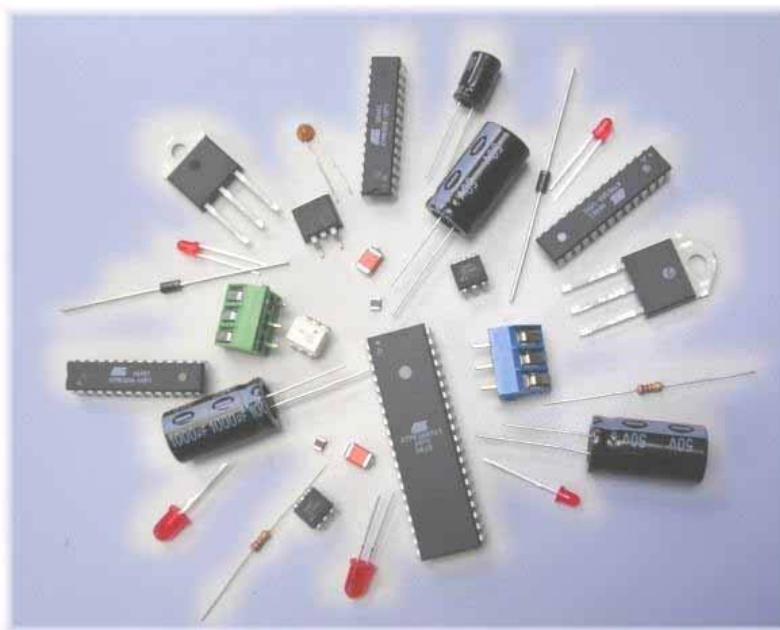


**ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ &  
ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ**

**ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ  
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ  
(ΘΕΩΡΙΑ)**



**Α. ΒΛΗΣΙΔΗΣ  
Γ. ΒΑΣΙΛΑΚΗΣ  
Μ. ΔΡΑΜΟΥΝΤΑΝΗΣ**

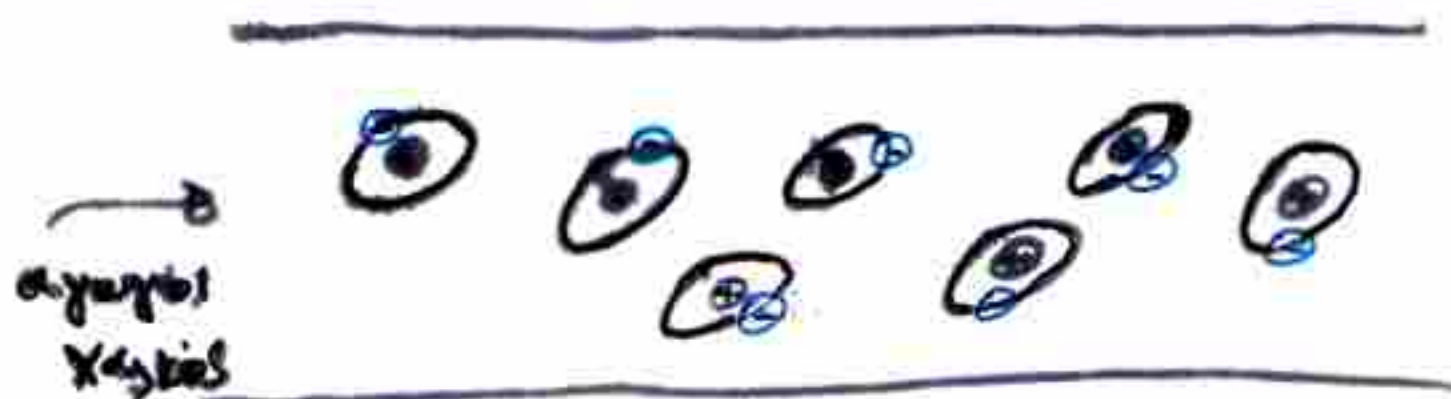
**ΜΑΙΟΣ 2010**

HMAR 2501

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3.1 Αγωγοί και μονωτές

- Οι αγωγοί αποτελούν τις βασικές διαδρομές για τα ηλεκτρονικά κυκλώματα.
- Ο χαλκός έχει ένα ηλεκτρόνιο σθένους. Το παρακάτω σχήμα δείχνει την δομή ενός αγωγού με χαλκό



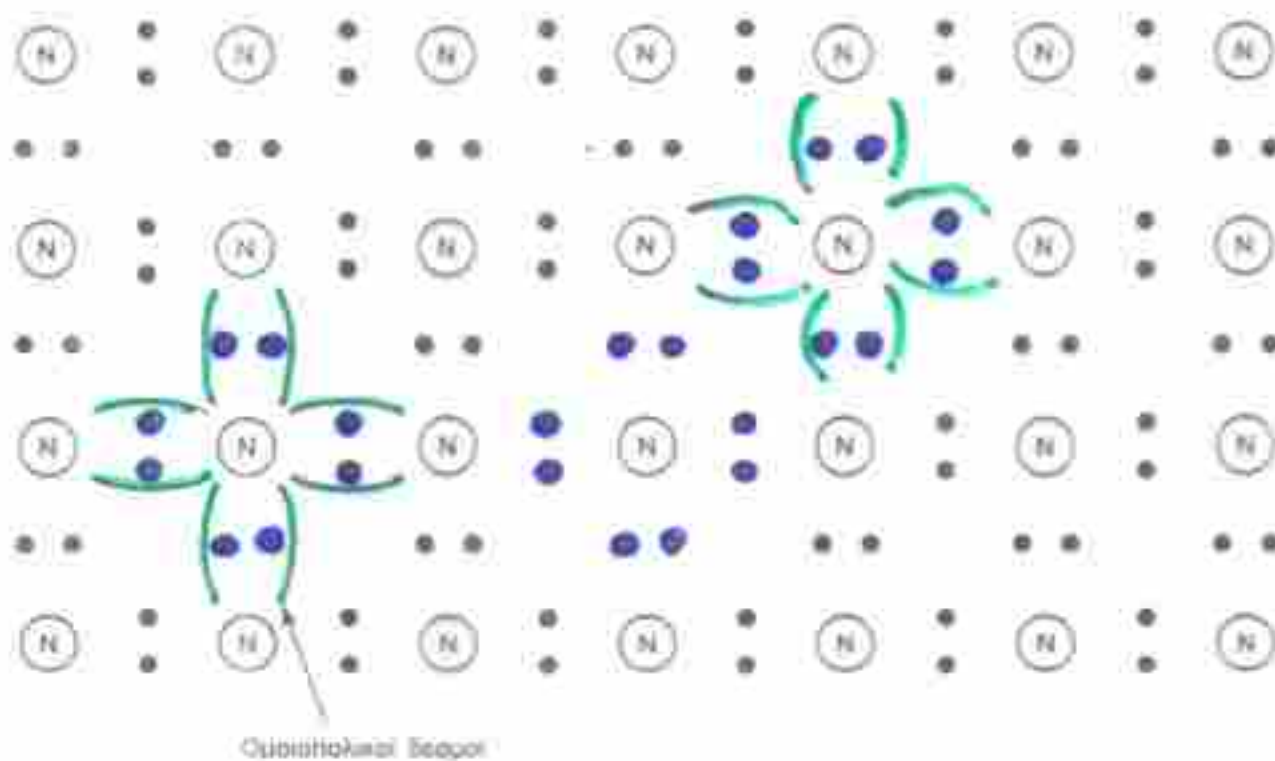
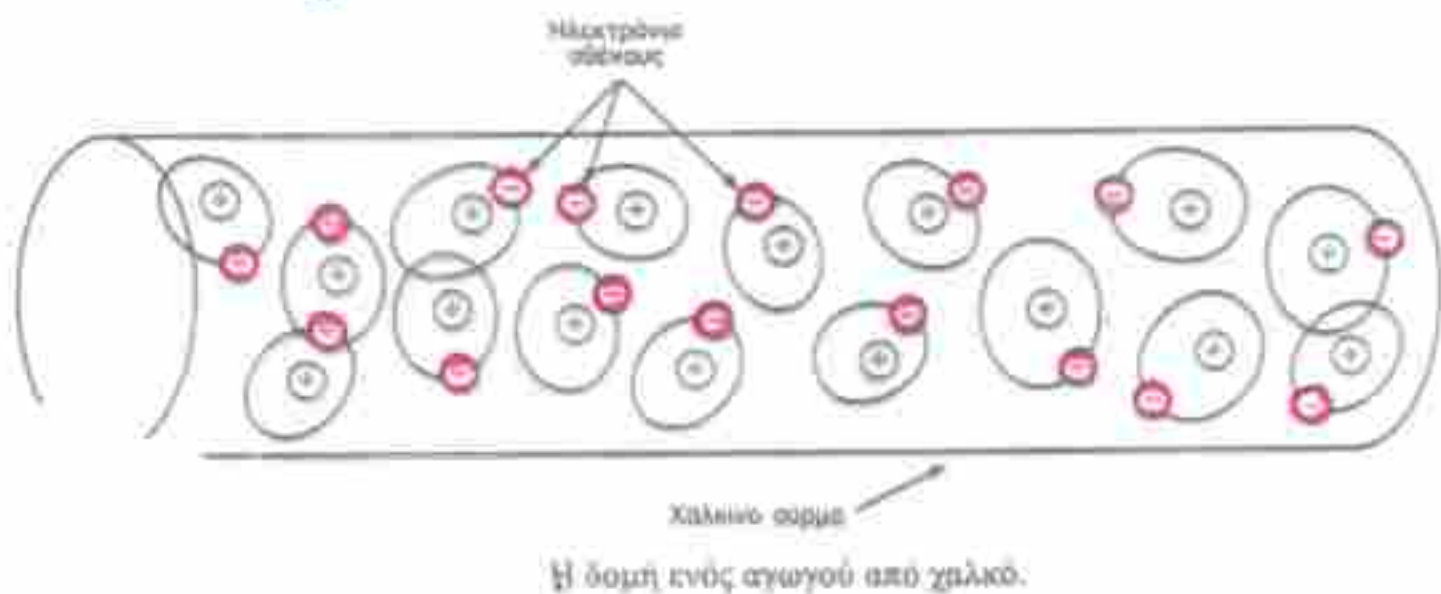
- Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια <sup>τα</sup>μεκινούμενα με την επίδραση κάποιου δυναμικού ή με την θερμοκρασία, παράγουν ρεύμα. Αυξανόμενη της θερμοκρασίας ελαττώνεται το ρεύμα διότι η αντίσταση αυξάνεται (θετικός θερμοκρασιακός συντελεστής)
- Σε ένα μονωτή τα ηλεκτρόνια σθένους είναι πολύ ισχυρά δεσμευμένα με τα άτομα τους. Με την εφαρμογή μιας τάσης σχεδόν δεν διαρρέοντα από ρεύμα.

## Ημιαγωγοί

- Το πυρίτιο είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο αγώγιμο υλικό στην σύγχρονη τεχνολογία των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.
- Έχει 14 ηλεκτρόνια , οπότε στην εξωτερική στοιβάδα σθένους έχει 4 ηλεκτρόνια.
- Με θέρμανση του κρυστάλλου «σπάνε» οι δεσμοί που συγκρατούν τα ηλεκτρόνια, με αποτέλεσμα να σχηματισθούν ελεύθερα θερμικά ηλεκτρόνια.
- Με το «σπάσιμο» ενός δεσμού και την απελευθέρωση ενός ηλεκτρονίου , σχηματίζεται και μια «οπή» θετικά φορτισμένη , που μπορεί να την καταλάβει κάποιο άλλο ηλεκτρόνιο (θερμικός ιονισμός). Το φορτίο της οπής είναι απόλυτα ίσο με το φορτίο του ηλεκτρονίου
- Ο αριθμός των οπών είναι ίσος με τον αριθμό των ελευθέρων ηλεκτρονίων (ίσες συγκεντρώσεις)
- **Επανασύνδεση** :κάποια από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια καταλαμβάνουν οπές .
- Στην θερμική ισορροπία ο ρυθμός επανασύνδεσης είναι ίσος με τον ρυθμό ιονισμού , και η συγκέντρωση :
- των ελευθέρων ηλεκτρονίων είναι ίσης με την συγκέντρωση των οπών :  $n = p = n_i$   
( όπου  $n_i$  η συγκέντρωση οπών ή ηλεκτρονίων σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία)
- Το πυρίτιο έχει αρνητικό θερμικό συντελεστή



3



Κάθε άτομο  
Si έχει  
4 ηλεκτρόνια  
για σθένος

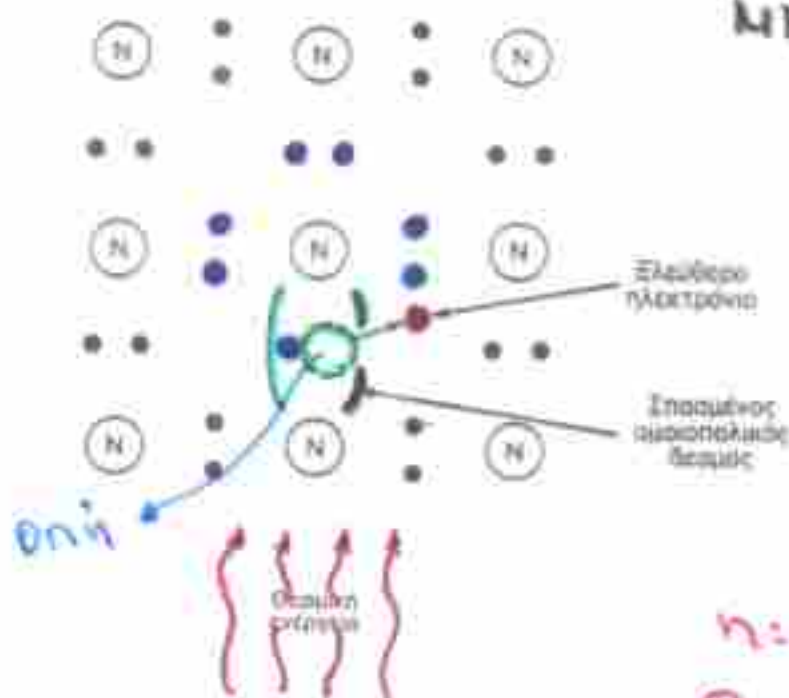
Ένας κρυστάλλος αμμόνιου (καθαρό) πυριτίου.

## ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΚΙΝΗΣΗΣ ΦΟΡΕΩΝ

1) ΔΙΑΧΥΣΗ ΦΟΡΕΩΝ  
ΘΕΡΜΟΤ ΙΟΝΙΣΜΟΣ  
Στην θερμική ισορροπία:

$$n = p = n_i$$

$n$ : συγκέντρωση ελεύθ. ηλα  
 $p$ : — " — ορίων



2) ΔΙΟΛΙΣΘΗΣΗ ΦΟΡΕΩΝ  
- Ροή

Δημιουργία θερμικών φορέων:

### Μηχανισμοί κίνησης οπών και ηλεκτρονίων σε κρύσταλλο

- **Διάχυση** : σχετίζεται με την τυχαία κίνηση ηλεκτρονίων και οπών μέσα στον κρύσταλλο , εξαιτίας θερμικής διέγερσης. Η τυχαία αυτή κίνηση έχει σαν αποτέλεσμα τη ροή φορτίο – ρεύματος.

Ρεύμα διάχυσης

- **Ολίσθηση** : λαμβάνει χώρα όταν ένα ηλεκτρικό πεδίο εφαρμόζεται κατά πλάτος κομματιού πυριτίου

➤ Ρεύμα ολίσθησης

### Νόθευση Ημιαγωγών

Στους νοθευμένους ημιαγωγούς επικρατούν φορείς ενός τύπου (ηλεκτρόνια ή οπές) , που πραγματοποιείται με προσμίξεις ξένων ατόμων.

- **Ημιαγωγοί τύπου N**

Η πλειονότητα των φορέων είναι ηλεκτρόνια . Πρόσμιξη πενταθενούς στοιχείου (As , Ph) , που ονομάζεται «Δότης»

- **Ημιαγωγοί τύπου P**

Η πλειονότητα των φορέων είναι οπές . Πρόσμιξη τρισθενούς στοιχείου (Βόριο) , που ονομάζεται «Αποδέκτης»

### 3.3 Νόθευση ημιαγωγών

- Στην θέση θερμικής ισορροπίας η συγκέντρωση των ηλεκτρονίων είναι ίση με την συγκέντρωση των οπών που γεννιούνται με θερμικό ιονισμό

$$n = p = n_i$$

Η συγκέντρωση αυτή έχει ισχυρή εξάρτηση από την θερμοκρασία.

- Προσθήκη πεντασθενούς στοιχείου , όπως As, έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία ημιαγωγού τύπου **n**. Το As λέγεται **δότης**.

$$n_{n0} \approx N_D$$

$n_{n0}$ : συγκέντρωση ελεύθερων ηλεκτρονίων σε ημιαγωγό τύπου n

$N_D$ : συγκέντρωση ατόμων δοτών

- Προσθήκη τρισθενούς στοιχείου , όπως Βόριο, έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία ημιαγωγού τύπου **p**. Το βόρια λέγεται **δέκτης**.

$$p_{p0} \approx N_A$$

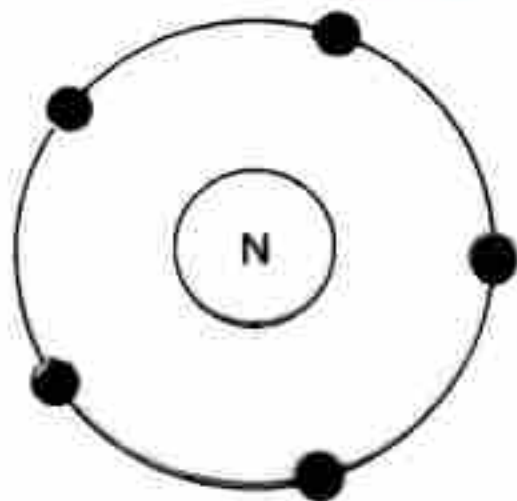
$p_{p0}$ : συγκέντρωση οπών σε ημιαγωγό τύπου p

$N_A$ : συγκέντρωση ατόμων αποδεκτών

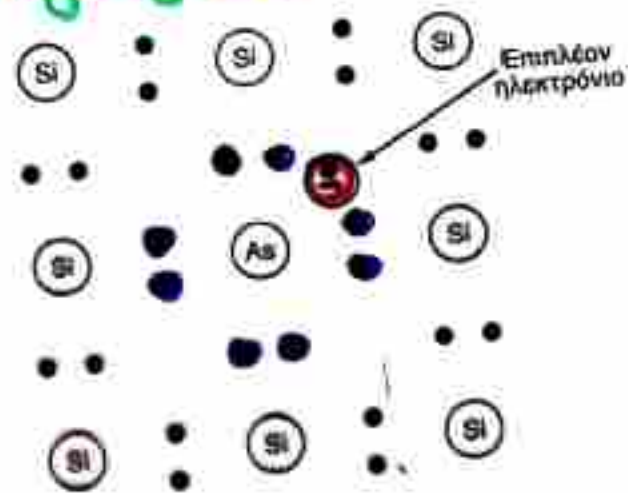


6

# Νοθεωση ημιαγωγών



Δότης



Παρίτιο τύπου N

Ένα άτομο αρσενικού σε απλοποιημένη

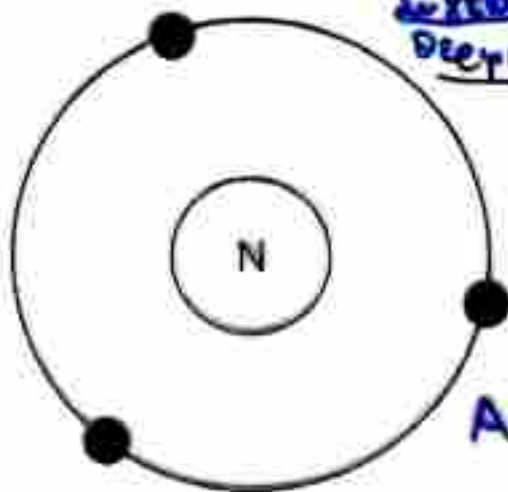
Συγκοινωνία  $E_{\text{μολ}}$  ηλεκτρονίων

$$n_{no} \approx N_D$$

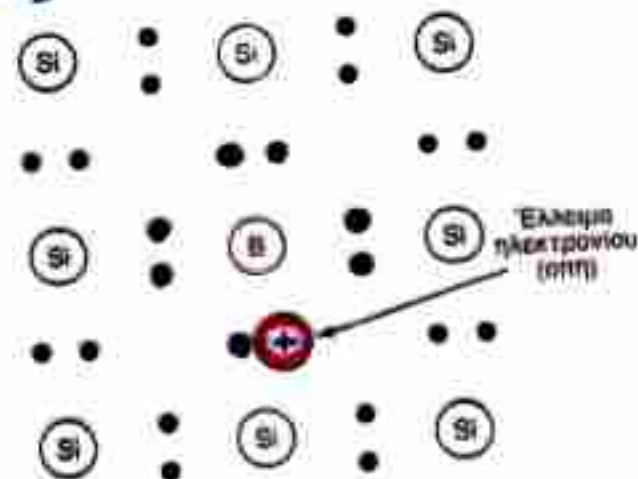
$n_{no}$ : συγκέντρωση  $e^-$   
 $N_D$ : — " — Δοτάς

Συγκοινωνία θετικών σπών

$$p_{no} \approx \frac{n_i^2}{N_D}$$



Αποδέκτης



2-10 Παρίτιο τύπου P.

Ένα απλοποιημένο μοντέλο ατόμου βορίου.

Συγκ.  $E_{\text{μολ}}$  σπών

$$p_{po} \approx N_A$$

Συγκ.  $E_{\text{μολ}}$  Ηλεκτ.

$$n_{po} \approx \frac{n_i^2}{N_A}$$

Ο δείκτης  $\rho$  αναφέρεται σε θερμοκρασία και υγρασία. Το  $n_i$  εξαρτάται από την θερμοκρασία

Φορείς ημιογνητικής:

$e^-$

Φορείς γιογνητικής

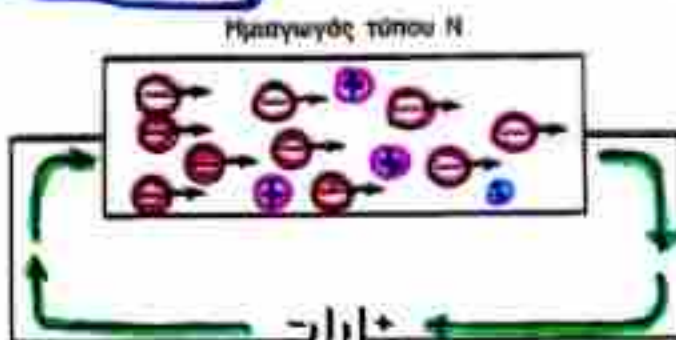
σπες  $\oplus \oplus$

Φορείς ημιογνητικής

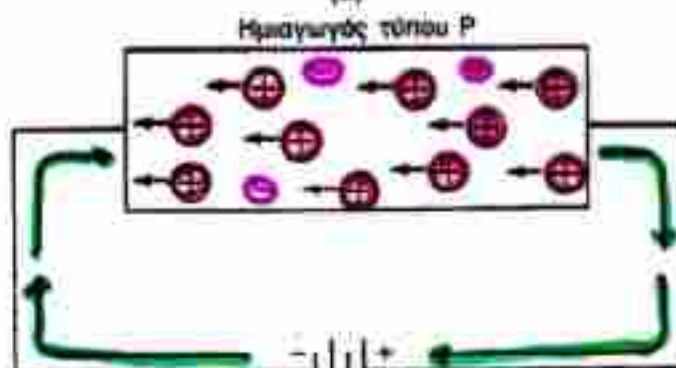
σπες  $\oplus$

Φορείς γιογνητικής

$e^-$



(a)



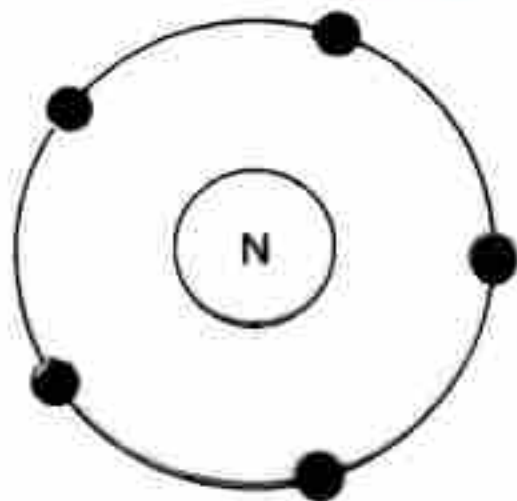
(b)

Σχ. 2-11 Η μηχανισμοί αγωγιμότητας σε παρίτιο τύπου N και τύπου P.

