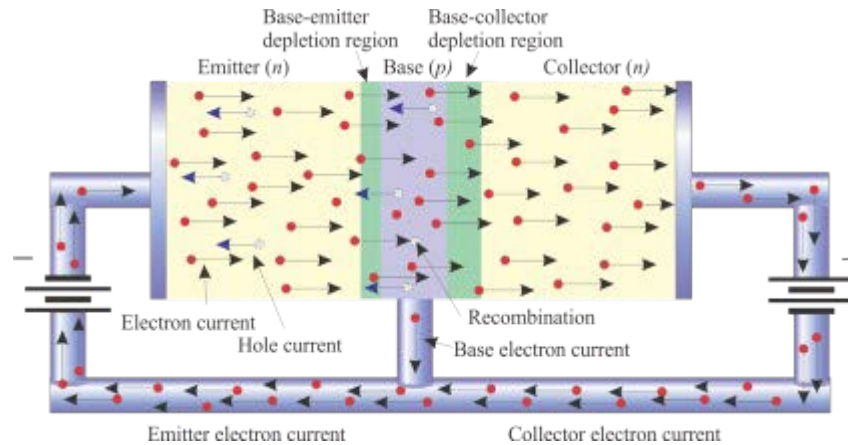




# Εφαρμογές Διόδων

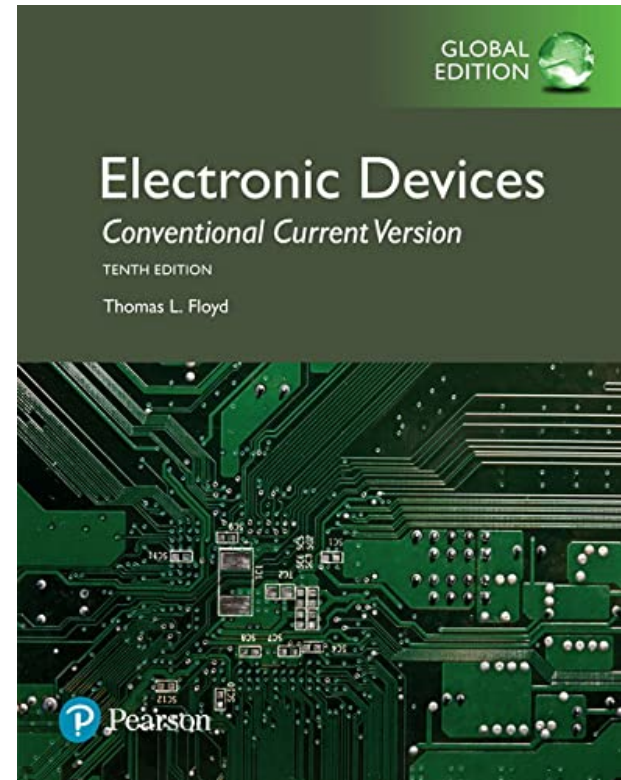
## Επιμέλεια

### Δρ Γ. Βερόπουλος



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ :

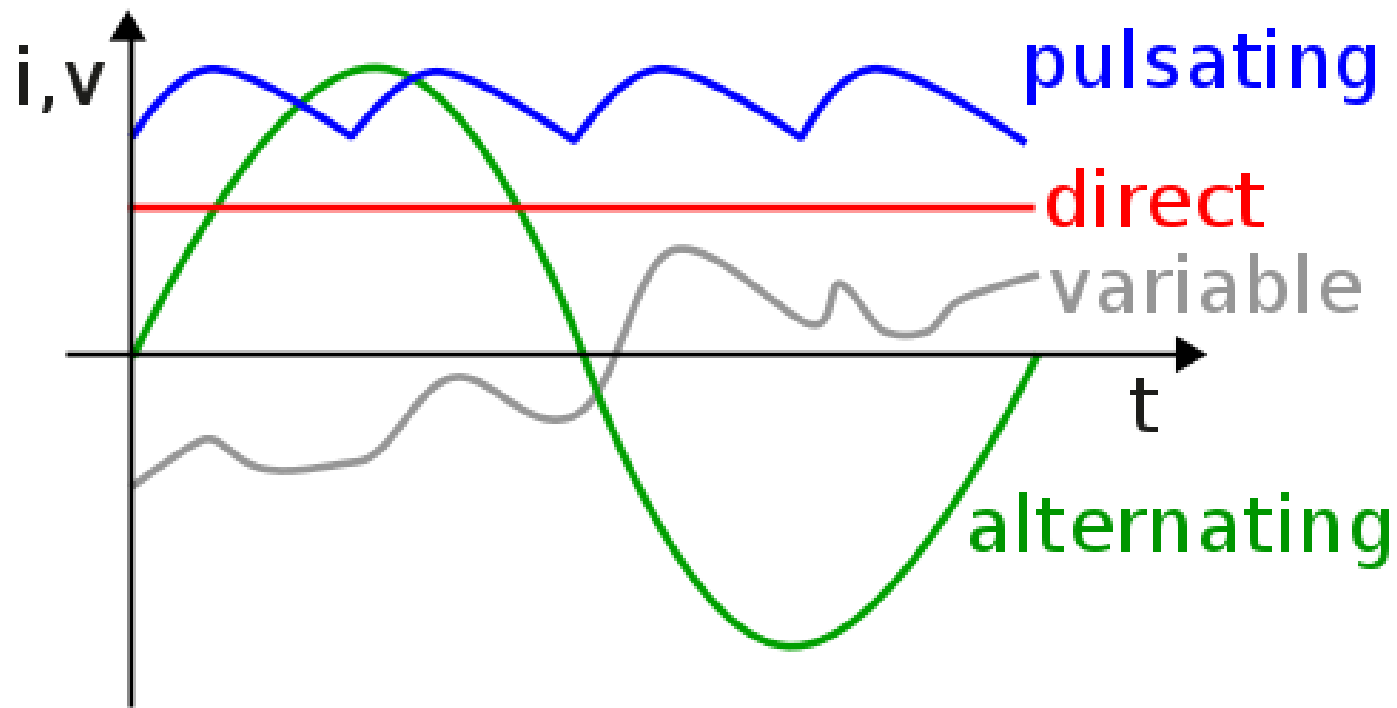
- Ηλεκτρονικά Ι  
Επ. Καθηγητής Γαύρος Κωνσταντίνος ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ
- [https://liaperdos.gr/public/intro\\_to\\_electronics/xhtml/chapter\\_02.xml#section\\_02\\_06\\_01](https://liaperdos.gr/public/intro_to_electronics/xhtml/chapter_02.xml#section_02_06_01)
- Electronics Device Floyd, Pearson Tenth Edition



# Γενικά

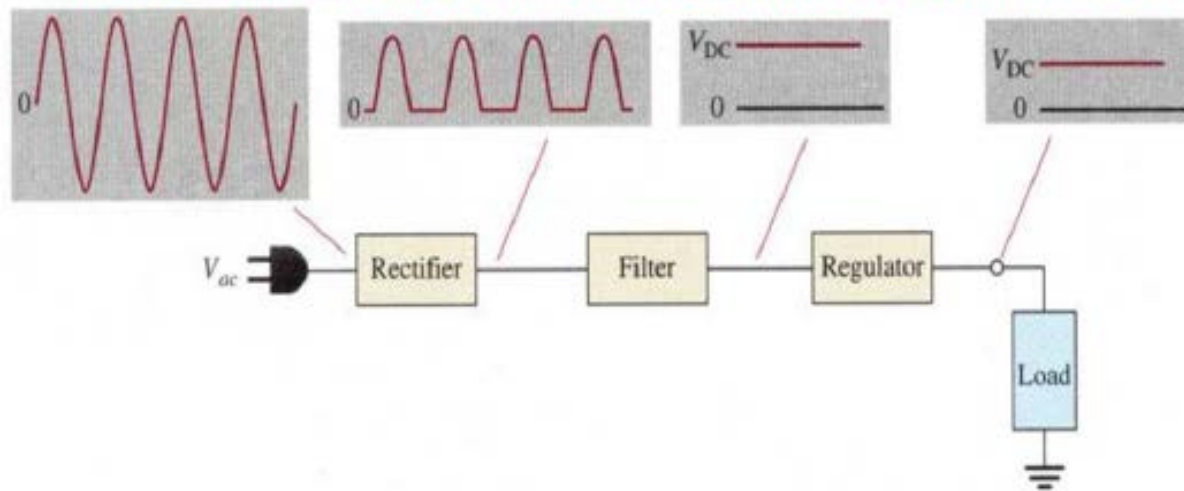
- ▶ Οι δίοδοι χρησιμοποιούνται σε κυκλώματα που ονομάζονται **ανορθωτές (rectifiers)** τα οποία μετατρέπουν την ac τάση σε dc τάση. Η διαδικασία αυτή λέγεται ανόρθωση.(Χάρη στην ικανότητά της να άγει το ρεύμα στη μία κατεύθυνση και να το εμποδίζει στην αντίθετη)
- ▶ Οι ανορθωτές βρίσκονται σε όλα τα **dc τροφοδοτικά (dc power supplies)** τα οποία μετατρέπουν την καθορισμένη ac τάση των 220 V, 50 Hz σε σταθερή dc τάση.
- ▶ Τα **τροφοδοτικά** αποτελούν ένα βασικό τμήμα όλων των ηλεκτρονικών συστημάτων από τα απλούστερα ως τα πλέον σύνθετα (τηλεοράσεις, συστήματα ήχου, Video, CD και εργαστηριακά όργανα).

# Είδη ρευμάτων



- ▶ Το βασικό τροφοδοτικό dc περιλαμβάνει τα εξής τμήματα:
- ▶ τον ανορθωτή (rectifier) που μετατρέπει την ac τάση σε dc.
- ▶ το φίλτρο (filter) που περιορίζει τις διακυμάνσεις της ανορθωμένης τάσης και παράγει μια σχετικά ομαλή τάση.

Περιγραφικό διάγραμμα (block diagram) ενός τροφοδοτικού dc.



- ▶ Τον σταθεροποιητή τάσης (regulator) ο οποίος διατηρεί την dc τάση σταθερή ανεξάρτητα από τις μεταβολές στην τάση εισόδου ή τις μεταβολές στο φορτίο.
- ▶ Ο ημιανορθωτής είναι μια διάταξη διόδου που επιτρέπει τη θετική(ή αρνητική ) και αποκόπτει την αρνητική (ή θετική ) ημι-περίοδο μιας ac ημιτονοειδούς τάσης

# Εναλλασσόμενη τάση

- ▶ Κάθε σήμα τάση χαρακτηρίζεται από την μέση τιμή  $V_{avg}$ , και ενεργό τιμή  $V_{rms}$
- ▶ Γενικά για ένα περιοδικό σήμα  $v(t)$  η μέση τιμή

$$V_{avg} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt = \frac{Area}{T}$$

Area= Το εμβαδόν ( αλγεβρικά) μεταξύ του  $v(t)$  και του άξονα  $t$ .

Είναι η τάση που μετράμε με ένα πολύμετρο όταν το θέσουμε το πολύμετρο στην κλιμακα DC.

Ενώ η rms ορίζεται από την σχέση

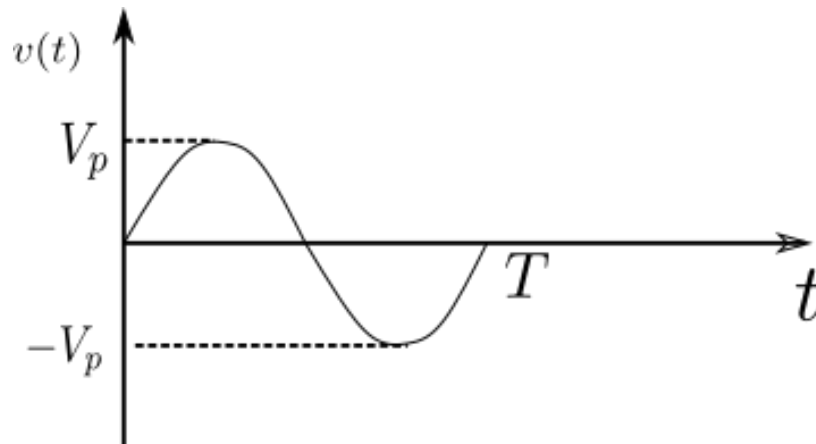
$$V_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [v(t)]^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \text{Area} (v^2(t))}$$

Είναι η τάση που μετράμε με ένα πολύμετρο όταν θέσουμε το πολύμετρο στην κλιμακα AC.

Για την ημιτονική εναλλασσόμενη τάση

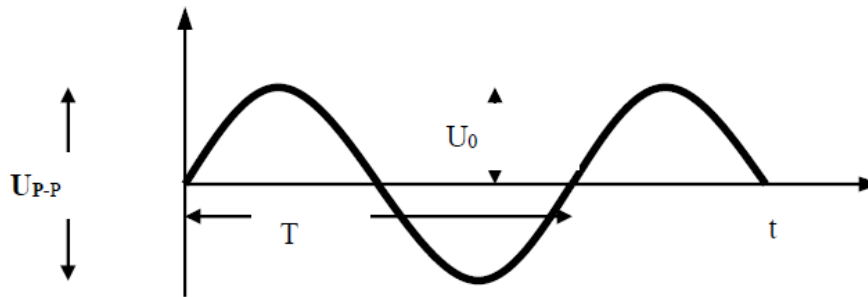
$$V_{\text{avg}} = 0$$

$$V_{\text{rms}} = \frac{V_P}{\sqrt{2}}$$





# Περιγραφή εναλλασσόμενης τάσης



Ενεργός  
τιμή:

$$U_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T U^2(t) dt}$$

Τιμή από κορυφή σε κορυφή (peak-to-peak):  $U_{P-P} = |U_{MAX}(t) - U_{MIN}(t)|$

Μέση ανορθωμένη τιμή ή Μέση τιμή:  $U_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt$

Για ημιτονοειδή κυματομορφή:

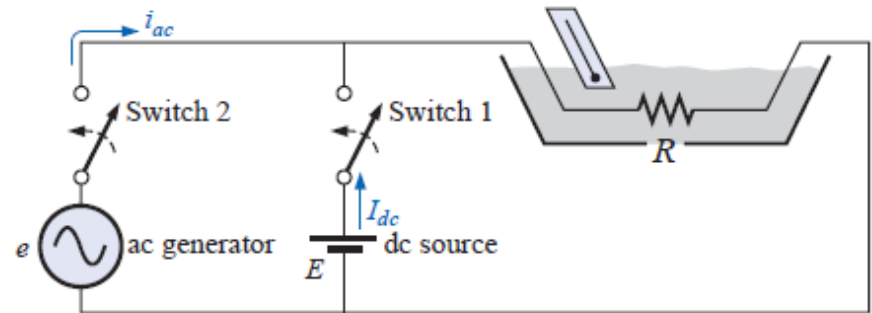
$$U_{rms} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$$

Για πριονωτή κυματομορφή:

$$U_{rms} = \frac{U_{pp}}{2 \times \sqrt{3}}$$

# Ενεργός Τιμή (φυσική σημασία)

Ενεργός τιμή της έντασης του εναλλασσόμενου ρεύματος είναι η ένταση εκείνη του συνεχούς ρεύματος που αν περάσει μέσα από την ίδια ωμική αντίσταση, στο ίδιο χρονικό διάστημα (T), δίνει τα ίδια αποτελέσματα με το εναλλασσόμενο ρεύμα.



$$P_{av(ac)} = P_{dc}$$

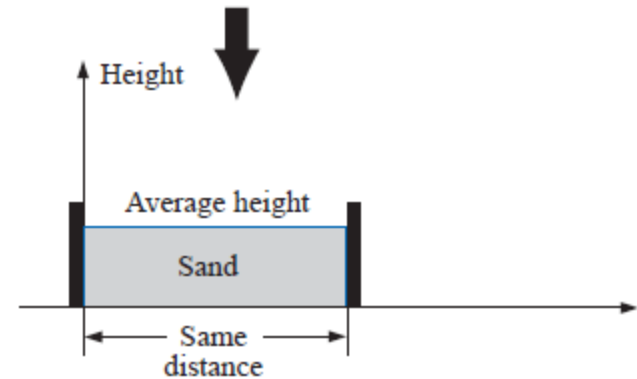
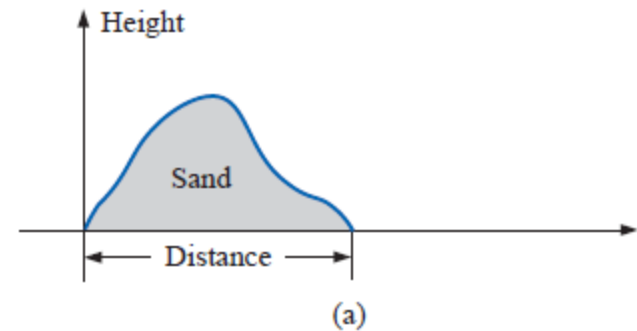
$$\frac{I_m^2 R}{2} = I_{dc}^2 R \quad \text{and} \quad I_m = \sqrt{2} I_{dc}$$

$$I_{dc} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m$$

# Μέση τιμή

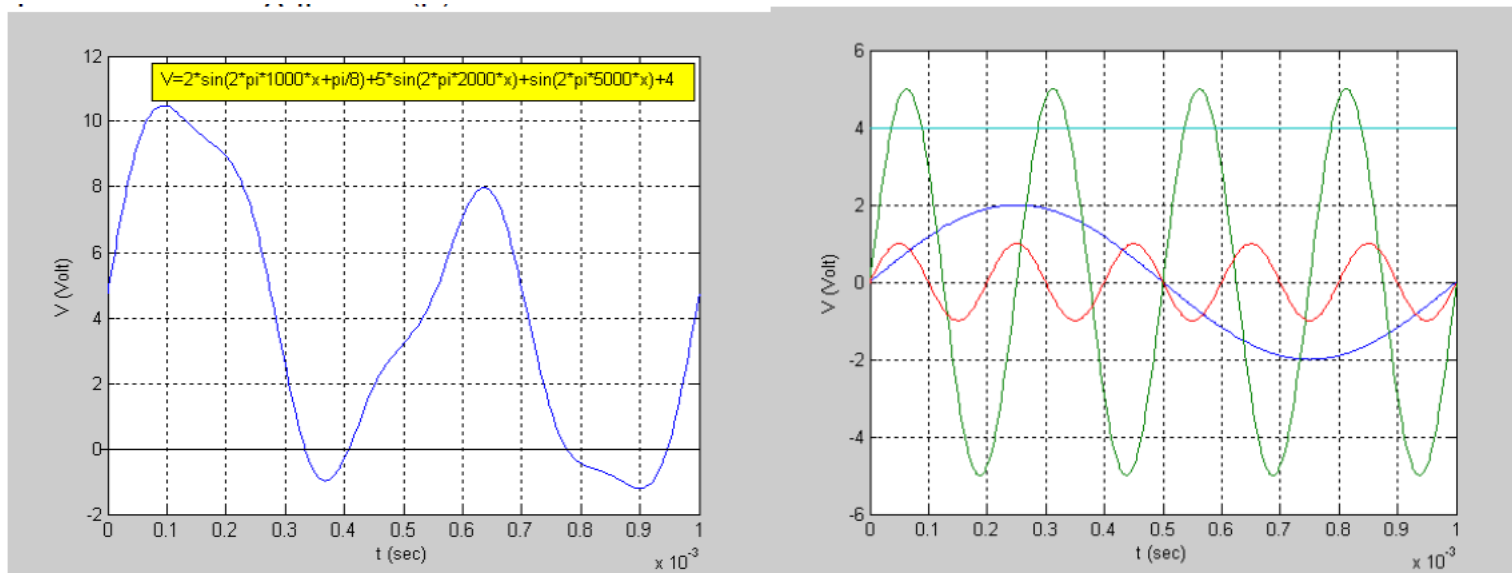
Για παράδειγμα το μέσο ύψος ενός λόφου από άμμο

$$\text{Μέσο ύψος} = \frac{\text{Εμβαδόν}}{\text{απόσταση}}$$



# Μετασχηματισμός Fourier

Οποιοδήποτε σήμα, περιοδικό ή μη, όπως αυτό του σχήματος, μπορεί να αναπαρασταθεί τέλεια από ένα άθροισμα πεπερασμένων ημιτονικών σημάτων. Δεχόμαστε λοιπόν ότι ένα σήμα αποτελείται από ένα ή περισσότερα ημίτονα συγκεκριμένου πλάτους και συχνότητας, τα οποία (επιμέρους ημίτονα) ας τα καλούμε **συνιστώσες** όπως φαίνονται στο σχήμα.



(α) Ένα τυχαίο σήμα. (β) Τέσσερα διαφορετικά σήματα συναρτήσεως του χρόνου, (απόκριση χρόνου) στο ίδιο διάγραμμα. Η σύνθεση αυτών των σημάτων δημιουργεί το σήμα του σχήματος.

# Μετασχηματισμός Fourier

Ανάλυση σε σειρά Fourier ημιανορθωμένου σήματος:

$$V = V_0 \left( \frac{1}{\pi} + \frac{1}{2} \eta \mu \omega t - \frac{2}{3\pi} \sigma \upsilon \nu 2\omega t - \frac{2}{15\pi} \sigma \upsilon \nu 4\omega t - \frac{2}{35\pi} \sigma \upsilon \nu 6\omega t - \dots \right)$$

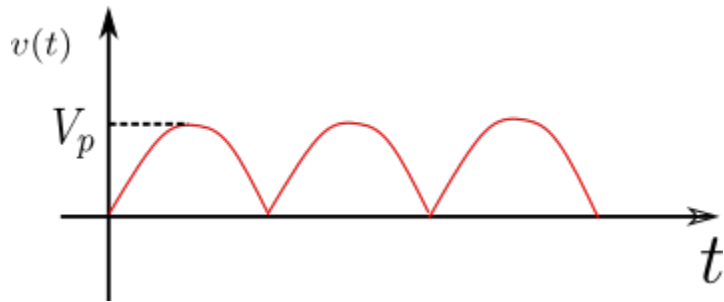
$$V_{DC} = \frac{V_0}{\pi}$$

$$V_{AC} = V_0 \left( \frac{1}{2} \eta \mu \omega t - \frac{2}{3\pi} \sigma \upsilon \nu 2\omega t - \frac{2}{15\pi} \sigma \upsilon \nu 4\omega t - \frac{2}{35\pi} \sigma \upsilon \nu 6\omega t - \dots \right) \dots$$

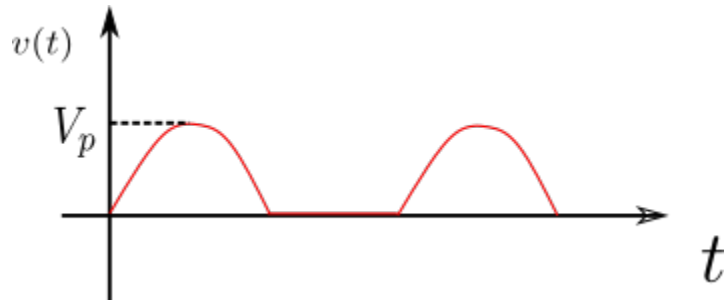
Ανάλυση σε σειρά Fourier πλήρως ανορθωμένου σήματος:

$$V = V_0 \left( \frac{2}{\pi} - \frac{4}{3\pi} \sigma \upsilon \nu 2\omega t - \frac{4}{15\pi} \sigma \upsilon \nu 4\omega t - \frac{4}{35\pi} \sigma \upsilon \nu 6\omega t - \dots \right)$$

$$V_{DC} = \frac{2 \times V_0}{\pi} \text{ και } V_{AC\text{-επικρατέστερο}} = \frac{4}{3\pi} \sigma \upsilon \nu 2\omega t$$



$$V_{avg} = \frac{2V_p}{\pi}, \quad V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$$



$$V_{avg} = \frac{V_p}{\pi}, \quad V_{rms} = \frac{V_p}{2}$$

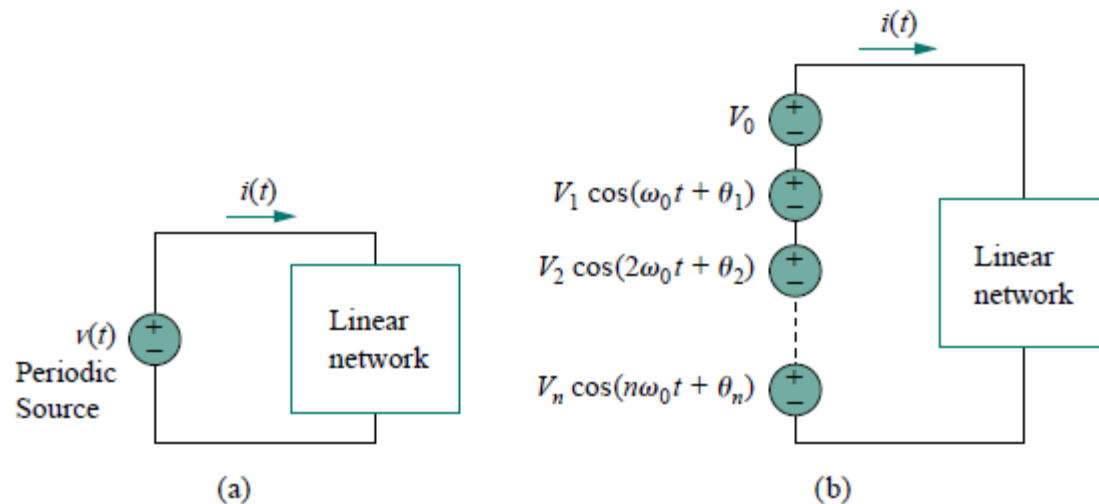
# Ανάλυση fourier και απόκριση

Όταν το κύκλωμα διεγείρεται από ένα σήμα που είναι ημτονικό αλλά περιοδικό τότε μπορεί να γραφεί σε σειρά Fourier

$$v(t) = \underbrace{V_{dc}}_{dc} + \sum_{N=1}^{\infty} \underbrace{V_n \cos(n\omega_0 t + \theta_n)}_{ac}$$

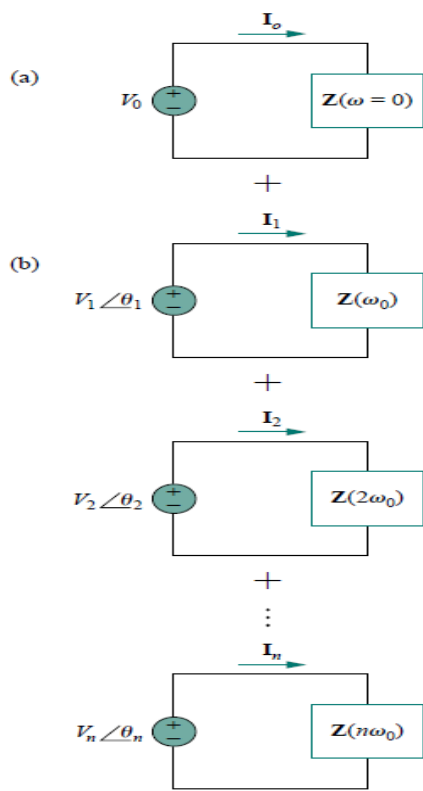
Όπου  $V_0$  η συνέχης συνιστώσα και οι αρμονικές συνιστώσες  $V_n \angle \theta_n$  ( όροι ac)

Εάν η τάση  $v(t)$  εφαρμοστεί σε ένα τυχαίο γραμμικό κύκλωμα τότε το κύκλωμα είναι σαν να διεγείρεται από άπειρες ανεξαρτητες πηγές.



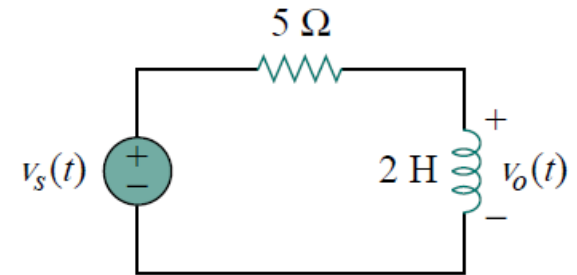
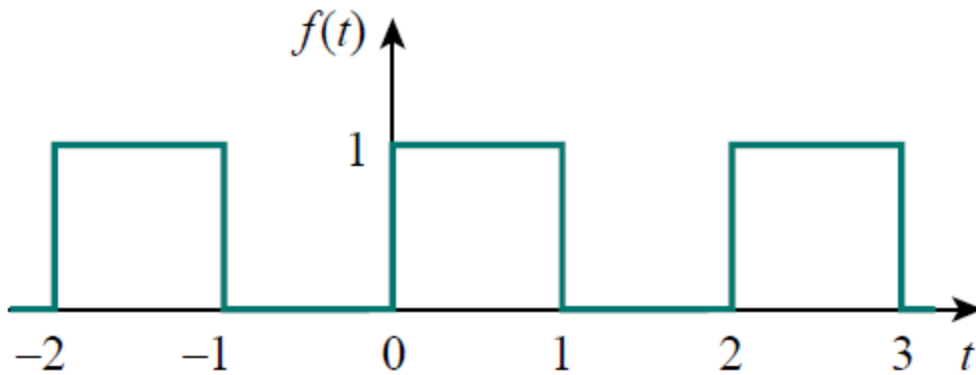


Μπορούμε να υπολογίσουμε την διέγερση ( το ρεύμα) που δημιουργείται από κάθε πηγή-όρο της σειράς Fourier



# Εφαρμογή 1

Στην είσοδο ενός κυκλώματος RL εφαρμόζεται το σήμα.  
Να σχεδιαστεί το φάσμα της τάσης.



$$v_s(t) = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin n\pi t, \quad n = 2k - 1$$

where  $\omega_n = n\omega_0 = n\pi$  rad/s. Using phasors, we obtain the response  $\mathbf{V}_o$  in the circuit of Fig. 16.20 by voltage division:

$$\mathbf{V}_o = \frac{j\omega_n L}{R + j\omega_n L} \mathbf{V}_s = \frac{j2n\pi}{5 + j2n\pi} \mathbf{V}_s$$

For the dc component ( $\omega_n = 0$  or  $n = 0$ )

$$\mathbf{V}_s = \frac{1}{2} \implies \mathbf{V}_o = 0$$

This is expected, since the inductor is a short circuit to dc. For the  $n$ th harmonic,

$$\mathbf{V}_s = \frac{2}{n\pi} \angle -90^\circ \quad (16.6.1)$$

and the corresponding response is

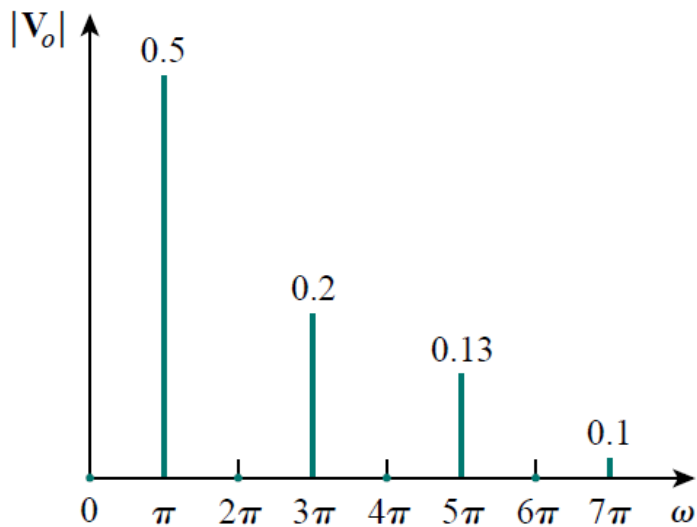
$$\begin{aligned} \mathbf{V}_o &= \frac{\frac{2n\pi \angle 90^\circ}{\sqrt{25 + 4n^2\pi^2}} \frac{2}{n\pi} \angle -90^\circ}{\angle \tan^{-1} 2n\pi/5} \\ &= \frac{4 \angle -\tan^{-1} 2n\pi/5}{\sqrt{25 + 4n^2\pi^2}} \end{aligned} \quad (16.6.2)$$

In the time domain,

$$v_o(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{4}{\sqrt{25 + 4n^2\pi^2}} \cos\left(n\pi t - \tan^{-1} \frac{2n\pi}{5}\right), \quad n = 2k - 1$$

The first three terms ( $k = 1, 2, 3$  or  $n = 1, 3, 5$ ) of the odd harmonics in the summation give us

$$\begin{aligned} v_o(t) &= 0.4981 \cos(\pi t - 51.49^\circ) + 0.2051 \cos(3\pi t - 75.14^\circ) \\ &\quad + 0.1257 \cos(5\pi t - 80.96^\circ) + \dots \text{ V} \end{aligned}$$



# Εφαρμογή 2

Σε κύκλωμα γέφυρας διόδων η πηγή ac έχει  $V_m = 100V$  και  $f=60Hz$ . Το φορτίο έχει τιμές  $R=10\Omega$  και  $L=10mH$ . α) Να βρεθεί το μέσο ρεύμα (dc) που διαρρέει το φορτίο β) Υπολογίστε το ρεύμα που οφείλεται στην τάση  $V_2$  (δεύτερη αρμονική) και στην  $V_4$  (τέταρτη αρμονική) γ) Βρείτε την ισχύ που απορροφά το φορτίο, δ) Το μέσο ρεύμα και το rms ρεύμα που διαρρέει κάθε δίοδο.

