



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικό και Καποδιστριακό  
Πανεπιστήμιο Αθηνών

HELLENIC REPUBLIC  
National and Kapodistrian  
University of Athens



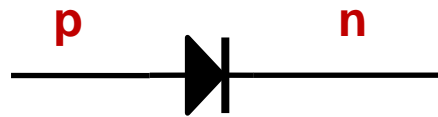
# ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

ΔΙΟΔΟΣ

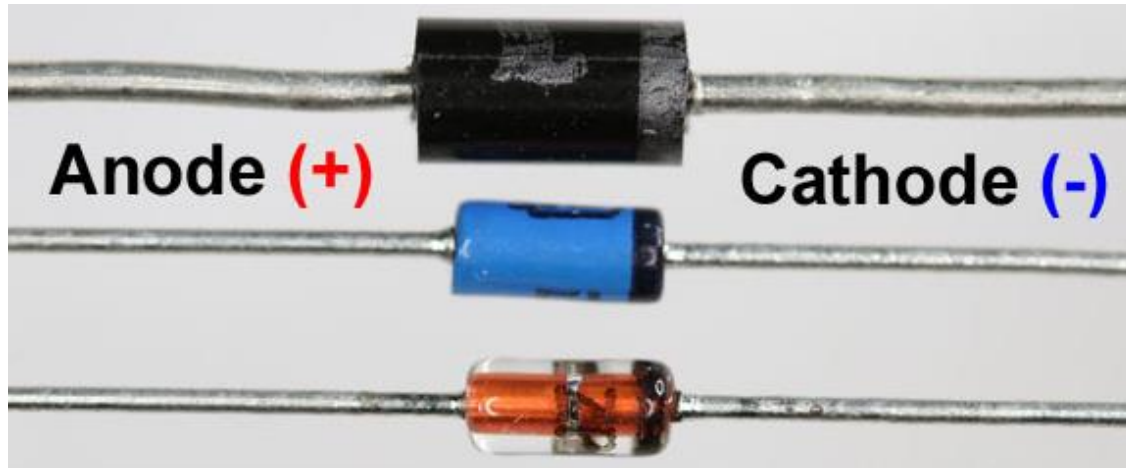
*(Θεωρία Εργαστηρίων 2<sup>ου</sup> – 3<sup>ου</sup> – 4<sup>ου</sup> – 5<sup>ου</sup>,  
Ασκήσεις: 4<sup>η</sup> – 5<sup>η</sup> – 6<sup>η</sup> – 7<sup>η</sup>)*



## 2<sup>ο</sup> εργαστήριο – Ιδανική δίοδος




Συμβολισμός της διόδου pn



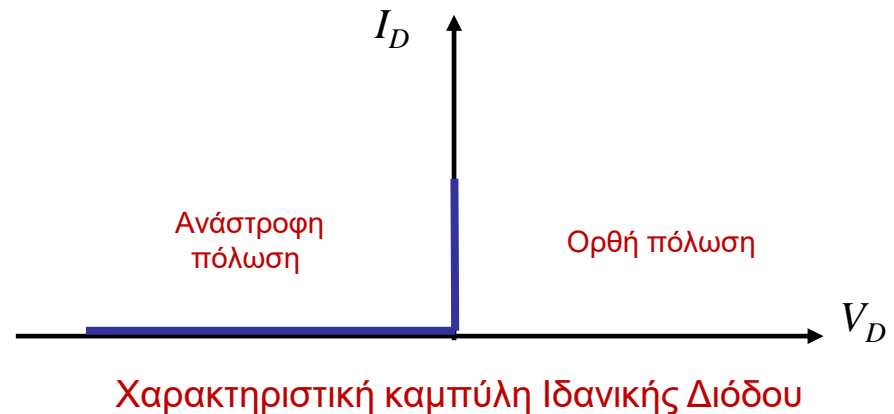
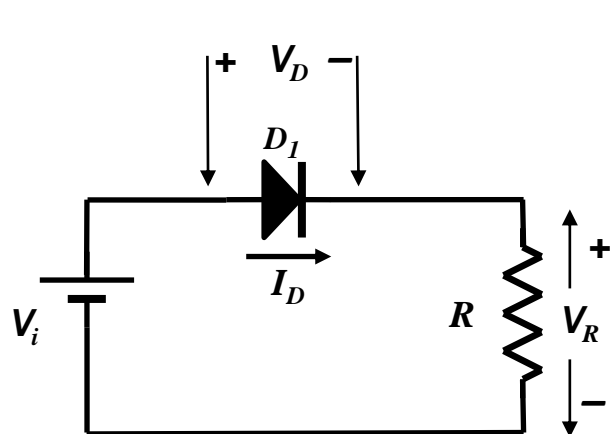
## 2<sup>ο</sup> εργαστήριο – Στατική χαρακτηριστική διόδου

Άνοδος (+)      Κάθοδος (-)

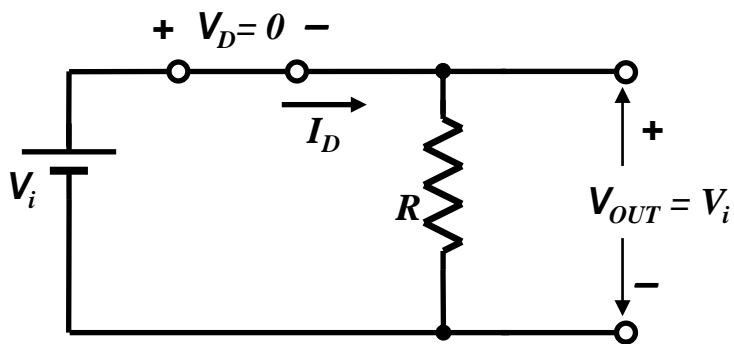
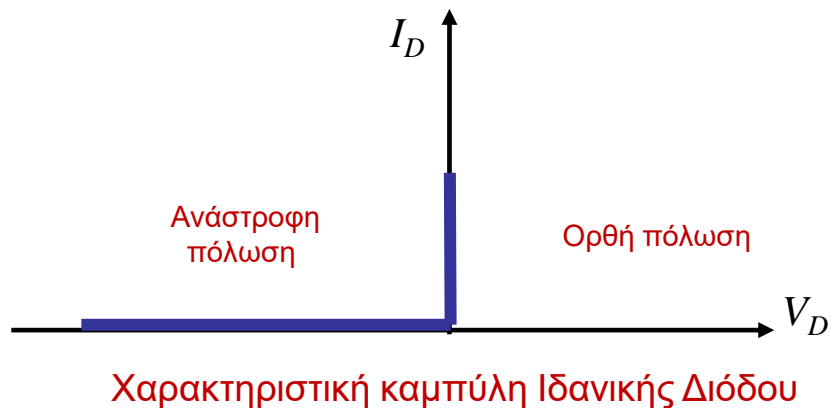
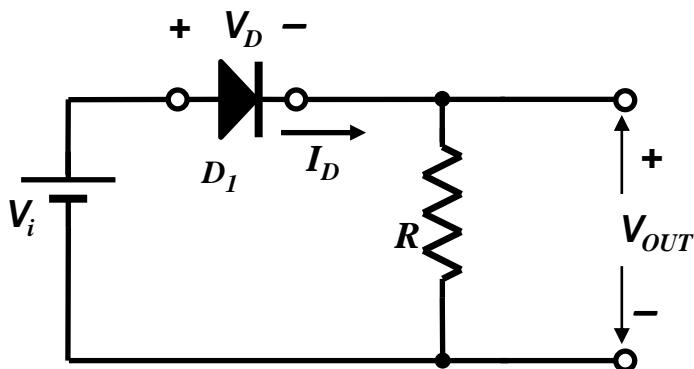


Αν στην ιδανική δίοδο εφαρμοστεί μια αρνητική τάση, δεν ρέει καθόλου ρεύμα και η δίοδος συμπεριφέρεται ως ανοικτό κύκλωμα. Λέμε ότι η δίοδος είναι **ανάστροφα πολωμένη** ή σε **αποκοπή**.

Αν στην ιδανική δίοδο εφαρμοστεί μια θετική τάση, κατά μήκος της διόδου εμφανίζεται μηδενική πτώση τάσης και η δίοδος συμπεριφέρεται ως βραχυκύκλωμα. Λέμε ότι η δίοδος είναι **ορθά πολωμένη** ή ότι **άγει**.

