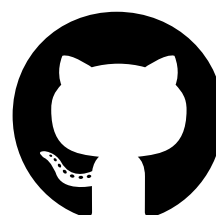
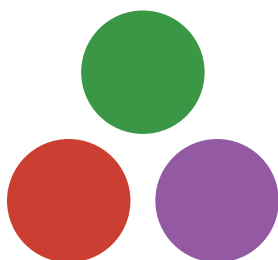


22/05/2025
Χαιδελβέργη,
Γερμανία

Αστέριος
Καλογήρου
ΑΕΜ : 15473

Εισαγωγή

Όπως και στο προηγούμενο σετ ασκήσεων έτσι και σε αυτό χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού **Julia** και για την γραφή της εργασίας χρησιμοποιήθηκε ένα “custom template” του **Typst** το οποίο είναι ένα καινούργιο εργαλείο εναλλακτικό της **LaTeX**. Ο κώδικας της **Julia** όπως και του **Typst** βρίσκονται στο λινκ : <https://github.com/Askalogi/Fysikh-kai-Texnologia-Imiagwgn>.



1) ΕΡΩΤΗΣΗ :

- Για την πρώτη ερώτηση πρώτα υπολογίστηκαν τα $\ln(I)$ με τα δεδομένα που δίνονται από το excel. Με τα υπολογισμένα δεδομένα κατασκευάστηκε το εξής γραφήμα :

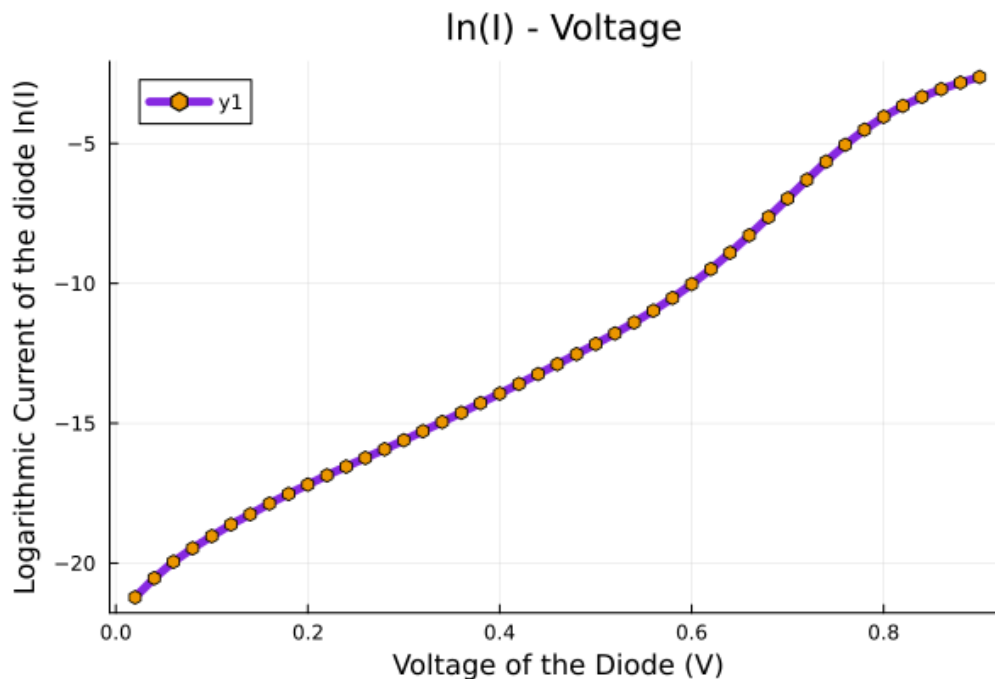


Figure 2: $\ln(I)$ - V

- Εγώ παρατήρησα κάποιες γραμμικές περιοχές στο γραφήμα συγκεκριμένα στις τάσεις 0.18 V με 0.28 V για τις χαμηλές τάσεις και 0.68 V με 0.78 V για τις υψηλές τάσεις.
- Χρησιμοποίησα την γραμμική παλινδρομηση για αυτές τις τιμές και στις δύο περιοχές για τον υπολογισμό των I_s και n .
- Για την περιοχή με τις μεγάλες τάσεις πέρα από την αρχική προσέγγιση, χρησιμοποίησα και την “διορθωμένη” τάση $V_{\text{corr}} = V - I * R_s$ με την επιδραση μια αντιστάσεως σε σειρά $R_s = 1\Omega$ άρα υπάρχουν δύο προσεγγίσεις για την περιοχή με τις υψηλές τάσεις.
- Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε είναι ο :

