

# ΦΙΛΤΡΑ

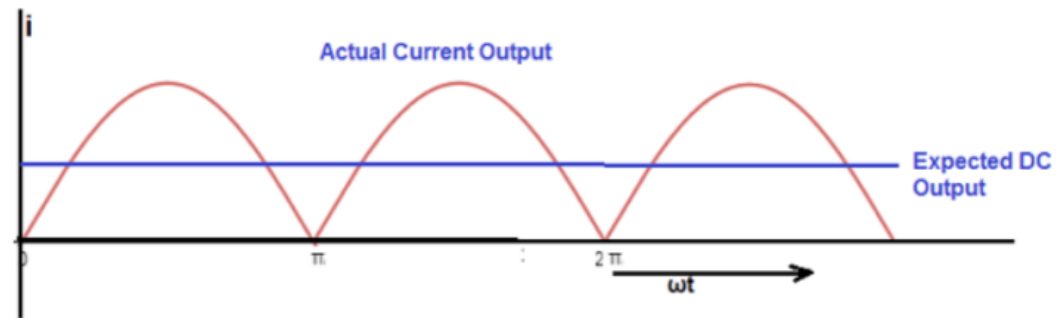
## Κυμάτωση - Εξομάλυνση



# ΚΥΜΑΤΩΣΗ

Με τον όρο κυμάτωση εννοούμε το πόσο έντονη είναι η παρουσία των αρμονικών στην τάση εξόδου. Πόσο δηλαδή καθαρή από αρμονικές είναι η τάση.

Ως μέτρο της κυμάτωσης χρησιμοποιείται το ποσοστό κυμάτωσης  $r$  (ripple factor) και ορίζεται:



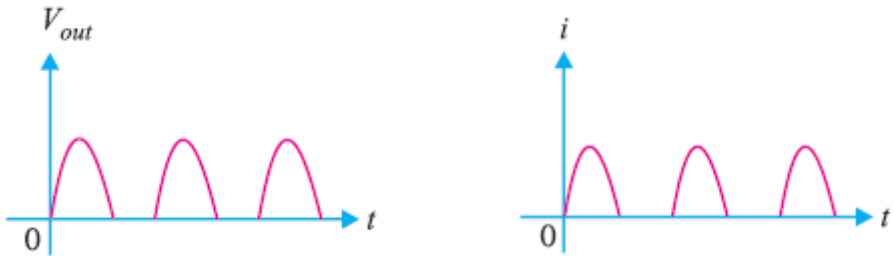
$$r = \sqrt{\left(\frac{V_{rms}}{V_{dc}}\right)^2 - 1}$$

$$r = \sqrt{\left(\frac{I_{rms}}{I_{dc}}\right)^2 - 1}$$

Ποιά είναι η ιδανική τιμή κυμάτωσης και γιατί?

# ΚΥΜΑΤΩΣΗ

## Απλή Ανόρθωση

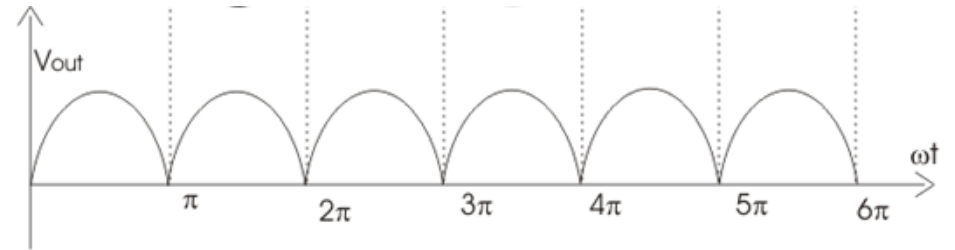


$$r = \sqrt{\left(\frac{V_{rms}}{V_{dc}}\right)^2 - 1}$$

$$V_{rms} = \frac{U_m}{2} \quad V_{dc} = \frac{U_m}{\pi}$$

$$r = 1.21$$

## Διπλή Ανόρθωση



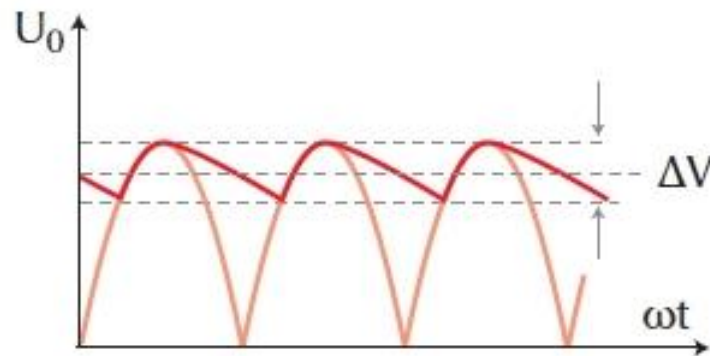
$$r = \sqrt{\left(\frac{V_{rms}}{V_{dc}}\right)^2 - 1}$$

$$V_{rms} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad V_{dc} = \frac{2U_m}{\pi}$$

