

ფიზიკა ამოცანებში

მუდმივი ელექტრული დენი

ელექტრული დენი, როგორც ცნობილია, დამუხტული ნაწილაკების მოწესრიგებულ მიმართულ მოძრაობას წარმოადგენს. ცხადია, ასეთი მოძრაობა მოითხოვს ელექტრული ველის არსებობას იმ გარემოში, სადაც იქმნება ელექტრული დენი. უპირველეს ყოვლისა, განვიხილავთ მუდმივ ელექტრულ დენს ლითონის გამტარებში. ერთ-ერთი ძირითადი კანონი, რომელიც გამტარში გამავალ I დენს გამტარის ბოლოებზე არსებულ U ძაბვასთან აკავშირებს, ომის კანონია. მის თანახმად

$$I = \frac{U}{R},$$

სადაც R გამტარის წინაღობაა. როგორც ვხედავთ, გამტარში გამავალ დენსა და ძაბვას შორის პირდაპირპროპორციული დამოკიდებულებაა. ამასთან, უნდა გვახსოვდეს, რომ ეს სამართლიანია, თუ გამტარის ტემპერატურა არ იცვლება. წინააღმდეგ შემთხვევაში პირდაპირპროპორციული დამოკიდებულება ირღვევა. მაგალითად შეგვიძლია განვიხილოთ ნათურა, რომლის ვარვარის ძაფის ტემპერატურა იმატებს მასში დენის გავლისას და პირდაპირპროპორციული დამოკიდებულება დენსა და ძაბვას შორის ირღვევა. გამტარის წინაღობა დამოკიდებულია გამტარის შემადგენელ ნივთიერებასა და მის გეომეტრიულ ზომებზე, კერძოდ, L სიგრძის და S განივკვეთის ფართის გამტარის წინაღობა ტოლია

$$R = \rho \frac{L}{S}.$$

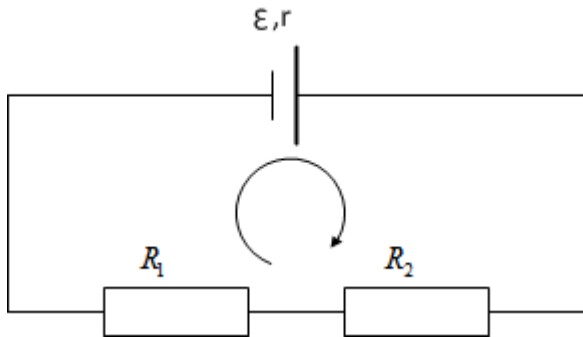
აქ ρ პროპორციულობის კოეფიციენტი წარმოადგენს გამტარის კუთრ წინაღობას და იგი გამტარის შემადგენელ ნივთიერებაზეა დამოკიდებული. აქვე აღვნიშნავთ, რომ ლითონის გამტარების წინაღობა იზრდება გამტარის გაცხელებით შემდეგი წესით:

$$R = R_0(1 + \alpha(t - t_0)).$$

აქ α წარმოადგენს წინაღობის ტემპერატურულ კოეფიციენტს, ხოლო R_0 – გამტარის წინაღობას t_0 ტემპერატურაზე.

ელექტრული წრედების გაანგარიშებისას ვსარგებლობთ კირჰოფის ორი წესით. ორივე წესი დაკავშირებულია შენახვის კანონებთან. პირველის თანახმად, წრედის განშტოების კვანძში შემავალი დენების ჯამი კვანძიდან გამომავალი დენების ჯამის ტოლია: $I_1 + I_2 + \dots = I_3 + I_4 + \dots$, ანუ კვანძში დენების ალგებრული ჯამი უდრის ნულს. დენების ნიშნის არჩევანი პირობითია. ეს წესი დაკავშირებულია იმ ფაქტთან, რომ კვანძში არ ხდება ელექტრული მუხტების დაგროვება და შემავალი ჯამური მუხტი უდრის გამომავალ ჯამურ მუხტს. მეორე წესი ეხება ძაბვების განაწილებას ელექტრულ წრედში და, არსებითად, წარმოადგენს ენერჯის მუდმივობის კანონის შედეგს: წრედში ჩართული დენის წყაროდან გამოსული

