
ლევან შოშიაშვილი

ელექტრონული ინჟინერია

(შესავალი კურსი)

2014

სარჩევი

1	ინჟინრული აღნიშვნები	3
1.1	აღნიშვნები	3
1.2	ერთეულები	3
2	ელექტრობა	5
2.1	ველი და ძაბვა	6
2.2	დენი	7
2.3	კავშირი დენს და მუხტს შორის	7
2.4	გამტარებლობა და წინაღობა	7
2.5	ელექტრული წრედი და ომის კანონი წრედის უბნისათვის	8
2.6	<i>P</i> სიმძლავრე	8
3	წინაღობა	10
3.1	წინაღობის ფერით კოდირება	10
4	წრედების ამოცანების ამოხსნის მეთოდები	12
4.1	წრედის ტოპოლოგიური ელემენტები. კირხოფის კანონები	12
4.1.1	ეკვივალენტური წინაღობა	12
4.1.2	წრედის ტოპოლოგია	12
4.2	წრედის დათვლა შტოებში გამავალი დენების მეთოდით	13
4.3	კონტურული დენების მეთოდი	14
4.4	ზედდების (სუპერპოზიციის) მეთოდი	15
4.5	წინაღობების გარდაქმნა $T(Y) \leftrightarrow \pi(\Delta)$	15
4.6	დამიწება	16
4.6.1	ძაბვის გაზომვა მიწის მიმართ	17

ინჟინრული აღნიშვნები

1.1 აღნიშვნები

ყოველდღიურ ცხოვრებაში ვიყენებთ ათობით სისტემას. მეცნიერულ აღნიშვნებში ნებისმიერი რიცხვი წარმოდგინდება როგორც ორი რიცხვის ნამრავლი:

- რიცხვი 1 და 10 შორის
- ათის შესაბამისი ხარისხი

მაგალითი 1.1

- $0.00012367 = 1.2367 \times 10^{-4}$
- $23456367 = 2.3456367 \times 10^7$

და არა

- $0.00012367 = 0.12367 \times 10^{-3}$
- $23456367 = 234563.67 \times 10^2$

ინჟინრული აღნიშვნები არის მეცნიერული აღნიშვნების მსგავსია. კერძოდ, წარმოსადგენი რიცხვის პირველი ნაწილი უნდა იყოს მოთავსებული 1 და 1000 შორის, ხოლო მეორე ნაწილი 10-ის ხარისხები უნდა იყოს სამის ჯერადი. ზემოთ მოყვანილი მაგალითი ინჟინრულ აღნიშვნებში იქნება შემდეგი:

მაგალითი 1.2

- $0.00012367 = 123.67 \times 10^{-6}$
- $23456367 = 23.456367 \times 10^6$

და არა

- $0.00012367 = 0.12367 \times 10^{-3}$
- $23456367 = 23456.367 \times 10^3$

ასეთი აღნიშვნები მოხერხებულია იმით, რომ ათის ხარისხების აღსანიშნავად იყენებენ საზომ(მეტრიკული) პრეფიქსებს. თავად საზომ სისტემა აღებულია საერთაშორისო სტანდარტის(SI) სისტემა(კგ,მ,წმ). ათის ხარისხების აღსანიშნავი პრეფიქსები იხ. ცხრილი 1.1.

1.2 ერთეულები

როგორც აღნიშნეთ ინჟინერიაში გამოიყენება საერთაშორისო საზომი სისტემა. ამ სისტემაში ელექტრონიკაში შემოტანილი ცნებებისათვის გვაქვს შემდეგი ერთეულთა სისტემა:

დენი ამპერი

ცხრილი 1.1: მეტრიკული პრეფიქსები

10^n	აღნიშვნა	სახ.
10^{12}	T	ტერა
10^9	G	გიგა
10^6	M	მეგა
10^3	k	კილო
10^{-3}	m	მილი
10^{-6}	μ	მიკრო
10^{-9}	n	ნანო
10^{-12}	p	პიკო

ცხრილი 1.2: ერთეულები

დასახელება	ერთეული	აღნიშვნა
დენი	ამპერი(A)	I
ძაბვა	ვოლტი(V)	V
წინაღობა	ომი(Ω)	R
სიხშირე	ჰერცი(Hz)	f
ტევადობა	ფარადი(F)	C
ინდუქტივობა	ჰენრი(H)	L
სიმძლავრე	ვატი(W)	P

ძაბვა ვოლტი
წინაღობა ომი
სიხშირე ჰერცი
ტევადობა ფარადი
ინდუქტივობა ჰენრი
სიმძლავრე ვატი იხ. ცხრილი 1.2.

■ მაგალითი 1.3

გამოვსახოთ ძაბვა 0.015V შესაბამის საზომ პრეფიქსით. ამისათვის ჯერ გამოვსახოთ შესაბამის ინჟინრულ აღნიშვნებში

$$0.015V = 15 \times 10^{-3}V$$

ესლა შევვიძლია გამოვიყენოთ ცხრილი 1.1

$$0.015V = 15mV \text{ (მვ)}$$

ხშირად საჭიროა გადაყვანა სხვადასხვა საზომ პრეფიქსებს შორის. ამისათვის ჯერ უნდა ჩავწეროთ სიდიდე ინჟინრულ აღნიშვნებში. შემდეგ თუ გადავდივართ დაბალ მეტრულ პრეფიქსზე ათის ხარისხის წინ არსებული რიცხვი უნდა გამრავლდეს სხვაობაზე ძველ და ახალ პრეფიქსს შორის...ხოლო თუ გადავდივართ მაღალ პრეფიქსზე მაშინ უნდა გაიყოს.

■ მაგალითი 1.4

გადავიყვანოთ ა) 25mA μA-ში ბ) 2700kΩ MΩ-ში.
ა) mA = 10⁻³, μ = 10⁻⁶ მათ შორის სხვაობაა 1000 და რადგან გადავდივართ მაღალი პრეფიქსიდან დაბალი პრეფიქსისკენ შესაბამისი სიდიდე უნდა გამრავლდეს 1000-ზე

$$25mA = 25 \times 10^{-3}A = 25000 \times 10^{-6}A = 25,000\mu A$$

ბ) შემთხვევისთვის გვეჩვენება(ოღონდ აქ უნდა გავითვალისწინოთ რომ დაბალი პრეფიქსიდან გადავდივართ მაღალ პრეფიქსზე)

$$2700k\Omega = 2700 \times 10^3\Omega = 2.7 \times 10^3 \times 10^3\Omega = 2.7 \times 10^6\Omega = 2.7M\Omega$$

როცა საჭიროა საზომი პრეფიქსებით გამოვსახოთ სიდიდეებზე გამოთვლების ჩატარება ჯერ უნდა გადავიყვანოთ ინჟინრულ აღნიშვნებში, ჩავატაროთ მოქმედებები და შემდეგ თუ შესაძლებელია ისევ გამოვსახოთ საზომი პრეფიქსის საშუალებით.

ელექტრობა

ქველესი დროიდან ცნობილია, რომ ზოგიერთ სხეულებს გარკვეულ პირობებში შეუძლიათ ერთმანეთი მიიზიდონ ან განიზიდონ. ასეთ სხეულებს დამუხტული სხეულები ეწოდებათ. მუხტი არის ორი სახის დადებითი და უარყოფითი. ერთი ნიშნის მქონე მუხტით დამუხტული სხეულები ერთმანეთს განიზიდავენ, ხოლო სხვადასხვა – მიიზიდავენ. თანამედროვე ატომური და ელ. ნაწილაკების თეორიის თვალსაზრისით არსებობენ ელემენტარული მუხტის მქონე ნაწილაკები. ასეთია მაგ. ელექტრონი უარყოფითი მუხტით, პროტონი დადებითი მუხტით. სხეულის დამუხტვა კი განპირობებულია ელექტრონების სიჭარბით (- მუხტი) ან ნაკლებობით (+ მუხტი).

ნივთიერება შედგება მოლეკულებისაგან ხოლო მოლეკულები თავის მხრივ ატომებისაგან. ატომები შედგებიან ბირთვისგან და ელექტრონებისგან. ელექტრონები (ბორის ატომის მოდელის მიხედვით) მოძრაობენ ბირთვის გარშემო გარკვეულ ორბიტებზე. თუ რა ორბიტებია ესენი და რამდენი ელექტრონი შეიძლება მოძრაობდეს თითოეულ მატკანზე ამაზე პასუხობს კვანტური მექანიკა.

თავის მხრივ ბირთვი შედგება პროტონებისაგან (+ მუხტი) და ნეიტრონებისაგან (0 მუხტი). პროტონის მუხტი აბსოლიტური ელექტრონის მუხტის ტოლია.

