

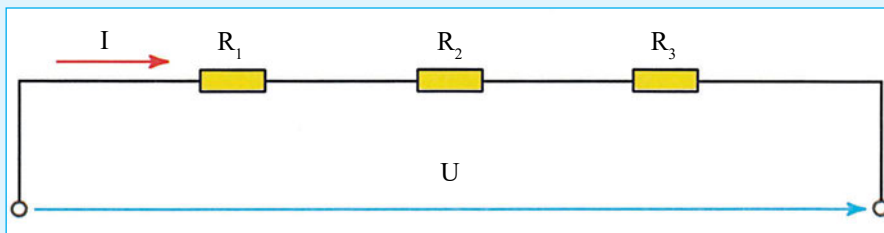
3.5. ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΕ ΣΕΙΡΑ

Σε κλάδο ηλεκτρικού κυκλώματος, όταν περισσότερες αντιστάσεις και πηγές διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα, τότε είναι **συνδεδεμένες σε σειρά**. Το κύκλωμα αυτό μπορεί να μετατραπεί σε ένα απλούστερο και όλες οι αντιστάσεις να αντικατασταθούν με μόνο μία αντίσταση.

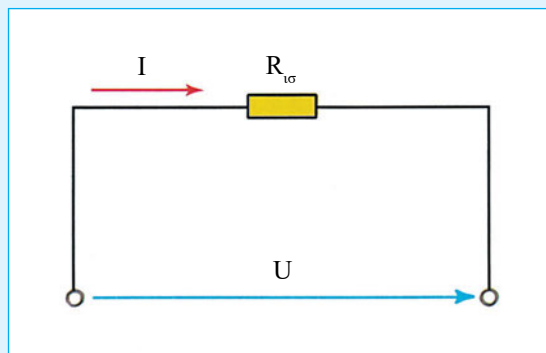
Η ισοδύναμη αντίσταση $R_{\text{ισ}}$ της σύνδεσης σε σειρά των αντιστάσεων R_i ισούται με το άθροισμα τους.

$$R_{\text{ισ}} = \Sigma R_i = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

Στο Σχήμα 3.4.α οι αντιστάσεις R_1 , R_2 και R_3 είναι συνδεδεμένες σε σειρά και διαρρέονται από το ρεύμα I . Όλες θα αντικατασταθούν από την ισοδύναμη αντίσταση $R_{\text{ισ}}$ η οποία φαίνεται στο Σχήμα 3.4.β



Σχήμα 3.4.α. Σύνδεση σε σειρά των τριών αντιστάσεων

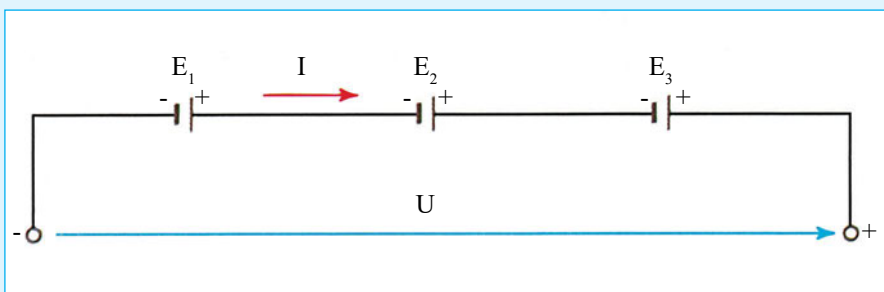


Σχήμα 3.4.β. Ισοδύναμη αντίσταση των τριών αντιστάσεων του κυκλώματος του σχήματος 3.4.α.

