

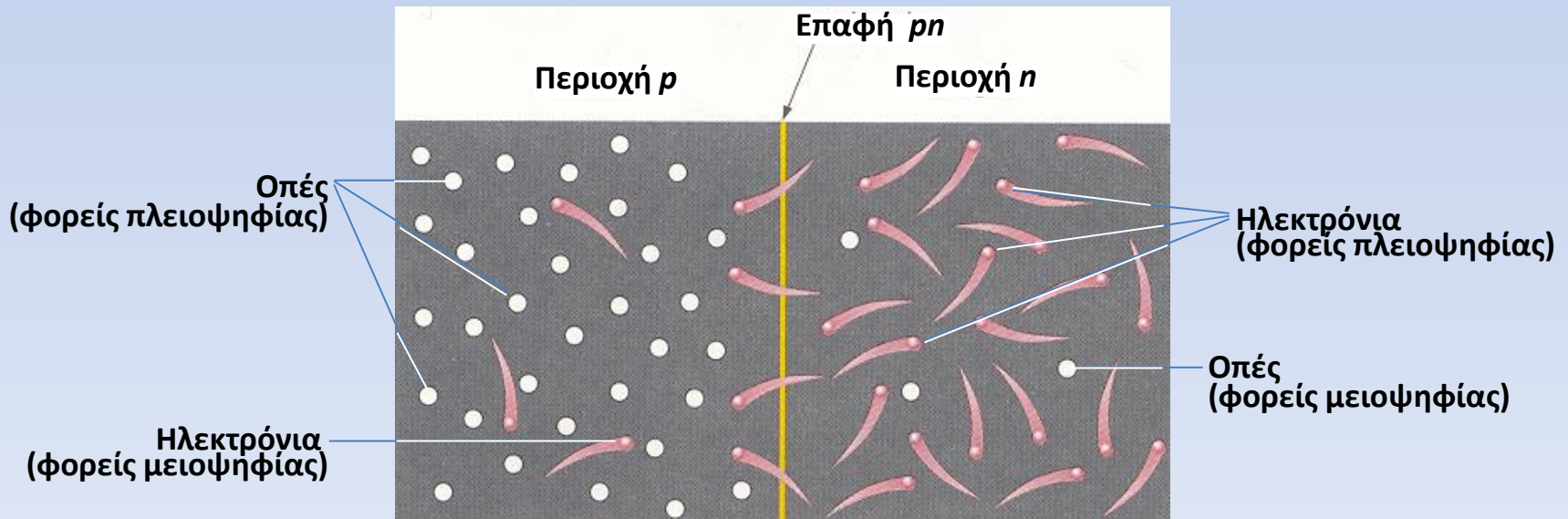
Μέρος 5^β **ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ**

- **Η ΦΩΤΟΑΓΩΓΙΜΗ ΔΙΟΔΟΣ (*)**

(*) Αντιστοιχεί στο κεφάλαιο 4, παράγραφος 4.4, του βιβλίου των Κ. Καλαϊτζάκη και Ε. Κουτρούλη “Ηλεκτρικές μετρήσεις και αισθητήρες: Αρχές λειτουργίας και σχεδιασμός των ηλεκτρονικών συστημάτων μέτρησης”