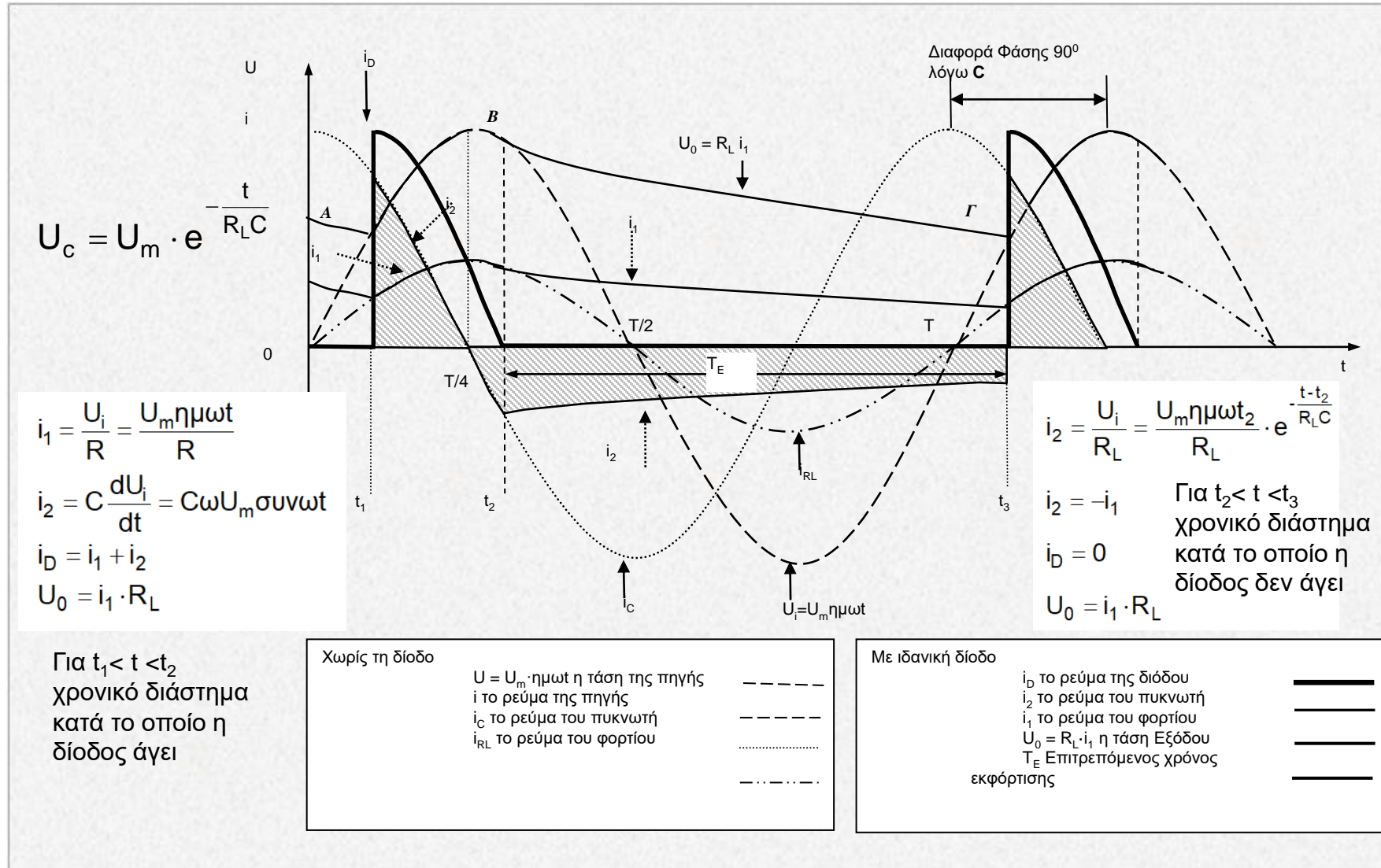
$$r = 0.48$$

# ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ

Η διαδικασία με την οποία απαλείφουμε μερικώς ή ολικώς την παραπάνω ac συνιστώσα από την ανορθωμένη κυματομορφή και συνεπώς ομαλοποιούμε ή εξομαλύνουμε την κυματομορφή ώστε να πλησιάζει όσο γίνεται περισσότερο προς μια σταθερή dc έξοδο



# ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ - Φίλτρο RC



$$U_c = U_m \cdot e^{-\frac{t}{R_L C}}$$

$$i_1 = \frac{U_i}{R} = \frac{U_m \eta \mu \omega t}{R}$$

$$i_2 = C \frac{dU_i}{dt} = C \omega U_m \cos \omega t$$

$$i_D = i_1 + i_2$$

$$U_0 = i_1 \cdot R_L$$

$$i_2 = \frac{U_i}{R_L} = \frac{U_m \eta \mu \omega t_2}{R_L} \cdot e^{-\frac{t-t_2}{R_L C}}$$

$i_2 = -i_1$  Για  $t_2 < t < t_3$   
 χρονικό διάστημα  
 κατά το οποίο η  
 δίοδος δεν άγει  
 $i_D = 0$   
 $U_0 = i_1 \cdot R_L$

Για  $t_1 < t < t_2$   
 χρονικό διάστημα  
 κατά το οποίο η  
 δίοδος άγει

Χωρίς τη δίοδο

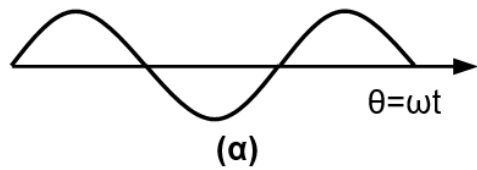
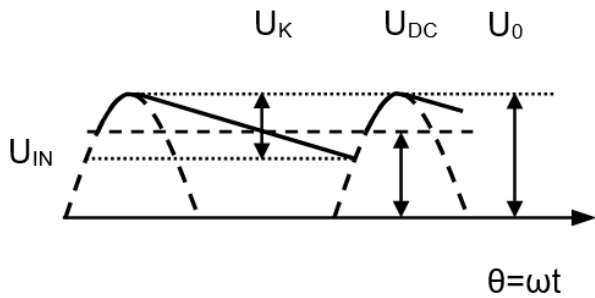
- $U = U_m \cdot \eta \mu \omega t$  η τάση της πηγής -----
- $i$  το ρεύμα της πηγής -----
- $i_c$  το ρεύμα του πυκνωτή -----
- $i_{RL}$  το ρεύμα του φορτίου -----

Με ιδανική δίοδο

- $i_D$  το ρεύμα της δίοδου =====
- $i_2$  το ρεύμα του πυκνωτή =====
- $i_1$  το ρεύμα του φορτίου =====
- $U_0 = R_L \cdot i_1$  η τάση Εξόδου =====
- $T_E$  Επιτρεπόμενος χρόνος -----
- εκφόρτισης -----

# ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ

## Φίλτρο RC – Απλή Ανόρθωση

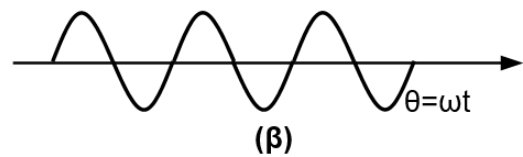
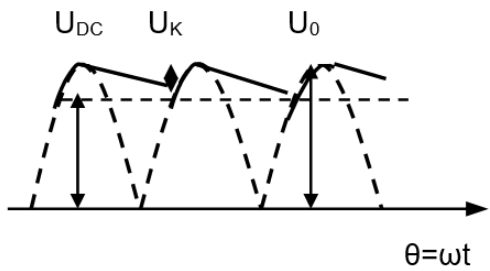


$$\begin{aligned}
 U_{DC} &= U_0 \frac{U_K}{2} & U_{K,rms} &= \frac{U_K}{2\sqrt{3}} \\
 I_{DC} &= C \frac{\Delta U}{\Delta t} \\
 \Delta U &= U_K \\
 \Delta t &= T = \frac{1}{f} \\
 U_K &= \frac{I_{DC}}{fC} \\
 I_{DC} &= \frac{U_{DC}}{R_L} \\
 U_{K,rms} &= \frac{U_{DC}}{2\sqrt{3}fR_L C}
 \end{aligned}$$

$$r = \frac{1}{2\sqrt{3}fR_L C}$$

# ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ

## Φίλτρο RC – Διπλή Ανόρθωση



$U_K$  είναι τη μεταβολή τάσης κυμάτωσης την οποία θεωρούμε προσεγγιστικά τριγωνική