Το κυκλωμα είναι γραμμικό λόγω του συνδυασμού LR άρα η τάση dc δημιουργεί ρεύμα στο φορτίο

$$I = \frac{V_0}{R} = \frac{2V_m}{\pi R} = 6.37A$$

Οι τάσεις από την δεύτερη και τέταρτη αρμονική είναι

$$V_2 = \frac{2(100)}{\pi} \left( \frac{1}{1} - \frac{1}{3} \right) = 42.4 \text{ V}$$

$$V_4 = \frac{2(100)}{\pi} \left( \frac{1}{3} - \frac{1}{5} \right) = 8.49 \text{ V}$$

Άρα

$$I_2 = \frac{V_2}{|10 + j2(2\pi f)L|} = 3.39 \text{ A}$$

$$I_4 = \frac{V_4}{|10 + j4(2\pi f)L|} = 0.49 \text{ A}$$

Για να βρούμε την ισχύ πρέπει να βρούμε την rms του ανορθωμένου σήματος

$$\begin{aligned} I_{\text{rms}} &= \sqrt{\sum I_{n,\text{rms}}^2} \\ &= \sqrt{(6.37)^2 + \left(\frac{3.39}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{0.47}{\sqrt{2}}\right)^2 + \dots} \approx 6.81 \text{ A} \end{aligned}$$

$$P = I_{\text{rms}}^2 R = (6.81)^2 (10) = 464 \text{ W}$$

Ο παράγοντας ισχύος pf είναι

$$\text{pf} = \frac{P}{S} = \frac{P}{V_{s,\text{rms}} I_{s,\text{rms}}} = \frac{464}{\left(\frac{100}{\sqrt{2}}\right)(6.81)} = 0.964$$

δ)

$$I_{D,\text{avg}} = \frac{I_o}{2} = \frac{6.37}{2} = 3.19 \text{ A}$$

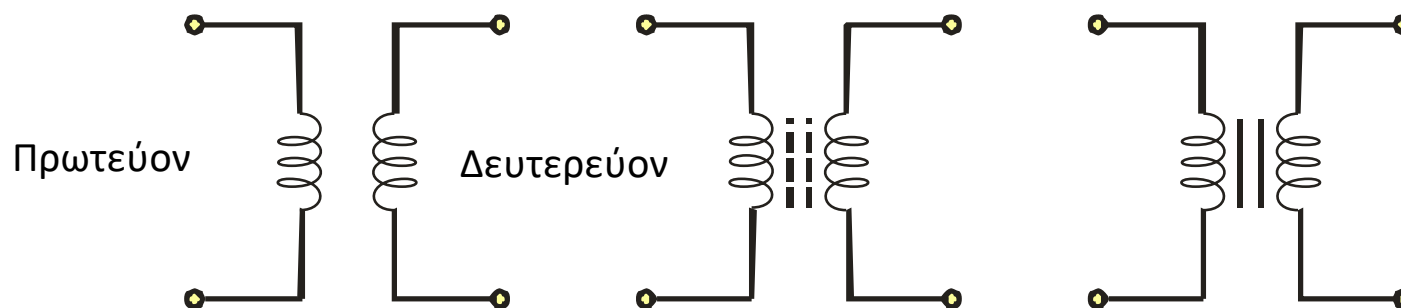
$$I_{D,\text{rms}} = \frac{I_{\text{rms}}}{\sqrt{2}} = \frac{6.81}{\sqrt{2}} = 4.82 \text{ A}$$

# Μετασχηματιστές

- ▶ Ο μετασχηματιστής είναι μια διάταξη η οποία μεταφέρει ηλεκτρική ενέργεια μεταξύ δύο κυκλωμάτων διαμέσου επαγωγικά συζευγμένων ηλεκτρικών αγωγών.
- ▶ Οι μετασχηματιστές συγκαταλέγονται ανάμεσα στις πιο αποδοτικές ηλεκτρικές μηχανές με κάποιες μεγάλες μονάδες να αποδίδουν έως και το 99,75% της ισχύος εισόδου τους στην έξοδό τους.
- ▶ Οι μετασχηματιστές έχουν μεγάλο εύρος μεγεθών, που κυμαίνεται από μέγεθος νυχιού (όπως αυτοί που βρίσκονται μέσα σε ένα μικρόφωνο) έως τεράστιες μονάδες με βάρος εκατοντάδων τόνων που χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση τμημάτων των εθνικών δικτύων ηλεκτροδότησης. Όλοι λειτουργούν με βάση τις ίδιες αρχές, αν και υπάρχει πληθώρα διαφορετικών υλοποιήσεων.
- ▶ Ένα μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό ρεύμα στο πρώτο κύκλωμα (το "πρωτεύον") δημιουργεί ανάλογα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο. Αυτό το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο επάγει μεταβαλλόμενη τάση στο δεύτερο κύκλωμα (το "δευτερεύον"). Το φαινόμενο αυτό καλείται αμοιβαία επαγωγή.

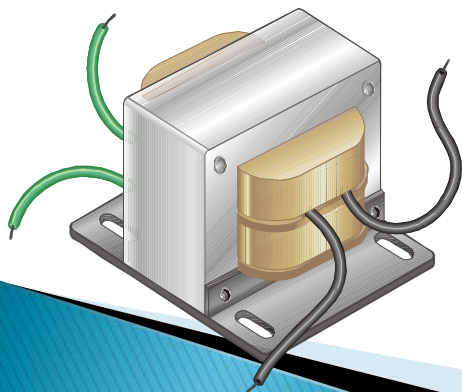


Αποτελείται από δύο πηνία τα οποία συνήθως είναι τυλιγμένα γύρω από έναν πυρήνα σιδήρου. Η σύνδεση των ηλεκτρονικών συσκευών με το δίκτυο γίνεται μέσω μετασχηματιστή διότι ο μετασχηματιστής (α) υποβιβάζει την τάση και (β) απομονώνει ηλεκτρικά το δίκτυο από τη συσκευή και μειώνει τον κίνδυνο ηλεκτροπληξίας.



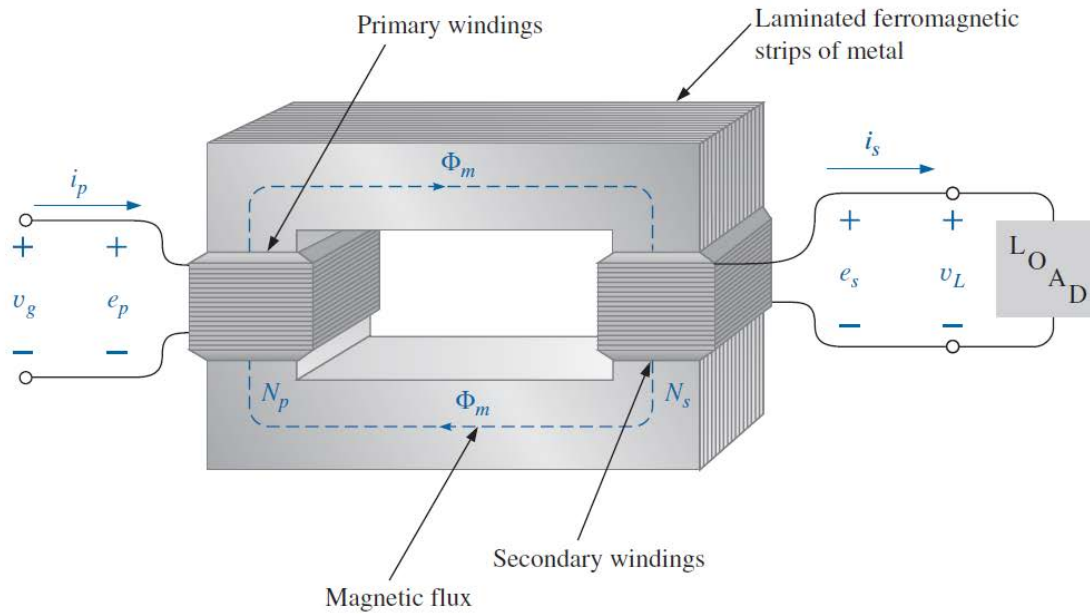
σύμβολο

Μετασχηματιστής μικρής ισχύος



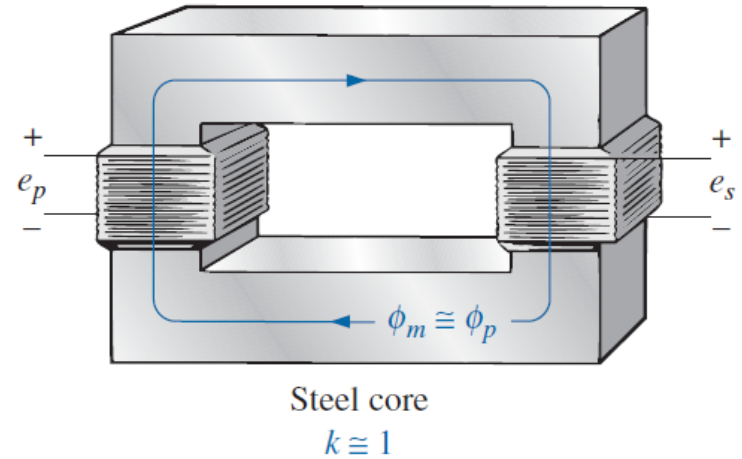
# Τριφασικός μετασχηματιστής





Στη ιδανική περίπτωση όλη η μαγνητική ροή που διέρχεται από το πρωτεύον πηνίο θα διέρχεται και από το δευτερεύον

$$\phi_m = \phi_p = \phi_s$$



- ▶ Αν στην είσοδο του πρωτεύοντος εφαρμόζεται ημιτονικό ρεύμα  $i_p = \sqrt{2}I_p \sin(\omega t)$  τότε η μαγνητική ροή μέσα από τον πυρήνα είναι  $\phi_m = \Phi_m \sin(\omega t)$
- ▶ Η τάση που επάγεται στο πρωτεύον είναι

$$v_p = N_p \frac{d\phi_p}{dt} = N_p \frac{d\phi_m}{dt}$$

Άρα

$$v_p = N_p \omega \Phi_m \cos(\omega t) = N_p \omega \Phi_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

Η τάση προπορεύεται κατά  $\pi/2$

- ▶ Η ενεργός τιμή της τάσης στα άκρα του πρωτεύοντος είναι

$$V_p = \frac{N_p \omega \Phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f N_p \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4.44 f N_p \Phi_m$$

- ▶ Με την ίδια διαδικασία η τάση(ενεργός) στα άκρα του δευτερεύοντος είναι

$$V_s = 4.44 f N_s \Phi_m$$

Άρα

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

Μια σημαντική παράμετρος του μετασχηματιστή είναι ο λόγος μετασχηματισμού

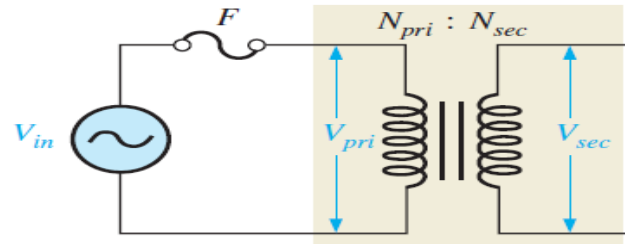
$$n = \frac{N_{sec}}{N_{pri}}$$

$N_{sec}$  ο αριθμός περιελίξεων του δευτερεύοντος

$N_{pri}$  ο αριθμός περιελίξεων του πρωτεύοντος.

Η βασική σχέση του μετασχηματιστή είναι

$$\frac{V_{sec}}{V_{pri}} = \frac{N_{sec}}{N_{pri}} \quad V_{sec}, V_{pri} \text{ οι ενεργές τιμές}$$



Γενικά ο μετασχηματιστής χαρακτηρίζεται από τον λόγο μετασχηματισμού  $n = \frac{N_{sec}}{N_{pri}}$ , άρα  $V_{sec} = nV_{pri}$

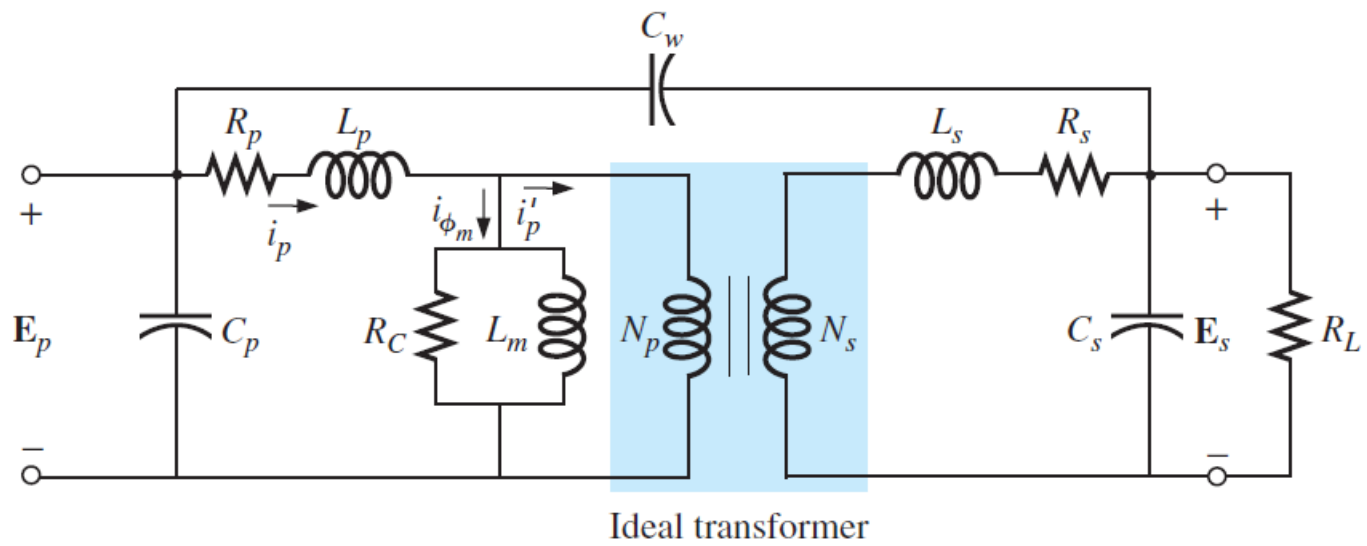
# Απώλειες στους μετασχηματιστές

- ▶ Οι φυσικοί περιορισμοί των πραγματικών μετασχηματιστών μπορούν να συνοψιστούν σε ένα μοντέλο ισοδύναμου κυκλώματος, το οποίο "χτίζεται" γύρω από το μοντέλο του ιδανικού, χωρίς απώλειες, μετασχηματιστή.<sup>[1]</sup>
- ▶ Η απώλεια ισχύος στα τυλίγματα εξαρτάται από το ρεύμα και αναπαρίσταται με τις σε σειρά συνδεδεμένες αντιστάσεις  $R_p$  και  $R_s$ . Η απώλεια ροής οδηγεί στην πτώση κλάσματος της εφαρμοζόμενης τάσης, πτώση η οποία δεν συνεισφέρει στην αμοιβαία σύζευξη και, κατά συνέπεια, μπορεί να μοντελοποιηθεί με τις επαγωγικές αντιδράσεις  $X_p$  και  $X_s$ , συνδεδεμένες σε σειρά με την τέλεια συζευγμένη περιοχή.
- ▶ Οι απώλειες του πυρήνα οφείλονται κυρίως στην υστέρηση και στις επιπτώσεις των δινορευμάτων στον πυρήνα, ενώ είναι ανάλογα του τετραγώνου της ροής του πυρήνα για λειτουργία σε συγκεκριμένη συχνότητα. Καθώς η ροή στον πυρήνα είναι ανάλογη της εφαρμοζόμενης τάσης, οι απώλειές του μπορούν να εκφραστούν με μια αντίσταση  $R_c$  τοποθετημένη παράλληλα με τον ιδανικό μετασχηματιστή.

[1]

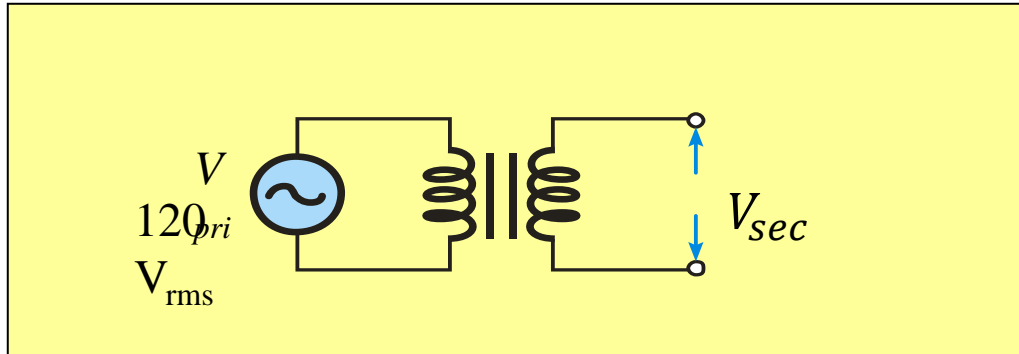


- ▶ Ένας πυρήνας με πεπερασμένη διαπερατότητα απαιτεί ένα ρεύμα μαγνητισμού  $I_M$  για να διατηρήσει την αμοιβαία ροή σε αυτόν. Το ρεύμα μαγνητισμού είναι συμφασικό με τη ροή. Φαινόμενα κορεσμού οδηγούν στην μη γραμμικότητα της σχέσης μεταξύ των δύο, για λόγους απλότητας όμως αυτό το φαινόμενο τείνει να αγνοείται στα περισσότερα ισοδύναμα κυκλώματα.<sup>1</sup> Με ένα ημιτονοειδές τροφοδοτικό, η ροή του πυρήνα υστερεί της επαγόμενης ΗΕΔ κατά  $90^\circ$  και αυτό το φαινόμενο μπορεί να μοντελοποιηθεί ως αντίδραση μαγνητισμού  $X_M$  παράλληλα με το στοιχείο απώλειας του πυρήνα. Οι  $R_C$  και  $X_M$  μερικές φορές αναφέρονται από κοινού ως ο "κλάδος μαγνητισμού" του μοντέλου. Αν το δευτερεύον είναι ανοιχτοκυκλωμένο, το ρεύμα  $I_0$  που λαμβάνουμε στον κλάδο μαγνητισμού, αναπαριστά το ρεύμα κενού φορτίου του μετασχηματιστή



- **step-up transformer**, Η τάση στα άκρα του δευτερεύοντος είναι μεγαλύτερη από την τάση στα άκρα του πρωτεύοντος  $n > 1$ .
- **step-down transformer**, Η τάση στα άκρα του δευτερεύοντος είναι μικρότερη από την τάση στα άκρα του πρωτεύοντος  $n < 1$ .

### Παράδειγμα



Η τάση στο δευτερεύον είναι

$$V_{sec} = nV_{pri} = \frac{V_{pri}}{4} = 30V_{rms}$$

- Μια ειδική περίπτωση είναι ο μεταχηματιστής απομόνωσης.
- Ο μεταχηματιστής αυτός έχει λόγο  $n=1$ .
- Συνήθως χρησιμοποιείται για να απομονώσουν μια συνεχή συνιστώσα DC.

Ισχύς : Ο ιδανικός μετασχηματιστής δεν καταναλώνει ισχύ άρα

$$P_{pri} = P_{sec}$$
$$I_{pri} V_{pri} = I_{sec} V_{sec}$$
$$n = \frac{V_{sec}}{V_{pri}} = \frac{I_{pri}}{I_{sec}}$$

► Μετασχηματίζει τις αντιστάσεις

Ισχύουν οι σχέσεις

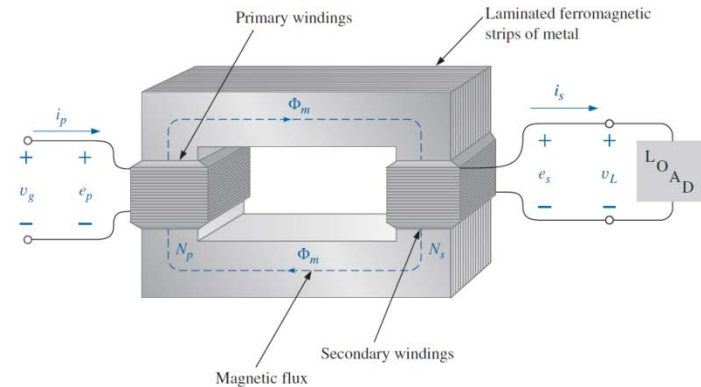
$$\frac{V_g}{V_L} = \frac{N_p}{N_s}, \quad \frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p}$$

Διαιρώντα κατά μέλη

$$\frac{\frac{V_g}{V_L}}{\frac{I_p}{I_s}} = \frac{1}{n^2} \Rightarrow \frac{V_g}{I_p} = n^2 \frac{V_L}{I_s}$$

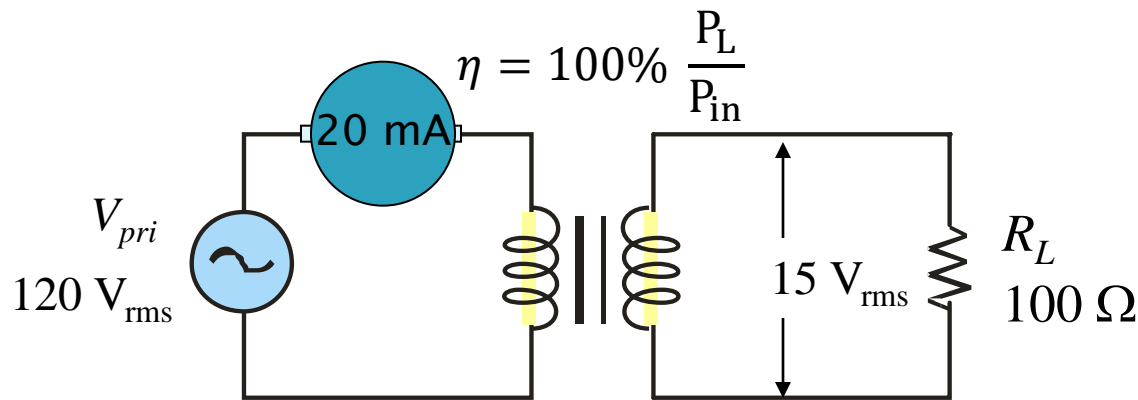
$$Z_p = \frac{1}{n^2} Z_L$$

$$Z_p = \frac{V_g}{I_p}, \quad Z_L = \frac{V_L}{I_s}$$



# Απόδοση μετασχηματιστή

Είναι ο λόγος της ισχύος που απορροφάται από το φορτίο ( $P_L$ ) προς την ισχύ που απορροφάται από το πρωτεύον ( $P_{in}$ )

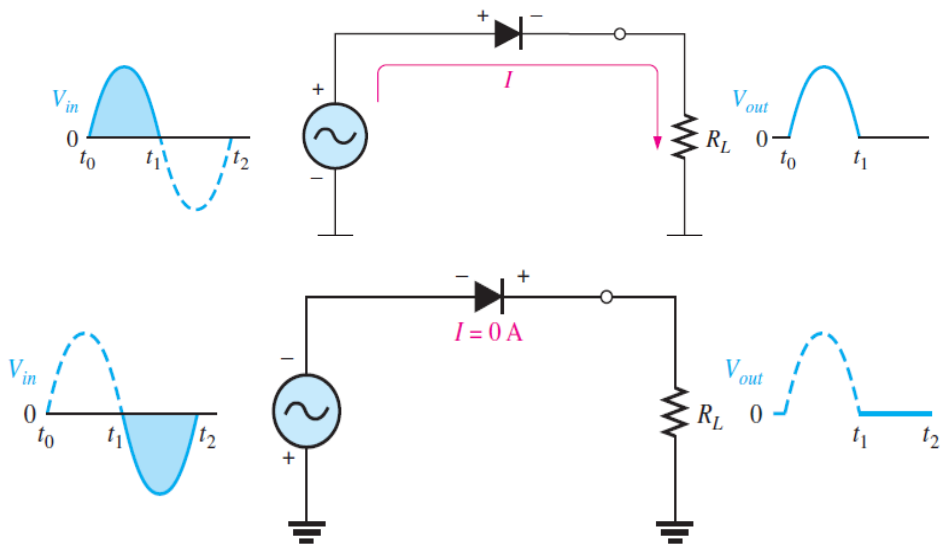


$$\eta = \frac{\frac{V_L^2}{R_L}}{V_{pri} I_{pri}} 100\% = \frac{\frac{150^2 V}{100 \Omega}}{100V \cdot 0.02A} 100\% = 94\%$$

# Ημιανόρθωση (Half-wave Rectifier)

$V_{in}$  είναι η ac τάση εισόδου που πρόκειται να ανορθωθεί.

- D είναι η διάδος που εκτελεί την ημι-ανόρθωση.
- $R_L$  είναι η αντίσταση φορτίο πάνω στην οποία εφαρμόζεται η ημιανορθωμένη τάση.
- Η ημιανορθωμένη τάση στα άκρα του φορτίου  $R_L$  είναι η τάση εξόδου ( $V_{out}$ ) του κυκλώματος ημι-ανορθωτή.

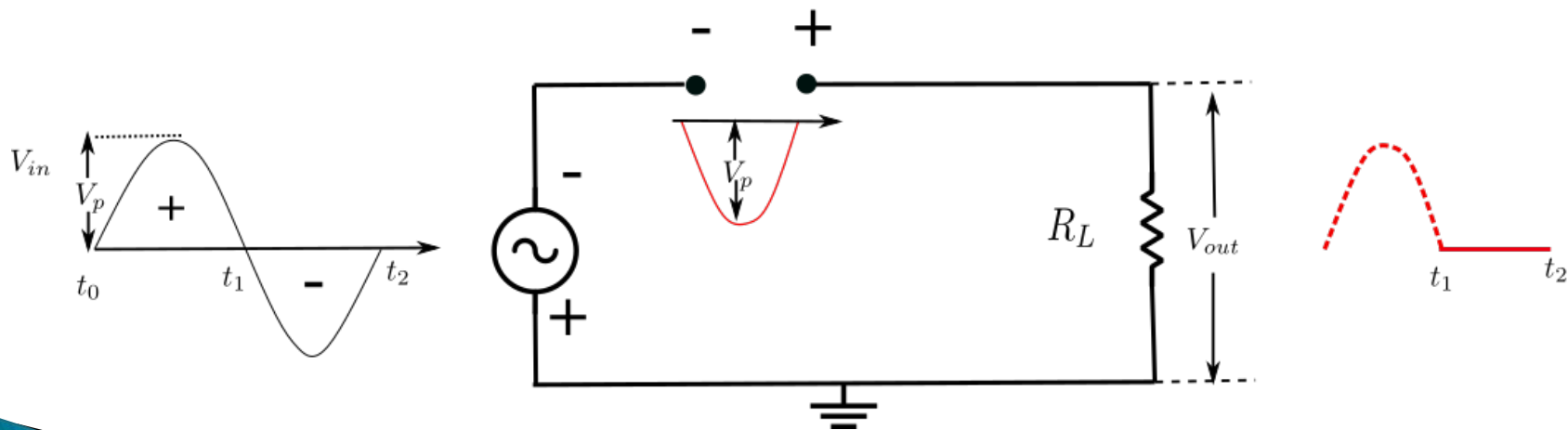
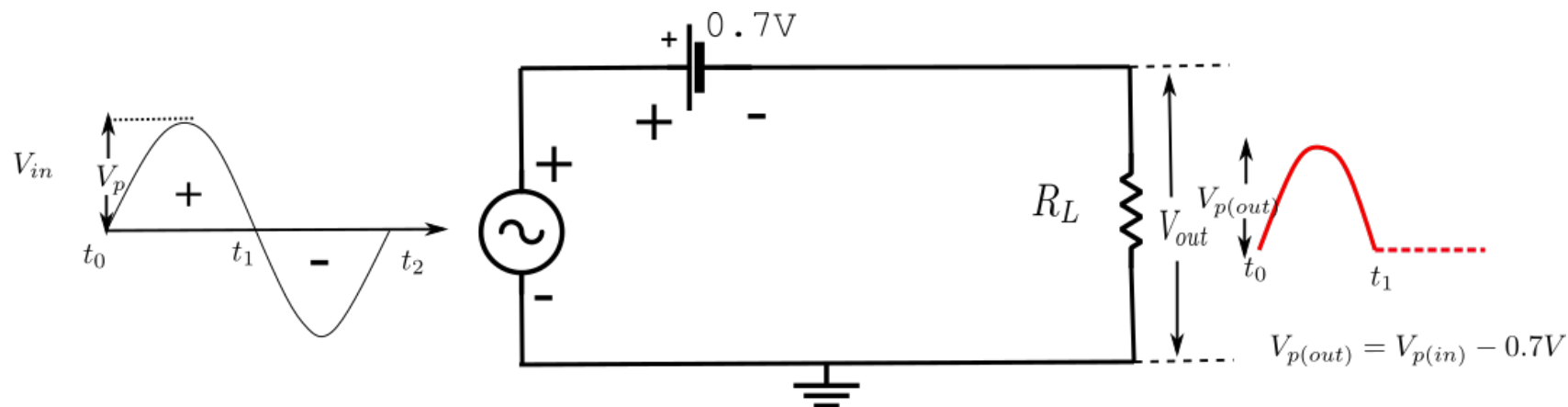


- Η διάδος άγει στην θετική ημιπερίοδο της τάσης εισόδου

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

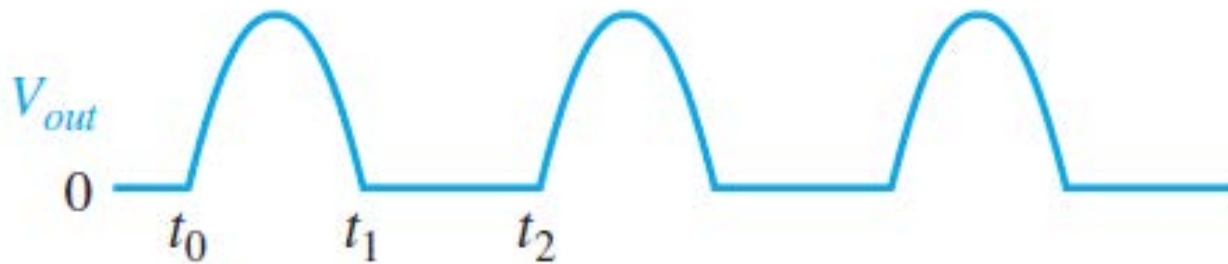
- Η διάδος δεν άγει στην αρνητική ημιπερίοδο της τάσης εισόδου
- Στην περίπτωση αυτή η αντίσταση δεν διαρρέεται από ρεύμα

# Ισοδύναμα κυκλώματα

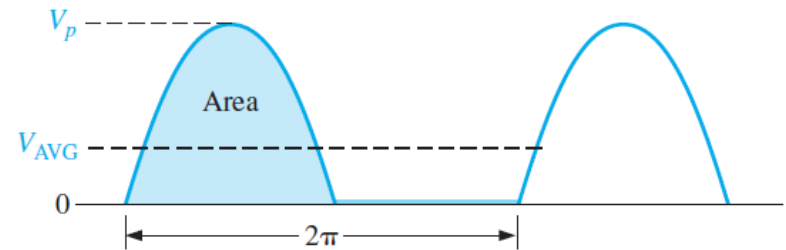




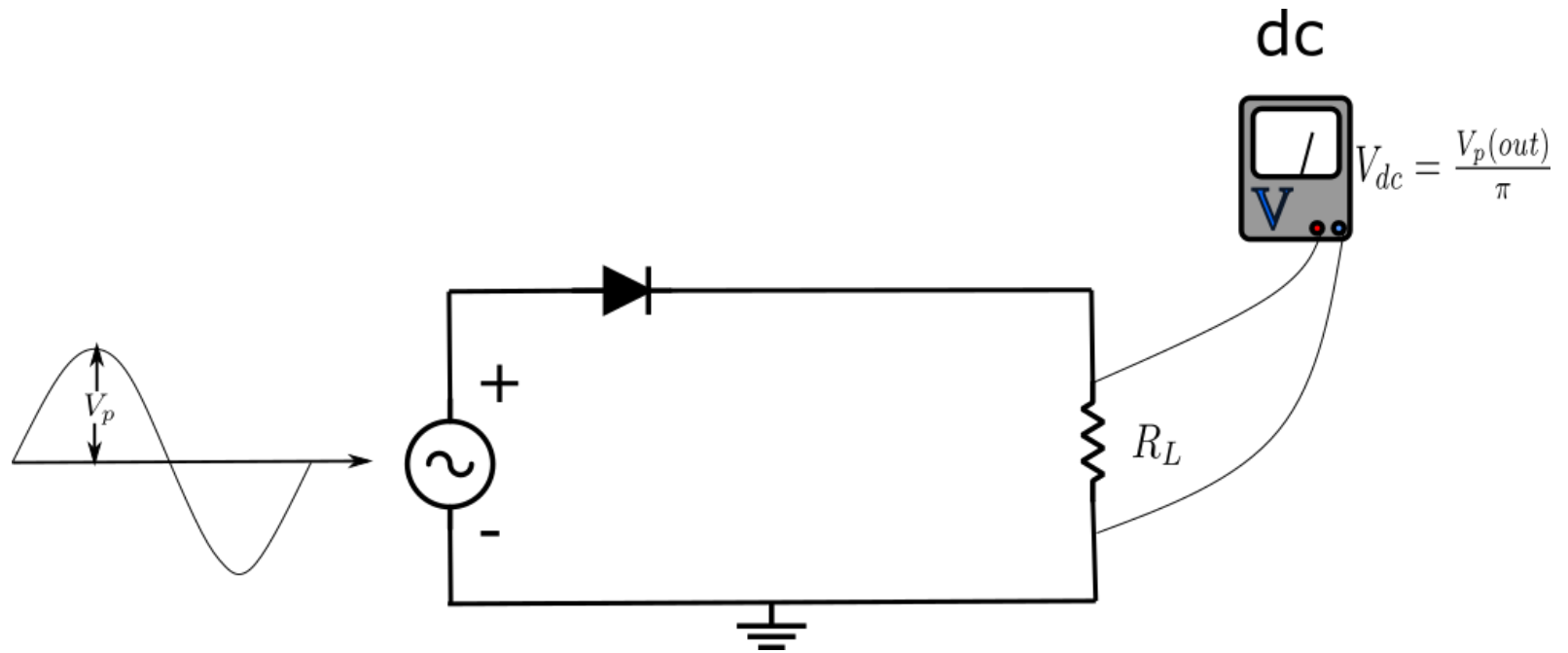
- ▶ Η τάση που παράγεται στην αντίσταση  $R_L$  λέγεται ημιανορθωμένη τάση



