

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ

Ηλεκτρικό ρεύμα ονομάζεται την προσανατολισμένη κίνηση ηλεκτρικών φορτίων.

Φορείς του κινούμενου φορτίου είναι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια στα μέταλλα.

Συμβατική φορά του ηλεκτρικού ρεύματος θεωρούμε την αντίθετη από τη φορά κίνησης των ηλεκτρονίων. Στους μεταλλικούς αγωγούς κινούνται μόνο ηλεκτρόνια άρα η πραγματική φορά είναι αντίθετη από τη συμβατική.

Στους ρευματοφόρους μεταλλικούς αγωγούς διακρίνουμε τρεις ταχύτητες:

- Την ταχύτητα της θερμικής κίνησης των ελευθέρων ηλεκτρονίων, η οποία διατηρείται ως συνιστώσα, και μετά την εμφάνιση ηλεκτρικού πεδίου. Είναι της τάξης των km/s.
- Την πολύ μικρή ταχύτητα με την οποία μετακινείται το ηλεκτρονικό αέριο και δημιουργείται το ηλεκτρικό ρεύμα. Το μέγεθος της είναι της τάξης του 1mm / s. Ονομάζεται ταχύτητα διολίσθησης u_d .
- Την τεράστια ταχύτητα, με την οποία διαδίδεται το ηλεκτρικό πεδίο μέσα στον αγωγό.

Υπάρχουν τρεις ομάδες φαινομένων που προκαλεί το ηλεκτρικό ρεύμα:

- **Θερμικά** π.χ. Αύξηση θερμοκρασίας των μεταλλικών αγωγών.
- **Χημικά** π.χ. Χημικές αντιδράσεις των ηλεκτρολυτών (ηλεκτρόλυση).
- **Μαγνητικά** π.χ. Αλληλεπιδράσεις ρευμάτων και μαγνητών.

Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος I ονομάζουμε το πηλίκο του φορτίου q που περνά από μία διατομή του αγωγού σε κάποιο χρόνο t προς το χρόνο αυτό.

$$I = \frac{q}{t}$$

Μετρίεται σε Ampère (A) με όργανο που ονομάζουμε αμπερόμετρο. Για τη μέτρηση της τάσης χρησιμοποιούμε το όργανο βολτόμετρο. Τα αμπερόμετρα και τα βολτόμετρα λειτουργούν με βάση τα θερμικά ή τα μαγνητικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος.

Κόμβος λέγεται το σημείο ενός κυκλώματος, στο οποίο συναντούνται τουλάχιστον τρεις ρευματοφόροι αγωγοί.

Κλάδος λέγεται το τμήμα του κυκλώματος που βρίσκεται μεταξύ δύο κόμβων.

Πρώτος κανόνας Kirchhoff: Το άθροισμα των ρευμάτων που « εισέρχονται » σε ένα κόμβο, είναι ίσο με το άθροισμα των ρευμάτων που « εξέρχονται » από αυτόν.

Δεύτερος κανόνας Kirchhoff: Κατά μήκος ενός κλειστού κυκλώματος, το αλγεβρικό άθροισμα των διαφορών δυναμικού είναι ίσο με το μηδέν.

Δίπολο λέμε κάθε στοιχείο του κυκλώματος στα άκρα του οποίου υπάρχει διαφορά δυναμικού (τάση).

Χαρακτηριστική καμπύλη ενός δίπολου λέμε την καμπύλη που απεικονίζει τη γραφική παράσταση έντασης – τάσης $I = f(V)$ Όπου V η τάση στα άκρα του και I η ένταση του ρεύματος που το διαρρέει.

Ηλεκτρική αντίσταση R ενός αγωγού ονομάζεται το πηλίκο της τάσης V που εφαρμόζεται στα άκρα του, προς την ένταση I του ρεύματος που τον διαρρέει. Μετρίεται σε Ohm (Ω).

$$R = \frac{V}{I}$$

Η ηλεκτρική αντίσταση εκφράζει τη δυσκολία που συναντά το ηλεκτρικό ρεύμα, όταν διέρχεται

μέσα από έναν αγωγό και οφείλεται στις « συγκρούσεις » των ελευθέρων ηλεκτρονίων με τα θετικά ιόντα του αγωγού.