Κατά την εκφόρτιση:  $i_2 = C \frac{dU}{dt} = C\omega U_m \sin(\omega t)$

$$\Delta t = \frac{T}{2}$$

$$U_K = \frac{I_{DC}}{2fC} \quad U_{K,rms} = \frac{U_K}{2\sqrt{3}}$$

$$r = \frac{1}{4\sqrt{3}fR_L C}$$

# ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ

## Φίλτρο RC – Συντελεστής Κυμάτωσης για 50Hz

$$r = \frac{1}{2\sqrt{3}fR_L C}$$

$$r = \frac{1}{4\sqrt{3}fR_L C}$$

Το φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης του πυκνωτή (Αντίδραση)

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$X_C = \frac{1}{2\omega C} = \frac{1}{4\pi f C}$$

$$r = \frac{1}{\sqrt{3}\pi R_L X_C}$$

$$r = \frac{1}{\sqrt{3}\pi R_L X_C}$$

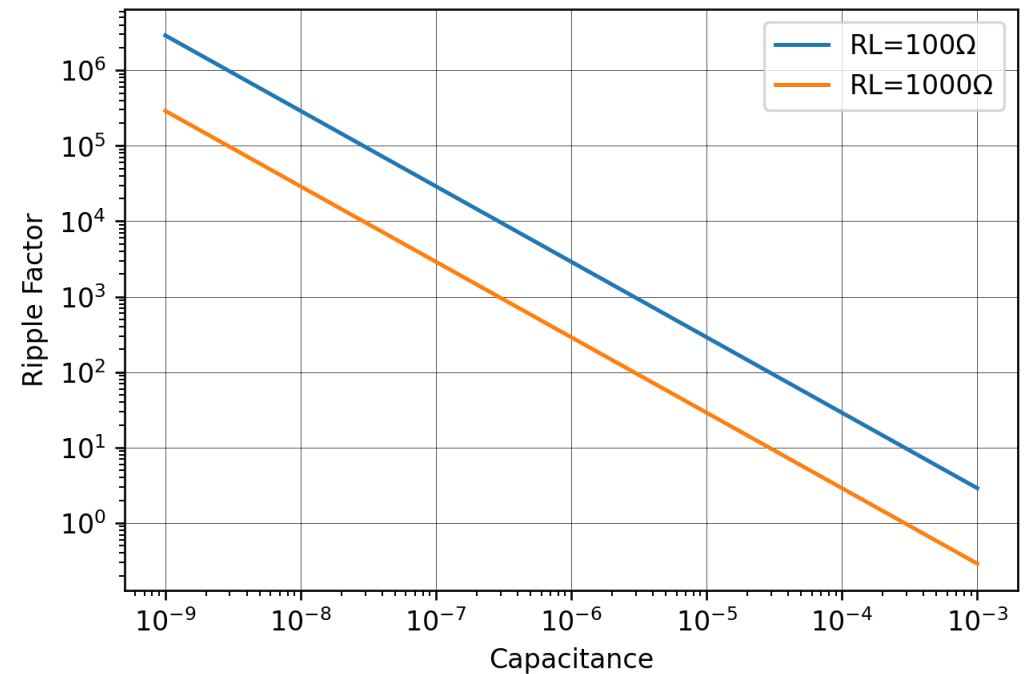
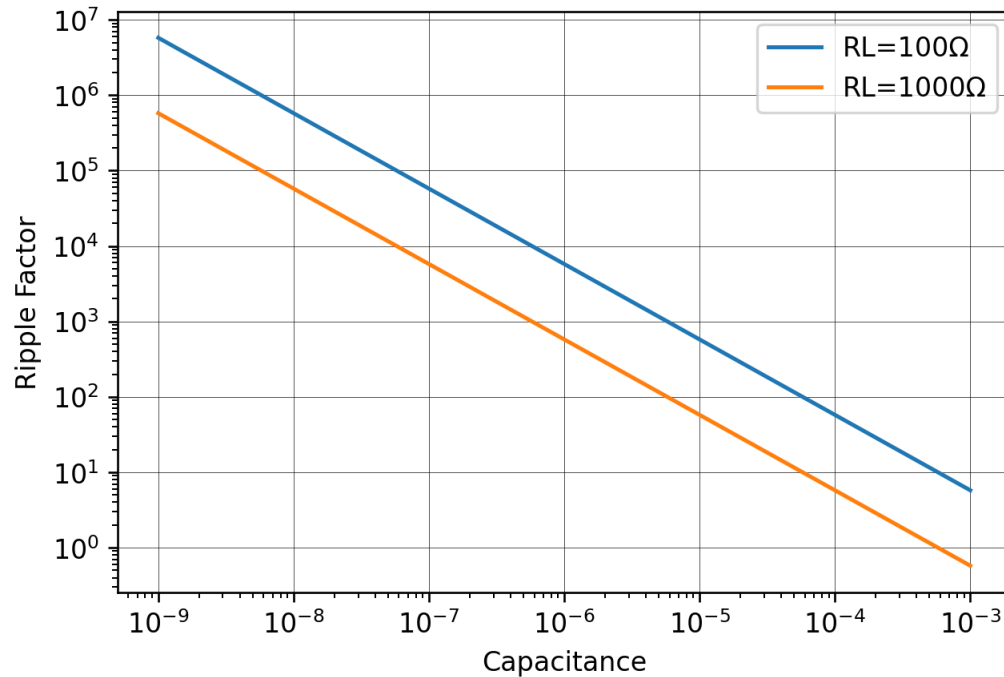
$$r = \frac{0.577}{R_L C} \%$$

$$r = \frac{0.29}{R_L C} \%$$



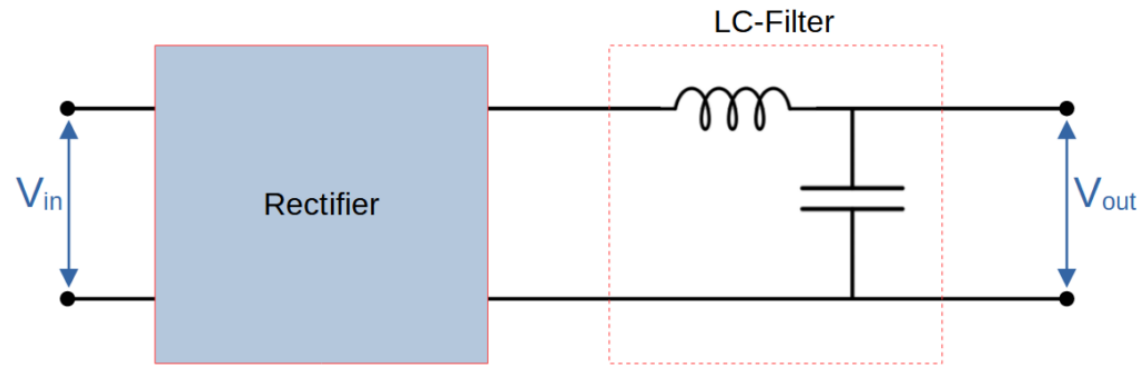
# ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ

## Φίλτρο RC – Συντελεστής Κυμάτωσης για 50Hz



Διαγράμματα C-r για διάφορες τιμές αντίστασης

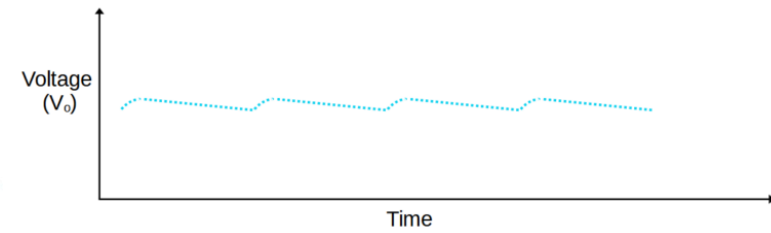
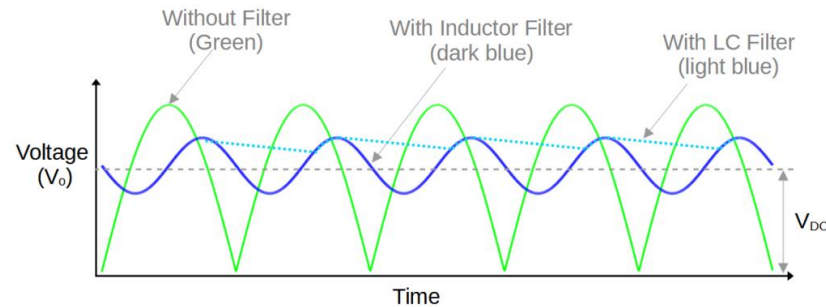
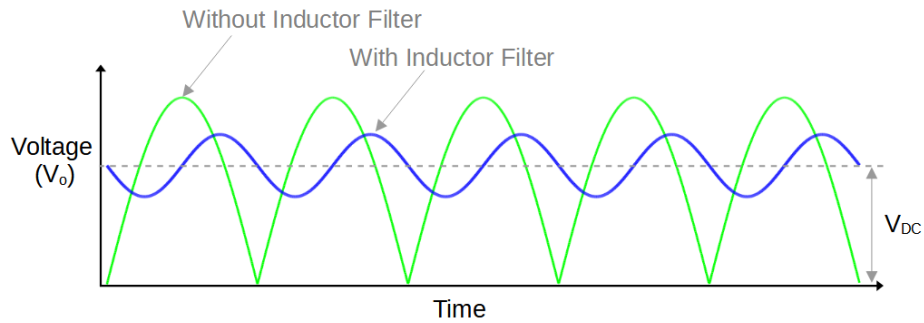
# ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ Φίλτρο LC



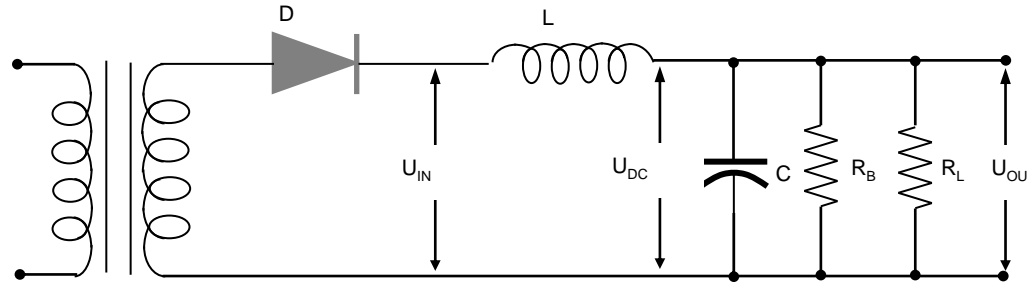
Στάδιο 1 - L

Στάδιο 2 - LC

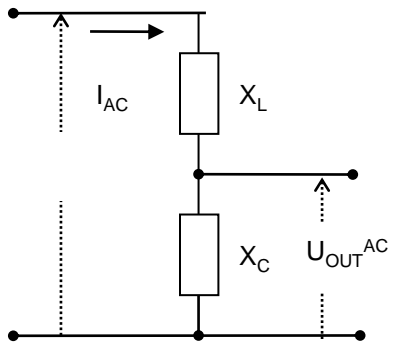
Έξοδος



# ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ Φίλτρο LC



Γιατί θα πρέπει  $X_C \ll X_L$ ?



Ισοδύναμο κύκλωμα φίλτρου LC.

$$U_{DC} = U_m \times \frac{1}{\pi}$$

$$U_{IN}^{rms} = U_0 \frac{1}{2 \cdot \sqrt{2}} = 0.354 \cdot U_0$$

$$U_{OUT}^{AC} = \frac{X_C}{X_C + X_L} \cdot U_{IN}^{AC} \approx \frac{X_C}{X_L} \cdot U_{IN}^{AC}$$

$$U_{OUT}^{rms} = \frac{X_C}{X_L} \cdot \frac{1}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot U_0 = \frac{1}{\omega^2 \cdot L \cdot C} \cdot \frac{1}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot U_0$$