- ▶ Έχει μέση τιμή  $\frac{V_p}{\pi}$

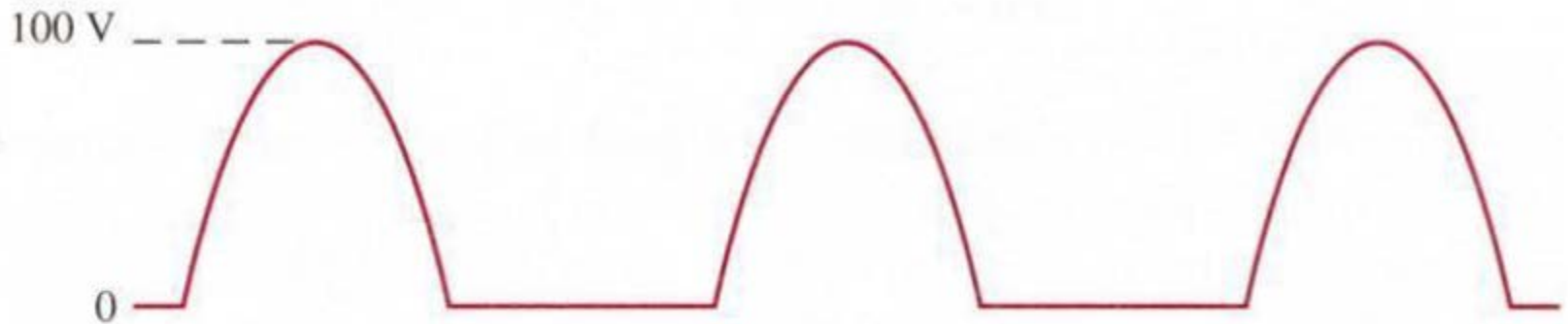


Την μέση τάση μπορούμε να την μετρήσουμε την βολτόμετρο στην dc κλίμακα



## Παράδειγμα 1

Ποια είναι η μέση (dc) τιμή της ημιανορθωμένης τάσης εξόδου που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα;



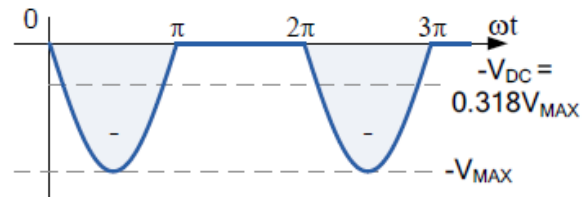
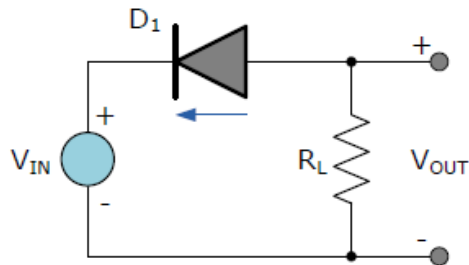
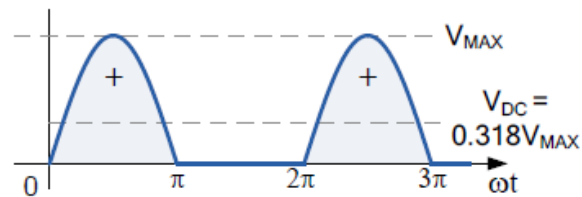
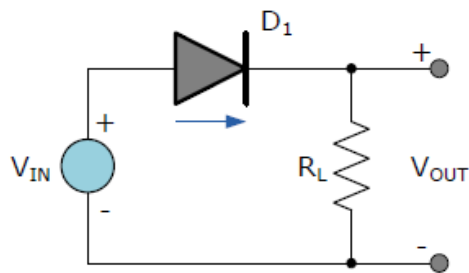
Η μέση τάση είναι

$$V_{dc} = \frac{V_{p(out)}}{\pi} = \frac{100V}{\pi} = 31.8V$$

# Ημιανόρθωτής(Half-wave Rectifier)

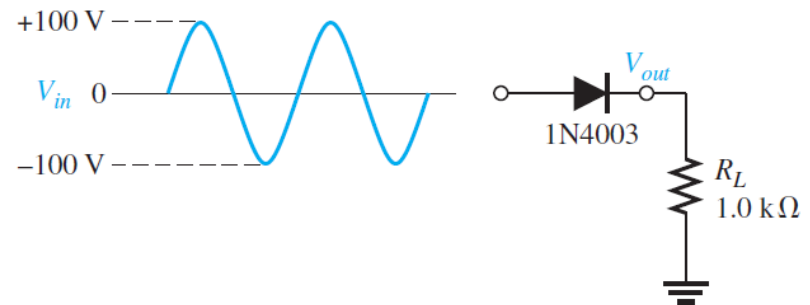
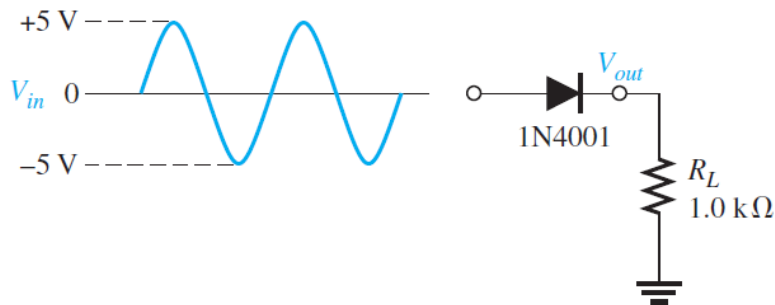
Ποια είναι η τάση εξόδου όταν η δίοδος τοποθετηθεί ανάποδα ?

Στην περίπτωση αυτή η δίοδος δεν άγει κατά την θετική ημιπερίοδο αλλά κατά την αρνητική, άρα παράγεται μια τάση με αντίθετη πολικότητα.



# Παραδείγματα – Ημιανορθωτής

Να σχεδιαστεί η τάση εξόδου :



$$V_{p(out)} = V_{p(in)} - 0.7 \text{ V} = 5 \text{ V} - 0.7 \text{ V} = \mathbf{4.30 \text{ V}}$$

$$V_{p(out)} = V_{p(in)} - 0.7 \text{ V} = 100 \text{ V} - 0.7 \text{ V} = \mathbf{99.3 \text{ V}}$$

4.3 V



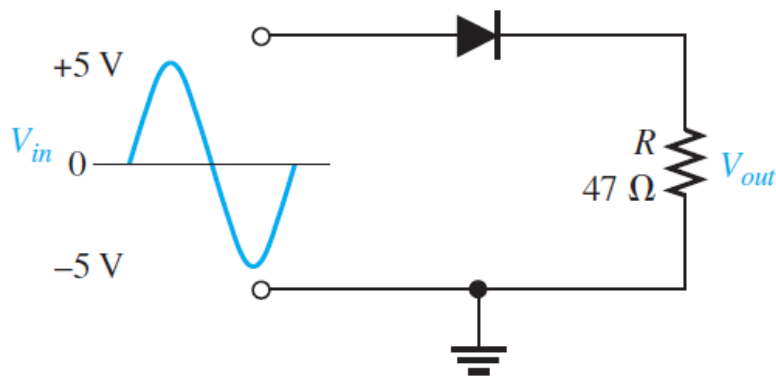
(a)

99.3 V

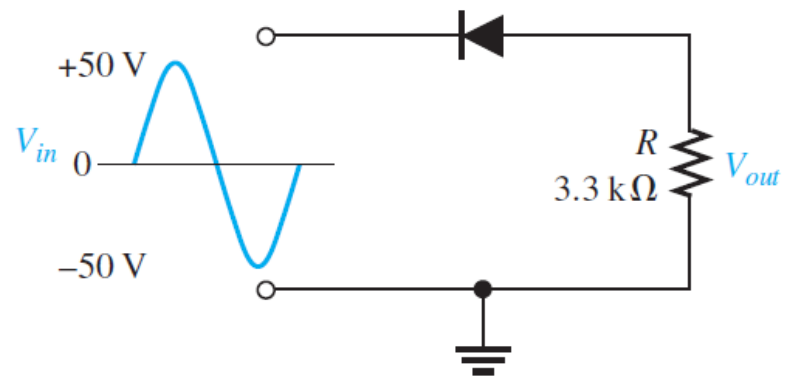


(b)

- ▶ Να σχεδιαστούν οι τάσεις στα άκρα της αντίστασης και να βρεθούν τα μέγιστα ρεύματα που διαρρέουν την δίοδο.



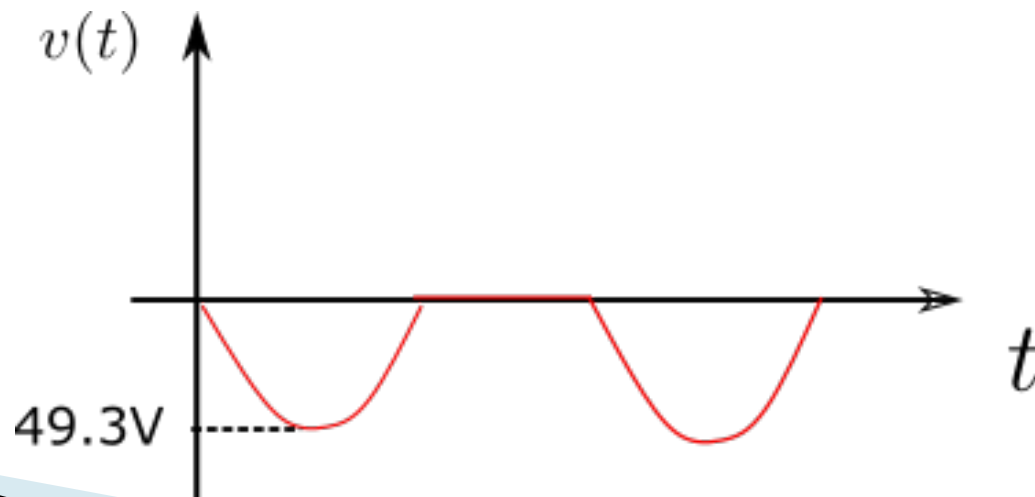
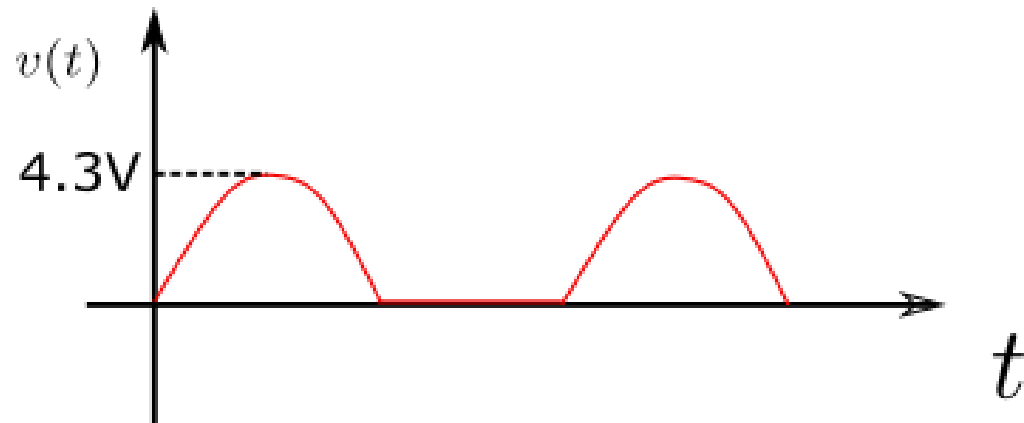
(a)



(b)

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

# Κυματομορφές





- ▶ Οι μέγιστες εντάσεις των ρευμάτων που διαρρέουν την δίοδο είναι

$$I_p = \frac{V_{p(out)}}{R_L}$$
$$I_p = \frac{V_{p(out)}}{R_L} = \frac{4.3V}{47\Omega} = 91.5mA$$

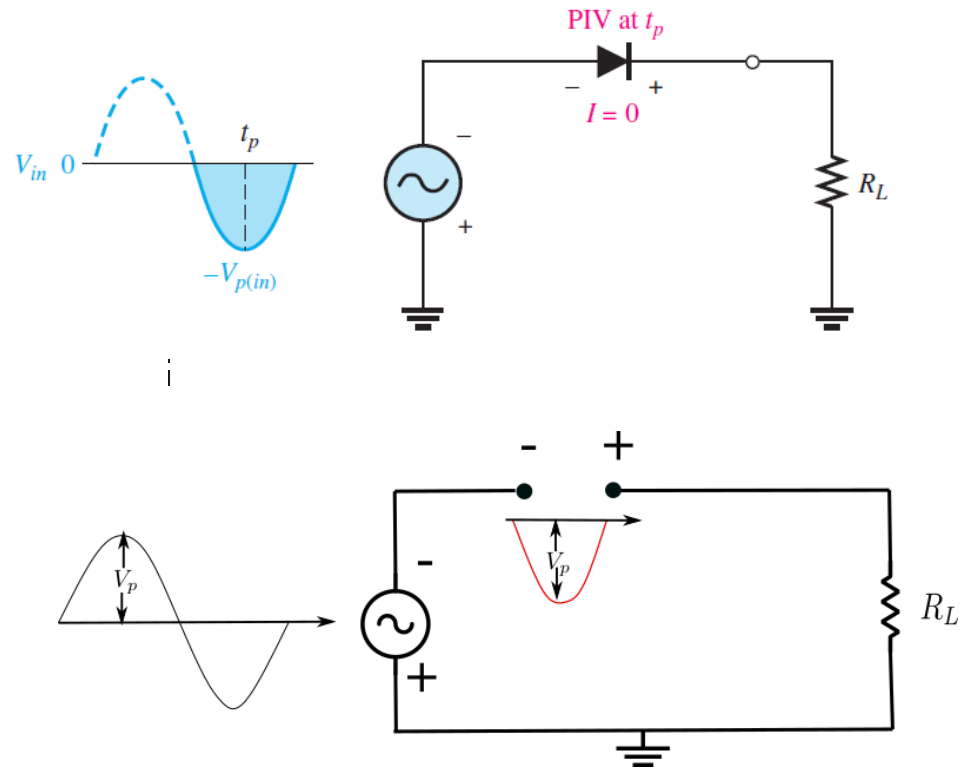
$$I_p = \frac{V_{p(out)}}{R_L} = \frac{49.3V}{3.3k\Omega} = 14.94mA$$

# Half-wave Rectifier

Η **peak inverse voltage** (PIV) είναι η μέγιστη τάση που εφαρμόζεται στην δίοδο όταν πολωθεί ανάστροφα.

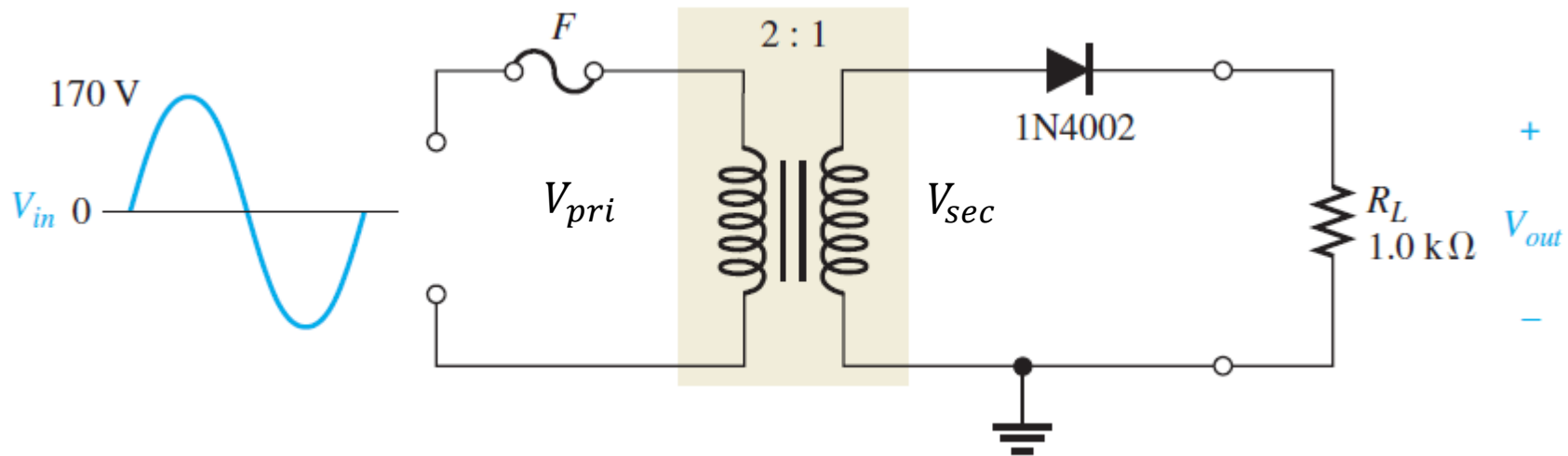
Στην περίπτωση αυτή είναι ίση με το πλάτος της τάσης εισόδου.

Η τάση PIV μπορεί να βρεθεί αν εφαρμοστεί ο κανόνας Kirchhoff. Η τάση στο φορτίο είναι μηδέν άρα  $PIV = V_p$



## Εφαρμογή με μετασχηματιστή

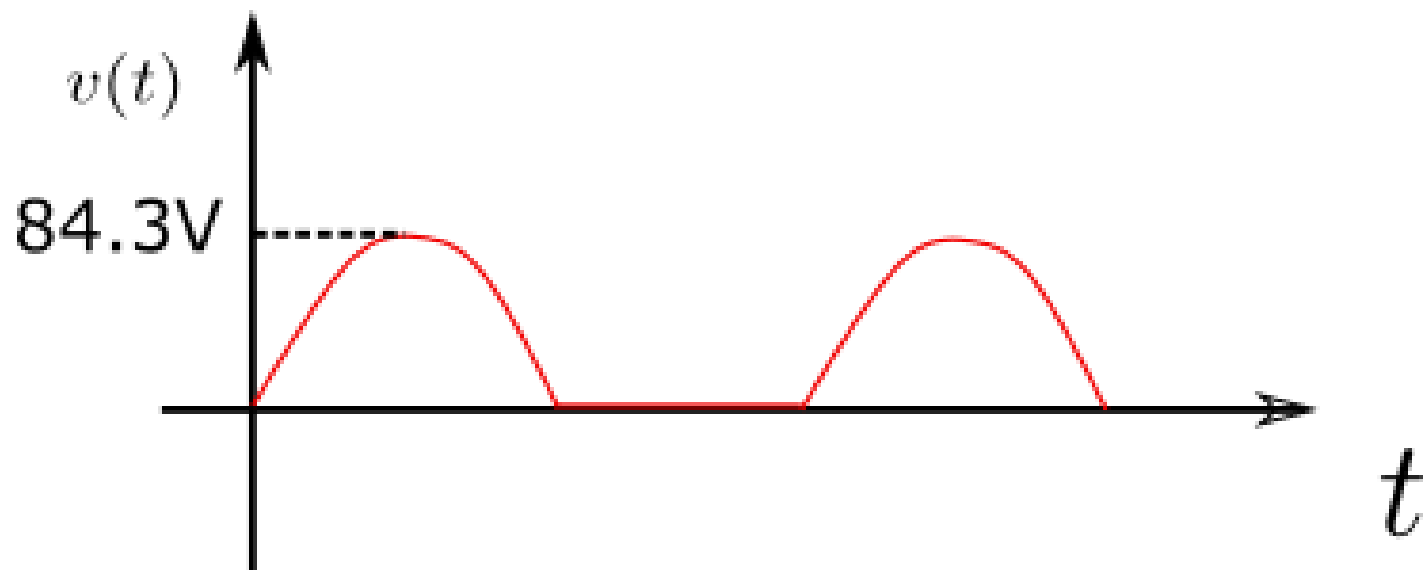
Σχεδιάστε την τάση στα άκρα της αντίστασης  $R_L$  για το παρακάτω κύκλωμα απλού ανορθωτή



$$V_{p(pri)} = V_{p(in)} = 170 \text{ V}$$

$$V_{p(sec)} = nV_{p(pri)} = 0.5(170 \text{ V}) = 85 \text{ V}$$

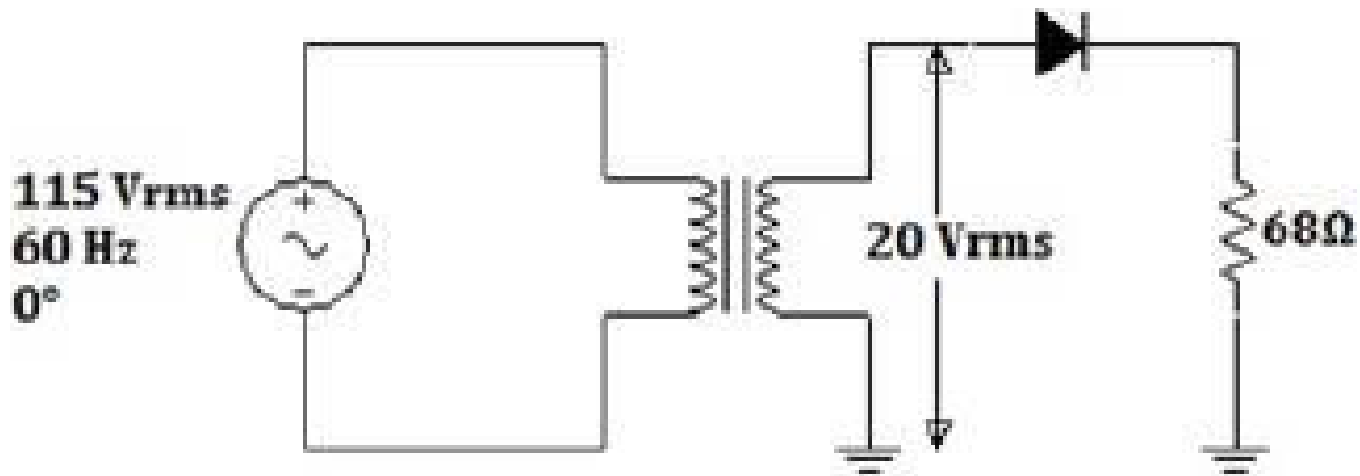
$$V_{p(out)} = V_{p(sec)} - 0.7 \text{ V} = 85 \text{ V} - 0.7 \text{ V} = \mathbf{84.3 \text{ V}}$$



# Παράδειγμα 2 μετασχηματιστή

Προσδιορίστε :

- ▶ Τη dc τάση στα άκρα της αντίστασης φορτίου.
- ▶ Την κορυφή της ανάστροφης τάσης (PIV) που εφαρμόζεται στη δίοδο.
- ▶ Το dc ρεύμα που διαρρέει τη δίοδο.



- ▶ Το πλάτος της τάσης στο δευτερεύον είναι

$$V_{p(sec)} = \sqrt{2} V_{rms(sec)} = 28.3V$$

- ▶ Η τάση στα άκρα του φορτίου είναι

$$V_{p(out)} = 28.3V - 0.7V \cong 27.6V$$

Η μέση τάση εξόδου (dc τάση) είναι

$$V_{dc(out)} = \frac{V_{p(out)}}{\pi} = \frac{27.6V}{3.14} = 8.8V$$

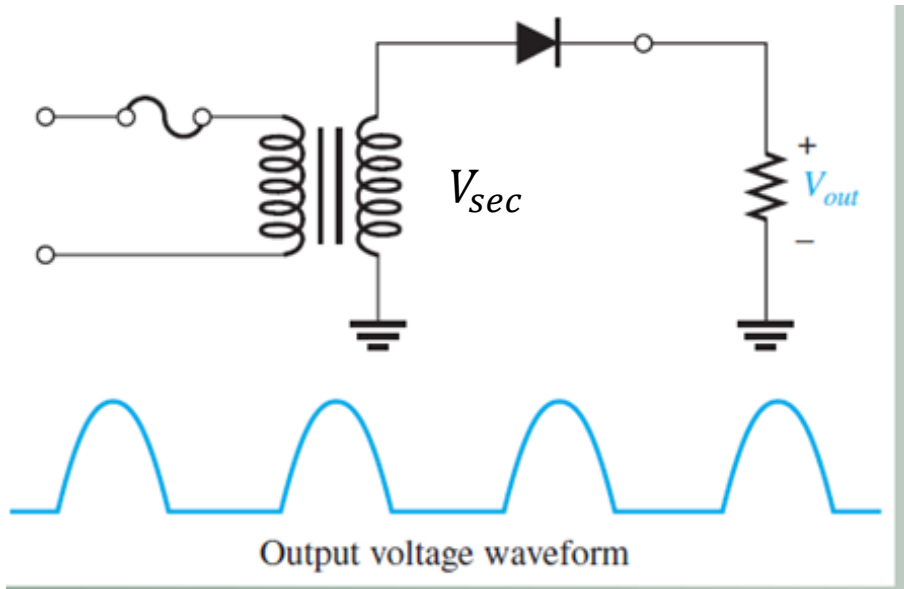
Η μέγιστη ανάστροφη τάση είναι

$$PIV = V_{p(sec)} = 28.3V$$

Το μέσο ρεύμα που διαρρέει την δίοδο είναι

$$I_{dc} = \frac{V_{dc(out)}}{R_L} = \frac{8.8V}{68\Omega} = 0.13A$$

# Βασικές σχέσεις-Κύκλωμα Ημιανόρθωσης



- Πλάτος τάσης εξόδου
$$V_{p(out)} = V_{p(sec)} - 0.7V$$
- Η μέση τάση εξόδου
$$V_{dc} = \frac{V_{p(out)}}{\pi}$$
- Μέγιστη αναστροφη τάση
$$PIV = V_{p(sec)}$$
- Η συχνότητα της ημιανορθωμένης τάσης εξόδου είναι  $f_{out} = f_{in}$



# Τάση κυμάτωσης

Στην περίπτωση της απλής ανορθωμένης τάσης, η τάση κυμάτωσης προκύπτει αν από την σχέση

$$\begin{aligned} V_r(\text{rms}) &= \left[ \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_{\text{ac}}^2 d\theta \right]^{1/2} \\ &= \left[ \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (v - V_{\text{dc}})^2 d\theta \right]^{1/2} \\ &= \left[ \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (v^2 - 2vV_{\text{dc}} + V_{\text{dc}}^2) d\theta \right]^{1/2} \\ &= [V^2(\text{rms}) - 2V_{\text{dc}}^2 + V_{\text{dc}}^2]^{1/2} \\ &= [V^2(\text{rms}) - V_{\text{dc}}^2]^{1/2} \end{aligned}$$

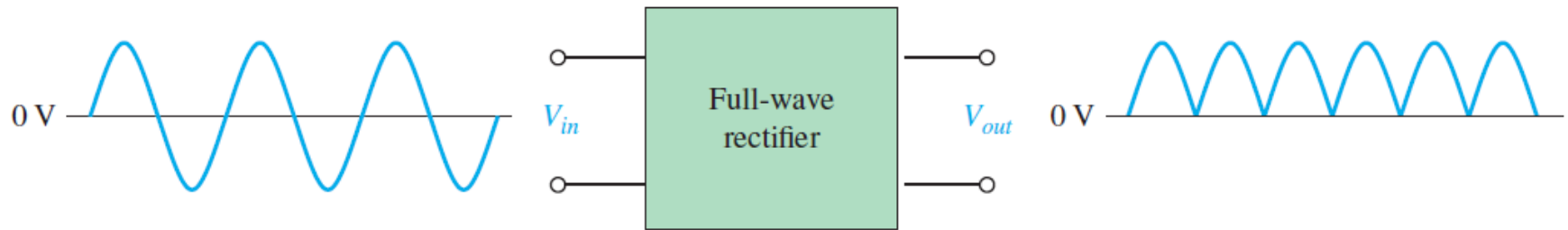
$$\begin{aligned}V_r(\text{rms}) &= [V^2(\text{rms}) - V_{\text{dc}}^2]^{1/2} \\&= \left[ \left( \frac{V_m}{2} \right)^2 - \left( \frac{V_m}{\pi} \right)^2 \right]^{1/2} \\&= V_m \left[ \left( \frac{1}{2} \right)^2 - \left( \frac{1}{\pi} \right)^2 \right]^{1/2}\end{aligned}$$

$$V_r(\text{rms}) = 0.385V_m \quad (\text{half-wave})$$

# Πλήρης ανόρθωση

- ▶ Οι ανορθωτές πλήρους κύματος ή απλά ανορθωτές είναι διατάξεις δύο ή περισσότερων διόδων που μετατρέπουν (ανορθώνουν) και την αρνητική ημιπερίοδο μιας ac ημιτονοειδούς τάσης σε θετική.
- ▶ Αν και οι ημιανορθωτές έχουν κάποιες εφαρμογές, οι ανορθωτές πλήρους κύματος (full-wave rectifiers) είναι ο πλέον κοινά χρησιμοποιούμενος τύπος ανορθωτών στα τροφοδοτικά.

- ▶ Στην περίπτωση αυτή το φορτίο διαρρέεται από ρεύμα σε όλη την περίοδο της τάσης εισόδου

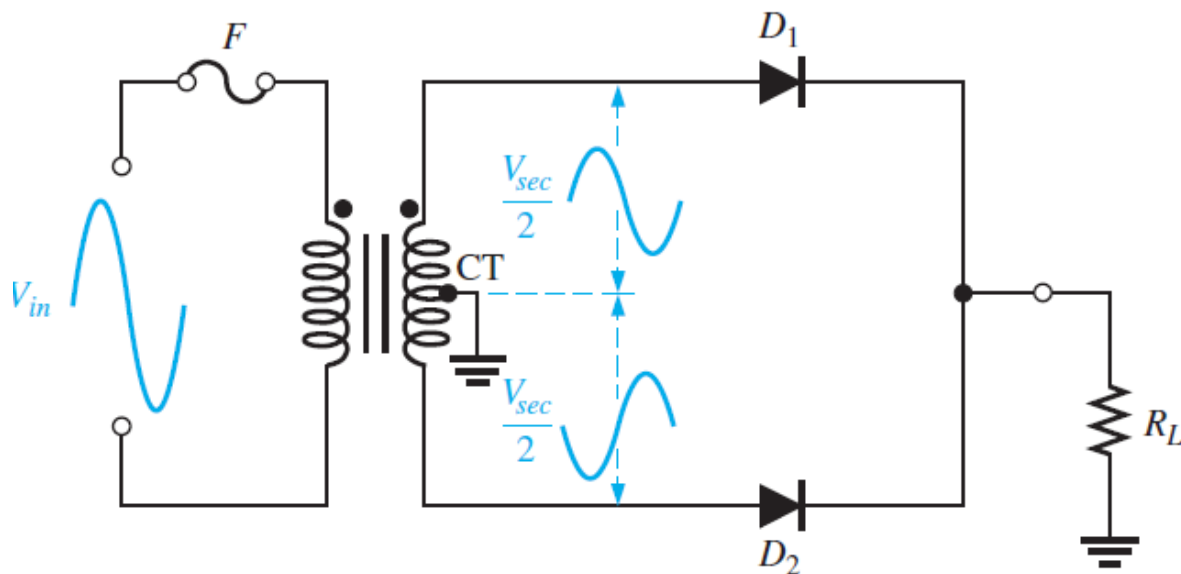


- ▶ Στην περίπτωση αυτή η μέση τάση είναι

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

# Πλήρης ανόρθωση(Full-wave Rectifier

- Χρησιμοποιείται ένας μετασχηματιστής μεσαίας λήψης σε συνδυασμό με δύο διόδους.
- Η τάση του δευτερεύοντος διαιρείται σε δύο ίσα μέρη μεταξύ της κεντρικής επαφής και των δύο άκρων του δευτερεύοντος και με διαφορά φάσης  $180^\circ$ .

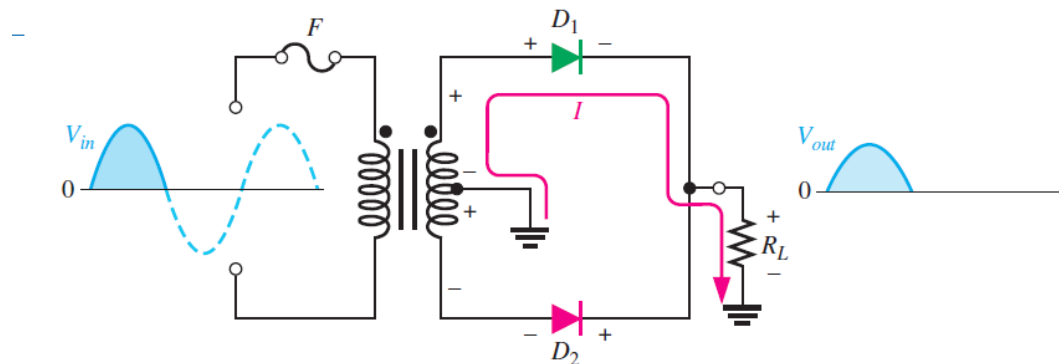


# Λειτουργία

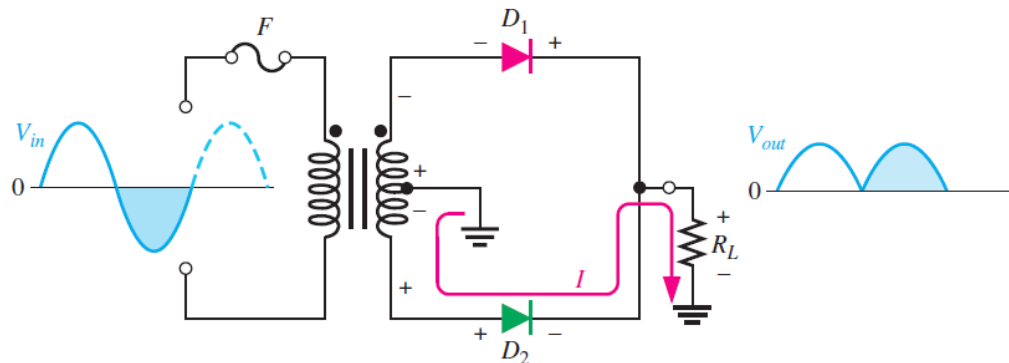
- Χρησιμοποιείται ένας μετασχηματιστής μεσαίας λήψης σε συνδυασμό με δύο διόδους.
- Στην μια ημιπερίοδο του σήματος εισόδου άγει η διόδος D1 και την άλλη ημιπερίοδος άγει η D2.
- Τα σήματα στα άκρα του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή μεσαίας λήψης έχουν διαφορά φάσης  $180^\circ$ .