დამუხტულ ნაწილაკებს შორის მოქმედებს ძალა (კულონის კანონი):

$$F_{21} = k \frac{q_1 q_2}{|\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1|^2} \frac{\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1}{|\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1|} \quad (1)$$

სადაც

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon} = 10^{-7} c^2$$

ატომის გარე შრეზე მოძრავი ელექტრონები ნაკლებად მიიზიდება ბირთვის მხრიდან ვიდრე შიგა შრეებზე არსებული ელექტრონები (იხ. კულონის კანონი), ამიტომ შესაძლებელია სხვადასხვა ფაქტორების გამო ეს ელექტრონები (მათ სავალენტო ელექტრონები ეწოდებათ) მოწყდნენ ატომს. ამის შემდეგ ატომს აღმოაჩნდება დაუბალანსებელი დადებითი მუხტი (ბირთვის ხარჯზე).

მუხტის ერთეული არის კულონი (C). ელექტრონის (e^-) მუხტი ტოლია

$$Q_{e^-} = -0.16 \cdot 10^{-18}$$

შესაბამისად 1 კულონი მუხტს ქმნის 6.25×10^{18} ელექტრონი.

თანამედროვე შეხედულებით სხეულები მოქმედებენ ერთმანეთზე არა უშუალოდ არამედ ველების საშუალებით. ² მაგ. მასის მქონე სხეულ-ების ურთიერთქმედება განპირობებულია გვატიტაციული ველით, ხოლო დამუხტული სხეულებისა ელექტრომაგნიტური ველით.

კვანტურმა მექანიკამ აჩვენა ნაწილაკის ორმაგი ბუნება. ის არის ტალღა და ამავე დროს ნაწილაკი. ველის კვანტური თეორიის მიხედვით, რასაც ველს ვუწოდებთ ეს არის ურთიერთქმედების გადამტანი ნაწილაკები. ველის ზემოქმედება არის სწორედ ამ ნაწილაკების გაცვლა ურთიერთქმედ ნაწილაკებს (სხეულებს შორის). გრავიტაციის შემთხვევაში ესაა გრავიტონები. ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების შემთხვევაში კი ესაა ფოტონები (სინათლის ნაწილაკები). ჩვენს შემთხვევაში მხოლოდ კლასიკური ფიზიკით შემოვიფარგლებით და გამოვიყენებთ ელექტრომაგნიტური ველის ცნებას.

2.1 ველი და ძაბვა

ელექტრული ველი მოცემულ წერტილში განიმარტება როგორც ამ წერტილში მდებარე სანიჯ q მუხტზე მოქმედი ძალის (რომელიც გამოწვეულია სხვა q_i მუხტებისგან) ფარდობა q მუხტთან.

$$\mathbf{E}(\mathbf{x}) = \lim_{q \rightarrow 0} \frac{\mathbf{F}}{q} \quad (2)$$

ელექტრული ველი არის ვექტორული სიდიდე, რაც ნიშნავს, რომ ის არის ვექტორული ფუნქცია \mathbf{x} კოორდინატის და ავლენიშნავთ როგორც $\mathbf{E}(\mathbf{x})$. SI სიტემაში ელექტრული ველის განზომილებაა ვოლტი/მეტრი. თუ მოცემულია წერტილოვანი მუხტები q_i კოორდინატებით \mathbf{x}_i , $i=1,2,\dots,n$, მაშინ

$$\mathbf{E}(\mathbf{x}) = k \sum_{i=1}^n \frac{q_i(\mathbf{x} - \mathbf{x}_i)}{|\mathbf{x} - \mathbf{x}_i|^3} \quad (3)$$

დამუხტული ნაწილაკი, რომელიც მდებარეობს \mathbf{x}_1 წერტილში ქმნის ველს \mathbf{x} წერტილში

$$\mathbf{E} = k \frac{q_1}{|\mathbf{x} - \mathbf{x}_1|^2} \frac{\mathbf{x} - \mathbf{x}_1}{|\mathbf{x} - \mathbf{x}_1|} \quad (4)$$

აქედან კულონის კანონი მიიღებს სახეს

$$\mathbf{F}_{21} = \mathbf{E}q_2 \quad (5)$$

როცა მუხტი გადაგვაქვს 1 ადგილიდან მეორეზე (როცა ჩვენ ვასრულებთ მუშაობას ველის წინააღმდეგ) შესრულებული მუშაობის გაზომვით ჩვენ შეგვიძლია შევაფასოთ ველი (უფრო სწორედ პოტენციალთა სხვაობა) თუ რამდენად დიდია.

$$V = \frac{W}{Q} \quad (6)$$

ამ სიდიდეს ეწოდება ძაბვა (პოტენციალთა სხვაობა). შესრულებული მუშაობა q თავის მხრივ ესაა ძალა გამრავლებული მანძილზე (სკლარული ნამრავლი) ანუ

$$W_{21} = \mathbf{E}(\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1)q_2 \quad (7)$$

უფრო ზუსტად

$$W_{21} = q_2 \int_{\mathbf{x}_1}^{\mathbf{x}_2} \mathbf{E} d\mathbf{x} \quad (8)$$

ველის მთავარი არსი ისაა რომ არა მხოლოდ წყაროები (ამ შემთხვევაში მუხტი) ქმნის ველს არამედ ველი არის დამოუკიდებელი მატერიის არსებობის ფორმა. ზემოთ მოყვანილ ფორმულა (8) \mathbf{E} ველი არაა აუცილებელი იყოს წერილოვანი მუხტის მიერ შექმნილი ველი. თუ დავუშვებთ რომ \mathbf{E} მუდმივია^①. მაშინ ინტეგრება გავძლევს 7 ფორმულას. და

$$V_{21} = \frac{W}{q_2} = \mathbf{E}(\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1) = \mathbf{E}\mathbf{x}_2 - \mathbf{E}\mathbf{x}_1 = \varphi_2 - \varphi_1 \quad (9)$$

ზემოთ მოყვანილი ფორმულებიდან ჩანს რომ ველი ხასიათდება პოტენციალით $\varphi = \mathbf{E}\mathbf{x}$, ხოლო პოტენციალთა სხვაობა ორ წერტილს(ძაბვა) შორის აჩვენებს თუ რამდენად ძლიერია ველი

რაც უფრო ძლიერია პოტენციალთა სხვაობა მით უფრო მეტია შესრულებული მუშაობა (რომელსაც მუხტი ასრულებს, ან რომელსაც ჩვენ ვასრულებთ თუ ჩვენ ვხარჯავთ ენერგიას მუხტის გადატანაზე).

მუხტის მოძრაობა (მუხტის გამო ელექტრულ ველში) განპირობებულია ძაბვით (ანუ პოტენციალთა სხვაობით).

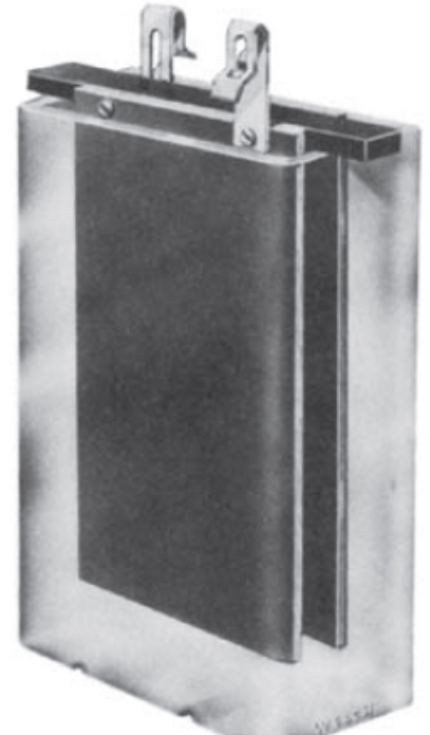
^① უკანასკნელ ორ ფორმულაში $\mathbf{x}_2, \mathbf{x}_1$ აღნიშნავს გადატანილი მუხტის საწყის და საბოლოო კოორდინატებს.

2.2 დენი

დენი ეწოდება დამუხტული ნაწილაკების მოწესრიგებულ მოძრაობას. დენის გავლისას ადგილი აქვს მუხტის გადატანას. ცხადია თუ ორივე ტიპის მუხტი ერთდროულად გადადის ერთი ადგილიდან მეორეზე დენი არის ნული.

ეს პროცესი შეიძლება წარმოვადგინოთ როგორც ორი პროცესის ერთობლიობა. თითქოს გადის ორი დენი ერთმანეთის საპირისპირო მიმართულებით და ჯამური დენი არის ნული. ანუ დენს გააჩნია მიმართულება. დენის დადებით მიმართულებად იღებენ დადებითი მუხტების მოძრაობის მიმართულებას. იმისათვის რომ გვქონდეს დენი საჭიროა წყარო. წყარო შეიძლება იყოს როგორც დენის წყარო(იძლევა დენს) ასევე ძაბვის წყარო (უზრუნველყოფს პოტენციალთა სხვაობას). მაგ. ბატარეა წარმოადგენს ძაბვის წყაროს. სურ.2.1 ასევე ნაჩვენებია როგორ აღინიშნება მუდმივი ძაბვის წყარო ელექტრულ სქემაზე.

