

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ  
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ  
ΘΕΩΡΙΑ



# Δίοδοι-Επαφή pn

## Α. Στατική χαρακτηριστική της διόδου.

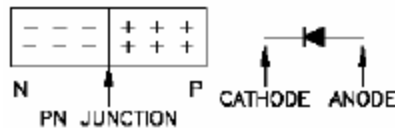
Αν και η διόδος είναι μία απλή διάταξη, αποτελεί τη βάση για έναν ολόκληρο κλάδο της Ηλεκτρονικής. Τα τρανζίστορς, τα ολοκληρωμένα κυκλώματα και οι μικροεπεξεργαστές βασίζονται στην θεωρία και την τεχνολογία των διόδων. Στον σημερινό κόσμο οι ημιαγωγοί βρίσκονται παντού γύρω μας. Αυτοκίνητα, τηλέφωνα, καταναλωτικά ηλεκτρονικά και πολλά ακόμη εξαρτώνται από διατάξεις ημιαγωγών για την σωστή λειτουργία τους.

### Επαφή pn

Για να φτιάξουμε μία επαφή pn χρειαζόμαστε δύο κομμάτια ημιαγωγού, ένα τύπου N και ένα τύπου P.

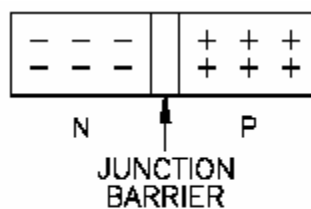


Σχήμα 1. Υλικό τύπου N και υλικό τύπου P



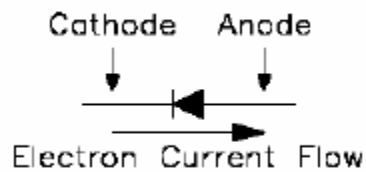
Σχήμα 2. Δίοδος

Το αποτέλεσμα της συνένωσης των δύο τμημάτων είναι μία διόδος. Τη στιγμή που τα δύο τμήματα συνενώνονται, το σημείο επαφής τους γίνεται μία επαφή pn. Μερικά από τα ηλεκτρόνια της περιοχής N διαχέονται προς την περιοχή P, ενώ την ίδια στιγμή, ίσος αριθμός οπών από την περιοχή P διαχέονται στην περιοχή N.



Σχήμα 3. Δίοδος επαφής pn

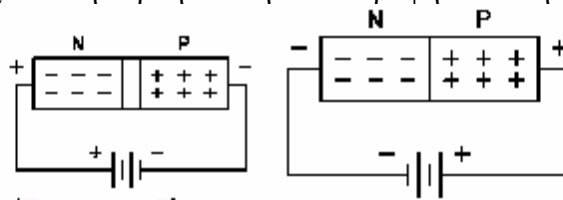
Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η περιοχή της επαφής να είναι ηλεκτρικά ουδέτερη. Ο φραγμός που φαίνεται στο σχήμα 3 είναι υπερεκτιμημένος. Στην πραγματικότητα, σε κάποιες ημιαγωγικές διατάξεις ο φραγμός της επαφής  $p_n$  μπορεί να έχει πάχος μόνο μερικών ατόμων. Η επαφή  $p_n$  είναι μάλλον μία ηλεκτρική και όχι μία φυσική κατάσταση. Η περιοχή της επαφής δεν περιέχει φορείς. Είναι απογυμνωμένη από φορείς. Γι' αυτό μια άλλη ονομασία της είναι: περιοχή απογύμνωσης. Εξ αιτίας της ύπαρξης της περιοχής απογύμνωσης, δεν υπάρχει στατική ροή φορτίου από το υλικό τύπου N προς το υλικό τύπου P. Η δίοδος αποτελείται από δύο τμήματα, το υλικό τύπου N και το υλικό τύπου P, τα οποία ονομάζονται κάθοδος και άνοδος αντίστοιχα. Το ρεύμα ηλεκτρονίων ρέει από την κάθοδο προς την άνοδο. Το σχήμα 4 δείχνει τη σχηματική παράσταση της δίοδου επαφής  $p_n$ .



Σχήμα 4. Η δίοδος

### Πόλωση

Υπάρχουν δύο τύποι πόλωσης στους ημιαγωγούς, η ορθή και η ανάστροφη πόλωση. Η ορθή πόλωση μειώνει την περιοχή απογύμνωσης και αυξάνει το ρεύμα. Η ανάστροφη πόλωση αυξάνει την περιοχή απογύμνωσης και εμποδίζει το ρεύμα. Τα Σχήματα 6 και 7 δείχνουν την ορθή και την ανάστροφη πόλωση.



Σχήμα 5. Δίοδος ανάστροφα πολωμένη Σχήμα 6. Δίοδος ορθά πολωμένη

Μία δίοδος πολώνεται αν τοποθετήσουμε μια διαφορά δυναμικού στα άκρα της. Το σχήμα 6 δείχνει μία δίοδο ορθά πολωμένη. Επειδή το θετικό δυναμικό εφαρμόζεται στην άνοδο και το αρνητικό στην κάθοδο, η περιοχή απογύμνωσης εξαφανίζεται. Το ρεύμα ρέει από τον αρνητικό ακροδέκτη της μπαταρίας μέσα από την περιοχή τύπου N, διασχίζει την ανύπαρκτη περιοχή απογύμνωσης και μέσω της περιοχής τύπου P προς τον θετικό ακροδέκτη της μπαταρίας. Χρειάζεται μια συγκεκριμένη τιμή τάσης για να αρχίσει να άγει η δίοδος. Περίπου 0.3V για μια δίοδο γερμανίου ή 0.7V για μια δίοδο πυριτίου είναι απαραίτητα για να δώσουν αγωγιμότητα κατά την ορθή πόλωση. Μία δίοδος γερμανίου απαιτεί μικρότερη τάση λόγω του μεγαλύτερου ατομικού αριθμού της, πράγμα που την καθιστά πιο ασταθή. Το πυρίτιο χρησιμοποιείται πολύ περισσότερο από το γερμάνιο στις διατάξεις στερεάς κατάστασης εξ αιτίας της σταθερότητάς του.

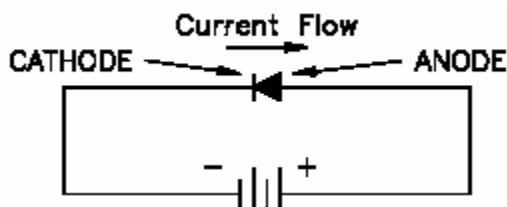
Ανάστροφη πόλωση επιτυγχάνεται αν εφαρμόσουμε θετικό δυναμικό στην κάθοδο και αρνητικό δυναμικό στην άνοδο όπως φαίνεται στο σχήμα 5. Το θετικό δυναμικό στην κάθοδο έλκει ηλεκτρόνια από την περιοχή απογύμνωσης. Την ίδια στιγμή το

αρνητικό δυναμικό στην άνοδο έλκει οπές. Το τελικό αποτέλεσμα είναι η αύξηση του πλάτους της περιοχής απογύμνωσης.

Μία ορθά πολωμένη δίοδος θα άγει με μόνο μια μικρή πτώση τάσης στα άκρα της. Η πτώση τάσης για ορθά πολωμένη δίοδο γερμανίου είναι 0.3V, ενώ για μια δίοδο πυριτίου είναι κανονικά 0.7V. Μπορούμε να πούμε ότι μια ορθά πολωμένη αγώγιμη δίοδος είναι σχεδόν βραχυκύκλωμα. Μία ανάστροφα πολωμένη δίοδος δεν άγει. Επομένως μπορεί να θεωρηθεί σαν ανοιχτοκύκλωμα. Λέμε ότι μια ανάστροφα πολωμένη δίοδος είναι σε αποκοπή. Η αποκοπή αναφέρεται στο γεγονός ότι η ροή ρεύματος μέσα από τη δίοδο εμποδίζεται ή αποκόπτεται.

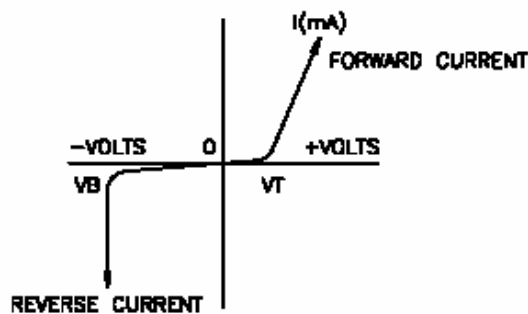
### Οι χαρακτηριστικές της διόδου

Η δίοδος αποτελείται από δύο στοιχειώδη τμήματα, την άνοδο και την κάθοδο. Η άνοδος αντιστοιχεί στο υλικό τύπου P και η κάθοδος στο υλικό τύπου N. Η ροή του ρεύματος είναι από την κάθοδο προς την άνοδο.