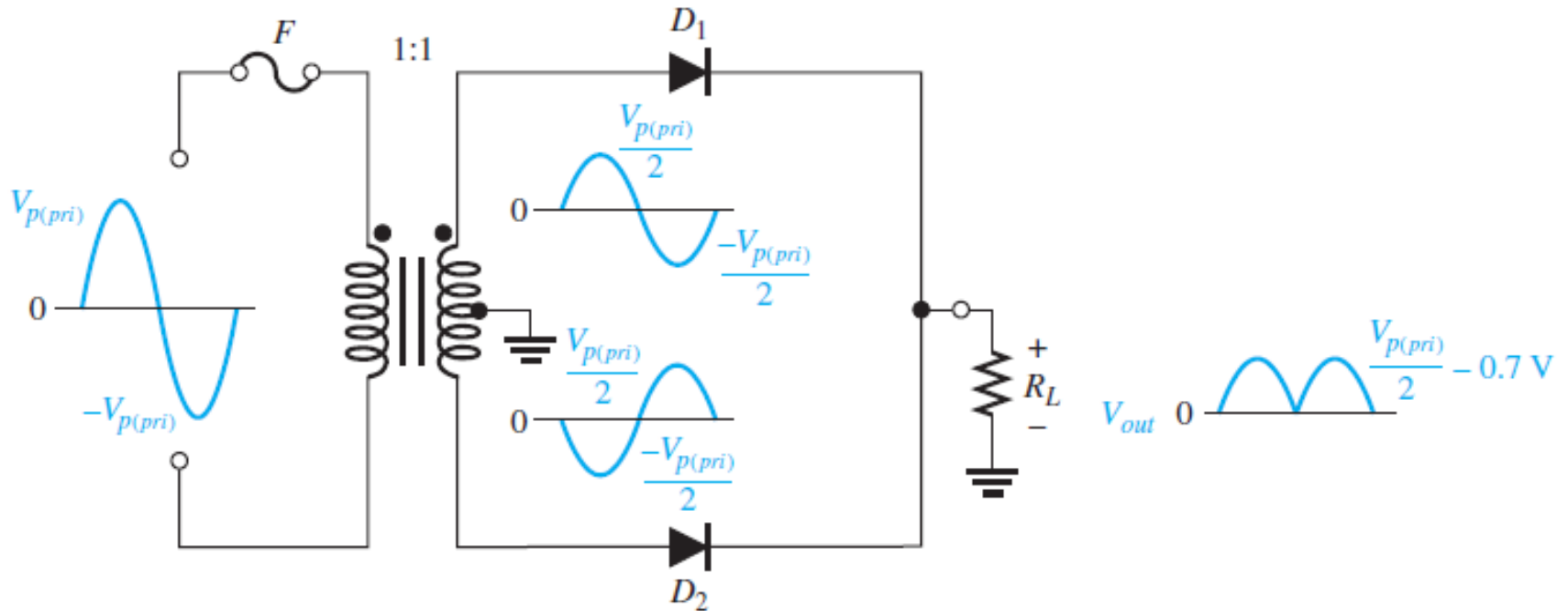
Γενικά το πλάτος της τάσης εξόδου είναι

$$V_{p(out)} = \frac{V_{p(sec)}}{2} - 0.7V$$



(a) During positive half-cycles,  $D_1$  is forward-biased and  $D_2$  is reverse-biased.

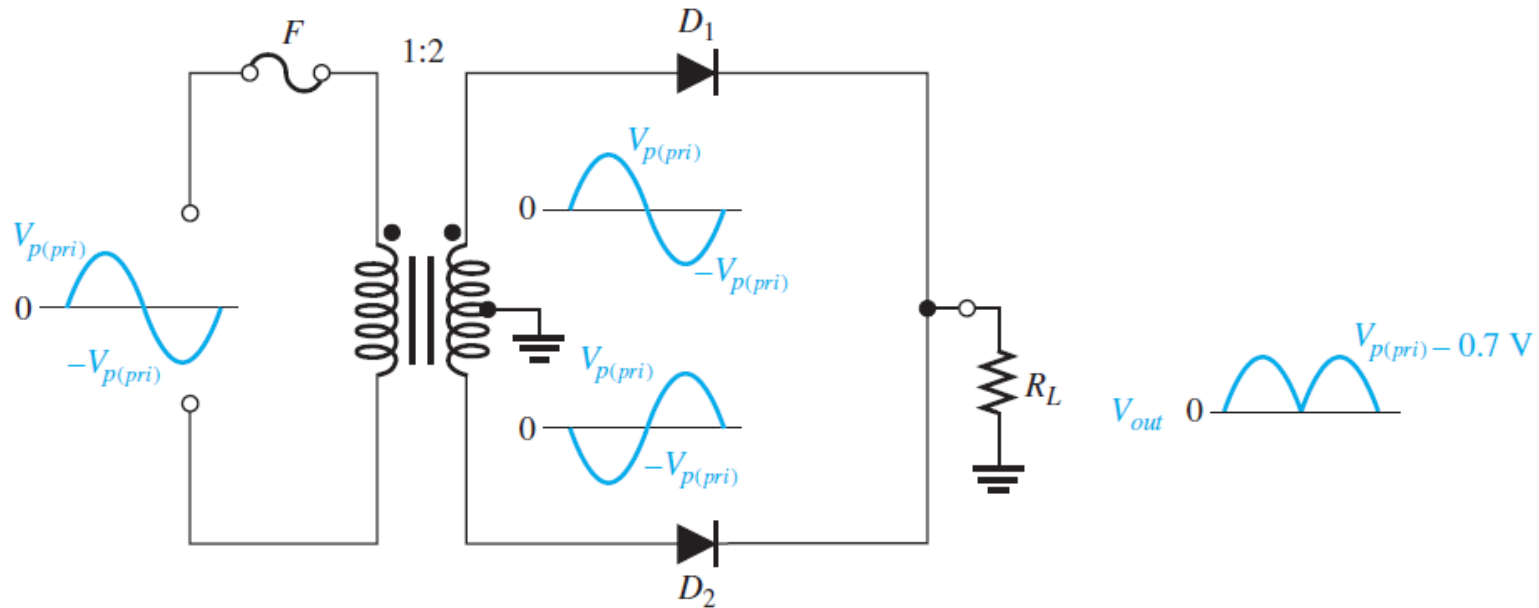




Επειδή ο λόγος μετασχηματισμού είναι  $n=1$ ,  $V_{p(sec)} = nV_{p(pri)}$

$$V_{p(sec)} = V_{p(pri)}$$

$$V_{p(out)} = \frac{V_{p(pri)}}{2} - 0.7V$$



$$V_{p(out)} = \frac{V_{p(sec)}}{2} - 0.7V$$

Επειδή ο λόγος μετασχηματισμού είναι  $n = 2$  η τάση στα άκρα του δευτερεύοντος είναι  $V_{p(sec)} = 2 V_{p(pri)}$

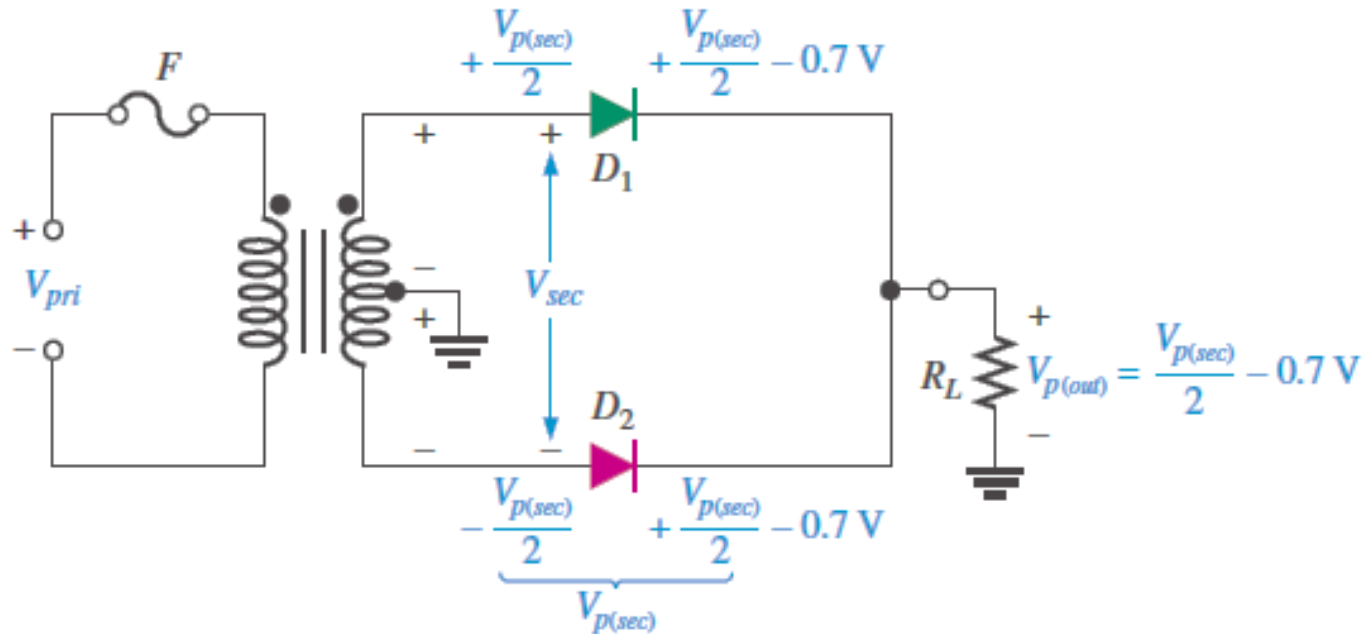
$$V_{p(out)} = V_{p(pri)} - 0.7V$$



Σε κάθε περίπτωση είναι ανεξάρτητα από τον λόγο μεταχηματισμού

$$V_{p(out)} = \frac{V_{p(sec)}}{2} - 0.7V$$

## Μέγιστη ανάστροφη τάση (PIV)



Στην περίπτωση αυτή άγει η  $D_1$  και δεν άγει η  $D_2$ . Η μέγιστη ανάστροφη τάση στα άκρα της  $D_2$

$$\begin{aligned} \text{PIV} &= \left( \frac{V_{p(sec)}}{2} - 0.7 \text{ V} \right) - \left( -\frac{V_{p(sec)}}{2} \right) = \frac{V_{p(sec)}}{2} + \frac{V_{p(sec)}}{2} - 0.7 \text{ V} \\ &= V_{p(sec)} - 0.7 \text{ V} \end{aligned}$$

▶ Επειδή  $V_{p(out)} = \frac{V_{p(sec)}}{2} - 0.7V$

Προκύπτει ότι η

$$V_{p(sec)} = 2V_{p(out)} + 1.4V$$

Άρα

$$PIV = 2V_{p(out)} + 0.7V$$

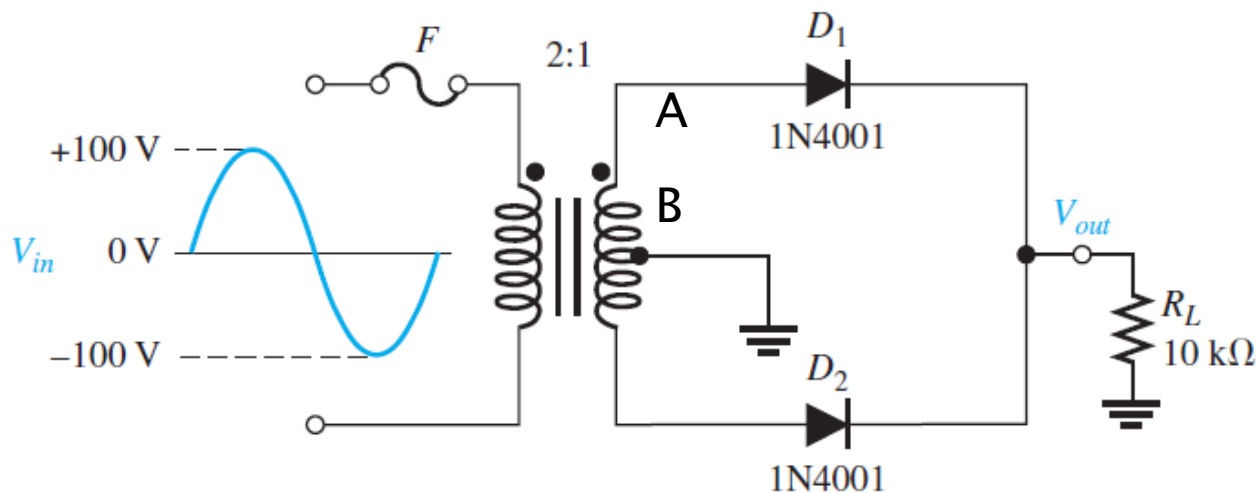
## Τάση κυμάτωσης στην διπλή ανόρθωση

$$\begin{aligned}V_r(\text{rms}) &= [V^2(\text{rms}) - V_{\text{dc}}^2]^{1/2} \\&= \left[ \left( \frac{V_m}{\sqrt{2}} \right)^2 - \left( \frac{2V_m}{\pi} \right)^2 \right]^{1/2} \\&= V_m \left( \frac{1}{2} - \frac{4}{\pi^2} \right)^{1/2}\end{aligned}$$

$$V_r(\text{rms}) = 0.308V_m \quad (\text{full-wave})$$

# Εφαρμογή 1

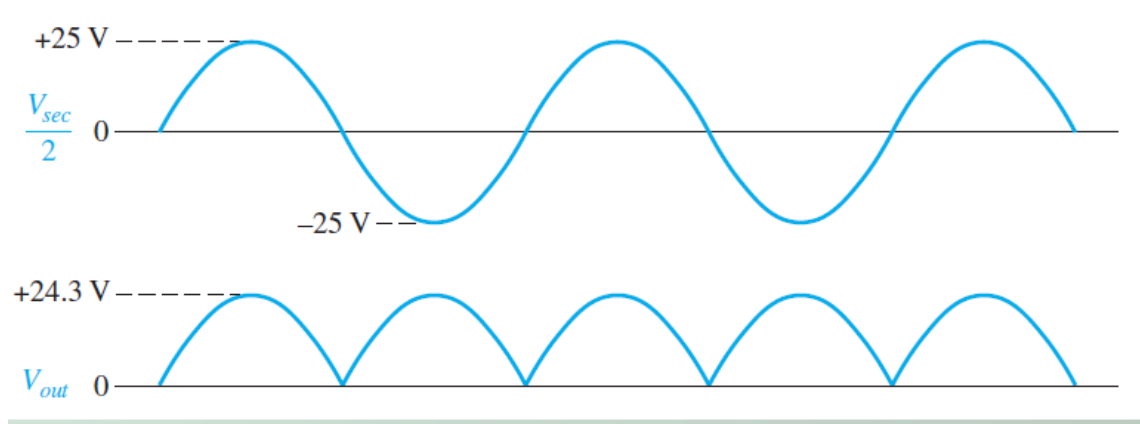
α) Για το παρακάτω κύκλωμα α) Σχεδιάστε την τάση στα άκρα του μισού δευτερεύοντος (μεταξύ A και B) και την τάση στα άκρα του φορτίου  $R_L = 100\Omega$  β) Βρείτε την ελάχιστη PIV κάθε διόδου αν θεωρήσουμε ένα περιθώριο 20%.



- ▶ Ο λόγος μετασχηματισμού είναι  $n=0.5$ . Άρα η τάση στα άκρα του δευτερεύοντος είναι

$$V_{p(sec)} = nV_{p(pri)} = 0.5(100 \text{ V}) = 50 \text{ V}$$

- ▶ Η τάση στο μισό του δευτερεύοντος είναι 25V . Η τάση στα άκρα του φορτίου είναι  $25-0.7\text{V}= 24.3\text{V}$

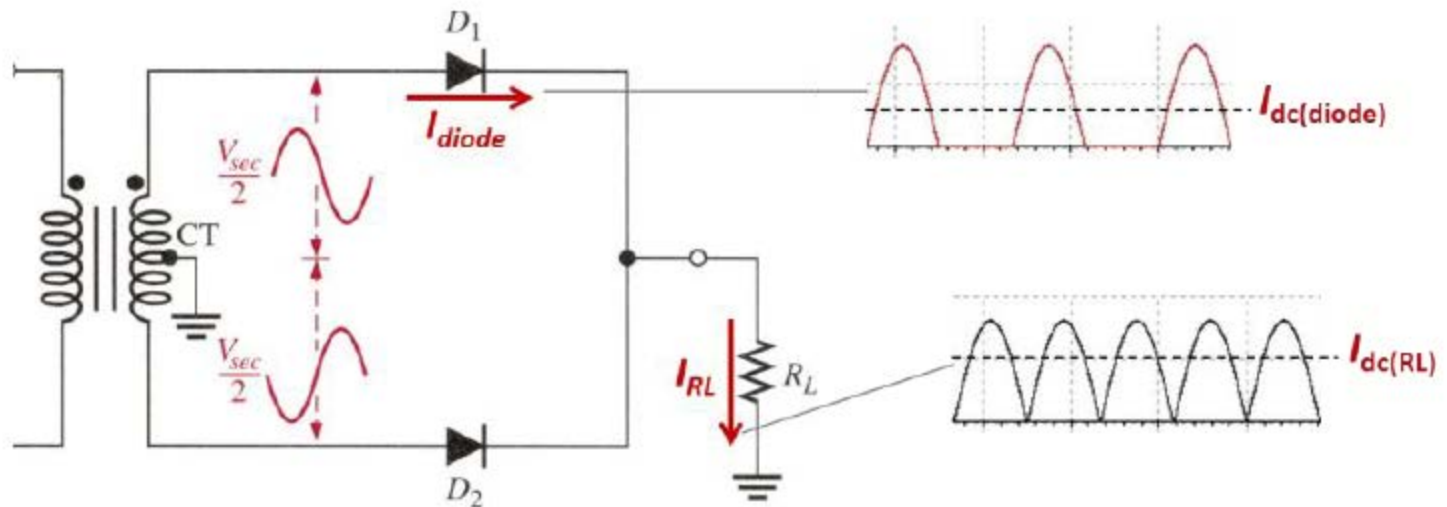


Η PIV κάθε διόδου είναι

$$PIV = 2V_{p(out)} + 0.7 \text{ V} = 2(24.3 \text{ V}) + 0.7 \text{ V} = 49.3 \text{ V}$$

Αν λάβουμε υπόψη το περιθώριο 20% βρίσκουμε 60V ή μεγαλύτερη

- ▶ Σε ένα κύκλωμα πλήρους ανόρθωσης, κάθε διαδος άγει για μια μόνο από τις δύο ημιπεριόδους της τάσης, έτσι, ενώ το ρεύμα στο φορτίο είναι πλήρως ανορθωμένο, το ρεύμα στην κάθε διαδο είναι ημιανορθωμένο





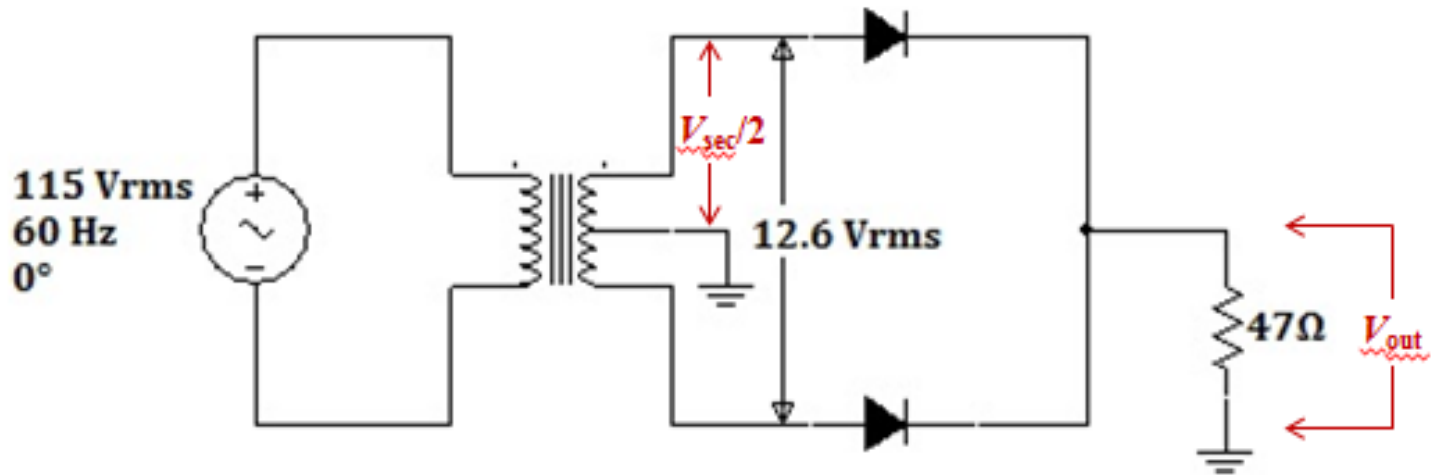
- ▶ Επομένως, η dc τιμή του ρεύματος της διόδου  $I_{diode}$  είναι η μισή της dc τιμής  $I_{dc}$  του ρεύματος στο φορτίο:

$$I_{diode} = \frac{I_{dc(R_L)}}{2}$$

# Εφαρμογή 2

Στο παρακάτω κύκλωμα να βρεθούν:

- Η dc τάση φορτίου.
- Το dc ρεύμα στο φορτίου.
- Η ανάστροφη κορυφή της τάσης στην κάθε δίοδο.
- Το dc ρεύμα της κάθε διόδου.



- ▶ Το πλάτος της τάσης στα άκρα του δευτερεύοντος είναι

$$V_{p(sec)} = \sqrt{2}V_{rms(sec)} = 17.8V$$

Το πλάτος της τάσης στα άκρα της αντίστασης φορτίου είναι

$$V_{p(out)} = \frac{V_{p(sec)}}{2} - 0.7V = 8.2V$$

Η μέση τάση στα άκρα του φορτίου είναι

$$V_{dc(out)} = \frac{2V_{p(out)}}{\pi} = \frac{2 \times 8.2V}{\pi} = 5.2V$$

- ▶ Το μέσο ρεύμα στην αντίσταση φορτίου είναι

$$I_{dc(out)} = \frac{V_{dc(out)}}{R_L} = \frac{5.2V}{47\Omega} \cong 111mA$$

- ▶ Το μέσο ρεύμα σε κάθε δίοδο

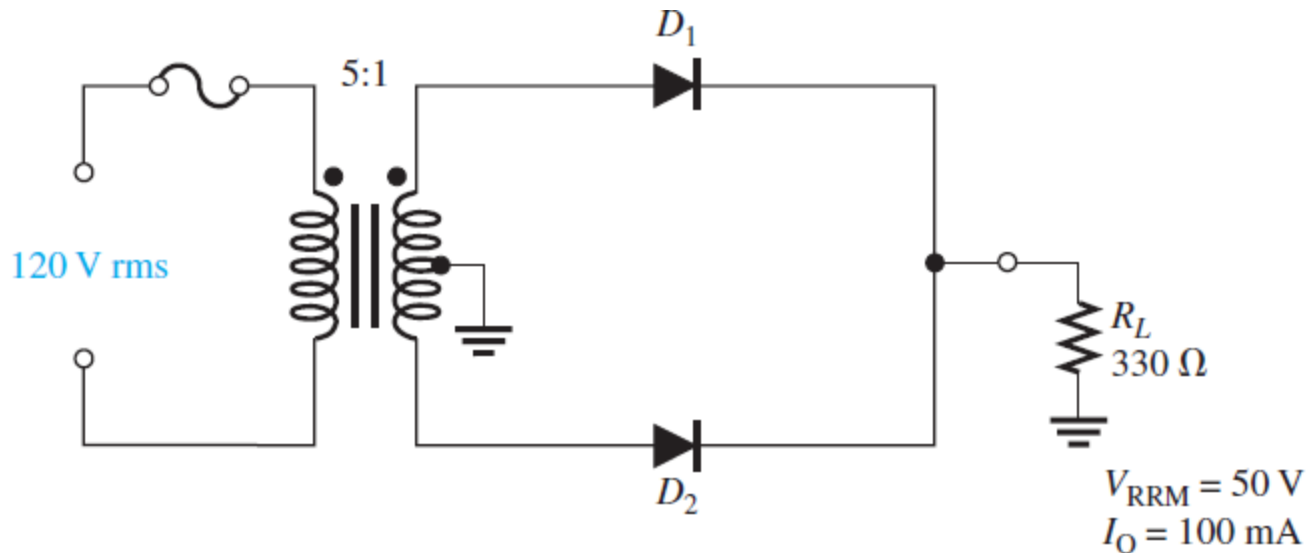
$$I_{dc(diode)} = \frac{I_{dc(out)}}{2} = 56mA$$

Η τάση PIV για κάθε δίοδο είναι

$$PIV = 2V_{p(out)} + 0.7 = 17.1V$$

# Εφαρμογή 3

Εξετάστε αν το παρακάτω κύκλωμα μπορεί να λειτουργήσει χωρίς να καταστραφούν οι δίοδοι.



- $I_0$  είναι το μέγιστο ρεύμα για κάθε δίοδο

Το πλάτος της τάσης στα άκρα του δευτερεύοντος είναι

$$V_{p(sec)} = \frac{120 \times \sqrt{2}}{5} V = 33.9V$$

Το πλάτος της τάσης εξόδου είναι

$$V_{p(out)} = \frac{V_{p(sec)}}{2} - 0.7V = 16.25V$$

Η τάση PIV κάθε διόδου είναι

$$PIV = 2V_{p(out)} + 0,7 = 33.2V$$

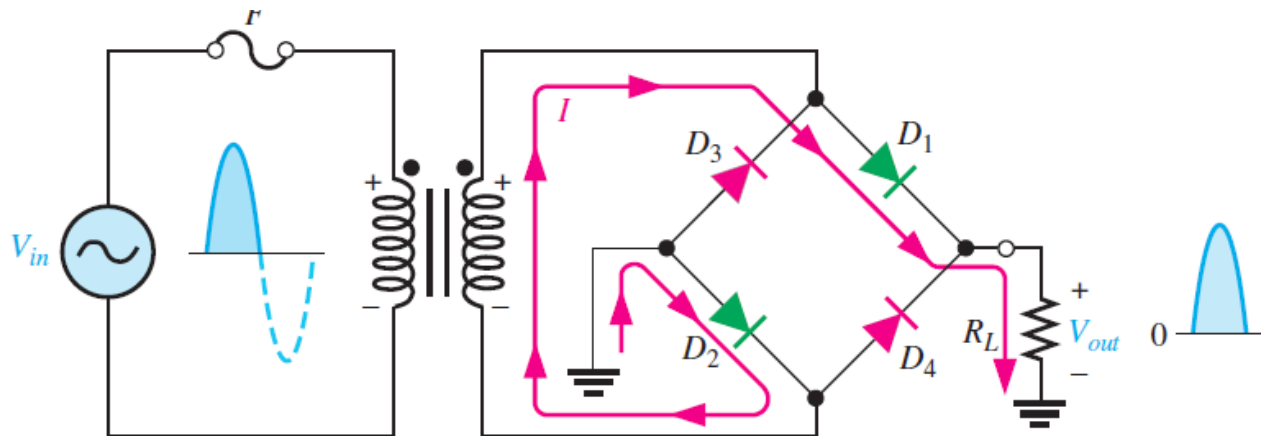
Το μέγιστο ρεύμα που διαρρέει την κάθε δίοδο

$$I_p = \frac{V_{p(\text{out})}}{R_L} = \frac{\frac{V_{p(\text{sec})}}{2} - 0.7V}{R_L} = \frac{16.3V}{330\Omega} = 49.4\text{mA}$$

- Η τάση  $PIV < V_{RRM}$  άρα όταν οι δίοδοι πολωθούν ανάστροφα δεν θα καταστραφούν.
- Το μέγιστο ρεύμα  $I_p < I_0$  άρα η δίοδοι δεν θα καταστραφούν κατά την ορθή πόλωση.
- $V_{RRM}$  ονομάζεται Maximum repetitive reverse voltage

# Κύκλωμα πλήρους ανόρθωσης με γέφυρα (The Bridge Full-Wave Rectifier)

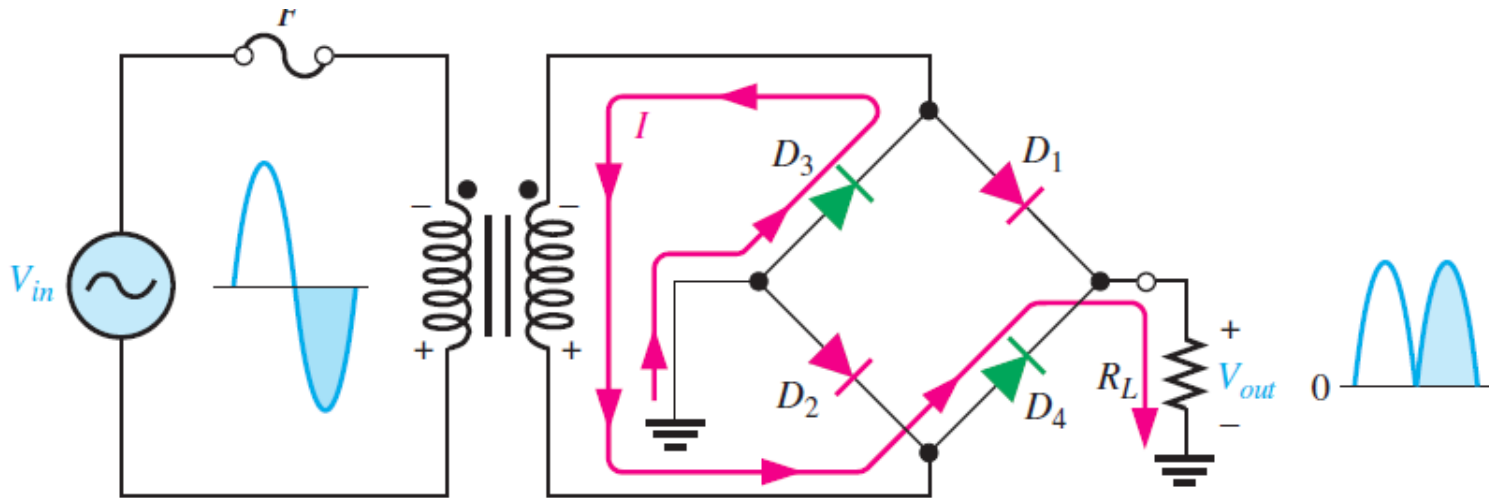
Το κύκλωμα γέφυρας χρησιμοποιεί 4 διόδους. Κατά την θετική ημιπερίοδο άγουν οι διόδοι  $D_1, D_2$



(a) During the positive half-cycle of the input,  $D_1$  and  $D_2$  are forward-biased and conduct current.  $D_3$  and  $D_4$  are reverse-biased.



- ▶ Κατά την αρνητική οι δίοδοι  $D_3, D_4$

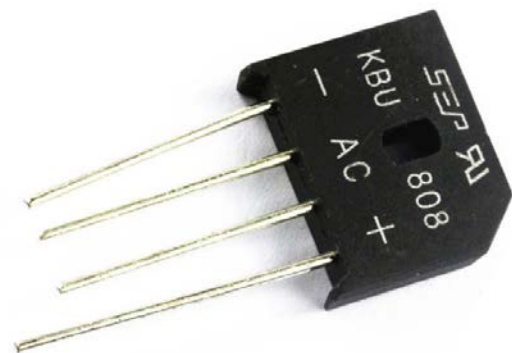


(b) During the negative half-cycle of the input,  $D_3$  and  $D_4$  are forward-biased and conduct current.  $D_1$  and  $D_2$  are reverse-biased.

