

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

გ. ბერუაშვილი

კვების საწარმოთა ტექნოლოგიური
პროცესების ავტომატიზაცია
ავტომატური რეგულირება

I ნაწილი



დამტკიცებულია სტუ-ს
სარედაქციო-საგამომცემლო
საბჭოს მიერ

თბილისი
2007

განხილულია კვების საწარმოთა ტექნოლოგიური პროცესების ავტომატიზაციისთვის საჭირო რეგულატორები, სარეგულირო ობიექტის თვისებები და ავტომატური მოწყობილობების ელემენტები.

განკუთვნილია სახელმძღვანელოდ სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის და ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტების სტუდენტებისა და მაგისტრანტებისთვის (სპეციალობები 170600; 270200; 270400).

რეცენზენტი ტმკ, ასოც. პროფ. ი. შურღია

© საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2007

ISBN 978-99940-955-5-1 (ორივე ნაწილი)

ISBN 978-99940-955-6-8 (პირველი ნაწილი)

შესავალი

მეცნიერების და ტექნიკის დარგს, რომელიც მოიცავს საწარმოო პროცესების ავტომატური მართვის თეორიასა და პრინციპებს ეწოდება ავტომატიკა*.

კონტროლის, რეგულირებისა და მართვისთვის ავტომატიკის ტექნიკურ საშუალებათა გამოყენება ხდება საწარმოო პროცესის ავტომატიზაციით.

ავტომატიკა ჩაისახა უძველეს დროში. არისტოტელე წერდა: „არსებობს მხოლოდ ერთი პირობა, რომლის დროსაც ჩვენ შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ, რომ დამქირავებელს არ დასჭირდება ხელქვეითნი, ხოლო ბატონებს არ დასჭირდება მონები. ეს პირობაა: თითოეული მანქანა, მიღებული ბრძანებით, შეასრულებს თავის სამუშაოს“. პერონ ალექსანდრიელი (I-II ს. ჩვ. წ.ა.) თავის წიგნში, „ავტომატების თეატრი“, მოგვითხრობს სხვადასხვა სახის ავტომატურ მოწყობილობებზე, რომლებიც მაშინ გამოიყენებოდა.

ავტომატიკა სწრაფად განვითარდა XVIII-XIX სს-ში, როცა დაიწყო ჩარხების, მექანიზმების და კავშირგაბმულობის ავტომატიზაცია.

პირველი ავტომატური რეგულატორები შექმნეს პოლზუნოვმა (რუსეთი, 1765 წ.), ჯ. უატმა (ინგლისი, 1784 წ.), ჟ. ჟაკარმა (საფრანგეთი, 1808 წ.).

XIX-XX სს-ში ელექტროტექნიკის სწრაფმა განვითარებამ ხელი შეუწყო უფრო სრულყოფილი კომპაქტური ავტომატური ხელსაწყოების გამოგონებას. ელექტრონიკის წარმოშობამ კი პრინციპულად ახალი ტიპის ავტომატების შექმნა უზრუნველყო.

დღეისათვის ავტომატიზაცია წარმოადგენს თანამედროვე მეცნიერებისა და ტექნიკის ერთ-ერთ ყველაზე უფრო პროგრესულ მიმართულებას.

* automatos (ბერძნ.) – თვითმოქმედი

1. ძირითადი ცნებები და განმარტებები

ავტომატიზაცია ტექნიკურ ღონისძიებათა კომპლექსია, რომელიც ამა თუ იმ ტექნოლოგიურ პროცესში, ნაწილობრივ ან მთლიანად გამოირიცხავს მომსახურე პერსონალის მონაწილეობას.

ასხვავებენ ავტომატიზაციის ორ ხარისხს:

ნაწილობრივს და მთლიანს.

ნაწილობრივი ავტომატიზაციის დროს ავტომატიკის ხელსაწყოები მართავს ზოგიერთ ტექნოლოგიურ ოპერაციას; ამიტომ მომსახურე პერსონალის მხრივ საჭიროა უწყვეტი დაკვირვება და მომსახურება.

მთლიანი ავტომატიზაციის დროს ავტომატური მოწყობილობები მართავს ყველა ძირითად პროცესს, რის გამოც შეგვიძლია უარი ვთქვათ მათ უწყვეტ მომსახურებაზე. მომსახურება შეიძლება იყოს პერიოდული (ერთხელ დღეში, კვირაში და ა.შ.) ან რამდენიმე დღეში ერთხელ საჭიროებისამებრ.

ადამიანის მიზანდასახულ მოქმედებას, რომლის შედეგად ისინი აღწევენ შრომის საგნის წინასწარ დასახული სახით გარდაქმნას შრომის სხვადასხვა საშუალებების გამოყენების საფუძველზე ეწოდება საწარმოო პროცესი, რომელიც შედგება ძირითადი და დამხმარე ტექნოლოგიური პროცესებისგან.

საწარმოო პროცესის იმ გეგმაზომიერ და თანამიმდევრულ ნაწილს, რომელიც საწარმოს გარკვეულ უბანზე სრულდება და რომლის შედეგად შრომის საგანი იცვლის თავის ფორმას ან შემადგენლობას წინასწარ დადგენილი სახისა და მონაცემების მქონე პროდუქტის მიღების მიზნით ტექნოლოგიური პროცესი ეწოდება.

ტექნოლოგიური პროცესი ხორციელდება მართვად (რეგულირებად) ობიექტებში, რომლებიც წარმოადგენენ ტექნიკურ მოწყობილობებს და რომლებიც საჭიროებენ გარედან სპეციალიზირებულ

ორგანიზებულ ზემოქმედებას (რეგულირებას) პროცესის მოცემული მიმართულებით წარმართვისთვის.

ასეთი მოწყობილობებს ეწოდებათ სარეგულირო ობიექტი.

ავტომატიზაციის ძირითად ნაწილს წარმოადგენს ავტომატური რეგულირება. იგი ეწოდება ტექნოლოგიური პროცესის მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეების მულტივობის შენარჩუნებას მთელი პროცესის განმავლობაში, ან მის ცვლილებას წინასწარ მოცემული კანონით (პროგრამით).

ტექნოლოგიური პროცესის იმ პარამეტრს, რომელსაც ვარეგულირებთ ეწოდება სარეგულირო პარამეტრი.

რეგულატორი ეწოდება მოწყობილობას, რომელიც განკუთვნილია სარეგულირო პარამეტრის მოცემული მნიშვნელობის შესანარჩუნებლად ან მის შესაცვლელად მოცემული კანონით, სარეგულირო ობიექტში.

სარეგულირო პარამეტრის იმ მნიშვნელობას, რომელიც უნდა მივიღოთ პროცესის მსვლელობისას ეწოდება მოცემული პარამეტრი, ხოლო ელემენტს, რომლის საშუალებითაც იძლევიან ამ პარამეტრს – ამოცანის დამსმელი. სარეგულირო პარამეტრის იმ მნიშვნელობას, რომელიც იზომება დროის ნებისმიერ მომენტში, ეწოდება მიმდინარე. სარეგულირო პარამეტრების მიმდინარე და მოცემულ მნიშვნელობებს შორის სხვაობას ეწოდება ცდომილება (ბ).

მაქანის ან აპარატის მუშაობა შეიძლება წარმოებდეს დამყარებულ და დაუმყარებელ რეჟიმებში.

დამყარებულ რეჟიმისას, ტექნოლოგიური პროცესის მახასიათებელი პარამეტრები არ იცვლება, რაც ტექნოლოგიური მოწყობილობებისთვის წარმოადგენს საუკეთესო სამუშაო რეჟიმს. იგი განპირობებულია მატერიალური და ენერგეტიკული ბალანსის დაცვით.

დაუმყარებელი რეჟიმის პროცესის პარამეტრები იცვლებიან დროში

რათა დავაბრუნოთ ობიექტი დამყარებულ რეჟიმში, მასზე უნდა მოვახდინოთ მარეგულირებელი ზემოქმედება.

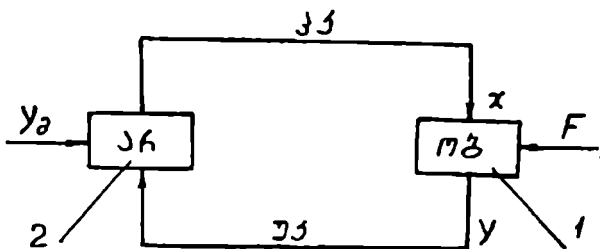
ავტომატიზაციის სისტემა ეწოდება ავტომატიზაციის ობიექტისა და ავტომატურ მოწყობილობათა ერთობლიობას, რომელიც საშუალებას გვაძლევს ვმართოთ ობიექტი მომსახურე პერსონალის ჩაურევლად.

ავტომატიზაციის ობიექტი შეიძლება იყოს როგორც ცალკეული ობიექტი (პურსაცხობი მანქანა, ჩამომსხმელი მანქანა და ა.შ.), ასევე მათი სისტემები (ნაკადურ-მექანიზირებული ხაზები).

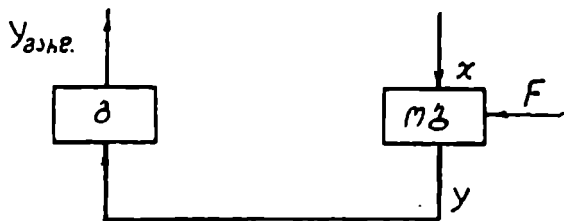
მუშაობის პროცესში ობიექტი განიცდის გარეშე ზემოქმედებას. ზემოქმედებას, რომელიც ცდილობს სარეგულირო პარამეტრი გადახაროს მოცემული მნიშვნელობიდან, ეწოდება აღშფოთება. ამ მდგომარეობის გამოსასწორებლად გამოიყენება ავტომატური რეგულატორი.

რეგულირების ობიექტისა და ავტომატური რეგულატორის ერთობლიობას ეწოდება ავტომატური რეგულირების სისტემა (არს).

არს (ნახ. 1, ა) შედგება რეგულირების ობიექტისა 1 და ავტომატური რეგულატორისგან 2. ობიექტზე მოქმედებს გარეშე ზემოქმედება F . სისტემის დანიშნულებაა უზრუნველყოს სარეგულირო სიდიდის (y) შენარჩუნება მოცემულ y_0 მნიშვნელობასთან მახლობლობაში. თუ ტოლობა $y = y_0$ სრულდება, მაშინ სისტემა გაწონასწორებულია. პპ პირდაპირი კავშირის არხით ობიექტზე 1 მოქმედებს მარეგულირებელი ზემოქმედება x , შპ უკუკავშირის არხით - სარეგულირებელი სიდიდე y ზემოქმედებს რეგულატორზე 2. y სიდიდის გადახრის შემთხვევაში, რომელიც შეიძლება გამოწვეული იყოს გარეშე F ზემოქმედების შეცვლით, ავტომატური რეგულატორი x სიდიდეს ისეთნაირად ცვლის, რომ y სიდიდე დაუბრუნდეს მოცემულ მნიშვნელობას.



ა)



ბ)



გ)

ნახ. 1. ავტომატური სისტემების სქემები

ა - ავტომატური რეგულირების სისტემა; ბ - გაზომვის სისტემა; გ - სიგნალიზაციის სისტემა

პკ არხით გადაცემულ სიგნალს ეწოდება მარეგულირებელი ან მმართველი ზემოქმედება, რაც იწვევს ობიექტის მდგომარეობის საჭირო ცვლილებას. უპ არხით მიეწოდება ინფორმაცია ობიექტის მდგომარეობის შესახებ.

ავტომატიზაციის სისტემას, რომელშიც ავტომატური მოწყობილობა შეერთებულია ავტომატიზაციის ობიექტთან პირდაპირი და უკუკავშირის არხებით, ეწოდება შერთული სისტემა, ხოლო სისტემას, რომელსაც ერთ-ერთი არხი აკლია - განრთული.

ავტომატური დაცვის სისტემა რეგულირების სისტემის კერძო შემთხვევაა და იგი სქემა აქვს. იგი მოქმედებს როგორც შემზღუდველი და საკონტროლო y სიდიდის ზღვრულ y_2 მნიშვნელობამდე მიღწევის შემდეგ სისტემიდან ამორთავს ობიექტს.

გაზომვის სისტემა (ნახ. 1, ბ) განრთულია და მხოლოდ უკუკავშირი აქვს. ამ კავშირით გადაიცემა y სიდიდე, რომელიც გაზომვის მოწყობილობაში გარდაიქმნება $y_{გრ}$. ჩვენებად, პირდაპირი კავშირის და x ზემოქმედების ფორმირება ხდება ოპერატორის მიერ გაზომვის შედეგების ანალიზის შემდეგ.

სიგნალიზაციის სისტემა (ნახ. 1, გ) განრთული სისტემაა. y და y_2 სიდიდეების ტოლობის დროს სასიგნალო მოწყობილობა გასცემს y_2 სიგნალს, რის საფუძველზეც მომსახურე პერსონალი ცვლის x ზემოქმედების მნიშვნელობას.

2. რეგულატორების კლასიფიკაცია

ავტომატიზაციის სისტემებში შემაჯალი ავტომატური მოწყობილობები კლასიფიცირდება დანიშნულებისა და ცალკეული ელემენტების მახასიათებლების მიხედვით.

მაკალებლის მიხედვით არჩევენ მასტაბილიზებელ, პროგრამულ, მიმყოლ და ოპტიმადურ ავტომატურ რეგულატორებს.

მასტაბილიზებული რეგულატორები უზრუნველყოფს სარეგულირებელი სიდიდის შენარჩუნებას მოცემულ მუდმივ ღონეზე. რეგულატორის მაკალებლის დაყენება ხანგრძლივი დროის განმავლობაში რჩება მუდმივი. მათ შეიძლება არ ჰქონდეს მაკალებლები და შედარების ელემენტი. მაგალითად, ღონის უმრავლესი რეგულატორებისთვის მოცემული მნიშვნელობა განისაზღვრება გადამწოდის გარკვეულ სიმაღლეზე დაყენებით.

პროგრამული რეგულატორი მასტაბილიზებლისგან იმით განსხვავდება, რომ იგი შეიმუშავებს დავალებას, რომელიც იცვლება წინასწარ დასახული პროგრამით, დავალება შეიძლება იცვლებოდეს გარკვეული პროგრამით. დავალება შეიძლება იცვლებოდეს გარკვეულ პროფილის მუშტათი, გრაფიკით და ა.შ.

მიმყოლი რეგულატორი ღებულობს დავალებას, რომელიც წინასწარ უცნობი კანონით იცვლება დროში. მათ მიეკუთვნება ელექტრული ხიდეები და პოტენციომეტრები.

ოპტიმალური რეგულატორები აღჭურვილია მაკალებელი მოწყობილობებით, სადაც შეყვანილი მათემატიკური დამოკიდებულებებით განისაზღვრება რეგულატორის ისეთი დავალება, რომელიც მოცემულ პირობებში უზრუნველყოფს პროცესის ოპტიმალურ მსვლელობას.

ენერჯის წყაროსგან დამოკიდებულებით, რომელსაც მარეგულირებელი ორგანო მოჰყავს მოძრაობაში ასხვავებენ პირდაპირი და არაპირდაპირი მოქმედების რეგულატორებს. პირდაპირი მოქმედების რეგულატორში მარეგულირებელი ორგანოს გადაადგილება ხდება მგრძნობიარე ელემენტის მიერ განვითარებული ძალის მოქმედებით. არაპირდაპირი მოქმედების რეგულატორში კი მარეგულირებელი ორგანოს აძვრისთვის გამოიყენება გარედან მიწოდებული ენერჯია.

ენერჯის სახის მიხედვით ანსხვავებენ ელექტრულ, პნევმატიკურ, ჰიდრაულიკურ და კომბინირებულ რეგულატორებს. გამოიყენება ასევე არაპირდაპირი მოქმედების რეგულატორები გარედან ენერჯის მიწოდების გარეშე. ისინი შედგებიან პირდაპირი ქმედების შედარებით მცირე სიდიდის მმართველი ხელსაწყოთა (პილოტისა) და სპეციალური შემსრულებელი მექანიზმისგან, რომლის ამძრავად გამოიყენება მარეგულირებელ ორგანომდე მიყვანილი მუშა გარემოს წნევა. პილოტის სარქველი ასრულებს გამაძლიერებლის როლს და მართავს ძირითადი მარეგულირებელი ორგანოს მუშაობას. ამრიგად, მიუხედავად იმისა, რომ რეგულატორი აღჭურვილია გამაძლიერებლით გარე ენერჯიას იგი არ მოიხმარს.

ობიექტზე ზემოქმედების ხერხისგან დამოკიდებულებით რეგულატორები შეიძლება იყოს მდოვრე და პოზიციური ქმედების.

მდოვრე ქმედების რეგულატორებში მაქსიმალურსა და მინიმალურს შორის x სიდიდემ შეიძლება მიიღოს ნებისმიერი მნიშვნელობა. მაგალითად, მარეგულირებელ სარქველს, რომელიც მოძრაობაში მოდის ელექტრო ძრავით შეუძლია მდოვრედ შეცვალოს სითხის ან ორთქლის ხარჯი.

პოზიციური ქმედების რეგულატორებში x სიდიდეს შეიძლება ჰქონდეს ორი ან რამდენიმე მნიშვნელობა. მაგალითად, ელექტრომაგნიტურ ვენტილს არ შეუძლია დაიკავოს შუალედური მდებარეობა, მას მხოლოდ გახსნა ან დაკეტვა შეუძლია.

სარეგულირო სიდიდის გადახრასა და მარეგულირებელ ზემოქმედებას შორის კავშირის ხასიათის მიხედვით არჩევენ სტატიკურ და ასტატიკურ რეგულატორებს.

სტატიკური (პროპორციული) რეგულატორი ხასიათდება დამოკიდებულებით.

$$x = k\delta \quad (1)$$

$$\frac{dx}{d\tau} = k \frac{d\delta}{d\tau}$$

სადაც x არის რეგულატორის ობიექტზე შემოქმედების სიდიდე (მარეგულირებელი ორგანოს ფარდობითი გადაადგილება); k - რეგულატორის გაძლიერების კოეფიციენტი; δ - სარეგულირო სიდიდის ფარდობითი გადახრა საწყისი მნიშვნელობიდან; τ - დრო. როცა სარეგულირო სიდიდის ცვლილება წყდება, მარეგულირებელი ორგანოც ჩერდება, ე.ი.

$$\text{როდესაც } \frac{d\delta}{d\tau} = 0, \quad \frac{dx}{d\tau} = 0.$$

ტოლობა გვიჩვენებს, რომ რეგულატორი წონასწორობაშია, მიუხედავად იმისა გადახრას აქვს ადგილი თუ არა.

ასტატიკური (მაინტეგრირებელი) რეგულატორი ხასიათდება დამოკიდებულებით

$$x = \frac{1}{T} \int \delta d\tau \quad (2)$$

$$\frac{dx}{d\tau} = \frac{\delta}{T}$$

სადაც T არის დროის მუდმივა.

(2) განტოლებიდან ჩანს, რომ რეგულატორი მოდის წონასწორობაში $\left(\frac{dx}{d\tau} = 0\right)$ და აჩერებს მარეგულირებელ ორგანოს როცა $\delta = 0$. გარდა ამისა მარეგულირებელ ორგანოს მოძრაობის სიჩქარე ან მარეგულირებელი შემოქმედების $\frac{dx}{d\tau}$ ცვლილება δ გადახრის პროპორციულია.

სტატიკური და ასტატიკური რეგულატორების აღნიშნული კლასები (სტატიკური და ასტატიკური) ძირითადია. რეგულირების გაუმჯობესების მიზნით იყენებენ საკორექტურო (მასტაბილიზებელ) მოწყობილობებს. ეს მოწყობილობები ხელს უწყობს გარდამავლობის უფრო სწრაფ პროცესს, ამასთან, მცირე დინამიკური გადახრებით. ქვემოთ მოცემულია მათი მოკლე დახასიათება.

სტატიკური რეგულატორი წინსწრებით ობიექტზე ზემოქმედებს არა მარტო გადახრის, არამედ აგრეთვე ამ გადახრის დროით წარმოებული სიდიდეების მიხედვით, რის შედეგადაც სანამ გადახრა მნიშვნელოვან სიდიდემდე მიაღწევდეს, მანამდე რეგულატორი იწყებს მარეგულირებელი ორგანოს გადაადგილებას, რაც, თავის მხრივ, ამცირებს დინამიკურ გადახრებს. რეგულატორის მუშაობა აღიწერება განტოლებით

$$x = k\delta + k_1 \frac{d\delta}{d\tau} \quad (3)$$

პროპორციულ-ინტეგრალური რეგულატორი აერთიანებს როგორც სტატიკური, ისე ასტატიკური რეგულატორის თვისებებს ე.ი. ზემოქმედებას აყალიბებს როგორც გადახრის, ისე მისი ინტეგრალის მიხედვით. ეს რეგულატორი გარდამავალი პროცესის დასაწყისში მოქმედებს როგორც სტატიკური, ხოლო გარდამავალის ბოლოს - როგორც ასტატიკური.

ამ რეგულატორის განტოლებაა

$$x = k \left(\delta + \frac{1}{T_0} \int \delta d\tau \right). \quad (4)$$

ასეთ რეგულატორებს იზოდრომულსაც უწოდებენ.

პროპორციულ-ინტეგრალური რეგულატორი წინსწრებით აერთიანებს ყველა განხილული რეგულატორის თვისებებს. მისი განტოლებაა

$$x = k\delta + k_y \frac{d\delta}{d\tau} + \frac{k}{T_0} \int \delta d\tau \quad (5)$$

ავტომატური სისტემა და მასში შემავალი ელემენტი შეიძლება აღწეროს მათი მახასიათებლებით. სისტემის მახასიათებელი ითვალისწინებს გამოსავალი სიდიდის დამოკიდებულებას შესავლისაგან.

მახასიათებელს, რომელიც ასახავს სისტემის ქცევას არაღამყარებულ (გარდამავალ) რეჟიმში $\left(\frac{dy}{d\tau} \neq 0\right)$, ეწოდება დინამიკური მახასიათებელი.

მისგან განსხვავებით, სისტემის მახასიათებელს დამყარებულ მდგომარეობაში $\left(\frac{dy}{d\tau} = 0\right)$ ეწოდებენ სტატიკურ მახასიათებელს.

3. ავტომატური რეგულირების სისტემის რგოლები

არს-ის რგოლები წარმოადგენენ შემომავალი სიგნალების გამოსავალ სიგნალებად გარდამქმნელებს. ელემენტარული რგოლები ერთმანეთისგან განსხვავდება თავიანთი მახასიათებლით, ე.ი. გამოსავალი სიდიდეების შესავალ სიდიდეებთან დამოკიდებულებით. რგოლები შეიძლება იყოს ხაზოვანი და არახაზოვანი. ხაზოვანი რგოლების მახასიათებლები დამოკიდებული არ არის მუშაობის რეჟიმზე და შეიძლება აისახოს წრფივი დიფერენციალური განტოლებებით. არაწრფივი რგოლების მახასიათებლები კი მუშაობის რეჟიმის ფუნქციებია და აისახება არაწრფივი განტოლებებით.

უმარტივესი ელემენტარული რგოლებია: 1-ლი რიგის აპერიოდულ (ინერციული) რგოლი, მაინტეგრირებელი რგოლი, დაგვიანების რგოლი და რგოლი რელეური მახასიათებლებით.

ზოგიერთ რგოლში პროცესი მიმდინარეობს მყისიერად, ზოგში კი დაგვიანებით რაც აუარესებს რეგულირების ხარისხს. თუმცა ზოგიერთ შემთხვევაში დაგვიანება შეიძლება წარმოადგენდეს აუცილებელი პირობას რეგულირების მუშაობისთვის.

გამომავალი სიგნალის დაგვიანების მიზეზები შეიძლება იყოს: პიდრავლიკურ და პნევმატიკურ რგოლებში - შემაერთებული მილაკების სიგრძე და განივი კვეთი; მექანიკურში - ღრეჩოები და ხახუნის ძალები; ელექტრულში - თვითინდუქციისა და ინდუქციის ელექტრომამოძრავებელი ძალების მოქმედება.

ინერციული რგოლის დიფერენციალური განტოლების გამარტივებული სახეა

$$T \frac{d\varphi}{d\tau} + \varphi = \varphi_e \quad (6)$$

სადაც T არის დროის მუდმივა; φ - რგოლის გამოსავალი სიდიდე; τ - დრო; φ_e - გამოსავალი სიდიდის დამყარებული მნიშვნელობა.

რგოლის დინამიკურ თვისებებს ძირითადად გამოსახვენ გარდამავალი მახასიათებლებით და გადასაცემი ფუნქციებით.

გარდამავალი მახასიათებლები (გაქანების მახასიათებელი) წარმოადგენს (6) განტოლების ამოხსნას

$$\varphi = \varphi_e - (\varphi_e - \varphi_{\text{სფ}}) e^{-\frac{\tau}{T}} \quad (7)$$

სადაც $\varphi_{\text{სფ}}$ არის φ -ს საწყისი მნიშვნელობა.