$$I = I_s * \exp\left(\frac{q * V}{n * k * T} - 1\right) \quad (1)$$

Φυσικά για την περιοχή με $V > 0.7V$ πήρα την προσέγγιση $I = I_s * \exp\left(\frac{q * V}{n * k * T}\right)$ τον οποίο λογαριθμήσα και βρήκα $\ln(I) = \ln(I_s) + \frac{q * V}{n * k * T}$ ο οποίος έχει την μορφή $y = \alpha * x + \beta$ με κλίση :

$$\alpha = \frac{q}{n * k * T} \quad (2)$$

οπου
 $T = 300[K]$

$k = 1.38e - 23 [\frac{J}{K}]$

$q = 1.6e - 19 [C]$

και n αγνωστος.

και τομή :

$$\beta = \ln(I_s) \quad (3)$$

με I_s ρευμα κορου αντιστροφης πολωσης.

- Για περιοχή με τάσεις $0.18V - 0.28V$ υπολογισα $\alpha_l = 15.806$ και $\beta_l = -20.34$ αρα χρησιμοποιωντας τους τυπους $\rightarrow 2$ και $\rightarrow 3$ υπολογιζουμε το $n = 2.44$ και το $I_s = 1.45 * 10^{-9} [A]$ κανονικα επρεπε να εχουμε $n \sim 2$
- Για περιοχή με τάσεις $0.68V - 0.78V$ υπολογισα $\alpha_l = 30.84$ και $\beta_l = -28.51$ αρα χρησιμοποιωντας τους τυπους $\rightarrow 2$ και $\rightarrow 3$ υπολογιζουμε το $n = 1.25$ και το $I_s = 4.14 * 10^{-13} [A]$ κανονικα επρεπ να εχουμε $n \sim 1$

