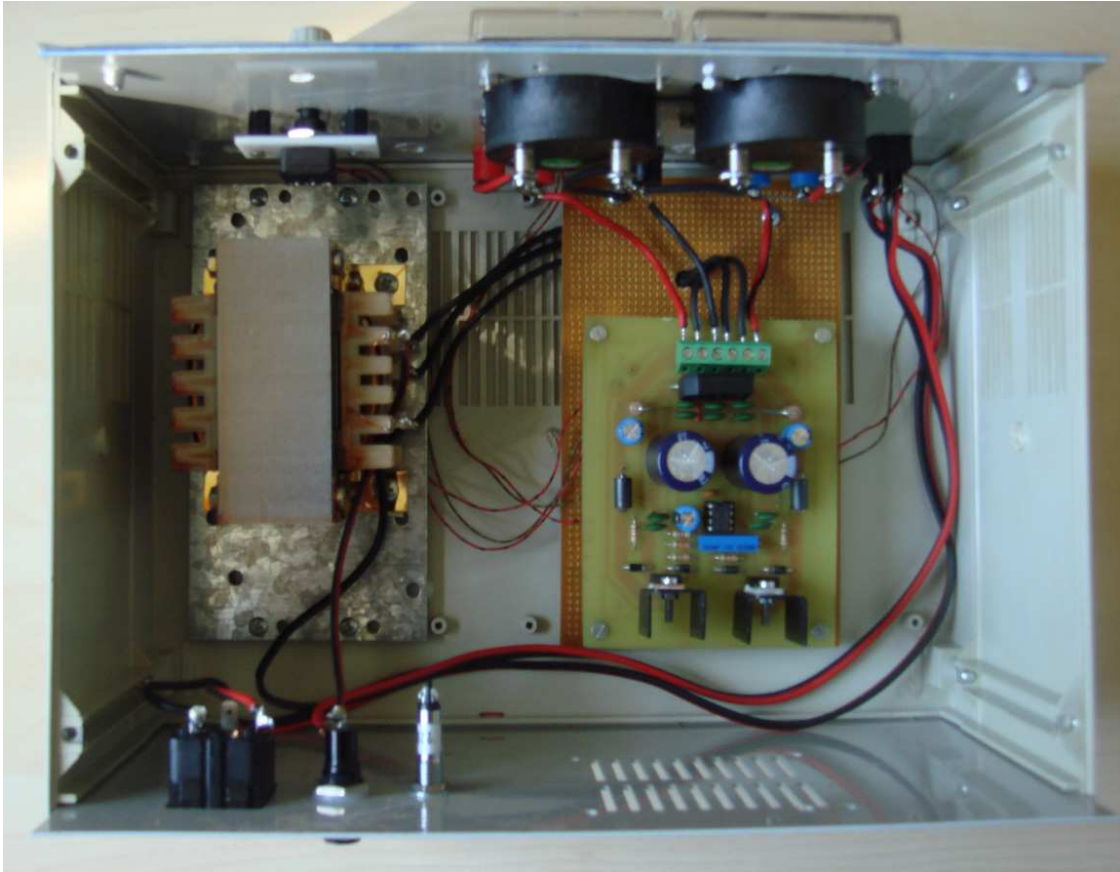
γ) Γνώση του τρόπου λειτουργίας των στοιχείων που αποτελούν το κύκλωμα (όπως αντιστάσεων, διόδων, πυκνωτών, σταθεροποιητών τάσης κ.τ.λ.).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΟ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ 2x30V

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ - ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ





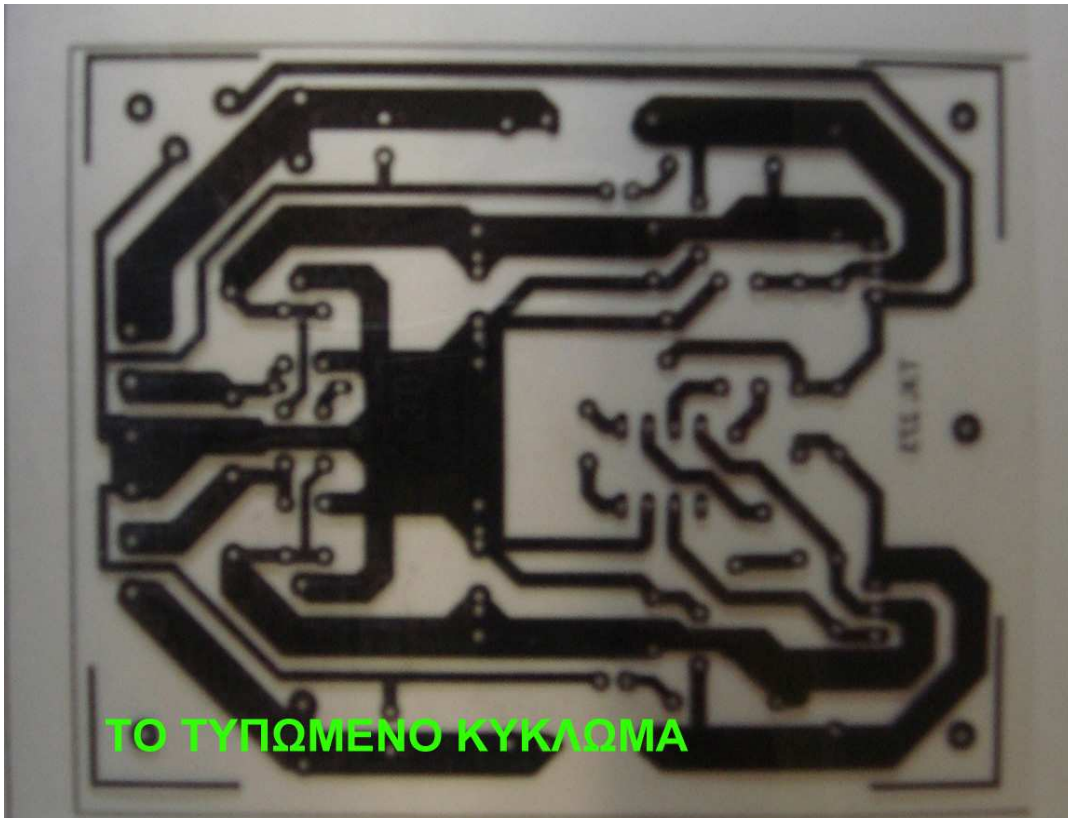
Αποτελείται από:

- 1) Μετασχηματιστή 220/2*18V/3.5A
- 2) Ανόρθωση {με γέφυρα}
- 3) Φίλτρο εξομάλυνσης
- 4) Τελεστικό ενισχυτή LM301
- 5) Σταθεροποιητές (REGULATOR) LM317και LM337

Το θεωρητικό του κυκλώματος φαίνεται στο σχήμα 1. Η τάση από το μετασχηματιστή, ανορθώνεται από τη γέφυρα ανόρθωσης. Παράλληλα προς τις διόδους της γέφυρας, έχουν τοποθετηθεί οι πυκνωτές C1,C2,C3,C4, για καταστολή θορύβων. Κατόπιν, μέσω των κυρίως πυκνωτών φίλτρου C5 και C12 και των άλλων μικρής χωρητικότητας, που φιλτράρουν ακόμη περισσότερο το ρεύμα, οδηγείται στους ρυθμιστές τάσης, που αποτελούνται από τα LM317 & LM337. Αυτά τα ολοκληρωμένα είναι υπεύθυνα για τη ρύθμιση της θετικής και αρνητικής τάσης, αντίστοιχα. Στη θετική και αρνητική γραμμή τροφοδοσίας, παρεμβάλλονται LED, για να μας δείχνουν κάθε στιγμή ότι το κύκλωμα τροφοδοτείται σωστά.

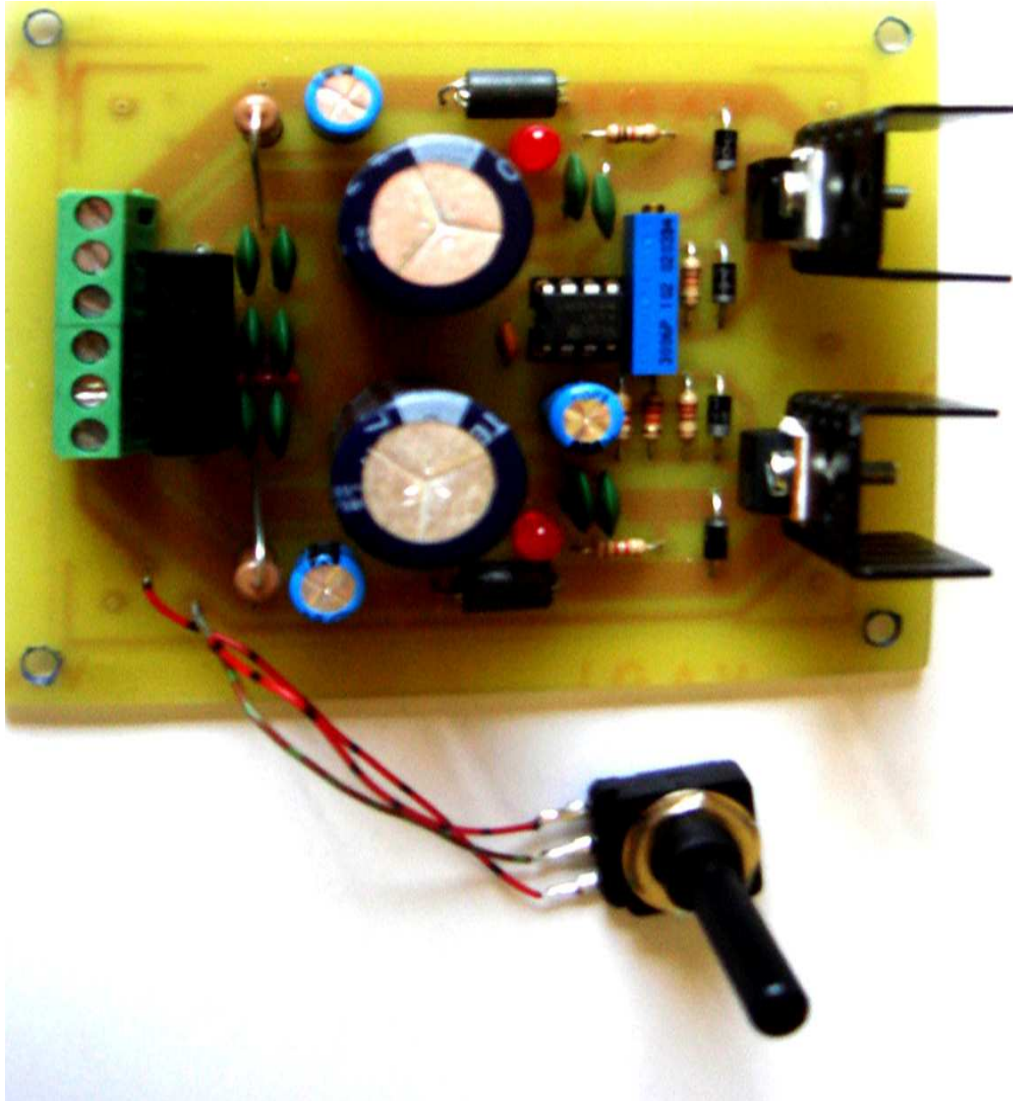
Οι διόδοι που υπάρχουν γύρω από τα LM317 & LM337 , χρησιμεύουν για την προστασία τους από τυχαίο βραχυκύκλωμα στην έξοδο του τροφοδοτικού ή από εκφόρτιση των ηλεκτρολυτικών μέσα τους , πράγμα που θα μπορούσε να τα καταστρέψει. Η ρύθμιση της θετικής τάσης γίνεται με το ποτενσιόμετρο R3, ενώ της αρνητικής από τον ακολουθητή τάσης , που είναι ένα LM301. Αυτό είναι συνδεδεμένο στη μη αναστρέφουσα είσοδο, μέσω ενός διαιρέτη τάσης, που αποτελείται από τις R4,R5 & R6, στη θετική και αρνητική τάση τροφοδοσίας . Η αναστρέφουσα είσοδος είναι συνδεδεμένη με τη γη, μέσω μιας αντιστάσεως της R9. Αν για οποιοδήποτε λόγο μεταβληθεί η θετική τάση, τότε το LM301 προκαλεί ακριβώς ίση μεταβολή στην αρνητική τάση τροφοδοσίας. Ο πυκνωτής που συνδέεται με τα ποδαράκια 1 και 8, αποτρέπει την ιδιοταλάντωση του τελεστικού ενισχυτή. Οι βατικές αντιστάσεις που υπάρχουν στην έξοδο, χρησιμεύουν σαν φορτίο για τη λειτουργία του κυκλώματος και για εκφόρτιση των πυκνωτών μετά το σβήσιμο του τροφοδοτικού. Οι πυκνωτές στη θετική και αρνητική γραμμή εξόδου, καθώς και τα πηνία, λειτουργούν σαν φίλτρα αποκοπής συχνοτήτων και θορύβου, από τις συσκευές που τροφοδοτούμε.