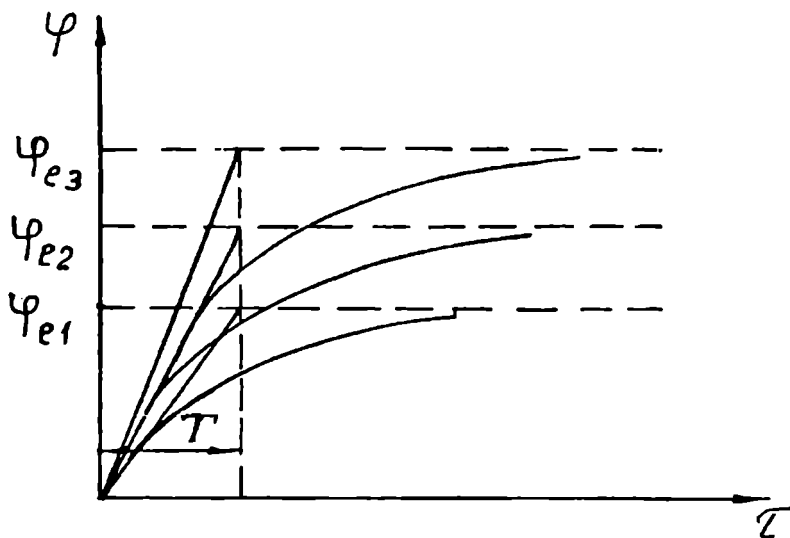
გარდამავალი მახასიათებელი საშუალებას გვაძლევს დროის ნებისმიერ მომენტში მოვძებნოთ φ სიდიდე, თუ ცნობილია მისი საწყისი მნიშვნელობა $\varphi_{\text{სფ}}$. და დამყარებული მნიშვნელობა φ_e , რომლისკენაც ის მიისწრაფვის.

გავარკვიოთ T დროის მუდმივას არსი. დავუშვათ, რომ $\varphi_{\text{სფ.}} = 0$, მაშინ

$$\varphi = \varphi_{\text{ღა.}} \left(1 - e^{-\frac{r}{T}} \right) \quad (8)$$

განტოლება მიეკუთვნება ექსპონენტთა ოჯახს, რომლის პარამეტრია $\varphi_{\text{ღა.}}$ დამყარებული მნიშვნელობა.

მე-2 ნახაზზე ნაჩვენებია გარდამავალი პროცესების მრუდები საწყისი ნულოვანი პირობებისა და $\varphi_{\text{ღა.}}$ -ის სამი სხვადასხვა მნიშვნელობის ($\varphi_{\text{ღა.1}}$, $\varphi_{\text{ღა.2}}$, $\varphi_{\text{ღა.3}}$) დროს. რგოლის ინერციის შედეგად გამოსავალი φ სიდიდე უცბად კი არ აღწევს თავის დამყარებულ მნიშვნელობას, არამედ უახლოვდება მას ასიმპტოტურად. მრუდების მიმართ საწყის მომენტში გატარებული მხეხები გადაიკვეთება $\tau = T$ მანძილზე. იგი



ნახ. 2. ინერციული რგოლის გამოსავალი მახასიათებელი

გვიჩვენებს, თუ რა დროის შემდეგ მიაღწევს φ სიდიდე თავის დამყარებულ მნიშვნელობას.

თუ (8) განტოლებაში ჩავსვამთ $\tau = T$ და გავითვალისწინებთ, რომ $e^{-1} = -0,368$, მივიღებთ, რომ φ სიდიდე T დროში გაირბენს $\varphi_{\text{დაფ.}} - \varphi_{\text{აფ.}}$ სხვაობის 63,8%-ს.

განვიხილოთ მაგალითი. მე-3 ნახაზზე წარმოდგენილია რეგულირების სისტემის რგოლი ელექტრომაგნიტური ამპრავის (სოლენოიდური ვენტილის) სახით. მე-4 ნახაზზე ნაჩვენებია დენის ძალის ცვლილების გრაფიკი დროში $i = f(\tau)$, ვენტილის კოჭაში 1. კოჭა მიერთებულია მუდმივი ძაბვის წყაროს. ჩართვა წარმოებს $\tau = 0$ მომენტში. $\tau = 3T$ დროის გავლის შემდეგ შეიძლება ჩაითვალოს, რომ დამყარდა დენის მუშა მნიშვნელობა 0,95I და დაიწყო ელექტრული ენერჯიის მექანიკურ ენერჯიად გარდაქმნა ანუ გადაადგილდა ფოლადის გულა 2 მარეგულირებელ ორგანოსთან 3 ერთად.

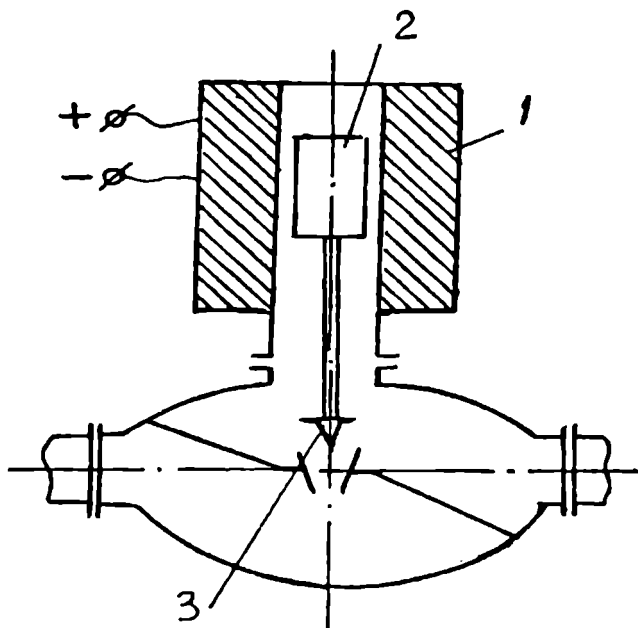
ამ პროცესის დაგვიანების მიზეზს წარმოადგენს თვითინდუქციის ელექტრომაგნიტური ძაბვა, რომელიც თავისი მოქმედებით ეწინააღმდეგება დენის გაზრდას კოჭაში.

განხილული მრუდი აღიწერება ფორმულით

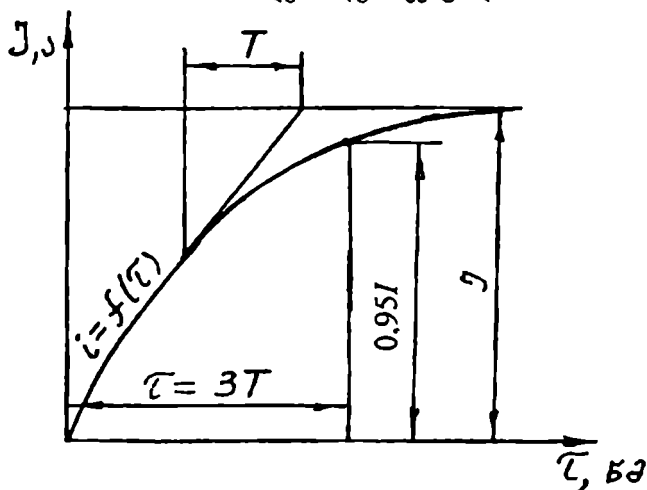
$$i = I \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T}} \right) \quad (9)$$

სადაც i არის დენის მყისიერი მნიშვნელობა; I - დენის დამყარებული მნიშვნელობა; e - ნატურალური ლოგარიტმის ფუძე ($e = 2,718$); τ - დრო; T - დროის მუდმივა.

ამრიგად დროის მუდმივა წარმოადგენს რგოლის ინერციულობის ერთ-ერთ მახასიათებელს. რაც მეტია დროის მუდმივა, მით მეტია



ნახ. 3. სოლენოიდური ვენტილი



ნახ. 4. ვენტის კოჭაში დენის ძალის ცვლილების გრაფიკი

რგოლის ინერციულობა, ინერციულია ნებისმიერი ელექტრული რგოლი, რომელსაც აქვს ინდუქტიურობა ან ელექტრული ტევადობა და ომური წინაღობა, ე.ი. ამ დროს $T > 0$.

მაინტეგრებელი რგოლი ეწოდება ხაზოვან რგოლს, რომლის განტოლებაა

$$\varphi = \gamma \int \rho d\tau \quad (10)$$

სადაც γ არის გადაცემის მახასიათებელი კოეფიციენტი; ρ - შესავალი სიდიდე.

(10) განტოლების დიფერენცირებით ვღებულობთ

$$\frac{d\varphi}{d\tau} = \gamma\rho. \quad (11)$$

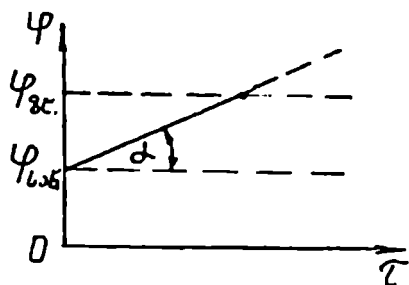
მაშასადამე გამოძავალი სიდიდის ცვლილების სიჩქარე პროპორციულია შემავალი სიდიდის. თუ დაუშვებთ, რომ $\rho = const$, მაშინ

$$\varphi = \gamma\rho\tau + \varphi_{\text{სფ.}} \quad (12)$$

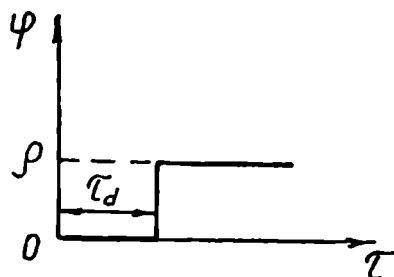
ეს მახასიათებელი წარმოადგენს სწორ ხაზს (ნახ.5), რომელიც აბსცისასთან დახრილია α კუთხით.

დაგვიანების რგოლი წარმოადგენს ხაზოვან ელემენტს, რომელშიც გამოსავალი სიგნალის სიდიდე ტოლია შესავლის $\varphi = \rho$. რგოლი მხოლოდ ცვლის სიგნალის ფაზას და აღადგენს მას სუფთა (სატრანსპორტო) დაგვიანების დროის შემდეგ.

დაგვიანების რგოლის გარდამავალი მახასიათებელი (ნახ. 6) გვიჩვენებს, რომ შესავალი ρ ზემოქმედების აღდგენა, რაიმე დამახინჯების გარეშე, ხდება გამოსავალზე დროის გარკვეული τ_d შუალედის შემდეგ.



ნახ. 5. მაინტეგრებული რგოლის მახასიათებელი



ნახ. 6. დაგვიანების რგოლის მახასიათებელი

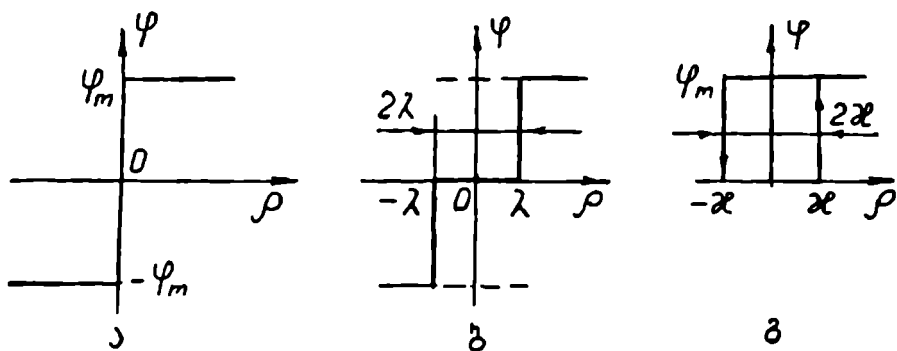
რგოლი რელეური^{*} მახასიათებლით არასწორხაზოვანი რგოლია. მასში შესავალი სიგნალის მდოვრე ცვლილება იწვევს გამოსავალი სიდიდის ერთ ან რამდენიმე ნახტომისებურ ცვლილებას. გამოსავალმა სიდიდემ შეიძლება მიიღოს მხოლოდ ფიქსირებული (დისკრეტული) მნიშვნელობები, ამიტომ სისტემებს, რომლებიც ასეთ ელემენტებს შეიცავენ დისკრეტულს უწოდებენ.

რელე შეიძლება იყოს ორ-, სამ და მრავალპოზიციური.

ტიპური რელეური მახასიათებლები მოცემულია მე-7 ნახაზზე.

7, ა ნახაზზე მოცემულია ორპოზიციური რელეს იდეალური მახასიათებლები. შესავალი $\rho < 0$ სიდიდის დროს გამოსავალი სიდიდე $\varphi = -\varphi_m$. როგორც კი შესავალი სიდიდე $\rho \geq 0$, გამოსავალი სიდიდე ნახტომისებრად ღებულობს $\varphi = \varphi_m$ მნიშვნელობას. ანალოგიურად ρ შემცირებისას ხორციელდება უკუნახტომი, სამპოზიციურ რელეს (ნახ. 7, ბ) აქვს არამგრძნობიარობის ზონა 2გ.

^{*} relais (ფრანგ.) - შეცვლა



ნახ. 7. რელეური ელემენტების სტატიკური მახასიათებლები:
 ა - იდეალური ორპოზიციურის; ბ - იდეალური სამპოზიციური
 ც - რელეური ორპოზიციურის

რელეს იდეალური მახასიათებელი ერთნიშნაა, ხოლო რელეური ელემენტებში ხაზუნის გამო სტატიკური მახასიათებელი-არაერთნიშნა. გარდა ამისა, ხშირად მახასიათებლები არასიმეტრიულია ρ ღერძის მიმართ.

7, გ ნახაზზე ნაჩვენებია ორპოზიციური რელეს რელეური მახასიათებელი. თუ გავზრდით ρ , მაშინ $\varphi = 0$ მდგომარეობიდან $\varphi = \varphi_m$ მდგომარეობაში გადასვლა მოხდება $\rho = x$ ტოლობის დროს. უკუგადასვლა ხდება $\rho = -x$ დროს. ამრიგად, ამ შემთხვევაში, მახარისხებელი წარმოქმნის პისტერეზისის მარყუჟს.

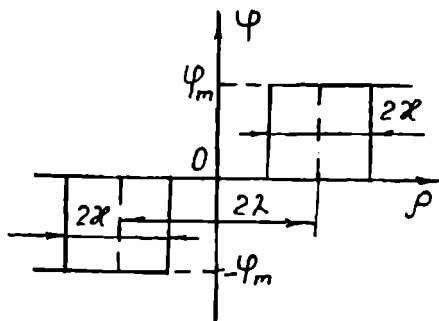
რელეურ ორპოზიციურ რელეში ძირითად პარამეტრს წარმოადგენს პისტერეზისის სიგანე, რომელსაც დაბრუნების ზონას (რელეს დიფერენციალს) უწოდებენ. ამრიგად დაბრუნების ზონა არის $2x$.

რელეურ სამპოზიციურ რელეს (ნახ. 8) არამგრძნობიარე ზონის (2λ) გარდა ასევე აქვს დაბრუნების ზონა $2x$.

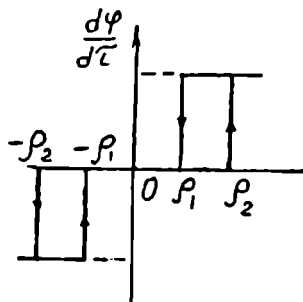
სარელეო ელემენტის განსაკუთრებულ სახეს წარმოადგენს რელე გამოსავალი სიდიდის მუდმივი სიჩქარით (ნახ. 9). თუ შესავალი სიდიდე

$$\rho = 0, \text{ მაშინ } \frac{d\varphi}{d\tau} = 0, \text{ ე.ი. გამოსავალი სიდიდე უცვლელია. ეს მდგომარეობა შენარჩუნებულია არამგრძობიარე ზონაში. თუ } \rho \text{ აღწევს } \rho_2$$

მნიშვნელობას, მაშინ სიჩქარე საფეხურებრივად იზრდება და აღწევს გარვეულ φ_1 მნიშვნელობას და რჩება მისი ტოლი, სანამ φ არ შემცირდება φ_1 -მდე. ასევე იქცევა ელემენტი ρ -ს უარყოფითი მნიშვნელობების დროს. ამრიგად, სარელეო ელემენტი მუდმივი სიჩქარით არის



ნახ. 8. რელეური სამპოზიციური რელეს მახასიათებელი

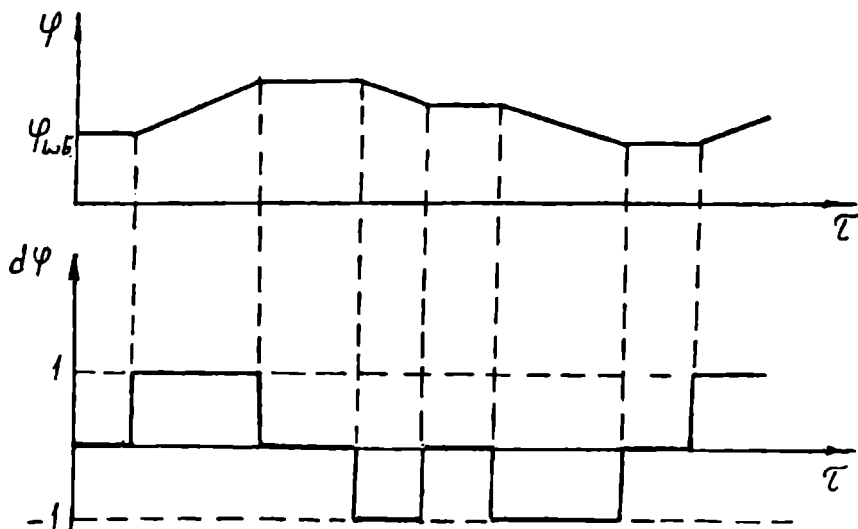


ნახ. 9. გამოსავალი სიდიდის მუდმივი სიჩქარიანი რელეს მახასიათებელი

რევერსიული და φ სიდიდის მიმართ აქვს მდორე მახასიათებელი. მე-10

ნახაზზე ნაჩვენებია φ და $\frac{d\varphi}{d\tau}$ სიდიდეების ცვლილების პროცესი

დროში. ქვედა გრაფიკზე ნაჩვენებია სიჩქარის ცვლილება, ზედაზე კი თვითონ φ სიდიდის ცვლილება. აღნიშნულმა სიდიდემ შეიძლება მიიღოს ნებისმიერი მნიშვნელობა შესავალი სიდიდის დადებითი და უარყოფითი გადახრების ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულებით.



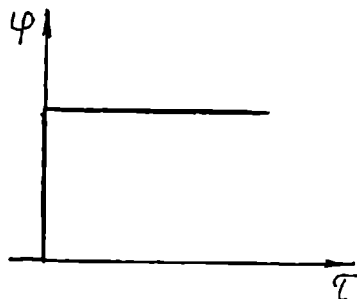
ნახ. 10. φ და $\frac{d\varphi}{d\tau}$ სიდიდეების ცვლილების პროცესი დროში

რგოლების პარამეტრების მახასიათებელს წარმოადგენს ასევე გარდაქმნის კოეფიციენტი - გამოსავალი სიგნალის ფარდობა შესაველ სიგნალთან. მისი განზომილება დამოკიდებულია სიგნალების განზომილებაზე (მ/ომი; რად/ა და ა.შ.). გამაძლიერებლის გარდაქმნის კოეფიციენტს ეწოდება გაძლიერების კოეფიციენტი. გადამწოდის გარდაქმნის კოეფიციენტს კი მგრძნობიარობა.

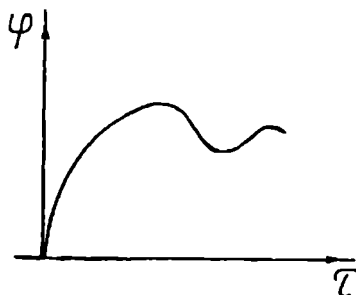
ავტომატური რეგულირების თეორიაში რგოლების კლასიფიკაცია ხდება მათი დინამიკური მახასიათებლებით, მაგალითად მახასიათებლით, რომელიც გამოხატავს დამოკიდებულებას რგოლის გამოსავალ სიდიდესა (φ) და დროს (τ) შორის.

ზემოთ განხილული იყო აპერიოდული (ინერციული) რგოლი. რგოლს რომლის მახასიათებელს აქვს მე-11 ნახაზზე მოცემული სახე

ეწოდება გამაძლიერებელი (არაინერციული) ($T = 0$). მის მაგალითს წარმოადგენს ელექტრონული გამაძლიერებელი. ასეთ რგოლში შესავალი სიგნალის გარდაქმნა გამოსავალ სიგნალად ხდება მყისიერად. მე-12 ნახაზზე ნაჩვენებია რხევითი რგოლის მახასიათებელი ($T > 0$). მის მაგალითს წარმოადგენს ბერკეტულ-დემპფერული მოწყობილობის რგოლი ასტატიკურ რეგულატორში. მაინტეგრებელ რგოლებს მიეკუთვნება ზოგიერთი ტიპის ელექტრო ამპრაფიანი ამსრულებელი მექანიზმები, როცა შესავალ სიდიდეს წარმოადგენს სტაბილიზირებული ძაბვა, ხოლო გამოსავალს კი - ლილვის შემობრუნების კუთხე. ასეთ მექანიზმში ლილვის შემობრუნების კუთხე მუდმივად იზრდება. დაგვიანების რგოლებს წარმოადგენენ ჰაერსადენები ჰაერგამანაწილებელი კოლოფიდან საკანში განლაგებულ მემბრანულ მარეგულირებელ სარქველებამდე. ასეთ სისტემებში რგოლების დიდი სიგრძის გამო იმპულსის გამოსავალი სიდიდე საკანში გადაეცემა გარკვეული დაგვიანებით.



ნახ. 11. გამაძლიერებელი რგოლის
მახასიათებელი



ნახ. 12. რხევითი რგოლის
მახასიათებელი

4. ავტომატური და ხელით რეგულირება

კვების საწარმოს რაიმე ტექნოლოგიური პროცესის რომელიმე ოპერაციის პარამეტრის ცვლილება მოწმობს პროცესის არადაამყა-

რებულ ხასიათს, ანუ შემოსავალსა და გასავალს შორის არსებობს შეუსაბამობა. პარამეტრის შეუცვლელი მნიშვნელობა მიიღება მაშინ, როცა ნივთიერების შემოსავალსა და ხარჯს შორის არსებობს თანაბრობა. სარეგულირო პარამეტრი წონასწორულ მდგომარეობაში იმყოფება მანამდე, სანამ არ მოხდება ამ წონასწორობის დარღვევა - აღშფოთება.

ძირითადი მოთხოვნები, რომლებიც წაყენება რეგულირების სისტემებს, მდგომარეობს იმაში, რომ ისინი იყვნენ მდგრადები. ეს იმას ნიშნავს, რომ აღშფოთების შემდეგ სისტემამ უნდა მიაღწიოს საწყის ან ახალ დამყარებულ წონასწორულ მდგომარეობას და ამავე დროს აუცილებელია, რომ სარეგულირო პარამეტრის გადახრა მოცემულიდან იყოს მცირე.

იმისათვის, რომ სარეგულირო ობიექტში სარეგულირო პარამეტრი აღშფოთების შემდეგ სწრაფად დაუბრუნდეს მოცემულ მნიშვნელობას, საჭიროა, რომ ობიექტი აღჭურვილი იყოს ნივთიერების შემოსავლის ან გასავლის რაოდენობის ცვლილების საშუალებებით, რომლებსაც მარეგულირებელ ორგანოებს უწოდებენ. მათ მიეკუთვნებათ საკეტები, კარები, სარქველები, ონკანები და ა.შ.

რეგულირება შეიძლება განხორციელდეს: ა) ხელით-მომსახურე პერსონალის დახმარებით და ბ) ავტომატურად-მზომი საკონტროლო ხელსაწყოებისა და რეგულატორების დახმარებით.

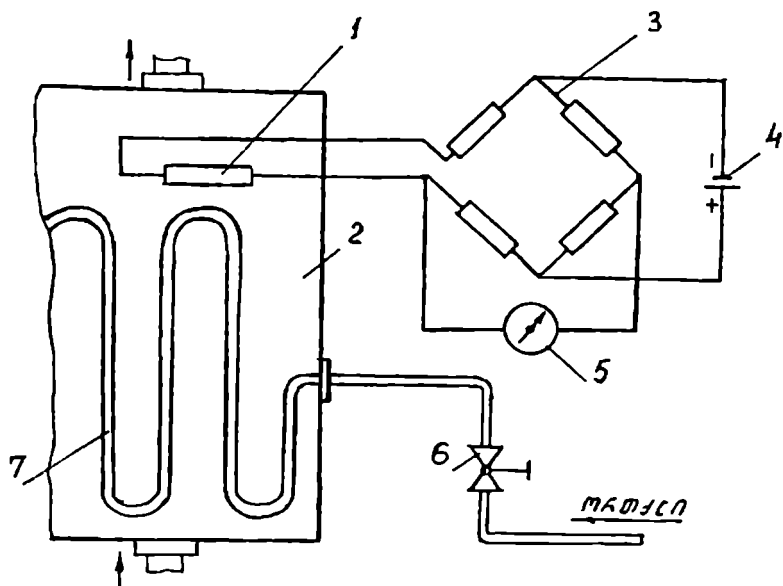
მომსახურე პერსონალი ასრულებს შემდეგ ოპერაციებს:

ა) თვალყურს ადევნებს პროცესის მახასიათებელი პარამეტრების ცვლილებას, მზომი საკონტროლო ხელსაწყოების დახმარებით.