Σχήμα 7. Ορθά πολωμένη δίοδος

Το σχήμα 7 δείχνει μια ορθά πολωμένη δίοδο όπου σημειώνονται η φορά του ρεύματος και τα τμήματα της διόδου. Η γραφική παράσταση του σχ. 8 απεικονίζει τη ροή του ρεύματος μέσω της διόδου για διάφορες τιμές της ορθής και της ανάστροφης πόλωσης.



Σχήμα 8. Ρεύματα ορθής και ανάστροφης πόλωσης μιας διόδου ημιαγωγού

Ας εξετάσουμε πρώτα την ορθή πόλωση. Καθώς η ορθή πόλωση αυξάνεται βαθμιαία, το ρεύμα μέσω της διόδου επίσης αυξάνεται. Μικρή αύξηση της τάσης ορθής πόλωσης θα δώσει πολύ μεγάλο ρεύμα ορθής φοράς (από την κάθοδο στην άνοδο). Τυπικές τιμές του ρεύματος ορθής πόλωσης είναι από 0.2 ως 20A. Βεβαίως κάθε δίοδος έχει ένα μέγιστο ρεύμα ορθής πόλωσης που μπορεί να την διαρρέει χωρίς να την καταστρέψει.

Τυπικές χαρακτηριστικές τιμές του ρεύματος για διόδους χαμηλής ισχύος είναι:

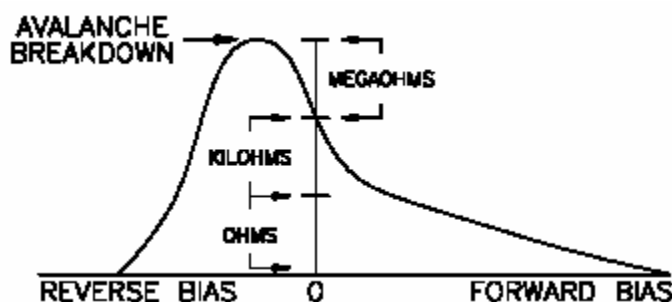
$I_f$  – μέγιστο ρεύμα ορθής πόλωσης (ως 1 amp)

$I_{fm}$  – μέγιστο ρεύμα κορυφής ορθής πόλωσης (ως 5 amps, επαναλαμβανόμενο)

$I_{fs}$  – μέγιστο στιγμιαίο ρεύμα (ως 35 amps, μη επαναλαμβανόμενο)

Η ανάστροφη πόλωση επηρεάζει τις διόδους με διάφορους τρόπους. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 8. Καθώς αυξάνει η ανάστροφη πόλωση ή τάση, εμφανίζεται ένα πολύ μικρό ανάστροφο ρεύμα (από την άνοδο στην κάθοδο). Αυτό είναι της τάξης του 1mA για μια δίοδο γερμανίου (Ge) και 1μΑ για μια δίοδο πυριτίου (Si). Καθώς η ανάστροφη τάση αυξάνει βαθμιαία, το ανάστροφο ρεύμα παραμένει σταθερά σε μια χαμηλή στάθμη μέχρι την τάση κατάρρευσης  $V_B$  της επαφής. Σ' αυτό το σημείο, η επαφή παύει να υφίσταται και η δίοδος γίνεται αγωγίμη. Όπως φαίνεται στο σχήμα 8, η ροή του ρεύματος θα είναι μαζική. Η ροή του ανάστροφου ρεύματος είναι τόσο έντονη που ονομάζεται αγωγιμότητα χιονοστιβάδας (avalanche conduction). Όταν η δίοδος λειτουργεί στην περιοχή χιονοστιβάδας, η ένταση του ρεύματος γίνεται ανεξάρτητη από την τάση, και το σημείο αυτό ονομάζεται κατάρρευση χιονοστιβάδας. Λόγω της μαζικής ροής ηλεκτρονίων, οι συνηθισμένες διόδους επαφής PN καταστρέφονται όταν λειτουργούν μ' αυτόν τον τρόπο.

Οι καταστάσεις ορθής και ανάστροφης λειτουργίας μιας διόδου μπορούν να συγκριθούν με μία μεταβλητή αντίσταση. Το σχήμα 9 απεικονίζει αυτή την ιδέα. Μια ορθά πολωμένη δίοδος θα έχει πτώση τάσης 0.3 ή 0.7 V. Αυτό αντιστοιχεί σε μια εσωτερική αντίσταση στην άνοδο που πέφτει από αρκετά kOhms στο σημείο όπου αρχίζει η αγωγιμότητα σε μερικά Ohms εκεί όπου η δίοδος άγει ισχυρά. Στην κατάσταση ανάστροφης πόλωσης, η αντίσταση είναι στην περιοχή των MOhms μέχρι την τάση κατάρρευσης. Σ' αυτό το σημείο, η εσωτερική αντίσταση μειώνεται απότομα.



Σχήμα 9. Η χαρακτηριστική της διόδου εκφρασμένη σαν αντίσταση.

Μία γραμμή στο σώμα της διόδου σημειώνει την κάθοδο. Για να ελέγξουμε μια δίοδο, μετρούμε την αντίσταση του φραγμού της επαφής: μέτρηση της αντίστασης ορθής και ανάστροφης πόλωσης.

## B. Απλή ανόρθωση με δίοδο.

Το κύκλωμα του τροφοδοτικού μετατρέπει την AC τάση που παρέχει το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας στην DC τάση που απαιτείται για να λειτουργήσει ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός. Πολλά κοινά ηλεκτρικά προϊόντα χρησιμοποιούν τάσεις που παρέχονται από ένα τροφοδοτικό. Χωρίς το τροφοδοτικό που μετατρέπει την AC τάση στην DC τάση που απαιτείται για να λειτουργήσουν αυτές οι ηλεκτρικές μονάδες, θα ήταν αδύνατον να έχουμε τις ευκολίες που απολαμβάνουμε σήμερα. Μία τηλεόραση χωρίς τροφοδοτικό θα απαιτούσε αρκετές εξαιρετικά μεγάλες μπαταρίες. Αυτές οι μπαταρίες θα έπρεπε να είναι μεγάλες εξ' αιτίας του ρεύματος που απαιτείται. Με άλλα λόγια, μια τηλεόραση χωρίς τροφοδοτικό θα ήταν τόσο μεγάλη

που θα καταλάμβανε ένα ολόκληρο δωμάτιο. Το τροφοδοτικό είναι η καρδιά της ηλεκτρονικής μονάδας.

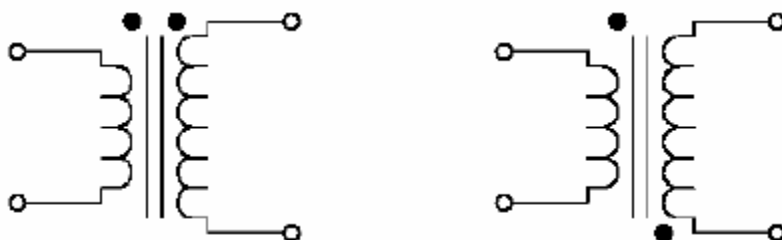
Ένα τροφοδοτικό μπορεί να διαιρεθεί σε πέντε τμήματα, καθένα από τα οποία εκτελεί μια συγκεκριμένη λειτουργία. Στο σχήμα 1 φαίνεται το διάγραμμα βαθμίδων ενός τροφοδοτικού. Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε με την βαθμίδα εισόδου, τον ανορθωτή εισόδου και το φίλτρο.



