



ΗΜΙΑΓΩΓΑ ΥΛΙΚΑ: ΘΕΩΡΙΑ-ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

Μέρος 2^ο: Αρχές λειτουργίας των ημιαγωγικών διατάξεων
Ενότητα 13^η: Διάτρηση επαφής. Μη ιδανική δίοδος.

Γεώργιος Λιτσαρδάκης
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
& Μηχανικών Υπολογιστών



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





13. Διάτρηση επαφής. Μη ιδανική δίοδος.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

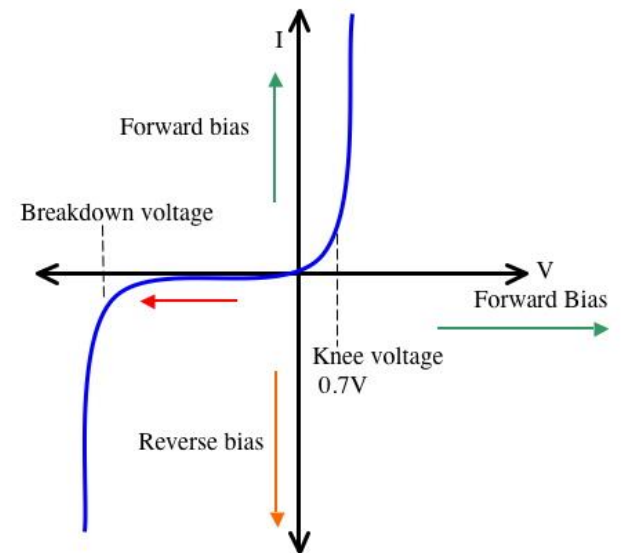
Περιεχόμενα ενότητας

1. Φαινόμενο σήραγγας, φαινόμενο χιονοστοιβάδας.
2. Αποκλίσεις από την ιδανική συμπεριφορά.
3. Χωρητικότητα, μεταβατικά φαινόμενα.



Διάτρηση επαφής

- Αντιστρεπτή, μη-καταστρεπτική* απότομη αύξηση ρεύματος σε ανάστροφη πόλωση
 - Φαινόμενο σήραγγας (zener) σε δίοδο με ισχυρές προσμίξεις (στενή ΠΦΧ)
 - Φαινόμενο χιονοστιβάδας σε μεγάλη τάση ανάστροφης πόλωσης (μεγάλη ΠΦΧ)
- (*) αν το ρεύμα περιορίζεται από το εξωτερικό κύκλωμα

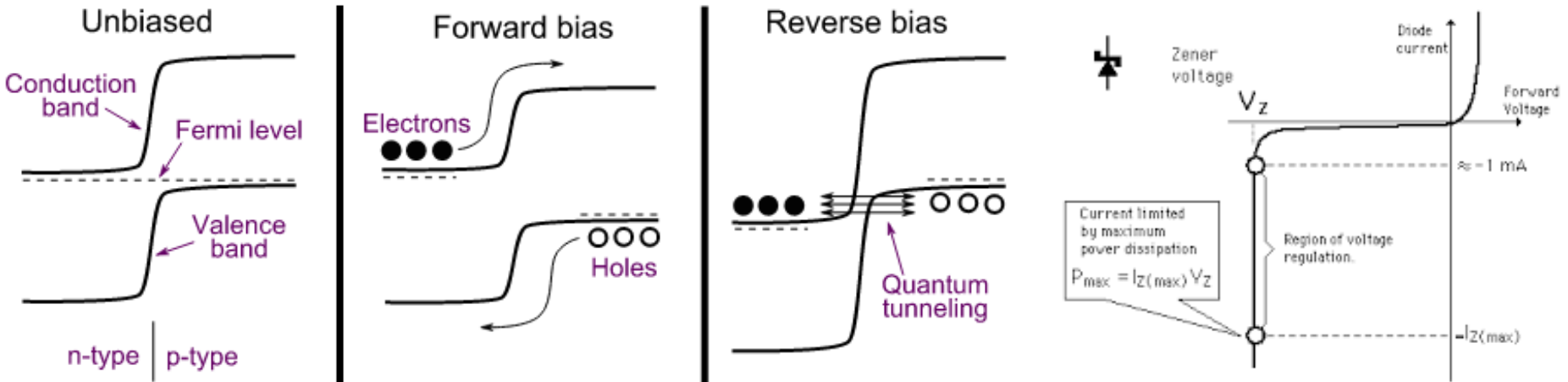


Πηγή:

http://www.amateur-radio-wiki.net/images/7/79/Vk4yeh_diode_graph.jpg
http://www.amateur-radio-wiki.net/index.php?title=File:Vk4yeh_diode_graph.jpg



Φαινόμενο σήραγγας (zener)



Πηγή:

<https://www.physicsforums.com/threads/zener-breakdown-vs-avalanche-breakdown.507984/>
<https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTHT5p5Cjo62vX-YP6mDKjKyxz6FOriC9ZJST4G5mPbYkh3KX6Rw>

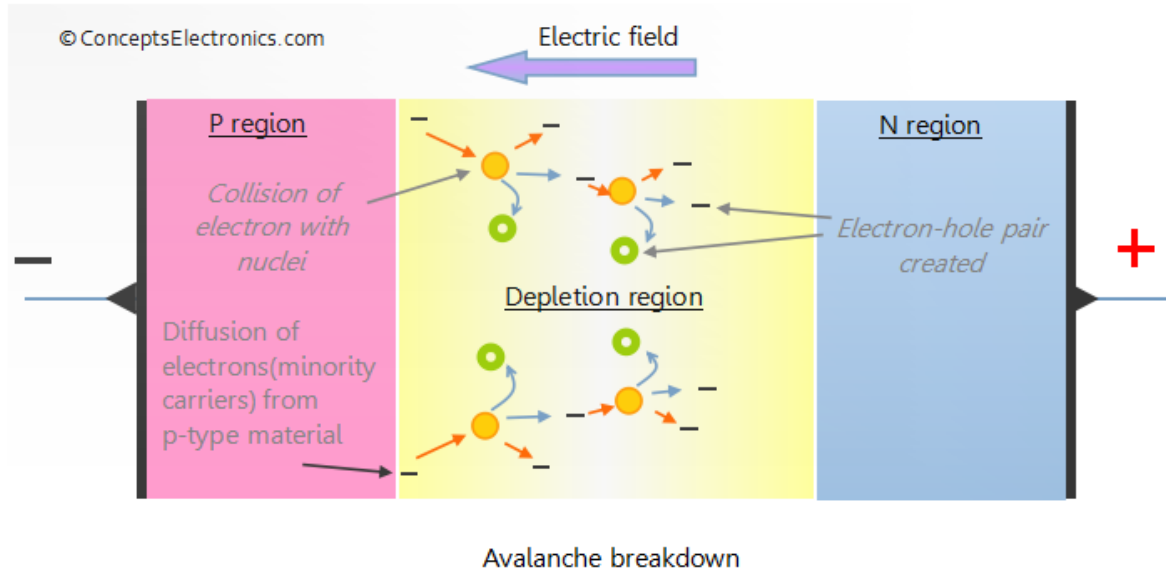
Πηγή:

<https://www.physicsforums.com/threads/zener-breakdown-vs-avalanche-breakdown.507984/>
<https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTHT5p5Cjo62vX-YP6mDKjKyxz6FOriC9ZJST4G5mPbYkh3KX6Rw>

$$W < 10 \text{ nm}, \quad \mathcal{E} > 10^8 \text{ V/m}, \quad V_e < -5 \text{ V}$$



Φαινόμενο χιονοστιβάδας



Πηγή:

<http://conceptselectronics.com/wp-content/uploads/2014/04/avalanche-breakdown.png>