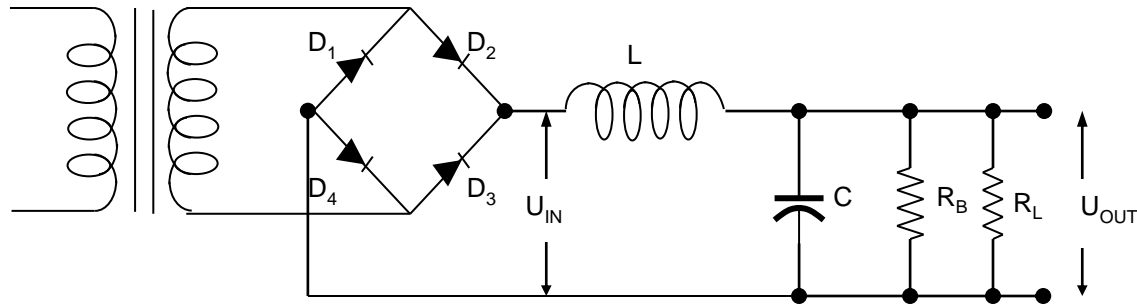
$$r = \frac{U_{OUT}^{rms}}{U_{OUT}^{DC}} = \frac{\frac{X_C}{X_L} \cdot \frac{1}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot U_0}{\frac{U_0}{\pi}} = \frac{1}{\omega^2 \cdot L \cdot C} \cdot \frac{1}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{\pi}{U_0} \cdot U_0$$

$$r = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{X_C}{X_L} = \frac{1}{8 \cdot \pi \cdot \sqrt{2} \cdot f^2 \cdot L \cdot C}$$

$$r = \frac{0.00113}{L \cdot C} \%$$

# ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ

## Φίλτρο LC



$$U_{IN}^{rms} = U_0 \frac{4}{3 \cdot \pi \cdot \sqrt{2}} = 0.3 \cdot U_0$$

$$U_{OUT}^{rms} = \frac{4 \cdot U_0}{3\pi\sqrt{2}} \cdot \frac{X_C}{X_L} = U_0 \frac{4}{3\pi\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{4 \cdot \omega^2 \cdot L \cdot C}$$

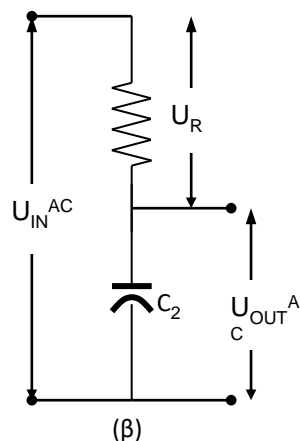
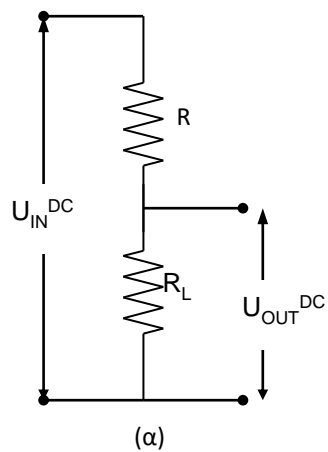
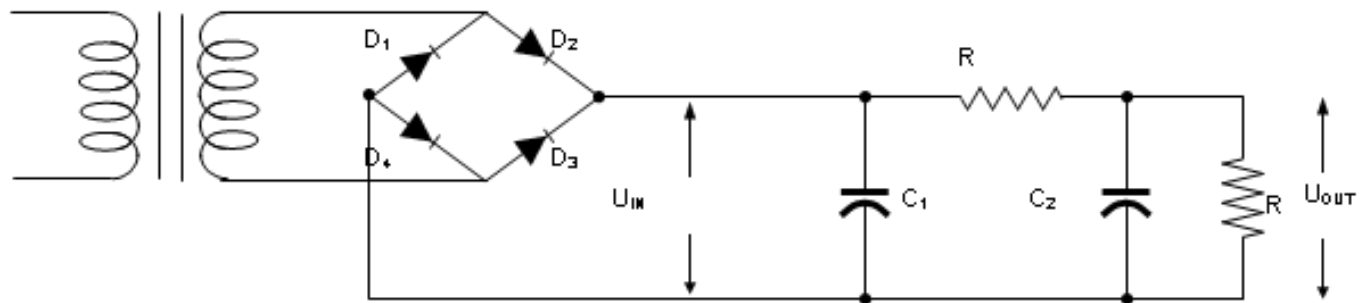
$$U_{OUT}^{DC} = \frac{2 \cdot U_0}{\pi}$$

$$r = \frac{1}{24 \cdot \pi^2 \cdot \sqrt{2} \cdot f^2 \cdot L \cdot C}$$

και αντικαθιστώντας  $f=50\text{Hz}$ , καταλήγουμε στην προσέγγιση

$$r = \frac{0.00012}{L \cdot C} \%$$

# ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ Φίλτρο π (CRC)



Ισοδύναμα κυκλώματα για το συνεχές και εναλλασσόμενο ρεύμα αντίστοιχα.

$$U_{OUT}^{DC} = \frac{R_L}{R + R_L} \cdot U_{IN}^{DC}$$

$$U_{AC}^{OUT} = \frac{X_{C_2}}{Z} \cdot U_{AC}^{IN}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_{C_2}^2} \approx R$$

# ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ

## Φίλτρο π (Απλή Ανόρθωση)

ο χρόνος εκφόρτισης και για την απλή ανόρθωση θεωρούμε ότι ισούται με την περίοδο T. Επομένως η τάση κυμάτωσης στην είσοδο του φίλτρου είναι:

$$U_{r,IN} = \frac{I_{DC} \cdot T}{C_1} = \frac{I_{DC}}{f \cdot C_1} \quad 5.34$$

Η ενεργός τιμή αυτής της τάσης, εφόσον πρόκειται για πριονωτή κυματομορφή, θα είναι

$$U_{r,IN}^{rms} = \frac{I_{DC}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot f \cdot C_1} \quad 5.35$$

Αντικαθιστώντας τη σχέση (5.35) στην (5.32) προκύπτει για την ενεργό τιμή της τάσης κυμάτωσης στην έξοδο του φίλτρου  $U_{r,OUT}^{rms} = \frac{I_{DC}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot f \cdot C_1} \cdot \frac{X_{C_2}}{R}$  και εφόσον  $I_{DC} = \frac{U_{DC}}{R_L}$  θα ισχύ-

ει  $U_{r,OUT}^{rms} = \frac{U_{DC} \cdot X_{C_2}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot f \cdot C_1 \cdot R \cdot R_L}$ , οπότε, το ποσοστό κυμάτωσης θα είναι:

$$r = \frac{U_{r,OUT}^{rms}}{U_{DC}} = \frac{X_{C_2}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot f \cdot C_1 \cdot R \cdot R_L} \quad 5.36$$