Νόμος του Ohm: Η ένταση I του ρεύματος που διαρρέει σε έναν μεταλλικό αγωγό σταθερής θερμοκρασίας είναι ανάλογη με την τάση V που εφαρμόζεται στα άκρα του. Οι συσκευές που υπακούουν στο νόμο λέγονται αντιστάτες.

$$I = \frac{1}{R} V \quad \text{με } R = \text{σταθερό}$$

Η αντίσταση ενός αγωγού σταθερής διατομής εμβαδού S και μήκους ℓ αποδεικνύεται πειραματικά ότι δίνεται από τη σχέση:

$$R = \rho \frac{\ell}{S}$$

όπου ρ μια σταθερά που εξαρτάται μόνο από το υλικό του αγωγού και λέγεται **ειδική αντίσταση** του υλικού.

Η ειδική αντίσταση ρ σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία δίνεται από τη σχέση

$$\rho_\theta = \rho_0 (1 + \alpha\theta)$$

όπου ρ_θ η ειδική αντίσταση σε θερμοκρασία $\theta^\circ\text{C}$, ρ_0 η θερμοκρασία σε 0°C και α μια σταθερά που εξαρτάται από το υλικό του αγωγού και λέγεται θερμικός συντελεστής ειδικής αντίστασης.

Η ένταση του ρεύματος που μπαίνει και βγαίνει από τα άκρα ενός συστήματος αντιστάτων ονομάζεται ολική ένταση $I_{\text{ολ}}$. Η τάση που εφαρμόζεται στα άκρα του συστήματος ονομάζεται ολική τάση $V_{\text{ολ}}$. Επίσης, ονομάζουμε ισοδύναμη αντίσταση $R_{\text{ολ}}$ την αντίσταση, στα άκρα της οποίας, αν εφαρμόσουμε τάση $V_{\text{ολ}}$ θα διαρρέεται από ρεύμα έντασης $I_{\text{ολ}}$.

Δύο ή περισσότεροι αντιστάτες (η γενικότερα συσκευές) λέμε ότι είναι συνδεδεμένοι σε σειρά όταν διαρρέονται από την ίδια ένταση ρεύματος.

Κατά τη **σύνδεση αντιστατών σε σειρά** προκύπτει αντιστάτης η αντίσταση του οποίου είναι ίση με το άθροισμα των αντιστάσεων. Ισχύει:

$$R_{\text{ολ}} = R_1 + R_2$$

Δύο ή περισσότεροι αντιστάτες (η γενικότερα συσκευές) λέμε ότι είναι συνδεδεμένοι σε σειρά όταν έχουν την ίδια τάση στα άκρα τους.

Κατά την **παράλληλη σύνδεση αντιστατών** ισχύει:

$$\frac{1}{R_{\text{ολ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Όταν ρευματοδοτούμε έναν αγωγό συμβαίνουν τα εξής ενεργειακά φαινόμενα:

- Επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου στα ελεύθερα ηλεκτρόνια.
- Αλληλεπίδραση των κινούμενων ηλεκτρονίων με τα ιόντα του αγωγού την οποία μπορούμε να φανταζόμαστε σαν σύγκρουση.

Η **ηλεκτρική ενέργεια** W που μεταβιβάζεται σε τμήμα κυκλώματος σε χρόνο t είναι $W = VIt$ όπου V η τάση στα άκρα του και I η ένταση του ρεύματος που το διαρρέει.

Ισχύς P του ηλεκτρικού ρεύματος ονομάζουμε το πηλίκο της ηλεκτρικής ενέργειας που προσφέρεται σε χρόνο t προς το χρόνο αυτό.

$$P = \frac{W}{t}$$

Η **ισχύς** που καταναλώνει ένας αντιστάτης αντίστασης R που διαρρέεται από ρεύμα έντασης I δίνεται από τη σχέση:

$$P = I^2 R = V^2/R$$

1 kWh (κιλοβατώρα) είναι η ενέργεια που « καταναλώνει » μια συσκευή ισχύος 1 kW, όταν λειτουργήσει για χρόνο 1h. Ισχύει $1 \text{ kWh} = 3.600.000 \text{ J}$.