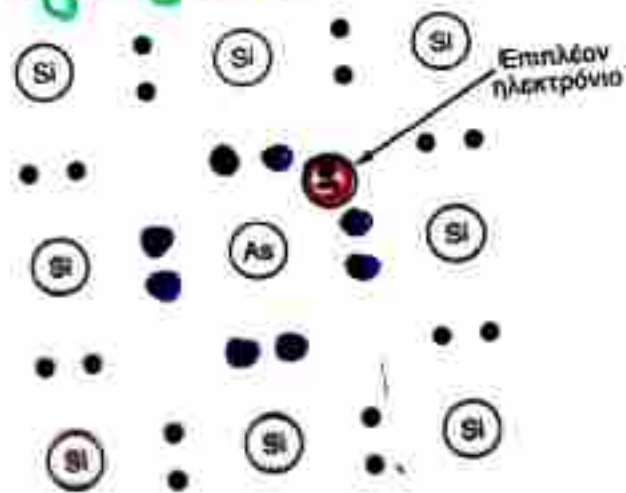


6

# Νοθεωση ημιαγωγών



Δότης



Παρίτιο τύπου N

Ένα άτομο αρσενικού σε απλοποιημένη

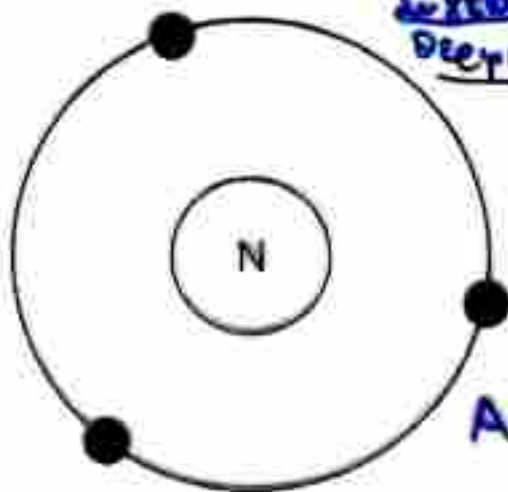
Συγκέντρωση  $E_{\text{μδ}}$  ηλεκτρονίων

$$n_{po} \approx N_D$$

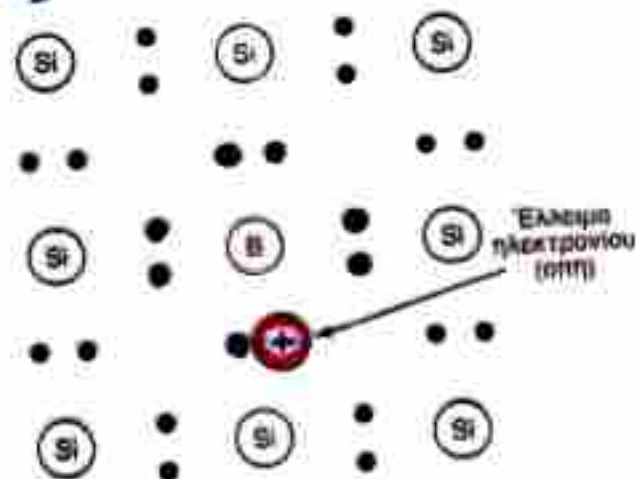
$n_{po}$ : συγκέντρωση  $e^-$   
 $N_D$ : — " — Δοτάρ

Συγκέντρωση θετικών ορίων

$$p_{po} \approx \frac{n_i^2}{N_D}$$



Αποδέκτης



2-10 Παρίτιο τύπου P.

Ένα απλοποιημένο μοντέλο ατόμου βορίου.

Συγκ.  $E_{\text{μδ}}$  ορίων

$$p_{po} \approx N_A$$

Συγκ.  $E_{\text{μδ}}$  Ηλεκτ.

$$n_{po} \approx \frac{n_i^2}{N_A}$$

Ο δείκτης  $\rho$  αναφέρεται σε θετική και υπορεσολα. Το  $n_i$  εξαρτάται από την θερμοκρασία

Φορείς ημιόδησης:

$e^-$

Φορείς γειογενής

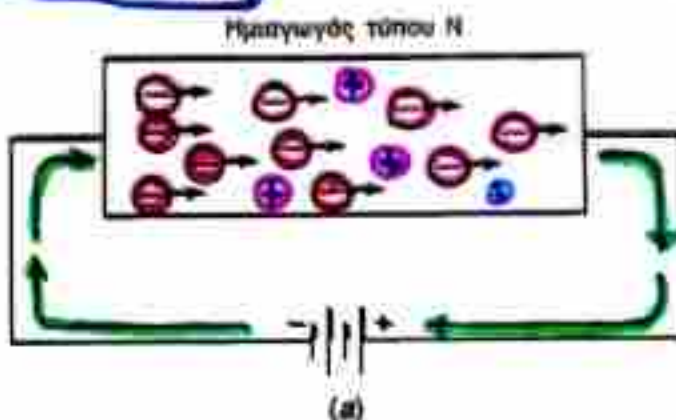
ορές  $\oplus \oplus$

Φορείς ημιόδησης

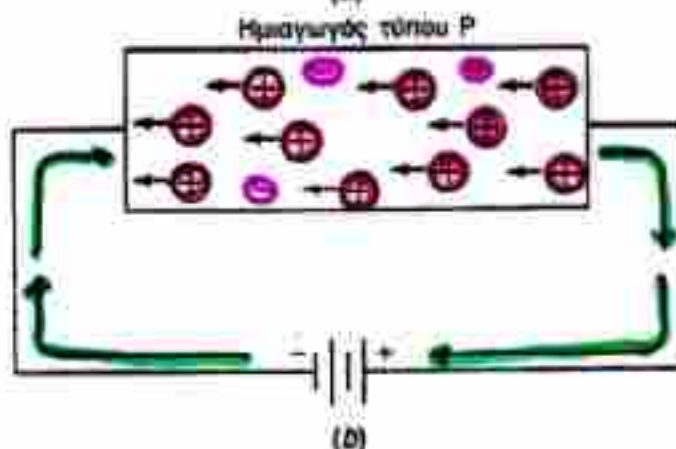
ορές  $\oplus$

Φορείς γειογενής

$e^-$



(a)



(b)

Σχ. 2-11 Η μηχανισμοί αγωγιμότητας σε παρίτιο τύπου N και τύπου P.

- Στον ημιαγωγό τύπου  $n$  οι φορείς πλειοψηφίας είναι τα ηλεκτρόνια , ενώ οι οπές είναι φορείς μειονότητας.
- Στον ημιαγωγό τύπου  $p$  φορείς πλειοψηφίας είναι οι οπές , τα ηλεκτρόνια είναι φορείς μειοψηφίας.

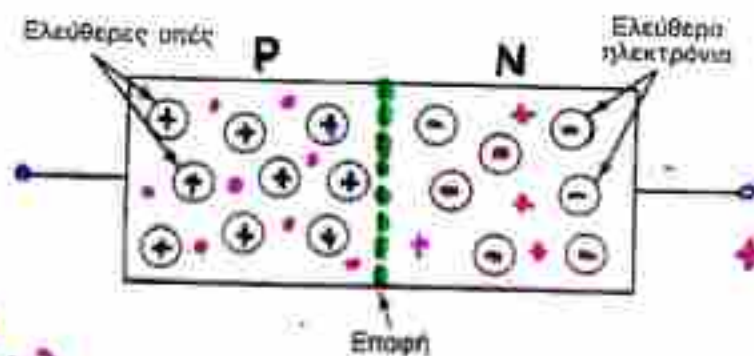
Η ένωση  $pn$  σε συνθήκες ανοικτού κυκλώματος

Στα σχήματα παρακάτω φαίνεται παραστατικά τι συμβαίνει όταν φέρουμε σε επαφή δυο ημιαγωγούς τύπου  $p$  και  $n$  .

- Το “+” σημαίνει τις οπές που είναι φορείς πλειονότητες σε ημιαγωγό τύπου  $p$
- Το “-” σημαίνει τα ηλεκτρόνια που είναι φορείς πλειονότητες σε ημιαγωγό τύπου  $n$
- Στα σχήματα αυτά φαίνονται οι φορείς μειοψηφίας , που είναι ηλεκτρόνια στον ημιαγωγό τύπου  $p$  και οπές στον ημιαγωγό τύπου  $n$  , που οφείλονται στον θερμικό ιονισμό.



# 8) Η Ένωση Pn σε συνθήκες ανοικτού κυκλώματος



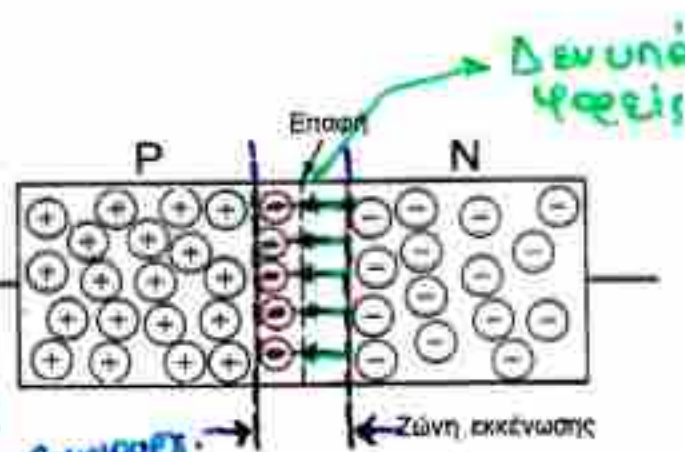
• ηλεκτρονία  
πλειονότητας  
(θερ. ιονισμός)

+ οπές μειονότητας  
(θερ. ιονισμός)

Η δομή μιας διόδου επαφής.

η επαφή της διόδου είναι εκείνο το μέρος του κρυστάλλου, όπου τελειώνει ο κρυστάλλος τύπου P και αρχίζει ο κρυστάλλος τύπου N.

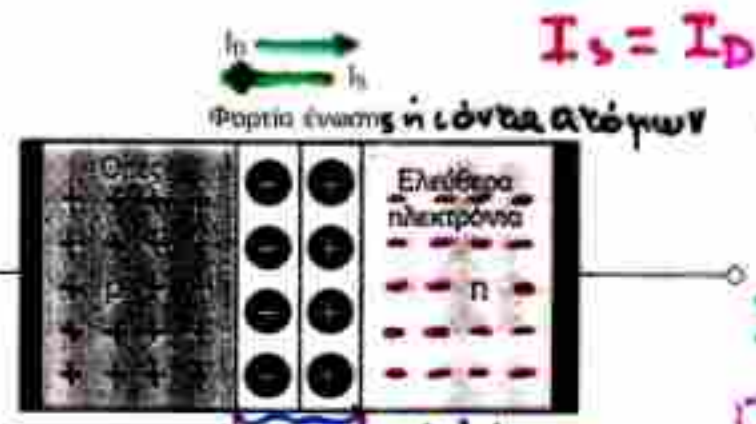
Μερίδιά από τα ελεύθερα ηλεκτρονία κινούνται κατά ηθώς της επαφής και γεμίζουν οπές... τότε ένα ηλεκτρικό δυναμικό που δημιουργείται εμποδίζει την κίνηση ηλεκτρονίων



Δεν υπάρχουν ελεύθερα φορείς

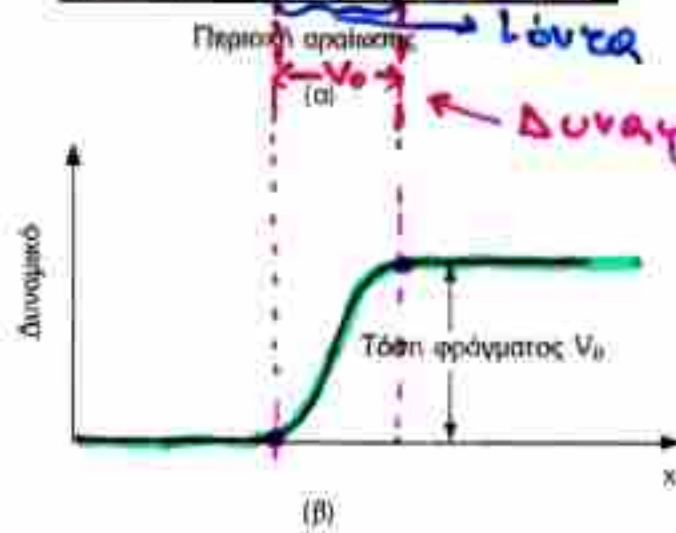
Σχ. 3-2 Η ζώνη εκκένωσης της διόδου, η ζώνη κενή φορέων

Αν μπορούσαμε να χάσουμε ένα ηλεκτρόνιο δημιουργείται διαταραχή, και παρέχεται θετικό ιόν.



$$I_s = I_D$$

$I_D$  είναι διαρροή  
 $I_D \sim \frac{1}{V_0}$   
 $I_s$  οφείλεται σε φορείς μειονότητας



Δυναμικό φραγμού

(α) Η ένωση pn σε συνθήκες ανοικτού κυκλώματος. (β) Η κατανομή του δυναμικού κατά μήκος του άξονα των x.



## Ρεύμα διάχυσης $I_D$

Είναι το ρεύμα που οφείλεται στις σπές που διαχέονται από την περιοχή του ημιαγωγού τύπου p στην περιοχή n και <sup>αντιστροφή</sup> από την περιοχή ημιαγωγού τύπου n στην περιοχή τύπου p. Έχει φορά  $p \rightarrow n$

## Περιοχή απογύμνωσης

- Είναι η περιοχή που σχηματίζεται εκατέρωθεν της επαφής και απαρτίζεται από ιόντα που δημιουργούνται από τις μετακινήσεις σπών και ηλεκτρονίων, που προέρχονται από τις περιοχές μεγάλων συγκεντρώσεων.
- Η περιοχή που βρίσκεται κοντά στον ημιαγωγό τύπου p είναι αρνητικά φορτισμένη, ενώ εκείνη κοντά στον n είναι θετικά φορτισμένη.
- Η ύπαρξη φορτίου και στις δυο πλευρές δημιουργεί ένα ηλεκτρικό πεδίο που δεν επιτρέπει την παραπέρα μετακίνηση φορέων, και επιδρά αρνητικά στο ρεύμα  $I_D$ .
- Η περιοχή αυτή ονομάζεται και *φράγμα δυναμικού  $V_0$* .  
Για το <sup>Γαλλίο</sup> ~~πρώτο~~ είναι 0.2 V ενώ για το πυρίτιο 0.6 V.

### Ρεύμα ολίσθησης $I_s$

Οφείλεται στην ολίσθηση φορέων μειονότητας μέσα από την επαφή. Είναι άθροισμα δυο συνιστωσών ρεύματος (γιατί-πως επιδρά το πεδίο)

- Η τιμή του εξαρτάται από την θερμοκρασία
- Είναι ανεξάρτητο της τάσης επαφής  $V_0$
- Σε συνθήκη ανοικτού κυκλώματος είναι

$$I_D = I_s$$

ίσου ηγάνους

### 3.4 Πόλωση της διόδου

Πόλωση στα ηλεκτρονικά ονομάζεται η τάση η το ρεύμα που εφαρμόζεται σε ένα εξάρτημα. Η ορθή πόλωση εξασφαλίζει το εξάρτημα να είναι αγωγίμο.

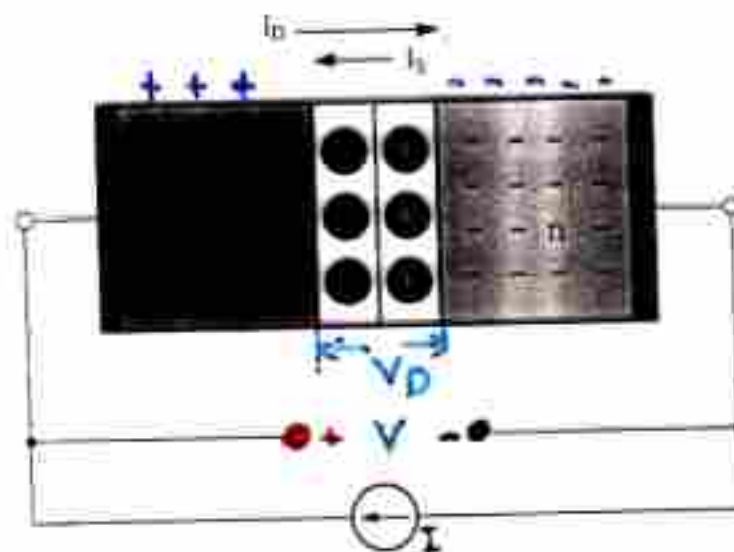
Η πόλωση μιας διόδου μπορεί να είναι ορθή ή ανάστροφη, ανάλογα με την τεχνική πόλωσης.



## Ορθή πόλωση

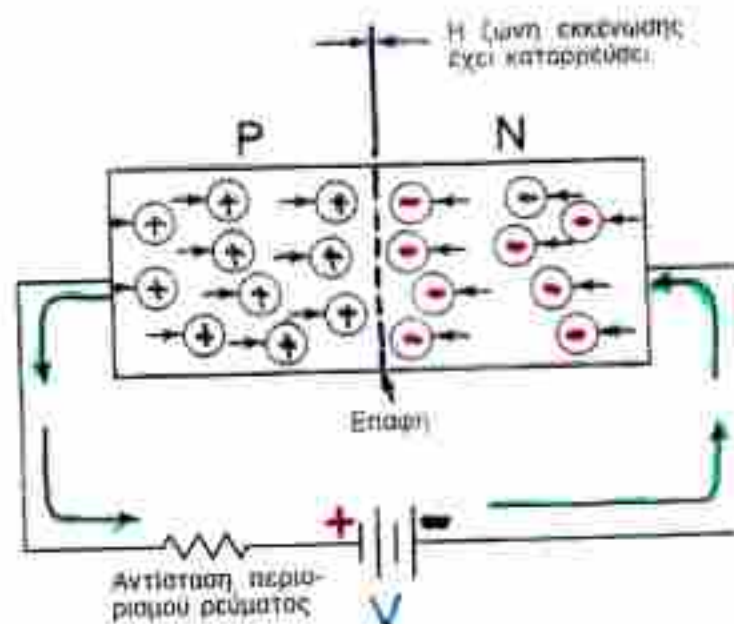
Στα παρακάτω σχήματα φαίνεται η ορθή πόλωση μιας διόδου.

- Η εξωτερική πηγή συμβάλλει στην εξάλειψη της ζώνης επαφής.
- Ο θετικός πόλος της πηγής απωθεί τις οπές στην περιοχή επαφής
- Ο αρνητικός πόλος απωθεί τα ηλεκτρόνια στην περιοχή επαφή
- Η περιοχή επαφής καταρρέει και εξαλείφεται. Η δίοδος έχει γίνει αγώγιμη.



Η ένωση pn διεγείρεται από μια σταθερή πηγή ρεύματος  $I$  κατά την ορθή φορά. Το στρώμα της περιοχής απογύμνωσης στενεύει και η τάση φράγματος μειώνεται κατά  $V$  volts. Η διαφορά τάσης αυτή εμφανίζεται ως εσωτερική τάση κατά την ορθή φορά.

$$V > V_D$$

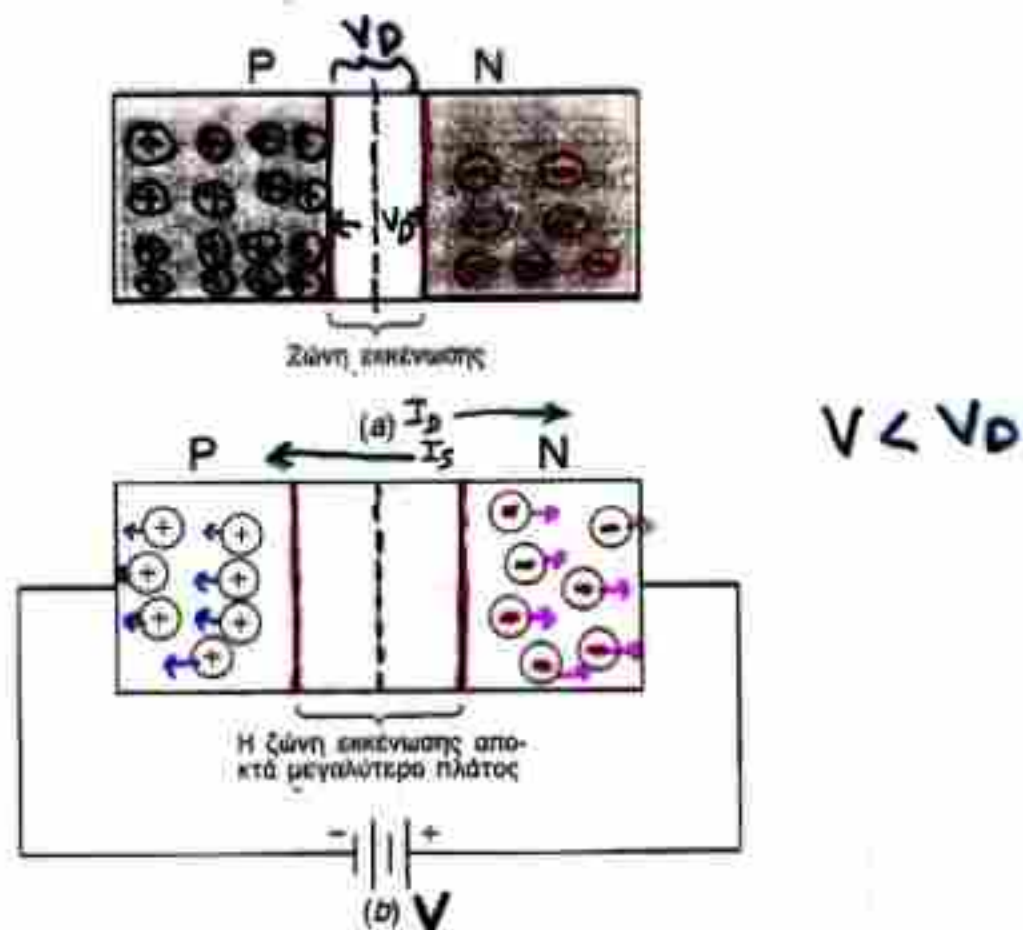




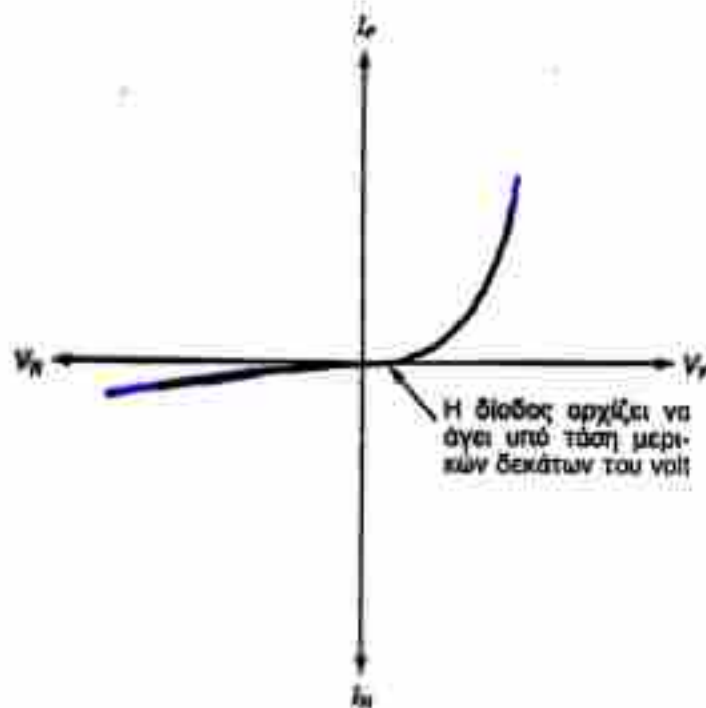
## Ανάστροφη πόλωση

Στα παρακάτω σχήματα φαίνεται η ανάστροφη πόλωση μιας διόδου.

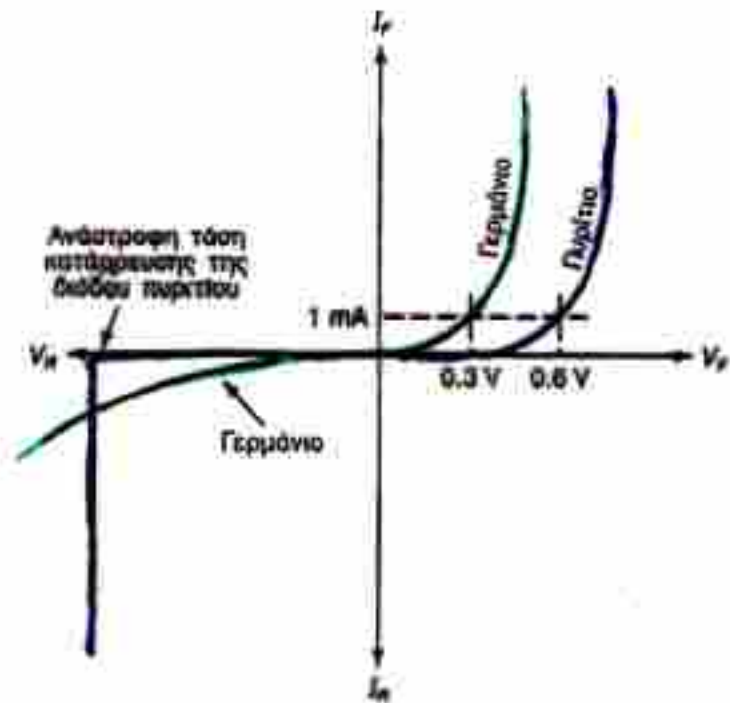
- Ο θετικός πόλος της πηγής έλκει τα ελεύθερα ηλεκτρόνια μακριά από την περιοχή απογύμνωσης
- Ο αρνητικός πόλος της πηγής έλκει όλες τις οπές μακριά από την επαφή
- Η περιοχή απογύμνωσης αυξάνει σε πλάτος
- Ένα πολύ μικρό ρεύμα μειονότητας διαρρέει την δίοδο



\* Το  $I_S$  δεν επηρεάζεται από το  $V_D$   
Το  $I_S$  επηρεάζεται από το  $V_D$

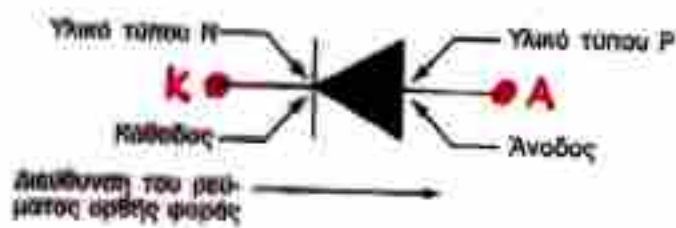


Σχ. 3-9 Μια χαρακτηριστική καμπύλη τάσης - ρεύματος για μια διόδο.