αν θέσουμε  $X_{C_2} = \frac{1}{\omega \cdot C_2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_2}$  και/ή  $f = 50$  Hz, η σχέση γίνεται:

$$r = \frac{U_{r,OUT}^{rms}}{U_{DC}} = \frac{1}{4 \cdot \sqrt{3} \cdot \pi \cdot f^2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot R \cdot R_L} \quad 5.37$$

ή

$$r = \frac{0.00184}{C_1 \cdot C_2 \cdot R \cdot R_L} \%$$

# ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ

## Φίλτρο π (Διπλή Ανόρθωση)

Ως γνωστόν, κατά την εκφόρτιση του πυκνωτή C1 ισχύει η σχέση:  $I_{DC} = C_1 \cdot \frac{\Delta U}{\Delta t}$ , όπου θεωρούμε ότι το  $I_{DC}$  είναι σχεδόν σταθερό αφού είναι  $\Delta U \ll U_{DC}$ . Η τάση  $\Delta U$  που χάνει ο πυκνωτής κατά την εκφόρτισή του είναι η τάση κυμάτωσης  $U_r$  της εισόδου. Ο χρόνος  $\Delta t$  είναι ο χρόνος εκφόρτισης και για τη διπλή ανόρθωση θεωρούμε ότι ισούται με την ημιπερίοδο  $T/2$ .

Επομένως η τάση κυμάτωσης στην είσοδο του φίλτρου είναι:  $U_{r,IN} = \frac{I_{DC} \cdot T}{2 \cdot C_1} = \frac{I_{DC}}{2 \cdot f \cdot C_1}$ . Η ε-

νεργός τιμή αυτής της τάσης, εφόσον πρόκειται για πριονωτή κυματομορφή, θα είναι  $U_{r,IN}^{rms} = \frac{I_{DC}}{4 \cdot \sqrt{3} \cdot f \cdot C_1}$ . Επομένως, για την ενεργό τιμή της τάσης κυμάτωσης στην έξοδο του

φίλτρου, προκύπτει:  $U_{r,OUT}^{rms} = \frac{I_{DC}}{4 \cdot \sqrt{3} \cdot f \cdot C_1} \cdot \frac{X_{C_2}}{R}$  και εφόσον  $I_{DC} = \frac{U_{DC}}{R_L}$ , θα ισχύει

$U_{r,OUT}^{rms} = \frac{U_{DC} \cdot X_{C_2}}{4 \cdot \sqrt{3} \cdot f \cdot C_1 \cdot R \cdot R_L}$ , οπότε, το ποσοστό κυμάτωσης θα είναι:

$$r = \frac{U_{r,OUT}^{rms}}{U_{DC}} = \frac{X_{C_2}}{4 \cdot \sqrt{3} \cdot f \cdot C_1 \cdot R \cdot R_L} = \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{X_{C_2}}{X_{C_1} \cdot R \cdot R_L}$$

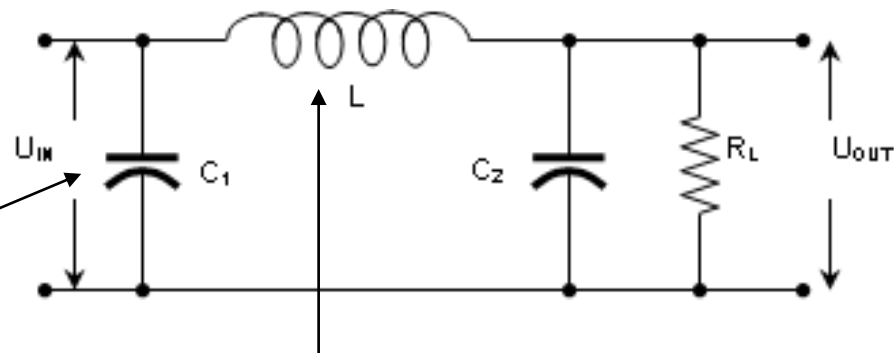
Αν θέσουμε  $X_{C_2} = \frac{1}{2 \cdot \omega \cdot C_2} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot f \cdot C_2}$  και  $f=50$  Hz, τότε

$$r = \frac{U_{r,OUT}^{rms}}{U_{DC}} = \frac{1}{16 \cdot \sqrt{3} \cdot \pi \cdot f^2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot R \cdot R_L}$$

5.38

$$\text{ή } r = \frac{0.0014}{C_1 \cdot C_2 \cdot R \cdot R_L} \%$$

# ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ Φίλτρο π (CLC)

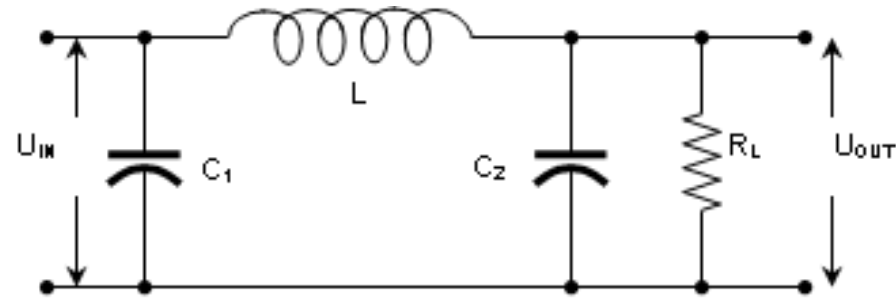


Μικρή συνολική αντίσταση  
στο AC και μεγάλη (άπειρη)  
αντίσταση στο DC

Μικρή συνολική αντίσταση  
στο DC και μεγάλη αντίσταση  
στο AC



# ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ Φίλτρο π (CLC)



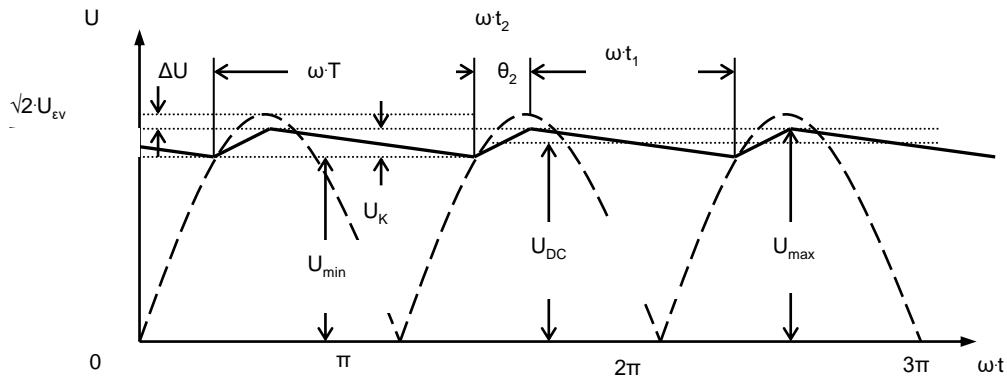
$$U_{DC} \cong U_0 - \frac{U_K}{2}$$

$$U_K = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{I_{DC} \cdot t_1}{C_1} = \frac{I_{DC}}{C_1 \cdot f} = I_{DC} \cdot 2 \cdot \pi \cdot X_{C_1}$$

$$X_{C_1} = \frac{1}{\omega \cdot C_1}$$

$$U_{DC} \cong U_0 - I_{DC} \cdot 2 \cdot \pi \cdot X_{C_1}$$

$$U_{DC} \cong U_0 - I_{DC} \cdot \frac{1}{f \cdot C_1}$$



Διαγράμματα στιγμιαίων τάσεων για το φίλτρο Π.

# ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ

## Φίλτρο $\pi$ (CLC) – Απλή Ανόρθωση

Η εναλλασσόμενη τάση που εφαρμόζεται στα άκρα του πυκνωτή εισόδου είναι πριονωτή με ενεργό τιμή που δίνεται στη σχέση (5.19):

$$U_{K,rms} = \frac{U_{DC}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot f \cdot R_L \cdot C}$$

Αυτή εισάγεται στο φίλτρο  $L_2, C_2$  που ενεργεί σαν διαιρέτης τάσης, οπότε η ενεργός τιμή της εναλλασσόμενης συνιστώσας της τάσης στα άκρα του πυκνωτή  $C_2$  θα είναι:

$$U_{OUT}^{rms} = \frac{X_{C_2}}{X_{C_2} + X_L} \cdot U_{IN}^{rms} \approx \frac{X_{C_2}}{X_L} \cdot U_{IN}^{rms}$$

$$\text{Επομένως } U_{OUT}^{rms} = \frac{\pi \cdot I_{DC}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{X_{C_2} \cdot X_{C_2}}{X_L} \text{ ή}$$

$$U_{OUT}^{rms} = \frac{I_{DC}}{8 \cdot \sqrt{3} \cdot \pi^2 \cdot f^3 \cdot L \cdot C_2 \cdot C_1} \quad 5.40$$

Οπότε, το ποσοστό κυμάτωσης, από τις (5.39) και (5.40), είναι:

$$r = \frac{U_{r,OUT}^{rms}}{U_{DC}} = \frac{\pi}{\sqrt{3}} \cdot \frac{X_{C_2} \cdot X_{C_2}}{X_L \cdot R_L}, \text{ ή}$$

$$r = \frac{1}{8 \cdot \sqrt{3} \cdot \pi^2 \cdot f^3 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot L \cdot R_L} \quad 5.41$$

και αν θέσουμε  $f=50$  Hz τότε, η σχέση που προκύπτει είναι:

$$r = \frac{0.0000058}{C_1 \cdot C_2 \cdot L \cdot R_L} \%$$

# ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ

## Φίλτρο π (CLC) – Διπλή Ανόρθωση

$$U_{IN}^{rms} = \frac{I_{DC}}{4 \cdot \sqrt{3} \cdot C_1 \cdot f}$$

και εφόσον  $X_{C_1} = \frac{1}{2 \cdot \omega \cdot C_1} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot f \cdot C_1}$ , η προηγούμενη σχέση γράφεται:

$$U_{IN}^{rms} = \frac{\pi \cdot X_{C_1} \cdot I_{DC}}{\sqrt{3}}$$

Αυτή εισάγεται στο φίλτρο L2.C2 που ενεργεί σαν διαιρέτης τάσης, οπότε η ενεργός τιμή της εναλλασσόμενης συνιστώσας της τάσης στα άκρα του πυκνωτή C2 θα είναι:

$$U_{OUT}^{rms} = \frac{X_{C_2}}{X_{C_2} + X_L} \cdot U_{IN}^{rms} \approx \frac{X_{C_2}}{X_L} \cdot U_{IN}^{rms}$$

$$\text{οπότε } U_{OUT}^{rms} = \frac{\pi \cdot U_{DC}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{X_{C_2} X_{C_1}}{X_L \cdot R_L} \quad \text{ή} \quad U_{OUT}^{rms} = \frac{\pi \cdot U_{DC}}{4 \cdot \sqrt{3} \cdot \omega^3 \cdot L \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot R_L}$$

Το ποσοστό κυμάτωσης θα είναι

$$r = \frac{U_{r,OUT}^{rms}}{U_{DC}} = \frac{\pi}{\sqrt{3}} \cdot \frac{X_{C_2} \cdot X_{C_1}}{X_L \cdot R_L}$$

ή

$$r = \frac{1}{64 \cdot \sqrt{3} \cdot \pi^2 \cdot f^3 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot L \cdot R_L}$$