<http://conceptselectronics.com/diodes/zener-avalanche-breakdown/>

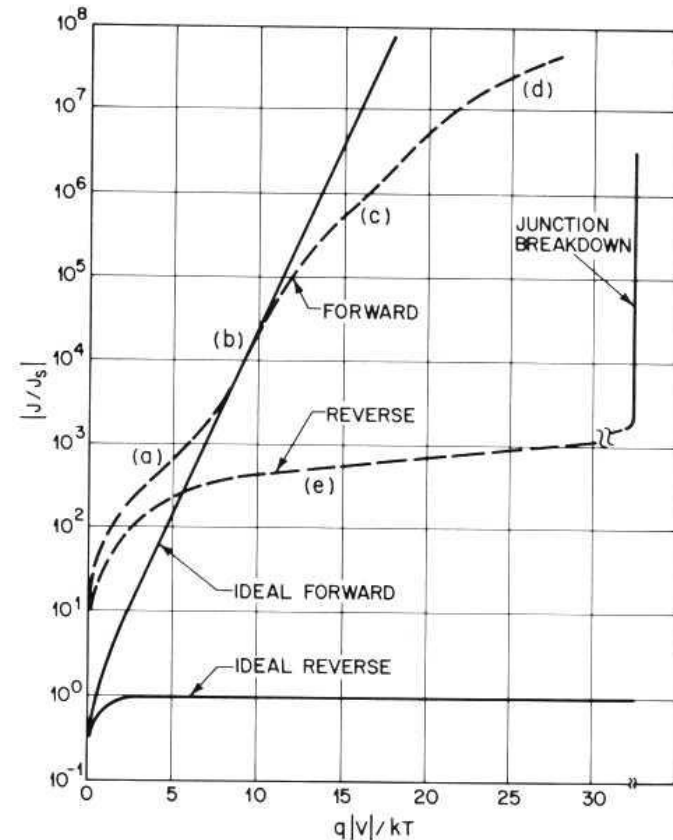
παράγοντας πολλαπλασιασμού ($m \approx 2-6$)

$$\frac{n_{in}}{n_{out}} \equiv M = \frac{1}{1 - (V_r / V_{br})^m}$$



Αποκλίσεις από την ιδανική συμπεριφορά

- (a) φαινόμενα γένεσης-ανασύνδεσης,
- (b) κανονικό ρεύμα διάχυσης,
- (c) υψηλή έγχυση,
- (d) ωμικές απώλειες
- (e) ανάστροφο ρεύμα διαρροής (λόγω επιφανειακών καταστάσεων)



Πηγή:

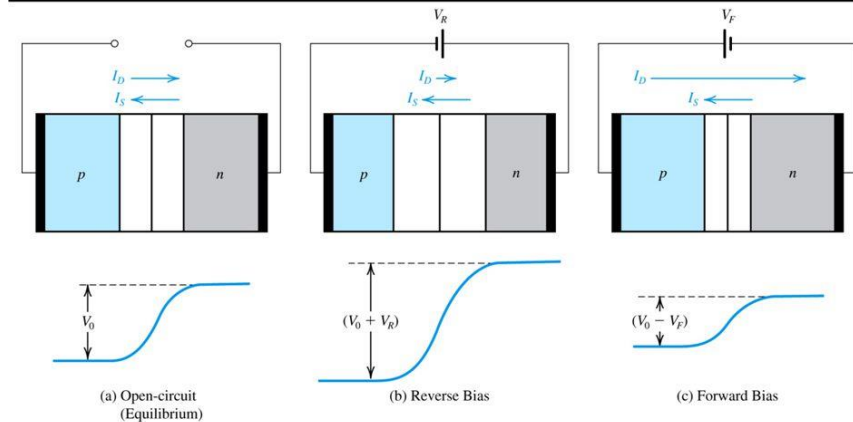
http://people.seas.harvard.edu/~jones/es154/lectures/lecture_2/diode_characteristics/iv_charac_re_al.jpg

http://people.seas.harvard.edu/~jones/es154/lectures/lecture_2/diode_characteristics/diode_characteristics.html

χωρητικότητα της επαφής

pn junction: modes of operation

60



- (a) **Open-circuit:** voltage drop across depletion region = V_0 , $I_D = I_S$
- (b) **Reverse bias:** voltage drop across depletion region = $V_0 + V_R$, $I_D < I_S$
- (c) **Forward bias:** voltage drop across depletion region = $V_0 - V_F$, $I_D > I_S$