ბ) აღარებს მიღებული პარამეტრების მნიშვნელობებს წინასწარ დადგენილ მნიშვნელობებთან.

გ) პარამეტრების მნიშვნელობების განსხვავების შემთხვევაში მოქმედებს მარეგულირებელ ორგანოებზე, რათა აღდგეს სარეგულირო ობიექტის წონასწორობა.

მე-13 ნახაზზე ნაჩვენებია გამახურებელში ტემპერატურის ხელით რეგულირების სქემა. წინააღობის ნახევარგამტარული თერმოძმეტრი 1 ჩამონტაჟებულია გამახურებლის 2 კედელში და ჩართულია ელექტრული ბოგირის 3 სქემაში. ბოგირის ერთი დიაგონალი მიერთებულია დენის წყაროსთან 4, ხოლო მეორე მაჩვენებელ ხელსაწყოსთან 5, რომელიც დაგრაღულირებულია ტემპერატურის გრაღუსებში. ბოგირის მზრების წინააღობები შერჩეულია ისე, რომ იგი წორასწორობაში მოუა, როცა ხელსაწყოს 5 ისარი აჩვენებს მოცემულ ტემპერატურას.



ნახ. 13. გამახურებელში ტემპერატურის ხელით რეგულირების სქემა

როცა პროდუქტის ტემპერატურა ასცდება საჭირო მნიშვნელობას, დაირღვევა ბოგირის წონასწორობა, მზომი ხელსაწყოს 5 ისარი გადაიხრება და ოპერატორი, რომელიც არეგულირებს სარქველის 6 გაღების ხარისხს, შეცვლის ორთქლის მიწოდების ხარისხს კლაკნილაში

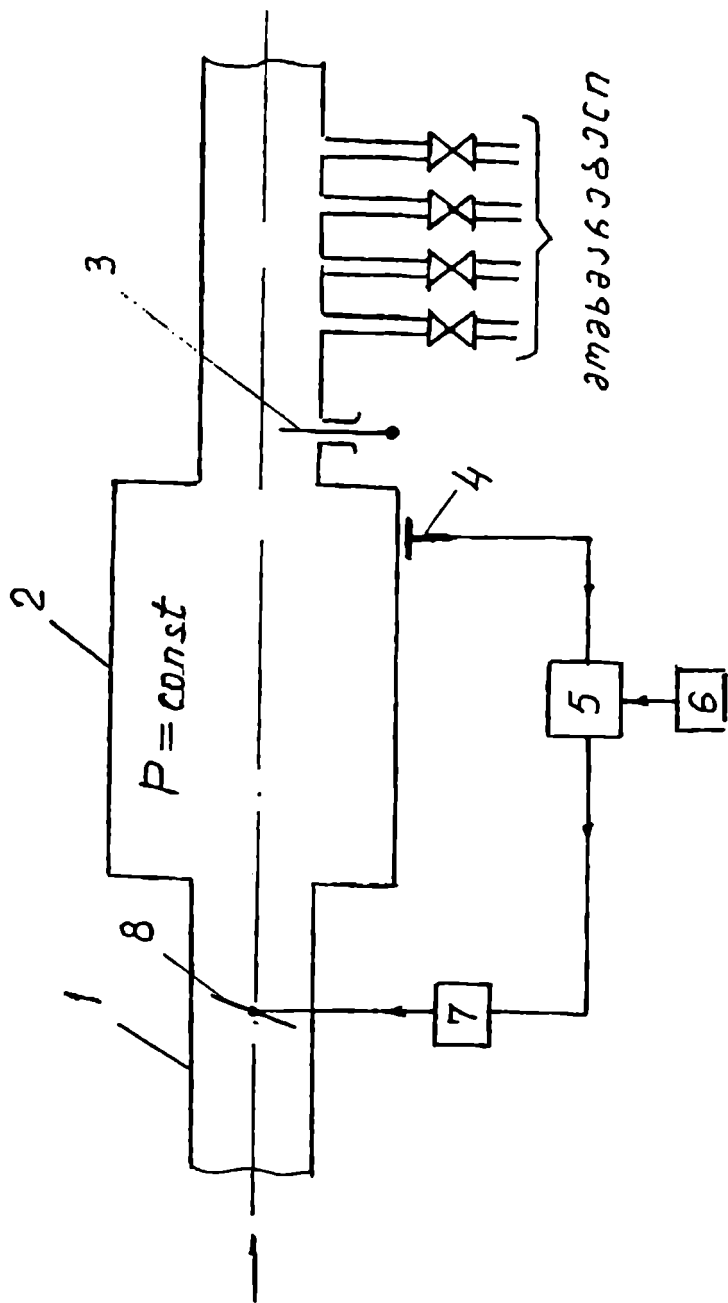
7, მანამ სანამ არ მოხდება ტემპერატურის საჭირო მნიშვნელობამდე მიყვანა.

ავტომატური რეგულირებისას ავტომატური რეგულატორის ძირითად ფუნქციას სარეგულირო პარამეტრის მნიშვნელობის შედარება მოცემულთან, განსხვავების შემთხვევაში მან უნდა გამოიმუშაოს სიგნალი, რომელიც გამოყენებული მოწყობილობების საშუალებით გადასცემს იმპულსს მარეგულირებელ ორგანოს, რათა სარეგულირო პარამეტრი დაუბრუნდეს მოცემულ მნიშვნელობას,

ავტომატური რეგულირების პრინციპის გარკვევისთვის მოვიყვანოთ გაზის მილგაყვანილობაში წნევის რეგულირების პრინციპული სქემა (ნახ. 14).

სარეგულირო ობიექტს წარმოადგენს გაზის მილგაყვანილობის 1 უბანი 2, რომლიდანაც გაზი მიეწოდება მომხმარებელს. მომხმარებლის მიერ გაზის მოხმარების რეჟიმის მიუხედავად, სისტემის ნორმალური ფუნქციონირებისათვის საჭიროა, რომ მილგაყვანილობის ამ უბანში – სარეგულირო ობიექტში, წნევა P იყოს მუდმივი.

მომხმარებელთა სიმრავლის გამო რეგულირების ობიექტის დატვირთვა, ე.ი. წნევა, შესაძლებელია იცვლებოდეს ნებისმიერად. ვთქვათ, გაიზარდა ობიექტის დატვირთვა (მეტად გაიხსნა საკეტი 3), მაშინ მგრძნობიარე ელემენტი 4 შეიგრძნობს გაზის დანახარჯის გაზრდას და შესაბამის იმპულსს გადასცემს რეგულატორს 5. ამოცანის დამსმელი მოწყობილობა 6 შეიმუშავებს განსაზღვრულ იმპულსს და გადასცემს რეგულატორს. ეს უკანასკნელი ადარებს მიმდინარე პროცესში გაზის წნევის ცვლილების მნიშვნელობას და საჭირო ინფორმაციას აწოდებს ამსრულებელ მექანიზმს 7, რომელსაც მოქმედებაში მოყავს მარეგულირებელი ორგანო-ფარი 8. სარეგულირო ობიექტში მეტი რაოდენობით მიეწოდება გაზი მანამდე, სანამ ხარჯსა და მიწოდებას შორის არ აღდგება წონასწორული მდგომარეობა.



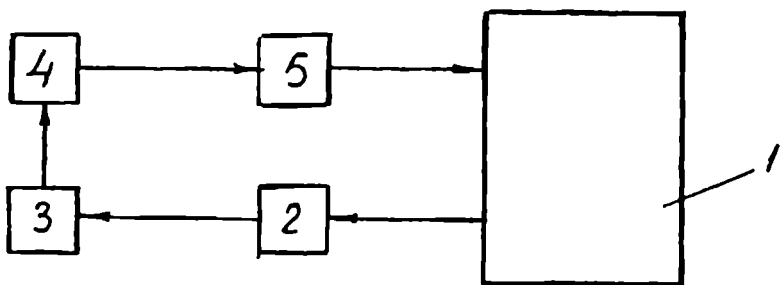
ნახ. 14. გაზის წნევის რეგულირების პრინციპული სქემა

სარეგულირო ობიექტის დატვირთვის შემცირების დროს რეგულატორი მუშაობს ზემოაღნიშნულის საწინააღმდეგოდ.

იმ შემთხვევაში, როცა სარეგულირო ობიექტში სარეგულირო პარამეტრი იცვლება მოცემულთან შედარებით, სხვადასხვა ტიპის რეგულატორი იმპულსს ამსრულებელ მექანიზმს და მარეგულირებელ ორგანოს გადასცემს სხვადასხვანაირად. ზოგ სისტემაში მარეგულირებელ ორგანოს გადააგილებენ მისი სვლის ნებისმიერ მდგომარეობაში და მასში გასულ ნივთიერების რეგულირებას აქვს მდოვრე ხასიათი. შედარებით მარტივი რეგულირების სისტემებში მარეგულირებელ ორგანოს შეუძლია დაიკავოს რამდენიმე ფიქსირებული მდგომარეობა. ასე, მაგალითად, მარეგულირებელი ფარი ან მთლიანად იხსნება, ან იკეტება ე.ი. აქვს ორი ფიქსირებული პოზიცია. ზოგ შემთხვევაში მიზანშეწონილია მარეგულირებელთმა ორგანომ დაიკავოს აგრეთვე საშუალოდ მდგომარეობა. მაგალითად, ფარი, გარდა ორი მდგომარეობისა (გახსნა, დაკეტვა), საჭიროა გაიხსნას ნახევრად. ამ შემთხვევაში ფიქსირებულ პოზიციათა რიცხვი ორზე მეტია.

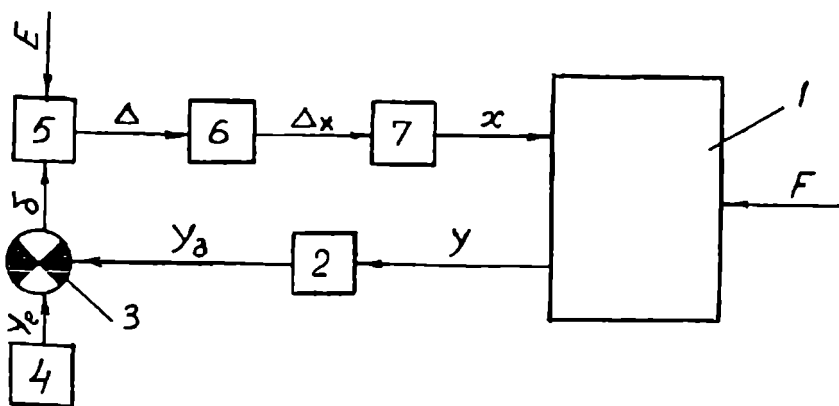
5. რეგულირების სტრუქტურული სქემები

მე-15 ნახაზზე მოცემულია გამახურებელში ტემპერატურის ხელით რეგულირების სტრუქტურული სქემა. სარეგულირო ობიექტს 1 წარმოადგენს გამახურებელი 1, სარეგულირო პარამეტრის კონტროლი ობიექტში წარმოებს მგრძნობიარე ელემენტის 2 საშუალებით. მიღებული ტემპერატურის იმპულსი გადაეცემა მაჩვენებელ ხელსაწყოს 3. იმ შემთხვევაში, როცა ტემპერატურა არ შეესაბამება დადგენილ მნიშვნელობას, ოპერატორი 4 მოქმედებს ამსრულებელ მექანიზმზე 5, რის გამოც იცვლება სარეგულირო ობიექტში მიწოდებული გამახურებელი აგენტის რაოდენობა.



ნახ. 15. ხელით რეგულირების სტრუქტურული სქემა

მე-16 ნახაზზე წარმოდგენილია ავტომატური რეგულირების სტრუქტურული სქემა სარეგულირო ობიექტიდან 1, სარეგულირებელი სიდიდე y , მგრძობიარე ელემენტის საშუალებით 2 გადაცემა რეგულატორს 3 გადაცემისათვის მოხერხებულ სიდიდედ (y_3). გარდამქმნილი სიდიდე ედრება ამოცანის დამსმელი მოწყობილობის 4 მიერ მოწოდებულ y_e სიგნალს, ხდება გამოკლების ოპერაცია, რის შედეგადაც მიიღება გადაზრის მაჩვენებელი (შეუთანხმებლობა) $\delta = y_e - y_3$.



ნახ. 16. ავტომატური რეგულირების სტრუქტურული სქემა

δ სიდიდე შესაძლებელია მხოლოდ იმ შემთხვევაში იყოს ტოლი თუ სარეგულირებელი სიდიდე ზუსტად მოცემული მნიშვნელობის ტოლია. ყველა სხვა შემთხვევაში ის მეტი ან ნაკლებია ნულზე, ამასთან ერთად, δ სიდიდის ნიშანი გვიჩვენებს ფაქტიური გადახრის მიმართულებას, ხოლო მისი მნიშვნელობა, როგორც წესი, ამ გადახრის პროპორციულია.

δ სიგნალი მოწყობილობის სხვა ელემენტებს ალაგზნებს მუშაობისთვის. გამაძლიერებელში N , მასთან მიყვანილი E ენერგიის ხარჯზე, სიმძლავრე მატულობს და Δ სიგნალის სახით მოქმედებს შემსრულებელ მექანიზმზე 6 . ეს უკანასკნელი შეუთანხმებლობის გაძლიერებელ სიგნალს გარდაქმნის გამოსაყენებლად მოხერხებულ Δ_x ენერგიად (უფრო ხშირად მექანიკურში) და გადაადგილებს მარეგულირებელ ორგანოს 7 , რის შედეგადაც იცვლება ობიექტზე მიწოდებული ენერგიის ან ნივთიერების ნაკადი, ე.ი. იცვლება მარეგულირებელი x ზემოქმედება. რეგულირების ფუნქციის შესასრულებლად გამაძლიერებელმა რეაგირება უნდა გაუწიოს δ ნიშანს, ხოლო შემსრულებელი მექანიზმი და მარეგულირებელი ორგანო თავის მხრივ, უნდა იქნენ რევერსიულნი.

6. სარეგულირო ობიექტის თვისებები

სარეგულირო ობიექტი ხასიათდება შემდეგი ძირითადი თვისებებით: ტევადობა, თვითწონასწორება, გაუწონასწორებლობა და დაგვიანება.

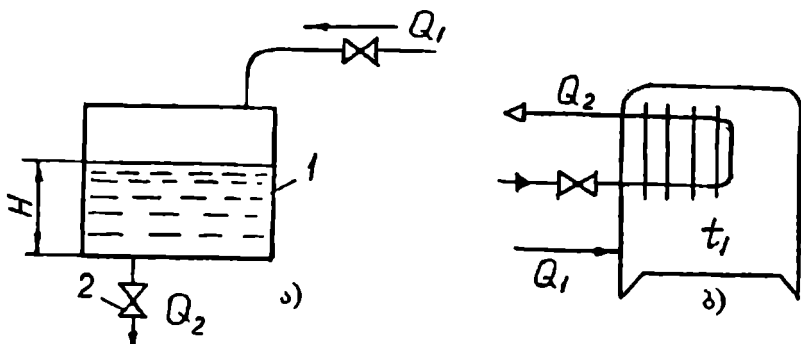
6.1. ტევადობა

ობიექტის თვისებას დააგროვოს გარკვეულ რაოდენობის ნივთიერება ან ენერგია ეწოდება სარეგულირო ობიექტის ტევადობა. იგი დამოკიდებულია ობიექტის ზომებზე. მაგალითად, რეზერვუარში წყლის დონის რეგულირებისას ობიექტის ტევადობა დამოკიდებულია რეზერვუარის ზომაზე, რაც მეტია რეზერვუარის ზომები, მით უფრო ნელა შეიცვლება დონე, როცა დაირღვევა ბალანსი მიწოდებული სითხის რაოდენობასა და მის ხარჯს შორის ე.ი. აღშფოთების დროს. უწყვეტი ქმედების მიღებიან შემხარშავ მოწყობილობაში, მასის გახურების რეგულირებისას, ობიექტის ტევადობა დამოკიდებულია არა მარტო შემხარშავის ზომებზე, არამედ მასში გამავალი მასის რაოდენობაზე და მის თბოტევადობაზე. რაც მეტია ხარჯი და შესაბამისად მასის სიჩქარე, მით უფრო ნაკლებად შეიცვლება მისი ტემპერატურა გამახურებელი ორთქლის ცვლადი მიწოდებისას. რაც მეტია ობიექტის ტევადობა, მით უფრო ნელა მიმდინარეობს პროცესები რეგულირების სისტემაში, მით უფრო გაადვილებულია რეგულატორების ამოცანები და პირიქით რაც ნაკლებია ტევადობა მით უფრო სწრაფად უნდა მუშაობდეს სისტემა, რათა რეგულირება იყოს ეფექტური. თუ ობიექტს აქვს დიდი ტევადობა, სარეგულირო პარამეტრს, აღშფოთებისას, არ შეუძლია ძალიან სწრაფად შეცვალოს თავისი მნიშვნელობები, ამ დროს რეგულირება მიმდინარეობს უფრო მდგრადად.

ობიექტის ტევადობის გავლენა, სარეგულირო პარამეტრის ცვლილებაზე, განისაზღვრება ტევადობის კოეფიციენტით. იგი ტოლია ნივთიერების ან ენერგიის იმ რაოდენობის, რომელიც უნდა მივაწოდოთ ან ავართვათ ობიექტს, სარეგულირო სიდიდის ერთი ერთეულის შესაცვლელად.

მაგალითად, თბომცვლელში ტემპერატურის რეგულირებისას, ტევადობის კოეფიციენტი განისაზღვრება სითბოს იმ რაოდენობით, რომელიც უნდა მივაწოდოთ თბომცვლელს მასში ტემპერატურის 1°C -ით შესაცვლელად.

თუ რეზერვუარს 1 (ნახ. 17, ა) მიეწოდება Q_1 რაოდენობის წყალი, ხოლო ხარჯი შეადგენს Q_2 -ს, მაშინ ტევადობის კოეფიციენტი C ტოლი იქნება წყლის იმ რაოდენობის, რომელიც საჭიროა რეზერვუარში მისი დონის 1 ერთეულით შესაცვლელად.



ნახ. 17. ერთტევადიანი ობიექტები

აღვნიშნოთ რეზერვუარის განიკვეთის ფართი S -ით, წყლის დონე - H , ხოლო წყლის რაოდენობა - Q . მაშინ, განმარტების თანახმად

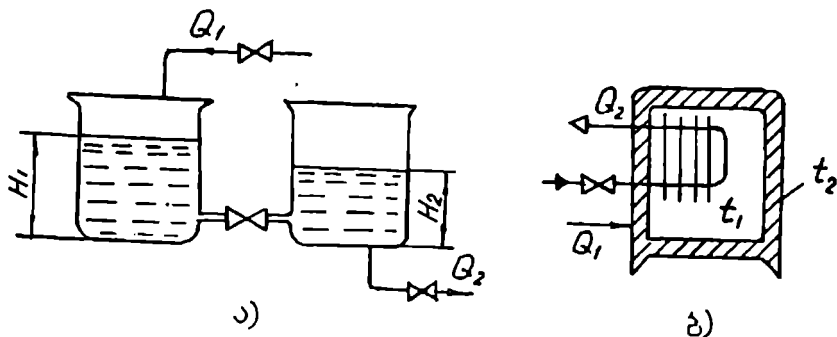
$$C = \frac{Q}{H} = \frac{H \cdot S}{H} = S. \quad (13)$$

ამრიგად, ამ შემთხვევაში ტევადობის კოეფიციენტი რეზერვუარის განიკვეთის ფართის ტოლია. იგი ახასიათებს სარეგულირო სიდიდის ცვლილების სიჩქარეს ობიექტში მიწოდებასა და ხარჯს შორის ბალანსის დარღვევისას. ტევადობის კოეფიციენტის გაზრდისას მცირდება სარეგულირო სიდიდის ცვლილება და პირიქით - შემცირებისას ხდება მისი გაზრდა.

ტევადობის კოეფიციენტი შეიძლება იყოს მუდმივი ან ცვლადი.

ერთ სარეგულირო ობიექტში შეიძლება იყოს რამდენიმე ტევადობა, რომლებიც ერთმანეთთან გარკვეული წინააღმდეგობით არიან დაკავშირებული. ასეთ ობიექტს ეწოდება მრავალტევადიანი.

ერთი ტევადობის დროს გვაქვს ერთ ტევადიანი (ნახ. 17, ა, ბ), ორი ტევადობის დროს – ორტევადიანი (ნახ. 18 ა, ბ), სამი ტევადობის დროს – სამტევადიანი (ნახ. 19) და ა.შ. ობიექტები.



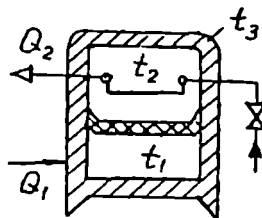
ნახ. 18. ორტევადიანი ობიექტები

ერთტევადიან ობიექტს აქვს ორი შემავალი პარამეტრი დატვირთვა Q_1 და მარეგულირებელი ზემოქმედება Q_2 . გამომავალი პარამეტრი (სარეგულირო პარამეტრი – H). ობიექტის წონასწორული მდგომარეობა ($H=const$), მყარდება მაშინ, როცა $Q_1 = Q_2$. მათ შორის ბალანსის დარღვევას (მაგ. $Q_1 > Q_2$) მიყვება. იქამდე, რომ დროის მცირე შუალედშიც ($d\tau$) კი ობიექტში გროვდება ენერჯის ან ნივთიერების გარკვეული რაოდენობა $(Q_1 - Q_2)d\tau$. იგი მთლიანად ხმარდება სარეგულირო პარამეტრის ცვლილებას (dH). შესაბამისად, სარეგულირო პარამეტრის ცვლილება პროპორციულია ობიექტში დაგროვებული ენერჯის

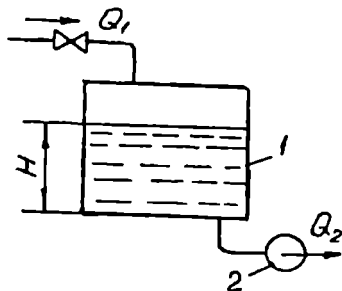
$$(Q_1 - Q_2)d\tau = CdH \quad (14)$$

ეს არის ერთ ტევადიანი ობიექტის დიფერენციალური განტოლება.

მიღებული განტოლების ინტეგრირებით შეგვიძლია ვიპოვოთ H პარამეტრის ცვლილების დამოკიდებულება დროსთან. ვთქვათ ერთტევადიან ობიექტში (ნახ. 17, ა) ვენტილ 2-ის ნაცვლად დაყენებული გვაქვს ტუმბო 2 (ნახ. 20), მაშინ, სითხის ხარჯი იქნება მუდმივი.



ნახ. 19. სამტევადიანი ობიექტი



ნახ. 20. ერთტევადიანი ობიექტი ტუმბოთი

მე-14 განტოლებიდან ვღებულობთ

$$H = \frac{Q_1 - Q_2}{C} \tau + H_0 \quad (15)$$

სადაც H_0 არის ინტეგრირების მუდმივა, სითხის დონის საწყისი მნიშვნელობა.

როცა $Q_1 = Q_2$, მაშინ $H = H_0$ დონის მომატების სიჩქარე

$$\frac{H - H_0}{\tau} = \frac{Q_1 - Q_2}{C} \quad (16)$$

მატულობს $Q_1 - Q_2$ სხვაობის მომატებით და კლებულობს ტევადობის C კოეფიციენტის გაზრდით.

6.2. თვითგაწონასწორება

თვითგაწონასწორება ეწოდება ობიექტის თვისებას, რომლის დროსაც ნივთიერების ან ენერჯიის მოდინებისა და ხარჯს შორის წარმოქმნილი სხვაობა რეგულატორის მონაწილეობის გარეშე მისწრაფის ნულისკენ, ხოლო სარეგულირო პარამეტრი კი - ახალი დამყარებული მნიშვნელობისკენ.

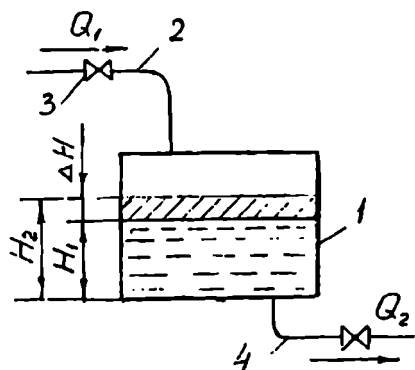
თვითგაწონასწორება წარმოადგენს ობიექტის დადებით თვისებას.

განვიხილოთ მაგალითი. 21, ა ნახაზზე მოცემული რეზერვუარისთვის I სარეგულირო სიდიდეს წარმოადგენს სითხის დონე H_1 . სითხის მიწოდება რეზერვუარში წარმოებს მილით 2, ხოლო სითხის ხარჯი რეგულირდება ვენტილით 3. რეზერვუარიდან სითხე გამოედინება მილით 4.

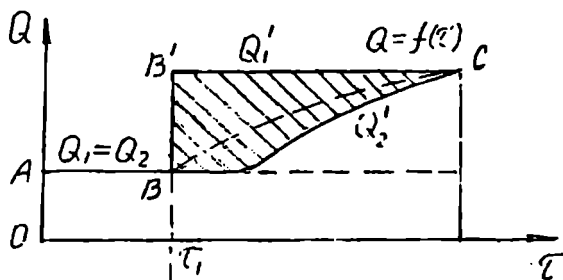
დამყარებული რეჟიმის დროს მიწოდებული სითხის რაოდენობა Q_1 უტოლდება სითხის ხარჯს Q_2 ($Q_1 = Q_2$); შესაბამისად $H_1 = \text{const}$. გრაფიკზე $H = f(\tau)$ ეს დამოკიდებულება გამოსახულია მონაკვეთით 0-დან τ_1 -მდე.