ΤΥΠΩΜΕΝΟ ΚΥΚΛΩΜΑ



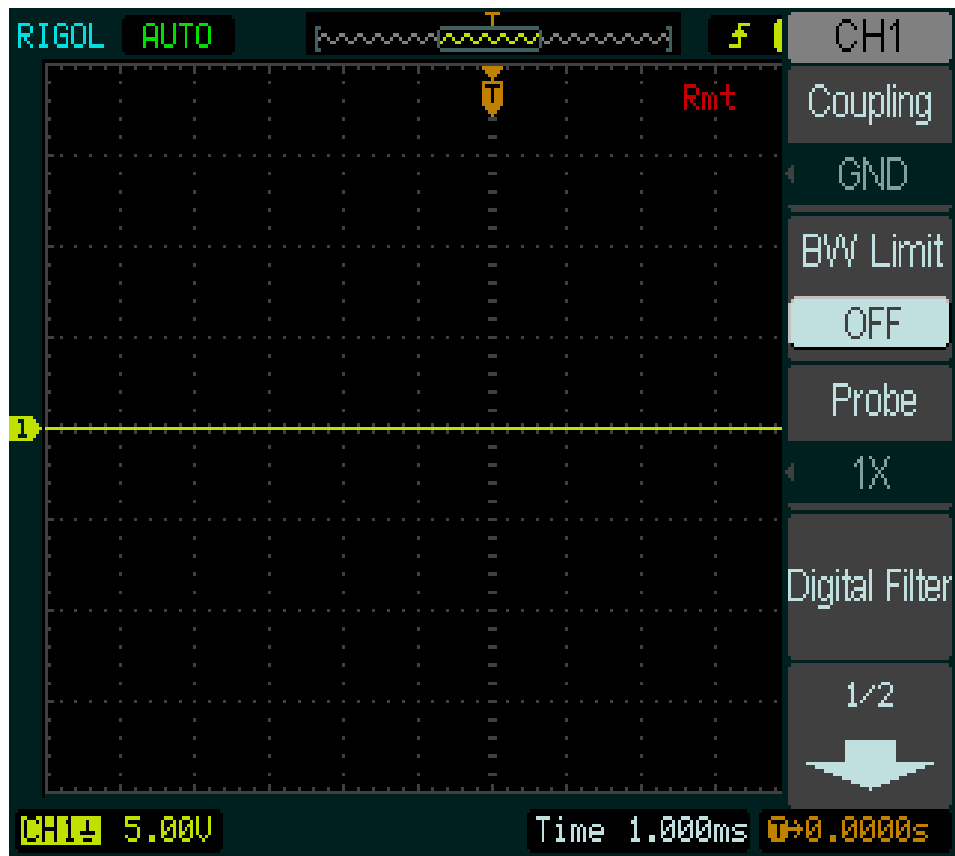
Σχήμα : 2

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

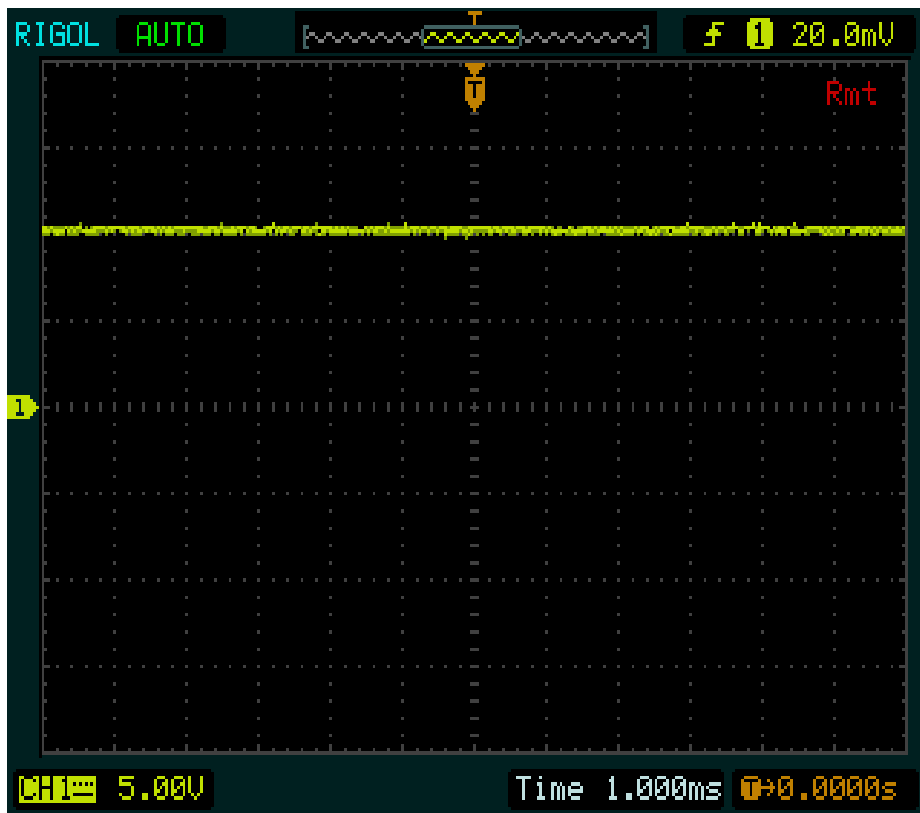


Σχήμα : 3

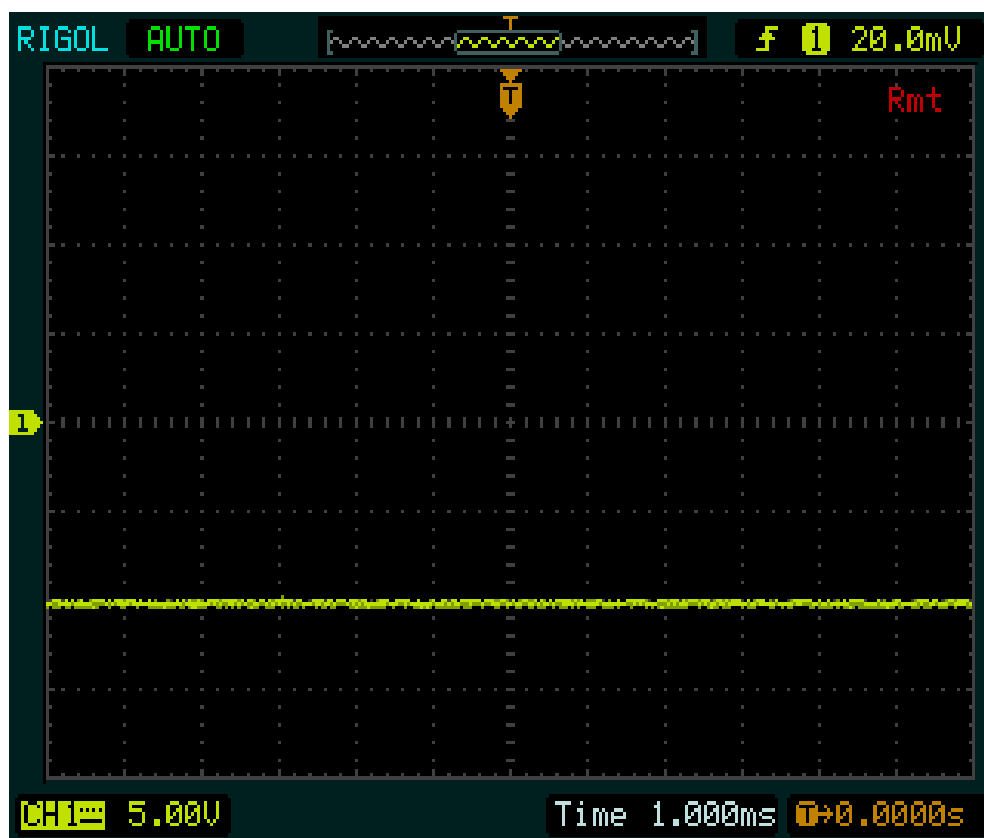
Η τάση εξόδου $V_{dc}=0V$



Η τάση εξόδου θετική $V_{DC} = 10V$



Η τάση εξόδου αρνητική $V_{DC} = -10V$



Ο συντελεστής κυμάτωσης RF (Ripple Factor) υπολογίζεται από τη σχέση :

$$RF = V_{AC} / V_{DC} * 100\%$$

Όπου V_{AC} ή AC συνιστώσα τάσης ($V_{pp}/2$) στη συγκεκριμένη DC τάση V_{DC} .

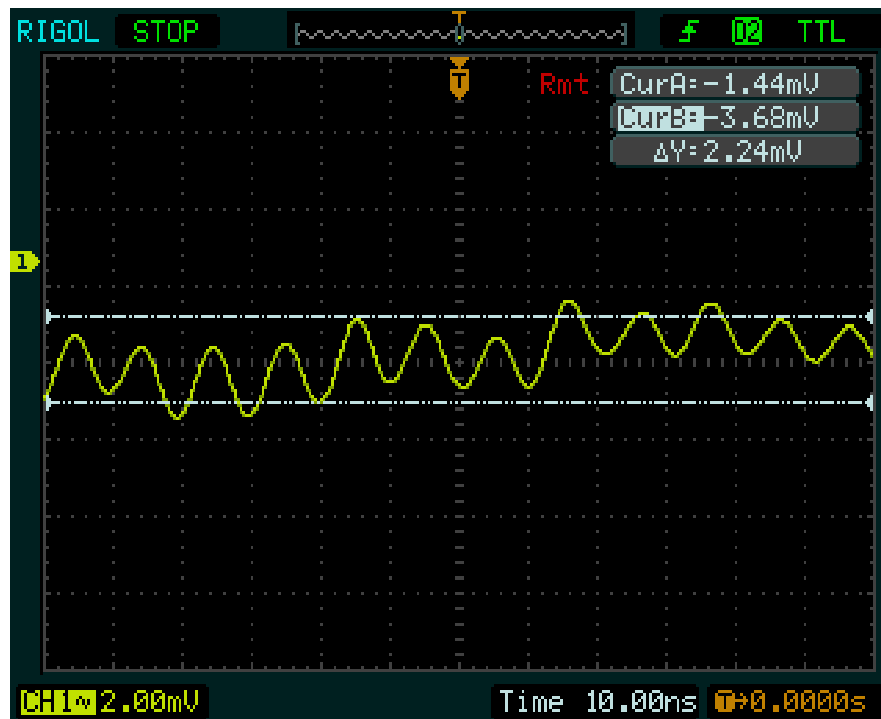
Εμείς υπολογίσαμε:

Όπου $V_{pp}=2,24 \text{ mV}$ άρα $V_p=1,12\text{mV}$ ή $V_{AC} = 1,12\text{mV}$

Και $V_{DC} = 10\text{V}$

$$\begin{aligned} RF=(\text{Ripple Factor}) &= 1.12 \cdot 10^{-3} \text{ V} / 10\text{V} * 100\% \\ &= 1.12 \cdot 10^{-4} * 100\% = 0.000112\% \end{aligned}$$

Δείτε της εικόνες του παρακάτω σχήματος



ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΠΥΚΝΩΤΕΣ

C1	100nF	κεραμικός
C2	100nF	κεραμικός
C3	100nF	κεραμικός
C4	100nF	κεραμικός
C5	4700/35V	Ηλεκτρολυτικό
C6	100nF	κεραμικός
C7	4,7μF/400V	Ηλεκτρολυτικό
C8	100μF/35V	Ηλεκτρολυτικό
C9	100μF	κεραμικός
C10	100nF/100V	Ηλεκτρολυτικό
C11	100nF	κεραμικός
C12	4700/35V	Ηλεκτρολυτικό
C13	100nF	κεραμικός
C14	100nF	κεραμικός
C15	100nF	κεραμικός
C16	100nF	κεραμικός

ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ 1/4W

R1	1,2K	
R2	220Ω	
R3	4,7K	Ποτενσιόμετρο
R4	12K	
R5	1K	Ποτενσιόμετρο Trimer
R6	12K	
R7	1,5K	2W
R8	1,5K	2W
R9	4,7K	
R10	1K	

ΔΙΟΔΟΙ

D1	LED	Κόκκινο
D2	100V 2A	Γέφυρα αρν.
D3	LED	Κόκκινο
D4	1N4001	
D5	1N4001	
D6	1N4001	
D7	1N4001	

ΠΗΝΙΑ

L1	VK200
L2	VK200

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

T1	2x18V
----	-------

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

U1	LM317
U2	LM337
U3	LM301

DATA SHEETS



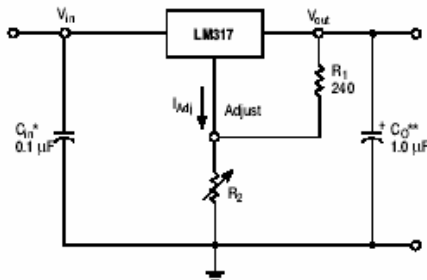
1.5 A Adjustable Output, Positive Voltage Regulator

The LM317 is an adjustable 3-terminal positive voltage regulator capable of supplying in excess of 1.5 A over an output voltage range of 1.2 V to 37 V. This voltage regulator is exceptionally easy to use and requires only two external resistors to set the output voltage. Further, it employs internal current limiting, thermal shutdown and safe area compensation, making it essentially blow-out proof.

The LM317 serves a wide variety of applications including local, on card regulation. This device can also be used to make a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment and output, the LM317 can be used as a precision current regulator.

- Output Current in Excess of 1.5 A
- Output Adjustable between 1.2 V and 37 V
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short Circuit Current Limiting Constant with Temperature
- Output Transistor Safe-Area Compensation
- Floating Operation for High Voltage Applications
- Available in Surface Mount D²PAK, and Standard 3-Lead Transistor Package
- Eliminates Stocking many Fixed Voltages

Standard Application



* C_{in} is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.
 ** C_O is not needed for stability, however, it does improve transient response.

$$V_{out} = 1.25 V \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{Adj} R_2$$

Since I_{Adj} is controlled to less than 100 μA, the error associated with this term is negligible in most applications.

LM317

THREE-TERMINAL ADJUSTABLE POSITIVE VOLTAGE REGULATOR

SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 221A

Heatsink surface
connected to Pin 2.



Pin 1. Adjust
2. V_{out}
3. V_{in}

D2T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 936
(D²PAK)

Heatsink surface (shown as terminal 4 in
case outline drawing) is connected to Pin 2.



ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
LM317BD2T	T _J = -40° to +125°C	Surface Mount
LM317BT		Insertion Mount
LM317D2T	T _J = 0° to +125°C	Surface Mount
LM317T		Insertion Mount

LM317

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Input–Output Voltage Differential	$V_I - V_O$	40	Vdc
Power Dissipation Case 221A $T_A = +25^\circ\text{C}$ Thermal Resistance, Junction–to–Ambient Thermal Resistance, Junction–to–Case Case 936 (D ² PAK) $T_A = +25^\circ\text{C}$ Thermal Resistance, Junction–to–Ambient Thermal Resistance, Junction–to–Case	P_D θ_{JA} θ_{JC} P_D θ_{JA} θ_{JC}	Internally Limited 65 5.0 Internally Limited 70 5.0	W $^\circ\text{C/W}$ $^\circ\text{C/W}$ W $^\circ\text{C/W}$ $^\circ\text{C/W}$
Operating Junction Temperature Range	T_J	–40 to +125	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	–65 to +150	$^\circ\text{C}$

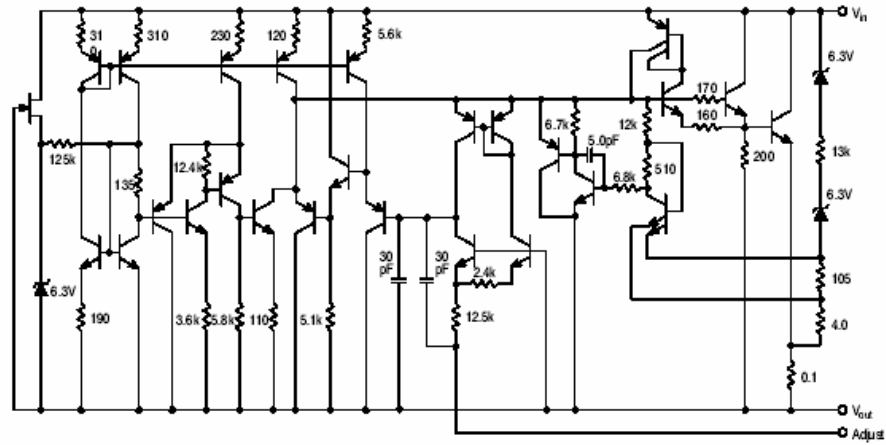
ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_I - V_O = 5.0\text{ V}$; $I_O = 0.5\text{ A}$ for D2T and T packages; $T_J = T_{low}$ to T_{high} [Note 1]; I_{max} and P_{max} [Note 2]; unless otherwise noted.)