Σχήμα 1. Διάγραμμα βαθμίδων τροφοδοτικού

## I. Η βαθμίδα εισόδου.

Η βαθμίδα εισόδου αποτελείται από έναν μετασχηματιστή, συνήθως έναν μετασχηματιστή ισχύος που λαμβάνει το AC σήμα εισόδου από κάποια πηγή ισχύος. Ο μετασχηματιστής μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια που δέχεται στην βαθμίδα του ανορθωτή με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή ή αμοιβαία επαγωγή. Ο μετασχηματιστής εκτελεί την μεταφορά ενέργειας χωρίς μεταβολή της συχνότητας, αλλά είναι ικανός να μεταβάλλει την τάση και το ρεύμα από την πηγή εισόδου στην τάση και το ρεύμα που απαιτείται από τη βαθμίδα του ανορθωτή. Η σχέση της φάσης του ρεύματος στο δευτερεύον του μετασχηματιστή εξαρτάται από τη φάση της τάσης στο πρωτεύον και την φορά του τυλίγματος στο δευτερεύον. Αν το δευτερεύον τύλιγμα έχει τυλιχτεί με την ίδια φορά όπως το πρωτεύον τύλιγμα, η φάση μεταξύ του σήματος εισόδου και του σήματος εξόδου θα είναι η ίδια. Αν το δευτερεύον τύλιγμα έχει τυλιχτεί με την αντίθετα φορά σε σχέση με το πρωτεύον, τότε η φάση του σήματος εισόδου και του σήματος εξόδου θα διαφέρουν κατά  $180^\circ$ . Η σχηματική παράσταση ενός μετασχηματιστή υποδεικνύει την σχέση φάσης μεταξύ πρωτεύοντος και δευτερεύοντος με τη χρήση τελειών. Οι τελείες στο σχηματικό διάγραμμα δείχνουν ποια τυλίγματα είναι σε φάση. Το σχήμα 2 δείχνει αυτή τη σχέση.



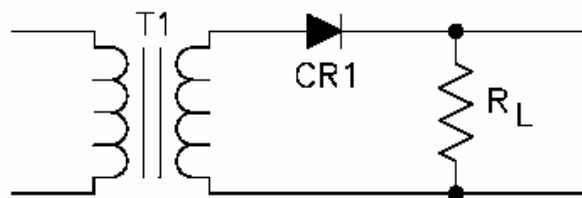
Σχήμα 2. Μετασχηματιστής

## II. Η βαθμίδα του ανορθωτή

Το κύκλωμα του ανορθωτή είναι το πιο σημαντικό τμήμα του τροφοδοτικού. Ο ανορθωτής μετατρέπει την AC κυματομορφή από την βαθμίδα εισόδου σε μία παλλόμενη DC κυματομορφή. Ένα από τα πολλά διαφορετικά κυκλώματα ανορθωτών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να πραγματοποιήσει αυτή τη λειτουργία. Αυτά είναι: ο ανορθωτής ημικύματος, ο ανορθωτής πλήρους κύματος, ο ανορθωτής πλήρους κύματος με γέφυρα και ο διπλασιαστής τάσης.

- Ο ανορθωτής ημικύματος.

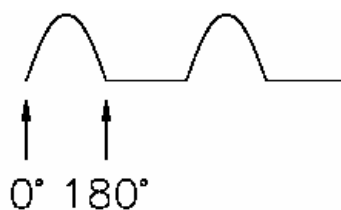
Το σχήμα 3 δείχνει το σχηματικό διάγραμμα ενός ανορθωτή ημικύματος. Ο ανορθωτής ημικύματος είναι ο απλούστερος τύπος ανορθωτή. Αποτελείται μόνο από μία διάοδο. Για να το εξηγήσουμε καλύτερα, πρέπει να τοποθετηθεί και μία αντίσταση φόρτου στο κύκλωμα για να συμπληρωθεί η διαδρομή ροής του ρεύματος και να αναδειχθεί το σήμα εξόδου.



**Σχήμα 3. Ανορθωτής ημικύματος.**

Ο ανορθωτής ημικύματος του σχ. 3 είναι ένας ανορθωτής θετικού ημικύματος. Ονομάζεται έτσι, διότι χρησιμοποιεί μόνο τη θετική ημιπερίοδο του ημιτονικού σήματος εισόδου και παράγει ένα θετικό παλλόμενο DC σήμα. Κατά τη θετική ημιπερίοδο της τάσης εισόδου, η θετική τάση του ημιτονικού κύματος αναγκάζει την άνοδο της διάοδου να είναι θετική σε σχέση με την κάθοδο. Η διάοδος είναι τώρα ορθά πολωμένη και επομένως άγει. Το ρεύμα ρέει από το αρνητικό άκρο του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή, μέσω της αντίστασης φόρτου και μέσω της διάοδου προς το θετικό άκρο του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή. Αυτή η διαδρομή του ρεύματος θα υπάρχει καθ' όλη τη διάρκεια της θετικής ημιπεριόδου της κυματομορφής εισόδου διότι η διάοδος θα παραμένει ορθά πολωμένη όσο το θετικό σήμα εφαρμόζεται στην άνοδο. Η προκύπτουσα έξοδος του ανορθωτή θα αναπτυχθεί στα άκρα της αντίστασης φόρτου και θα είναι ένας θετικός παλμός παρόμοιος με την θετική ημιπερίοδο της κυματομορφής εισόδου. Το σχήμα 4 απεικονίζει την κυματομορφή εξόδου στα άκρα της αντίστασης φόρτου.

Κατά την αρνητική ημιπερίοδο του ημιτονικού κύματος εισόδου, η άνοδος είναι αρνητική σε σχέση με την κάθοδο και η διάοδος θα είναι ανάστροφα πολωμένη. Όσο διαρκεί αυτή η κατάσταση, δεν ρέει ρεύμα στο κύκλωμα και δεν μπορεί να αναπτυχθεί τάση στον φόρτο. Το κύκλωμα φαίνεται να παράγει μία σειρά από θετικούς παλμούς.



**Σχήμα 4. Κυματομορφή εξόδου ενός ανορθωτή θετικού ημικύματος.**

Ένας ανορθωτής αρνητικού ημικύματος λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο όπως ο ανορθωτής θετικού ημικύματος, μόνο που η έξοδος θα είναι μία σειρά αρνητικών παλμών. Κατά την θετική ημιπερίοδο, η διάοδος είναι ανάστροφα πολωμένη, δεν ρέει ρεύμα μέσα στο κύκλωμα και δεν θα αναπτυχθεί τάση στα άκρα του φόρτου. Αυτή η συνθήκη θα υπάρχει κάθε φορά που μια θετική εναλλαγή εμφανίζεται στην κάθοδο. Όταν εμφανιστεί η αρνητική ημιπερίοδος στην κάθοδο, η διάοδος είναι ορθά πολωμένη, ρεύμα ρέει από το αρνητικό άκρο του δευτερεύοντος μέσω της διάοδου και μέσω της αντίστασης φόρτου προς το θετικό άκρο του δευτερεύοντος. Αυτή η συνθήκη επιτρέπει να εμφανιστεί ένας αρνητικός παλμός στην αντίσταση φόρτου και



συνεχίζει μέχρι να απομακρυνθεί η αρνητική ημιπερίοδος από την κάθοδο. Η έξοδος ενός ανορθωτή αρνητικού ημικύματος θα είναι μια σειρά από αρνητικούς παλμούς. Το πλάτος της εξόδου είναι περίπου ίδιο με την τάση κορυφής του σήματος εισόδου, αν μετρηθεί στον παλμογράφο.

Αν χρησιμοποιηθεί ένα πολύμετρο για να μετρηθεί η παλλόμενη DC τάση, αυτό θα δείξει την μέση τιμή της τάσης. Η μέση τιμή ενός ημιτονικού κύματος τάσης είναι 0 Volts. Αν όμως το αρνητικό μέρος ενός ημιτονικού κύματος αποκοπεί, η μέση τάση παίρνει μια θετική τιμή. Επειδή η κυματομορφή μεταβάλλεται αλλά δεν παίρνει αρνητικές τιμές, η μέση τάση θα είναι θετική. Για τον υπολογισμό της μέσης τιμής του παλλόμενου DC σήματος από έναν ανορθωτή ημικύματος, πολλαπλασιάζουμε την τιμή κορυφής επί το 0,318.