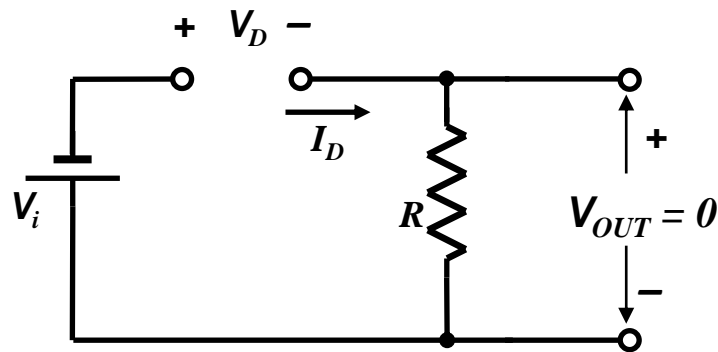


## 2<sup>ο</sup> εργαστήριο – Στατική χαρακτηριστική διόδου



Ισοδύναμο Κύκλωμα  
Ορθής Πόλωσης

$$V_i \geq 0$$

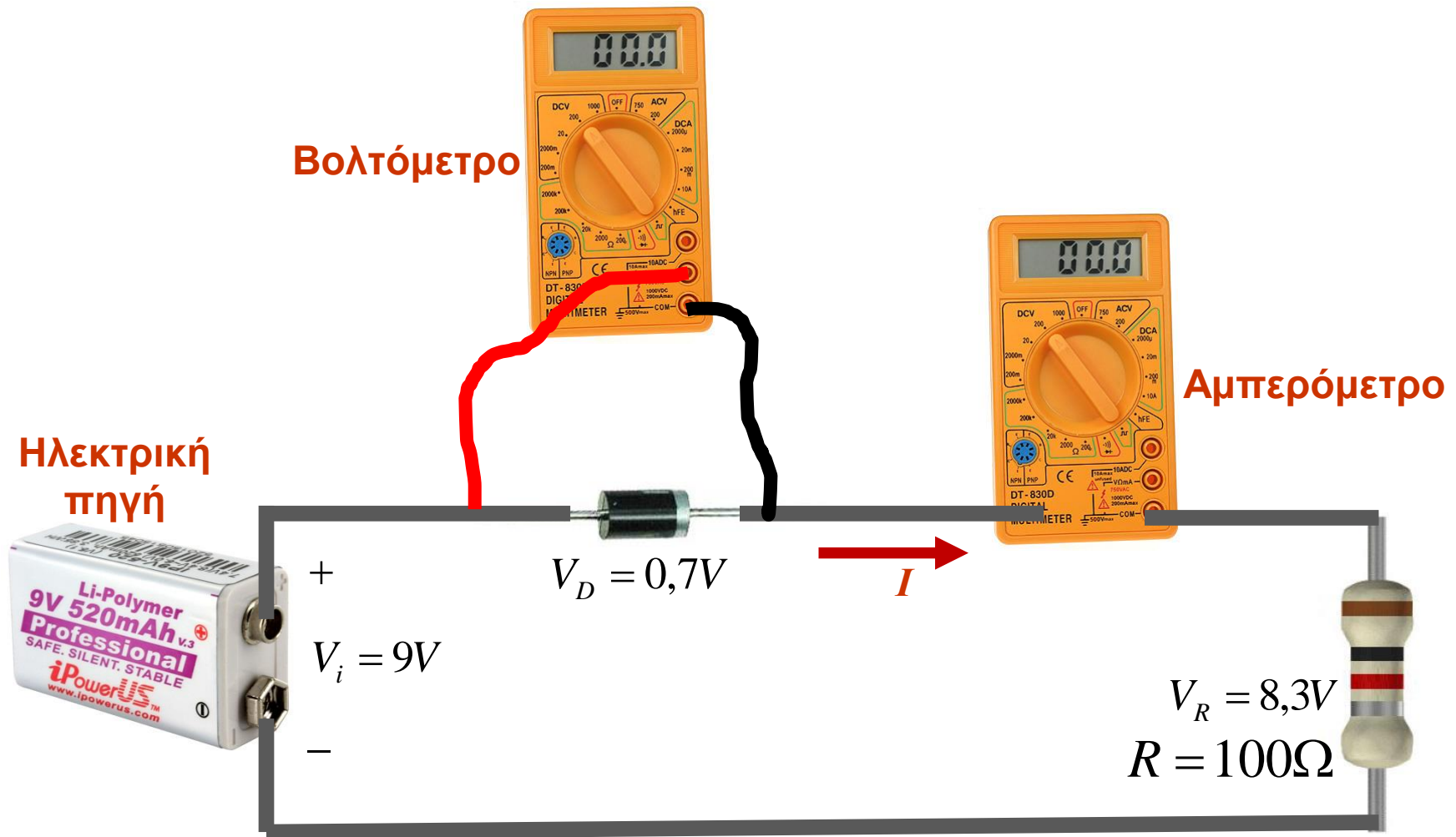


Ισοδύναμο Κύκλωμα  
Ανάστροφης Πόλωσης

$$V_i \leq 0$$

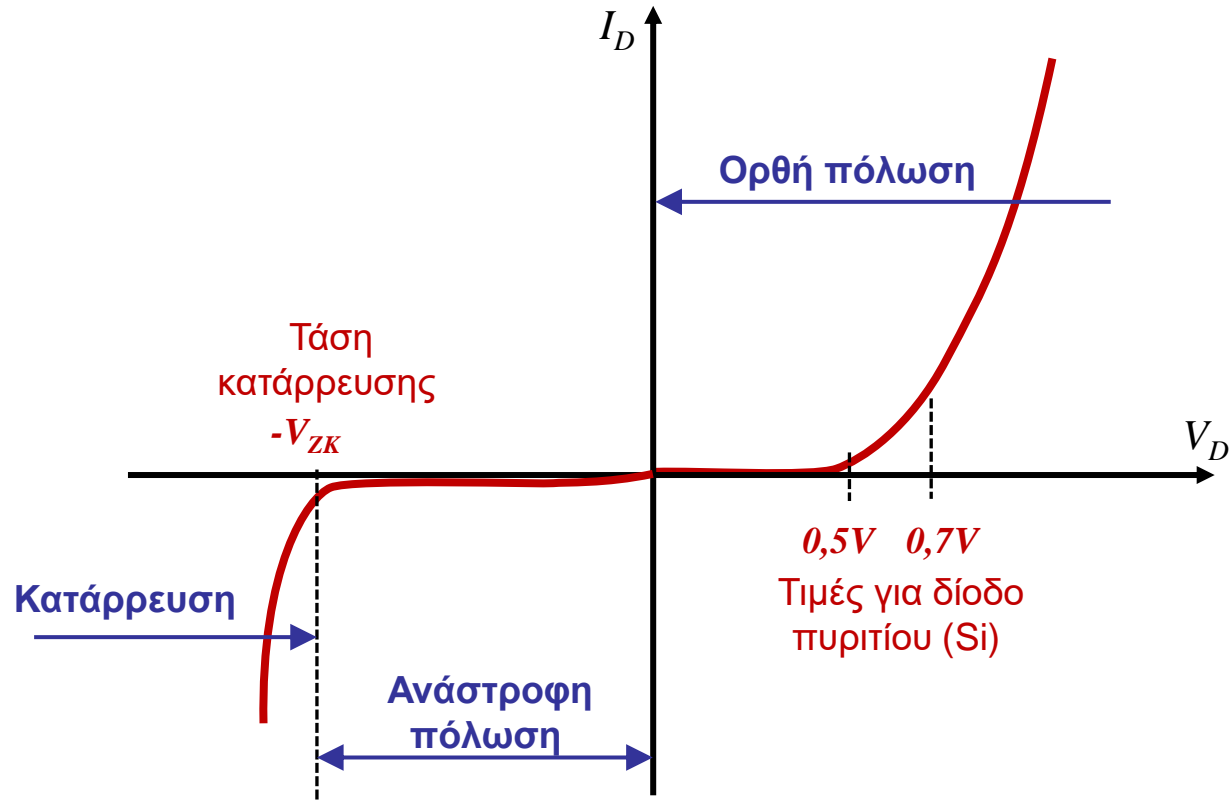


# 2<sup>ο</sup> εργαστήριο – Στατική χαρακτηριστική διόδου



Κύκλωμα για την σχεδίαση της χαρακτηριστική καμπύλης πραγματικής διόδου

## 2<sup>ο</sup> εργαστήριο – Στατική χαρακτηριστική διόδου



Στατική Χαρακτηριστική I-V πραγματικής διόδου



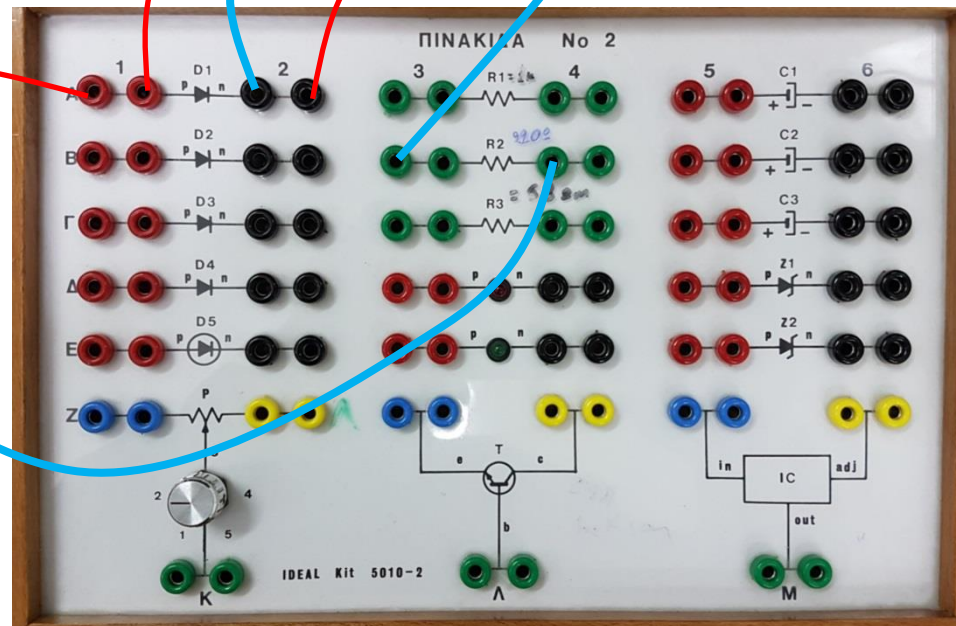
# 2<sup>ο</sup> εργαστήριο – Στατική χαρακτηριστική διόδου

Βολτόμετρο

Αμπερόμετρο



Τροφοδοτικό  
DC



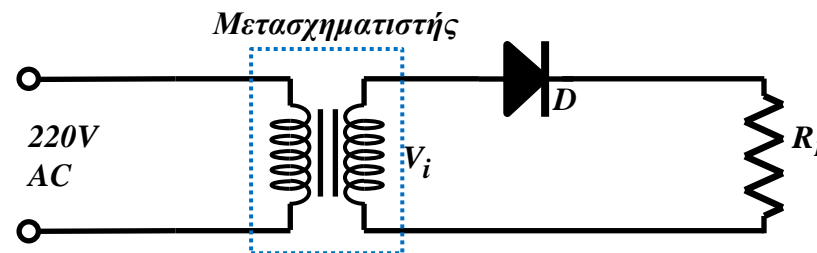
Διάταξη για τη σχεδίαση της Χαρακτηριστικής Διόδου

## 3<sup>ο</sup> εργαστήριο – Απλή Ανόρθωση

Η ανόρθωση βασίζεται στην ιδιότητα της διόδου να άγει όταν πολώνεται ορθά, ενώ στην ανάστροφη πόλωση το ρεύμα είναι αμελητέο, οπότε θεωρούμε ότι το κύκλωμα δεν διαρρέεται από ρεύμα.