ვთქვათ τ_1 მომენტისათვის წყლის მიწოდება, ვენტილი 3 გაღებით, Q_1 -დან გაიზარდა Q_1' -მდე, შესაბამისად მოხდება რეზერვუარში სითხის დონის მომატება, რაც გამოიწვევს ჰიდროსტატიკური წნევის გაზრდას და შესაბამისად სითხის ხარჯი Q_2 -დან მოიმატებს Q_2' -მდე. ამრიგად, სითხის დონე დაიკაევს ახალ მდებარეობას $H_1 + \Delta H = H_2$, ხოლო c წერტილში მოდინებასა და ხარჯს შორის დამყარდება ახალი წონასწორული მდგომარეობა $Q_1' = Q_2'$. ე.ი. მოხდა ობიექტის თვითგაწონასწორება.

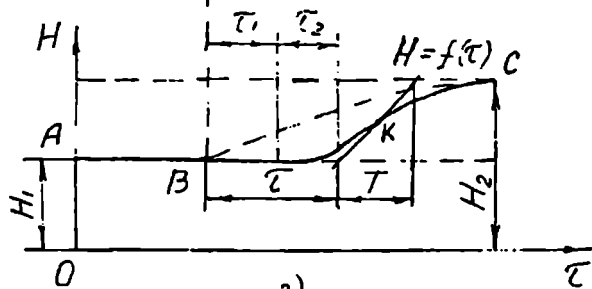
აღნიშნულ ნახაზზე ეს პროცესები ნაჩვენებია წყვეტილი ხაზებით.



ა)



ბ)



გ)

ნახ. 21. თვითგაწონასწორების მქონე ობიექტი

იმის განსასაზღვრავად თუ რამდენად ექვემდებარება ობიექტი ავტომატურ რეგულირებას შემოგვაქვს თვითგაწონასწორების კოეფიციენტის ცნება.

თვითგაწონასწორების დროს შეგვიძლია დაუშვათ, რომ მარეგულირებელი ორგანოს გადახრა პროცენტებში S_1 პირდაპირპროპორციულია ასევე პროცენტებში გამოსახული სარეგულირო პარამეტრის S_2 ე.ი. $S_1 = \rho S_2$, სადაც ρ არის პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელსაც ვუწოდებთ თვითგაწონასწორების კოეფიციენტს.

ამრიგად

$$\rho = \frac{S_1}{S_2}. \quad (17)$$

შესაბამისად, რაც უფრო მცირეა S_2 სარეგულირო პარამეტრის ცვლილების დიაპაზონი, მით მეტია ρ -ს მნიშვნელობა და მით უფრო გაადვილებულია რეგულატორის მუშაობა. თუ $\rho \approx 1$, პროცესის დარეგულირება შეიძლება რეგულატორის გარეშე, ხოლო თუ ρ ძალიან მცირე ობიექტის მუშაობა რეგულატორის გარეშე შეუძლებელია.

6.3. გაუწონასწორებლობა და დაგვიანება

რიგი სარეგულირო ობიექტებს არ შეუძლია თვითგაწონასწორება, შესაბამისად მათთვის აუცილებელია რეგულატორების გამოყენება. ასეთ ობიექტებს უწოდებენ გაუწონასწორებელს. 22, ა ნახაზზე ნაჩვენებია ერთ ტევადიანი, გაუწონასწორებელი სარეგულირო ობიექტის მაგალითი. რეზერვუარში 1 სითხის მიწოდება ხდება ტუმბოთი 2, ხოლო სითხისგან დაცლა კი წარმოებს ტუმბოთი 3. ობიექტი წონასწორულ მდგომარეობაშია მანამ, სანამ მიწოდებულ სითხის

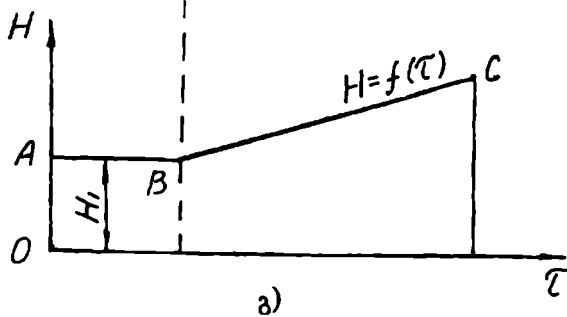
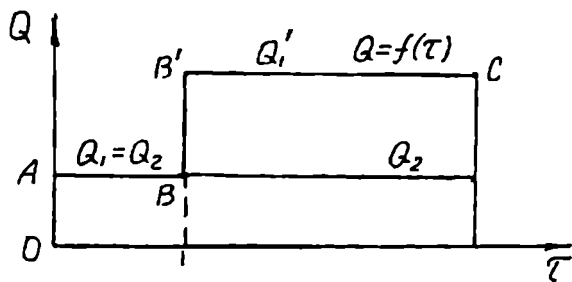
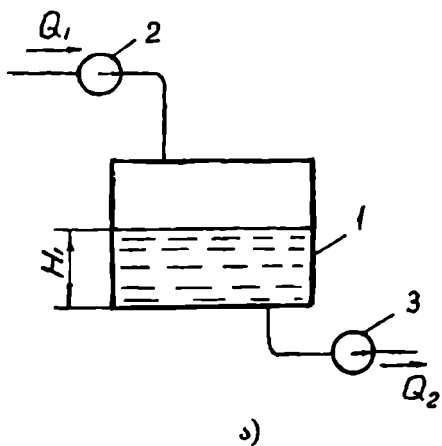
რაოდენობასა (Q_1) და ხარჯს (Q_2) შორის არსებული დამოკიდებულება უზრუნველყოფს რეზერვუარში სითხის H_1 ღონეს (ნახ. 22, ბ, გ). მოდინებული სითხის რაოდენობის გაზრდა Q_1 -მდე ვერ გაზრდის რეზერვუარიდან გამავალი სითხის ხარჯს Q_2 , რადგანაც გამომავალ მილსადენზე დაყენებული ტუმბოს 3 მწარმოებლობა შეზღუდულია. ამის გამო რეზერვუარში მოხდება სითხის ღონის გაზრდა და მისი ჭურჭლიდან გადმოდინება (ნახ. 22, ბ, გ).

მხოლოდ ერთ-ერთი ტუმბოს ხელით ან ავტომატური რეგულირებით (მწარმოებლობის ცკლილებით) იქნება შესაძლებელი წონასწორობის აღდგენა.

თვითგაწონასწოების ობიექტები მიეკუთვნება სტატიკურ სარეგულირო ობიექტებს, გაუწონასწოებლები კი - ასტატიკურს. სარეგულირო ობიექტებს ახასიათებთ ასევე პროცესების დაგვიანება.

ნახ. 21, ბ, გ წარმოდგენილი $Q = f(\tau)$ და $H = f(\tau)$ გრაფიკების აგებისას (წყვეტილი ხაზი) გათვალისწინებული არ იყო ის მომენტი, რომ სითხის გავლას მილსადენებში სჭირდება გარკვეული დრო, რომ ნებისმიერი პროცესი, რომელიც უკავშირდება მასის გადაადგილებას ინერციულია, რომ ნივთიერების რეზერვუარში მიწოდება და მასში სითხის ღონის აწევა წარმოებს გარკვეულ დროში.

რეალური პროცესი (უწყვეტი ხაზი) ამ მიზეზების გამო წარმოებს გარკვეული დაგვიანებით. დაგვიანების დრო შედგება ორი კომპონენტი-საგან. τ_1 ეწოდება სუფთა (სატრანსპორტო, დისტანციური) დაგვიანება, ხოლო τ_2 კი - ტევადობითი (გარდამავალი) დაგვიანება. სუფთა დაგვიანება ჩვენ შემთხვევაში გამოწვეულია მილის წინაღობით, ხოლო ტევადობითი - რეზერვუარის ტევადობით. აღნიშნული დაგვიანებების ჯამს $\tau_1 + \tau_2 = \tau$ ეწოდება სრული დაგვიანება. ნახ. 22 ბ-ზე წახაზული



ნახ. 22. სარეგულირო ობიექტის გაუნონანსორებლობა

უბანი შეესაბამება წყლის იმ რაოდენობას, რომელიც საჭიროა სითხის დონის H_1 -დან H_2 -მდე ასაწეევად, ხოლო $H - f(\tau)$ მრუდს კი ეწოდება ობიექტის გაქანების მრუდი.

ობიექტში დაგვიანების არსებობა არსებითად აუარესებს ავტომატური რეგულირების ხარისხს. ამიტომ ყოველთვის ცდილობენ მაქსიმალურად შეამცირონ მისი მნიშვნელობა სარეგულირო ობიექტის კონსტრუქციული ცვლილებებით.

რეგულირების მაღალი ხარისხის უზრუნველსაყოფად დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ავტომატური რეგულატორის მუშაობის ოპტიმალური რეჟიმის დადგენას, ამ მიზნით უნდა ვისარგებლოთ ობიექტის გაქანების მრუდით. წარმოებაში ეს მახასიათებლები აიღება მომუშავე ობიექტზე, ხოლო შემდეგ ხდება მიღებული მონაცემების დამუშავება შემდეგი თანამიმდევრობით:

1. ავლენენ მხებს მახასიათებელი მრუდის ყველაზე უფრო ციცაბო წერტილში (წერტილი K).

2. განისაზღვრება

ა) სრული დაგვიანება τ , წმ;

ბ) თვითგაწონასწორების კოეფიციენტი ρ ,

გ) ობიექტის გაქანების სიჩქარე $\varepsilon = \frac{1}{T\rho}$ 1/წმ.

მიღებული სიდიდეები τ , ρ , ε წარმოადგენენ იმ ძირითად მონაცემებს, რომლებიც გამოიყენება ავტომატური რეგულატორის აწყობისთვის.

7. პირდაპირი ქმედების რეგულატორი

როგორც აღენიშნეთ პირდაპირი ქმედების რეგულატორებში, მარეგულირებელი ორგანოს გადაადგილება წარმოებს უშუალოდ მგრძნობიარე ელემენტის ზემოქმედებით, ეს რეგულატორები არ შეიცავენ შუალედურ გარდამქმნელებს (გამაძლიერებელი და ა.შ.).

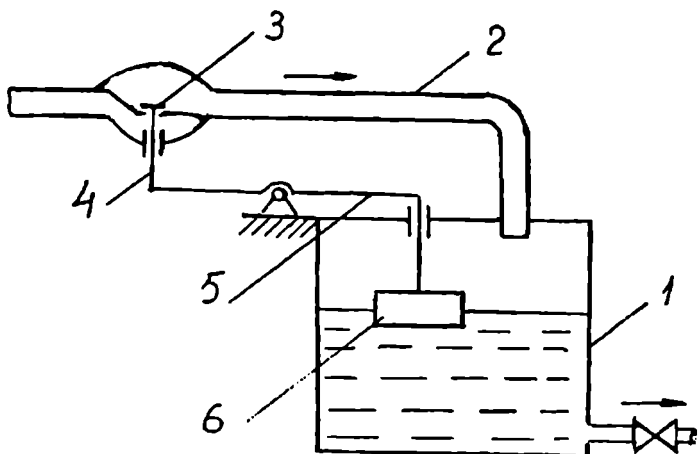
ამ თავისებურებიდან გამომდინარე რეგულატორებს არ შეუძლიათ შექმნან მნიშვნელოვანი ძალა მარეგულირებელი ორგანოს გადასადგილებლად, რადგანაც როგორც წესი მგრძნობიარე ელემენტი მცირე გაბარიტებისაა. ისინი არ არიან გათვალისწინებული რთული მარეგულირებელი ზემოქმედებისა და დისტანციური მოქმედებისათვის.

მიუხედავად ამ ხარვეზისა პირდაპირი ქმედების რეგულატორები ფართოდ გამოიყენება ღონის, ტემპერატურის, წნევის და ა.შ. რეგულირებისათვის.

23-ე ნახაზზე ნაჩვენებია ღონის პირდაპირი ქმედების რეგულატორი. რეზერვუარში 1 სითხის მიწოდება წარმოებს მილსადენით 2, რომელშიც მოთავსებული სარქველი მარეგულირებელი ორგანოთი 3. ეს უკანასკნელი ჭოკით 4 და ბერკეტით 5 უკავშირდება მგრძნობიარე ელემენტს (ტივტივას) 6.

რეზერვუარში 1 სითხის ღონის მომატებისას ტივტივა 6 სითხესთან ერთად იწვევს ზევით, შესაბამისად ბერკეტი 5, ჭოკთან 4 ერთად შემობრუნდება გარკვეული კუთხით სახსარი 7 ირგვლივ საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით, რაც გამოიწვევს სარქველის ნაწილობრივ ჩაკეტვას, ე.ი. შემცირდება მიწოდებული სითხის რაოდენობა, პროცესი გაგრძელდება მანამ, სანამ რეზერვუარში არ აღდგება თავდაპირველი მდგომარეობა.

სითხის ღონის შემცირებისას რეგულატორი იმოქმედებს საპირისპირო მიმართულებით.

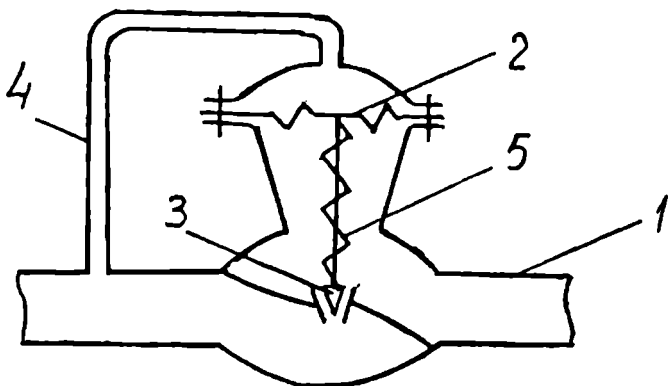


ნახ. 23. ღონის პირდაპირი ქმედების რეგულატორი

24-ე ნახაზზე ნაჩვენებია წნევის პირდაპირი ქმედების რეგულატორი. რეგულირო უბანს წარმოადგენს მილგაყვანილობის 1 უბანი, სადაც ხდება გაზის მიწოდება. მოცემულ რეგულატორში მგრძნობიარე ელემენტს წარმოადგენს მემბრანა, 2, ხოლო მარეგულირებელ ორგანოს კი სარქველი 3. მგრძნობიარე ელემენტსა და მემბრანას შორის არსებობს პირდაპირი ხისტი კავშირი, რაც იმას ნიშნავს, რომ მემბრანის დეფორმაციის შემთხვევაში მოძრაობაში მოდის სარქველი.

ვთქვათ მილსადენში გაიზარდა გაზის წნევა, ე.ი. დაირღვა მოცემული წონასწორული მდგომარეობა; ამ დროს მილსადენით 4 ჭარბი წნევა იმოქმედებს რა მემბრანაზე 2 მოახდენს მის დეფორმაციას-ჩაღუნვას, რის გამოც მოხდება სარქველის გადაადგილება ნაწილობრივი ჩაკეტვისკენ. რის შედეგადაც შემცირდება სისტიმაში გაზის მიწოდება მანამ სანამ არ აღდგება თავდაპირველი მდგომარეობა.

მემბრანის 2 ზამბარა 5 ზრდის მემბრანის სიხისტეს. იგი ტარირებულია წნევის მიხედვით და მისი დაჭიმულობის შეცვლით რეგულატორი შეგვიძლია ვამუშაოთ სასურველ წნევაზე.



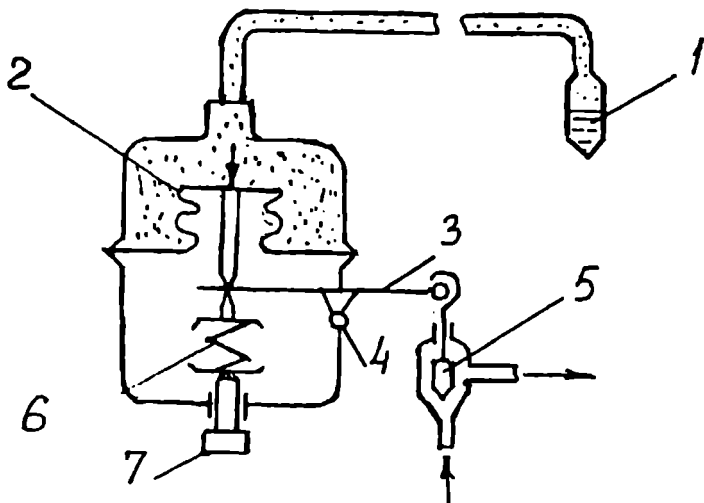
ნახ. 24. წნევის პირდაპირი ქმედების რეგულატორი

სისტემაში წნევის შემცირების რეგულატორი მოქმედებს საპირის-პირო მიმართულებით.

ტემპერატურის პირდაპირი ქმედების რეგულატორში (ნახ. 25) მგრძნობიარე ელემენტს წარმოადგენს ბალონი 1, რომელიც შევსებულია სპეციალური სითხით. ბალონი მოთავსებულია იმ არეში, სადაც ხდება ტემპერატურის რეგულირება.

ტემპერატურის გაზრდით სითხის ნაწილი ბალონში იწყებს დუღილს, წარმოქმნილი აირი მომატებული წნევით მოქმედებს სილფონზე 2, რომლის დეფორმაცია იწყებს ბერკეტი 3 მობრუნებას სახსარი 4-ის ირგვლივ. ბერკეტის მეორე ბოლო დაკავშირებულია მარეგულირებელ სარქველთან 5. სარქველის გაღება-დაკეტვა უზრუნველყოფს მაცივარი აგენტის სათანადო რაოდენობით მიწოდებას სარეგულირო ობიექტში.

ზამბარის 6 დაჭიმულობა რეგულირდება ხრახნის 7 საშუალებით. ხრახნის 7 გადაადგილება ცვლის ტემპერატურის რეგულირების დიაპაზონს.



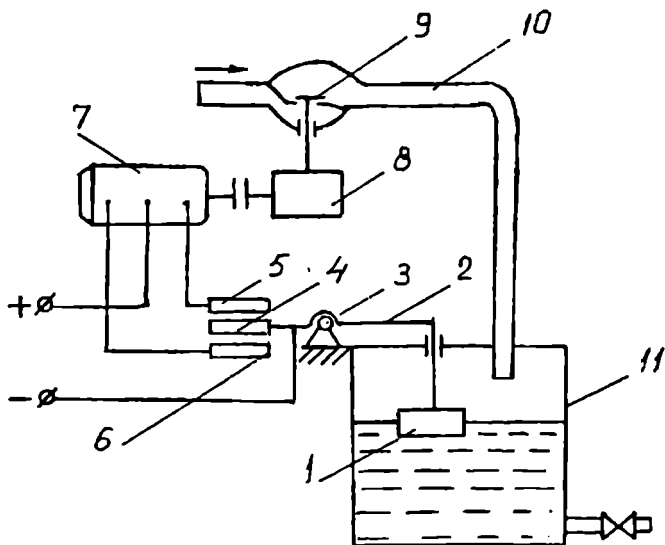
ნახ. 25. ტემპერატურის პირდაპირი ქმედების რეგულატორი

8. არაპირდაპირი ქმედების რეგულატორები

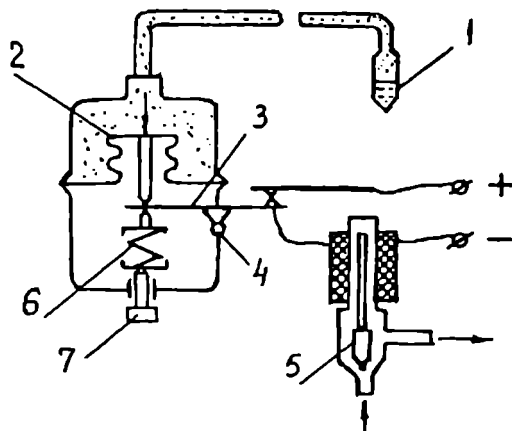
არაპირდაპირი ქმედების რეგულატორში მგრძნობიარე ელემენტის მიერ გადაცემული იმპულსის არასაკმარისია მარეგულირებელი ორგანოს ასამოძრავებლად. ამიტომ იყენებენ დამატებით მექანიზმს - გამაძლიერებელს.

26-ე ნახაზზე ნაჩვენებია დონის, ხოლო 27-ე ნახაზზე კი ტემპერატურის არაპირდაპირი ქმედების რეგულატორები.

დონის რეგულატორში მგრძნობიარე ელემენტს წარმოადგენს ტივტივა 1, რომელიც ბერკეტით 2, სახსარი 3 საშუალებით უკავშირდება მოძრავ კონტაქტს 4. იგი მოთავსებულია უძრავ 5 და 6 კონტაქტებს შორის. სითხის დონის ცვლილებით ხდება ტივტივას 1 ზევით ან ქვევით გადაადგილება, შესაბამისად მოძრავი კონტაქტი 4 შეეხება და ჩართავს ერთ-ერთ უძრავ კონტაქტს. რის შემდეგაც



ნახ. 26. ღონის არაპირდაპირი ქმელების რეგულატორი



ნახ. 27. ტემპერატურის არაპირდაპირი ქმელების რეგულატორი

შეიკვრება ელექტრო წრედი და ჩაირთვება ელექტრო ძრავი 7, რომელსაც ჭია რედუქტორის 8 დახმარებით მოძრაობაში მოყავს მარეგულირებელი ორგანო-სარქველი 9.

მილსადენში 10 სითხის ხარჯის შემცირებისას რეზერვუარში 11 მოიკლებს სითხის დონე, ტივტივა 1 გადაადგილდება ქვემოთ, რის გამოც ბერკეტი 3 შემოტრიალდება სახსრის 5 ირგვლივ საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით, მოძრავი კონტაქტი 4 შეეხება უძრავ კონტაქტს 5; ჩაირთვება ელექტრო ძრავი 7. გაიღება სარქველი 9 და მოიმატებს სითხის ნაკადი, სანამ რეზერვუარში არ აღდგება პირვანდელი დონე.

რეზერვუარში სითხის დონის მომატების შემთხვევაში რეგულატორის მარეგულირებელი ორგანო გადაადგილდება საპირისპირო მიმართულებით ე.ი. მოხდება სარქველის 9 ნაწილობრივ ჩაკეტვა წონასწორული მდგომარეობის აღდგენამდე.

ტემპერატურის არაპირდაპირ რეგულატორში მგრძნობიარე ელემენტიდან (თერმობალონი 1) წამოსული სიგნალის გასაძლიერებლად გამოყენებულია ელექტრომაგნიტი 2. იგი მოძრაობაში მოდის ენერგიის გარეშე წყაროდან 3. სარეგულირო ობიექტში ტემპერატურის ცვლილებით გამოწვეული იმპულსი გადაეცემა რა კონტაქტებს 4 იწვევს მათ ჩაკეტვას, წარმოქმნილი დენი ჩართავს რა გარე ენერგიის წყაროს იმოქმედებს ელექტრომაგნიტზე 2 და აამოქმედებს მარეგულირებელ ორგანოს-სარქველს 5.

9. უწყვეტი ქმედების რეგულატორები

სარეგულირო ობიექტზე ზემოქმედების მიხედვით არჩევენ უწყვეტი, რელეური და იმპულსური (პერიოდული) ქმედების რეგულატორებს.

უწყვეტი რეგულირება ეწოდება ისეთ რეგულირებას, რომლის დროსაც სარეგულირო პარამეტრის უწყვეტი ცვლილებისას ხდება

აშსრულებელი მექანიზმის მარეგულირებელი ორგანოს უწყვეტი გადაადგილება.

უწყვეტი ქმედების რეგულატორებს მიეკუთვნება სტატიკური, ასტატიკური და იზოდრომული რეგულატორები.

