

Οι περισσότερες ηλεκτρονικές συσκευές όπως οι τηλεοράσεις, τα στερεοφωνικά συγκροτήματα και οι υπολογιστές χρειάζονται dc τάση για να λειτουργήσουν σωστά. Αφού η τάση της γραμμής είναι εναλλασσόμενη, το πρώτο πράγμα που χρειάζεται να κάνουμε είναι να μετατρέψουμε την ac τάση της γραμμής σε dc τάση. Το τμήμα της ηλεκτρονικής διάταξης που παράγει αυτή την dc τάση ονομάζεται *τροφοδοσιακό* (power supply). Μέσα στο τροφοδοτικό υπάρχουν κυκλώματα που επιτρέπουν τη ροή του ρεύματος σε μια μόνο κατεύθυνση. Τα κυκλώματα αυτά ονομάζονται *ανορθωτές* (rectifiers). Το κεφάλαιο αυτό σχολιάζει τα κυκλώματα ανόρθωσης, τα φίλτρα, τους ψαλιδιστές, τους αναρριχητές, και τους πολλαπλασιαστές τάσης.

### Περίγραμμα Κεφαλαίου

- 4-1 Ο Ημιανορθωτής
- 4-2 Ο Μετασχηματιστής
- 4-3 Ο Ανορθωτής Πλήρους Κύματος
- 4-4 Η Γέφυρα Ανόρθωσης
- 4-5 Φίλτρο Εισόδου τύπου Τσοκ
- 4-6 Φίλτρο Εισόδου Πυκνωτή
- 4-7 Ανάστροφη Τάση Κορυφής και Επίρρευμα
- 4-8 Άλλα Θέματα Τροφοδοσίας
- 4-9 Ανίχνευση Βλαβών
- 4-10 Ψαλιδιστές και Περιοριστές
- 4-11 Αναρριχητές
- 4-12 Πολλαπλασιαστές Τάσης

### Αντικειμενικοί Στόχοι

Μετά τη μελέτη αυτού του κεφαλαίου πρέπει να είστε σε θέση να:

- Σχεδιάζετε ένα κύκλωμα ημιανόρθωσης και να εξηγείτε τη λειτουργία του.
- Γνωρίζετε το ρόλο του μετασχηματιστή εισόδου στα τροφοδοτικά ισχύος.
- Σχεδιάζετε ένα κύκλωμα πλήρους ανόρθωσης και να εξηγείτε πώς λειτουργεί.
- Σχεδιάζετε ένα κύκλωμα γέφυρας ανόρθωσης και να εξηγείτε τη λειτουργία της.

- Επιδείξετε μια εφαρμογή του φίλτρου εισόδου τύπου πυκνωτή και του σχετικού επιρρεύματος.
- Αναφέρετε τρεις σημαντικές προδιαγραφές που βρίσκονται σ' ένα φυλλάδιο προδιαγραφών μιας διόδου ανόρθωσης.
- Εξηγήστε πως λειτουργεί ένας ψαλιδιστής (clipper) και να σχεδιάζετε κυματομορφές.
- Εξηγήστε πως λειτουργεί ένας αναρριχητής (clammer) και να σχεδιάζετε κυματομορφές.
- Περιγράψετε τη λειτουργία των πολλαπλασιαστών τάσης.

## Λεξιλόγιο

bias (πόλωση)  
 bridge rectifier (γέφυρα ανόρθωσης)  
 capacitor-input filter (φίλτρο εισόδου πυκνωτή)  
 choke-input filter (φίλτρο εισόδου τσοκ)  
 clamper (αναρριχητής)  
 clipper (ψαλιδιστής)  
 dc value of signal (dc τιμή σήματος)  
 filter (φίλτρο)  
 full-wave rectifier (ανορθωτής πλήρους κύματος)  
 half-wave rectifier (ανορθωτής ημικύματος)  
 half-wave signal (σήμα ημικύματος)  
 IC voltage regulator (ρυθμιστής τάσης ολοκληρωμένου κυκλώματος)  
 integrated circuit (ολοκληρωμένο κύκλωμα)  
 passive filter (παθητικό φίλτρο)  
 peak detector (ανιχνευτής κορυφής)  
 peak inverse voltage (μέγιστη ανάστροφη τάση)  
 polarized capacitor (πολωμένος πυκνωτής)  
 power supply (τροφοδοσία ισχύος)  
 rectifier (ανορθωτής)  
 ripple (κυμάτωση)  
 surge current (επίρρευμα)  
 surge resistor (αντίσταση περιορισμού επιρρεύματος)  
 switching regulator (διακοπτόμενος ρυθμιστής)  
 unidirectional load current (ρεύμα φορτίου μιας κατεύθυνσης)  
 voltage multiplier (πολλαπλασιαστής τάσης)  
 waveform (κυματομορφή)

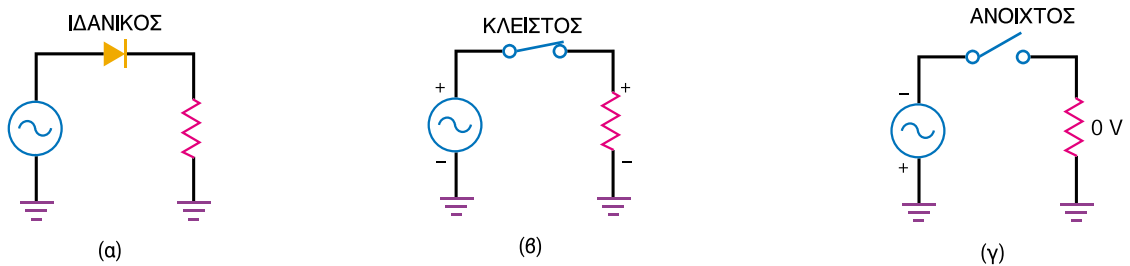
### 4-1 Ο Ημιανορθωτής

Το Σχ. 4-1α δείχνει το κύκλωμα ενός ημιανορθωτή (half-wave rectifier). Η ac πηγή δημιουργεί ημιτονοειδή τάση. Αν υποθέσουμε ότι μια διάδος είναι ιδανική, η θετική ημιπερίοδος της τάσης της πηγής θα πολώσει ορθά τη διάδο. Αφού ο διακόπτης είναι κλειστός, όπως δείχνει το Σχ. 4-1β, η θετική ημιπερίοδος της τάσης πηγής θα εμφανιστεί στα άκρα της αντίστασης φορτίου. Στην αρνητική ημιπερίοδο, η διάδος είναι ανάστροφα πολωμένη. Στην περίπτωση αυτή, η ιδανική διάδος θα εμφανίζεται σαν ανοιχτός διακόπτης, σύμφωνα με το Σχ. 4-1γ, και δε θα έχουμε τάση στα άκρα της αντίστασης φορτίου.

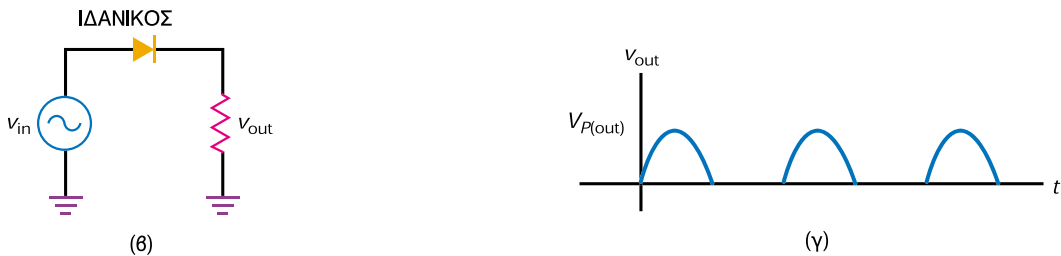
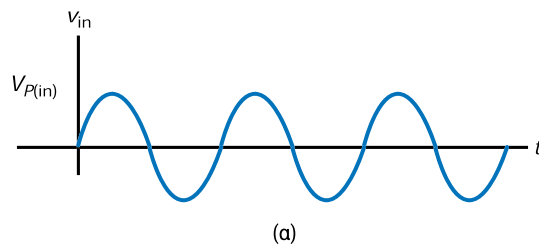
### ΙΔΑΝΙΚΕΣ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΕΣ

Το Σχ. 4-2α δείχνει τη γραφική παράσταση της κυματομορφής της τάσης εισόδου. Πρόκειται για ένα ημιτονοειδές κύμα με στιγμιαία τιμή  $v_{in}$  και τιμή κορυφής  $V_{p(in)}$ . Ένα αμιγές ημίτονο όπως αυτό έχει μέση τιμή μηδέν για μια ολόκληρη περίοδο, επειδή κάθε στιγμιαία τάση έχει μια ίση και αντίθετη τάση μετά από χρόνο μιας ημιπεριόδου. Αν μετρήσουμε την τάση αυτή μ' ένα dc βολτόμετρο, θα έχουμε ένδειξη μηδέν επειδή το dc βολτόμετρο μετρά τη μέση τιμή (άρα μηδέν).

Στον ανορθωτή ημικύματος στο Σχ. 4-2β, η διάδος άγει κατά τις θετικές ημιπεριόδους αλλά δεν άγει κατά τις αρνητικές. Γι' αυτό, το κύκλωμα αποκόπτει τις αρνητικές ημιπεριόδους, όπως δείχνει το Σχ. 4-2γ.



**Σχήμα 4-1** (α) Ιδανικός ημιανορθωτής, (β) Στη θετική ημιπερίοδο, (γ) Στην αρνητική ημιπερίοδο.



**Σχήμα 4-2** (α) Είσοδος ημιανορθωτή, (β) Κύκλωμα, (γ) Έξοδος ημιανορθωτή.

Η κυματομορφή αυτού του είδους ονομάζεται *σήμα ημικόματος* ή *ημικόμα* (half-wave signal). Η τάση ημικόματος δημιουργεί *ρεύμα φορτίου μιας κατεύθυνσης* (unidirectional load current). Αυτό σημαίνει ότι το ρεύμα ρέει προς μια μόνον κατεύθυνση. Αν η δίοδος ήταν αντίστροφα, οι παλμοί εξόδου θα ήταν αρνητικοί.

Ένα ημικόμα σαν αυτό του Σχ. 4-2γ αποτελεί μια κυμαινόμενη dc τάση που αυξάνεται στο μέγιστο, μειώνεται στο μηδέν, και κατόπιν παραμένει εκεί κατά τη διάρκεια της αρνητικής ημιπεριόδου. Δεν είναι το είδος της dc τάσης που χρειαζόμαστε για τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Εμείς χρειαζόμαστε μια σταθερή τάση, όπως αυτή που παρέχει μια μπαταρία. Για να πάρουμε τέτοιου είδους τάση, χρειάζεται να *φιλτράρουμε* (filter) το ημικόμα (σχολιάζεται αργότερα στο κεφάλαιο αυτό).

Όταν ανιχνεύετε βλάβες, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε την ιδανική δίοδο για να αναλύσετε έναν ανορθωτή ημικόματος. Καλό θα είναι να θυμάστε ότι η μέγιστη τάση εξόδου ισούται με τη μέγιστη τάση εισόδου:

$$\text{Ιδανικό ημικόμα: } V_{p(\text{out})} = V_{p(\text{in})} \quad (4-1)$$

### **ΕΙΝΑΙ ΚΑΛΟ ΝΑ ΓΝΩΡΙΖΕΤΕ ΟΤΙ**

Η ενεργός (rms) τιμή ενός ημικόματος μπορεί να καθοριστεί από τον ακόλουθο τύπο:

$$V_{rms} = 1.57V_{avg} \quad \text{όπου } V_{avg} = V_{dc} = 0.318V_p$$

Ένας άλλος τύπος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι:

$$V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$$

Για κάθε κυματομορφή, η rms τιμή αντιστοιχεί στην ισοδύναμη dc τιμή που θα έχει το ίδιο θερμικό αποτέλεσμα.

## DC ΤΙΜΗ ΗΜΙΚΥΜΑΤΟΣ

Η *dc* τιμή ενός σήματος είναι ίδια με τη μέση τιμή. Αν μετρήσετε ένα σήμα μ' ένα *dc* βολτόμετρο, η ένδειξη θα είναι ίση με τη μέση τιμή. Στα βασικά μαθήματα προκύπτει η *dc* τιμή ενός ημικύματος. Ο τύπος μπορεί να γραφεί ως εξής

$$\text{Ημικόμα: } V_{dc} = \frac{V_p}{\pi} \quad (4-2)$$

Η απόδειξη αυτού του τύπου απαιτεί μαθηματική ανάλυση, επειδή θα πρέπει να βρούμε τη μέση τιμή για μια περίοδο.

Αφού  $1/\pi \approx 0.318$ , μπορούμε να δούμε την Εξίσωση (4-2) γραμμένη ως εξής:

$$V_{dc} \approx 0.318V_p$$

Όταν η εξίσωση γράφεται με αυτή τη μορφή, βλέπουμε ότι η μέση τιμή ή η *dc* τιμή ισούται με το 31.8% της τιμής κορυφής. Για παράδειγμα, αν η μέγιστη τάση του ημικύματος είναι 100 V, η τιμή *dc* τάσης ή η μέση τιμή είναι 31.8 V.

## ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΞΟΔΟΥ

Η συχνότητα εξόδου είναι ίδια με τη συχνότητα εισόδου. Αυτό είναι ευνόητο όταν συγκρίνουμε τα Σχ. 4-2γ και 4-2α. Κάθε περίοδος τάσης εισόδου δημιουργεί μια περίοδο τάσης εξόδου. Επομένως, μπορούμε να γράψουμε:

$$\text{Ημικόμα: } f_{out} = f_{in} \quad (4-3)$$

Θα χρησιμοποιήσουμε αυτόν τον τύπο αργότερα στα φίλτρα.

## ΔΕΥΤΕΡΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Δεν έχουμε τέλεια τάση ημικύματος στα άκρα της αντίστασης φορτίου. Λόγω του φράγματος δυναμικού, η διόδος δεν άγει μέχρι η τάση της *ac* πηγής να φτάσει περίπου τα 0.7 V. Όταν η μέγιστη τάση πηγής είναι πολύ μεγαλύτερη από τα 0.7 V, η τάση φορτίου θα μοιάζει με ένα σήμα ημικύματος. Για παράδειγμα, αν η μέγιστη τάση πηγής είναι 100 V, η τάση φορτίου θα είναι πολύ κοντά στην τάση ενός τέλει ημικύματος. Αν η μέγιστη τάση πηγής είναι μόλις 5 V, η τάση φορτίου θα έχει κορυφή 4.3 V. Όταν χρειάζεστε μια καλύτερη απάντηση, χρησιμοποιείστε τον ακόλουθο τύπο:

$$(\text{Δεύτερης προσέγγισης}) \text{ ημικόμα: } V_{p(out)} = V_{p(in)} - 0.7 \text{ V} \quad (4-4)$$

## ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΥΨΗΛΟΤΕΡΩΝ ΤΑΞΕΩΝ

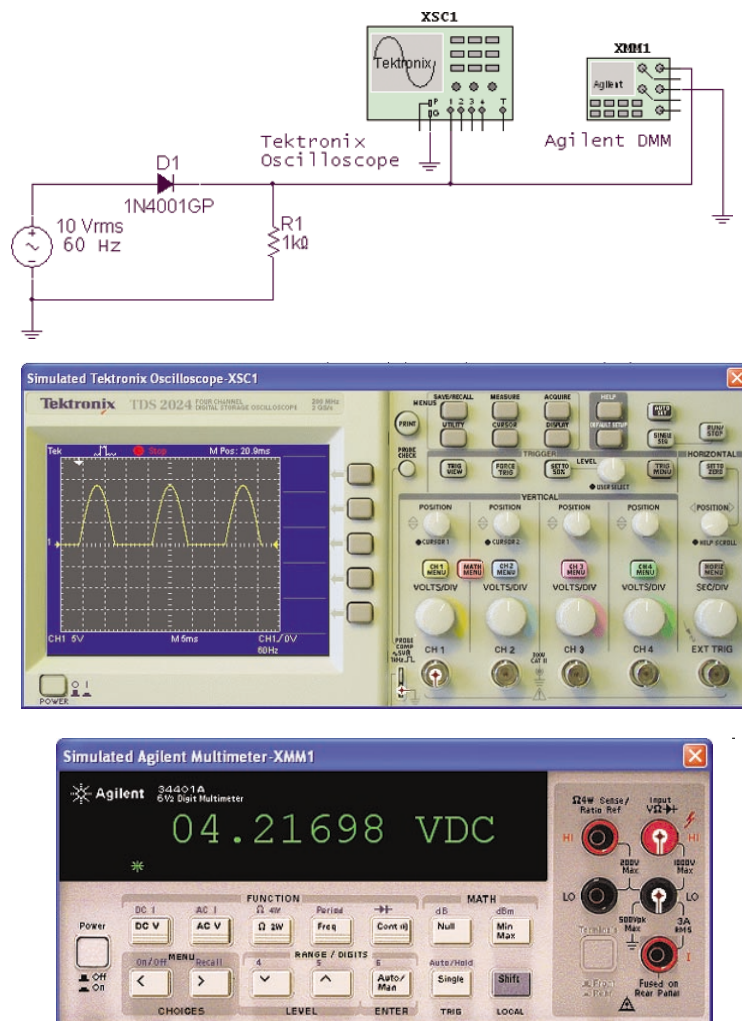
Οι περισσότεροι σχεδιαστές θα σιγουρευτούν ότι η αντίσταση σώματος είναι πολύ μικρότερη από την αντίσταση Thevenin που “βλέπει” η διόδος. Γι' αυτό, μπορούμε να αγνοήσουμε την αντίσταση σώματος σχεδόν σε κάθε περίπτωση. Αν θα πρέπει να έχετε μεγαλύτερη ακρίβεια από εκείνη της δεύτερης προσέγγισης, θα πρέπει να χρησιμοποιήσετε έναν υπολογιστή και έναν προσομοιωτή κυκλωμάτων όπως το MultiSim.

### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4-1

Το Σχ. 4-3 δείχνει έναν ανορθωτή ημικύματος, που μπορείτε να κατασκευάσετε στον πάγκο εργασίας σας ή στην οθόνη ενός υπολογιστή με τη βοήθεια του MultiSim. Ένας παλμογράφος είναι συνδεδεμένος στα άκρα της αντίστασης 1 kΩ. Αυτό θα μας δείξει την τάση φορτίου ημικύματος. Επίσης, συνδέουμε και ένα πολύμετρο στα άκρα της αντίστασης 1 kΩ για να διαβάσουμε την *dc* τάση φορτίου. Υπολογίστε τις θεωρητικές τιμές της μέγιστης τάσης φορτίου και της *dc* τάσης φορτίου. Κατόπιν, συγκρίνετε τις τιμές αυτές με τις ενδείξεις του παλμογράφου και του πολύμετρου.

### Λύση:

Το Σχ. 4-3 δείχνει μια πηγή *ac* των 10 V και των 60 Hz. Τα λειτουργικά διαγράμματα συνήθως παρουσιάζουν τις τάσεις των πηγών *ac* σαν ενεργές τιμές ή τιμές rms. Ας θυμηθούμε ότι *ενεργός τιμή* είναι η τιμή μιας *dc* τάσης που δημιουργεί την ίδια ποσότητα θερμότητας με την *ac* τάση.



Σχήμα 4-3 Εργαστηριακό παράδειγμα ημιανορθρωτή

Αφού η τάση πηγής είναι 10 V rms, το πρώτο πράγμα που θα πρέπει να κάνουμε είναι να υπολογίσουμε τη τιμή κορυφής μιας ac πηγής. Γνωρίζετε από προηγούμενα μαθήματα ότι η τιμή rms ενός ημιτονοειδούς κύματος ισούται με:

$$V_{\text{rms}} = 0.707 V_p$$

Επομένως, η μέγιστη τάση πηγής στο Σχ. 4-3 είναι:

$$V_p = \frac{V_{\text{rms}}}{0.707} = \frac{10\text{V}}{0.707} = 14.1 \text{ V}$$

Σε μια ιδανική δίοδο, η μέγιστη τάση φορτίου είναι:

$$V_{p(\text{out})} = V_{p(\text{in})} = 14.1 \text{ V}$$

Η dc τάση φορτίου είναι:

$$V_{\text{dc}} = \frac{V_p}{\pi} = \frac{14\text{V}}{\pi} = 4.49 \text{ V}$$

Με τη δεύτερη προσέγγιση, παίρνουμε μέγιστη τάση φορτίου:

$$V_{p(\text{out})} = V_{p(\text{in})} - 0.7 \text{ V} = 14.1 \text{ V} - 0.7 \text{ V} = 13.4 \text{ V}$$

και dc τάση φορτίου:

$$V_{dc} = \frac{V_p}{\pi} = \frac{13.4V}{\pi} = 4.27 \text{ V}$$

Το Σχ. 4-3 δείχνει τις τιμές στον παλμογράφο και στο πολύμετρο. Ο παλμογράφος ρυθμίζεται στα 5 V για κάθε κύρια υποδιαίρεση (5 V/ Div). Το σήμα ημικύματος έχει τιμή κορυφής μεταξύ 13 και 14 V, που συμφωνεί με το αποτέλεσμα της δεύτερης προσέγγισης. Και η ένδειξη του το πολυμέτρου συμφωνεί αρκετά με τις θεωρητικές τιμές, επειδή δίνει περίπου 4.22 V.

**ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΕΞΑΣΚΗΣΗΣ 4-1** Χρησιμοποιώντας το Σχ. 4-3, αλλάζτε την ac πηγή τάσης σε 15 V. Υπολογίστε με δεύτερη προσέγγιση τη dc τάση φορτίου  $V_{dc}$ .

## 4-2 Ο Μετασχηματιστής

Οι εταιρείες ηλεκτρισμού στις Ηνωμένες Πολιτείες παρέχουν ονομαστική τάση γραμμής 120 V rms σε μια συχνότητα 60 Hz. (Για την ΕΕ, οι αντίστοιχες τιμές είναι 220 V/ 50 Hz). Η πραγματική τάση που λαμβάνεται από μια παροχή ισχύος κυμαίνεται από 105 V έως 125 V rms, ανάλογα με την ώρα, τον τόπο, και άλλους παράγοντες. Η τάση γραμμής είναι πολύ υψηλή για τα περισσότερα κυκλώματα που χρησιμοποιούνται στο τμήμα τροφοδοσίας σχεδόν όλων των ηλεκτρονικών διατάξεων. Ο μετασχηματιστής υποβιβάζει την τάση γραμμής σε ασφαλέστερες και χαμηλότερες στάθμες, οι οποίες είναι πολύ πιο κατάλληλες για χρήση στις διόδους, στα transistors και σε άλλες ημιαγωγικές διατάξεις.

### ΒΑΣΙΚΗ ΙΔΕΑ

Σε προηγούμενα μαθήματα σχολιάσαμε λεπτομερώς το μετασχηματιστή. Στο κεφάλαιο αυτό θα κάνουμε μια σύντομη επανάληψη. Το Σχ. 4-4 δείχνει ένα μετασχηματιστή. Εδώ βλέπουμε την τάση γραμμής που εφαρμόζεται στο πρωτεύον ενός μετασχηματιστή. Συνήθως, η υποδοχή τροφοδοσίας έχει έναν τρίτο ακροδέκτη για τη γείωση της διάταξης. Επειδή ο λόγος των τυλιγμάτων είναι  $N_1/N_2$ , τάση του δευτερεύοντος υποβιβάζεται όταν η  $N_1$  είναι μεγαλύτερη από την  $N_2$ .

### ΣΗΜΕΙΑ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΦΑΣΗΣ

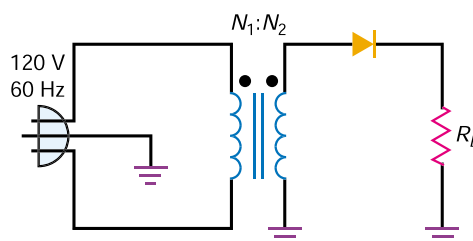
Ας θυμηθούμε την έννοια των σημείων ένδειξης φάσης (phasing dots) που εμφανίζονται στο πάνω άκρο των τυλιγμάτων. Τα σημεία αυτά έχουν την ίδια στιγμιαία φάση. Με άλλα λόγια, όταν μια θετική ημιπερίοδος εμφανίζεται στα άκρα του πρωτεύοντος, μια θετική ημιπερίοδος εμφανίζεται στα άκρα του δευτερεύοντος. Αν η ένδειξη στη σύνδεση βρισκόταν στο άκρο της γείωσης, η τάση του δευτερεύοντος θα ήταν  $180^\circ$  εκτός φάσης σε σύγκριση με την τάση του πρωτεύοντος.

Στη θετική ημιπερίοδο της τάσης του πρωτεύοντος, το δευτερεύον έχει θετικό ημιτονοειδές ημικόμα στα άκρα του και η διόδος είναι ορθά πολωμένη. Στην αρνητική ημιπερίοδο της τάσης του πρωτεύοντος, το δευτερεύον έχει αρνητικό ημιτονοειδές ημικόμα στα άκρα του και η διόδος είναι ανάστροφα πολωμένη. Αν υποθέσουμε ότι έχουμε ιδανική διόδο, θα πάρουμε τάση φορτίου ημικύματος.

### ΛΟΓΟΣ ΤΥΛΙΓΜΑΤΩΝ

Ας θυμηθούμε από προηγούμενα μαθήματα τον ακόλουθο τύπο:

$$V_2 = \frac{V_1}{N_1/N_2} \quad (4-5)$$



Σχήμα 4-4 Ημιανορθωτής με μετασχηματιστή.

Με βάση αυτόν τον τύπο, η τάση του δευτερεύοντος ισούται με την τάση του πρωτεύοντος δια του λόγου των τυλιγμάτων. Μερικές φορές θα δείτε την ακόλουθη ισοδύναμη μορφή:

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

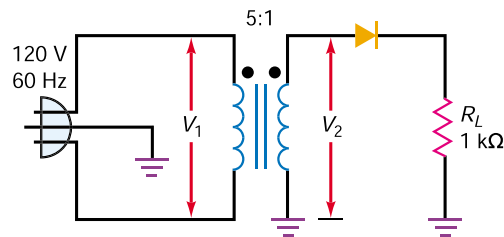
Ο τύπος αυτός μας δείχνει ότι η τάση του δευτερεύοντος ισούται με τον αντίστροφο λόγο των τυλιγμάτων επί την τάση του πρωτεύοντος.

Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε είτε τον τύπο της rms, είτε τις μέγιστες τιμές ή τις στιγμιαίες τάσεις. Τις περισσότερες φορές, χρησιμοποιούμε την Εξίσωση (4-5) με τις τιμές rms, επειδή οι ac τάσεις ορίζονται σχεδόν πάντα σαν rms τιμές.

Θα συναντήσετε επίσης και τους όρους *ανύψωση* (step up) και *υποβιβασμός* (step down) καθώς θα ασχολείστε με τους μετασχηματιστές. Οι όροι αυτοί πάντα συσχετίζονται με την τάση του δευτερεύοντος με εκείνη του πρωτεύοντος. Αυτό σημαίνει ότι ο μετασχηματιστής ανύψωσης τάσης θα δημιουργήσει τάση στο δευτερεύον, η οποία είναι μεγαλύτερη από εκείνη του πρωτεύοντος. Αντίθετα, ένας μετασχηματιστής υποβιβασμού τάσης θα δημιουργήσει τάση στο δευτερεύον, η οποία είναι μικρότερη από εκείνη του πρωτεύοντος.

#### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4-2

Ποια είναι η μέγιστη και ποια η dc τάση φορτίου στο Σχ. 4-5;



Σχήμα 4-5

#### Λύση:

Ο μετασχηματιστής έχει λόγο τυλιγμάτων 5:1. Αυτό σημαίνει ότι η rms τάση του δευτερεύοντος είναι το 1/5 της τάσης του πρωτεύοντος.

$$V_2 = \frac{120V}{5} = 24V$$

Και η μέγιστη τάση του δευτερεύοντος είναι:

$$V_p = \frac{24V}{0.707} = 34V$$

Σε μια ιδανική δίοδο, η μέγιστη τάση φορτίου είναι:

$$V_{p(\text{out})} = 34 \text{ V}$$

Η dc τάση φορτίου είναι:

$$V_{\text{dc}} = \frac{V_p}{\pi} = \frac{34V}{\pi} = 10.8V$$

Με τη δεύτερη προσέγγιση, παίρνουμε μέγιστη τάση φορτίου:

$$V_{p(\text{out})} = 34 \text{ V} - 0.7 \text{ V} = 33.3 \text{ V}$$

και dc τάση φορτίου:

$$V_{dc} = \frac{V_p}{\pi} = \frac{33.3V}{\pi} = 10.6V$$

**ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΕΞΑΣΚΗΣΗΣ 4-2** Χρησιμοποιώντας το Σχ. 4-5, αλλάξτε το λόγο τυλιγμάτων του μετασχηματιστή σε 2:1 και επιλύστε ως προς την ιδανική dc τάση φορτίου.

### 4-3 Ο Ανορθωτής Πλήρους Κύματος

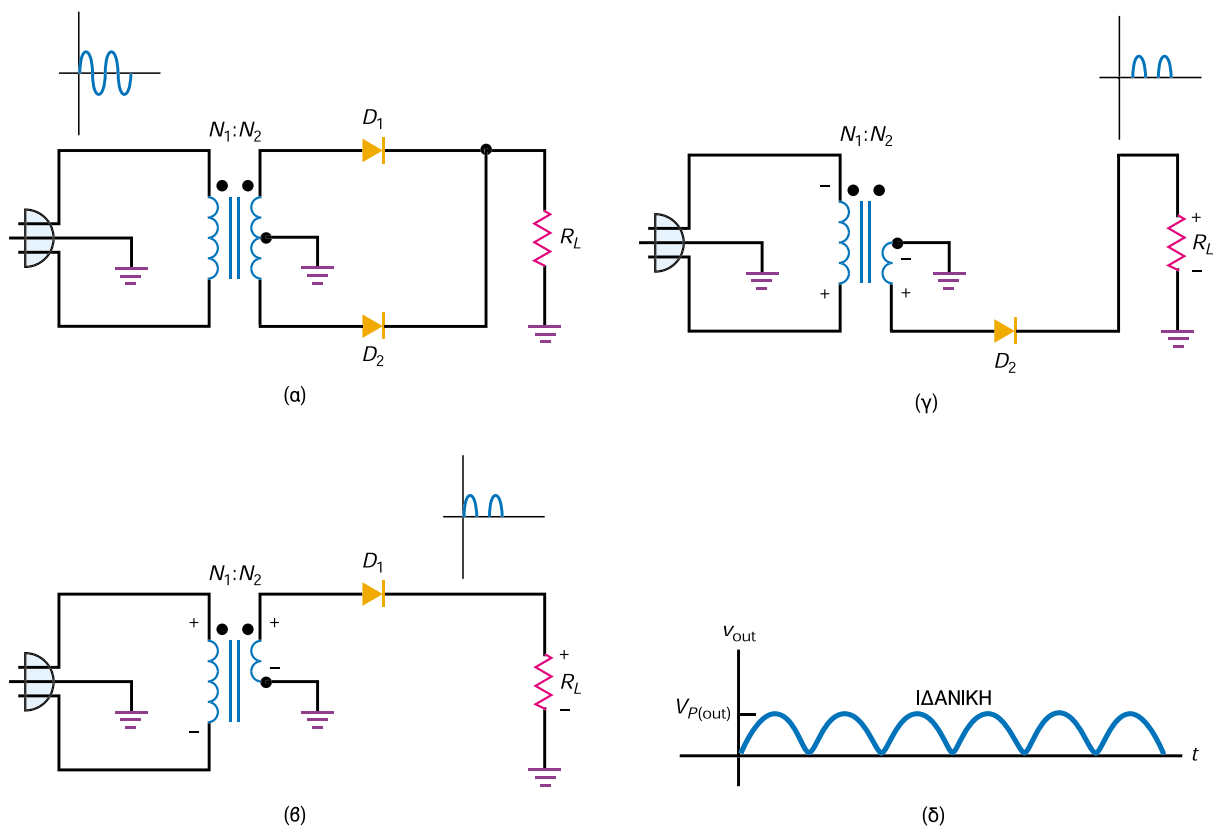
Το Σχ. 4-6α δείχνει έναν *ανορθωτή πλήρους κύματος* (full-wave rectifier). Παρατηρήστε τη γειωμένη κεντρική επαφή στο δευτερεύον πηνίο. Ο ανορθωτής πλήρους κύματος ισοδυναμεί με δύο ημιανορθωτές. Λόγω αυτής της μεσαίας λήψης, καθένας από αυτούς τους ανορθωτές έχει τάση εισόδου ίση με τη μισή δευτερεύουσα τάση. Η διάδος  $D_1$  άγει κατά τη θετική ημιπερίοδο και η  $D_2$  άγει κατά την αρνητική ημιπερίοδο. Κατά συνέπεια, το ανορθωμένο ρεύμα φορτίου ρέει κατά τη διάρκεια και των δύο ημικύκλων. Ο ανορθωτής πλήρους κύματος λειτουργεί σα δύο ημιανορθωτές συνδεδεμένους κατά αντίθεση.

Το Σχ. 4-6β δείχνει το ισοδύναμο κύκλωμα για τη θετική ημιπερίοδο. Όπως βλέπετε, η διάδος  $D_1$  είναι ορθά πολωμένη. Αυτό δημιουργεί θετική τάση φορτίου, όπως δηλώνουν τα πρόσημα + και - στα άκρα της αντίστασης φορτίου ( $R_L$ ). Το Σχ. 4-6γ παρουσιάζει το αντίστοιχο κύκλωμα για την αρνητική ημιπερίοδο. Τώρα, η διάδος  $D_2$  είναι ορθά πολωμένη. Όπως βλέπετε, και αυτό δημιουργεί θετική τάση φορτίου.

Κατά τη διάρκεια και των δύο ημιπεριοδών, η τάση φορτίου έχει την ίδια πολικότητα και το ρεύμα φορτίου ρέει προς την ίδια κατεύθυνση. Το κύκλωμα ονομάζεται *ανορθωτής πλήρους κύματος* επειδή έχει μεταβάλλει την ac τάση εισόδου σε παλμική dc τάση εξόδου, που παρουσιάζεται στο Σχ. 4-6δ. Η κυματομορφή αυτή έχει ορισμένες πολύ ενδιαφέρουσες ιδιότητες, που θα σχολιάσουμε στη συνέχεια.

#### DC Ή ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ

Αφού το πλήρες κύμα έχει διπλάσιες θετικές ημιπεριόδους απ' ό,τι το ημικύμα, η dc ή αλλιώς μέση τιμή είναι διπλάσια, και δίνεται από τον τύπο:



**Σχήμα 4-6** (α) Ανορθωτής πλήρους κύματος (β) Ισοδύναμο κύκλωμα θετικής ημιπεριόδου, (γ) Ισοδύναμο κύκλωμα αρνητικής ημιπεριόδου, (δ) Έξοδος πλήρους κύματος.



$$\text{Πλήρες κύμα: } V_{dc} = \frac{2V_p}{\pi} \quad (4-6)$$

Αφού  $2/\pi = 0.636$ , μπορείτε να δείτε την Εξίσωση (4-6) να γράφεται ως εξής:

$$V_{dc} \approx 0.636 V_p$$

Με τη μορφή αυτή βλέπουμε ότι η dc ή μέση τιμή ισούται με το 63.6% της τιμής κορυφής. Για παράδειγμα, αν η τιμή κορυφής του πλήρους κύματος είναι 100V, η dc ή μέση τιμή θα είναι 63.6V.

### ***ΕΙΝΑΙ ΚΑΛΟ ΝΑ ΓΝΩΡΙΖΕΤΕ ΟΤΙ***

Η ενεργός (rms) τιμή ενός πλήρους κύματος είναι  $V_{rms}=0.707V_p$  που είναι ίδια με την  $V_{rms}$  τιμή ενός ημιτονοειδούς σήματος.