Η μέση τιμή ενός σήματος είναι ο μέσος όρος όλων των στιγμιαίων τιμών κατά τη διάρκεια μιας εναλλαγής. Για μια θετική εναλλαγή, η τιμή της τάσης αυξάνει από 0 Volts μέχρι κάποια μέγιστη τιμή κορυφής και μειώνεται πίσω μέχρι τα 0 Volts. Η μέση τιμή θα είναι κάποια τιμή ανάμεσα στα δύο όρια. Η στιγμιαία τιμή ενός εναλλασσόμενου ρεύματος ή τάσης είναι η τιμή του ρεύματος ή της τάσης σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Η τιμή μπορεί να είναι μηδέν αν η συγκεκριμένη χρονική στιγμή είναι η στιγμή μέσα στην περίοδο όπου αλλάζει η πολικότητα του σήματος. Μπορεί επίσης να είναι ίση με την τιμή κορυφής αν επιλεγεί η χρονική στιγμή μέσα στην περίοδο κατά την οποία το ρεύμα ή η τάση σταματάει να αυξάνει και αρχίζει να μειώνεται. Στην πραγματικότητα υπάρχει ένας άπειρος αριθμός από στιγμιαίες τιμές μεταξύ του μηδέν και της τιμής κορυφής. Το ρεύμα ρέει στο κύκλωμα κατά τη διάρκεια του μισού κύκλου και παράγει μία θετική τάση ημικύματος στα άκρα του φόρτου. Η μέση τιμή  $V_m$  της ανορθωμένης τάσης είναι:

$$V_m = \frac{V_M}{\pi} = 0,318 \cdot V_M$$

Η ενεργός τιμή είναι:  $V_{rms} = \frac{V_M}{2\sqrt{2}}$

### **Συχνότητα κυμάτωσης**

Ο ανορθωτής ημικύματος παίρνει το όνομά του από το γεγονός ότι άγει μόνο κατά το ήμισυ του κύκλου του σήματος εισόδου. Η έξοδος του είναι μία σειρά παλμών με συχνότητα ίση με τη συχνότητα του σήματος εισόδου. Επομένως, αν η διαδικασία γίνεται από μία γραμμή πηγής 60 Hertz, η συχνότητα των παλμών είναι 60 Hertz. Η συχνότητα με την οποία εμφανίζονται οι παλμοί ονομάζεται συχνότητα κυμάτωσης.

### **Ανάστροφη τάση κορυφής (peak inverse voltage – PIV)**

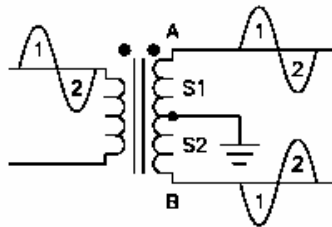
Η μέγιστη ανάστροφη τάση που πρέπει να μπορεί να αντέχει η διάοδος χωρίς να φτάνει στην κατάρρευση είναι γνωστή ως PIV. Είναι η μέγιστη ανάστροφη τάση που αναμένεται να εμφανιστεί στα άκρα της διάοδος.

$$PIV = V_M$$

- **Ανορθωτής πλήρους κύματος.**

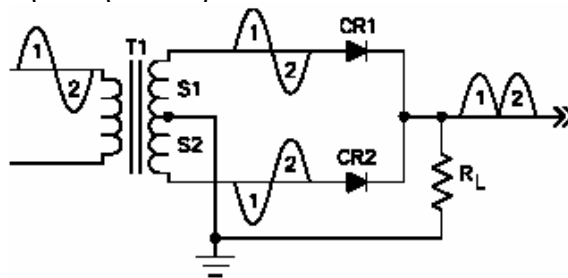
Ένας ανορθωτής πλήρους κύματος χρησιμοποιεί δύο διάόδους και έναν μετασχηματιστή με μεσαία λήψη. Πριν σχολιάσουμε έναν ανορθωτή πλήρους κύματος, ας θεωρήσουμε κάποια σημεία σχετικά με τον μετασχηματιστή με μεσαία λήψη (Σχήμα 1). Ένας μετασχηματιστής με μεσαία λήψη αποτελείται από δύο τυλίγματα, ένα πρωτεύον και ένα δευτερεύον, το οποίο διαιρείται από μία γείωση

που συνδέεται στο μέσον του δευτερεύοντος τυλίγματος. Όταν η μεσαία λήψη του μετασχηματιστή γειώνεται, οι τάσεις στα δύο άκρα του δευτερεύοντος έχουν διαφορά φάσης  $180^\circ$ . Το πλάτος των δύο αυτών σημάτων θα είναι το ίδιο, διότι υπάρχει ο ίδιος αριθμός σπειρών πάνω και κάτω από την γείωση. Όταν η τάση στο σημείο A είναι θετική ως προς τη γη, η τάση στο σημείο B είναι αρνητική ως προς τη γη.



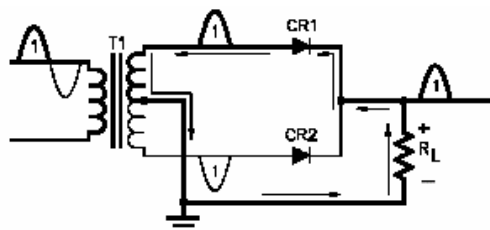
**Σχήμα 1. Μετασχηματιστής με μεσαία λήψη**

Κατά την πρώτη ημιπερίοδο, η άνοδος του CR1 είναι θετική ως προς την κάθοδο, ενώ η άνοδος του CR2 είναι αρνητική ως προς την κάθοδο (Σχήμα 2). Επομένως, η CR1 είναι ορθά πολωμένη, ενώ η CR2 είναι ανάστροφα πολωμένη. Κατά την δεύτερη ημιπερίοδο, η άνοδος της CR1 είναι αρνητική ως προς την κάθοδο, ενώ η άνοδος της CR2 είναι θετική ως προς την κάθοδο, με αποτέλεσμα η CR1 να είναι ανάστροφα πολωμένη και η CR2 ορθά.



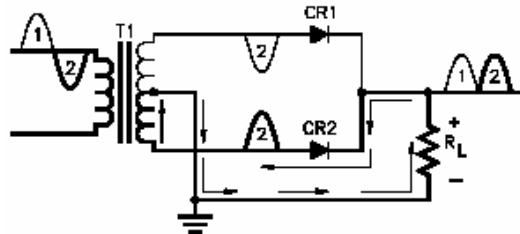
**Σχήμα 2. Ανορθωτής πλήρους κύματος**

Όταν η CR1 είναι ορθά πολωμένη, το ρεύμα θα ρέει από τη γη μέσω της αντίστασης φόρτου και της διόδου CR1, προς το άνω ήμισυ του T1, και μέσω του T1 προς τη μεσαία λήψη και πίσω προς τη γη. Καθώς το ρεύμα ρέει μέσω της αντίστασης φόρτου, ένα θετικό σήμα αναπτύσσεται στην σύνδεση της  $R_L$  με την CR1. Αυτό το σήμα είναι ένας θετικός DC παλμός με πλάτος περίπου ίσο με του σήματος εισόδου. Αυτό το σήμα αναπτύσσεται κατά την πρώτη ημιπερίοδο του σήματος εισόδου (Σχήμα 3).



**Σχήμα 3. Πρώτη ημιπερίοδος ανόρθωσης**

Κατά τη δεύτερη ημιπερίοδο του σήματος εισόδου, η CR2 είναι ορθά πολωμένη και επιτρέπει τη ροή του ρεύματος. Η CR1 είναι ανάστροφα πολωμένη κατ' αυτή την ημιπερίοδο. Το ρεύμα θα ρέει τώρα από τη γη μέσω της αντίστασης φόρτου και μέσω της CR2 και του κάτω μέρους του μετασχηματιστή προς τη μεσαία λήψη και πίσω προς τη γη. Το ρεύμα ρέει και πάλι προς τη ίδια διεύθυνση κατά μήκος της αντίστασης φόρτου ούτως ώστε ένα θετικό σήμα να αναπτυχθεί στο σημείο σύνδεσης της CR2 με την  $R_L$  (Σχήμα 4).



Σχήμα 4. Δεύτερη ημιπερίοδος ανόρθωσης

Κατά τη διάρκεια αυτού του κύκλου του ημιτονικού σήματος εισόδου, έχουν αναπτυχθεί δύο θετικοί DC παλμοί. Σε αυτή την κατάσταση η συχνότητα εξόδου διπλασιάζεται. Αν η συχνότητα εισόδου είναι 60Hz, η θετική εναλλαγή θα εμφανίζεται 60 φορές. Μετά από την πλήρη ανόρθωση, θα υπάρχουν 120 θετικοί παλμοί στην έξοδο. Το πλάτος, αν μετρηθεί με παλμογράφο, θα είναι περίπου το ίδιο με την τιμή κορυφής του σήματος εισόδου. Αν μετρήσουμε το DC σήμα εξόδου με πολύμετρο, η ένδειξη θα είναι η μέση τιμή του ανορθωμένου σήματος. Για να υπολογίσουμε τη μέση τιμή ενός πλήρως ανορθωμένου σήματος, πολλαπλασιάζουμε την τιμή κορυφής επί 0.636.