მოცემულ შემთხვევაში გვაქვს ე.წ. მუდმივი ძაბვის წყარო (ძაბვა არ იცვლება დროის) განმავლობაში



2.3 კავშირი დენს და მუხტს შორის

როგორც ავლინებთ დენი არის დამუხტული ნაწილაკების მოწესრიგებული მოძრაობა. ცხადია ეს პროცესი რაღაც სიდიდით უნდა დავახასიათოთ. რაც უფრო მეტი მუხტის გადატანა ხდება დროის ერთეულში მით მეტი სრული მუხტის გადატანა მოხდება ანუ Q/t სიდიდე ახასიათებს მუხტის გადატანის (ზოგადად ცვლილების) სისწრაფეს და ამ სიდიდეს ეწოდება დენის ძალა, ანუ მარტივად დენი.

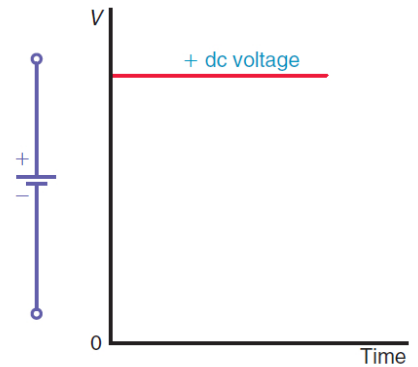
$$I = \frac{Q}{t} \tag{10}$$

როგორც ავლინებთ დენის ერთეული არის ამპერი $1A=C/s$ $1a=3/4$. ანუ 1 ამპერი არის მუხტის ის რაოდენობა რომელიც გადაიტანება 1 წამის განმავლობაში. მეორე მხრივ თუ ვიცით დენი და რა დროის განმავლობაშიც გადიოდა ეს დენი შეგვიძლია დავთვალოთ გადატანილი მუხტის რაოდენობა

$$Q = It \tag{11}$$

2.4 გამტარებლობა და წინაღობა

სხვა სხვა ნივთიერებები ხასიათდებიან დენის გატარების სხვადასხვა უნარით. ერთნი წარმოადგენენ კარ გამტარებს მეორენი არა გამტარებს. ეს თვისება ხასიათდება გამტარებლობით(აღინიშნება როგორც G . ერთეული არის სიმენსი). დიდია გამტარებლობა ნიშნავს რომ მოცემულ ძაბვაზე გადის დიდი დენი. არის ასევე მეორე სიდიდე რითაც ახასია-



სურ 2.2: მუდმივი ძაბვის წყარო



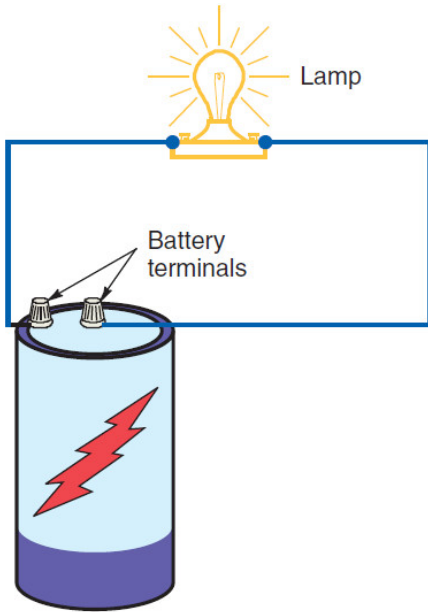
სურ 2.3: წინაღობა

① ეს ფორმულა სამართლიანია მარტივი წრედებისათვის, მაგ. სადაც გვაქვს მხოლოდ წინაღობა. რთული წრედებისათვის ფორმულა ძალაშია ოღონდ იგულისხმება კომპლექსური წინაღობა (ანუ იმპედანსი (*Impedance*) Z) და კომპლექსური გამტარებლობა (ანუ მიმღებლობა (*Admittance*) Y)

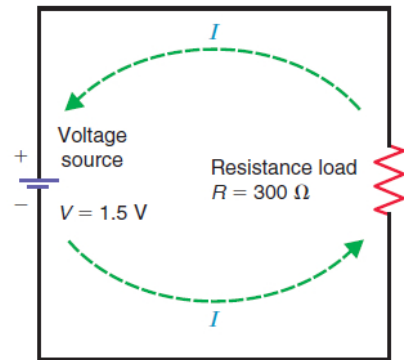
თებენ დენის გატარების უნარს, ესაა – წინაღობა R . რაც მეტია წინაღობა მით ნაკლები დენი გადის მოცემული ძაბვის შემთხვევაში. ცხადია, რომ წინაღობა თანაგის არსით გამტარებლობის შებრუნებული სიდიდეა ანუ^①

$$G = \frac{1}{R}$$

2.5 ელექტრული წრედი და ომის კანონი წრედის უბნისათვის



სურ. 2.4: ნათურა წრედში



სურ. 2.5: შეკრული წრედი

წყარო და მასთან სადენებით მიერთებული დატვირთვა ქმნიან შეკრულ წრედს. რადგან დენი ახასიათებს მუხტის გადატანას მას გააჩნია მიმართულება. ლითონებში დენს ქმნიან ელექტრონები. სითხეებსა და გაზებში^② დენს ქმნიან იონები (მუხტის მქონე ატომები და მოლეკულები), რომელთა^③ მუხტი შეიძლება იყოს როგორც დადებითი ასევე უარყოფითი. ცხადია დადებითი მუხტები იმოძრაებენ დადებითი პოლარობიდან უარყოფითი პოლარობისკენ (ანუ იმ მიმართულებით სადაც პოტენციალთა სხვაობა დადებითია) ხოლო უარყოფითი საპირისპირო მიმართულებით (ანუ პოტენციალთა სხვაობა უარყოფითია).

სურ.2.4 ნაჩვენებია რეალური წრედი როგორც არის ჩართული ნათურა ბატარეასთან. ხოლო სურ.2.5 ნაჩვენებია ამ წრედის სქემა. ასეთ სქემას პრინციპულ სქემას უწოდებენ. ნათურა წარმოადგენილია როგორც წინაღობის მქონე ელემენტი. პოტენციალთა სხვაობა გვაქვს არა მარტო ბატარეის პოლუსებს შორის არამედ ნათურას შეერთების (წრედში ჩართვის) კვანძებს შორის. ამბობენ რომ წინაღობაზე გვაქვს ძაბვის ვარდნა.

ცხადია შემართებელ სადენებსაც აქვთ წინაღობა მაგრამ იგი გაცილებით მცირეა ვიდრე ნათურის წინაღობა ამიტომ სადენების წინაღობა უგულვებელყოფილია.

წრედის მნიშვნელოვანი მახასიათებლებია:

1. უნდა არსებობდეს წყარო რომელიც უზრუნველყოფს პოტენციალთა სხვაობას (ანუ ძაბვას)
2. დენის სვლა უნდა ხდებოდეს შეკრულ წირზე. ანუ დენი იწყება წყაროს ერთ პოლუსზე და მთავრდება მეორეზე.
3. დენი მოძრაობისას უნდა გადიოდეს წინაღობაში. წინაღობა წრედში შეიძლება იყოს ან დენის შესამცირებლად ან სითბოს წარმოქმნის მიზნით.

სურ.2.5 ასევე ნაჩვენებია ელექტრონების მოძრაობის მიმართულება.

მიღებულია შეთანხმება რომ დენის დადებით მიმართულებად არჩეულია დადებითი მუხტების მოძრაობის მიმართულება. ანუ მოცემულ შემთხვევაში თუ ამ შეთანხმებას მივიღებთ დენი გადის იმის საპირისპირო მიმართულებით რაც ნაჩვენებია სურათზე. ცხადია თუ შევცვლით პოლარობას წყაროზე ო შეიცვლება დენის მიმართულებაც.

არსებობს კავშირი დენს, ძაბვას და წინაღობას შორის, რაც გამოისახება ომის კანონით

$$I = \frac{V}{R} \tag{12}$$

2.6 P სიმძლავრე

ავიღოთ ძაბვისდა დენის ფორმულები 6 და 12 და ვნახოთ რას მოგვცემს მათი ნამრავლი

$$I \cdot V = \frac{Q}{t} \cdot \frac{W}{Q} = \frac{W}{t} = P \quad \left[\frac{\text{ჯოული}}{\text{წმ}} = \text{ვტ} \right] \tag{13}$$

ანუ ძაბვის და დენის ნამრავლი ყოფილა ტოლი სიმძლავრისა. მართლაც დატვირთვაზე მოდებული ძაბვის და მასში გამავალი დენის ნამრავლი გვაძლევს სიმძლავრეს რომელსაც მოიხმარს დატვირთვა.