### **ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΞΟΔΟΥ**

Σ' έναν ημιανορθωτή, η συχνότητα εξόδου ισούται με τη συχνότητα εισόδου. Όμως, σε έναν ανορθωτή πλήρους κύματος, συμβαίνει κάτι ασυνήθιστο στη συχνότητα εξόδου. Η τάση γραμμής ac έχει συχνότητα 60 Hz. Επομένως, η περίοδος εισόδου ισούται με:

$$T_{in} = \frac{1}{f} = \frac{1}{60\text{Hz}} = 16.7\text{ms}$$

Λόγω της ανόρθωσης πλήρους κύματος, η περίοδος του σήματος πλήρους κύματος είναι ίση με τη μισή περίοδο εισόδου:

$$T_{out} = 0.5(16.7\text{ms}) = 8.33\text{ms}$$

(Αν έχετε κάποια αμφιβολία, συγκρίνετε το Σχ. 4-6δ με το Σχ. 4-2γ). Όταν υπολογίσουμε τη συχνότητα εξόδου, θα πάρουμε:

$$f_{out} = \frac{1}{T_{out}} = \frac{1}{8.33\text{ms}} = 120\text{Hz}$$

Η συχνότητα του σήματος πλήρους κύματος είναι διπλάσια από τη συχνότητα εισόδου. Αυτό σημαίνει ότι μια έξοδος πλήρους κύματος έχει διπλάσια συχνότητα από τη συχνότητα εισόδου ενός ημιτονοειδούς κύματος. Ο ανορθωτής πλήρους κύματος μετατρέπει κάθε αρνητική ημιπερίοδο, έτσι ώστε να έχουμε διπλάσιο αριθμό θετικών ημιπεριοδών. Το αποτέλεσμα είναι ο διπλασιασμός της συχνότητας. Άρα:

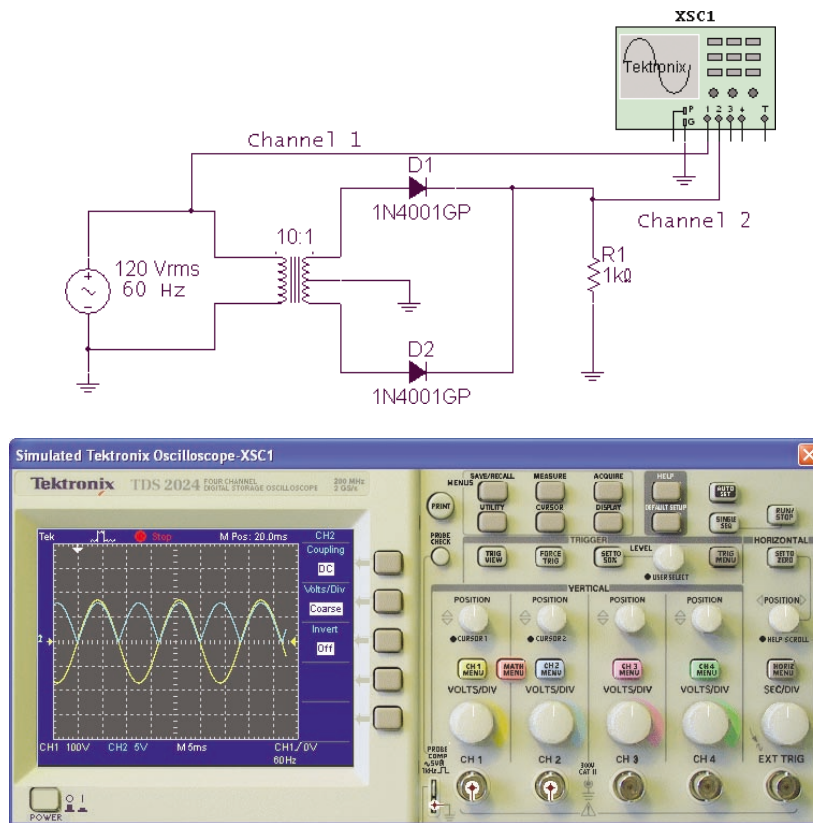
$$\text{Πλήρες κύμα: } f_{out} = 2f_{in} \quad (4-7)$$

### **ΔΕΥΤΕΡΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ**

Αφού ο ανορθωτής πλήρους κύματος λειτουργεί σαν δύο ημιανορθωτές, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη δεύτερη προσέγγιση που είδαμε πιο πριν. Η ιδέα είναι να αφαιρέσουμε 0.7 V από την ιδανική τάση εξόδου κορυφής. Το παράδειγμα που ακολουθεί εξηγεί την ιδέα αυτή.

### ***ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4-3***

Το Σχ. 4-7 παρουσιάζει έναν ανορθωτή πλήρους κύματος που μπορείτε να κατασκευάσετε στον πάγκο του εργαστηρίου σας ή στην οθόνη του υπολογιστή σας με το MultiSim. Το κανάλι 1 του παλμογράφου παρουσιάζει την τάση του πρωτεύοντος (ημιτονοειδές κύμα) και το κανάλι 2 την τάση φορτίου (σήμα πλήρους κύματος) (ο παλμογράφος είναι διπλής δέσμης). Υπολογίστε την είσοδο κορυφής και τις τάσεις εξόδου. Στη συνέχεια, συγκρίνετε τις θεωρητικές τιμές με τις τιμές των ενδείξεων.



Σχήμα 4-7 Εργαστηριακό παράδειγμα ανορθωτή πλήρους κύματος.

**Λύση:**

Η τιμή κορυφής τάσης του πρωτεύοντος είναι

$$V_{p(1)} = \frac{V_{rms}}{0.707} = \frac{120V}{0.707} = 170V$$

Λόγω του μετασχηματιστή υποβιβασμού 10:1, η τιμή κορυφής τάσης του δευτερεύοντος είναι

$$V_{p(2)} = \frac{V_{p(1)}}{N_1/N_2} = \frac{170V}{10} = 17V$$

Ο ανορθωτής πλήρους κύματος λειτουργεί σαν δύο ημιανορθωτές μαζί. Λόγω της μεσαίας λήψης του δευτερεύοντος, η τάση εισόδου σε κάθε ημιανορθωτή είναι ίση με το μισό της τάσης του δευτερεύοντος:

$$V_{p(in)} = 0.5(17V) = 8.5V$$

Στην ιδανική περίπτωση, η τάση εξόδου είναι:

$$V_{p(out)} = 8.5V$$

Με τη δεύτερη προσέγγιση έχουμε:

$$V_{p(out)} = 8.5V - 0.7V = 7.8V$$

Τώρα, ας συγκρίνουμε τις θεωρητικές τιμές με τις τιμές των ενδείξεων. Η ευαισθησία του καναλιού 1 είναι 100 V/Div. Αφού η ημιτονοειδής είσοδος δίνει περίπου 1.7 υποδιαιρέσεις, η τιμή κορυφής του είναι περίπου 170 V. Το κανάλι 2 έχει ευαισθησία 5 V/Div. Αφού η ημιτονοειδής έξοδος δίνει περίπου 1.4 υποδιαιρέσεις, η τιμή κορυφής του είναι περίπου 7 V. Και οι δύο ενδείξεις εισόδου και εξόδου συμφωνούν απόλυτα με τις θεωρητικές τιμές.

Και πάλι, θα πρέπει να σημειώσουμε ότι η δεύτερη προσέγγιση βελτιώνει ελάχιστα την απάντησή σας. Αν κάνατε ανίχνευση βλαβών, η βελτίωση δεν θα ήταν αξιόλογη. Αν κάτι δεν πήγαινε καλά με το κύκλωμα, είναι πολύ πιθανό η έξοδος πλήρους κύματος να διέφερε σημαντικά από την ιδανική τιμή των 8.5 V.

**ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΕΞΑΣΚΗΣΗΣ 4-3** Χρησιμοποιώντας το Σχ. 4-7, αλλάξτε το λόγο τυλιγμάτων του μετασχηματιστή σε 5:1 και υπολογίστε τις  $V_{p(in)}$  και  $V_{p(out)}$  τιμές με δεύτερη προσέγγιση.

#### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4-4

Αν μια από τις διόδους στο Σχ. 4-7 ήταν ανοιχτή, τι θα συνέβαινε με τις τάσεις;

##### **Λύση:**

Αν μια από τις διόδους ήταν ανοιχτή, το κύκλωμα θα επανέρχονταν στην κατάσταση λειτουργίας του ημιανορθωτή. Στην περίπτωση αυτή, η μισή τάση του δευτερεύοντος παραμένει 8.5 V, αλλά η τάση φορτίου θα είναι μάλλον ημικόμα παρά πλήρες κύμα. Αυτή η τάση ημικούματος θα συνεχίσει να έχει κορυφή 8.5 V (στην ιδανική περίπτωση) ή 7.8 V (δεύτερη προσέγγιση).

## 4-4 Η Γέφυρα Ανόρθωσης

Το Σχήμα 4-8α δείχνει μια *γέφυρα ανόρθωσης*. Μοιάζει πολύ με τον ανορθωτή πλήρους κύματος αφού δημιουργεί τάση εξόδου πλήρους κύματος. Οι διόδοι  $D_1$  και  $D_2$  άγουν κατά τη θετική ημιπερίοδο, και οι διόδοι  $D_3$  και  $D_4$  άγουν κατά την αρνητική ημιπερίοδο. Έτσι, το ανορθωμένο ρεύμα φορτίου ρέει κατά τη διάρκεια και των δύο ημιπεριοδών.

Το Σχήμα 4-8β δείχνει το ισοδύναμο κύκλωμα της θετικής ημιπεριόδου. Όπως βλέπετε, οι διόδοι  $D_1$  και  $D_2$  είναι ορθά πολωμένες. Αυτό δημιουργεί θετική τάση φορτίου, όπως δηλώνουν τα πρόσημα συν-πλην στα άκρα της αντίστασης φορτίου. Για να βοηθήσετε τη μνήμη σας, φανταστείτε την  $D_2$  βραχυκυκλωμένη. Κατόπιν, το κύκλωμα που απομένει είναι ένας ημιανορθωτής, τον οποίο ήδη γνωρίζουμε.

Το Σχ. 4-8γ δείχνει το ισοδύναμο κύκλωμα της αρνητικής ημιπεριόδου. Τώρα, οι διόδοι  $D_3$  και  $D_4$  είναι ορθά πολωμένες. Αυτό επίσης δημιουργεί θετική τάση φορτίου. Αν φανταστείτε την  $D_3$  βραχυκυκλωμένη, το κύκλωμα μοιάζει με έναν ημιανορθωτή. Έτσι, η γέφυρα ανόρθωσης λειτουργεί σαν δύο ζεύγη ημιανορθωτών.

Κατά τη διάρκεια και των δύο ημιπεριοδών, η τάση φορτίου έχει την ίδια πολικότητα και το ρεύμα φορτίου βρίσκεται στην ίδια κατεύθυνση. Το κύκλωμα έχει μεταβάλλει την ac τάση εισόδου σε παλμική dc τάση εξόδου, όπως δείχνει το Σχ. 4-8δ. Θα πρέπει να σημειώσουμε το εξής πλεονέκτημα αυτού του είδους πλήρους ανόρθωσης, σε σύγκριση με την έκδοση με κεντρική επαφή, που εξετάσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο: *Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε όλη την τάση του δευτερεύοντος.*

Το Σχ. 4-8ε παρουσιάζει συσκευασίες γέφυρας ανόρθωσης που περιέχουν και τις τέσσερις διόδους.

### ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΚΑΙ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΞΟΔΟΥ

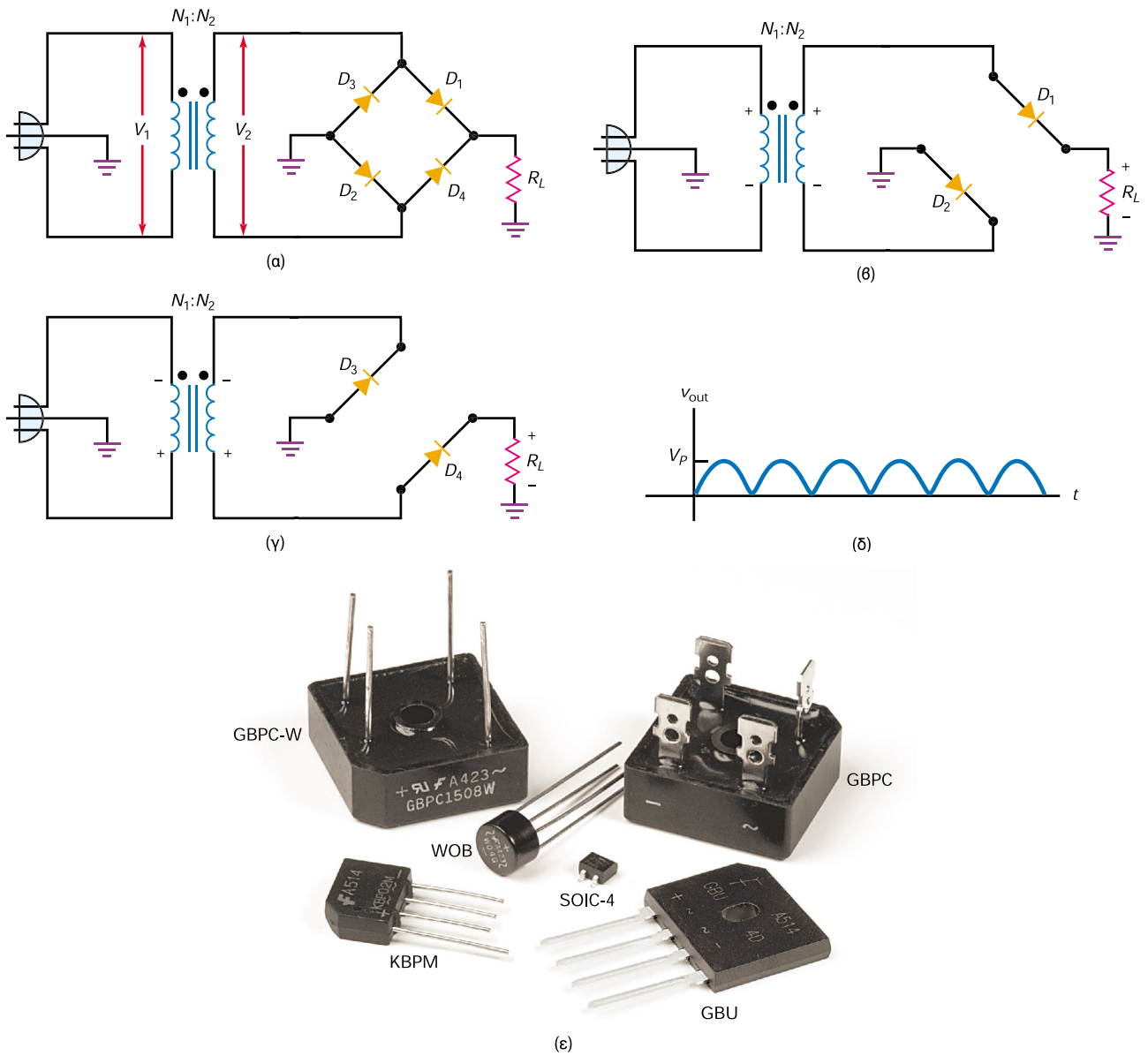
Επειδή η γέφυρα ανόρθωσης δημιουργεί έξοδο πλήρους κύματος, οι εξισώσεις της μέσης τιμής και της συχνότητας εξόδου είναι οι ίδιες με εκείνες του πλήρους ανορθωτή:

$$V_{dc} = \frac{2V_p}{\pi}$$

και

$$f_{out} = 2f_{in}$$

Η μέση τιμή είναι το 63.6% της τιμής κορυφής, και η συχνότητα εξόδου είναι 120 Hz, με δεδομένη συχνότητα γραμμής 60 Hz.



**Σχήμα 4-8** (α) Γέφυρα ανόρθωσης, (β) Ισοδύναμο κύκλωμα θετικής ημιπεριόδου, (γ) Ισοδύναμο κύκλωμα αρνητικής ημιπεριόδου, (δ) Έξοδος πλήρους κύματος, (ε) Συσκευασίες γεφυρων ανόρθωσης.

Ένα πλεονέκτημα της γέφυρας ανόρθωσης είναι ότι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ολόκληρη την τάση του δευτερεύοντος σαν είσοδο του ανορθωτή. Με τον ίδιο μετασχηματιστή, θα έχουμε διπλάσια τάση κορυφής και διπλάσια dc τάση με μια γέφυρα ανόρθωσης απ’ ότι με έναν ανορθωτή πλήρους κύματος. Ο διπλασιασμός της dc τάσης εξόδου αντισταθμίζει τη χρήση δύο επιπλέον διόδων. Κατά κανόνα, θα δείτε ότι η γέφυρα ανόρθωσης χρησιμοποιείται πολύ περισσότερο από τον ανορθωτή πλήρους κύματος.

Παρομοίως, χρησιμοποιούσαμε τον ανορθωτή πλήρους κύματος πολλά χρόνια πριν τη γέφυρα ανόρθωσης. Γι’ αυτό το λόγο, διατηρήσαμε το όνομα *ανορθωτής πλήρους κύματος*, παρόλο που και η γέφυρα ανόρθωσης έχει έξοδο πλήρους κύματος. Για να ξεχωρίζουμε τον ανορθωτή πλήρους κύματος από τη γέφυρα ανόρθωσης, ορισμένα συγγράμματα αναφέρονται στον ανορθωτή πλήρους κύματος σαν *συμβατικός ανορθωτής πλήρους κύματος*, *ανορθωτής πλήρους κύματος δύο διόδων*, ή *ανορθωτής πλήρους κύματος με μεσαία λήψη*.