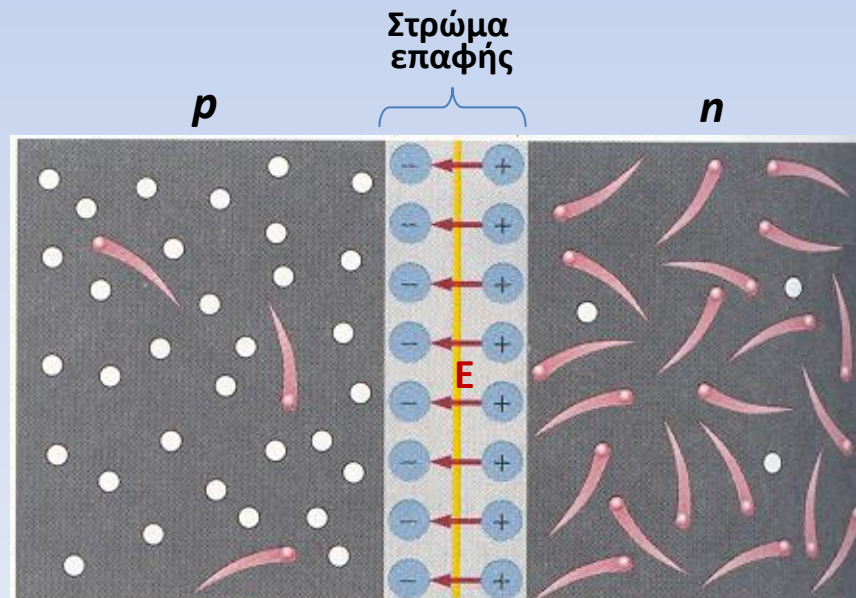
Η επαφή pn της διόδου

- Μια **δίοδος** αποτελείται από έναν ημιαγωγό (π.χ., πυρίτιο, Si) τύπου p και έναν ημιαγωγό τύπου n σε επαφή.
- Στην **περιοχή n** :
 - φορείς **πλειοψηφίας** είναι τα (ελεύθερα) **ηλεκτρόνια** (ζώνη αγωγιμότητας)
 - φορείς **μειοψηφίας** οι θετικές **οπές** (ζώνη σθένους)
- Στην **περιοχή p** :
 - φορείς **πλειοψηφίας** είναι οι **οπές**
 - φορείς **μειοψηφίας** τα **ηλεκτρόνια**.



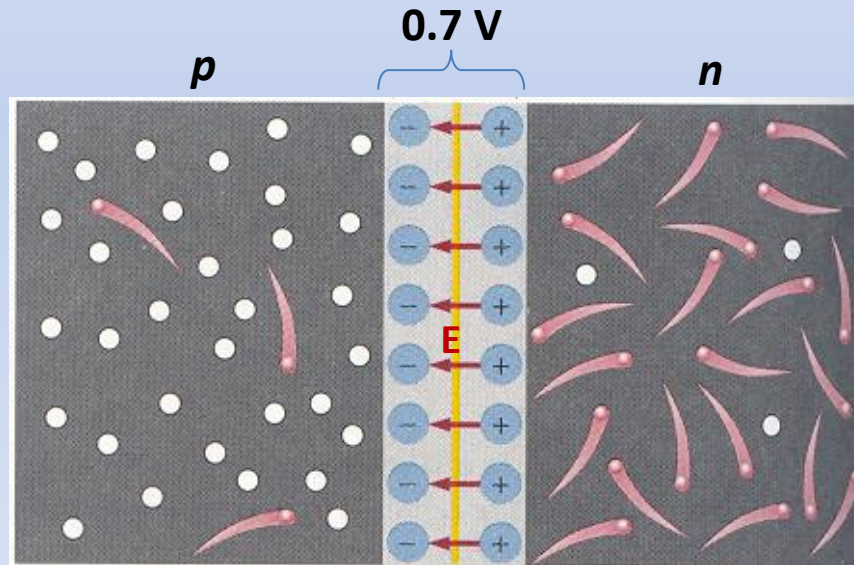
Η επαφή p της διόδου (συνέχεια)

- Λόγω διάχυσης των οπών από την περιοχή p στην περιοχή n και των ηλεκτρονίων αντίστροφα, δημιουργείται, πάνω στην επαφή p , ένα **στρώμα**
 - χωρίς φορείς φορτίου (ηλεκτρόνια ή οπές)
 - με μια πλευρά (πλευρά n) φορτισμένη θετικά (λόγω των θετικών ιόντων που άφησαν πίσω τους τα ηλεκτρόνια που διαχύθηκαν) και την άλλη (πλευρά p) αρνητικά (λόγω των αρνητικών ιόντων που άφησαν πίσω τους οι οπές που διαχύθηκαν)
 - με ηλεκτρικό πεδίο E (**πεδίο επαφής** p n)



Η επαφή *p**n* της διόδου (συνέχεια)

- Το πεδίο επαφής (junction field) E αποτρέπει την (περαιτέρω) διάχυση ηλεκτρονίων στην περιοχή p και οπών στην περιοχή n .
- Η τάση του πεδίου επαφής είναι $V = 0.7 \text{ V}$ (για διόδους πυριτίου) και ονομάζεται **φραγμός δυναμικού** (potential barrier)