Characteristics	Figure	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Line Regulation (Note 3), $T_A = +25^\circ\text{C}$, $3.0\text{ V} \leq V_I - V_O \leq 40\text{ V}$	1	Reg_{line}	–	0.01	0.04	%/V
Load Regulation (Note 3), $T_A = +25^\circ\text{C}$, $10\text{ mA} \leq I_O \leq I_{max}$ $V_O \leq 5.0\text{ V}$ $V_O \geq 5.0\text{ V}$	2	Reg_{load}	– –	5.0 0.1	25 0.5	mV % V_O
Thermal Regulation, $T_A = +25^\circ\text{C}$ (Note 6), 20 ms Pulse		Reg_{them}	–	0.03	0.07	% V_O /W
Adjustment Pin Current	3	I_{Adj}	–	50	100	μA
Adjustment Pin Current Change, $2.5\text{ V} \leq V_I - V_O \leq 40\text{ V}$, $10\text{ mA} \leq I_L \leq I_{max}$, $P_D \leq P_{max}$	1, 2	ΔI_{Adj}	–	0.2	5.0	μA
Reference Voltage, $3.0\text{ V} \leq V_I - V_O \leq 40\text{ V}$, $10\text{ mA} \leq I_O \leq I_{max}$, $P_D \leq P_{max}$	3	V_{ref}	1.2	1.25	1.3	V
Line Regulation (Note 3), $3.0\text{ V} \leq V_I - V_O \leq 40\text{ V}$	1	Reg_{line}	–	0.02	0.07	%/V
Load Regulation (Note 3), $10\text{ mA} \leq I_O \leq I_{max}$ $V_O \leq 5.0\text{ V}$ $V_O \geq 5.0\text{ V}$	2	Reg_{load}	– –	20 0.3	70 1.5	mV % V_O
Temperature Stability ($T_{low} \leq T_J \leq T_{high}$)	3	T_S	–	0.7	–	% V_O
Minimum Load Current to Maintain Regulation ($V_I - V_O = 40\text{ V}$)	3	I_{Lmin}	–	3.5	10	mA
Maximum Output Current $V_I - V_O \leq 15\text{ V}$, $P_D \leq P_{max}$, T Package $V_I - V_O = 40\text{ V}$, $P_D \leq P_{max}$, $T_A = +25^\circ\text{C}$, T Package	3	I_{max}	1.5 0.15	2.2 0.4	– –	A
RMS Noise, % of V_O , $T_A = +25^\circ\text{C}$, $10\text{ Hz} \leq f \leq 10\text{ kHz}$		N	–	0.003	–	% V_O
Ripple Rejection, $V_O = 10\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$ (Note 4) Without C_{Adj} $C_{Adj} = 10\text{ }\mu\text{F}$	4	RR	– 66	65 80	– –	dB
Long–Term Stability, $T_J = T_{high}$ (Note 5), $T_A = +25^\circ\text{C}$ for Endpoint Measurements	3	S	–	0.3	1.0	%/1.0 k Hrs.
Thermal Resistance Junction to Case, T Package		$R_{\theta JC}$	–	5.0	–	$^\circ\text{C/W}$

NOTES: 1. T_{low} to $T_{high} = 0^\circ$ to $+125^\circ\text{C}$, for LM317T, D2T. T_{low} to $T_{high} = -40^\circ$ to $+125^\circ\text{C}$, for LM317BT, BD2T.
2. $I_{max} = 1.5\text{ A}$, $P_{max} = 20\text{ W}$
3. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.
4. C_{Adj} , when used, is connected between the adjustment pin and ground.
5. Since Long–Term Stability cannot be measured on each device before shipment, this specification is an engineering estimate of average stability from lot to lot.
6. Power dissipation within an IC voltage regulator produces a temperature gradient on the die, affecting individual IC components on the die. These effects can be minimized by proper integrated circuit design and layout techniques. Thermal Regulation is the effect of these temperature gradients on the output voltage and is expressed in percentage of output change per watt of power change in a specified time.

LM317

Representative Schematic Diagram



This device contains 29 active transistors.

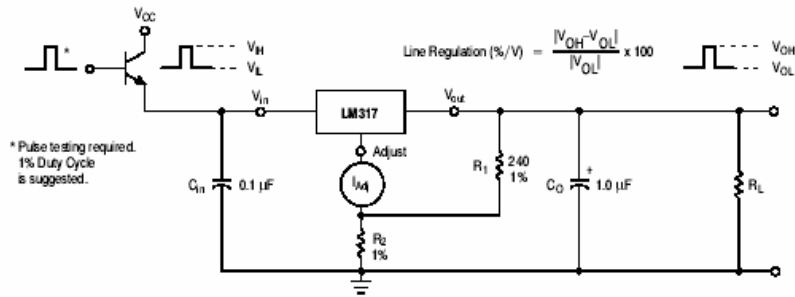


Figure 1. Line Regulation and Δ_{Adj}/Line Test Circuit

LM317

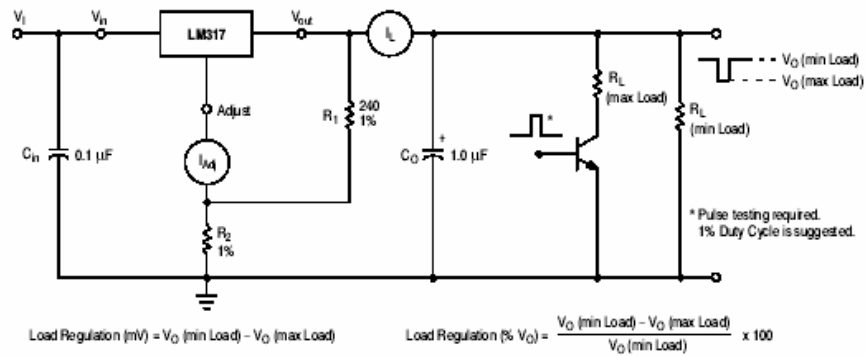


Figure 2. Load Regulation and ΔI_{Adj} /Load Test Circuit

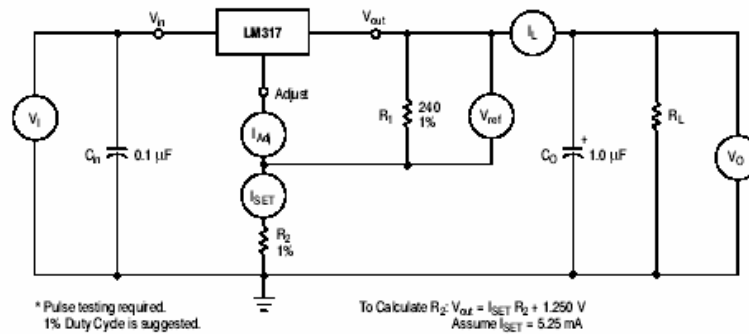


Figure 3. Standard Test Circuit

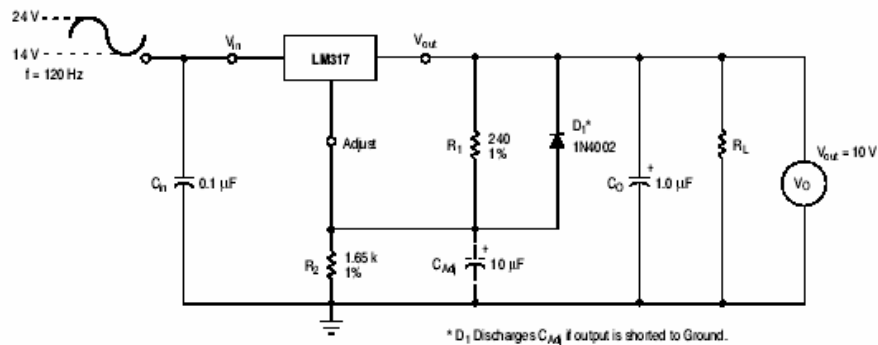


Figure 4. Ripple Rejection Test Circuit

LM317

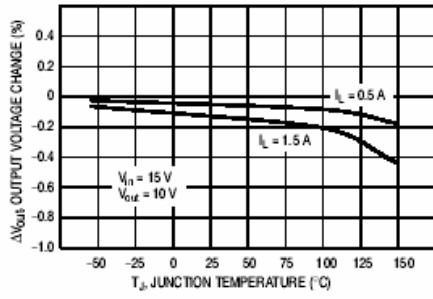


Figure 5. Load Regulation

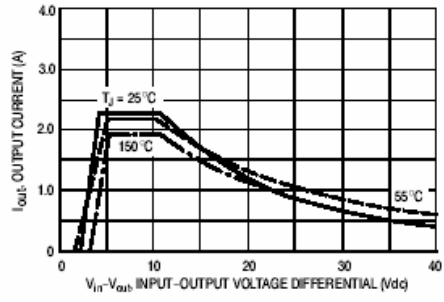


Figure 6. Current Limit

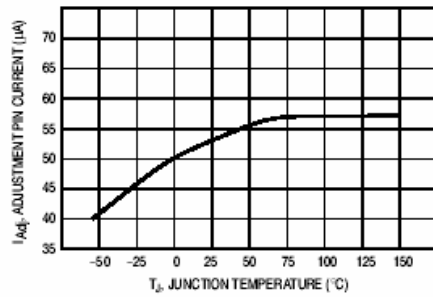


Figure 7. Adjustment Pin Current

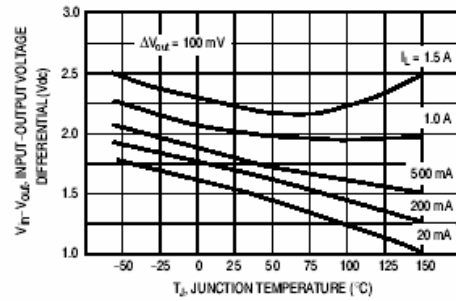


Figure 8. Dropout Voltage

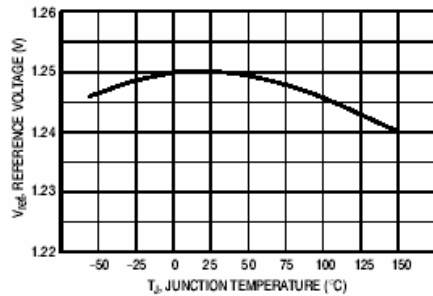


Figure 9. Temperature Stability

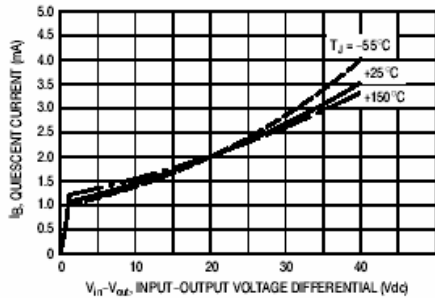


Figure 10. Minimum Operating Current

LM317

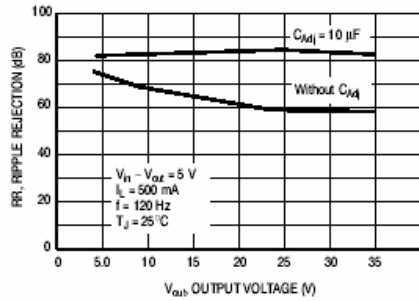


Figure 11. Ripple Rejection versus Output Voltage

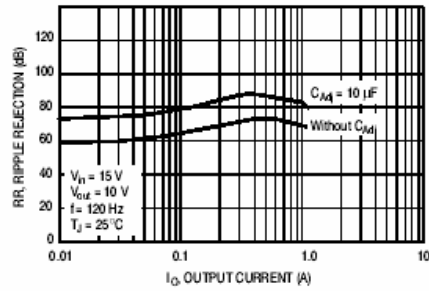


Figure 12. Ripple Rejection versus Output Current

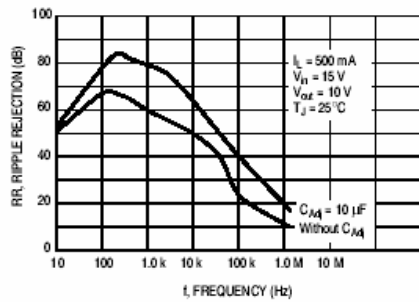


Figure 13. Ripple Rejection versus Frequency

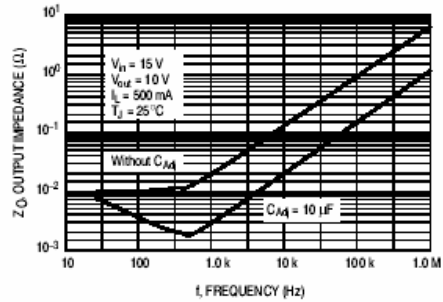


Figure 14. Output Impedance

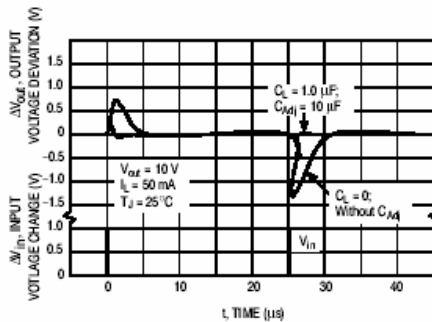


Figure 15. Line Transient Response

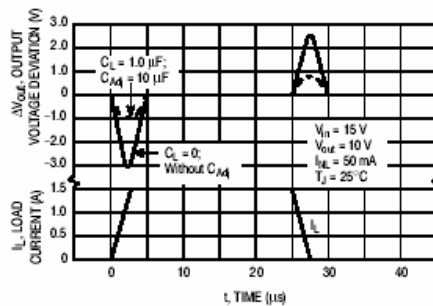


Figure 16. Load Transient Response

LM317

APPLICATIONS INFORMATION

Basic Circuit Operation

The LM317 is a 3-terminal floating regulator. In operation, the LM317 develops and maintains a nominal 1.25 V reference (V_{ref}) between its output and adjustment terminals. This reference voltage is converted to a programming current (I_{PRG}) by R_1 (see Figure 17), and this constant current flows through R_2 to ground.