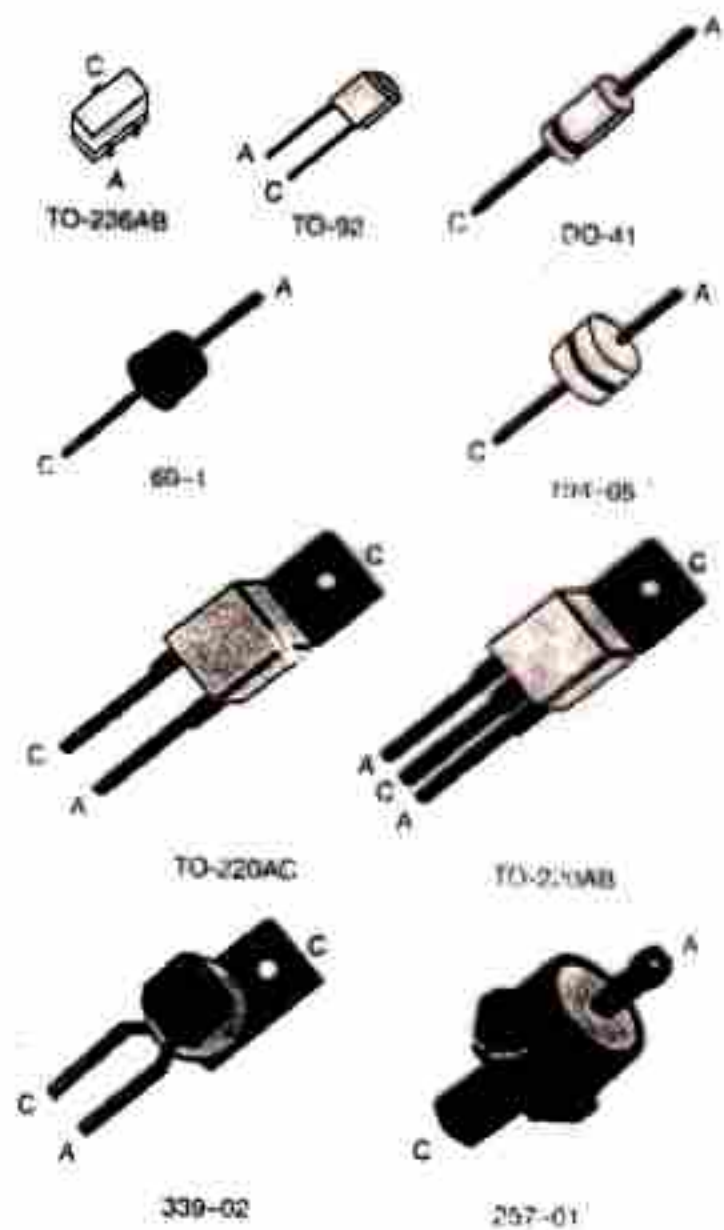


Σχ. 3-10 Σύγκριση χαρακτηριστικών καμπυλών διόδων πυριτίου και γερμανίου.

ΚΑΘΟΔΟΣ  $\leftarrow$   $\rightarrow$  ΑΝΟΔΟΣ  
Σχηματικό σύμβολο



Σχηματικό σύμβολο της διόδου.

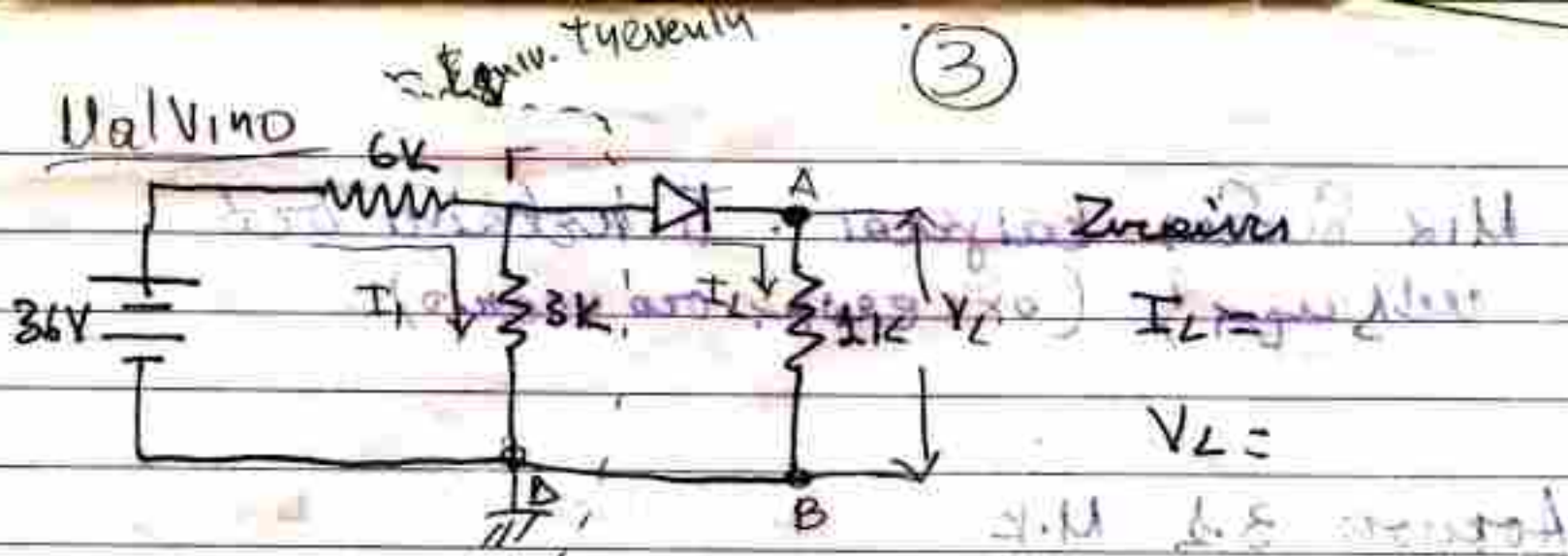


Σχ. 3-13 Διάφορα είδη συσκευασίας διόδων.

• Avocetdon

• Eupetion





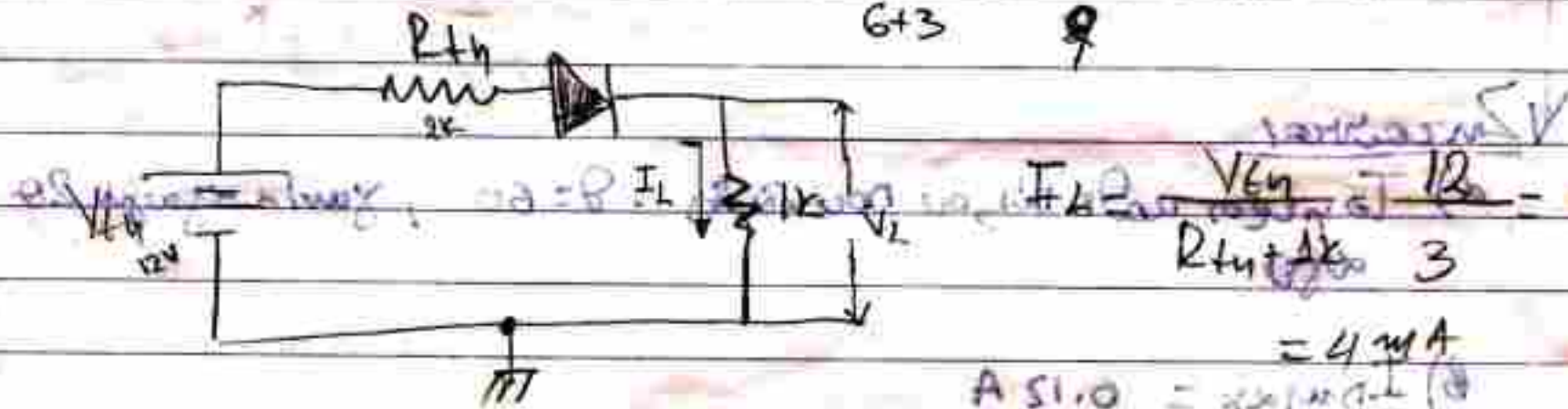
а) Находим эквивалентную Теорему

Взять во внимание диод не работает и диодов  
быть  $V_{\Gamma D}$ .

$$I_1 = \frac{36}{3} = 12 \text{ mA}$$

$$V_{th} = V_{\Gamma D} = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 3 = 12 \text{ V}$$

$$R_{th} = \frac{3 \cdot 6}{6+3} = \frac{18}{9} = 2 \text{ k}$$



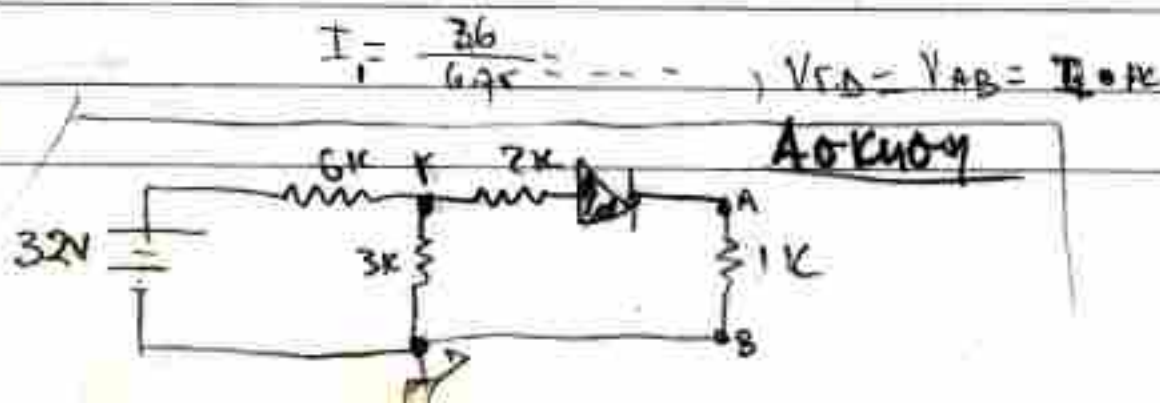
$$V_L = I_L \cdot R_L = 4 \text{ V}$$

$$V_{\Gamma D} = 51 - 47 = (51 \pm) - 47 = : \text{ не работает диод}$$

б) Найти Ohm (идеальный диод)

$$R_{\Gamma D} = \frac{3 \cdot 1}{4} = \frac{3}{4} = 750 \Omega$$

$$R_{\Gamma D} = \frac{3 \cdot 1}{3+1} = \frac{3}{4} = 750 \Omega$$





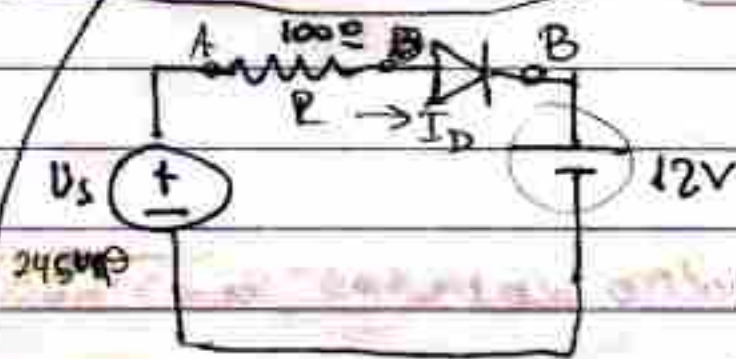
(4)

Μια διόδος καίγεται. Τι συμβαίνει στο κύκλωμα; (οχι πέρα στο γράφημα)



Ασκηση 3.1 Μ.Κ. Φυσικού Ηλεκτρικού

Διόδος 1S41



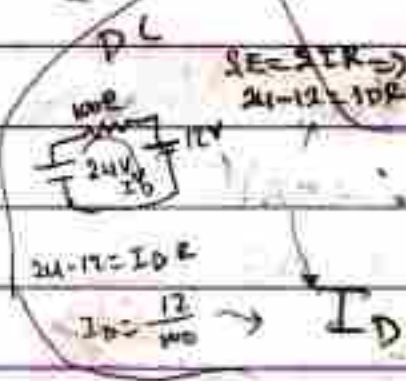
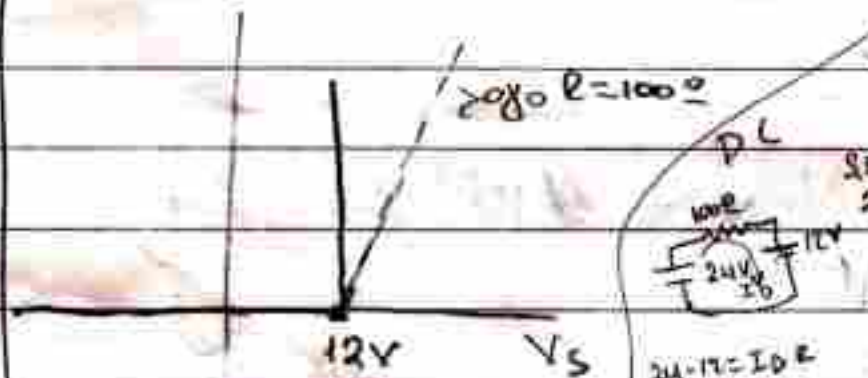
$$V_s = V_0 \sin \theta$$

Η διόδος αγει όταν  $V_s \geq 12V$

Η γωνία αγωγής δίδεται από την σχέση:

$$\Rightarrow 24 \cos \theta \geq 12V \Rightarrow$$

$$\cos \theta = \frac{12}{24} = \frac{1}{2} \Rightarrow \theta = 60^\circ$$



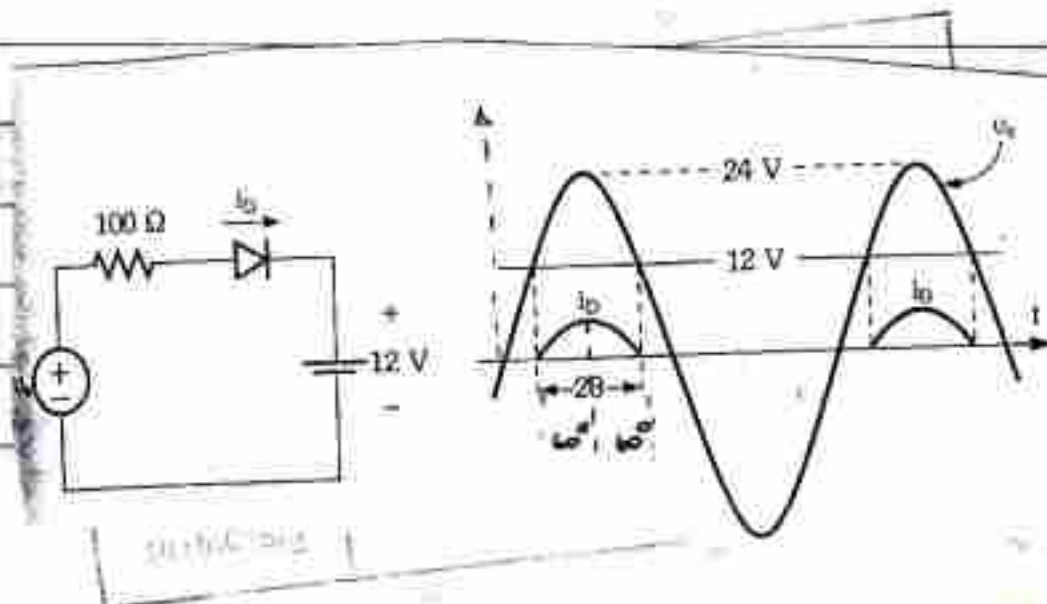
$$I_D = \frac{12}{100} = 0.12 A$$

Ζητείται

α) Το πέρασμα κάθε κύκλου που η διόδος :  $\theta = 60^\circ$ , χωρίς αγωγή  $2\theta$  αγει

β)  $I_{D \max} = 0.12 A$

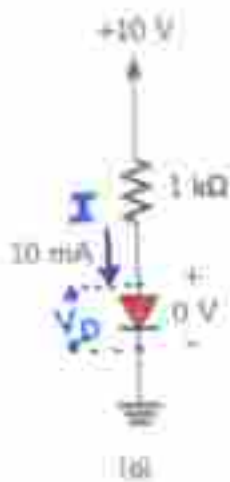
γ) Μέγιστη τάση αντανάκλασης :  $-24 + (-12) = -36V$   
 στο δίοδο :  $-24 - (+12) = -24 - 12 = -36V$



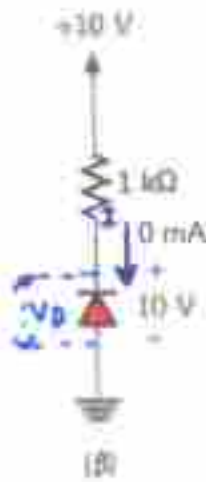
4α

Δίοδος: το αηχότερο γή γραμμικό  
κυκλωματικό στοιχείο.

### ΜΑΤΕΛΟ ΙΔΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΔΟΥ



Γιατί  $V_D = 0$  ?  
 $I = 10mA$



Γιατί  $V_D = 10V$  ?  
 $I = 0mA$

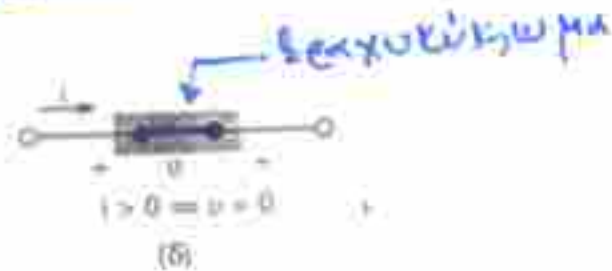
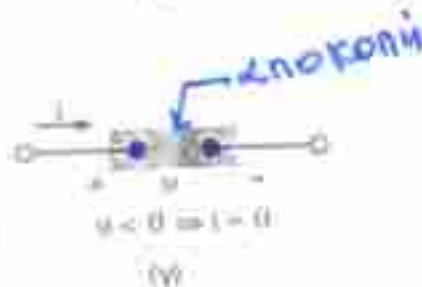
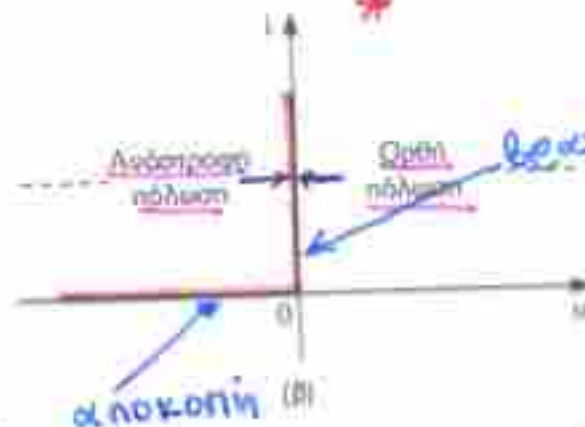
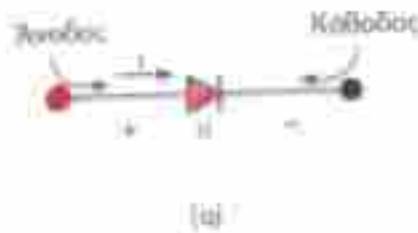
(B)

Οι δύο τρόποι λειτουργίας των ιδανικών διόδων και η χρήση ενός εξωτερικού κυκλώματος για να περιορίσει το ρεύμα ορθής πόλωσης και την τάση ανάστροφης πόλωσης.

Η ανίσταση  $I_K$  περιορίζει το ρεύμα σε επιθυμητές τιμές και προστατεύει το κύκλωμα

Η καμπύλη  $V=f(I)$  είναι γή γραμμική

(A)



3.1 Η ιδανική Δίοδος: (α) το κυκλωματικό σύμβολο διόδου (β) η  $I-V$  χαρακτηριστική (γ) το ισοδύναμο κύκλωμα κατά την ανάστροφη φορά. (δ) το ισοδύναμο κύκλωμα κατά την ορθή φορά.

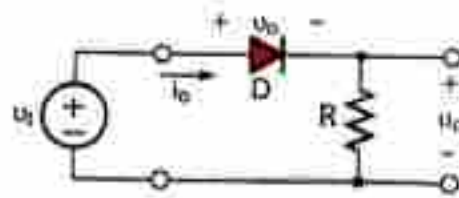
\* <sup>μή</sup>Μια γραμμική ~~φωτιστική~~ <sup>μη</sup>καμπύλη, αποελαττώνει οργάνο και χαρακτηριστική Τριγώνου

Λειτουργεί στα γραμμικά Τριγώνου  $\approx$  Τριγωνική δακτύλ



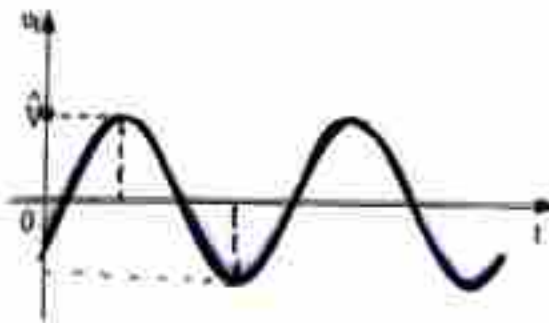
4b

# ΙΔΑΝΙΚΗ ΔΙΟΔΟΣ ΑΝΟΡΘΩΤΗΣ

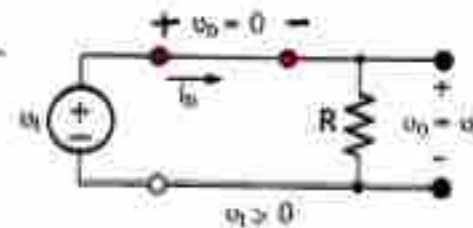


(α)

Μεση τιμή  
0

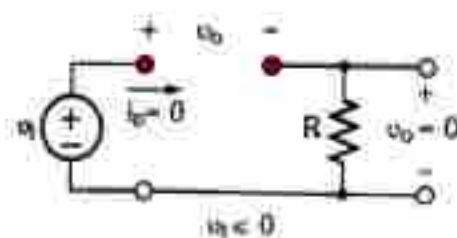


(β)

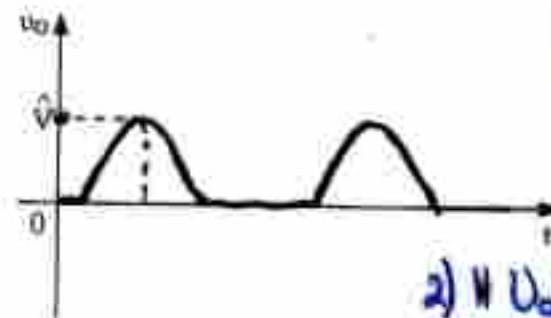


(γ)

$U_0 = 0$  ?  
 $U_0 = U_I$  ?



(δ)



(ε)

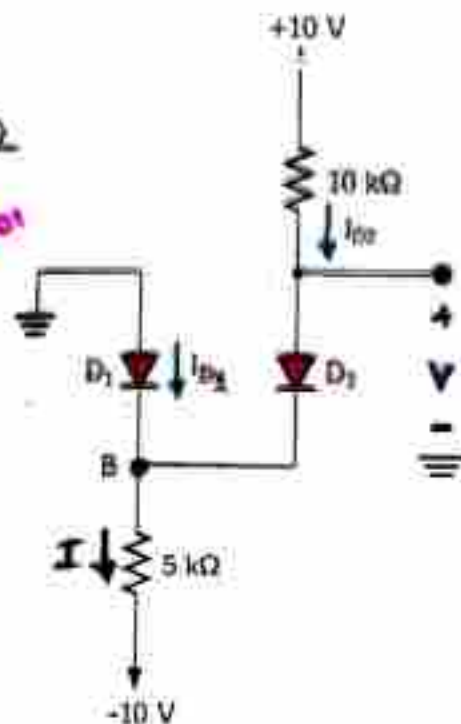
$\hat{V} \equiv V_p$

- 1) Η  $U_I$  έχει μέση τιμή 0
- 2) Η  $U_0$  έχει πεπερασμένη μέση τιμή ή DC συνιστώσα

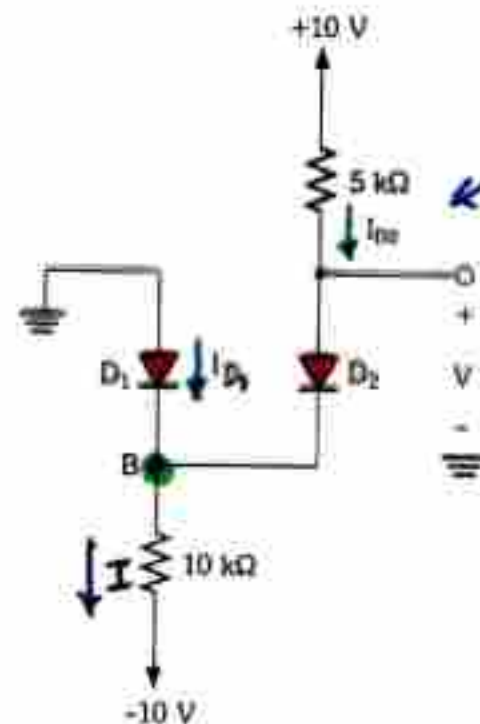
(α) Κυκλώμα ανορθωτή. (β) Κυματομορφή εισόδου. (γ) Ισοδύναμο κύκλωμα όταν  $u_1 \geq 0$ . (δ) Ισοδύναμο κύκλωμα όταν  $u_1 < 0$ . (ε) Κυματομορφή εξόδου.