სავარჯიშო 2.1

220 V ქსელში რიგრიგობით ჩართულია 60 W და 100 W სიმძლავრის ნათურა. როგორ უფრო მეტ დენს მოიხმარს? რომლის წინაღობა უფრო მეტია? ■

წინააღობა

ცხრილი 3.1: წინააღობის კლასიფიკაცია

სიმძლავრე (ვტ)	ძაბვა(ვ)
1	500
0.5	350
0.25	250
0.125	150

ცხრილი 3.2: წინააღობის კოდირება

ფერი	მნიშვნელობა
შავი	0
ყავ.	1
წით.	2
ნარ.	3
ყვ.	4
მწვ.	5
ცის.	6
იის.	7
რუხ.	8
თეთ.	9
ოქრ.	0.1(ან±5%)
ვერ.	0.01(ან±10%)

წინააღობას ახასიათებენ ორი მნიშვნელოვანი სიდიდით. მაქსიმალური ძაბვა და მაქსიმალური სიმძლავრე რომელზეც შეიძლება იმუშაოს წინააღობამ ზემოთ მოყვანილ სურ.(2.3) ნაჩვენებია რომ გვაქვს 10KΩ წინააღობა, რომლის მუშაობის მაქსიმალური სიმძლავრეა 10W(ვატი). ანუ შეიძლება გვქონდეს ორი წინააღობა ერთი და იგივე სიდიდის მნიშვნელობით, მაგრამ განსხვავებული იყოს მათი მუშაობის რეჟიმი. ანუ დასაშვები ძაბვა და სიმძლავრე იყოს სხვადასხვა. როცა წინააღობას ვრთავთ ყურადღება უნდა მივაქციოთ რაა მისი დასაშვები ძაბვა/სიმძლავრე და რა ძაბვა/სიმძლავრე გვაქვს ქსელში. მაქსიმალური ძაბვის და სიმძლავრის მახასიათებელი საჭიროა იმისათვის, რომ ზოგიერთ ძაბვა-ზე/სიმძლავრეზე ხდება წინააღობის ცვლილება და უფრო მეტიც წინააღობაზე გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა შეიძლება იმდენად დიდი იყოს რომ დააზიანოს წინააღობა.

მიღებულია, რომ მოცემული ძაბვის ქსელში უნდა ჩაირთოს წინააღობა რომლის დასაშვები ძაბვაც ორჯერ მეტია ქსელში არსებულ ძაბვაზე. რაც შეეხება სიმძლავრეს მიღებულია სიმძლავრეთა შემდეგი შკალა ცხ.3.1

3.1 წინააღობის ფერით კოდირება

ფერით კოდირება მოცემულია ცხ. 3.2. გვაქვს 4 ფერისანი და 5 ფერისანი კოდირება.

4 ფერისანი კოდირებისთვის გვაქვს შემდეგი წესი:

- პირველი ორი ფერი აღნიშნავს ციფრს.
- მესამე ფერი აღნიშნავს ათის ხარისხს, რომელზეც მრავლდება, ხოლო
- მეოთხე ფერი აღნიშნავს ცდომილებას.
- ოქროსფერი აღნიშნავს 5 ხოლო ვერცხლისფერი 10 პროცენტის ცდომილებას.
- 1/10 და 1/100 ხარისხები აღნიშნავს შესაბამისად ოქროსფერით და ვერცხლისფერით. ანუ ოქროსფერი და ვერცხლისფერი მესამე პოზიციაზე აღნიშნავს ათის -1 და -2 ხარისხებს, ხოლო მეოთხე პოზიციაზე ცდომილებებს

5 ფერისანი კოდირებისთვის გვაქვს შემდეგი წესი:

- პირველი სამი ფერი აღნიშნავს ციფრს.
- მეოთხე ფერი აღნიშნავს ათის ხარისხს, რომელზეც მრავლდება,
- ხოლო მეხუთე ფერი აღნიშნავს ცდომილებას.
- ოქროსფერი აღნიშნავს 5 ხოლო ვერცხლისფერი 10 პროცენტის ცდომილებას.

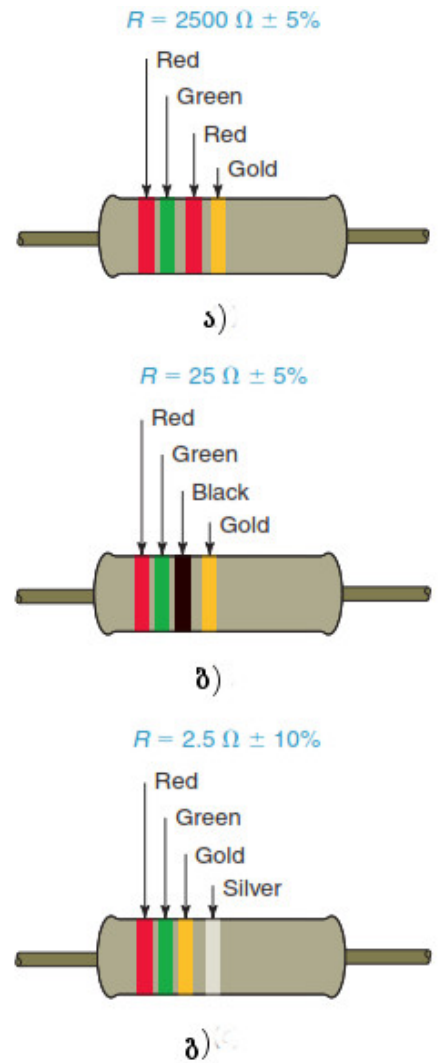
- 1/10 და 1/100 ხარისხები აღინიშნება შესაბამისად ოქროსფერით და ვერცხლისფერით. ანუ ოქროსფერი და ვერცხლისფერი მესამე პოზიციაზე აღნიშნავს ათის -1 და -2 ხარისხებს, ხოლო მეოთხე პოზიციაზე ცდომილებებს

სურ.3.1 ნაჩვენებია სხვადასხვა წინააღობის ფერით კოდირების მაგალითები.

■ **მაგალითი 3.1** სურ.3.1 ჩასვით მეოთხე პოზიციაზე ცისფერი და მესუთეზე ვერცხლისფერი. დათვალეთ მიღებული ხუთფერიანი წინააღობები.

გარდა ზემოთ მოყვანილი მაგალითისა არის ბრტყელი წინააღობები, რომლებიც ხშირად გამოიყენებიან ბეჭდურ დაფებზე და არ იყენებენ ფერით კოდირებას. წინააღობის მნიშვნელობები ასეთ წინააღობებზე მოცემულია სიფრული სახით.

არის ასევე ნულ ომიანი წინააღობაც. ვინაიდან ბეჭდურ დაფებს აკეტებს რობოტი და არ იცის "მავთულის"ჩასმა, იმ შემთხვევებში როდესაც საჭიროა წრედის დამოკლება ჯდება ნულ ომიანი წინააღობა.



სურ 3.1: 4 ფერიანი კოდირება

წრედების ამოცანების ამოხსნის მეთოდები



წრედების ამოცანები პირობითად იყოფა ორ ნაწილად: სინთეზის ამოცანა, როცა საჭიროა წრედის შექმნა წინასწარ მოცემული თვისებებით და ანალიზის ამოცანა როცა საჭიროა შესწავლილ იქნას მოცემული წრედის თვისებები. წრედის ანალიზის ამოცანებს შეიძლება ჰქონდეთ სხვადასხვა მიზანი მაგ. გაძლიერების კოეფიციენტი პოვნა, სისშირული ფილტრის თვისებების შესწავლა და ა.შ.

ჩვენს შემთხვევაში ამოცანა არის ვიპოვნოთ ძაბვები და დენები წრედში ჩართულ წინააღობებზე^(**) რამდენიმე მარტივი წესი ცნობილია სკოლის კურსიდან:

1. მიმდევრობით შეერთებული წინააღობები იკრიბება
2. პარალელურად შეერთებული გამტარებლობები იკრიბება

რთული წრედების ანალიზი ემყარება ორ ძირითად კანონს: მუხტის და ენერჯის შენახვის კანონებს, რაც ცნობილია კირხოფის ანონების სახელით.

4.1 წრედის ტოპოლოგიური ელემენტები. კირხოფის კანონები

როცა ვახსენებთ მიმდევრობითი და პარალელური შეერთება ინტუიტიურად ვიცით თუ რას ნიშნავს ეს ტერმინები. ქვემოთ მოყვანილ განმარტებებიდან ცხადი გახდება როდისაა დატვირთვის ჩართვა მიმდევრობითი და როდის პარალელური.