9.1. სტატიკური რეგულატორები

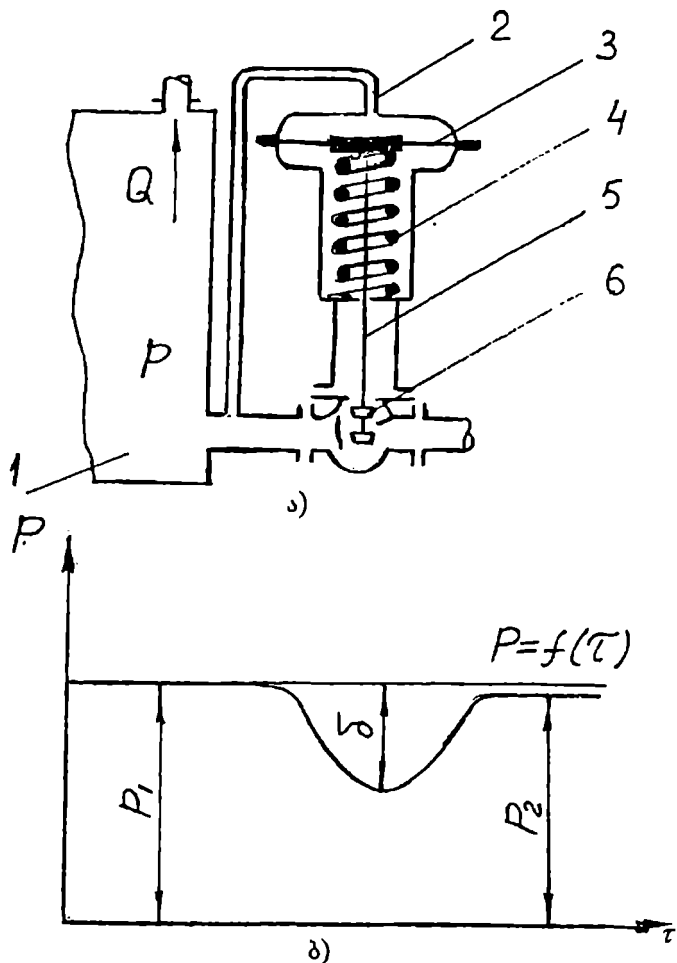
სტატიკური ეწოდება ისეთ რეგულატორებს, სადაც სარეგულირო პარამეტრის გადახრა, მოცემული მნიშვნელობიდან, იწვევს მარეგულირებელი ორგანოს გადაადგილებას, ამ გადახრის პროპორციულ სიდიდეზე.

სხვა სიტყვებით, რომ ვთქვათ სტატიკური რეგულატორის მარეგულირებელი ზემოქმედება პროპორციულია სარეგულირო სიდიდის გადახრისა. ამიტომ ასეთ რეგულატორებს პროპორციულ (პ-რეგულატორი) რეგულატორებსაც უწოდებენ.

განმარტებიდან გამომდინარეობს, რომ სარეგულირო პარამეტრის ყოველ მნიშვნელობას შეესაბამება მარეგულირებელი ორგანოს განსაზღვრული მდებარეობა.

28,ა ნახაზზე მოცემულია პირდაპირი ქმედების წნევის სტატიკური რეგულატორის სქემა. მისი დანიშნულებაა უზრუნველყოს მუდმივი წნევა სარეგულირო ობიექტში 1. ობიექტში არსებული წნევა საიმპულსო მილით 2 უკავშირდება მემბრანას 3, რომელიც ჭოკით 5 უკავშირდება სარქველს 6. მემბრანა გაწონასწორებულია ზამბარით 4, რომლის დაჭიმულობაც რეგულირდება სპეციალური ხელსაწყოთი (ნახაზზე ნაჩვენები არ არის).

როცა ობიექტში დამყარებულია წონასწორობა, მაშინ მასზე მოსული დატვირთვა Q შეესაბამება მოცემულ რეჟიმს და წნევას აქვს შესაბამისი P_1 მნიშვნელობა (ნახ. 28, ბ).



ნახ. 28. წნევის სტატიკური რეგულატორი

ა - პრინციპული სქემა; ბ - სტატიკური რეგულირების პროცესის მრუდი

ვთქვათ ობიექტზე მოსული დატვირთვა გაიზარდა და გაზდა Q_1 . ამის გამო ობიექტში წნევა P_1 შემცირდება. მემბრანა 3 ზამბარის 4 საშუალებით აიღუნება ზევით და შესაბამისად უფრო მეტად გაიღება

სარქველი 6. ობიექტში დაიწყება წნევის აღდგენა, მანამ სანამ არ აღდგება წონასწორული მდგომარეობა. რადგანაც ზამბარამ განიცადა დეფორმაცია, ამიტომ ახალი წონასწორული მდგომარეობისთვის საჭირო იქნება უფრო ნაკლები წნევის (P_2) სიდიდე. წნევათა აღნიშნულ სხვაობას $\Delta P = P_1 - P_2$ ეწოდება რეგულატორის სტატიკური ცლომილება, ხოლო წნევის იმ უდიდეს გადახრას (δ), რომელიც წარმოიქმნება ობიექტის დაუმყარებელ რეჟიმში ყოფნისას ეწოდება რეგულატორის დინამიკური ცლომილება.

დატვირთვის მორიგი ცვლილებისას რეგულატორი კვლავ აღადგენს წონასწორულ მდგომარეობს ახალი სტატიკური ცლომილებით. ამრიგად აღნიშნულ რეგულატორს, თავისი მოქმედების პრინციპიდან გამომდინარე, არ შეუძლია იმუშაოს სტატიკური ცლომილების გარეშე, დატვირთვის როგორც გაზრდის, ისე შემცირების შემთხვევაში.

სტატიკური რეგულატორები უზრუნველყოფენ საიმედო რეგულირებას და აქვთ მარტივი კონსტრუქცია. ამიტომ ისინი ფართოდ გამოიყენებიან პრაქტიკაში, კერძოდ ისეთ ტექნოლოგიურ პროცესებში, სადაც დასაშვებია რეგულირების გარკვეული სტატისტიკური ცლომილება.

9.2. ასტატიკური რეგულატორები

განხილულ მაგალითში სტატიკური ცლომილების მიზეზს წარმოადგენდა ხისტი კავშირი მარეგულირებელ ორგანოსა და მგრძნობიარე ელემენტს (მემბრანა) შორის ანუ ზამბარის არსებობა.

ამრიგად, რეგულატორში სტატიკური ცლომილების თავიდან ასაცილებლად საჭირო ზამბარა შევცვალოთ სხვა ისეთი რგოლით, რომელიც თავიდან აგვაცილებდა ამ მოვლენას. 29, ა ნახაზზე მოცემულია სტატისტიკური რეგულატორის კონსტრუქციული ცვლილება. ზამბარის ნაცვლად გამოყენებულია ბერკეტი 1 ტვირთით 2.

დავამტკიცოთ, რომ ასეთი რეგულატორი მუშაობისას არ მოგვცემს სტატიკურ ცდომილებას.

მემბრანის 3 წონასწორობა გამოისახება ტოლობით

$$G = pF \quad (18)$$

სადაც G არის მემბრანაზე ქვევიდან ზევით მოქმედი ძალა, ნ;

p - წნევა მემბრანის ზედაპირზე, პა;

F - მემბრანის ზედაპირის ფართობი, მ².

G ძალა შეიძლება განისაზღვროს ძალთა მომენტის შემდეგი განტოლებიდან

$$Gl_1 = ql_2. \quad (19)$$

მივიღებთ

$$G = q \frac{l_2}{l_1} \quad (20)$$

სადაც q არის ტვირთის სიმძიმის ძალა, ნ;

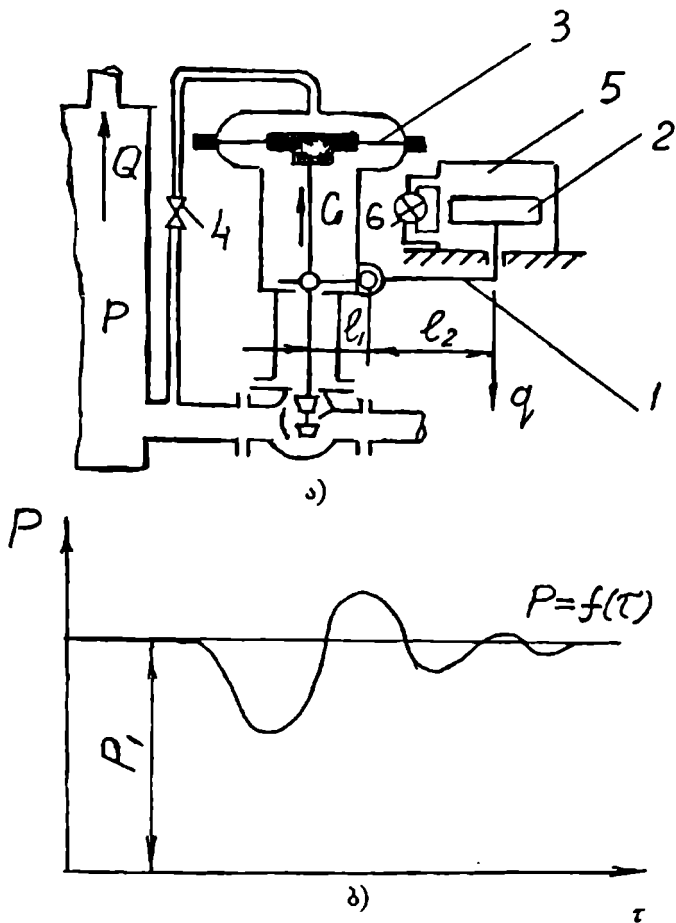
l_1 და l_2 - ბერკეტის მხრები, მ.

მაშასადამე

$$p = q \frac{l_2}{Fl_1}. \quad (21)$$

რეგულატორის მუშაობისას l_2 , l_1 , q და F მუდმივი სიდიდეებია, ამიტომ სარეგულირო ობიექტზე ნებისმიერი Q გარე დატვირთვისას წნევა p დარეგულირდება სტატიკური ცდომილების გარეშე. რეგულატორის ეს თვისება ნაჩვენებია რეგულირების მახასიათებელ მრუდზე $p = f(\tau)$ (ნახ. 29, ბ).

ავტომატურ რეგულატორს, რომელიც ახდენს რეგულირებას სტატიკური ცდომილების გარეშე, დატვირთვისა და მარეგულირებელი ორგანოს მდებარეობის მიუხედავად, ეწოდება ასტატიკური რეგულატორი.



ნახ. 29. წნევის ასტატიკური რეგულატორი

ა - პრინციპული სქემა; ბ - ასტატიკური რეგულირების პროცესის შრული

თუმცა ასტატიკური რეგულირების სისტემას აქვს სერიოზული უარყოფითი მხარე - რეგულირების ცუდი მდგრადობა გარდამავალ პროცესში. განხილულ მაგალითში, მემბრანაზე წნევის მკვეთრი ცვლილებისას მარეგულირებელი ორგანო არ გადაადგილდება მდორედ. ინერციის ძალების მოქმედებით ტვირთმა მარეგულირებელ

სარქველთან ერთად შეიძლება იხტუნოს ზევით ან ქვევით. ამასთან ერთად წარმოიქმნება მრავალჯერადი გადამეტრეგულირება, რაც კარგად ჩანს განხილულ გრაფიკზე.

აღნიშნული უარყოფითი თვისების გამო ასტატიკური რეგულატორები ნაკლებად გამოიყენება ტექნიკაში. ისინი ძირითადად იხმარება გაქანების მცირე სიჩქარის მქონე ობიექტებში, რადგანაც სხვა შემთხვევებში მუშაობენ არამდგრადად.

რეგულირების პროცესის მდგრადობის ასამაღლებლად, ამცირებენ მარეგულირებელი ორგანოს გადაადგილების სიჩქარეს. განხილულ მაგალითში გამოყენებულია დროსელი 4, ჰიდრავლიკური დემპფერი 5 შემოვლითი არხით, რომელზეც მოთავსებულია ნემსისებრი სარქველი 6.

ცნობილია, რომ დემპფერის წინაღობა პროპორციულია დგუშის (ტვირთის) გადაადგილების სიჩქარის და შესაბამისად სარქველის სიჩქარის. დროსელის და დემპფერის ნებისმიერი სარქველის გალების სიდიდის ცვლილებით შესაძლებელია რეგულატორის მუშაობის გაუმჯობესება გარდამავალ პროცესში.

9.3. იზოდრომული რეგულატორები

იზოდრომული^{*} რეგულირების არსის გასაგებად კიდევ ერთხელ გავიხსენოთ ბერკეტულ-დემპფერული მოწყობილობის და ზამბარის დანიშნულება განხილულ რეგულატორებში.

აღნიშნული მოწყობილობები მოცემულ სისტემებში ასრულებენ უკუკავშირის როლს, რადგანაც მათი მოქმედება მიმართულია მარეგულირებელი ზემოქმედების საპირისპიროდ. პირველ შემთხვევაში (დრეკადი უკუკავშირი) რეგულატორში რეგულირების ზარისხი უმჯობესდება გარდამავალი პროცესის შემდეგ და ამავე დროს

^{*} isodromos (ბერძნ.) – თანაბარი სირბილი

უარესდება გარდამავალ პროცესში (ნახ. 29, ბ), მყარი უკუკავშირის დროს კი ხდება პირიქით (ნახ. 28, ბ).

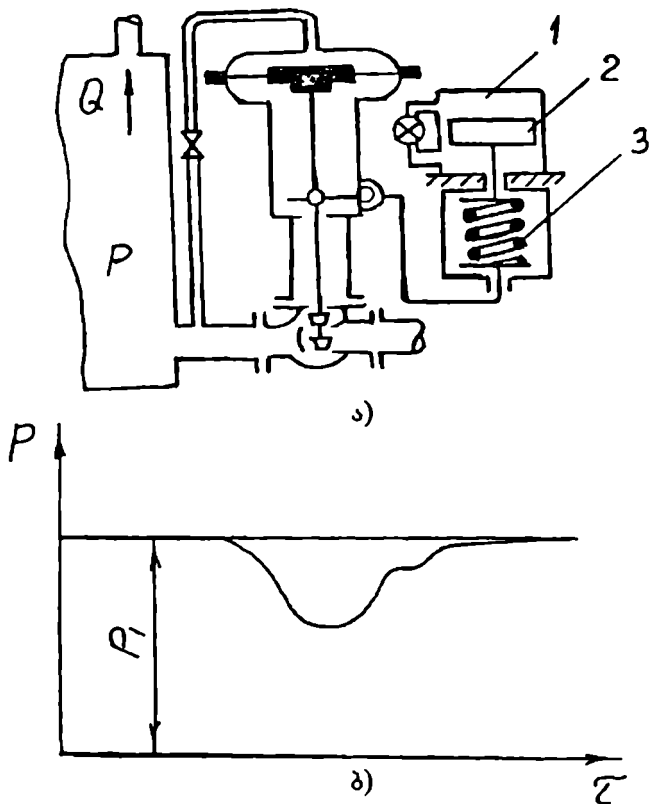
ცხადია, რომ ამ რეგულატორების სრულყოფისათვის საჭიროა მოვახდინოთ ზამბარის და დემჰფერის კომბინირება.

30, ა ნახაზზე ნაჩვენებია ასეთი კომბინირებით მიღებული რეგულატორის სქემა. ვთქვათ შეიცვალა დატვირთვა სარეგულირო ობიექტზე, შესაბამისად რეგულატორი ცდილობს აღადგინოს წონასწორული მდგომარეობა. გარდამავალი პროცესის დასაწყისში დემჰფერის 1 დგუში 2 ცდილობს შეინარჩუნოს საწყისი მდგომარეობა, შესაბამისად რეგულირებაში ჩართულია მხოლოდ ზამბარა 3, რომელიც უზრუნველყოფს რხევების ჩაქრობას, როგორც ეს ხდებოდა სტატიკურ რეგულატორში. გარდამავალი პროცესის ბოლოს, როცა პროცესის სიჩქარე მცირდება, მუშაობაში ერთვება პიდრავლიკური დემჰფერი, რომელიც ჩააქრობს რეგულირების სტატიკურ ცდომილებას.

პროცესის რეგულირების მრუდი (ნახ. 30, ბ) ნათლად გვიჩვენებს რეგულატორის სტატიკური და დინამიკური და ასტატიკური რეგულატორების დადებითი თვისებები. სტატიკური ცდომილება იმდენად მცირე, რომ იგი არ განიხილება.

ასეთი სახის უკუკავშირის მქონე მოწყობილობას, სადაც შეერთებულია სტატიკური და ასტატიკური რეგულატორების თვისებები, ეწოდება იზოდრომული რეგულატორი.

ტექნიკაში გამოიყენება იზოდრომული რეგულატორები, რომლებიც განსხვავდებიან მოქმედების პრინციპით: სითხის ან აირის მდორედ გადაღინებისთვის ერთ ჭურჭლიდან მეორეში (პიდრავლიკური იზოდრომი), იზოლაციით დაფარული თერმოწყვილის ნელა გაცივებისათვის (ელექტროთერმული იზოდრომი) და ა.შ.



ნახ. 30. წნევის იზოღრომული რეგულატორი
 ა - პრინციპული სქემა; ბ - იზოღრომული რეგულირების
 პროცესის მრუდი

9.4. რელეური რეგულირება

რელეური რეგულირების მაგალითს წარმოადგენს მილსადენში თხევადი პროდუქტის ხარჯის მუდმივობის შესანარჩუნებელი მოწყობილობა (ნახ. 31, ა).

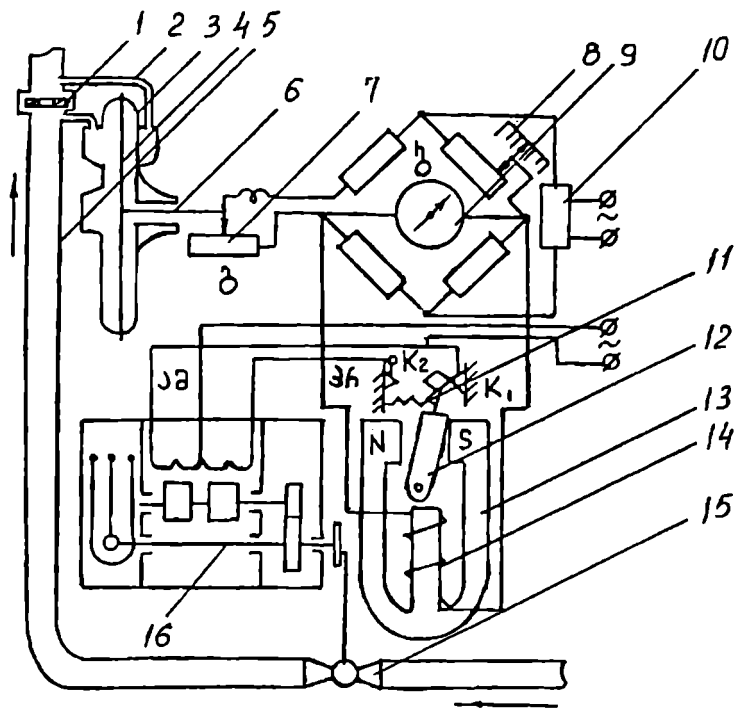
სისტემის ძირითად რგოლებს წარმოადგენს: ბ გადამწოდი, ბ ბოგირი, პრ პოლიაზირებული რელე და ამ ამსრულებელი მექანიზმი. გადამწოდი წარმოადგენს მავთულიან რეოსტატს 7, რომლის ცოცია, ჭოკით 6, დაკავშირებულია მემბრანული გამზომი ხელსაწყოს 3 მემბრანასთან 4. ამ ხელსაწყოს მარცხენა და მარჯვენა საკნები იმპულსური მილაკებით 2 მიერთებულია მილსადენთან 5.

შემაჯიწროებელი მოწყობილობით 1, გამზომი მოწყობილობა 3, უწყვეტად ზომავს მილსადენში წნევათა $P_1 - P_2$ სხვაობას და შესაბამისად პროდუქტის ხარჯსაც, რადგანაც წნევათა სხვაობა პროპორციულია მილსადენში გამაკალი ნივთიერების ხარჯის კვადრატის.

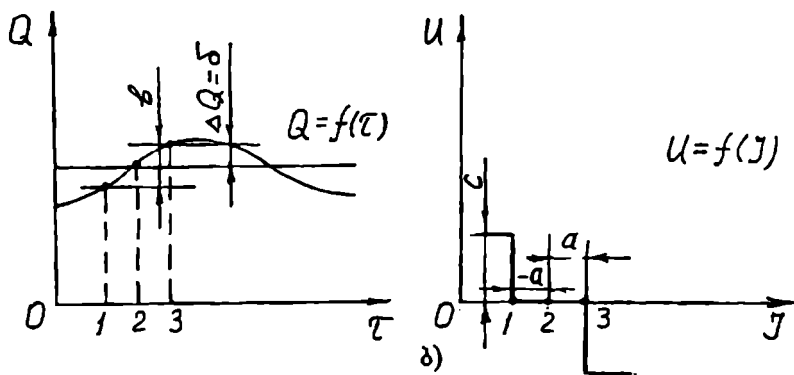
რაც მეტია $P_1 - P_2$ მით მეტად იღუნება მემბრანა, მით უფრო შორს გადაადგილდება რეოსტატის 7 ცოცია და პირიქით. რეოსტატი 7 ჩართულია ბ ბოგირის სქემაში. ბოგირი მიერთებულია მუდმივი დენის წყაროსთან 10. ხელით სარეგულირო მოწყობილობით 8 ხდება ბოგირის აწყობა, პროდუქტის მოცემული მუდმივი ხარჯის შესაბამისად. ამ დროს პრ პოლიაზირებული რელეს კოჭაში 14 დენი არ იქნება. ზამბარა 11 ინარჩუნებს ღუზის 12 ვერტიკალურ (ნეიტრალურ) მდებარეობაში.

როცა ხარჯი შეიცვლება, მოცემულთან შედარებით, დაირღვევა ბოგირის წონასწორობა. რელეს კოჭაში აღიძვრება დენი, რომლის მიმართულება დამოკიდებულია სარეგულირო სიდიდის გადახრის ნიშანზე, ე.ი. ხარჯის გაზრდაზე ან შემცირებაზე.

დენის ისეთ მიმართულებაზე, როგორც ეს ნაჩვენებია სქემაზე, დამავნიტებული ღუზა 12 მიიზიდება მუდმივი მაგნიტის 13 სამხრეთ N პოლუსისკენ და ჩაიკეტება კონტაქტი K_1 . ამ დროს ქსელიდან ძაბვას მიიღებს ამ ამსრულებელი მექანიზმის მარცხენა სტატორი. თუ კოჭაში დენის მიმართულება შეიცვლება, მაშინ ღუზა მიიზიდება მაგნიტის ჩრდილო N პოლუსისკენ და ჩაიკეტება კონტაქტი K_2 . ძაბვას მიიღებს ამ



ა)



ბ)

ნახ. 31. რელეური რეგულირება

ამსრულებელი მექანიზმის მარჯვენა სტატორი. ამის შედეგად როტორის ლილევი 16, მიიღებს რა პირდაპირ ან უკუ ბრუნვით ძრაობას, გაზრდის ან შეამცირებს სარქველი 15 გაღებას. მილსადენში აღსდგება წონასწორული მდგომარეობა. რეგულირების პროცესი კონტროლდება მზომი საკონტროლო ხელსაწყოთი 9.

რელეური რეგულირების არსის გასარკვევად განვიხილოთ ხარჯის ცვლილების $Q = f(\tau)$ (ნახ. 31, ბ) და გამომავალი სიდიდის (ძაბვა ამ ამსრულებელ მექანიზმში) შემავალ სიდიდესთან (დენის სიდიდე რელეს კოჭაში) $U = f(\tau)$ (ნახ. 31, გ) დამოკიდებულების მრუდები.

ღუზის ნეიტრალურ მდგომარეობას შეესაბამება ძაბვა $U = 0$ ამ ამსრულებელი მექანიზმის შემავალ ხაზზე (წერტილი 2). ძაბვა სიდიდით C მიეწოდება ამ მექანიზმის ერთ-ერთ ხეიას, კონტაქტებით K_1 ან K_2 , მხოლოდ მაშინ როცა ხარჯის გადახრა $\pm \Delta Q = \delta$. ხელსაწყოს ასეთი მოქმედება აიხსნება ზამბარის 11 და კონტაქტებს შორის გარკვეული მანძილის არსებობით.

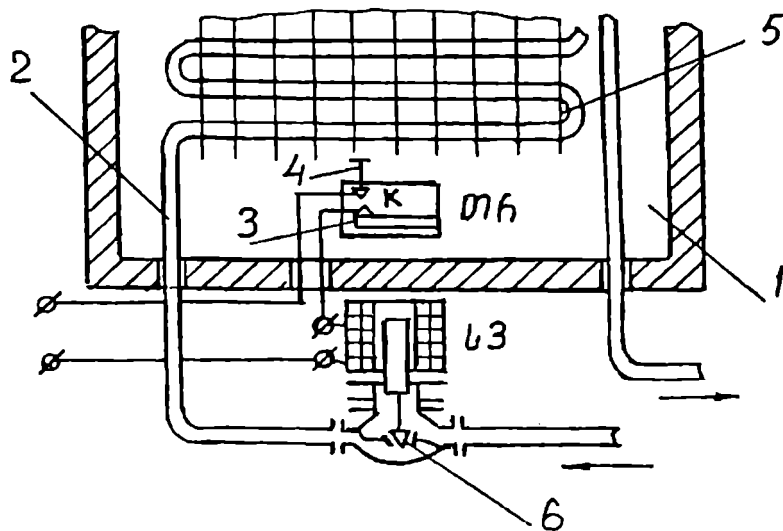
ამ წინააღობების გადასალახავად დენის ძალა ბ ბოგირის გამომავალ მომჭერებზე უნდა იყოს არა უმცირესი $+a$ ან $-a$.

b სიდიდეს $Q = f(\tau)$ გრაფიკზე ეწოდება რეგულატორის არამგრძნობიარე ზონა, 1-3 ინტერვალს, K_1 და K_2 კონტაქტების ჩართვას შორის - რელეს არამგრძნობიარე ზონა, მრუდს $U = f(I)$ - რელეს სტატიკური მახასიათებელი.

ამრიგად რელეური რეგულირების მახასიათებელ ელემენტს წარმოადგენს რელეური რგოლი და რეგულირების მცირე ცდომილება, რაც გამოწვეულია რეგულატორის არამგრძნობიარე ზონის არსებობით.