ენერგია ნაწილდება გარე წრედის ცალკეულ უბნებზე დენის წყაროს შიდა წინააღობაზე ძაბვის ვარდნის გამოკლებით. ამ შემთხვევაში უნდა ავირჩიოთ წრედის შემოვლის მიმართულება (საათის ისრის მიმართულებით ან მის საპირისპიროდ). მაშინ, კირჰოფის მეორე წესის თანახმად, არჩეული მიმართულებით შემოვლისას წრედის ცალკეულ უბნებზე ძაბვის ვარდნების ალგებრული ჯამი ნულის ტოლი იქნება. ძაბვას პირობითად დადებითად მივიჩნევთ, თუ შემოვლის მიმართულება დენის მიმართულებას ემთხვევა, ხოლო უარყოფითად – საპირისპირო შემთხვევაში. ამასთან, უნდა გვახსოვდეს, რომ გარე წრედში დენის მიმართულება დენის წყაროს შიგნით დენის საპირისპიროა. მაგალითად განვიხილოთ ნახაზზე მოცემული მარტივი წრედი:



შემოვლის მიმართულებად არჩეულია საათის ისრის მოძრაობის მიმართულება. ამ მიმართულებით გარე წრედში დენი დადებითია, ამიტომ ძაბვის ვარდნები R_1 და R_2 წინააღობებზე დადებითია, ხოლო დენის წყაროს მომჭერებზე – უარყოფითი, ამიტომ

$$U_1 + U_2 - (\mathcal{E} - Ir) = 0.$$

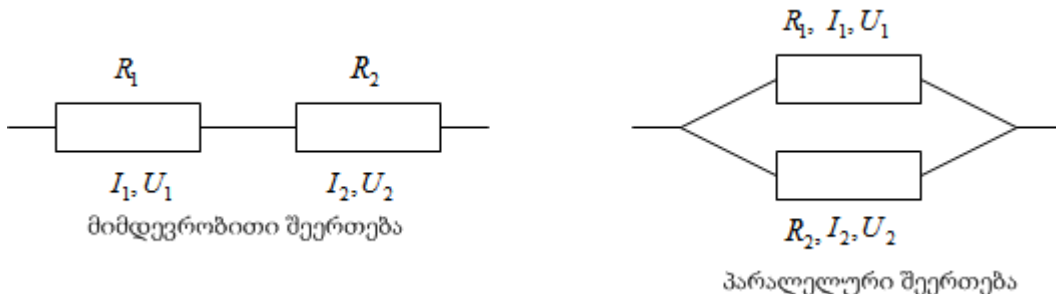
წრედის უბანზე დენის გავლისას ელექტრული ველი ასრულებს მუშაობას, რომელიც ტოლია

$$A = IU\Delta t,$$

რის შედეგადაც ამ უბანზე გამოიყოფა სითბო, რომელიც განისაზღვრება ჯოულ-ლენცის კანონით:

$$Q = I^2R\Delta t.$$

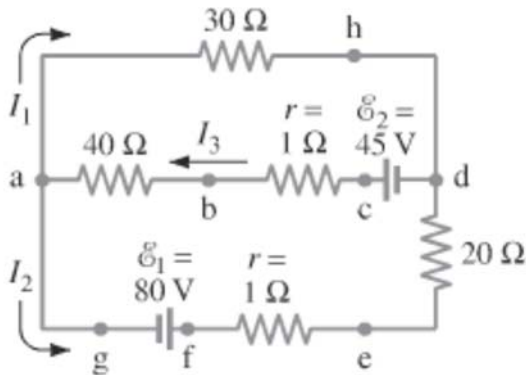
წრედის შედგენისას გამოიყენება გამტარების პარალელური და მიმდევრობითი შეერთება, როგორც ეს ნახაზზეა ნაჩვენები მაგალითის სახით:



მიმდევრობითი შეერთების დროს დენები და ძაბვები ცალკეულ უბნებზე ნაწილდება შემდეგნაირად: $I_1 = I_2$, $\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2}$, ხოლო სრული წინაღობა გამოითვლება ფორმულით:

$R = R_1 + R_2$. პარალელური შეერთების შემთხვევაში, შესაბამისად, გვაქვს: $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$, $U_1 = U_2$, $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$.