**Παράδειγμα:**  $E_{AVG} = E_{PEAK} \times 0.636$

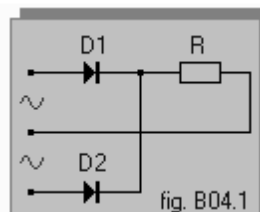
Τιμή κορυφής εισόδου = 10 V AC

$10 \text{ V AC} \times 0.636 = 6.36 \text{ V DC}$

### Πλεονέκτημα του πλήρους ανορθωτή

Ο ανορθωτής ημικύματος έχει πολύ χαμηλή μέση τιμή (ή rms τιμή) της τάσης εξόδου διότι χρησιμοποιεί μόνο τον μισό κύκλο εισόδου. Αυτό είναι ασύμφορο, ειδικά αν ο φόρτος απαιτεί μεγάλη ισχύ. Υπάρχουν δύο εναλλακτικές λύσεις αντί του απλού ανορθωτή, οι οποίες ανορθώνουν όλο τον κύκλο εισόδου και αυξάνουν την μέση και την rms τιμή της ανορθωμένης τάσης.

Το ένα κύκλωμα, ο ανορθωτής πλήρους κύματος, χρησιμοποιεί δύο διόδους, όπως φαίνεται στο σχήμα.



Αυτός ο ανορθωτής με δύο διόδους απαιτεί στις ανόδους τους δύο ίσες τάσεις αλλά με διαφορά φάσης  $180^\circ$ .

Η μέση τιμή  $V_m$  της ανορθωμένης τάσης είναι:

$$V_m = 2V_M / \pi = 0.636V_M$$

Η rms τάση  $V_{eff}$  είναι:

$$V_{eff} = V_M / \sqrt{2} = 0.707V_M$$

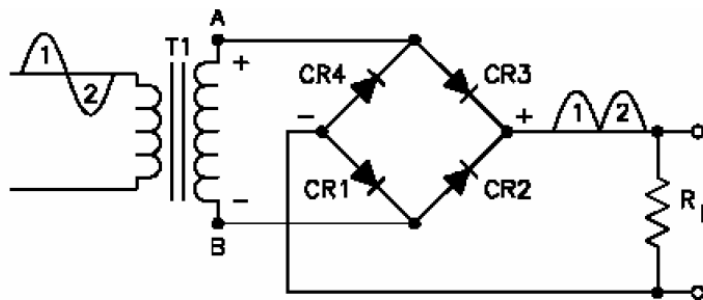
### Ανάστροφη τάση κορυφής (PIV)

Η μέγιστη αντίστροφη τάση που πρέπει να μπορεί να αντέξει η διάδος χωρίς να καταρρεύσει είναι γνωστή ως PIV (peak inverse voltage). Είναι η μέγιστη ανάστροφη τάση που αναμένεται να εμφανιστεί στα άκρα της διάδος. Κατά το θετικό ήμισυ του κύκλου η D1 άγει και η D2 είναι σε αποκοπή. Η τάση στην κάθοδο της D2 είναι  $V_0 = V_M - V_{D0}$  και στην άνοδό της είναι  $-V_M$ . Επομένως,

$$PIV = 2V_M - V_{D0}$$

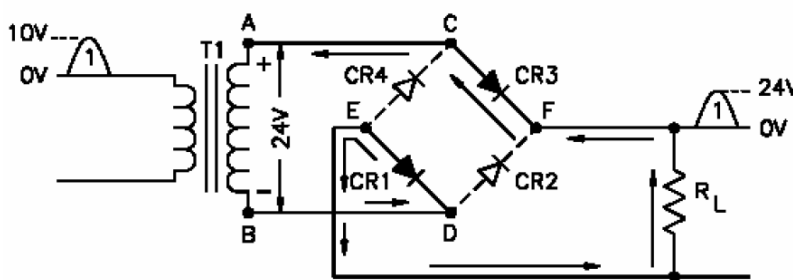
- **Ο πλήρης ανορθωτής με γέφυρα**

Η βασική τοπολογία του πλήρους ανορθωτή με γέφυρα διόδων φαίνεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Ο πλήρης ανορθωτής με γέφυρα διόδων

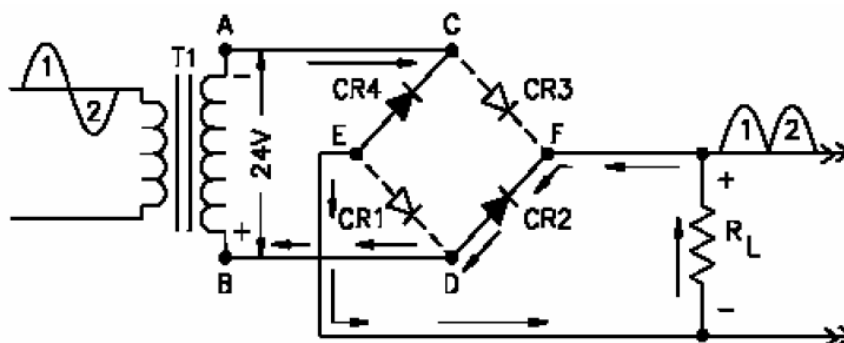
Ο πλήρης ανορθωτής με γέφυρα διόδων έχει ένα πλεονέκτημα σε σχέση με τον συμβατικό ανορθωτή πλήρους κύματος: το πλάτος του σήματος εξόδου. Η συχνότητα των θετικών παλμών θα είναι η ίδια και στους δύο ανορθωτές. Όταν το σήμα εξόδου λαμβάνεται από έναν ανορθωτή γέφυρας, λαμβάνεται στα άκρα ολόκληρου του μετασχηματιστή, επομένως το σήμα εξόδου θα έχει το διπλάσιο πλάτος από αυτό ενός ανορθωτή πλήρους κύματος.



Σχήμα 2. Ανορθωτής με γέφυρα, η λειτουργία κατά την πρώτη ημιπερίοδο

Κατά το πρώτο ήμισυ του κύκλου του σήματος εισόδου, ένα θετικό δυναμικό εμφανίζεται στο σημείο A και ένα αρνητικό δυναμικό στο σημείο B (Σχήμα 2). Υπό αυτές τις συνθήκες, ένα θετικό δυναμικό εμφανίζεται στην άνοδο της CR3 και στην κάθοδο της CR4. Η CR3 θα είναι ορθά πολωμένη ενώ η CR4 θα είναι ανάστροφα πολωμένη. Επίσης, ένα αρνητικό δυναμικό θα εφαρμοστεί στην κάθοδο της CR1 και στην άνοδο της CR2. Η CR1 θα είναι ορθά πολωμένη, ενώ η CR2 θα είναι ανάστροφα πολωμένη. Με τις CR1 και CR3 ορθά πολωμένες, δημιουργείται ένας κλειστός δρόμος για το ρεύμα. Το ρεύμα θα ρέει από το κάτω άκρο του

μετασχηματιστή προς το σημείο D. Η CR1 είναι ορθά πολωμένη, οπότε το ρεύμα θα ρέει μέσω της CR1 προς το σημείο E, από το σημείο E προς το κάτω άκρο της αντίστασης και προς τα επάνω προς το σημείο F. Η CR3 είναι ορθά πολωμένη, οπότε το ρεύμα θα ρέει μέσω της CR3 προς το σημείο C και προς το σημείο A. Η διαφορά δυναμικού στα άκρα του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή προκαλεί την ροή του ρεύματος. Οι δίοδοι CR1 και CR3 είναι ορθά πολωμένες, οπότε πολύ μικρή αντίσταση εμφανίζεται κατά τη ροή του ρεύματος μέσω αυτών. Επίσης, η αντίσταση του μετασχηματιστή είναι πολύ μικρή, οπότε περίπου όλη η εφαρμοζόμενη τάση θα αναπτυχθεί στα άκρα της αντίστασης φόρτου. Αν η διαφορά δυναμικού από το σημείο A ως το σημείο B του μετασχηματιστή είναι 24 Volts, η έξοδος που θα εμφανιστεί στα άκρα της αντίστασης φόρτου θα είναι θετικός παλμός πλάτους περίπου 24 Volts.