WEBER STATE UNIVERSITY

EE 3110 Microelectronics I

Suketu Naik

Πηγή:

http://images.slideplayer.com/15/4784287/slides/slide_60.jpg

<http://slideplayer.com/slide/4784287/>

- $C_j = dQ/dV$

$$C_j = A \sqrt{\frac{\epsilon e}{2V} \cdot \frac{N_A N_D}{N_A + N_D}} = \frac{A \epsilon}{W}$$



Μεταβατικά φαινόμενα – χωρητικότητα αποθηκευμένου φορτίου

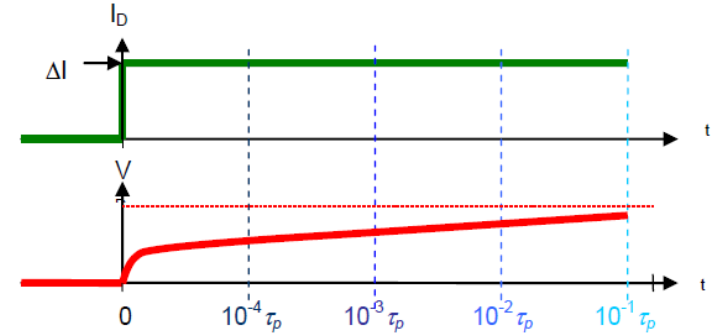
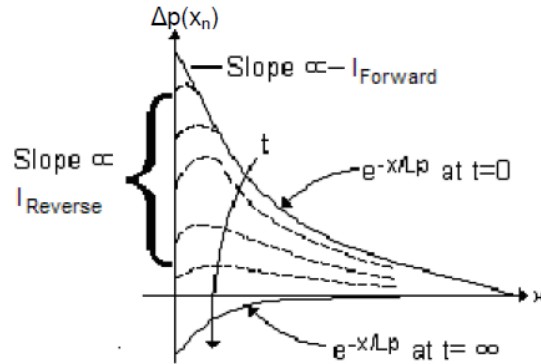


Figure 10. Changes in the excess charge carrier distribution over time. Note the positive slopes near the edge of the depletion region.

Πηγή:

<http://www.utdallas.edu/~mtinker/EE3110/ElectronicDevicesLaboratory/LabManuals/6.%20Transient%20Signals%20of%20PN%20Junction%20Diodes.pdf>

Πηγή:

<http://www.utdallas.edu/~mtinker/EE3110/ElectronicDevicesLaboratory/LabManuals/6.%20Transient%20Signals%20of%20PN%20Junction%20Diodes.pdf>

- "αποθηκευμένο" φορτίο στην επαφή
- Χωρητικότητα $C_s \approx eI\tau_p/kT$
- Υψηλό ανάστροφο ρεύμα
- Περιορίζεται η ταχύτητα εναλλαγής της πολικότητας

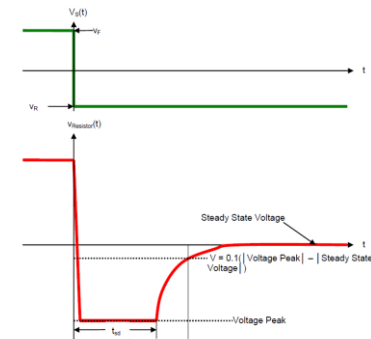


Figure 11. A reverse recovery transient of a diode. Note the time period of each delay on the time axis.

Πηγή:

<http://www.utdallas.edu/~mtinker/EE3110/ElectronicDevicesLaboratory/LabManuals/6.%20Transient%20Signals%20of%20PN%20Junction%20Diodes.pdf>



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Λιτσαρδάκης Γεώργιος.
«Ημιαγωγά Υλικά: Θεωρία – Διατάξεις» Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2015.
Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
<http://eclass.auth.gr/courses/OCRS463>.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Παρόμοια Διανομή [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Καρανάσιος Νικόλαος
Θεσσαλονίκη, 2015



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