The regulated output voltage is given by:

$$V_{out} = V_{ref} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{Adj} R_2$$

Since the current from the adjustment terminal (I_{Adj}) represents an error term in the equation, the LM317 was designed to control I_{Adj} to less than 100 μ A and keep it constant. To do this, all quiescent operating current is returned to the output terminal. This imposes the requirement for a minimum load current. If the load current is less than this minimum, the output voltage will rise.

Since the LM317 is a floating regulator, it is only the voltage differential across the circuit which is important to performance, and operation at high voltages with respect to ground is possible.

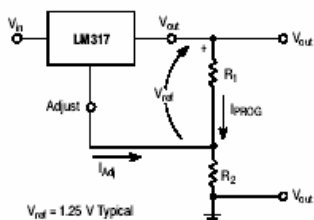


Figure 17. Basic Circuit Configuration

Load Regulation

The LM317 is capable of providing extremely good load regulation, but a few precautions are needed to obtain maximum performance. For best performance, the programming resistor (R_1) should be connected as close to the regulator as possible to minimize line drops which effectively appear in series with the reference, thereby degrading regulation. The ground end of R_2 can be returned near the load ground to provide remote ground sensing and improve load regulation.

External Capacitors

A 0.1 μ F disc or 1.0 μ F tantalum input bypass capacitor (C_{in}) is recommended to reduce the sensitivity to input line impedance.

The adjustment terminal may be bypassed to ground to improve ripple rejection. This capacitor (C_{Adj}) prevents ripple from being amplified as the output voltage is increased. A 10 μ F capacitor should improve ripple rejection about 15 dB at 120 Hz in a 10 V application.

Although the LM317 is stable with no output capacitance, like any feedback circuit, certain values of external capacitance can cause excessive ringing. An output capacitance (C_O) in the form of a 1.0 μ F tantalum or 25 μ F aluminum electrolytic capacitor on the output swamps this effect and insures stability.

Protection Diodes

When external capacitors are used with any IC regulator it is sometimes necessary to add protection diodes to prevent the capacitors from discharging through low current points into the regulator.

Figure 18 shows the LM317 with the recommended protection diodes for output voltages in excess of 25 V or high capacitance values ($C_O > 25 \mu$ F, $C_{Adj} > 10 \mu$ F). Diode D_1 prevents C_O from discharging thru the IC during an input short circuit. Diode D_2 protects against capacitor C_{Adj} discharging through the IC during an output short circuit. The combination of diodes D_1 and D_2 prevents C_{Adj} from discharging through the IC during an input short circuit.

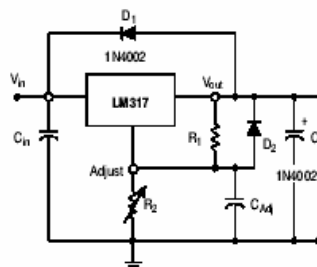


Figure 18. Voltage Regulator with Protection Diodes

LM317

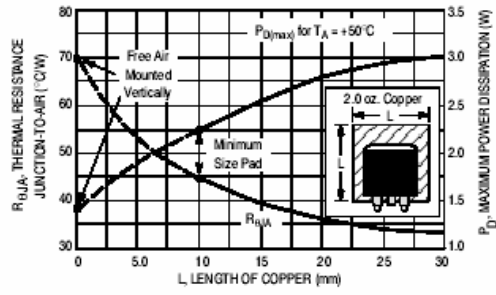


Figure 19. D²PAK Thermal Resistance and Maximum Power Dissipation versus P.C.B. Copper Length

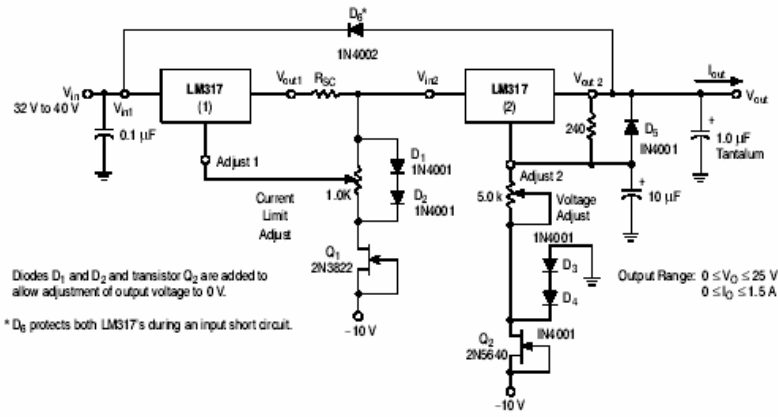


Figure 20. "Laboratory" Power Supply with Adjustable Current Limit and Output Voltage

LM317

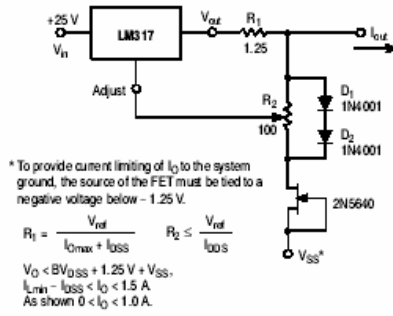


Figure 21. Adjustable Current Limiter

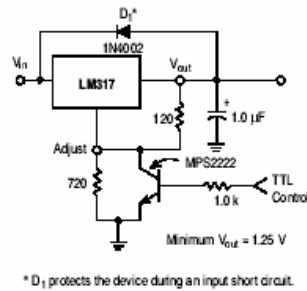


Figure 22. 5.0 V Electronic Shutdown Regulator

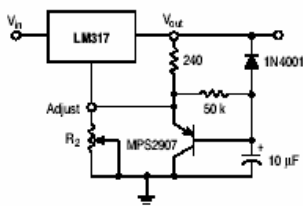


Figure 23. Slow Turn-On Regulator

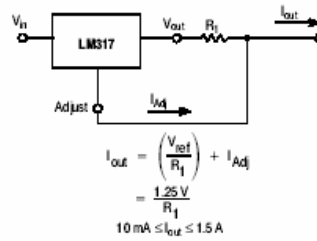
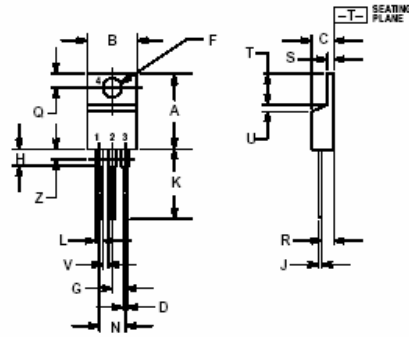


Figure 24. Current Regulator

LM317

PACKAGE DIMENSIONS

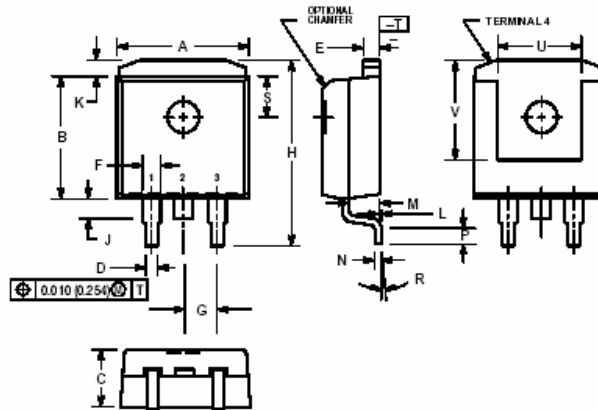
T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 221A-09
ISSUE AA



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION Z DEFINES A ZONE WHERE ALL BODY AND LEAD IRREGULARITIES ARE ALLOWED.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.570	0.620	14.48	15.75
B	0.380	0.435	9.66	10.28
C	0.190	0.190	4.82	4.82
D	0.025	0.025	0.64	0.64
F	0.142	0.147	3.61	3.73
G	0.095	0.105	2.42	2.66
H	0.110	0.155	2.80	3.93
J	0.018	0.025	0.46	0.64
K	0.530	0.565	13.71	14.27
L	0.045	0.090	1.15	1.52
N	0.190	0.210	4.83	5.33
Q	0.100	0.120	2.54	3.04
S	0.080	0.110	2.04	2.79
T	0.025	0.025	0.62	0.62
U	0.000	0.050	0.00	1.27
V	0.045	—	1.15	—
Z	—	0.080	—	2.04

D2T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 936-03
(D²PAK)
ISSUE B




- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. TAB C OVERLAP OPTIONAL WITH DIMENSIONS A AND K.
4. DIMENSIONS U AND V ESTABLISH A MINIMUM MOUNTING SURFACE FOR TERMINAL 4.
5. DIMENSIONS A AND E DO NOT INCLUDE MOLD FLASH OR GATE PROTRUSIONS. MOLD FLASH AND GATE PROTRUSIONS NOT TO EXCEED 0.025 (0.635) MAXIMUM.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.386	0.403	9.804	10.236
B	0.356	0.368	9.042	9.347
C	0.470	0.480	11.938	12.192
D	0.026	0.026	0.660	0.660
E	0.045	0.052	1.143	1.317
F	0.021 REF	—	0.533 REF	—
G	0.100 REF	—	2.540 REF	—
H	0.530	0.5520	13.494	14.017
J	0.125 MAX	—	3.175 MAX	—
K	0.050 REF	—	1.270 REF	—
L	0.000	0.010	0.000	0.254
M	0.088	0.109	2.235	2.769
N	0.018	0.020	0.457	0.508
P	0.059	0.078	1.473	1.981
R	5 REF	—	5 REF	—
S	0.116 REF	—	2.946 REF	—
U	0.200 MIN	—	5.080 MIN	—
V	0.250 MIN	—	6.350 MIN	—

Notes

LM317

ON Semiconductor and  are trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC). SCILLC reserves the right to make changes without further notice to any products herein. SCILLC makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does SCILLC assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in SCILLC data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. SCILLC does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. SCILLC products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the SCILLC product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use SCILLC products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SCILLC and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that SCILLC was negligent regarding the design or manufacture of the part. SCILLC is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

Literature Fulfillment:
Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: ONlit@hibbertco.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free USA/Canada

JAPAN: ON Semiconductor, Japan Customer Focus Center
4-32-1 Nishi-Gotanda, Shinagawa-ku, Tokyo, Japan 141-0031
Phone: 81-3-5740-2700
Email: r14525@onsemi.com

ON Semiconductor Website: <http://onsemi.com>

For additional information, please contact your local Sales Representative.

LM317/D



LM337

Three-Terminal Adjustable Output Negative Voltage Regulator

The LM337 is an adjustable 3-terminal negative voltage regulator capable of supplying in excess of 1.5 A over an output voltage range of -1.2 V to -37 V. This voltage regulator is exceptionally easy to use and requires only two external resistors to set the output voltage. Further, it employs internal current limiting, thermal shutdown and safe area compensation, making it essentially blow-out proof.

The LM337 serves a wide variety of applications including local, on card regulation. This device can also be used to make a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment and output, the LM337 can be used as a precision current regulator.

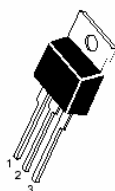
- Output Current in Excess of 1.5 A
- Output Adjustable between -1.2 V and -37 V
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short Circuit Current Limiting Constant with Temperature
- Output Transistor Safe-Area Compensation
- Floating Operation for High Voltage Applications
- Eliminates Stocking many Fixed Voltages
- Available in Surface Mount D²PAK and Standard 3-Lead Transistor Package

THREE-TERMINAL ADJUSTABLE NEGATIVE VOLTAGE REGULATOR

SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 221A

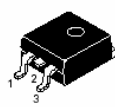
Heatsink surface
connected to Pin 2.

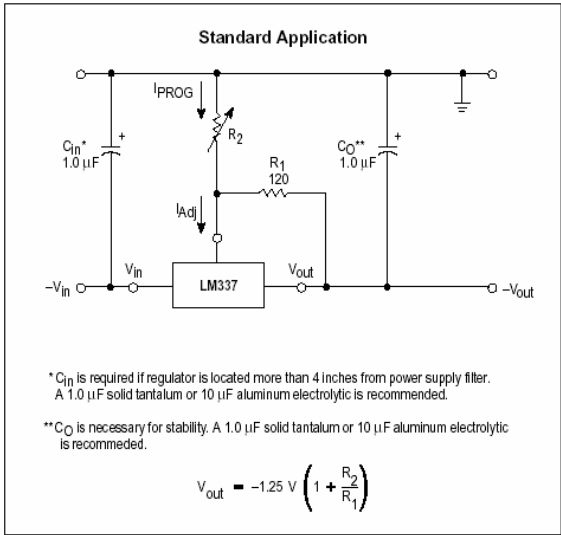


Pin 1. Adjust
2. V_{in}
3. V_{out}

D2T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 936
(D²PAK)

Heatsink surface (shown as terminal 4 in
case outline drawing) is connected to Pin 2.





ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
LM337BD2T	T _J = -40° to +125° C	Surface Mount
LM337BT		Insertion Mount
LM337D2T	T _J = 0° to +125° C	Surface Mount
LM337T		Insertion Mount

LM337

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Input–Output Voltage Differential	$V_I - V_O$	40	Vdc
Power Dissipation			
Case 221A			
$T_A = +25^\circ\text{C}$	P_D	Internally Limited	W
Thermal Resistance, Junction–to–Ambient	θ_{JA}	65	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction–to–Case	θ_{JC}	5.0	$^\circ\text{C/W}$
Case 936 (D ² PAK)			
$T_A = +25^\circ\text{C}$	P_D	Internally Limited	W
Thermal Resistance, Junction–to–Ambient	θ_{JA}	70	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction–to–Case	θ_{JC}	5.0	$^\circ\text{C/W}$
Operating Junction Temperature Range	T_J	–40 to +125	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	–65 to +150	$^\circ\text{C}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($|V_I - V_O| = 5.0\text{ V}$; $I_O = 0.5\text{ A}$ for T package; $T_J = T_{low}$ to T_{high} [Note 1]; I_{max} and P_{max} [Note 2].)