**Σχήμα 3. Ανορθωτής με γέφυρα, λειτουργία κατά τη δεύτερη ημιπερίοδο**

Όταν εμφανιστεί η επόμενη εναλλαγή της εισόδου (Σχήμα 3), αναστρέφεται η πολικότητα του δυναμικού στα άκρα του μετασχηματιστή. Τώρα, στο σημείο A εμφανίζεται ένα αρνητικό δυναμικό και στο σημείο B ένα θετικό. Με ένα αρνητικό δυναμικό στο σημείο C, η CR4 θα έχει αρνητικό δυναμικό στην κάθοδό της και η CR3 θα έχει αρνητικό δυναμικό στην άνοδό της. Ένα θετικό δυναμικό στο σημείο D θα εφαρμοστεί στην άνοδο της CR2 και στην κάθοδο της CR1. Η CR4 και η CR2 θα είναι ορθά πολωμένες και θα δημιουργήσουν έναν κλειστό δρόμο για τη ροή του ρεύματος. Η διαδρομή της ροής του ρεύματος θα είναι από το σημείο A προς το σημείο C, μέσω της CR4 στο σημείο E, στο κάτω άκρο της αντίστασης φόρτου, μέσω της αντίστασης φόρτου στο σημείο F, μέσω της CR2 στο σημείο D, και στο κάτω άκρο του T1. Η ροή του ρεύματος οφείλεται σε όλο το δυναμικό που εμφανίζεται στα άκρα του μετασχηματιστή, επομένως το ρεύμα μέσω της αντίστασης φόρτου θα αναδειξει την πλήρη διαφορά δυναμικού. Η συχνότητα των παλμών εξόδου θα είναι διπλάσια από αυτή των παλμών εισόδου διότι και οι δύο κύκλοι της AC τάσης εισόδου χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της εξόδου.

Η μέση τιμή της ανορθωμένης τάσης είναι:

$$V_m = 2V_M / \pi = 0.636V_M$$

Η rms τάση είναι:

$$V_{\text{eff}} = V_M / \sqrt{2} = 0.707V_M$$

### **Ανάστροφη τάση κορυφής (PIV)**

Θεωρούμε το κύκλωμα κατά τη θετική ημιπερίοδο. Η ανάστροφη τάση στα άκρα της CR2 μπορεί να καθοριστεί από το βρόχο που σχηματίζεται από τις CR2, CR1 και RL ως:

$$V_{D2} (\text{ανάστροφη}) = V_O + V_{D1} (\text{ορθή})$$

$$PIV = V_M - 2V_{DO} + V_{DO} = V_M - V_{DO}$$

Η PIV έχει περίπου την μισή τιμή από αυτή του πλήρους ανορθωτή με μετασχηματιστή με μεσαία λήψη.

Αυτό είναι ένα από τα πλεονεκτήματα του ανορθωτή με γέφυρα.

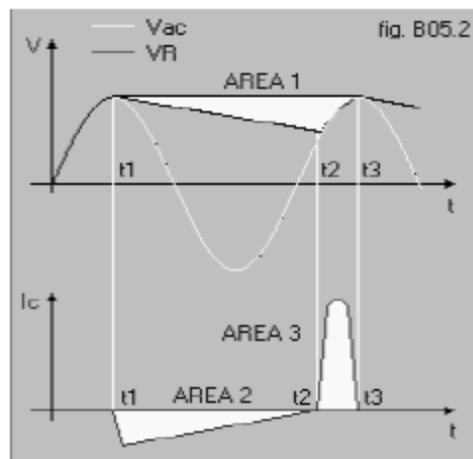
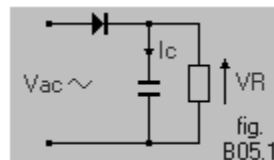
### III. Η βαθμίδα φίλτρου

Η έξοδος από το κύκλωμα του ανορθωτή είναι μία παλμική DC τάση. Αυτό το παλμικό DC δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα περισσότερα ηλεκτρονικά κυκλώματα εξ αιτίας της κυμάτωσης της τάσης εξόδου. Για να κάνουμε αυτή την τάση εξόδου αξιοποιήσιμη, πρέπει να την εξομαλύνουμε σε μια σταθερή DC τάση με πολύ μικρή κυμάτωση. Για να το επιτύχουμε αυτό χρησιμοποιούμε ένα φίλτρο. Το κύκλωμα του φίλτρου τοποθετείται μεταξύ του ανορθωτή και του φόρτου. Χρησιμοποιεί πυκνωτές, αντιστάσεις και πηνία για να εξομαλύνει ή να μειώσει την κυμάτωση της τάσης. Υπάρχουν τέσσερις βασικοί τύποι κυκλωμάτων φίλτρων που χρησιμοποιούνται στα βασικά ηλεκτρονικά. Αυτοί είναι:

1. Το βασικό φίλτρο πυκνωτή.
2. Το φίλτρο LC (επαγωγικής εισόδου).
3. Το φίλτρο LC (χωρητικής εισόδου).
4. Το φίλτρο RC (χωρητικής εισόδου).

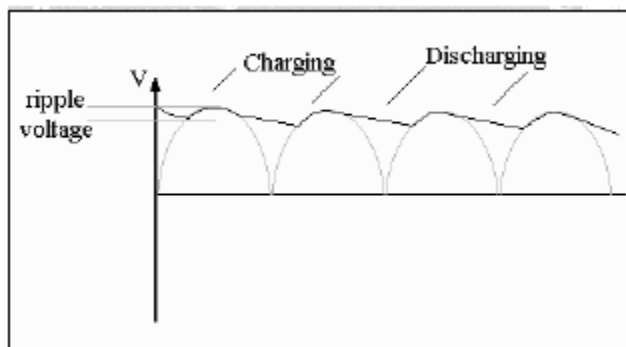
#### Το φίλτρο με χωρητικότητα

Αυτό επιτυγχάνεται αν συνδέσουμε έναν πυκνωτή στα άκρα του φόρτου, όπως φαίνεται στο σχήμα. Η συμπεριφορά της εξομαλυνμένης τάσης και του ρεύματος με τον πυκνωτή φαίνονται επίσης στα σχήματα.



Ο πυκνωτής φορτίζεται όσο άγει η διόδος, μέχρι να φτάσει τη μέγιστη τιμή της ανορθωμένης τάσης. Όταν η τάση που εφαρμόζεται στην άνοδο είναι μικρότερη από την τάση στην κάθοδο (δηλ. την μέγιστη τάση του πυκνωτή), η διόδος αποκόπτεται. Ο πυκνωτής δίνει τότε ρεύμα στον φόρτο. Αυτό το ρεύμα εκφόρτισης φαίνεται σαν AREA 2 στο σχήμα B05.2. Ο πυκνωτής εκφορτίζεται κατά το χρονικό διάστημα  $t_2-t_1$ . Αν ο πυκνωτής είναι μικρός και/ή η αντίσταση φόρτου χαμηλή, ο

πυκνωτής θα εκφορτιστεί πολύ γρήγορα και η εξομάλυνση δεν θα είναι πολύ καλή. Όταν η τάση εισόδου στην άνοδο γίνει μεγαλύτερη από την τάση που απομένει στα άκρα του πυκνωτή, ο πυκνωτής ξαναρχίζει να φορτίζεται (κατά το διάστημα  $t_3-t_2$ ). Η δίοδος παρέχει έναν παλμό ρεύματος για να αναπληρώσει την απώλεια φορτίου του πυκνωτή. Κατά το χρονικό διάστημα  $t_3-t_2$  ο πυκνωτής πρέπει να αποκαταστήσει την ποσότητα του φορτίου που χάθηκε κατά το διάστημα  $t_2-t_1$ . Η τάση στα άκρα του φόρτου φαίνεται ως εξής:

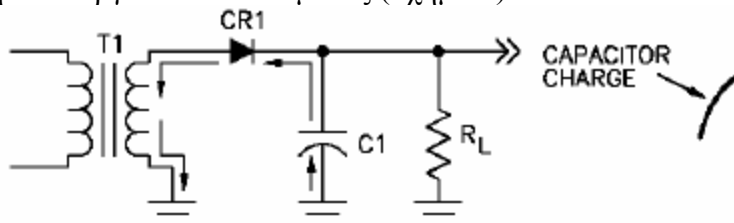


Ο χρόνος που χρειάζεται ο πυκνωτής για να εκφορτιστεί εξαρτάται από τη σταθερά χρόνου του κυκλώματος.