**ΕΙΝΑΙ ΚΑΛΟ ΝΑ ΓΝΩΡΙΖΕΤΕ ΟΤΙ**

Όταν χρησιμοποιείται έναν ανορθωτή γέφυρας, σε αντίθεση με τον ανορθωτή πλήρους κύματος δύο διόδων, μπορεί να δημιουργηθεί η ίδια dc τάση εξόδου με ένα μετασχηματιστή που έχει υψηλότερο λόγο τυλιγμάτων  $N_1/N_2$ . Αυτό σημαίνει ότι με έναν ανορθωτή γέφυρας χρειαζόμαστε μικρότερο αριθμό τυλιγμάτων στο μετασχηματιστή. Επομένως, ο μετασχηματιστής που χρησιμο-

ποιείται με μία γέφυρα ανόρθωσης σε σχέση με αυτόν που χρησιμοποιείται με έναν ανορθωτή πλήρους κύματος δύο διόδων θα είναι μικρότερος, ελαφρύτερος και θα κοστίζει λιγότερο. Το κέρδος αυτό είναι σημαντικότερο από τη χρήση τεσσάρων αντί δύο διόδων.

### ΔΕΥΤΕΡΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ & ΑΛΛΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ

Αφού η γέφυρα ανόρθωσης έχει δύο διόδους στη διαδρομή αγωγιμότητας, η τάση εξόδου κορυφής δίνεται από τον τύπο:

$$(\text{Δεύτερη προσέγγιση}) \text{ Γέφυρα : } V_{p(\text{out})} = V_{p(\text{in})} - 1.4 \text{ V} \quad (4-8)$$

Όπως βλέπετε, θα πρέπει να αφαιρέσετε τις πτώσεις τάσης των δύο διόδων από την κορυφή για να πάρετε μια πιο σωστή τιμή της τάσης φορτίου. Ο Πίνακας 4-1 παρουσιάζει περιληπτικά τους τρεις ανορθωτές και τις ιδιότητές τους.

**Πίνακας 4-1.** Ανορθωτές Χωρίς Φίλτρο

	Ημικόμα	Πλήρες κύμα	Γέφυρα
Αριθμός διόδων	1	2	4
Είσοδος ανορθωτή	$V_{p(2)}$	$0.5 V_{p(2)}$	$V_{p(2)}$
Έξοδος κορυφής (ιδανική)	$V_{p(2)}$	$0.5 V_{p(2)}$	$V_{p(2)}$
Έξοδος κορυφής (2 <sup>η</sup> προσέγγιση)	$V_{p(2)} - 0.7 \text{ V}$	$0.5 V_{p(2)} - 0.7 \text{ V}$	$V_{p(2)} - 1.4 \text{ V}$
Έξοδος DC	$V_{p(\text{out})} / \pi$	$2 V_{p(\text{out})} / \pi$	$2 V_{p(\text{out})} / \pi$
Συχνότητα Κυμάτωσης	$f_{\text{in}}$	$2 f_{\text{in}}$	$2 f_{\text{in}}$

\* $V_{p(2)}$  = τάση κορυφής του δευτερεύοντος.  $V_{p(\text{out})}$  = τάση εξόδου κορυφής.

### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4-5

Υπολογίστε τις τάσεις εισόδου και εξόδου κορυφής στο Σχ. 4-9. Κατόπιν, να συγκρίνετε τις θεωρητικές τιμές με εκείνες που θα βρείτε. Σημειώστε ότι το κύκλωμα χρησιμοποιεί πακέτο γέφυρας ανόρθωσης.

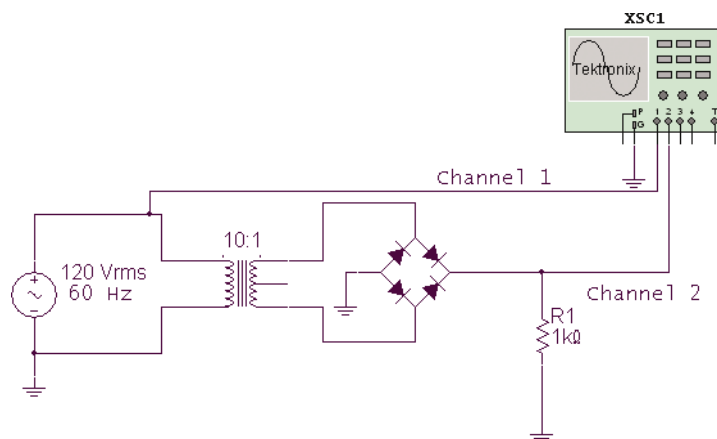
#### Λύση:

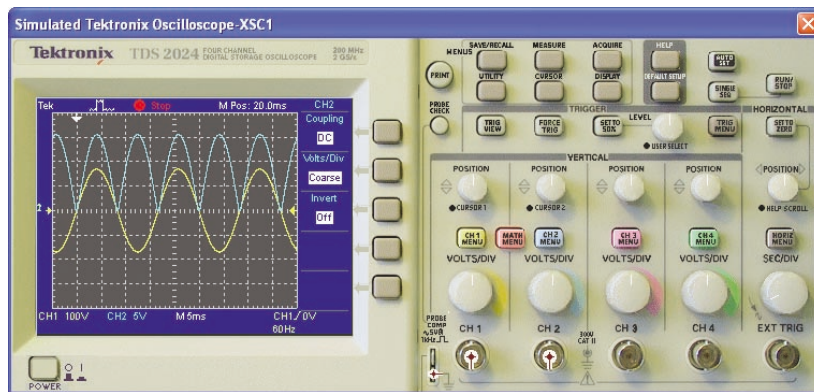
Η τάση κορυφής του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος είναι ίδιες με εκείνες στο Παράδειγμα 4-3:

$$\begin{aligned} V_{p(1)} &= 170 \text{ V} \\ V_{p(2)} &= 17 \text{ V} \end{aligned}$$

Σε μια γέφυρα ανόρθωσης, χρησιμοποιούμε όλη την τάση του δευτερεύοντος σαν είσοδο του ανορθωτή. Στην ιδανική περίπτωση, η τάση εξόδου κορυφής είναι:

$$V_{p(\text{out})} = 17 \text{ V}$$





Σχήμα 4-9 Εργαστηριακό παράδειγμα γέφυρας ανόρθωσης.

Με τη δεύτερη προσέγγιση:

$$V_{p(out)} = 17 \text{ V} - 1.4 \text{ V} = 15.6 \text{ V}$$

Τώρα, ας συγκρίνουμε τις θεωρητικές τιμές με τις τιμές των ενδείξεων. Η ευαισθησία του καναλιού 1 είναι 100 V/Div. Αφού η ημιτονοειδής είσοδος δίνει περίπου 1.7 υποδιαίρεσεις, η τιμή κορυφής του είναι περίπου 170 V. Το κανάλι 2 έχει ευαισθησία 5 V/Div. Αφού η ημιτονοειδής έξοδος δίνει περίπου 3.2 υποδιαίρεσεις, η τιμή κορυφής του είναι περίπου 16 V. Και οι δύο ενδείξεις συμφωνούν απόλυτα με τις θεωρητικές τιμές.

**ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΕΞΑΣΚΗΣΗΣ 4-5** Στο Παράδειγμα 4-5, υπολογίστε την ιδανική τιμή και την τιμή δεύτερης προσέγγισης  $V_{p(out)}$  χρησιμοποιώντας λόγο τυλιγμάτων στο μετασχηματιστή 5:1.

#### 4-5 Φίλτρο Εισόδου τύπου Τσοκ

Κάποτε το φίλτρο εισόδου τσοκ χρησιμοποιούνταν ευρέως για το φιλτράρισμα της τάσης εξόδου του ανορθωτή. Παρόλο που πια δεν το χρησιμοποιούμε πολύ, λόγω του κόστους, του όγκου και του βάρους του, αυτό το είδος φίλτρου έχει εκπαιδευτική αξία και μας βοηθά να κατανοήσουμε ευκολότερα τα άλλα φίλτρα.

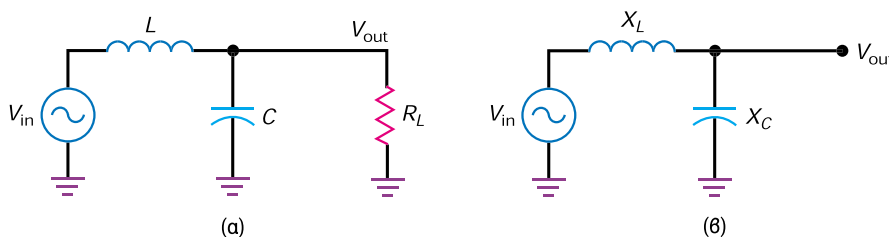
#### ΒΑΣΙΚΗ ΙΔΕΑ

Ας δούμε το Σχ. 4-10α. Αυτού του είδους το φίλτρο ονομάζεται *φίλτρο τσοκ εισόδου* (choke-input filter). Η ac πηγή δημιουργεί ρεύμα στο πηνίο, στον πυκνωτή και στην αντίσταση. Το ac ρεύμα σε κάθε εξάρτημα εξαρτάται από την επαγωγική άεργο αντίσταση, τη χωρητική αντίδραση και την αντίστασή τους. Η επαγωγική αντίσταση του πηνίου δίνεται από τον τύπο:

$$X_L = 2\pi fL$$

Η χωρητική αντίσταση του πυκνωτή δίνεται από τον τύπο:

$$X_C = 1 / 2\pi fC$$



Σχήμα 4-10 (α) Φίλτρο τσοκ εισόδου, (β) Ισοδύναμο ac κύκλωμα.

Όπως μάθαμε σε προηγούμενα μαθήματα, το τσοκ (ή πηνίο) έχει το κύριο χαρακτηριστικό να αντίκειται στη μεταβολή του ρεύματος. Εξαιτίας αυτού, ένα φίλτρο εισόδου τσοκ στην ιδανική περίπτωση μειώνει το ac ρεύμα της αντίστασης φορτίου στο μηδέν. Με μια δεύτερη προσέγγιση, μειώνει το ac ρεύμα φορτίου σε πολύ μικρή τιμή. Ας δούμε γιατί.

Η πρώτη απαίτηση ενός καλοσχεδιασμένου φίλτρου εισόδου τσοκ είναι η  $X_C$  της συχνότητας εισόδου να είναι πολύ μικρότερη από την  $R_L$ . Όταν ικανοποιείται η συνθήκη αυτή, μπορούμε να αγνοήσουμε την αντίσταση φορτίου και να χρησιμοποιήσουμε το ισοδύναμο κύκλωμα του Σχ. 4-10β. Η δεύτερη απαίτηση ενός καλοσχεδιασμένου φίλτρου εισόδου τσοκ είναι η  $X_L$  να είναι πολύ μεγαλύτερη από την  $X_C$  της συχνότητας εισόδου. Όταν ικανοποιείται η συνθήκη αυτή, η ac τάση εξόδου πλησιάζει το μηδέν. Από την άλλη, αφού το τσοκ προσεγγίζει ένα βραχυκύκλωμα στα 0 Hz και ο πυκνωτής προσεγγίζει ένα ανοιχτό κύκλωμα στα 0 Hz, το dc ρεύμα μπορεί να περάσει στην αντίσταση φορτίου με ελάχιστες απώλειες. Στο Σχ. 4-10β, το κύκλωμα λειτουργεί σαν ένας άεργος διαιρέτης τάσης. Όταν η  $X_L$  είναι πολύ μεγαλύτερη από την  $X_C$ , σχεδόν όλη η ac τάση πέφτει στα άκρα του τσοκ. Στην περίπτωση αυτή, η ac τάση ισούται με:

$$V_{\text{out}} \approx \frac{X_C}{X_L} V_{\text{in}} \quad (4-9)$$

Για παράδειγμα, αν  $X_L = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $X_C = 100 \Omega$  και  $V_{\text{in}} = 15 \text{ V}$ , η ac τάση εξόδου είναι:

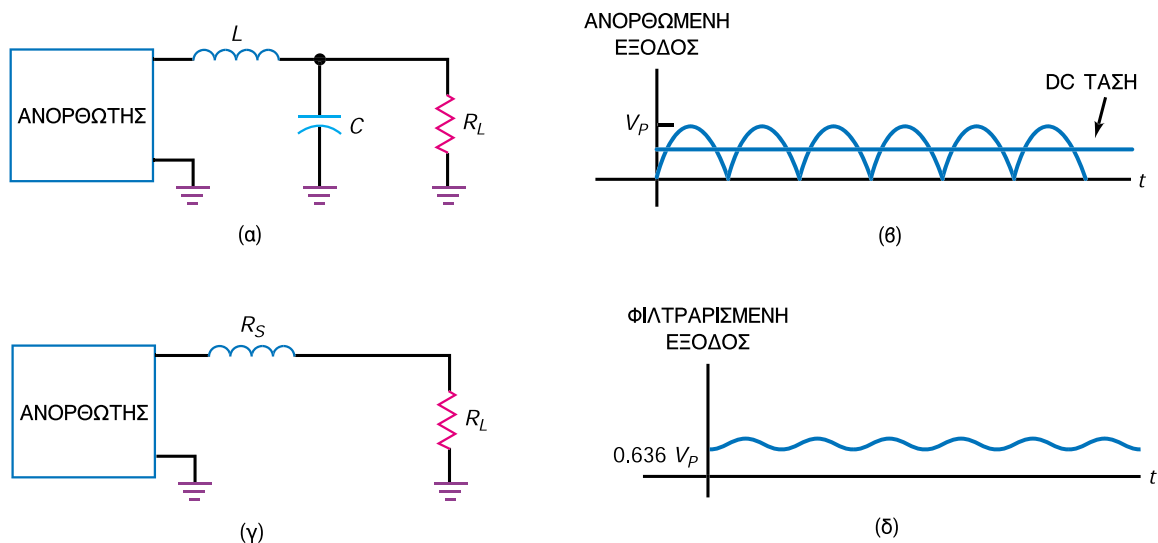
$$V_{\text{out}} \approx \frac{100\Omega}{10\text{k}\Omega} 15\text{V} = 0.15\text{V}$$

Στο παράδειγμα αυτό, το φίλτρο εισόδου τσοκ μειώνει την ac τάση κατά έναν παράγοντα 100.

### ΦΙΛΤΡΑΡΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΕΞΟΔΟ ΕΝΟΣ ΑΝΟΡΘΩΤΗ

Το Σχ. 4-11α δείχνει ένα φίλτρο τσοκ εισόδου μεταξύ ενός ανορθωτή και ενός φορτίου. Ο πρώτος μπορεί να είναι ημιανορθωτής, ανορθωτής πλήρους κύματος, ή γέφυρα ανόρθωσης. Τι επίδραση έχει το φίλτρο εισόδου τσοκ στην τάση φορτίου; Ο ευκολότερος τρόπος επίλυσης του προβλήματος αυτού είναι να χρησιμοποιήσουμε το θεώρημα υπέρθεσης (superposition theorem). Ας θυμηθούμε τι λέει το θεώρημα αυτό: Αν έχουμε δύο ή περισσότερες πηγές, μπορούμε να αναλύσουμε το κύκλωμα για κάθε πηγή χωριστά και στη συνέχεια να προσθέσουμε τις επιμέρους τάσεις για να πάρουμε την ολική τάση.

Η έξοδος του ανορθωτή έχει δύο διαφορετικές συνιστώσες: μια dc τάση (μέση τιμή) και μια ac τάση (κυμαινόμενη συνιστώσα), όπως φαίνεται στο Σχ. 4-11β. Κάθε μια από τις τάσεις αυτές λειτουργεί σαν μια χωριστή πηγή. Όσον αφορά την ac τάση, η  $X_L$  είναι πολύ μεγαλύτερη από την  $X_C$ , και αυτό έχει σαν συνέπεια πολύ μικρή ac τάση στα άκρα της αντίστασης φορτίου. Παρόλο που η συνιστώσα εναλλασσομέ-



**Σχήμα 4-11** (α) Ανορθωτής με φίλτρο τσοκ εισόδου, (β) Έξοδος ανορθωτή με συνιστώσες dc και ac, (γ) Ισοδύναμο dc κύκλωμα, (δ) Η έξοδος του φίλτρου είναι συνεχές ρεύμα με μικρή κυμάτωση.

νου ρεύματος δεν αποτελεί αμιγές ημιτονοειδές κύμα, η Εξίσωση (4-9) είναι ακόμη μια προσέγγιση για την ac τάση φορτίου.

Το κύκλωμα αυτό λειτουργεί όπως εκείνο στο Σχ. 4-11γ, όσον αφορά την dc τάση. Στα 0 Hz, η επαγωγική άεργος αντίσταση είναι ίση με μηδέν και η χωρητική αντίδραση άπειρη. Απομένει μόνον η αντίσταση σειράς των σπειρών του πηνίου. Κάνοντας την  $R_S$  πολύ μικρότερη από την  $R_L$ , προκαλούμε την εμφάνιση της συνιστώσας συνεχούς ρεύματος στα άκρα της αντίστασης φορτίου.

Έτσι λειτουργεί το φίλτρο εισόδου τσοκ: Σχεδόν ολόκληρη η dc συνιστώσα περνά στην αντίσταση φορτίου, και σχεδόν ολόκληρη η συνιστώσα ac παρεμποδίζεται. Με αυτόν τον τρόπο, παίρνουμε μια σχεδόν τέλεια dc τάση, σχεδόν σταθερή, όπως η τάση μιας μπαταρίας. Το Σχ. 4-11δ δείχνει τη φιλτραρισμένη έξοδο για ένα σήμα πλήρους κύματος. Η μόνη απόκλιση από την τέλεια dc τάση είναι η μικρή ac τάση φορτίου, που παρουσιάζει το Σχ. 4-11δ. Αυτή η μικρή ac τάση φορτίου ονομάζεται *κυμάτωση* (ripple). Μ' έναν παλμογράφο, μπορούμε να μετρήσουμε την τιμή peak-to-peak που έχει αυτή η κυμάτωση.

