

ელექტრული წრედების თეორიის საფუძვლები

თავი IV

ძირითადი ცნებები და განმარტებები

4.1. ძირითადი ელექტრული სიდიდეები

ელექტრული წრედი წარმოადგენს ელექტრული ენერგიის წყაროს, ელექტრული ენერგიის მომხმარებლებისა (ელექტრული დაფვირთვა) და მათი შემაერთებელი მოწყობილობების ერთობლიობას.

ელექტრული წრედებს შეისწავლის დისკიპლინა რომელსაც ელექტროტექნიკა ეწოდება. იგი ამ კურსის მხოლოდ ერთი ნაწილია. გლობალური თვალსაზრისით, ელექტროტექნიკა წარმოადგენს მეცნიერებისა და ტექნიკის სფეროს რომელის დანიშნულებაცაა მაგერიის ერთ-ერთი ფორმის, ელექტრომაგნიტური ველისა და მასთან დაკავშირებული ელექტრული და მაგნიტური მოცვლენების შესწავლა, მათი პრაქტიკული გამოყენების მიზნით.

სწორედ ელექტრული და მაგნიტური მოცვლენების შესწავლამ უზრუნველყო იმ პრაქტიკული ბაზის შექმნა რომლის საფუძველზეც კაცობრიობა დაეუფლა ენერგიის ისეთ ახალ და უმნიშვნელოვანეს სახეს როგორიცაა - ელექტრული ენერგია.

ელექტრული და მაგნიტური მოცვლენები განპირობებულია სამყაროში არსებული დამუხტელი ნაწილაკების და მათ ირგვლივ არასებული ელექტრომაგნიტური ველების მოძრაობითა და ურთიერთგავლენებით. დამუხტელი ნაწილაკები და მათი გარემომცველი ელექტრომაგნიტური ველები ფლობენ ენერგიას ელექტრულ ენერგიის სახით. ელექტროტექნიკის ამოცანას წარმოადგენს ელექტრულ ენერგიის მიღება (გამოთავისუფლება) მისი გადაცემა და გარდაქმნა მოხმარებისათვის საჭირო ენერგიებად.

დღეისათვის ელექტრული ენერგია ფართოს გამოიყენება ადამიანური საქმიანობის პრაქტიკულად ყველა საფეროში. მათ შორის:

- ენერგიის გადამუშავება (ელ. სისტემის გენერატორები, ძრავები), პირველადი ენერგიების გარდაქმნა და მიწოდება მომხმარებლებს.

- ინფორმაციის გადამუშავება (რადიოტექნიკა, ელექტრონიკა, მზომი ტექნიკა, ავტომატური კონტროლის სისტემები, კომპიუტერული და სატელეკომუნიკაციო ტექნიკა და ტექნოლოგიები)
- მასალათა გადამუშავება (მასალათა დამუშავების **ელექტროგამომვის** მეთოდები) 2000 წლისათვის ელექტრული ენერგიის მოხმარებამ მსოფლიოში მიაღწია მთლიანად მოხმარებულ ელექტრო ენერგიის 40%-ს.

ელექტრულ წრედებში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესები ხასიათდებიან შემდეგი ძირითადი ელექტრული სიდიდეებით:

- ელექტრომამოძრავებული ძალა - ე.მ.ძ.
- ელექტრული პოტენციალი.
- ელექტრული ძაბვა.
- ელექტრული დენი

და ასევე ენერგეტიკული სიდიდეებით:

- ელექტრული სიმძლავრე,
- ელექტრული ენერგია

წრედის რომელიმე წერტილის პოტენციალი φ - წარმოადგენს სიდიდეს რომელიც იმ ენერგიის W -ს გოლია რომელსაც დადებითი ერთეული მუხტი ფლობს წრედის ამ წერტილში.

$$\varphi = \frac{W}{q} \quad \text{ჯოული/კულონი=ვოლტი}$$

წრედის წერტილს შორის პოტენციალთა სხვაობა გოლია იმ მუშაობის რომელიც იხარჯება ერთეული დადებითი მუხტის გადასაადგილებლად ერთი წერტილიდან მეორე წერტილში ანუ:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{W_1}{q_1} - \frac{W_2}{q_2}.$$

ელექტრომამოძრავებული ძალა (ე.მ.ძ), E - წარმოადგენს ენერგიას რომელსაც ერთეული დადებითი მუხტი იღებს გარეშე (არაელექტრული) ძალების ქმედებით. მისი გადაადგილებისას კვების წყაროს შიგნით. ამრიგად ე.მ.ძ წარმოადგენს პოტენციალთა სხვაობას კვების წყაროს მომჭერებზე.

$$E = \frac{A}{q}$$

ე.მ.ძ-ის ქმედებით- შეკრულ კონტურში გადის ელექტრული დენი.

ელექტრული დენი-ელექტრული მუხტების, მიმართული მოწესრიგებული მოძრაობა ელექტრულ წრედში.

დენის მიმართულებად მიიჩნევა დადებითი მუხტების გადაადგილების მიმართულება.

დენის სიდიდე (დენის ძალა) - მუხტების რაოდენობა რომელიც დროის ერთეულში გაედინება სადენის განიკვეთში.

მუდმივი დენისთვის

$$I = \frac{Q}{t} \quad \text{კულ/წ} = \text{ამპერი (ა),}$$

ხოლო, ცვლადი დენისათვის

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt}.$$

დენის სიმკვრივე - დენის ძალა სადენის განიკვეთის ერთეულ ფართში. . განიკვეთში თანაბრად განაწილებულ დენის შემთხვევაში

$$\delta = \frac{I}{S} \quad \text{ა/ვ}^2.$$

ძაბვა U - (წრედის მონაკვეთისათვის) - კვების წყაროს ელექტრული ველის ძალებით შესრულებული მუშაობა, ერთეულ დადებითი მუხტის გადასადგილებლად წრედის აღნიშნულ მონაკვეთზე

$$U_{12} = \frac{A_{12}}{q} \quad \text{ვოლტი.}$$

ძაბვის ცნებას ამრი აქვს მხოლოდ ელექტრულ წრედის ორ წერტილს შორის.

ელექტრული წინაღობა- წინააღმდეგობა დამუხტეული ნაწილაკების მიმართული მოძრაობისადმი (დენისადმი).

ენერგია- ძაბვის ქმებებით, დროის t მომენტში წრედში გავლილი დენის მიერ გამოწვეული ენერგიის ხარჯი.

ცვლადი დენისათვის

$$W(t) = \int_{-\infty}^t U(t) dq = \int_{-\infty}^t U(t)i(t)dt = \int_{-\infty}^t P(t)dt,$$

სადაც $P(t)$ -წარმოადგენს მყისა სიმძლავრეს და იგი მოუთითებს ენერგეტიკულ პროცესის ინტენსივობაზე დროის ყველა მომენტში.

მუდმივი დენისათვის

$$P = UI .$$

4.2. ელექტრული წრედი და მისი ელემენტები

როგორც აღინიშნა, ელექტრული წრედი წარმოადგენს მოწყობილობათა (ელემენტების) ერთობლიობას მუხტების მოწესრიგებულ მოძრაობის (დენის) და მასთან დაკავშირებულ ელექტრომაგნიტური პროცესებისათვის.

ელექტრული წრედების დანიშნულებაა ელექტრულ ენერგიისა და სიგნალების გენერირება, გადაცემა და დარგაქმნა.

ელ. წრედის ძირითადი ელემენტებია: კვების წყარო, ელ ენერგიის მომხმარებლები და მათი შემაერთებელი სადენები (გადაცემის ხაზები).

ელექტრულ ენერგიისა და სიგნალების წყარო – წარმოადგენს მოწყობილობას, რომელიც სხვადასხვა სახის არაელექტრომაგნიტურია. ბუნების ენერგიას დარღვეული ელექტრომაგნიტურ ენერგიად (გალვანური ელემენტი, აკუმლატორი, ელექტრომექანიკური გენერატორი).

ელექტრული ენერგიისა და სიგნალების მიმღები – წარმოადგენს მოწყობილობას რომელიც ელექტრულ ენერგიას გარღვევს სხვა სახის ენერგიებად (ელფრთოერმიული მოწყობილობები, ელექტრული მილაკები, ელექტრული ძრავები, ელექტრული ღუმელები რეგისტორები და სხვა)

ელექტრული ენერგიის და სიგნალების გადამცემი ხაზები – წარმოადგენს სადენებს ან გარემოს, რომელთაც გააჩნიათ თავისუფალი მუხტები ან კიდევ ელექტრომაგნიტური ველებს რომელთა საშუალებითაც ხდება ელექტრული ენერგიისა და სიგნალების გადაცემა კვების წყაროდან ელექტრულ ენერგიის მიმღებებამდე.

გარდა ზემოთ აღნიშნული ძირითადი ელემენტებისა წრედის ელემენტებს განეკუთვნებიან ასევე: საკომუტაციო, გარდამქმნელი და გამზომი მოწყობილობები.

საკომუტაციო მოწყობილობების დანიშნულებაა ელექტრული წრედის მუშაობის რეჟიმის შეცვლა სხვადასხვა ელემენტების ჩართვის, გამორთვის ან გადართვის გზით. მათ

რიცხვს განეკუთვნებიან ამომრთველები, გადამრთველები, კონფაქტორები, გამთიშველები და სხვა.

ელექტრული ენერგიის გარდაქმნელების დანიშნულებაა ელექტრომაგნიტური ენერგიის პარამეტრების (ძაბვა, დენი, სიხშირე) გარდაქმნა. მათ რიცხვს განეკუთვნებიან ფრანსფორმატორები, გამმართველები, ინვერტორები, სიხშირის გარდამსახვები.

მზომი ხელსაწყოები წარმოადგენს მოწყობილობებს რომელთა დანიშნულებაცაა ელ. წრედში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესების სხვადასხვა პარამეტრების გაზომვა. მათ რიცხვს განეკუთვნებიან: ამპერმეტრი, ვოლტმეტრი, ვატმეტრი და სხვა ხელსაწყოები.

4.3. ელექტრულ წრედის ჩანაცვლების სქემა, აქტიური და პასიური ელემენტები

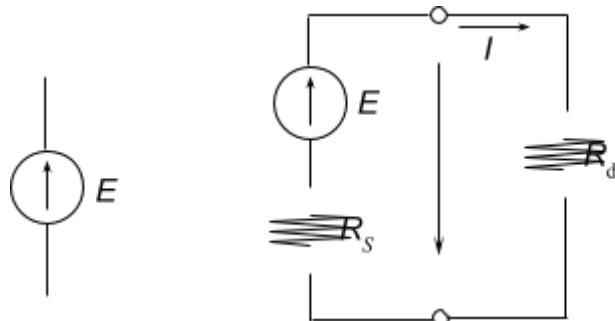
ელექტრული წრედის ჩანაცვლების სქემა წამოადგენს წრედის საანგარიშო მოდელს რომელტედაც წრედის იდიალიზირებული ელემენტები დატანილია შესაბამისი სიმბოლიკით, იმ თანამიმდევრობითი როგორადაც ისინი შეერთებული არიან რეალურად.

ელექტრული წრედის ელემენტები შეიძლება დავყოთ აქტიურ და პასიურ ელემენტებად. აქტიურ ელემენტებს განეკუთვნებიან კვების წყაროები. წრედის სხვა ელემენტები პასიურია. თავის მხრივ კვების წყაროები იყოფიან ძაბვისა და დენის წყაროებად.

ძაბვის წყარო ეწოდება კვების ისეთ წყაროს სადაც ძაბვა წყაროს მომჭერებზე არ არის დამოკიდებული წყაროდან მომხმარებლებისაკენ მიმავალი დენის სიდიდეზე. მისი შიგა წინაღობა ძალგებ მცირე რის გამოც ძაბვა, წყაროს მომჭერებზე, დენის გავლის დროს, უმნიშვნელოდ იცვლება.

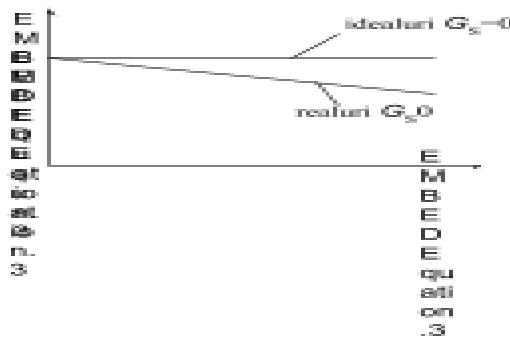
ძაბვის წყაროს პირობითი აღნიშვნას და ჩანაცვლების სქემას შემდეგი სახე აქვს (ნახ.4.1)

ნახ.4.1. ძაბვის წყაროს პირობითი აღნიშვნა და ჩანაცვლების სქემა



ძაბვის წყაროს უმნიშვნელოვანესი მახასიათებელია მისი გარე მახასიათებელი ან, როგორც მას კიდევ უწოდებენ ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი, რომელიც ძაბვასა და დენს შორის ფუნქციონალურ დამოკიდებულებას წარმოადგენს $U = f(I)$, და შემდეგი სახე აქვს:

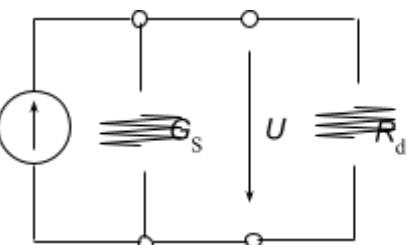
(ნახ. 4.2)



ნახ. 4.2 ძაბვის წყაროს ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი

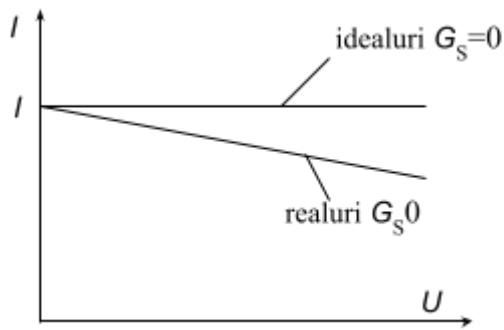
პირველი მახასიათებელი წარმოადგენს იდეალური ძაბვის (ე.გ.ძ) წყაროს მახასიათებელს ანუ ის სამართლიანია შემთხვევისათვის $R = 0; U = E = \text{const}$ ხოლო მეორე დახრილი წირი განეკუთვნება რეალურ ძაბვის წყაროს.

დენის წყარო – ეწოდენა კვების ისეთი წყაროს რომელშიც დენი პრაქტიკულად არ არის დამოკიდებული კვების წყაროს მომჭერებზე არსებულ ძაბვაზე. მის პირობით არნიშვნასა და ჩანაცვლების სქემას შემდეგი სახე აქვს. (ნახ. 4.3)



ნახ. 4.3. დენის წყაროს პირობითი აღნიშვნა და ჩანაცვლების სქემა

რაც შეეხება დენის წყაროს ვოლტ-ამპერულ მახასიათებელს მას შემდეგი სახე აქვს. (ნახ. 4.4)



ნახ. 4.4. დენის წყაროს ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი

დენის წყაროს დიდი შიგა წინაღობა ანუ მცირე გამგარობა გააჩნია, რის გამოც დენის წყაროს მომჭერებზე ძაბვის ცვლილების დროს მიმღებში დენი უმნიშვნელოდ იცვლება. აქ პირველი წირი განეკუთვნება დენის იდეალურ წყაროს ანუ შემთხვევას როცა $R_s = \infty$, ხოლო მეორე დახრილი წირი კი, დენის რეალურ წყაროს – $R \neq \infty$

ელექტრული წრედის პასიურ ელემენტებს განეკუთვნებიან: იდეალური რეზისტორი ელემენტი, იდეალური ინდუქტორი ელემენტი, იდეალური ტეპადური ელემენტი და იდეალური ურთიერთინდექციის ელემენტი.

იდეალური რეზისტორი (აქტიური) ელემენტი ჩანაცვლების სქემაზე დაიტანება იმ შეუქცევადი პროცესის აღსანიშნავად, რომლის დროსაც წრედის გარკვეულ წერტილებში ადგილი აქვს ელ. ენერგიის შეუქცევად გარდაქმნას სხვა სახის ენერგიებად. ჩანაცვლების სქემაზე იგი ასე გამოისახება (ნახ. 4.5). რეზისტული ელემენტის პარამეტრია მისი აქტიური წინაღობა R , ხოლო საბომი ერთეული კი ომი.



ნახ. 4.5. ცვლადი დენის წრედის აქტიური ელემენტი

რეზისტორი ელემენტით შეიძლება ჩავანაცვლოთ სხვადასხვა ელექტრულ დანადგარებში მიმდინარე პროცესები რომელიც ხასიათდებიან ელექტრული სიმძლავრის შეუქცევადი გაცემით ამ დანადგარებიდან. კერძოდ, რეზისტორი ელემენტით შეიძლება ჩავანაცვლოთ სადენების წინაღობები, რითაც გათვალისწინებული იქნება წრედის ამ ელემენტში ელექტრული სიმძლავრის შეუქცევადი გარდაქმნა თბურ ენერგიად. (სადენების გახურება). ამავე ელემენტით შეიძლება ჩავანაცვლო ისეთი საყოფაცხოვრებო და სამრეწველო ელექტროდანადგარები და

ხელსაწყოები როგორებიცაა: ელექტროლუმელი, უთო, (გარდაქმნა თბურ ენერგიად), ნათურები, განათების სისტემები (გარდაქმნა სინათლის და თბურ ენერგიებად), სხვადასხვა ფიპისა და დანიშნულების ჩარხები და მუშა მექანიზმები (გარდაქმნა მექანიკურ ენერგიად), ელექტროლიმის და სხვა დანიშნულების აბაზანები (გარდაქმნა ქიმიურ ენერგიად).

ცნობილია, რომ გარდაქმნილი სიმძლავრე პირდაპიროპორციულია ელემენტის გამავალი დენის კვადრატის, ამიტომ რეზისტიული ელემენტის სიღილე შეიძლება განისაზღვროს როგორც ფარდობა:

$$r = \frac{P}{I^2} \quad \text{მუდმივი დენისთვის და} \quad r = \frac{P}{i^2} \quad \text{ცვლადი დენისათვის.}$$

იდეალური ინდუქციური ელემენტი ჩანაცვლების სქემაზე დაიტანება იმ პროცესის აღსანიშნავად, რომლის დროსაც წრედის გარკვეულ წერტილებში ადგილი აქვს ელ.ენერგიის დაგროვებას მაგნიტური ველის ენერგიის სახით. იდეალური ინდუქციური ელემენტის პარამეტრია მისი ინდუქტიურობა. მისი სამომი ერთეულია ჰენრი. იგი ჩანაცვლების სქემაზე ასე დაიტანება:



ნახ. 4.6. ცვლადი დენის წრედის ინდუქციური ელემენტი

ფიზიკის კურსიდან ცნობილი, რომ წრედის ელემენტი ცვლადი დენის გავლის დროს მასში დაინდუქტირდება ცვლადი ე.მ.ძ, რომელსაც თვითინდუქციის ელექტროძალას უწოდებენ.

თვითინდუქციის ე.მ.ძ პროპორციულია ნაკადშებმის, რომელიც თავის მხრივ დენისა და ინდუქციურობის ნამრავლს წარმოადგენს.

$$e_L = -\frac{d\psi}{dt}; \quad \psi_L = iL.$$

აღნიშნულის გათვალისწინებით:

$$e_L = -L \frac{di}{dt}.$$

გამოსახულებებიდან სჩანს, რომ ინდუქციურობა, ერთის მხრივ შეიძლება განხილული იქნეს როგორც პროპორციულობის კოეფიციენტი დენისა და ნაკადშებმას შორის, ხოლო მეორე მხრივ კი როგორც პროპორციულობის კოეფიციენტი თვითინდუქციის ე.მ.ძ-სა და დენის შორის.

მაგნიტური ველის ენერგია რომელიც ინდუქტიურ ელემენტში გროვდება ფოლია:

$$W = \frac{Li^2}{2}.$$

ინდუქციური ელემენტით შეიძლება ჩავანაცვლოთ სხვადასხვა ტიპის კოჭები, ფრანსფორმატორის გრაგნილები, გადცემის ხაზების ინდუქტიური წინაღობები, ელექტრული გენერატორებისა და ძრავების გრაგნილები და სხვა ელემენტები რომლებშიც ადგილი აქვს ენერგიის დაგროვებას მაგნიტური ველის ენერგიის სახით.

იდეალური ურთიერთინდუქციის ელემენტი ჩანაცვლების სქემაზე დაიგანება იმ პროცესის აღსანიშნავად, რომლის თანახმადაც ელექტრულ წრედში ჩართულია საერთო მაგნიტური ველით ინდუქციურად ურთიერთდაკავშირებული კოჭები.

ურთიერთინდუქციურობის პარამეტრია ურთიერთინდუქციურობა M ხოლო საბომი ერთული კი ჰენრი, ისევე როგორც ინდუქტიურობის.

ჩანაცვლების სქემაზე ურთიერთინდუქციურობა ასე აღინიშნება



ნახ. 4.7. ურთიერთინდუქციურობა ცვლადი დენის წრედში

ურთიერთინდუქციურობის პარამეტრი M ახასიათებს რაიმე ელემენტის თვისებას, საკუთარი i_1 დენით შექმნას მაგნიტური ველი მეორე ელემენტის ხვიებთან W_2 რომელიც ნაწილობრივ არის მასთან შებმული.

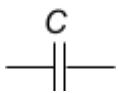
მეორე ელემენტის ნაკადშებმას ψ_{21} რომელიც განპირობებულია პირველი ელემენტის დენით i_1 – ით უწოდებენ მეორე ელემენტის ურთიერთინდუქციის ნაკადშებმას. აქედან გამომდინარე ურთიერთინდუქციის პარამეტრი M წარმოადგენს პროპორციულობის კოეფიციენტს პირველი ელემენტის დენსა და ამ დენის მიერ შექმნილ მეორე ელემენტის ნაკადშებმას შორის. $\psi_{21} = MI$ ან $\psi_{21t} = Mi_1$.

ანალოგიური კავშირი არსებობს მეორე ელემენტის დენსა და ამ დენის მიერ, პირველ ელემენტში გამწვეულ ნაკადშებმას შორის.

$$\psi_{12} = MI_2 \quad \text{ან} \quad \psi_{12t} = Mi_2.$$

ურთიერთინდუქციის ელემენტით შეიძლება ჩავანაცვლოთ ტრანსფორმატორის გრაფიკის მორის არსებული ელექტრომაგნიტური ზეგავლენები, მრავალჯაჭვა ელექტროგადაცემის ხაზები ურთიერთინდუქციის წინაღობები და სხვა პროცესები რომლებიც წრედების ელემენტების ურთიერთელექტრომაგნიტურ ზეგავლენასთა არიან დაკავშირებულნი.

იდეალური ტევადური ელემენტი ჩანაცვლების სქემაზე დაიტანება იმ პროცესის აღსანიშნავად, რომლის დროსაც წრედის ბოგიერთ წერტილებში აღვილი აქვს ელ. ენერგიის დაგროვებას ელ.ველის ენერგიის სახით. ტევადური ელემენტის პარამეტრია ტევადობა, მისი საბომი ერთეული კი ფარადი. იგი სქემაზე აღინიშნება ასე:



ნახ. 4.8. ცვლადი დენის წრედის ტევადური ელემენტი

ფიზიკის კურსიდან ცნობილია, რომ დენი ტევადურელემენტიან ცვლადი დენის წრედში ტოლია:

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_C}{dt}.$$

ამ გამოსახულების ინტეგრირებით შეიძლება მივიღოთ კონდენსატორზე ძაბვის გამოსახულება, წრედში გამავალ დენტე დამოკიდებულებით.

$$u_C = \frac{1}{C} \int i dt + const.$$

ბემოთხსენებულიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ ტევადური ელემენტის პარამეტრი— C ფაქტობრივად წარმოადგენს პროპორციულობის კოეფიციენტს ამ ელემენტის ძაბვასა და მუხტს შორის.

ტევადური ელემენტით შეიძლება ჩავანაცვლოთ კონდენსატორების შემცველი წრედები, გადაცემის ხაზების ფაზებსა და ამ ფაზებსა და მიწას შორის არსებული ტევადური გამტარობები და წრედებში მიმდინარე სხვა პროცესები რომლებიც დაკავშირებულია წრედის ამა თუ იმ ელემენტში ელექტრული ენერგიის დაგროვებასთან ელექტრული ველის ენერგიის სახით.

ტევადურ ელემენტში, ელექტრული ველის ენერგიის სახით დაგროვებული ენერგია შეიძლება გამოვთვალოთ ფორმულით:

$$W = \frac{Cu_C^2}{2}.$$

თავი V

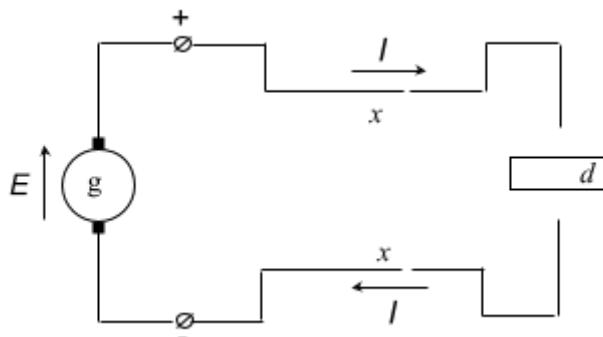
მუდმივი დენის ელექტრული წრედები

5.1. მუდმივი დენის უმარტივესი ელ. წრედი. ომის კანონები

ელექტრული ენერგიის პირველ წყაროებს გალვანური ელემენტები წარმოადგენდნენ, როგორც ცნობილია, გალვანური ელემენტები, მუდმივი დენის წყაროებია, ამიტომ თავდაპირველად ელექტრული ტექნიკის თეორიის განვითარება მიმდინარეობდა მუდმივი დენის თეორიის საფუძველზე. მაგრამ დროდადრო პრაქტიკაში წარმოაჩინა მუდმივი დენის სისტემების მთელი რიგი ნაკლოვანებები, ამიტომ შექმნილი იქნა ცვლადი დენის სისტემები. დღესდღეობით სახალხო მეურნეობაში უპირატესი ადგილი სწორედ ცვლადი დენის სისტემებს უკავიათ. მაგრამ ეს სრულიადაც არ ნიშნავს იმას, რომ თითქოს მუდმივი დენის სისტემებს დღესდღეობით გამოყენება აღარ ჰქონდეთ. პირიქით, არსებობენ სახალხო მეურნეობის მთელი რიგი დარგები, სადაც უბრალოდ წარმოუდგენელიც კია მუდმივი დენის სისტემების გარეშე. ასეთ დარგებს განეკუთნებიან ელექტროგრანსპორტი ელექტროთერმია და სხვა. თანამედროვე მუდმივი დენის დანადგარების უმრავლესობისათვის კვების წყაროს წარმოადგენს სხვადსახვასახის გარდაქმნელები, რომლებიც ცვლად დენს მუდმივად გარდაქმნიან და უფრო იშვიათად აკუმულატორები, მუდმივი დენის გენერატორები და თბოლელექტრული ბატარეები.

როგორც მუდმივი, ასე ცვლადი დენის ელექტრული წრედებში ნებისმიერი შესაძლო რეჟიმის დროს ერთდროულად წარმობს ელექტრული ენერგიის მიღებისა და მისი სხვა ენერგიად გარდაქმნის უწყვეტი პროცესი.

5.1 ნახაზებები წარმოდგენილი მუდმივი დენის უმარტივესი ელექტრული წრედი შედგება (გ) – ელექტრული გენერატორის (დ) – ელექტრული დატვირთვისა და (ხ) – ორსადენიანი ხაზისაგან, რომელიც წყაროს დატვირთვასთან აერთებს. ხაზი და მის ბოლოებებზე მიერთებული დატვირთვა ერთად შეადგენებ გენერატორის გარე წრედს. (წრედის პასიური ნაწილი)



ნახ. 5.1. მუდმივი დენის უმარტივესი ელექტრული წრედი

ელ. გენერატორის შიგნით მოქმედებს ე.მ.ძ. რომელიც მომჰქერებბე წარმოქმნის პოტენციალთა სხვაობას, ანუ ძაბვას. ერთ-ერთი მომჰქერის პოტენციალი, რომელიც უფრო მაღალია „+“-ით აღინიშნება, და მას დადებითი პოტენციალის მომჰქერს უწოდებენ, მეორე მომჰქერს რომელიც პოტენციალი შედარებით ნაკლებია, უარყოფითი პოტენციალის მომჰქერს უწოდებენ და „-“ ნიშნით აღინიშნავენ. თუკი წრედი ჩაკეფილია, მაშინ ელექტრომამოძრავებული ძალის მოქმედებით მასში გაივლის მუდმივი დენი, რომელიც ფაქტობრივად წარმოადგენს გამგარის განიკვეთში დროის ერთეულში გამავალი მუხტების რაოდენობას, მისი საბომი ერთეულია ამპერი.

$$1\text{amperi} = \frac{1\text{Ekuloni}}{1\text{Bwami}}$$

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

როგორც უკვე იყო აღნიშნული, E - ელექტრომამოძრავებული ძალის ისევე როგორც U ძაბვის საბომი ერთეულია ვოლტი. საგულისხმოა აღინიშნოს, რომ დენი წრედის შიგა უბანზე

მიმართულია უარყოფითიდან დადებითი მომჭერისაკენ. ხოლო გარე უბანზე პირიქით დადებით მომჭერებიდან უარყოფითისაკენ.

განვიხილოთ ელექტრული წრედის უბანი, რომელიც ე.მ.ძ-ს არ შეიცავს და ჩავანაცვლოთ იგი ამ უბნის შესაბამისი ელექტრული წინაღობით (ნახ.5.2). განსახილველ უბანზე ელექტრული დენის გავლა განპირობებულია მის ბოლოებზე $(\varphi_1 - \varphi_2)$ პოტენციალთა სხვაობის არსებობით. ანუ U ძაბვით. ძაბვის მიმართულება აიღება უფრო მაღალი პოტენციალის (1) წერტილიდან (2) წერტილისაკენ, სადაც პოტენციალი უფრო დაბალია, ე.ი. ემთხვევა დენის მიმართულებას წრედის განსახილვე უბანზე.