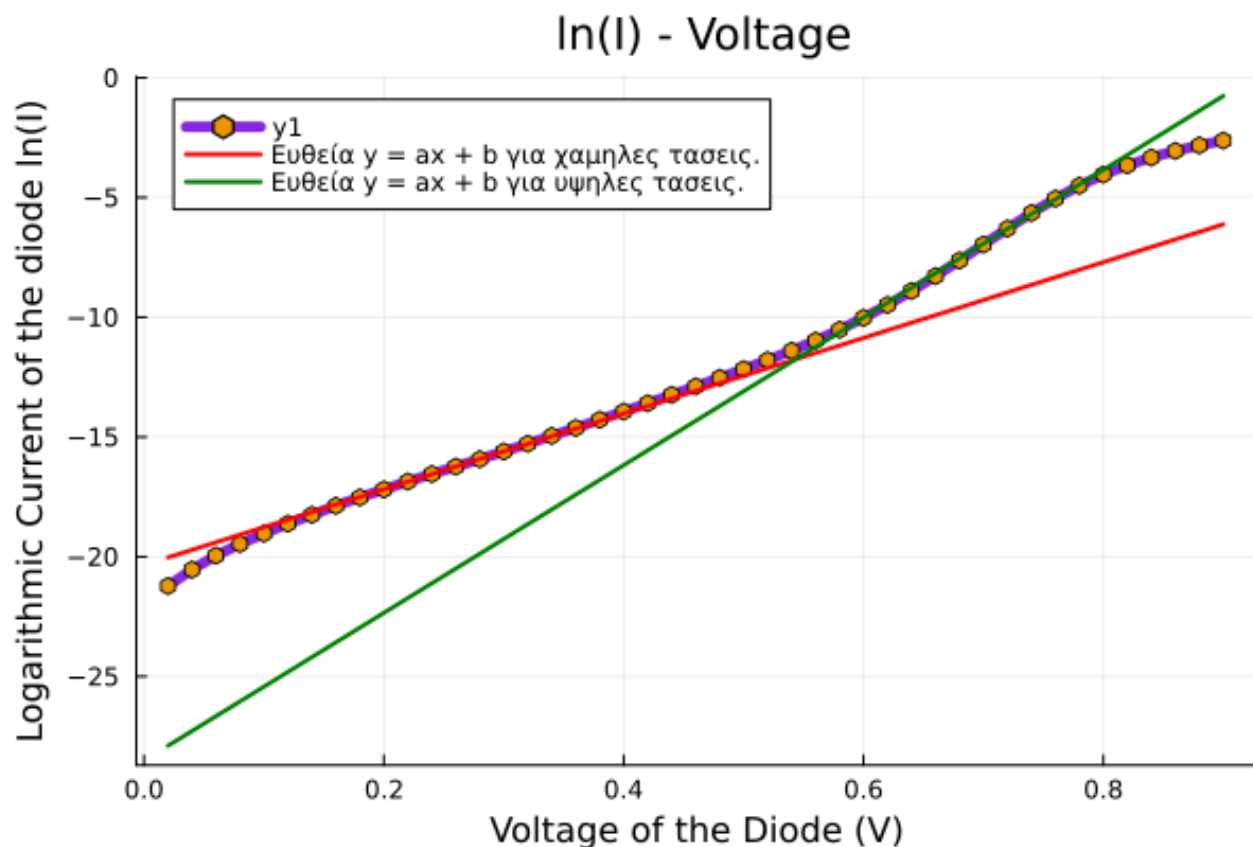


Figure 3: $\ln(I) - V$ με τις δυο ευθειες

Το αποτελεσμα φαινεται αρκετα καλο !

- Αλλά έχουμε και την προσέγγιση με την διορθωμένη τάση με την ύπαρξη μιας μικρής αντιστάσης R_s στο οποίο προκύπτει αυτό το γράφημα :