Παράδειγμα 3.2  
ΙΔΑΝΙΚΕΣ ΔΙΟΔΟΙ

Ζητούνται:  
 $I, V$



(α)



(β)

Εστω ότι και οι δύο διόδους  
αχούν,  $V_B = 0$

$$I_{D2} = \frac{10 - 0}{5} = 2 \text{ mA}$$

Ρεύμα στο B

$$I = I_{D1} + I_{D2} = \frac{0 - (-10)}{10} = 1 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow I_{D1} = -1 \text{ mA}$$

Λέγοντας υπολογίζουμε

α) Εστω ότι και οι δύο διόδους αχούν  $\Rightarrow V_B = 0$  και  $V = 0$

$$I_{D2} = \frac{10 - 0}{10} = 1 \text{ mA}$$

$$\text{Στον κόμβο B: } I = I_{D1} + I_{D2} = \frac{0 - (-10)}{5} \Rightarrow$$

$$I_{D1} = 1 \text{ mA} \Rightarrow D_1 \text{ αχει}$$

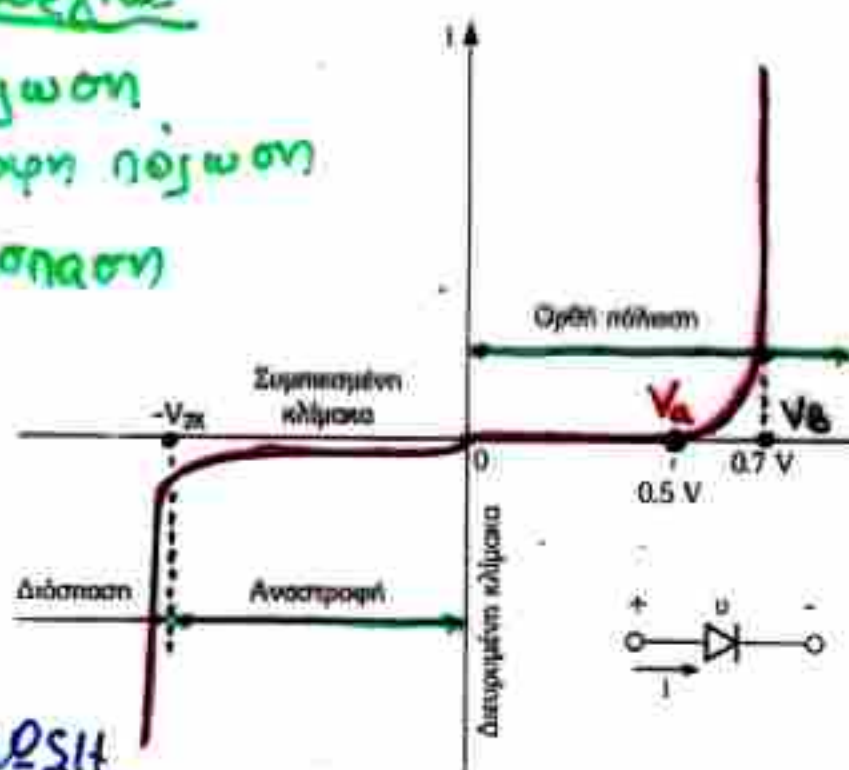
γ)  $D_1$  ανοικτή,  $D_2$  αχει:  $I_{D2} = \frac{10 - (-10)}{15} = 1.33 \text{ mA}$

$$\text{Κύκλωμα (β): } V_B - (-10) = I \cdot 10 \Rightarrow V_{B5} = -10 + 10 + 1.33 = 0.33 \text{ V} \Rightarrow D_1 \text{ αναστρέφεται.}$$

## ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΔΙΟΔΟΣ

Περιοχές λειτουργίας

- 1)  $V > 0$ , ορθή πόλωση
- 2)  $V < 0$ , αναστροφή πόλωση
- 3)  $V < -V_{zk}$ , διάσπαση



$V_a$ : τάση αποκοπής  
για  $V < V_a$  έχω  
εύρα ποσό γκρέ

Μια διόδος που έχει  
εμφανίσει πάλιν  
τάση 0.7 V

1. ΟΡΘΗ ΠΟΛΩΣΗ

Σχ. 3.8 Η χαρακτηριστική  $i-v$  της διόδου με τους άξονες σε διαφορετικές κλίμακες έτσι ώστε να φανούν οι λεπτομέρειες της καμπύλης.

$$i = I_s (e^{\frac{V}{nV_T}} - 1)$$

$I_s$ : εύρος πορεσμού ( $I_s \approx 10^{-17} A$ ), εξαρτάται

- α) από την θερμομεταβολή ( $I_s$  διπλασιάζεται για
- β) Εμβασμό διακομής ετήσιας (αναστοχή) αέθου 5°C)

$$V_T = \frac{kT}{q}$$

↓  
θερμική τάση

$$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ Joul / Kelvin}^\circ$$

$$T = 273 + \theta^\circ C$$

$$q = 1.602 \times 10^{-19} \text{ Cb}$$

$$V_T \approx 25 \text{ mV}$$

σε 20°C

$n$ : τιμές 1 ή 2, αναλογα με το υλικό ( $n=1$  - ομοιομεταλλική)

προσέγγιση:  $i \approx I_s e^{\frac{V}{nV_T}} \Rightarrow V = nV_T \ln \frac{i}{I_s}$

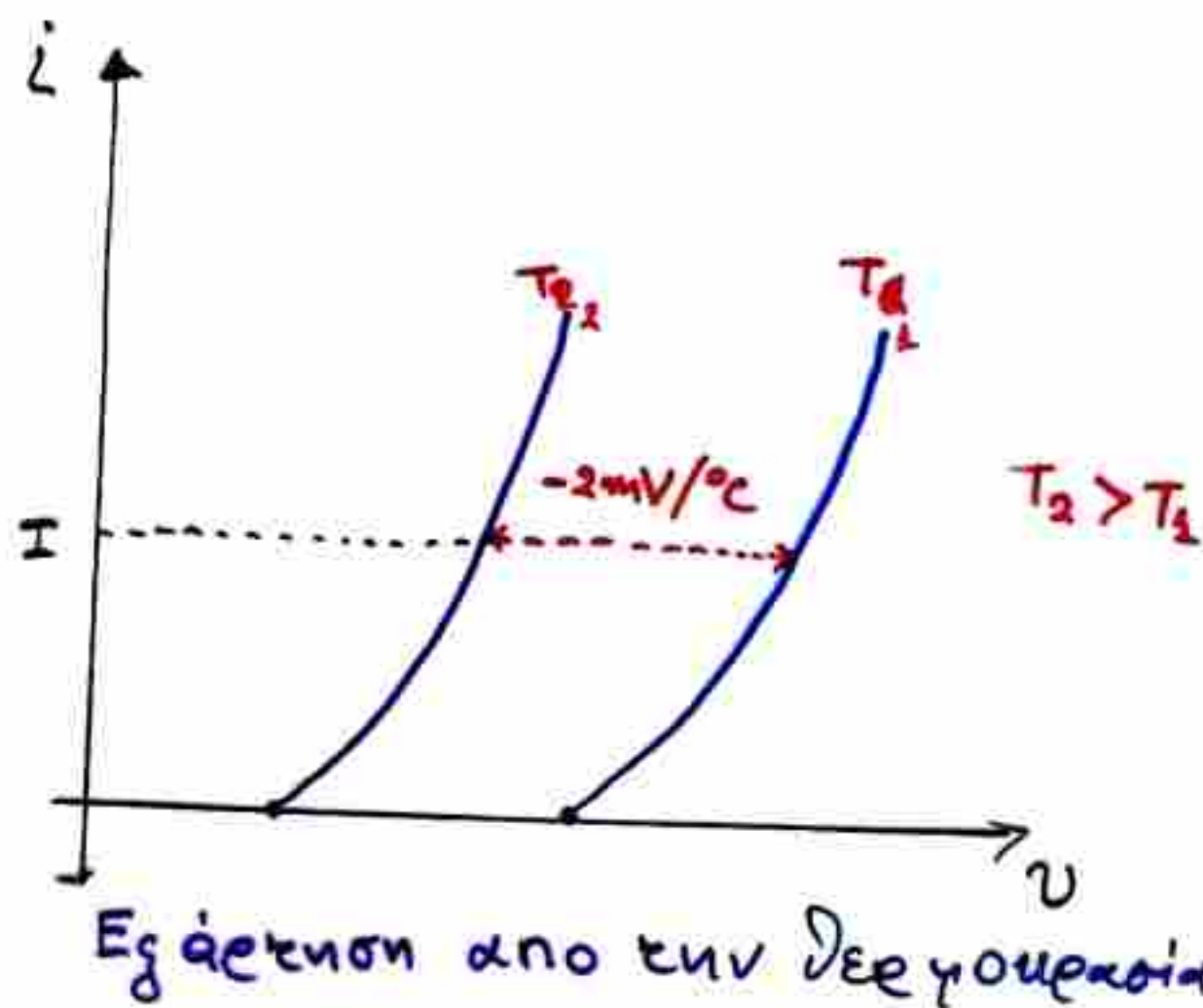
ή

$$V_2 - V_1 = nV_T \ln \frac{I_2}{I_1} = 2.3nV_T \log \frac{I_2}{I_1}$$

Σε θερμομεταβολή δωμερίου, 20°C :  $V_T \approx 25 \text{ mV}$



5a



ως μαγνήτης της ορθή ημιαγωγικής διόδου

- Για ένα σταθερό ρεύμα  $I$ , η πτώση τάσης εξαπλώνεται περίπου  $2\text{mV}$  για κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά  $1^\circ\text{C}$
- Βρίσκει πολύ μεγάλη εφαρμογή στα ηλεκτρονικά θερμομέτρα.



Λειτουργία Διόδου στην περιοχή  
αναστροφής πόωσης

$$i = I_s (e^{\frac{V}{nV_T}} - 1), \quad V < 0$$



Εάν  $V_{(-)} > |V_T = 25 \text{ mV}| \rightarrow e^{\frac{V}{nV_T}}$  παύει να  
αφίση τέτοις τιμές και:

$$i \approx -I_s$$

Το  $i$  γίνεται αναστροφικό ρεύμα και στην πράξη:

$$i \gg I_s \quad \text{π.χ. } i = 1 \text{ nA} \quad \text{για } I_s = 10^{-15} \text{ A}$$

Το  $i$  παύει να είναι ποσοστό οφείνται:

- φαινόμενο διαρροής

και είναι  $i \sim S$

- εξαρτάται από την θερμοκρασία  $\theta$

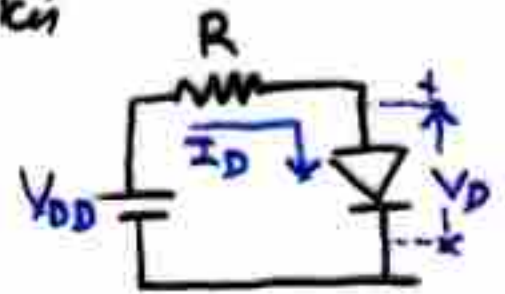
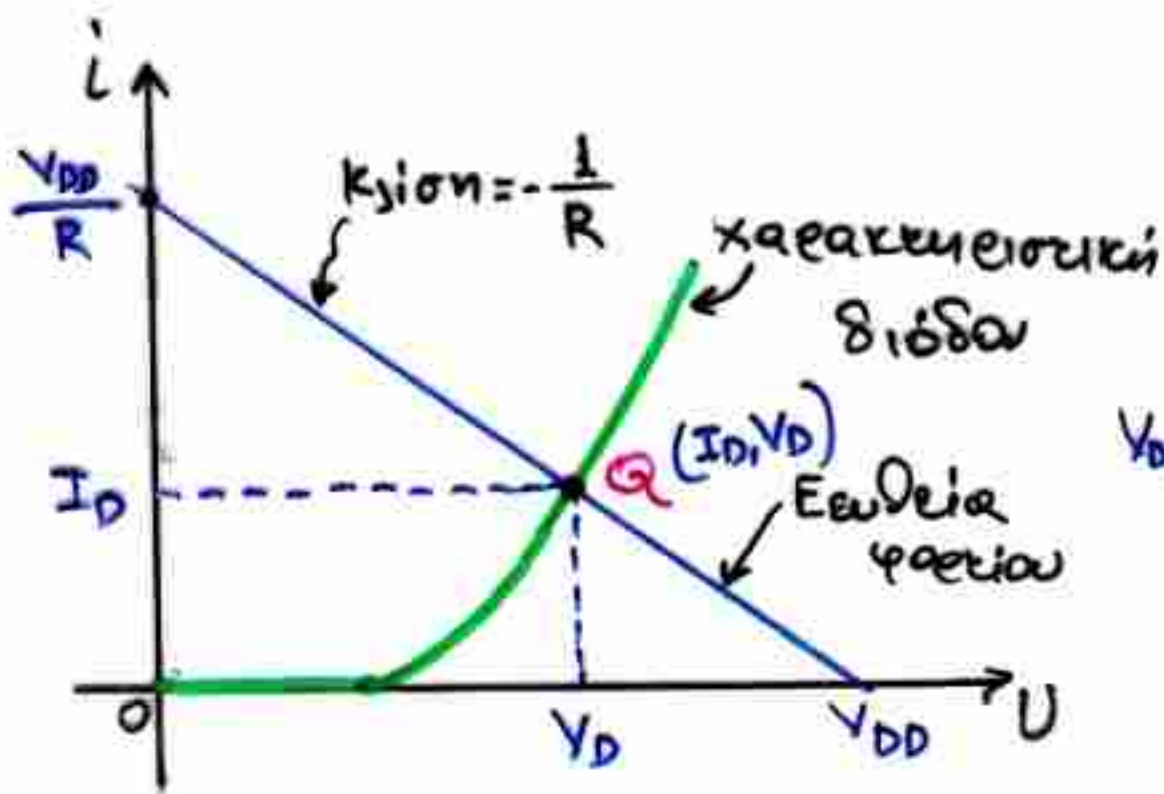
$i$  διπλασιάζεται όταν  $\theta$  ανέβει κατά  $10^\circ \text{C}$

+ Περιοχή διόσπασης

Αντιστροφή  $|V| > V_{zk} \quad (S \approx 3.8)$

6

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ



$V_{DD} > 0.5V \Rightarrow$  Δίοδος σε θά πωγμένη,  $I_D > I_S$

### Εύρεση συντεταγμένων του $Q$

α) Υπολογιστικά

$$\left. \begin{aligned} I_D &= I_S e^{\frac{V_D}{nV_T}} \quad (\alpha) \\ I_D &= \frac{V_{DD} - V_D}{R} \quad (\beta) \end{aligned} \right\}$$

Βεβαιούμε  
 $I_D, V_D$  για  
γνωστά:  $I_S, n$

β) Γραφικά

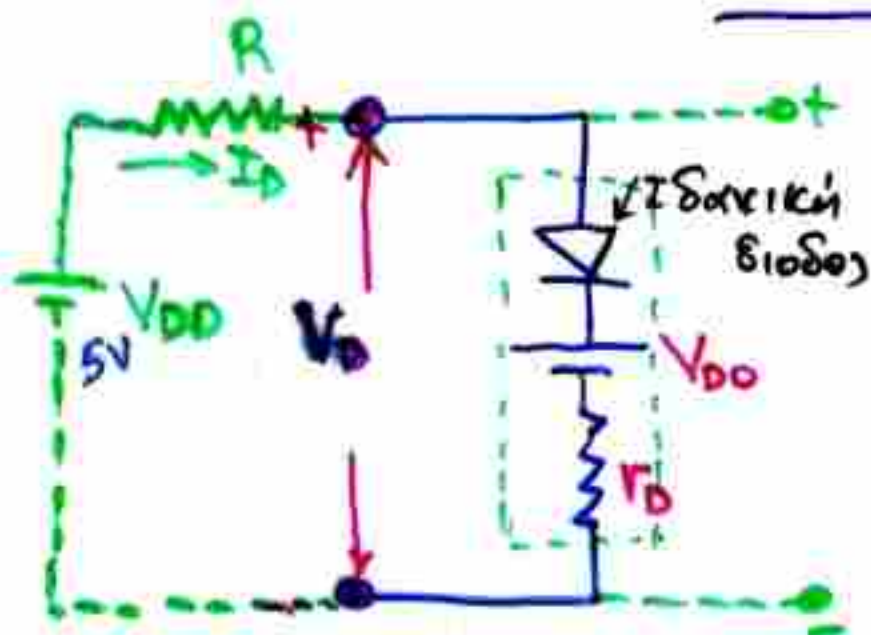
Σημείο τομής των δύο εξισώσεων  
(α), (β) στις άξονες  $I, V$



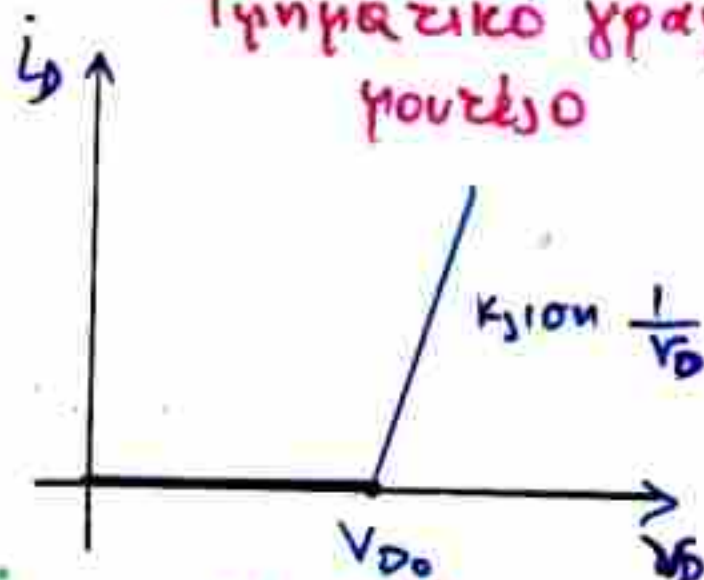
7

# ΑΠΛΟΥΣΤΕΥΜΕΝΑ

## ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΟΔΩΝ



Τυπικιστικό γραμμικό  
μοντέλο



$$I_D = 0, V_D \leq V_{DO}$$

$$I_D = (V_D - V_{DO}) / r_D, V_D \geq V_{DO}$$

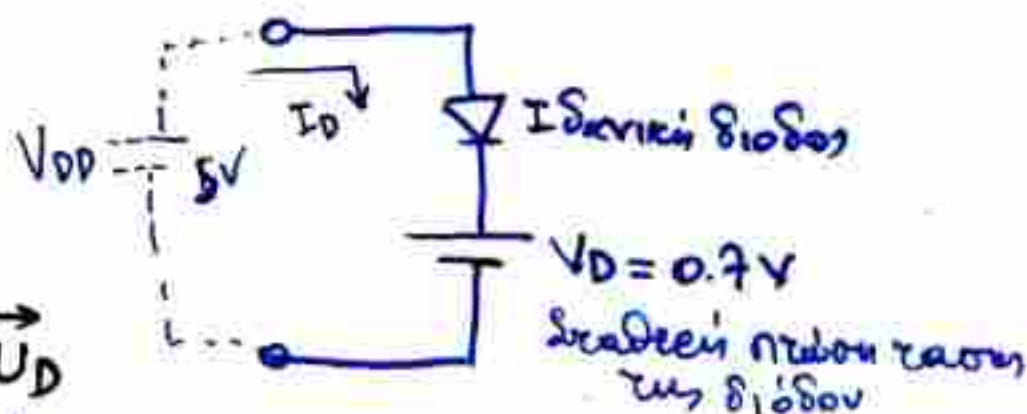
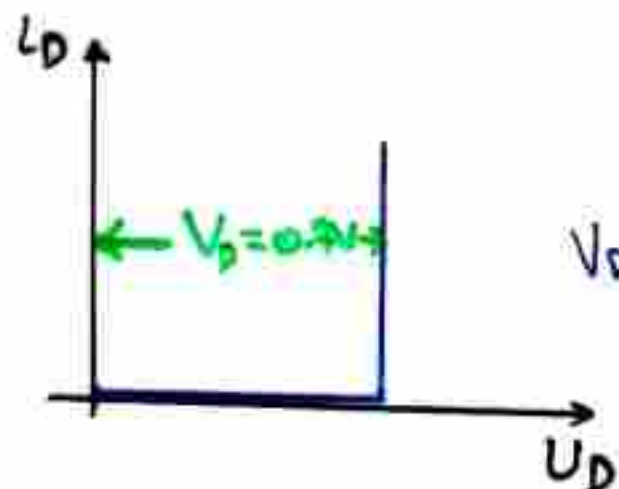
π.χ:  $V_{DO} = 0.65V$

$r_D = 20\Omega$   $V_{DD} = 5V$

$R = 1K$

$$I_D = \frac{V_{DD} - V_{DO}}{R + r_D} = 4.26mA, V_D = V_{DO} + I_D * r_D = 0.735V$$

## Μοντέλο Σταθερής πτώσης τάσης

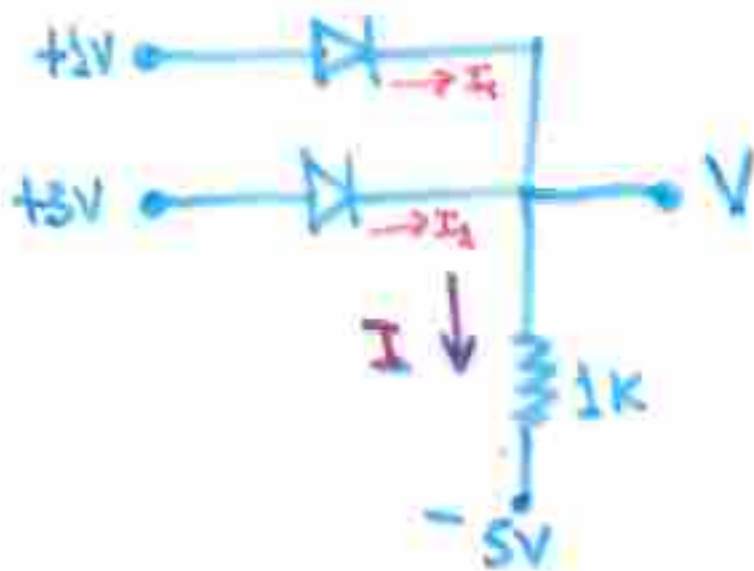


$$I_D = \frac{V_{DD} - 0.7}{R = 1K} = 4.3mA$$

$r_D = \frac{nV_T}{I_D}$  : Δυναμική αντίσταση

Επιλογή αντιστοίχης  
χρονιάς





$$V = ? \Rightarrow V - (-5) = I \times R \Rightarrow V = 3V$$

$$I = I_1 + I_2 = 14A$$

$$I_1 = \frac{12 - (-5)}{1k} = 6 \times 10^{-3} A$$

$$I_2 = \frac{3 - (-5)}{1k} = 8 \times 10^{-3} A$$

ΠΑΡΑΔ.: 3.6

ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΣΘΕΝΟΥΣ ΣΗΜΑΤΟΣ

προσίδεται στην  $V^+$  η γνηθωειδης σήμα:

$$V_i = \frac{1}{V_P} \sin 60Hz \quad \text{π.χ κυκλωση του δικτύου}$$

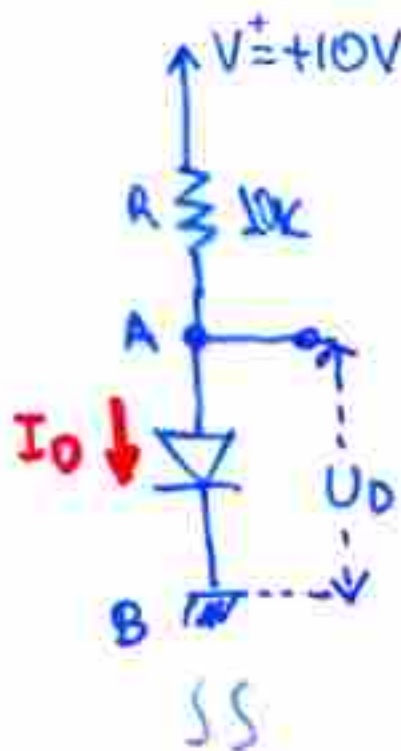
$$n=2$$

$$0.7V \text{ σε } 1mA$$

Υπολογισμοί:

$$I_D =$$

$$V_{D,P-P}$$



1) DC Υπολογισμοί ( $V_D \approx 0.7V$ )