Φαινόμενο Joule λέμε το φαινόμενο κατά το οποίο το ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργεί αύξηση της θερμοκρασίας στους αγωγούς που διαρρέει. Εμφανίζεται και στο εσωτερικό πηγών και στους αγωγούς ηλεκτροκινητήρων αλλά στους αντιστάτες αποτελεί το μόνο ενεργειακό φαινόμενο με εφαρμογές στους λαμπτήρες πυρακτώσεως και στις ασφάλειες.

Νόμος του Joule: Κατά τη ρευματοδότηση ενός αντιστάτη σταθερής θερμοκρασίας, το ανά μονάδα χρόνου ποσό θερμότητας που εκλύεται στο περιβάλλον του είναι α) ανάλογο προς το τετράγωνο της έντασης I του ρεύματος που τον διαρρέει, ανάλογο της αντίστασης του R και ανάλογο του χρόνου t διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος.

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

Οι ενδείξεις τάσης και ισχύος (π.χ. 220 V, 100 W) που αναγράφει μια ηλεκτρική συσκευή λέγονται ενδείξεις κανονικής λειτουργίας.

Βραχυκύκλωμα ονομάζεται η σύνδεση δύο σημείων ενός κυκλώματος με αγωγό αμελητέας αντίστασης.

Ηλεκτρεγερτική δύναμη μιας πηγής ορίζεται η ενέργεια ανά μονάδα ηλεκτρικού φορτίου που παρέχει η πηγή στο κύκλωμα. Ισούται με το πηλίκο της ισχύος που παρέχει η πηγή στο κύκλωμα, προς την ένταση του ρεύματος που την διαρρέει.

$$E = \frac{W_{\text{ολ}}}{q} = \frac{P_{\text{ολ}}}{I}$$

Νόμος του Ohm για κλειστό κύκλωμα: Σε ένα κλειστό κύκλωμα που αποτελείται από αντιστάτες συνολικής αντίστασης R και γεννήτρια με γνωστά στοιχεία ταυτότητας (E, r) η ένταση του ρεύματος που το διαρρέει είναι:

$$I = \frac{E}{R + r}$$

Η **πολική τάση** μιας πηγής είναι ίση με την ηλεκτρεγερτική της δύναμη μείον την πτώση τάσης μέσα στην πηγή.

$$V_{\pi} = E - Ir$$

Ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{β} λέμε το ρεύμα που περνά από μια πηγή αν βραχυκυκλωθούν οι πόλοι της, αν δηλαδή αποκτήσουν το ίδιο δυναμικό. Ισχύει:

$$I_{\beta} = \frac{E}{r}$$

όπου r η εσωτερική αντίσταση της πηγής.

ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ - ΛΥΜΕΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

1. Στα άκρα σύρματος μάζας $m = 9\text{kg}$ και μήκους $\ell = 100\text{m}$ εφαρμόζεται τάση $V = 32\text{V}$. Υπολογίστε την ένταση I του ρεύματος που το διαρρέει και τον αριθμό n των ηλεκτρονίων που περνούν από μια διατομή του σύρματος το λεπτό. Δίνονται: πυκνότητα υλικού $d = 9\text{ g/cm}^3$, ειδική αντίσταση υλικού $\rho = 2 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot \text{m}$.

Λύση: Έστω S το εμβαδόν της διατομής του σύρματος. Από το ορισμό της πυκνότητας:

$$d = 9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 9 \frac{10^{-3} \text{ kg}}{10^{-6} \text{ m}^3} = 9000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \quad d = \frac{m}{S \cdot \ell} \Rightarrow S = \frac{m}{d \cdot \ell} = 10^{-5} \text{ m}^2.$$

Το ρεύμα υπολογίζεται από το νόμο του Ohm. Η αντίσταση R του σύρματος είναι:

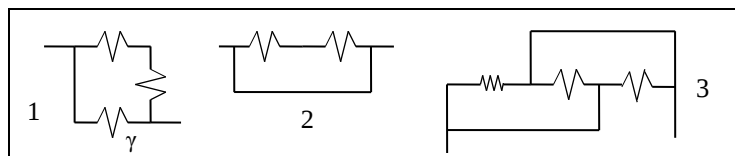
$$R = \rho \frac{\ell}{S} = 2 \cdot 10^{-8} \frac{100}{10^{-5}} \Omega = 0,2 \Omega. \quad I = \frac{V}{R} = 160 \text{ A},$$