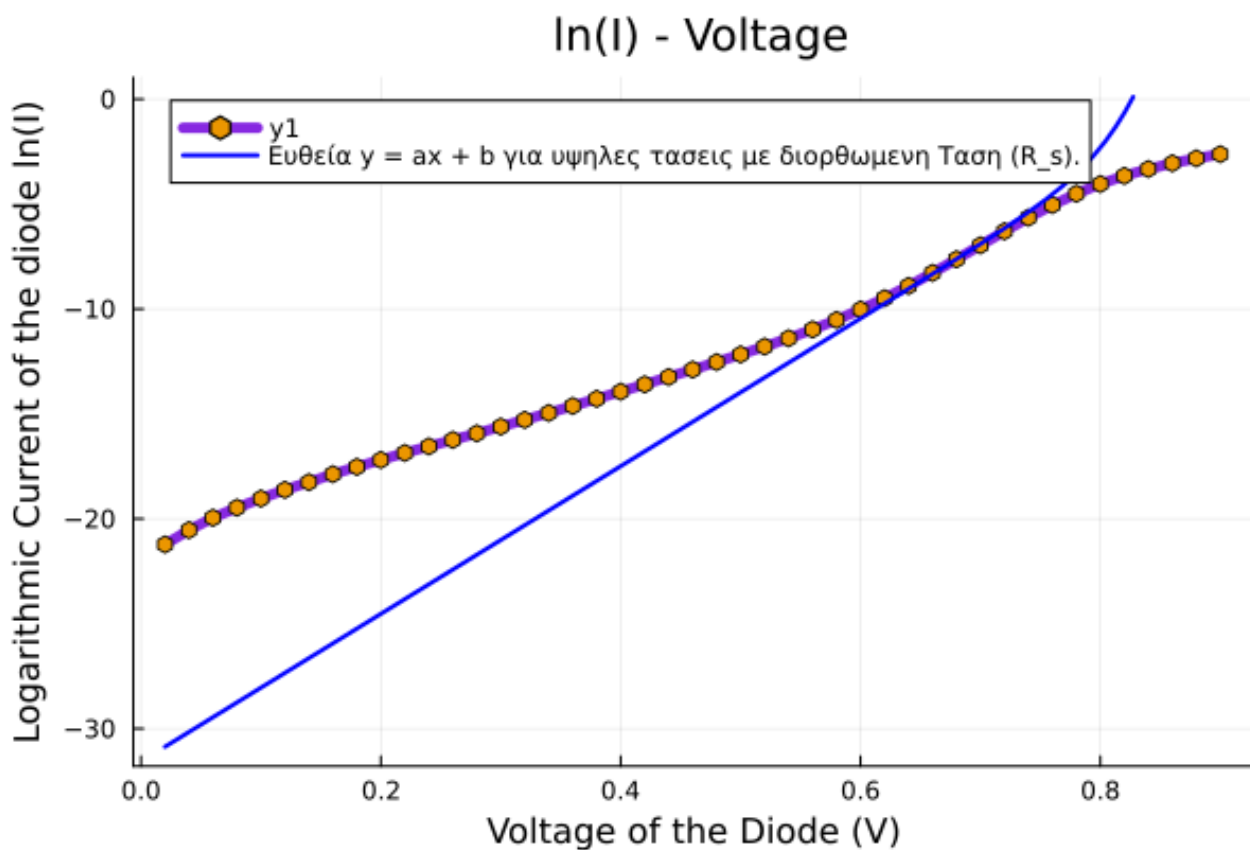


Figure 4: $\ln(I) - V$ με ευθεια διορθωμενης τασης

2) ΕΡΩΤΗΣΗ :

α) ΥποΕρώτημα :

- Για τον υπολογισμό του φραγματος δυναμικού της διόδου χρησιμοποιούμε πάλι γραμμική παλινδρόμηση με τα δεδομένα που μας δίνονται στον πίνακα. Συγκεκριμένα πρώτα υπολογίζουμε $\frac{1}{C^2}$ καθώς γνωρίζουμε τον τύπο :

$$\frac{1}{C^2} = \frac{2 * (V_{bi} - V_R)}{q * \epsilon * A^2 * N} \quad (4)$$

όπου μπορούμε να το γράψουμε με την μορφή $y = \alpha * x + \beta$ σαν : $\frac{1}{C^2} = \alpha * V_R + \beta$ με $\alpha = \frac{2}{q * \epsilon * A^2 * N}$ και $\beta = \frac{2 * V_{bi}}{q * \epsilon * A^2 * N}$ για $V_R = 0$ όπου $\epsilon = \epsilon_0 * \kappa$ και $\kappa = 12$.

Εφόσον έχουμε τα C και V υπολογίζουμε κλίση και τομή (α, β) με $\alpha = 1.13 * 10^{21}$ και $\beta = 8.31 * 10^{20}$ και τώρα υπολογίζουμε το V_{bi} με τον τύπο :

$$V_{bi} = -\frac{\beta}{\alpha} \quad (5)$$

και βρίσκουμε $V_{bi} = 0.73 \text{ eV}$ που είναι κοντά στην ενδεικτική λύση.