ნახ. 5.2. მუდმივი დენის წრედის უბანი

დამოკიდებულებას უბანზე მოდებული ძაბვასა და მასში გამავალი დენს შორის ამყარებს ომის ცნობილი კანონი წრედის უბნისათვის

$$I = \frac{U}{R}, \quad (5.1)$$

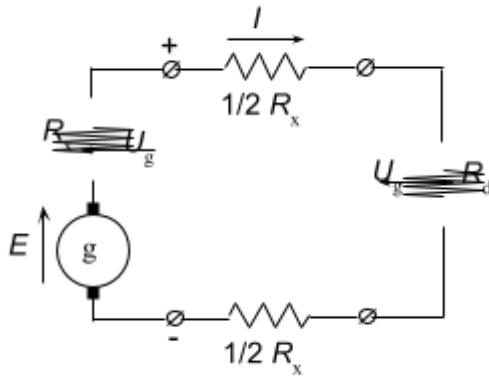
სადაც U -არს ძაბვა (ვოლტი), R -წინაღობა (ომი).

თუკი ანალოგიურად წრედის ყველა უბანს ჩავანაცვლებოთ შესაბამისი ელ. წინაღობით, მაშინ მივიღებთ ჩვენი წრედის ჩანაცვლების სქემას (ნახ.5.3).

მოცემულ უმარტივეს წრედში ე.მ.ძ-სა და წრედში გამავალ დენს შორის დამოკიდებულებას ამყრებს ომის კანონი სრული წრედისათვის:

$$I = \frac{U}{R_g + R_x + R_d} = \frac{E}{R_g + R_{gare}}. \quad (5.2)$$

აღნიშნულ გამოსახულებაში $R_{gare} = R_x + R_d$ წრედის გარე წინაღობაა.



ნახ. 5.3. მუდმივი დენის უმარტივესი წრედის ჩანაცვლების
სქემა

ნახ. 5.3-გე R_g -გენერატორის შიგა წინაღობაა.

R_b - შემაერთებელი ხაზის წინაღობა.

R_d -დატვირთვის წინაღობა.

(5.2) ფოლობიდან შეიძლება განვსაზღვროთ ე.მ.ძ.

$$E = IR_g + IR_x + IR_d \quad (5.3)$$

აქ $IR_g = \Delta U_g$ წარმოადგენს კარგვას გენერატორის შიგა წინაღობაზე, ხოლო $I(R_b + R_d) = U_d$ არის საგენერატორო ძაბვა რომელიც წრედის გარე უბნის წინაღობის დასამლევად იხარჯება. (5.3) დან გამომდინარე

$$U_g = E - IR_g = E - \Delta U_g. \quad (5.4)$$

თუკი წრედი გაწყვეტილია, მასში დენი არ გადის და ასეთ რეჟიმს უქმი სვლის რეჟიმს უწოდებენ. მნელი არ არის მიღებული ფორმულიდან იმის დადგენა, რომ ძაბვა გენერატორის მომჭერებზე უქმი სვლის რეჟიმში რიცხობრივად ფოლია ე.მ.ძ-ის ანუ

$$U_g = E_{u.s.}.$$

5.2. ენერგეტიკული თანაფარდობები მუდმივი დენის უმარტივეს წრედში

წრედის უბანზე ელექტრული დენის გავლისას ელექტრული ენერგია სითბურ ენერგიად გარდაიქმნება. ეს ხდება იმის გამო, რომ დამუხტელი ნაწილაკები ლითონის გამტარის სტრუქტურაში არსებულ თავისუფალ ელექტრონებს უჯახებიან. W ელექტრული ენერგიის რაოდენობა, რომელიც t დროში სითბურ ენერგიად გარდაიქმნება, ჯოულ-ლენცის კანონის თანახმად ფოლია:

$$W = I^2 \cdot Rt. \quad (5.5)$$

P სიმძლავრე არის დროის ერთეულში გარდაქმნილი ენერგიის რაოდენობა:

$$P = \frac{W}{t} = I^2 R \quad (5.6)$$

ანუ

$$P = \frac{U^2}{R}. \quad (5.7)$$

თუ (5.6-ა) გამოსახულებაში IR ნამრავლს U ძაბვით შეცვლით, მივიღებთ P სიმძლავრის ფორმულას, რომელიც ახასითებს ელექტროენერგიის სითბურ ან სხვა სახის ენერგიად გარდაქმნის პროცესის ინტენსივობას:

$$P = UI. \quad (5.8)$$

სიმძლავრის ძირითადი საზომი ერთეულია ვატი (ვტ). ელექტრული ენერგიისა კი ვატ-წამი (ვტ.წმ), ან ჯოული (ჯ).

განვიხილოთ სიმძლავრეთა ბალანსი უმარტივეს წრედში (ნახ. 5.3) რისთვისაც (5.3) განტოლების ყველა წევრი I დენტე გავამრავლოთ:

$$EI = I^2 R_g + I^2 R_x + I^2 R_d. \quad (5.9)$$

EI ნამრავლი არის წყაროს მიერ განვითარებული სრული ელექტრული სიმძლავრე. თანამედროვე ელექტროენეგეტიკული დანადგარების კვების წყაროებში სიმძლავრის დანაკარგები შედარებით მცირეა. მძლავრი ენერგეტიკული გენერატორების მქა კოეფიციენტი მაღალია. მისი მნიშვნელობა 0,95-ს და რიგ შემთხვევებში, უფრო მეტსაც აღწევს.

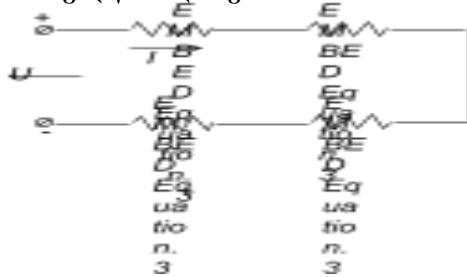
როდესაც მიმღებს ერთი და იგივე სიმძლავრე გადაეცემა ხაზში გამავალი დენი მით ნაკლებია, რაც უფრო მეტია დანადგარის ძაბვა. როგორც ცნობილია, ხაზში სიმძლავრის დანაკარგი დენის კვადრატის პროპორციულია, რის გამოც ძაბვის, მაგალითად, 10-ჯერ გადიდება გადამცემ ხაზში სიმძლავრის დანაკარგს 100-კერ ამცირებს ე.ი. ბრდის მის ეკონომიკურობას. ამით აიხსნება, რომ ელექტროენერგეტიკულ დანადგარებში სულ უფრო და უფრო მაღალი ძაბვები გამოიყენება.

5.3. წრედის ელემენტების შეერთების სახეები

წრედის ელემენტები სხვადასხვაგვარად შეიძლება იქნენ შეერთებული. ჩვენ შეერთების მხოლოდ რამოდენიმე სახეს განვიხილავთ.

მიმდევრობითი შეერთება – ეწოდება ისეთ შეერთებას, რომლის დროსაც ერთი ელემენტის ბოლო მიერთებულია მეორის საწყისთან, მეორის ბოლო მესამის საწყისთან და ა. შ.

ვთქვათ, მიმდევრობით შეერთებულია ოთხი ელემენტი, რომლებიც ჩანაცვლების სქემაზე წარმოდგენილი არიან შესაბამისი ელ.წინაღობებით.



ნახ.5.4. ელემენტთა მიმდევრობითი შეერთება

მიმდევრობითი შეერთება შემდეგი თვისებებით ხასიათდება:

- დენი მიმდევრობით წრედის ყველა უბანზე ერთი და იგივეა.
- ძაბვა მიმდევრობითი წრედის მომჭერებზე ფოლია ცალკეულ უბნებზე ძაბვის ვარდნათა ალგებრული ჯამისა, რაც მათემატიკურად ასე ჩაიწერება:

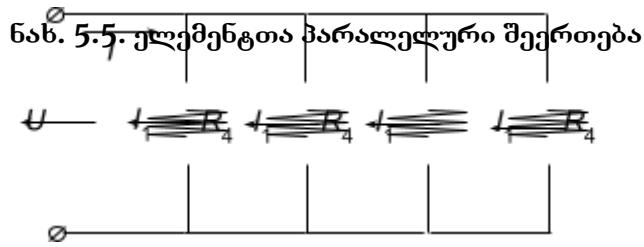
$$U = R_1 I + R_2 I + R_3 I + R_4 I = (R_1 + R_2 + R_3 + R_4)I = R_{\text{eq}} I \quad (5.10)$$

ფორმულიდან ჩანს, რომ მიმდევრობითი წრედის ექვივალენტური წინაღობა ფოლია ცალკეული უბნების წინაღობათა ალგებრული ჯამისა. თუკი ფოლობის ორივე მხარეს დენზე გავამრავლებთ, მივიღებთ ე.წ. სიმძლავრეთა ბალანსის განტოლებას მიმდევრობითი წრედისათვის:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4, \quad (5.11)$$

საიდანაც ჩანს, რომ მიმდევრობითი წრედის სრული სიმძლავრე ფოლია ცალკეული უბნების სიმძლავრეთა ალგებრული ჯამისა.

პარალელური შეერთება – ისეთ შეერთებას ეწოდება, რომლის დროსაც ელემენტთა საწყისები გაერთიანებულია ერთ საერთო წერტილად. ხოლო ბოლოები მეორე საერთო წერტილად და ამ წერტილებს შორის მოდებულია ძაბვა. პარალელური შეერთება შემდეგი თვისებებით ხასიათდება:



- ძაბვა პარალელური წრედის ყველა ელემენტზე ერთი და იგივეა.
- დენი პარალელური წრედის განუშტოებელ ნაწილში ტოლია ცალკეულ უბნებზე გამავალი დენების ალგებრული ჯამისა:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) \cdot U. \quad (5.12)$$

სიდიდეს $g = \frac{1}{R}$ ელექტრული გამტარობა ეწოდება. იგი ელ.წინადობის შებრუნებული სიდიოდეა და მისი საზომი ერთულია სიმენსი.

$$1 \text{ სიმენსი} = 1/\text{ომი}$$

ანუ

$$I = (g_1 + g_2 + g_3 + g_4) \cdot U = g_{\text{eqv.}} \cdot U.$$

g_{eqv} - წარმოადგენს პარალელური წრედის ექვივალენტურ გამტარობას, და როგორც გამოსახულებიდან ჩანს, იგი ტოლია ცალკეული შტოების ელექტრულ გამტარობათა ალგებრული ჯამისა.

თუკი ამოცანის პირობა მოითხოვს ექვივალენტური წინადობის გაგებას პარალელური

$$r_{\text{eqv}} = \frac{1}{g_{\text{eqv}}}.$$

წრედისათვის, მაშინ

კონკრეტულ შემთხვევაში, თუ პარალელურად შეერთებულია მხოლოდ ორი წინადობა:

$$R_{\text{eqv}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

თუკი დენის გამოსახულებას ძაბვაზე გავამრავლებთ, მივიღებთ სიმძლავრეთა ბალანსის განტოლებას პარალელური წრედისათვის.

$$UI = g_1 U^2 + g_2 U^2 + g_3 U^2 + g_4 U^2, \quad (5.13)$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$$

საიდანაც ჩანს, რომ პარალელური წრედის სრული სიმძლავრე ტოლია ცალკეული უბნების სიმძლავრეთა ალგებრული ჯამისა.

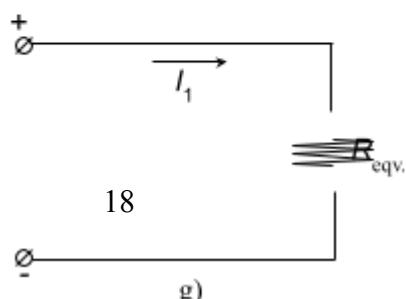
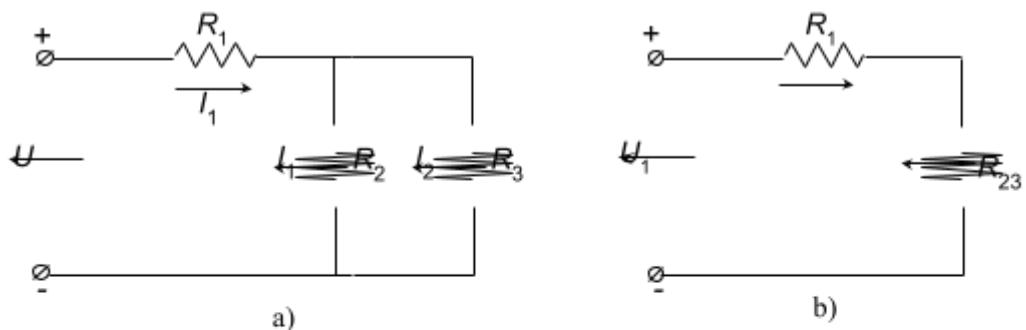
5.4. ერთი კვების წყაროს შემცველი შერეული წრედის ანგარიში

ელექტრული წრედის გაანგარიშების ძირითადი ამოცანაა წრედის სხვადასხვა ელემენტის დენებისა და სიმძლავრეების, აგრეთვე მის ცალკეულ უბნებზე ძაბვების განსაზღვრა. ამ ამოცანის გადასაწყვეტად, მოცემოლ სიდიდეებს წარმოადგენენ წრედში მოქმედი, ემძ-ბი და წრედის ელემენტების მახასიათებელი, პარამეტრები, ანუ, მათი წინაღობები და გამტარობები.

თუკი ელექტრული სქემა შეიცავს კვების მხოლოდ ერთ წყაროს, მას გაიანგარიშებენ ხოლმე ე.წ. **თანდათანობითი მიახლოების მეთოდით.** ანგარიშის მიმდევრობა შემდეგია:

- სქემას თანდათანობით ამარტივებენ და პოულობენ წრედის საერთო წინაღობას.
- ომის კანონით განსაზღვრავენ საერთო დენს.
- პოულობენ დენებისა და ძაბვების განაწილებას სქემაში ეს მეთოდი განვიხილოთ შერეული წრედის მაგალითზე.

შერეული ისეთ წრედს ეწოდება, რომელიც შეიცავს დაფირთვების როგორც პარალელურად შეერთებულ, ასევე მიმდევრობით შეერთებულ უბნებს. შერეული წრედის მაგალითად განვიხილოთ ქვემოთ მოყვანილი სქემა (ნახ.5.6)



ნახ.5.6. სქემა შერეული წრედის ანგარიშისათვის

ნახ.5.6-8ე სქემა ა) ძირითადი სქემაა, ხოლო ბ) და გ) კი გარდაქმნილი ანუ წარმოებული სქემები.

როგორც ძირითადი ა) სქემიდან ჩანს R_2 და R_3 წინაღობები ერთმანეთან შეერთებულია პარალელურად, ხოლო ორივე ერთად R_1 -თან მიმდევრობით. თავდაპირველად განვსაზღვროს ექვივალენტური წინაღობა პარალელურ უბანზე

$$R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}.$$

ამის შემდეგ მიმდევრობით შეერთებული R_1 და R_{23} წინაღობის შეკრებით მივიღებთ წრედის სრულ, ექვივალენტურ წინაღობას.

$$R_{\text{eqv}} = R_1 + R_{23} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}.$$

როცა ცნობილია წრედის სრული წინაღობა, ადვილად შეიძლება განისაზღვროს სრული დენი ანუ დენი წრედის განუშებელ ნაწილში

$$I_1 = \frac{U}{R_{\text{eqv}}}.$$

ამ დენის მეშვეობით შეიძლება განისაზღვროს ძაბვის ვარდნა პარალელურ უბანზე

$$U_{23} = I_1 \cdot R_{23}.$$

I_2 და I_3 დენები შესაბამისად გოლი იქნება:

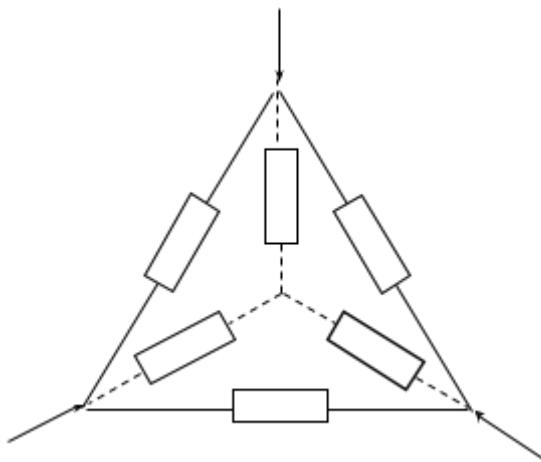
$$I_3 = \frac{U_{23}}{R_3} \quad I_2 = \frac{U_{23}}{R_2}.$$

ამრიგად, შეიძლება განისაზღვრული იქნას დენები და ძაბვები შერეული წრედის ყველა უბანზე.

5.5. წინარობათა სამკუთხედის გარდაქმნა ექვივალენტურ ვარსკვლავად და უკუგარდაქმნა წინაღობათა ვარსკვლავისა ექვივალენტურ სამკუთხედად

ხშირ შემთხვევაში ელექტრული სქემები გაცილებით რთულია ვიდრე ჩვენს მიერ წინა პარაგრაფში მოყვანილი სქემა. ისინი არ შეიძლება განხილული იქნენ როგორც მხოლოდ მიღებულითი და პარალელური შეერთებების ერთობლიობა, ამიტომ გამოიყენებენ სქემების გარდაქმნის სხვა ხერხებსაც.

გარდაქმნის ერთ-ერთ ასეთ მეთოდს წარმოადგეს სამკუთხედური სქემის გარდაქმნა ექვივალენტურ ვარსკვლავურ სქემად და უკუგარდაქმნა.



ნახ. 5.7. წინადობათა სამკუთხედის გარდაქმნა ექვივალენტურ ვარსკვლავად და უკუგარდაქმნა

ვიდრე აღნიშნულ მეთოდს განვიხილავთ, უნდა შევთანხმდეთ, რომ დაცული უნდა იქნეს გარდაქმნის ბოგადი პრინციპები, რაც იმაში მდგომარეობს, რომ დენები ელექტრული სქემის იმ ნაწილში რომელიც გარდაქმნას არ ექვემდებარება, არ უნდა შეიცვალოს. ამასთან ერთად, ეს პრინციპი ვრცელდება როგორც სქემის ნორმალური მუშაობის, ასევე ავრიული მუშაობის რეჟიმებზე, კერძოდ ის დაცული უნდა იქნეს ნახ. 5.7-ზე მოცემული I_a, I_b, I_c დენებიდან რომელიმე მათგანის გამორთვის დროსაც.

თუკი სამკუთხედის წვეროებში მოყვანილი დენებს I_a, I_b, I_c მორიგეობით ამოვრთავთ და სქემის დარჩენილ ნაწილს გავაანალიზებთ, მარტივი მათემატიკური გარდაქმნების საფუძველზე მივიღებთ ექვივალენტური ვარსკვლავის სხივების წინადობების გამოსახულებებს:

$$\begin{aligned}
 R_a &= \frac{R_{ab} \cdot R_{ac}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ac}} \\
 R_b &= \frac{R_{bc} \cdot R_{ab}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ac}} \\
 R_c &= \frac{R_{ac} \cdot R_{bc}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ac}}
 \end{aligned} \tag{5.14}$$

ფორმულებიდა სჩანს, რომ ექვივალენტური ვარსკვლავის სხივის წინაღობა გოლია ამ სხივთან მიმდებარე სამკუთხედის გვერდების წინაღობების ნამრავლის ფარდობისა სამკუთხედი სამეცე გვერდის წინაღობების ჯამთან.

ანალოგიურად შეიძლება მივიღოთ ექვივალენტური სამკუთხედის გვერდების წინაღობების გამოსახულებები ვარსკვლავური სქემის გარდაქმნის დროს. კერძოდ:

$$\begin{aligned}
 R_{ab} &= R_a + R_b + \frac{R_a \cdot R_b}{R_c} \\
 R_{bc} &= R_b + R_c + \frac{R_b \cdot R_c}{R_a} \\
 R_{ac} &= R_a + R_c + \frac{R_a \cdot R_c}{R_b}
 \end{aligned} \tag{5.15}$$

როგორც ვხედავთ, ექვივალენტური სამკუთხედის ნებისმიერი გვერდის წინაღობა გოლია ამ გვერდთან მიმდებარე ვარსკვლავის სხივების წინაღობათა ჯამს დამატებული წილადი რომლის მრიცხველსაც წარმოადგენს ამ სხივების წინაღობათა ნამრავლი, ხოლო მნიშვნელს კი მესამე სხივის წინაღობა.

5.6. წრედის მუშაობის რეჟიმები

ელ.წრედისა და მისი ცალკეული ელემენტების მუშაობის რეჟიმებიდან ყველაზე მეტად დამახასიათებელია შემდეგი რეჟიმები

- ნომინალური რეჟიმი
- შეთანხმებული რეჟიმი
- უქმი სვლის რეჟიმი
- მოკლედ შერთვის რეჟიმი

განვიხილოთ თითოეული მათგანის ძირითადი თავისებურებები.

ნომინალური მუშაობის რეჟიმი ეწოდება წრედის მუშაობის ისეთ რეჟიმს, რომელზეც გათვლილია ელ. ენერგიის წყარო ან ელექტრომიმღები. მუშაობის ნომინალური რეჟიმის განმსაზღვრელ ელექტრულ სიდიდეებს განეკუთვნებიან ნომინალური ძაბვა U_0 , ნომინალური დენი I_0 , ნომინალური სიმძლავრე P_0 .

ნომინალური ძაბვა ყოველი ელექტრული დანადგარის ძირითადი პარამეტრია. მისი გათვალისწინებით ხდება ელექტრული დანადგარების ელემენტებისათვის საჭირო იზოლაციის შერჩევა და მათი კონსტრუქციულ შესრულება. დენისა და ძაბვის ნომინალური მნიშვნელობები ერთად განსაზღვრავენ ნებისმიერი ელექტროენერგეტიკული მოწყობილობის უმნიშვნელოვანეს პარამეტრს – ნომინალურ სიმძლავრეს. ეს ის უდედესი სასარგებლო სიმძლავრეა, რომლის გაცემაც მას შეუძლია გარე წრედში მუშაობის ნორმალურ (ნომინალურ) პირობებში. ელ ძრავების უმრავლესობისათვის ნომინალური სიმძლავრე ის უდიდესი სასრგებლო სიმძლავრეა ლილვზე, რომელიც შეიძლება ხანგრძლივად განავითაროს ძრავამ მუშაობის ნორმალურ პირობებში.

შეთანხმებული მუშაობის რეჟიმი – ეწოდება მუშაობის ისეთ რეჟიმს, რომლის დროსაც წყარო მიმდებს უდიდეს $P_{\text{აუ}} \approx P_{\text{გარ}}$ სიმძლავრეს გადასცემს. მათემატიკურად შეიძლება ვაჩვენოთ, რომ ასეთი რეჟიმის მიღწევა შესაძლებელია მაშინ როდესაც წრედის R_g გარე წინაღობა წყაროს R_d შიგა წინაღობას უფოლდება ანუ:

$$R_g = R_d. \quad (5.16)$$

წყაროს მარგი ქმედების კოეფიციენტი R_d – ის ნებისმიერი მნიშვნელობისათვის ფოლია

$$\eta = \frac{I^2 R_d}{I^2 (R_g + R_d)} = \frac{R_d}{R_g + R_d} = \frac{1}{\frac{R_g}{R_d} + 1}. \quad (5.17)$$

შეთანხმებულ რეჟიმში წყაროს მარგი ქმედების კოეფიციენტი იქნება: $\eta = \frac{1}{1+1} = 0,5$

რაც საკმაოდ დაბალია.

რაც შეეხება გაცემულ სიმძლავრეს, როგორც აღინიშნა, იგი მაქსიმალურია და ფოლია:

$$P_{\text{მაქს}} = I^2 R_d = \left(\frac{E}{2R_g} \right)^2 \cdot R_g = \frac{E^2}{4R_g} \quad (5.18)$$

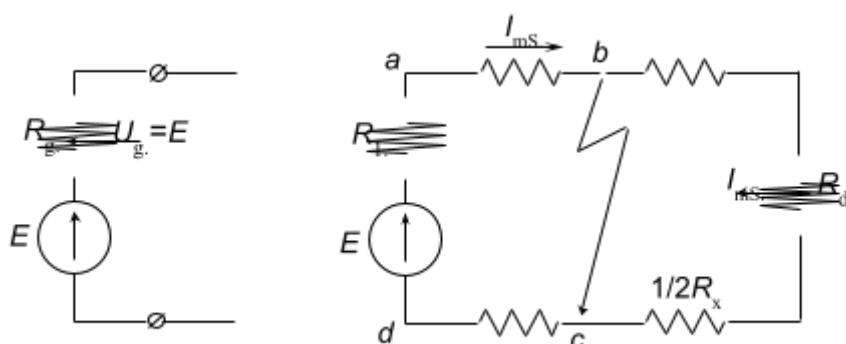
შეთანხმებული მუშაობის რეჟიმი გამოიყენება რადიოელექტრონიკის ზოგიერთ საქმეში, სადაც მთავარია მაქსიმალური სიმძლავრის მიღება, ხოლო დაბალი მ.ქ.კ-ით ($\eta = 0,5$) მუშაობას მეორეხარისხოვანი მნიშვნელობა აქვს.

უქმი სვლისა და მოკლედ შერთვის რეჟიმები წყაროს მუშაობის ზღვრული რეჟიმებია: უქმი სვლის რეჟიმში გარე წრედი განრთულია. ხოლო მოკლედ შერთვის რეჟიმში წყაროს მომჭერები შეერთებულია მეტად მცირე წინაღობის მქონე საღენით.

უქმი სვლით რეჟიმში, ე.ო. როცა გარე წრედი განრთულია, (ნახ. 5.8) მისი წინაღობა პრაქტიკულად უსასრულოდ დიდია ($R_{\text{gare}} = \infty$), ხოლო დენის სიდიდე ნულის ტოლია, ამიტომ გენერატორის ძაბვა. მის ე.მ.ძ. უდრის ($U_g = E$)

მოკლედ შერთვის რეჟიმი-ჩვეულებრივ წარმოიქმნება დენგამტარი ნაწილების იბოლაციის დაბიანების შედეგად. რაც უფრო ახლოსაა დაბიანების ადგილი გენერატორთან, მით ნაკლებია შექმნილი, მოკლედ შერთვის $abcd$ კონტურის წინაღობა და მით მეტია $I_{\text{m.s}}$ მოკლედ შერთვის დენის სიდიდე. გენერატორის მომჭერებზე მოკლედ შერთვისას გარე წინაღობა 0-ს უახლოვდება გენერატორის დენი კი უდიდეს მნიშვნელობას აღწევს

$$I_{\text{m.s}} = \frac{E}{R_g}$$



ნახ. 5.8 კვების წყაროს უქმი
სვლის რეჟიმი

ნახ. 5.9 კვების წყაროს მომჭერების
მოკლედ შერთვის რეჟიმი

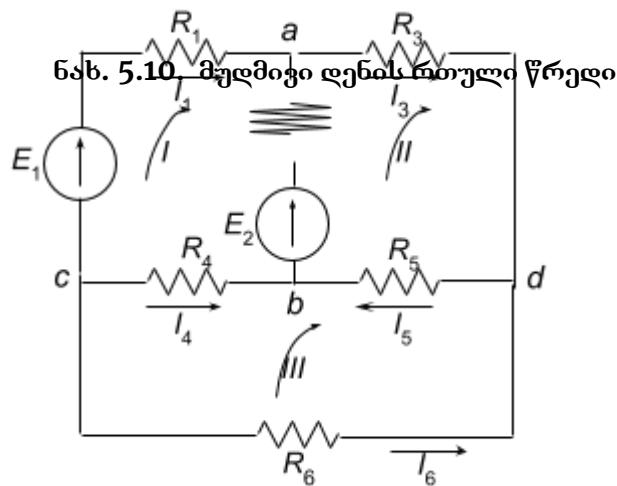
U_g ძაბვა გენერატორის მომჭერებზე ამ დროს ნულს უფოლდება. მოკლედ შერთვა ელ-დანადგარებისათვის მეტად საშიში რეჟიმია, რადგანაც მას შეუძლია გამოიწვიოს

ელ.მოწყობილობის მწყობრიდან გამოსვლა, მუშაობის ნორმალური რეჟიმის ხანგრძლივი დარღვევა.

5.7. რთული წრედის ანგარიშის მეთოდები კირხოფის კანონები

ჩვენს მიერ წინა პარაგრაფებში გახილული წრედები, შეიცავდნენ მხოლოდ მიმდევრობით და პარალელურად შეერთებულ უბნებს. მაგრამ პრაქტიკაში ხშირად უფრო რთული კონფიგურაციის წრედები გვხვდება, რომლებიც არა ერთს არამედ კვების რამდენიმე წყაროს შეიცავენ. ასეთ წრედებს რთული წრედებს უწოდებენ.

რთული წრედის მაგალითად შეძლება მოვიყვანოთ ნახ.5.10 -8ე წარმოდგენილი სქემა:



რთული წრედების დასახასიათებლად საჭიროა რამდენიმე ახალი ცნების შემოღება. კერძოდ, შემოვიგანოთ კვანძის, შტოსა და კონტურის ცნებები.

შტო ეწოდება წრედის ნაწილს, რომელიც მიმდევრობით შეერთებული ელემენტებისაგან შედგება. ცხადია, მის ყველა ელემენტში ერთი და იგივე დენი უნდა გადიოდეს. შტო შეიძლება იყოს აქტიური ან პასიური. თუკი შტო კვების წყაროს შეიცავს, (ე.მ.ძ.) იგი აქტიურია წინააღმდეგ შემთხვევაში პასიური. ცალკეულ შემთხვევაში შტო შეიძლება შეიცავდეს მხოლოდ ერთ ელემენტს.