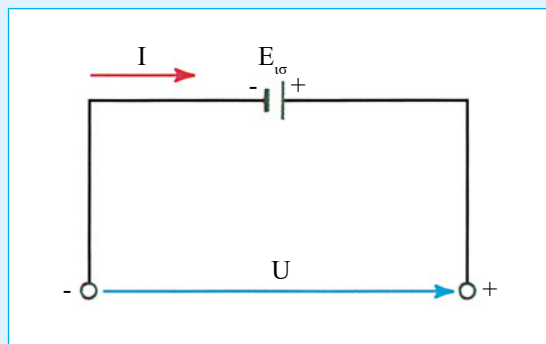
Η ισοδύναμη ηλεκτρεγερτική δύναμη $E_{\text{ισ}}$ των πηγών που είναι συνδεδεμένες σε σειρά και έχουν ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις E_i ισούται με το άθροισμά τους.

$$E_{\text{ισ}} = \sum E_i = E_1 + E_2 + E_3 + \dots$$

Στο Σχήμα 3.5.α οι ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις E_1 , E_2 και E_3 είναι συνδεδεμένες σε σειρά και ο θετικός πόλος της κάθε πηγής συνδέεται στον αρνητικό πόλο της επόμενης, κ.ο.κ. Η ισοδύναμη ηλεκτρεγερτική δύναμη E φαίνεται στο Σχήμα 3.5.β



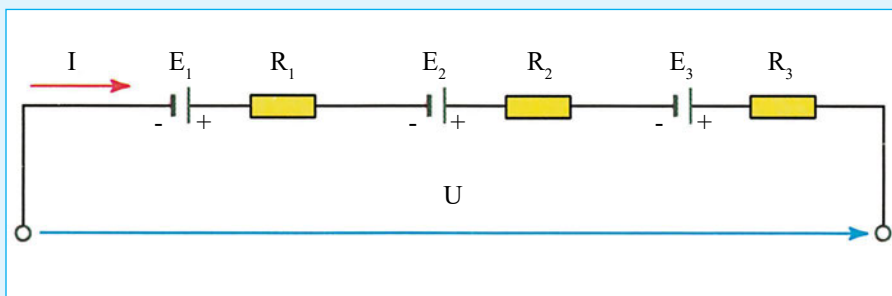
Σχήμα 3.5.α. Τρεις πηγές τάσης συνδεδεμένες σε σειρά



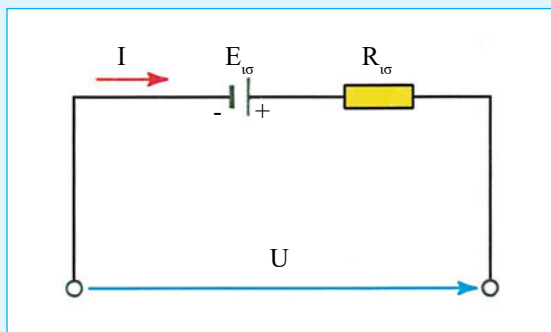
Σχήμα 3.5.β. Ισοδύναμη πηγή τάσης των τριών πηγών του Σχήματος 3.5.α

Προσοχή: Στη σύνδεση σε σειρά των πηγών τάσης σε περίπτωση αντίθετης σύνδεσης, (αρνητικής φοράς) μίας ΗΕΔ, δηλαδή όταν ο θετικός πόλος μίας πηγής συνδεθεί στον θετικό πόλο της επόμενης πηγής, η ΗΕΔ της πηγής που είναι συνδεδεμένη αντίθετα αφαιρείται.

Στο Σχήμα 3.6.α οι αντιστάσεις R_1 , R_2 και R_3 και οι ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις E_1 , E_2 και E_3 είναι συνδεδεμένες σε σειρά και διαρρέονται από το ρεύμα I . Η ισοδύναμη αντίσταση $R_{ισ}$ και η ισοδύναμη ηλεκτρεγερτική δύναμη $E_{ισ}$ αποτελούν το ισοδύναμο κύκλωμα το οποίο παρατίθεται στο Σχήμα 3.6.β.



Σχήμα 3.6.α. Σύνδεση σε σειρά τριών αντιστάσεων και τριών πηγών τάσης



Σχήμα 3.6.β. Ισοδύναμο κύκλωμα του κυκλώματος του σχήματος 3.6.α.