## ΤΟ ΒΑΣΙΚΟ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑ

Το *τροφοδοτικό* (power supply) είναι το κύκλωμα στο εσωτερικό των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων που μετατρέπει την ac τάση εισόδου σε μια σχεδόν τέλεια dc τάση εξόδου. Αυτό περιλαμβάνει έναν ανορθωτή και ένα φίλτρο. Στις μέρες μας τείνουμε να χρησιμοποιούμε τροφοδοσίες με χαμηλή τάση και υψηλό ρεύμα. Επειδή η συχνότητα γραμμής είναι μόλις 60 Hz, θα πρέπει να χρησιμοποιούμε μεγάλες επαγωγές για να έχουμε αρκετή άεργη αντίσταση για επαρκές φιλτράρισμα. Όμως, τα μεγάλα πηνία έχουν μεγάλες αντιστάσεις σπειρών, που δημιουργούν σημαντικό πρόβλημα σχεδιασμού σε μεγάλα ρεύματα φορτίου. Με άλλα λόγια, έχουμε μεγάλη πτώση τάσης (dc) στα άκρα της αντίστασης τσοκ. Ακόμη, τα πηνία δεν είναι κατάλληλα για τα σύγχρονα κυκλώματα ημιαγωγών, όπου δίνεται έμφαση στον ελαφρύ σχεδιασμό.

## ΔΙΑΚΟΠΤΟΜΕΝΑ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΑ

Υπάρχει μια σημαντική εφαρμογή για το φίλτρο εισόδου τσοκ. Ο *διακοπτόμενος ρυθμιστής* (switching regulator) είναι ένα ειδικό τροφοδοτικό που χρησιμοποιείται στους υπολογιστές, στις οθόνες και σε μια μεγάλη ποικιλία εξοπλισμού. Η συχνότητα που χρησιμοποιείται σε ένα διακοπτόμενο ρυθμιστή είναι πολύ μεγαλύτερη από 60 Hz. Συνήθως, η συχνότητα που φιλτράρεται είναι πάνω από 20 kHz. Σε αυτήν την υψηλή συχνότητα μπορούμε να χρησιμοποιούμε μικρότερα πηνία για τον αποδοτικό σχεδιασμό φίλτρων εισόδου τύπου τσοκ. Τις λεπτομέρειες θα τις σχολιάσουμε σε κάποιο από τα κεφάλαια που ακολουθούν.

### 4-6 Φίλτρο Εισόδου Πυκνωτή

Το φίλτρο εισόδου τύπου τσοκ δημιουργεί dc τάση εξόδου που ισούται με τη μέση τιμή της ανορθωμένης τάσης. Το *φίλτρο εισόδου πυκνωτή* (capacitor-input filter) δημιουργεί dc τάση εξόδου η οποία ισούται με την τιμή κορυφής της ανορθωμένης τάσης. Αυτού του είδους το φίλτρο είναι εκείνο που χρησιμοποιείται περισσότερο στα τροφοδοτικά.

## ΒΑΣΙΚΗ ΙΔΕΑ

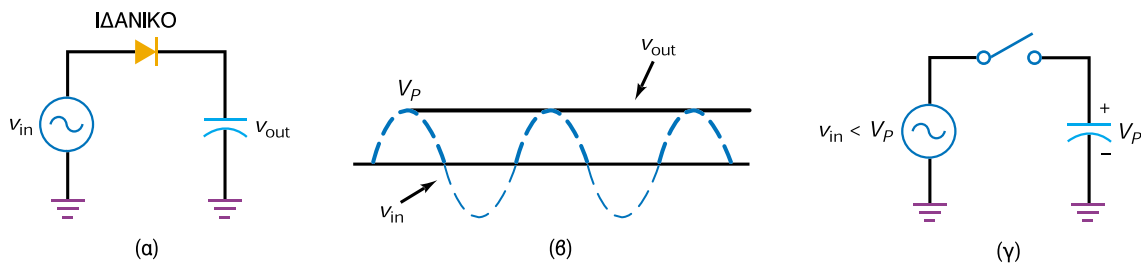
Το Σχ. 4-12α δείχνει μια ac πηγή, μια δίοδο κι έναν πυκνωτή. Το κλειδί για την κατανόηση ενός φίλτρου πυκνωτή εισόδου είναι να κατανοήσουμε τι κάνει αυτό το απλό κύκλωμα κατά τη διάρκεια του πρώτου τετάρτου της περιόδου.

Αρχικά, ο πυκνωτής δεν είναι φορτισμένος. Κατά τη διάρκεια του πρώτου τετάρτου της περιόδου στο Σχ. 4-12β, η δίοδος είναι ορθά πολωμένη. Αφού στην ιδανική περίπτωση λειτουργεί σαν ένας κλειστός διακόπτης, ο πυκνωτής φορτίζεται, και η τάση του ισούται με την τάση πηγής σε κάθε στιγμή του πρώτου τετάρτου της περιόδου. Η φόρτιση συνεχίζεται μέχρι η είσοδος να φτάσει στη μέγιστη τιμή της. Στο σημείο αυτό, η τάση του πυκνωτή ισούται με  $V_p$ .

Αφού η τάση εισόδου φτάσει στην κορυφή της, αρχίζει να μειώνεται. Μόλις η τάση εισόδου γίνει μικρότερη από  $V_p$ , η δίοδος παύει να άγει. Στην περίπτωση αυτή, λειτουργεί σαν τον ανοιχτό διακόπτη του Σχ. 4-12γ. Κατά τη διάρκεια των υπόλοιπων περιόδων, ο πυκνωτής παραμένει πλήρως φορτισμένος και η δίοδος παραμένει ανοιχτή. Γι' αυτό το λόγο η τάση εξόδου στο Σχ. 4-12β είναι σταθερή και ισούται με  $V_p$ .

Στην ιδανική περίπτωση, ο προορισμός του φίλτρου εισόδου πυκνωτή είναι να φορτίζει τον πυκνωτή μέχρι την τάση κορυφής κατά τη διάρκεια του πρώτου τετάρτου της περιόδου. Αυτή η τάση κορυφής είναι





**Σχήμα 4-12** (α) Φίλτρο πυκνωτή εισόδου χωρίς φορτίο, (β) Η έξοδος είναι αμιγής dc τάση, (γ) Ο πυκνωτής παραμένει χωρίς φορτίο όταν η διόδος δεν άγει.

σταθερή, η σωστή dc τάση που χρειαζόμαστε για τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Υπάρχει μόνον ένα πρόβλημα: Δεν έχουμε αντίσταση φορτίου.

### ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ

Για να είναι χρήσιμο ένα φίλτρο πυκνωτή εισόδου, χρειάζεται να συνδέσουμε μια αντίσταση φορτίου στον πυκνωτή, όπως δείχνει το Σχ. 4-13α. Όσο η σταθερά χρόνου  $R_L C$  είναι πολύ μεγαλύτερη από την περίοδο, ο πυκνωτής παραμένει σχεδόν πλήρως φορτισμένος και η τάση φορτίου είναι περίπου  $V_p$ . Η μόνη απόκλιση από την τέλεια dc τάση είναι η μικρή κυμάτωση που φαίνεται στο Σχ. 4-13β. Όσο μικρότερη είναι η τιμή peak-to-peak αυτής της κυμάτωσης, τόσο πιο κοντά πλησιάζει η έξοδος την τέλεια dc τάση.

Μεταξύ των κορυφών, η διόδος δεν λειτουργεί και ο πυκνωτής εκφορτίζεται μέσω της αντίστασης φορτίου. Με άλλα λόγια, ο πυκνωτής τροφοδοτεί το ρεύμα φορτίου. Αφού ο πυκνωτής εκφορτίζεται μόνον ελάχιστα μεταξύ των κορυφών, η κυμάτωση από κορυφή σε κορυφή είναι μικρή. Μόλις φτάσει η επόμενη κορυφή, η διόδος άγει και επαναφορτίζει τον πυκνωτή μέχρι την τιμή κορυφής. *Ηρώτηση κλειδί είναι:* Τι μέγεθος θα πρέπει να είναι ο πυκνωτής για να λειτουργεί κατάλληλα; Πριν σχολιάσουμε το μέγεθος του πυκνωτή, ας δούμε τι συμβαίνει με τα άλλα κυκλώματα ανόρθωσης.

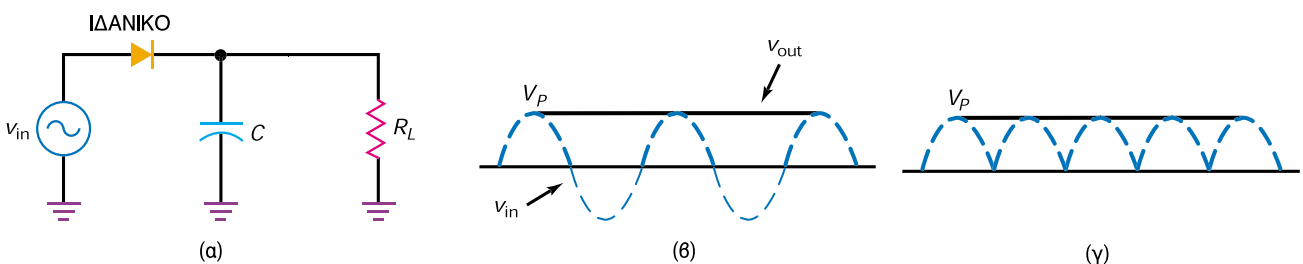
### ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑ ΠΛΗΡΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ

Αν συνδέσουμε έναν ανορθωτή πλήρους κύματος ή μια γέφυρα ανόρθωσης με ένα φίλτρο πυκνωτή εισόδου, η κυμάτωση από κορυφή σε κορυφή υποδιπλασιάζεται. Το Σχ. 4-13γ δείχνει γιατί. Όταν εφαρμόζεται τάση πλήρους κύματος στο κύκλωμα  $RC$ , ο πυκνωτής εκφορτίζεται μόνο για το μισό χρόνο. Επομένως, η κυμάτωση από κορυφή σε κορυφή είναι η μισή απ' εκείνην ενός ανορθωτή πλήρους κύματος.

### Ο ΤΥΠΟΣ ΚΥΜΑΤΩΣΗΣ

Εδώ δίνεται ο τύπος που θα χρησιμοποιήσουμε για τον υπολογισμό της κυμάτωσης από κορυφή σε κορυφή σε οποιοδήποτε φίλτρο πυκνωτή εισόδου:

$$V_R = \frac{I}{fC} \quad (4-10)$$



**Σχήμα 4-13** (α) Ανορθωτής με φίλτρο τύπου πυκνωτή εισόδου, (β) Η έξοδος του ανορθωτή είναι συνεχές ρεύμα με μικρή κυμάτωση, (γ) Η έξοδος πλήρους κύματος παρουσιάζει μικρότερη κυμάτωση.

όπου  $V_R$  = η p-p τάση κυμάτωσης  
 $I$  = το dc ρεύμα φορτίου  
 $f$  = η συχνότητα κυμάτωσης  
 $C$  = η χωρητικότητα

Πρόκειται για μια προσέγγιση και όχι για ακριβή τύπο. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον τύπο για να υπολογίσουμε την p-p κυμάτωση. Όταν χρειαζόμαστε μια πιο ακριβή απάντηση, μια λύση είναι να χρησιμοποιήσουμε έναν υπολογιστή με ένα πρόγραμμα προσομοίωσης κυκλωμάτων, όπως το MultiSim.

Για παράδειγμα, αν το dc ρεύμα φορτίου είναι 10mA και η χωρητικότητα 200  $\mu$ F, η κυμάτωση με έναν ανορθωτή γέφυρας και ένα φίλτρο εισόδου τύπου πυκνωτή είναι:

$$V_R = \frac{10mA}{(120Hz)(200\mu F)} = 0.417V_{pp}$$

Όταν χρησιμοποιείτε αυτόν τον τύπο, θα πρέπει να θυμάστε δύο πράγματα: Πρώτον, η κυμάτωση είναι σε τάση peak to peak (p-p). Αυτό είναι χρήσιμο γιατί κανονικά μετράμε την τάση κυμάτωσης με έναν παλμογράφο. Δεύτερον, ο τύπος ισχύει για τάσεις ημικύματος ή πλήρους κύματος. Χρησιμοποιείτε 60 Hz για το ημικόμα και 120 Hz για το πλήρες κύμα.

Θα πρέπει να χρησιμοποιήσετε έναν παλμογράφο για μετρήσεις κυμάτωσης, αν μπορείτε. Αν όχι, χρησιμοποιήστε ένα ac βολτόμετρο, παρόλο που θα υπάρξει σημαντικό σφάλμα στη μέτρηση. Τα περισσότερα ac βολτόμετρα είναι βαθμονομημένα ώστε να δίνουν την τιμή rms ενός ημιτονοειδούς κύματος. Αφού η κυμάτωση δεν αποτελεί ημιτονοειδές κύμα, μπορεί να έχουμε λανθασμένη μέτρηση μέχρι και 25%, ανάλογα με το σχεδιασμό του ac βολτόμετρου. Ωστόσο, αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα όταν γίνεται αντίχενυση βλαβών, αφού θα ψάχνετε για πολύ μεγαλύτερες μεταβολές στην κυμάτωση.

Αν τελικά χρησιμοποιήσετε ένα ac βολτόμετρο για να μετρήσετε την κυμάτωση, μπορείτε να μετατρέψετε την τιμή p-p, που δίνεται από την Εξίσωση (4-10) σε μια τιμή rms, η οποία χρησιμοποιεί τον παρακάτω τύπο για ένα ημιτονοειδές ημικόμα:

$$V_{rms} = \frac{V_{pp}}{2\sqrt{2}}$$

Διαιρώντας δια του 2 μετατρέπουμε την τιμή p-p σε τιμή κορυφής p, και διαιρώντας δια του  $\sqrt{2}$  παίρνουμε την rms τιμή ενός ημιτονοειδούς κύματος με την ίδια τιμή p-p με την τάση κυμάτωσης.

### **ΕΙΝΑΙ ΚΑΛΟ ΝΑ ΓΝΩΡΙΖΕΤΕ ΟΤΙ**

Ένας άλλος πιο ακριβής τύπος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της κυμάτωσης εξόδου ενός πυκνωτή φίλτρου εισόδου. Αυτός είναι ο εξής:

$$V_R = V_{p(out)}(1 - e^{-t/R_L C})$$

Ο χρόνος  $t$  είναι το χρονικό διάστημα που ο πυκνωτής φίλτρου C εκφορτίζεται. Για έναν ανορθωτή ημικύματος, ο χρόνος  $t$  μπορεί να προσεγγιστεί με 16.67 ms, ενώ για έναν ανορθωτή πλήρους κύματος μπορεί να προσεγγιστεί με 8.33 ms.

### **ΑΚΡΙΒΗΣ DC ΤΑΣΗ ΦΟΡΤΙΟΥ**

Είναι πολύ δύσκολο να υπολογίσουμε την ακριβή dc τάση φορτίου σε μια γέφυρα ανόρθωσης μ' ένα φίλτρο εισόδου τύπου πυκνωτή. Κατ' αρχήν, έχουμε δύο πτώσεις τάσης στις διόδους που αφαιρούνται από την τάση κορυφής. Εκτός από τις πτώσεις στις διόδους, εμφανίζεται μια επιπλέον πτώση τάσης, ως εξής: Οι διόδοι άγουν έντονα όταν επαναφορτίζουν τον πυκνωτή, επειδή λειτουργούν μόνο για ένα σύντομο χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια κάθε περιόδου. Αυτό το σύντομο αλλά μεγάλο ρεύμα θα ρέει μέσα από τις σπείρες του μετασχηματιστή και την αντίσταση σώματος των διόδων. Στα παραδείγματα που ακολουθούν, θα υπολογίσουμε είτε την ιδανική έξοδο, είτε την έξοδο με μια δεύτερη προσέγγιση μιας διόδου, αρκεί να θυμόμαστε ότι η πραγματική dc τάση είναι ελαφρώς μικρότερη.

### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4-6

Ποια είναι η dc τάση φορτίου και η κυμάτωση στο Σχ. 4-14;

**Λύση:**

Η rms τάση του δευτερεύοντος είναι:

$$V_2 = \frac{120V}{5} = 24V$$

Η τάση κορυφής του δευτερεύοντος είναι:

$$V_p = \frac{24V}{0.707} = 34V$$

Αν υποθέσουμε ότι έχουμε μια ιδανική δίοδο και μικρή κυμάτωση, η dc τάση φορτίου είναι:

$$V_L = 34 V$$

Για να υπολογίσετε την κυμάτωση, θα πρέπει πρώτα να βρείτε το dc ρεύμα φορτίου:

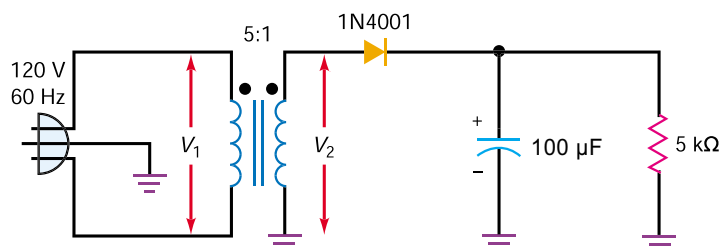
$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{34V}{5k\Omega} = 6.8mA$$

Τώρα, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε την Εξίσωση (4-10) για να πάρετε:

$$V_R = \frac{6.8mA}{(60Hz)(100\mu F)} = 1.13 V_{pp} \approx 1.1 V_{pp}$$

Στρογγυλοποιήσαμε την κυμάτωση στα δύο πιο σημαντικά ψηφία επειδή πρόκειται για μια προσέγγιση και δεν μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια με έναν ποιο ακριβή παλμογράφο.

Ας δούμε, λοιπόν, πώς μπορούμε να βελτιώσουμε κάπως την απάντηση: Όταν η δίοδος πυριτίου άγει, στα άκρα της έχουμε περίπου 0.7 V. Επομένως, η τάση κορυφής στα άκρα του φορτίου θα είναι πιο κοντά στα 33.3 V και όχι στα 34 V. Επίσης, η κυμάτωση μειώνει ελαφρώς την dc τάση. Έτσι, η πραγματική dc τάση φορτίου θα είναι πιο κοντά στα 33 V και όχι στα 34 V. Όμως, αυτές είναι μικρές αποκλίσεις. Οι ιδανικές απαντήσεις συνήθως αρκούν για την ανίχνευση βλαβών και την προκαταρκτική ανάλυση.