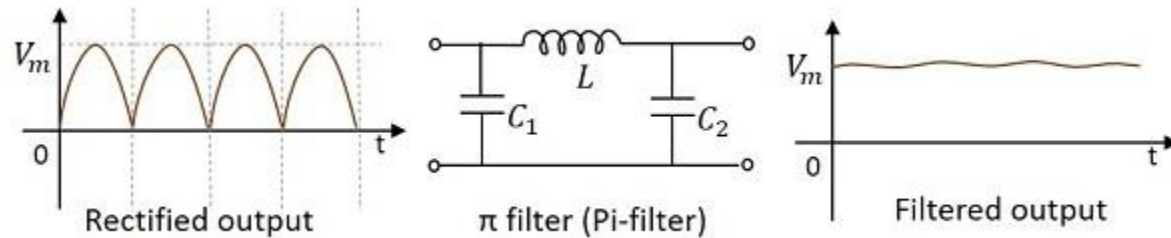
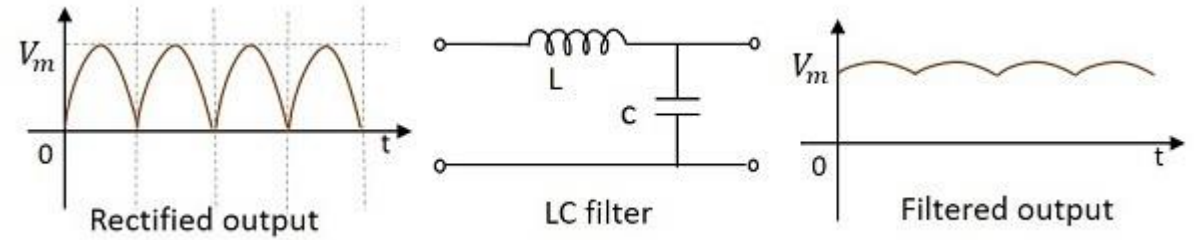
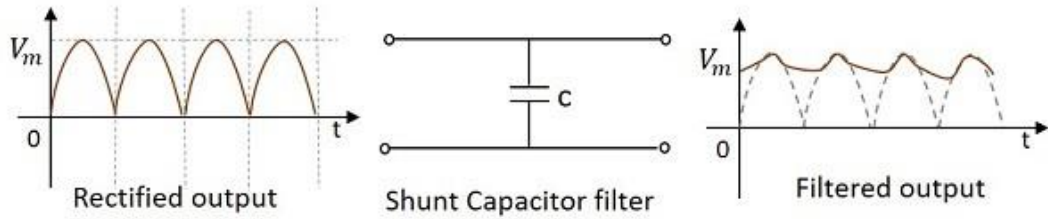
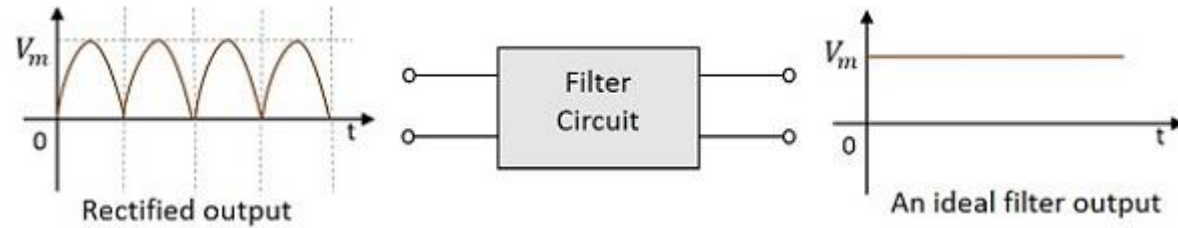
5.42

Αν θέσουμε  $f=50$  Hz, τότε

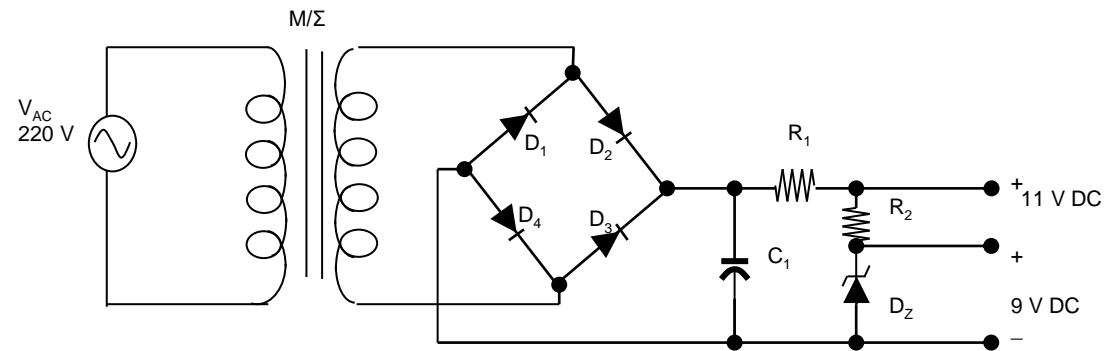
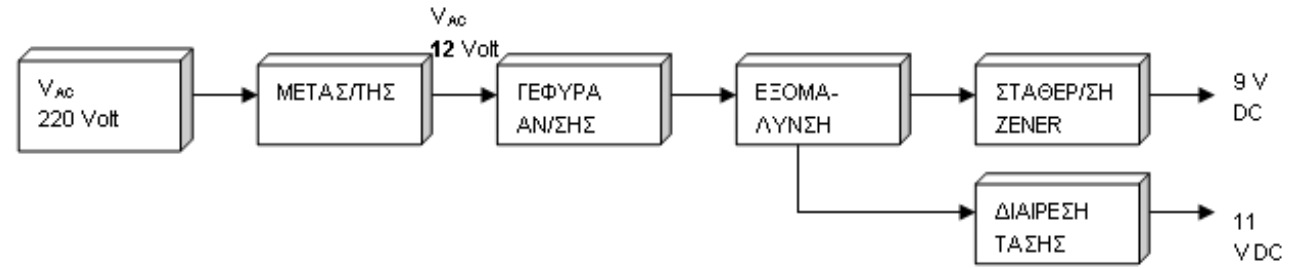
$$r = \frac{0.00000073}{C_1 \cdot C_2 \cdot L \cdot R_L} \%$$

# ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ

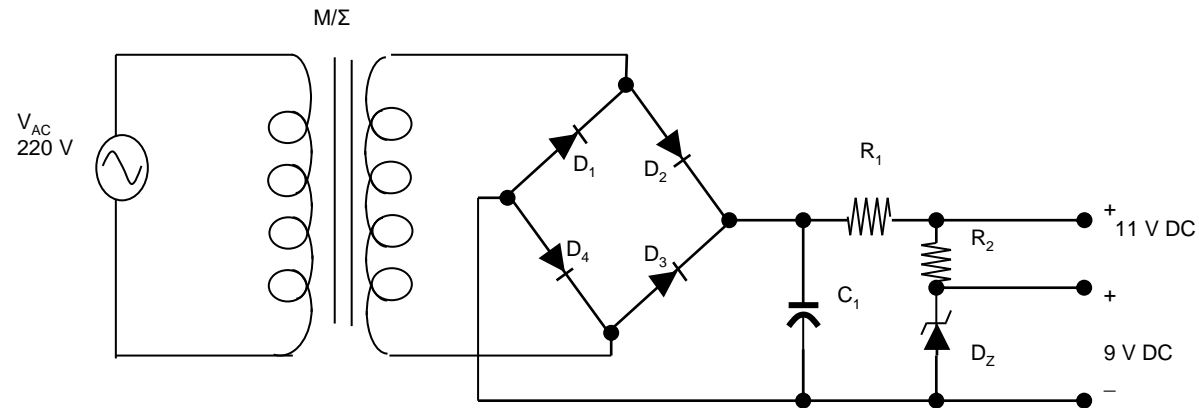
## Ανακεφαλαίωση



# Σταθεροποίηση Τάσης με Zener



# Σταθεροποίηση Τάσης με Zener



## Θα πρέπει:

- A. Η δίοδος Zener να λειτουργεί στην περιοχή κατάρρευσης
- B. Το ρεύμα που διαρρέει τη δίοδο να μην ξεπερνά το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να αντέξει