Characteristics	Figure	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Line Regulation (Note 3), $T_A = +25^\circ\text{C}$, $3.0\text{ V} \leq V_I - V_O \leq 40\text{ V}$	1	Reg_{line}	–	0.01	0.04	%/V
Load Regulation (Note 3), $T_A = +25^\circ\text{C}$, $10\text{ mA} \leq I_O \leq I_{max}$	2	Reg_{load}	–	15	50	mV
$ V_O \leq 5.0\text{ V}$			–	0.3	1.0	% V_O
$ V_O \geq 5.0\text{ V}$			–	–	–	–
Thermal Regulation, $T_A = +25^\circ\text{C}$ (Note 6), 10 ms Pulse		Reg_{therm}	–	0.003	0.04	% V_O/W
Adjustment Pin Current	3	I_{Adj}	–	65	100	μA
Adjustment Pin Current Change, $2.5\text{ V} \leq V_I - V_O \leq 40\text{ V}$, $10\text{ mA} \leq I_L \leq I_{max}$, $P_D \leq P_{max}$, $T_A = +25^\circ\text{C}$	1, 2	ΔI_{Adj}	–	2.0	5.0	μA
Reference Voltage, $T_A = +25^\circ\text{C}$, $3.0\text{ V} \leq V_I - V_O \leq 40\text{ V}$, $10\text{ mA} \leq I_O \leq I_{max}$, $P_D \leq P_{max}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high}	3	V_{ref}	–1.213 –1.20	–1.250 –1.25	–1.267 –1.30	V
Line Regulation (Note 3), $3.0\text{ V} \leq V_I - V_O \leq 40\text{ V}$	1	Reg_{line}	–	0.02	0.07	%/V
Load Regulation (Note 3), $10\text{ mA} \leq I_O \leq I_{max}$	2	Reg_{load}	–	20	70	mV
$ V_O \leq 5.0\text{ V}$			–	0.3	1.5	% V_O
$ V_O \geq 5.0\text{ V}$			–	–	–	–
Temperature Stability ($T_{low} \leq T_J \leq T_{high}$)	3	T_S	–	0.6	–	% V_O
Minimum Load Current to Maintain Regulation ($ V_I - V_O \leq 10\text{ V}$) ($ V_I - V_O \leq 40\text{ V}$)	3	I_{Lmin}	–	1.5 2.5	6.0 10	mA
Maximum Output Current $ V_I - V_O \leq 15\text{ V}$, $P_D \leq P_{max}$, T Package $ V_I - V_O \leq 40\text{ V}$, $P_D \leq P_{max}$, T Package	3	I_{max}	–	1.5 0.15	2.2 0.4	A
RMS Noise, % of V_O , $T_A = +25^\circ\text{C}$, $10\text{ Hz} \leq f \leq 10\text{ kHz}$		N	–	0.003	–	% V_O
Ripple Rejection, $V_O = -10\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$ (Note 4) Without C_{Adj} $C_{Adj} = 10\text{ }\mu\text{F}$	4	RR	– 66	60 77	–	dB
Long–Term Stability, $T_J = T_{high}$ (Note 5), $T_A = +25^\circ\text{C}$ for Endpoint Measurements	3	S	–	0.3	1.0	%/1.0 k Hrs.
Thermal Resistance Junction–to–Case, T Package		$R_{\theta JC}$	–	4.0	–	$^\circ\text{C/W}$

NOTES: 1. T_{low} to $T_{high} = 0^\circ$ to $+125^\circ\text{C}$, for LM337T, DZT. T_{low} to $T_{high} = -40^\circ$ to $+125^\circ\text{C}$, for LM337BT, BD2T.

2. $I_{max} = 1.5\text{ A}$, $P_{max} = 20\text{ W}$

3. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in V_O because of heating effects is covered under the Thermal Regulation specification. Pulse testing with a low duty cycle is used.

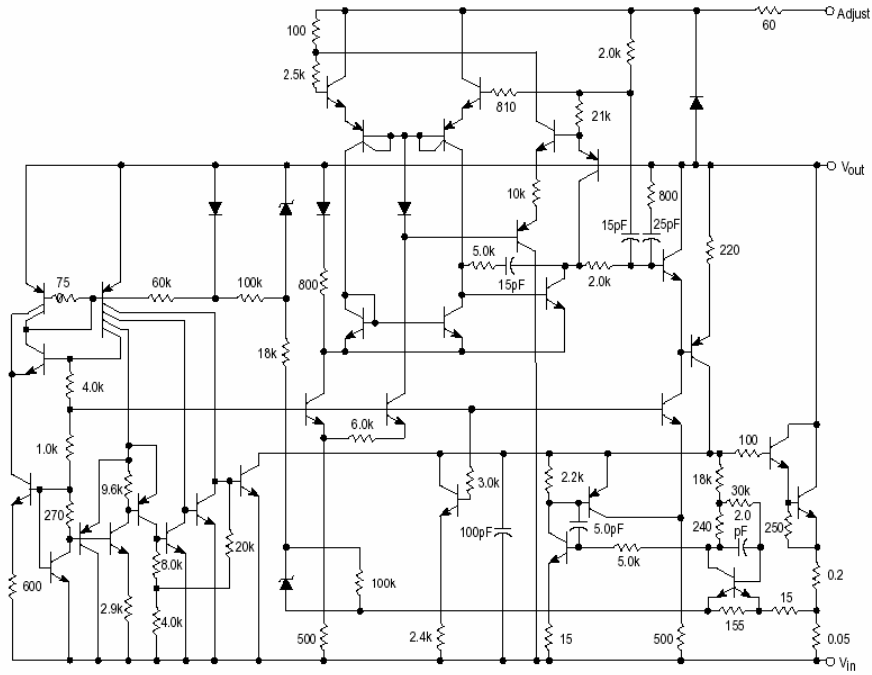
4. C_{Adj} , when used, is connected between the adjustment pin and ground.

5. Since Long Term Stability cannot be measured on each device before shipment, this specification is an engineering estimate of average stability from lot to lot.

6. Power dissipation within an IC voltage regulator produces a temperature gradient on the die, affecting individual IC components on the die. These effects can be minimized by proper integrated circuit design and layout techniques. Thermal Regulation is the effect of these temperature gradients on the output voltage and is expressed in percentage of output change per watt of power change in a specified time.

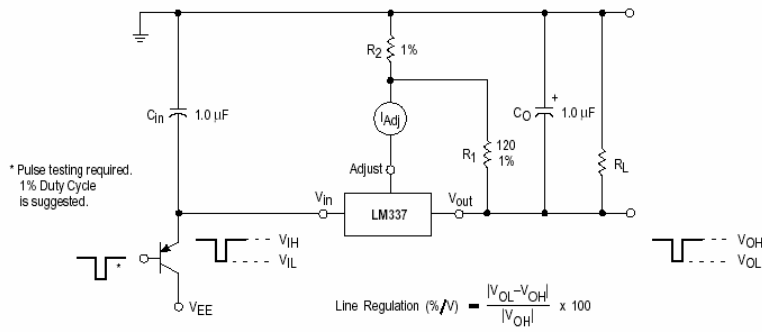
LM337

Representative Schematic Diagram



This device contains 39 active transistors.

Figure 1. Line Regulation and $\Delta I_{Adj}/Line$ Test Circuit



LM337

Figure 2. Load Regulation and $\Delta I_{Adj}/\text{Load}$ Test Circuit

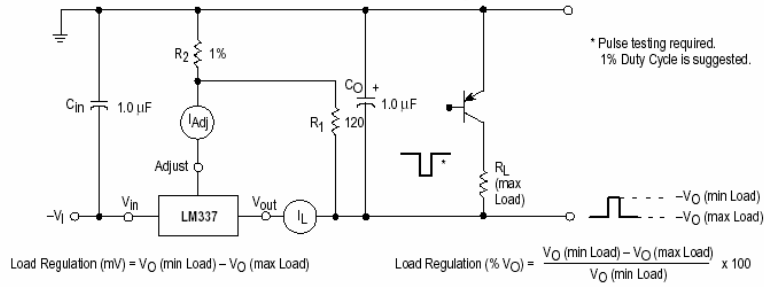


Figure 3. Standard Test Circuit

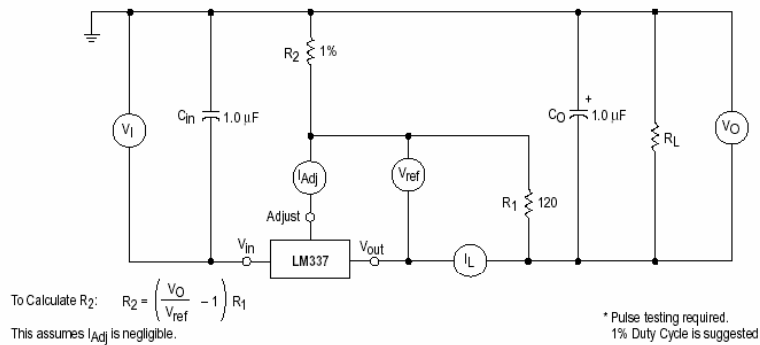
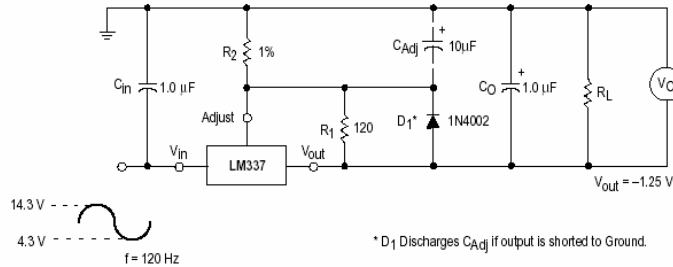



Figure 4. Ripple Rejection Test Circuit



Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola datasheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and  are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

LM337

Figure 5. Load Regulation

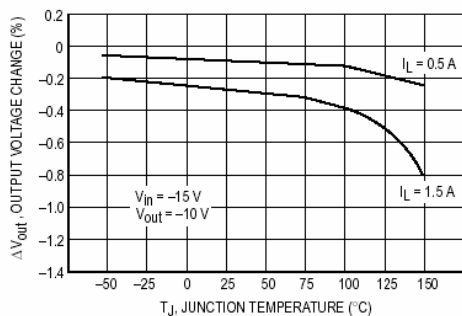


Figure 6. Current Limit

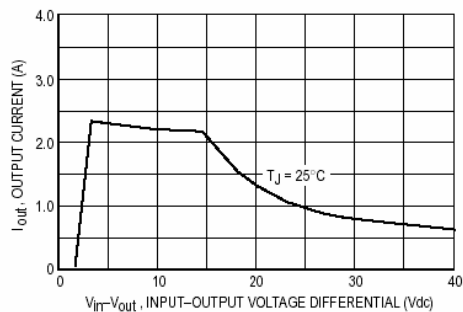


Figure 7. Adjustment Pin Current

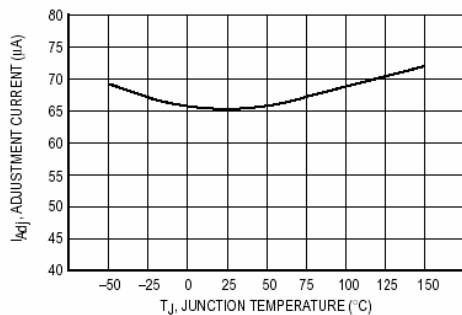


Figure 8. Dropout Voltage

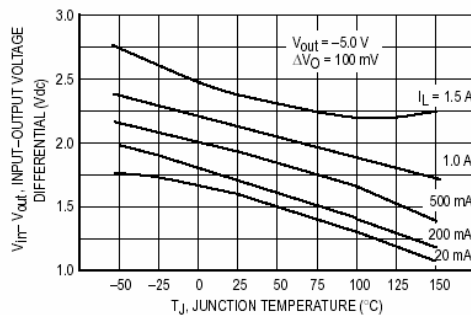


Figure 9. Temperature Stability

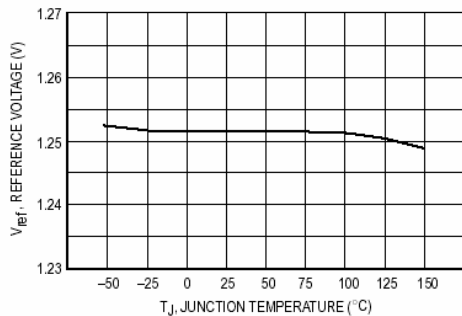
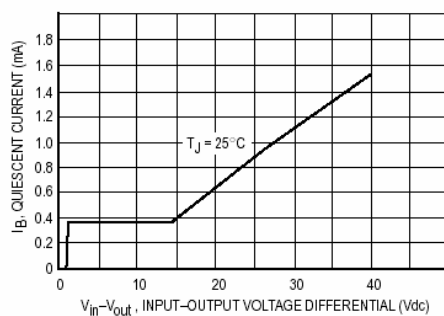