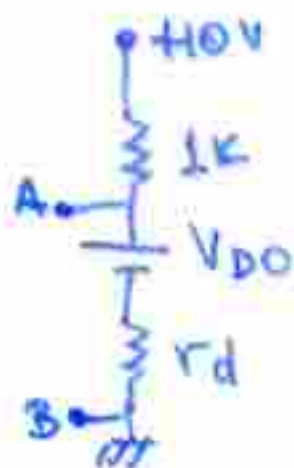
$$I_D = \frac{10 - 0.7}{10} = 0.93mA \quad \text{--- κοντά στο } 1mA$$

$$\text{Δυναμική Αντίσταση Διοδού } r_d = \frac{nV_T}{I_D} = \frac{2 \times 25mV}{0.39mA} = 58.8 \Omega$$

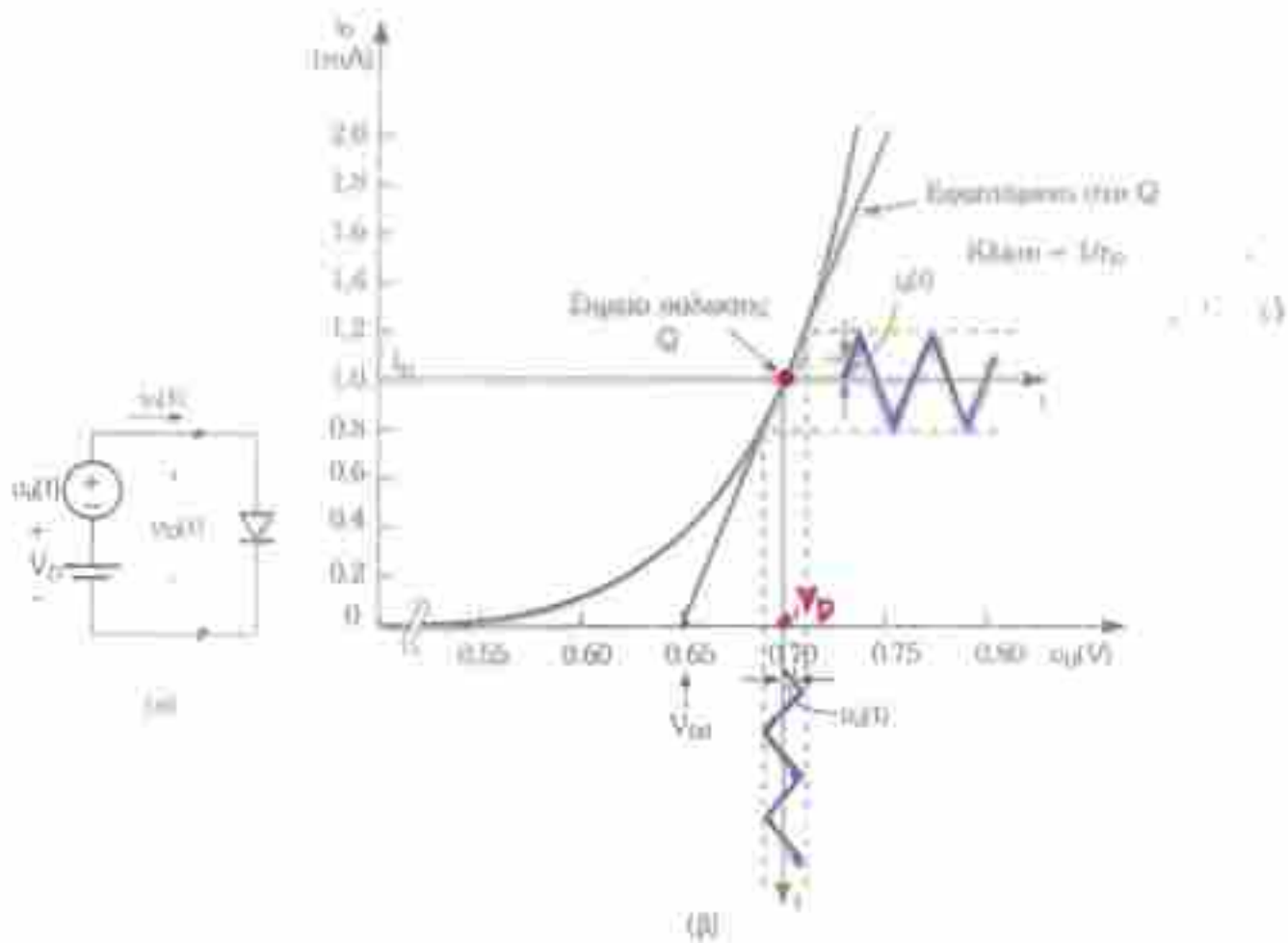
2) Τον καινο πορευτή σε πορευτή μετὰ γήκωτος διοδου

$$V_{D,P-P} = \frac{2}{R + r_d} \frac{r_d}{R} = \frac{2 \times 58.8}{1 \times 10^3 + 58.8} = 10.7mV$$

Ανο δισκίτην  
ζαους A → B



7dd



Σχ. 3.17 Ανάπτυξη του μικροπαραβάλλοντος σήματος της διόδου. Σημειώστε ότι οι αριθμητικές τιμές που φαίνονται στο σχήμα αναφέρονται σε διόδο με  $n = 2$ .

$$I_D = I_S \cdot e^{V_D / n V_T}$$

$$i_D(t) = I_S e^{v_D(t) / n V_T}$$

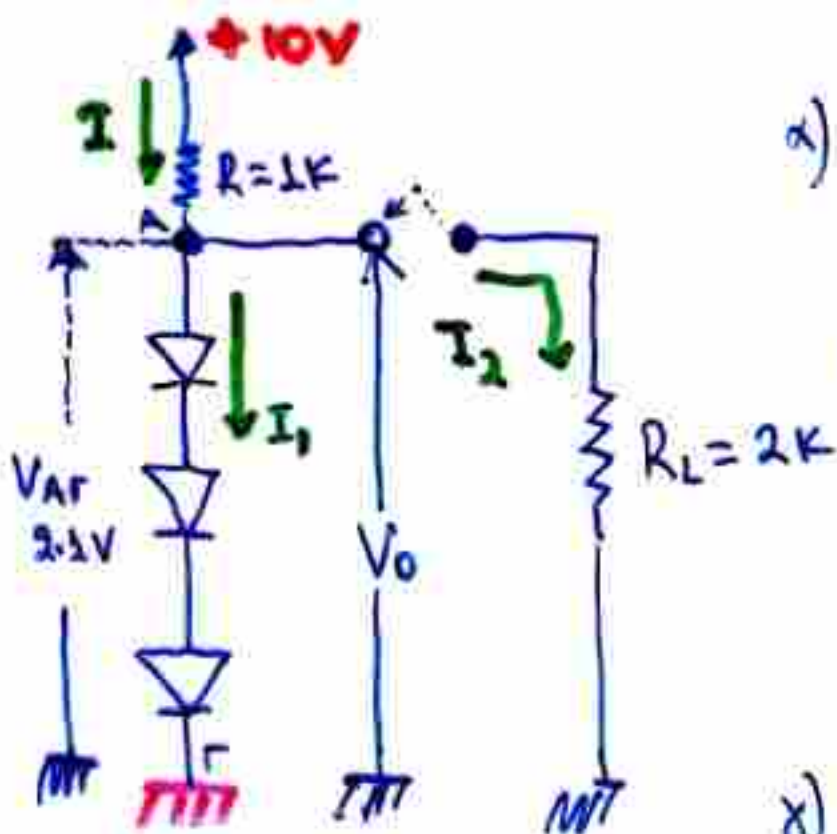


## ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΤΗΣ ΤΑΣΗΣ

Το κύκλωμα που διατηρεί σταθερή την τάση στους ακροδεκτές του

- Η πτώση τάσης στα άκρα της διόδου παραμένει σταθερή, 0.7V, όταν είναι ορθά ηγούμενη

### Σταθεροποίηση τάσης 2V



$$\alpha) I = \frac{10 - 2.1}{1k} = \frac{7.9}{1 \cdot 10^3} = 7.9 \text{ mA}$$

β) Δυναμική αντιστάση διόδου

$$r_d = \frac{nV_T}{I} = \frac{2V_T}{I} = \frac{2 \cdot 25 \text{ mV}}{7.9 \text{ mA}} = 6.3 \Omega$$

$$r_{d03} = 3 \cdot 6.3 = 18.9 \Omega$$

γ) Συνολική διαρρέουσα τάση

$$I_1 = \frac{V_{A\Gamma}}{3r_d} = \frac{2.1V}{18.9\Omega} = 0.11A. \text{ Το γινόμενο ρεύμα και κλίσε διόδου}$$

δ) Αν η μεταβολή τάσης είναι  $\pm 1V$  ( $\approx 10\%$ ), ποιά η μεταβολή στην έξοδο

$$\Delta V_O = 2 \cdot \frac{r_{d03}}{r_{d03} + R} = 2 \cdot \frac{0.0189}{0.0189 + 1k} \approx 37.1 \text{ mV p-p}$$

$$\text{Αντικείμενο : } 18.5 \text{ mV} \rightarrow \pm 0.9\%$$



## Σταθεροποίηση τάσης σε Ορθά πολωμένους Διόδους

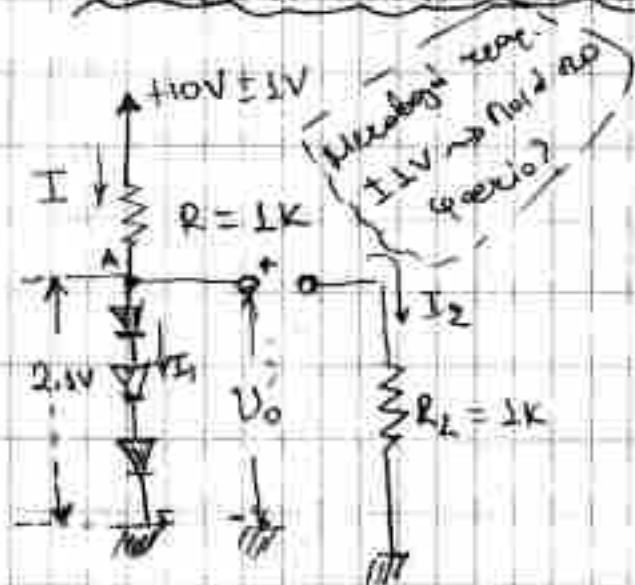
Σταθεροποιητές τάσης είναι ειδικά κυκλώματα, που διασφαλίζουν σταθερή DC τάση ανεξάρτητα από αλλαγές στην τάση τροφοδοσίας.

Ζητάμε η τάση αυτή να παραμένει σταθερή:

- Παρά τις αλλαγές ρεύμα στο φορτίο
- Παρά τις αλλαγές στη τροφοδοσία στο κύκλωμα και σταθεροποιείται.

Η πτώση τάσης σε άδεια τις διόδους παραμένει σταθερή όταν αυτή είναι ορθά πολωμένη και είναι 0.7V. Για μεγαλύτερη τάση σταθεροποιούμε περισσότερες διόδους σε σειρά.

### Σταθεροποιητής τάσης 2.1V



α) Ρεύμα ονομαστικό χωρίς φορτίο

$$I = \frac{10V - 2.1V}{1k} = \frac{7.9}{1 \cdot 10^3} = 7.9 \mu A$$

β) Δυναμική αντίσταση διόδου

$$r_d = \frac{nV_T}{I} = \frac{2V_T}{I} = \frac{2 \cdot 25mV}{7.9 \mu A} = 63 \Omega$$

$n=2$

$$r_{d03} = 3 \cdot 6.3 = 18.9 \Omega$$

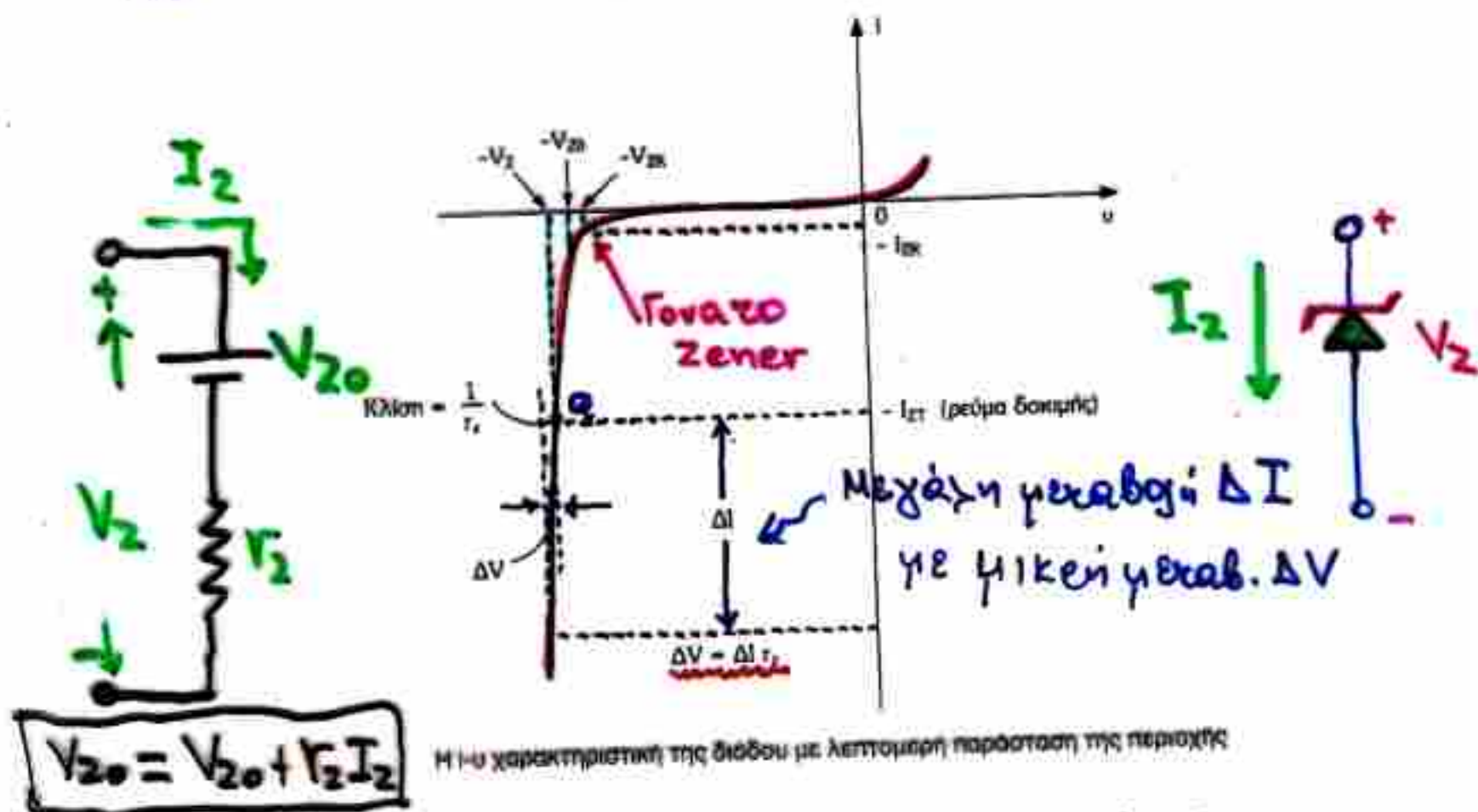
γ) Σταθερή τάση  $V_d, R_L$

$$I_1 = \frac{V_{REF}}{3V_d} = \frac{2.1V}{18.9} = 0.11A \text{ τροφοδοσία στο κύκλωμα}$$

δ) Από το σταθερό τάση υπολογίζω τη γραμμή σύμβασης εξόδου για ρεύμα  $\pm 1V (= \pm 10\%)$  στη τάση τροφοδοσίας



# ΔΙΟΔΟΙ ZENER



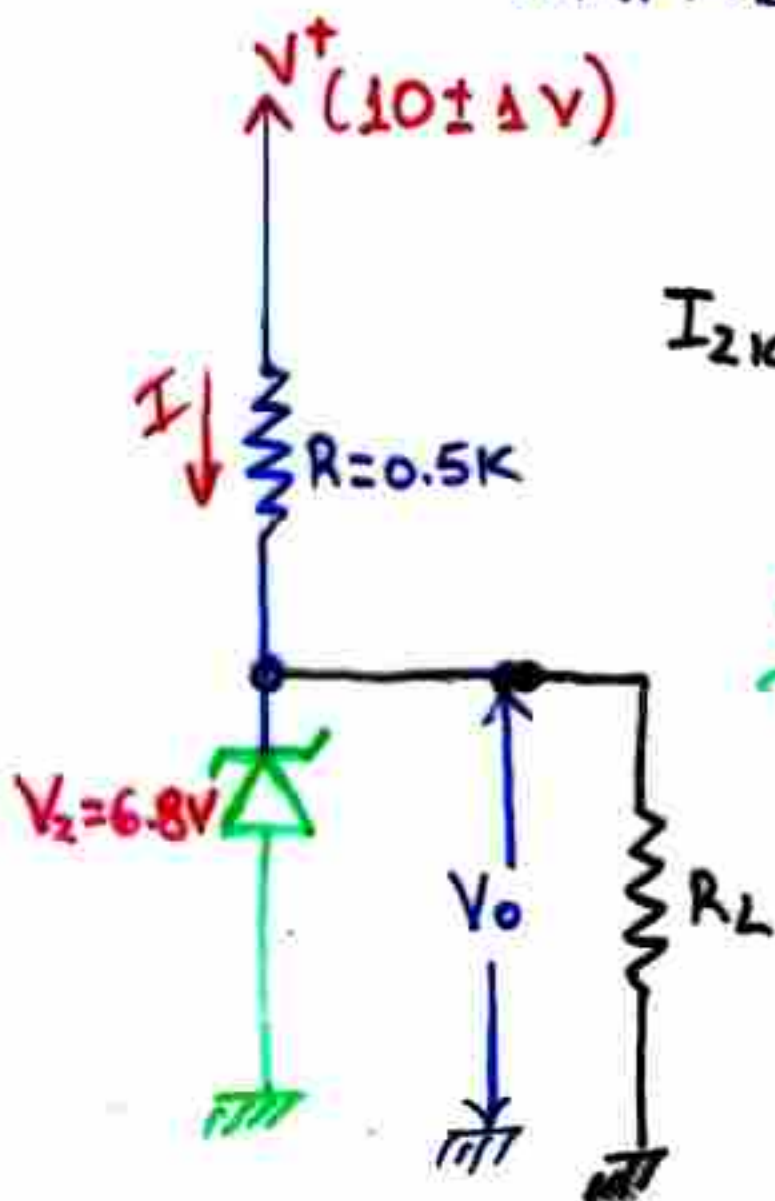
- $I_{zT}$ : Πειραματική τιμή ρεύματος (δίδεται από κατασκ.)
- $Q: (-V_z, -I_{zT})$  (συντεταγμένες) π.χ  $V_z = -6.8V$   
 $I_{zT} = -10mA$
- Μια μεταβολή  $\Delta I$  του ρεύματος  $\Rightarrow \Delta V = r_z \cdot \Delta I$  (μεγάλη  $\Rightarrow$  μικρή)
- $r_z$ : δυναμική αχτίσταση Zener (μικρή)
- $V_z$ : Τάση Zener, από μερικά Volt έως εκατοντάδες Volt
- $V_{z0}$ : στο σημείο τασης όπου η καμπύλη γέ κλίση  $-\frac{1}{r_z}$  συναντά την καμπύλη



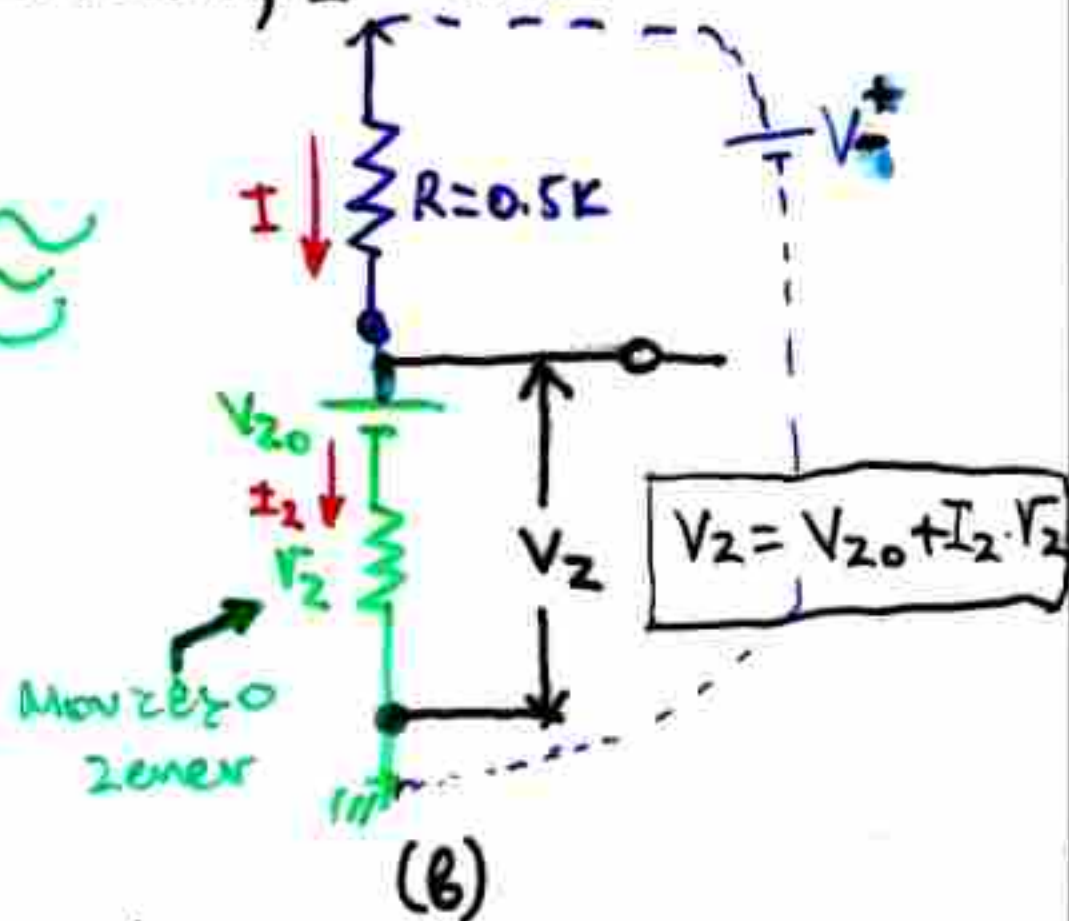


# ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3.8

1/2



$$I_{ZK} = 0.2mA, r_z = 20\Omega$$



α)  $V_o = ?$ , χωρίς φορτίο και  $V^+ = 10V$

Από (b):  $V_z = V_{z0} + I_z \cdot r_z \Rightarrow V_{z0} = 6.8 - 5 \cdot 10^{-3} \cdot 20 = 6.7V$

$$I_z = I = \frac{V^+ - V_{z0}}{R + r_z} = \frac{10 - 6.7}{0.5 + 0.02} = 6.35mA$$

Μέγιστο εύρος

$$V_o = V_{z0} + I_z \cdot r_z = 6.7 + 6.35 \cdot 0.02 = 6.83V$$

$V_o = ?$ , για μεταβολή  $\pm 1V$  στην  $V^+$

β) Προσοχή Η μεταβολή τάσης στην Zener γίνεται στην  $r_z$ : αρα

$$\Delta V_o = \Delta I \cdot r_z = \frac{\Delta V^+}{R + r_z} \cdot r_z = \pm 1 \cdot \frac{20}{500 + 20} = \pm 38.5mV$$



2/2

γ) Ποια η μεταβολή  $V_o$ , από τη σύνδεση φορτίου

$$R_L = 2k$$

$$I_L \approx \frac{V_L}{2k} = \frac{6.8V}{2k} = 3.4mA$$

Μεταβολή ρεύματος στη Zener:  $\Delta I_Z = -3.4mA$

Μεταβολή τάσης εξόδου:

$$\Delta V_o = r_Z \Delta I_Z = 20 \cdot -3.4 = -68mV$$

δ) Ποια η  $V_o$  για  $R_L = 0.5k$

$$I_L = \frac{6.8}{0.5} = 13.6mA \quad . \quad \text{Αυτό είναι αδύνατο}$$

γιατί το ρεύμα βρέθηκε  $I = \underline{6.35mA}$  <sup>(μικρότερο)</sup>. Αυτό συνεπάγεται διαόδους σε ανοκότητα. Τότε (σε ανοκότητα)

$$V_o = V + \frac{R_L}{R + R_L} = 10 + \frac{0.5}{0.5 + 0.5} = 5V$$

Δεν λειτουργεί σαν πλειοχρή διακόπτης

ε) Ποια η γειγνόμενη τιμή του  $R_L$ , ώστε η διαδοί να λειτουργεί σαν πλειοχρή διακόπτης