რელეურ რეგულირებას მიეკუთვნება პოზიციური რეგულირებაც. მის მაგალითს წარმოადგენს ტემპერატურის რეგულირება სამაცივრო

დანადგარის საკანში (ნახ. 32). სისტემის ძირითადი რგოლებია თრ თბური რელე და სვ სოლენოიდური ვენტილი. თბური რელე შედგება ბიმეტალური ფირფიტისგან 3 და K კონტაქტებისგან. მათ შორის მანძილი რეგულირდება ხრახნით 4.



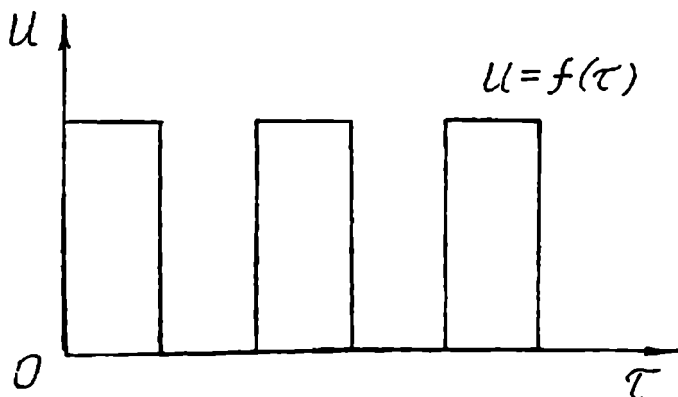
ნახ. 32. პოზიციური რეგულირება

სამაციერო საკნის გაცივება წარმოებს მარილხსნარით; იგი ბატარეას 5 მიეწოდება ტუმბოთი მილსადენის 2 საშუალებით. თუ საკანში 1 ტემპერატურა აღემატება დასაშვებს, K კონტაქტები ჩაკეტილია და სვ სოლენოიდური ვენტის კოჭაში გადის დენი; ამიტომ მარეგულირებელი ორგანო 6 ღიაა. როცა ტემპერატურა დაიწევს, ბიმეტალური ფირფიტა 3 გადაადგილდება ქვემოთ, K კონტაქტები იღება და მარეგულირებელი ორგანო 6 იკეტება.

მოცემული რეგულატორს აქვს რელეური რგოლი და ხასიათდება რეგულირების გარკვეული ცდომილებით, რაც გამოწვეულია რელეს არამგრძნობიარე ზონით.

რელეურ და პოზიციურ რეგულირებას შორის მკვეთრი განსხვავება არ არსებობს. პირველ შემთხვევაში რელეს და ამსრულებელ მექანიზმს აქვს სამი პოზიცია: „ჩართულია მარცხნივ“, „ნეიტრალური“, „ჩართულია მარჯვნივ“. მეორე შემთხვევაში – „ჩართულია“ და „გამორთულია“. ამიტომ პირველ მათგანს ეწოდება სამპოზიციური, მეორეს – ორპოზიციური.

იმპულსური რეგულირების დროს რელეური რგოლის ნაცვლად სისტემას გააჩნია იმპულსური რგოლი, რომელიც ხასიათდება გამომავალი სიდიდის (მაგალითად ძაბვის) წყვეტილი, იმპულსური გამომავალი სიდიდის (მაგალითად ძაბვის) წყვეტილი, იმპულსური მნიშვნელობებით. ასეთი რეგულატორის $U = f(\tau)$ მახასიათებელი ნაჩვენებია 33-ე ნახაზზე.



ნახ. 33. იმპულსური რეგულატორის მახასიათებელი მრუდი

იმპულსური რეგულირების ხარისხი დამოკიდებულია არამგრძობიარე ზონის სიდიდეზე, ამავე დროს იმპულსურ რეგულატორებს აქვთ უფრო მეტი ტექნიკური საშუალებები ასეთი ზონების მაქსიმალურად შესამცირებლად.

10. ავტომატური მოწყობილობების ელემენტები

10.1. გადამწოდები

გადამწოდები ეწოდება მგრძობიარე ელემენტს, რომელიც მიღებულ გეომეტრიულ. ფიზიკურ ან ქიმიურ სიდიდეებს გარდაქმნის ელექტრულ, პნევმატიკურ, ჰიდრავლიკურ ან სხვა სახის სიგნალად და გადასცემს მათ მართვისა და რეგულირების რგოლებში .

მოქმედების პრინციპის მიხედვით გადამწოდები არის, კონტაქტური, წინალობის, ელექტრომაგნიტური, ტევადობითი, ტემპერატურული, პნევმატიკური და ა.შ.

მარეგულირებელ ორგანოზე მოქმედების მიხედვით გადამწოდები შეიძლება იყოს:

პირდაპირი ქმედების, რომლის მგრძობიარე ელემენტში, მისი პარამეტრების ცვლილების, აღძრული ძალა გადაადგილებს მარეგულირებელ ორგანოს.

არაპირდაპირი ქმედების, რომლის პარამეტრების ცვლილება შეიძლება გამოყენებული იქნას მხოლოდ გარეგანი ენერჯიის (უმეტეს შემთხვევაში ელექტრულის) გაძლიერებით.

გადამწოდი, როგორც წესი, მუშაობს გამზომ ელემენტთან კომპლექსში, გამზომ ელემენტში ვგულიმხმობთ ავტომატური რეგულატორის იმ რგოლს, რომელიც ზომავს სარეგულირო პარამეტრის გადახრას მოცემული მნიშვნელობიდან. ავტომატურ რეგულირებაში მთავარი როლი მიეკუთვნება გამზომ ელემენტს და ნებისმიერი გადამწოდის სრულყოფილი მუშაობა დამოკიდებულია მის ზუსტ შერჩევაზე.

გამზომ ელემენტებს და გადამწოდებს უნდა ქონდეთ მინიმალური გაბარიტები, მაღალი მგრძობიარობა და სიზუსტე, მარტივი კონსტრუქცია და საიმედოობა.

გადამწოდების კონსტრუქციები მრავალფეროვანია. კვების საწარ-

მთა ტექნოლოგიური პროცესების ავტომატიზაციისათვის ფართო გავრცელება კპოვა ელექტრულმა გადამწოდებმა, რომლებიც არაელექტრულ სიდიდეებს გარდაქმნის ელექტრულ სიდიდედ.

გარდამქმნელებს, რომლებიც გამზომი ელემენტის გამომავალ სიგნალს გარდაქმნიან აქტიურ ან რეაქტიულ ტევადობით ან რეაქტიულ ინდუქციურ წინაღობად ეწოდება პარამეტრული გადამწოდები, ხოლო გამოსავალი სიგნალის ელექტრომაგნიტურ ძალად გარდამქმნელებს – გენერატორული გადამწოდები.

ელექტრულ გადამწოდებთან ერთად ფართოდ გამოიყენება პნევმატიკური გადამწოდები, რომლებიც სარეგულირო პარამეტრის გადაზრის სიდიდეს გარდაქმნიან შეკუმშული ჰაერის წნევის გამომავალ სიგნალად.

10.2. პარამეტრული გადამწოდები

პარამეტრული გადამწოდები, შემაჯავალი სიდიდის გამომავალ სიდიდედ გარდაქმნის პროცესში წარმოქმნილი ელექტრული წინაღობის ბუნების მიხედვით იყოფა სამ ჯგუფად: აქტიური წინაღობის, ინდუქციური და ტევადობითი.

10.2.1. აქტიური წინაღობების გადამწოდები

34, ა ნახაზზე ნაჩვენებია აქტიური გადამწოდის სქემა გამზომ ელემენტთან ერთად. გამზომ ელემენტს წარმოადგენს თერმოსისტემა 5, რომელიც შევსებულია ფრეონ-12-ით. სისტემის თერმობალონი 6 თავსდება სარეგულირო არეში. ტემპერატურის შეცვლისას იცვლება წნევა სილფონში 4, რაც თავის მხრივ იწვევს ბერკეტული მექანიზმის 3 მდებარეობის ცვლილებას. ამის გამო ცოცია 2 გადაადგილდება რეოსტატის 1 გასწვრივ მარჯვნივ ან მარცხნივ ტემპერატურის მოკლების და მომატების მიხედვით, რის შედეგადაც ტემპერატურის

ცვლილება გარდაიქმნება რეოსტატის აქტიური წინაღობის პროპორციულ სიდიდედ.

34, ბ ნახაზზე ნაჩვენებია აქტიური წინაღობის გადამწოდი მოხაზუნე კონტაქტებით. გამზომი ელემენტის ღერძის 3 შემობრუნებით, ცოცია 2 გასრიალდება რეოსტატზე 1, რომელიც წარმოადგენს საიზოლაციო მასალისგან დამზადებულ კარკასზე დახვეულ დიდი წინაღობის მავთულს. შესაბამისად შემომავლი სიდიდე (მექანიკური კუთხური შემობრუნება) გარდაიქმნება პროპორციულ წინაღობის სიდიდედ.

34, გ ნახაზზე წარმოდგენილ გადამწოდის რეოსტატს წარმოადგენს თხელი პლატინის მავთული 2, რომელიც მოთავსებულია მინის მილის 1 ვაკუუმში. მილი ნახევრადაა შევსებული ვერცხლისწყლით, რომელიც ამავდროულად წარმოადგენს კონტაქტსაც. გამზომი ელემენტის ღერძის 3 ირგვლივ მილის ბრუნვისას მავთული გამოდის ვერცხლისწყლიდან, ან პირიქით იძირება მასში, რის გამოც იცვლება რეოსტატის წინაღობა ღერძის შემობრუნების კუთხის პროპორციულად.

განხილული გადამწოდების გაბარიტები საშუალებას გვაძლევს განვთავსოთ ისინი მარეგულირებელი და გამზომი მოწყობილობების კორპუსებში (მაგ.: თერმორეგულატორში, მანომეტრში და ა.შ.).

მოხაზუნე კონტაქტებიანი გადამწოდის უარყოფით მხარეს წარმოადგენს კონტაქტების მოსალოდნელი გაჭუჭყიანება, რისგანაც ვერცხლისწყლიანი გადამწოდები დაზღვეული არიან, თუმცა მინის მილის არსებობა ზღუდავს მათ ფართო გამოყენებას.

ფართო გავრცელება პოვა წინაღობის ელექტრულმა თერმომეტრებმა (ნახ. 34, დ). იგი წარმოადგენს წვრილ ლითონის მავთულს, რომელიც დახვეულია კვარცის კარკასზე და მოთავსებულია დამცავ გარსაცმში 2. მავთულს ბოლოები გამოდის მილტუჩიდან 1.

ასეთი გადამწოდების მოქმედების პრინციპი ემყარება გამტარის წინაღობის ცვლილებას ტემპერატურასთან დამოკიდებულებით.

წინააღმდეგობის თერმომეტრების ყველაზე მაღალი მგრძობიარობა შეიმჩნევა წინააღმდეგობის მაღალ და მუდმივ ტემპერატურული კოეფიციენტისა და გამოყენებული მავთულის მინიმალური სისქის შემთხვევაში. ასეთ მოთხოვნებს აკმაყოფილებენ სპილენძი და პლატინა. ამიტომ ტექნიკაში გამოიყენება სპილენძის (გაზომვის ზღვრები $-50^{\circ}\text{C} \div 180^{\circ}\text{C}$, მავთულის დიამეტრი 0,1 მმ) და პლატინის (გაზომვის ზღვრები $-200^{\circ}\text{C} \div 650^{\circ}\text{C}$, მავთულის დიამეტრი 0.07 მმ) ელექტრული თერმომეტრები.

ასეთ თერმომეტრებში გამზომი ელემენტის წინააღმდეგობა 0°C -ზე შეადგენს: პლატინის თერმომეტრებში 10, 46 და 100 ომს, სპილენძის - 53 და 100 ომს.

წინააღმდეგობის ელექტრულ თერმომეტრებს მიეკუთვნება ასევე თერმისტორები (ნახევარგამტარული წინააღმდეგობები), რომლებიც მზადდება სპილენძის, კალის და სხვა შენაერთებისგან. აღნიშნული გადამწოდები რამდენჯერმე უფრო მგრძობიარენი არიან ლითონურ გადამწოდებთან შედარებით: სპილენძის და პლატინის წინააღმდეგობა 0°C -დან 100°C -მდე გაზომვისას იზრდება 1,4-ჯერ, ხოლო თერმისტორების წინააღმდეგობა მცირდება 20-ჯერ და მეტად.

34, ე ნახაზზე ნაჩვენებია თერმისტორების ერთ-ერთი სახეობა. იგი დამზადებულია ცილინდრული სხეულის ($d=5-10$ მმ) სახით, რომლის სიგრძეა 50 მმ.

თერმისტორებს ფარავენ ტენის დამცავი ემალით და უკეთებენ საკონტაქტო მავთულებს.

განსხვავებით წინააღმდეგობის მავთულიანი თერმომეტრებისგან, სადაც დამოკიდებულება გამომავალ სიდიდესა (R წინააღმდეგობა) და შემავალ სიდიდეს (t ტემპერატურა) შორის $R = f(t)$ პროპორციულია, თერმის-

ტორების შემთხვევაში აღნიშნული სტატიკური მახასიათებელი არაპროპორციულია.

აქტიური წინაღობის გადამწოდების ცალკე ჯგუფს წარმოადგენენ ტენზომეტრები (ნახ. 34, ვ). იგი წარმოადგენს წერილ მავთულს 1, რომელიც დაწებებულია საიზოლაციო ქაღალდზე.

ტენზომეტრები გამოიყენება ტექნოლოგიური მოწყობილობების მექანიზმების დეტალებში გაჭიმვის, კუმშვის და ღუნვის დეფორმაციების გასაზომად. გაჭიმვის დეფორმაციისას გადამწოდის მავთულის წინაღობა პროპორციულად იზრდება, ხოლო კუმშვისას მცირდება.

ღრეკადი დეფორმაციის დროს იცვლება მავთულის სიგრძე, მისი კვეთის ფართობი და ხვედრითი წინაღობა. ფარდობითი წინაღობა ღრეკადი დეფორმაციისას განისაზღვრება ფორმულით

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta \rho}{\rho} - 2 \frac{\Delta r}{r}$$

სადაც R არის მავთულის ხვიის წინაღობა;

l - მავთულის სიგრძე;

ρ - მავთულის ხვედრითი წინაღობა;

r - მავთულის კვეთის რადიუსი.

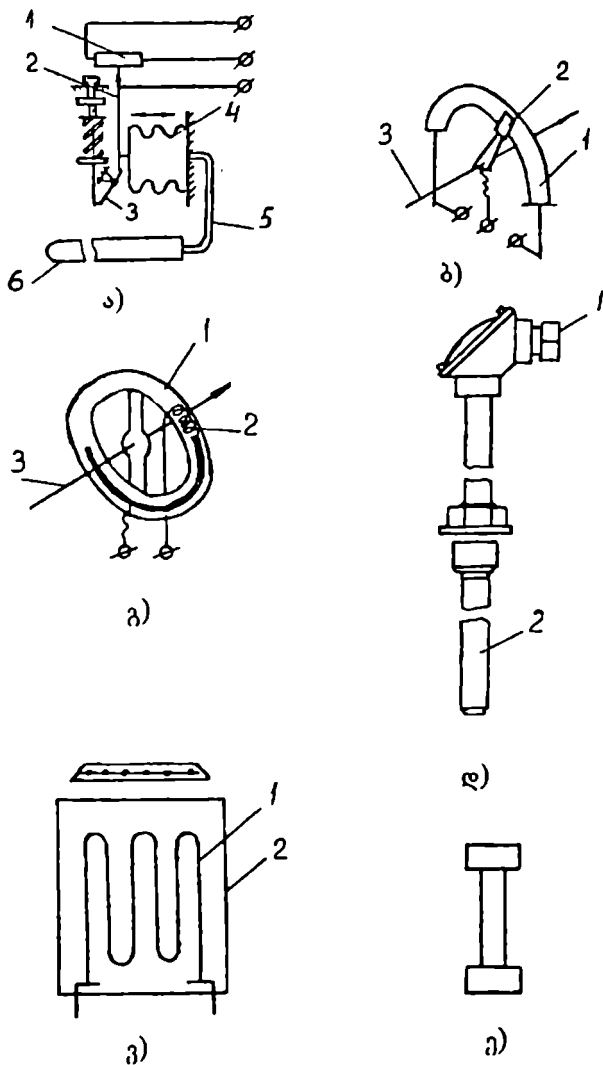
მავთულის დიამეტრის და მისი სიგრძის ცვლილება ღრეკადი დეფორმაციისას განისაზღვრება პუასონის კოეფიციენტით (μ), რომელიც მავთულის მასალის მიხედვით იცვლება 0,24-დან 0,4-მდე.

ასეთი გადამწოდების მგრძნობიარობა:

$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l} = \frac{\Delta \rho/\rho}{\Delta l/l} + 1 + 2\mu.$$

ტენზომეტრული გადამწოდების ჩართვა ხდება პოტენციომეტრების ან ბოგირის სქემებში. ინდიკატორებად და მარეგისტრირებელ

ხელსაწყოებად გამოიყენება გალვანომეტრები, მიკროამპერმეტრები, თვითჩამწერები, ოსცილოგრაფები.



ნახ. 34. აქტიური წინაღობის გადამწოდები

10.2.2. ინდუქციური გადამწოდები

35, ა ნახაზზე ნაჩვენებია ინდუქციური გადამწოდის პრინციპული სქემა. იგი შედგება ტივტივა გამზომი ელემენტისაგან, რომელიც წარმოადგენს ორ ფოლადის ჭურჭელს (პლიუსს 5 და მინუსს 6), რომლებიც ერთმანეთთან შეერთებული არიან მილით 7. პირველის ჩართვა ხდება დიდი P_1 წნევის ქვეშ. ხოლო მეორესი კი – მცირე P_2 წნევის ქვეშ. სისტემა ნაწილობრივ შევსებულია ვერცხლისწყლით. პლიუს ჭურჭელში მოთავსებულია ტივტივა 4. გადამწოდი წარმოადგენს კოჭას, რომელსაც აქვს ორი ერთგვაროვანი სექციები A და B . კოჭაში 2 გადაადგილება შეუძლია გულას 1, რომელიც დამზადებულია ნახშირბადიანი ფოლადისგან და ხისტად არის დამაგრებული ტივტივაზე ჭოკით 3.

მოწყობილობა გამოიყენება ვაკუუმის, წნევის, ხარჯისა და დონის ავტომატური რეგულირების სისტემებში. როცა წნევა $P_1 = P_2$ გულა 1 კოჭაში 2 იკავებს შუალედურ მდებარეობას A და B სექციების ინდუქციური რეაქტიული წინაღობები ტოლია. P_1 -ის გაზრდის ან შემცირების დროს ტივტივა 4 გადაადგილებს გულს 1 ზევით ან ქვევით, $P_1 - P_2$ სხვაობის პროპორციულ სიდიდეზე. შედეგად ხდება A და B სექციების რეაქტიული წინაღობების ცვლილება. ამრიგად სარეგულირო სიდიდის ცვლილება იწვევს ინდუქციური რეაქტიული წინაღობის შეცვლას.

აღნიშნულ გადამწოდებში დენის სიდიდეა 0,46ა მოთხოვნილი სიმძლავრე 12,5 ვტ. ცდომილება არ აღემატება 1,5%. გადამწოდის სტატიკური მახასიათებელი ხაზოვანია.

ინდუქციურ გადამწოდებს მიეკუთვნება დიფერენციალურ-ტრანსფორმატორული გადამწოდები (ნახ. 35, ბ). გამზომ მემბრანულ ბლოკთან ერთად ასეთ გადამწოდებს ეწოდება წნევათა სხვაობის გადამწოდი.

გადამწოდი წარმოადგენს კოჭას, რომელსაც აქვს პირველადი A და მეორადი B, C ხეები. გადამწოდის მუშაობისას პირველადი ხვია ცვლადი დენის ქსელიდან ღებულობს კვებას, სიხშირით 50 კც. მეორადი ხვია შედგება ორი სექციისგან B და C . სექციები შეერთებულია ისე, რომ მათში ინდუქციით წარმოქმნილ ელექტრომაგნიტურ ძალებს აქვთ შემხვედრი მიმართულება. მემბრანული კოლოფის შუა ნაწილში მოთავსებულია ჭოკი 2, რომელიც დაკავშირებულია გულასთან 1.

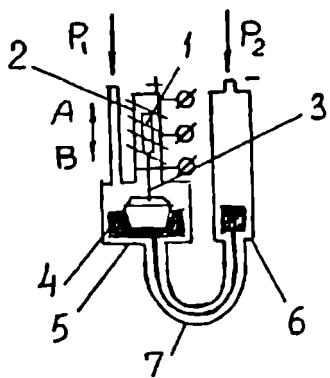
გადამწოდი გამოიყენება ვაკუუმის, წნევის, ხარჯის და ღონის არს-ში.

წნევათა მოცემული $P_1 - P_2$ სხვაობისას, გულას 1 კოჭაში უჭირავს შუა მდებარეობა. სექციების ელექტრომაგნიტური ძალები ტოლია, ხოლო გადამწოდის გამომავალი $E_1 - E_2$ სიგნალი ნულია. სარეგულირო სიდიდის ნორმიდან გადახრისას, გულას 1 გადაადგილება ახლად წარმოქმნილ წნევათა სხვაობის პროპორციულია. ამავე დროს გადამწოდის გამომავალ მომჭერებზე აღიძვრება ჯამური ელექტრომაგნიტური ძალა $E_1 - E_2$, რომლის სიდიდე და ფაზა დამოკიდებულია გულას 1 კოჭაში გადაადგილების მიმართულებაზე და სიდიდეზე.

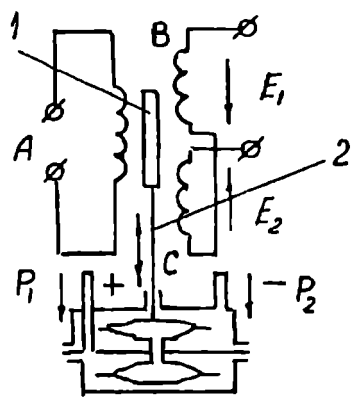
ასეთი გადამწოდებისთვის წნევათა სხვაობის ზღვრული დიაპაზონია 5,34-334 კპა. სტატიკური მახასიათებელი ხაზოვანია.

10.2.3. ტევადობითი გადამწოდები

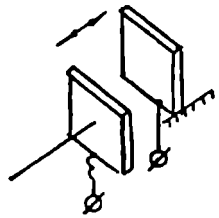
ტევადობის გადამწოდები უმეტეს შემთხვევაში წარმოადგენენ ბრტყელ, იშვიათად კი ცილინდრული კონდენსატორებს. ცნობილია, რომ ელექტროტევადობა და შესაბამისად კონდენსატორის ტევადობითი რეაქტიული წინაღობა დამოკიდებულია ელექტროდებს შორის მანძილზე, მათ ფართობზე და დიელექტრიკული გარემოს სახეობაზე.



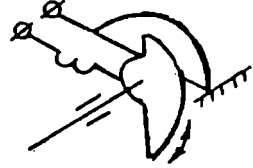
ა)



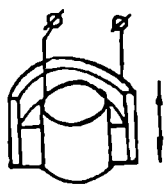
ბ)



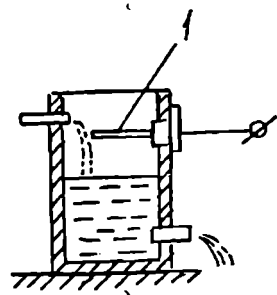
ა)



ბ)



ა)



ბ)

ნახ. 35. ინდუქციური და ტევალბითი გადამწოდები

ამიტომ შემავალი სიდიდის ტევადობით რეაქტიულ წინაღობად გარდაქმნის პროცესი ამ გადამწოდებში წარმოებს ელექტროდებს შორის მანძილის ცვლილებით (ნახ. 35, გ), ელექტროდების ფართობის ცვლილებით (ნახ. 35, დ) და დიელექტრიკული გარემოს დონის ცვლილებით (ნახ. 35, ე) გამზომი ელემენტის ან გასაზომი გარემოს ზემოქმედების შედეგად.

ტევადობის გადამწოდებში გამოიყენება გამზომი ელემენტები, რომელთა გამომავალი სიდიდეები რეგისტრირდება ხაზოვან ან კუთხურ გადაადგილებად.

35, ვ ნახაზზე ნაჩვენებია დონის ტევადობითი გადამწოდი, რომელიც გამოიყენება დონის ელექტრონულ სიგნალიზატორში. იგი წარმოადგენს ცილინდრული ფორმის ლითონის ელექტროდს 1, რომელიც დენგამტარ და აგრესიულ სარეგულირო გარემოში დაფარულია პოლიეთილენით, ვინილასტით ან ფტოროპლასტით. გადამწოდი მაგრდება სარეგულირო ობიექტის კედელში. ობიექტში სითხის დონის ცვლილება გარდაიქმნება ელექტროდის ცვლად ტევადობად.

ყველა ტევადობით გადამწოდის სტატიკური მახასიათებელი, გარდა ელექტროდებს შორის ცვლადი მანძილის მქონე გადამწოდისა, ხაზოვანია.