წრედის გაანგარიშება: იპოვეთ დენის ძალები ქვემოთ მოყვანილი ელექტრული წრედის თითოეულ წინაღობაში და ძაბვის ვარდნები ამ წინაღობებზე:



მოცემულია შემდეგი სიდიდეები: $R_1 = 30\text{ომი}$, $R_2 = 20\text{ომი}$, $R_3 = 40\text{ომი}$, დენის წყაროების შიგა წინაღობები ტოლია და $r = 1\text{ომი}$, დენის წყაროს ე.მ.დ. $\mathcal{E}_1 = 80\text{ვ}$, $\mathcal{E}_2 = 45\text{ვ}$. უნდა ვიპოვოთ დენის ძალები I_1, I_2, I_3 . ამოცანის ამოსახსნელად ვისარგებლოთ კირჰოფის წესებით. ვინაიდან გვაქვს სამი უცნობი, გვჭირდება სამი განტოლება. ერთ განტოლებას წარმოადგენს a კვანძში დენების ალგებრული ჯამის ნულთან ტოლობა:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0. \quad (1)$$

მეორე და მესამე განტოლებებისთვის გამოვიყენოთ კირჰოფის მეორე წესი. ეს წესი შეგვიძლია გამოვიყენოთ წრედის ahdcba და ahdefga უბნებზე (შესაძლებელია აგრეთვე, რომელიმე ერთი უბანი შევცვალოთ abcdefga უბნით). ავირჩიოთ ამ უბნებზე დადებითი შემოვლის მიმართულებები, როგორც ეს სქემაზეა ნაჩვენები ისრებით. წრედის ამ უბანზე ისრით ნაჩვენები მიმართულებით დენის ძალას აქვს დადებითი მიმართულება, ხოლო დენის წყაროში cd უბანზე – უარყოფითი მიმართულება, ამიტომ კირჰოფის მეორე წესი ასე ჩაიწერება:

$$I_1 R_1 + I_3 R_2 - (\mathcal{E}_1 - I_3 r) = 0. \quad (2)$$

წრედის abcdefga უბანზე (თუ შემოვლის მიმართულებად ავირჩევთ საათის ისრის მოძრაობის საპირისპირო მიმართულებას), იმავე წესის გამოყენებით, მივიღებთ:

$$-(\varepsilon_2 - I_2 r) + I_2 R_3 - I_1 R_1 = 0. \quad (3)$$

მიღებული სამი განტოლება წარმოადგენს განტოლებათა ჩაკეტილ სისტემას I_1, I_2, I_3 დენის ძალების მიმართ, რომელთა ამონახსნია:

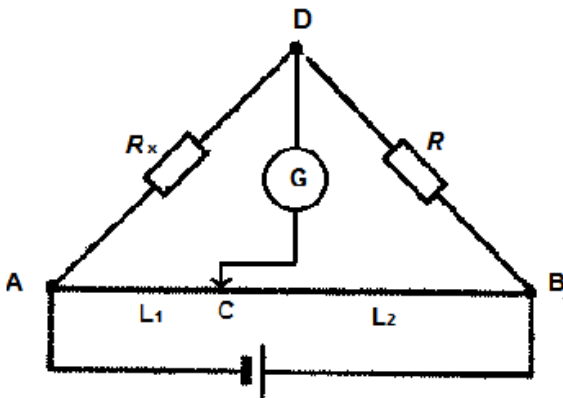
$$I_1 = -0.87a, I_2 = 2.6a, I_3 = 1.7a$$

უარყოფითი ნიშანი იმაზე მიუთითებს, რომ დენის ძალა I_1 რეალურად ჩვენ მიერ არჩეული დადებითი მიმართულების საპირისპიროა. ახლა ძნელი აღარ არის ძაბვის ვარდნების გამომანგარიშება თითოეულ წინააღობაზე, კერძოდ:

$$U_1 = -26.1\text{ვ}, U_2 = 52\text{ვ}, U_3 = 68\text{ვ}.$$

აქაც უარყოფითი ნიშანი იმაზე მიუთითებს, რომ შემოვლის მიმართულებით ძაბვა იზრდება.