4.1.1 ეკვივალენტური წინააღობა

წრედის დათვლისას ხშირად გამოიყენება ეკვივალენტური წინააღობა. ანუ ერთი წინააღობით შეიძლება შევცვალოთ რამდენიმე ისე რომ მასში გადიოდეს იგივე დენი (გამოსავალზე, რომელსაც სხვაგვარად პორტებსაც უწოდებენ, გვაძლევდეს იგივე დენს).

4.1.2 წრედის ტოპოლოგია

წრედი შედგება სხვადასხვა ელემენტებისგან რომლებიც შეერთებულია ერთმანეთთან გამტარებით.

განმარტება 4.1 კვანძი ეწოდება ისეთ შეერთების წერტილს სადაც გვაქვს 3 ან მეტი სადენი. ^(***)

***) შემდეგ თავებში განხილული იქნება სხვა ელემენტებიც (ტრეაღობა, ინდუქტივობა), მაგრამ ამ თავში განხილული მეთოდები კვლავ ძალაშია.

***) კვანძს ასევე უწოდებენ ელემენტის ჩართვის წერტილებსაც, სადაც ანიჭებენ პოტენციალებს. ამ მეთოდს შემდეგ განვიხილავთ. კვანძის ასეთი განმარტების შემთხვევაში შტო იქნება წრედის ნაწილი რომელიც აერთებს ორ ისეთ კვანძს სადაც ორზე მეტი სადენია შეერთებული და ქვემოთ მოყვანილი წესები ცხადია კვლავ ძალაშია, ოღონდ უნდა გავითვალისწინოთ რომ საუბარია კვანძზე სადაც 3 ან მეტი შტო არის შეერთებული.

განმარტება 4.2 შტო ეწოდება წრედის ნაწილს რომელიც აერთებს ორ კვანძს. შტოს აქვს მიმართულება, თუ რომელი კვანძიდან რომელ კვანძს აერთებს.

განმარტება 4.3 კონტური ეწოდება წრედის ნაწილს სადაც ჩართულია შტოები ისე რომ კონტურის საწყისი კვანძი იგივეა რაც უკანასკნელი შეერთების კვანძი. ანუ ერთმანეთთან დაკავშირებული შტოები ქმნიან შეკრულ კონტურს.

ასეთი წესით განმარტებულ ობიექტს მათემატიკაში უსოდებენ ორიენტირებულ გრაფს. ზემოთ მოყვანილი განმარტებებიდან გამომდინარეობს, რომ ერთ შტოში ჩართული ელემენტები არიან მიმდევრობით შეერთებული. შტოები, რომელთა საწყისი და საბოლოო შეერთების კვანძები საერთოა არიან პარალელურად ჩართული. ასეთ შტოებში ჩართული ელემენტები შესაბამისად ჩართული არიან პარალელურად. როგორც ვხედავთ ზემოთ მოყვანილი აღწერა არაა დამოკიდებული თუ რა და რამდენი ელემენტია ჩართული წრედში. თუ წრედში არის კვანძი მას განშტოებული წრედი ეწოდება^(*) იმისათვის რომ დავთვალოთ წრედში ჩართულ^(*) შეიცავს ერთზე მეტ შტოს ელემენტებზე მოსული დენი და ძაბვა საჭიროა შემდეგი:

1. გამოიყოს და დაინომროს წრედში კვანძები
2. დაინომროს შტოები
3. თითოეულ შტოში ვირჩევთ დენის მიმართულებას
4. გამოიყოს კონტურები
5. თითოეული კონტურისთვის ვირჩევთ შემოვლის მიმართულებას.

ზემოთ მოყვანილი პროცედურების შემდეგ შეგვიძლია გამოვიყენოთ კირხოფის კანონები:

1. კვანძში შემავალი დენების ჯამი ნულის ტოლია
2. სრული ძაბვის ვარდნა კონტურზე ნულის ტოლია

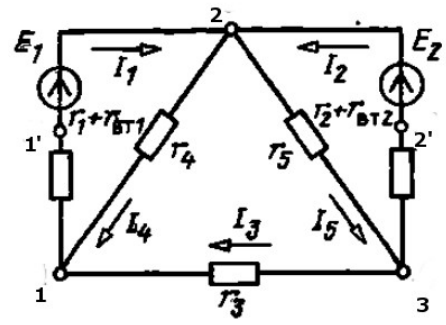
პირველი კანონი გამომდინარეობს მუხტის შენახვის კანონიდან: რა რაოდენობის მუხტიც შედის კვანძში იგივე გამოდის. ამას გარდა პირველი კანონიდან და იმ ფაქტიდან რომ წრედი შეკრულია გამომდინარეობს შემდეგი:

წრედის ნებისმიერ კვეთაში შემავალი სრული დენი ტოლია გამომავალი სრული დენისა.

ბრტყელი წრედების^(**) შემთხვევისთვის ეს ნიშნავს, რომ ნებისმიერი წრფე რომ გავავლოთ რომელიც კვეთავს წრედს ამ წრფის გადამკვეთი დენების ჯამი ერთის მხრიდან ტოლია გადამკვეთი დენების ჯამისა მეორე მხრიდან. სურ.4.1.

მეორე კანონი კი გამომდინარეობს ენერჯის შენახვის კანონიდან რა ენერჯიასაც გამოყოფს დენის და ძაბვის წყაროები ისარჯება წრედში ჩართულ ელემენტებზე.

ცხადია თითოეულ შტოში გადის ერთი და იგივე დენი. ამიტომ იმდენი უცნობი დენი გვაქვს რამდენიც შტო. თუ შტოში ჩართულია დენის წყარო ცხადია ამ შტოში გამავალი დენი ცნობილია და უცნობების რაოდენობა მცირდება იმდენით თუ რამდენი დენის წყაროც გვაქვს ჩართული.



სურ 4.1: კირხოფის კანონი: წრედის კვეთა

(**) ანუ წრედი რომელიც ერთ სიბრტყეში დევს

4.2 წრედის დათვლა შტოებში გამავალი დენების მეთოდით

ამ მეთოდში ვიყენებთ ინფორმაციას წრედის ტოპოლოგიის შესახებ. ვთქვათ გვაქვს შტოების რაოდენობა n სადაც არაა ჩართული დენის წყაროები. და ვაფგენთ განტოლებათა სისტემას კირხოფის კანონების გამოყენებით შემდეგი წესით:

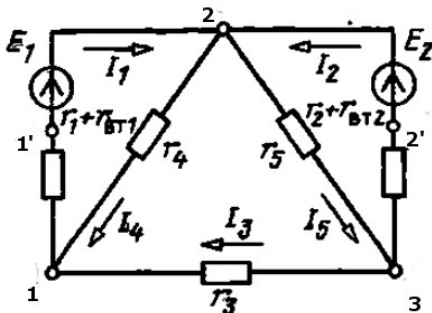
1. თუ წრედში გვაქვს m კვანძი $m - 1$ კვანძისთვის იწერება კირხოფის პირველი კანონი.
2. უცნობების რაოდენობა დარჩა $n - m$. დანარჩენი $n - m$ განტოლებების დასაწერად ვიღებთ კონტურებს და თითოეული მათგანისათ-

ვის ვწერთ კირხოფის მეორე კანონს. კონტურებისთვის ვირჩევთ შემოვლის მიმართულებას (მაგ. საათის ისრის მიმართულებით). როდგორც წესი ვიღებთ მარტივ კონტურებს. ვათავსებთ ავირჩიეთ ერთი როემლიმე კონტური და დავწერეთ კირხოფის მეორე კანონით განტოლება ძაბვებისათვის. მოვნიშნოთ რა შტოებმა მიღეს მონაწილეობა ამ კონტურში. ახალი კონტური უნდა დავმატოს ისე რომ მასში შედიოდეს ერთი მაინც ახალი შტო რომელსაც არ მიუღია მონაწილეობა წინა ნაბიჯზე არჩეულ კონტურში. მოვნიშნოთ ეს ახალი კონტურებიც. და ა.შ.