Το κύκλωμα της απλής ανόρθωσης ή ανόρθωσης μισού κύματος ή ημιανόρθωσης, συνδέεται στην έξοδο του μετασχηματιστή και αποτελείται από τη δίοδο  $D$  και το ωμικό φορτίο  $R_L$ . Η εναλλασσόμενη τάση στην έξοδο του μετασχηματιστή ( $V_i$ ) αποτελεί είσοδο στο κύκλωμα απλής ανόρθωσης και περιγράφεται από τη σχέση:

$$V_i = V_0 \eta \mu(\omega \cdot t)$$

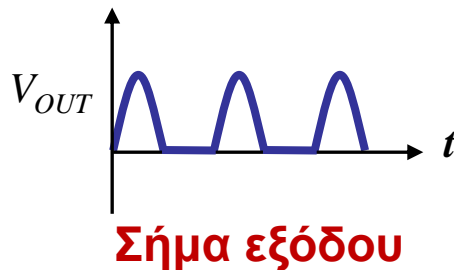
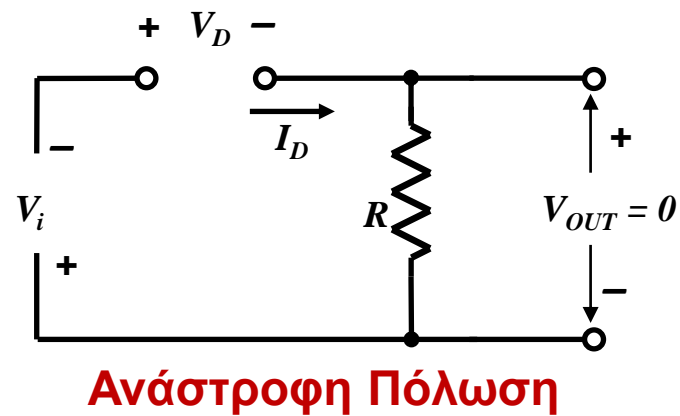
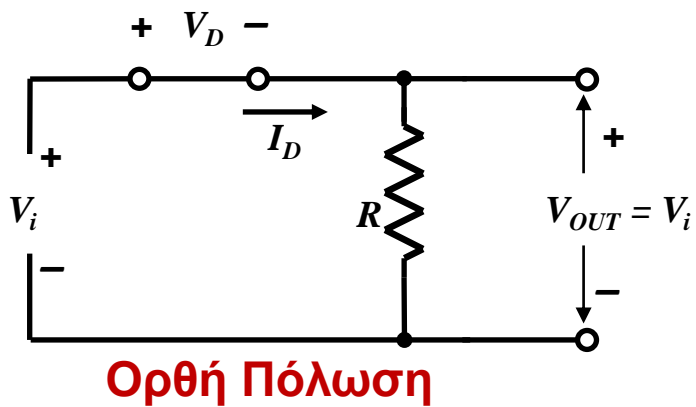
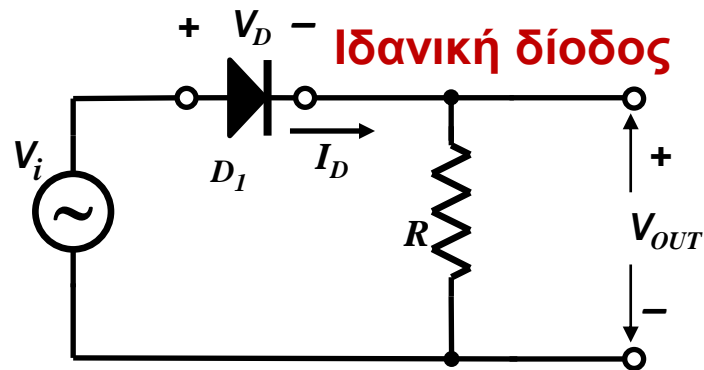
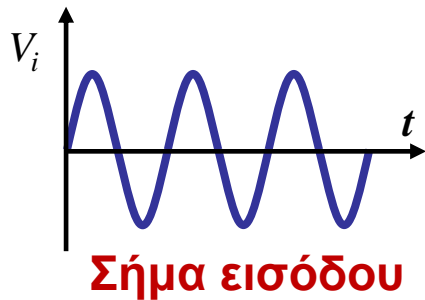


κύκλωμα απλής ανόρθωσης

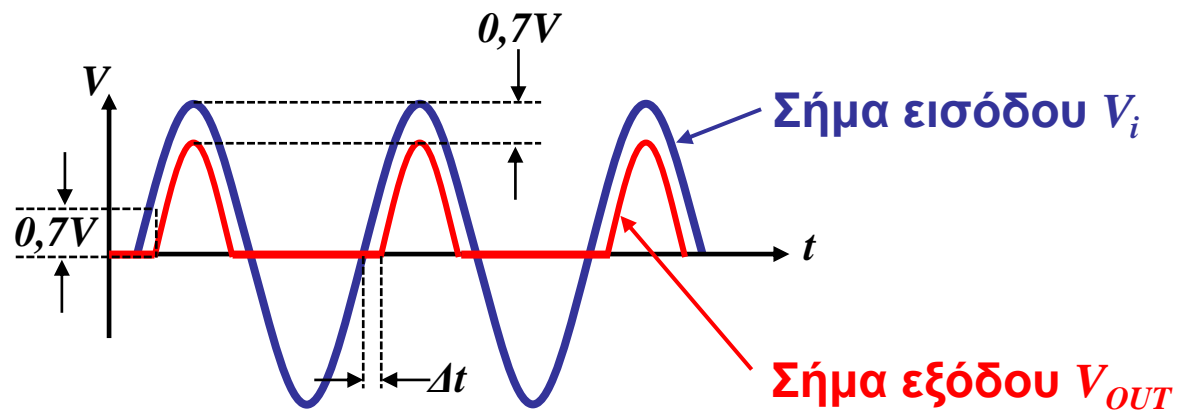




# 3<sup>ο</sup> εργαστήριο – Απλή Ανόρθωση



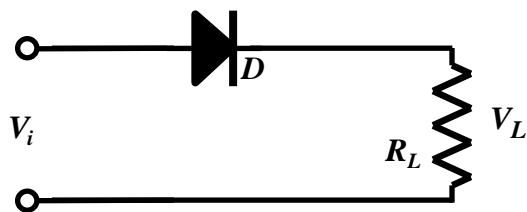
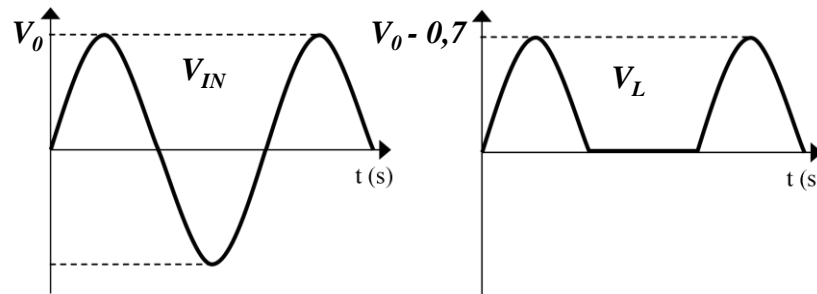
# 3<sup>ο</sup> εργαστήριο – Απλή Ανόρθωση



# 3<sup>ο</sup> εργαστήριο – Απλή Ανόρθωση

Η τάση  $V_L$  στα άκρα της  $R_L$  αποτελεί την έξοδο του κυκλώματος απλής ανόρθωσης.

Παρατηρούμε ότι η τάση εξόδου έχει πάντα θετικές τιμές ενώ η μέγιστη τιμή της είναι  $(V_0 - 0,7)$  λόγω της διόδου πυριτίου.



κύκλωμα απλής ανόρθωσης  
χωρίς πυκνωτή

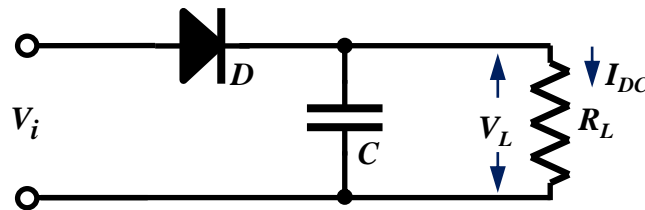
Αν μετρήσουμε την **συνεχή τάση** στα άκρα του ωμικού φορτίου με την βοήθεια ενός πολύμετρου, η τιμή σύμφωνα με τη θεωρία θα δίνεται από τη σχέση:

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

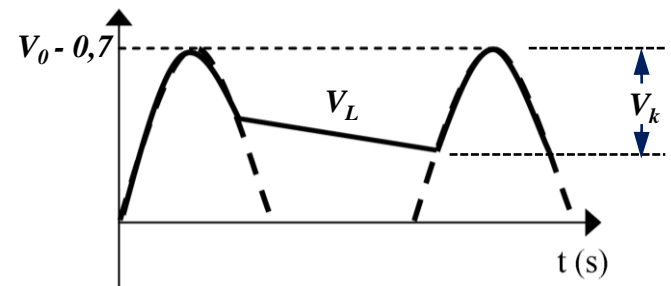


# 3<sup>ο</sup> εργαστήριο – Απλή Ανόρθωση με φίλτρο

Συνδέοντας έναν πυκνωτή (**C**) παράλληλα στο φορτίο  $R_L$ , έχουμε εξομάλυνση της ημιανορθωμένης τάσης. Κατά την θετική ημιπερίοδο που άγει η δίοδος, η πηγή  $V_i$  τροφοδοτεί το φορτίο και ταυτόχρονα φορτίζει τον πυκνωτή. Κατά τη διάρκεια της αρνητικής ημιπεριόδου, ο φορτισμένος πυκνωτής εκφορτίζεται διαμέσου του φορτίου με αποτέλεσμα το φορτίο να διαρρέεται από ρεύμα σταθερής φοράς καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου.



