

ნიკოლოზ ქვრივიშვილი

**მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის
სისტემის კვლევა**

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
მაისი, 2014

© საავტორო უფლება ნიკოლოზ ქვრივიშვილი, 2014

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ენერგეტიკის და ტელეკომუნიკაციების ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ქვრივიშვილი ნიკოლოზ-ის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: “მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის კვლევა” და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

-----/-----/ 2014 წ

ხელმძღვანელი: შაველაშვილი გივი

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2014

ავტორი: ქვრივიშვილი ნიკოლოზი
დასახელება: მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის კვლევა
ფაკულტეტი : ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციების ფაკულტეტი
აკადემიური ხარისხი: დოქტორი
სხდომა ჩატარდა: / / 2014 წ.

ინდივიდუალური პროცენტების ან ინსტიტუტების მიერ შემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცული მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

ედვინება ჩემს მეუღლეს ხათუნა ჯიჯავაძეს, ვაჟს დიმიტრი ქვრივიშვილს და
ყველა პიროვნებას რომლებიც ჩემს გვერდით დგანან

რეზიუმე

ნაშრომი სათაურით “მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის კვლევა” შეიცავს მუდმივი დენის ძრავის Ford 1BB-42 მათემატიკურ მოდელირებას, კომპიუტერული მათემატიკის პროგრამით Mathcad 15.0, რაც შეიცავს გარდამავალი რეჟიმების მრუდების აგებას, რომლებიც აღწერენ ძრავის მოქმედებას გარდამავალი რეჟიმების დროს და ძრავის სისწორულ დიაგრამებს(ბოდეს დიაგრამებს). სისტემის ძალური ბოგირი(რომელიც შესრულებულია ველიან ტრანზისტორებზე, მაკეტირებულია და მოდელირებული Multisim 9 ელექტრონული წრედების დიზაინის პროგრამით, რა დროს გამოვიყენეთ და გრაფიკულად ავაგეთ გარდამსახის ძაბვის, დენის, სიჩქარის კოორდინატების ცვლილება დროში, დავადგინეთ თვითოეული ცდისათვის გარდამსახის დროის მუდმივა, წმინდა დაყოფნება, გარდამავალი და გადაცემის ფუნქცია. ამის შედეგად დადგინდა გარდამსახის გამოსასვლელი ძაბვის დამოკიდებულება მიერთებული რეზისტორის წინააღმდეგობასთან, გარდამსახის გამოსასვლელზე ძაბვის დამყარების გარდამავალი რეჟიმის დრო, წმინდა დაყოფნება და დროის მუდმივა თვითოეული ცდისათვის.