(*) შტო რომელიც არ შეიცავს დენის წყაროს

3. კონტურების არჩევა წყდება როცა ყველა შტოს(*) აქვს მონაწილეობა მიღებული შერჩეულ კონტურებში

ამ მეთოდში ვხედავთ რომ იმდენი განტოლება გვაქვს რამდენი უცნობი დენიანი შტოც გვაქვს. ზოგადად შეგვიძლია დავწეროთ სისტემა ყველა შტოსათვის და შემდეგ შტოში სადაცაა ჩართული დენის წყარო მივანიჭოთ ცნობილი დენის მნიშვნელობა. კონტურული განტოლებების შედგენისას უნდა გამოვრიცხოთ კონტურები რომლებშიც ჩართულია მხოლოდ იდეალური დენის წყარო, ვინაიდან ასეთ წყაროს აქვს უსასრულოდ დიდი წინაღობა. ამას გარდა დენის წყაროების არსებობა ამცირებს კონტურული განტოლებების რაოდენობას, ვინაიდან მოცემულ შტოში დენი ცნობილია. ამავე დროს თუ წყაროში მიმართულება საწინააღმდეგოა კონტურის შემოვლის მიმართულებასა წყარო აიღება „-“ ნიშნით. თუ ჩვენს მიერ არჩეული დენის მიმართულება საპირისპიროა კონტურის შემოვლის მიმართულებასა ძაბვის ვარდნა აიღება „-“ ნიშნით. განვიხილოთ მაგალითი:



სურ 4.2: წრედი 1

მაგალითი 4.1

განვიხილოთ სურ.4.2 მოცემული წრედი. (1) კვანძისთვის გვაქვს

$$-I_1 + I_3 + I_4 = 0$$

ხოლო (3)-თვის

$$-I_2 - I_3 + I_5 = 0$$

დავწეროთ განტოლებები კონტურისთვის. გვჭირდება 3 განტოლება.

კონტური (1-1'-2-1)

$$E_1 = (r_1 + r_{in})I_1 + r_4I_4$$

კონტური (1-2-3-1)

$$0 = -r_4I_4 + r_5I_5 + r_3I_3$$

კონტური (2-2'-3-2)

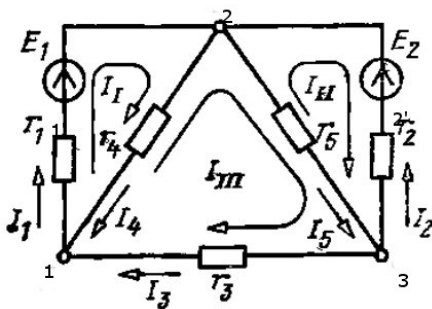
$$-E_2 = -(r_2 + r_{in})I_2 - r_5I_5$$

ამრიგად გვაქვს 5 შტო და 5 განტოლება 5 უცნობით.

1.3 კონტურული დენების მეთოდი

ამ მეთოდში ისევ ვადგენთ წრედის ტოპოლოგიურ სურათს. ვირჩევთ კონტურში შემოვლის მიმართულებას. წინა მეთოდისგან განსხვავებით აქ ვუშვებთ, რომ კონტურში გადის ერთი და იგივე დენი. ამ დენს კონტურული დენი ეწოდება.

1. გამოვყოფთ კონტურებს იგივე წესით, ანუ ყოველ ახალ კონტურში 1 ახალი შტო მაინც უნდა მონაწილეობდეს და კონტურების შერჩევა ხდება მანამ ყველა შტო არ ექნება მონაწილეობა მიღებული.
2. ვწერთ კირხოფის კანონებს უკვე კონტურული დენებისათვის კვანძებში და ძაბვის ვარდნებისათვის კონტურებში.



სურ 4.3: წრედი 1. კონტურული დენების მეთოდი

3. ვითვალისწინებთ შტოში გამავალ დენებს შემდეგნაირად. თუ შტოში მონაწილეობს ორ ან რამდენიმე კონტურში მასში გადის იმდენი კონტურული დენი რამდენ კონტურშიც მონაწილეობს. თუ კონტურის შემოვლის მიმართულება მეთხვევა ამ მოცემულ შტოში გამავალი კონტურული დენის მიმართულებას მაშინ ეს დენი აიღება + ნიშნით, წინააღმდეგ შემთხვევაში – ნიშნით.
4. ვხსნით მიღებულ განტოლებათა სისტემას. (*)
5. ვპოულობთ თითოეულ შტოში გამავალ დენებს მიღებული კონტურული დენების საშუალებით.

(*) ეს სიტემა უფრო ნაკლებ ცვლადებს შეიცავს ვიდრე წინა პარაგრაფში აღწერილ მეთოდში გვექონდა, მაგრამ ეს მხოლოდ მოჩვენებითია. კომპიუტერული რესურსების თვალსაზრისით კი მიღებული სისტემის ამოხსნა ნაკლებ რესურსს მოითხოვს

განვიხილოთ მაგალითი:

■ მაგალითი 4.2

განვიხილოთ სურ.4.3 მოცემული წრედი. დავწეროთ განტოლებები კონტურისთვის. გვჭირდება 3 განტოლება.

კონტური (1-1-2-1)

$$E_1 = (r_1 + r_{1in})I_1 + r_4(I_1 - I_{III})$$

კონტური (1-2-3-1)

$$0 = r_4(I_{III} - I_1) + r_5(I_{III} - I_{II}) + r_3I_{III}$$

კონტური (2-2'-3-2)

$$-E_2 = (r_{II} + r_{2in})I_{II} + r_5(I_{II} - I_{III})$$

ამრიგად გვაქვს 3 კონტური და 3 განტოლება 3 უცნობით. მიღებული კონტურული დენებით ადვილად ვიპოვნით დენს თითოეულ შტოში. ■

4.4 ზედდების(სუპერპოზიციის) მეთოდი

როცა გვაქვს რამდენიმე წყარო შეიძლება გამოყენებულ იქნას ზედდების მეთოდი:

1. „გამოვრთავთ“ ყველა წყაროს დავტოვებთ ერთს და დავითვლით ძაბვებს და დენებს რაიმე მისაღები მეთოდით.
2. „გამოვრთავთ“ დათვლილ და ჩავრთავთ შემდეგ წყაროს და ა.შ.
3. წინააღმდეგ დენები და ძაბვები იქნება მიღებული დენების და ძაბვების ჯამი.

ეს წესი მუშაობს როცა გვაქვს ე.წ. წრფივი ელემენტები ანუ დამოკიდებულება დენსა და ძაბვას შორის წრფივია. ეს გვაძლევს შეკრების უფლებას.

4.5 წინააღმდეგობის გარდაქმნა T(Y) ↔ π(Δ)

რთულ წრედებში ეკვივალენტური წინააღმდეგობების დასათვლელად ხშირად გამოიყენება T(Y) ↔ π(Δ) გარდაქმნა.

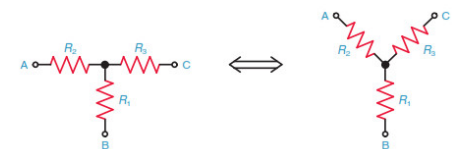
T(Y) → π(Δ) გადასაყვანი ფორმულა:

$$R_A = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_1R_3}{R_1}$$

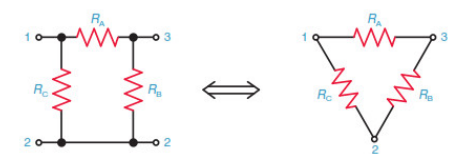
$$R_B = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_1R_3}{R_2}$$

$$R_C = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_1R_3}{R_3}$$

(4.1)



ა) T(Y) შეერთება



ბ) π(Δ) შეერთება

სურ 4.4: ვარსკვლავი სამკუთხედის შეერთებები

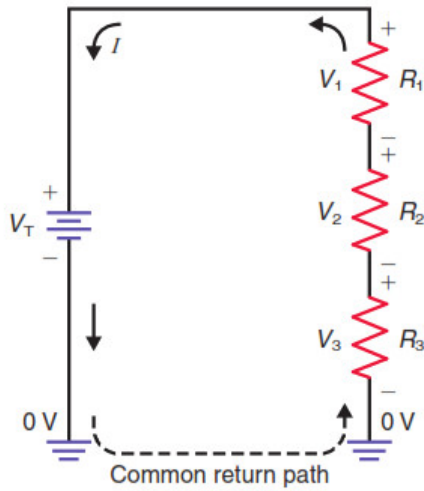
$\Delta \rightarrow Y$ (ან $\pi \rightarrow T$) გადასაყვანი ფორმულა:

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{R_B R_C}{R_A + R_B + R_C} \\ R_2 &= \frac{R_C R_A}{R_A + R_B + R_C} \\ R_3 &= \frac{R_A R_B}{R_A + R_B + R_C} \end{aligned} \quad (4.2)$$

4.6 დამიწება



სურ 4.5: დამიწება: მიწა, ჩასის, საერთო



სურ 4.6: დამიწება

დამიწება ნიშნავს ნულოვან პოტენციალს. დამიწებისთვის ხშირად გამოყენებული სიმბოლოებიდან სურ. 4.5 პირველი აღნიშნავს მიწას. ბეჭდურ დაფებში და ზოგადად ელექტრულ წრედებში არაა აუცილებელი დამიწება (ანუ ნულოვანი პოტენციალი) წარმოადგენდეს რეალურ მიწას (დედამიწას). მეორე სიმბოლო გამოიყენება ბეჭდურ დაფებში და აღნიშნავს იმ საერთო გზას (გამტარს) რითაც დენი ბრუნდება წყაროში.^(*)

მესამე სიმბოლოც აღნიშნავს მიწას ელექტრულ წრედებში და ესევე ასევე აღნიშნავს იმ საერთო გზას რითაც დენი ბრუნდება წყაროში. ნებისმიერ შემთხვევაში მიწით აღნიშნული მონაკვეთის/გზის პოტენციალი არის ნული.