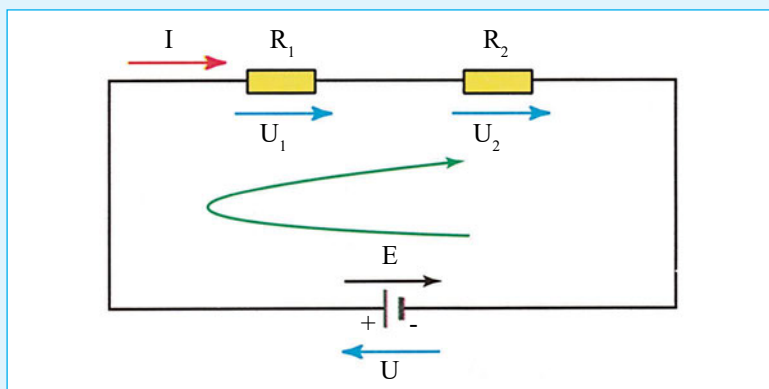
Παράδειγμα 1

Οι αντιστάσεις $R_1=50\ \Omega$ και $R_2=100\ \Omega$ συνδέονται σε σειρά, Σχήμα 3.7. Η τάση της πηγής είναι $30\ \text{V}$. Προσδιορίστε: α) την ισοδύναμη αντίσταση και β) τις πτώσεις τάσης στις αντιστάσεις.

Λύση:

$$\alpha) R=R_1+R_2=50\Omega+100\Omega=150\Omega$$

$$\beta) I=\frac{U}{R}=\frac{30\ \text{V}}{150\ \Omega}=0,2\ \text{A}$$



Σχήμα 3.7. Σύνδεση σε σειρά δύο αντιστάσεων και μίας πηγής

$$U_1 = R_1 \cdot I = 50\Omega \cdot 0,2A = 10V \Rightarrow I = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2}$$

$$U_2 = R_2 \cdot I = 100\Omega \cdot 0,2A = 20V$$

Από τις τρεις τελευταίες σχέσεις προκύπτει ότι για τη συνδεσμολογία σε σειρά, εφ' όσον το ρεύμα I που διαρρέει τις αντιστάσεις R_1 και R_2 είναι κοινό, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

$$\frac{U_1}{U} = \frac{R_1}{R}$$

$$\frac{U_2}{U} = \frac{R_2}{R}$$

Επομένως οι πτώσεις τάσης στις αντιστάσεις υπολογίζονται και με τον ακόλουθο τρόπο:

$$U_1 = \frac{R_1}{R} \cdot U = \frac{50\Omega}{150\Omega} \cdot 30V = 10V$$

$$U_2 = \frac{R_2}{R} \cdot U = \frac{100\Omega}{150\Omega} \cdot 30V = 20V$$

Παράδειγμα 2

Οι τάσεις του κυκλώματος του σχήματος 3.7 είναι $U_1=10V$ και $U_2=20V$. Υπολογίστε την τάση της πηγής.

Λύση:

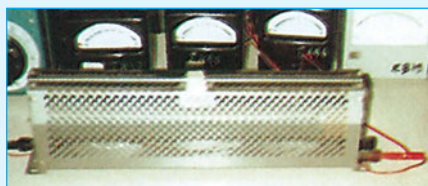
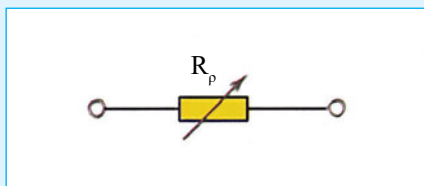
$$E=U_1+U_2= 10V+20V=30V$$

Παράδειγμα 3. Σύνδεση σε σειρά των λαμπτήρων

Συνήθως, οι λαμπτήρες πυράκτωσης δεν συνδέονται σε σειρά, επειδή, σε περίπτωση που ένας λαμπτήρας καίγεται λόγω τήξης του νήματος, τότε διακόπτεται όλο το κύκλωμα. Όμως, σε περιπτώσεις όπου απαιτούνται λαμπτήρες χαμηλών ονομαστικών μεγεθών (τάση, ρεύμα, ισχύς, αντίσταση) όπως στα φωτιστικά των χριστουγεννιάτικων δένδρων, τότε εφαρμόζεται η σύνδεση σε σειρά των λαμπτήρων. Για προστασία έναντι διακοπής του κυκλώματος σε περίπτωση που ένας λαμπτήρας καεί, κάθε λαμπτήρας γεφυρώνεται με καλώδιο. Σε περίπτωση βλάβης του λαμπτήρα το καλώδιο λειτουργεί σαν δίοδος για τη διέλευση του ρεύματος.