Αν μετρήσουμε την **συνεχή τάση** στα άκρα του ωμικού φορτίου με την βοήθεια ενός πολύμετρου ρυθμισμένου σε VDC, η τιμή σύμφωνα με τη θεωρία θα δίνεται από τη σχέση:



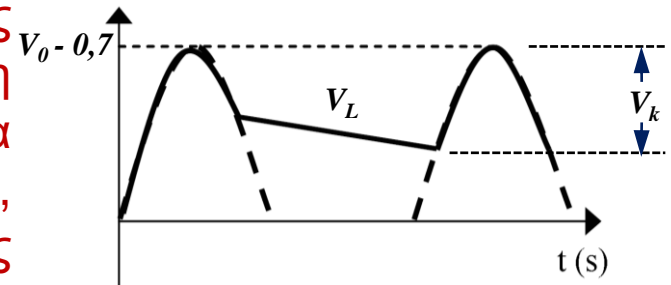
$$V_{DC} \approx V_0 - 0,7 - \frac{1}{2} V_K$$

Όπου  $V_K$  η τάση κυμάτωσης:  $V_K \approx \frac{I_{DC}}{f \cdot C}$



## 3<sup>ο</sup> εργαστήριο – Απλή Ανόρθωση με φίλτρο

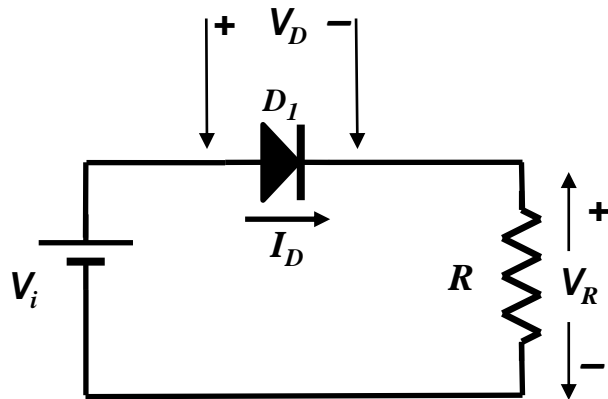
Στην περίπτωση που συνδεθεί ο πυκνωτής  $C$  παράλληλα στο φορτίο  $R_L$ , η τάση στα άκρα της  $R_L$  θα μειώνεται αλλά δεν θα μηδενίζεται κατά τη διάρκεια των αρνητικών ημιπεριόδων. Μάλιστα όσο πιο μεγάλη είναι η σταθερά χρόνου  $\tau=R_L \cdot C$ , σε σχέση με την περίοδο  $T$  της εναλλασσόμενης τάσης, τόσο πιο μικρή θα είναι η διαφορά ανάμεσα στην μέγιστη και την ελάχιστη τάση στα άκρα του φορτίου. Η διαφορά αυτή ονομάζεται κυμάτωση (ripple), αποτελεί ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του κυκλώματος τροφοδοσίας και συμβολίζεται με  $V_k$ .



Η τιμή της τάσης κυμάτωσης πρέπει να είναι η χαμηλότερη δυνατή (αναλόγως την εφαρμογή), αλλά γενικά στην πράξη, για ένα τροφοδοτικό γενικής χρήσης μια επιθυμητή τιμή είναι της τάξης των δεκάδων mV. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να ισχύει  $\tau \gg T$



# Ευθεία φόρτου



$$V_i = V_D + V_L$$

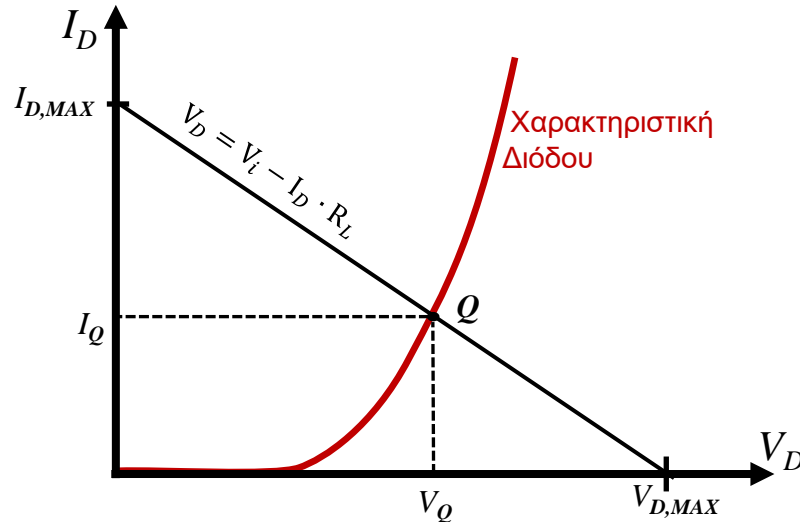
$$V_L = I_D \cdot R_L$$

Για να βρεθεί η τάση και το ρεύμα διόδου (επίλυση κυκλώματος) σε ένα κύκλωμα που περιέχει δίοδο σε ορθή πόλωση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ισοδύναμο κύκλωμα του. Υπάρχει όμως και ο γραφικός τρόπος για την επίλυση του κυκλώματος, ο οποίος έχει ως εξής: Σ' ένα κύκλωμα συνδέεται μια ορθά πολωμένη δίοδος  $D_1$  με πηγή συνεχούς τάσης  $V_i$  και αντίσταση φόρτου  $R_L$ . Η χαρακτηριστική της διόδου θεωρείται γνωστή. Αν  $V_D$  είναι η τάση στα άκρα της διόδου,  $V_R$  στα άκρα της αντίστασης και  $I_D$  το ρεύμα του κυκλώματος ισχύει ότι:

$$V_D = V_i - I_D \cdot R_L$$

Η παραπάνω σχέση είναι μια γραμμική εξίσωση πρώτου βαθμού και παριστάνει την μεταβολή της τάσης στα άκρα της διόδου  $V_D$  συναρτήσει της μεταβολής του ρεύματος  $I_D$ . Σχηματικά η εξίσωση αυτή παριστάνεται με μία ευθεία γραμμή, η οποία ονομάζεται ευθεία φόρτου.

# Ευθεία φόρτου



Ευθεία Φόρτου

$$V_D = V_i - I_D \cdot R_L \quad (1)$$

Για να βρεθεί το σημείο τομής της ευθείας φόρτου με τον άξονα των τάσεων, θα πρέπει στην σχέση (1) να τεθεί  $I_D = 0$ , οπότε:  $V_{D,MAX} = V_i$  (2)

Το σημείο τομής της ευθείας φόρτου με τον οριζόντιο άξονα των τάσεων είναι το σημείο όπου η τάση γίνεται ίση με την τάση της πηγής. Για να βρεθεί το σημείο τομής της ευθείας φόρτου με τον άξονα των ρευμάτων, θα πρέπει στη σχέση (1) να τεθεί  $V_D = 0$ , οπότε:

$I_{D,MAX} = \frac{V_i}{R_L}$  (3). Οι τιμές (2) και (3) προσδιορίζουν την ευθεία φόρτου. Στο ίδιο σχήμα

μπορεί να χαραχθεί και η χαρακτηριστική καμπύλη της διόδου. Η τομή της χαρακτηριστικής με την ευθεία φόρτου είναι το σημείο  $Q$  που ονομάζεται σημείο **ηρεμίας** ή σημείο **λειτουργίας** του κυκλώματος. Η τάση  $V_Q$  και το ρεύμα  $I_Q$  είναι η τάση και το ρεύμα ηρεμίας της διόδου αντίστοιχα.



# Έλεγχος Διόδου με Πολύμετρο

Ο πιο απλός τρόπος για να μετρηθεί μια δίοδος είναι να χρησιμοποιήσουμε το ωμόμετρο του πολύμετρου. Οι ακροδέκτες του πολύμετρου (κόκκινος και μαύρος ακροδέκτης) πρέπει να είναι στις σωστές υποδοχές.

Συνδέουμε σε ορθή πόλωση μια δίοδο προς έλεγχο, ενώνοντας τον κόκκινο ακροδέκτη του πολύμετρου στην άνοδο και τον μαύρο στην κάθοδο. Τα ψηφιακά πολύμετρα έχουν ειδική κλίμακα (μέχρι  $2\text{K}\Omega$ ) για μέτρηση διόδου, οπότε αν η δίοδος είναι σε καλή κατάσταση θα δείξει τιμή από  $400\Omega$  έως  $800\Omega$ . Αν συνδέσουμε τον κόκκινο ακροδέκτη του πολύμετρου με την κάθοδο της διόδου και τον μαύρο ακροδέκτη με την άνοδο τότε αν η δίοδος είναι σε καλή κατάσταση θα δείξει αντίσταση εκτός κλίμακας, δηλαδή μεγαλύτερη από  $20\text{M}\Omega$  (θεωρητικά άπειρη).