უიტსტონის ბოგირი: უიტსტონის ბოგირი არის ქვემოთ, ნახაზზე მოყვანილი ელექტრული წრედი, რომლის საშუალებითაც შეიძლება გაიზომოს უცნობი წინააღობა მოცემული ეტალონური წინააღობის საშუალებით:



ამ წრედში R_x უცნობი წინააღობაა, R - წინააღობის ეტალონი, ხოლო G - გალვანომეტრი, რომელიც მოსრიალე C კონტაქტითაა მიერთებული ლითონის დიდი წინააღობის მქონე AB ერთგვაროვან გამტართან. აჩვენეთ, რომ თუ გალვანომეტრში დენი არ გადის (C კონტაქტის სათანადოდ არჩევით), ვიღებთ შემდეგ თანაფარდობას: $\frac{R_x}{R} = \frac{L_1}{L_2}$.

თუ გალვანომეტრში დენი არ გადის, ეს ნიშნავს, რომ C და D წერტილებს ერთმანეთის ტოლი პოტენციალები აქვს, ამიტომ R_x და R წინააღობებში გადის ერთი და იგივე დენი. აღვნიშნოთ იგი I_1 -ით. შესაბამისად, AD და DB უბნებზე ძაბვებისთვის შეგვიძლია დავწეროთ:

$$U_{AD} = I_1 R_x, U_{DB} = I_1 R. \quad (1)$$

ასევე ერთი და იგივეა დენი AB გამტარის L_1 და L_2 უბნებზე (აღვნიშნოთ იგი I_2 -ით). ამიტომ

$$U_{AC} = I_2 R_1, U_{CB} = I_2 R_2,$$

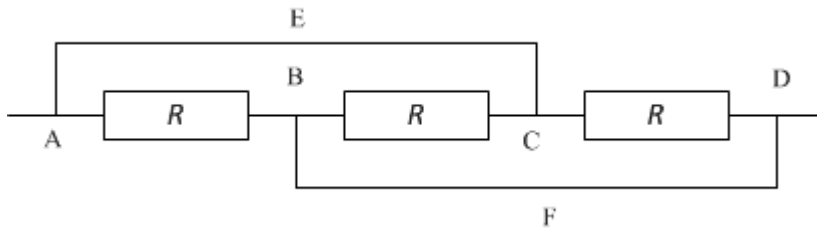
სადაც R_1 და R_2 , შესაბამისად, L_1 და L_2 უბნების წინააღმდეგობებია. ვინაიდან C და D წერტილების პოტენციალები ტოლია, შეგვიძლია დავწეროთ:

$$U_{AC} = U_{AD} \text{ და } U_{CB} = U_{DB}. \text{ ამიტომ } I_1 R_x = I_2 R_1, I_1 R = I_2 R_2 \text{ და აქედან } \frac{R_x}{R} = \frac{R_1}{R_2}.$$

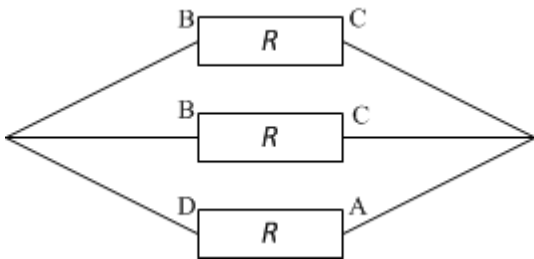
ვინაიდან R_1 და R_2 წინააღმდეგობები ერთი და იმავე გამტარს წარმოადგენს,

$$\frac{R_x}{R} = \frac{L_1}{L_2}.$$

წინააღმდეგობის გამოთვლა: გამოთვალეთ ქვემოთ მოყვანილი ელექტრული წრედის სრული წინააღმდეგობა. AEC და BFD შემართებული გამტარების წინააღმდეგობები უგულებელყავით.



ვინაიდან AEC და BFD გამტარების წინააღმდეგობები ნულის ტოლია, A და C წერტილების პოტენციალები ერთმანეთის ტოლი იქნება. იგივე ითქმის B და D წერტილების პოტენციალებზე. ამიტომ მოცემული წრედი შეიძლება შევცვალოთ მისი ეკვივალენტური წრედით,



რომელშიც სამი ერთნაირი წინააღმდეგობა შეერთებულია პარალელურად და სრული წინააღმდეგობა უდრის $R/3$ -ს.