კვანძი ეწოდება სამი ან უფრო მეტი შტოს გადაკვეთის ადგილს, ხოლო კონტური წარმოადგენს შტოების ერთობლიობას, რომელიც ჩაკეთილ წრედს ქმნის. კონტური შეიძლება იყოს დამოკიდებული ან დამოუკიდებელი. კონტური დამოუკიდებელია თუკი იგი ერთ ახალ

შტოს მაინც შეიცავს. თუკი ჩვენს მიერ შემოღებულ განმარტებას მოვიშველიებთ, ვნახავთ, რომ ნახ.5.10-ზე მოცემული კონტურული სქემა შედგება ექვსი შტოსაგან და სამი კონტურისაგან.

როგორი წრედების საანგარიშოდ ომის კანონებთან ერთად იყენებენ კირხოფის კანონებს. კირხოფის ორი ძირითადი კანონი არსებობს: პირველი კანონი სამართლიანია კვანძებისათვის და იგი ასე გამოითქმება: კვანძში შემავალი დენების ალგებრული ჯამი უდრის ნულს და ასე ჩაიწერება

$$\sum I = 0 \quad (5.19)$$

თუკი პირობითად, კვანძში შემავალ დენებს მივიჩნევთ დადებითად, ხოლო გამომავალს უარყოფითად, მაშინ a კვანძისათვის ჰირხოფის I კანონი შემდეგნაირად ჩამოყალიბდება:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0 \quad \text{ანალოგიურად შეიძლება ჩაიწეროს ეს კანონი სხვა კვანძებისათვის.}$$

კირხოფის მეორე კანონი სამართლიანია კონტურებისათვის და იგი ასე ჩამოყალიბდება. ყოველ შეკრულ კონტურში მოქმედი ე.მ.დ. ძალების ალგებრული ჯამი ამ კონტურის უბნებზე მოქმედი ძაბვის ვარდნათა ალგებრულ ჯამის ტოლია.

$$\sum E = \sum IR \quad (5.20)$$

თუკი კონტურის შემოვლის დადებით მიმართულებად პირობით მივიღებთ საათის ისრის მიმართულებას, მაშინ 1-ლი კონტურისათვის კირხოფის მეორე კანონი ასე ჩაიწერება: $E_1 - E_2 = R_1 I_1 - R_2 I_2 - R_4 I_4$. ანალოგიურად შეიძლება ჩაიწეროს II კანონი დანარჩენი კონტურებისათვისაც.

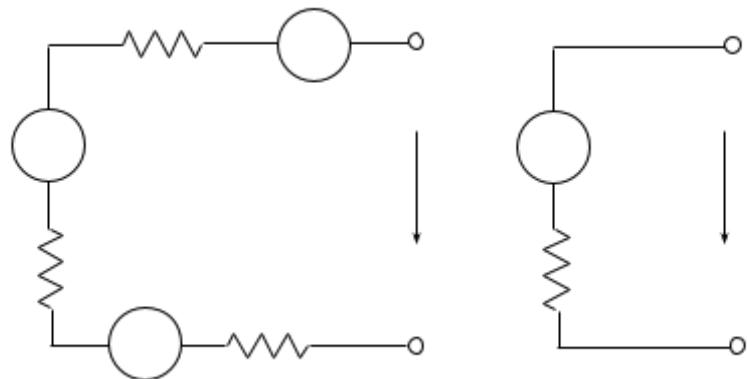
5.8. ძაბვისა და დენის წყაროების მიმდევრობითი და პარალელური შეერთება

ხშირ შემთხვევაში ელექტრული წრედი შეიცავს ძაბვის ან დენის რამოდენიმე წყაროს რომლებიც ერთმანეთთან მიმდევრობით ან პარალელურად არიან შეერთებულნი. ასეთ შემთხვევაში ისინი შეიძლება შეიცვალონ ექვივალენტური წყაროთი. ასე მაგალითად, ნახაგ 5.11-ზე მოცემული, მიმდევრობით შეერთებული ძაბვის წყაროები შეიძლება ჩავანაცვლოთ

ერთი ექვივალენტური ძაბვის წყაროთი რომლის ელექტრომამოძრავებელი ძალა, კირხოფის მეორე კანონის თანახმად გოლი იქნება ცალკეული წყარობის ე.მ.ძ.–ების აღგებრული ჯამის, ხოლო შიგა წინაღობა კი ცალკეულ წყაროთა შიგა წინაღობის არითმეტიკული ჯამის. ანუ

$$E_{\text{eq}} = E_1 - E_2 + E_3$$

$$R_{\text{eq}} = R_1 + R_2 + R_3$$

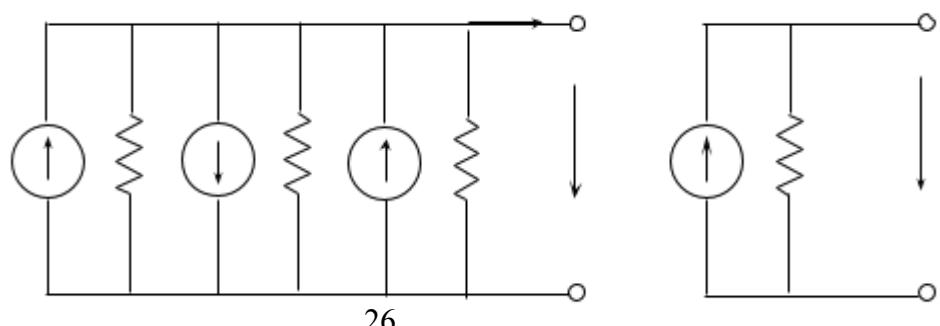


ნახ.5.11. ძაბვის წყაროების მიმდევრობითი შეერთება

თუკი მოცემულია პარალელურად შეერთებული რამლენიმე დენის წყარო, ნახ.5.12 მაშინ ისინი შეიძლება ჩავანაცვლოთ ევივალენტური დენის წყაროთ რომლის პარამეტრებიც ექვივალენტური დენი და გამტორობა შეიძლება განისაზღვროს კირპხოფის პირველი კანონის საუძველეს. კერძოდ: ექვივალენტური დენი გოლი იქნება დენის ცალკეული წყაროების აღგებრული ჯამის, ხოლო, ექვივალენტური შიგა გამტარობა კი ცალკეული წყაროების გამტარობათა არითმეტიკული ჯამის.

$$I_{\text{eq}} = I_1 - I_2 + I_3$$

$$G_{\text{eq}} = G_1 + G_2 + G_3$$



ნახ. 5.12. დენის წყაროების პარალელური შეერთება

თუკი ძაბვის წყაროები შეერთებულნი არიან პარალელურად, მაშინ ექვიალენტირების პროცესი შემდეგნაირად მიმდინარეობს: თავდაპირველად ძაბვის წყაროებს ჩაანაცვლებენ შესაბამისი დენის წყაროებით შემდეგი გამოსახულებების საფუძველზე

$$I_n = \frac{E_n}{R_n} \quad G_n = \frac{1}{R_n}.$$

ამის შემდეგ მიღებულ დენის წყაროებს ჩაანაცვლებენ ექვივალენტური დენის წყაროთ, ხოლო ამ უკანასკნელს კი შესაბამისი ძაბვის წყაროთ.

ანალოგიურად ხორციელდება ექვივალენტირების პროცესი როდესაც დენის წყაროები შეერთებულნი არიან მიმდევრობით იმ განსხვავებით, რომ ამ შემთხვევაში თავდაპირველად მოიძებნება მოცემული დენის წყაროების ექვივალენტური ძაბვის წყაროები და შემდეგ პროცესი გრძელდება ისე როგორც ეს იყო მიმდევრობით შეერთებული ძაბვის წყაროების დროს.

5.9. რთული წრედის ანგარიში კირხოფის კანონების გამოყენებით

როგორც ბემოთ უკვე იყო აღნიშნული, ნებისმიერი წრედის ანგარიშის მიზანს შეადგენს მის ცალკეულ უბნებზე დენების, ძაბვების და სხვა რეჟიმული პარამეტრების განსაზღვრა, ამ დროს, როგორც წესი მოცემულ სიდიდეებად ითვლებიან ელ. მამოძრავებელი ძალები და წინაღობები ანუ წრედის ელემენტების პარამეტრები. ასეთ პირობებში ამოცანას ყოველთვის ცალსახა ამონახსნი აქვს.

ვთქვათ მოცემულია რთული წრედი და საჭიროა მისი გაანგარიშება (ნახ.5.10) როგორც ვხედავთ წრედი 6 უბნისაგან შედგება. მაშასადამე უცნობთა რიცხვიც ექვსია. აღნიშნოთ უცნობთა რიცხვი m –ით, $m = 6$. იმისათვის რომ 6 უცნობი დენი ვიპოვოთ, საჭიროა შევადგინოთ განტოლებათა სისტემა 6 დამოუკიდებელი განტოლებითა და 6 უცნობით. ამავე დროს განტოლებათა ერთი ნაწილი შეიძლება შედგეს კირხოფის I კანონის საფუძველზე, ხოლო დანარჩენი განტოლებები კი II კანონის საფუძველზე, კვანძთა რიცხვი აღვნიშნოთ K –თი.ჩვენს შემთხვევაში $K = 4$. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ I კანონის საფუძველზე შეიძლება შევადგინოთ 4 განტოლება. კვანძების მიხედვით განტოლებათა სისტემას შემდეგი სახე აქვს:

$$a) \quad I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$b) \quad I_4 + I_5 - I_2 = 0$$

$$c) \quad -I_1 - I_4 - I_6 = 0$$

$$d) \quad I_3 + I_6 - I_5 = 0$$

თუკი ყურადღებით დაფუკვირდებით ჩვენს მიერ შედგენილ განტოლებებს, ვნახავთ, რომ ნებისმიერები სამი მათგანის შეკრებით ყოველთვის მიიღება მე-4 განტოლება. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ ჩვენს მიერ შედგენილი განტოლებებიდან მხოლოდ სამია დამოუკიდებელი. ამრიგად I კანონის საფუძველზე შეიძლება შევადგინოთ არა K რაოდენობის განტოლება არამედ $K-1$. დანარჩენი $(m - (k - 1))$ განტოლება უნდა შედგეს II კანონის საფუძველზე. შევადგინოთ ეს განტოლებები კონტურების შესაბამისად.

$$I \quad E_1 - E_2 = R_1 I_1 - R_2 I_2 - R_4 I_4$$

$$II \quad E_2 = R_2 I_2 + R_3 I_3 + R_5 I_5$$

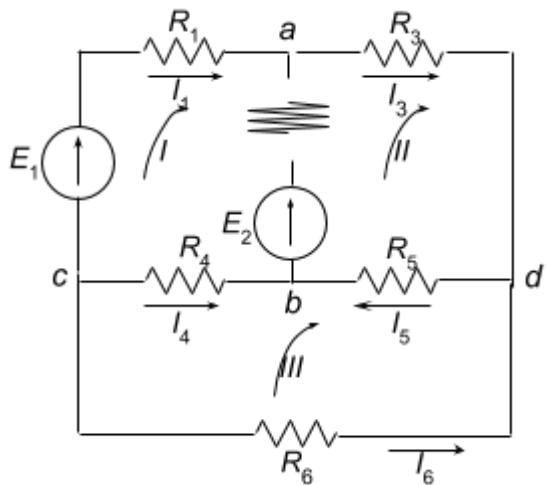
$$III \quad 0 = R_4 I_4 - R_5 I_5 - R_6 I_6$$

ამრიგად, მივიღეთ დამოუკიდებელ განტოლებათა სისტემა 6 განტოლებითა და 6 უცნობით, მათი ერთობლივი ამოხსნა საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ საძიებელი დენები შტოებში. $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6$.

თუ ამ ამონახსნთაგან რომელიმე უარყოფითი აღმოჩნდება ეს იმას ნიშნავს, რომ ამ უბნებზე დენს ჩვენს მიერ შერჩეული გეზის საწინააღმდეგო მიმართულება აქვს.

5.10. კონტურული დენების მეთოდი

კირხოფის კანონზე დაფუძნებული ზემოთ განხილული მეთოდი უნივერსალურია, რომლის საშუალებითაც შეიძლება ნებისმიერი კონფიგურაციის წრედის ანგარიში, კვების წყაროთა ნებისმიერი რიცხვით. მაგრამ ამ მეთოდს ერთი არსებითი ნაკლი გააჩნია, კერძოდ კი ის, რომ უცნობთა დიდი რაოდენობის დროს ძალგებ რთულდება განტოლებათა სისტემის ამოხსნა განტოლებათა დიდი რიცხვით. ამიტომ ხშირად მიმართავენ ანგარიშის პრაქტიკულ მეთოდებს. ერთ-ერთ ასეთ მეთოდს წარმოადგენს კონტურული დენების მეთოდი. ეს მეთოდი საშუალებას



იძლევა შევამცროთ კონტროლირებულ განტოლებათა რიცხვი $m - (k - 1)$ -მდე. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ შესაძლებელი ხდება ფაქტობრივად უარი ვთქვათ განტოლებათა შედგენაზე E_1 იფის პირველი კანონის საფუძველზე. კონტურები დენების მეთოდის არსი, შედარებისათვის, განვითარეთ სქემის მაგალითზე. რაც წინა პარაგრაფში გვქონდა გამოყენებული.

ნახ.5.13 წრედის სქემა კონტურების მეთოდით გასაანგარიშებლად

აღნიშნული მეთოდის გამოყენება ემყარება დაშვებას იმის თაობაზე, რომ თითქოს თოთოვეულ დამოუკიდებელ კონტურში ბრუნავს საკუთარი დენი. ეს დენი ფიქტური, საანგარიშო დენია და მას კონტურებ დენს უწოდებენ. თუკი როგორმე მოვახერხებთ ამ კონტურები დენების განსაზღვრას მაშინ შეიძლება ვთქვათ, რომ ჩვენი ამოცანაც ფაქტობრივად გადაწყვეტილია, ვინაიდან სქემიდან ჩანს, რომ ნამდვილი დენები წრედის გარე უბნებზე ემთხვევიან კონტურებ დენებს, ხოლო ზიარ უბნებზე წარმოადგენენ მათ სხვაობას.

$$I_1 = I_{\text{I}}$$

$$I_3 = I_{\text{II}}$$

$$I_5 = I_{\text{II}} - I_{\text{III}}$$

$$I_2 = I_{\text{II}} - I_{\text{I}}$$

$$I_4 = I_{\text{III}} - I_{\text{I}}$$

$$I_6 = I_{\text{II}}$$

ამრიგად მთელი ამოცანა დადის კონტურული დენების განსაზღვრამდე. შევადგინოთ კონტურულ განტოლებათა სისტემა კონტურული დენების გამოყენებით სამი დამოუკიდებელი კონტურისათვის.

$$E_1 - E_2 = (R_2 + R_3 + R_5)I_{\text{I}} - R_2 I_{\text{II}} - R_4 I_{\text{III}}$$

$$E_2 = (R_2 + R_3 + R_5)I_{\text{II}} - R_2 I_{\text{I}} - R_5 I_{\text{III}}$$

$$0 = (R_4 + R_5 + R_6)I_{\text{III}} - R_4 I_{\text{I}} - R_5 I_{\text{II}}$$

როგორც ვხედავთ მივიღეთ 3 განტოლება 3 უცნობით. მათი ერთობლივი ამოხსნა საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ კონტურული დენები, შემდეგ კი მათი გამოყენებით ნამდვილი დენები $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6$. თუკი ამოხსნის შედეგად რომელიმე კონტურული დენი უარყოფითი მნიშვნელობის გამოვა, ეს იმას ნიშნავს, რომ ამ კონტურული დენის მიმართულება არასწორად შეგვირჩევია და საჭიროა მისი ნიშანი შეიცვალოს საწინააღმდეგოთი.

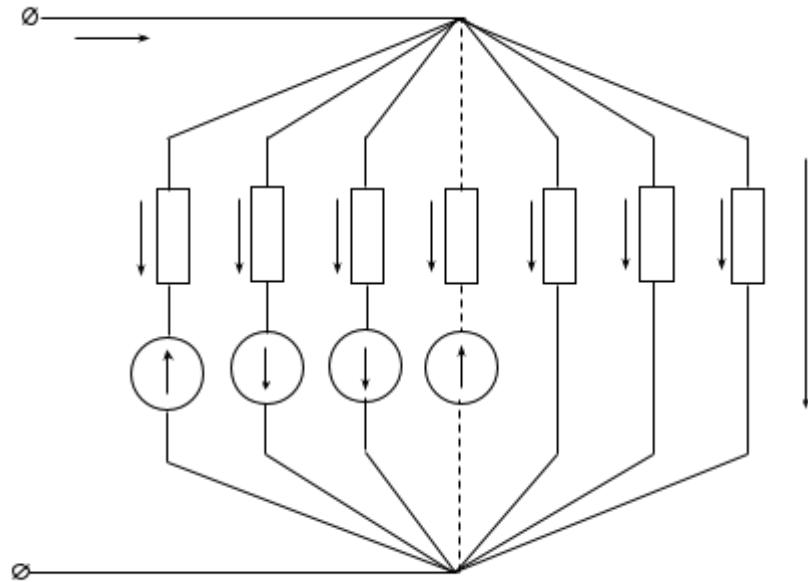
5.11. კვანძური ძაბვების მეთოდი, ორ კვანძს შორის ძაბვის მეთოდი

კვანძური ძაბვების მეთოდის გამოყენება მიზანშეწონილია მაშინ როდესაც ელექტრული წრედის ერთით შემცირებული კვანძების რიცხვი ნაკლებია დამოუკიდებელ კონტურთა რაოდენობამე. ამ მეთოდით განტოლებათა სისტემის შესადგენად საკმარისია მხოლოდ კირპხოფის პირველი კანონისა და ომის კანონების გამოყენება.

მეთოდის არსი შემდეგში მდგომარეობს: როგორი წრედის ერთ-ერთ კვანძს აიღებენ ბაზისურად და მის პოტენციალს ჩათვლიან ნულის ტოლად. ამის შემდეგ, თეორიული ან ექსპერიმენტალური გზით განსაზღვრავენ დანარჩენი კვანძების ძაბვებს საბაზისო კვანძის მიმართ. ამ ძაბვებს კვანძურ ძაბვებს უწოდებენ.

გაანგარიშების მომდევნო ეტაპზე ხდება კვანძებს შორის ძაბვების განსაზღვრა, ხოლო შემდეგ კი ამ ძაბვებზე დაყრდნობით და ომის კანონის გამოყენებით კვანძებს შორის არსებული შტოებში გამავალი დენების დადგენა.

მეთოდი განსაკუთრებით ეფექტურია, მაშინ როდესაც ორ კვანძს შორის თავმოყრილია რამოდენიმე შტო ან ისეთი წრედებისათვის რომელთა დაყვანაც, მარტივი გარდაქმნების გზით შესაძლებელია ორკვანძიან სქემაზე. (ნახ. 5.14)



ნახ. 5.14. ორ კვანძს შორის ძაბვის მეთოდი

ნახაგგე მოცემული n შტოდან m წარმოადგენს აქტიურ შტოს, ხოლო დანარჩენი ($n - m$) კი პასიური შტოებია. თუკი შევთანხმდებით იმაზე, რომ a კვანძის პოტენციალი მეტია b კვანძის პოტენციალზე, მაშინ ძაბვა U_{ab} მიმართულია a დან b წერტილისაკენ და შესაბამისად დენებსაც პასიურ შტოებში ექნებათ ასეთივე მიმართულებები.

რაც შეეხებათ დენებს აქტიურ შტოებში მათი მიმართულებები წინასწარ უწოდია, ხოლო სიდიდეების განსაზღვრა კი შესაძლებელია შემდეგი გამოსახულებებიდან:

$$I_1 = (E_1 - U_{ab})g_1;$$

$$I_2 = (-E_2 - U_{ab})g_2;$$

$$I_m = (E_m - U_{ab})g_m;$$

$$I_{m+1} = U_{ab}g_{m+1};$$

$$I_n = U_{ab} g_n . \quad (5.21)$$

კირპხოფის პირველი კანონის თანახმად აქტიური შტოების დენების ჯამი ფოლია პასიური შტოების დენების ჯამის, ანუ:

$$(E_1 - U_{ab})g_1 + (-E_2 - U_{ab})g_2 + \dots + (E_m - U_{ab})g_m = U_{ab}g_{m+1} + \dots + U_{ab}g_n .$$

ბოლო გამოსახულებიდან შეიძლება განვსაზღვროთ ძაბვა a და b კვანძებს შორის:

$$U_{ab} = \frac{E_1 g_1 - E_2 g_2 - E_3 g_3 + \dots + E_m g_m}{g_1 + g_2 + g_3 + \dots + g_m + g_{m+1} + g_{m+2} + g_{m+3} + \dots + g_n} \quad (5.22)$$

როგორც გამოსახულებიდან სჩანს მრიცხველში Eg ნარავლის წინ „+“ დაისმება იმ შემთხვევაში თუკი შესაბამისი შტოს ე.მ.ძ-ა U_{ab} ძაბვის საპირისპიროდ არის მიმართული. წინააღმდეგ შემთხვევაში ნამრავლის წინ იწერება „-“.

ბოგადი შემთხვევისათვის ფორმულას შემდეგი სახე ქვს:

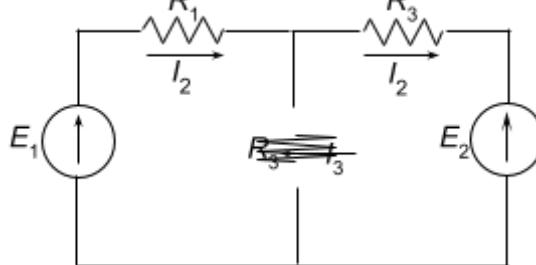
$$U_{ab} = \frac{\sum_{k=1}^m E_k g_k}{\sum_{k=1}^m g_k} \quad (5.23)$$

თუკი ორ კვანძს შორის ძაბვის მნიშვნელობა ცნობილია, მაშინ გემოთმოყვანილი დენების გამოსახულებების (5.20) საშუალებით იოლია ამ დენების განსაზღვრა შტოებში.

5.12. სუპერპოზიციის ანუ გედდების მეთოდი

აღნიშნული მეთოდის არსი განვიხილოთ შემდეგი სქემის მაგალითი.

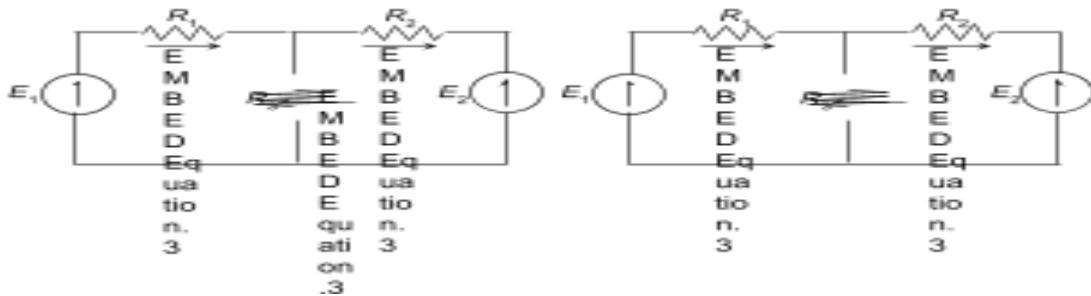
ნახ.5.15. წრედის სქემა გედდების მეთოდით გაანგარიშებისათვის



სუპერპოზიციის მეთოდის გამოყენება ითვალისწინებს ძირითადი სქემის (ნახ. 5.15),

დაშლას კერძო სქემებად, მათში კერძო დენების განსაზღვრას და ნამდვილი დენების წარმოდგენას კერძო დენების ჯამის სახით.

პრაქტიკულად შემდეგნაირად იქცევიან: ძირითად სქემაში მონაცვლეობით დაფოვებენ მხოლოდ ერთ ე.მ.ძ.-ს, ხოლო დანარჩენს დაამოკლებენ. ამდენად გვექნება იმდენი კერძო სქემა, რამდენი ე.მ.ძ.-ცაა ძირითად სქემაში. ჩვენს კონკრეტულ შემთხვევაში გვაქვს 2 ე.მ.ძ. ამდენად გვექნება ორი კერძო სქემა.



ნახ. 5.16. E_1 ე.მ.ძალით
განპირობებული დენების
განსაზღვრა

ნახ. 5.17. E_2 ე.მ.ძალით
განპირობებული დენების
განსაზღვრა

ნამდვილი დენები განისაზროვება კერძო დენების შეკრებით.

$$I_1 = I'_1 - I''_1 \quad I_2 = I'_2 + I''_2 \quad I_3 = I'_3 + I''_3$$

აღნიშნული მეთოდის უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ იგი საშუალებას იძლევა როგორი წრედის ანგარიში ფაქტობრივად შევცვალოთ რამოდენიმე მარტივი წრედის ანგარიშით. ისიც უნდა აღინიშნოს, რომ სუპერპოზიციის მეთოდი შეიძლება გამოვიყენოთ მხოლოდ და მხოლოდ წრფივი წრედებისათვის ანუ ისეთი წრედებისათვის, სადაც წინადობა დამოკიდებული არ არის ძაბვისა და დენის მნიშვნელობაზე.

თავი VI

ცვლადი დენის ცალფაზა ელექტრული წრედები

6.1. სინუსოიდურ სიდიდეთა გამოსახვის ხერხები

ცვლადი ეწოდება დენის, რომელიც იცვლება დროში როგორც სიდიდით, ასევე მიმართულებით. ცვლადი დენის წრედები და იქ მიმდინარე ელ.მაგნიტური პროცესები თვისობრივად განსხვავდებიან მუდმივი დენის წრედებში მიმდინარე პროცესებისაგან. აქ თავს იჩენენ ისეთი ახალი მოვლენები, როგორიცაა თვითინდუქციისა და ურთიერთინდუქციის მოვლენა, წანაცვლების დენების წარმოქმნა და ა.შ. ანგარიშის დროს ყოველივე ამის გასათვალისწინებლად საჭიროა როგორმე მოხერხდეს მათი მისადაგება ჩანაცვლების სქემაზე. ამ მიზნით შემოაქვთ იდეალიზირებული ელემენტების ცნება. განასხვავებენ შემდეგ ელემენტებს: იდეალური რეზისტორი, იდეალური ინდუქციური, იდეალური ტევადური და იდეალური ურთიერთინდუქციის ელემენტები.

ცვლადი დენი, ძაბვის ან დენის სიდიდის ცვალებადობის ხასიათის მიხედვით შეიძლება იყოს სხვადასხვა ფორმის, მაგრამ პრაქტიკაში ყველაზე დიდი გავრცელება ჰქოვეს დენებმა, რომელთაც სინუსოიდური ფორმა აქვთ, ანუ იცვლებიან სინუსის კანონის მიხედვით. ასეთ დენებს სინუსოიდურ დენებს უწოდებენ. შევთანხმდეთ და სინუსოიდურ დენებთან დაკავშირებულ ყველა პარამეტრს – ძაბვას, ე.მ.ძ-ს, დენს, სიმძლავრეს ზოგადად სინუსოიდური სიდიდეები ვუწოდოთ.

სინუსოიდალ სიდიდეთა გამოსახვის 3 ხერხი არსებობს: გრაფიკული, ტრიგონომეტრიული ფუნქციების საშუალებით და დეკარტეს ან კომპლექსურ სიბრტყეებზე მოძრავი რაღიუსვექტორების საშუალებით.

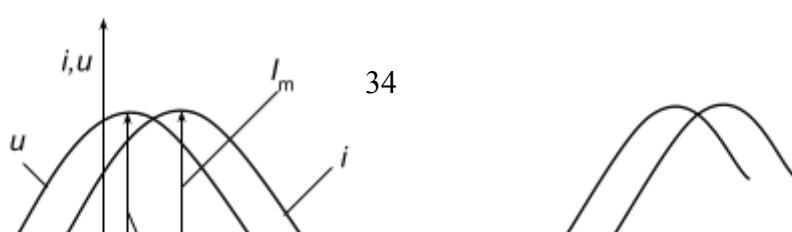
ნახ.6.1-ზე მოცემულია სინუსოიდური დენის გრაფიკი რომელსაც შემდეგი ტრიგონომეტრიული ჩანაწერი შეესაბამება:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i) \quad (6.1)$$

i – დენის მყისა მნიშვნელობაა, I_m – მისი ამპლიტუდური ანუ მაქსიმალური მნიშვნელობა.

ხოლო სინუსის არგუმენტს კი ფაზას უწოდებენ. ფაზაში ორი უცხო სიდიდეა – Ψ_i – საწყისი ფაზა და ω – კუთხერი სიხშირე.

$$\omega = 2\pi f$$



ნახ.6.1 დენისა და ძაბვის სინუსოიდების გრაფიკები

f – არის სინუსოიდური დენის სიხშირე და იგი პერიოდის შებრუნებული სიდიდეა, ე.ი.

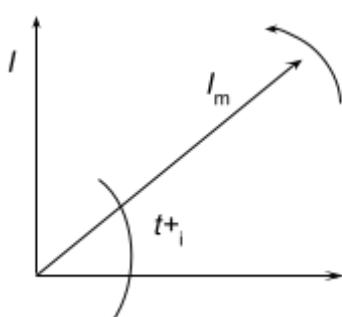
$$f = \frac{1}{T} \quad (6.2)$$

თავის მხრივ პერიოდი T დროის ის ინტერვალია, რომელიც სინუსოიდურ სიდიდეს სჭირდება ყველა შესაძლო მნიშვნელობის მისაღებად.