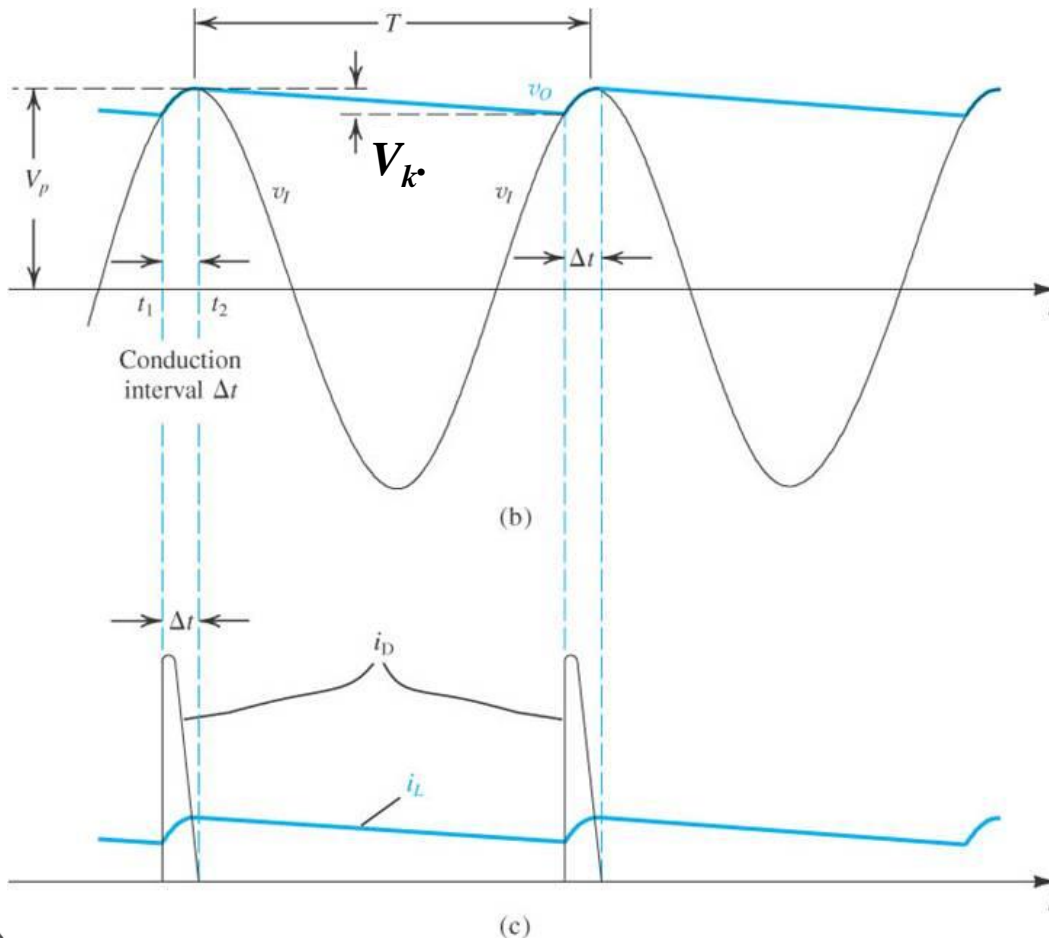
Αν μια δίοδος είναι καμένη θα δείξει βραχυκυκλωμένη είτε στην ορθή είτε στην ανάστροφη πόλωσή της, επίσης μπορεί να δείχνει άπειρη αντίσταση στην ορθή πόλωσή της.





# 3<sup>ο</sup> εργαστήριο – Απλή Ανόρθωση με φίλτρο

Στην περίπτωση που συνδεθεί ο πυκνωτής  $C$  παράλληλα στο φορτίο  $R_L$ , η τάση στα άκρα της  $R_L$  θα μειώνεται αλλά δεν θα μηδενίζεται.



$$t_1 \rightarrow v_I = v_O$$

$$t_2 \rightarrow v_I = V_p \Rightarrow i_D = 0$$

$$\text{μετά από } \approx T \rightarrow v_O = V_p - V_K$$

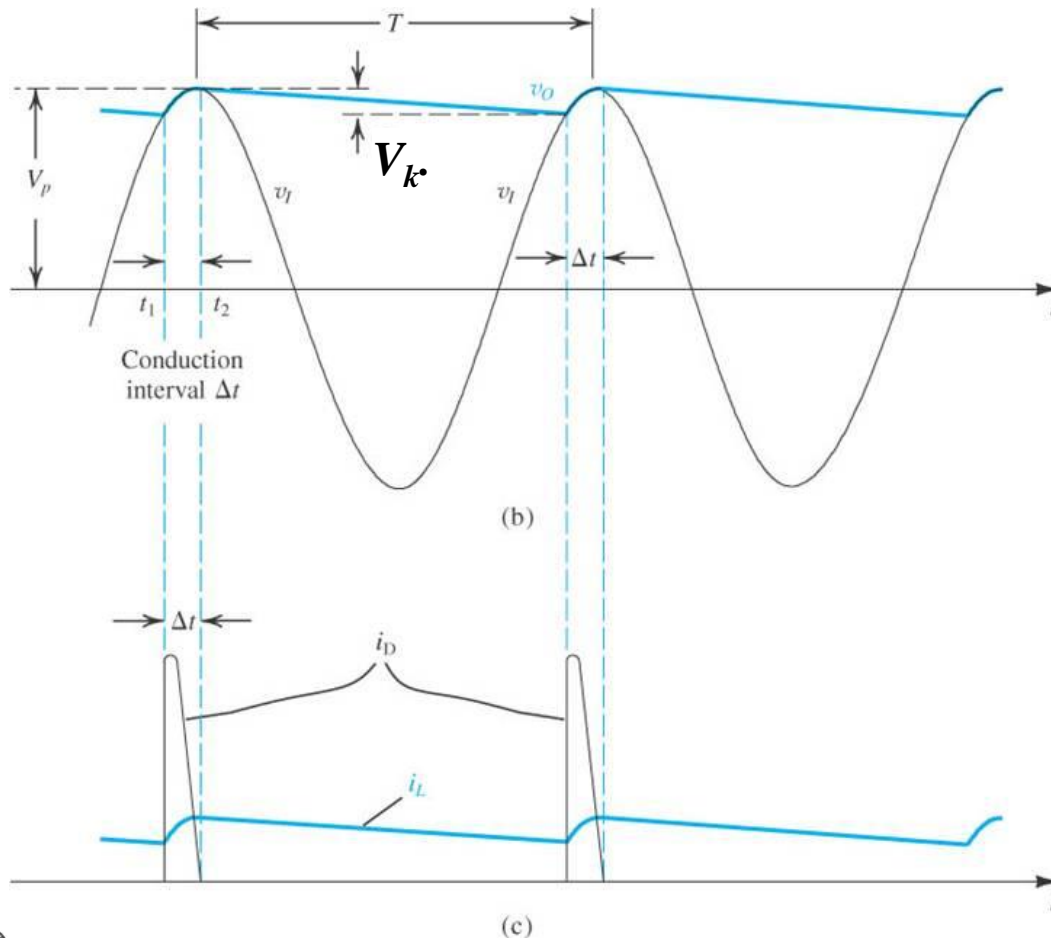
$$\text{αν } V_K \ll V_p \Rightarrow v_O \approx \text{σταθ. (DC)}$$

$$\text{ή ακριβέστερα } V_O = V_p - \frac{1}{2} V_K$$



# 3<sup>ο</sup> εργαστήριο – Απλή Ανόρθωση με φίλτρο

Στην περίπτωση που συνδεθεί ο πυκνωτής  $C$  παράλληλα στο φορτίο  $R_L$ , η τάση στα άκρα της  $R_L$  θα μειώνεται αλλά δεν θα μηδενίζεται.



Κατά την αποκοπή:

$$v_o = V_p e^{-t/RC}$$

Στο τέλος της εκφόρτισης:

$$V_p - V_k \approx V_p e^{-T/RC}$$

για  $RC \gg T \Rightarrow$

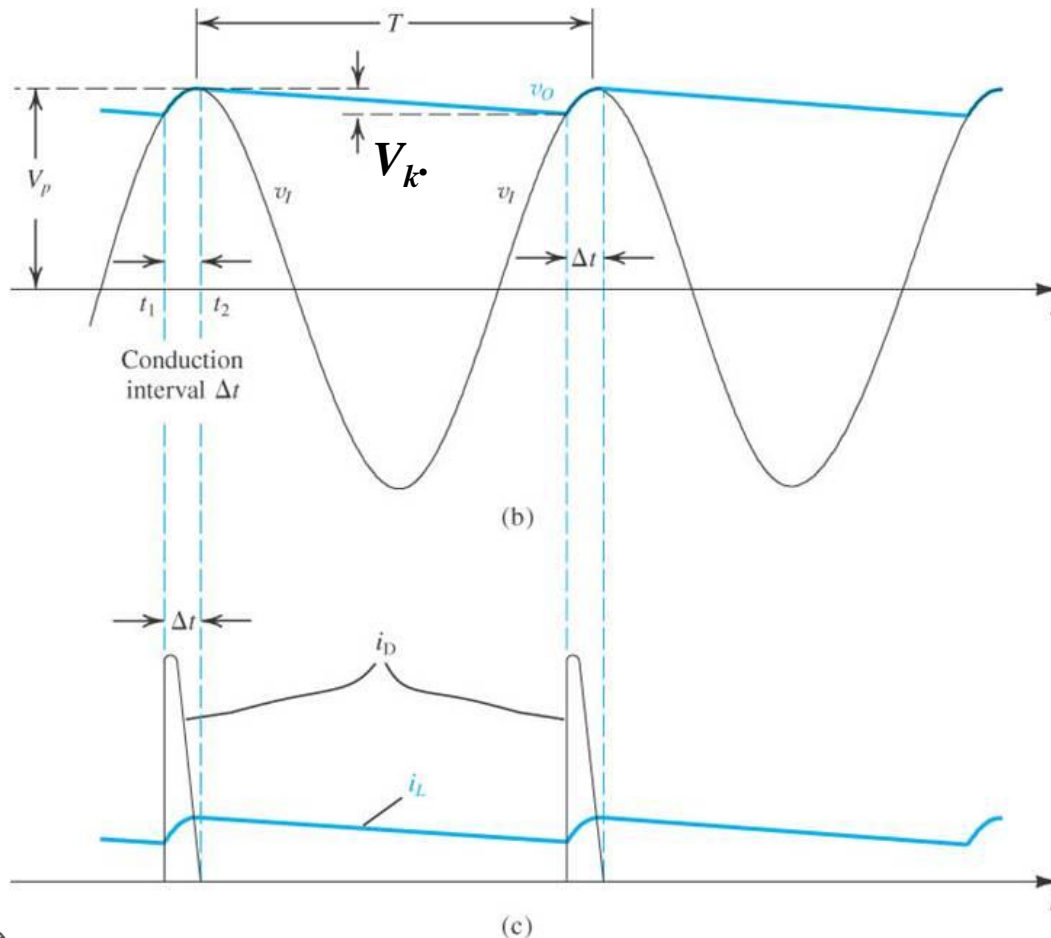
$$e^{-T/RC} \approx 1 - \frac{T}{RC} \Rightarrow$$

$$V_k \approx V_p \frac{T}{RC} = \frac{I_{DC}}{f \cdot C}$$



# 3<sup>ο</sup> εργαστήριο – Απλή Ανόρθωση με φίλτρο

Στην περίπτωση που συνδεθεί ο πυκνωτής  $C$  παράλληλα στο φορτίο  $R_L$ , η τάση στα άκρα της  $R_L$  εξομαλύνεται.