$$\tau = RC$$

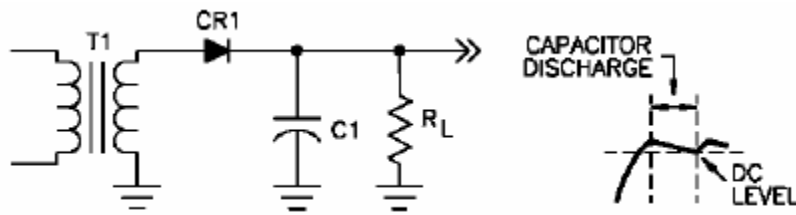
$$V_r = V_p / (fRC)$$

Το φίλτρο χωρητικής εισόδου είναι ο πιο απλός τύπος φίλτρου και η χρήση του είναι πολύ περιορισμένη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κυκλώματα που απαιτούν εξαιρετικά υψηλή τάση και χαμηλό ρεύμα, όπως τα τροφοδοτικά για καθοδικούς σωλήνες ή κυκλώματα με ηλεκτρονικές λυχνίες που απαιτούν πολύ μικρά ρεύματα φόρτου από την τροφοδοσία. Αυτός ο τύπος φίλτρου χρησιμοποιείται επίσης όπου η συχνότητα κυμάτωσης της τροφοδοσίας δεν είναι κρίσιμη και έχει ελάχιστη επίδραση στη λειτουργία του κυκλώματος (σχήμα 1).



**Σχήμα 1. Φίλτρο χωρητικής εισόδου (φόρτιση του πυκνωτή)**

Όταν ένα θετικό δυναμικό γίνει αισθητό στο άνω άκρο του T1, η CR1 θα είναι ορθά πολωμένη και θα επιτρέψει στο ρεύμα να ρέει από το κάτω άκρο του T1 προς το κάτω άκρο του C1 και από το άνω άκρο του C1 μέσω της CR1 προς το επάνω μέρος του T1. Με αυτό το δρόμο ροής του ρεύματος, ο C1 θα φορτιστεί σε κάποιο θετικό δυναμικό. Αυτό το θετικό δυναμικό θα είναι μικρότερο από την τιμή κορυφής που εμφανίζεται στα άκρα του μετασχηματιστή λόγω της πτώσης τάσης στην CR1. Ο χρόνος φόρτισης του C1 θα είναι εξαιρετικά μικρός λόγω της σταθεράς χρόνου RC της CR1 (που είναι ορθά πολωμένη και με χαμηλή αντίσταση) και της C1.

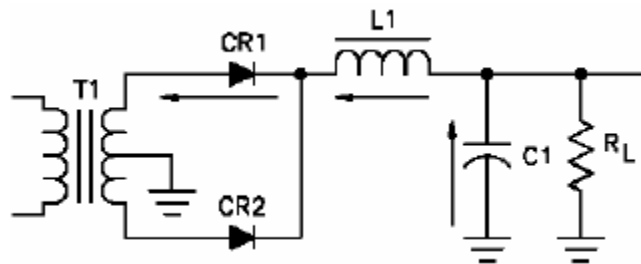


**Σχήμα 2. Φίλτρο χωρητικής εισόδου (εκφόρτιση του πυκνωτή)**

Όταν εμφανιστεί στο δευτερεύον του T1 η δεύτερη εναλλαγή της εισόδου, το άνω άκρο του T1 θα είναι αρνητικό. Με το αρνητικό στην άνοδο της CR1, θα είναι ανάστροφα πολωμένη και δεν θα επιτρέψει τη διέλευση του ρεύματος μέσω αυτής. Τώρα που ο C1 έχει την ευκαιρία να εκφορτιστεί, θα εκφορτιστεί μέσω της αντίστασης φόρτου. Η σταθερά χρόνου RC της  $R_L$  και του C1 θα είναι πολύ μεγάλη. Με αυτή την μεγάλη σταθερά χρόνου, ο C1 θα εκφορτιστεί πολύ αργά. Λόγω αυτού του αργού χρόνου εκφόρτισης, ο C1 δεν θα μπορέσει να εκφορτιστεί πλήρως και θα συγκρατήσει το μεγαλύτερο μέρος του φορτίου που τοποθετήθηκε εκεί κατά την πρώτη εναλλαγή. Αυτό εγκαθιστά μία υψηλή DC στάθμη στην έξοδο και μειώνει την κυμάτωση της εξόδου (σχήμα 2).

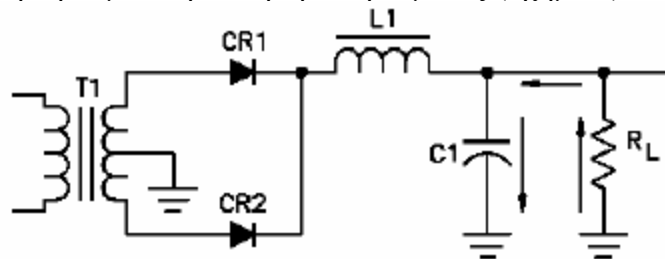
### Φίλτρο LC επαγωγικής εισόδου

Αυτό το φίλτρο χρησιμοποιείται στα τροφοδοτικά στα οποία η ρύθμιση της τάσης είναι σημαντική και το ρεύμα εξόδου είναι σχετικά υψηλό. Χρησιμοποιείται στα ραντάρ και στους τηλεπικοινωνιακούς πομπούς (σχήμα 3).



**Σχήμα 3. Φίλτρο LC επαγωγικής εισόδου (δρόμος φόρτισης του πυκνωτή)**

Το L1 τοποθετημένο σε σειρά με την έξοδο του ανορθωτή προσπαθεί να διατηρήσει σταθερή τη ροή του ρεύματος μέσω του φόρτου. Το σχήμα 3 δείχνει το δρόμο φόρτισης του C1. Κάθε φορά που το ρεύμα αρχίζει να μειώνεται σ' αυτό το κύκλωμα, το μαγνητικό πεδίο του L1 αρχίζει να καταρρέει και προσπαθεί να διατηρήσει σταθερό ρυθμό στην κίνηση του ρεύματος (σχήμα 4).



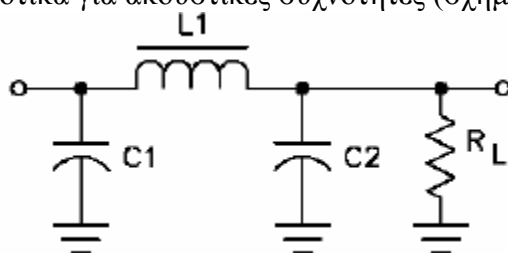
**Σχήμα 4. Φίλτρο LC επαγωγικής εισόδου (δρόμος εκφόρτισης του πυκνωτή).**



Το σχήμα 4 δείχνει το δρόμο εκφόρτισης του C1. Και πάλι ο χρόνος φόρτισης είναι μικρός ώστε C1 μπορεί να φορτιστεί γρήγορα, και ο χρόνος εκφόρτισης είναι εξαιρετικά μεγάλος ώστε να εμποδίσει τον πυκνωτή να εκφορτιστεί τελείως.

### Φίλτρο LC χωρητικής εισόδου

Αυτό είναι ένα από τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται συνηθέστερα. Χρησιμοποιείται σε κυκλώματα που απαιτούν χαμηλό ρεύμα εξόδου και ρεύμα φόρτου που πρέπει να διατηρείται σχετικά σταθερό, όπως αυτά στους ραδιοδέκτες και στα μικρά τροφοδοτικά για ακουστικές συχνότητες (σχήμα5).