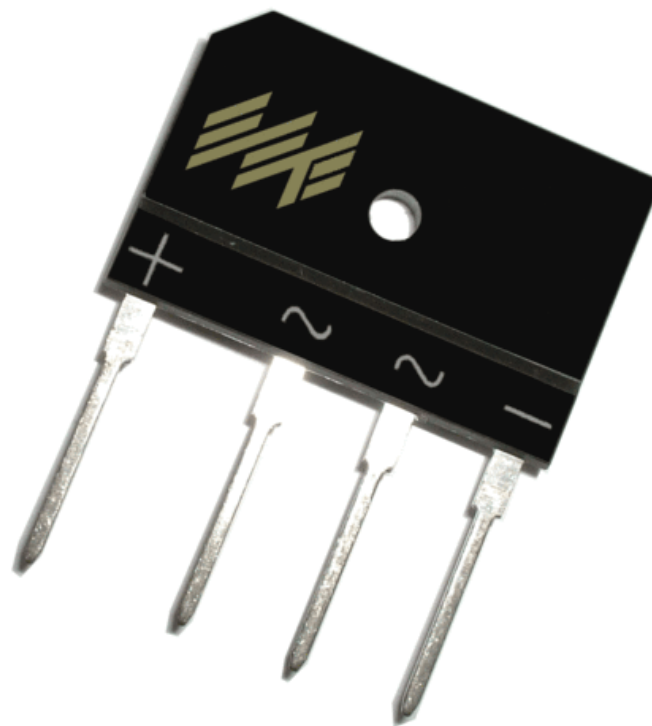
- ▶ Η τάση στην έξοδο έχει την ίδια πολικότητα και το πλάτος της τάσης είναι  $V_{p(out)} = V_{p(sec)} - 1.4V$

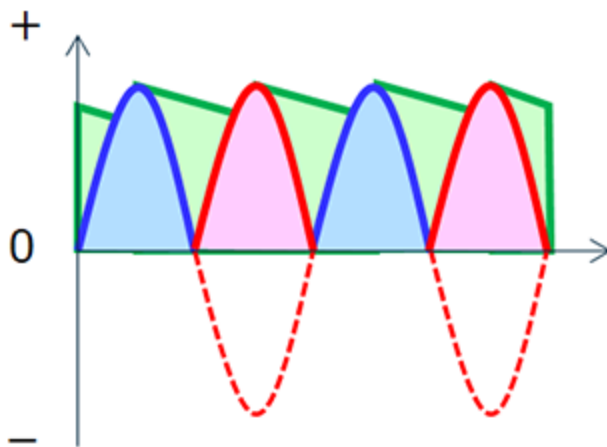
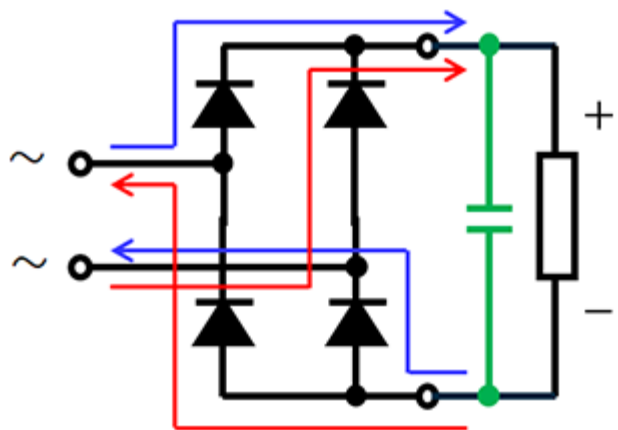
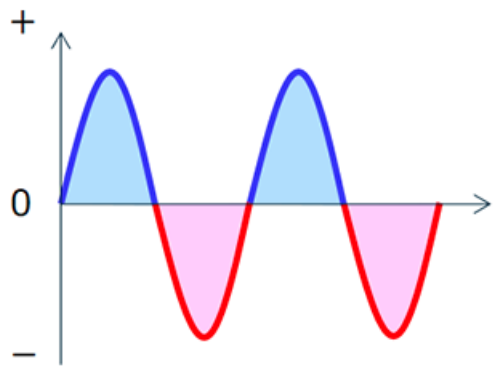
# Γέφυρα Διόδων

فیلو ٹرونکس

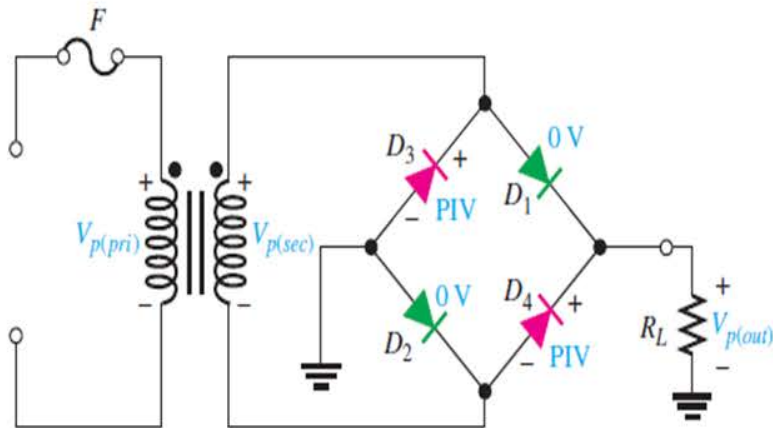


FilOtronix

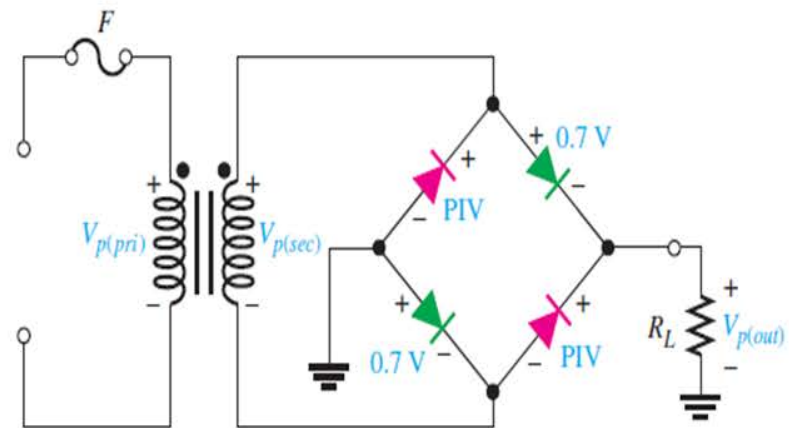




# Τάση PIV



(a) For the ideal diode model (forward-biased diodes  $D_1$  and  $D_2$  are shown in green),  $PIV = V_{p(out)}$ .



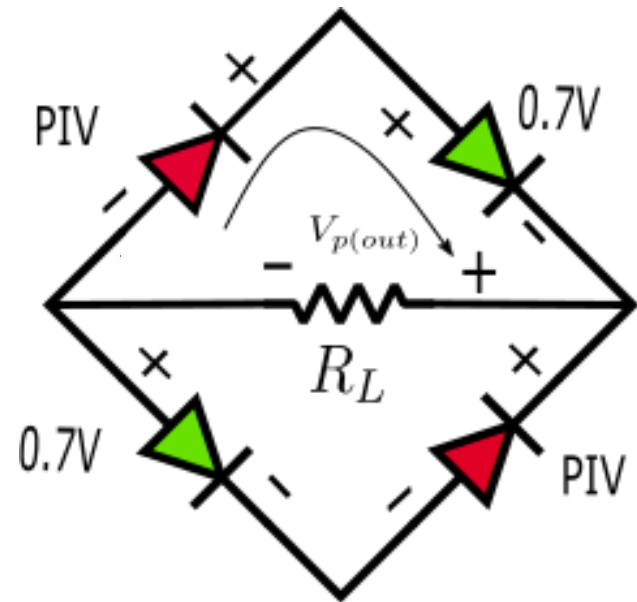
(b) For the practical diode model (forward-biased diodes  $D_1$  and  $D_2$  are shown in green),  $PIV = V_{p(out)} + 0.7 \text{ V}$ .

Εάν εφαρμόσουμε τον κανόνα *Kirchhoff* των τάσεων προκύπτει  $PIV = V_{p(out)}$  όταν οι διόδοι θεωρηθούν ιδανικές και  $PIV = V_{p(out)} + 0.7 \text{ V}$  όταν οι διόδοι θεωρηθούν μην ιδανικές. Η τάση PIV είναι μικρότερη απιο αυτή με τον μετασχηματιστή μεσαίας λήψης.

Εφαρμόζοντας τον κανόνα Kirchhoff των τάσεων στον βρόχο του σχήματος

$$PIV - 0.7V - V_{p(out)} = 0$$

$$PIV = 0.7V + V_{p(out)}$$



- ▶ Γενικά τα κυκλώματα ανόρθωσης χαρακτηρίζονται από τον βαθμό ανόρθωσης  $n$ .
- ▶ Ως βαθμός ανόρθωσης στην ανόρθωση ορίζεται το πηλίκο της ισχύος συνεχούς σήματος  $P_{DC}$  στο φορτίο, προς την ισχύ του εναλλασσόμενου  $P_{AC}$  που παρέχεται στο φορτίο.

$$n = \frac{P_{L,DC}}{P_{L,AC}}$$

Για παράδειγμα στην ημιανόρθωση (αμελώντας την τάση στα άκρα της διόδου 0.7V)

$$P_{L,DC} = \frac{V_{DC}^2}{R_L} = \frac{V_p^2}{\pi^2 R_L}$$

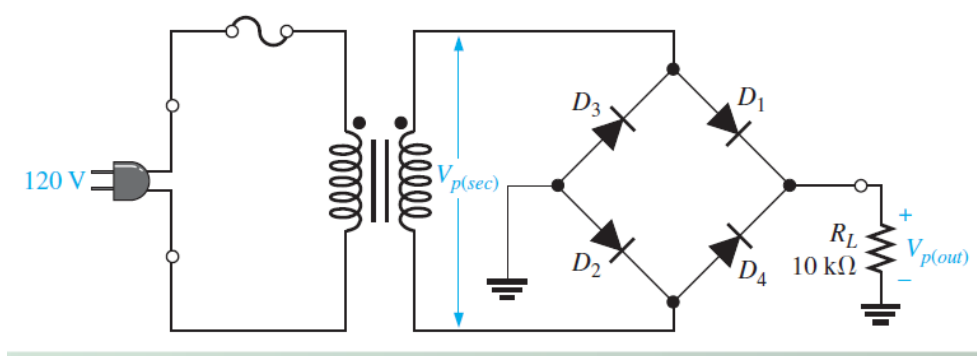
στην απλή ανόρθωση  $V_{rms} = \frac{V_p}{2}$

$$P_{L,AC} = \frac{V_{rms}^2}{R_L} = \frac{V_p^2}{4R_L}$$

$$\eta = \frac{P_{L,DC}}{P_{L,AC}} = \frac{\frac{V_p^2}{\pi^2 R_L}}{\frac{V_p^2}{4R_L}} = \frac{4}{\pi^2} \eta \quad 41\%$$

## Παράδειγμα 1

Προσδιορίστε την μέγιστη τάση εξόδου και την τάση PIV εάν  $V_{sec} = 12 V_{rms}$ . Χρησιμοποιήστε το πρακτικό μοντέλο της διόδου.



$$V_{p(sec)} = 1.414V_{rms} = 1.414(12 V) \cong 17 V$$

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

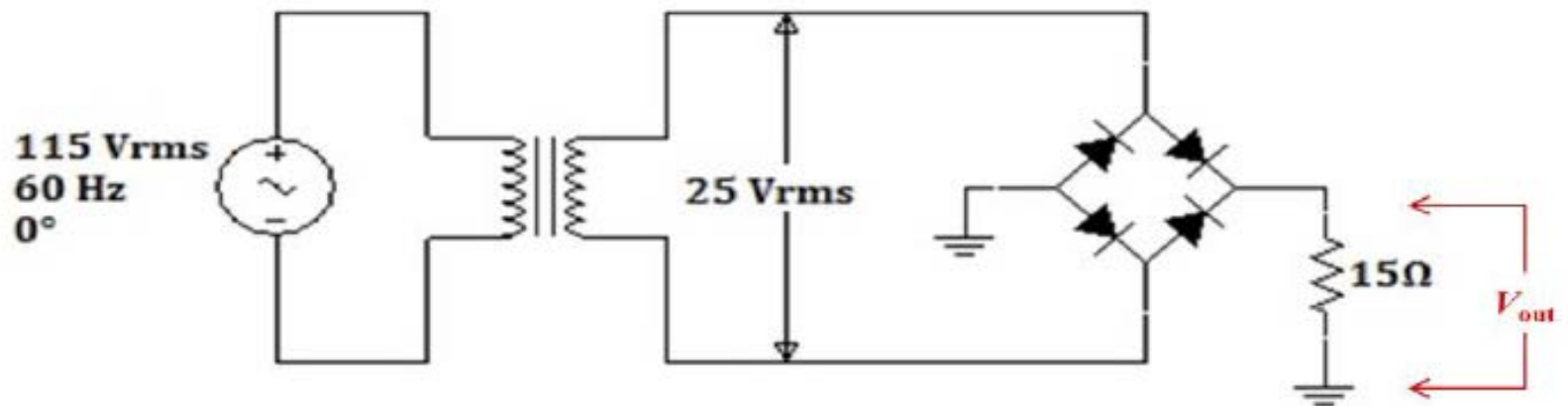
$$PIV = V_{p(out)} + 0.7 V = 15.6 V + 0.7 V = \mathbf{16.3 V}$$



## Παράδειγμα 2

Στο παρακάτω κύκλωμα γέφυρας να βρεθούν:

- Η dc τάση φορτίου.
- Το dc ρεύμα φορτίου.
- Η ανάστροφη κορυφή της τάσης στην κάθε δίοδο.
- το dc ρεύμα διόδου.



- ▶ Το πλάτος της τάσης στα άκρα του δευτερεύοντος είναι

$$V_{p(sec)} = \sqrt{2}V_{rms(sec)} = 35.4V$$

Το πλάτος της τάσης στα άκρα της αντίστασης φορτίου είναι

$$V_{p(out)} = V_{p(sec)} - 1.4V = 34V$$

Η μέση τάση στα άκρα του φορτίου είναι

$$V_{dc(out)} = \frac{2V_{p(out)}}{\pi} = \frac{2 \times 34V}{\pi} = 21.6V$$

- ▶ Το μέσο ρεύμα στην αντίσταση φορτίου είναι

$$I_{dc(out)} = \frac{V_{dc(out)}}{R_L} = \frac{21.6V}{15\Omega} \cong 1.44A$$

- ▶ Το μέσο ρεύμα σε κάθε δίοδο

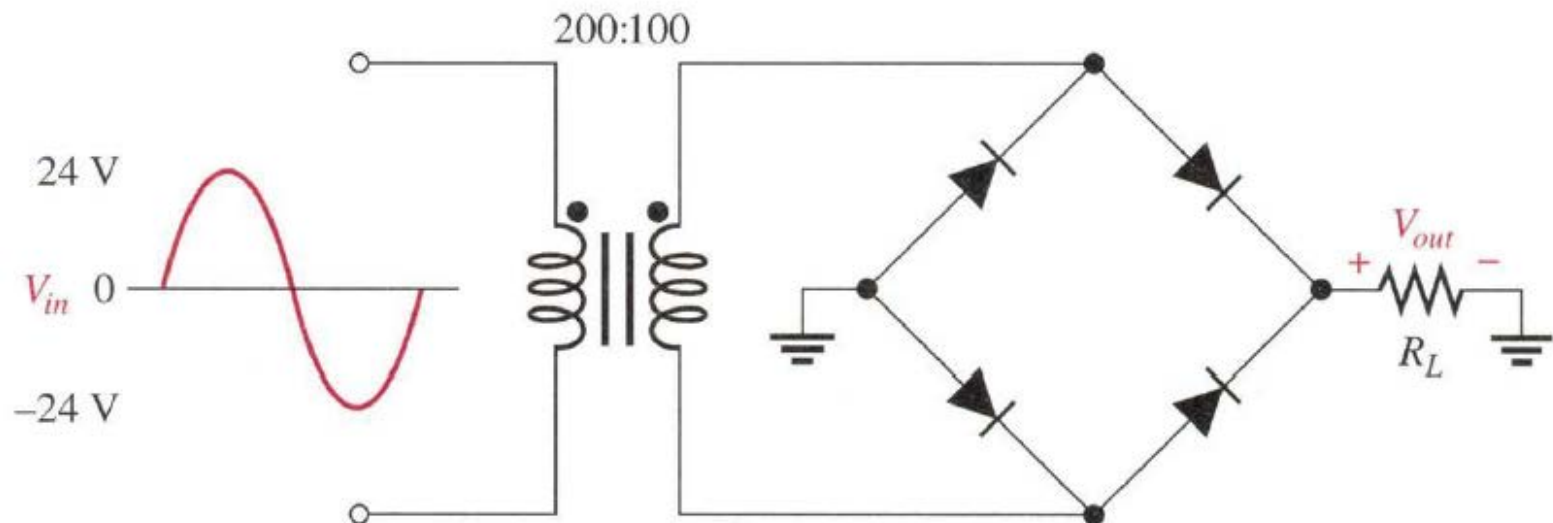
$$I_{dc(diode)} = \frac{I_{dc(out)}}{2} = 0.72A$$

Η τάση PIV για κάθε δίοδο είναι

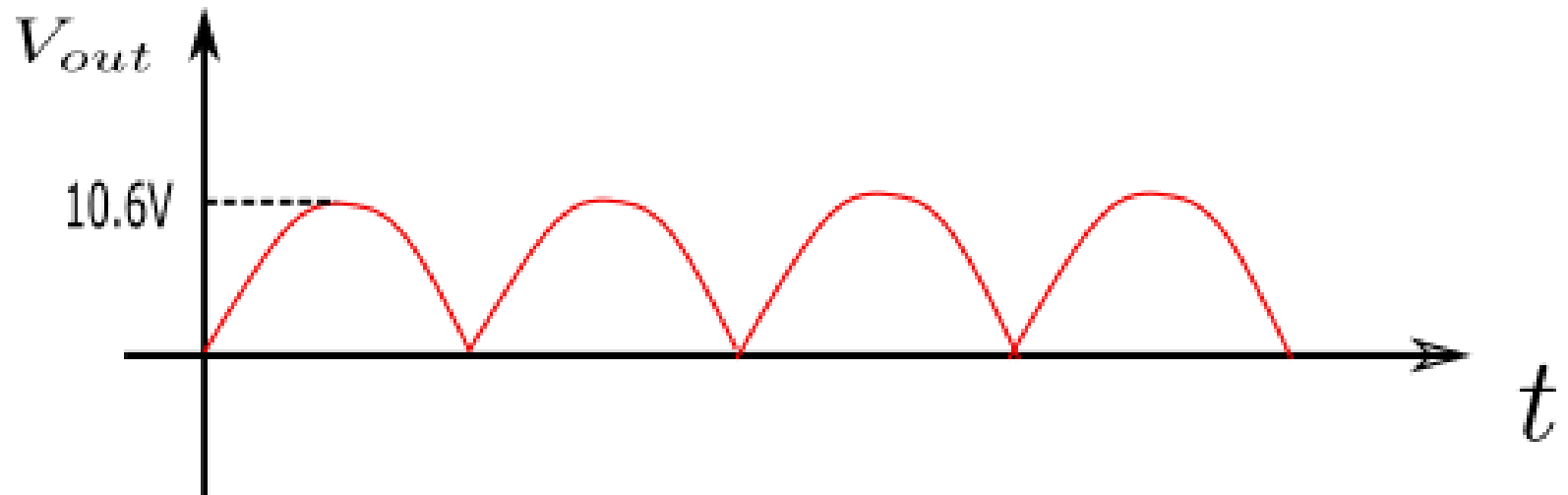
$$PIV = V_{p(out)} + 0.7 = 34.7V$$

# Παράδειγμα 3

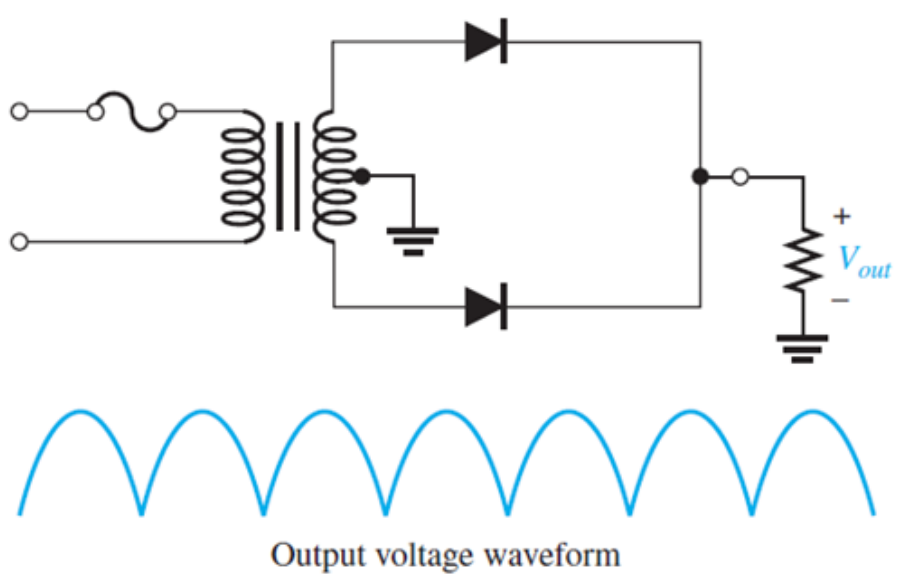
Προσδιορίστε τη μέγιστη τάση εξόδου για τον ανορθωτή γέφυρας του παρακάτω σχήματος.



$$V_{p(out)} = V_{p(sec)} - 1.4 \text{ V} = \left( \frac{N_{sec}}{N_{pri}} \right) \cdot V_{p(in)} - 1.4 \text{ V} = \left( \frac{100}{200} \right) \cdot 24 \text{ V} - 1.4 \text{ V} = \mathbf{10.6 \text{ V}}$$



# Βασικές σχέσεις-Πλήρης ανόρθωση



- Πλάτος τάσης εξόδου

$$V_{p(out)} = \frac{V_{p(sec)}}{2} - 0.7V$$

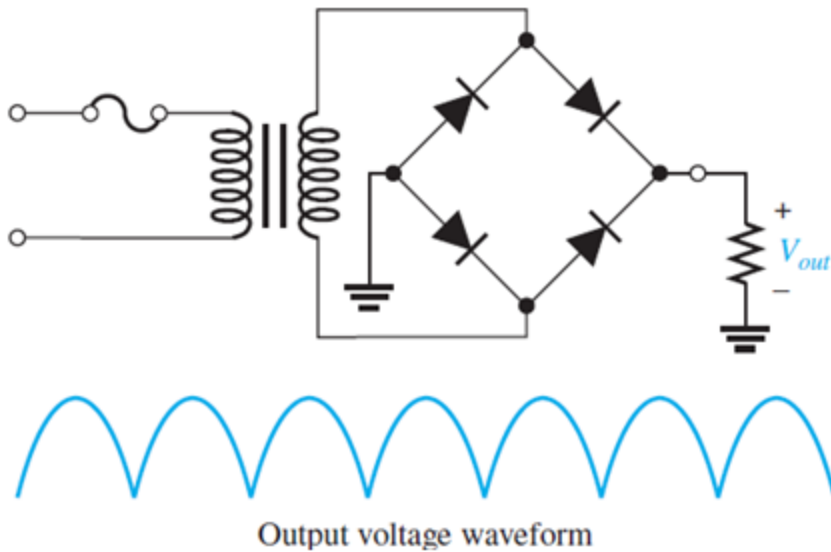
- Η μέση τάση εξόδου

$$V_{dc} = \frac{2V_{p(out)}}{\pi}$$

- Μέγιστη ανάστροφη τάση

$$PIV = 2V_{p(out)} + 0.7V$$

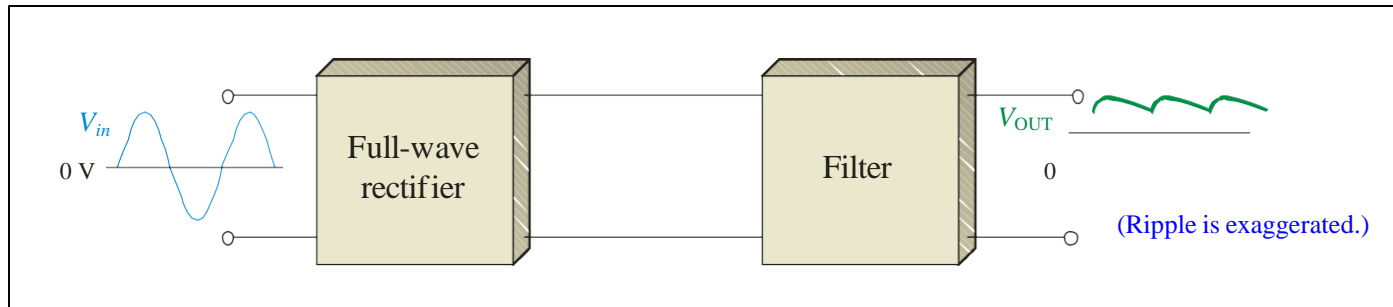
- Η συχνότητα της ημιανορθωμένης τάσης εξόδου είναι  $f_{out} = 2f_{in}$



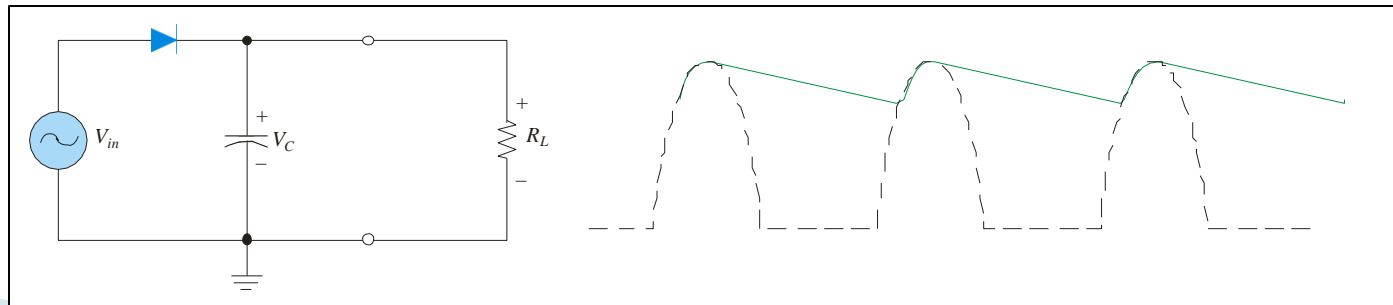
- Πλάτος τάσης εξόδου
 
$$V_{p(out)} = V_{p(sec)} - 1.4V$$
- Η μέση τάση εξόδου
 
$$V_{dc} = \frac{2V_{p(out)}}{\pi}$$
- Μέγιστη αναστροφή τάση
 
$$PIV = V_{p(out)} + 0.7V$$
- Η συχνότητα της ημιανορθωμένης τάσης εξόδου είναι  $f_{out} = 2f_{in}$

# Power Supply Filters

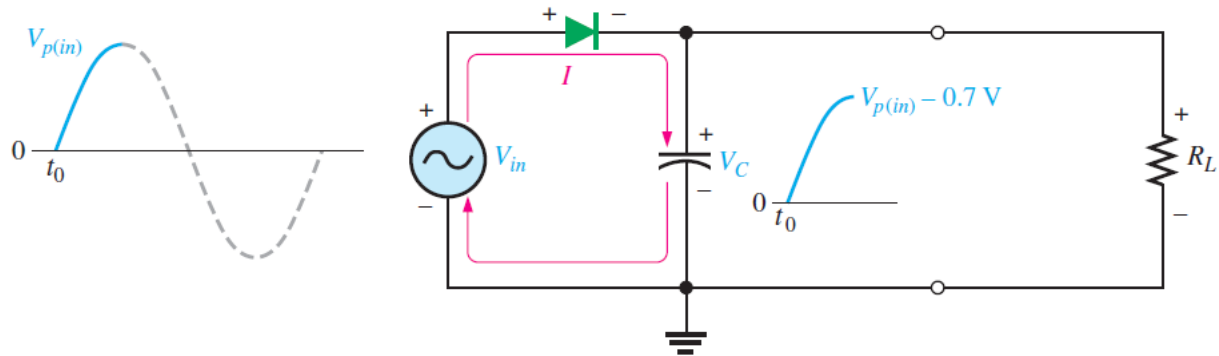
Το φίλτρο εξομαλύνει την ανορθωμένη τάση .



Σαν φίλτρο συνήθως χρησιμοποιείται ένας πυκνωτής . Στο σχήμα φαίνεται ένας ανορθωτής με φίλτρο.

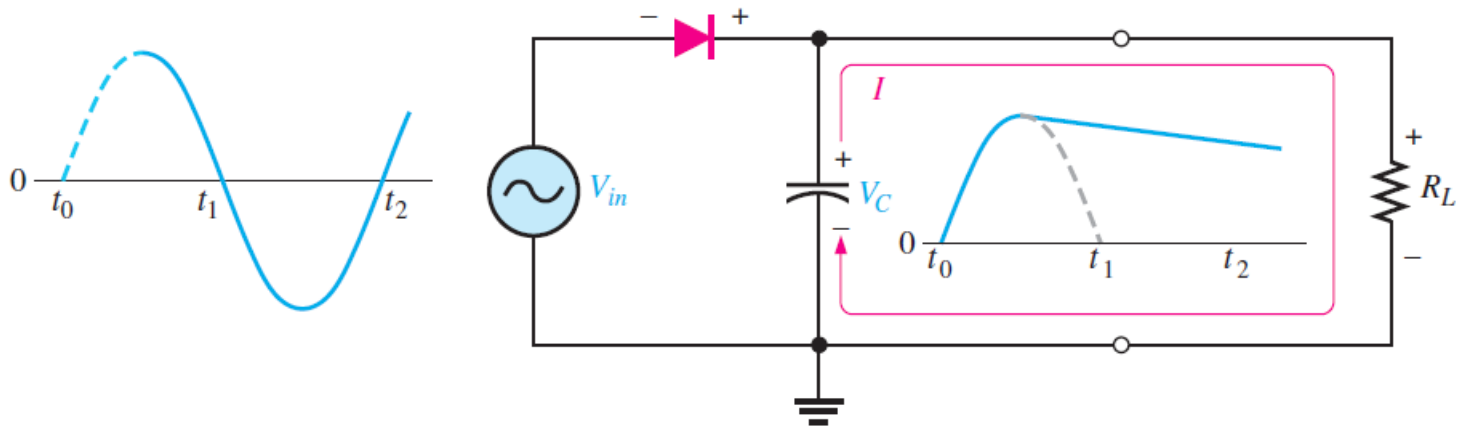




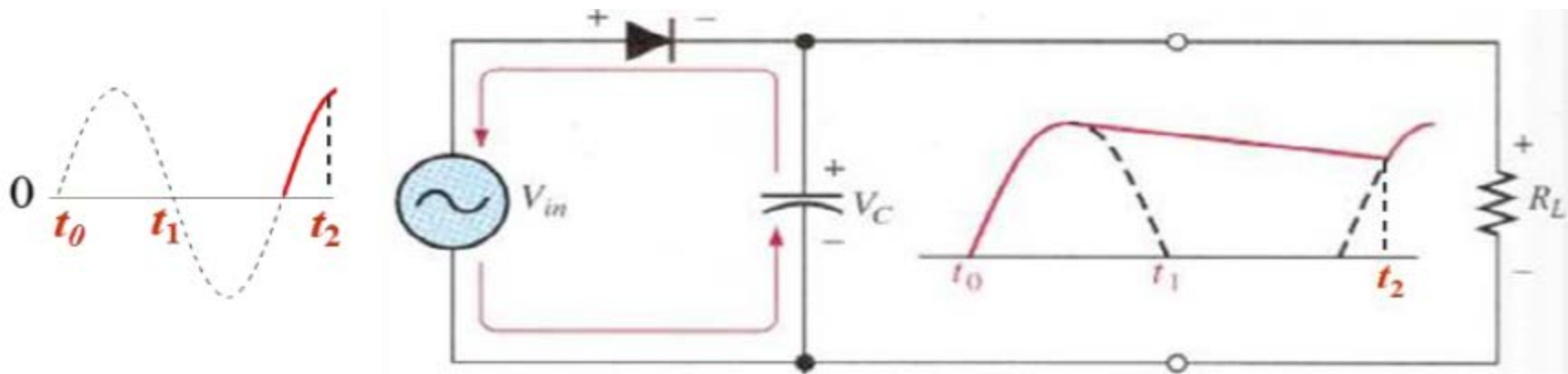


Με το άνοιγμα του διακόπτη τροφοδοσίας (χρονική στιγμή  $t_0$ ) γίνεται η αρχική φόρτιση του πυκνωτή μέχρι τη μέγιστη τάση  $V_{p(in)}$  (ή, για την ακρίβεια,  $V_{p(in)} - 0.7\text{ V}$ ).

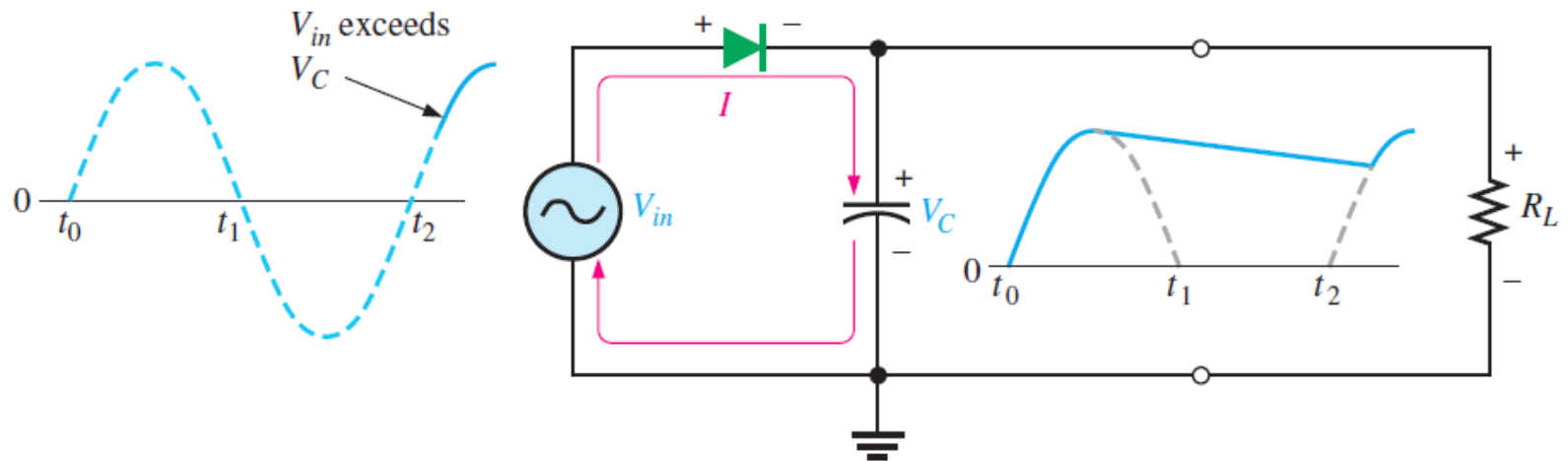
Στο δεύτερο μισό της θετικής ημιπεριόδου (μέχρι τη χρονική στιγμή  $t_1$ ), η τάση εισόδου  $V_{in}$  μειώνεται κάτω από τη μέγιστη τιμή  $V_p(in)$  ενώ ο πυκνωτής είναι σε τάση  $V_p(in)$ , επομένως, η δίοδος πολώνεται ανάστροφα και αποκόπτει και ο πυκνωτής αποφορτίζεται μέσω της  $RL$  και η τάση του πέφτει κάτω από τη μέγιστη τιμή  $V_p(in)$ .