Διάγραμμα $1/C^2 - V_r$ με παλινδρόμηση

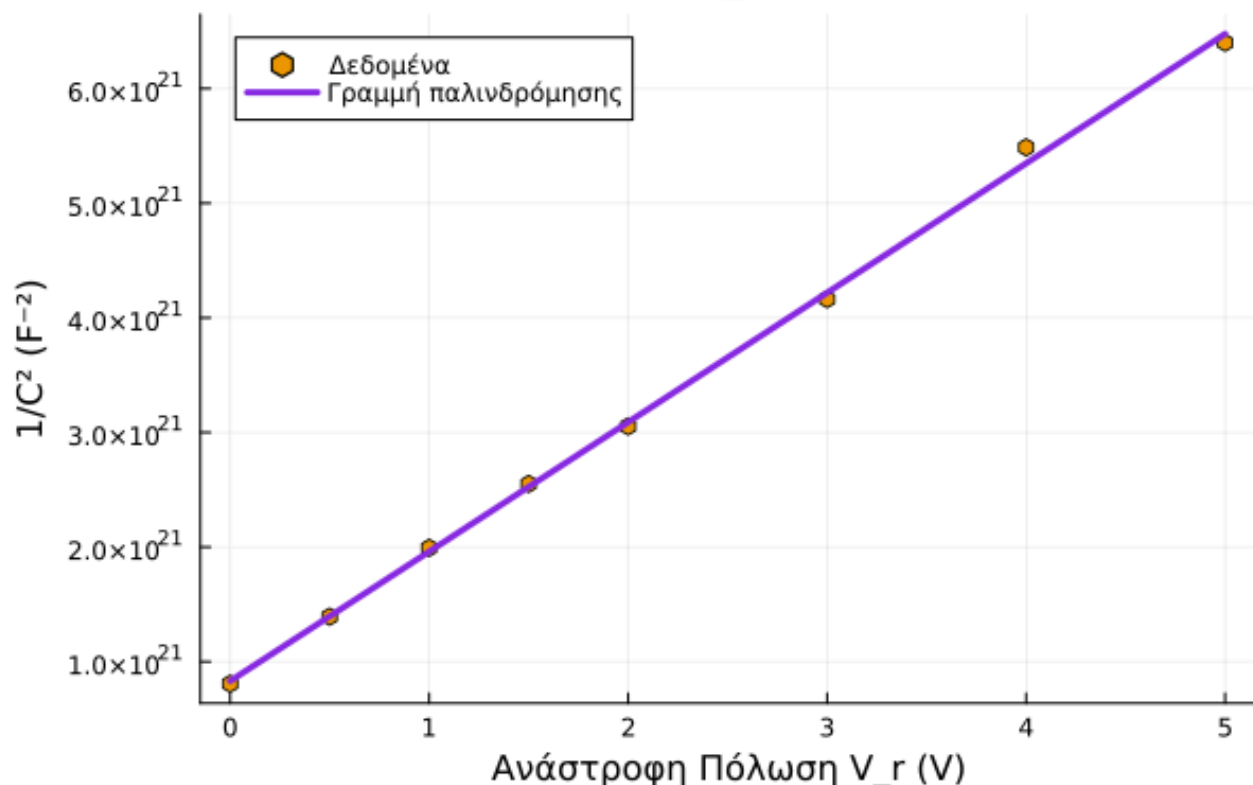


Figure 5: A ΥποΕρώτημα

β) ΥποΕρώτημα:

- Απο τον τυπο της γραμμικής παλινδρομησης συγκεκριμένα την κλίση α υπολογίζουμε το $N = 4 * 10^{15} [\text{cm}^{-3}]$

γ) ΥποΕρώτημα :

- Για τα δυο φορτια εφοσον εχουμε ιδιες προσμιξεις τα Q^+ και Q^- θα ειναι ισα κατα μετρο και αντιθετα κατα προσημο. Υπολογιζονται απο την σχεση :

$$|Q^{+/-}| = C * (V_{bi} + V_R) \quad (6)$$

$|Q|$

Φορτια σε Coulomb
-2.5914e-11
-6.3300e-12
5.90920e-12
1.51233e-11
2.28748e-11
3.50889e-11
4.40613e-11
5.32975e-11