Τα ρεύματα της διόδου

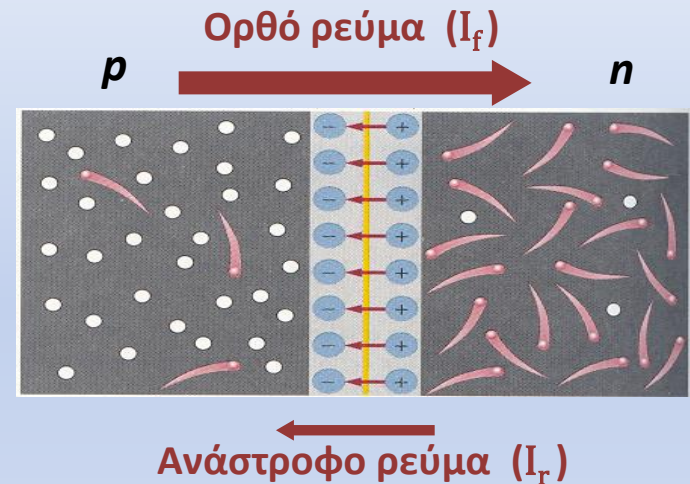
Υπάρχουν δύο ειδών ρεύματα σε μια δίοδο

- **Ορθό ρεύμα (forward current), I_f :**

- έχει διεύθυνση $p \rightarrow n$
- είναι το ρεύμα των φορέων πλειοψηφίας (ηλεκτρονίων προς την p και οπών προς την n)
- μπορεί να παρει μεγάλες τιμές

- **Ανάστροφο ρεύμα (reverse current), I_r :**

- έχει διεύθυνση $n \rightarrow p$
- είναι το ρεύμα των φορέων μειοψηφίας (ηλεκτρονα από p προς n και οπές από n προς p)
- έχει μικρές τιμές

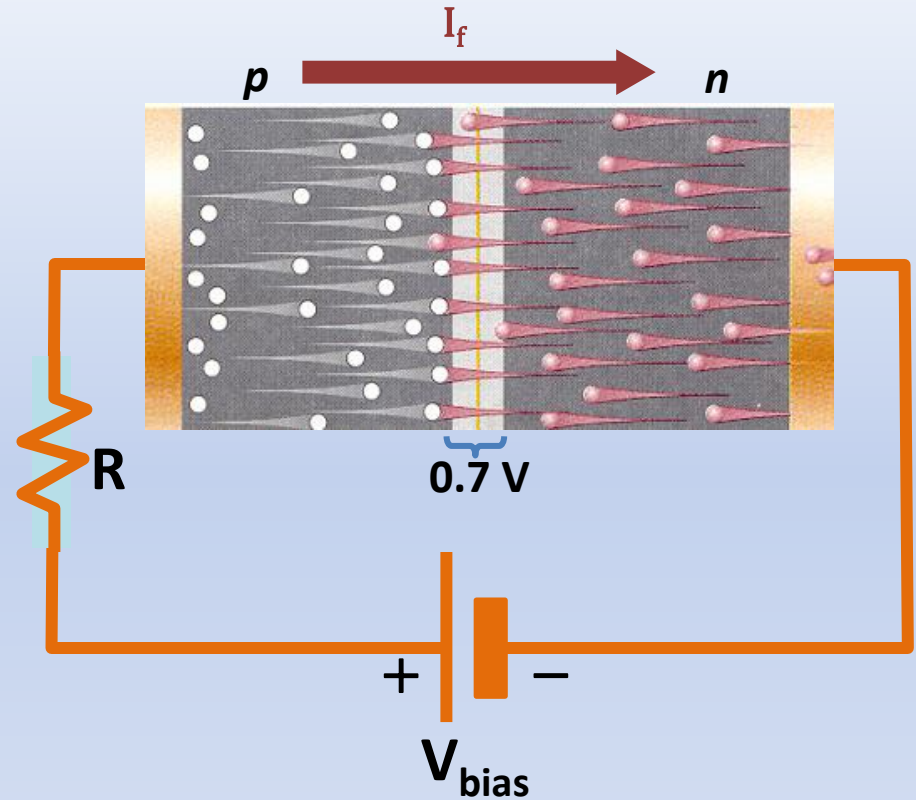


Το ορθό ρεύμα: Ορθή πόλωση της διόδου

- Ορθό ρεύμα έχουμε αν **πολώσουμε ορθά** τη δίοδο (forward bias) με τάση πόλωσης (V_{bias}) μεγαλύτερη από το φραγμό δυναμικού

$$V_{\text{bias}} \geq 0.7 \text{ V}$$

- η αντίσταση της διόδου στην ορθή φορά είναι πάρα πολύ μικρή
- το ορθό ρεύμα μπορεί να παρει πολύ μεγάλες τιμές
- χρειάζεται αντίσταση R στο κύκλωμα για να μη καταστραφεί η δίοδος.