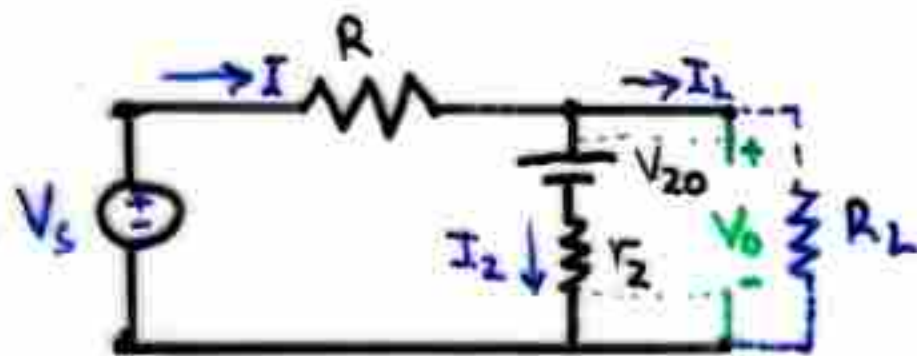
$$\text{Πρέπει } I_Z = I_{ZK} = 0.2mA \text{ και } V_Z = V_{ZK} = 6.7V$$

$$I_{R_0} = \frac{9 - 6.7}{0.5} = 4.6mA \quad , \quad I_{R_L} = 4.6 - 0.2 = 4.4mA$$

$$R_L = \frac{6.7}{4.4} = 1.5k$$

(9α)

ΠΑΡΑΛΛΗΛΟΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΤΗΣ ΤΑΣΗΣ  
ΜΕ ΔΥΟΔΟ Zener



Το κύκλωμα σταθεροποιεί την τάση στο φορτίο  $R_L$ , παρότι υπάρχουν μεταβολές της  $V_s$

Κατά την σχεδίαση του παρалуλου σταθεροποιητή θα πρέπει το ρεύμα  $I_z$  να μην γίνεται χαμηλό γιατί αυξάνει η  $r_z$ , και δεν λειτουργεί <sup>συν</sup> σταθεροποιητής. Μικρό ρεύμα  $I_z$  έχουμε όταν:

$$V_s \rightarrow V_{smin} \text{ και } I_L \rightarrow I_{Lmax}$$

Η  $R$  αναλαμβάνει την ρύθμιση.

$$V_{smin} - V_{z0} = IR + I_{zmin} r_z \Rightarrow$$

$$R = \frac{V_{smin} - V_{z0} - r_z I_{zmin}}{I_{zmin} - I_{Lmax}}$$

Παράδειγμα

Επιθυμητή  $V_o = 7.5V$

$$V_s = 15 \div 25V$$

$$I_L = 0 \div 15mA$$

$$V_z = 7.5V$$

$$I = 20mA$$

$$r_z = 10\Omega$$

$$V_z = V_{z0} + r_z I_z \Rightarrow V_{z0} = 7.3V$$

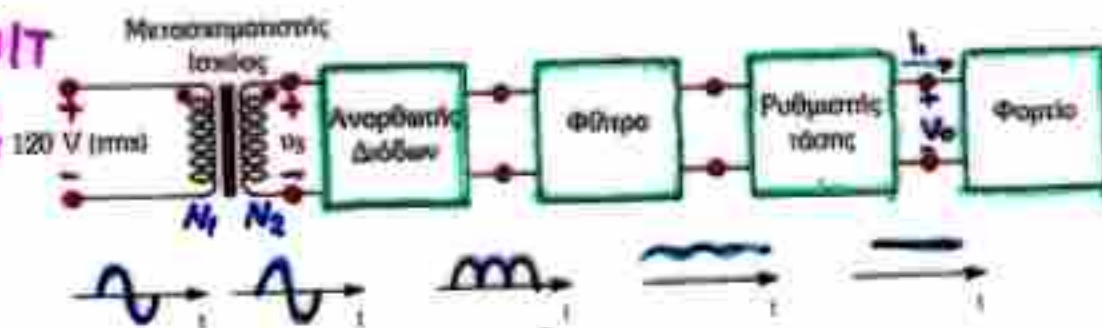
$$R = \frac{15 - 7.3 - 0.01 * 5}{5 + 15} = 383\Omega$$



## ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΡΕΥΜΑΤΟΣ DC

Η περίληψη (•) αωμ/Τ  
δειχνει την διαφορά  
φάσης  
Εδώ ίδια φάση

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



Σχηματικό διάγραμμα μιας γεννήτριας ρεύματος dc.

➤ Ζητούμε η τάση  $V_0$  να είναι σταθερή παρά τις μεταβολές στη γραμμή ac και το ρεύμα που τραβάει το φορτίο

➤ Μετασχηματιστής ισχύος

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

Τάση στο δευτερεύον  $u_s = 120(N_2/N_1) V_{rms}$  :  $U_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$

Ηλεκτρική απομόνωση από το δίκτυο π.χ  $\frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{15} \Rightarrow$

$$U_s = 120 \cdot \frac{1}{15} = 8 V_{rms}$$

➤ Ανορθωτής διόδου

Μετατρέπει το  $u_s$  σε έξοδο μιας φοράς π.χ παλλόμενη κυματομορφή με dc συνιστώσα

➤ Φίλτρο

Μορφοποιεί την παλλόμενη τάση εξόδου από τον ανορθωτή Διόδων (π.χ ως διευρυμένη την τάση εξόδου του Ανορθωτή)

➤ Ρυθμιστής τάσης

Εξουδετερώνει τον κυματισμό από την έξοδο του φίλτρου (Παράλληλος ρυθμιστής τάσης με zener ή ρυθμιστής με ολοκληρωμένο κύκλωμα)

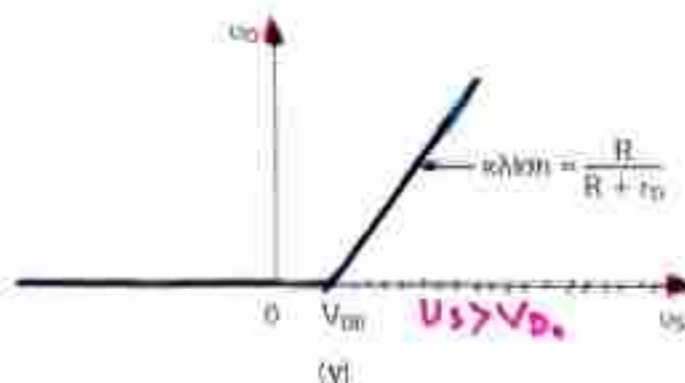
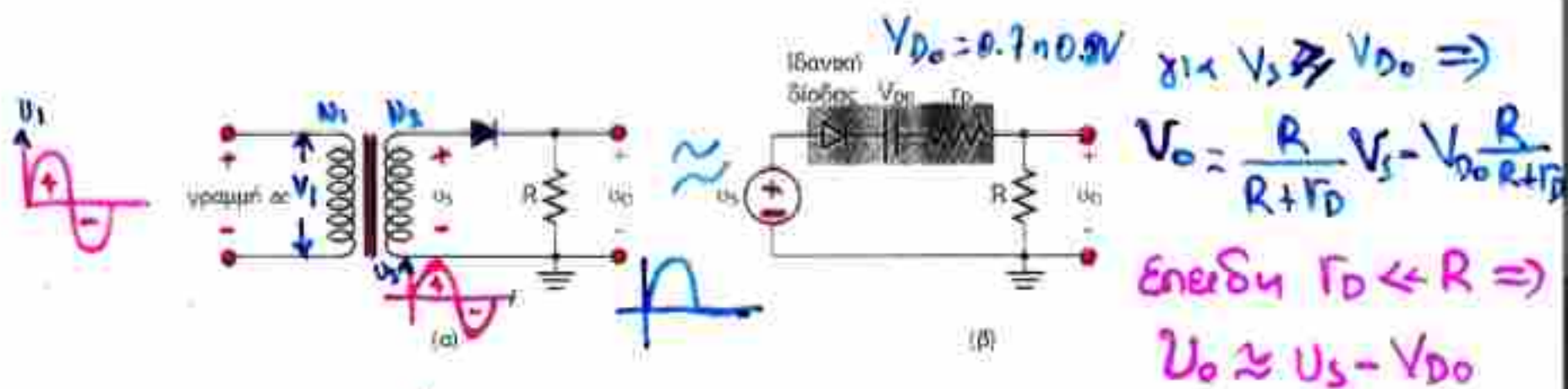
\* Οι ac τάσεις ορίζονται σχεδόν πάντα σε τιμές rms

\* Μ/Τ ανύψωσης :  $U_s > U_i$  και  $N_2 > N_1$

υποβιβασμού :  $U_s < U_i$  και  $N_2 < N_1$

$$* U_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = 0.707 V_p \quad , \quad V_{dc} = \frac{V_p}{\pi}$$

## ΑΝΟΡΘΩΤΗΣ ΜΙΣΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ



Παράμετροι διόδου:

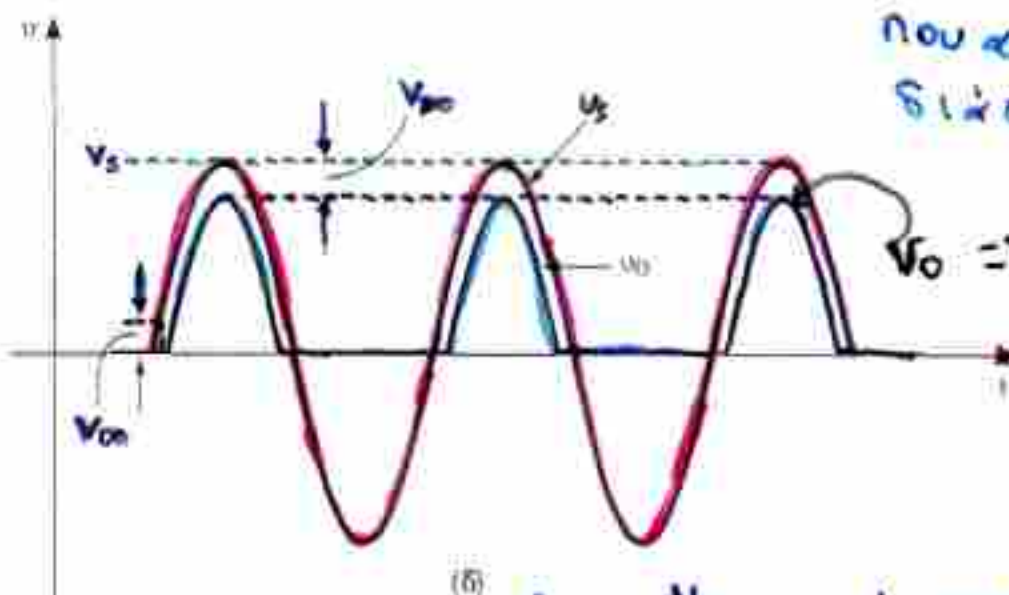
α) Πόσο μεγάλο ρεύμα την διαέρει

β) Μεγιστη αναστροφή τάση (PIV)

που πείχεται υδίοδος χωρίς διάσπαση

$PIV > 150\% \cdot V_s$

$V_0 = V_s - V_{Do}$



$\frac{N_2}{N_1} = \frac{5}{1}, R_L = 1k$   
 $V_1 = 120V/60Hz$

$V_s = \frac{N_2}{N_1} \cdot V_1 = \frac{1}{5} \cdot 120 = 24V \text{ (rms)}$

$V_{sp} = \frac{24V}{0.707} = 34V, V_{pk} = \frac{V_p}{\pi} = \frac{34}{\pi} \cdot 210.8V$

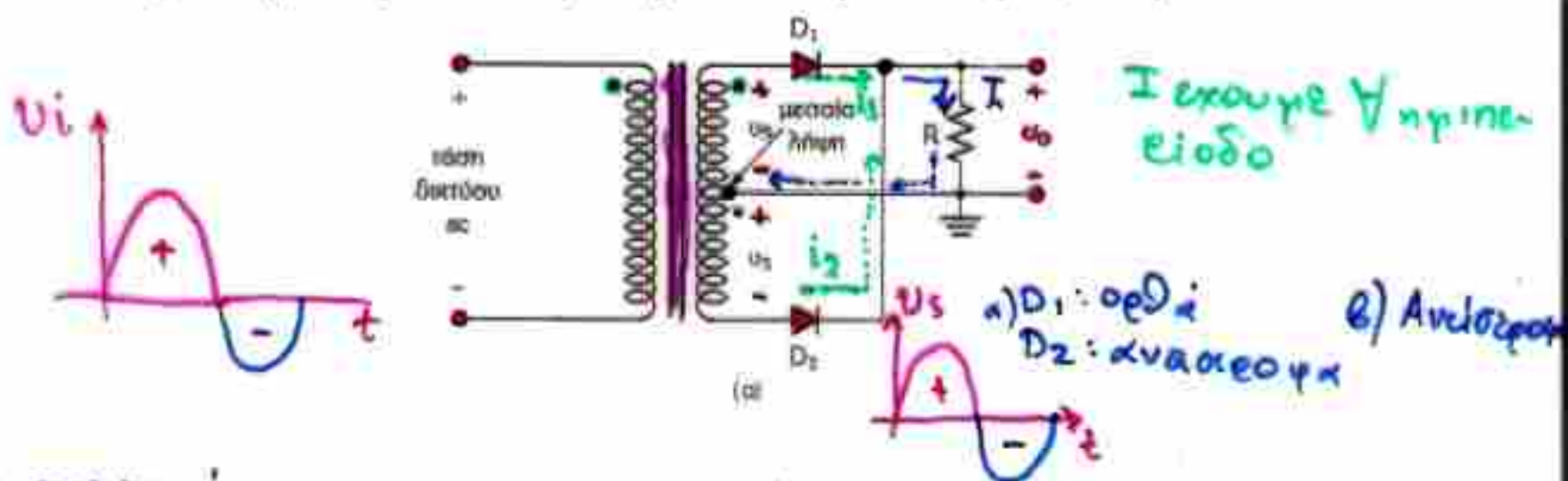
Σχ. 3.29 (α) Ανορθωτής ημίσεος κύματος. (β) Το ισοδύναμο κύκλωμα του ημιανορθωτή μετά την αντικατάσταση της διόδου με το τμηματικό γραμμικό μοντέλο της. (γ) Συνάρτηση μεταφοράς του κυκλώματος του ανορθωτή. (δ) Κυματομορφές εισόδου και εξόδου, με την υπόθεση ότι  $r_D \ll R$ .

\* για  $V_s < 0 \Rightarrow V_0 = 0$  και  $PIV = V_s$

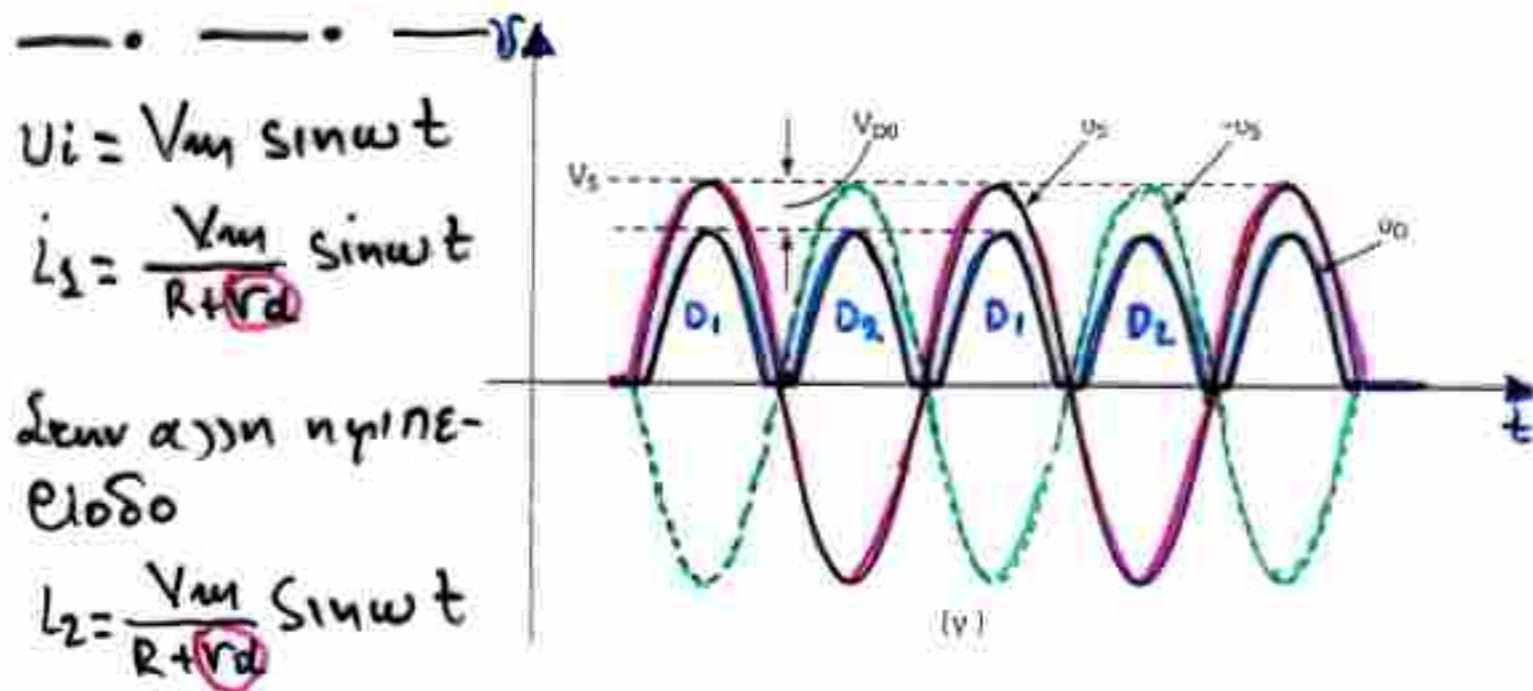
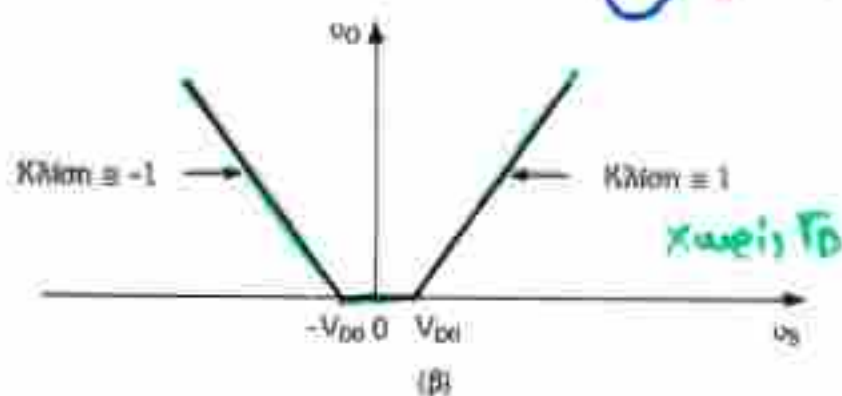


## ΑΝΟΡΘΩΤΗΣ ΠΛΗΡΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ

- Χρησιμοποιεί και τους δυο ημικύκλους του ημιτονοειδούς σήματος εισόδου
- Αναστρέφει τους αρνητικούς ημικύκλους. Στην μια ημιπερίοδο άγει η D1 στην άλλη άγει η D2.

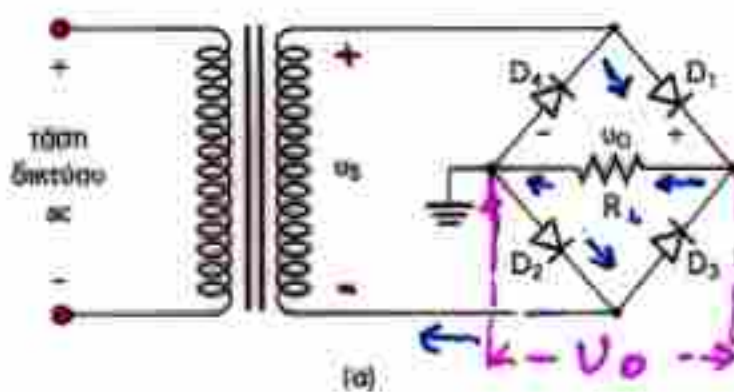


Μεγιστή τιμή επί  
 $V_o : V_s - V_{D0}$   
 $D_2$  : Άνοδος:  $V_s - V_{D0}$   
 Καθόδος:  $-V_s$   
 (συν. απόκοψη)  
 $PIV = 2V_s - V_{D0}$



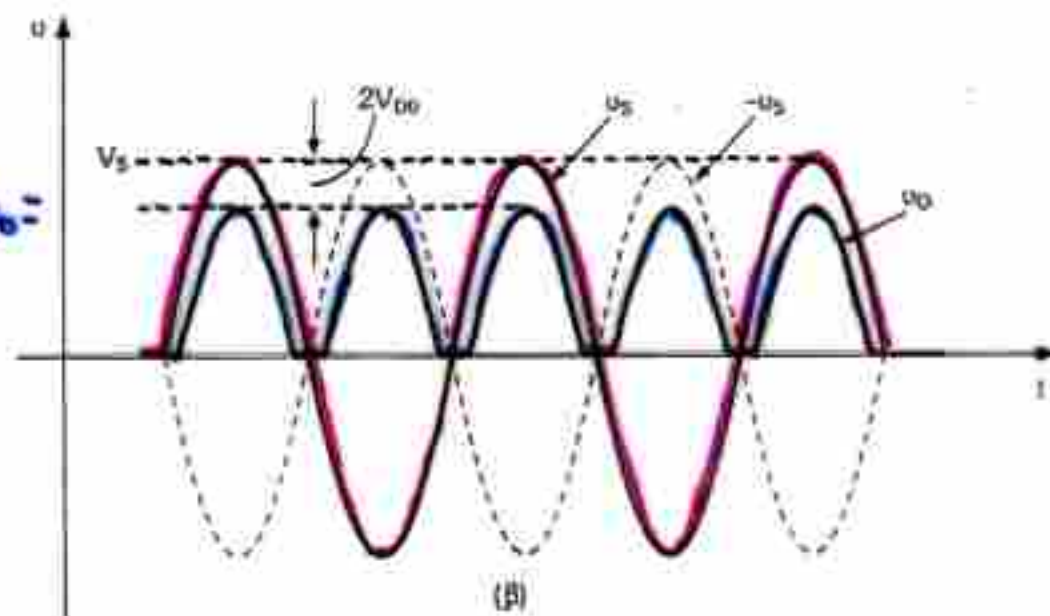
# 13 ΑΝΟΡΘΩΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ

$$v_i = V_m \sin \omega t$$



$$P_{IV} = V_s - 2V_{D0} + V_{D0} =$$

$$V_s - V_{D0}$$



Ο ανορθωτής γέφυρας. (α) Το κύκλωμα και (β) κυματομορφές εισόδου.