Figure 10. Minimum Operating Current



LM337

Figure 11. Ripple Rejection versus Output Voltage

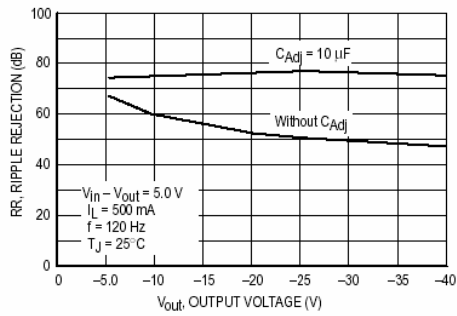


Figure 12. Ripple Rejection versus Output Current

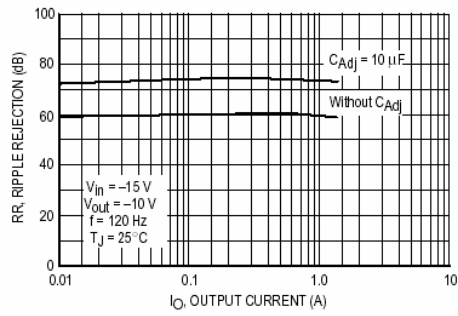


Figure 13. Ripple Rejection versus Frequency

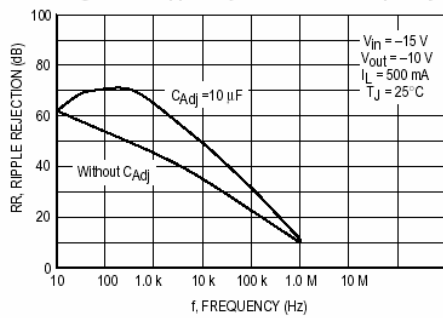


Figure 14. Output Impedance

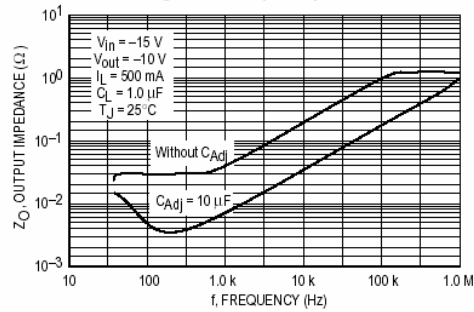


Figure 15. Line Transient Response

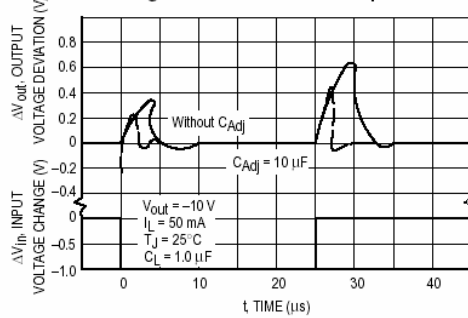
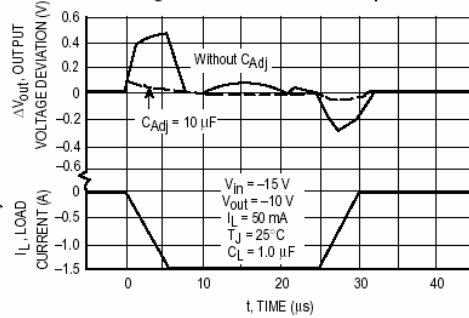


Figure 16. Load Transient Response



LM337

APPLICATIONS INFORMATION

Basic Circuit Operation

The LM337 is a 3-terminal floating regulator. In operation, the LM337 develops and maintains a nominal -1.25 V reference (V_{ref}) between its output and adjustment terminals. This reference voltage is converted to a programming current (I_{PROG}) by R_1 (see Figure 17), and this constant current flows through R_2 from ground.

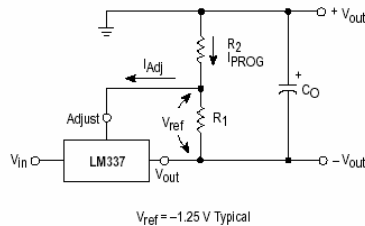
The regulated output voltage is given by:

$$V_{out} = V_{ref} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{Adj} R_2$$

Since the current into the adjustment terminal (I_{Adj}) represents an error term in the equation, the LM337 was designed to control I_{Adj} to less than $100 \mu A$ and keep it constant. To do this, all quiescent operating current is returned to the output terminal. This imposes the requirement for a minimum load current. If the load current is less than this minimum, the output voltage will rise.

Since the LM337 is a floating regulator, it is only the voltage differential across the circuit which is important to performance, and operation at high voltages with respect to ground is possible.

Figure 17. Basic Circuit Configuration



Load Regulation

The LM337 is capable of providing extremely good load regulation, but a few precautions are needed to obtain maximum performance. For best performance, the programming resistor (R_1) should be connected as close to the regulator as possible to minimize line drops which effectively appear in series with the reference, thereby

degrading regulation. The ground end of R_2 can be returned near the load ground to provide remote ground sensing and improve load regulation.

External Capacitors

A $1.0 \mu F$ tantalum input bypass capacitor (C_{in}) is recommended to reduce the sensitivity to input line impedance.

The adjustment terminal may be bypassed to ground to improve ripple rejection. This capacitor (C_{Adj}) prevents ripple from being amplified as the output voltage is increased. A $10 \mu F$ capacitor should improve ripple rejection about 15 dB at 120 Hz in a 10 V application.

An output capacitance (C_O) in the form of a $1.0 \mu F$ tantalum or $10 \mu F$ aluminum electrolytic capacitor is required for stability.

Protection Diodes

When external capacitors are used with any IC regulator it is sometimes necessary to add protection diodes to prevent the capacitors from discharging through low current points into the regulator.

Figure 18 shows the LM337 with the recommended protection diodes for output voltages in excess of -25 V or high capacitance values ($C_O > 25 \mu F$, $C_{Adj} > 10 \mu F$). Diode D_1 prevents C_O from discharging thru the IC during an input short circuit. Diode D_2 protects against capacitor C_{Adj} discharging through the IC during an output short circuit. The combination of diodes D_1 and D_2 prevents C_{Adj} from discharging through the IC during an input short circuit.

Figure 18. Voltage Regulator with Protection Diodes

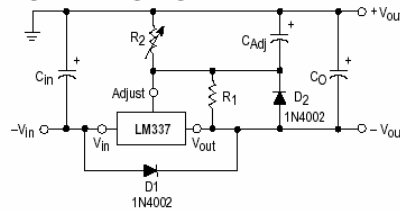
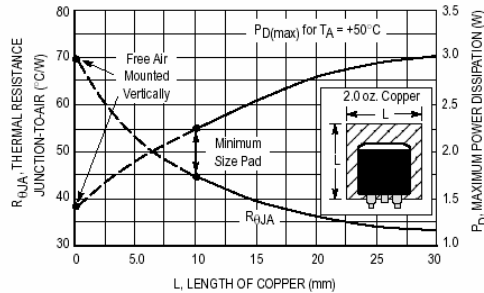
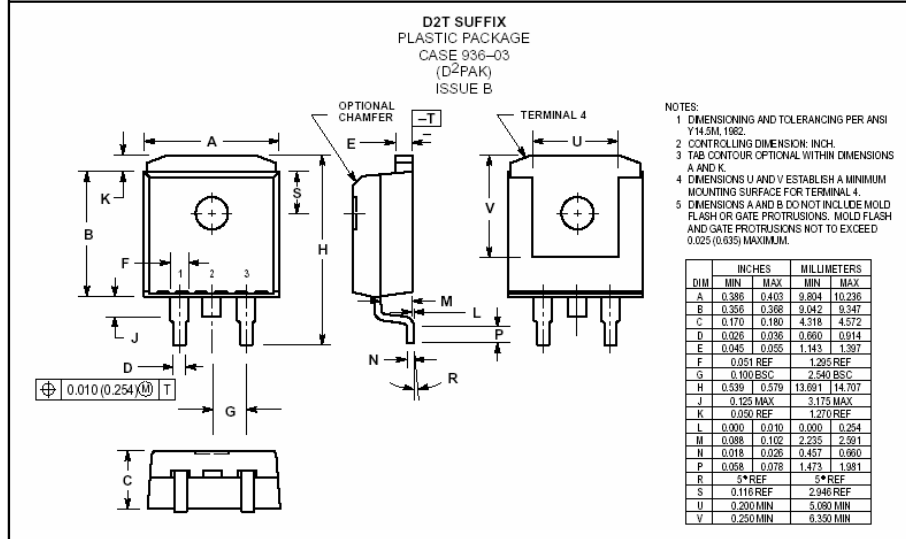
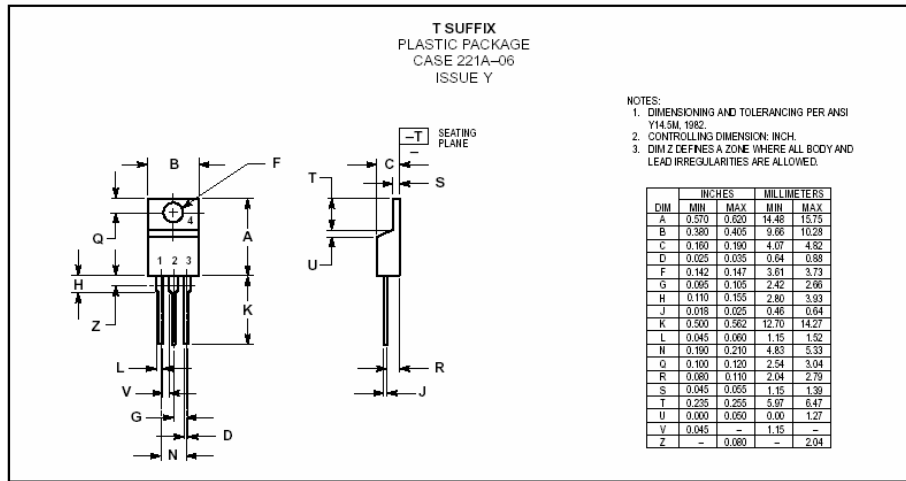


Figure 19. D²PAK Thermal Resistance and Maximum Power Dissipation versus P.C.B. Copper Length



LM337

OUTLINE DIMENSIONS



How to reach us:
USA/EUROPE/ Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution,
P.O. Box 20912, Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447 or 602-303-5454

JAPAN: Nippon Motorola Ltd., Tatsumi-SPD-JLDC, 6F Seibu-Butsuryu-Center,
3-14-2 Tatsumi-Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-81-3521-8315

MFAX: RMFAO0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE 602-244-6609
INTERNET: http://Design-NET.com

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd., 8B Tai Ping Industrial Park,
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



LM337/D



LM101A/LM201A/LM301A Operational Amplifiers

General Description

The LM101A series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. Advanced processing techniques make possible an order of magnitude reduction in input currents, and a redesign of the biasing circuitry reduces the temperature drift of input current. Improved specifications include:

- Offset voltage 3 mV maximum over temperature (LM101A/LM201A)
- Input current 100 nA maximum over temperature (LM101A/LM201A)
- Offset current 20 nA maximum over temperature (LM101A/LM201A)
- Guaranteed drift characteristics
- Offsets guaranteed over entire common mode and supply voltage ranges
- Stew rate of 10V/μs as a summing amplifier

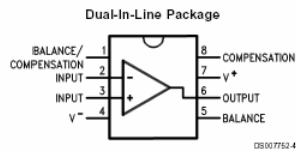
This amplifier offers many features which make its application nearly foolproof: overload protection on the input

and output, no latch-up when the common mode range is exceeded, and freedom from oscillations and compensation with a single 30 pF capacitor. It has advantages over internally compensated amplifiers in that the frequency compensation can be tailored to the particular application. For example, in low frequency circuits it can be over-compensated for increased stability margin. Or the compensation can be optimized to give more than a factor of ten improvement in high frequency performance for most applications.

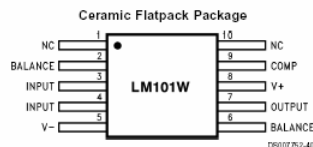
In addition, the device provides better accuracy and lower noise in high impedance circuitry. The low input currents also make it particularly well suited for long interval integrators or timers, sample and hold circuits and low frequency waveform generators. Further, replacing circuits where matched transistor pairs buffer the inputs of conventional IC op amps, it can give lower offset voltage and a drift at a lower cost.

The LM101A is guaranteed over a temperature range of -55°C to +125°C, the LM201A from -25°C to +85°C, and the LM301A from 0°C to +70°C.

Connection Diagrams (Top View)

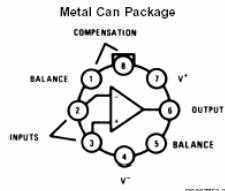


Order Number LM101AJ, LM101J/883 (Note 1),
LM201AN or LM301AN
See NS Package Number J08A or N08E



Order Number LM101AW/883 or LM101W/883
See NS Package Number W10A

Connection Diagrams (Top View) (Continued)

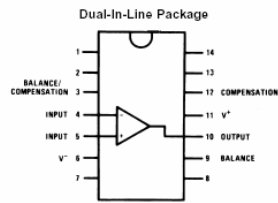


DS007752-2

Note: Pin 4 connected to case.

Order Number LM101AH, LM101AH/883 (Note 1),
LM201AH or LM301AH
See NS Package Number H08C

Note 1: Available per JMS8610/10103.



DS007752-3

Order Number LM101AJ-14/883 (Note 1)
See NS Package Number J14A

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

	LM101A/LM201A	LM301A
Supply Voltage	±22V	±18V
Differential Input Voltage	±30V	±30V
Input Voltage (Note 3)	±15V	±15V
Output Short Circuit Duration (Note 4)	Continuous	Continuous
Operating Ambient Temp. Range	-55°C to +125°C (LM101A) -25°C to +85°C (LM201A)	0°C to +70°C
T_J Max		
H-Package	150°C	100°C
N-Package	150°C	100°C
J-Package	150°C	100°C
Power Dissipation at $T_A = 25^\circ\text{C}$		
H-Package (Still Air) (400 LF/Min Air Flow)	500 mW 1200 mW	300 mW 700 mW
N-Package	900 mW	500 mW
J-Package	1000 mW	650 mW
Thermal Resistance (Typical) θ_{JA}		
H-Package (Still Air) (400 LF/Min Air Flow)	165°C/W 67°C/W	165°C/W 67°C/W
N Package	135°C/W	135°C/W
J-Package	110°C/W	110°C/W
(Typical) θ_{JC}		
H-Package	25°C/W	25°C/W
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)		
Metal Can or Ceramic	300°C	300°C
Plastic	260°C	260°C
ESD Tolerance (Note 7)	2000V	2000V

Electrical Characteristics (Note 5)

$T_A = T_J$

Parameter	Conditions	LM101A/LM201A			LM301A			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $R_S \leq 50\text{ k}\Omega$		0.7	2.0		2.0	7.5	mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		1.5	10		3.0	50	nA
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		30	75		70	250	nA
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$	1.5	4.0		0.5	2.0		M Ω
Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		1.8	3.0				mA
	$V_S = \pm 20\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$					1.8	3.0	mA
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 15\text{V}$ $V_{OUT} = \pm 10\text{V}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	50	160		25	160		V/mV
Input Offset Voltage	$R_S \leq 50\text{ k}\Omega$			3.0			10	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage	$R_S \leq 50\text{ k}\Omega$		3.0	15		6.0	30	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current				20			70	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current	$25^\circ\text{C} \leq T_A \leq T_{MAX}$		0.01	0.1		0.01	0.3	$\text{nA}/^\circ\text{C}$
	$T_{MIN} \leq T_A \leq 25^\circ\text{C}$		0.02	0.2		0.02	0.6	$\text{nA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current				0.1			0.3	μA
Supply Current	$T_A = T_{MAX}$, $V_S = \pm 20\text{V}$		1.2	2.5				mA

Electrical Characteristics (Note 5) (Continued)

$T_A = T_J$

Parameter	Conditions	LM101A/LM201A			LM301A			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 15V, V_{OUT} = \pm 10V$ $R_L \geq 2k$	25			15			V/mV
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15V$	$R_L = 10 k\Omega$	± 12	± 14	± 12	± 14		V
		$R_L = 2 k\Omega$	± 10	± 13	± 10	± 13		V
Input Voltage Range	$V_S = \pm 20V$							V
	$V_S = \pm 15V$		+15, -13		± 12	+15, -13		V
Common-Mode Rejection Ratio	$R_S \leq 50 k\Omega$	80	96		70	90		dB
Supply Voltage Rejection Ratio	$R_S \leq 50 k\Omega$	80	96		70	96		dB

Note 2: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating ratings indicate for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which guarantee specific limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.