ხშირად საჭირო ხდება ორი ან რამდენიმე სინუსოიდური სიდიდის ერთმანეთთან შედარება. ამ მიზნით შემოაქვთ ფაზათა სხვაობის ცნება. ფაზათა სხვაობა ფაქტობრივად წარმოადგენს შესადარებელ სიდიდეთა საწყისი ფაზების აღგებრულ სხვაობას. თუკი შესადარებელი სიდიდები ერთსახელად (დენი, ძაბვი), მაშინ ამ სხვაობას α -თი აღნიშნავენ. ხოლო, თუკი შესადარებელი სიდიდეები სხვადასხვა განმომილებისანი არიან (ძაბვა, დენი) მაშინ მას φ -ით აღნიშნავენ ე.ი.

$$\varphi = (\omega t + \psi_U) - (\omega t + \psi_i) = \psi_U - \psi_i \quad (6.3)$$

როგორც აღვნიშნეთ სინუსოიდურ სიდიდეთა გამოსახვის ერთ-ერთი ფორმაა მათი გამოსახვა მოძრავი რადიუს-ვექტორის საშუალებით. ამ მიზნით დეკარტეს კოორდინატთა სისტემის სათავიდან გაავლებენ მბრუნავ რადიუს-ვექტორს, რომლის სიდიდეც სინუსოიდური სიდიდის ამპლიტუდური მნიშვნელობის ფოლია და მას აბრუნებენ საათის ისრის საწინააღმდეგო მიმართულებით ω - კუთხეური სიჩქარით.



ნახ. 6.2. სინუსოიდური სიდიდის გამოსახვა მოძრავი რადიუს-ვექტორის საშუალებით დეკარტეს სიბრტყეზე

ვექტორის გავლება დასაშვებია დროის ნებისმიერი მომენტისათვის, მაგრამ პრაქტიკულად უფრო მოსახერხებელია, რომ იგი გავლებული იყოს $t = 0$ მომენტისათვის. ასეთ

შემთხვევაში რადიუსვექტორი აბსცისთა დერძთან უშაალოდ შეადგენს საწყისი ფაზის ტოლ კუთხეს.

თუკი მბრუნავი ვექტორის ბრუნვის დროს დავაფიქსირებთ მის გეგმილებს ორდინატთა დერძებე, ვნახავთ, რომ ეს გეგმილები სინუსოიდური სიდიდის მყისა მნიშვნელობებს აღწერენ.

6.2. სინუსოიდურ სიდიდეთა გამოსახვა კომპლექსური რიცხვებით

იმისათვის, რომ სინუსოიდური სიდიდე გამოვსახოთ კომპლექსური რიცხვით, საჭიროა მოძრავი რადიუსვექტორი დეკარტის სიბრტყიდან გადავიდანთ კომპლექსურ სიბრტყებე. ამისათვის კი საჭიროა დეკარტეს სიბრტყის აბცისათა დერძი შევუთავსოთ კომპლექსური სიბრტყის ნამდვილ რიცხვთა ღერძს, ხოლო ორდინატთა დერძი – კომპლექსური სიბრტყის წარმოსახვით რიცხვით ღერძს. ასეთ შემთხვევაში მბრუნავი რადიუსვექტორი კომპლექსურ სიბრტყებე აღმოჩნდება (ნახ. 6.3)

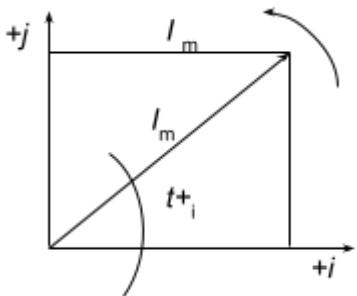
ცნობილია, რომ ნებისმიერ ვექტორს კომპლექსურ სიბრტყებე შეესაბამება სრულიად გარკვეული კომპლექსური რიცხვი. ამ რიცხვის ჩაწერა შეიძლება 3 ფორმით:

- მაჩვენებლიანი ფორმით
- ტრიგონომეტრიული ფორმით
- ალგებრული ფორმით.

კონკრეტულად, სინუსოიდალური დენისათვის გვექნება:

$$I_m e^{j(\omega t + \psi_i)}$$

$$I_m \cos(\omega t + \psi_i) + j I_m \sin(\omega t + \psi_i)$$



ნახ. 6.3. სინუსოიდური სიდიდის გამოსახვა კომპლექსურ სიბრტყებე

$$I'_m + jI''_m$$

აღნიშნულ სამ ფორმას შორის კავშირი ადვილად მყარდება ეილერის ცნობილი ფორმულით.

$$I_m e^{j(\omega t + \psi_i)} = I_m \cos(\omega t + \psi_i) + jI_m \sin(\omega t + \psi_i) = I'_m + jI''_m \quad (6.4)$$

მოცემულ გამოსახულებაში

$$I_m = \sqrt{I'^2_m + I''^2_m} \quad (6.5)$$

კომპლექსური რიცხვის მოდულია, რაც შეეხება არგუმენტს

$$\omega t + \varphi_i = \arctg \frac{I''_m}{I'_m} \quad (6.6)$$

მოცემული კომპლექსური რიცხვი შეიძლება შემდეგნაირად გადავწეროთ:

$$I_m e^{j(\omega t + \psi_i)} = I_m e^{j\psi_1} I_m e^{j\omega t}$$

სიდიდეს $I_m e^{j\psi_1}$ კომპლექსურ ამპლიტუდას უწოდებენ, ხოლო სიდიდე $e^{j\omega t}$ - წარმოადგენს ვექტორის მობრუნების ოპერატორს.

სინუსოიდის ფრიგონომეტრიული ფორმიდან აშკარად ჩანს, რომ მის მყისა მნიშვნელობებს აღწერს კომპლექსური რიცხვის წარმოსახვითი ნაწილი, ამ ნაწილს აღნიშნავენ

I_m სიმბოლოთი, მაშინ სინუსოიდალური სიდიდს მნიშვნელობისათვის გვექნება:

$$i = I_m \hat{A}_m e^{j\omega t} = I_m \sin(\omega t + \psi_i) \quad (6.7)$$

უნდა აღინიშნოს, რომ სინუსოიდურ სიდიდეთა წარმოსახვა კომპლექსური რიცხვებით, თეორიული ელექტროფეზნიკის უდიდესი მონაპოვარია, ვინაიდნ იგი საშუალებას იძლევა მოქმედებები მყისა მნიშვნელობებზე ან კიდევ, გეომეტრიული მოქმედებები ვექტორებზე შევცვალოთ აღგებრული მოქმედებებით კომპლექსურ რიცხვებზე.

6.3. პერიოდულ ელექტრულ სიდიდეთა მოქმედი და საშუალო მნიშვნელობები

პერიოდული დენი წარმოადგენს ცვლადი დენის კერძო შემთხვევას. იმის გამო, რომ გააანგარიშებები პერიოდულ სიდიდეების მყისა მნიშვნელობებზე საკმაოდ რთული და მოუხერხებელია, მათი ეფექტის დასახასიათებლად' შემოაქვთ პერიოდული ელექტრული

სიდიდის მომქმედი ან კიდევ სხვაგვარად ეფექტური მნიშვნელობის ცნება.

საკუთრივ ეფექტის შეფასება ხდება მუდმივი და ცვლადი დენების თბური ან ელექტრომაგნიტური გამოვლინებების შედარების გზით.

პერიოდული დენის მოქმედი მნიშვნელობა ეწოდება მუდმივი დენის ისეთ მნიშვნელობას რომელიც პერიოდული დენის პერიოდის ფოლ დროის შეალედში ისეთივე თბურ ეფექტს იწვევს როგორსაც პერიოდული დენი დროის იმავე მონაკვეთში. მათემატიკური სახით ეს პირობა შეიძლება შემდეგი სახით ჩაიწეროს:

$$rTI^2 = r \int_0^T i^2 dt , \quad (6.8)$$

საიდანაც

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} . \quad (6.9)$$

ანალოგიურად აღნიშნულისა, ელექტრო მამოძრავებელი ძალისა და ძაბვისათვის შეიძლება დავწეროთ:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt} ; \quad E = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T e^2 dt} .$$

თუკი დენი სინუსოიდალურია, მაშინ

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m ; \quad E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0.707 E_m ; \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0.707 U_m .$$

ცვლადი პერიოდული სიდიდის საშუალო მნიშვნელობა ეწოდება ამ სიდიდის საშუალო არითმეტიკულ მნიშვნელობას პერიოდის განმავლობაში. ასე მაგალითად, სიმძლავრის საშუალო მნიშვნელობისათვის:

$$P_{\text{სას}} = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T uidt . \quad (6.10)$$

როგორც წესი, პერიოდულ ელექტრულ სიდიდეთა უარყოფითი ნახევარ ტალღები ზუსტად იმეორებენ დადებითი ნახევარტალღების მნიშვნელობებს, რის გამოც მათი საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობები ნულის ფოლია, ამიტომ პერიოდული ელექტრული სიდიდეების საშუალო მნიშვნელობებს განსაზღვრავენ ნახევარი პერიოდისათვის. აღნიშნულის გათვალისწინებით პერიოდული დენის საშუალო მნიშვნელობისათვის გვექნება:

$$I_{\text{saS}} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} idt . \quad (6.11)$$

ანალოგიურად აღნიშნულისა, ძაბვისა და ელექტრომამოძრავებელი ძალისათვის გვექნება:

$$U_{\text{sa}} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} u dt ; \quad E_{\text{sa}} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} edt .$$

თუკი პერიოდული სიდიდე სინუსოიდადურია, მაშინ:

$$I_{\text{saS}} = \frac{2}{\pi} I_m = 0.636 I_m ; \quad U_{\text{sa}} = \frac{2}{\pi} U_m = 0.636 U_m ; \quad E_{\text{sa}} = \frac{2}{\pi} E_m = 0.636 E_m . \quad (6.12)$$

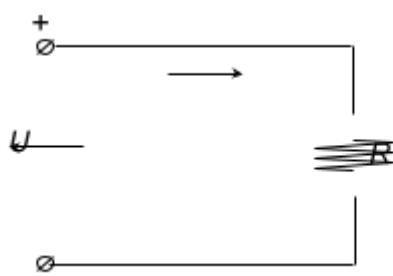
საგულისხმოა აღინიშნოს, რომ ელექტრულ წრედში ჩართული მზომი ხელსაწყოები აფიქსირებენ პერიოდული ძაბვისა და დენის მოქმედ მნიშვნელობებს.

6.4. სინუსოიდური დენის უმარტივესი წრედი იდეალური რეზისტორი (აქტიური) ელემენტით

ვთქვათ, მოცემულია წრედი, რომელიც შეიცავს მხოლოდ რეზისტორულ ელემენტს და მასზე მოდებულია სინუსოიდური ძაბვა:

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u) \quad (6.13)$$

განვიხილოთ ასეთი წრედის სახასიათო რეჟიმები.



ნახ. 6.4. სინუსოიდალური დენის წრედი აქტიური

წრედში გამავალი დენი შეიძლება განვსაზღვროთ ომის კანონის საფუძველზე მყისა მნიშვნელობებისათვის

$$i = \frac{u}{r} = \frac{U_m}{r} \sin(\omega t + \psi_u) \quad (6.14)$$

$$\frac{U_m}{r} = I_m, \quad \text{აღნიშნოთ სიდიდე},$$

მაშინ

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i) \quad (6.15)$$

მიღებული გამოსახულებიდან შეიძლება დავადგინოთ ორი რამ:

1. რეზისტულებულებიან წრედში, ძაბვის სინუსოიდა ფაზით ემთხვევა დენის სინუსოიდას.

$$\psi_{iu} = \psi_u \quad (6.16)$$

გრაფიკულად ეს შეიძლება შემდეგნაირად გამოისახოს:

ნახ. 6.5 $i(t)$, $u(t)$ გრაფიკები რეზისტულ ელემენტიან ცვლადი დენის წრედში
ნახ. 6.6. სიმძლავრის გრაფიკი რეზისტულ ელემენტიან ცვლადი დენის წრედში

2. დენის მაქსიმუმი $\frac{3\pi}{4}$ ძაბვის მაქსიმუმთა $\frac{3\pi}{4}$ დაკავშირზე ცვლია გამოსახულებით:

$$I_m = \frac{U_m}{r} \quad (6.17)$$

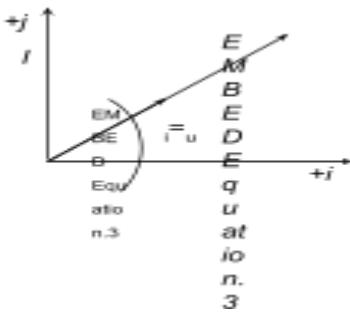
ეს გამოსახულება ფაქტობრივად წარმოადგენს ომის კანონს რეზისტულებულებიანი წრედისათვის, ჩაწერილს დენისა და ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობებისათვის. თუკი მის ორივე ნაწილს $\sqrt{2}$ -იან შევაფარდებთ, მოვალებთ იგივე ომის კანონს, ჩაწერილს დენისა და ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობებისათვის.

ომის კანონი რეზისტულებულებიანი წრედისათვის შეიძლება კომპლექსური ფორმითაც ჩაიწეროს:

$$P = \frac{U^2}{r}; \quad (6.18)$$

სადაც $\bar{I} = Ie^{j\psi_u}$ არის დენის კომპლექსური მნიშვნელობა, ხოლო $\bar{U} = rIe^{j\psi_u}$ – ძაბვის კომპლექსური მნიშვნელობა.

აღნიშნული კომპლექსური ფოლობის საფუძველზე შეიძლება ავაგოთ ვექტორული დიაგრამა, საიდანაც ჩანს, რომ რეზისტულებულებიან წრედში ძაბვის და დენის ვექტორები ერთმანეთს ფაზით ემთხვევიან.



ნახ.6.7. აქტიურ წინადობიან ცვლადი დენის წრედის ვექტორული დიაგრამა

6.5. რეზისტულებულებიანი წრედის სიმძლავრე

რეზისტულებულებიანი წრედის მყისა სიმძლავრე ძაბვისა და დენის მყისა მნიშვნელობების ნამრავლის ფოლია.

$$P = u \cdot i = U_m I_m \sin^2(\omega t + \psi_u) = U_m I_m \frac{1 - \cos 2(\omega t + \psi_u)}{2} \quad (6.19)$$

საიდანაც მარტივი გარდაქმნების შედეგად მივიღებთ:

$$P = UI - UI \cos 2(\omega t + \psi_u) \quad (6.20)$$

ვიპოვოთ აქტიური დაფვირთვის მქონე წრედის საშუალო სიმძლავრე

$$P_{\text{სას}} = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T (UI - UI \cos 2(\omega t + \psi_u)) dt = rI^2 = UI. \quad (6.21)$$

ამრიგად, რეზისტულებულებიანი წრედის საშუალო სიმძლავრე მისი აქტიური სიმძლავრის ფოლი ყოფილა. აქტიური სიმძლავრის საბომი ერთეულებია ვტ, კვტ, მგვტ და ა.შ.

რეზისტულებულებიანი წრედის მყისა სიმძლავრის გრაფიკიდან, ნახ.6.6 ჩანს, რომ რეზისტულებულებიანი წრედის სიმძლავრე არასოდესაა უარყოფითი, რაც იმაზე მიუთითებს,

რომ ასეთ წრედში ადგილი აქვს სიმძლავრის განუწყვეტლივ გაცემას და მყისა სიმძლავრე პულსირებს საშუალო სიმძლავრის ფარგლებში 0-დან საშუალო სიმძლავრის გაორკეცებულ მნიშვნელობამდე.

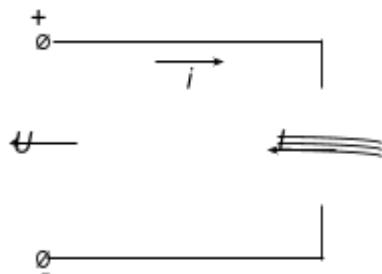
6.6.

ვთქვათ, მოცემულია წრედი, რომელიც შეიცავს მხოლოდ იდეალურ ინდუქტიურ ელემენტს და მასში გაედინება სინუსოიდური დენი

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i) \quad (6.22)$$

შევისწავლოთ ასეთი წრედის სახასიათო რეჟიმები. ცნობილია, რომ კოჭაში ცვლადი დენის გავლის შედეგად დაინდუქტირდება თვითინდუქციის ე.მ.ძ., რომელიც ტოლია

სინუსოიდური დენის უმარტივესი წრედი იდეალური ინდუქტიური ელემენტით



$$e_L = -L \frac{di}{dt}. \quad (6.23)$$

ნახ.6.8. ცვლადი დენის სქემა ინდუქციური დატვირთვით

შევიტანოთ (6.23)-ში დენის მნიშვნელობა და თან გავაწარმოოთ:

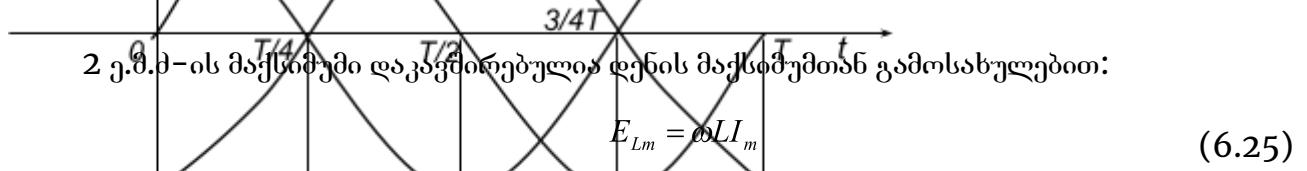
$$e_L = -\omega L I_m \cos(\omega t + \psi_i) = E_{Lm} \sin\left(\omega t + \psi_i - \frac{\pi}{2}\right) \quad (6.24)$$

მიღებული გამოსახულებიდან ჩანს, რომ:

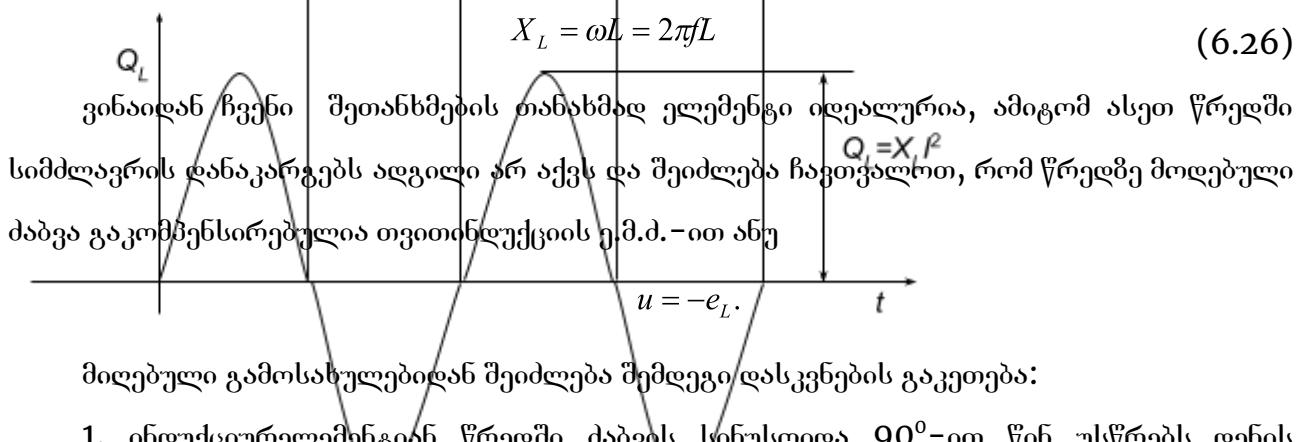
1. თვითინდუქციის ე.მ.ძ.-ის სინუსოიდა 90° -ით ჩამორჩება დენის სინუსოიდას. ეს ჩამორჩენა გრაფიკულად შემდეგნაირად გამოისახება

ნახ. 6.9. ძაბვის, დენისადა ე.მ.ძ.-ის მრუდეები, წმინდა ინდუქციურობით დაფვირთული ცვლადი დენის წრედისათვის:

ნახ. 6.10. ინდუქციური დატვირტვის სიმძლავრის გრაფიკი



მნელზე არ არის იმის დადგენა, რომ ωL -ს აქვს წინადობის განზომილება ომი, მას X_L -სიმძლობითი აღნიშნავენ და ინდუქციურ წინადობას უწოდებენ



მიღებული გამოსახულებიდან შეიძლება შემდეგი დასკვნების გაკეთება:

1. ინდუქციურელემენტის წრედში ძაბვის სინუსოიდა 90° -ით წინ უსწრებს დენის სინუსოიდას (ნახ. 6.9)

2. ძაბვის მაქსიმუმი დენის მაქსიმუმთან დაკავშირებულია ფოლობით $U_{Lm} = \omega L I_m$ ანუ:

$$I_m = \frac{U_m}{X_L} \quad (6.27)$$

აღნიშნული გამოსახულება ფაქტობრივად წარმოადგენს ომის კანონს ინდუქციურელემენტიანი წრედისათვის, ჩაწერილს ძაბვისა და დენის ამპლიტუდერი მნიშვნელობისათვის, თუ მის ორივე ნაწილს $\sqrt{2}$ -თან შევაფარდებთ, მივიღებთ იგივეს, ოღონდ მოქმედი მნიშვნელობისათვის

$$I = \frac{U}{X_L} \quad (6.28)$$

ომის კანონი ინდუქციურელემენტიანი წრედისათვის შეიძლება კომპლექსური ფორმითაც ჩაიწეროს:

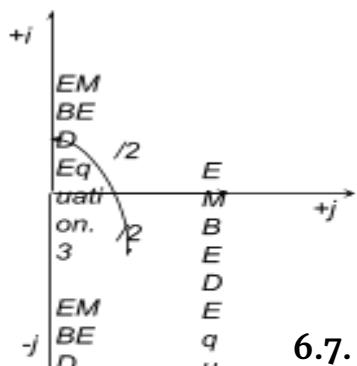
$$\mathbb{I} = \frac{\mathbb{U}_L}{jX_L} \quad (6.29)$$

სადაც

$$I = I e^{j\psi_i}; \quad U_L = U_L e^{j\left(\psi_i + \frac{\pi}{2}\right)} = j\omega L I. \quad (6.30)$$

აღნიშნულის საფუძველზე შეიძლება ავაგოთ ვექტორული დიაგრამა, საიდანაც ჩანს, რომ ინდუქციურელემენტიან წრედში ძაბვის ვექტორი 90° -ით წინ უსწრებს დენის ვექტორს, ხოლო ჟ.მ.ძ-ის ვექტორი 90° -ით ჩამორჩება მას.

ამასთან ერთად, გრაფიკები აგებულია შემთხვევისათვის, როცა $\psi_i = 0$.



ნახ. 6.11. ინდუქციურელემენტიანი წრედის ვექტორული დიაგრამა

6.7. ინდუქტიურ ელემენტიანი წრედის სიმძლავრე

ინდუქტიურელემენტიანი წრედის მყისა სიმძლავრე ტოლია ძაბვისა და დენის მყის მნიშვნელობების შენამრავლისა:

$$P_L = u_L \cdot i = U_{Lm} I_m \sin\left(\omega t + \psi_i + \frac{\pi}{2}\right) \sin(\omega t + \psi_i) \quad (6.31)$$

საიდანაც მარტივი გარდაქმნების გზით მივიღებთ:

$$P_L = U_L I \sin 2(\omega t + \psi_i) \quad (6.32)$$

მოცემული ფორმულით შეიძლება ავაგოთ ინდუქტიურელემენტიანი წრედის მყისა სიმძლავრის გრაფიკი (ნახ. 6.10). როგორც გრაფიკიდან, ასევე ფორმულიდან ჩანს, რომ ინდუქტიურ ელემენტიანი წრედის მყისა სიმძლავრე ორმაგი სიხშირით იცვლება. მისი საშუალო მნიშვნელობა პერიოდის განმავლობაში ნულის ტოლია:

$$P_{L\text{სას}} = \frac{1}{T} \int_0^T P_L dt = 0 \quad (6.33)$$

ხოლო, რაც შეეხება მის ამპლიტუდურ მნიშვნელობას, მას Q_L სიმბოლოთი აღნიშნავენ და ინდუქტიურ სიმძლავრეს უწოდებენ:

$$Q_L = X_L I^2 \quad (6.34)$$

ინდუქტიური სიმძლავრის საზომი ერთეულია ვარი. რაც შეეხება ინდუქციურ წინაღობას, მისი საზომი ერთეული, როგორც ნებისმიერი წინაღობისა, არის ომი.

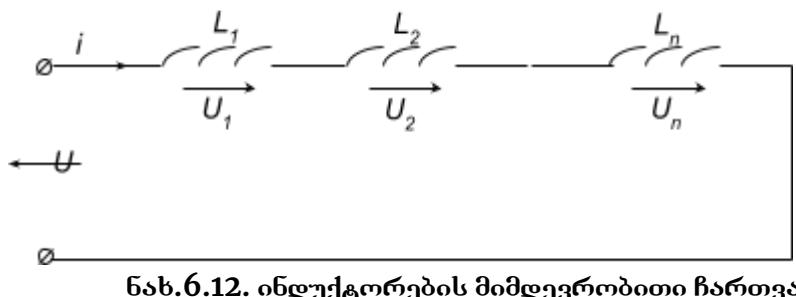
ენერგეტიკული თვალსაზრისით ინდუქციურელემენტიან წრედში შემდეგი პროცესი მიმდინარეობს: პერიოდის პირველ მეოთხედში ძაბვა და დენი დადებითია, ამიტომ სიმძლავრეც დადებითია. დროის ამ მონაკვეთში კოჭი მოიხმარს ქსელიდან შემოსულ ენერგიას, რომელიც გროვდება კოჭში მაგნიტური ველის ენერგიის ფორმით. პერიოდის მეორე მეოთხედში დენი წრედში კლებულობს, ეს იმას ნიშნავს რომ კოჭა ელექტრული ენერგიის წყაროდ იქცა და ქსელს უბრუნებს მაგნიტური ველის ფორმით დაგროვილ ენერგიას. როცა დენი 0-ს გაუტოლდება, კოჭში დაგროვილი ენერგია ელექტრულ ენერგიად გარდაიქმნება და მთლიანად დაუბრუნდება ქსელს. პერიოდის მომდევნო მეოთხედებში ეს პროცესი მეორდება.

ამრიგად, ინდუქტიურელემენტიან წრედში ადგილი აქვს სიმძლავრის განუწყვეტელ მიმოცვლას კვების წყაროსა და კოჭს შორის. ამიტომ ინდუქციურ სიმძლავრეს ხშირად მიმოცვლით სიმძლავრესაც უწოდებენ.

6.8. ინდუქტიური ელემენტების (ინდუქტორების) მიმდევრობითი და

პარალელური შეერთება

ვთქვათ მოცემულია მიმდევრობით შეერთებული რამოდენიმე ინდუქტიური ელემენტი (ნახ.6.12)



ნახ.6.12. ინდუქტორების მიმდევრობითი ჩართვა

როგორც ცნობილია მიმდევრობითი შეერთების დროს ექვივალენტური წინაღობა ტოლია

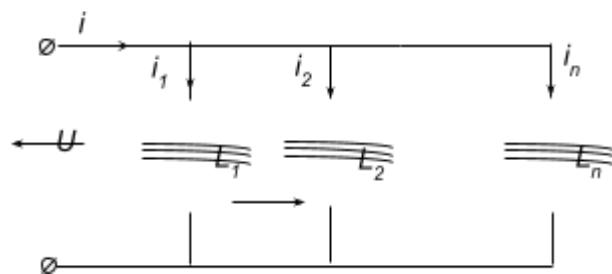
ელემენტების წინაღობათა ჯამის. ამასთან ერთად, ვინაიდან ჩართულია ერთი ხასიათის ელემენტები, კონკრეტულად კი ინდუქტორები, ჯამი იქნება ალგებრული. ანუ:

$$\omega L_{\text{eq}} = \omega L_1 + \omega L_2 + \dots + \omega L_n$$

საიდანაც ექვივალენტური ინდუქტორისათვის მივიღებთ:

$$L_{\text{eq}} = \sum_{k=1}^n L_k \quad (6.35)$$

ახლა განვიხილოთ შემთხვევა როდესაც ინდუქტორები პარალელურად არიან
შეერთებული (ნახ.6.13)



ნახ.6.13. ინდუქტორების პარალელური ჩართვა

ცნობილია, რომ პარალელური შეერთების დროს წრედის ექვივალენტური გამტარობა ცალკეული ელემენტების გამტარობათა ჯამის ფოლია. ანუ:

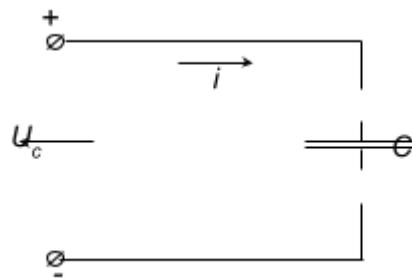
$$\frac{1}{\omega L_{\text{eq}}} = \frac{1}{\omega L_1} + \frac{1}{\omega L_2} + \dots + \frac{1}{\omega L_n}$$

აქედან :

$$\frac{1}{L_{\text{eq}}} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{L_k} \quad (6.36)$$

6.9. სინუსოიდური დენის უმარტივესი წრედი იდეალური ტევადური ელემენტით

უთქვათ, მოცემულია წრედი, რომელიც შეიცავს მხოლოდ იდეალურ ტევადურ ელემენტს და მასზე მოდებულია სინუსოიდური ძაბვა $U_C = U_{Cm} \sin(\omega t + \psi_u)$



ნახ.6.14 ტევადური დატვირთვა ცვლადი დენის წრედში

ცნობილია, რომ კონდესატორის დენი:

$$i_C = C \frac{du_C}{dt} \quad (6.37)$$

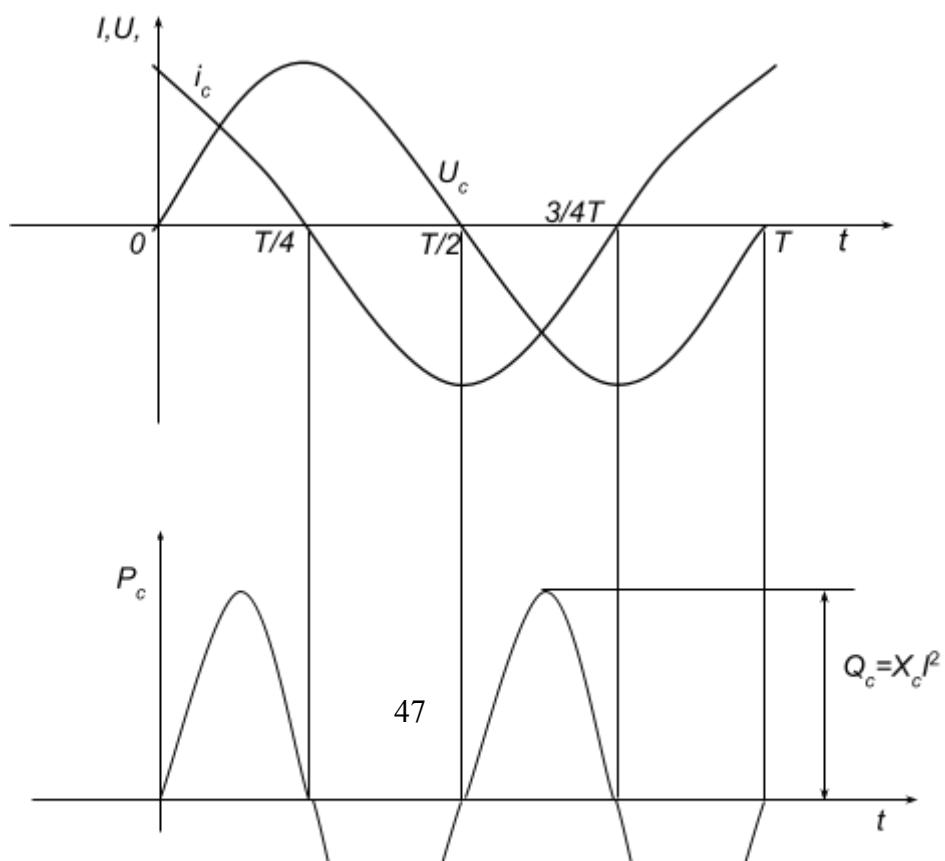
სადაც, C – ტევადობაა.