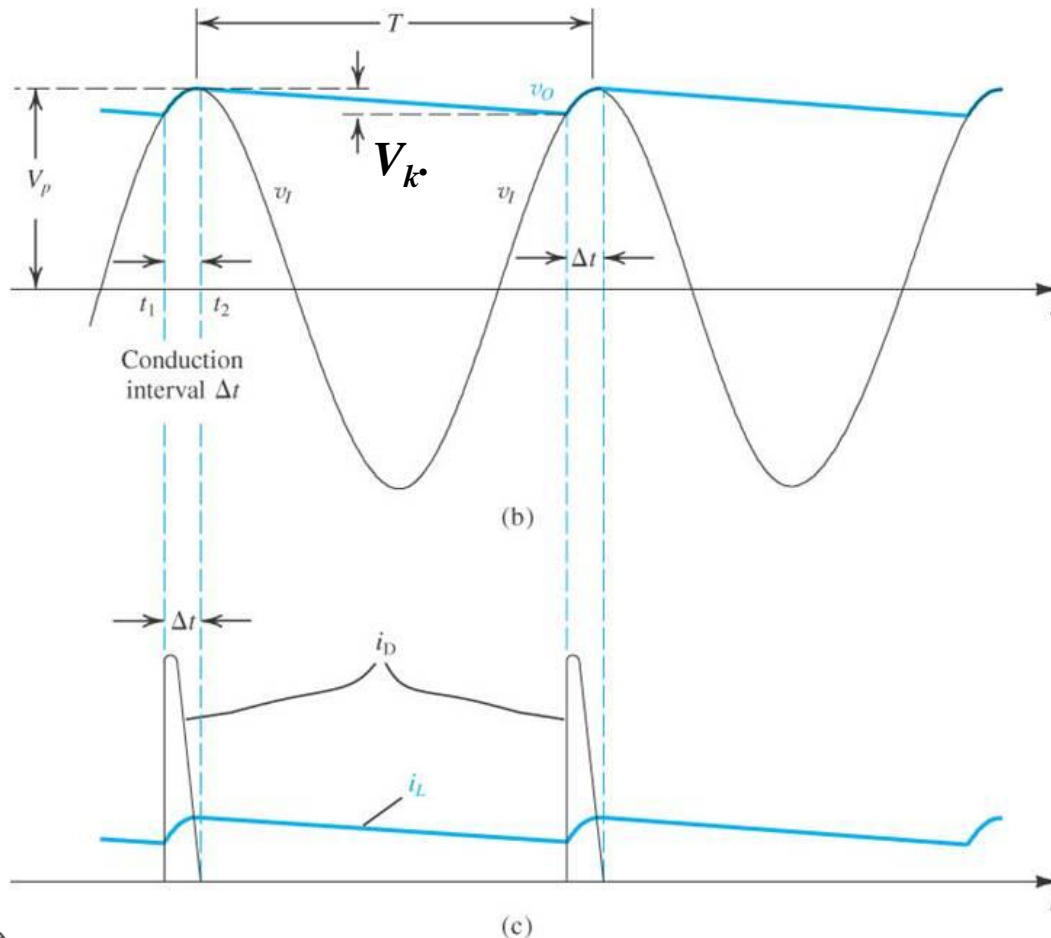
Peak to peak τάσης κυμάτωσης:

$$V_K \approx V_p \frac{T}{RC} = \frac{I_{DC}}{f \cdot C}$$



# 3<sup>ο</sup> εργαστήριο – Απλή Ανόρθωση με φίλτρο

Στην περίπτωση που συνδεθεί ο πυκνωτής  $C$  παράλληλα στο φορτίο  $R_L$ , η τάση στα άκρα της  $R_L$  εξομαλύνεται.



$V_K$ : Peak to peak τάσης κυμάτωσης

$$V_K \approx V_p \frac{T}{RC} = \frac{I_{DC}}{f \cdot C}$$

Υπολογισμός χρονικού διαστήματος  $\Delta t$  κατά το οποίο άγει η δίοδος:

$$V_p \cos(\omega \Delta t) = V_p - V_K$$

$$\text{Αν } (\omega \cdot \Delta t) \ll 1 \Rightarrow$$

$$\cos(\omega \Delta t) \approx 1 - \frac{1}{2} (\omega \Delta t)^2$$

$$\omega \cdot \Delta t \approx \sqrt{2V_K / V_p}$$



## 3<sup>ο</sup> εργαστήριο – Απλή Ανόρθωση με φίλτρο

Θεωρήστε ανορθωτή με φίλτρο πυκνωτή και είσοδο ημιτονοειδές σήμα συχνότητας  $f=60\text{Hz}$  και κορυφή  $V_p=100\text{V}$ . Αν το φορτίο  $R=10\text{K}\Omega$ , βρείτε την τιμή της χωρητικότητας που δημιουργεί κυματισμό  $V_K=2\text{V}$ . Υπολογίστε το ποσοστό της περιόδου κατά το οποίο η διόδος άγει.

Η τιμή Peak to peak της τάσης κυμάτωσης δίνεται από τη σχέση:

$$V_K = V_p \frac{T}{RC} \quad \Rightarrow C = \frac{T \cdot V_p}{R \cdot V_K}$$

$$C = \frac{V_p}{f \cdot R \cdot V_K} = 83,3\mu\text{F}$$

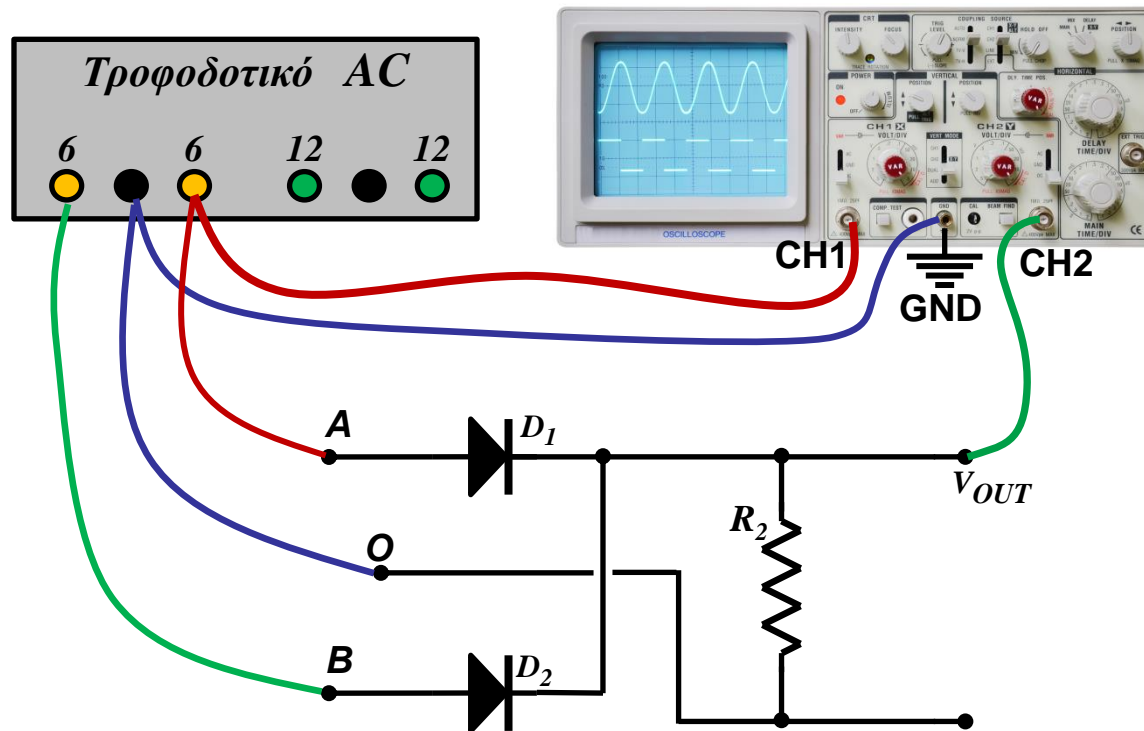
Η γωνία αγωγής δίνεται από τη σχέση  $\Delta\varphi = \omega \cdot \Delta t$ :

$$\omega \cdot \Delta t \approx \sqrt{2V_K / V_p} = 0,2\text{rad}$$

$$\text{Ποσοστό} = 100 \times (0,2 / 2\pi) = 3,18\%$$



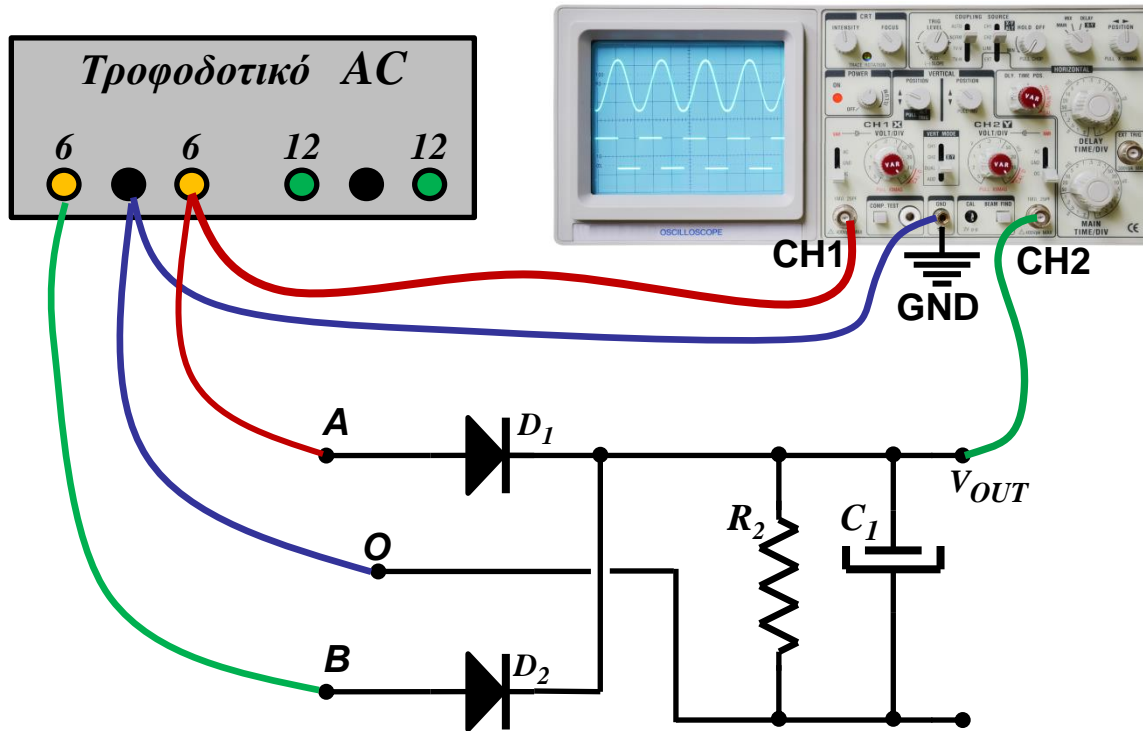
# 4<sup>ο</sup> εργαστήριο – Διπλή ή Πλήρης Ανόρθωση