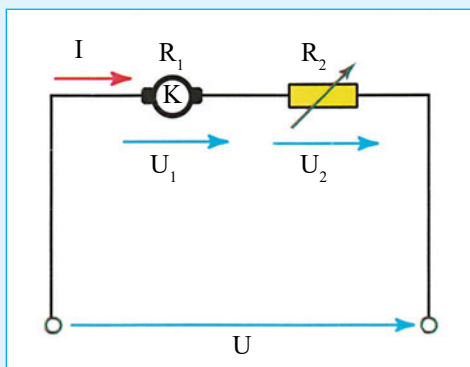
Παράδειγμα 4. Ρυθμιστική Αντίσταση

Πολλές ηλεκτρικές συσκευές μπορούν να συνδεθούν σε τάση υψηλότερη από την ονομαστική τους με τη χρήση μιας αντίστασης, η οποία συνδέεται σε σειρά με τη συσκευή. Η αντίσταση αυτή ονομάζεται **ρυθμιστική αντίσταση**, φωτογραφία 3.1.



Φωτογραφία 3.1. Ρυθμιστική αντίσταση και ο συμβολισμός της.

Εφαρμογές όπου χρησιμοποιείται ρυθμιστική αντίσταση είναι οι διατάξεις εκκίνησης των ηλεκτρικών κινητήρων, οι λαμπτήρες, οι ημιαγώγιμες διατάξεις, κ.α. Στο Σχήμα 3.8 η ρυθμιστική αντίσταση συμβολίζεται με R_2 και συνδέεται σε σειρά με ένα κινητήρα συνεχούς ρεύματος με εσωτερική ωμική αντίσταση R_1 .



Σχήμα 3.8. Ρυθμιστική αντίσταση συνδεδεμένη σε σειρά με κινητήρα

Σε άλλες περιπτώσεις, όταν οι συσκευές συνδέονται στην ονομαστική τους τάση, η σύνδεση ρυθμιστικής αντίστασης προκαλεί μείωση του ρεύματος στο κύκλωμα.

Επειδή οι ρυθμιστικές αντιστάσεις καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια, την οποία μετατρέπουν σε θερμότητα, και μειώνουν τον βαθμό απόδοσης της διάταξης, χρησιμοποιούνται μόνο σε εφαρμογές χαμηλών ρευμάτων.

Παράδειγμα 5

Ένας λαμπτήρας έχει ονομαστική τάση $U_1=12\text{V}$ και ονομαστικό ρεύμα 2A . Για να συνδεθεί σε τάση $U=220\text{V}$ χρειάζεται να συνδεθεί σε σειρά με μια ρυθμιστική αντίσταση. Υπολογίστε: α) το μέγεθος της ρυθμιστικής αντίστασης και β) την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ισχύ από την ρυθμιστική αντίσταση και από τον λαμπτήρα.

Λύση:

α) Η διαφορά μεταξύ της τάσης του δικτύου και της ονομαστικής τάσης του λαμπτήρα είναι η πτώση τάσης στη ρυθμιστική αντίσταση:

$$U_2 = U - U_1 = 220\text{V} - 12\text{V} = 208\text{V}$$

$$R_2 = \frac{U_2}{I} = \frac{208 \text{ V}}{2 \text{ A}} = 104 \Omega$$

$$\beta) P_2 = U_2 \cdot I = 208 \text{ V} \cdot 2 \text{ A} = 416 \text{ W}$$

$$P_1 = U_1 \cdot I = 12 \text{ V} \cdot 2 \text{ A} = 24 \text{ W}$$

Παράδειγμα 6. Πτώση τάσης στις συνδεσμολογίες αντιστάσεων

Οι αγωγοί που διαρρέονται από ρεύμα έχουν ωμική αντίσταση, επομένως μπορούν να θεωρηθούν ως αντιστάσεις συνδεδεμένες σε σειρά με την αντίσταση του καταναλωτή. Η τάση της πηγής U μοιράζεται σε δυο ποσότητες: μια ποσότητα στους δυο αγωγούς (κλώνους) σύνδεσης ΔU και η δεύτερη ποσότητα U_1 στον καταναλωτή, με συνέπεια μια μείωση της τάσης που εφαρμόζεται στον καταναλωτή.