შევიგანოთ ძაბვის მნიშვნელობა ფორმულაში (6.36) და გავაწარმოოთ:

$$i_C = \omega C U_{Cm} \cos(\omega t + \varphi_u) = I_{Cm} \sin\left(\omega t + \psi_u + \frac{\pi}{2}\right) \quad (6.38)$$

მიღებული გამოსახულებიდან შეიძლება ორი მნიშვნელოვანი დასკვნის გაკეთება:

1. ტევადურელემენტიან წრედში დენის სინუსოიდა $\frac{\pi}{2}$ კუთხით წინ უსწრებს ძაბვის სინუსოიდას. გრაფიკულად ეს შემდეგნაირად გამოისახება (ნახ.6.15 ა):



ნახ.6.15 ძაბვის, დენისა და სიმძლავრის გრაფიკები ტევადური დატვირთვის დროს სინუსოიდალური დენის წრედისათვის.

2 დენის მაქსიმუმი ძაბვის მაქსიმუმთან დაკავშირებულია გამოსახულებით:

$$I_{Cm} = \omega C U_{Cm} \quad \text{ან} \quad I_{Cm} = \frac{U_{Cm}}{\frac{1}{\omega C}} \quad (6.39)$$

სიდიდეს $\frac{1}{\omega C}$ წინადობის განზომილება აქვს. მას აღნიშნავენ X_c სიმბოლოთი და ტევადურ წინადობას უწოდებენ:

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \quad (6.40)$$

აღნიშნულის გათვალისწინებით გვეჩნება:

$$I_{Cm} = \frac{U_{Cm}}{X_c} \quad . \quad (6.41)$$

მიღებული განზომება ფაქტობრივად წარმოადგენს ომის კანონს ტევადურელემენტიანი წრედისათვის დენისა და ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობებისათვის. თუკი მის ორივე ნაწილს $\sqrt{2}$ -თან შევაფარდებთ, მივიღებთ იგივე კანონს ჩაწერილს დენისა და ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობებისათვის.

$$I_C = \frac{U_c}{X_c}$$

ომის კანონი ტევადურელემენტიანი წრედისათვის კომპლექსური ფორმითაც შეიძლება ჩაიწეროს:

$$\mathbb{I} = \frac{U_c}{-jX_c} \quad (6.42)$$

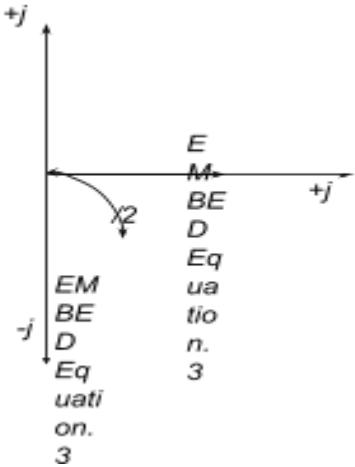
სადაც

$$\mathbb{I} = I e^{j\left(\psi_u + \frac{\pi}{2}\right)} \quad U_c = U e^{j\psi_u}$$

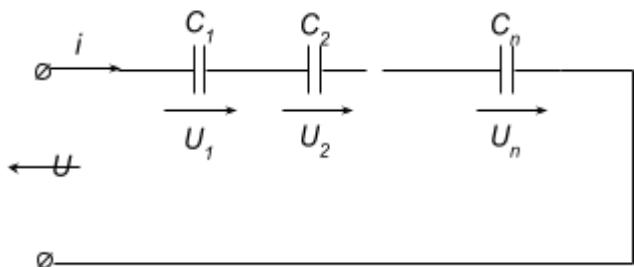
აღნიშნული ფოლობის საფუძველზე შეიძლება შევადგინოთ ვექტორული დიაგრამა, საიდანაც ჩანს, რომ ტევადურელემენტიან წრედში დენის ვექტორი ძაბვის ვექტორს $\frac{\pi}{2}$ - კუთხით

ანუ 90^0 უსწრებს წინ.

ნახ.6.16. ტევადური დატვირთვის ვექტორული დიაგრამა



6.10. კონდენსატორების მიმდევრობითი და პარალელური შეერთება
განვიხილოთ იდეალური კონდენსატორები რომლებიც მიმდევრობით არიან ერთმანეთთან
შეერთებული. (ნახ.6.17)



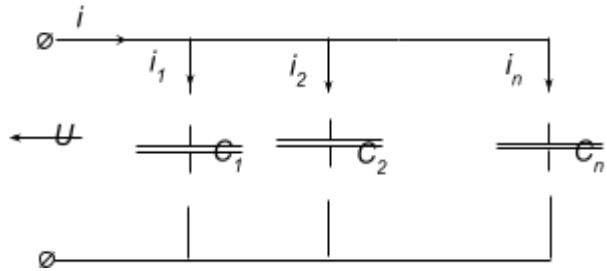
ნახ.6.17. კონდენსატორების მიმდევრობითი შეერთება
ასეთი წრედის ექვივალენტური წინაღობა ფოლია:

$$\frac{1}{\omega C_{\text{eq.}}} = \frac{1}{\omega C_1} + \frac{1}{\omega C_2} + \dots + \frac{1}{\omega C_n}$$

საიდანაც:

$$\frac{1}{C_{\text{eq}}} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{C_k} \quad (6.43)$$

თუკი კონდენსატორები პარალელურად არიან შეერთებულები (ნახ.6.18) (ნახ.2.10 ნაჭ.)
მაშინ ასეთი წრედის ექვივალუნტური გამტარობა ფოლია: □



ნახ.6.18. კონდენსატორების პარალელური შეერთება

$$\omega C_{\text{eq}} = \omega C_1 + \omega C_2 + \dots + \omega C_n$$

საიდანაც:

$$C_{\text{eq}} = \sum_{k=1}^n C_k \quad (6.44)$$

6.11. ტევადურელემენტიანი წრედის სიმძლავრე

ტევადურელემენტიანი წრედის მყისა სიმძლავრე ფოლია ძაბვისა და დენის მყისა მნიშვნელობების ნამრავლისა:

$$P_C = U_C i = U_{C_m} \sin(\omega t + \psi_u) \cdot I_{C_m} \sin\left(\omega t + \psi_u + \frac{\pi}{2}\right) = U_C I \sin 2\left(\omega t + \psi_u\right) \quad (6.45)$$

მისი გრაფიკი მოცემულია §6.10-ში მოცემულ ნახაზ 6.15 ბ)-8ე. ისევე როგორც ინდუქტიური ელემენტიანი წრედის მყისა სიმძლავრე, ტევადურ ელემენტიანი წრედის მყისა სიმძლავრეც ორმაგი სიხშირით იცვლება. მისი საშუალო მნიშვნელობა აქაც, პერიოდის განმავლობაში 0-ის ფოლია. ე.ო.

$$P_{C_{\text{saS}}} = \frac{1}{T} \int_0^T P_C dt = 0.$$

რაც შეეხება ტევადურელემენტიანი წრედის სიმძლავრის ამპლიტუდურ მნიშვნელობას,

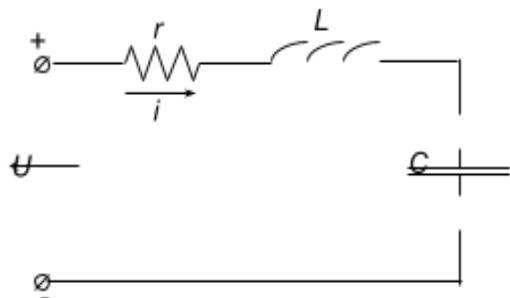
მას გევადურ სიმძლავრეს უწოდებენ, აღნიშნავენ Q_C სიმბოლოთი და იგი გოლია

$$Q_C = X_C I^2 \quad (6.46)$$

ტევადური სიმძლავრის საზომი ერთეულია ვარი. ისევე როგორც ინდუქტორი სიმძლავრე, ტევადური სიმძლავრეც მიმოცვლითი სიმძლავრეა, მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ თუკი ინდუქტიურელემენტიან წრედში მიმოცვლა ხდებოდა კვების წყაროსა და მაგნიტური ველის ენერგიებს შორის, აյ მიმოცვლა ხდება კვების წყაროსა და კონდესაფორის ელექტრული ველის ენერგიებს შორის.

6.12. r, L, C ელემენტების მიმდევრობითი შეერთება

ვთქვათ, r, L, C ელემენტები შეერთებულია მიმდევრობით.



ნახ.6.19. r, L, C ელემენტების მიმდევრობითი შეერთება

შევისწავლოთ ასეთი წრედის სახასიათო რეჟიმები. ვინაიდან წრედი მიმდევრობითია, ამიტომ ძაბვა მის მომჭერებზე ფოლი იქნება

$$\underline{U} = \underline{U}_r + \underline{U}_L + \underline{U}_C \quad (6.47)$$

ანუ, ცალკეულ უბნებზე ძაბვის ვარდნათა გეომეტრიული ანუ კომპლექსური ჯამის.

$$\underline{U} = r\underline{I} + jX_L \underline{I} - jX_C \underline{I} = \underline{I}(r + jX_L - jX_C) = \underline{Z}\underline{I} \quad (6.48)$$

სიდიდე \underline{Z} წარმოადგენს წრედის სრულ წინაღობას. როგორც ვხედავთ იგი კომპლექსური სიდიდეა

$$\underline{Z} = r + jX_L - jX_C$$

მისი მოდული ფოლია

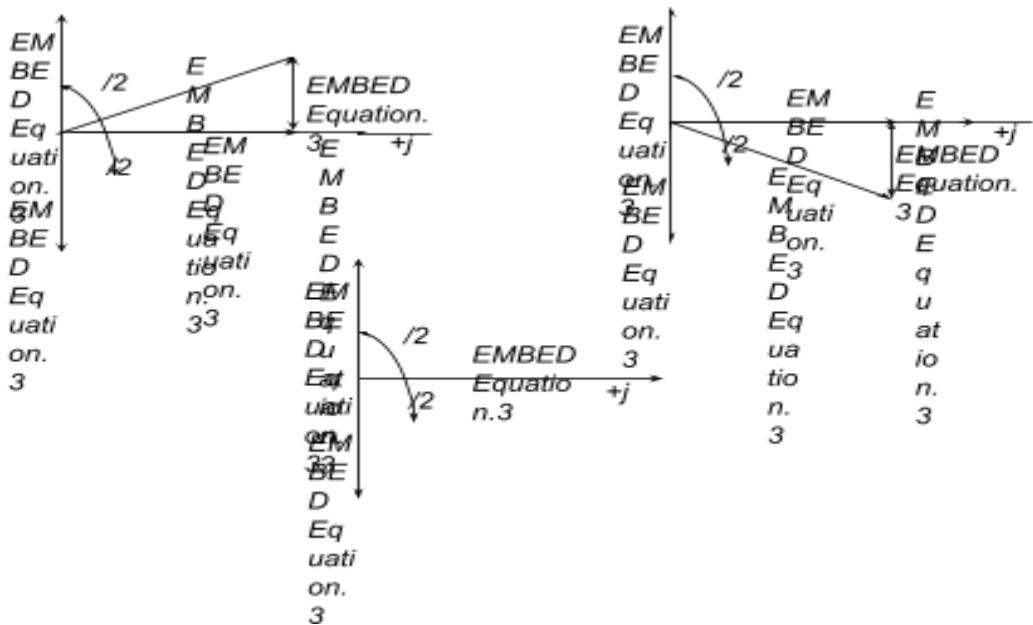
$$Z = \sqrt{r^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (6.49)$$

ხოლო არგუმენტი

$$\varphi_Z = \arctg \frac{X_L - X_C}{r} \quad (6.50)$$

ავღნიშნოთ $X = X_L - X_C$ და ვუწოდოთ მას რეაქტიული წინაღობა. იმისდა მიხედვით, თუ რა თანაფარდობაა X_L -სა და X_C -ს შორის, განასხვავებენ სამ შემთხვევას:

1. $X_L > X_C$, მაშინ $X > 0$ და წრედს აქვს აქტიურ-ინდუქტიური ხასიათი. ამ შემთხვევის შესაბამისი ვექტორული დიაგრამა მოყვანილია ნახაზ 6.20 ა)-ზე.
2. $X_L < X_C$, ამ შემთხვევაში წრედს აქვს აქტიურ-ტევადური ხასიათი, ხოლო მის ვექტორულ დიაგრამას კი ნახ. 6.20 ბ)-ზე მოყვანილი სახე.
3. თუ $X_L = X_C$, მაშინ $X = 0$ ე.ი. წრედის რეაქტიული წინაღობა 0-ის ფოლია, ხოლო მას აქვს სუფთა აქტიური ხასიათი ნახ. 6.20 გ).



ნახ. 6.20. r, L, C, ელემენტების მიმდევრობითი შეერთების ვექტორული დიაგრამა ა)
 $X_L > X_C$, ბ) $X_L < X_C$, გ) $X_L = X_C$

ბოლო შემთხვევიდან ჩანს, რომ მიუხედავად იმისა, რომ მიმდევრობით წრედში ჩართული გვაქვს რეაქტორი ელემენტები – კოჭი და კონდესატორი, ძაბვა წრედის მომჭერებზე ფაზით მაინც ემთხვევა ძაბვას რეზისტორ ელემენტზე. ამ შემთხვევას ძაბვების რეზონანსის შემთხვევას უწოდებენ

როგორც ჩანს, ძაბვების რეზონანსის პირობას, მიმდევრობით წრედში, ინდუქტორი და ტევადური ელემენტების წინდობათა ფოლობა წარმოადგენს.

$$X_L = X_C \quad (6.51)$$

ან კიდევ,

$$\omega L = \frac{1}{\omega C},$$

საიდანაც

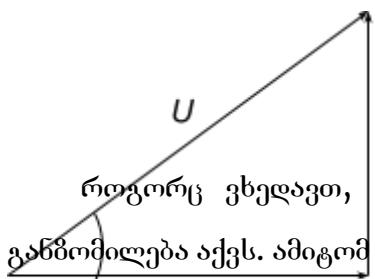
$$\omega^2 LC = 1 \quad 4\pi^2 f^2 LC = 1 \quad (6.52)$$

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ძაბვების რეზონანსის დროს წრედი სუფთა აქტიური ხასიათისაა, რის გამოც კვების წყარო წრედში მხოლოდ აქტიურ დენსა და აქტიურ სიმძლავრეს გასცემს, რომლებიც ამავე დროს მაქსიმალურნი არიან. ასეთი მსჯელობა სრულიადაც არ ნიშნავს იმას, რომ რეზონანსის დროს წრედში რეაქტორი სიმძლავრე არ არსებობდეს. სინამდვილეში იგი არსებობს და ამჯერადაც მიმოცვლითი სიმძლავრეა, მხოლოდ ახლა უკვე, კოჭის მაგნიტურ და კონდესატორს ელექტრული ველების ენერგიებ შორის.

6.13. ძაბვების, წინადობებისა და სიმძლავრეების სამკუთხედები,

სიმძლავრის კოეფიციენტი $\cos \varphi$

წინა პარაგრაფებში ჩვენ ავაგეთ ვექტორული დიაგრამები, რომლებიც ქმნიან მართვულ სამკუთხედებს. ერთ-ერთ მათგანს შემდეგი სახე აქვს: (ნახ. 6.21)



ნახ. 6.21. ძაბვების სამკუთხედი

როგორც ვხედავთ, სამკუთხედის ყველა გვერდს ერთიდაიგივე, კერძოდ კი ძაბვის განზომილება აქვს. ამიტომ ამ სამკუთხედს ძაბვების სამკუთხედს უწოდებენ.

ძაბვების სამკუთხედის ერთერთი კათეტი წარმოადგენს ძაბვის ვარდნას რეზისტორილ ელემენტზე, მეორე კათეტი არის ძაბვების ვარდნათა სხვაობა ტევადურ და ინდუქციურ ელემენტებზე, ხოლო პიპოტენუბზა გამოსახავს სრულ ძაბვას.

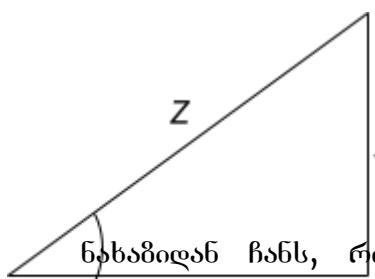
ძაბვების სამკუთხედიდან, პითაგორას თეორემის საშუალებით, შეიძლება განისაზღვროს სრული ძაბვის მოდული:

$$U = \sqrt{U_r^2 + (U_L - U_C)^2} \quad (6.53)$$

რაც შეეხებაარგუმენტს, იგი ფოლია:

$$\varphi = \arctg \frac{U_L - U_C}{U_r} \quad (6.54)$$

თუკი, ძაბვების სამკუთხედის სამივე გვერდს შევაფარდებთ დენთან, მივიღებთ ე.წ. წინაღობების სამკუთხედს.



ნახ. 6.22. წინაღობების სამკუთხედი

ნახაბიდან ჩანს, რომ წინაღობების აღობების სამკუთხედს. მისი ერთი კათეტი წარმოადგენს აქტიურ წინაღობას, მეორე კათეტი რეაქტორ წინაღობას, რაც შეეხება პიპოტენუბას, იგი სრული წინაღობაა. ნახაბიდან მნელი არაა დადგენა იმისა, რომ სრული წინაღობის მოდული ფოლია;

სამკუთხედის სამივე გვერდს წინაღობის განზომილება აქვს. ამიტომაც უწოდებენ

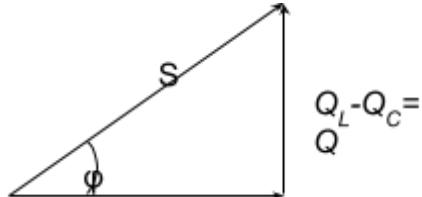
თუკი, ძაბვების სამკუთხედის ყველა გვერდს გავამრავლებთ დენბე, მივიღებთ სიმძლავრთა სამკუთხედს. მისი ერთი კათეტია აქტიური სიმძლამას წინ

$$Z = \sqrt{r^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (6.55)$$

ხოლო, არგუმენტი კი

$$\varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{r} \quad (6.56)$$

ვრცე, მეორე კათეგორი – რეაქტორის სიმძლავრე. ხოლო პიპოფენის კი – სრული სიმძლავრე. (ნახ. 6.23)



ნახ. 6.23. სიმძლავრეების სამკუთხედი

ნახაბიდან ჩანს, რომ სრული სიმძლავრის მოდული გოლია:

$$S = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2} \quad (6.57)$$

არგუმენტი კი

$$\varphi = \arctg \frac{Q_L - Q_C}{P} . \quad (6.58)$$

აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეები შეიძლება შემდეგნაირად გამოვსახოთ

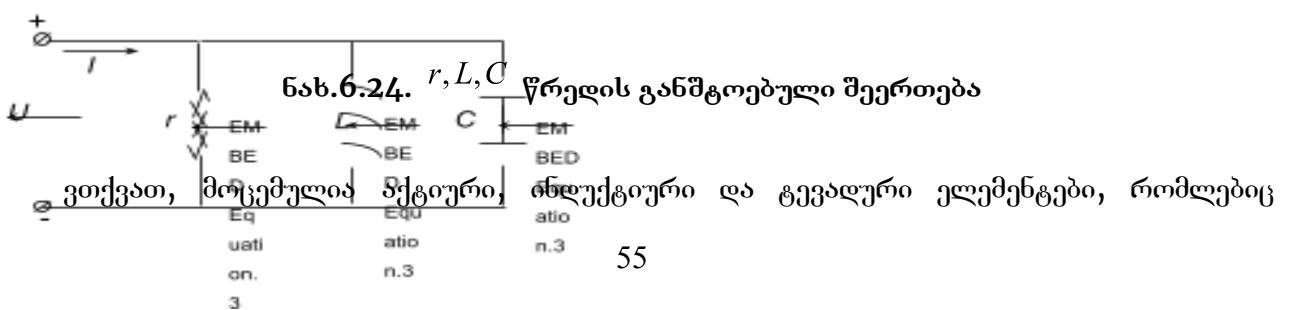
$$P = S \cos \varphi \quad Q = S \sin \varphi$$

საიდანაც:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} . \quad (6.59)$$

$\cos \varphi$ –ის სიმძლავრის კოეფიციენტს უწოდებენ. ის წრედების მუშაობის რეჟიმების მნიშვნელოვანი მახასიათებელი სიდიდეა და გვიჩვენებს თუ სრული სიმძლავრის რა ნაწილს შეადგენს აქტიური სიმძლავრე.

6.14. r, L, C ელემენტების პარალელური შეერთება



პარალელურად არიან ერთმანეთთან შეერთებული და მათგე მოდებულია სინუსოიდური ძაბვა.

განვიხილოთ ასეთი წრედის ზოგიერთი სახასიათო რეჟიმი. წინა შემთხვევის ანალოგიურად, ანგარიში ვაწარმოოთ კომპლექსური ფორმით.

ვინაიდან წრედი პარალელურია, დენი მის განუშტოებელ ნაწილში ფოლი იქნება ცალკეულ შტოებში დენების გეომეტრიული, ანუ კომპლექსური ჯამის:

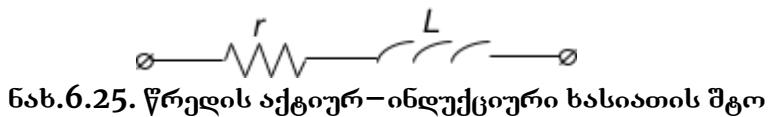
$$\underline{I} = \underline{I}_r + \underline{I}_L + \underline{I}_C \quad (6.60)$$

გადავწეროთ ეს ფოლობა ძაბვითა და შესაბამისი წინაღობებით:

$$\underline{I} = \underline{U} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{jX_L} + \frac{1}{-jX_C} \right) \quad (6.61)$$

როდესაც ვაანალიზებთ პარალელურ წრედებს, უფრო მოსახერხებელია წინაღობების ნაცვლად ვისარგებლოთ გამგარობებით. ვიდრე ჩვენს ამოცანას გავაგრძელებდეთ, განვსამღვროთ რამდენიმე სახასიათო შტოს კომპლექსური გამგარობა.

ვთქვათ, მოცემული გვაქვს აქტიურ-ინდუქციური ხასიათის შტო.



ასეთი შტოს კომპლექსური წინაღობა ფოლი იქნება:

$$\underline{Z} = R + jX_L \quad (6.62)$$

რადგან გამგარობა წინაღობის შებრუნებული სიდიდეა, ამიგომ

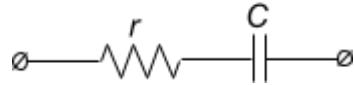
$$\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}} = \frac{1}{r + jX_L} = \frac{r - jX_L}{(r + jX_L) \cdot (r - jX_L)} = \frac{r}{Z^2} - j \frac{X_L}{Z^2} = g - jb_L \quad (6.63)$$

სიდიდეს $\underline{Y} = g - jb_L$ აქტიურ-ინდუქციური შტოს სრულ გამგარობას უწოდებენ. იგი სრული წინაღობის მსგავსად კომპლექსური სიდიდეა. მისი ნამდვილი ნაწილი g აქტიურ გამგარობას წარმოადგენს, ხოლო წარმოსახვითი ნაწილი jb_L კი ინდუქციურ გამგარობას.

(6.62)-ის თანახმად:

$$g = \frac{r}{Z^2}; \quad b_L = \frac{X_L}{Z^2}$$

ახლა განვიხილოთ აქტიურ-ტევადური ხასიათის შტო.



ნახ.6.26. წრედის აქტიურ-ტევადური ხასიათის შტო

ასეთი შტოს სრული წინაღობა ფოლია:

$$\underline{Z} = r - jX_C \quad (6.64)$$

ხოლო გამტარობა კი:

$$\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}} = \frac{r + jX_C}{r^2 + X_C^2} = \frac{r}{Z^2} + j \frac{X_C}{Z^2} = g + jb_C \quad (6.65)$$

მოცემულ გამოსახულებაში $b_C = \frac{X_C}{Z^2}$ -ტევადური გამტარობაა, ხოლო g -წინა შემთხვევის მსგავსად აქტიური გამტარობა.

აღნიშნული მაგალითების გათვალისწინებით დენის გამოსახულება (6.60) შეიძლება შემდეგნაირად გადაიწეროს:

$$\underline{I} = \underline{U}(g - jb_L + jb_C) = \underline{U}[g + j(b_C - b_L)] = \underline{U}\underline{Y} \quad (6.66)$$

აღნიშნოთ სიდიდე $b_C - b_L = b$ –თი და ვუწოდოთ მას ზოგადად რეაქტიული გამტარობა. იმის მიხედვით, თუ რა თანაფარდობაა ინდუქტიურ და ტევადურ გამტარობებს შორის, აქაც ელემენტთა მიმდევრობითი შეერთების მსგავსად, აგანასხვავებენ სამ შემთხვევას:

1. $b_C > b_L$, მაშინ $b > 0$ და წრედი აქტიურ-ტევადური ხასიათისაა. მისი ვექტორულ დიაგრამას ნახაგ 6.26 ა)-გე მოცემული სახე აქვს. მოხერხებულობის თვალსაზრისით, საწყის ვექტორად აღებულია, საერთო პარამეტრი პარალელური წრედებისათვის ანუ, ძაბვის ვექტორი წრედის მომჭერებზე.

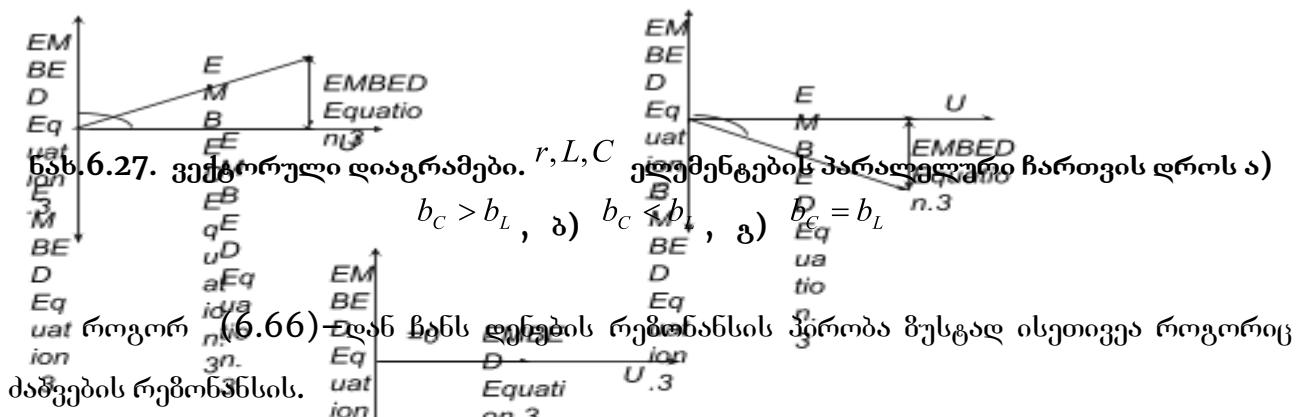
2. $b_C < b_L$, მაშინ $b < 0$ და წრედი აქტიურ-ინდუქტიური ხასიათისაა (ნახ.6.26 ბ)).

3. $b_C = b_L$, მაშინ $b = 0$ და წრედი სუფთა აქტიური ხასიათისაა (ნახ.6.26 გ))

უკანასკნელ შემთხვევას, როცა პარალელურ წრედში მიუხედავად იმისა, რომ ჩართულია

რეაქტორი ელემენტები, კოჭი და კონდესაფორი და წრედის განუშტოებელ ნაწილში დენი ფაზით მაინც ემთხვევა დენს აქტიურ წინაღობაზე, დენების რეზონანსის მოვლენა ეწოდება. როგორც ვხედავთ, მისი პირობაა ტევადერი და ინდუქციური გამტარობების ტოლობა, ანუ:

$$b_C = b_L, \quad \omega_C = \frac{1}{\omega L}, \quad \omega^2 LC = 1, \quad 4\pi^2 f^2 LC = 1 \quad (6.67)$$



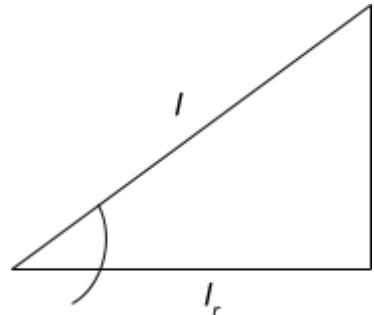
დენების რეზონანსის დროს, ისევე როგორც ძაბვების რეზონანსის დროს, წრედი სუფთა აქტიური ხასიათის გამოყენის, ხოლო კვების წყარო წრედში გასცემს მხოლოდ აქტიურ დენს და სიმძლავრეს, რომელსაც მაქსიმალური მნიშვნელობა აქვთ.