Αν μετρήσουμε την συνεχή τάση στα άκρα της  $R_2$  (χωρίς φίλτρο) με τη βοήθεια ενός πολύμετρου ρυθμισμένου στο VDC, η τιμή σύμφωνα με τη θεωρία θα δίνεται από τη σχέση:

$$V_{DC} = \frac{2 \cdot V_0}{\pi}$$

# 4<sup>ο</sup> εργαστήριο – Διπλή ή Πλήρης Ανόρθωση

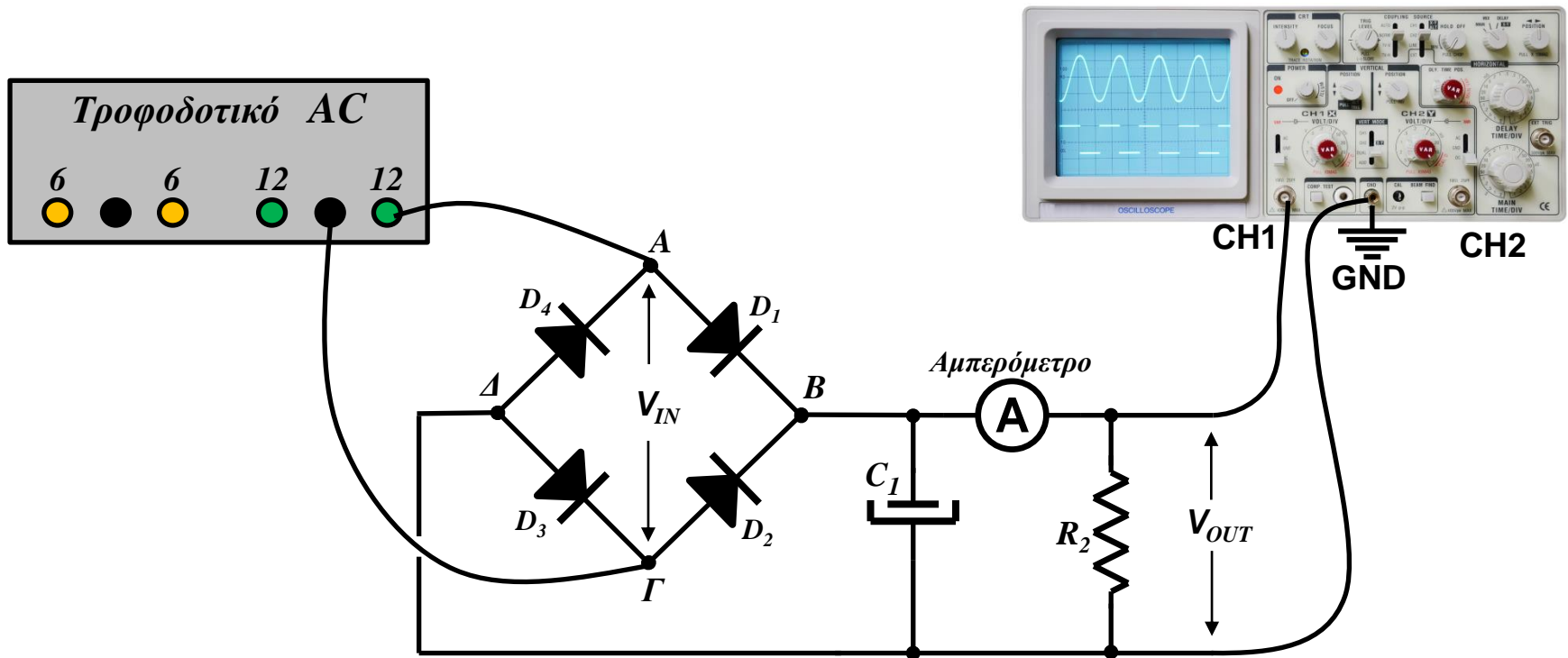


Αν μετρήσουμε την συνεχή τάση στα άκρα της  $R_2$  (με φίλτρο) με τη βοήθεια ενός πολύμετρου, η τιμή σύμφωνα με τη θεωρία θα δίνεται από τη σχέση:

$$V_O = V_p - \frac{1}{2} V_K$$

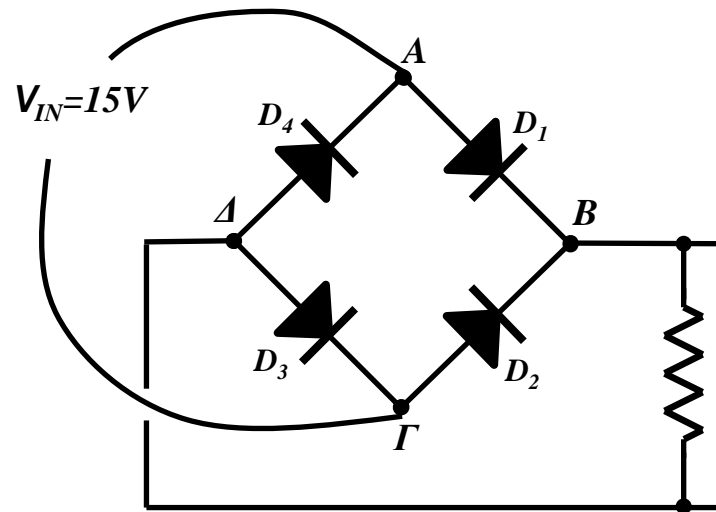
$$V_K = \frac{V_p}{2f \cdot R \cdot C}$$

# 5<sup>ο</sup> εργαστήριο – Διπλή Ανόρθωση με γέφυρα

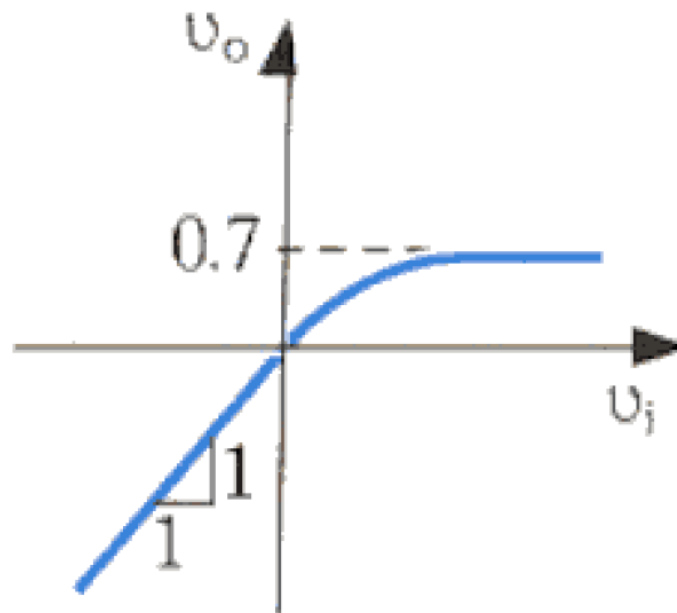
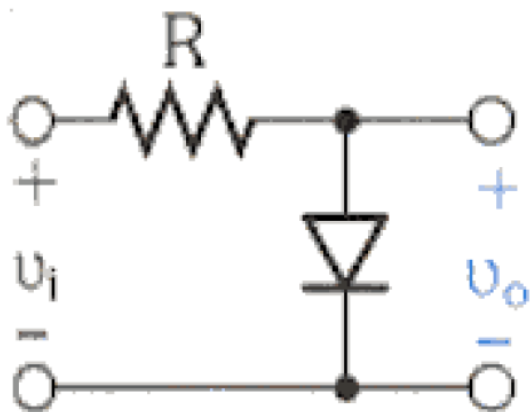