Note 3: For supply voltages less than $\pm 15V$, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Note 4: Continuous short circuit is allowed for case temperatures to 125°C and ambient temperatures to 75°C for LM101A/LM201A, and 70°C and 55°C respectively for LM301A.

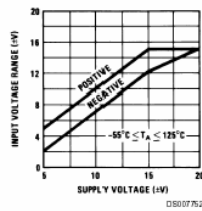
Note 5: Unless otherwise specified, these specifications apply for $C_1 = 30 pF, \pm 5V \leq V_S \leq \pm 20V$ and $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$ (LM101A), $\pm 5V \leq V_S \leq \pm 20V$ and $-25^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$ (LM201A), $\pm 5V \leq V_S \leq \pm 15V$ and $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$ (LM301A).

Note 6: Refer to RETS101AX for LM101A military specifications and RETS101X for LM101 military specifications.

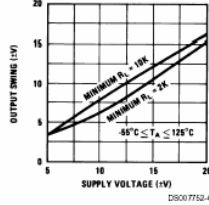
Note 7: Human body model, 100 pF discharged through 1.5 k Ω .

Guaranteed Performance Characteristics LM101A/LM201A

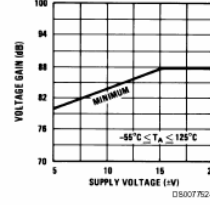
Input Voltage Range



Output Swing

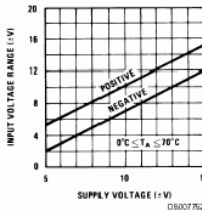


Voltage Gain

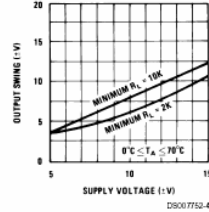


Guaranteed Performance Characteristics LM301A

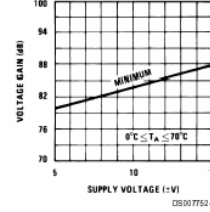
Input Voltage Range



Output Swing

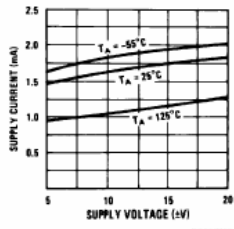


Voltage Gain



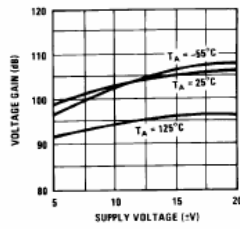
Typical Performance Characteristics

Supply Current



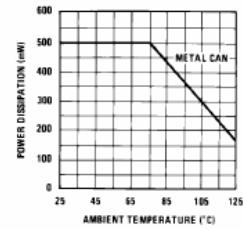
DS00752-47

Voltage Gain



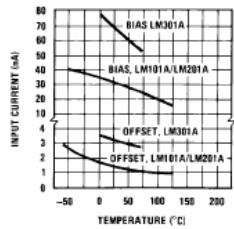
DS00752-48

Maximum Power Dissipation



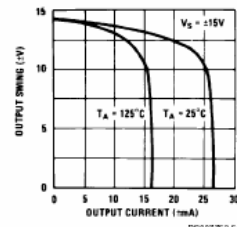
DS00752-49

Input Current, LM101A/LM201A/LM301A



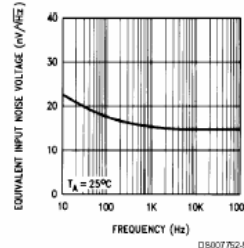
DS00752-50

Current Limiting



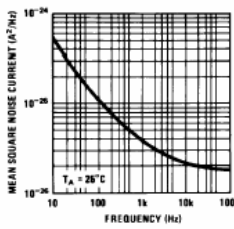
DS00752-51

Input Noise Voltage



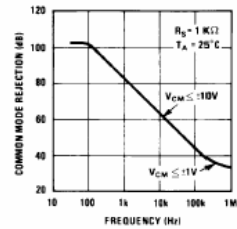
DS00752-52

Input Noise Current



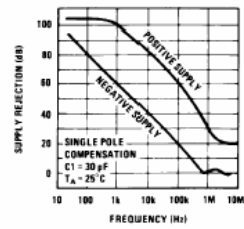
DS00752-53

Common Mode Rejection



DS00752-54

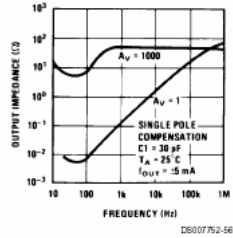
Power Supply Rejection



DS00752-55

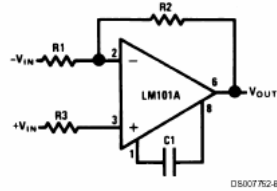
Typical Performance Characteristics (Continued)

Closed Loop Output Impedance



Typical Performance Characteristics for Various Compensation Circuits (Note 9)

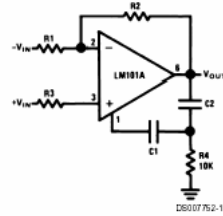
Single Pole Compensation



$$C_1 \geq \frac{R_1 C_S}{R_1 + R_2}$$

$$C_S = 30 \mu\text{F}$$

Two Pole Compensation

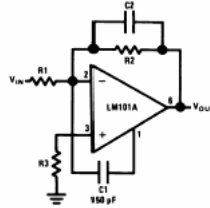


$$C_1 \geq \frac{R_1 C_S}{R_1 + R_2}$$

$$C_S = 30 \mu\text{F}$$

$$C_2 = 10 C_1$$

Feedforward Compensation



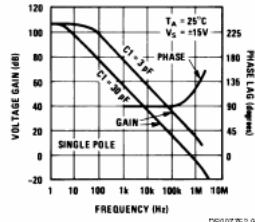
$$C_2 = \frac{1}{2\pi f_0 R_2}$$

$$f_0 = 3 \text{ MHz}$$

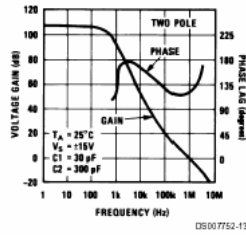
Typical Performance Characteristics for Various Compensation Circuits

(Note 9) (Continued)

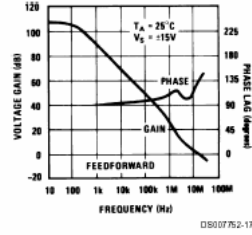
Open Loop Frequency Response



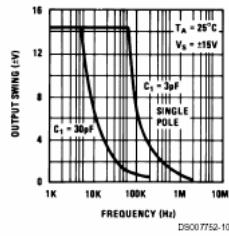
Open Loop Frequency Response



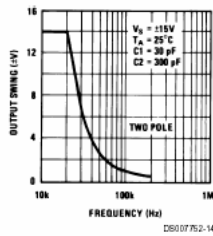
Open Loop Frequency Response



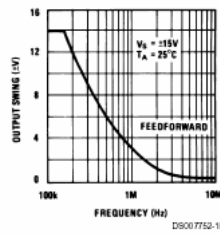
Large Signal Frequency Response



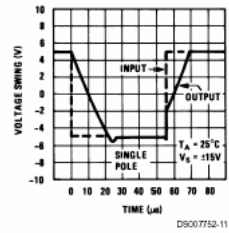
Large Signal Frequency Response



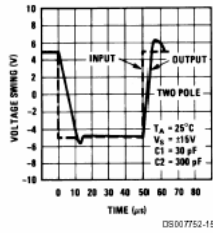
Large Signal Frequency Response



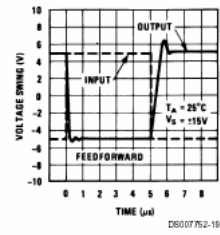
Voltage Follower Pulse Response



Voltage Follower Pulse Response

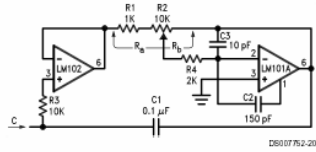


Inverter Pulse Response



Typical Applications (Note 9)

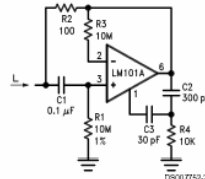
Variable Capacitance Multiplier



DS907752-20

$$C = 1 + \frac{R_b}{R_a} C_1$$

Simulated Inductor



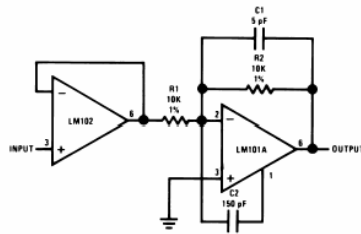
DS907752-21

$$L \cong R_1 R_2 C_1$$

$$R_b = R_2$$

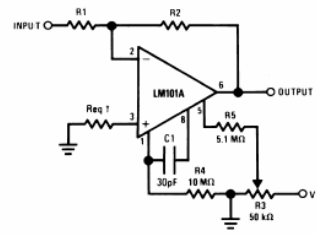
$$R_p = R_1$$

Fast Inverting Amplifier with High Input Impedance



DS907752-22

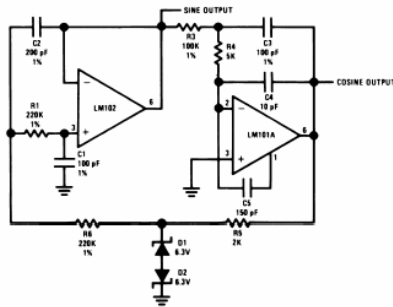
Inverting Amplifier with Balancing Circuit



DS907752-23

*May be zero or equal to parallel combination of R1 and R2 for minimum offset.

Sine Wave Oscillator

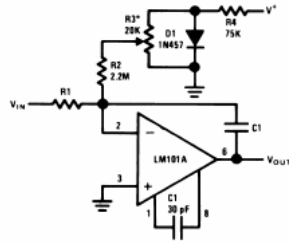


DS907752-24

$$f_0 = 10 \text{ kHz}$$

Typical Applications (Note 9) (Continued)

Integrator with Bias Current Compensation

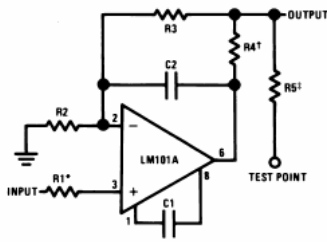


DS007752-25

*Adjust for zero integrator drift. Current drift typically 0.1 nA/°C over -55°C to +125°C temperature range.

Application Hints (Note 9)

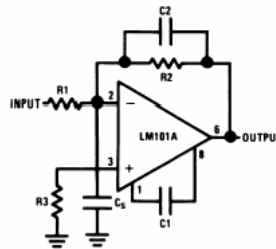
Protecting Against Gross Fault Conditions



DS007752-26

*Protects input
†Protects output
‡Protects output—not needed when R4 is used.

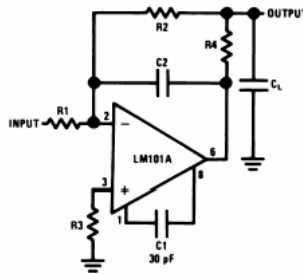
Compensating for Stray Input Capacitances or Large Feedback Resistor



DS007752-27

$$C2 = \frac{R1 C3}{R2}$$

Isolating Large Capacitive Loads



DS007752-28

Although the LM101A is designed for trouble free operation, experience has indicated that it is wise to observe certain precautions given below to protect the devices from abnormal operating conditions. It might be pointed out that the ad-

vice given here is applicable to practically any IC op amp, although the exact reason why may differ with different devices.

Application Hints (Note 9) (Continued)

When driving either input from a low-impedance source, a limiting resistor should be placed in series with the input lead to limit the peak instantaneous output current of the source to something less than 100 mA. This is especially important when the inputs go outside a piece of equipment where they could accidentally be connected to high voltage sources. Large capacitors on the input (greater than 0.1 μF) should be treated as a low source impedance and isolated with a resistor. Low impedance sources do not cause a problem unless their output voltage exceeds the supply voltage. However, the supplies go to zero when they are turned off, so the isolation is usually needed.

The output circuitry is protected against damage from shorts to ground. However, when the amplifier output is connected to a test point, it should be isolated by a limiting resistor, as test points frequently get shorted to bad places. Further, when the amplifier drives a load external to the equipment, it is also advisable to use some sort of limiting resistance to preclude mishaps.

Precautions should be taken to insure that the power supplies for the integrated circuit never become reversed—even under transient conditions. With reverse voltages greater than 1V, the IC will conduct excessive cur-

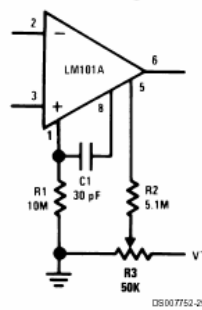
rent, fusing internal aluminum interconnects. If there is a possibility of this happening, clamp diodes with a high peak current rating should be installed on the supply lines. Reversal of the voltage between V^+ and V^- will always cause a problem, although reversals with respect to ground may also give difficulties in many circuits.

The minimum values given for the frequency compensation capacitor are stable only for source resistances less than 10 k Ω , stray capacitances on the summing junction less than 5 pF and capacitive loads smaller than 100 pF. If any of these conditions are not met, it becomes necessary to overcompensate the amplifier with a larger compensation capacitor. Alternately, lead capacitors can be used in the feedback network to negate the effect of stray capacitance and large feedback resistors or an RC network can be added to isolate capacitive loads.