- ▶ Στο υπόλοιπο της περιόδου, μέχρι τη χρονική στιγμή  $t_2$  που η τάση εισόδου  $V_{in}$  γίνεται πάλι μεγαλύτερη από την τάση του πυκνωτή (του οποίου η τάση έχει μειωθεί, λόγω αποφόρτισης), η διάοδος πολώνεται πάλι ορθά και ο πυκνωτής φορτίζεται πάλι μέχρι τη μέγιστη τιμή της τάσης εισόδου  $V_p(in)$ .

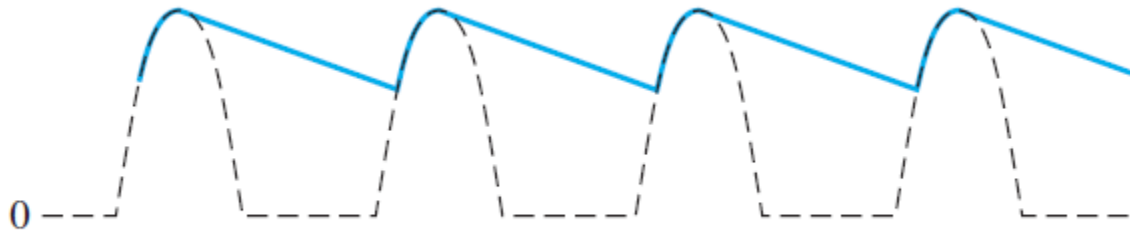


Στην συνέχεια η διόδος άγει και ο πυκνωτής φοτίζεται πάλι



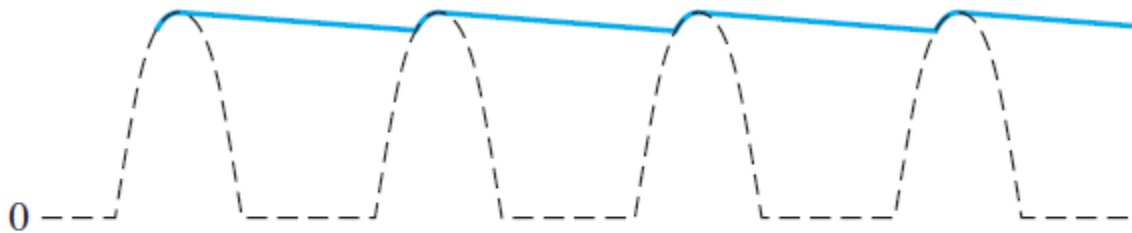
Η μεταβολή της τάσης λόγω της φόρτισης-εκφόρτισης του πυκνωτή λέγεται Κυμάτωση (ripple).

## Μεγάλη Κυμάτωση



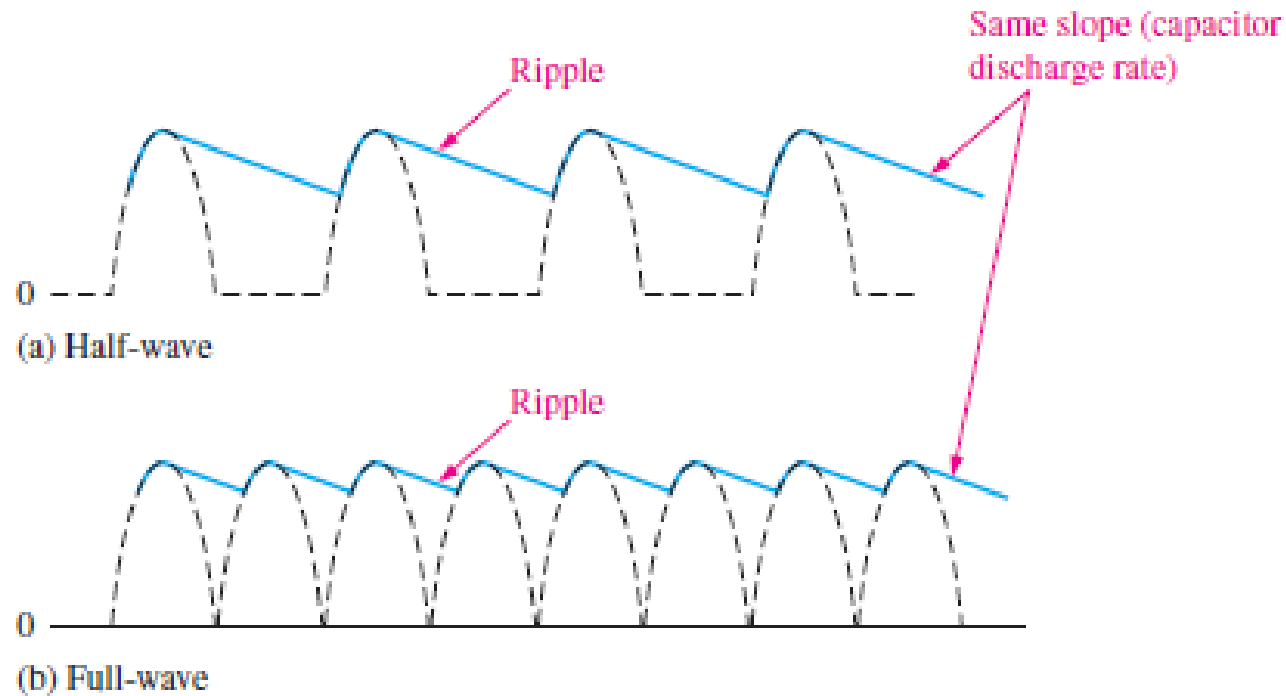
(a) Larger ripple (blue) means less effective filtering.

## Μικρή Κυμάτωση



(b) Smaller ripple means more effective filtering. Generally, the larger the capacitor value, the smaller the ripple for the same input and load.

# Διπλή Ανόρθωση φίλτρο

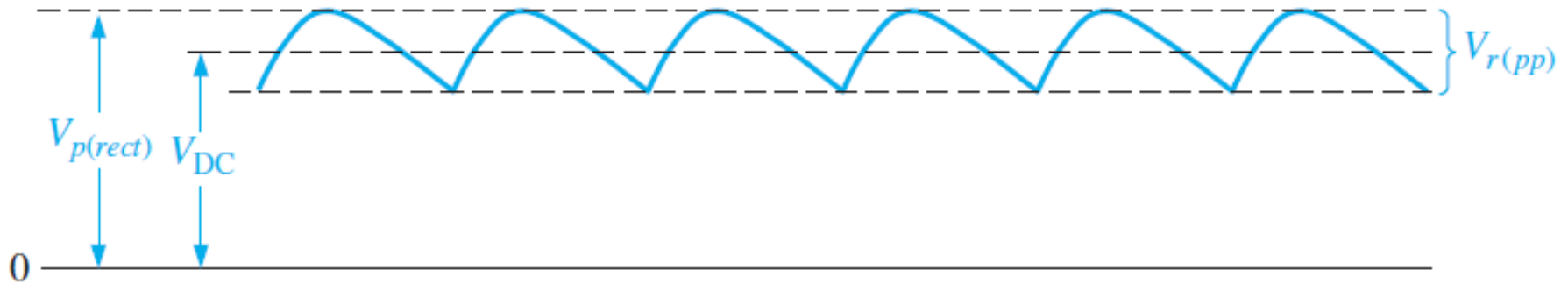


- ▶ Ένας ανορθωτής πλήρους κύματος έχει μικρότερη κυμάτωση τάσης σε σχέση με έναν ημιανορθωτή.
- ▶ Για δεδομένη χωρητικότητα πυκνωτή  $C$  και αντίσταση φορτίου  $R_L$ , η κλίση της κυμάτωσης στον ημιανορθωτή και τον πλήρη ανορθωτή είναι η ίδια.
- ▶ Ένας εμπειρικός κανόνας για καλό φιλτράρισμα είναι να κάνουμε:

$$R_L C \gg T \text{ (πχ } R_L C = 100T)$$

Όπου  $T$  η περίοδος της ανορθωμένης τάσης, έτσι ώστε η τάση στα άκρα του πυκνωτή να παραμένει σταθερή.

## Προσεγγιστικές Εκφράσεις Κυμάτωσης & Μ.Τ Τάσης Εξόδου Φίλτρου



Ο παράγοντας κυμάτωσης ορίζεται από την σχέση

$$r = \frac{V_{r(pp)}}{V_{DC}} \quad V_{r(pp)} \cong \left( \frac{1}{fR_L C} \right) V_{p(rect)}$$
$$V_{DC} \cong \left( 1 - \frac{1}{2fR_L C} \right) V_{p(rect)}$$



Στην περίπτωση του φίλτρου πυκνωτή με ανορθωτή δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την αρχή της υπεέρθεσης: Δηλ να θεωρήσουμε η έξοδος του κυκλώματος είναι η διέγερση που προκαλείται στο την συνεχή συνιστώσα του ανορθωμένου σήματος και την διέγερση που προκαλείται από τις επι μέρους αρμονικές :

$$v_0(t) = v_0(t) = H(0)v_i(0) + \sum_{k=1}^{\infty} H(k\omega_0)v_i(k\omega_0)$$

Όπου  $H(\omega)$  η συνάρτηση μεταφοράς του φίλτρου RC. Είναι φανερό ότι όταν η τάση . Είναι φανερό ότι όταν η τάση στα άκρα του πυκνωτή γίνει μικρότερη από την μέγιστη τάση τότε η δίοδοι δεν άγουν και ο πυκνωτής εκφορτίζεται μέσω της αντίστασης φορτίου  $R_L$ .

Όταν ο πυκνωτής εκφορτίζεται τότε η τάση στα άκρα της αντίστασης είναι

$$v_c = V_{p(rect)} e^{-\frac{t}{R_L C}}$$

Ο χρόνος εκφόρτισης του πυκνωτή από το ένα μέγιστο στο άλλο είναι  $T$ . Άρα η ελάχιστη τιμή της τάσης του πυκνωτή είναι

$$v_{c(\min)} = V_{p(rect)} e^{-\frac{T}{R_L C}}$$

Επειδή  $R_L C \gg T$

$$v_{c(\min)} = V_{p(\text{rect})} e^{-\frac{T}{R_L C}} \cong V_{p(\text{rect})} \left( 1 - \frac{T}{R_L C} \right)$$

Η τάση κυμάτωσης

$$\begin{aligned} V_{r(pp)} &= V_{p(\text{rect})} - v_{c(\min)} \\ &= V_{p(\text{rect})} - V_{p(\text{rect})} + \frac{T}{R_L C} V_{p(\text{rect})} = \frac{1}{f R_L C} V_{p(\text{rect})} \end{aligned}$$

Η ενεργός τιμή της τάσης κυμάτωσης προκύπτει αν υποθέσουμε προσεγγιστικά ότι η τάση κυμάτωσης είναι μια πριονωτή τάση άρα η

$$V_{r(rms)} = \frac{V_{r(pp)}}{2\sqrt{3}} = \frac{V_{p(rect)}}{2\sqrt{3}fR_L C}$$

Η τάση dc είναι

$$V_{DC} = V_{p(rect)} - \frac{V_{r(pp)}}{2} = V_{p(rect)} \left(1 - \frac{1}{2fR_L C}\right)$$

Άρα ο συντελεστής κυμάτωσης είναι

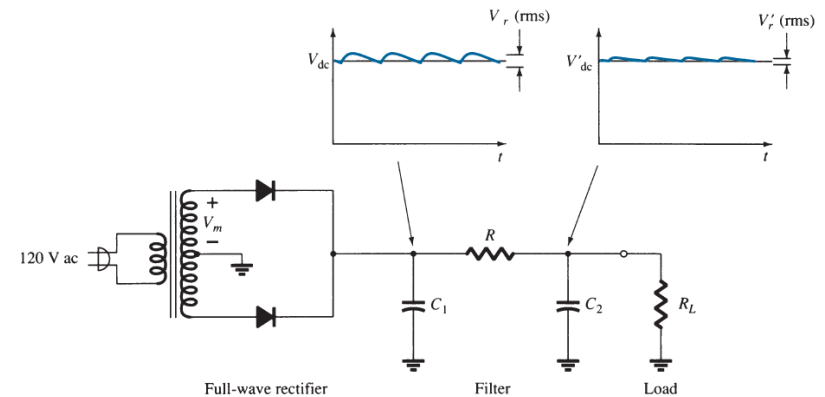
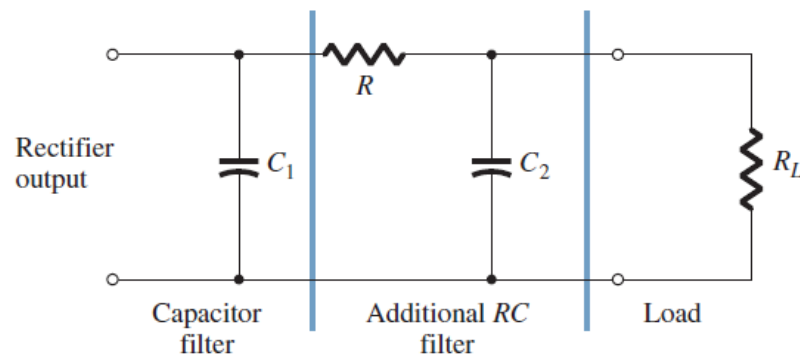
$$r = \frac{\frac{V_{p(rect)}}{2\sqrt{3}fR_L C}}{V_{p(rect)}} = \frac{V_{p(rect)}}{4\sqrt{3}f_0 R_L C}$$

Η συχνότητα  $f = 2f_0$  όπου η συχνότητα του σήματος στην είσοδο

$$r = \frac{\frac{V_{p(rect)}}{2\sqrt{3}fR_L C}}{V_{p(rect)}} = \frac{1}{4\sqrt{3}f_0 R_L C}$$

# Διπλό φίλτρο RC

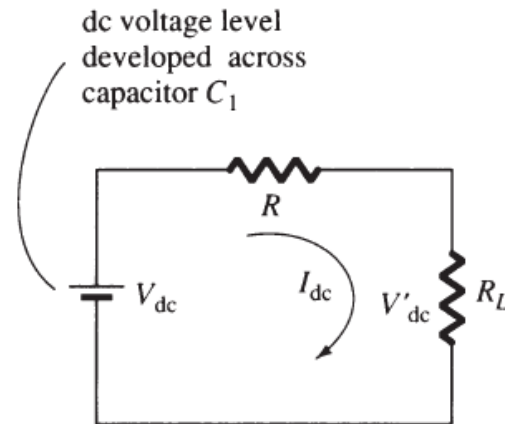
- Μπορούμε να μειώσουμε περαιτέρω την κυμάτωση αν προσθέσουμε ένα φίλτρο RC όπως στο σχήμα .
- Σκοπός του επιπρόσθετου φίλτρου RC είναι να μειωθεί η κυμάτωση και να υπάρχει στην έξοδο όσο μεγαλύτερη τιμή της dc συνιστώσας .



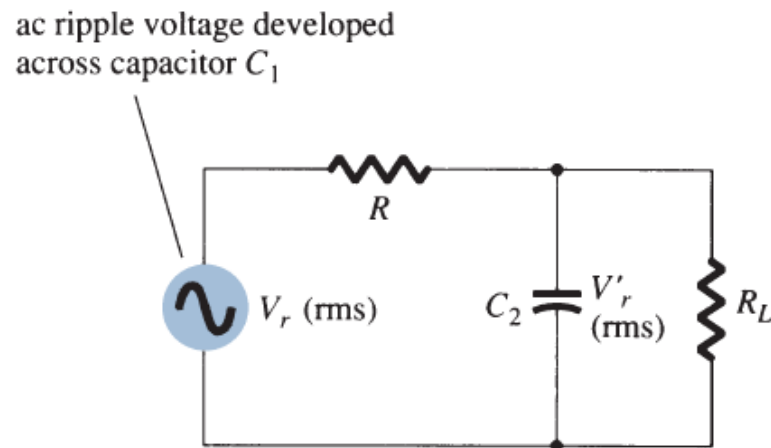
# Ανάλυση

Στο ισοδύναμο dc κύκλωμα οι πυκνωτές θεωρούνται ανοικτοί διακόπτες άρα η dc τάση στην έξοδο είναι

$$V'_{dc} = \frac{R_L}{R + R_L} V_{dc}$$



Το ac ισοδύναμο κύκλωμα είναι



Άρα η τάση εξόδου είναι  $V'_{rms} \cong \frac{X_C}{R} V_{rms}$  στην σχέση αυτή έχουμε υποθέσει ότι  $X_C \ll R_L$



Η εμπέδηση  $X_C$  δίδεται από την σχέση

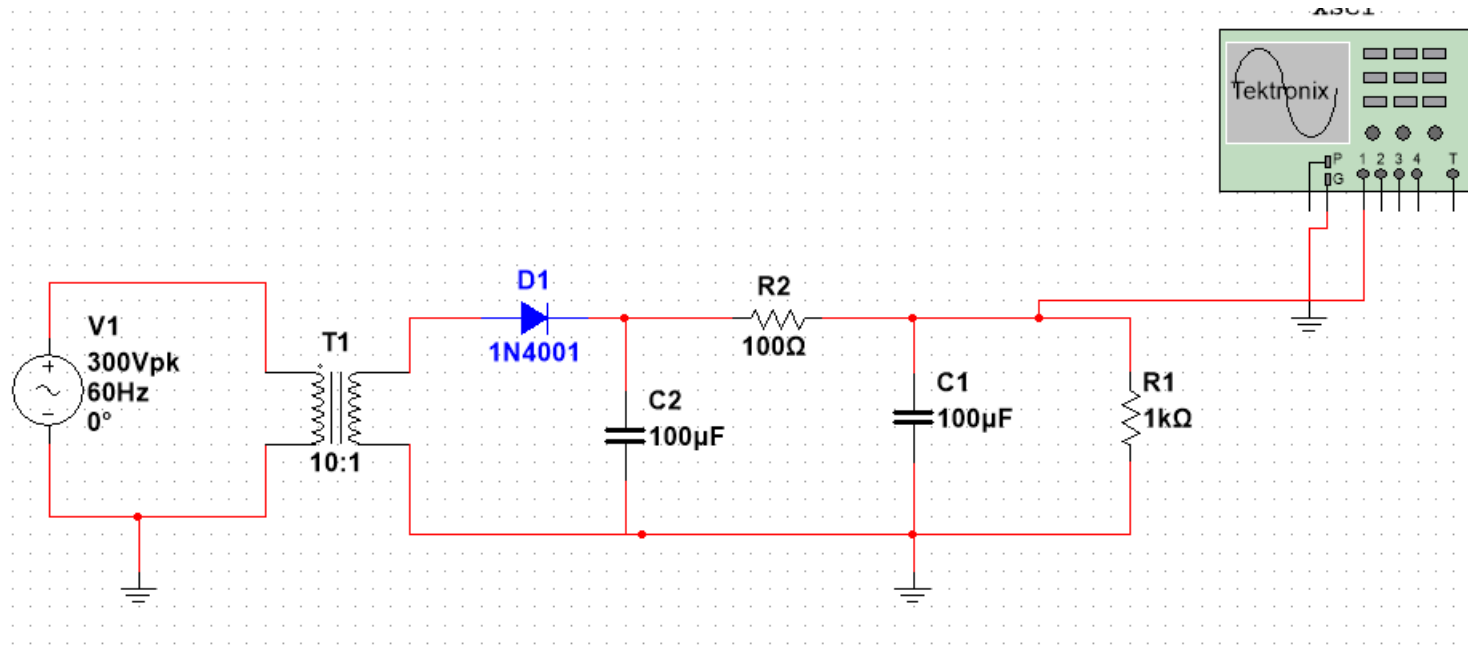
$$X_C (\text{k}\Omega) = \frac{1.3}{C(\mu\text{F})}$$

για συχνότητα  $f=120\text{Hz}$ .

Για συχνότητα απλή ανόρθωση όπου η συχνότητα είναι  $f=60\text{Hz}$

$$X_C (\text{k}\Omega) = \frac{2.7}{C(\mu\text{F})}$$

# Παράδειγμα



Η τάση dc από το αρχικό φίλτρο πυκνωτή

$$V_{DC} = V_{p(rect)} \left( 1 - \frac{1}{2fR_L C} \right) = 30V \left( 1 - \frac{1}{2 \times 120 \times 1k\Omega \times 100\mu F} \right) \\ = 27.4V$$

Η τάση DC με το διπλό φίλτρο είναι

$$V'_{dc} = \frac{R_L}{R + R_L} V_{dc} = 27.41V$$

Η rms τάση πριν το διπλό φίλτρο

$$V_{rms} = \frac{V_{p(rect)}}{2\sqrt{3}fR_L C} = 1.44V$$

Άρα η rms στο φορτίο με την προσθήκη του δίπλου φίλτρου είναι

$$V'_{rms} \cong \frac{X_C}{R} V_{rms}$$

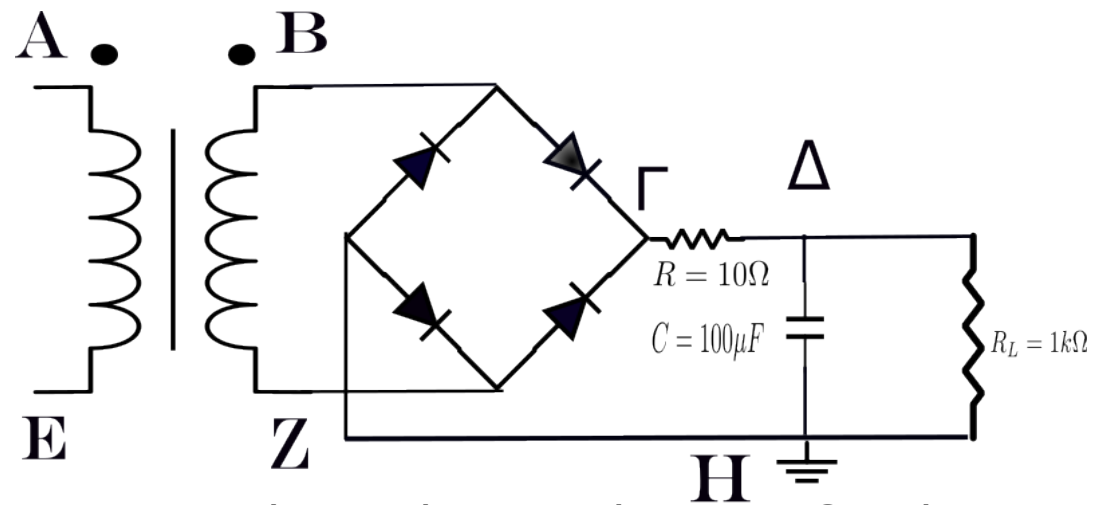
$$X_C = 13\Omega$$

$$V'_{rms} \cong \frac{27}{100} 1.44V = 400mV$$

Άρα ο συντελεστής κυματώσης είναι

$$r = \frac{V'_{rms}}{V'_{dc}} = \frac{400mV}{27.1V} = 1.5\%$$

# Εφαρμογή



Η είσοδος του κυκλώματος (σημείο Α) είναι η τάση του δικτύου VAE (220V, 50 Hz). Μετρήσαμε με πολύμετρο στην έξοδο της γέφυρας (σημείο Γ) χωρίς την επίδραση του πυκνωτή στη θέση DC,  $V_{\Gamma H} = 15.3 \text{ V}$ .

A) Να βρεθεί η ένδειξη του πολυμέτρου στη θέση AC για την τάση ΓΗ χωρίς την επίδραση του πυκνωτή και ο συντελεστής κυμάτωσης του σήματος στο σημείο Γ.

B) Να βρεθεί ο λόγος μετασχηματισμού του μετασχηματιστή.

Γ) Να βρεθεί η ένδειξη του πολυμέτρου στη θέση AC για την τάση εξόδου ΔΗ, με την επίδραση του πυκνωτή και να σχεδιαστούν οι κυματομορφές τάσης BZ, ΓΗ (χωρίς επίδραση πυκνωτή) και ΔΗ (με την επίδραση πυκνωτή) όπου να φαίνονται οι ακραίες τιμές τάσης και η περίοδος.

- ▶ Δ) Να βρεθεί ο συντελεστής κυμάτωσης του σήματος στο σημείο Δ (με την επίδραση του πυκνωτή).

A) Χωρίς τον πυκνωτή η τάση στο σημείο Γ είναι μια διπλά ανορθωμένη τάση και το πολύμετρο DC μετράει την μέση τάση, άρα

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

(αμελούμε την τάση 0.7 στα άκρα των διόδων) άρα το πλάτος της ανορθωμένης τάσης είναι

$$V_m = \frac{V_{dc}\pi}{2} = 24V$$

Άρα η ένδειξη του πολυμέτρου στο AC υπολογίζεται από τον πρώτο όρο της σειράς fourier της πλήρως ανορθωμένης τάσης

$$V_{AC} = \frac{4V_m}{3\pi\sqrt{2}} = 7V$$

Άρα ο συντελεστής κυμάτωσης της ανορθωμένης τάσης είναι

$$r = \frac{V_{AC}}{V_{DC}} = \frac{7V}{15.3V} = 0.46 \text{ ή } 46\%$$

Β) Ο λόγος μετασχηματισμού ορίζεται από την σχέση

$$\frac{V_{pri}}{V_{sec}} = \frac{N_{pri}}{N_{sec}} = \frac{220\sqrt{2}}{24} = 13:1$$

Γ) Όταν συνδεθεί ο πυκνωτής η τάση dc είναι

$$V_{dc} = V_{p(rect)} \left( 1 - \frac{1}{2fR_L C} \right) = 23V$$



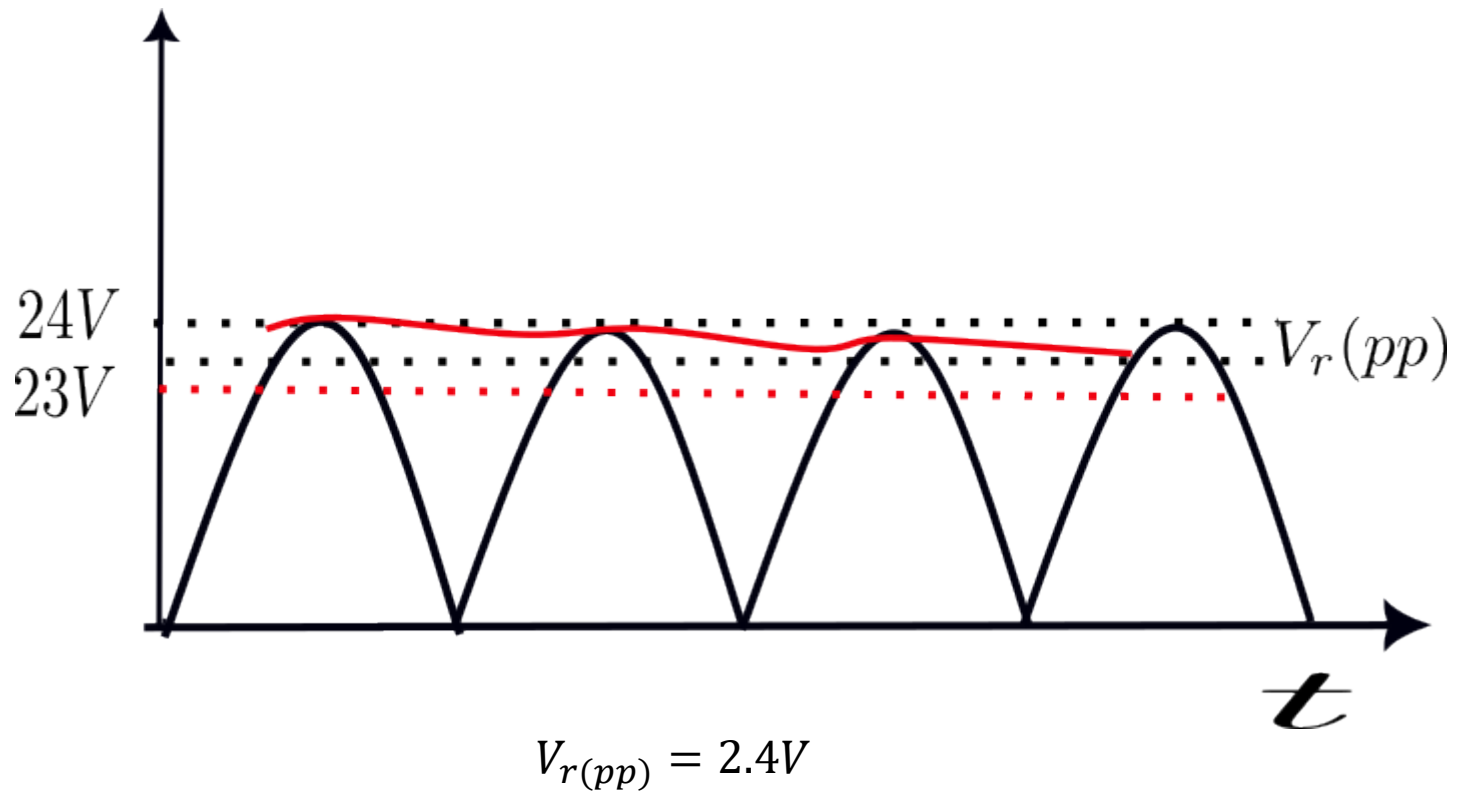
Η τάση rms είναι με την παρουσία του πυκνωτή είναι

$$V_{rms} = \frac{V_{p(rect)}}{4\sqrt{3}f_0 R_L C} \cong 0.69V$$

Άρα η συντελεστής κυμάτωσης είναι

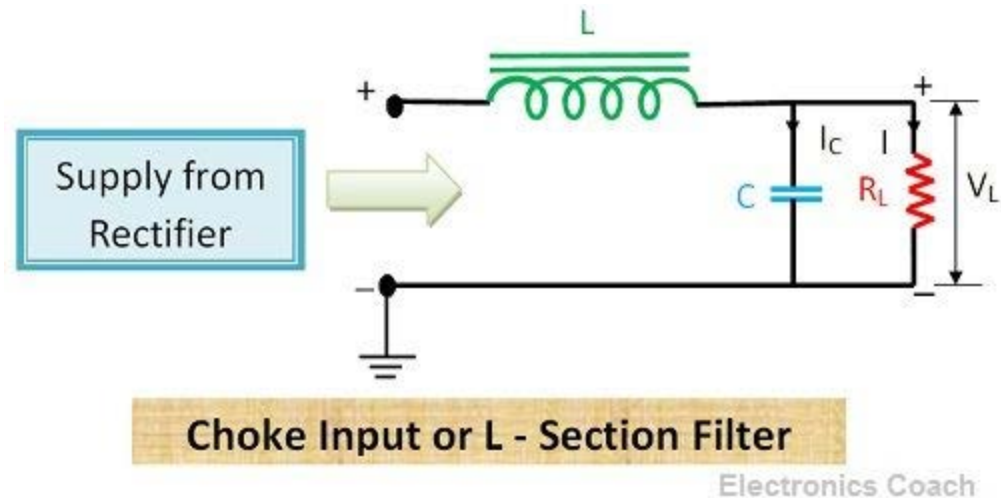
$$r = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} = \frac{0.69V}{23V} = 0.030$$

ή 3%

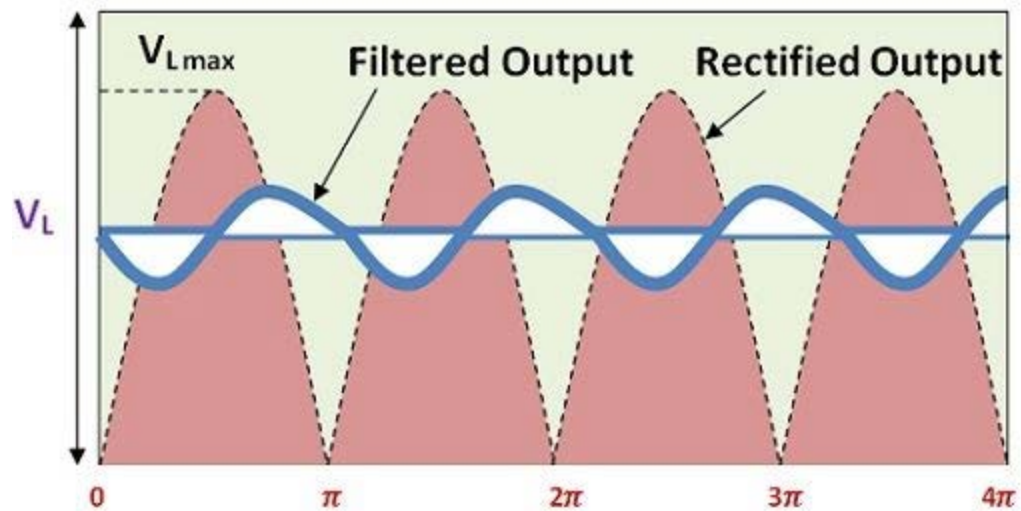


# Φίλτρο RL

Ένα φίλτρο που δημιουργεί μικρότερη κυμάτωση σε σχέση με το RC είναι ο συνδυασμός πηνίου αντίστασης



## ► Κυματομορφή



Output Voltage Waveform

Η τάση στα άκρα του πηνίου μπορεί να εκτιμηθεί αν το πηνίο διαρρέεται από θετικό ρεύμα (continuous mode) Στην περίπτωση αυτή, η τάση  $v_s$  είναι μια διπλά ανορθωμένη τάση άρα η μέση τάση είναι

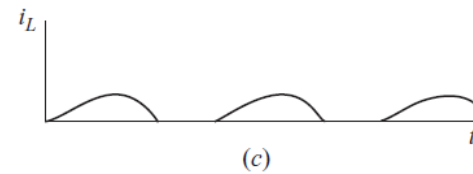
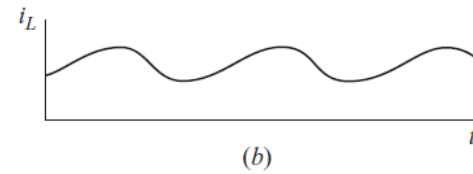
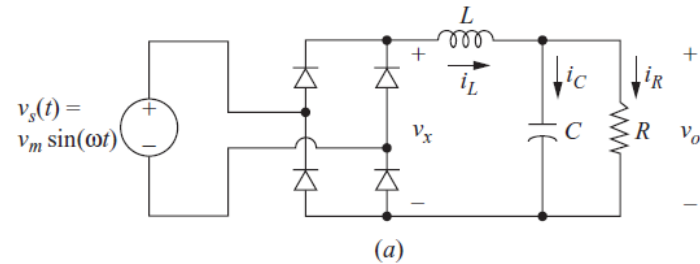
$$V_o = \frac{2V_m}{\pi}$$

Το μέσο ρεύμα στο φορτίο είναι ίσο με το μέσο ρεύμα στο πηνίο άρα

$$I_L = I_R = \frac{V_o}{R} = \frac{2V_m}{\pi R}$$

Το πλάτος του ρεύματος στο πηνίο  
μπορεί να εκτιμηθεί από τον  
πρώτο όρο της αρμονικής

$$I_2 = \frac{V_2}{Z_2} \approx \frac{V_2}{2\omega L} = \frac{4V_m/3\pi}{2\omega L} = \frac{2V_m}{3\pi\omega L}$$



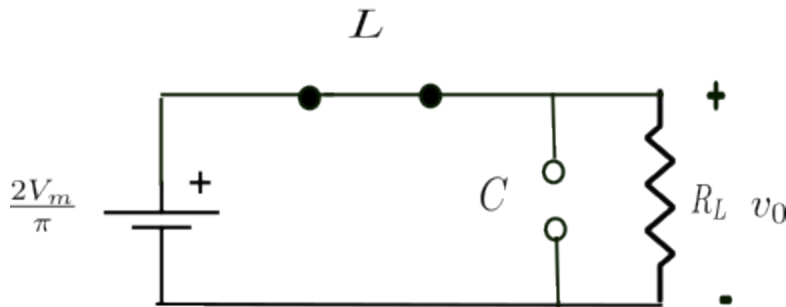
Για να είναι το ρεύμα που διαρρέει το πηνίο θετικό (δηλ. το πλάτος της εναλλασσόμενης συνιστώσας μικρότερο από της DC συνιστώσας), θα πρέπει

$$\begin{aligned} I_2 &< I_L \\ \frac{2V_m}{3\pi\omega L} &< \frac{2V_m}{\pi R} \\ L &> \frac{R}{3\omega} \end{aligned}$$

# Κυμάτωση

Ο συνδυασμός πηνίου - πυκνωτή μειώνει σημαντικά την κυμάτωση. Η σημαντικότερη συχνότητα του ανορθωμένου σήματος είναι η  $2\omega$  αν το σήμα στην είσοδο του κυκλώματος έχει συχνότητα  $\omega$ . Για ορισμένες τιμές της αυτεπαγωγής  $L$ , η τάση εξόδου είναι το άθροισμα της τάσης που οφείλεται στην dc συνιστώσα της ανορθωμένης τάσης και της αρμονικής με συχνότητα  $2\omega$ .