რეაქტორი სიმძლავრე დენების რეზონანსის დროსაც არსებობს და იგი ამ შემთხვევაშიც მიმოცვლით სიმძლავრეს წარმოადგენს, კოჭის მაგნიტურ და კონდესაფორს ელექტრულ ველების ენერგიებს შორის.

6.15 დენების, გამტარობებისა და სიმძლავრეების სამკუთხედები

წინა პარაგრაფში მიღებული დიაგრამები მიმდევრობითი წრედის დიაგრამების

მსგავსად ქმნიან მართვულთხა სამკუთხედებს. ერთ-ერთ მათგანს ასეთი სახე აქვს:



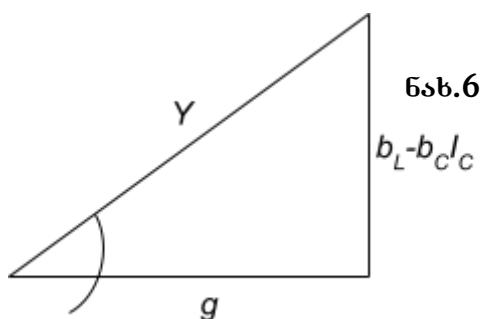
ნახ.6.28. დენების სამკუთხედი

6.27 ნახაზიდან ჩანს, რომ მის სამივე გვერდს დენის განზომილება აქვს. ამასთან ერთად, ერთ-ერთი კათეტი წარმოადგენს დენს რეზისტულ ელემენტში. მეორე კათეტია ტევადურ და ინდუქციურ ელემენტებში დენების სხვაობა, ხოლო ჰიპოტენუზა წარმოადგენს სრულ დენს. მოცემული სამკუთხედიდან შეიძლება განვსაზღვროთ სრული დენის მოდული და არგუმენტი.

$$I = \sqrt{I_r^2 + (I_C - I_L)^2} \quad (6.68)$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{I_C - I_L}{I_r} \quad (6.69)$$

თუ ამ სამკუთხედის გვერდებს გავყოფთ ძაბვაზე, მაშინ მივიღებთ გამტარობების სამკუთხედს, სადაც ერთი კათეტია აქტიური გამტარობა, მეორე კათეტი — ტევადური და ინდუქციური გამტარობების სხვაობა, ხოლო ჰიპოტენუზა კი წარმოადგენს სრულ გამტარობას. სამკუთხედიდან შეიძლება განვსაზღვროთ სრული გამტარობის მოდული და არგუმენტი

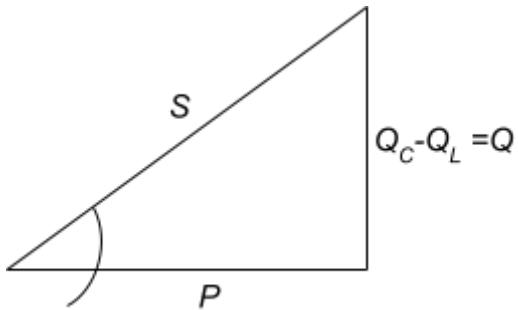


ნახ.6.29. გამტარობის სამკუთხედი

$$Y = \sqrt{g^2 + (b_C - b_L)^2} \quad (6.70)$$

$$\varphi = \arctg \frac{b_C - b_L}{g} \quad (6.71)$$

თუკი დენების სამკუთხედს გავამრავლებთ ძაბვაზე, მაშინ მივიღებთ სიმძლავრეების სამკუთხედს. (ნახ.6.29)



ნახ.6.30. სიმძლავრეების სამკუთხედი

ნახაზიდან ჩანს, რომ სიმძლავრეების სამკუთხედის ერთი კათეტი წარმოადგენს აქტიურ სიმძლავრეს, მეორე კათეტი – ფიცადური და ინდქტიური სიმძლავრეების სხვაობას, ხოლო ჰიპოტენიზა კი სრული სიმძლავრეა. იმავე ნახაზიდან შეიძლება განისაზღვროს სრული სიმძლავრის მოდული და არგუმენტი.

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (6.72)$$

$$\varphi = \arctg \frac{Q_C - Q_L}{P} \quad (6.73)$$

თავი VII

სამფაზა წრედები

7.1. გოგადი ცნებები. სამფაზა სინუსოიდურ სიდიდეთა გამოსახვის ხერხები

სამფაზა წრედები წარმოადგენენ ცვლადი დენის მრავალფაზა სისტემების კერძო შემთხვევას. მრავალფაზა კი ისეთ სისტემებს ეწოდება, რომლებიც გენერირებული არიან ერთი კვების წყაროდან და გააჩნიათ ერთი და იგივე სიხშირე. იმის და მიხედვით თუ რამდენი ცალფაზა წრედისაგან შედგება მრავალფაზა სისტემა, განასხვავებენ ორფაზა, სამფაზა, ოთხფაზა და ა.შ. წრედებს. მაგრამ პრაქტიკაში ყველაზე ფართო გამოყენება პპოვეს სამფაზა წრედებმა, ვინაიდან სწორედ ისენი განაპირობებენ ელ. ენერგიის გამომუშავების, გადაცემისა და განაწილების ყველაზე ოპტიმალურ პირობებს.

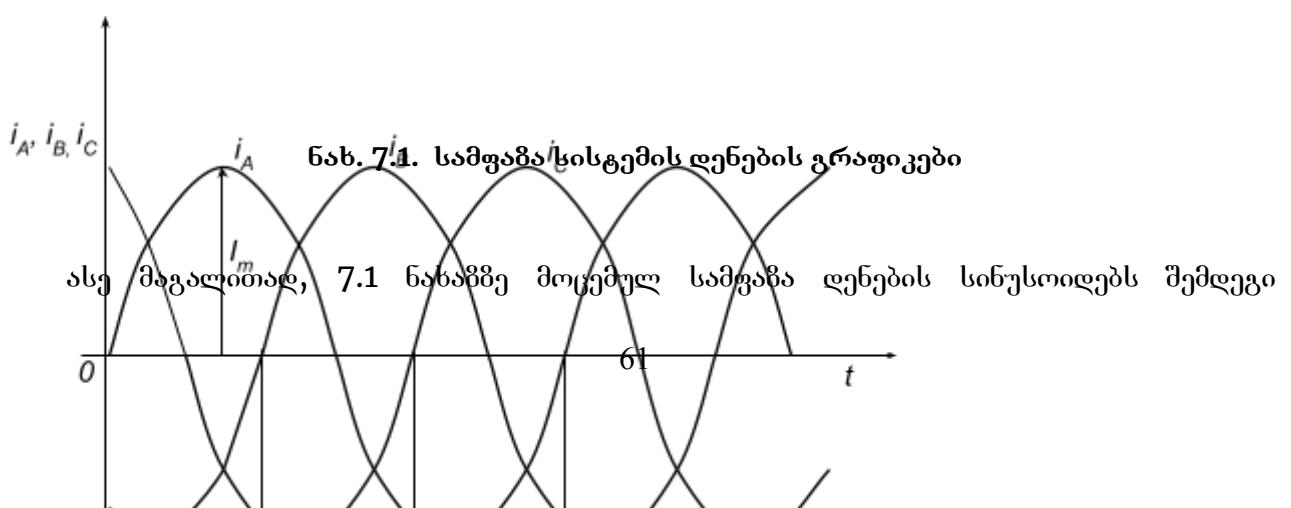
სამფაზა სისტემა შესდგება შემდეგი ძირითადი ნაწილებისაგან: სამფაზა გენერატორი, გადაცემის სამფაზა ხაზი და ელექტროტული მომხმარებელი, რომელიც შეიძლება იყოს, როგორც სამფაზა, ასევე ცალფაზა.

სამფაზა გენერატორი თავის მომჭერებზე წარმოქმნის სამ ე.მ.ძ.-ს, რომლებიც სიდიდით ერთმანეთის ფოლი, ხოლო ფაზით ერთმანეთის მიმართ 120° -ით არიან დაძრული. თუ ამ მომჭერებთან მივაერთებთ სამფაზა მომხმარებელს, მაშინ სისტემაში გაივლის სამფაზა დენი.

სამფაზა სისტემის ფაზებში გამავალი დენები სიდიდით ერთმანეთის ფოლი არიან, ხოლო

$\frac{2\pi}{3}$
დროში, ერთმანეთის მიმართ 120° -ით ანუ $\frac{2\pi}{3}$ -ით დაძრულნი.

ისევე როგორც ცალფაზა სინუსოიდალური სიდიდეები, სამფაზა სინუსოიდალური სიდიდეებიც შეიძლება სამი ხერხით გამოვსახოთ: გრაფიკულად, ტრიგონომეტრიული ფუნქციების სასუალებით და მოძრავი რადიუს-ვექტორებით დეკარტეს ან კომპლექსურ სიბრტყეებზე.



ტრიგონომეტრიული ჩანაწერები შეესაბამება.

$$i_A = I_{m_A} \sin \omega t$$

$$i_B = I_{m_B} \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi) \quad (7.1)$$

$$i_C = I_{m_C} \sin(\omega t - \frac{4}{3}\pi) = I_C \max \sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi\right)$$

ფაზათა დენების გამოსახულებებში (7.1), საწყისი ფაზა მიღებულია ნულის ფოლად $\varphi_A = 0$.

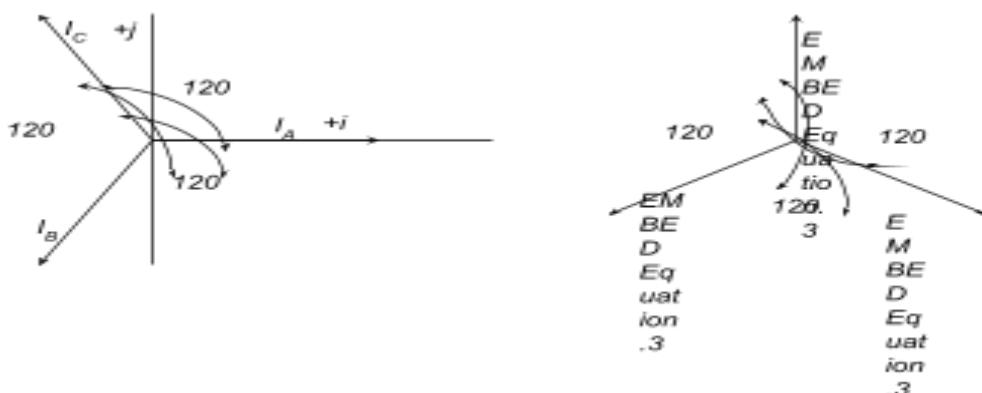
სამფაზა სინუსოიდალური სიდიდეები შეიძლება ვექტორებითაც გამოვსახოთ, კერძოდ

$$\bar{I}_A = I_A$$

$$\bar{I}_B = I_B e^{-j120^\circ} \quad (7.2)$$

$$\bar{I}_C = I_C e^{-j240^\circ}$$

ბერძოლ მოყვანილ სამფაზა დენების კომპლექსურ გამოსახულებებს ვექტორთა შემდეგი სიმეტრიული სისტემები შეესაბამება.



ნახ. 7.2. სამფაზა დენების ვექტორული სიმეტრიული სისტემები

ნახ.7.2 ა-ზე მოცემული ვექტორული დიაგრამა ზუსტად შეესაბამება სამფაზა დენების (7.2) სისტემას, სადაც საყრდენ ვექტორად აღებულია A ფაზის დენის ვექტორი, რომელიც ემთხვევა ნამდვილ რიცხვთა ღერძს. B ფაზაში გამავალი დენის ვექტორი მას 120° -ით

ჩამორჩება, ხოლო C ფაზის კი 240° -ით.

პრაქტიკულად უფრო მოსახერხებელია ნახ.7.2ა-ზე მოყვანილი დიაგრამა შევაბრუნოთ 90° -ით და მაშინ მას ნახ.7.2-ზე წარმოდგენილი სახე მიეცემა. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ანალოგიურად შეიძლება იქნეს გამოსახული სამფაზა ე.მ.ძ-ები და ძაბვები.

სამფაბა სისტემის ფაზები ორგვარად შეიძლება იქნენ შეერთებული, კერძოდ, განასხვავებენ: ვარსკვლავურ და სამკუთხედურ შეერთებებს.

ვარსკვლავური შეერთების დროსა ფაზები ბოლოები ერთ წერტილში არიან გაერთიანებული. ამ წერტილს ნეიტრალურ წერტილს უწოდებენ. ასე მაგალითად, სამფაზა გენერაციის ფაზათა ვარსკვლავურ შეერთებას შემდეგი სახე აქვს (ნახ.7.3).

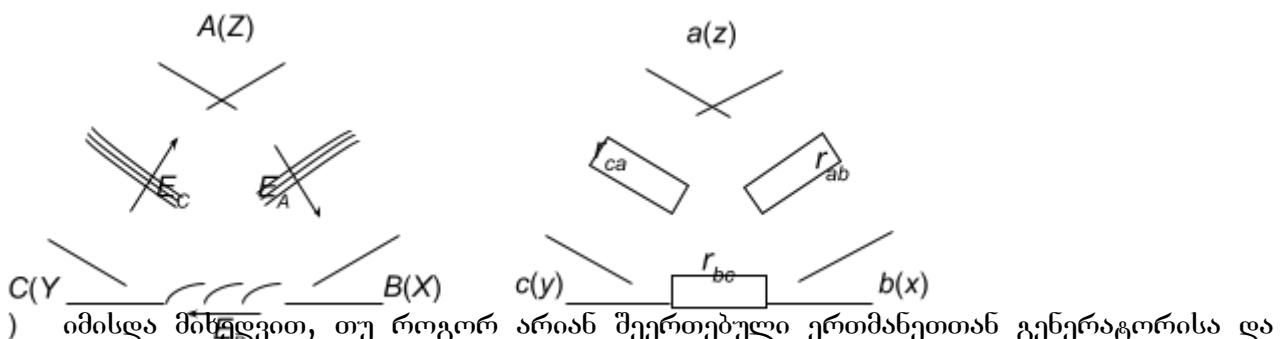
ანალოგიურად სამფაბა დატვირთვის ვარსკვლავერი შეერთების სქემას ნახ.7.4-ზე
მოცემული სახე აქვს.

ნახ. 7.3. სამუშაბა გენერატორის ფაზების უქრსკვლავური ძეგლთების სქემა

კოგორც ნახაზებიდან ჩანს, გენერატორის ფაზისათვის შემთხვევი გვაქვს აღნიშვნა და ასოებით, ხოლო დაგვირთვის ფაზებისათვის პატარა ასოებით.

ნახ. 7.4. სამოაზბა დაგეირთვის
ფამილის უკრსკელავერი
შეიერთების სქემა

სამკუთხედური ისეთ შეერთებას ეწოდება, რომლის დროსაც, საერთო წერტილებში გაერთიანებული არიან შემდეგი მომჭერები: $B(X), C(Y), A(Z)$. მაგალითისათვის, სამფაბა გენერატორის ფაზებისათვის ამ შეერთებას შემდეგი სახე აქვს (ნახ.7.5), ხოლო სამფაბა დატვირთვისათვის კი (ნახ.7.6).



**ნახ.7.5. სამფაზა გენერატორის
ფაზების სამკუთხედური
შეკრთვა**

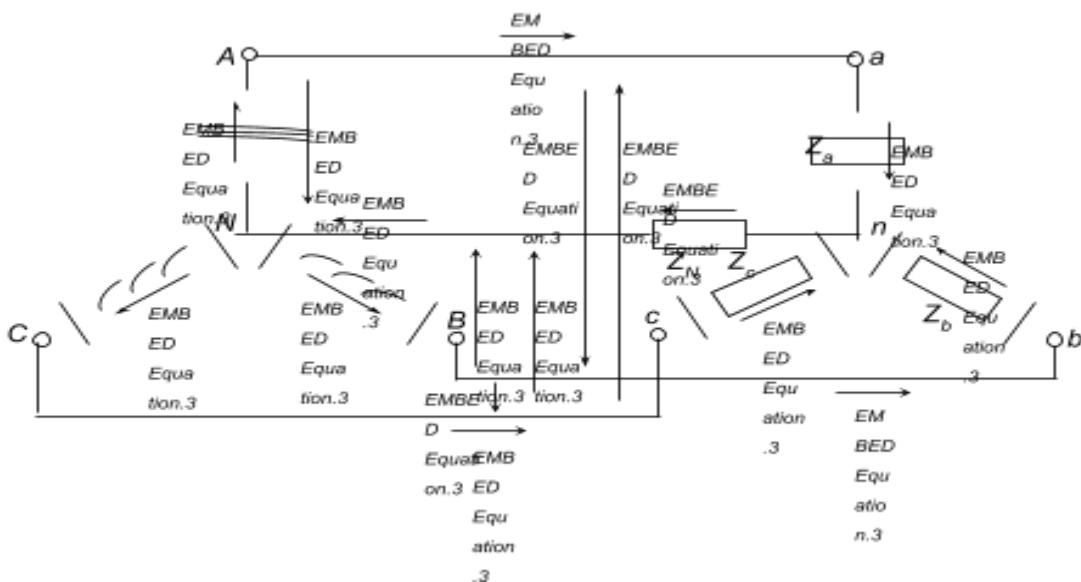
63 ნახ.7.6. სამფაზა დატვირთვის
სამკუთხელური შეერთება

დატვირთვის ფაზები, განასხვავებენ სამსადენიან ან კიდევ ოთხსადენიან სისტემებს. ოთხსადენიანია სისტემა, როდესაც ვარსკვლავურადა შეერთებული როგორც გენერატორის, ასევე დატვირთვის ფაზებიც. ხოლო მათი ნეიტრალური წერტილები შეერთებული არიან ე.წ. ნეიტრალური სადენით. რაც შეეხება სამ სადენიან სისტემას, იგი ძირითადად გამოყენებულია სამკუთხედური შეერთების დროს ან კიდევ ვარსკვლავური შეერთების დროს, როცა ნეიტრალური სადენი მოხსნილია.

7.2. სამფაზა სისტემის ვარსკვლავური შეერთება

სიმეტრიული დატვირთვის რეჟიმში

ვთქვათ, მოცემულია სამფაზა სისტემა, სადაც როგორც გენერატორის, ასევე დატვირთვის ფაზები შეერთებულია ვარსკვლავურად. გარდა ამისა, ნეიტრალური სადენით ერთმანეთთან შეერთებული არიან ნეიტრალური წერტილებიც. ამრიგად, გვაქვს სამფაზა ოთხსადენიანი სისტემა ვარსკვლავური შეერთებით და ნეიტრალური სადენით. განვიხილოთ ასეთი სისტემის სახასიათო რეჟიმები.



ნახ.7.7. სამფაზა ოთხსადენიანი სისტემა ვარსკვლავური შეერთებით

ვიდრე უმუალოდ რეჟიმების ანალიზზე გადავიდოდეთ, შემოვიტანოთ რამდენიმე განმარტება:

ფაზური დენი ეწოდება გენერატორის ან დატვირთვის ფაზებში გამავალ დენს.

ხაზური დენი ეწოდება გენერატორის და დატვირთვის შემაერთებელ სამფაზა ხაზის სადენებში გამავალ დენს.

ფაზური ძაბვა ეწოდება ძაბვას, რომელიც მოდებულია ფაზის საწყის და ბოლო წერტილებს შორის. ვარსკვლავური შეერთების დროს ფაზური ძაბვა იგივეა, რაც ძაბვა ფაზის საწყისსა და ნეიტრალურ წერტილებს შორის, ან კიდევ, საწყისსა და ნეიტრალურ სადენს შორის.

ხაზური ძაბვა ეწოდება ძაბვას, რომელიც მოდებულია ფაზების საწყის წერტილებს შორის.

ნეიტრალური სადენი ეწოდება სადენს, რომელიც აერთებს გენერატორის და დატვირთვის ნეიტრალურ წერტილებს.

თავდაპირველად განვიხილოთ ვარსკვლავური შეერთება სიმეტრიული დატვირთვის რეჟიმში. სიმეტრიული ეწოდება რეჟიმს, როდესაც დატვირთვის კომპლექსური წინაღობები ერთმანეთის გოლია. ანუ:

$$\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c$$

თუკი მხოლოდ მოდულებია ერთმანეთის ტოლი, მაშინ ასეთ დატვირთვას თანაბარს ეწოდებენ, ხოლო თუკი მხოლოდ არგუმენტებია ტოლი $\varphi_a = \varphi_b = \varphi_c$, მაშინ დატვირთვას ერთგვაროვანი ეწოდება. როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ამჯერად მხოლოდ სიმეტრიული დატვირთვის შემთხვევას განვიხილავთ.

დენები სიმეტრიული დატვირთვის დროს შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი ფორმულებით.

$$\begin{aligned} \underline{P}_a &= \frac{\underline{U}_a}{\underline{Z}_a} & \underline{P}_b &= \frac{\underline{U}_b}{\underline{Z}_b} & \underline{P}_c &= \frac{\underline{U}_c}{\underline{Z}_c} \end{aligned} \quad (7.3)$$

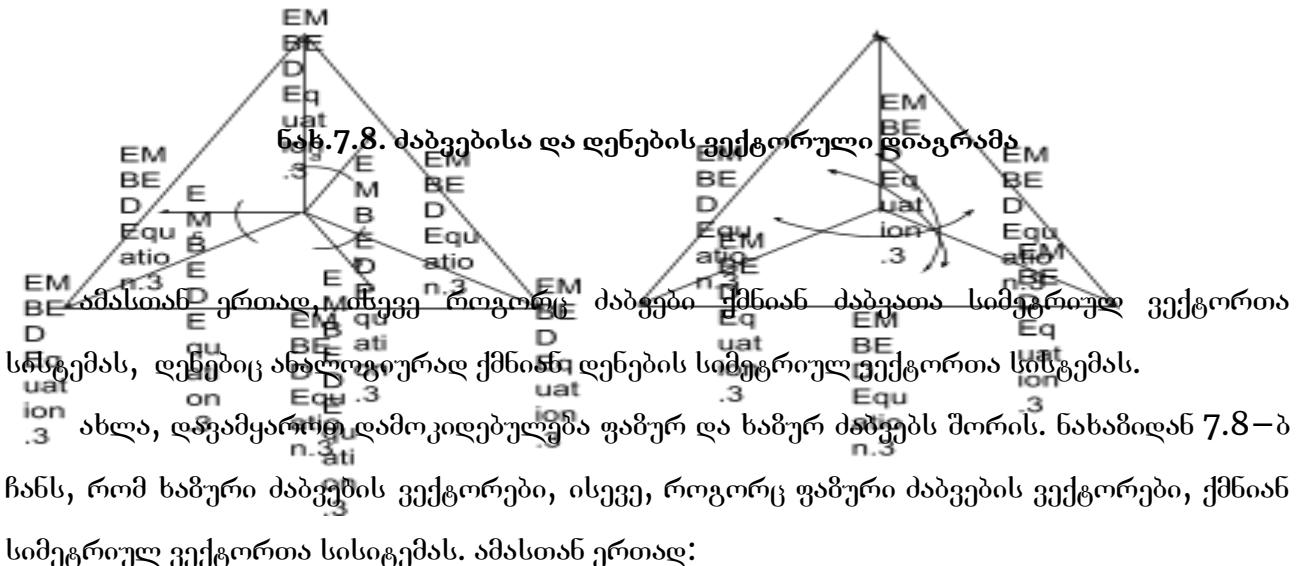
ნახ.7.7— დან მნელი არ არის იმის დადგენა, რომ ვარსკვლავური შეერთების დროს ხაზური და ფაზური დენები ერთმანეთის ტოლია

$$\underline{P}_A = \underline{P}_a \qquad \underline{P}_B = \underline{P}_b \qquad \underline{P}_C = \underline{P}_c$$

გოგადად

$$\underline{P}_x = \underline{P}_f \quad (7.4)$$

უნდა აღინიშნოს, რომ სიმეტრიული დატვირთვის რეჟიმში ეს დენები სიდიდით ერთმანეთის ტოლი არიან და ერთნაირი კუთხით ჩამორჩებიან შესაბამის ფაზურ ძაბვებს. მათ ვექტორულ დიაგრამებს ქვემოთ მოყვანილი სახე აქვთ (ნახ.7.8-ა)



$$U_{ab} = U_a - U_b \quad U_{bc} = U_b - U_c \quad U_{ca} = U_c - U_a \quad (7.5)$$

ნახ.7.8-ბ დან მნელი არ არის იმის დადგენაა რომ ხაზური ძაბვა U_{ab} ტოლია:

$$U_{ab} = 2U_a \cos 30^\circ$$

ანუ: $U_{ab} = \sqrt{3}U_a$

გოგადად კი:

$$U_x = \sqrt{3}U_f \quad (7.6)$$

ამრიგად, ვარსკვლავური შეერთების დროს

$$I_x = I_f, \quad U_x = \sqrt{3}U_f \quad (7.7)$$

გარდა გემოთაღნიმნულისა, იმის გამო, რომ ვარსკვლავური შეერთების დროს, სიმეტრიული დატვირთვის რეჟიმში, ფაზური და ხაზური დენების ვექტორები ქმნიან სიმეტრიულ ვექტორთა სისიტემას, რომლებიც ერთმანეთის მიმართ 120° -ით არიან დაძრულნი, მათი გეომეტრიული ჯამი ყოველთვის ნულის ტოლია. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ სიმეტრიული დატვირთვის რეჟიმში ნეიტრალურ სადენში დენი არ გადის, ანუ:

$$I_a + I_b + I_c = 0 \quad (7.8)$$

7.3. სამფაზა სისტემა სამკუთხედური შეერთებით

სიმეტრიული დატვირთვის რეჟიმში

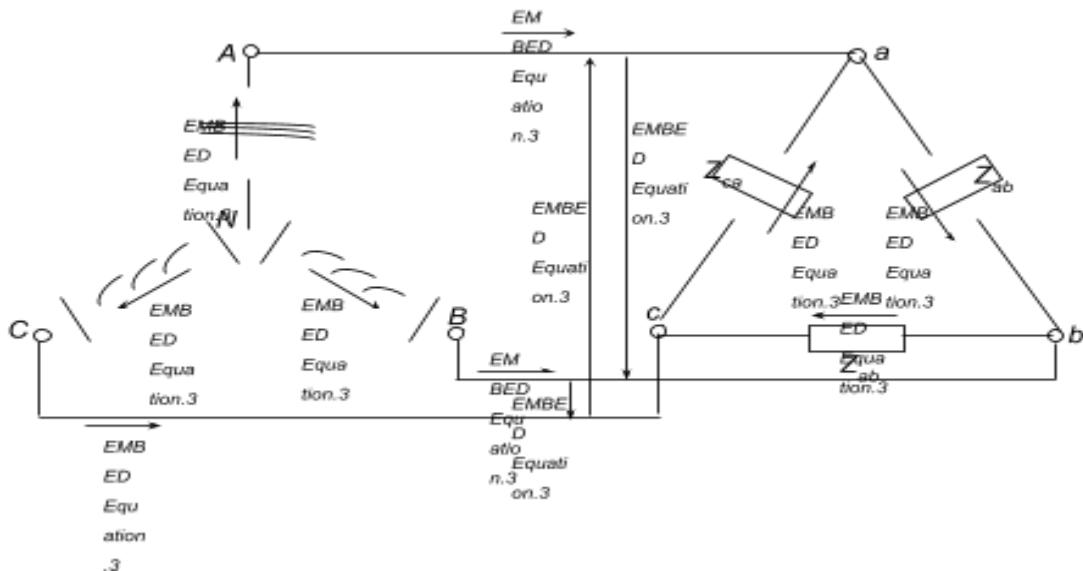
ახლა განვიხილოთ შემთხვევა როდესაც გენერატორის ფაზები კვლავ ვარსკვლავურადაა

შეერთებული, ხოლო დატვირთვის ფაზები – სამკუთხედურად. ჩავთვალოთ, რომ სისტემის დატვირთვა ამ შემთხვევაშიც სიმეტრიულია.

პირველი, რაც თვალში გვხვდება ანალიზის დროს არის ის, რომ სამკუთხედური შეერთების დროს ხაზები და ფაზები დენები ერთმანეთის ფოლი არ არის. ისინი ერთმანეთთან ამჯერად დაკავშირებული არიან გამოსახულებებით.

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca} \quad \underline{I}_B = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab} \quad \underline{I}_C = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc} \quad (7.9)$$

რაც შეეხება ხაზები და ფაზები ძაბვებს, ისინი ერთმანეთის ფოლია $U_x = U_f$.



ნახ. 7.9. სამფაზა სისტემის შეერთება როცა გენერატორი შეერთებულია ვარსკვლავურად დატვირთვა სამკუთხედურად

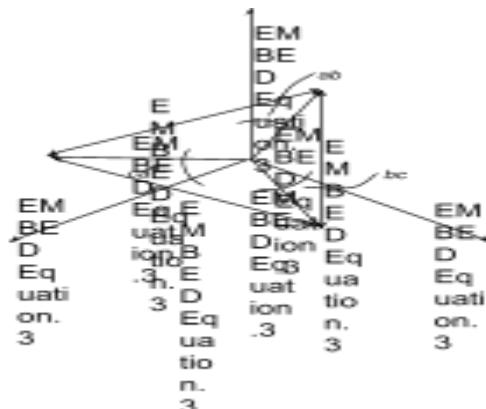
ფაზები დენები შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი გამოსახულებებიდან:

$$\underline{I}_{ab} = \frac{\underline{U}_{ab}}{\underline{Z}_{ab}}, \quad \underline{I}_{bc} = \frac{\underline{U}_{bc}}{\underline{Z}_{bc}}, \quad \underline{I}_{ca} = \frac{\underline{U}_{ca}}{\underline{Z}_{ca}} \quad (7.10)$$

ავაგოთ შესაბამისი ვექტორული დიაგრამა, საწყის ვექტორთა სისტემად ავიღოთ ფაზები ძაბვების ვექტორები დატვირთვაზე (ნახ. 7.10.). სიმეტრიული დატვირთვის რეჟიმში. შესაბამისი ფაზები დენები ერთნაირი კუთხეებით ჩამორჩებიან ძაბვებს, ე.ი.

$$\varphi_{ab} = \varphi_{bc} = \varphi_{ca}$$

ხაზური დენების ვექტორების ასაგებად ვისარგებლოთ ჩვენს მიერ განსაზღვრული მათი გამოსახულებით (7.9).