განხილული გადამწოდების შედარებით ვასკენით:

1. აქტიური წინაღობის გადამწოდებს აქვთ მცირე მასა და გაბარიტები, დაბალი ინერციულობა, მარტივი კონსტრუქცია. ისინი მუშაობენ როგორც მუდმივ, ასევე ცვლად დენზე, უზრუნველყოფენ საკმარის სიზუსტეს და არიან იაფი.
2. ინდუქციურ გადამწოდებს არა აქვთ მოხაზუნე კონტაქტები, გამოირჩევიან კონსტრუქციის სიმარტივით, საიმედოობით და მცირე გაბარიტებით. მათ მიერ გაცემული ელექტრო ენერგია საკმაოდ მაღალია, მუშაობენ 50 ჰც-ის ცვლად დენზე.

მათ უარყოფით მხარეს წარმოადგენს ჩვენების სიზუსტის დამოკიდებულება მკვებავი დენის სიხშირეზე.

3. ტევადობით გადამწოდებს მაღალი სიხშირის დენზე აქვთ დიდი მგრძნობიარობა და უმარტივესი კონსტრუქცია.

მათ უარყოფით მხარეს წარმოადგენს მაღალი სიხშირის დენის მოთხოვნილება.

ცხადია, რომ განხილული გარდამქმნელების შესაბამის გამზომ ელემენტებთან კომბინაციით შეიძლება გაიზომოს მრავალი თბოტექნიკური პარამეტრი: ტემპერატურა, დონე, წნევა, ხარჯი და ა.შ.

კვების საწარმოთა საწარმოთა მთელ რიგ ტექნოლოგიურ პროცესებში ყველაზე სწრაფად ცვლად პარამეტრს წარმოადგენს ტემპერატურა. ამიტომ ტემპერატურის კონტროლისა რეგულირებისთვის რეკომენდირებულია აქტიური წინაღობის გადამწოდები, რადგანაც ისინი ყველაზე ნაკლებ ინერტულები არიან. მაგალითად, პასტერიზაციის, დუღილის და სხვა პროცესების დროს ფართოდ გამოიყენება გამტარული და ნახევრადგამტარული წინაღობის თერმომეტრები.

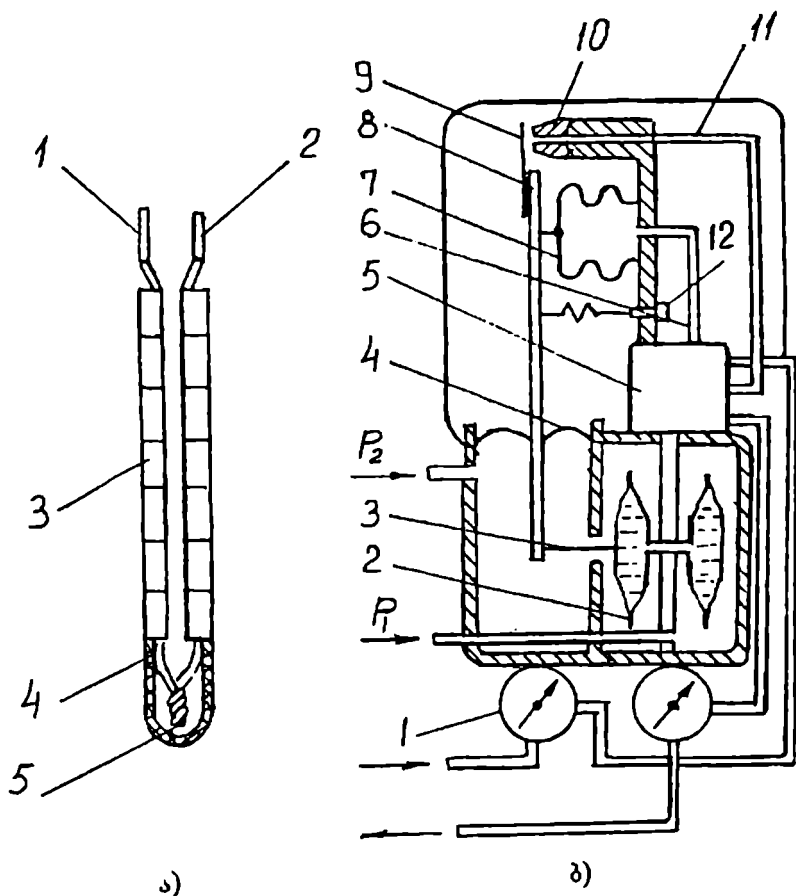
10.3. გენერატორული გადამწოდები

გენერატორულ გადამწოდებს მიეკუთვნება: თერმოწყვილები, ტახოგენერატორები და ა.შ.

10.3.1. თერმოწყვილები და ტახოგენერატორები

თერმოწყვილები მიეკუთვნებიან ისეთ გადამწოდებს, რომლებიც ერთდროულად წარმოადგენენ როგორც გარდამქმნელებს, ასევე გამზომ ელემენტებს. ისინი გამოიყენებიან მაღალი ტემპერატურების სარეგულირებლად 200-1300°C დიაპაზონში და უფრო მაღლა.

36, ა ნახაზზე ნაჩვენებია ქრომ-ალუმინიანი თერმოწყვილის სქემა. იგი წარმოადგენს სხვადასხვა ლითონების ორ ელექტროდს 1 და 2, რომლებიც შეერთებული და შედუღებული არიან ერთ წერტილში - 5. შედუღებული ბოლო მოთავსებულია ფაიფურის გარსაცმში 4. ელექტროდები ერთმანეთისგან იზოლირებული არიან ფაიფურის მძივებით 3 და ჩასმულია ნახშირბადიანი ფოლადისაგან დამზადებულ შალითაში



ნახ. 36. გენერატორული და პნევმატიკური გადამწოდები

(ნახაზზე ნაჩვენები არ არის). გადამწოდის თაურაში მოთავსებულია პლასტმასის პანელი ორი კლემით, რომელზეც მიერთებულია ელექტროდების თავისუფალი ბოლოები.

თერმოწყვილის მუშა ბოლოს 5 გახურებით ელექტროდებს შორის აღიძვრება თერმომამოძრავებელი ძალა, რომელიც ყოველთვის გახურების ტემპერატურის პროპორციულია.

ელექტროდების მასალის მიხედვით ანსხვავებენ პლატინა-ირიდიუმის) (გაზომვის ზღვარი 1300°C), ქრომ-ალუმინის (1000°C) და ა.შ. თერმოწყვილებს.

ტახოგენერატორები გამოიყენება სხვადასხვა სახის მანქანების ლილვების ბრუნვის სიჩქარის რეგულირებისთვის. კონსტრუქციისა და მოქმედების პრინციპის მიხედვით ტახოგენერატორები წარმოადგენენ მცირე ზომის მუდმივი ან ცვლადი დენის გენერატორებს.

მანქანის ლილვი მექანიკურად უერთდება ტახოგენერატორის ლილვს. მანქანის მუშაობისას კუთხური სიჩქარე (შემაველი სიდიდე) გარდაიქმნება პროპორციული სიდიდის ელექტრომამოძრავებელ ძალად გადამწოდის გამომავალ მომჭერებზე.

10.4. პნევმატიკური გადამწოდები

36, ბ ნახაზზე ნაჩვენებია პნევმატიკური გადამწოდის პრინციპული სქემა.

ხელსაწყო განკუთვნილია წნევათა სხვაობის (ხარჯის), დონის და თხევადი და აირისებრი ნივთიერებების წნევების გასაზომად პნევმატიკურ არს სისტემებში.

გადამწოდი წარმოადგენს საქმენს 10, რომელიც იხურება მხრეულის 8 თავისუფალ ბოლოზე დამაგრებული ჩამკეტით 9, მხრეულის მეორე ბოლო მიერთებულია გამზომი ელემენტის მემბრანული კოლოფის 2

შუა წერტილთან, ბრტელი ზამბარით 3. მხრეული ეყრდნობა ლითონის მემბრანას 4.

გადამწოდი მუშაობს შემდეგნაირად: შეკუმშული ჰაერი წნევით 137,3 კპა სპეციალური ხაზით, პნევმატიკური გამაძლიერებლის 5 გაელით, უწყვეტად, მილით 11, მიეწოდება საქშენს 10. შემდეგ კი გაედინება ატმოსფეროში. საქშენში 10 წნევა პროპორციულია მას-სა და ჩამკეტს 9 შორის არსებული მანძილის. რადგან ეს მანძილი, გადამწოდის მუშაობის დროს, ღვინდება გამზომი ელემენტის შუა წერტილის გადაადგილებით, ამიტომ ჰაერის წნევა საქშენში 10 და მილში 11 პირდაპირპროპორციულია წნევათა $P_1 - P_2$ სხვაობის. მილში 11 აღძრული წნევა ძლიერდება პნევმატიკური გამაძლიერებლით 5 19,6-98,1 კპა-მდე და იმპულსური მილით გადაეცემა პნევმატიკური რეგულირების სისტემის მმართველ მოწყობილობას.

ჰაერის წნევის გამომავალი სიგნალის გადამეტრეგულირების თავიდან ასაცილებლად მოწყობილობაში გათვალისწინებულია უკუ კავშირის სილიფონი 7. სილიფონი ყოველთვის იმყოფება, მილით 6 გადაცემული წნევის ქვეშ. შესაბამისად იგი წარმოქმნის ძალას, რომლის საშუალებითაც ხდება ჩამკეტის დროული მოცილება საქშენიდან, ე.ი. საჭირო მომენტში ახდენს შემავალი სიგნალის შესუსტებას ან გამორთვას, ამის გამო გადამწოდის შემავალ და გამომავალ სიგნალებს შორის არსებული პროპორციული დამოკიდებულება არ ირღვევა სარეგულირო პარამეტრის მკვეთრი ცვლილების დროსაც კი.

ხელსაწყოში გათვალისწინებულია ათვლის წერტილის (ნულის) კორექტორი 12 და ორი მანომეტრი 1, რომლებიც გვიჩვენებენ წნევის სიდიდეებს ხელსაწყოს კვებისა და გამომავალ ხაზებში.

გარდამქმნელები, რომელთა მუშაობის პრინციპიც ემყარება პრინციპს, „საქშენი-ჩამკეტი“, წარმოადგენენ თანამედროვე პნევმატიკური სისტემების ძირითად ნაწილს. მათი ცდომილება არ აღემატება 1%-ს.

10.5. რელებები

რელე ეწოდება არს-ის რგოლს, რომელშიც შესავალი სიდიდის ცნობილ მნიშვნელობამდე მიღწევისას გამოსავალი სიდიდე იცვლება ნახტომისებურად.

რელებში გამოსავალ სიგნალს ხშირად წარმოადგენს ელექტრული სიდიდე, ხოლო შესავალი სიგნალი შეიძლება იყოს ელექტრული, მექანიკური და თბური სიდიდეები. გამოიყენება ასევე რელები პნევმატიკური და ჰიდრაულიკური შესავალი სიდიდეებით. აქედან გამომდინარე რელებს. შესავალი სიდიდეების მიხედვით ყოფენ ორ ჯგუფად - ელექტრული და არაელექტრული.

ხშირად რიგი ტექნოლოგიური პროცესების ავტომატიზაციისთვის გამოყენება რელე, სადაც გამოსავალი სიდიდის ნახტომისებური ცვლილება წარმოებს დროის გარკვეული დაყოვნებით, რომლის სიდიდეც შეიძლება ვარეგულიროთ. ასეთ რელეს დროის დაყოვნების რელეს უწოდებენ.

არს-ში განლაგების მიხედვით რელე შეიძლება იყოს პირველადი, მეორადი, შუალედური და ამსრულებელი.

ნებისმიერი გამზომი ელემენტი ან გადაწვოდი, რომლის გამოსავალი სიგნალი მექანიკური გადაადგილების სახითაა წარმოდგენილი, კონტაქტების დამატებით გარდაიქმნება რელედ. რელე, ისევე როგორც გადაწვოდი მუშაობს გამზომ ელემენტთან ერთად და ასრულებს გარდამქნელის როლს; თუმცა გადაწვოდისგან განსხვავებით მათ აქვთ ამსრულებელი ორგანო, მაგალითად კონტაქტური წყვილი, რომლის საშუალებითაც ხდება გამოსავალი სიგნალის ნახტომისებური ცვლილება.

კონტაქტი ეწოდება რელეს ნაწილს, რომელიც ახდენს ელექტრული წრედის ჩართვას ან განრთვას მექანიკური შეხების გზით. კონტაქტური წყვილი შეიძლება იყოს ნორმალურად ღია ან ნორმალურად ჩაკეტილი.

ნორმალურად ღია ეწოდება იმ კონტაქტურ წყვილს, რომელიც არაა დგზნებულ და მექანიკური ზემოქმედების ქვეშ არ მყოფ რელეში იმყოფება განრთულ მდგომარეობაში. საწინააღმდეგო შემთხვევაში გვაქვს ნორმალურად ჩაკეტილი კონტაქტური წყვილი.

მუშაობის დროს რელეს კონტაქტები განიცდიან ელექტრული ნაპერწკლის და ელექტრული რკალის ზემოქმედებას, ამიტომ ისინი წარმოადგენენ ცვეთად დეტალებს კონტაქტების დასამზადებელ მასალას მოეთხოვება მჟავამედეგობა, მექანიკური სიმტკიცე, დნობის მაღალი ტემპერატურა, კარგი თბო და ელექტროგამტარობა.

კონტაქტების დასამზადებლად რელეებში გამოიყენება სპილენძი (ნაკლებად საპასუხისმგებლო), ვერცხლი, პლატინა, პლატინა ირიდიუმის შენადნობი (მაღალმგრძნობიარე რელეებში), ვოლფრამი (მაღალი დატვირთვის ქსელებში). გარდა ამისა, მძლავრი ელექტრული ქსელების მართვისას ხშირად გამოიყენება ვერცხლისწყალი, რომელიც როგორც წესი განთავსებულია მინის ბალონის ვაკუუმურ გარემოში.

უნდა აღვნიშნოთ, რომ მუდმივი დენის წრედებში, რკალის უფრო სტაბილური წვის გამო, კონტაქტების მუშაობის პირობები ბევრად უფრო მძიმეა, ვიდრე ცვლადი დენის წრედებში. ამიტომ ერთი და იგივე კონტაქტებს, მუდმივი დენის დროს, შეუძლია გათიშონ 3-4-ჯერ უფრო ნაკლები სიმძლავრის ქსელები, ვიდრე ცვლადი დენის შემთხვევაში.

ყველა იმ რელეს, რომლის ამსრულებელ მექანიზმს წარმოადგენს კონტაქტური წყვილი ეწოდება კონტაქტური რელე. ბოლო დროს ფართოდ გამოიყენება უკონტაქტო რელეებიც. ამ რელეების მუშაობის პრინციპი ემყარება მიმდევრობით შეერთებულ კონდენსატორის და კოჭას (ფერომაგნიტური გულათი) ცვლადი დენის ქსელებს. ამ მიზნით იყენებენ ასევე ნახევარგამტარულ, ფერორეზონანსულ და სხვა ტიპის მოწყობილობებს.

10.5.1. ელექტრული რელები

ელექტრონული რელები რეაგირებენ მხოლოდ ელექტრულ სიდიდეებზე. მათ მიეკუთვნება ელექტრომაგნიტური, მაგნიტოელექტრული, ელექტროდინამიკური, ინდუქციური, ელექტროთბური, ელექტროპნევმატური და სხვა სახის რელები.

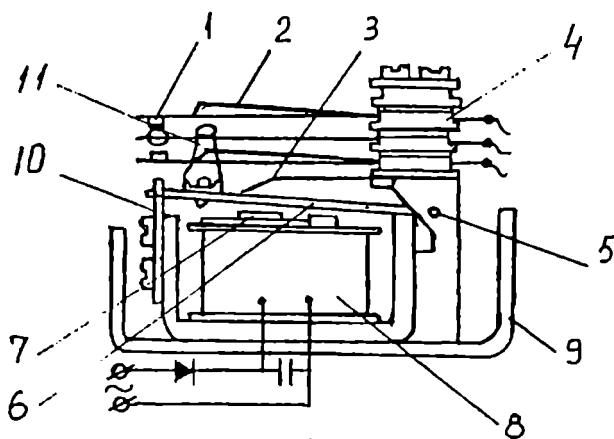
ფართო გამოყენება პოვა ელექტრომაგნიტურმა რელემ. იგი გამოიყენება მართვის წრედების ჩართვა-გამორთვისათვის, ელექტრული სიგნალების გასაძლიერებლად, ქსელების რაოდენობის გასაზრდელად და ა.შ.

ელექტრულ რეგულატორებში ხშირად იყენებენ მრავალკონტაქტიან უნივიფირებულ ელექტრომაგნიტურ რელეს (ნახ. 37, ა). გულა 7, კორპუსი 9 და ღუზა 6 შეადგენენ რელეს მაგნიტურ წრედს. შესავალი სიდიდით (დენი) კოჭას 8 აღზნებისას გულა 7 მოზიდავს ღუზას 6. ღუზა 6, ღერძის 5, ირგვლივ გადაადგილებისას გადალახავს ზამბარა 3 წინალობას და მასზე უძრავად დამაგრებული პლასტმასის რგოლი 11 მოახდენს ზედა ნორმალურად ჩაკეტილი კონტაქტების 1 განრთვას და ქვედა ნორმალურად ღია კონტაქტების ჩაკეტვას. ღუზის 6 გადაადგილების შეზღუდვა ხდება შემზღუდველით 10. საკონტაქტო ზამბარების 2 იზოლაცია მზადდება პლასტმასის ფირფიტებით 4.

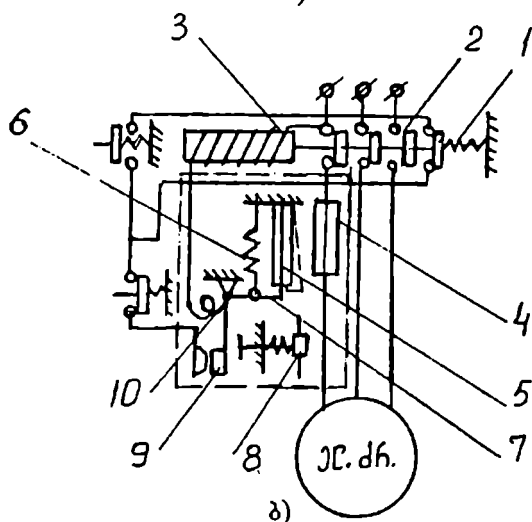
ელექტრო ძრავების გადახურებისგან დასაცავად, მაგნიტურ გამშვებში, გამოყენებული ელექტროთბური რელეს მოწყობილობის სქემა ნაჩვენებია 37, ბ ნახაზზე (რელეს სქემა მოცემულია პუნქტირით). როცა დენი იწყებს ელექტრო ძრავის გადახურებას ბიმეტალური ფირფიტა 5 ხურდება გამახურებული ელემენტიდან 4 და გაიღუნება მარჯვნივ. ბერკეტი 7, ზამბარის 6 მეშვეობით მობრუნდება ღერძი 10 ირგვლივ და გათიშავს საკონტაქტო წყვილს 9. მაგნიტური გამშვის კოჭას 3 ქსელი დარჩება კვების გარეშე, ზამბარა 1 გათიშავს

კონტაქტორის 2 კონტაქტებს და ელექტრო ძრავი გაჩერდება გასაცივებლად.

რელეს განმეორებითი ჩართვა ხორციელდება ლილაკზე 8 თითის დაჭერით, რომლის დროსაც ბერკეტი 7 ბრუნდება საწყის მდებარეობაში.



ა)



ბ)

ნახ. 37. ელექტრული რელეები

ა - ელექტრომაგნიტური რელე; ბ - ელექტროთბური რელე

უნდა აღვნიშნოთ, რომ თბური ინერციის გამო რელე არ იცავს სისტემას მოკლე ჩართვის დენისგან: ელექტრო ძრავი შეიძლება გადაიწვას მანამ, სანამ ამოქმედდება რელე. ამ შემთხვევაში გამოიყენებენ მცველებს.

ელექტროპნევმატიკური და ელექტროჰიდრაულიკური რელეები მიეკუთვნება აპარატთა იმ ჯგუფს, რომლებიც დისკრეტულ (იმპულსურ) შესავალ სიდიდეს გარდაქმნიან დისკრეტულ გამოსავალ სიდიდედ. ამ მოწყობილობების შესავალ სიგნალს წარმოადგენს ელექტრული დენი, ხოლო გამოსავალს - შეკუმშული ჰაერის ან მუშა სითხის (ზეთი, წყალი) წნევა. რელე გამოიყენება სხვადასხვა თბოტექნიკური სიდიდეების სტატიკური ან ორპოზიციური რეგულირების სისტემებში. მაგალითად, ელექტროპნევმატიკური რელე, სხვადასხვა სპეციალურ ავტომატურ რეგულატორებთან ერთად გამოიყენება ტუტის კონცენტრაციის სარეგულირებლად ბოთლისსარეცხ მანქანებში; ელექტროჰიდრაულიკური რელე გამოიყენება საქვაბეში წვის პროცესის სარეგულიროდ და ა.შ.

38 ნახაზზე მოცემულია ელექტროპნევმატიკური რელეს პრინციპული სქემა. იგი შედგება ორი სოლენოიდური სარქველისგან 1 და 2, ორი ვენტილისაგან 3 და 4, ორი დროსელისგან 5 და 5, ნახევარგამტარული გამმართველისა და უკუ კავშირის კვანძებისგან (ნახაზზე ნაჩვენები არ არის).

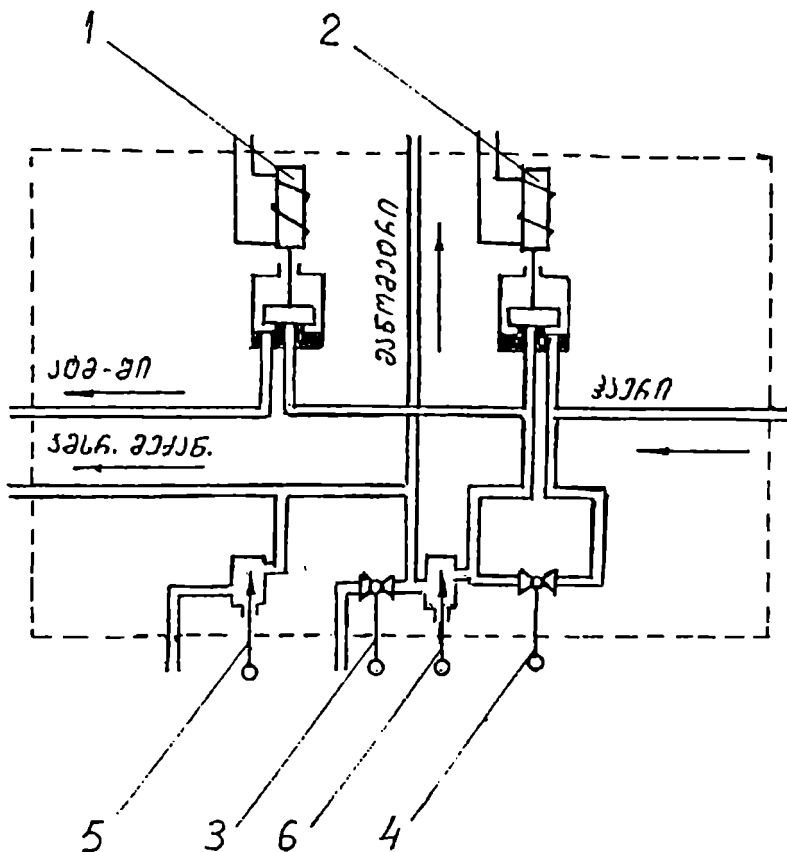
რელეს ყველა ნაწილი დამონტაჟებულია კორპუსში, რომელიც იხურება ხუფით.

რელე მუშაობს შემდეგნაირად. სარეგულირო პარამეტრის მოცემული მნიშვნელობიდან გადახრისას, მმართველი მოწყობილობა (ბოგირული სქემა), რეგულირების სისტემის რელეური ბლოკის საშუალებით, აწვდის ძაბვას სარქველის 1 ან 2 ხვიაზე. თუ ღიაა სარქველი 2, ჰაერი გადის დროსელში 6 და მიეწოდება ამსრულებელ

მექანიზმს, მანომეტრს და დროსელით 5 უკუ კავშირის სილფონს.

ამსრულებელ მექანიზმს ჰაერი მიეწოდება მანამ, სანამ სილფონით, უკუ კავშირის რესტატზე გადაადგილებული ცოცია არ მოიყვანს ბოგირულ სქემას წონასწორობაში.

თუ ღიაა სარქველი 1, მაშინ ჰაერი ამსრულებელი მექანიზმიდან, უკუ კავშირის სილფონიდან და მანომეტრიდან გავა ატმოსფეროში.



ნახ. 38. ელექტროანემმატიკური რელეს სქემა

ვენტილები 3 და 4 გამოიყენებიან ამსრულებელი მექანიზმის მუშაობის შესამოწმებლად, როცა სოლენოიდური სარქველების კოჭები გათიშულია.

ხელსაწყოს წინა მხარეზე მოთავსებულია მანომეტრი, რომლითაც კონტროლირდება წნევა ამსრულებელ მექანიზმში.