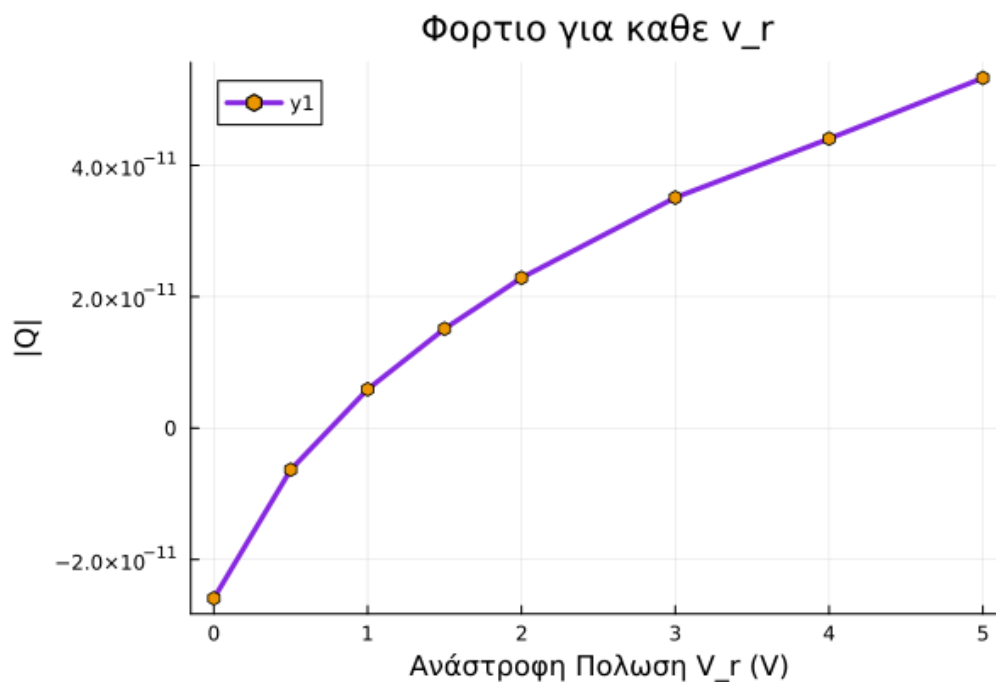


Figure 6: Γ ΥποΕρώτημα

δ) ΥποΕρώτημα :

- Για να υπολογίσουμε το E_{\max} πρέπει πρώτα να υπολογίσουμε το W δηλαδή το πλάτος περιοχής απογυμνώσης της διοδου.
- Χρησιμοποιούμε τον τυπο

$$W = \left(\varepsilon * \frac{A}{C} \right) \quad (7)$$

- Εφόσον υπολογίσουμε το W για κάθε τιμή που μας δίνεται τότε χρησιμοποιώντας τον τυπο :

$$E_{\max} = \frac{V_{bi} + V_R}{W} \quad (8)$$

E_{\max}

Μεγιστο Ηλεκτρικο Πεδιο [V/cm]
-15243.88
-3723.63
3476.07
8896.24
13456.05
20640.95
25918.93
31352.09