Η διαφορά αυτή ΔU μεταξύ της τάσης της πηγής και της τάσης που εφαρμόζεται στους ακροδέκτες του καταναλωτή ονομάζεται **πτώση τάσης στους αγωγούς**, Σχήμα 3.9.

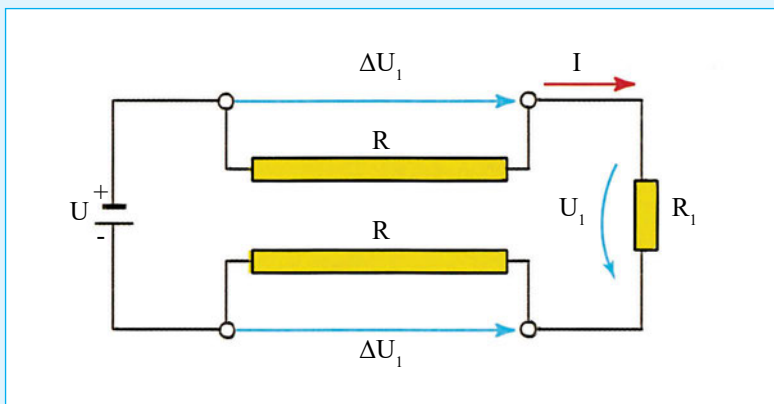
$$\Delta U = U - U_1 = \Delta U_1 + \Delta U_1 = 2 \cdot \Delta U_1$$

$$\Delta U = I \cdot (R + R) = 2 \cdot I \cdot R$$

όπου U είναι η τάση της πηγής, U_1 είναι η τάση στον καταναλωτή και R είναι η αντίσταση κάθε αγωγού (κλώνου) σύνδεσης.

Η πτώση τάσης εκφράζεται και σε ποσοστό της τάσης της πηγής και ονομάζεται **ποσοστιαία πτώση τάσης στους αγωγούς**:

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100\%$$



Σχήμα 3.9. Πτώση τάσης στους αγωγούς ως αντιστάσεις συνδεδεμένες σε σειρά

Παρατηρούμε ότι, όσο μεγαλύτερο είναι το ρεύμα ή η αντίσταση του αγωγού σύνδεσης, τόσο μεγαλύτερη είναι η πτώση τάσης στους αγωγούς. Ως φυσικό φαινόμενο, η πτώση τάσης στους αγωγούς μαζί με το ρεύμα που τους διαρρέει προκαλεί θερμότητα και, ως συνέπεια, μείωση του βαθμού απόδοσης. Επομένως η πτώση τάσης στους αγωγούς είναι ανεπιθύμητο φαινόμενο και προσπαθούμε να την μειώσουμε.

Παράδειγμα 7

Ένας καταναλωτής συνδέεται σε δίκτυο τάσης 220 V μέσω δίκλωνου χάλκινου αγωγού. Ο αγωγός έχει διατομή $2,5 \text{ mm}^2$, μήκος 20 m και διαρρέεται από ρεύμα 20 A. Υπολογίστε: α) την πτώση τάσης στον αγωγό, β) την ποσοστιαία πτώση τάσης.

Λύση:

α) Από τον Πίνακα 2 του Κεφαλαίου 1 διαβάζουμε την ειδική αγωγιμότητα του χαλκού. Στη συνέχεια υπολογίζουμε την ωμική αντίσταση του αγωγού σύνδεσης. Λαμβάνουμε υπ όψη ότι ο δίκλωνος αγωγός έχει διπλάσια αντίσταση από τον μονόκλωνο:

$$R = \frac{\rho \cdot \ell}{S} = \frac{20 \text{ m} \cdot 0,0175 \cdot \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}}{2,5 \text{ mm}^2} = 0,143 \Omega$$

$$\Delta U = 2 \cdot I \cdot R = 2 \cdot 20 \text{ A} \cdot 0,143 \Omega = 5,71 \text{ V}$$

$$\beta) \Delta u = \frac{5,71}{220} \cdot 100\% = 2,6\%$$