Το ανάστροφο ρεύμα: Ανάστροφη πόλωση της διόδου

Αν πολώσουμε ανάστροφα τη δίοδο (reverse or negative bias), υπάρχει πάντα ένα **ανάστροφο ρεύμα**, I_r ,

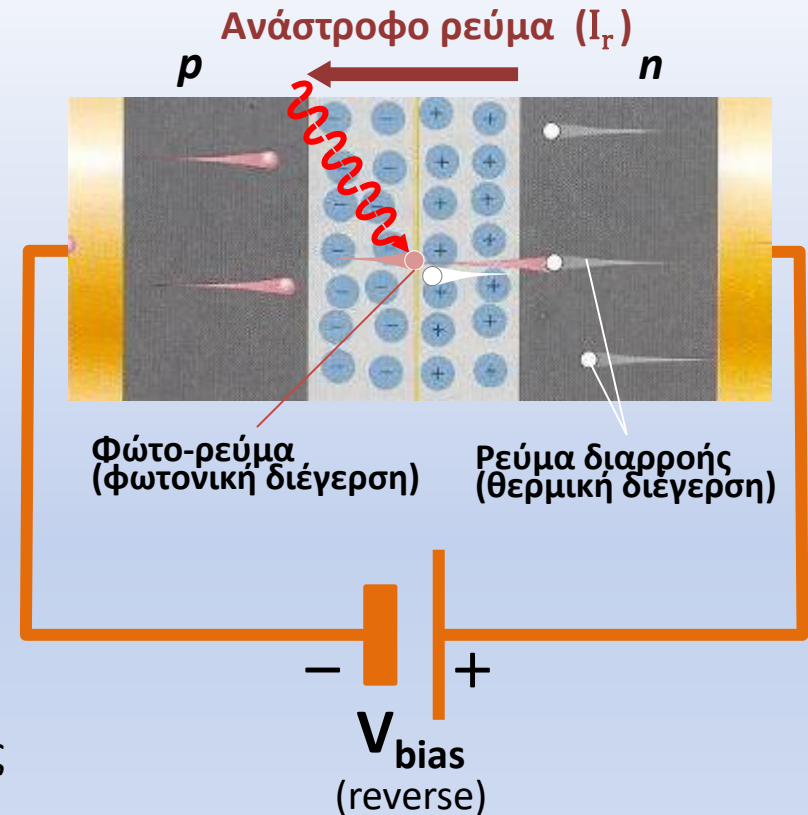
$$I_r = I_0 + I_L$$

I_0 είναι το **ρεύμα διαρροής (reverse leakage current)**,

- οφείλεται στα ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών που δημιουργούνται λόγω θερμικής διέγερσης
- εξαρτάται από τη θερμοκρασία και είναι σχεδόν ανεξάρτητο της ανάστροφης τάσης πόλωσης V_{bias}

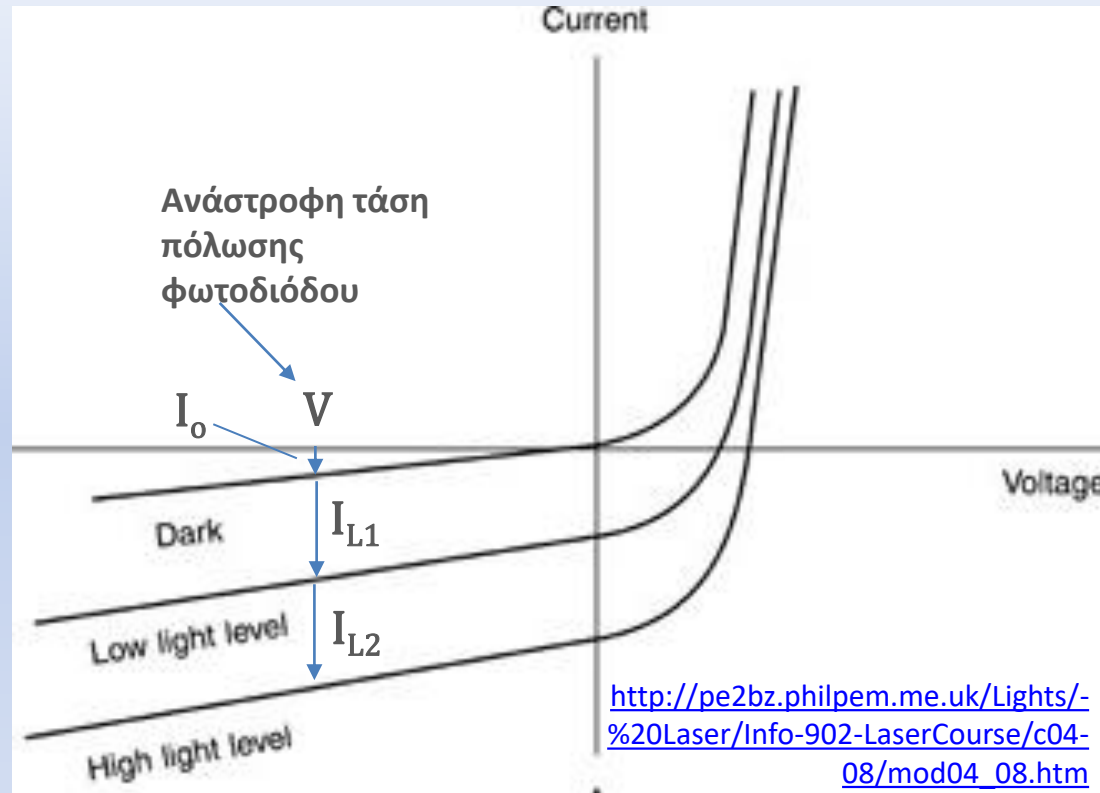
I_L είναι το **φωτο-ρεύμα (light current)**,