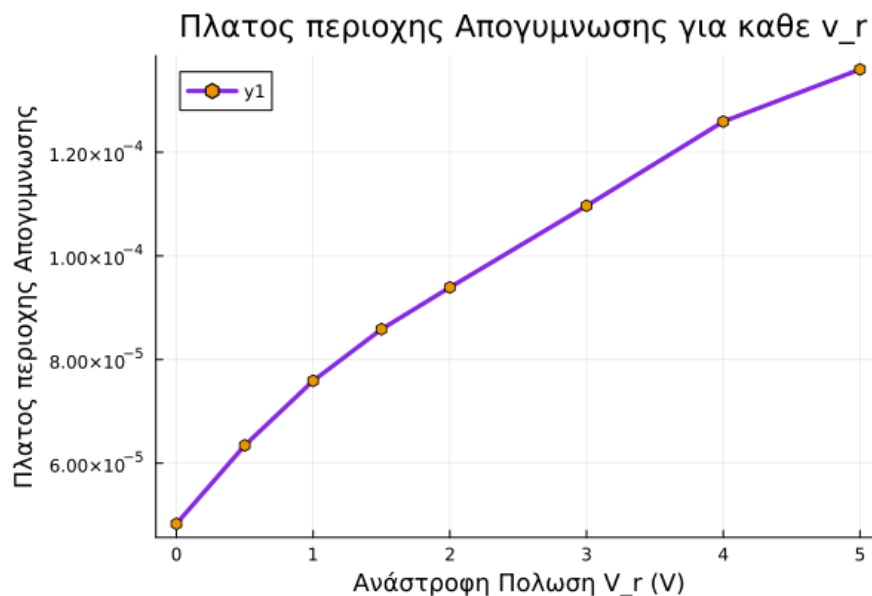


Figure 7: Δ_1 ΥποΕρώτημα

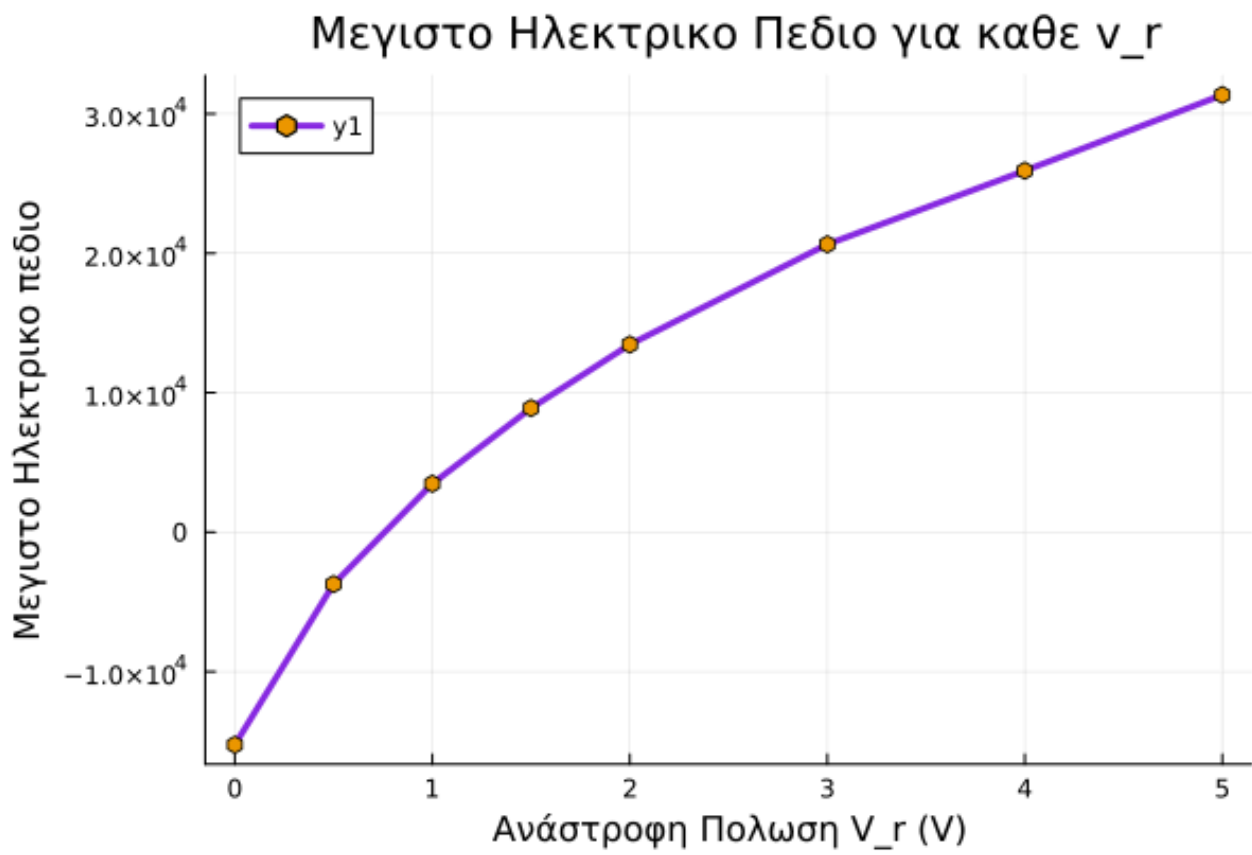


Figure 8: Δ_2 ΥποΕρώτημα

ε) ΥποΕρώτημα :

- Για τον υπολογισμό του δυναμικού στη μεταλλουργική επαφή $V_{x=0}$ για κάθε V χρησιμοποιούμε τον τύπο :

$$V_{x=0} = \frac{q * N * W}{2 * \epsilon} \quad (9)$$

και βρίσκουμε :

Δυναμικό στη Μεταλλουργική Επαφή $V_{x=0}$

$V_{x=0}$ σε Volt
-14800.65
-19439.65
-23258.16
-26312.26
-28783.58
-33611.79
-38591.31
-41678.62