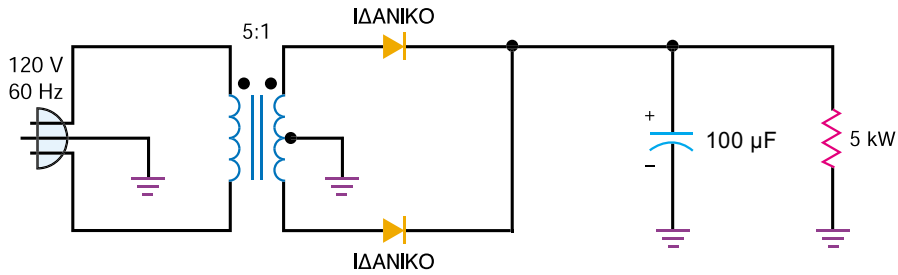
Σχήμα 4-14 Ανορθωτής ημικύματος και πυκνωτής φίλτρου εισόδου

Ένα τελευταίο σχόλιο σχετικά με το κύκλωμα. Το θετικό πρόσημο του πυκνωτή του φίλτρου δηλώνει ότι πρόκειται για έναν *πολωμένο πυκνωτή*, του οποίου η θετική πλευρά θα πρέπει να συνδέεται με τη θετική έξοδο του ανορθωτή. Στο Σχ. 4-15, το θετικό πρόσημο στη θήκη του πυκνωτή συνδέεται σωστά με τη θετική τάση εξόδου. Θα πρέπει να κοιτάτε προσεκτικά τη θήκη του πυκνωτή όταν το ανιχνεύετε βλάβες σ' ένα κύκλωμα, για να βρείτε αν είναι πολωμένος ή όχι.

Τα τροφοδοτικά συχνά χρησιμοποιούν πολωμένους ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές επειδή αυτό το είδος παρέχει υψηλές τιμές χωρητικότητας σε μικρές συσκευασίες. Όπως σχολιάστηκε σε προηγούμενα μαθήματα, *οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές θα πρέπει να συνδέονται στη σωστή πολικότητα* έτσι ώστε να παράγουν μια μεμβράνη οξειδίου. Αν ένας ηλεκτρολυτικός πυκνωτής συνδεθεί με αντίθετη πολικότητα, *θερμαίνεται και μπορεί να εκραγεί*.

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4-7**

Ποια είναι η dc τάση φορτίου και η κυμάτωση στο Σχ. 4-15;



**Σχήμα 4-15** Ανορθωτής πλήρους κύματος και πυκνωτής φίλτρου εισόδου

**Λύση:**

Αφού ο μετασχηματιστής είναι υποβιβασμού τάσης 5:1 όπως και στο προηγούμενο παράδειγμα, η τάση κορυφής του δευτερεύοντος του παραμένει 34 V. Η μισή από αυτή είναι η είσοδος σε κάθε τμήμα ημικύματος. Αν υποθέσουμε ότι έχουμε μια ιδανική διόδο και μικρή κυμάτωση, η dc τάση φορτίου είναι:

$$V_L = 17 \text{ V}$$

Το dc ρεύμα φορτίου είναι:

$$V_R = \frac{3.4 \text{ mA}}{(120 \text{ Hz})(100 \mu\text{F})} = 0.283 \text{ V pp} \approx 0.28 \text{ V pp}$$

Λόγω των 0.7 V στα άκρα της διόδου που άγει, η πραγματική dc τάση φορτίου θα είναι πιο κοντά στα 16 V και όχι στα 17 V.

**ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΕΞΑΣΚΗΣΗΣ 4-7** Χρησιμοποιώντας το Σχ. 4-15, αλλάξτε την  $R_L$  σε 2 kΩ και υπολογίστε τη νέα ιδανική dc τάση φορτίου και την κυμάτωση.

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4-8**

Ποια είναι η dc τάση φορτίου και η κυμάτωση στο Σχ. 4-16; Συγκρίνετε τις απαντήσεις μ' εκείνες των δύο προηγούμενων παραδειγμάτων.

**Λύση:**

Αφού ο μετασχηματιστής είναι υποβιβασμού 5:1 όπως και στο προηγούμενο παράδειγμα, η τάση κορυφής του δευτερεύοντος του παραμένει 34 V. Αν υποθέσουμε ότι έχουμε μια ιδανική διόδο και μικρή κυμάτωση, η dc τάση φορτίου είναι:

$$V_L = 34 \text{ V}$$

Το dc ρεύμα φορτίου είναι:

$$I_L = \frac{34 \text{ V}}{5 \text{ k}\Omega} = 6.8 \text{ mA}$$

Τώρα, η Εξ. (4-10) δίνει:

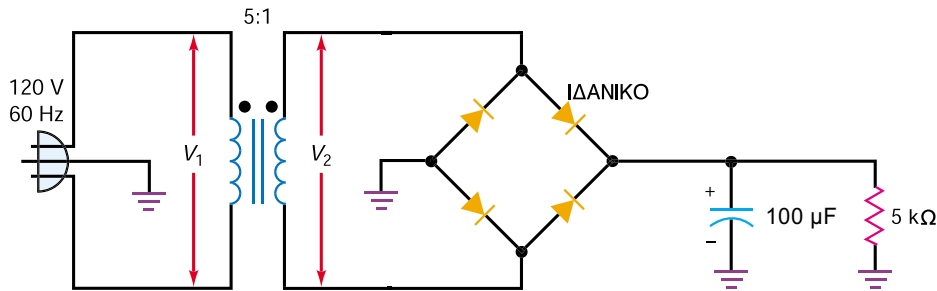
$$V_R = \frac{6.8 \text{ mA}}{(120 \text{ Hz})(100 \mu\text{F})} = 0.566 \text{ V pp} \approx 0.57 \text{ V pp}$$

Λόγω των 1.4 V στα άκρα των δύο διόδων που άγουν, η πραγματική dc τάση φορτίου θα είναι πιο κοντά στα 32 V και όχι στα 34 V.

Υπολογίσαμε την dc τάση φορτίου και την κυμάτωση για τρεις διαφορετικούς ανορθωτές. Τα αποτελέσματα θα είναι:

$$\begin{aligned} \text{Ημικόμα: } & 34 \text{ V και } 1.13 \text{ V} \\ \text{Πλήρες κύμα: } & 17 \text{ V και } 0.288 \text{ V} \\ \text{Γέφυρα: } & 34 \text{ V και } 0.566 \text{ V} \end{aligned}$$

Για ένα δεδομένο μετασχηματιστή, η γέφυρα ανόρθωσης είναι καλύτερη από τον ημιανορθωτή γιατί έχει μικρότερη κυμάτωση, και είναι καλύτερη από τον ανορθωτή πλήρους κύματος γιατί παρέχει διπλάσια τάση εξόδου. Από τους τρεις, η γέφυρα ανόρθωσης είναι ο πιο δημοφιλής.



Σχήμα 4-16 Ανορθωτής γέφυρας και πυκνωτής φίλτρου εισόδου.

#### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4-9

Το Σχ. 4-17 δείχνει τις τιμές που μετρήθηκαν με το MultiSim. Υπολογίστε τη θεωρητική τάση φορτίου και την κυμάτωση και συγκρίνετέ τα με τις μετρημένες τιμές.

**Λύση:**

Ο μετασχηματιστής είναι υποβιβασμού 15:1, κι έτσι η rms τάση του δευτερεύοντος είναι:

$$V_2 = \frac{120V}{15} = 8V$$

Και η τάση φορτίου κορυφής του δευτερεύοντος είναι:

$$V_p = \frac{8V}{0.707} = 11.3V$$

Ας χρησιμοποιήσουμε τη δεύτερη προσέγγιση των διόδων για να πάρουμε την dc τάση φορτίου:

$$V_L = 11.3 \text{ V} - 1.4 \text{ V} = 9.9 \text{ V}$$

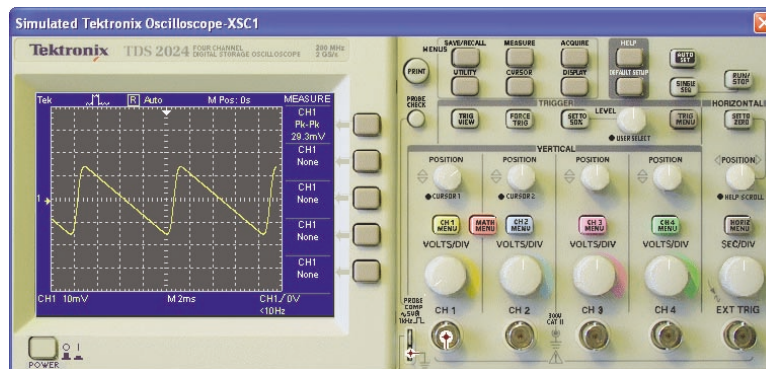
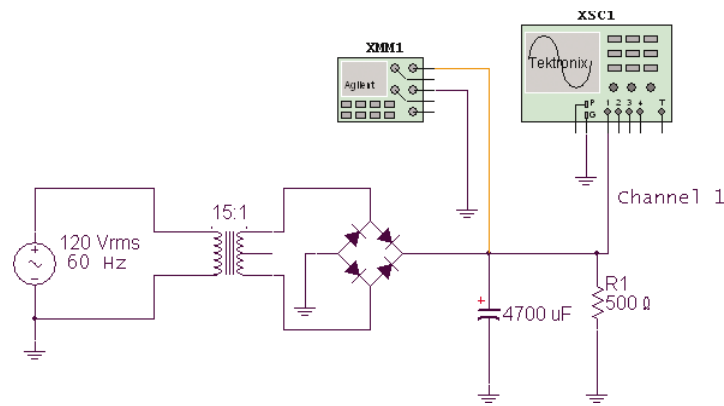
Για να υπολογίσετε την κυμάτωση, θα πρέπει πρώτα να βρείτε το dc ρεύμα φορτίου:

$$I_L = \frac{9.9V}{500\Omega} = 19.8 \text{ mA}$$

Τώρα, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε την Εξ. (4-10) για να πάρετε:

$$V_R = \frac{19.8mA}{(120Hz)(4700\mu F)} = 35 \text{ mV pp}$$

Στο Σχ. 4-17, ένα πολύμετρο δείχνει μια dc τάση φορτίου ίση με 9.90479 V, που είναι πολύ κοντά



Σχήμα 4-17 Εργαστηριακό παράδειγμα γέφυρας ανόρθωσης και πυκνωτής φίλτρου εισόδου.

στη θεωρητική τιμή των 9.9 V. Η ελάχιστη διαφορά οφείλεται στην πτώση τάσης στις σπείρες του μετασχηματιστή, της αντίστασης σώματος, κτλ.

Το κανάλι 1 του παλμογράφου ορίζεται στα 10 mV/Div. Η κυμάτωση p-p είναι περίπου 2.9 Div, έτσι η μετρημένη κυμάτωση είναι 29.3 mV. Αυτή είναι μικρότερη από τη θεωρητική τιμή των 35 mV, που δίνει έμφαση στο σχόλιο που κάναμε πιο πριν. Η Εξίσωση (4-10) πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της κυμάτωσης. Αν χρειάζεστε μεγαλύτερη ακρίβεια, χρησιμοποιείστε έναν υπολογιστή.

**ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΕΞΑΣΚΗΣΗΣ 4-9** Αλλάξτε την τιμή του πυκνωτή στο Σχ. 4-17 σε 1,000 μF. Υπολογίστε τη νέα τιμή της  $V_R$ .

#### 4-7 Ανάστροφη Τάση Κορυφής & Επίρρευμα

Η *ανάστροφη τάση κορυφής* (peak inverse voltage, PIV) είναι η μέγιστη τάση που εφαρμόζεται στα άκρα της διόδου όταν δεν άγει. Αυτή η τάση θα πρέπει να είναι μικρότερη από την τάση κατάρρευσης της διόδου. Αλλιώς, η *δίοδος θα καταστραφεί*. Η ανάστροφη τάση κορυφής εξαρτάται από το είδος του ανορθωτή και του φίλτρου. Η χειρότερη δυνατή περίπτωση εμφανίζεται με το φίλτρο εισόδου τύπου πυκνωτή.

Όπως σχολιάσαμε πιο πριν, τα φυλλάδια προδιαγραφών διάφορων κατασκευαστών χρησιμοποιούν πολλά διαφορετικά σύμβολα για να δηλώσουν το ρυθμό μέγιστης ανάστροφης τάσης μιας διόδου. Μερικές φορές, τα σύμβολα αυτά δηλώνουν διαφορετικές συνθήκες μέτρησης. Μερικά από τα σύμβολα αυτά του ρυθμού μέγιστης ανάστροφης τάσης είναι τα PIV, PRV,  $V_B$ ,  $V_{BR}$ ,  $V_R$ ,  $V_{RRM}$ ,  $V_{RWM}$ , και  $V_{R(max)}$ .

### ΑΝΟΡΘΩΤΗΣ ΗΜΙΚΥΜΑΤΟΣ ΜΕ ΦΙΛΤΡΟ ΠΥΚΝΩΤΗ ΕΙΣΟΔΟΥ

Το Σχ. 4-18α δείχνει το κρίσιμότερο σημείο ενός ημιανορθωτή. Πρόκειται για το μέρος εκείνο του κυκλώματος που καθορίζει πόση ανάστροφη τάση υπάρχει στα άκρα της διόδου. Το υπόλοιπο κύκλωμα δεν επηρεάζεται και το παραλείπουμε για χάρη της σαφήνειας. Στη χειρότερη περίπτωση, η τάση κορυφής του δευτερεύοντος βρίσκεται στην αρνητική κορυφή και ο πυκνωτής είναι πλήρως φορτισμένος με τάση  $V_p$ . Εφαρμόστε το νόμο του Kirchhoff και θα δείτε αμέσως ότι η ανάστροφη τάση κορυφής στα άκρα της διόδου που δεν άγει είναι:

$$PIV = 2V_p \quad (4-11)$$

Για παράδειγμα, αν η τάση κορυφής του δευτερεύοντος είναι 15 V, η ανάστροφη τάση κορυφής είναι 30 V. Όσο η τάση κατάρρευσης της διόδου είναι μεγαλύτερη από αυτή, η διόδος δεν καταστρέφεται.

### ΑΝΟΡΘΩΤΗΣ ΠΛΗΡΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΜΕ ΦΙΛΤΡΟ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΥΠΟΥ ΠΥΚΝΩΤΗ

Το Σχ. 4-18β δείχνει το σημαντικότερο σημείο ανορθωτή πλήρους κύματος, που χρειάζεται για να υπολογίσουμε την ανάστροφη τάση κορυφής. Και πάλι, η τάση του δευτερεύοντος βρίσκεται στην αρνητική κορυφή. Στην περίπτωση αυτή, η χαμηλότερη διόδος λειτουργεί σαν βραχυκύκλωμα (κλειστός διακόπτης) και η υψηλότερη διόδος είναι ανοιχτή. Ο νόμος του Kirchhoff δηλώνει:

$$PIV = V_p \quad (4-12)$$

### ΑΝΟΡΘΩΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΜΕ ΦΙΛΤΡΟ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΥΠΟΥ ΠΥΚΝΩΤΗ

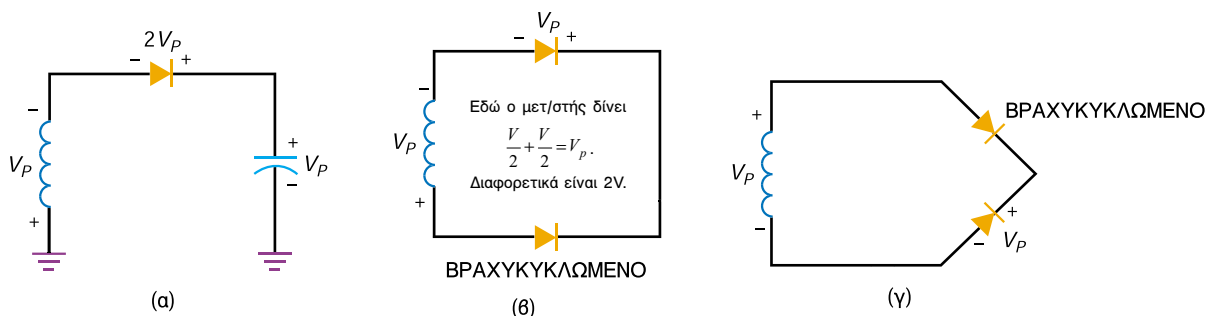
Το Σχ. 4-18γ δείχνει το τμήμα μιας γέφυρας ανόρθωσης. Είναι το μόνο που χρειάζεται για να υπολογίσουμε την ανάστροφη τάση κορυφής. Αφού η υψηλότερη διόδος είναι βραχυκυκλωμένη και η χαμηλότερη είναι ανοιχτή, η ανάστροφη τάση κορυφής στα άκρα της χαμηλότερης διόδου είναι:

$$PIV = V_p \quad (4-13)$$

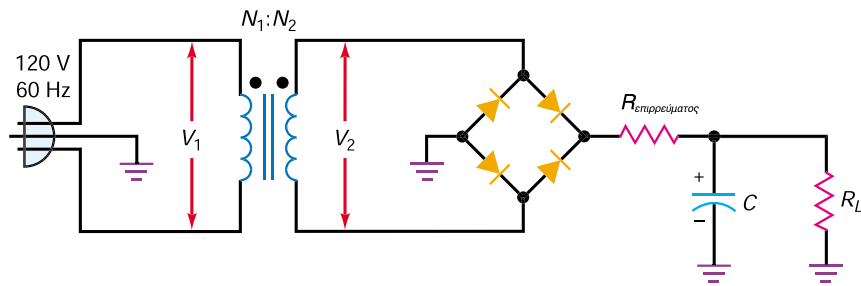
Ένα άλλο πλεονέκτημα της γέφυρας ανόρθωσης είναι ότι έχει τη μικρότερη ανάστροφη τάση κορυφής για μια δεδομένη τάση φορτίου. Για να δημιουργήσουμε την ίδια τάση φορτίου, ο ανορθωτής πλήρους κύματος θα χρειαζόταν διπλάσια τάση δευτερεύοντος.

### ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΕΠΙΡΡΕΥΜΑΤΟΣ

Πριν ανοίξουμε την τροφοδοσία, ο πυκνωτής του φίλτρου δεν είναι φορτισμένος. Μόλις εφαρμοστεί ισχύς, ο πυκνωτής αυτός μοιάζει με βραχυκύκλωμα. Επομένως, το αρχικό ρεύμα φόρτισης μπορεί να είναι πολύ μεγάλο. Το μόνο που υπάρχει στη διαδρομή φόρτισης για την παρεμπόδιση του ρεύματος είναι η αντίσταση των σπειρών του μετασχηματιστή και η αντίσταση σώματος των διόδων. Η αρχική τιμή του ρεύματος κατά τη στιγμή της τροφοδότησης ονομάζεται *επίρρευμα* (surge current).



**Σχήμα 4-18** (α) Ανάστροφη τάση κορυφής σε έναν ημιανορθωτή, (β) Ανάστροφη τάση κορυφής σε έναν ανορθωτή πλήρους κύματος, (γ) Ανάστροφη τάση κορυφής σε μια γέφυρα ανόρθωσης.



Σχήμα 4-19 Η αντίσταση επιρρεύματος περιορίζει το επίρρευμα.

Κανονικά, ο σχεδιαστής του τροφοδοτικού θα επιλέξει μια δίοδο με μεγάλη ονομαστική τιμή ρεύματος, ώστε να αντέξει το επίρρευμα. Το κλειδί για το επίρρευμα είναι το μέγεθος του πυκνωτή του φίλτρου. Σπάνια, ένας σχεδιαστής μπορεί να αποφασίσει να χρησιμοποιήσει μια *αντίσταση επιρρεύματος*, από το να επιλέξει μια άλλη δίοδο.

Το Σχ. 4-19 παρουσιάζει αυτή την ιδέα. Τοποθετούμε μια μικρή αντίσταση  $R_{\text{επιρρεύματος}}$  μεταξύ της γέφυρας ανόρθωσης και του φίλτρου πυκνωτή εισόδου. Χωρίς την αντίσταση, το επίρρευμα μπορεί να καταστρέψει τις διόδους. Αν συμπεριληφθεί η  $R_{\text{επιρρεύματος}}$ , ο σχεδιαστής μειώνει το επίρρευμα σε ασφαλή επίπεδα. Οι αντιστάσεις επιρρεύματος δεν χρησιμοποιούνται συχνά και αναφέρονται μόνο για την περίπτωση που θα δούμε μια από αυτές να λειτουργεί σε ένα τροφοδοτικό.

#### ✍ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4-10

Ποια είναι η ανάστροφη τάση κορυφής στο Σχ. 4-19 αν ο λόγος των σπειρών είναι 8:1; Μια 1N4001 έχει τάση κατάρρευσης 50 V. Είναι ασφαλές να χρησιμοποιήσουμε μια 1N4001 στο κύκλωμα αυτό;

#### Λύση:

Η rms τάση του δευτερεύοντος είναι:

$$V_2 = \frac{120V}{8} = 15V$$

Και η τάση φορτίου κορυφής του δευτερεύοντος είναι:

$$V_P = \frac{15V}{0.707} = 21.2V$$

Η ανάστροφη τάση κορυφής είναι:

$$PIV = 21.2V$$

Η 1N4001 είναι υπέρ αρκετή, αφού η ανάστροφη τάση κορυφής είναι πολύ μικρότερη από την τάση κατάρρευσης των 50 V.

**ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΕΞΑΣΚΗΣΗΣ 4-10** Χρησιμοποιώντας το Σχ. 4-19, αλλάξτε το λόγο των σπειρών του μετασχηματιστή σε 2:1. Ποιες διόδους από τη σειρά 1N4000 μπορείτε να χρησιμοποιήσετε;

## 4-8 Άλλα Θέματα Τροφοδοσίας

Έχετε μια βασική ιδέα του τρόπου λειτουργίας των κυκλωμάτων. Στις προηγούμενες ενότητες, είδατε με ποιον τρόπο ανορθώνεται και φιλτράρεται μια ac τάση εισόδου για να δώσει dc τάση. Υπάρχουν μερικές επιπλέον έννοιες που χρειάζεται να γνωρίζετε.



## ΕΜΠΟΡΙΚΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

Η χρήση των λόγων σπειρών στους μετασχηματιστές εφαρμόζεται μόνο στους ιδανικούς μετασχηματιστές. Οι μετασχηματιστές με πυρήνα σιδήρου διαφέρουν. Με άλλα λόγια, οι μετασχηματιστές που αγοράζουμε από έναν προμηθευτή εξαρτημάτων δεν είναι ιδανικοί, αφού οι σπείρες έχουν αντίσταση, η οποία δημιουργεί απώλειες ισχύος. Επιπλέον, ο πυρήνας με ελάσματα έχει ρεύματα αυτεπαγωγής, που δημιουργούν μεγαλύτερες απώλειες ισχύος. Λόγω αυτών των ανεπιθύμητων απωλειών ισχύος, ο λόγος των σπειρών αποτελεί μόνο μια προσέγγιση. Στην πραγματικότητα, τα φυλλάδια προδιαγραφών των μετασχηματιστών σπάνια παραθέτουν το λόγο των σπειρών. Συνήθως, δίνουν μόνον την τάση στο δευτερεύον ρεύμα λειτουργίας.

Για παράδειγμα, το Σχ. 4-20α δείχνει έναν F-25X, βιομηχανικό μετασχηματιστή του οποίου το φυλλάδιο προδιαγραφών δίνει μόνο τις ακόλουθες προδιαγραφές: την τάση του πρωτεύοντος των 115 V ac, την τάση του δευτερεύοντος των 12.6 V ac, όταν το ρεύμα του δευτερεύοντος είναι 1.5 A. Αν το ρεύμα του δευτερεύοντος είναι μικρότερο από 1.5 A στο Σχ. 4-20α, η τάση του δευτερεύοντος θα είναι μεγαλύτερη από 12.6 V ac, λόγω των μικρότερων απωλειών ισχύος στις σπείρες και στον πυρήνα με τα ελάσματα.

Αν χρειάζεται να γνωρίζουμε το ρεύμα του πρωτεύοντος, μπορείτε να υπολογίσετε το λόγο των σπειρών ενός πραγματικού μετασχηματιστή χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο ορισμό:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} \quad (4-14)$$

Για παράδειγμα, ο F25X έχει  $V_1 = 115$  V και  $V_2 = 12.6$  V. Ο λόγος των σπειρών του λειτουργικού ρεύματος φορτίου 1.5 A είναι:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{115}{12.6} = 9.13$$

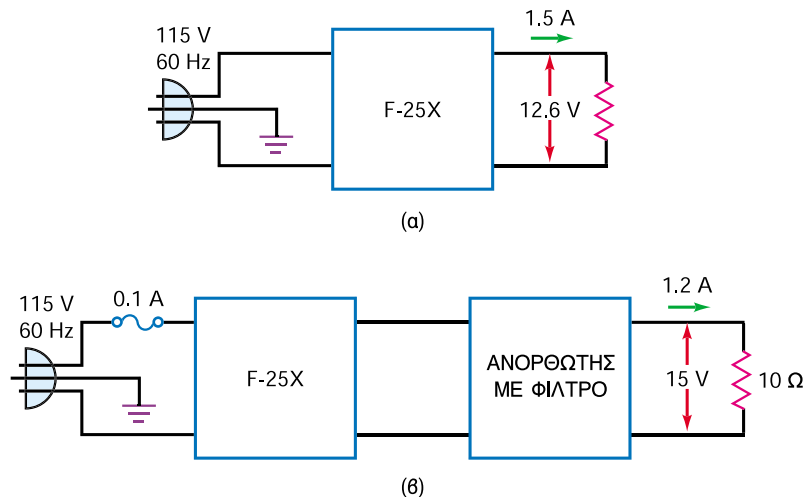
Πρόκειται για μια προσέγγιση, αφού ο υπολογισμένος λόγος των σπειρών μειώνεται όταν μειώνεται το ρεύμα φορτίου.

### ΕΙΝΑΙ ΚΑΛΟ ΝΑ ΓΝΩΡΙΖΕΤΕ ΟΤΙ

Όταν ένας μετασχηματιστής δεν έχει φορτίο, η τάση στο δευτερεύον έχει συνήθως μια τιμή που είναι 5 έως 10 % μεγαλύτερη από την ονομαστική της τιμή.

### ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΣ ΤΟ ΡΕΥΜΑ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Όταν ανιχνεύετε βλάβες, μπορεί να χρειαστεί να υπολογίσετε το ρεύμα πρωτεύοντος για να καθορίσετε αν η ασφάλεια επαρκεί ή όχι. Ο ευκολότερος τρόπος να το πετύχετε αυτό σε έναν πραγματικό μετασχημα-



Σχήμα 4-20 (α) Τιμές του πραγματικού μετασχηματιστή, (β) Υπολογισμός ρεύματος ασφάλειας.

τιστή είναι να υποθέσετε ότι η ισχύς εισόδου ισούται με την ισχύ εξόδου:  $P_{in} = P_{out}$ . Για παράδειγμα, το Σχ. 4-20β δείχνει ένα μετασχηματιστή με ασφάλεια, που οδηγεί έναν ανορθωτή με φίλτρο. Είναι η ασφάλεια των 0.1 A αρκετή;

Ακολουθεί ο τρόπος υπολογισμού του ρεύματος πρωτεύοντος όταν ανιχνεύετε βλάβες. Η ισχύς εξόδου ισούται με την dc ισχύ φορτίου:

$$P_{out} = VI = (15 \text{ V})(1.2 \text{ A}) = 18 \text{ W}$$

Αγνοείστε τις απώλειες ισχύος στον ανορθωτή και το μετασχηματιστή. Αφού η ισχύς εισόδου θα πρέπει να ισούται με την ισχύ εξόδου:

$$P_{in} = 18 \text{ W}$$

Αφού  $P_{in} = V_1 I_1$ , μπορούμε να λύσουμε ως προς το ρεύμα του πρωτεύοντος:

$$I_1 = \frac{18 \text{ W}}{115 \text{ V}} = 0.156 \text{ A}$$

Πρόκειται μόνο για μια εκτίμηση αφού αγνοήσαμε τις απώλειες ισχύος στο μετασχηματιστή και τον ανορθωτή. Το πραγματικό ρεύμα πρωτεύοντος θα είναι υψηλότερο κατά περίπου 5 ως 20%, λόγω αυτών των επιπλέον απωλειών. Σε κάθε περίπτωση, η ασφάλεια είναι ανεπαρκής. Θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 0.25 A.

### ΑΣΦΑΛΕΙΕΣ ΒΡΑΔΕΙΑΣ ΤΗΞΗΣ

Ας υποθέσουμε ότι χρησιμοποιείται φίλτρο εισόδου πυκνωτή στο Σχ. 4-20β. Αν χρησιμοποιήσουμε μια συνηθισμένη ασφάλεια των 0.25 A στο Σχ. 4-20β, αυτή θα καταστραφεί μόλις αρχίσει η τροφοδοσία. Ο λόγος είναι το επίρρευμα, που περιγράψαμε νωρίτερα. Τα περισσότερα τροφοδοτικά χρησιμοποιούν ασφάλειες βραδείας τήξης, οι οποίες μπορεί να αντέξουν προσωρινά την υπερφόρτωση ρεύματος. Για παράδειγμα, μια ασφάλεια βραδείας τήξης των 0.25A αντέχει

2 A για 0.1 s

1.5 A για 1 s

1 A για 2 s

κτλ. Με μια ασφάλεια βραδείας τήξης το κύκλωμα έχει χρόνο να φορτίσει τον πυκνωτή. Στη συνέχεια, το ρεύμα του πρωτεύοντος πέφτει στο κανονικό επίπεδο με την ασφάλεια ακόμη ανέπαφη.

### ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΣ ΤΟ ΡΕΥΜΑ ΤΗΣ ΔΙΟΔΟΥ

Είτε ο ημιανορθωτής φιλτράρεται είτε όχι, το μέσο ρεύμα μέσω της διόδου θα πρέπει να ισούται με το dc ρεύμα φορτίου, επειδή υπάρχει μόνο μια διαδρομή ρεύματος. Ο τύπος λοιπόν είναι:

$$\text{Ημικόμμα: } I_{diode} = I_{dc} \quad (4-15)$$

Από την άλλη, το μέσο ρεύμα μέσω της διόδου στον ανορθωτή πλήρους κύματος ισούται μόνο με το μισό του dc ρεύματος φορτίου, γιατί υπάρχουν δύο διόδοι στο κύκλωμα, στις οποίες μοιράζεται το φορτίο. Παρομοίως, κάθε διάδος στη γέφυρα ανόρθωσης θα πρέπει να αντέχει ένα μέσο ρεύμα ίσο με το μισό του dc ρεύματος φορτίου. Ο τύπος λοιπόν είναι:

$$\text{Πλήρες κύμα: } I_{diode} = 0.5I_{dc} \quad (4-16)$$

Ο Συνοπτικός Πίνακας 4-2 παρουσιάζει περιληπτικά τις ιδιότητες των τριών ανορθωτών με φίλτρο πυκνωτή εισόδου.

### ΔΙΑΒΑΖΟΝΤΑΣ ΤΙΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Αναφερθείτε στο φυλλάδιο προδιαγραφών μιας 1N4001 στο Κεφ. 3, Σχ. 3-16. Η μέγιστη τιμή κορυφής της επαναλαμβανόμενης ανάστροφης τάσης, που συμβολίζεται σαν  $V_{RRM}$  στο φυλλάδιο προδιαγραφών,

**Πίνακας 4-2. Ανορθωτές με Φίλτρο Πυκνωτή Εισόδου**

	<i>Ημιάμα</i>	<i>Πλήρες κύμα</i>	<i>Γέφυρα</i>
Αριθμός διόδων	1	2	4
Είσοδος ανορθωτή	$V_{ρ(2)}$	$0.5 V_{ρ(2)}$	$V_{ρ(2)}$
Έξοδος DC (ιδανική)	$V_{ρ(2)}$	$0.5 V_{ρ(2)}$	$V_{ρ(2)}$
Έξοδος DC (2 <sup>η</sup> )	$V_{ρ(2)} - 0.7V$	$0.5 V_{ρ(2)} - 0.7V$	$V_{ρ(2)} - 1.4V$
Συχνότητα Κυμάτωσης	$f_{in}$	$2f_{in}$	$2f_{in}$
PIV	$2V_{ρ(2)}$	$V_{ρ(2)}$	$V_{ρ(2)}$
Ρεύμα διόδου	$I_{dc}$	$0.5I_{dc}$	$0.5I_{dc}$

\* $V_{ρ(2)}$  = τάση κορυφής του δευτερεύοντος.  $V_{P(out)}$  = τάση κορυφής εξόδου.  $I_{dc}$  = DC ρεύμα φορτίου.

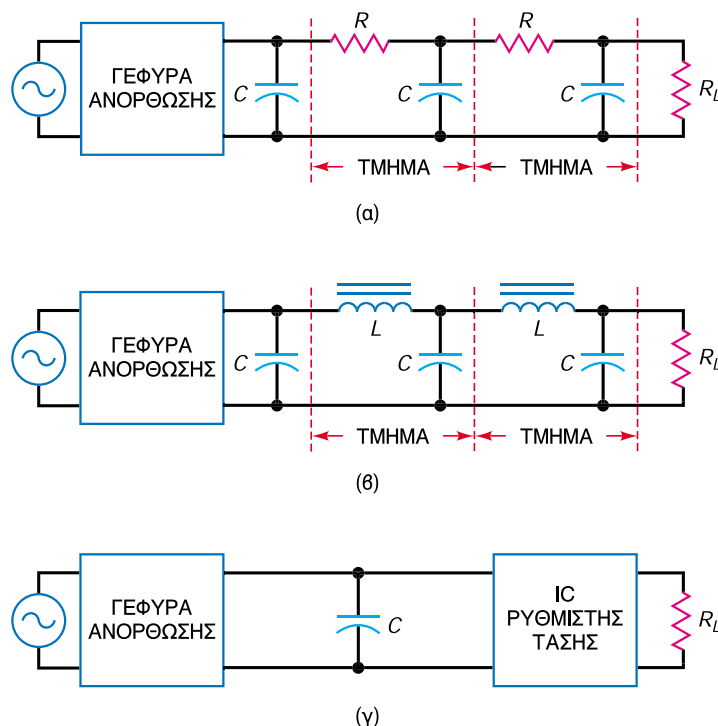
είναι ίδια με την τιμή κορυφής της ανάστροφης τάσης που συζητήθηκε προηγουμένως. Το φυλλάδιο προδιαγραφών μας ενημερώνει ότι η 1N4001 μπορεί ν' αντέξει μια τάση 50 V κατά την ανάστροφη φορά.

Το μέσο ανορθωμένο ορθό ρεύμα -  $I_{F(av)}$ ,  $I_{(max)}$ , ή  $I_0$  - είναι το dc ή μέσο ρεύμα μέσω της διόδου. Για έναν ημιανορθωτή, το ρεύμα διόδου ισούται με το dc ρεύμα φορτίου. Για έναν ανορθωτή πλήρους κύματος ή ανορθωτή γέφυρας, το ρεύμα αυτό ισούται με το μισό του dc ρεύματος φορτίου. Με βάση το φυλλάδιο προδιαγραφών μια 1N4001 μπορεί να έχει ένα dc ρεύμα 1 A, που σημαίνει ότι το dc ρεύμα φορτίου μπορεί να είναι μέχρι 2 A σε μια γέφυρα ανόρθωσης. Σημειώστε επίσης την τιμή του επιρρεύματος  $I_{FSM}$ . Όπως φαίνεται στο φυλλάδιο προδιαγραφών, μια 1N4001 μπορεί να αντέξει μέχρι 30 A κατά τη διάρκεια του πρώτου κύκλου, αφού ενεργοποιηθεί η παροχή ισχύος.