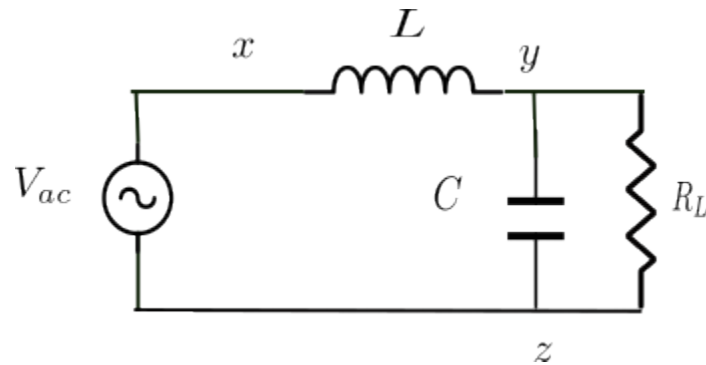
Στο ισοδύναμο dc ο πυκνωτής έχει πολύ μεγάλη αντίσταση ενώ το πηνίο πολύ μικρή



$$V_{0,dc} = \frac{2V_m}{\pi}$$



Για την ac τάση το ισοδύναμο κύκλωμα είναι



Άρα η τάση εξόδου είναι

$$V_0 = \frac{Z_{yz}}{Z_{xy} + Z_{zy}} V_{ac}$$

Επειδή  $Z_{xy} \gg Z_{yz}$ , επίσης  $Z_{yz} = X_C \parallel R_L = X_C$   
Άρα

$$V_{0ac} = \frac{Z_{yz}}{Z_{zy}} V_{ac} = \frac{X_C}{X_L} V_{ac}$$

Είναι φανερό ότι

$$V_{0acp} = \frac{X_C}{X_L} V_{acp} = \frac{X_C}{X_L} \frac{4V_m}{3\pi}$$

Η ενεργός τιμή είναι

$$V_{0arms} = \frac{X_C}{\sqrt{2}X_L} \frac{4V_m}{3\pi}$$

Άρα ο συντελεστής κυμάτωσης είναι

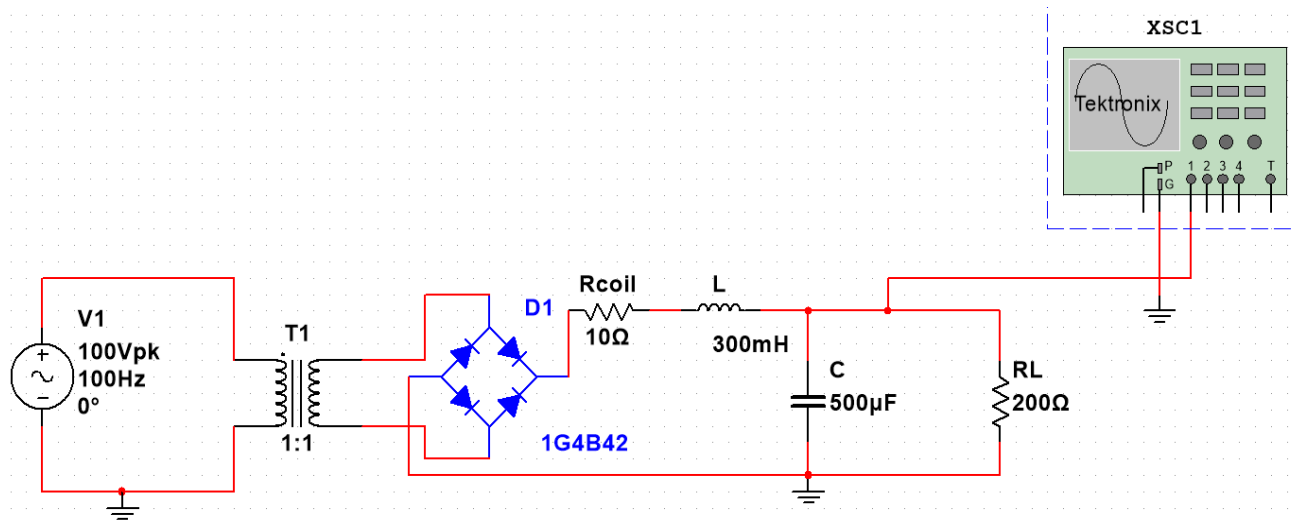
$$r = \frac{V_{0arms}}{V_{0,dc}} = \frac{\frac{X_C}{\sqrt{2}X_L} \frac{4V_m}{3\pi}}{\frac{2V_m}{\pi}} = \frac{\sqrt{2}}{3} \frac{X_C}{X_L}$$

Με αντικατάσταση των  $X_C = \frac{1}{2\omega_0 C}$ ,  $X_L = 2\omega_0 L$  άρα ο συντελεστής κυμάτωσης είναι

$$r = \frac{1}{6\omega_0^2 \sqrt{2}LC}$$

# Εφαρμογή

Να βρεθεί ο συντελεστής κυμάτωσης για το παρακάτω κύκλωμα



Επειδή  $R_L < 6\pi f_{in}L$  μπορούμε να βρούμε ξεχωριστά την dc τάση εξόδου και την ac τάση εξόδου. Στο ισοδύναμο dc το πηνίο είναι βραχυκύκλωμα και ο πυκνωτής ανοικτό κύκλωμα άρα η dc τάση εξόδου είναι

$$V_{dc,out} = \frac{R_L}{R_L + R_{coil}} V_{dc,in} = \frac{R_L}{R_L + R_{coil}} \frac{2V_m}{\pi} = 61V$$

Στο ισοδύναμο ac το πηνίο έχει εμπέδηση  $Z_{coil} = jX_{coil}$  και ο πυκνωτής  $Z_c = -jX_c$ . Η συχνότητα επιλέγεται διπλάσια από την συχνότητα εισόδου λόγω της σειράς Fourier της τάσης ανόρθωσης

$$X_{coil} = 2\pi(2f_{in})L \quad X_c = \frac{1}{2\pi(2f_{in})C}$$

$$V_{fr}(t) = \frac{2V_m}{\pi} - \frac{4V_m}{3\pi} \cos(2f_{in}t)$$

$$V_{rms,out} = \left( \frac{Z_L}{Z_L + Z_{coil} + R_{coil}} \right) V_{rms,in}$$

$$Z_L = -jX_C \parallel R_L$$

$$\begin{aligned} V_{rms,out} &= \left| \frac{Z_L}{Z_L + Z_{coil} + R_{coil}} \right| V_{rms,in} \\ &= \left| \frac{-jX_C \parallel R_L}{-jX_C \parallel R_L + jX_{coil} + R_{coil}} \right| \frac{4V_m}{3\pi\sqrt{2}} \end{aligned}$$

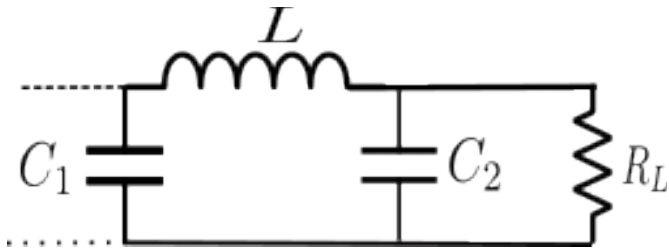
$$V_{rms,out} = \left( \frac{X_C \parallel R_L}{\sqrt{(X_{coil} - X_C \parallel R_L)^2 + R_{coil}^2}} \right) \frac{4V_m}{3\pi\sqrt{2}} = 127mV$$

'Άρα ο συντελεστής κυμάτωσης είναι

$$r = \frac{V_{rms,out}}{V_{dc,out}} = \frac{127 \times 10^{-3}V}{61V} = 0.0021 = 0.2\%$$



# Φίλτρο $\Pi$



Χρησιμοποιείται όπου απαιτείται :

- α) Μικρό ρεύμα στην έξοδο
- β) Μεγάλη τάση εξόδου

Αποτελείται από δύο πυκνωτές και ένα πηνίο.

- ▶ Η τάση κυμάτωσης

$$V_r = \frac{I_{dc}}{2fC_1}$$

Η rms τιμή είναι

$$V_{ac,rms} = \frac{V_r}{\pi\sqrt{2}} = \frac{1}{\pi\sqrt{2}} \frac{I_{dc}}{2fC_1} = I_{dc} X_{C1} \sqrt{2}$$

Όπου

$$X_{C1} = \frac{1}{4\pi f C_1}$$

Την τάση κυμάτωσης μπορούμε να την θεωρήσουμε πριονωτή. Από την σειρά Fourier μπορούμε να κρατήσουμε τους δύο πρώτους όρους άρα

$$v(t) \cong \frac{V_r}{2} - \frac{V_r}{\pi} \sin(2\omega_0 t) = V_{dc} + v_r(t)$$

Η rms τιμή της τάσης ac είναι  $V_{ac,rms} = \frac{V_r}{\sqrt{2}\pi}$

Η τάση στο τμήμα LC είναι

$$V'_{ac,rms} = \frac{X_{C2}}{X_{C2} + X_L} V_{ac,rms}$$

Επειδή

$$X_L \gg X_{C2}$$

$$V'_{ac,rms} = \frac{X_{C2}}{X_L} V_{ac,rms} = I_{dc} X_{C1} \sqrt{2} \times \frac{X_{C2}}{X_L}$$

Ο συντελεστής κυμάτωσης είναι

$$r = \frac{\sqrt{2} I_{dc} X_{C1} X_{C2}}{V_{dc} X_L} = \frac{\sqrt{2} I_{dc} X_{C1} X_{C2}}{I_{dc} R_L X_L} = \frac{\sqrt{2} X_{C1} X_{C2}}{R_L X_L}$$

$$r = \frac{\sqrt{2} X_{C1} X_{C2}}{R_L X_L} = \frac{\sqrt{2}}{R_L (2\omega L) (2\omega C_1) (2\omega C_2)} = \frac{\sqrt{2}}{8\omega^3 R_L L C_1 C_2}$$
$$= \frac{\sqrt{2}}{8 (2\pi f)^3 R_L L C_1 C_2}$$

Τελικά

$$r = \frac{\sqrt{2}}{8 (2\pi f)^3 R_L L C_1 C_2} = \frac{\sqrt{2}}{64 \pi^3 f_0^3 R_L L C_1 C_2}$$

Μια πιο ακριβή εκτίμηση του  $r$  προκύπτει αν χρησιμοποιήσουμε της rms τάση της πριονωτής κυματομορφής ( τάση κυμάτωσης)

$$V_{ac,rms} = \frac{V_r}{2\sqrt{3}}$$

$$V_{ac,rms} = \frac{I_{dc}}{4\sqrt{3}fC} = \frac{\pi I_{dc} X_{C_1}}{\sqrt{3}}$$

$$X_{C_1} = \frac{1}{4\pi f_0 C_1}$$

Άρα η rms τάση εξόδου

$$V_{o,rms} = \frac{X_{C2}}{X_L} V_{ac,rms} = \frac{\pi I_{dc} X_{C1} X_{C2}}{\sqrt{3} X_L}$$

Άρα ο συντελεστής κυμάτωσης είναι

$$r = \frac{V_{o,rms}}{V_{dc}} = \frac{\pi I_{dc} X_{C1} X_{C2}}{I_{dc} R_L \sqrt{3} X_L} = \frac{\pi X_{C1} X_{C2}}{\sqrt{3} R_L X_L}$$

$$r = \frac{\pi}{\sqrt{3} R_L (2\omega_0 C_1)(2\omega_0 C_2)(2\omega_0 L)} = \frac{\pi}{\sqrt{3} 8\omega_0^3 C_1 C_2 L}$$

$$r = \frac{\pi}{\sqrt{3}R_L(2\omega_0C_1)(2\omega_0C_2)(2\omega_0L)} = \frac{\pi}{\sqrt{3}8\omega_0^3C_1C_2L}$$

$$r = \frac{1}{\sqrt{3}64\pi^2f_0^3C_1C_2L}$$



# Το φίλτρο RC

- ▶ Κάθε γραμμικό σύστημα (ή κύκλωμα) χαρακτηρίζεται την συνάρτηση μεταφοράς  $H(\omega)$  η οποία ορίζεται ως πηλίκο της τάσης εξόδου ( του μετασχηματισμού Fourier της εξόδου ) προς την τάση εισόδου ( του μετασχηματισμού Fourier της εισόδου )

$$H(j\omega) = \frac{V_{out}(j\omega)}{V_{in}(j\omega)}$$

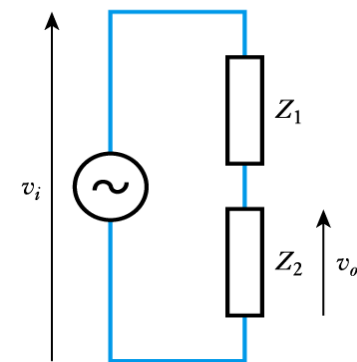
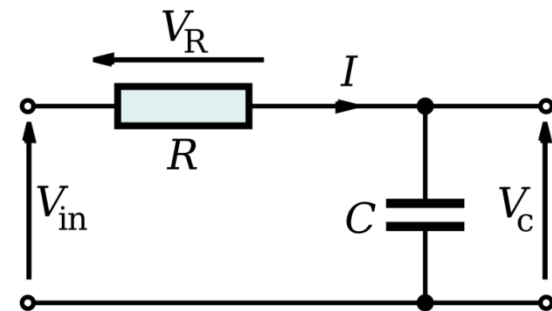
- Η συνάρτηση μεταφοράς γενικά είναι μια μιγαδική ποσότητα άρα έχει μέτρο και φάση άρα γράφεται

$$H(j\omega) = |H(j\omega)|e^{j\varphi(\omega)}$$

- ▶ Στην περίπτωση του φίλτρου RC Το κύκλωμα είναι ένας διαιρέτης τάσης που αποτελείται από τις εμπεδήσεις  $Z_R, Z_C$

$$V_O = \frac{Z_C}{Z_R + Z_C} V_i$$

$$Z_C = -j \frac{1}{\omega C}, \quad Z_R = R$$



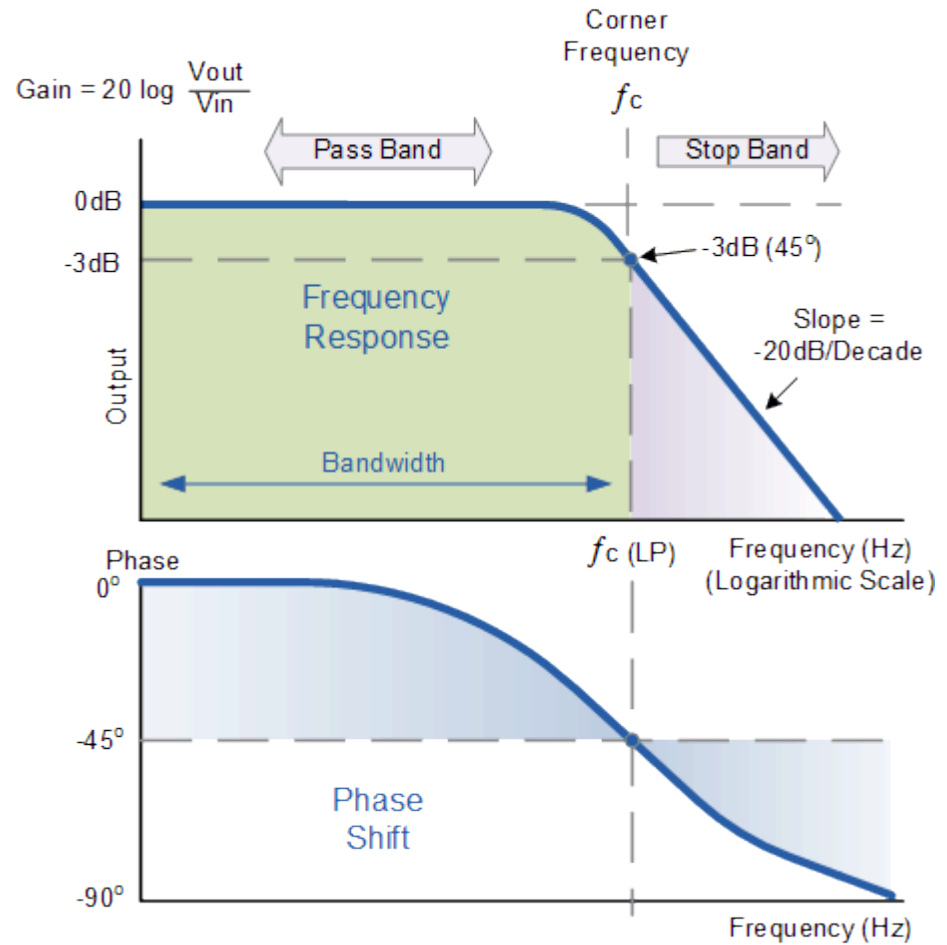
- ▶ Τότε η συνάρτηση ( μέτρο) μεταφοράς είναι

$$G_C = |H_C(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}$$

- ▶ Και η φάση

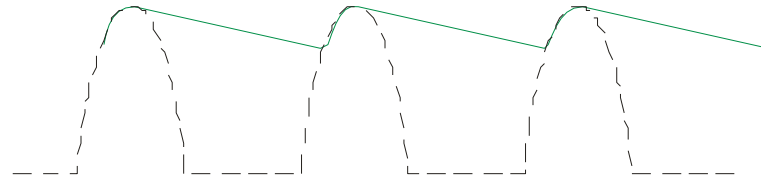
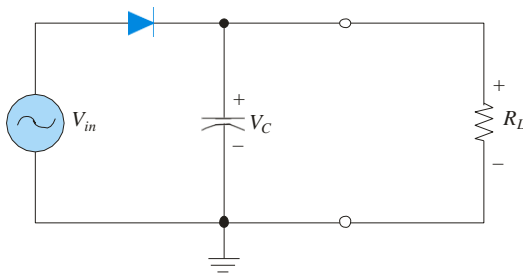
$$\phi_C = \text{atan}(-\omega RC)$$

- Σε υψηλές συχνότητες το μέτρο της απολαβής είναι μικρό.
- Το φίλτρο αυτό λέγεται χαμηλοπερατό



# Power Supply Filters

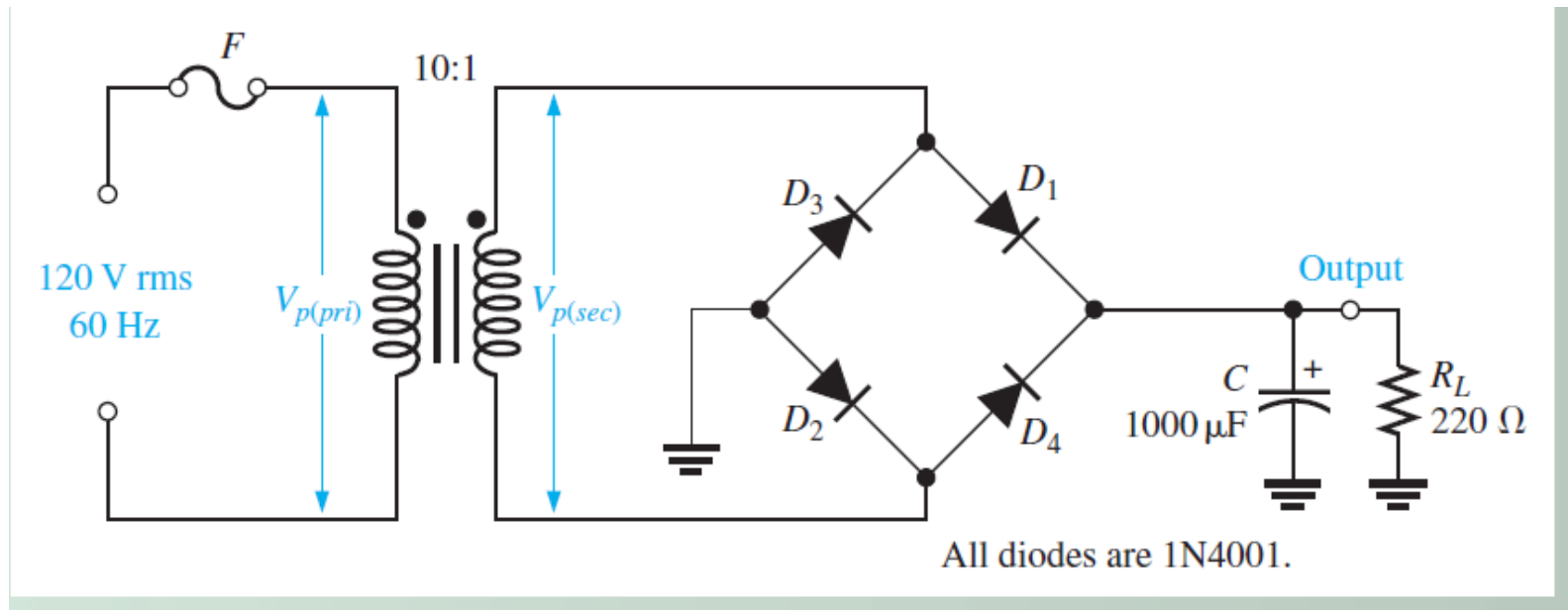
Πόσο επηρεάζεται η κυμάτωση από από την σταθερά RC



Όσο πιο μεγάλη είναι η σταθερά RC τόσο λιγότερη είναι η κυμάτωση.

# Παράδειγμα

Προσδιορίστε το συντελεστή κυμάτωσης για τη γέφυρα ανόρθωσης με ένα φορτίο όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Ο λόγος μετασχηματισμού είναι  $n = \frac{1}{10} = 0.1$  Το πλάτος της τάσης στα άκρα του πρωτεύοντος είναι

$$V_{p(pri)} = \sqrt{2}V_{rms} = 1.414 (120V) = 170V$$

Το πλάτος της τάσης στα άκρα του δευτερεύοντος είναι

$$V_{p(sec)} = nV_{p(pri)} = 0.1(170V) = 17V$$

Άρα το πλάτος της τάσης εξόδου είναι

$$V_{p(rect)} = V_{p(sec)} - 1.4V = 17V - 1.4V = 15.6V$$

- ▶ Η συχνότητα της ανορθωμένης τάσης είναι  $2 \times 60\text{Hz}$   
 $= 120\text{Hz}$

Η τάση κυμάτωσης (peak-to-peak)

$$\begin{aligned} V_{r(pp)} &= \left( \frac{1}{f R_L C} \right) V_{p(rect)} \\ &= \left( \frac{1}{(120\text{Hz})(220\Omega)(1000\mu\text{F})} \right) 15.6\text{V} = 0.591\text{V} \end{aligned}$$



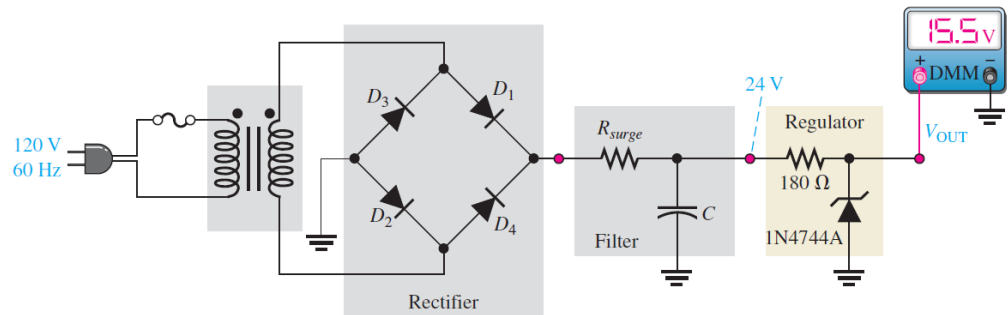
Η συνεχής τάση στην έξοδο είναι προσεγγιστικά :

$$\begin{aligned} \blacktriangleright V_{DC} &= \left(1 - \frac{1}{2fR_L C}\right) V_{p(rect)} = \\ &\left(1 - \frac{1}{(240\text{Hz})(220\Omega)(1000\mu\text{F})}\right) 15.6\text{V} = 15.31\text{V} \end{aligned}$$

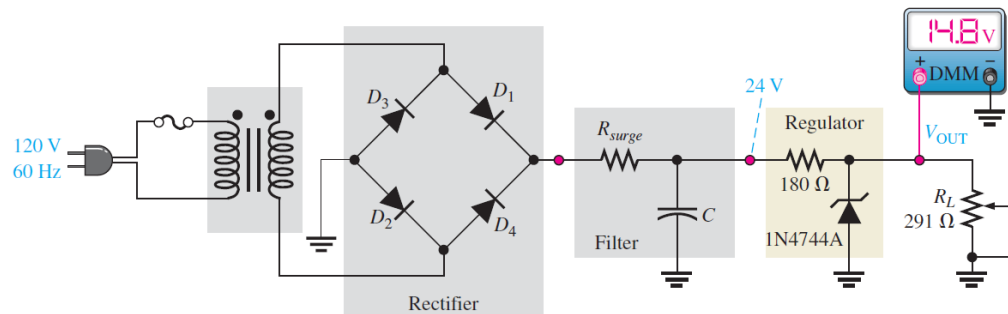
▶ Άρα ο συντελεστής κυμάτωσης είναι

$$r = \frac{0.591\text{V}}{15.31\text{V}} = 0.039 \text{ ή } 3.9\%$$

- Για να γίνει η τάση σταθερή μετά το φίλτρο τοποθετείται ένας σταθεροποιητής.
- Ένας απλός σταθεροποιητής είναι η δίοδος Zener
- Γενικά όμως δεν είναι δεν έχει καλές επιδόσεις σταθεροποίησης.
- Έτσι χρησιμοποιείται ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα στο εσωτερικό του οποίου υπάρχει και δίοδος Zener.



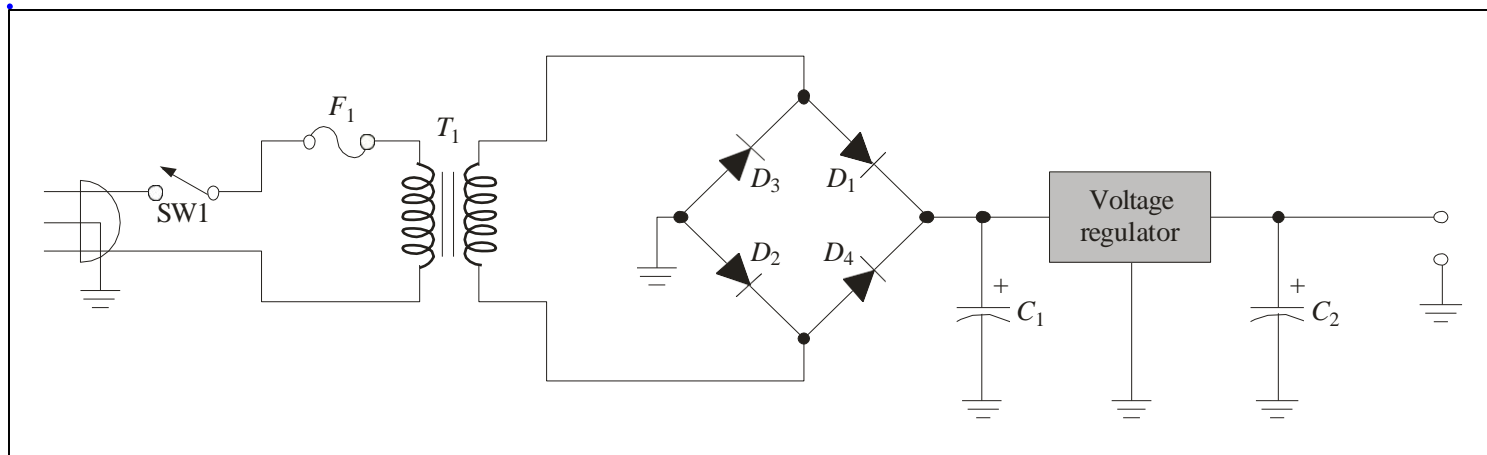
(a) Correct output voltage with no load

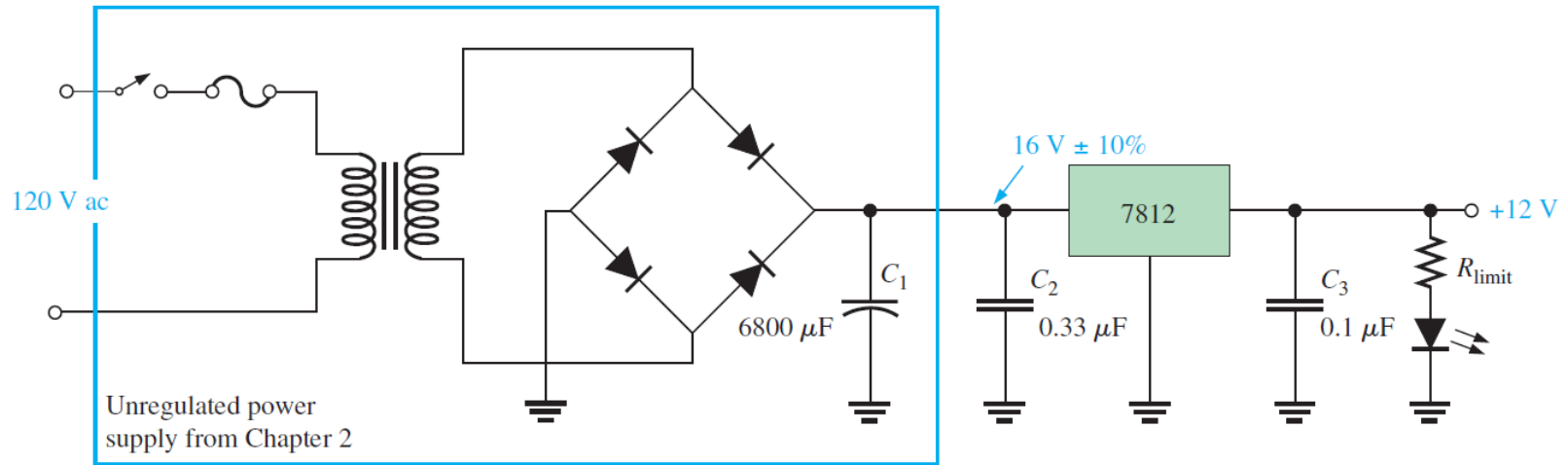


(b) Correct output voltage with full load

# Power Supply Regulators

- Ένα σταθεροποιητής τάσης μπορεί να παρέχει μια σταθερή τάση με με πολύ μικρή κυμάτωση.
- Συνήθως συνοδεύεται από εξωτερικούς πυκνωτές για καλύτερη σταθεροποίηση.