ნახ.7.10. ვექტორული დიაგრამა სიმეტრიული დაფვირთვისათვის

ამრიგად, დიაგრამიდან ჩანს, რომ ისევე როგორც ფაზური ძაბვის ვექტორები, ფაზური და საზური დენების ვექტორებიც შეადგენენ სიმეტრიულ ვექტორთა სისტემას, რომლებიც ერთმანეთის მიმრთ 120° -ით არიან დაძრული.

დიაგრამიდან ისიც ჩანს, რომ სამკუთხედური შეერთების დროს ხაზური დენი $\sqrt{3}$ -ჯერ მეტია ფაზურ დენზი. ამრიგად სამკუთხედური შეერთების დროს

$$U_x = U_f, \quad I_x = \sqrt{3}I_f \quad (7.11)$$

7.4. ვარსკვლავური შეერთება არასიმეტრიული დაფვირთვის რეჟიმში

წინა პარაგრაფებში ჩვენ განვიხილეთ სამფაზა სისტემები სიმეტრიულ დატვირთვის რეჟიმში, ანუ ისეთ რეჟიმში, სადაც დატვირთვის ფაზების კომპლექსური წინაღობები ერთმანეთის ფოლია. თუკი

$$\underline{\underline{Z}}_a \neq \underline{\underline{Z}}_b \neq \underline{\underline{Z}}_C$$

მაშინ, ასეთ შემთხვევაში გვაქვს არასიმეტრიული დატვირთვის რეჟიმი. განვიხილოთ სამფაბა, ოთხსადენიანი სისტემა ვარსკვლავური შეერთებით (ნახ.7.7). უპირველეს ყოვლისა უნდა აღინიშნოს, რომ ასეთ რეჟიმში დენების გეომეტრიული ჯამი უკვე აღარ არის ნულის ტოლი.

$$\bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c \neq 0. \quad (7.12)$$

ეს კი იმას ნიშნავს, რომ არასიმეტრიულ რეჟიმში ნეიტრალურ სადენში გადის დენი, რომელიც ტოლია ფაზებში გამავალი დენების გეომეტრიული ჯამისა.

ნეიტრალურ სადენებში დენის გავლა მიუთითებს, იმაზე რომ ნეიტრალურ წერტილებს შორის წარმოიშვა ძაბვა U_{Nn} . ამ ძაბვას ნეიტრალის მიმართ ძაბვას უწოდებენ. მისი საშუალებით ნეიტრალურ სადენში გამავალი დენი შეიძლება გამოვსახოთ ასე:

$$\bar{I}_{Nn} = \frac{\bar{U}_{Nn}}{Z_{Nn}}. \quad (7.13)$$

სადაც Z_{Nn} – ნეიტრალური სადენის წინადობაა.

ნეიტრალის მიმრთ ძაბვა შეიძლება გამოვთვალოთ ფორმულით.

$$\bar{U}_{Nn} = \frac{\underline{Y}_a \bar{U}_A + \underline{Y}_b \bar{U}_B + \underline{Y}_c \bar{U}_C}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c + \underline{Y}_{Nn}} \quad (7.14)$$

სადაც U_A, U_B, U_C გენერატორის ფაზერი ძაბვებია, ხოლო $\underline{Y}_a, \underline{Y}_b, \underline{Y}_c$ და \underline{Y}_{Nn} დატვირთვის ფაზების კომპლექსური წინადობების შებრუნებული სიდიდეები ანუ გამტარობები.

$$\underline{Y}_a = \frac{1}{Z_a} \quad \underline{Y}_b = \frac{1}{Z_b} \quad \underline{Y}_c = \frac{1}{Z_c} \quad (7.15)$$

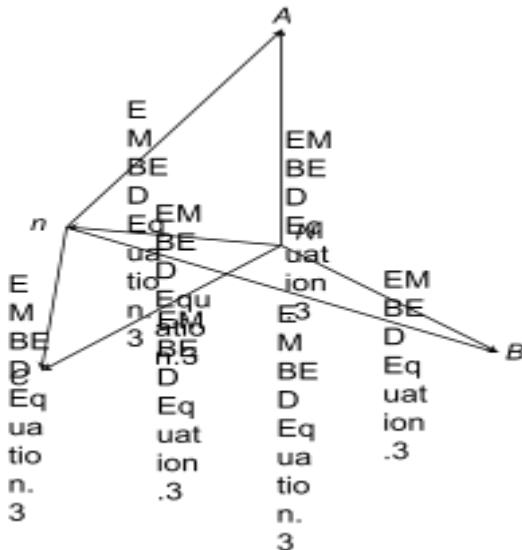
რაც შეეხება Y_{Nn} – ს იგი ნეიტრალური სადენის კომპლექსური გამტარობაა და

$$\underline{Y}_{Nn} = \frac{1}{Z_{Nn}} \quad (7.16)$$

აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ არასიმეტრიულ რეჟიმში ნეიტრალის მიერ ძაბვის წარმოქმნა უაღრესად არასასურველი მოვლენაა, ვინაიდან იგი იწვევს დატვირთვის ფაზერი ძაბვების დამახინჯებას. ამაში რომ დავრწმუნდეთ, საკმარისია ავაგოთ ძაბვების ვექტორული დიაგრამა არასიმეტრიულ რეჟიმში. საწყის ვექტორთა სისტემად მივიჩნიოთ ფაზური ძაბვების ვექტორები გენერატორზე. ეს სისტემა სიმეტრიულია.

დავიგანოთ ნეიტრალის მიმართ ვექტორი U_{Nn} დიაგრამაზე და განვსაზღვროთ ძაბვები დატვირთვაზე. ისინი შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი გამოსახულებიდან.

$$\bar{U}_a = \bar{U}_A - \bar{U}_{Nn}, \quad \bar{U}_b = \bar{U}_B - \bar{U}_{Nn}, \quad \bar{U}_c = \bar{U}_C - \bar{U}_{Nn} \quad (7.17)$$



ნახ.7.11. ძაბვების ვექტორული დიაგრამა არასიმეტრიულ რეჟიმში

ამრიგად, მოუხედავად იმისა, რომ გენერატორზე ფაზური ძაბვები სიმეტრიულია, დატვირთვაზე ფაზური ძაბვების სიმეტრია საგრძნობლად არის დარღვეული. ამასთან ერთად, ფაზური ძაბვების დამახინჯება დატვირთვაზე მით უფრო დიდია, რაც უფრო მეტია ნეიტრალის მიმართ ძაბვა.

ფორმულიდან ჩანს, რომ ნეიტრალის მიმართ ძაბვა მით მეტია, რაც დიდია ნეიტრალური სადენის წინაღობა და ის თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას მიაღწევს ნეიტრალური სადენის გაწყვეტის პირობებში.

თუკი წარმოვიდგენთ იდეალურ შემთხვევას, რომ ნეიტრალურ სადენის აქვს ნულოვანი წინაღობა, მაშინ ნეიტრალის მიმართ ძაბვა იქნება 0-ის ტოლი და ცხადია დატვირთვაზე ძაბვების არავითარ დამახინჯებას ადგილი არ ექნება. აქედან შეიძლება გავაკეთოთ უმნიშვნელოვანესი დასკვნა იმის თაობაზე, რომ ნეიტრალური სადენების დანიშნულებაა მასიმეტრიული გავლენა მოახდინოს დატვირთვის ძაბვებზე.

ვინაიდან ნეიტრალური სადენის როლი ასეთი მნიშვნელოვანია, და მისი გაწყვეტა გამოიწვევს ძაბვების მაქსიმალურ დამახინჯებას დატვირთვაზე, ყოვლად დაუშვებელია ნეიტრალურ სადენში დნობადი მცველის ან ამომრთველის ჩაყენება.

7.5. სამფაზა წრედების სიმძლავრე

სამფაზა გენერატორის მიერ გაცემული მყისა სიმძლავრე ტოლია ცალკეული ფაზების სიმძლავრეთა ჯამისა.

$$p = p_A + p_B + p_C \quad (7.18)$$

ამასთან ერთად, ერთი ფაზის სიმძლავრე ტოლია ენერგიის წარმოებულისა დროში ანუ შესაბამისი ძაბვისა და დენის მყისა მნიშვნელობების ნამრავლისა

$$p_f = \frac{dW}{dt} = ui \quad (7.19)$$

მაშინ

$$p = u_a i_{aA} + u_b i_{bB} + u_c i_{cC} \quad (7.20)$$

საშუალო, ანუ აქტიური სიმძლავრე პერიოდის განმავლობაში ტოლი იქნება:

$$P_{\text{სას.}} = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = U_a I_a \cos \varphi_{a_A} + U_b I_b \cos \varphi_{b_B} + U_c I_c \cos \varphi_{c_C} \quad (7.21)$$

ანალოგიურად შეიძლება ვიანგარიშოთ დატვირთვის აქტიური, რეაქტიული და სრული სიმძლავრეები. ამასთან ერთად, უნდა აღინიშნოს, რომ როგორიც არ უნდა იყოს დატვირთვის ფაზების შეერთების სქემა, იგი მედამ შეიძლება დაყვანილ იქნას შეერთების ვარსკვლავერ სქემაზე და მაშინ დატვირთვის ნებისმიერი ფაზებისათვის სამართლიანი იქნება

$$P_f = U_f I_f \cos \varphi_f \quad (7.22)$$

დატვირთვის სამფაზა სიმძლავრე ტოლი იქნება

$$P = P_a + P_b + P_c \quad (7.23)$$

ანალოგიურად რეაქტიული სიმძლავრე

$$Q_{\text{სრ}} = Q_A + Q_B + Q_C \quad (7.24)$$

თუკი დატვირთვა სიმეტრიულია, მაშინ სამივე ფაზის სიმძლავრე ერთმანეთის ტოლია და სრული სიმძლავრე

$$P = 3P_f = 3U_f I_f \cos \varphi_f \quad (7.25)$$

გადავწეროთ (7.25) ხაზური პარამეტრებისათვის: ხაზური ძაბვისა და ხაზური დენებისათვის. ამასთან ერთად, თუკი მხედველობაში მივიღებთ, რომ ვარსკვლავერი

შეერთების დროს $I_f = I_x$ და $U_x = \sqrt{3}U_f$, ხოლო სამკუთხედური შეერთების დროს კი პირიქით

$I_x = \sqrt{3}I_f$, $U_x = U_f$, მაშინ ნებისმიერი შემთხვევაში სამფაზა სიმძლავრისათვის სამართლიანია:

$$P = \sqrt{3}U_x I_x \cos \varphi.$$

ხშირ შემთხვევაში ინდექსებს არ წერენ და

$$P = \sqrt{3}UI \cos \varphi \quad (38), \quad (7.26)$$

ანალოგიურად, სამფაზა რეაქტიული სიმძლავრისათვის გვექნება:

$$Q = \sqrt{3}UI \sin \varphi \quad (39), \quad (7.27)$$

ხოლო სამფაზა სრული სიმძლავრისათვის კი

$$S = \sqrt{3}UI \quad (39) \quad (7.28)$$

თავი VIII

გარდამავალი პროცესები ელექტრულ წრედებში

8.1. გარდამავალი ცნებები. კომუტაციის კანონები

გარდამავალი ეწოდება პროცესს, რომელიც ელექტრულ წრედში მიმდინარეობს ერთი დამყარებულ რეჟიმიდან მეორეში გადასვლის დროს. წრედის რეჟიმის შეცვლა სხვადასხვა მიზეზებით შეიძლება იქნეს გამოწვეული: ჩართვა, გამორთვა, მოკლე შერთვა და ა.შ. შევთანხმდეთ და ყოველივე ასეთ ჩართვებს კომუტაცია ვუწოდოთ.

გარდამავალი პროცესების წარმოქმნა განპირობებულია იმით, რომ წრედის რეაქტიულ ელემენტებში კოჭსა და კონდესატორში დაგროვილი არის გარკვეული ელექტრომაგნიტური ენერგია, რომელიც მის ერთ-ერთ დამყარებულ მდგომარეობას შექსაბამება. წრედის მდგომარეობის შეცვლის შემდეგ ეს ენერგიები იწყებენ გადანაწილებას, რაც, ცხადია, არ შეიძლება მყისიერად მოხდეს, ამიგომ აღვილი აქვს გარდამავალ პროცესს. კირხპოფისა და ომის კანონებთან ერთად გარდამავალი პროცესის ანგარიში და ანალიზი ემყარება კომუტაციის კანონების გამოყენებას. კომუტაციის ორი კანონი არსებობს:

პირველი კანონი სამართლიანია ელექტრული წრედის ინდუქციურობის შემცველი შტოებისათვის და იგი შემდეგნაირად გამოითქმის: ინდუქციურობის შემცველ შტოში დენი არ შეიძლება მყისიერად შეიცვალოს და იგი გარდამავალი რეჟიმის პირველ მომენტში ინარჩუნებს

იგივე მნიშვნელობას, რაც მას გააჩნია მის დაწყებამდე.

მეორე კანონი სამართლიანია ტევადობის შემცველი შემოქმედისათვის და მის თანახმად, კონდესატორზე ძაბვა არ შეიძლება მყისიერად შეიცვალოს და იგი გარდამავალი რეჟიმების საწყის მომენტში ინარჩუნებს იგივე მნიშვნელობას, რაც გააჩნდა მის დაწყებამდე.

როგორც ბეჭოთ აღვნიშნეთ გარდამავალი რეჟიმის საანგარიშოდ გამოიყენებენ ომისა და კირხპოფის კანონებს. თუკი საჭიროა რომელიმე პარამეტრის განსაზღვრა გარდამავალ რეჟიმში (დენის ან ძაბვის), მაშინ შეადგენენ წრედის ელექტრომაგნიტური მდგომარეობის დიფერენციალურ განფოლებას და ამოხსნიან მას საძიებელი პარამეტრების მიმართ. პრაქტიკაში ხშირად მიმართავენ საძიებელი გარდამავალი პარამეტრის დაშლას მდგენელებად, რათა გაადვილონ ანგარიში. სინამდვილეში კი არავითარი მდგენელები არ არსებობს და ეს ხერხია მხოლოდ რეალური პარამეტრის მოსაძებნად. ამ მდგენელებს იძულებით და თავისუფალ მდგენელებს უწოდებენ. სწორედ მათი ჯამი გვაძლევს რეალური გარდამავალი პარამეტრის მნიშვნელობას. ასე მაგ: თუ საძიებელია გარდამავალი დენი i , მაშინ ის შეიძლება წარმოვადგინოთ იძულებითი და თავისუფალი დენების ჯამის სახით.

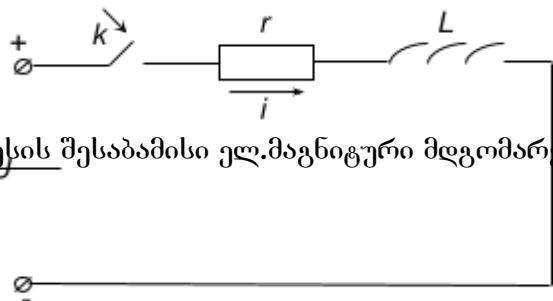
$$i = i_{iz} + i_{\tau_{av}} \quad (8.1)$$

იძულებითი დენები განისაზღვრება ჩვენთვის კარგად ცნობილი დამყარებული რეჟიმების ანგარიშის რომელიმე მეთოდის საშუალებით. რაც შეეხება თავისუფალ მდგენელს მისი განსაზღვრისათვის საჭიროა წრედის ელექტრომაგნიტური მდგომარეობის დიფერენციალური განფოლების მარჯვენა ნაწილი გაფენოლოთ 0-ს და ამოვხსნათ. სინამდვილეში, როგორც ბეჭოთ აღვნიშნეთ, არავითარი მდგენელები არ არსებობს და გარდამავალი პარამეტრის ამგვარი წარმოდგენა მხოლოდ ანგარიშის გამარტივების მიზნით შემოღებული მეთოდია. უნდა აღინიშნოს, რომ თავისუფალი მდგენელი გარდამავალი რეჟიმის დამთავრების შემდეგ მიიღევა და წრედში გვრჩება მხოლოდ იძულებითი მდგენელი.

8.2. r, L ელემენტების შემცველი წრედის ჩართვა მუდმივ ძაბვაზე

ვთქვათ მოცემულია მიმდევრობითი წრედი, რომელიც შედგება რეზისტული და ინდუქტიური ელემენტებისაგან და ვთქვათ, რომ k ჩამრთველის საშუალებით ვახდენთ ამ წრედის ჩართვას მუდმივ ძაბვაზე (ნახ.8.1)

ნახ.8.1. კოჭის ჩართვა მუდმივ ძაბვაზე



გარდამავალი პროცესის შესაბამისი ელ.მაგნიტური მდგომარეობის განტოლებას შემდეგი სახე აქვს

$$ir + L \frac{di}{dt} = U \quad (8.2)$$

საჭიროა განისაზღვროს დენი გარდამავალ რეჟიმში. როგორც ბოგად ნაწილში გვქონდა აღნიშნული, წარმოვიდგინოთ იგი ორი მდგენელის სახით $i = i_{iz} + i_{Tav}$. იძულებითი მდგენელი უნდა განისაზღვროს კომუტაციის შემდეგ დამყარებული რეჟიმიდან. მისთვის სამართლიანი იქნება განტოლება.

$$ri_{iz} + L \frac{di_{iz}}{dt} = U \quad (8.3)$$

რადგან კომუტაციის შემდეგ დამყარებული რეჟიმში წრედში დამყარდება მუდმივი დენი,

$$\text{მდგენელი } L \frac{di_T}{dt} = 0 \quad \text{და მაშინ}$$

$$i_{iz} = \frac{U}{r} \quad (8.4)$$

თავისუფალი მდგენელის განსაზღვრისათვის საჭიროა დიფერენციალური განტოლების მარჯვენა ნაწილი 0-ს გავეტოლოთ.

$$ri_{iz} + L \frac{di_{iz}}{dt} = 0 \quad (8.5)$$

და ამოვხსნათ იგი თავისუფალი მდგენელის მიმართ

$$i_T = A e^{kt} \quad (8.6)$$

აქ, A - ინტეგრების მუდმივაა, ხოლო k -მახასიათებელი განტოლების ფესვი. შევადგინოთ მახასიათებელი განტოლება და ვიპოვოთ ფესვი k

$$r + Lk = 0 , \quad (8.7)$$

საიდანაც

$$k = -\frac{r}{L} , \quad (8.8)$$

(8.8) გათვალისწინებით თავისუფალი მდგენელისათვის გვექნება:

$$i_T = -\frac{U}{r} e^{-\frac{r}{L}t} = -\frac{U}{r} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (8.9)$$

სიდიდეს $\tau = \frac{L}{r} = -\frac{1}{k}$, დროის მუდმივას უწოდებენ და იგი გარდამავალი პროცესის მიმდინარეობის სისწრაფის მახასიათებელი პარამეტრია.

განვსაზღვროთ ინტეგრების მუდმივა A , რისთვისაც გამოვიყენოთ კომუტაციის I კანონი, რომლის თანახმადაც დენი ინდუქტიურობის შემცველ შტოში არ შეიძლება მყისიერად შეიცვალოს და იგი გარდამავალი რეჟიმის საწყის მომენტი ინარჩუნებს იგივე მნიშვნელობას, რაც პქტონდა მის დაწყებამდე. ანუ, ჩვენს შემთხვევაში ნული.

მათემატიკურად ეს დებულება შემდეგნაირად ჩაიწერება:

$$i = i_{T(t=0)} + i_{iZ(t=0)} = 0$$

ან კიდევ (8.4)-ის გათვალისწინებით

$$i = i_{T(t=0)} = -i_{iZ(t=0)} = -\frac{U}{r} \quad (8.10)$$

მეორე მხრივ თავისუფალი მდგენელი, გარდამავალი პროცესის საწყის ($t = 0$) მომენტში, (8.6)-ის თანახმად გთლია

$$\begin{aligned} i &= i_{T(t=0)} = -i_{iZ(t=0)} = -\frac{U}{r} \\ i_{T(t=0)} &= A \end{aligned} \quad (8.11)$$

(8.10)-ისა და (8.11)-ის შედარებით მივიღებთ, რომ:

$$A = -\frac{U}{r}, \quad (8.12)$$

ამრიგად, საბოლოოდ, თავისუფალი მდგენელისათვის გვექნება:

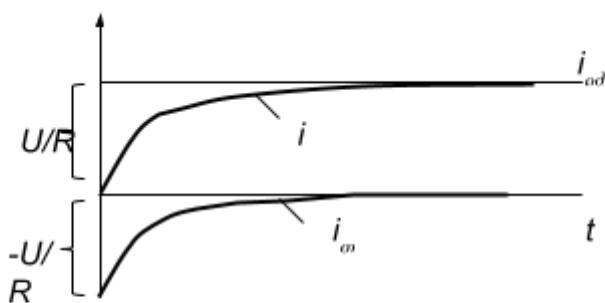
$$i_T = -\frac{U}{r} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

ხოლო საერთო გარდამავალი დენი კი გთლი იქნება:

$$i = -\frac{U}{r} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (8.13)$$

მიღებული გამოსახულებების საფუძველზე შევადგინოთ გარდამავალი პროცესის

ამსახველი გრაფიკი.



ნახ. 8.2. მუდმივ ძაბვაზე ჩართული კოჭის გრაფიკი

როგორც

ნახაზიდან

ჩანს, ჩართვის შემდეგ დენი წრედში მყისიერად კი არ მყარდება, არამედ იმდება მაჩვენებლიანი ფუნქციის კანონით. ნახაზიდან ისიც ჩანს, რომ თეორიულად გარდამავალი პროცესი შეიძლება უსასრულოდ დიდხანს გაგრძელდეს. პრაქტიკულად კი გარდამავალი პროცესი დამთავრებულად შეიძლება ჩაითვალოს მას შემდეგ, რაც გარდამავალი დენი მიაღწევს იმულებითი დენის 99%-ს, ეს კი საკმაოდ მოკლე დროში ხდება, კერძოდ კი $t = 4,6\tau$ შემდეგ.

8.3. r, L ელემენტების შემცველი წრედის ჩართვა ცვლად (სინუსოიდალურ)

ძაბვაზე

ახლა განვიხილოთ ნახ. 8.1-ზე მოყვანილი წრედის ჩართვა სინუსოიდალურ ძაბვაზე. წრედში შემავალი პარამეტრები იგივეა, ამიტომ გარდამავალი პროცესის ამსახველი განვოლება უცვლელი დარჩება:

$$ri + L \frac{di}{dt} = u$$

ვინაიდან წრედს კრთავთ სინუსოიდალურ ძაბვაზე, ამიტომ კომუტაციის შემდგომ დამყარებულ რეჟიმში წრედში გაივლის ცვლადი სინუსოიდალური დენი და ცხადია იმულებითი მდგენელი:

$$i_{IZ} = \frac{U_m}{z} \sin(\omega t + \psi - \varphi) \quad (8.14)$$

რაც შეეხება თავისუფალ მდგენელს, რომელიც წინა მაგალითის მსგავსად, მაჩვენებლიანი ფუნქციის კანონით იცვლება და გარდამავალი მპროცესის ბოლოს ნულამდე მიიღევა, ტოლია:

$$i_T = A e^{\frac{-t}{\tau}}$$

გამოვიყენოთ კომუფაციის I კანონი და განვსაზღვროთ ინტეგრების მუდმივა.

$$i_{T(t=0)} = -i_{iZ(t=0)} = -\frac{U}{z} \sin(\psi - \varphi) = A$$

ამგვარად თავისუფალი მდგენელისათვის გვექნება:

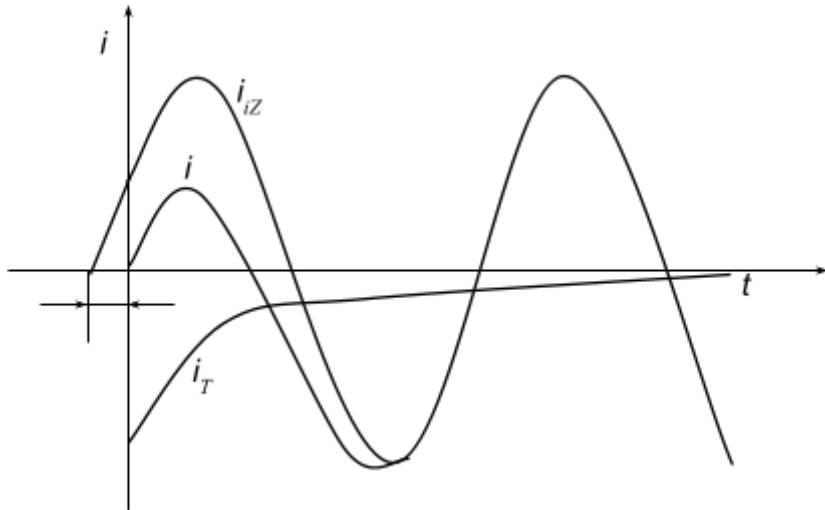
$$i_T = -\frac{U_m}{z} \sin(\psi - \varphi) e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (8.15)$$

საბოლოოდ გარდამავალი დენისათვის მივიღებთ:

$$i = i_{iZ} + i_T = \frac{U_m}{z} \sin(\omega t + \psi - \varphi) - \frac{U_m}{z} \sin(\psi - \varphi) e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (8.16)$$

ავაგოთ გარდამავალი პროცესის შესაბამისი დენების გრაფიკი.

ნახ.8.3. კოჭის ჩართვა სინუსოიდურ ძაბვაზე



როგორც ნახაზიდან, ასევე გამოსახულებიდან ჩანს, რომ აღნიშნულ წრედში გარდამავალი

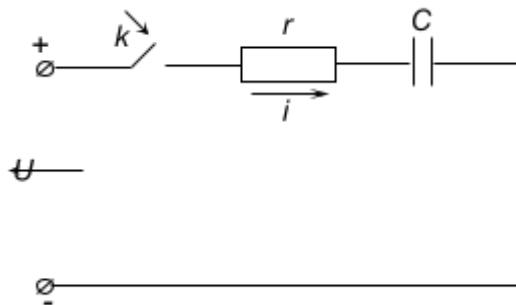
პროცესის წარმართვის ხარისხი ბევრადაა დამოკიდებული ჩართვის $\psi - \varphi$ კუთხები. თუ ჩართვა ხდება იძულებითი მდგენელის 0-ზე გადასვლის მომენტში, ანუ მაშინ, როცა $\psi - \varphi = 0$ მაშინ ფაქტობრივად გარდამავალი პროცესი არ არსებობს და წრედში მომენტალურად მყარდება იძულებითი მდგენელი. თუ ჩართვა ხდება იძულებითი მდგენელის მაქსიმუმზე გადასვლის დროს ანუ როცა, $\psi - \varphi = \frac{\pi}{2}$ მაშინ, გარდამავალი დენი თავის ამპლიტუდურ მნიშვნელობას მიაღწევს

ნახევარი პერიოდის შემდეგ.

8.4. r, C ელემენტების შემცველი წრედის ჩართვა მუდმივ ძაბვაზე (კონდესაფორის დამუხტვა)

განვიხილოთ კონტური, რომელიც შედგება მიმდევრობით შეერთებული რეზისტული და ტევადური ელემენტებისაგან (ნახ.8.4) და ვთქვათ ვახდენთ მის ჩართვას მუდმივ ძაბვაზე, ანუ ვმუხტავთ კონდესაფორს.

ნახ. 8.4. r, C ელემენტების შემცველი წრედის ჩართვა მუდმივ ძაბვაზე



ასეთი წრედის ელექტრომაგნიტური მდგომარეობის დიფერენციალურ განტოლებას შემდეგი სახე აქვს:

$$i_c r + u_c = U \quad (8.17)$$

ცნობილია, რომ []

$$i_c = c \frac{du_c}{dt} \quad (8.18)$$

მაშინ:

$$rc \cdot \frac{du_c}{dt} + u_c = U \quad (8.19)$$

როგორც წინა შემთხვევაში, აქაც გარდამავალი პარამეტრი, ამჯერად ძაბვა u_c , წარმოადგინოთ იძულებითი და თავისუფალი მდგენელების ჯამის სახით:

$$u_c = u_{cZ} + u_{cT}, \quad (8.20)$$

იმულებითი მდგენელი, როგორც უკვე ითქვა, განისაზღვრება კომუტაციის შემდგომ დამყარებული რეჟიმიდან. ჩვენს შემთხვევაში გარდამავალი რეჟიმის დამთავრების შემდეგ კონდენსატორზე დამყარდება წრედზე მოდებული ძაბვა, ანუ:

$$u_{ciZ} = U \quad (8.21)$$

რაც შეეხება თავისუფალ მდგენელს, იგი უნდა განისაზღვროს (8.17) დიფერენციალური განტოლებიდან, რომლის მარჯვენა ნაწილს ნულს გავუტოლებთ:

$$rc \frac{u_{cT}}{dt} + u_{cT} = 0 \quad (8.22)$$

(8.22)-ის გოგად ამონახსნს შემდეგი აქტეს სახე:

$$U_{cT} = Ae^{kt}, \quad (8.23)$$

k – მახასიათებელი განტოლების ფესვია და იგი განისაზღვრება მახასიათებელი განტოლებიდან:

$$krc = 1 \quad (8.24)$$

საიდანაც:

$$k = -\frac{1}{rc} \quad (8.25)$$

აღნიშნულის გათვალისწინებით გარდამავალი ძაბვის თავისუფალი მდგენელისათვის გვექნება:

$$u_{cT} = Ae^{\frac{-t}{rc}} = Ae^{\frac{t}{\tau}} \quad (8.26)$$

(8.26)-ში, $\tau = rc$ წარმოადგენს დროის მუდმივას, აღნიშნული წრედისათვის და იგი აქაც მიუთითებს გარდამავალი პროცესის მიმდინარეობის სისწრაფეზე.