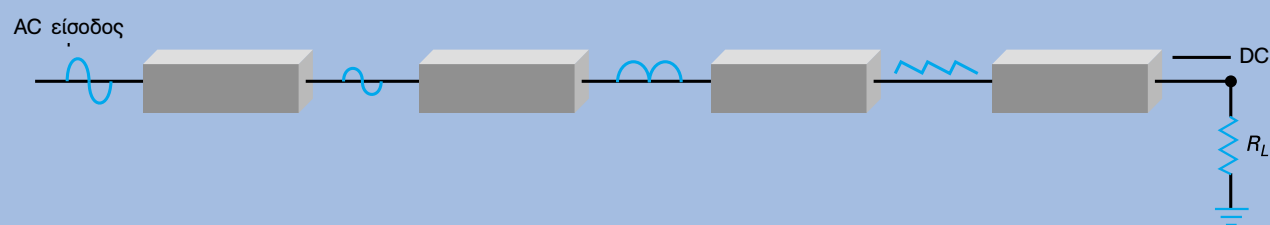
## ΦΙΛΤΡΑ RC

Πριν τη δεκαετία του 1970, τα παθητικά φίλτρα (από στοιχεία  $R$ ,  $L$ , και  $C$ ) συχνά συνδέονταν μεταξύ του ανορθωτή και της αντίστασης φορτίου. Στις μέρες μας, σπάνια θα δούμε να χρησιμοποιούνται παθητικά φίλτρα στα τροφοδοτικά των ημιαγωγών, αλλά μπορεί να τα βρούμε σε ειδικές εφαρμογές, όπως ακουστικοί ενισχυτές ισχύος.

Το Σχήμα 4-21α δείχνει μια γέφυρα ανόρθωσης με ένα φίλτρο πυκνωτή εισόδου. Συνήθως, ο σχεδιαστής ορίζει κυμάτωση p-p μέχρι 10% στα άκρα του πυκνωτή του φίλτρου. Ο λόγος για την προσπάθεια να



**Σχήμα 4-21** (α) RC φίλτρο, (β) LC φίλτρο, (γ) Φίλτρο ρυθμιστή τάσης.

**Πίνακας 4-3. Σχηματικό Διάγραμμα Τροφοδοτικών Ισχύος**


Σκοπός	Παρέχει κατάλληλη ac τάση στο δευτερεύον και ac μονωμένη γείωση	Αλλάζει την ac είσοδο σε περιοδική dc τάση	Εξομαλύνει τους dc παλμούς	Παρέχει σταθερή τάση εξόδου για διάφορα φορτία και ac εισόδους
Τύποι	Ανύψωση, Υποβιβασμός, Μόνωση (1:1)	Ημικύμα, Πλήρες κύμα, Πλήρες κύμα με γέφυρα	Είσοδος τσok, πυκνωτής εισόδου	Διακριτά στοιχεία, ολοκληρωμένα κυκλώματα (IC)

πετύχουμε όσο το δυνατόν μικρότερη κυμάτωση είναι ότι ο πυκνωτής του φίλτρου θα ήταν πολύ μεγάλος. Στη συνέχεια, παρέχεται επιπλέον φιλτράρισμα από τα τμήματα  $RC$  μεταξύ του πυκνωτή του φίλτρου και της αντίστασης φορτίου.

Τα τμήματα  $RC$  αποτελούν παραδείγματα παθητικών φίλτρων, που χρησιμοποιούν μόνον τα στοιχεία  $R$ ,  $L$ , και  $C$ . Σ' έναν προσεκτικό σχεδιασμό, η  $R$  θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την  $X_C$  στη συχνότητα κυμάτωσης. Συνεπώς, η κυμάτωση πέφτει στα άκρα των σε σειρά αντιστάσεων αντί του φορτίου, πριν φτάσει την αντίσταση φορτίου. Τυπικά, η  $R$  είναι τουλάχιστο δεκαπλάσια από την  $X_C$ . Αυτό σημαίνει ότι κάθε τμήμα εξασθενεί την κυμάτωση κατά ένα παράγοντα τουλάχιστον 10. Το κύριο μειονέκτημα του φίλτρου  $RC$  είναι η απώλεια dc τάσης στα άκρα κάθε  $R$ . Γι' αυτό, το φίλτρο  $RC$  είναι κατάλληλο μόνο για πολύ ελαφρά φορτία (μικρό ρεύμα φορτίου ή μεγάλη αντίσταση φορτίου).

### ΦΙΛΤΡΑ LC

Όταν το ρεύμα φορτίου είναι μεγάλο, τα φίλτρα  $LC$  του Σχ. 4-21β είναι μια βελτίωση των φίλτρων  $RC$ . Πάλι, η ιδέα είναι η πτώση της κυμάτωσης στα άκρα των σε σειρά στοιχείων, σ' αυτή την περίπτωση, των αυτεπαγωγών. Αυτό πετυχαίνεται κάνοντας την  $X_L$  πολύ μεγαλύτερη από την  $X_C$ . Με αυτό τον τρόπο, η κυμάτωση μπορεί να ελαττωθεί σε εξαιρετικά χαμηλές στάθμες. Η πτώση dc τάσης στα άκρα των αυτεπαγωγών είναι πολύ μικρότερη απ' ότι στα άκρα των  $RC$  τμημάτων διότι η αντίσταση των περιελίξεων είναι μικρότερη.

Το φίλτρο  $LC$  ήταν κάποτε πολύ δημοφιλές. Τώρα, έχει παραγκωνιστεί σε τυπικές τροφοδοσίες ισχύος λόγω του μεγέθους και του κόστους των αυτεπαγωγών. Στις τροφοδοσίες ισχύος χαμηλής τάσης, το φίλτρο  $LC$  έχει αντικατασταθεί από ολοκληρωμένα κυκλώματα ( $IC$ ). Πρόκειται για μια συσκευή που περιλαμβάνει διόδους, transistors, αντιστάσεις και άλλα εξαρτήματα σε μικρή θήκη για την εκτέλεση ειδικών λειτουργιών.

Το Σχ. 4-21γ παρουσιάζει την ιδέα αυτή. Ένας  $IC$  ρυθμιστής τάσης ( $IC$  voltage regulator), ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, βρίσκεται ανάμεσα στον πυκνωτή του φίλτρου και στην αντίσταση φορτίου. Η συσκευή αυτή δεν μειώνει απλώς την κυμάτωση, αλλά διατηρεί σταθερή και την τάση εξόδου. Θα σχολιάσουμε τους  $IC$  ρυθμιστές τάσης σε ένα από τα κεφάλαια που ακολουθούν. Λόγω του χαμηλού τους κόστους, οι  $IC$  ρυθμιστές τάσης αποτελούν στις μέρες μας την κλασική μέθοδο της μείωσης της κυμάτωσης.

### **ΕΙΝΑΙ ΚΑΛΟ ΝΑ ΓΝΩΡΙΖΕΤΕ ΟΤΙ**

Ένα φίλτρο κατασκευασμένο από αυτεπαγωγή τοποθετημένη ανάμεσα σε δύο πυκνωτές συχνά ονομάζεται φίλτρο π.

### 4-9 Ανίχνευση Βλαβών

Σχεδόν κάθε ηλεκτρονικό εξάρτημα έχει τροφοδοσία ισχύος, συνήθως έναν ανορθωτή που οδηγεί ένα φίλτρο πυκνωτή εισόδου, ακολουθούμενο από ένα ρυθμιστή τάσης (θα σχολιαστεί αργότερα). Αυτή η

τροφοδοσία παρέχει dc τάσεις που χρειάζονται τα transistors και άλλες διατάξεις. Αν ένα εξάρτημα του ηλεκτρονικού κυκλώματος δεν λειτουργεί σωστά, το πρώτο πράγμα που πρέπει να ελεγχθεί είναι η dc τάση εξόδου της τροφοδοσίας. Πολύ συχνά, οι βλάβες των εξαρτημάτων οφείλονται σε προβλήματα τροφοδοσίας.

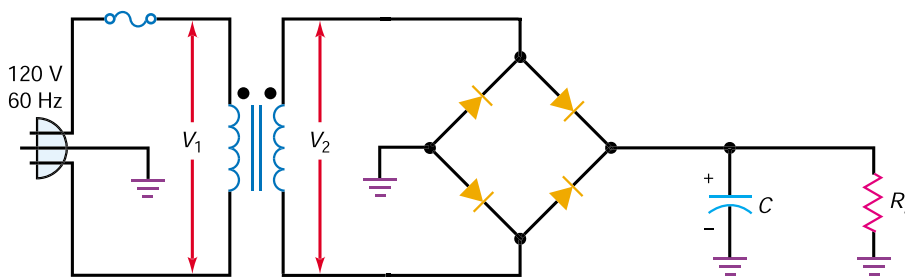
## ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Ας υποθέσουμε ότι ανιχνεύετε τις βλάβες στο κύκλωμα του Σχ. 4-22. Μπορείτε ν' αρχίσετε μετρώντας την dc τάση φορτίου. Θα πρέπει να είναι περίπου η ίδια με την τάση κορυφής του δευτερεύοντος. Αν όχι, μπορείτε να κάνετε δύο πράγματα.

Πρώτον, αν δεν υπάρχει τάση φορτίου, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε ένα πλωτό βολτόμετρο ή ψηφιακό πολύμετρο (floating VOM ή DMM) για τη μέτρηση της δευτερεύουσας τάσης (ac περιοχή). Η ένδειξη αυτή είναι η rms τάση στα άκρα του δευτερεύοντος πηνίου.

Μπορείτε να υπολογίσετε την τιμή κορυφής αν προσθέσετε 40% στην rms τιμή. Αν αυτή είναι κανονική, τότε μπορεί να έχουν πρόβλημα οι διόδοι. Αν δεν υπάρχει τάση δευτερεύοντος, είτε έχει καεί η ασφάλεια ή ο μετασχηματιστής παρουσιάζει πρόβλημα.

Δεύτερον, αν υπάρχει dc τάση φορτίου, αλλά είναι μικρότερη απ' ό,τι θα έπρεπε, κοιτάξτε την dc τάση φορτίου μ' έναν παλμογράφο και μετρήστε την κυμάτωση. Μια κυμάτωση p-p περίπου 10% της ιδανικής τάσης φορτίου είναι λογική. Η κυμάτωση μπορεί να είναι ελαφρώς μεγαλύτερη ή μικρότερη από αυτήν, ανάλογα με το σχέδιο. Ακόμη, η συχνότητα κυμάτωσης θα πρέπει να είναι 120 Hz για έναν ανορθωτή πλήρους κύματος ή μια γέφυρα ανόρθωσης. Αν η κυμάτωση είναι 60 Hz, μια από τις διόδους μπορεί να είναι ανοιχτή.



Σχήμα 4-22 Ανίχνευση βλαβών.

## ΣΥΝΗΘΙΣΜΕΝΕΣ ΒΛΑΒΕΣ

Ακολουθούν οι πιο συνηθισμένες βλάβες που δημιουργούνται στις γέφυρες ανόρθωσης με φίλτρα πυκνωτή εισόδου:

1. Αν η ασφάλεια είναι ανοιχτή, δεν θα υπάρχουν τάσεις σε κανένα σημείο του κυκλώματος.
2. Αν ο πυκνωτής του φίλτρου είναι ανοιχτός, η dc τάση φορτίου θα είναι χαμηλή, επειδή η έξοδος θα είναι ένα σήμα πλήρους κύματος που δεν φιλτραρίστηκε.
3. Αν μια από τις διόδους είναι ανοιχτή, η dc τάση φορτίου θα είναι χαμηλή, επειδή θα έχουμε μόνον ημιανόρθωση. Επίσης, η συχνότητα κυμάτωσης θα είναι 60 Hz αντί για 120 Hz (Στην Ε.Ε είναι 50 Hz και 100 Hz). Αν όλες οι διόδους είναι ανοιχτές, δε θα έχουμε έξοδο.
4. Αν το φορτίο είναι βραχυκυκλωμένο, η ασφάλεια θα είναι καμένη. Πιθανόν να καταστραφούν μια ή περισσότερες διόδους ή ο μετασχηματιστής.
5. Μερικές φορές ο πυκνωτής του φίλτρου παρουσιάζει διαρροές με την πάροδο του χρόνου, κάτι που μειώνει την dc τάση φορτίου.
6. Σπάνια, τα βραχυκυκλωμένα πηνία του μετασχηματιστή μειώνουν την dc τάση εξόδου. Στην περίπτωση αυτή, ο μετασχηματιστής συχνά υπερθερμαίνεται.
7. Εκτός από αυτές τις βλάβες, μπορεί να έχουμε γέφυρες από συγκολλήσεις, συνδέσεις ψυχρής συγκόλλησης, κακές συνδέσεις και άλλα.

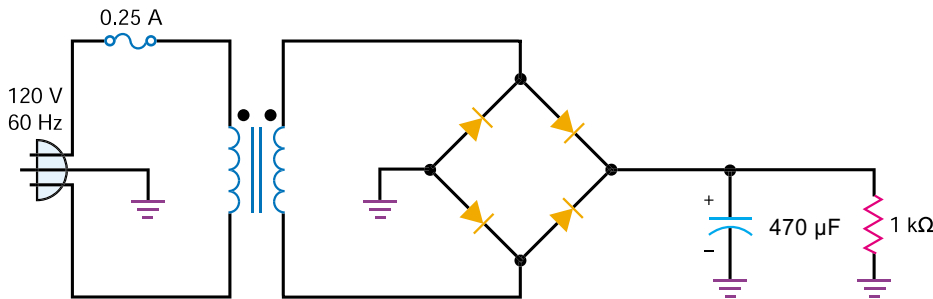
Ο Πίνακας 4-4 παρουσιάζει περιληπτικά τις βλάβες αυτές και τα συμπτώματά τους.

**Συνοπτικός Πίνακας 4-4. Συνηθισμένες Βλάβες Γέφυρας Ανόρθωσης με Φίλτρο Πυκνωτή Εισόδου**

	$V_1$	$V_2$	$V_{L(dc)}$	$V_R$	$f_{ripple}$	Σύμπτωμα
Καμένη ασφάλεια	0	0	0	0	0	δεν υπάρχει έξοδος
Ανοιχτός πυκνωτής	OK	OK	Χαμ.	Υψηλ.	120 Hz	πλήρες σήμα
Μία δίοδος ανοιχτή	OK	OK	Χαμ.	Υψηλ.	60 Hz	ημικυματώση
Όλες οι διόδους ανοιχτές	OK	OK	0	0	0	δεν υπάρχει έξοδος
Βραχυκ/νο φορτίο	0	0	0	0	0	δεν υπάρχει έξοδος
Διαρροή πυκνωτή	OK	OK	Χαμ.	Υψηλ.	120 Hz	χαμηλή έξοδος
Βραχυκλωμένα πηνία	OK	Χαμ.	Χαμ.	OK	120 Hz	χαμηλή έξοδος

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4-11**

Όταν το κύκλωμα του Σχ. 4-23 λειτουργεί κανονικά, έχει rms τάση δευτερεύοντος ίση με 12.7 V, τάση φορτίου 18 V, και κυμάτωση p-p 318 mV. Αν ο πυκνωτής του φίλτρου είναι ανοιχτός, τι συμβαίνει στην dc τάση φορτίου;



Σχήμα 4-23

**Λύση:**

Μ' έναν ανοιχτό πυκνωτή φίλτρου, το κύκλωμα μετατρέπεται σε γέφυρα ανόρθωσης χωρίς πυκνωτή φίλτρου. Επειδή δεν γίνεται φιλτράρισμα, ένας παλμογράφος στα άκρα του φορτίου θα εμφανίζει σήμα πλήρους κύματος με τιμή κορυφής 18 V. Η μέση τιμή είναι το 63.6% των 18 V, που είναι 11.4 V.

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4-12**

Ας υποθέσουμε ότι η αντίσταση φορτίου του Σχ. 4-23 είναι βραχυκυκλωμένη. Περιγράψτε τα συμπτώματα.

**Λύση:**

Ένα βραχυκύκλωμα στην αντίσταση φορτίου θα αυξήσει το ρεύμα σε πολύ υψηλή τιμή. Κάτι τέτοιο θα κάψει την ασφάλεια. Επιπλέον, μπορεί μια ή περισσότερες διόδους να καταστραφούν πριν καεί η ασφάλεια. Συχνά όταν βραχυκυκλώνεται μία δίοδος, αυτό προκαλεί το να βραχυκυκλωθούν και άλλες διόδους του ανορθωτή. Λόγω της καμένης ασφάλειας, όλες οι τάσεις θα είναι ίσες με μηδέν. Όταν ελέγχουμε την ασφάλεια οπτικά ή με ένα ωμόμετρο, φαίνεται ότι είναι ανοιχτή.

Χωρίς να έχουμε τροφοδοσία, θα πρέπει να ελέγξουμε τις διόδους με ένα ωμόμετρο, για να δούμε αν κάποια από αυτές είναι κατεστραμμένη. Επίσης, θα πρέπει να μετρήσουμε και την αντίσταση φορτίου με το ωμόμετρο. Αν αυτή είναι μηδέν ή πολύ χαμηλή, θα πρέπει να προσδιορίσουμε και άλλες βλάβες.

Η βλάβη θα μπορούσε να είναι μια γέφυρα από συγκολλήσεις στα άκρα της αντίστασης φορτίου, λανθασμένη σύνδεση καλωδίων, ή ένα σωρό άλλες αιτίες. Οι ασφάλειες καίγονται σπάνια αν δεν έχουμε βραχυκύκλωμα στα άκρα του φορτίου. Το σημαντικό όμως είναι το εξής: Όταν καεί μια ασφάλεια, ελέγξτε τις διόδους για πιθανή βλάβη και την αντίσταση φορτίου για πιθανό βραχυκύκλωμα.

Μία άσκηση ανίχνευσης βλαβών στο τέλος του κεφαλαίου έχει οχτώ διαφορετικές βλάβες, συμπεριλαμβανομένων ανοιχτών διόδων, πυκνωτών φίλτρου, βραχυκυκλωμένων φορτίων, καμένων ασφαλειών και ανοιχτών γειώσεων.