ელექტროპიდრავლიკური რელეები ელექტროპნევმატიკურისგან განსხვავებულებიან იმით, რომ საკომანდო იმპულსის ნაცვლად შეკუმშული ჰაერისა, წარმოადგენს სითხის წნევას.

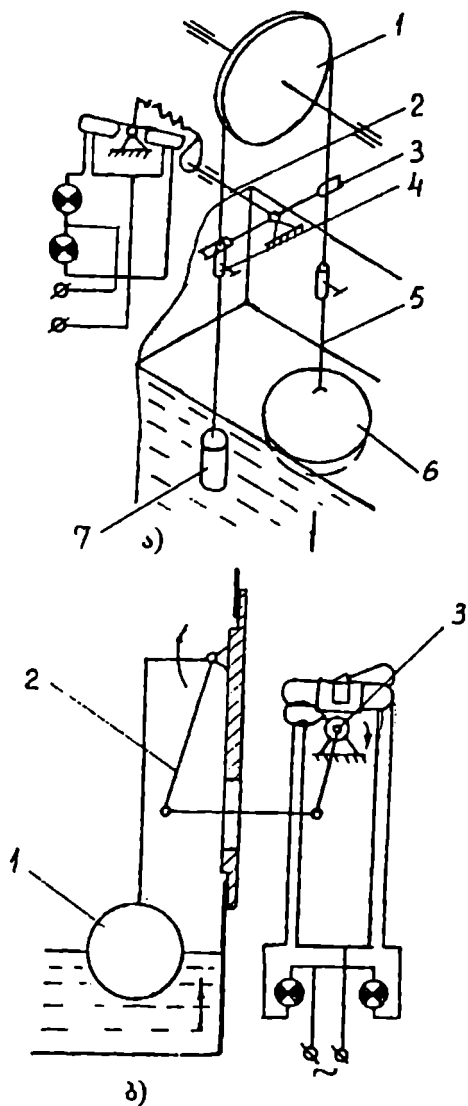
10.5.2. არაელექტრული რელეები

არაელექტრული რელეები რეაგირებენ მხოლოდ არაელექტრულ სიდიდეებზე. მათ მიეკუთვნება დონის მექანიკური რელე, წნევის ტემპერატურის, ტენიანობის და ა.შ. რელეები.

რელეს, სადაც შესავალი სიდიდე რეგისტრირდება როგორც, რაღაც მექანიკური, გადაადგილება ეწოდება მექანიკური.

39, ა ნახაზე ნაჩვენებია დონის მექანიკური რელე, რომელიც განკუთვნილია არა ჭარბ წნევიან რეზერვუარებში სითხის დონის სიგნალიზაციისა და რეგულირებისათვის. დონის მექანიკურ გადაადგილებას მოძრაობაში მოყვას სისტემა, რომელიც შედგება ტივტივასაგან 6, ბოგირისგან 5, ბლოკის 1 და საპირწონისგან 7. როცა ტივტივა მიაღწევს მინიმალურ დასაშვებ დონეს, მოძრავი ბაგირი 5, მილისათი 4, მიეზღინება ჩამრთველი ბერკეტის 3 ჭრილს, მოაბრუნებს მას და ბერკეტების სისტემას 2, რომელიც ჩართავს წითელ სასიგნალო ნათურას და განრთავს მწვანე ნათურას.

რელეს აწყობა ამა თუ იმ დონეზე ხდება საყრდენი მილისების გადაადგილების ცვლილებით ბაგირზე. ცვლილების დიაპაზონი შეადგენს 0,5-10 მ, სიზუსტე $\pm 0,05$ მ.



ნახ. 39. არაელექტრული რელეები
 ა - ღონის მექანიკური რელე; ბ - ღონის სიგნალიზატორი

მოწყობილობის კვება შეიძლება განხორციელდეს როგორც მუდმივი ისე ცვლადი დენის ქსელიდან.

30, ბ ნახაზზე მოცემულია დონის სიგნალიზაციის – მექანიკური რელეს სქემა. იგი განკუთვნილია ღია რეზერვუარებში სითხეების დონის სიგნალიზაციის და რეგულირებისთვის. ვთქვათ სითხის დონე გადაადგილდება ტივტივასთან 1 ერთად. მაშინ ბერკეტული გადაცემით 2 შემობრუნდება ღერძი 3, მასზე დამაგრებული ვერცხლისწლიანი ორი გამომრთველით. როცა დონე მიაღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას, ერთი გამომრთველი ჩართავს წითელი სასიგნალო ნათურის წრედს; მეორე განკუთვნილია მწვანე ნათურის ჩასართავად. ხელსაწყოს აწყობა ხდება ჩამრთველების შემობრუნების კუთხის ფიქსირებით ღერძზე 3. დონეების ცვლილების მაქსიმალური დიაპაზონი, ვერცხლისწყლიანი ჩამრთველების ჩართვა – გამორთვას შორის შეადგენს 0,15 მ. სიზუსტე – $\pm 0,005$ მ.

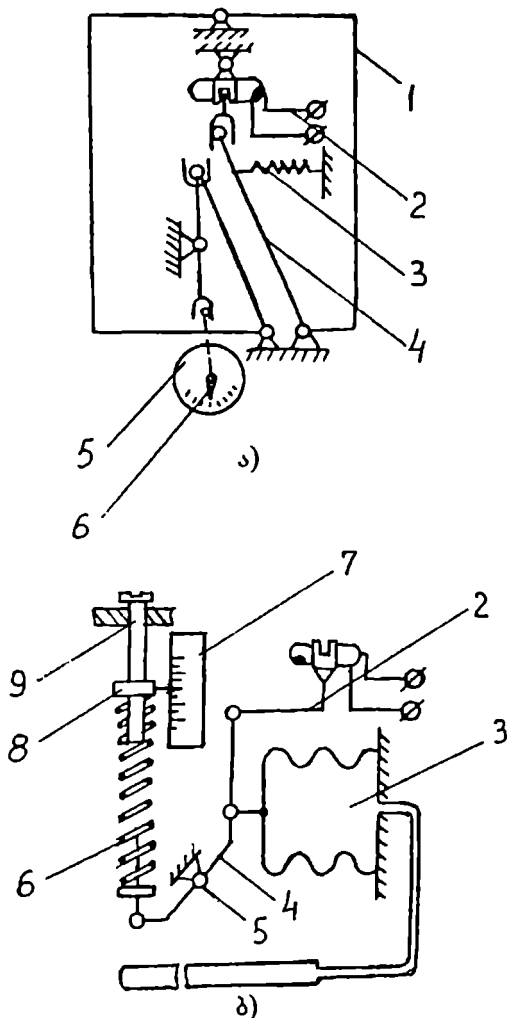
სამაცივრო დანადგარების საკნებში, ჰაერის ტენიანობის ავტომატური რეგულირებისთვის გამოიყენება ორპოზიციური ტენიანობის რელე (ნახ. 40, ა). მისი მუშაობის პრინციპი ემყარება ადამიანის თმის, როგორც გამზომი ელემენტის გამოყენებას.

როცა სირეგულირო ობიექტში, სადაც დაყენებულია რელე, ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა კლებულობს საწყის მნიშვნელობასთან შედარებით, თმების კონა 1 სიგრძეში კლებულობს. ამ დროს კუთხური ბერკეტი 4, გადალახავს რა ზამბარის 3 წინაღობას, ღებულობს კუთხური გადაადგილებას საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგოდ და ვერცხლისწყლის ჩამრთველი ჩართავს ამსრულებელი მექანიზმის მართვის წრედს 2, ფარდობითი ტენიანობის მომატებასთან ერთად თმის კონის სიგრძე მატულობს და კუთხური ბერკეტი 4 მობრუნდება უკუ მიმართულებით.

რელეს აწყობა წარმოებს სახელურის 6 მობრუნებით სკალის 5

მიმართ, რომელიც დაგრადუირებულია ტენიანობის ერთეულში. 220 ვ ძაბვის დროს დენის დასაშვები სიდიდეა 1 ა.

40, ბ ნახაზზე ნაჩვენებია ტემპერატურის რელეს (ორპოზიციური



ნახ. 40. არაელექტრული რელეები
 ა - ტენიანობის რელე; ბ - თერმორეგულატორი

თერმორეგულატორი) სქემა. ხელსაწყოს გამზომ ელემენტს წარმოადგენს თბომგრძნობიარე სისტემა 3, რომელიც შეესებულია ადვილად მადულარ სითხით-ქლორეთილით. როცა გარე ჰაერის ტემპერატურა განსხვავდება მოცემულისგან, ზამბარის 6 წინალობის გადალახვით, სახსრის 5 ირგვლივ შემობრუნება კუთხური ბერკეტი 4. ამ ბერკეტიდან, სადავით 2 გადაადგილება ვერცხლისწყლის გამომრთველი, რომელიც ჩართავს ან განრთავს ხელსაწყოს ტემპერატურის გადახრის ნიშნის მიხედვით. ხელსაწყოს, აწყობა ხდება ხრახნის 9 და ქანჩის 8 საშუალებით, რომლებიც არეგულირებენ ზამბარის 6 დაჭიმულობას. მაჩვენებელი ისარი 1, შკალაზე 7 აჩვენებს ჩართვის ტემპერატურას. რეგულირების დიაპაზონია 10-30°C.

10.6. ამსრულებელი მექანიზმები

ამსრულებელი მექანიზმები წარმოადგენენ არაპირდაპირი ქმედების რეგულატორების შემადგენელ რგოლს, რომლებიც მმართველი მოწყობილობიდან მიღებული სიგნალით გადაადგილებენ მარეგულირებელ ორგანოს. რადგანაც მმართველი სიგნალი შეიძლება იყოს ელექტრული, ჰიდრავლიკური ან პნევმატიკური შესაბამისად ამსრულებელი მექანიზმებიც არის ელექტრული, ჰიდრავლიკური და პნევმატიკური.

ხშირად ამსრულებელ მექანიზმს უწოდებენ სერვოამძრავს, ხოლო თუ იგი აღჭურვილია ელექტრო ძრავით, მაშინ - სერვოდრავს.

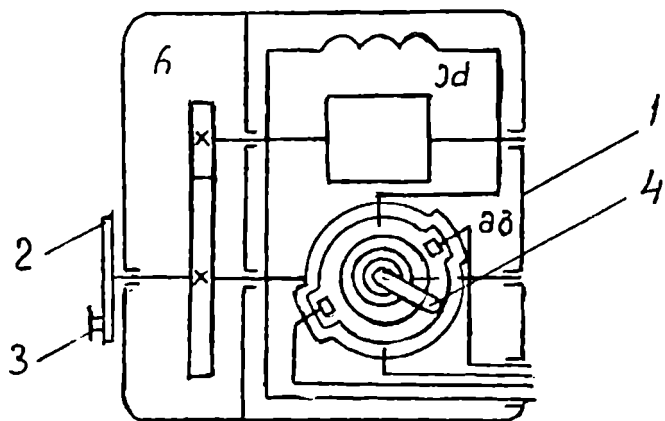
10.6.1. ელექტრული ამსრულებელი მექანიზმები

ჩამოთვლილი ამსრულებელი მექანიზმებიდან ფართო გამოყენება ელექტრულმა მექანიზმებმა ერთ-ერთი მათგანი - ორპოზიციური რეგულირების ამსრულებელი მექანიზმი ნაჩვენებია 41 ნახაზზე. იგი (ნახ.

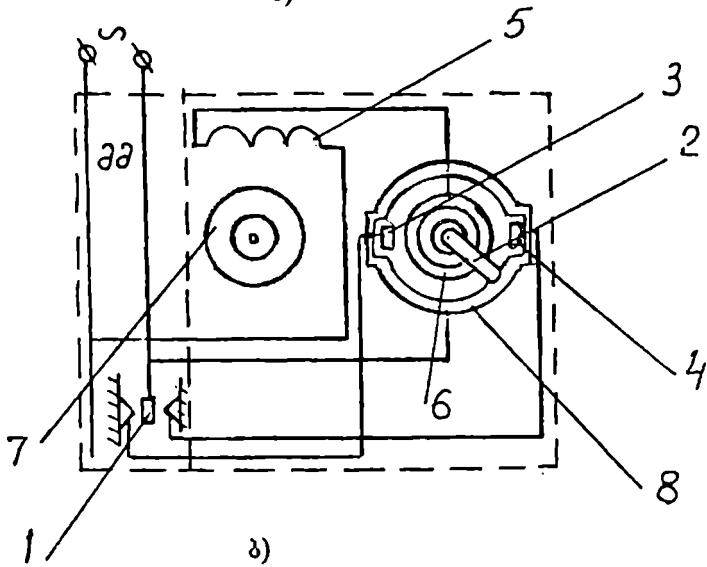
41, ა) წარმოადგენს თუჯის გარსაცმიან მოწყობილობას 1, რომელშიც მოთავსებულია ერთფაზიანი ასინქრონული (ემ) ელექტრო ძრავი და (რ) რედუქტორი.

რედუქტორის ლილვის მარცხენა ბოლოზე დასმულია დისკი 2, ექსცენტრიკული თითით 3, რომელზეც ერთდება მარეგულირებელი ორგანო. რედუქტორის ლილვის მარჯვენა ბოლოზე დასმულია (მგ) მახლოკირებელი გადამრთველის ცოცია 4.

41, ბ ნახაზზე ნაჩვენებია ამ სერვოძრავის ჩართვის სქემა. მოძრავი კონტაქტი 1, (მმ) მმართველი მოწყობილობით იკეტება მარცხნივ ან მარჯვნივ, მას შეუძლია ქონდეს, ასევე ნეიტრალური მდებარეობა. ნეიტრალურ მდებარეობაში გადამრთველის მექანიზმი დარეგულირებულია ისე, რომ ცოცია 2 ეხება კონტაქტს 3 ან კონტაქტს 4. ამ დროს ძრავის სტატორის ხვიაში 5 დენი არ გადის და როტორი 7 გაჩერებულია. თუ კონტაქტი 1 ჩაირთვება მარჯვნივ, სტატორის ხვია აღმოჩნდება ძაბვის ქვეშ, როტორის ლილვი, რედუქტორის საშუალებით, დააბრუნებს გამომავალ ლილვს, ცოცია 2 მოცილდება კონტაქტს 4 და შეეხება ძაბვის ქვეშ მყოფ ფირფიტას 8. ძრავის წრედი რჩება ჩაკეტილი. ერთი ნახევარ ბრუნის შემდეგ ცოცია 2 შეეხება კონტაქტს 3, წრედი გაწყდება და ძრავი გაჩერდება. თუ კონტაქტი 1 ჩაიკეტება მარცხნივ, წრედი კვლავ ჩაიკეტება, გამომავალი ლილვი იბრუნებს იმავე მიმართულებით, მანამ სანამ ცოცია 2 ფირფიტიდან 6 არ გადავა კონტაქტზე 4. ლილვის პირველ ნახევარბრუნზე, დისკის თითით, მარეგულირებელი ორგანო იღება, ხოლო მეორე ნახევარბრუნზე - იკეტება. ძრავის ბრუნთა რიცხვი შეადგენს 1500 ბრ/წთ; გამოყენებული სიმძლავრე - 60 ვტ. რედუქტორის გამომავალი ლილვის ბრუნთა რიცხვი არის 3 ბრ/წთ.



ა)



ბ)

ნახ. 41. ელექტრული ამსრულებელი მექანიზმები
 ა - ორპოზიციური რეგულირების ამსრულებელი მექანიზმის სქემა; ბ - ამსრულებელი მექანიზმის ჩართვის ელექტრული სქემა

10.6.2. ელექტრომაგნიტური ვენტილები

ელექტრომაგნიტური (სოლენოიდური) ვენტილები შემსრულებელი მოწყობილობებია ერთი ან რამდენიმე სარქველით, რომელთა მართვა ხორციელდება ელექტრომაგნიტების მეშვეობით. კონსტრუქციისგან დამოკიდებულებით ელექტრომაგნიტური ვენტილები შეიძლება იყოს ჩამკეტი (ერთსვლიანი) და გადამრთველი (მრავალსვლიანი).

ჩამკეტი ვენტილები გამოიყენება სითხის ან აირის გასასვლელის ავტომატური გალების ან დაკეტვისთვის.

გადამრთველ ვენტილებს იყენებენ სითხის ან აირის ნაკადის მიმმართულების შესაცვლელად.

მოქმედების პრინციპის მიხედვით ელექტრომაგნიტური ვენტილები იყოფა პირდაპირი, არაპირდაპირი და კომბინირებული მოქმედების ვენტილებად.

პირდაპირი მოქმედების ვენტილი ეწოდება ვენტილს, რომელშიც სარქველის სამართავად გამოიყენება მხოლოდ ელექტრომაგნიტის ძალა.

არაპირდაპირი მოქმედების, ანუ პილოტური ვენტილი ხასიათდება, იმით, რომ ელექტრომაგნიტის ძალა გამოიყენება დამხმარე სარქველის სამართავად, ხოლო ძირითადი სარქველი იღება სარქველში გასული სითხის ან აირის ზემოქმედებით.

კომბინირებული მოქმედების ვენტილები თავის კონსტრუქციაში აერთიანებს ორივე ტიპის ნიშან-თვისებებს, ძირითადი სარქველი იღება ელექტრომაგნიტის ძალისა და მუშა არის წნევის ზემოქმედებით.

გამორთული ელექტრომაგნიტის დროს სარქველის მდებარეობისგან დამოკიდებულებით არსებობს ნორმალურად დაკეტილი და ნორმალურად ღია ჩამკეტი ვენტილები.

ნორმალურად დაკეტილი (ჩვეულებრივი შესრულება) ვენტილები იღება ელექტრომაგნიტში დენის მიწოდების შემთხვევაში და იკეტება მისი გამორთვისას.

ნორმალურად ღია - პირიქით, დენის მიწოდების შემთხვევაში იკეტება, ხოლო მისი გამორთვისას - იღება.

ელექტრომაგნიტურ ვენტილების გარდა ამსრულებელ მექანიზმებად გამოიყენება ელექტრომაგნიტური (სოლენოიდური) სარქვედეფი (ნახ. 42), რომლებიც განკუთვნილია იმ მილსადენების გასაღებად და დასაკეტად, სადაც მიედინება სითხე ან აირი. მმართველი სიგნალი (დენი) მიეწოდება სოლენოიდური კოჭის ხვიის 1, რომელშიც მოთავსებულია ფერომაგნიტური მასალისგან დამზადებული გულა 3. ხვიაში გამავალი დენი წარმოქმნის მაგნიტურ ველს, რის გამოც გულა გადაადგილდება კოჭას მიმართ. ამასთან ერთად კორპუსში 5 გადაადგილდება სარქველი 4, რომელიც ხისტად უკავშირდება გულას. გულას სვლის ასაწყობად გათვალისწინებულია ზამბარა 2.

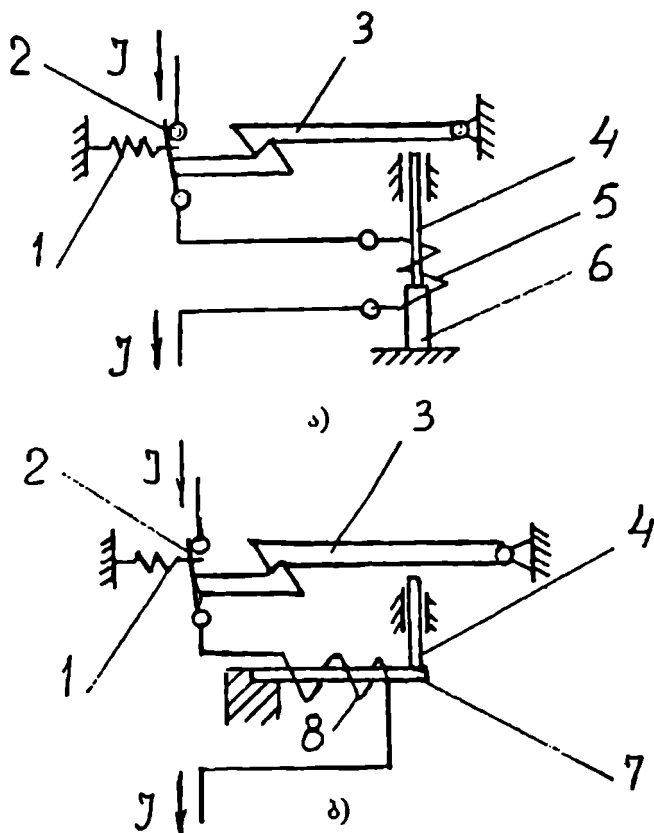
მმართველი სიგნალის ცვლილებით, სოლენოიდურ სარქველში, შეიძლება ვცვალოთ მისი გაღების ხარისხი, რითაც იგი განსხვავდება სოლენოიდური ვენტილისგან.

10.7. დამხმარე ელემენტები

ავტომატიზაციის სქემებში გამოყენებულ დამხმარე ელემენტებს მიეკუთვნება ამომრთველები და გადამრთველები.

ელექტრომაგნიტურ მომხსნელიანი ავტომატური ამომრთველები გამოიყენება მოკლე ჩართვის დენისგან გამოწვეული დაზიანებებისგან დასაცავად. ასეთი ამომრთველის სქემა ნაჩვენებია 42, ა ნახაზზე.

მთავარი ქსელის კონტაქტი 2 ჩაირთვება ღილაკზე თითის დაჭერით ან სახელურის შემობრუნებით. ამ დროს გადაილახება გამთიშავი ზამბარის 1 წინაღობა და სასხლეტი 3 საშუალებით კონტაქტი რჩება ჩაკეტილი. როგორც კი დენი გადააჭარბებს განსაზღვრულ მნიშვნელობას, გულა 6 შეიზიდება კოჭაში 5 და ბერკეტით 4 განთავისუფლ-



ნახ. 42. ავტომატური ამომრთველის პრინციპული სქემა
 ა - ელექტრომაგნიტური მომხსნელით; ბ - თბური მომხსნელით

დება სასხლეტი 4. ზამბარის 1 მოქმედებით კონტაქტი 2 გაითიშება.

42, ბ ნახაზზე მოცემულია თბურ მომხსნელიანი, ბიმეტალური ფირფიტიანი 7, ავტომატური ამომრთველი. როცა სპირალში 8 გაივლის ნომინალურ მნიშვნელობაზე მაღალი დენი, ბიმეტალური ფირფიტა ზევით აიღუნება ისე, რომ მბიძგარა 4 აწევს სასხლეტის 3 ბერკეტს. ზამბარის 1 მოქმედებით გაიხსნება კონტაქტი 2.

ლიტერატურა

1. გ. ბერუაშვილი. პრაქტიკული სამუშაოები კვების საწარმოთა ტექნოლოგიური პროცესების ავტომატიზაციაში. თბილისი: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2006. 52 გვ.
2. Воробьев С.Г. Автоматизация производственных процессов виноделия. С.: Пищевая промышленность, 1972. 366 с.
3. Карпин Е.Б. Автоматизация технологических процессов пищевых производств. М.: Агропромиздат, 1985. 535 с.
4. Попов Е.П. Автоматическое регулирование и управление. М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. 288 с.
5. New development. International Meeting on Chemical Engineering and Biotechnology. AIChE 91. GERNANY, FRANKFUT AM MAIN, 1991. 796 p.

სარჩევი

შესავალი	3
1. ძირითადი ცნებები და განმარტებები	4
2. რეგულატორების კლასიფიკაცია	8
3. ავტომატური რეგულირების სისტემის რგოლები	13
4. ავტომატური და ხელით რეგულირება	23
5. რეგულირების სტრუქტურული სქემები	28
6. სარეგულირო ობიექტის თვისებები	30
6.1. ტევადობა	31
6.2. თვითგაწონასწორება	35
6.3. გაუწონასწორებლობა და დაგვიანება	37
7. პირდაპირი ქმედების რეგულატორი	41
8. არაპირდაპირი ქმედების რეგულატორები	44
9. უწყვეტი ქმედების რეგულატორები	46
9.1. სტატიკური რეგულატორები	47
9.2. ასტატიკური რეგულატორები	49
9.3. იზოდრომული რეგულატორები	52
9.4. რელეური რეგულირება	54
10. ავტომატური მოწყობილობების ელემენტ- ები	60
10.1. გადამწოდები	60
10.2. პარამეტრული გადამწოდები	61
10.2.1. აქტიური წინაღობების გადამწოდები	61
10.2.2. ინდუქციური გადამწოდები	66
10.2.3. ტევადობითი გადამწოდები	67
10.3. გენერატორული გადამწოდები	70

10.3.1. თერმოწყვილები და ტახოგენერატორები	70
10.4. პნევმატიკური გადამწოდები	70
10.5. რელეები	74
10.5.1. ელექტრული რელეები	76
10.5.2. არაელექტრული რელეები	80
10.6. ამსრულებელი მექანიზმები	84
10.6.1. ელექტრული ამსრულებელი მექანიზმები	84
10.6.2. ელექტრომაგნიტური ვენტილები	87
10.7. დამხმარე ელემენტები	88
ლიტერატურა	90

კომპიუტერული უზრუნველყოფა ე. ზარიძის

იბეჭდება ავტორის მიერ წარმოდგენილი სახით

გადაეცა წარმოებას 01.10.2007. ხელმოწერილია დასაბეჭდად
22.10.2007. ქალაქის ზომა 60X84 1/16. პირობითი ნაბეჭდი
თაბახი 6. ტირაჟი 100 ეგზ.

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი,
კოსტავას 77