განვსაზღვროთ ინტეგრების მუდმივა A , რისთვისაც ვსარგებლოთ კომუტაციის მეორე კანონით, რომლის თანახმად ძაბვა კონდენსატორზე არ შეიძლება შეიცვალოს მყისიერად და იგი კომუტაციის საწყის პროცესში ინარჩუნებს საწყის, კომუტაციამდელ მნიშვნელობას. ჩვენს კონკრეტულ შემთხვევაში ეს მნიშვნელობა ნულის ტოლია.

მაგრამატიკურად ეს ასე ჩაიწერება:

$$u_{cT(t=0)} + u_{ciZ(t=0)} = 0 \quad (8.27)$$

საიდანაც:

$$u_{cT(t=0)} = -u_{ciZ(t=0)} = -U \quad (8.28)$$

მეორე მხრივ (8.23) დან

$$u_{cT(t=0)} = A \quad (8.29)$$

აქედან: $A = -U$

აღნიშნულის გათვალისწინებით, გარდამავალი ძაბვის თავისუფალი მდგენელისათვის საბოლოოდ გვექნება:

$$u_{cT} = -Ue^{-\frac{t}{\tau}} \quad (8.30)$$

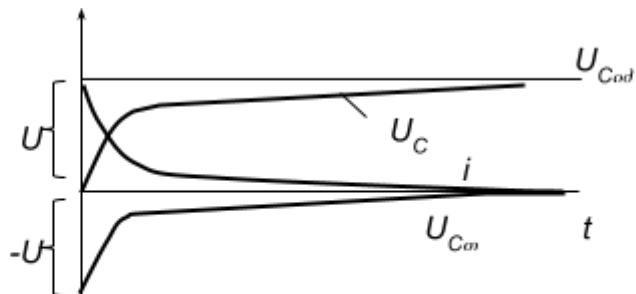
ხოლო მთლიანად გარდამავალი ძაბვისთვის კი:

$$u_c = U - Ue^{-\frac{t}{rc}} = U \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (8.31)$$

რაც შეეხება დამუხტვის დენს, მისი გამოსახულება შეიძლება მივიღოთ კონდენსატორის დენის (8.31) გამოსახულებაში გარდამავალი ძაბვის მნიშვნელობის (8.18) –ის შეტანით და იგი ტოლი იქნება:

$$i_c = c \frac{du_c}{dt} = \frac{U}{r} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (8.32)$$

როგორც გამოსახულებიდან ასევე ნახაგიდან ჩანს, რომ ძაბვა კონდენსატორის მომჰქერებები იზრდება მაჩვენებლიანი ფუნქციის კანონით, ხოლო დამუხტვის დენი ასეთივე კანონით მიიღევა 0-მდე.

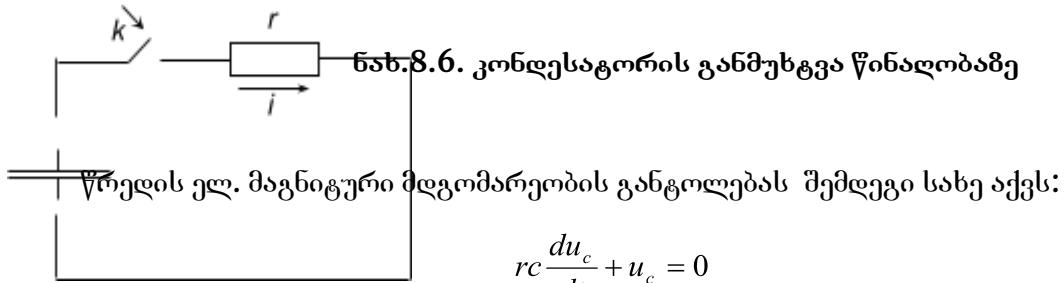


ნახ.8.5. ტევადობითი წრედის ჩართვა მუდმივ ძაბვაზე

8.5. კონდენსატორის განმუხტვა აქტიურ წინაღობაზე.

ეთქვათ, მოცემულია დამუხტვი კონდენსატორი, რომელზეც მოდებულია u_c ძაბვა და ვახდენთ მის განმუხტვას აქტიურ წინაღობაზე. საჭიროა დავადგინოთ ძაბვისა და დენის ცვლილება წრედში გარდამავალ რეჟიმში (ნახ.8.6)

k ჩამრაბის ჩართვის შემდეგ წრედში გაივლის ე.წ. განმუხტვის დენი, რომელიც იარსებებს მანამ, ვიღრე კონდენსატორში ელექტრული ველის სახით დაგროვილი ენერგია მთლიანად არ გარდაიქმნება თბურ ენერგიად აქციურ წინაღობაში.



გარდამავალი რეჟიმის დამთავრების შემდეგ ძაბვა კონდენსატორზე დაეცემა 0-მდე,

ამიტომ $U_{ciz} = 0$ და მაშასადამე გარდამავალი ძაბვა კონდენსატორის მომჭერებზე მთელი გარდამავალი პროცესის განმავლობაში ფოლია მხოლოდ თავისუფალი მდგენელის.

$$u_c = u_{cTav} \quad (8.34)$$

ვიპოვოთ ეს თავისუფალი მდგენელი, რისთვისაც საჭიროა ამოვხსნათ (8.33) დიფერენციალური განტოლება.

აღნიშნული განტოლების ამონახსნი, ჩვენთვის, წინა პარგრაფიდან, უკვე ცნობილია:

$$u_{cT} = Ae^{-\frac{t}{\tau}}$$

ინტეგრების მუდმივა A განვსაზღვროთ კომუჩაციის II კანონის გამოყენებით:

$$u_{cT(t=0)} = U$$

მეორეს მხრივ

$$u_{cT(t=0)} = A \quad \text{გ.ი.}$$

აღნიშნულის გათვალისწინებით:

$$u_{cT} = Ue^{-\frac{t}{\tau}}$$

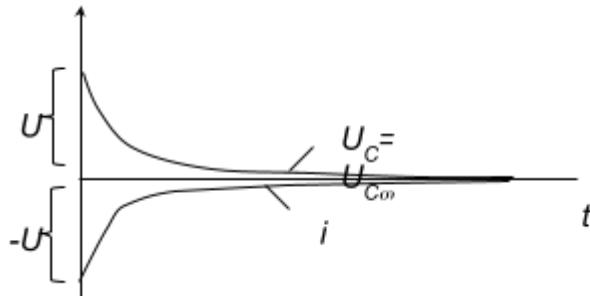
ვინაიდან მოცემულ შემთხვევაში იმულებითი მდგენელი არ არსებობს, ამიტომ გარდამავალი ძაბვა ფოლი იქნება ძაბვის ტავისუფალი მდგენელის. ანუ:

$$u_c = u_{cT} = U e^{\frac{t}{rc}} = U e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (8.35)$$

ანალოგიურად, განმუხტვის დენისათვის გვექნება

$$i = C \frac{du_c}{dt} = -\frac{U}{r} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (8.36)$$

(8.35)-სა და (8.36)-ის საფუძველზე შეიძლება ავაგოთ ძაბვისა და დენის მრუდები კონდენსატორის განმუხტვის რეჟიმისათვის აქტიურ წინაღობაზე.



ნახ.8.7 კონდენსატორის განმუხტვა აქტიურ წინაღობაზე

როგორც გამოსახულებიდან, ასევე ნახაზიდან ჩანს, რომ კონდენსატორის განმუხტვის პროცესში ძაბვა და დენი მიიღევიან მაჩვენებლიანი ანუ ექსპონენციალური ფუნქციის კანონით. ამასთან ერთად, რაც უფრო დიდია ტევადობა და აქტიური წინაღობა, პროცესი მით უფრო ნელა მიმდინარეობს.

თავი IX

ელექტრული გაზომვების მეთოდები

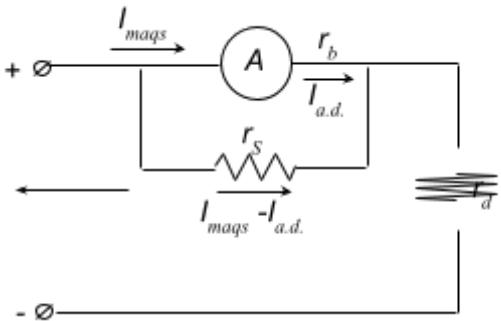
9.1. დენების გაზომვა

პრაქტიკაში ელექტრული სიდიდეების გაზომვის სხვადასხვა მეთოდები გამოიყენება. ელექტროსამომ ტექნიკაში უმეტესად გავრცელებულია გაზომვის **უშუალო შეფასების მეთოდი**. ამ მეთოდის გამოყენებისას გასამომი სიდიდის რიცხობრივ მნიშვნელობას განსაზღვრავენ უშუალოდ ხელსაწყოს ჩვენებით, რომლის სკალაც დაგრადუირებულია გასამომი სიდიდის ერთეულებში.

გარდა აღნიშნული მეთოდისა, გამოიყენება აგრეთვე **გაზომვისა და შედარების მეთოდი**. ელექტროსამომ ტექნიკაში განასხვავებენ შედარების მეთოდის ორ სახესხვაობას: **ბოგირულსა და საკომპენსაციოს**.

რამე წრედში გამავალი დენის სიდიდის გასაზომად ამ წრედში მიმღევრობით ჩართავენ ამპერმეტრს (ნახ.9.1).

ნახ.9.1. დენის გაზომვის სქემა ამპერმეტრით



მუდმივი დენის დანადგარებში, ამ მიზნით უმთავრესად გამოიყენება მაგნიტოელექტრული სისტემის და იშვიათად ელექტრომაგნიტური სისტემის ხელსაწყოები, ხოლო ცვლადი დენის დანადგარებში კი უპირატესად სარგებლობენ ელექტრომაგნიტური სისტემის ამპერმეტრებით.

ამპერმეტრის მიერ მოხმარებული ენერგიის შესამცირებლად მის გრაფნილს მცირე r_s წინაღობა უნდა ჰქონდეს ($0,1-0,2$ ომის რიგის). ამ მოსაზრებით, ამპერმეტრის გრაფნილი მზადდება შედარებით მსხვილი მავთულისაგან, მცირე ხვიათა რიცხვით.

ამპერმეტრის გაზომვის ზღვარის გასაზრდელად ვთქვათ, k -ჯერ, მუდმივი დენის წრედებში გამოიყენებენ **შუნგებს** – წინაღობებს, რომლებსაც ამპერმეტრის გრაფნილთან პარალელურად მიაერთებენ (ნახ.9.1).

r_s შუნგის წინაღობა გამოითვლება თანაფარდობიდან:

$$\frac{r_s}{r_a} = \frac{I_{a.nom}}{I_{mag} - I_{a.nom}}, \quad (9.1)$$

სადაც I_{mag} – არის დენის მაქსიმალური მნიშვნელობა, ზღვარი რომელსაც ამპერმეტრი შენტის გამოყენებით გაზომავს.

$I_{a.nom}$ – მოცემული ხელსაწყოს ზღვრული (ნომინალური) დენის მნიშვნელობა უშუნფოდ.

აქედან

$$r_s = r_a \frac{I_{a.nom}}{I_{mag} - I_{a.nom}}. \quad (9.2)$$

საკონტროლო წრედში I დენის სიდიდე შეიძლება განისაზღვროს (9.1) თანაფარდობიდან:

$$\frac{I}{I_a} = \frac{I_{\text{mag.}}}{I_{a.\text{nom}}} = \frac{r_a + r_s}{r_s} = k$$

ანუ:

$$I = kI_a \quad (9.3)$$

სადაც I_a ამპერმეტრის ჩვენებაა.

ხშირად ამპერმეტრის სკალას აგრძელებენ ჩართული შუნგის გათვალისწინებით, მაშინ I გასაზომი დენის სიდიდე აითვლება უშეალოდ ხეოლსაწყოს სკალაზე.

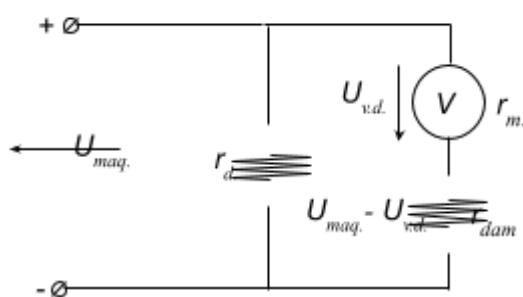
ცვლადი დენის წრედებში ამპერმეტრის გაზომვის ბლვრის გასაზრდელად გამოიყენებენ დენის ცრანსფორმატორებს.

9.2. ძაბვის გაზომვა

ელექტრული წრედის რომელიმე ელემენტზე ძაბვის სიდიდის გასაზომად, ამ ელემენტის მომჭერებთან მიაერთებენ ვოლტმეტრს (ნახ. 9.2). ანუ, ვოლტმეტრი წრედში ჩაირთვება პარალელურად.

ვოლტმეტრის მიერ მოხმარებული სიმძლავრის შესამცირებლად მისი გრაგნილის წინაღობა საკმაოდ დიდი უნდა იყოს. ამ მიზნით, ვოლტმეტრის გრაგნილს ამზადებენ წვრილი მავთულისაგან დიდი ხვეულთა რიცხვით.

ვოლტმეტრის გაზომვის ბლვარის k -ჯერ გასაზრდელად 500 ვ-მდე ნომინალური ძაბვის ქსელებში, გამოიყენებენ დამატებით წინაღობებს, რომლებიც ვოლტმეტრის გრაგნილთან მიმდევრობით ჩაირთვება (ნახ. 9.2).



ნახ.9.2 ვოლფმეტრის წრედში ჩართვის სქემა

დამატებითი წინაღობა განისაზღვრება თანაფარდობიდან:

$$\frac{r_{\text{dam}} + r_v}{r_v} = \frac{U_{\text{maq}}}{U_{v.\text{nom}}}, \quad (9.4)$$

სადაც U_{maq} გასაზომი ძაბვის ის მასქიმალური მნიშვნელობაა, რომელსაც ვოლფმეტრი გამომავს დამატებითი წინაღობის გამოყენებით

$U_{v.\text{nom}}$ – მოცემული ხელსაწყოს ძაბვის ბლვრული (ნომინალური) მნიშვნელობა დამატებითი წინაღობის გარეშე.

აქედან:

$$r_{\text{fv}} = r_d \frac{U_{\text{maq}} - U_{\text{d&jiv}}}{U_{\text{d&jiv}}}. \quad (9.5)$$

(9.4) თანაფარდობიდან შეიძლება განისაზღვროს კოეფიციენტი k და გასაზომი U ძაბვის სიდიდე:

$$\frac{U}{U_v} = \frac{U_{\text{maq}}}{U_{v.\text{nom}}} = \frac{r_{\text{dam}} + r_v}{r_v} = k.$$

საიდანაც:

$$U = kU_v \quad (9.6)$$

აქ U – ვოლფმეტრის ჩვენებაა.

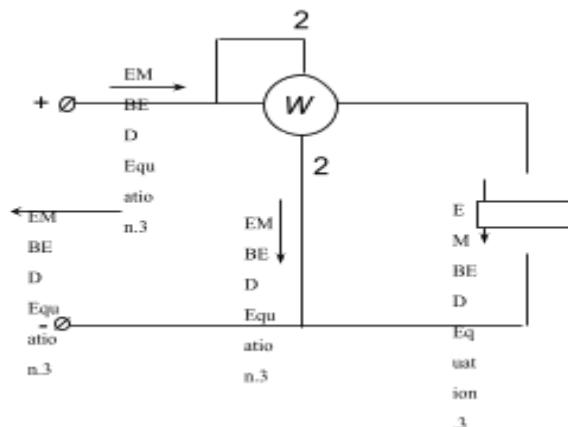
რიგ შემთხვევებში ვოლფმეტრის სკალას აგრადუირებენ ჩართული დამატებითი წინაღობის გათვალისწინებით.

ცვლადი დენის მაღალი ძაბვების დანადგარებში, ვოლფმეტრის ბლვრის გასამრდელად გამოიყენებენ ძაბვის ტრანსფორმატორებს.

9.3. აქტიური სიმძლავრის გამომვა ცალფაზა და სამფაზა ცვლადი დენის წრედებში

სიმძლავრის გასამომად გამოიყენება ელექტროდინამიკური სისტემის ხელსაწყო, რომელსაც ვაგმეტრი ეწოდება. ვაგმეტრს ორი გრაგნილი გააჩნია; დენური და ძაბვის და მათი

წრედში ჩართვის სქემა მოყვანილია ნახაზ 9.3-ზე



ნახ.9.3. ვატმეტრის ჩართვის სქემა

ხელსაწყოს 1-1 უძრავი კოჭა წარმოადგენს ვატმეტრის **დენურ გრაგნილს** და იგი წრედში ჩაირთვება მიმდევრობით, ხოლო 2-2 მოძრავი კოჭა -ვატმეტრის **ძაბვის გრაგნილია** და იგი წრედში პარალელურად ჩაირთვება.

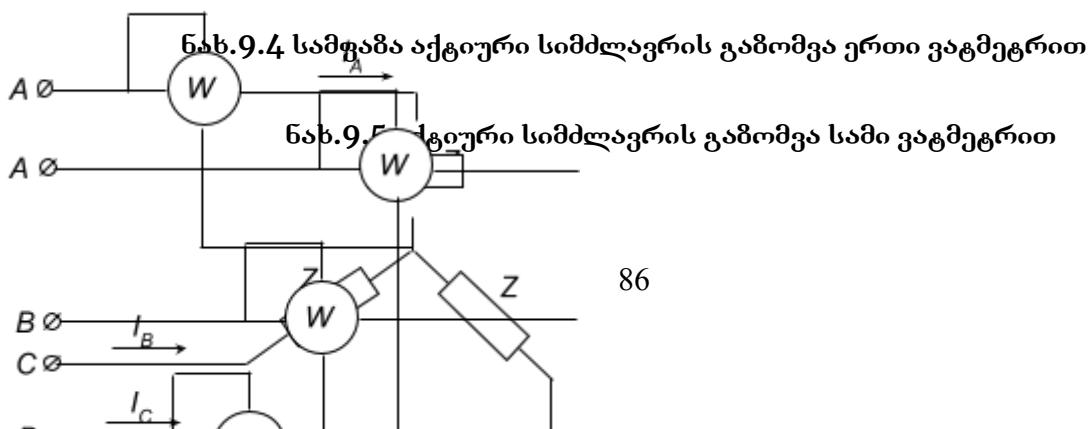
თუ მხედველობაში მივიღებვ იმას, რომ ძაბვის გრაგნილში გამავალი P_2 დენი პროპორციულია საკონტროლო წრედის U ძაბვისა და ფაზით ემთხვევა მას, ვინაიდან მისი წინადობა პრაქტიკულად აქტიური ხასიათისაა, ხოლო P_1 დენი I დატვირთვის დენის ფოლია, მაშინ ხელსაწყოს ისარჩე მოდებული მაბრუნი მომენტისათვის მივიღებთ, რომ

$$M_{\text{და}} = cUI\cos\phi = cP, \quad (9.7)$$

სადაც c პროპორციულობის კოეფიციენტია.

ამრიგად, გამოდის, რომ ხელსაწყოს ღერმჩე შექმნილი $M_{\text{და}}$ უკუქმედი მომენტი ისრის მობრუნების კუთხის პროპორციულია და შესაბამისად ისრის გადახრა P აქტიური სიმძლავრის პროპორციული.

სამფაზა სისტემის სიმძლავრის გასაბომად გამოიყენებენ ვატმეტრების ჩართვის რამოდენიმე სქემას (ნახ.9.4, 9.5)



ასე მაგალითად, სიმეტრიული დაფვირთვის დროს P აქტიური სიმძლავრე შეიძლება გავტომოთ ნახაზ 9.4-ზე წარმოდგენილი სქემის მიხედვით, სადაც ჩართულია მხოლოდ ერთი ვატმეტრი.

სისტემის საერთო სიმძლავრე

$$P=3W, \quad (9.8)$$

სადაც W ვატმეტრის ჩვენებაა.

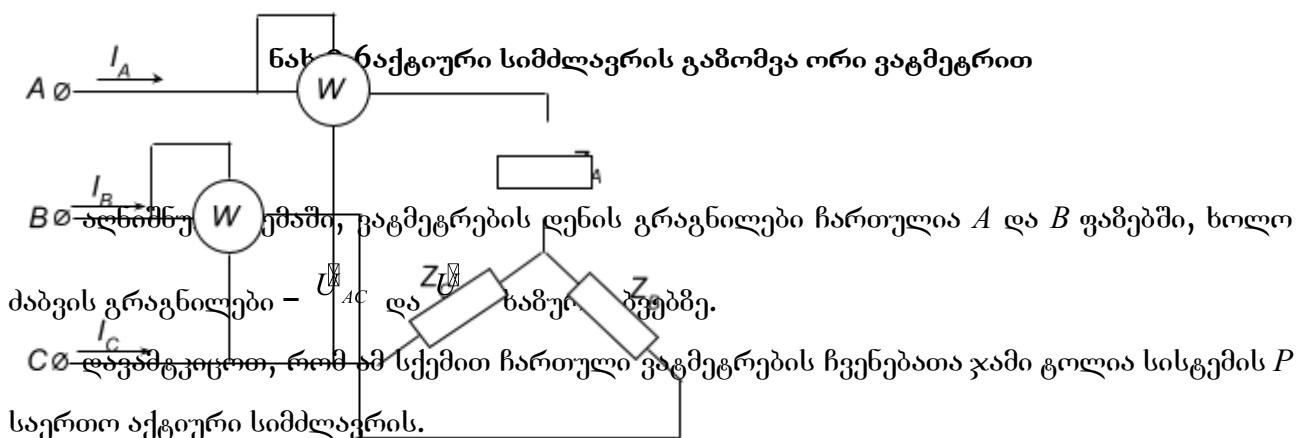
არასიმეტრიული დაფვირთვის რეჟიმში, სამფაზა წრედის სიმძლავრე შეიძლება გავტომოთ სამი ვატმეტრის გამოყენებით (ნახ.9.5).

სისტემის საერთო სიმძლავრე ამ შემთხვევაში ფოლი იქნება:

$$W=W_1+W_2+W_3 \quad (9.9)$$

აქ, W_1, W_2, W_3 -ვატმეტრების ჩვენებაა

სამფაზა დღნის სამსადენიან სისტემებში, სიმეტრიული და არასიმეტრიული დაფვირთვის რეჟიმებში ფართოდ გამოიყენება სიმძლავრის ორი ვატმეტრით გამომვის სქემა (ნახ.9.6).



როგორც ჩვენთვის უკვე ცნობილია, სამფაზა წრედის სრული სიმძლავრის მყისი მნიშვნელობა ფოლია ცალკეული ფაზების მყისა მნიშვნელობების ჯამის:

$$P = u_A i_A + u_B i_B + u_C i_C \quad (9.10)$$

სამსადენიან სისტემაში ყოველთვის სამართლიანია ფოლობა:

$$i_A + i_B + i_C = 0$$

ამიტომ

$$i_C = -(i_A + i_B)$$

თუკი i_C -ს მნიშვნელობას შევიტანთ სიმძლავრის (9.10) გამოსახულებაში, მივიღებთ:

$$P = u_A i_A + u_B i_B - (i_A + i_B) u_C = i_A (u_A - u_C) + i_B (u_B - u_C) = i_A u_{AC} + i_B u_{BC} \quad (9.11)$$

თუ გადავალო, სიმძლავრის საშუალო, ხოლო ძაბვისა და დენის მოქმედ მნიშვნელობებზე, (9.11) გამოსახულება მიიღებს სახეს

$$P = I_A U_{AC} \cos(I_A U_{AC}) + I_B U_{BC} \cos(I_B U_{BC}) = W_1 + W_2 \quad (9.12)$$

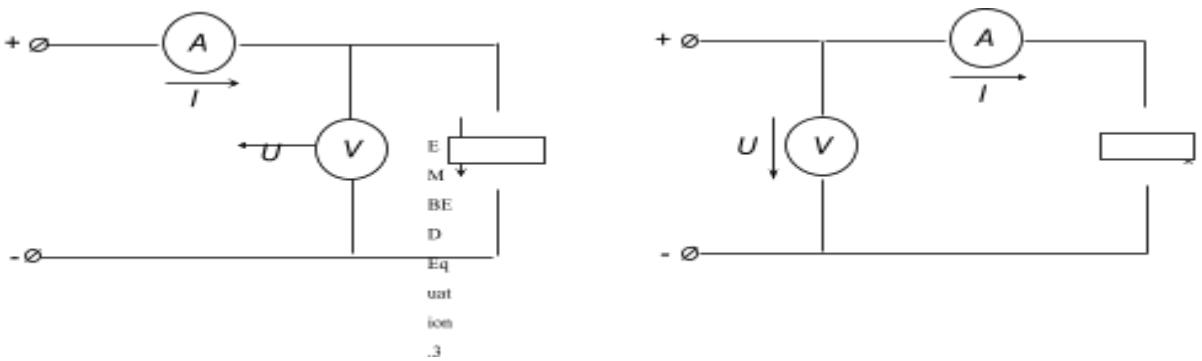
ამრიგად, როგორც (9.12)-დან ჩანს, ორი ვატმეტრის ჩვენებათა ჯამი, მართლაც ტოლია სამფაზა სისტემის სრული აქტიური სიმძლავრის.

ორი ვატმეტრის სქემა გამოსადეგია მომხმარებელთა ფაზების ნებისმიერი შეერთების დროს, სამფაზა სამსადენიან სისტემებში, სადაც ყოველთვის დაცულია პირობა:

$$i_A + i_B + i_C = 0$$

9.4. წინაღობების გაზომვა.

ყველაზე მარტივად ელექტრული წრედის წინაღობის გაზომვა შესაძლებელია ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის საშუალებით. ამასთან ერთად, გამოიყენებენ წრედში ხელსაწყოების ჩართვის ორი სქემას, რომლებიც ნაჩვენებია ნახ.9.7-ა და ნახ.9.7-ბ ნახაგბე.



ნახ.9.7. წინაღობების გაზომვა ამპერმეტრითა და ვოლტმეტრით:

ა) მცირე წინაღობებისათვის; ბ) საშუალო და დიდი

ამ სქემების ანალიზი, კირპხოფის კანონების საფუძველზე, გვიჩვენებს, რომ საშუალო დად დიდი სიდიდის წინაღობების გაზომვის დროს, უფრო ბუსტი შედეგების მისაღებად, უმჯობესია გამოიყენოთ (ბ) სქემა, ხოლო მცირე სიდიდის წინაღობების გაზომვის შემთხვევაში – (ა) სქემა.

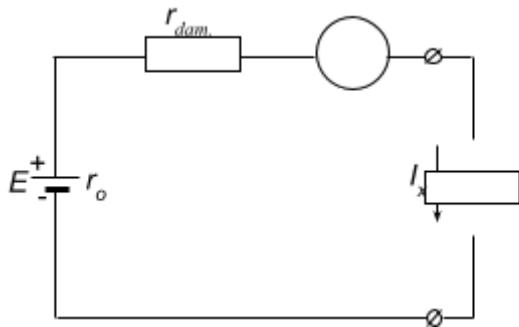
საძიებელი r_x წინაღობა შეიძლება განისაზღვრეოს ომის ცნობილი კანონის საფუძველზე:

$$r_x = \frac{U}{I}, \text{ თბი } \quad (9.13)$$

სადაც U და I ვოლტმეტრისა და ამპერმეტრის ჩვენებებია.

წრედის წინაღობის უშუალოდ და სწრაფად გაზომვის მიზნით გამოიყენება ომმეტრი, რომელიც მაგნიტოელექტრული სისტემის მიღიამპერმეტრს წარმოადგენს.

მის გრგნილთან, რომლის წინაღობაცაა r_a , მიმდევრობით მიაერთებენ დამატებით წინაღობას r_{dam} და კვების წყაროს (ბატარეა), რომლის ემძ არის E , ხოლო შიგა წინაღობა კი r_0 (ნახ.9.8).



ნახ.9.8. წინაღობების გაზომვა ომმეტრით

როცა E — ემძ უცვლელია, ხელსაწყოს ჩვენება დამოკიდებულია მხოლოდ გასამომი r_x წინაღობის სიდიდეზე. თმის კანონის საფუძველზე სრული წრედისათვის, r_x გასამომი წინაღობის ყოველ მნიშვნელობას წრედში I_x დენის სრულიად გარკვეული მნიშვნელობა შეესაბამება.

$$I_x = \frac{E}{(r_a + r_{dam} + r_0) + r_x}. \quad (9.14)$$

ეს საშუალებას გვაძლევს ხელსაწყოს სკალა დავაგრადუიროთ უშუალოდ ომობით.

აღნიშნული ხელსაწყოს ნაკლად უნდა ჩაითვალოს ის, რომ ექსპლუატაციის პროცესი, ელექტრომამოძრავებული ძალა მცირდება (ბატრეა ჯდება), ამიტომ (9.14)-ის საუძველებელი განსაზღვრული საძიებელი წინაღობა უკვე ცალსახდ აღარ იქნება დამოკიდებული წრედში გამავალ დენზე და შესაბამისად გაზომვის ცდომილება იზრდება.

აღნიშნული ნაკლის აღმოფხვრის მიზნით, პრაქტიკაში ხშირად იყენებენ ომმეტრს, სადაც ხელსაწყოს ისრის გადახრა დამოკიდებული არ არის კვების წყაროს ელექტრო მამოძრავებელი

ძალის სიღიღებე.