Although the LM101A is relatively unaffected by supply bypassing, this cannot be ignored altogether. Generally it is necessary to bypass the supplies to ground at least once on every circuit card, and more bypass points may be required if more than five amplifiers are used. When feed-forward compensation is employed, however, it is advisable to bypass the supply leads of each amplifier with low inductance capacitors because of the higher frequencies involved.

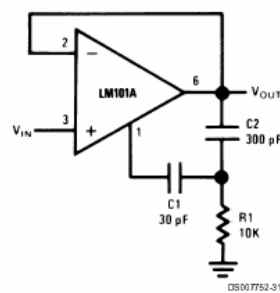
Typical Applications (Note 9)

Standard Compensation and Offset Balancing Circuit



DS007752-29

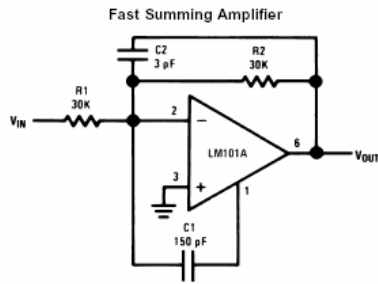
Fast Voltage Follower



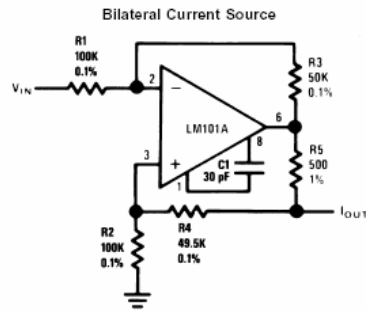
DS007752-31

Power Bandwidth: 15 kHz
Slew Rate: 1V/ μs

Typical Applications (Note 9) (Continued)



DS00752-30



DS00752-32

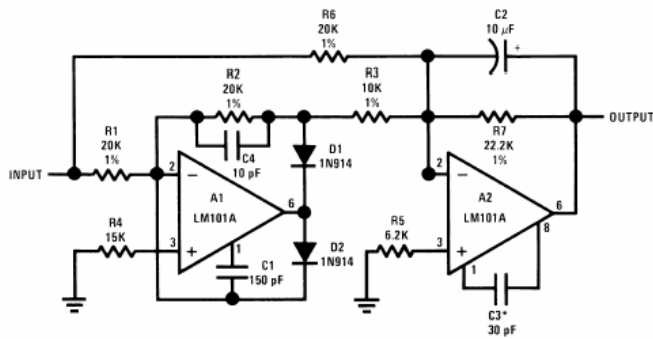
Power Bandwidth: 250 kHz
Small Signal Bandwidth: 3.5 MHz
Slew Rate: 10V/μs

$$I_{OUT} = \frac{R_3 V_{IN}}{R_1 R_5}$$

$$R_3 = R_4 + R_5$$

$$R_1 = R_2$$

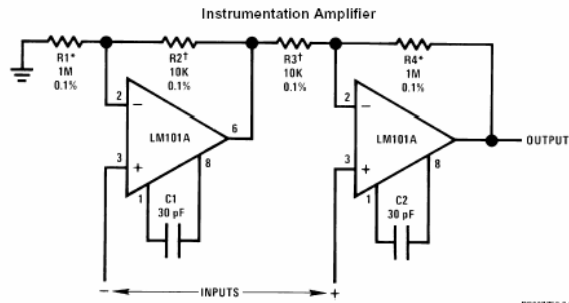
Fast AC/DC Converter (Note 8)



DS00752-33

Note 8: Feedforward compensation can be used to make a fast full wave rectifier without a filter.

Typical Applications (Note 9) (Continued)



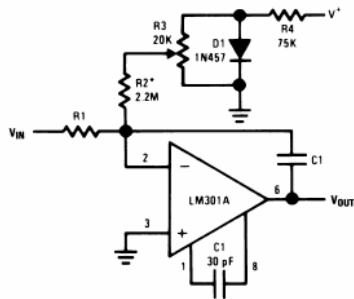
DS007752-34

$R1 = R4; R2 = R3$

$A_v = 1 + \frac{R1}{R2}$

*1 Matching determines CMRR.

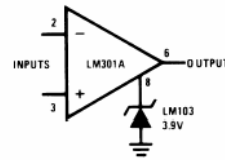
Integrator with Bias Current Compensation



DS007753-35

*Adjust for zero integrator drift. Current drift typically 0.1 nA/°C over 0°C to +70°C temperature range.

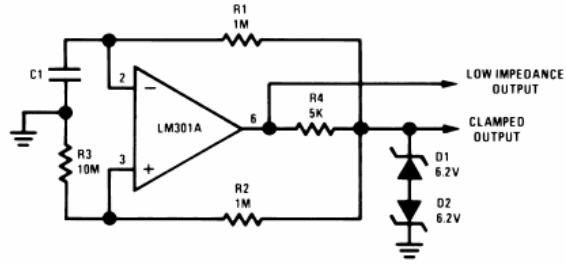
Voltage Comparator for Driving RTL Logic or High Current Driver



DS007753-37

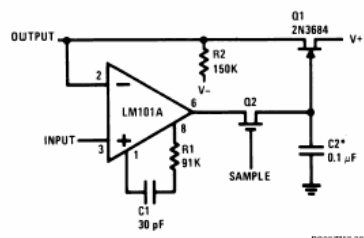
Typical Applications (Note 9) (Continued)

Low Frequency Square Wave Generator



DS007752-36

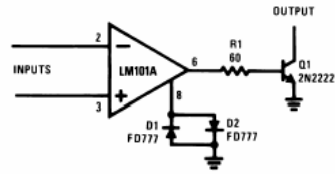
Low Drift Sample and Hold



DS007752-38

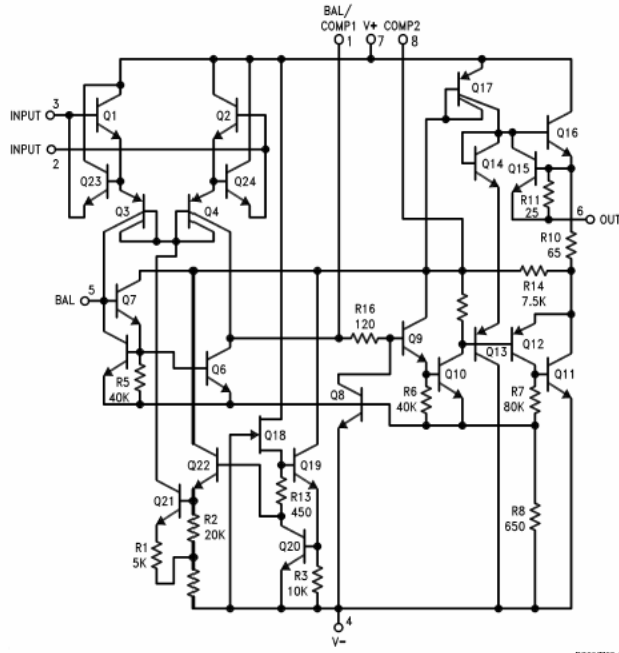
*Polycarbonate-dielectric capacitor

Voltage Comparator for Driving DTL or TTL Integrated Circuits



DS007752-39

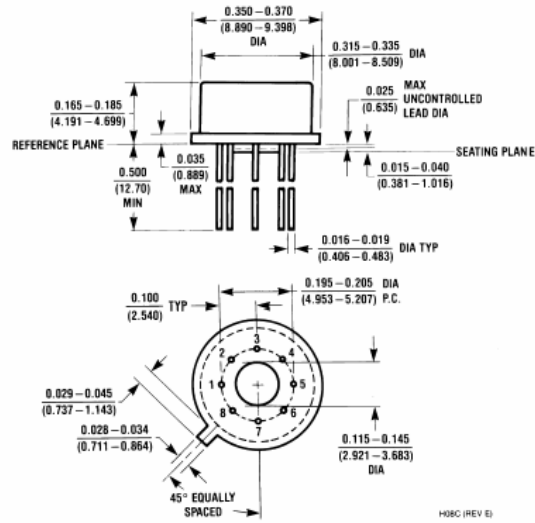
Schematic (Note 9)



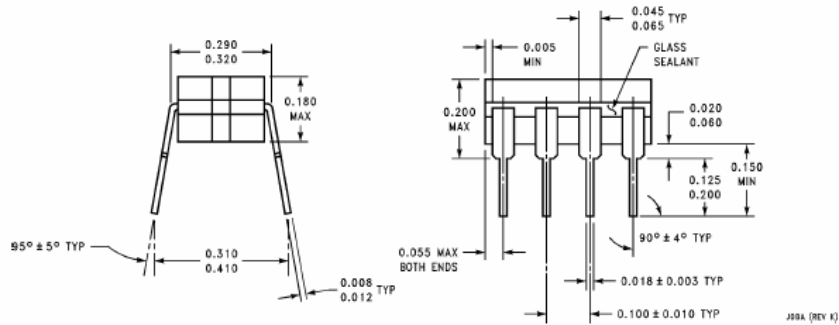
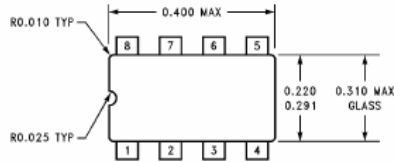
D9007752-1

Note 9: Pin connections shown are for 8-pin packages.

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted

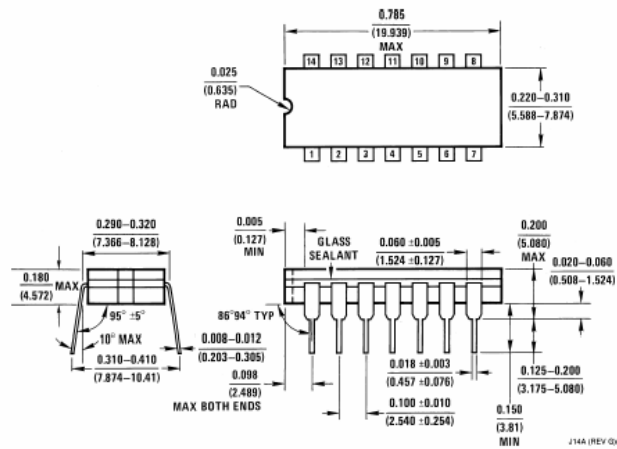


Metal Can Package (H)
 Order Number LM101AH, LM101AH/883
 LM201AH or LM301AH
 NS Package Number H08C

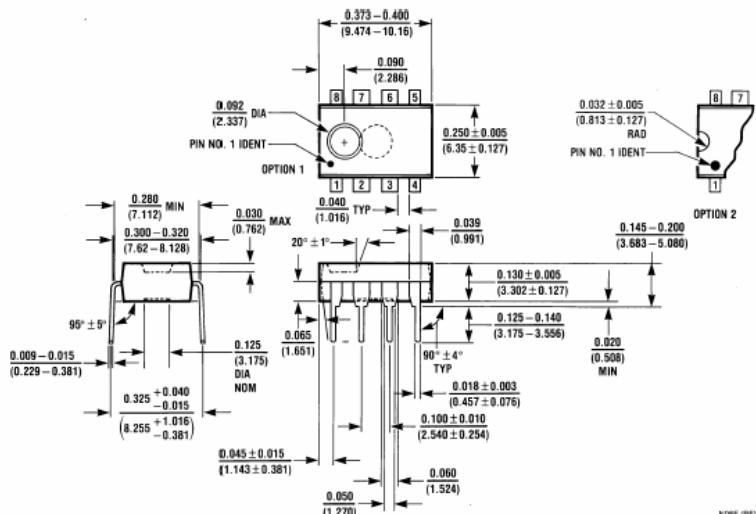


Ceramic Dual-In-Line Package (J)
 Order Number LM101J/883 or LM101AJ
 NS Package Number J08A

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)

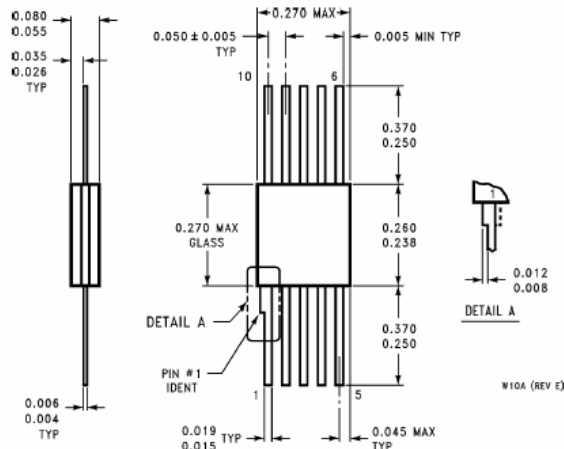


Ceramic Dual-In-Line Package (J)
Order Number LM101AJ-14/883
NS Package Number J14A



Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number LM201AN or LM301AN
NS Package Number N08E

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Ceramic Flatpack Package (W)
Order Number LM101AW/883 or LM101W/883
NS Package Number W10A

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

 <p>National Semiconductor Corporation Americas Tel: 1-800-272-9959 Fax: 1-800-737-7018 Email: support@nsc.com www.national.com</p>	<p>National Semiconductor Europe Fax: +49 (0) 1 80-530 85 86 Email: europe.support@nsc.com Deutsch Tel: +49 (0) 1 80-530 85 85 English Tel: +49 (0) 1 80-532 78 32 Français Tel: +49 (0) 1 80-532 93 58 Italiano Tel: +49 (0) 1 80-534 16 80</p>	<p>National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group Tel: 65-2544466 Fax: 65-2504466 Email: asa.support@nsc.com</p>	<p>National Semiconductor Japan Ltd. Tel: 81-3-5639-7560 Fax: 81-3-5639-7507</p>
---	--	---	--

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Albert Paul Malvino, P.H.D., E.E."ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ" εκδόσεις Α. Τζιολα Ε. 1995
2. Albert Paul Malvino, P.H.D."ΒΑΣΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ" εκδόσεις Α. Τζιολα Ε. 1995
3. Ε.Σερβετά"ΑΝΟΡΘΩΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ"Ανωτ.ΣχολήΗλεκτρ.Αθηνά, 1979
4. "Ηλεκτρονικά νέα" Σεπτέμβριος 2005 Τεύχος Νο 25
5. www.electronicslab.com
6. www.hlektronika.gr