- οφείλεται στα ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών που δημιουργούνται λόγω της πρόσπτωσης φωτονίων στην περιοχή της επαφής



Χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος-τάσης φωτοδιόδου

Απόκριση τάση-ρεύματος της φωτοδιόδου



Ανάλογα με το φωτισμό (light level), η χαρακτηριστική καμπύλη σκότους (dark) της φωτοδιόδου μετατοπίζεται συνολικά προς τα κάτω κατά την τιμή του φωτορεύματος I_L

Αποκρισιμότητα ή απόδοση της φωτοδιόδου

Αν Φ είναι η φωτεινή ισχύς (σε Watt) μονοχρωματικού φωτός, συχνότητας f που πέφτει στη φωτοδίοδο, ο αριθμός των ηλεκτρονίων που παράγονται ανά sec είναι

$$\eta \frac{\Phi}{hf}$$

όπου, η είναι η κβαντική απόδοση της φωτοδιόδου (παράγων που εξαρτάται από το υλικό της φωτοδιόδου)

Η ένταση του φωτο-ρεύματος θα είναι

$$I_L = e\eta \frac{\Phi}{hf}$$

Συμπέρασμα: Η **αποκρισιμότητα (responsivity)** ή απόδοση της φωτοδιόδου, δηλαδή, ο λόγος ρεύμα/φωτισμό, είναι

$$\frac{e\eta}{hf} \left(\text{σε } \frac{\text{A}}{\text{W}} \right)$$

και έχει τιμή περίπου **0.1 A/W** για μήκος κύματος φωτός γύρω στο 1 μm

Εργαστηριακή άσκηση 10^η

Η ημιαγώγιμη φωτοδίοδος

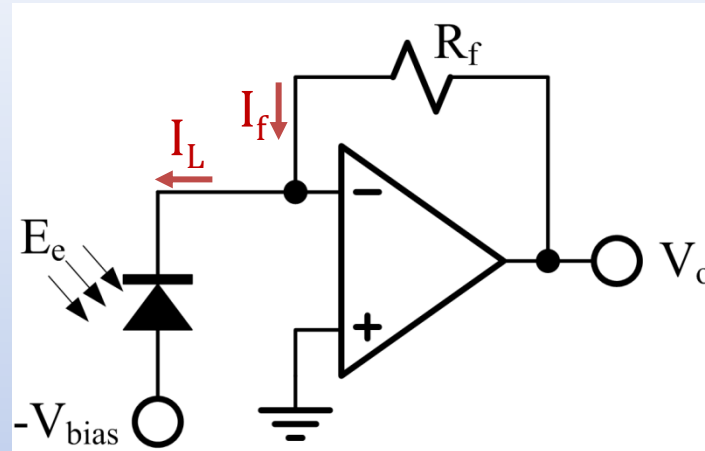
ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

- Να παρατηρούμε την επίδραση του προσπίπτοντος φωτός στη συμπεριφορά της φωτοδίοδου.
- Να κατανοήσουμε τον όρο 'ανάστροφο ρεύμα διαρροής'.
- Να μετρήσουμε την απόκριση στο φωτισμό και τα πολικά χαρακτηριστικά της ημιαγώγιμης φωτοδίοδου

ΤΑ ΜΕΡΗ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

1. Η Ανάστροφη Χαρακτηριστική Καμπύλη της Φωτοδίοδου
2. Η Γραμμή Φορτίου της Φωτοδίοδου
3. Τα Πολικά Χαρακτηριστικά της Φωτοδίοδου