Ο αριθμός των ηλεκτρονίων n υπολογίζεται αν διαιρέσουμε το συνολικό φορτίο q που περνά από τη διατομή σε χρόνο $t = 1\text{min}$ με το φορτίο e που φέρει κάθε ηλεκτρόνιο (απόλυτη τιμή).

$$n = \frac{q}{e} = \frac{I \cdot t}{e} = \frac{160 \text{ A} \cdot 60 \text{ s}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 6 \cdot 10^{22} \text{ ηλεκτρόνια}.$$

ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΤΩΝ

2. Βρείτε την ολική αντίσταση των σχημάτων 1 - 3 αν όλες οι αντιστάσεις είναι $R = 6\Omega$.



Λύση: Στο σχ. 1 ένα έχω δύο αντιστάσεις σε σειρά συνολικής αντίστασης $R_{12} = 2R$ και την αντίσταση γ παράλληλα στο σύστημα των δύο. Άρα:

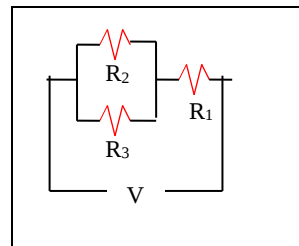
$$\frac{1}{R_{\text{ολ}}} = \frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R} = \frac{1}{2R} + \frac{1}{R} = \frac{3}{2R} \Rightarrow R_{\text{ολ}} = \frac{2}{3} R = 4\Omega.$$

- Στο σχ. 2, ανεξάρτητα από την εφαρμοζόμενη τάση, η διαφορά δυναμικού στα άκρα των δύο αντιστάσεων είναι μηδέν αφού συνδέονται με αγωγό αμελητέας αντίστασης. Οι αντιστάσεις δεν διαρρέονται από ρεύμα και η συνολική αντίσταση θα είναι μηδέν (βραχυκύκλωμα).

- Στο σχ. 3 οι αντιστάσεις έχουν κοινή τάση στα άκρα τους, άρα είναι συνδεδεμένες παράλληλα.

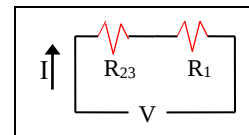
$$\frac{1}{R_{\text{ολ}}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{3}{R} \Rightarrow R_{\text{ολ}} = \frac{R}{3} = 2\Omega.$$

3. Αν $V = 12V$, $R_1 = 2\Omega$, $R_2 = 3\Omega$, $R_3 = 6\Omega$ βρείτε την ένταση του ρεύματος που διαρρέει κάθε αντίσταση.



Λύση: Οι αντιστάτες R_2 και R_3 είναι συνδεδεμένοι παράλληλα:

$$\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \Rightarrow R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = 2\Omega.$$



Η αντίσταση R_3 είναι συνδεδεμένη σε σειρά με το σύστημα των δύο άρα η ολική αντίσταση $R_{ολ}$ είναι $R_{ολ} = R_1 + R_{23} = 4\Omega$. Το ρεύμα που διαρρέει τις αντιστάσεις από το νόμο του Ohm είναι:

$$I = \frac{V}{R_{ολ}} = 3A$$

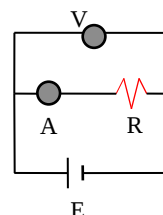
Το ρεύμα που διαρρέει την R_1 είναι $I_1 = I = 3A$ και η τάση στα άκρα της $V_1 = I \cdot R_1 = 6V$. Η τάση στα άκρα του συστήματος των R_2 και R_3 είναι $V_{23} = I \cdot R_{23} = 6V$. Οι εντάσεις των ρευμάτων που διαρρέουν τις R_2 και R_3 είναι:

$$I_2 = \frac{V_{23}}{R_2} = 2A, \quad I_3 = \frac{V_{23}}{R_3} = 1A$$

4. * Αποδείξτε ότι η πραγματική τιμή της αντίστασης R είναι:

$$R = \frac{V}{I} - R_A$$

όπου V, I οι ενδείξεις βολτόμετρου και αμπερόμετρου αντίστοιχα και R_A η εσωτερική αντίσταση του αμπερόμετρου.