Κυμάτωση : περιεκτικότητα της τάσης στο άκρο του φορέιου σε αεργονικές βαθμύς κυμάτωσης (ripple factor)

$$r = \frac{\text{Ενδεχοί ε γή AC συνίστασων Ρύγματος}}{\text{Τιμή της συνεχούσ συνίστασων Ρύγματος}}$$



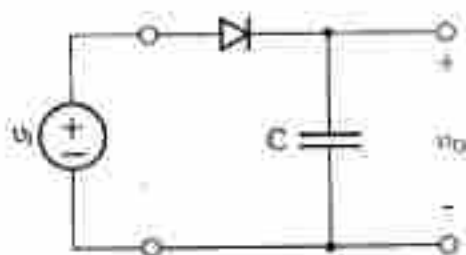
Χαρακτηριστικό	HWR	FWR	Γέφυρα
Τάση δικτύου $V$	$V$	$V$ σε κάθε μισό του δευτερεύοντος	$V$
Αριθμός διόδων	1	2	4
P.I.V.	$V_m$	$2V_m$	$V_m$
$V_{DC}$	$V_m/n$	$2V_m/n$	$2V_m/n$
Απόδοση	40.6%	81.2%	81.2%
Βαθμός κυμάτωσης	1.21	0.482	0.482
$I_{rms}$	$I_m/2$	$I_m/\sqrt{2}$	$I_m/\sqrt{2}$
$V_{rms}$	$V_m/2$	$V_m/\sqrt{2}$	$V_m/\sqrt{2}$
Συχνότητα κυμάτωσης	$f$	$2f$	$2f$
Κυματομετρική $V_r$	—	$V_r = V_p \cdot \frac{T}{\pi}$	$V_r = V_p \cdot \frac{T}{\pi}$

για  $CR \gg T$

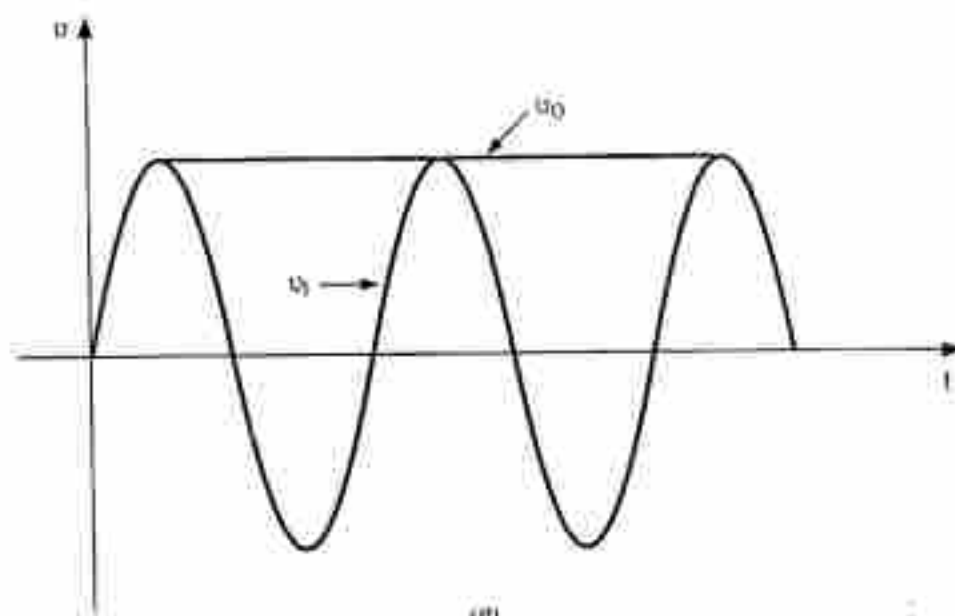
$$\left. \begin{aligned} I_{dc} &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I d(\omega t) \\ I_{rms} &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I^2 d\omega t} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{για FWR} \\ \text{και γέφυρα} \end{array}$$

## ΑΝΟΡΘΩΤΗΣ ΜΕ ΦΙΛΤΡΟ ΚΑΙ ΠΥΚΝΩΤΗ ΑΝΟΡΘΩΤΗΣ ΚΟΡΥΦΗΣ

- Οι ανορθωτές βγάζουν στην έξοδο τους τάση  $v_0$  με δυο συνιστώσες : μια DC και μια AC παλλόμενη , πράγμα που τους καθιστά ακατάλληλους για για DC τροφοδοσία ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.
- Ένας απλός τρόπος να ελαττώσουμε τον κυματισμό της τάσης εξόδου είναι η τοποθέτηση πυκνωτή κατά μήκος της αντίστασης.
- Ο πυκνωτής φορτίζεται μέσω της διόδου έως την μέγιστη τιμή  $V_P$  και το κύκλωμα παρέχει στην έξοδο του σταθερή τάση  $DC = V_P$



(α)

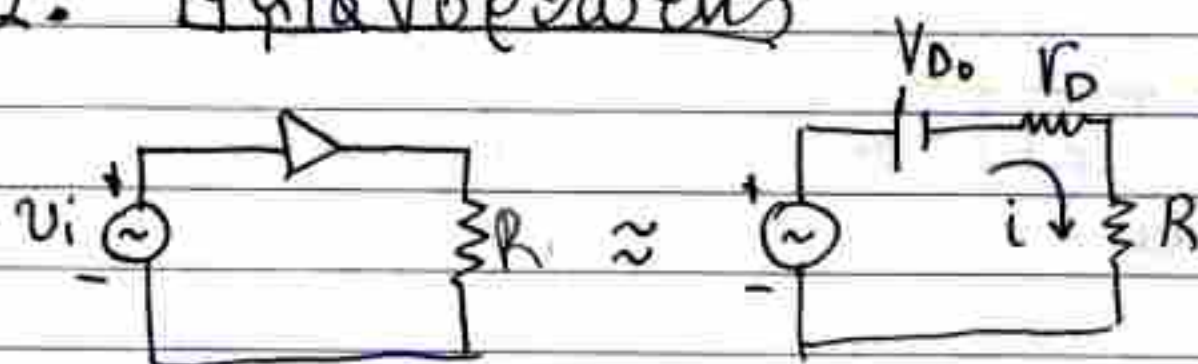


(β)

Σχ. 3.32 (α) Ένα απλό κύκλωμα χρησιμοποιείται για να δείξει την επίδραση ενός φίλτρου πυκνωτού. (β) Κυματομορφές εισόδου και εξόδου υποθέτοντας ιδανική διόδο. Παρατηρείστε ότι το κύκλωμα παρέχει μια τάση σε ίση με την τιμή κορυφής



## 2. Ημιανορθωτής



$$v_i = V_m \sin \omega t \quad i = \begin{cases} \frac{V_m}{R+r_D} \sin \omega t & 0 \leq \omega t < \pi \\ 0 & \pi \leq \omega t < 2\pi \end{cases}$$

$$I_{DC} = \frac{I_m}{\pi} \quad \text{όπου} \quad I_m = \frac{V_m}{R+r_D}$$

$$V_{DC} = \frac{V_m}{\pi} \quad I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, \quad V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

## Απόδοση αναστοχής

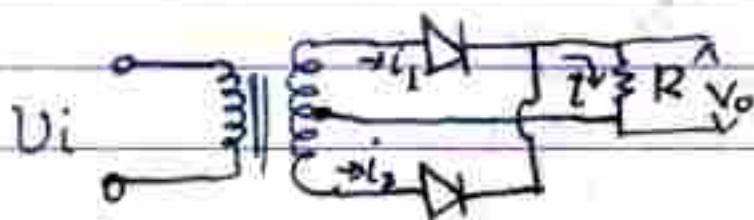
$$\eta = \frac{P_{DC}}{P_{AC}} \cdot 100\%$$

$$\text{όπου: } P_{DC} = I_{DC}^2 R = \frac{I_m^2}{\pi^2} R \quad (1)$$

$$P_{AC} = I_{rms}^2 R = \frac{I_m^2}{2} R \quad (2)$$

$$(1), (2) \Rightarrow \eta = \frac{P_{DC}}{P_{AC}} = \frac{4}{\pi^2} \times 100 = 40\%$$

(15)

2. ΠΛΗΡΗΣ ΑΝΟΡΘΩΤΗΣ

$$v_s = V_m \sin \omega t$$

Πρώτη ημiperiodo

$$\begin{cases} i_1 = \frac{V_m}{R+r_d} \sin \omega t & 0 \leq \omega t < \pi \\ i_2 = 0 \end{cases}$$

Δεύτερη ημiperiodo

$$i_1 = 0$$

$$i_2 = \frac{V_m}{R+r_d} \sin \omega t \quad \pi \leq \omega t \leq 2\pi$$

$$I_{DC} = \frac{2I_m}{\pi}, \quad I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, \quad V_{DC} = \frac{2V_m}{\pi} = 0.636V_m$$

$$P_{DC} = I_{DC}^2 R = \frac{4I_m^2 R}{\pi^2}$$

$$P_{AC} = I_{rms}^2 R = \frac{I_m^2 R}{2}$$

$$\eta = \frac{P_{DC}}{P_{AC}} = \frac{8}{\pi^2} \approx 81.2\%$$

Ανορθω

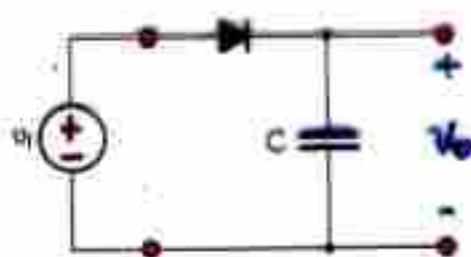
$$I_{DC} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_d(\omega t) d(\omega t), \quad I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_d^2(\omega t) d(\omega t)}$$



## ΑΝΟΡΘΩΤΗΣ ΜΕ ΦΙΛΤΡΟ ΠΥΚΝΩΤΗ ΑΝΟΡΘΩΤΗΣ ΚΟΡΥΦΗΣ

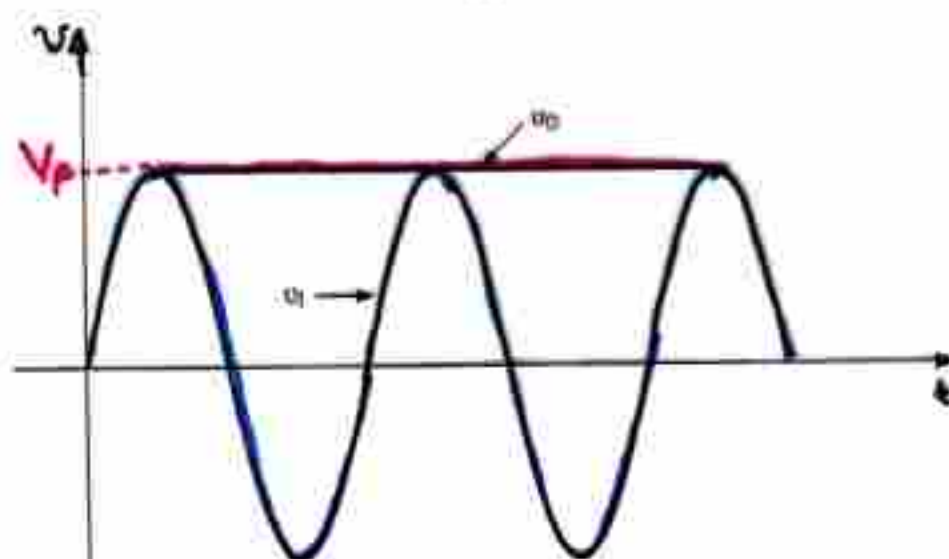
- Οι ανορθωτές βγάζουν στην έξοδο τους τάση  $v_o$  με δυο συνιστώσες : μια DC και μια AC παλλόμενη , πράγμα που τους καθιστά ακατάλληλους για DC τροφοδοσία ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.
- Ένας απλός τρόπος να ελαττώσουμε τον κυματισμό της τάσης εξόδου είναι η τοποθέτηση πυκνωτή κατά μήκος της αντίστασης (παράλληλα) στην έξοδο
- Ο πυκνωτής φορτίζεται μέσω της διόδου έως την μέγιστη τιμή  $V_p$  και το κύκλωμα παρέχει στην έξοδο του σταθερή τάση  $DC = V_p$

Δίοδος ιδανική  
 $v_i = V_p \sin \omega t$



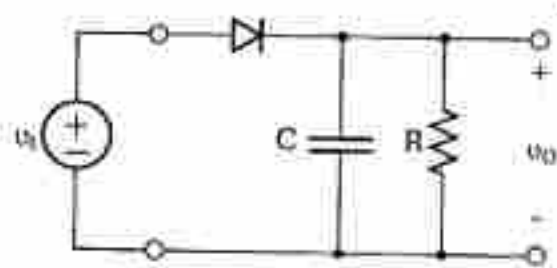
(α)

- α) φόρτιση :  $v_o \sim v_i$   
 β) Τελική φόρτιση :  $v_o = V_p$   
 γ)  $V_c$  : σάφειν ...  $v_o$

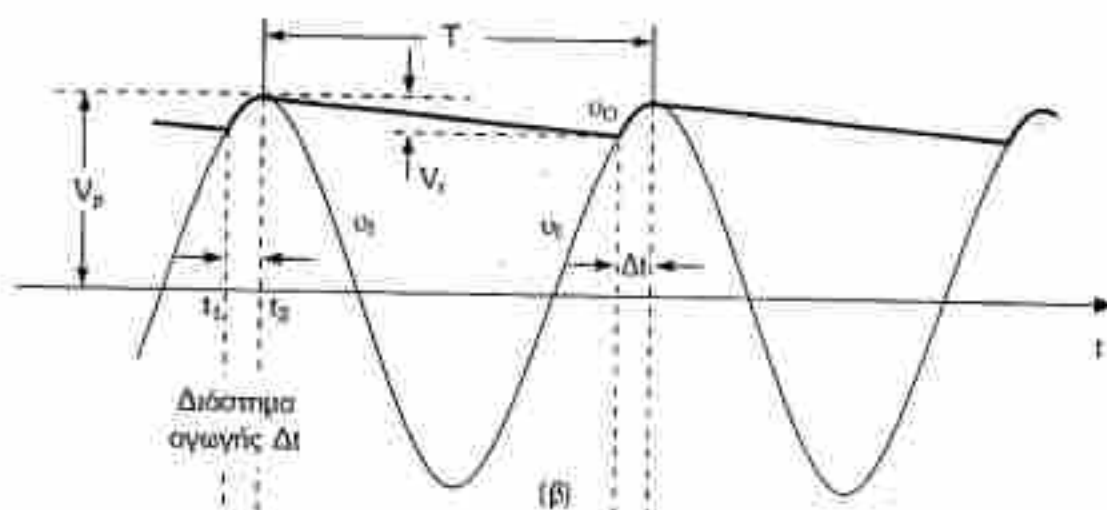


(β)

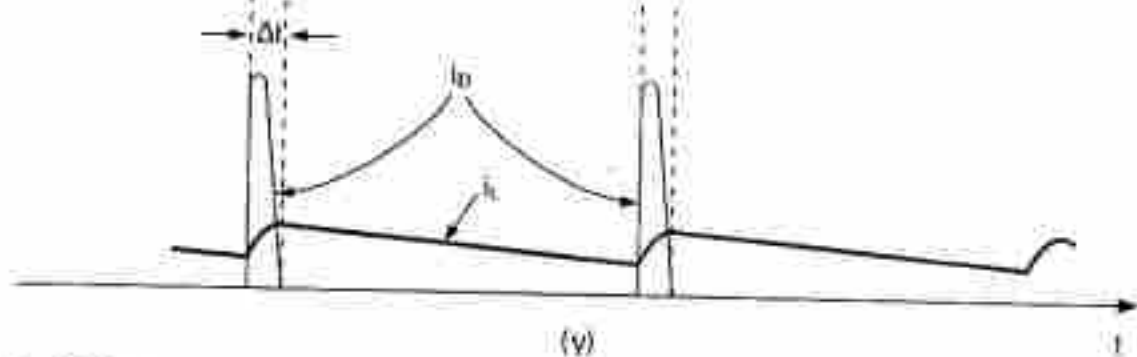
Σχ. 3.32 (α) Ένα απλό κύκλωμα χρησιμοποιείται για να δείξει την επίδραση ενός φίλτρου πυκνωτού. (β) Κυματομορφές εισόδου και εξόδου υποθέτοντας ιδανική δίοδο. Πρέπει να σημειωθεί ότι το κύκλωμα παρέχει μια στάση dc ίση με την τιμή κορυφής



(α)



(β)



(γ)

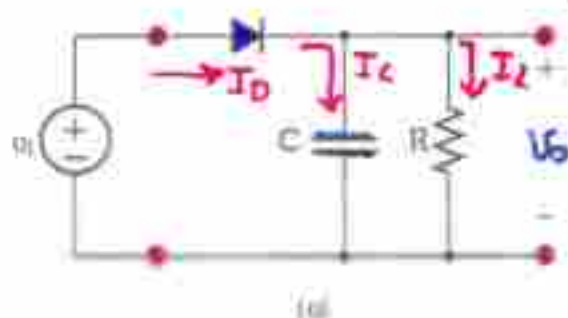
Σχ. 3.33 Κυματομορφές τάσης και ρεύματος για το κύκλωμα του ανορθωτή κορυφής με  $CR \gg T$ . Υποθέτουμε ιδανική διαόδο.



17

# ΑΝΟΡΘΩΤΗΣ ΜΕ ΦΙΛΤΡΟ ΠΥΚΝΩΤΗ

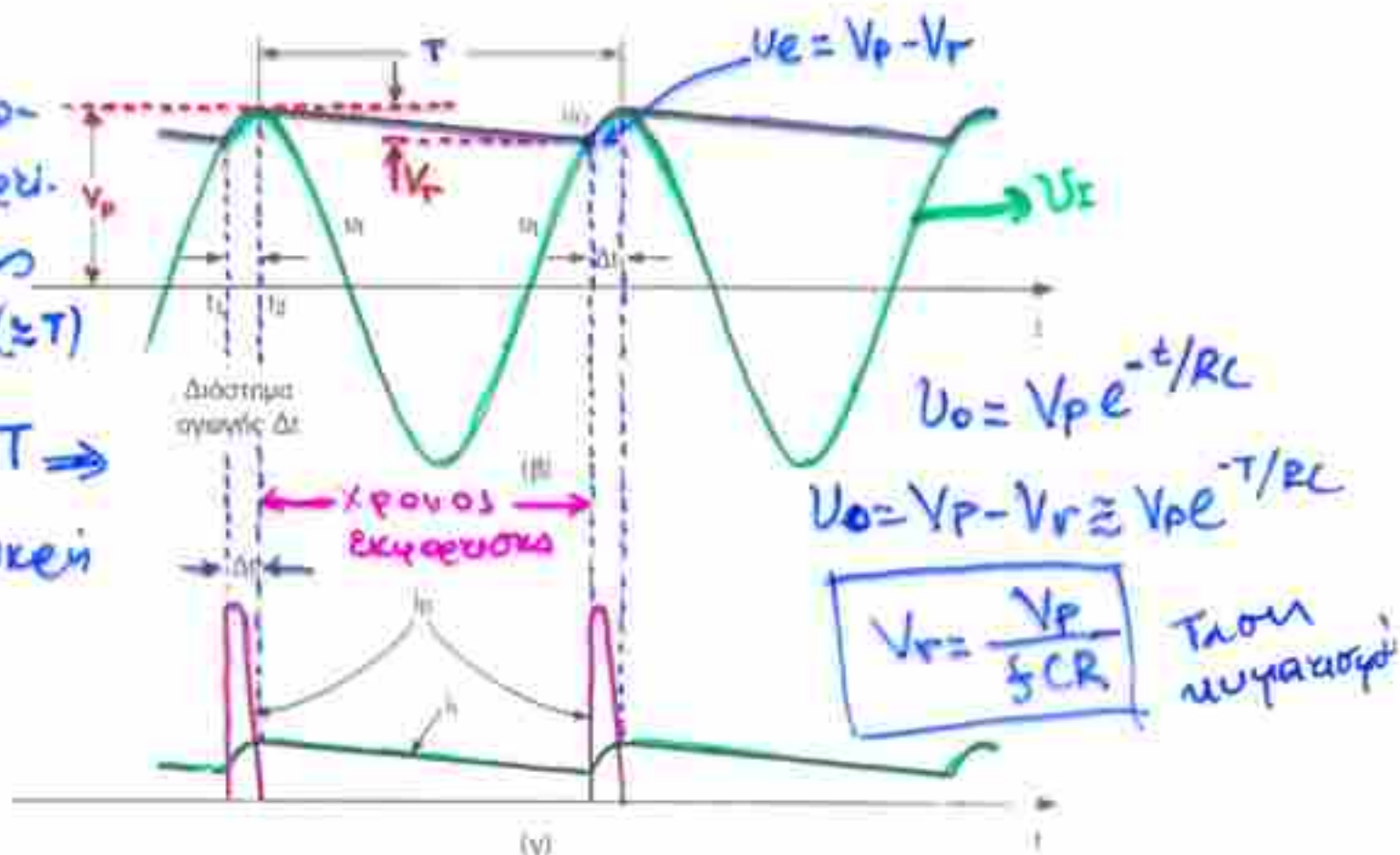
$$U_1 = V_p \sin \omega t$$



Κατά την ανωκοπή ο C εκφορτίζεται μέσω της R περί περίοδο  $T$

Όταν  $CR \gg T \Rightarrow$

$V_r$  πολύ μικρή



Σχ. 3.33 Κυματομορφές τάσης και ρεύματος για το κύκλωμα του ανωθωτή κορυφής με  $CR \gg T$ . Υποθέτουμε ιδανική διόδο.

Για να εφοδισουμε την τάση εξόδου  $U_0$  να εκπέσει υπερβολικά κατά την εκφόρτιση, θα πρέπει:

$$CR \gg T$$

Σε σταθερή κατάσταση

$$I_L = \frac{U_0}{R}, \quad I_D = I_C + I_L = C \frac{dU_1}{dt} + I_L$$

\* Η διόδος αγει για ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα  $\Delta t$  και φορτίζει τον πυκνωτή με φορτίο  $Q$  που έχασε σε πολύ μικρό χρόνο εκφόρτισης  $(\tau = RC \gg T)$

Διάστημα  $\Delta t$  και φορτίζει τον πυκνωτή με φορτίο  $Q$  που έχασε σε πολύ μικρό χρόνο εκφόρτισης  $(\tau = RC \gg T)$

17+

Διάστημα αγωχής  $\Delta t$ :

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

Για  $V_r \ll V_p \Rightarrow \omega \Delta t$  μικρό

## ΑΝΟΡΘΩΤΗΣ ΠΛΗΡΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΜΕ ΠΥΚΝΟΤΗ

- Τοποθέτηση πυκνωτή  $\parallel R$
- Συχνότητα κυκλώματος  $f$  σχεδόν της διόδου

$$V_r = \frac{V_p}{2 + CR}$$

- Η χαμηλότερη (πυκνωτής) σε αυτή την περίπτωση είναι το  $1/2$  σε σύγκριση με  $V_p$
- HWR (μισό κύμα) για ιδιότητες:  $V_p$ ,  $f$ ,  $R_L$  και  $V_r$ ,  $I_2$

- Για την ιδανική διόδο, το  $V_p$  ανεξαρτήτως με  $(V_p - V_{DO})$   $\rightarrow$  η ανόρθωση  $V_p - 2V_{DO}$  ή σχεδόν  $V_p$  με  $V_{DO}$   $\rightarrow$  ανόρθωση 2D



18

# ΚΥΚΛΩΜΑ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ - ή ΨΑΛΙΔΙΣΜΟΣ

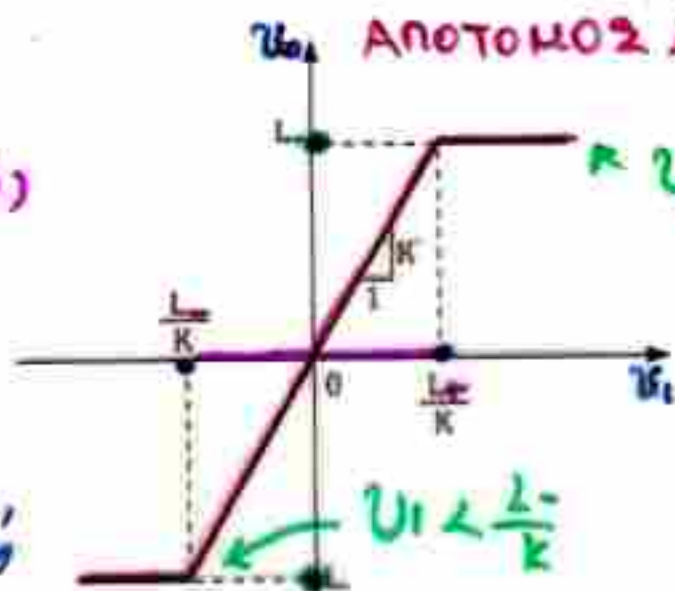
ΑΠΟΤΟΜΟΣ ΔΙΠΛΟΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΤΗΣ

Περιοχή μεταβολής τάσης:

$$-\frac{L}{K} \text{ έως } +\frac{L}{K}$$

Στην περιοχή αυτή έχει γραμμική συμπεριφορά:  $U_o = KU_i$

για  $K \leq 1 \rightarrow$  παθητικοί περιοριστές τάσης

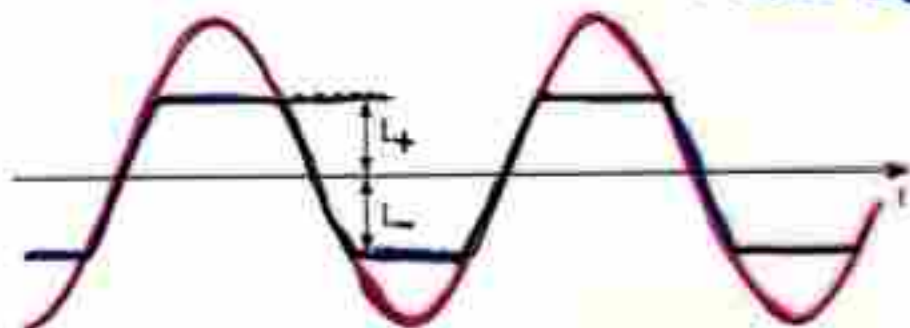


$$U_i > \frac{L}{K}$$

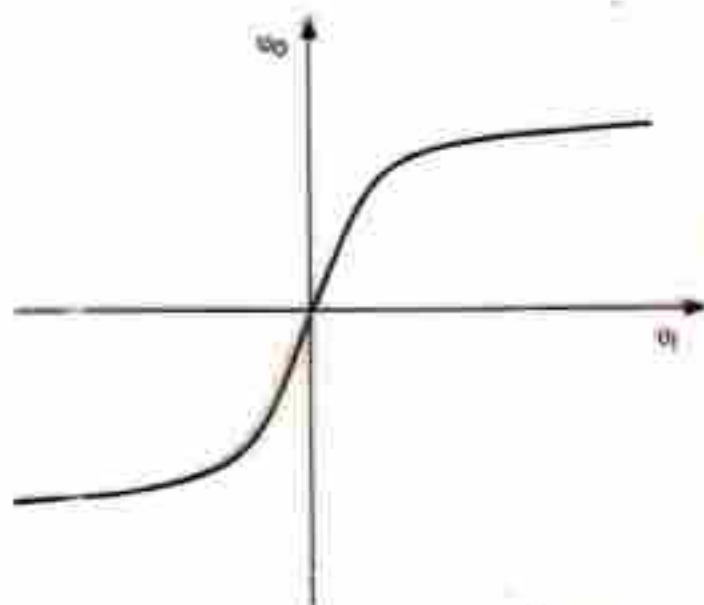
$K \leq 1$  : παθητικοί περιοριστές

Γενική συνάρτηση μεταφοράς

$L+$ : η ανω οριο πρόσδεση  
 $L-$ : η κατω οριο πρόσδεση



Σχ. 3.36 Η εφαρμογή ενός ημιτοννοειδούς στην είσοδο ενός περιοριστή μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα τον ψαλίδισμό των κορυφών του.