Μέρος 1: Η Ανάστροφη Χαρακτηριστική Καμπύλη της Φωτοδιόδου – Το κύκλωμα

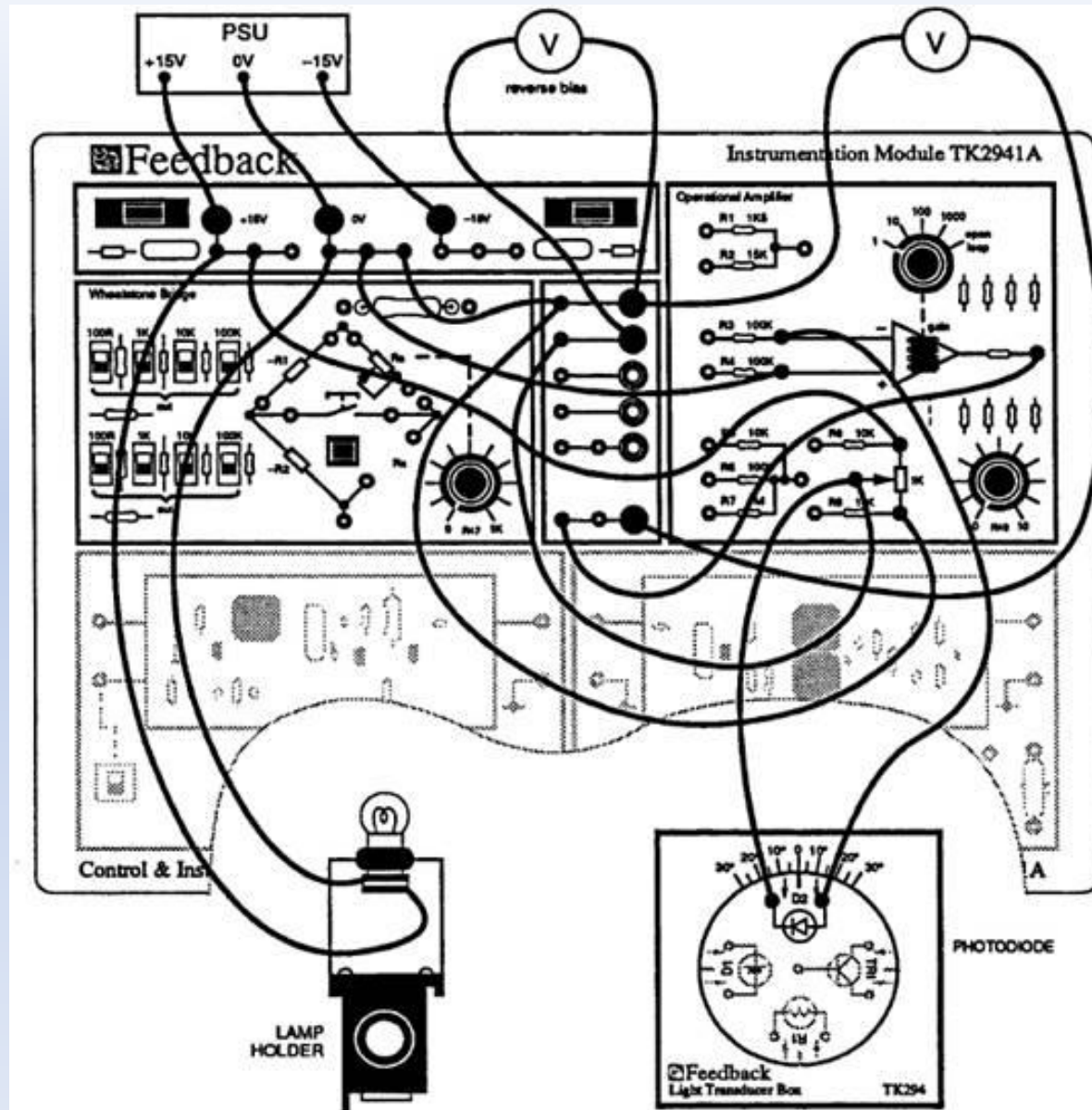


$$I_L = I_f = \frac{V_o}{R_f}$$

Γνωρίζοντας την R_f (σύμφωνα με τον Πίνακα παρακάτω) και μετρώντας την V_o , μπορούμε να υπολογίσουμε το ρεύμα I_L της φωτοδιόδου