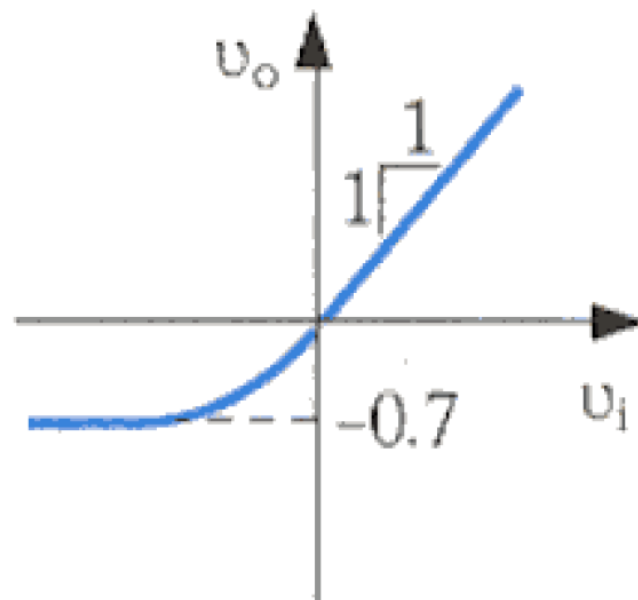
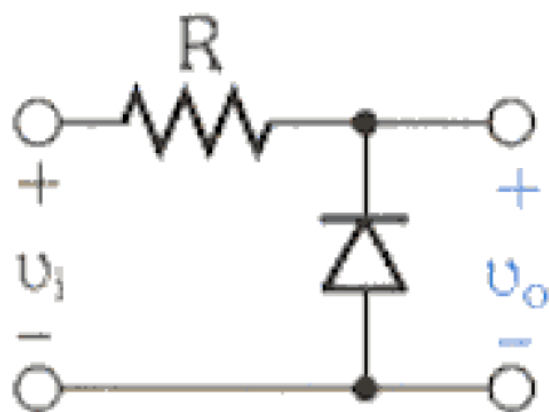
# 5<sup>ο</sup> εργαστήριο – Διπλή Ανόρθωση με γέφυρα



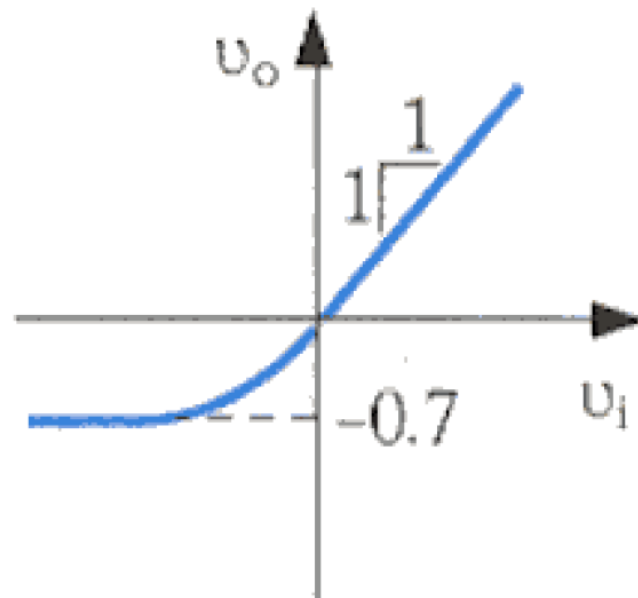
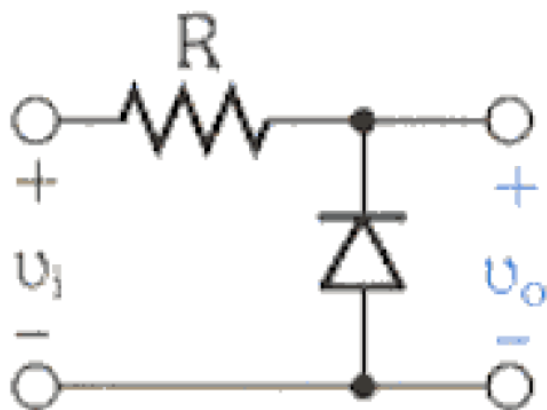
# 5<sup>ο</sup> εργαστήριο – Κυκλώματα ψαλιδισμού



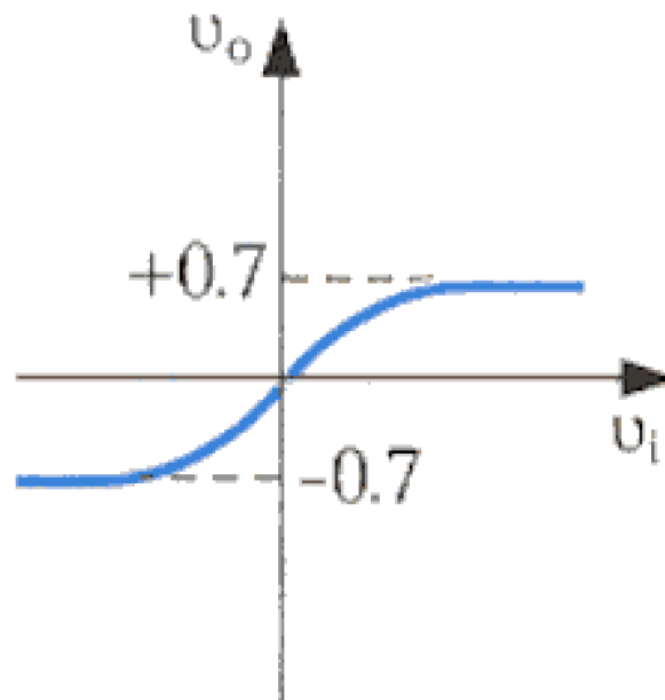
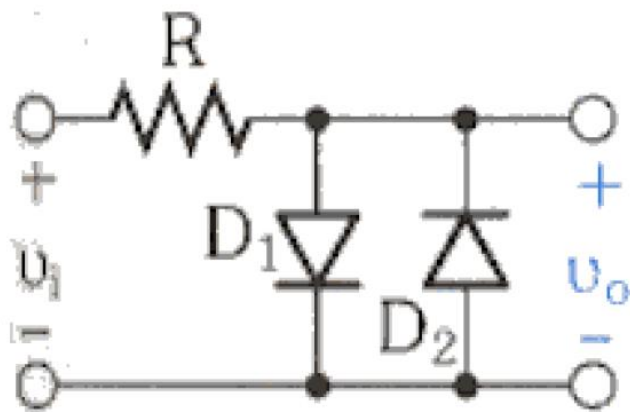
# 5<sup>ο</sup> εργαστήριο – Κυκλώματα ψαλιδισμού



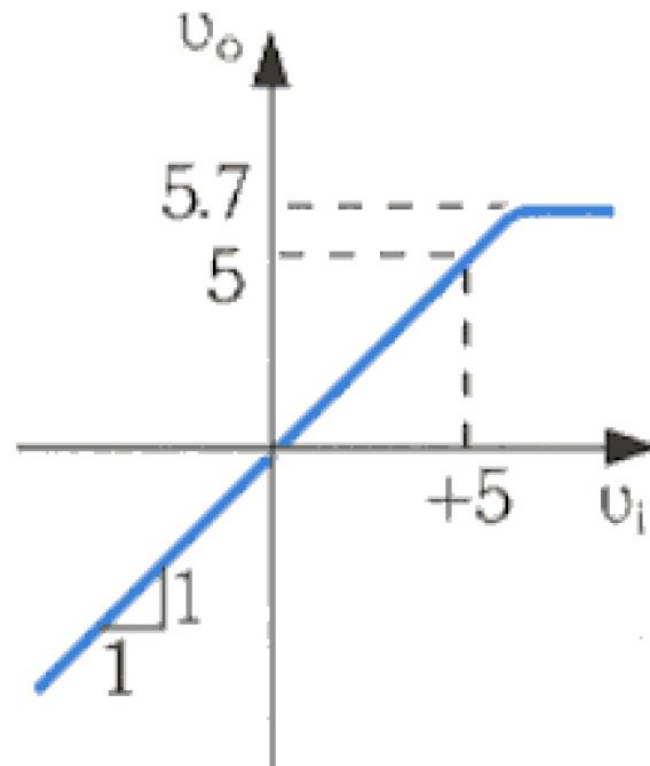
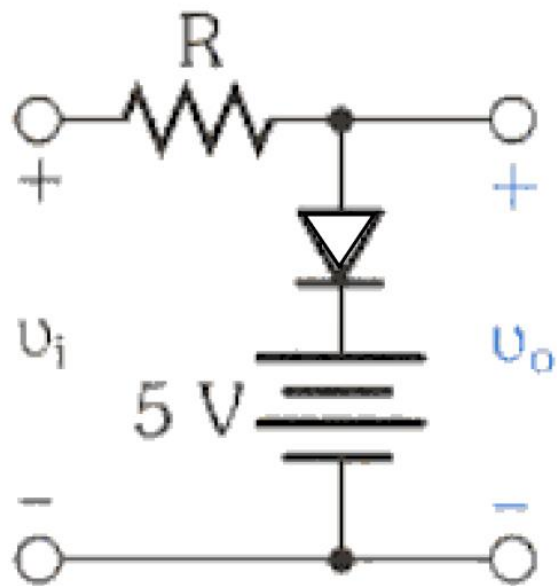
# 5<sup>ο</sup> εργαστήριο – Κυκλώματα ψαλιδισμού



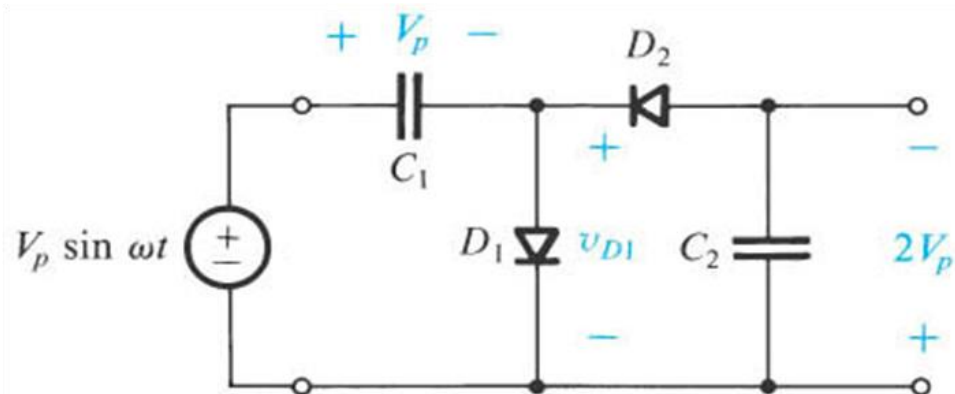
# 5<sup>ο</sup> εργαστήριο – Κυκλώματα ψαλιδισμού



# 5<sup>ο</sup> εργαστήριο – Κυκλώματα ψαλιδισμού



# 5<sup>ο</sup> εργαστήριο – Διπλασιασμός τάσης



**Τέλος Ρ.Ρ.**