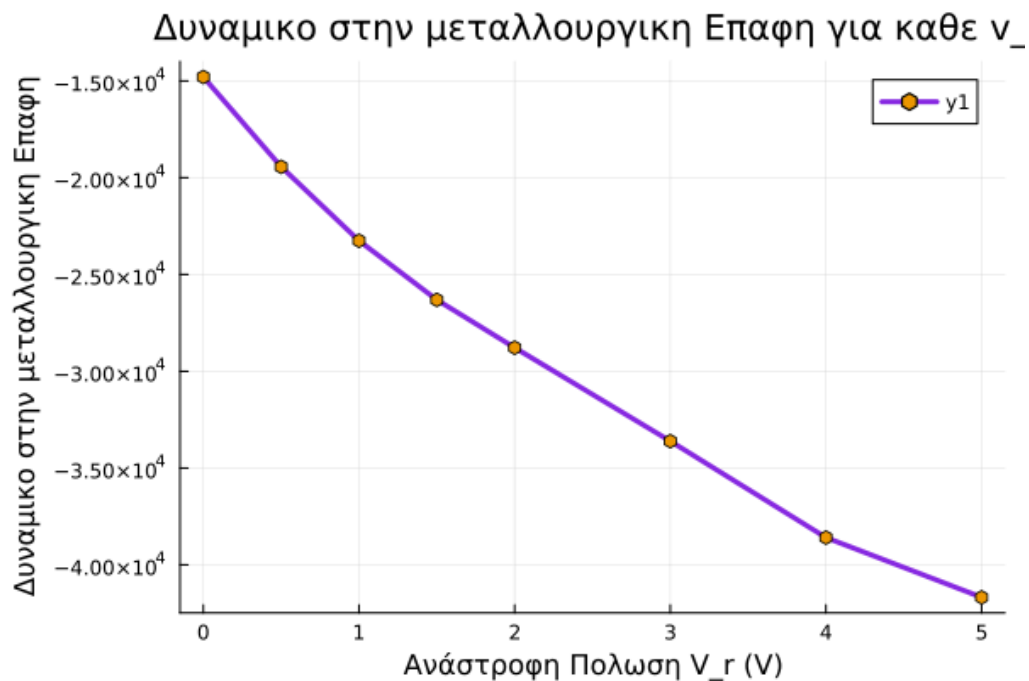


Figure 9: Ε ΥποΕρώτημα

στ) ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ? :

- Βρίσκονται το καθένα στις σελίδες με το αντιστοιχο υποερωτημα.

3) ΕΡΩΤΗΣΗ:

α) ΥποΕρώτημα:

- Απο το γραφημα που μας δινεται του οποιου η κλιμακα της χωρητικοτητας ειναι κανονικοποιημενη γνωριζουμε πως $C_0 = 8 * 10^{-12} F$ και $C_5 = 3.2 * 10^{-12} F$ δηλαδη ειναι το 40% της μεγιστης τιμης για -5 V. Γνωριζοντας αυτες τις τιμες και εφαρμοζοντας τους τυπους $\rightarrow 4$ και $\rightarrow 5$ για τον υπολογισμο των α και β και επειτα του V_{bi} οπου το υπολογισα ισο με $V_{bi} = 0.95 \text{ eV}$

β) ΥποΕρώτημα :

- Για τον υπολογισμό του επιπέδου νοθευσης στην πλευρά χαμηλής νοθευσης N_L χρησιμοποιήθηκε ο τύπος :

$$N_L = \frac{2}{q * e_s * A^2 * |a|} \quad (10)$$

Και βρήκα ότι το N_L είναι ίσο με $2.8 * 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ το οποίο είναι μια τάξη μεγέθους κάτω.

γ) ΥποΕρώτημα :

- Για τον υπολογισμό του επιπέδου νοθευσης στην πλευρά υψηλής νοθευσης N_H χρησιμοποιήθηκε ο τύπος :

$$N_H = \left(\frac{n_i^2}{N_L} \right) * \exp \left(\frac{V_{bi} * q}{k * T} \right) \quad (11)$$

οπου χρησιμοποίησα σαν δεδομένο $n_i = 1.5 * 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ για διοδο πυριτίου (Si). Το αποτέλεσμα που υπολογισα είναι $N_H = 7.76 * 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ το οποίο βγαίνει 4 τάξεις μεγεθους πανω απο την πλευρά με χαμηλη νοθευση κατι αναμενομενο.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ :

Σχεδόν όλα τα αποτελέσματα βγήκαν εντός των αναμενομένων κλιμακών εκτός της 3ης ερώτησης αλλά χωρίς ΤΕΡΑΣΤΙΕΣ αποκλίσεις αυτό ίσως να προκύπτει από τις προγραμματιστικές μου ικανότητες καθώς η **julia** είναι μια καινούργια γλώσσα που μαθαίνω.