Ενίσχυση (gain)	R_f
1	100 k Ω
10	1 M Ω
100	10 M Ω

Μέρος 1: Η Ανάστροφη Χαρακτηριστική Καμπύλη της Φωτοδιόδου – Η συνδεσμολογία



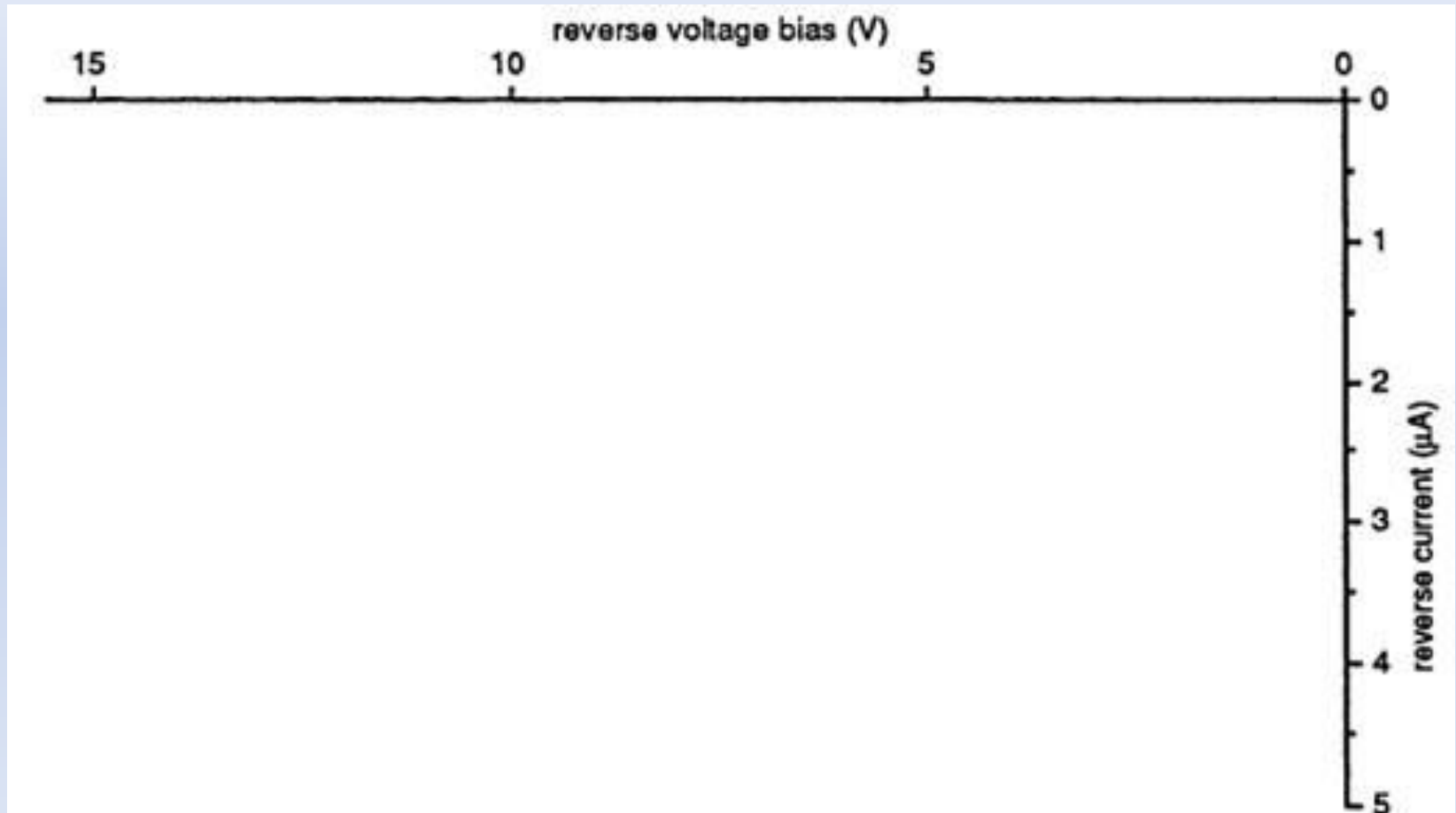
Μέρος 1: Η Ανάστροφη Χαρακτηριστική Καμπύλη της Φωτοδιόδου – Εκτέλεση των μετρήσεων

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.26.7

Αναστροφή πόλωση (V)	Ανάστροφό ρεύμα (μA) για τιμές Σχετικής Φωτεινότητας (%)					
	100	80	60	40	25	10
0						
-1						
-2						
-5						
-10						
-15						

Μέρος 1: Η Ανάστροφη Χαρακτηριστική Καμπύλη της Φωτοδιόδου – Εκτέλεση των μετρήσεων (συνέχεια)