ხშირად სქემებში გამოყენებულია რამდენიმე დამიწების ერთი და იგივე სიმბოლო. რაც შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ ასე: ეს მონაკვეთები შეერთებულია ერთად და აქვთ ნულოვანი პოტენციალი.

თუ რამდენიმე განსხვავებული მიწის სიმბოლოა გამოყენებული ეს ნიშნავს რომ საერთო დაბრუნების გზა საერთოა მხოლოდ იმ დამიწებებისთვის რომლებიც ერთი სიმბოლოთი არიან აღნიშნულნი. თითოეული დამიწება ერთმანეთისგან არის ელექტრულად იზოლირებული. რაც ნიშნავს რომ სხვადასხვა დამიწებებს შორის წინააღობა არის უსასრულოდ დიდი (არაა შეერთებული).

სურ.4.6 გამოყენებულია ერთი სიმბოლო რაც ნიშნავს რომ ძაბვის წყაროს – და მესამე წინააღობის – შეერთებულია ერთი დამიწებით.

(*) წყაროში შემავალ ბოლოზე მიერთებული გამტარი, როემლიც კრავს წრედს.

4.6.1 ძაბვის გაზომვა მიწის მიმართ

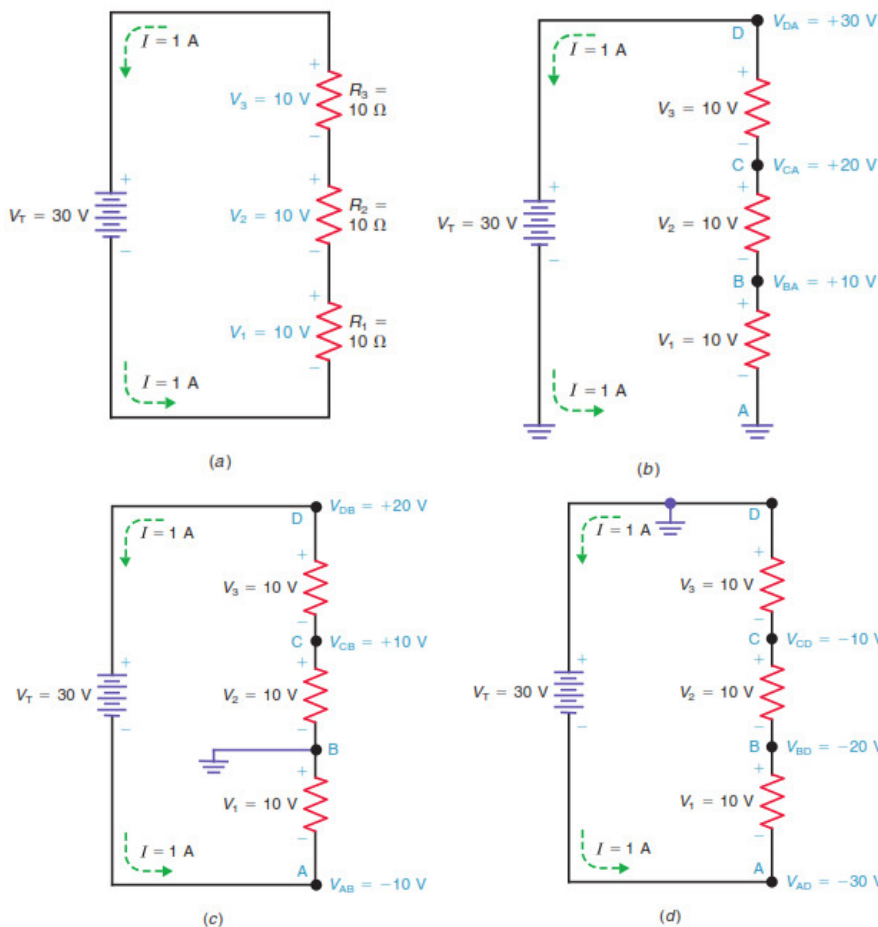
როგორც ზემოთ ავლინებთ ნულოვანი პოტენციალის მქონე გამტარად (ანუ საიდანაც აითვლება პოტენციალთა სხვაობა) ხშირად ირჩევენ გამტარს რომელიც წარმოადგენს საერთო გზას რითაც დენი ბრუნდება წყაროში. მაგრამ მიწად შეიძლება არჩეულ იყოს ნებისმიერი გამტარი რომელიც აერთებს სქემის ელემენტებს. ან საერთოდ არ იყოს მიწა გამოყოფილი (ანუ რაიმე ნულოვანი პოტენციალად ჩთვლილი), ასეთ შემთხვევაში წრედი იგივენაირად მუშაობს ოღონდ იცვლება ათვლის წერტილის მიმართაც ითვლება პოტენციალთა სხვაობა.

განვიხილოთ სურ.4.7 სქემა^(*):

a) სურათზე დამიწება არ გვაქვს ძაბვები წინალობებზე ანუ წინალობის „-“ და „+“ შორის

b) სურათზე გვაქვს ერთი და იგივე მიწა წყაროს და პირველი წინალობის -. ძაბვების ვარდნა წინალობებზე ითვლება ზუსტად იგივე წესით. რაც შეეხება პოტენციალთა სხვაობას — მოცემულია შესაბამისი წერტილებსა და A მიწას შორის. ანუ ძაბვის ვარდნები რაც არის წინალობებზე იკრიბება ამ შემთხვევაში მიწა წარმოადგენს მხოლოდ შემადგენელ გამტარს ძაბვის წყაროსა და A შორის. a) და b) ეკვივალენტურია. წრედების მოდელირების პაკეტები მოითხოვენ რომ მომხმარებელმა აღნიშნოს სქემაზე დამიწება. როცა სქემაზე არაა აღნიშნული მიწა ითვლება რომ წყაროს „-“ საიდანაც ვიწყებთ ათვლას დამიწებულა. ამიტომ პრგრამულ მოდელშიც აქ უნდა ჩაისვას დამიწება. V_{BA} ესაა ძაბვა B და A შორის $-V_1 - 0$. V_{CA} ესაა ძაბვა C და A შორის $-V_1 - 0 + V_2 - 0$.

c) შემთხვევაში $V_1 = -10V$. ესაა ძაბვა უარყოფით A და დადებით B შორის (+ და - პოლარობის ნიშნები წინალობებზე)



სურ 4.7: ძაბვები სხვადასხვა მიწის შემთხვევაში

^(*) მიტჩელის ნიგში დენის დადებით მიმართულებად აღებულია ელექტრონების მოძრაობის მიმართულება ანუ „-“ პოლუსიდან „+“ პოლუსისკენ. ამას არ აქვს არავითარი მნიშვნელობა

განმარტება 4.4 „+“ და „-“ წრედის ელემენტების პოლარობები. ვმოდრაობთ რა ძაბვის წყაროს დადებითი პოლუსიდან პირველ შემხვედრ ელემენტის კვანძს მივაჩეროთ „+“ ნიშანს. ამის შემდეგ ნიშანი იცვლება ახალი კვანძის (ამ შემთხვევაში ელემენტის ჩართვის ბოლოს ან ჩართვის დასაწყისის მიღწევისას).

განმარტება 4.5 ძაბვების ნიშნები მიწის მიმართ. ვმოდრაობთ რა ძაბვის წყაროს დადებითი პოლუსიდან სანამ მივაღწევთ მიწამდე ძაბვებს აქვს „+“ ნიშანი. მიწის კვანძის გავლის შემდეგ „-“ ნიშანი. სხვაგვარად რომ ვთქვათ ძაბვები წყაროს დადებითი პოლუსიდან მიწამდე არიან დადებითი ვმოდრაობთ რა წყაროს დადებითი პოლუსიდან დადებითი შემოვლის მიმართულებით. და ძაბვები წყაროს უარყოფითი პოლუსიდან მიწამდე არიან უარყოფითი

DB შორის ორივე ძაბვის ვარდნა არის „+“ ამიტომ იკრიბება d) შემ-

თხვევაში ჩანს რომ ძაბვის ვარდნები არის წყაროს „-“ პოლუსსა და მიწას შორის ამიტომ ყველა პოტენციალთა სხვაობა ნახაზზე აღნიშნულ წერტილსა და მიწას შორის არის უარყოფითი. სხვაგვარად ეს შემთხვევა ნიშნავს რომ წყარომ შეიცვალა პოლარობა. b) შემთხვევისგან განსხვავებით დამიწებულა წყაროს დადებითი პოლუსი ანუ დადებითი პოლუსი აღებულია ნულის ტოლად. აქედან გამომდინარე ძებვებს უნდა ჰქონდეს „-“ ნიშანი.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე წრედის დათვლისას ვაკეტებთ შემდეგს.