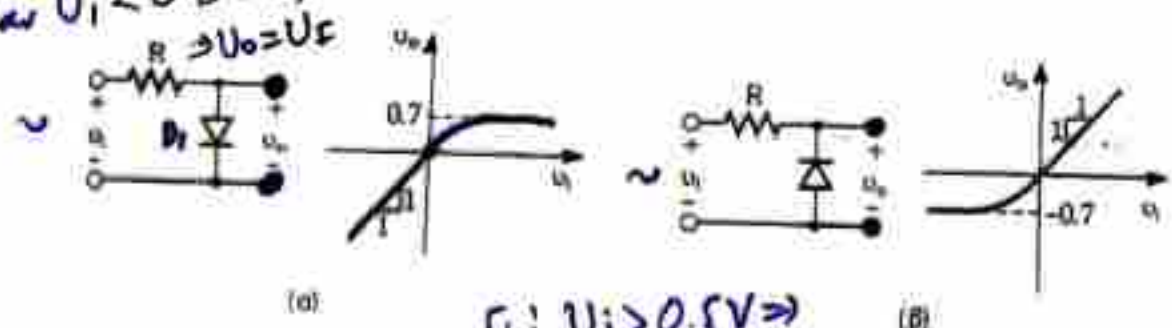


Σχ. 3.37 Ομαλός περιορισμός.

## Χρήσεις

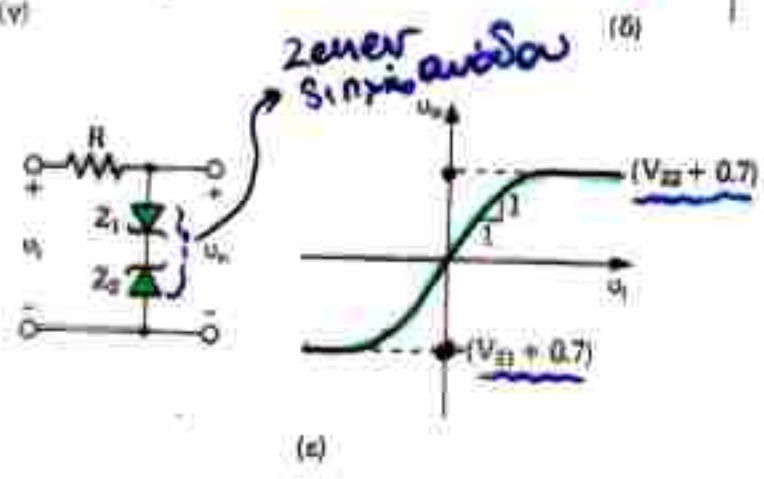
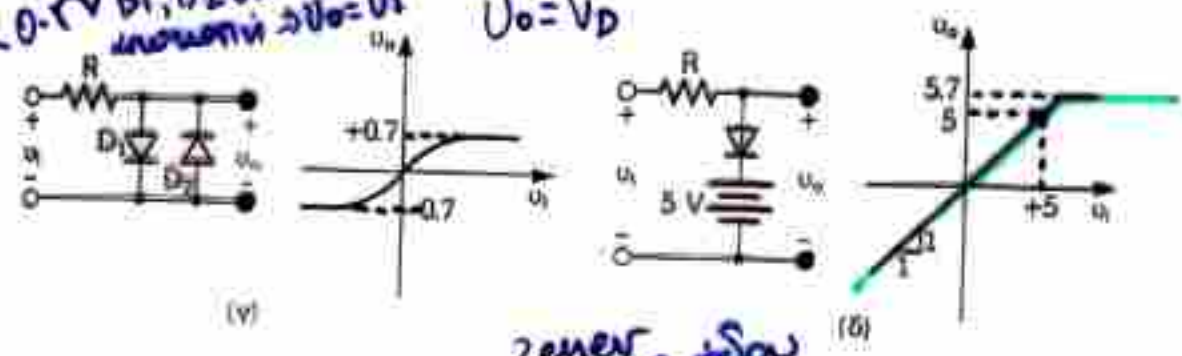
- Σε συστήματα ανάγνωσης σημάτων
- Περιορισμός της τάσης εισόδου κώδικα στην κεντρική μονάδα

Εάν  $U_i < 0.5V \Rightarrow$  δικαδοκονία

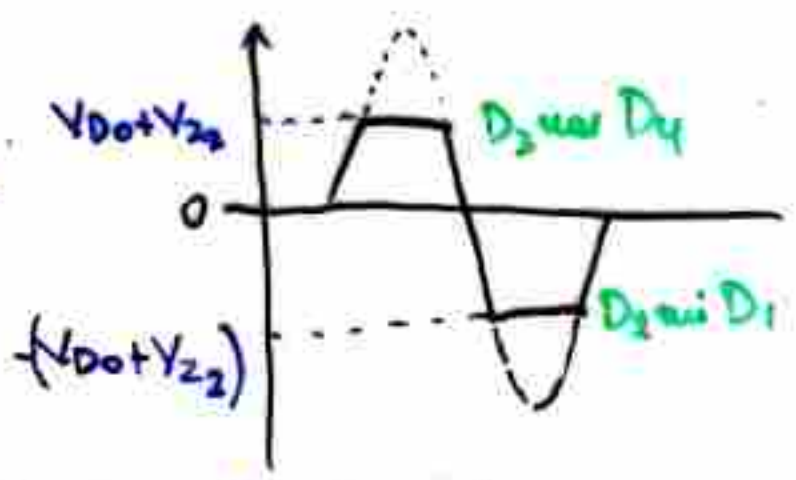
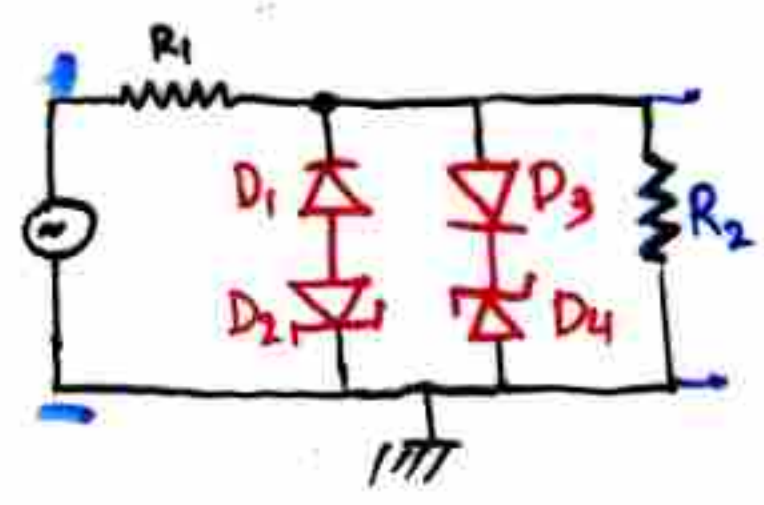
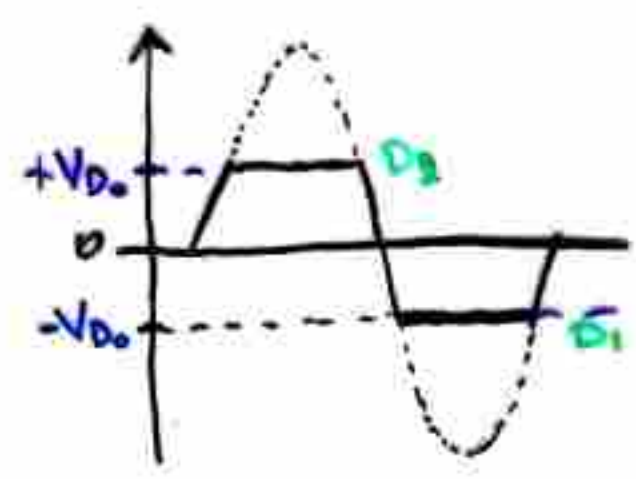
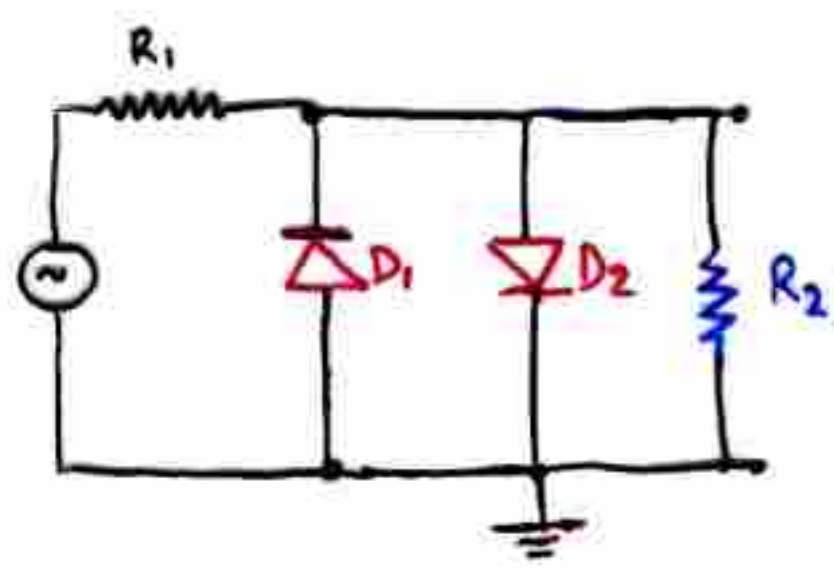


Εξόδος στα άκρα της διόδου

Εάν  $U_i < 0.7V$  δι, D2 σε ανοικτή  $\Rightarrow U_o = U_i$   
Για  $U_i > 0.7V \Rightarrow U_o = V_D$

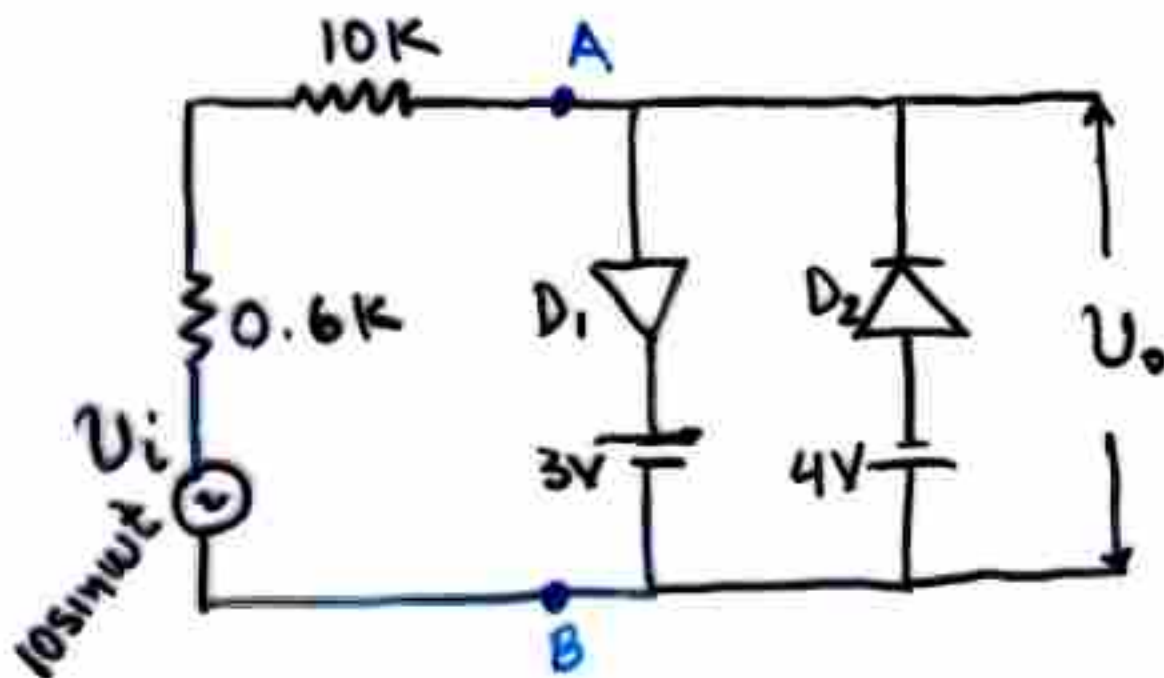


Σχ. 3.38 Διάφορα κυκλώματα περιορισμού.



Για μεγαλύτερες τάσεις μεγιστοποίηση





Διδόνται  
 $r_d = 200 \Omega$

$R_d = 500 \text{ k}\Omega$

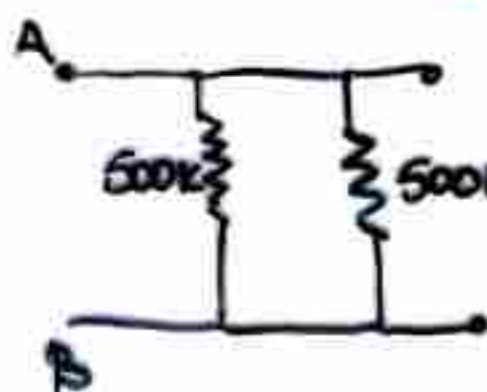
Ζητείται

$i_{\text{max}, 10 \text{ k}\Omega} =$

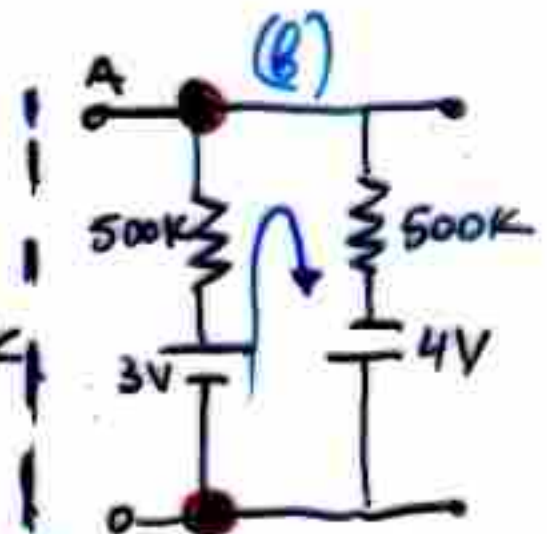
$v_o =$

a)  $-4 \text{ V} \leq 10 \sin \omega t \leq 3 \text{ V}$

$D_1, D_2$  αναστρέφονται. Βεβαιω δίδονται το Thevenin, A, B



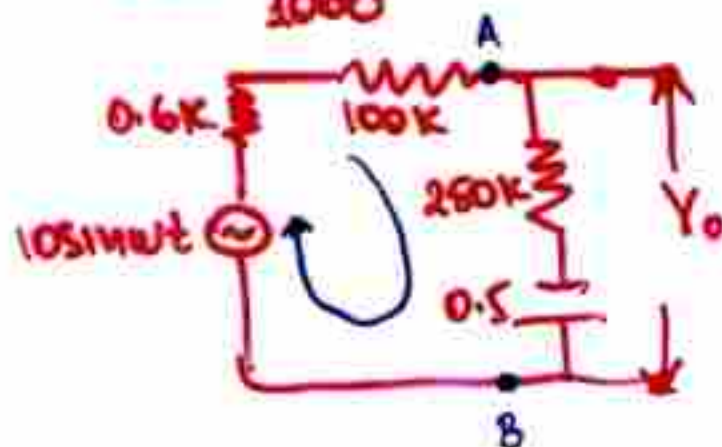
(a)  
 $R_{th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$   
 $= \frac{500 \cdot 500}{1000} = 250 \text{ k}\Omega$



$I = \frac{7}{1000} = 0,007 \text{ A}$

$V_{th} = 0,007 \cdot 500 - 3 \text{ V}$

$= 3,5 - 3 = 0,5 \text{ V}$



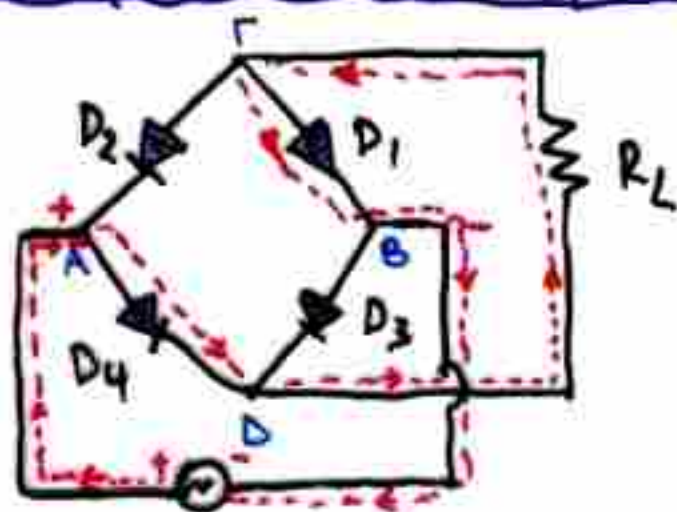
$i = \frac{0,5 + 10 \sin \omega t}{260600} \text{ A}_{\text{mp}}$

$v_o = 250000 \cdot i - 0,5 =$

$= (-0,02 + 9,59) \sin \omega t$

b)  $10 \sin \omega t > 3$   $D_1$  ορθά,  $D_2$  αναστρέφεται

## Εφαρμογή κυκλώματος με Γέφυρα



A(+), B(-) : Αγору D<sub>1</sub>, D<sub>3</sub>

A(-), B(-) : Αγору D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>

$$v_i = V_o \sin \omega t, \quad V_o = 100 \text{ V}$$

$$R_L = 60 \Omega, \quad r_D = 20 \Omega, \quad R_D = \infty$$

$$\alpha) \quad I_{DC} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i d(\omega t) \Rightarrow I_{DC} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_o \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2I_o}{\pi} \quad (1)$$

$$I_o = \frac{V_o}{R_L + r_d} \quad (2)$$

$$(1), (2) \Rightarrow I_{DC} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{V_o}{(R_L + 2r_d)}$$

$$P_{DC} = I_{DC}^2 R_L = \frac{4V_o^2}{\pi^2 (R_L + 2r_d)^2} \cdot R_L \Rightarrow P_{DC} = 24.3 \text{ Watt}$$

→ DC ισχύς στο φορτίο

### β) AC ισχύς στο φορτίο

$$P_{AC} = I_{eff} V_{eff} = \frac{V_o}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_o}{\sqrt{2}} = \frac{V_o \cdot I_o}{2} = \frac{V_o^2}{2(R_L + 2r_d)} = 50 \text{ W}$$

$$\gamma) \text{ Συνεχιστική απόδοση : } \eta = \frac{P_{DC}}{P_{AC}} = \frac{\frac{4V_o^2}{\pi^2 (R_L + 2r_d)^2} \cdot R_L}{\frac{V_o^2}{2(R_L + 2r_d)}} = \frac{8R_L}{\pi^2 (R_L + 2r_d)} = 48.6\%$$





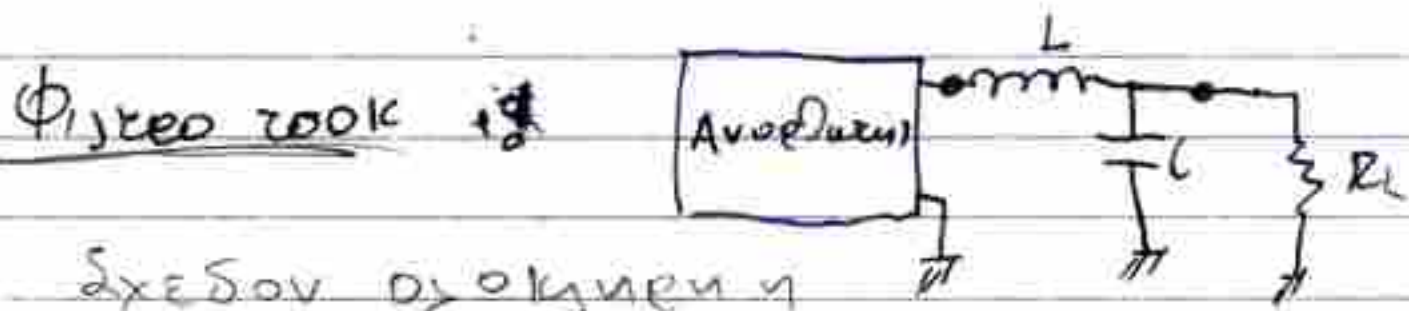
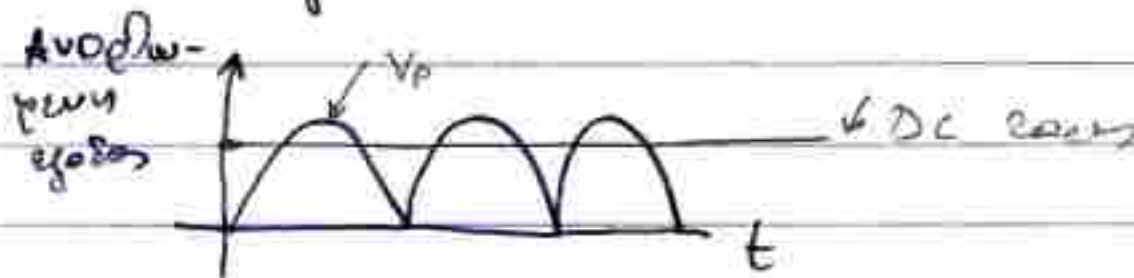
Μάθημα σ. 901

Η είσοδος ενός ανασφωρεί έχει δύο δια-  
φορετικές συνιστώσες:

α) Μια DC τάση (μέση τιμή)

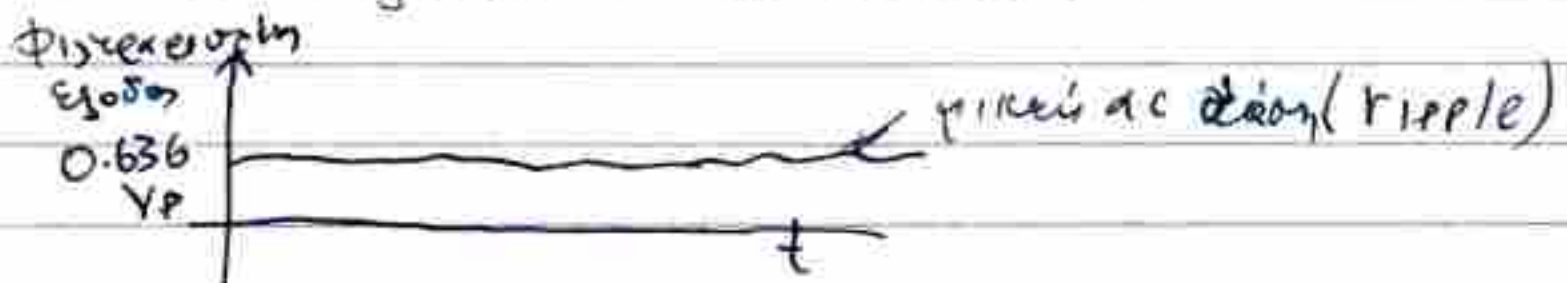
β) Μια AC τάση (πυκνότητα γέρυ)

Κάθε για πιο αντισ λείτουμε ότι τον γέρωτα  
Πηγή



Σχέδον ού ούκινει η

DC συνιστώσα πέρα από φορτίο και πέρα-  
πό δίενα η AC συνιστώσα



Διπολτικό γέρωτα τέρωδοτα  
ακνόμενα  $\approx 20 \text{ kHz}$

Μάθημα σ. 915

## ΑΝΟΡΘΩΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

Χαρακτηρ/κό Μεγ	HWR	FWR	Γέφυρα
Τάση εισόδου $V_{rms}$	$V_{2rms}$	$V_{2rms}/2$	$V_{2rms}$
Αριθμός διόδων	1	3	4
P.I.V	$V_p$	$2V_p$	$V_p$
$V_{dc}$	$V_p/\pi$	$2V_p/\pi$	$2V_p/\pi$
$I_{dc}$	$I_p/\pi$	$2I_p/\pi$	$2I_p/\pi$
$I_{rms}$	$I_p/2$	$I_p/\sqrt{2}$	$I_p/\sqrt{2}$
$V_{av}$	$V_p/2$	$V_p/\sqrt{2}$	$V_p/\sqrt{2}$
$P_{dc}$	$I_{dc}^2 \cdot R$	$I_{dc}^2 \cdot R$	$I_{dc}^2 \cdot R$
$P_{ac}$	$I_{rms}^2 \cdot R$	$I_{rms}^2 \cdot R$	$I_{rms}^2 \cdot R$
Βαθμός απόδοσης $\eta$	$\eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} = 40.6\%$	$\eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} = 81.2\%$	$\eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} = 81.2\%$
Βαθμός κυμάτωσης	1.21	0.482	0.482
Συχνότητα κυμάτωσης	$f$	$2f$	$2f$
Μέση τιμή τάσης	$V_{av} = V_{rms} \cdot 0.45$	$V_{av} = V_{rms} \cdot 0.90$	$V_{av} = V_{rms} \cdot 0.90$

Ακόμη ισχύουν οι σχέσεις :

$$I_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i d(\omega t)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i^2 d(\omega t)}$$

$$V_{rms} = \frac{\hat{V}_p}{\sqrt{2}} = 0.707V_p$$

$$V_{av} = \frac{2}{\pi} V_p = 0.637V_p$$