# Power Supply Regulators

Οι επιδόσεις της σταθεροποίησης περιγράφονται με δύο τρόπους (Ποσότητες)

**Σταθεροποίηση Γραμμής (Line regulation)** Προσδιορίζει πόσο αλλάζει η τάση εξόδου (dc) με τις αλλαγές της τάσης εισόδου

$$\text{line Regulation} = \left( \frac{\Delta V_{out}}{\Delta V_{in}} \right) 100\%$$

Θεωρούμε ότι η τάση εξόδου μεταβάλλεται κατά 1V όταν η τάση εισόδου ac μεταβληθεί κατά 1.5mV. Να υπολογιστεί η σταθεροποίηση γραμμής

$$\text{line Regulation} = \left( \frac{\Delta V_{out}}{\Delta V_{in}} \right) 100\% = \left( \frac{1.5mV}{1V} \right) 100\% = 0.15\%$$

# Power Supply Regulators

Η **Σταθεροποίηση φορτίου** περιγράφει πόσο αλλάζει η τάση εξόδου για ένα συγκεκριμένο εύρος εντάσεων ρευμάτων στο φορτίο, συνήθως από την κατάσταση χωρίς φορτίο έως την κατάσταση με πλήρες φορτίο.

$$\text{Load Regulation} = \left( \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \right) 100\%$$

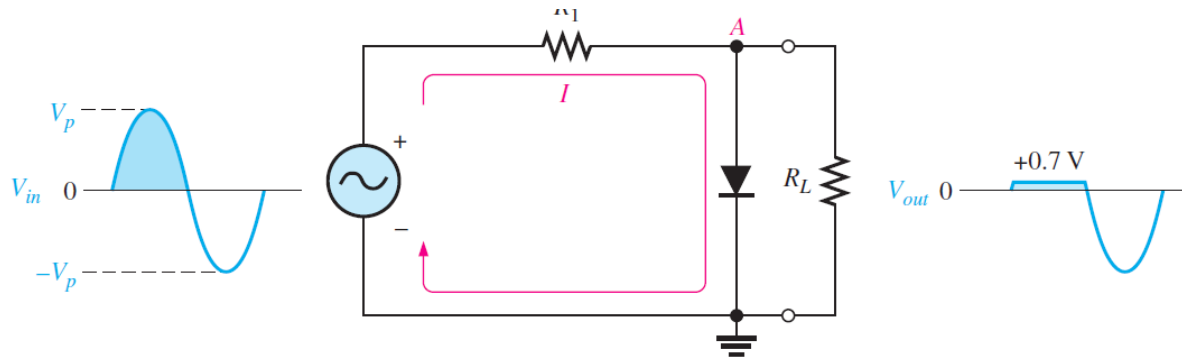
Θεωρούμε ότι η τάση στην αντίσταση φορτίου μεταβάλλεται από 5V (χωρίς φορτίο) σε 4.96V (πλήρες φορτίο)

$$\text{Load Regulation} = \left( \frac{5V - 4.96V}{4.96V} \right) 100\% = 0.81\%$$

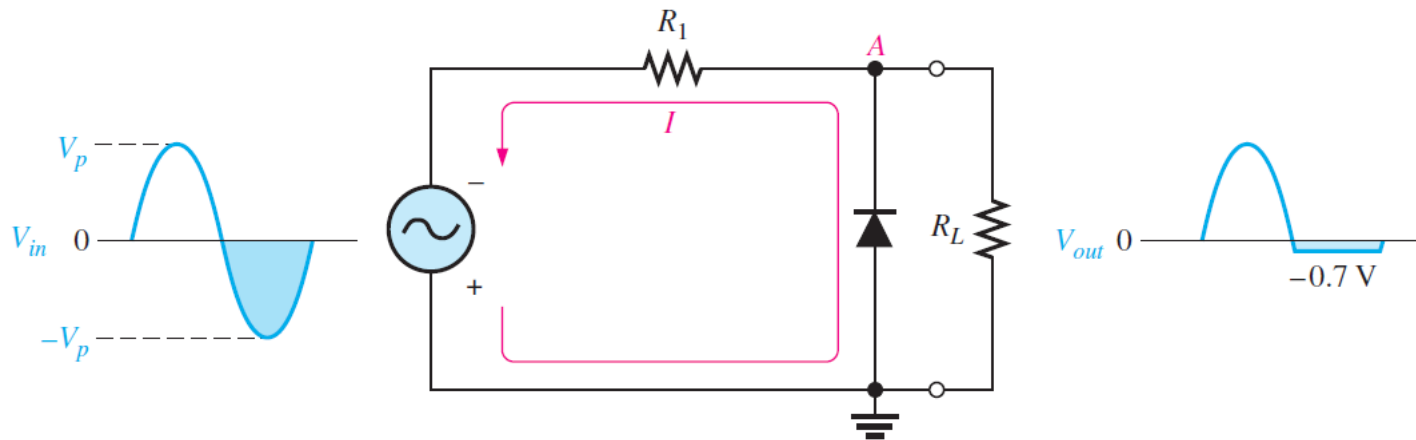
## Περιοριστής (ψαλιδιστής) Διόδων (Diode Limiting Circuits )

- Ο περιοριστής (ή ψαλιδιστής) είναι ένα κύκλωμα που περιορίζει το θετικό ή αρνητικό τμήμα μιας κυματομορφής .
- Συνήθως σε σειρά με την δίοδο συνδέεται μια πηγή τάσης ώστε να ψαλιδιστεί ένα συγκεκριμένο ποσό τάσης.

Στο σχήμα φαίνεται ένας θετικός ψαλιδιστής. Κατά την θετική ημιπερίοδο η δίοδος πολώνεται ορθά και άρα η τάση στα άκρα του φορτίου είναι 0.7V.



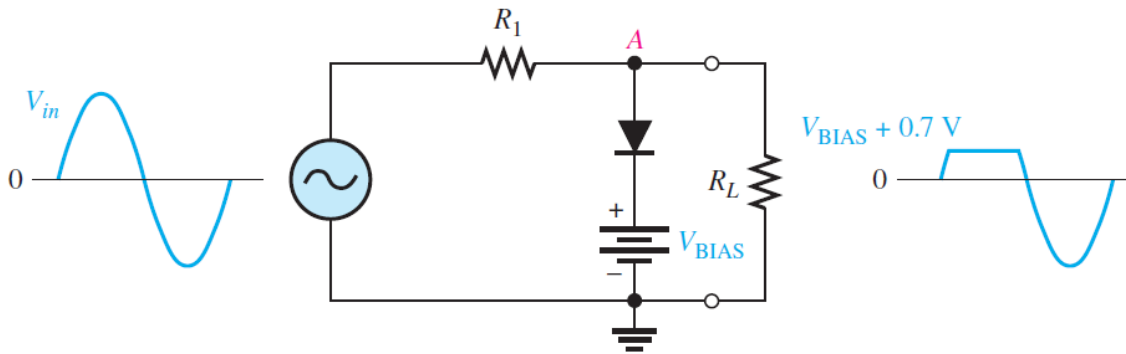
- ▶ Αν η δίοδος τοποθετηθεί ανάποδα τότε δημιουργείται ένας αρνητικός ψαλιδιστής. Η δίοδος είναι ανάστροφα πολωμένη κατά την θετική ημιπερίοδο και ορθά κατά την αρνητική άρα η τάση στα άκρα της είναι  $-0.7\text{V}$ .



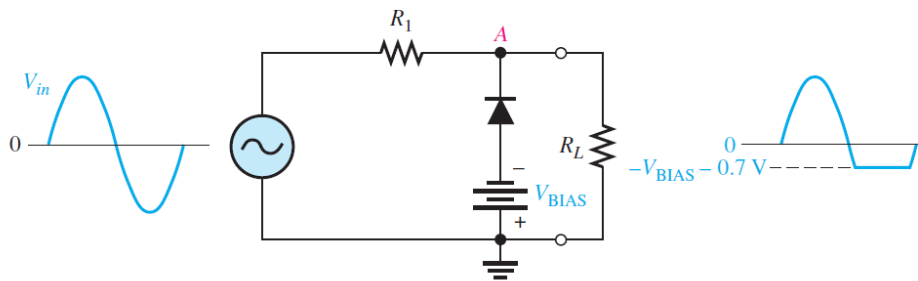


# Diode Limiting Circuits

Γενικά η τάση στην οποία ψαλιδίζεται το ac σήμα εισόδου μπορεί να ρυθμιστεί αν σε σειρά με την δίοδο τοποθετήσουμε μια πηγή τάσης όπως στα παρακάτω κυκλώματα



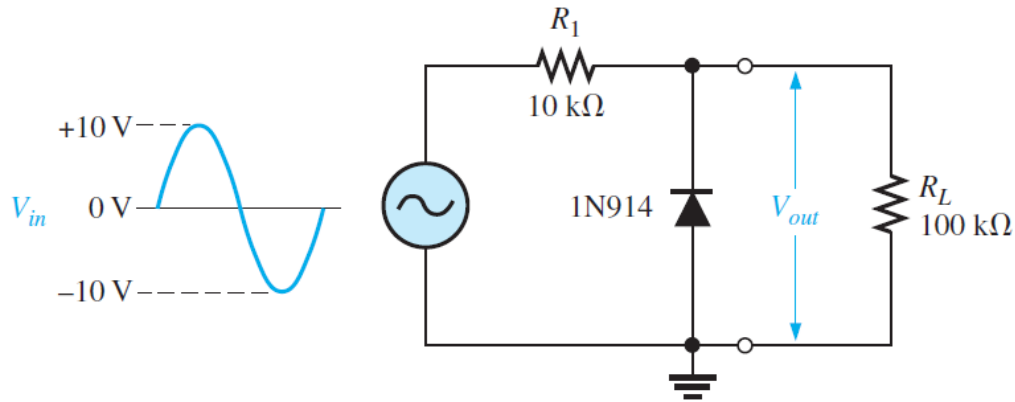
Θετικός ψαλιδισμός



Αρνητικός  
ψαλιδισμός

# Παράδειγμα

Να σχεδιαστεί η τάση εξόδου για τον παρακάτω ψαλιδιστή

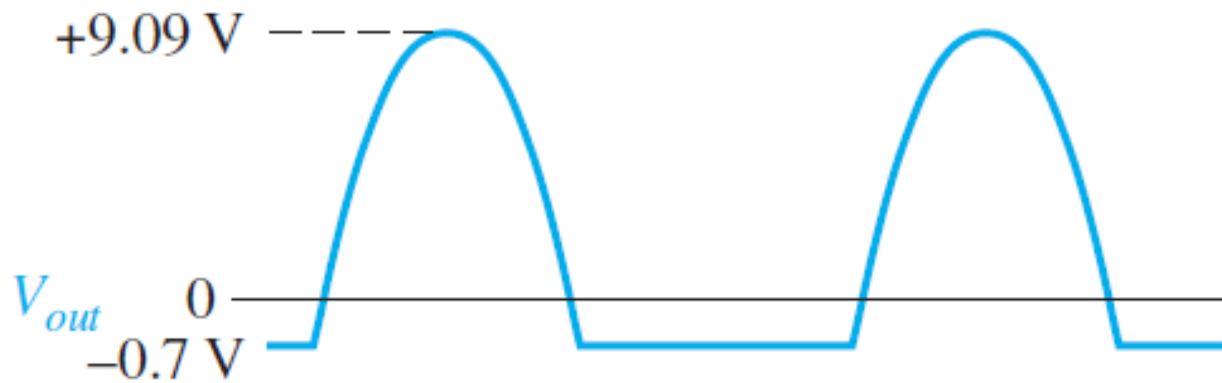


Κατά την θετική ημιπερίοδο η δίοδος είναι ανάστροφα πολωμένη και η τάση στα άκρα της αντίστασης φορτίου είναι

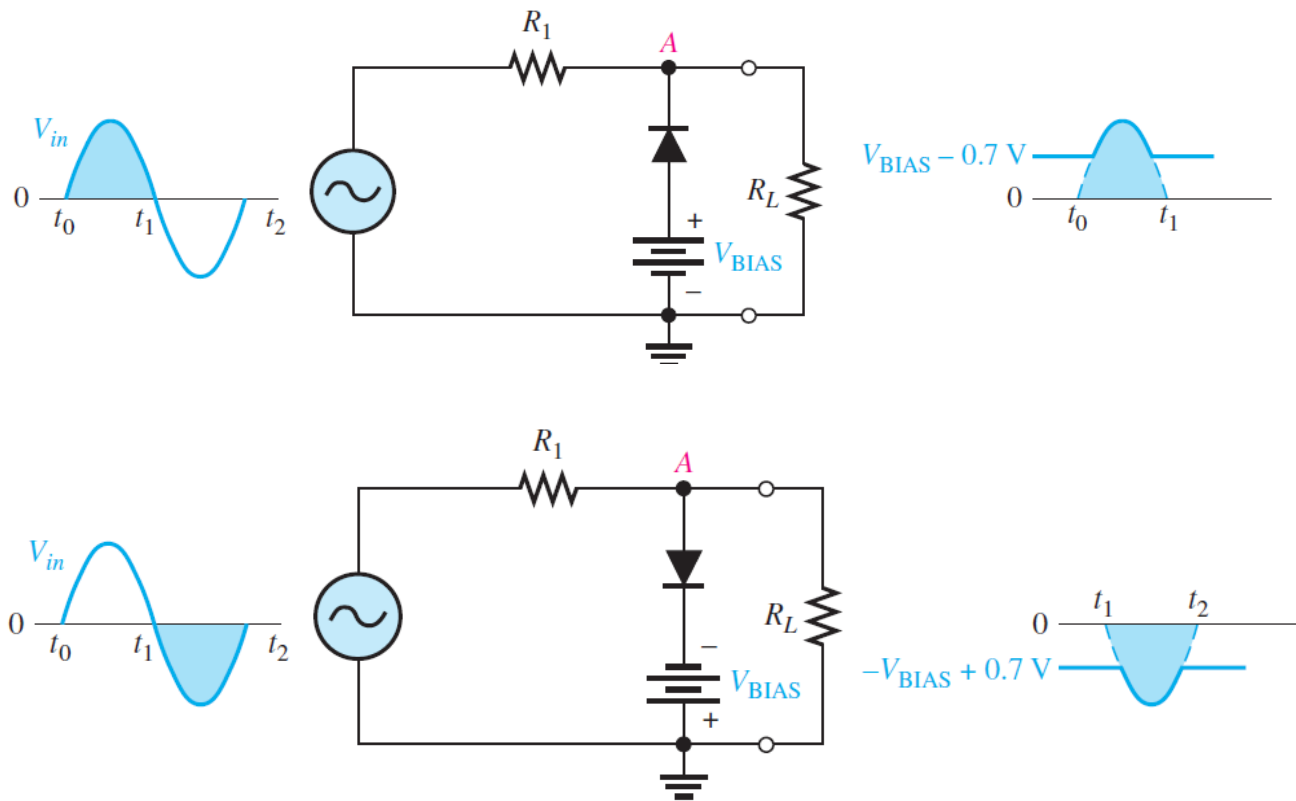
$$V_{out} = \frac{R_L}{R_1 + R_L} V_{in} = \frac{100\text{k}\Omega}{100\text{k}\Omega + 10\text{k}\Omega} 10\text{V} = 9.09\text{V}$$

Γενικά αν  $R_L \gg R_1$  τότε  $V_{out} \cong V_{in}$

- ▶ Στην αρνητική ημιπερίοδο η διάδος άγει και η τάση στα άκρα του φορτίου φτάνει τα  $-0.7\text{V}$ .

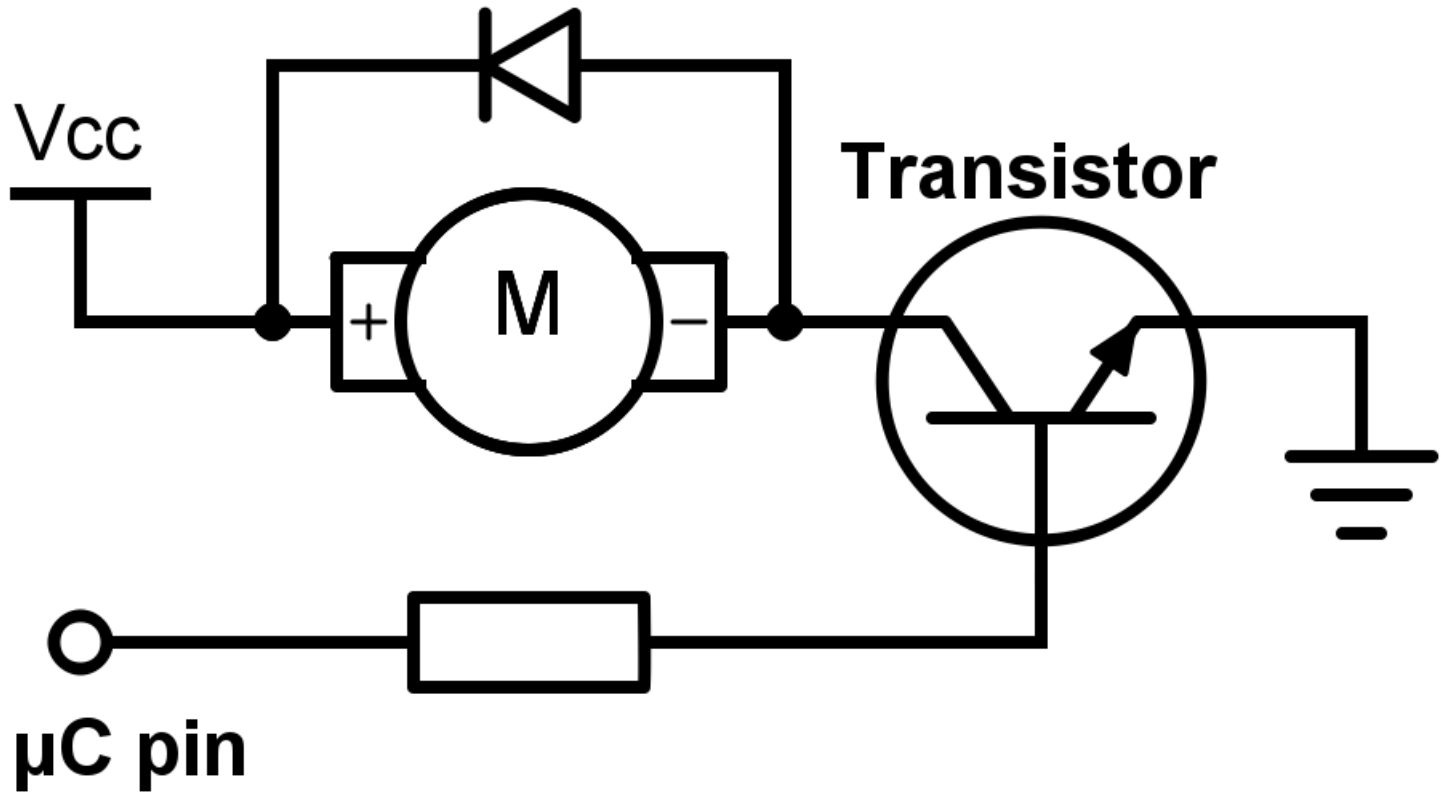


- ▶ Αλλάζοντας την θέση της διόδου σε σχέση με την πηγή μπορούμε να ψαλιδίσουμε ένα συγκεκριμένο τμήμα της τάσης εισόδου.



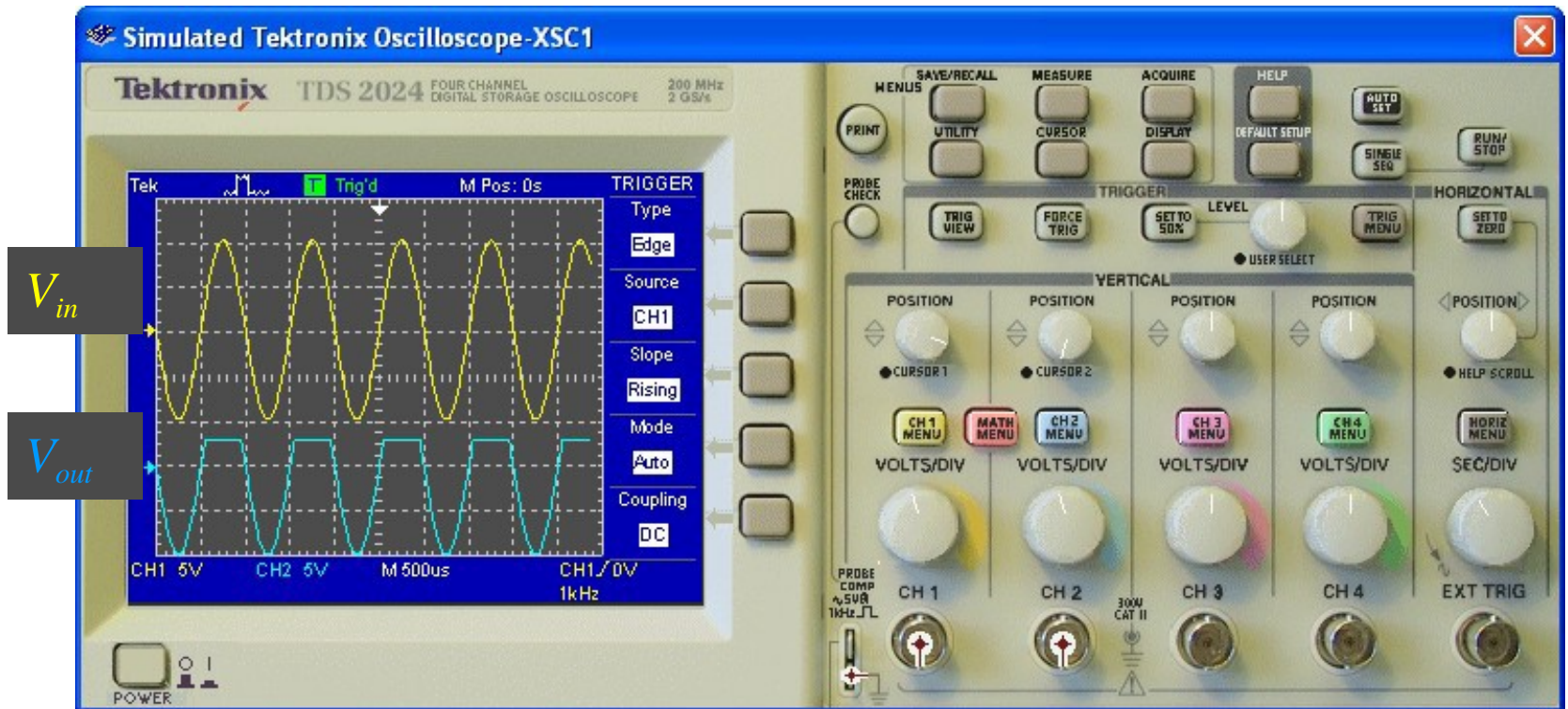
# Snubber diode

- ▶ Σε εφαρμογές ελέγχου στροφών κινητήρα μέσω μικροελεγκτών συνήθως χρησιμοποιείται ένας ημαγιώγιμος διακόπτης (τρανζίστορ).
- ▶ Επειδή ο κινητήρας περιέχει πηνία τα οποία αναπτύσσουν τάση στα άκρα τους όταν μεταβληθεί το ρεύμα.
- ▶ Η τάση αυτή μπορεί να δημιουργήσει ρεύμα που μπορεί να καταστρέψει το τρανζίστορ.
- ▶ Παράλληλα με τον κινητήρα συνδέεται μια δίοδος η οποία είναι ανάστροφα πολωμένη. Αν δημιουργηθεί μια τάση με αντίθετη πολικότητα τότε η δίοδος πολώνεται ορθά και το ρεύμα διέρχεται μέσα από αυτήν.



# Diode Limiting Circuits

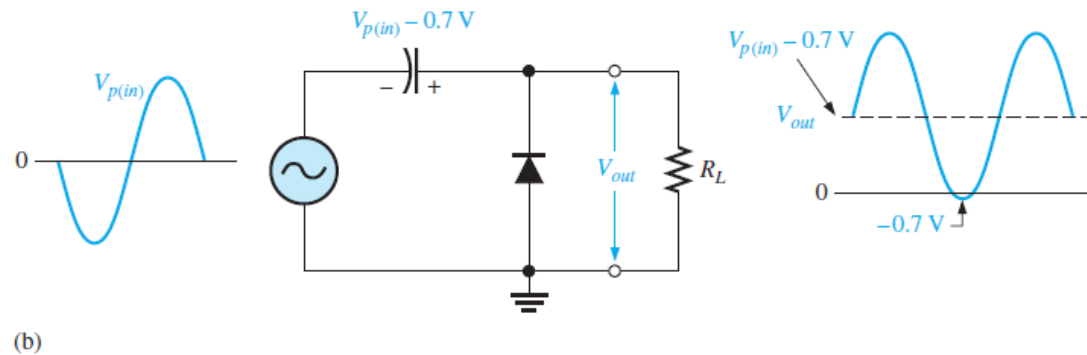
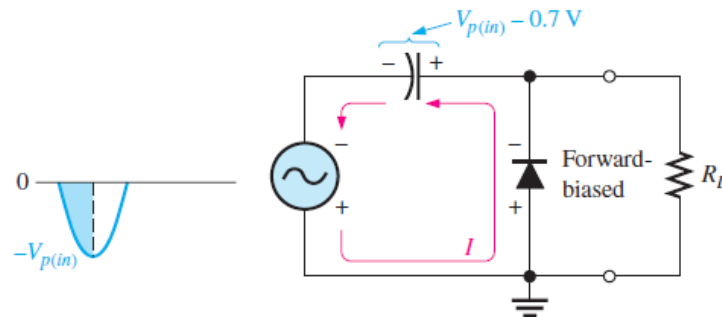
As a check, you can simulate the circuit with Multisim. The scope shows the input and output voltage for the positive limiter circuit.



# Diode Clamping Circuits

Το κύκλωμα **clammer** (dc restorer) είναι ένα κύκλωμα που προσθέτει μια συνεχή συνιστώσα στο σήμα ac. Το κύκλωμα περιέχει και έναν πυκνωτή σε σειρά ο οποίος φορτίζεται στη μέγιστη τάση μείον την τάση στα άκρα της διόδου 0.7V.

Όταν η διόδος δεν άγει ο πυκνωτής εκφορτίζεται μέσω της  $R_L$ . Αν  $R_L C \gg T$  τότε ο πυκνωτής εκφορτίζεται πολύ αργά, άρα η τάση παραμένει σταθερή.

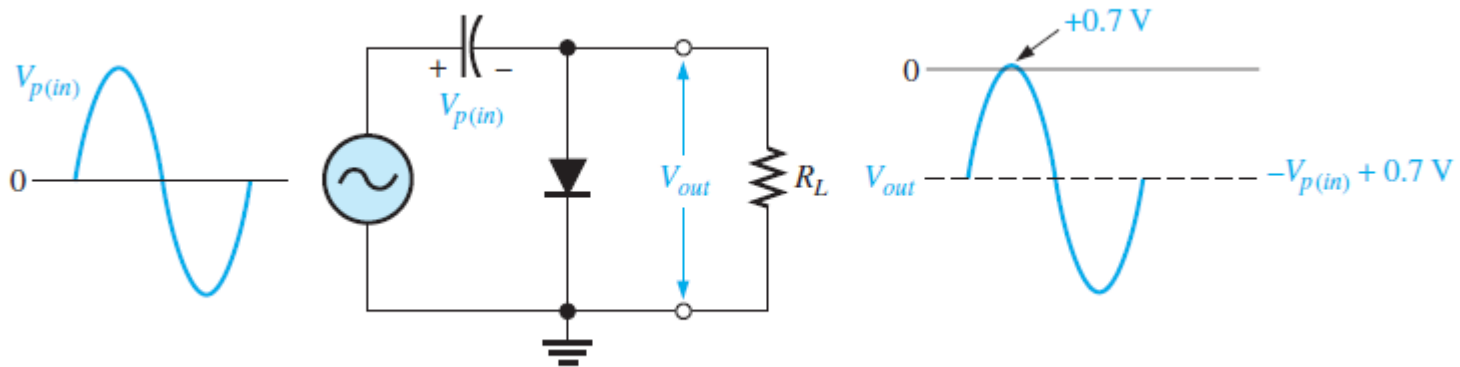




## Diode Clamping Circuits

Τι θα συμβεί αν συνδέσουμε ανάποδα τον πυκνωτή και την αντίσταση?

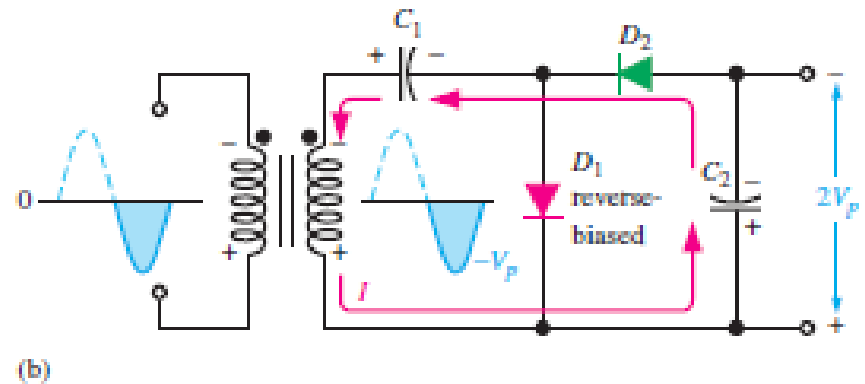
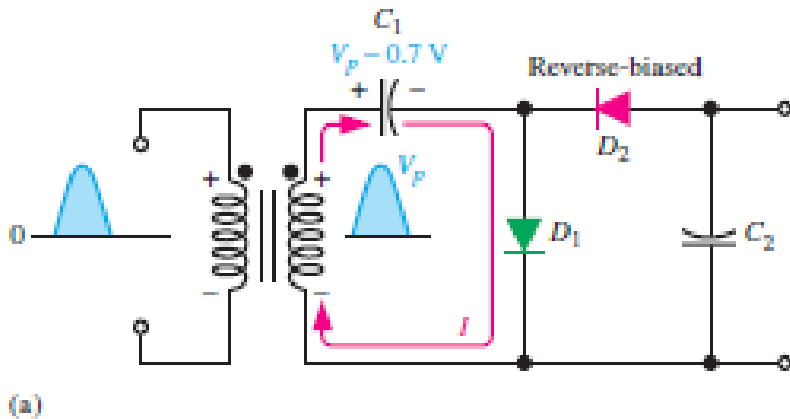
Συνδέοντας ανάποδα την δίοδο και τον πυκνωτή δημιουργείται ένας αρνητικός Clamper.



# Πολλαπλασιαστές (Voltage Multipliers)

**Πολλαπλασιαστές Τάσης:** Είναι στην πραγματικότητα ένα τροποποιημένο φίλτρο πυκνωτών (κύκλωμα ανορθωτή) το οποίο παράγει μια τάση εξόδου DC που είναι διπλάσια ή γενικά πολλαπλάσια από την μέγιστη AC τάση.

Στο σχήμα φαίνεται ένας διπλασιαστής τάσης.



- ▶ Κατά την διάρκεια της θετικής ημιπεριόδου η διάδος D1 είναι ορθά πολωμένη και ο πυκνωτής  $C_1$  φορτίζεται στο μέγιστο της τάσης εισόδου μειωμένο κατά 0.7V.
- ▶ Κατά την διάρκεια της αρνητικής ημιπεριόδου η διάδος D2 άγει, ενώ η D1 ( είναι ανάστροφα πολωμένη)

Από τον κανόνα Kirchhoff των τάσεων

$$V_{C1} - V_{C2} + V_p = 0$$

$$V_{C1} = V_p$$

$$V_{C2} = 2V_p$$

## Diode Data Sheet

Diode data sheets include maximum ratings for current, voltage and temperature as well as other electrical parameters. Some voltage and current specifications are abbreviated as follows:

$V_{RRM}$  The maximum peak reverse voltage that can be applied repetitively across the diode. This is the same as the PIV rating.

$V_R$  The maximum reverse dc voltage that can be applied across the diode.

$V_{RSM}$  The maximum peak value of nonrepetitive reverse voltage that can be applied across the diode.

$I_O$  The maximum value of a 60 Hz rectified current.

$I_{FSM}$  The maximum value of a nonrepetitive (one cycle) forward surge current.

# Troubleshooting

**Analysis:** Identify the symptoms of a faulted circuit and eliminate as many causes as possible. Analysis also includes finding out as much as possible about how the failure occurred.

**Planning:** Decide on logical steps to narrow the possible causes. Frequently you will start with visual checks, looking for obvious defects before proceeding to measuring specific points.

**Measurement:** Having thought about possible causes, you are ready to make measurements such as voltage and resistance readings. These results will usually isolate the problem to one or two components.