Σχήμα 5. Φίλτρο LC χωρητικής εισόδου

Ο σκοπός του C1 είναι να μειώσει την κυμάτωση σε μία σχετικά χαμηλή στάθμη και την ίδια στιγμή να αποκαταστήσει την DC στάθμη της εξόδου. Ο C1 θα φορτιστεί στη μέγιστη τιμή κορυφής του σήματος εισόδου. Επίσης, ο C1 θα φορτιστεί πολύ γρήγορα αλλά θα εκφορτιστεί εξαιρετικά αργά. Με αυτό τον αργό χρόνο εκφόρτισης, η τάση στον C1 δεν θα εκφορτιστεί στο μηδέν πριν να εμφανιστεί ο επόμενος παλμός στον C1 και να τον ξαναφορτίσει. Τα L1 και C2 σχηματίζουν το φίλτρο LC filter και μειώνουν την κυμάτωση ακόμη περισσότερο. Το L1 έχει μεγάλη αυτεπαγωγή και υψηλή τιμή επαγωγικής αντίστασης στη συχνότητα κυμάτωσης. Ο C2 προσφέρει χαμηλή χωρητική αντίσταση στην κυμάτωση. Τα L1 και C2 σχηματίζουν έναν διαιρέτη τάσης. Εξ αιτίας της φαινομένης αντίστασης που παρέχεται από κάθε συνιστώσα, το μεγαλύτερο μέρος της κυμάτωσης πέφτει στα άκρα του L1 και πολύ μικρή κυμάτωση εμφανίζεται τον C2 και στον φόρτο. Τα L1 και C2 έχουν πολύ μικρή επίδραση στην DC τάση, διότι η μόνη αντίθεση στη ροή του ρεύματος είναι η εσωτερική αντίσταση του σύρματος του L1. Το φίλτρο LC παρέχει καλό φιλτράρισμα σε μια μεγάλη περιοχή ρευμάτων. Ο C1 φιλτράρει καλύτερα όταν ο φόρτος τραβάει πολύ μικρό ρεύμα. Το L1 φιλτράρει καλύτερα όταν το ρεύμα είναι το υψηλότερο. Η συμπληρωματική φύση αυτών των δύο στοιχείων εξασφαλίζει ότι θα επιτευχθεί καλό φιλτράρισμα σε μια μεγάλη περιοχή συχνοτήτων. Το φίλτρο LC έχει δύο μειονεκτήματα: είναι ακριβότερο στην κατασκευή του και το πηνίο είναι ογκώδες και βαρύ.

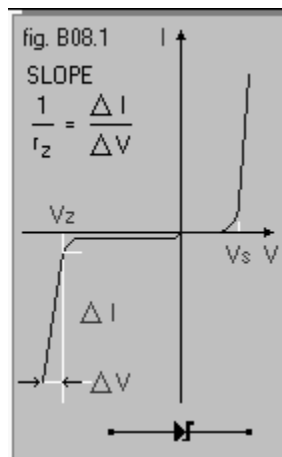
Ο συνδυασμός ανορθωτή και φίλτρου αποτελεί αυτό που είναι γνωστό εν γένει σαν τροφοδοτικό. Το τροφοδοτικό, όπως σχεδιάζεται για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, παρέχει τις απαιτούμενες τάσεις που ικανοποιούν τη λειτουργία του εξοπλισμού.

# Δίοδος Zener

## Βασική θεωρία

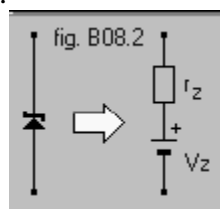
Η δίοδος Zener είναι μία δίοδος που έχει σχεδιαστεί ώστε να χρησιμοποιείται στην ανάστροφη πόλωση, στην περιοχή κατάρρευσης. Η δίοδος Zener λειτουργεί βασικά ως εξής:

- σε ορθή πόλωση συμπεριφέρεται σαν μία κανονική δίοδος.
- σε ανάστροφη πόλωση συμπεριφέρεται σαν μία κανονική δίοδος μέχρι να φτάσει στην τάση κατάρρευσης (κανονικά ονομάζεται τάση Zener,  $V_Z$ ). Σ' αυτό το σημείο, το ανάστροφο ρεύμα αυξάνει γρήγορα ενώ η τάση στα άκρα της παραμένει περίπου σταθερή. Ο όρος κατάρρευση δεν είναι πραγματικά κατάλληλος γι' αυτό τον τύπο διόδου. Η δίοδος αυτή σχεδιάστηκε (αρχικά από τον Zener) ώστε να λειτουργεί συνεχώς σ' αυτή την περιοχή χωρίς να υφίσταται καμμία βλάβη.



## Διαφορική αντίσταση

Σε μια πραγματική Zener η τάση στην περιοχή κατάρρευσης δεν παραμένει τελείως σταθερή, αλλά αυξάνει ελαφρά καθώς αυξάνει το ρεύμα. Η κλίση είναι σχεδόν κατακόρυφη και έχει τις αντίστροφες διαστάσεις μιας αντίστασης γνωστής ως διαφορική αντίσταση  $r_z$ . Η δίοδος Zener μπορεί να παρασταθεί, όταν είναι πολωμένη σ' αυτή την κανονική περιοχή λειτουργίας, από μία συνεχή τάση  $V_Z$  (την τάση Zener) σε σειρά με την αντίσταση  $r_z$ . Σ' αυτή την περιοχή λειτουργίας η αντίσταση  $r_z$  είναι μόνο μερικά ohms (σχήμα B08.2).

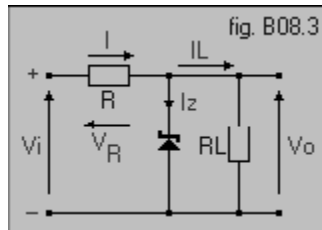


## Σταθεροποιητής τάσης

Το βασικό κύκλωμα σταθεροποίησης με δίοδο Zener φαίνεται στο σχήμα B08.3. Η Zener είναι ανάστροφα πολωμένη στην περιοχή κατάρρευσης από την τάση  $V_i$  μέσω της αντίστασης  $R$ . Για μια ιδανική Zener, η τάση  $V_o$  στα άκρα της αντίστασης  $RL$  δεν μεταβάλλεται και είναι ίση με την τάση Zener,  $V_Z$ .

Τα κύρια σημεία της λειτουργίας του σταθεροποιητή είναι:

- Αν το ρεύμα φόρτου  $I_L$  αυξάνει, το ρεύμα  $I_Z$  μέσω της διόδου Zener μειώνεται.
- Αν το  $I_L$  μειώνεται το  $I_Z$  αυξάνει.
- Αν η τάση εισόδου  $V_i$  αυξάνει, το  $I_Z$  επίσης αυξάνει.
- Αν η  $V_i$  μειώνεται, το  $I_Z$  επίσης μειώνεται.



### Σταθεροποίηση της τάσης με μεταβολή του φόρτου

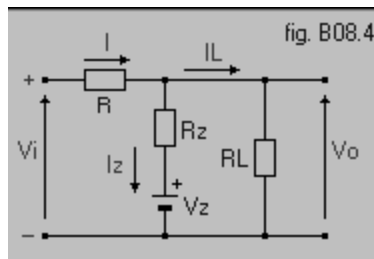
Στο σχήμα B08.4, υποθέτουμε ότι η Zener είναι ιδανική. Η τάση  $V_o$  στα άκρα του φόρτου είναι σταθερή, οπότε και το ρεύμα τροφοδοσίας  $I$  είναι σταθερό και ίσο με:

$$I = (V_i - V_o) / R$$

Μία μεταβολή στο ρεύμα φόρτου  $I_L$  προκαλεί μια ίση, αλλά αντίθετη μεταβολή στο ρεύμα της Zener,  $I_Z$  (το ρεύμα τροφοδοσίας  $I$  είναι σταθερό σε μια πρώτη προσέγγιση):  $\Delta I_L = -\Delta I_Z$

Για μια πραγματική Zener, αυτή η μεταβολή του ρεύματος προκαλεί μικρή μεταβολή στο ρεύμα εξόδου λόγω της επίδρασης της  $r_Z$ :

$$\Delta V_o = r_Z \Delta I_Z = -r_Z \Delta I_L$$



### Σταθεροποίηση της τάσης με μεταβολή της τάσης εισόδου

Στο σχήμα B08.4, για μια ιδανική Zener, καθώς η τάση εισόδου  $V_i$  μεταβάλλεται, η τάση εξόδου  $V_o$  παραμένει σταθερή και το ίδιο κάνει το ρεύμα  $I_L$  μέσω του φόρτου. Μία μεταβολή στην  $V_i$  προκαλεί μεταβολή στο ρεύμα τροφοδοσίας  $I$ , και επομένως, μεταβολή και στο  $I_z$ :

$$\Delta I = \Delta V_i / R = \Delta I_z$$

Και η μεταβολή της τάσης εξόδου είναι:

$$\Delta V_o = r_z \Delta I_z = (r_z / R) \Delta V_i$$