Λύση: Η τάση V στα άκρα του κλάδου του αμπερόμετρου και της αντίστασης είναι η ένδειξη του βολτόμετρου και το ρεύμα I που τον διαρρέει η ένδειξη του αμπερόμετρου. Ισχύει:

$$R + R_A = \frac{V}{I} \quad (\text{νόμος Ohm}) \Rightarrow R = \frac{V}{I} - R_A$$

ΙΣΧΥΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

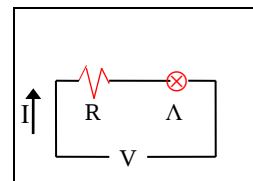
5. Λαμπτήρας πυράκτωσης των $220V/110W$ πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε δίκτυο τάσης $V = 240V$. Υπολογίστε την τιμή της αντίστασης R που πρέπει να συνδεθεί σε σειρά με τον λαμπτήρα ώστε αυτός να φωτοβολεί κανονικά.

Λύση: Τα στοιχεία που αναγράφει ο λαμπτήρας είναι η τάση κανονικής λειτουργίας του $V_\lambda = 220V$ και η ισχύς που αποδίδει όταν τροφοδοτείται με αυτήν την τάση $P_\lambda = 110W$. Για να λειτουργεί κανονικά πρέπει να διαρρέεται από ρεύμα έντασης που υπολογίζεται ως εξής:

$$P_{\lambda} = V_{\lambda} I \Rightarrow I = \frac{P_{\lambda}}{V_{\lambda}} = 0,5A$$

Η αντίσταση του λαμπτήρα είναι:

$$R_{\lambda} = \frac{V_{\lambda}}{I} = 440\Omega$$



Αν αλλάξει η τάση λειτουργίας ο λαμπτήρας δεν αποδίδει πλέον την ίδια ισχύ. Για να διέρχεται από τον λαμπτήρα ρεύμα ίδιας έντασης ώστε να λειτουργεί κανονικά πρέπει:

$$R + R_{\lambda} = \frac{V}{I} \Rightarrow R = \frac{V}{I} - R_{\lambda} = 40\Omega.$$

ΓΕΝΗΤΡΙΑ ΣΕ ΚΥΚΛΩΜΑ

6. Δύο αντιστάτες με αντιστάσεις $R_1 = 3\Omega$ και $R_2 = 6\Omega$ συνδέονται παράλληλα προς τους πόλους πηγής εσωτερικής αντίστασης $r = 1\Omega$. Αν ο αντιστάτης R_1 διαρρέεται από ρεύμα έντασης $I_1 = 2A$, να βρείτε:

- Την ισοδύναμη αντίσταση R του συστήματος των δύο αντιστατών R_1 και R_2 .
- Την τάση V στα άκρα του συστήματος των δύο αντιστατών, την ένταση I_2 του ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη R_2 και την ένταση I του ρεύματος που διαρρέει την πηγή.
- Την ηλεκτρεγερτική δύναμη E , την πολική τάση V_{π} και το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{β} της πηγής.
- Την ολική ισχύ P που παρέχει η πηγή, την ισχύ $P_{\epsilon\kappa}$ που παρέχει η πηγή στο εξωτερικό κύκλωμα, την ισχύ P_r που καταναλώνεται στο εσωτερικό της πηγής και την ισχύ που καταναλώνει κάθε αντιστάτης.
- Την ενέργεια που καταναλώνει κάθε λεπτό ο αντιστάτης R_1 .