1. თუ არაა მოცემული მიწა, ერთ ერთი წყაროს „-“ ვამიწებთ.
2. თუ მოცემულია მიწა, უნდა ვნახოთ რა ელემენტებს უერთდება უშუალოდ ეს მიწა. და ელემენტის შეერთების ამ ნაწილს მივანიჭოთ პოლარობა „-“. ელემენტის შემდეგი ნაწილი იქნება „+“ პოლუსით. ზოგადად უპირველეს ყოვლისა უნდა „შეგვხედოთ“ მიწას და წყაროს.
3. მას შემდეგ რაც წყაროს მივეცით პოლარობა, უნდა გავყვეთ წყაროს „+“ პირველ ელემენტის ჩართვის წერტილს ვანიჭებთ „+“ პოლარობას მეორე ბოლოს „-“ ანუ: წყაროს „+“ მიერთებულია წინაღობის „+“ მერე მოდის წინაღობის „-“. ვაგრძელებთ სვლას შემდეგი ელემენტის წერტილს ვანიჭებთ „+“ მეორე ბოლოს „-“ და ა.შ. ანუ „++“ გვაქვს მხოლოდ წყაროს და წინაღობას შორის „+-“ ან „-+“ ელემენტებზე და ელემენტთა შორის. როგორც წესი წყაროს პოლარობა თავიდანვე მოცემულია.
4. „+“ და „-“ მიწერის ასეთი წესი საშუალებას იძლევა დიდი ალბათობით „გამოვიცნოთ“ დენების „სწორი“ მიმართულება. კერძოდ დადებითად ავიღოთ დენები რომლებიც გამოდიან წყაროს „+“ . მაშინ ელემენტის „+“ ტერმინალზე დენი „შედის“ ხოლო „-“ ტერმინალიდან გამოდის.
5. „+“ და „-“ მიწერის ასეთი წესი ასევე აადვილებს კირხოფის კანონის ჩაწერას ძაბვებისათვის. კერძოდ თუ წრედის ელემენტზე გავლისას პირველი შეგვხვდა „-“ შესაბამისი ძაბვა შედის „-“ ნიშნით.

მაგალითად კირხოფის კანონი ძაბვებისათვის სურ.4.6 გვ.16 გვექნება:

$$-V_T + V_1 + V_2 + V_3 = 0$$

ვანმარტება 4.6 ძაბვა წრედის ორ წერტილს შორის. ვთქვათ გვინტერესებს ძაბვა ორ A და B წერტილებს შორის(პოტენციალთა სხვაობა $V_A - V_B$). ვმოძრაობთ რა მოცემული B წერტილიდან A-სკენ ვუყურებთ „+“ და „-“ ნიშნებს თუ პირვალდ შეგვხვდება გზაზე „+“ მაშინ ძაბვა შედის ჯამურ ძაბვაში „+“ ნიშნით.

მაგალითად სურ.4.7 c) შემთხვევაში ძაბვა DA წერტილებს შორის იქნება

$$V_{DA} = V_1 + V_2 + V_3 = 30 \text{ V}$$

ეს ანუ ძაბვის ვარდნები იკრიბება. მაგრამ თუ ძაბვები ათვლილია მიწიდან? მაშინ

$$V_1 = V_{AB} = -V_{BA} = 10 \text{ V}$$

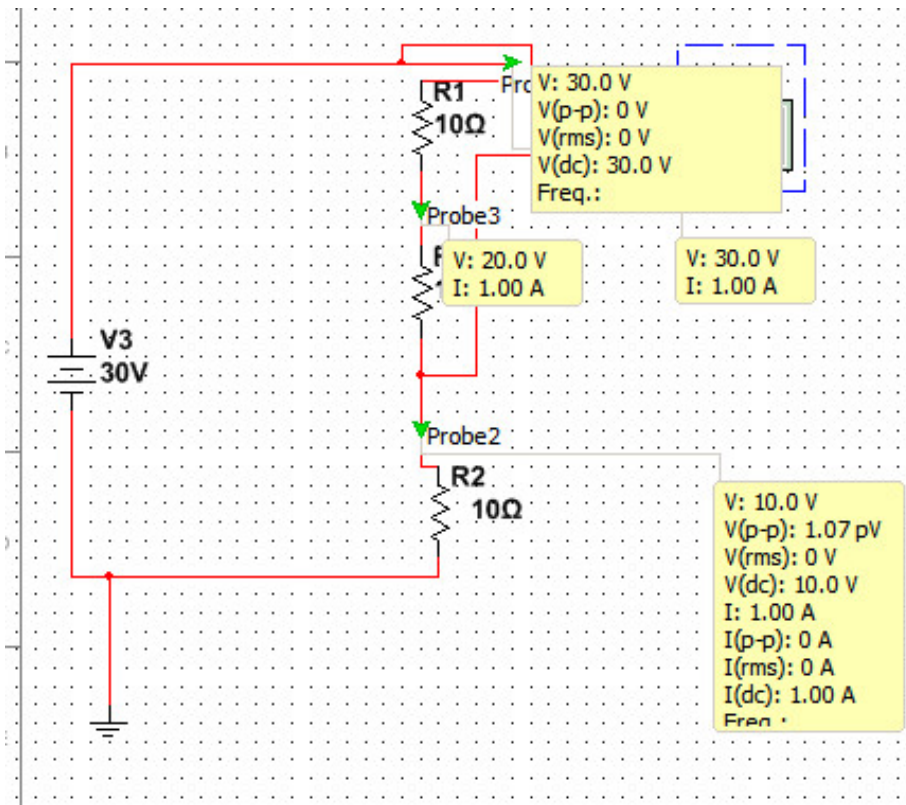
$$V_2 = V_{CB} = 10 \text{ V}$$

$$V_3 = V_{DC} = V_{DB} - V_{CB} = 10 \text{ V}$$

და

$$V_{DA} = V_{DB} - V_{AB} = 30 \text{ V}$$

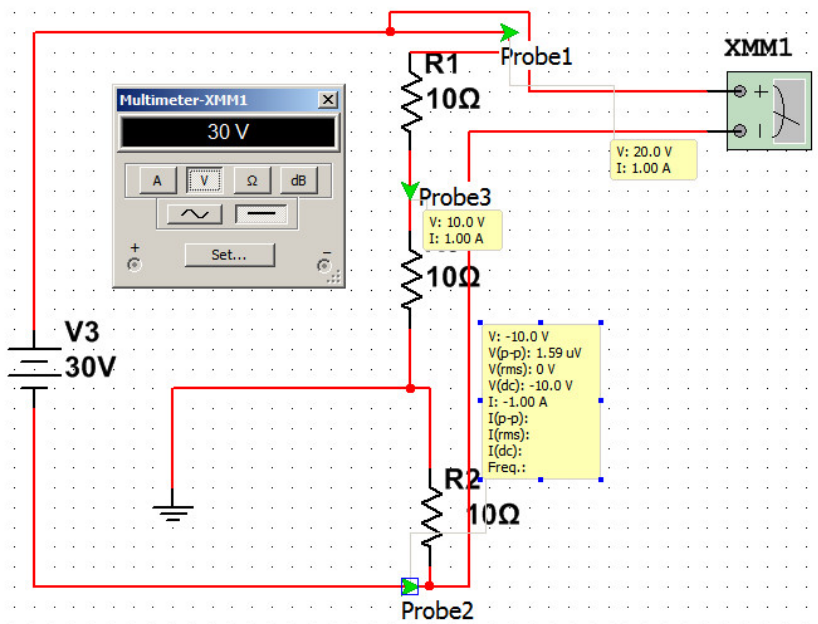
ანუ DA ძაბვათა სხვაობა c) სურათზე იგივეა რაც a)-ზე და ცხადია ასეც უნდა იყოს აქ განხილული მაგალითი მოდელირებულია „National



სურ 4.8: NI მაგალითი 1

Instruments MultiSim პაკეტში: ზემოთ სურ.4.8 ჩანს $V_{DA} = 30\text{ V}, V_{DB} = 20\text{ V}, V_{BA} = 10\text{ V}$

სურ.4.9 (გვ.19) კი განხილულია სურ. 4.7 c) შემთხვევა: როგორც ვხედავთ მულტმომელი არვენებს 30V მაშინ როცა Probe2 — -10V ესაა სწორედ დაბვა მიწასა და R2 მეორე ბოლოს შორის. ანუ ეს სურათი შეესაბამება ზემოთ მოყვანილ დაბვების ვარდნის დათვლას წინააღობებზე და დაბვების ათვლას მიწის მიმართ მაგალითს.



სურ 4.9: NI მაგალითი 2