ΕΙΚΟΝΑ 6.26.8



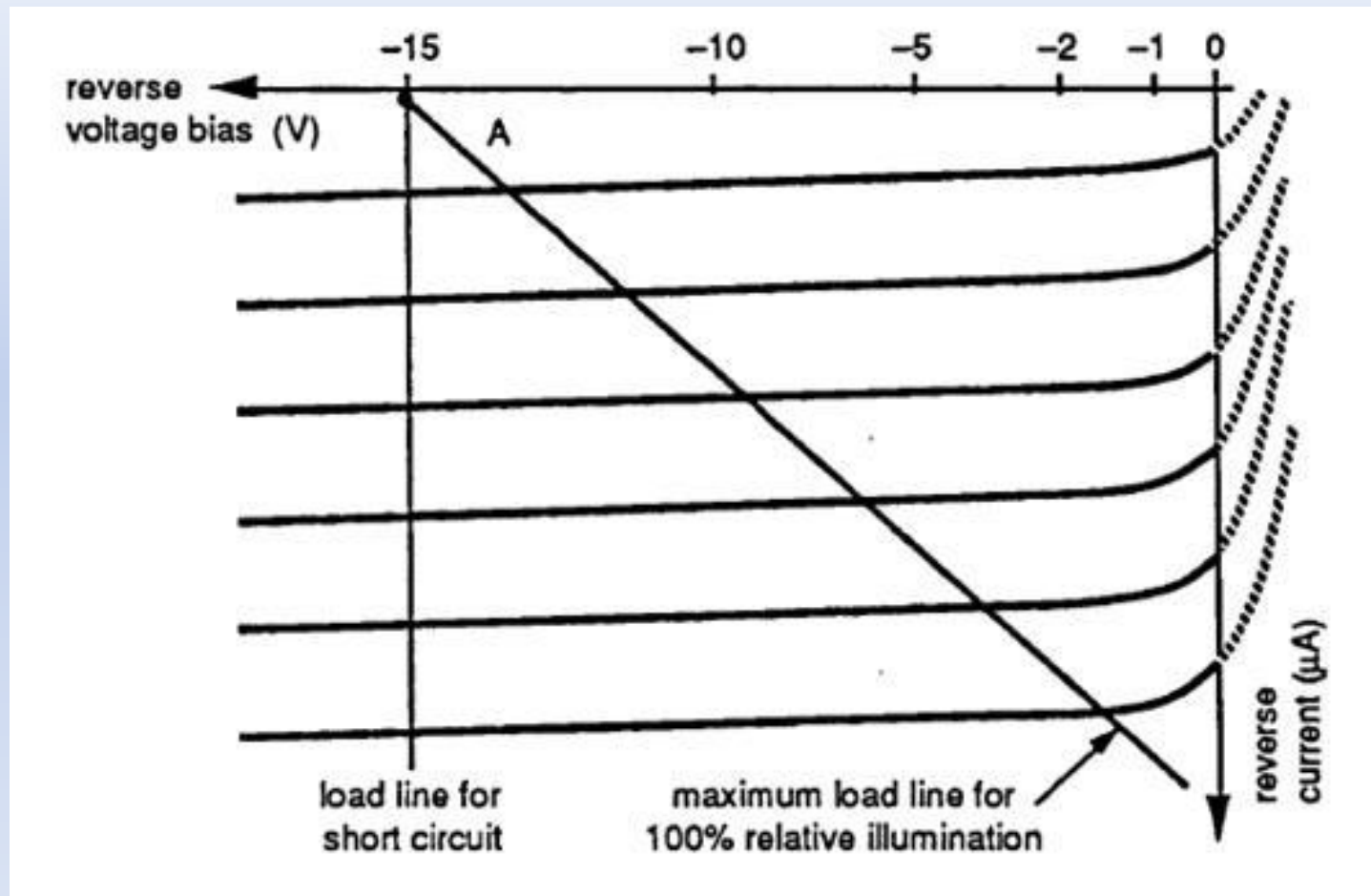
Μέρος 2: Η Γραμμή Φορτίου της Φωτοδιόδου – Εκτέλεση των μετρήσεων

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.26.9

Σχετική Φωτεινότητα (%)	Θέση (mm)	Ρεύμα (μΑ)
100		
90		
80		
70		
60		
50		
40		
30		
25		
20		
10		

Μέρος 2: Η Γραμμή Φορτίου της Φωτοδιόδου – Χάραξη της γραμμής φορτίου

ΕΙΚΟΝΑ 6.26.10



Μέρος 3: Τα Πολικά Χαρακτηριστικά της Φωτοδιόδου – Εκτέλεση των μετρήσεων

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.26.11

Γωνία (°)	Ρεύμα (μΑ)
30 ACW	
25	
20	
15	
10	
5	
0	
5 CW	
10	
15	
20	
25	
30	