Λύση: α) Οι αντιστάτες R_1 και R_2 είναι συνδεδεμένοι παράλληλα:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 2\Omega.$$

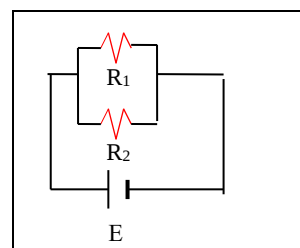
β) Εφαρμόζω το νόμο του Ohm στους αντιστάτες R_1 και R_2

$$I_1 = \frac{V}{R_1} \Rightarrow V = I_1 R_1 = 6V \quad I_2 = \frac{V}{R_2} = 1A$$

Από τον πρώτο κανόνα Kirchhoff $I = I_1 + I_2 = 3A$

γ) Εφαρμόζω το νόμο του Ohm σε όλο το κύκλωμα:

$$I = \frac{E}{R+r} \Rightarrow E = I(R+r) = 9V, \quad V_{\pi} = E - Ir = 6V, \quad I_{\beta} = \frac{E}{r} = 9A$$

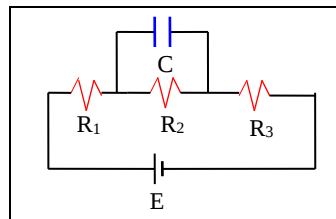


δ) $P = E \cdot I = 27W$, $P_{\epsilon\kappa} = V_{\pi} I = 18W$, $P_r = I^2 r = 9W$, $P_1 = I_1^2 R_1 = 12W$, $P_2 = I_2^2 R_2 = 6W$.

ε) Ισχύει $t = 1\text{min} = 60s$ άρα $Q = I_1^2 R_1 t = 720J$.

ΠΥΚΝΩΤΗΣ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

7. Βρείτε το φορτίο Q του πυκνωτή στο σχήμα αν $E = 12V$, οι αντιστάσεις έχουν τιμές $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, $R_3 = 3\Omega$ και η χωρητικότητα του πυκνωτή είναι $C = 3\mu F$.



Λύση: Ο πυκνωτής μετά τη φόρτιση του δεν διαρρέεται από ρεύμα. Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα υπολογίζεται από το νόμο του Ohm.

$$I = \frac{E}{R_{ολ}} = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_3} = 2A$$

Η τάση V στα άκρα του πυκνωτή είναι κοινή με την τάση στα άκρα της αντίστασης R_2 . Άρα: $V = IR_2 = 4V$. Το φορτίο του πυκνωτή υπολογίζεται από τη σχέση:

$$C = \frac{Q}{V} \Rightarrow Q = CV = 12\mu C.$$

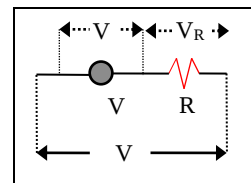
ΚΑΝΟΝΕΣ KIRCHHOFF

8. ** Βολτόμετρο αντίστασης $r = 40\Omega$ δίνει πλήρη απόκλιση, αν εφαρμοστεί στα άκρα του τάση $V_\beta = 0,5V$. Ποιά αντίσταση πρέπει να παρεμβάλλουμε και πώς, ώστε να χρησιμοποιηθεί α) ως βολτόμετρο με τάση V μέχρι $20V$ ή σαν αμπερόμετρο για ένταση I μέχρι $2A$.

(Διδασκαλικός κύκλος 1974)

Λύση: Η μέγιστη ένταση του ρεύματος που είναι δυνατόν διαρρέει το βολτόμετρο είναι:

$$I_\beta = \frac{V_\beta}{r} = 0,0125 A$$

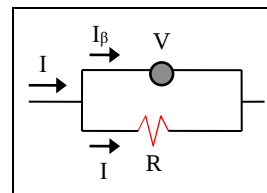


α) Για να αυξηθεί η μετρούμενη τάση πρέπει να συνδεθεί η αντίσταση R σε σειρά. Στο σύστημα αντίστασης - βολτόμετρου:

$$V = V_\beta + V_R \Rightarrow V = I_\beta r + I_\beta R \Rightarrow R = \frac{V}{I_\beta} - r \Rightarrow R = 1560\Omega.$$

β) Για να αυξηθεί η ένταση του ρεύματος που διέρχεται από το βολτόμετρο από I_β σε I πρέπει να συνδεθεί η αντίσταση R παράλληλα.

Η τάση στα άκρα της αντίστασης R είναι η ίδια με την τάση στα άκρα του βολτόμετρου V_β . Η ένταση I_R του ρεύματος που διαρρέει την αντίσταση R υπολογίζεται από τον πρώτο κανόνα του Kirchhoff:



$$I = I_\beta + I_R \Rightarrow I_R = I - I_\beta = 2A \Rightarrow R = \frac{V_\beta}{I_R} = 0,25\Omega$$