სისტემის წარმოდგენა სისწორულ კვანძებად და შეკრული უკუკავშირებით სისტემის შეფასება შესრულებულ იქნა ავტომატური სისტემების მაკეტირებისა და მოდელირების პროგრამით Vissim-ის გამოყენებით. საბოლოოდ სისტემის პრინციპიალური სქემა და ელექტრონულ კომპონენტთა სია არის წარმოდგენილი(ცალკეულ კომპონენტთა ფასების მითითებით და საერთო შეფასებით). სისტემის მუშაობის ზოგიერთი სახასიათო რეჟიმი არის გრაფიკულად წარმოდგენილი. მოწყობილობა შეიცავს ბრუნვის მიმართულების გადამრთველის და სიჩქარის დავალების პოტენციომეტრს. სიჩქარის უკუკავშირი არის განხორციელებული ჰოლის სენსორებით და მიკროკონტროლერ Atmega 88-ის გამოყენებით. მოწყობილობის ძალურ ნაწილში არის გათვალისწინებული დენის სენსორი(დენური შუნტის შესრულებით), რომლითაც მიკროკონტროლერი აღმოაჩენს ძრავის გადამეტვირთვას და გაზომავს ძრავის დენს(მომენტს). მოწყობილობის დიზაინი ითვალისწინებს მაღალი $+150^{\circ} \text{C}$ გარემოს ტემპერატურის გამოყენებას. გადახურების შემთხვევაში ძალური ბოგირის მართვის ATA 6824 მიკროსქემა შეაჩერებს მოწყობილობის მუშაობას. მოწყობილობაში გამოყენებული კონდენსატორებს უნდა ჰქონდეთ სტაბილური $C(T)$ ტევადობა/ტემპერატურა მახასიათებელი, ამისათვის კონდენსატორები შერჩეული უნდა იქნას ე.წ X8R დიელექტრიკით, წინააღმდეგ შემთხვევაში მოწყობილობის მუშაობა არასტაბილურია. მოწყობილობის ძალურ ბოგირზე მოკლედ შერთვის შემთხვევაში მმართველი მიკროსქემა არ აწვდის გახსნის იმპულსს ძალოვან ტრანზისტორებს და ელოდება მიკროკონტროლერის შემდეგ ე.წ “ამომავალ ფრონტს”, რა დროს ძალურ ტრანზისტორებს ისევ ეწოდება გახსნის სიგნალი. ძალურ ბოგირში მოკლედ შერთვის შესახებ შეტყობინება წარმოებს დიაგნოსტიკის მოდულიდან DG1 შუქდიოდით. გადახურების შემთხვევაში მმართველი მიკროსქემა დროებით შეაჩერებს მოწყობილობის მუშაობას მანამ, სანამ ტემპერატურა არ დაბრუნდება დასაშვებ ზღვრებში, რა დროს მოწყობილობა განაახლებს ამძრავის

მუშაობას პერსონალის ჩარევის გარეშე. ყველაფერი ეს მოწყობილობის გამოყენების საშუალებას იძლევა იქ, სადაც არ არის წვდომა ცვლად სინუსოიდურ ქსელთან, არსებობს მაღალი $t < 150^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურა და არ არის მომსახურე პერსონალი ან ოპერატორი.

Abstract

The work titled “Direct current motor microprocessor control system exploring” contains direct current motor 1BB-42 mathematical modelling with computer math software Mathcad 15, transient curves exploring motor’s behavior during transient modes and motors frequency diagrams (Bode diagrams). Also power bridge of the system is being modelled with Multisim 9 electronic circuitry design software with its transient mode curves and frequency diagrams with the affection of load resistance on bridge energising transient time is explored and graphically represented with find out the math formula of the dependence. The system representation as integrity of frequency blocks and its performance modelling with the software Vissim is also performed. Finally system circuitry schematic diagram and list of electronic components are presented. System performance on examples of certain modules is described with block-diagrams. A mounted switch (DIR) for run/stop, clockwise, and counterclockwise movement and a potentiometer (SPEED) for variable speed (PWM) input are available on the application board to enable stand-alone prototyping. An optional feedback loop from the DC motor to the Atmel ATmega88 can be established using Hall sensor(s). The two Hall inputs can be linked to the connector HALL as well as the 5V supply for the Hall sensors. There is also an on-board shunt current sensor to detect over-currents (using Atmel ATmega88’s analog comparator) and to measure motor current. The application is designed for high temperature environments. The Atmel ATmega88 and the Atmel driver ATA6824 are qualified up to an ambient temperature of 150°C . Under thermal overload conditions, the Atmel ATA6824 switches off. If the temperature exceeds the prewarning threshold, the microcontroller can reduce the output power. Capacitance material on X8R quality is necessary to ensure high ambient temperatures. Mounted connectors, a switch, and a potentiometer on the board, enable prototyping; however, these components are not qualified for use under high temperatures. The board can be integrated into high-temperature environments using wires. ATA6824 DIR pin is set according to command direction. PWM ratio is refreshed constantly according to speed of the potentiometer ADC input. Command switch inputs are monitored to stop motor or keep it stopped. Atmel ATA6824 detects a short circuit: H-bridge short-circuited and FET is switched off until next PWM rising edge. This default is reported to software through a diagnostic feature: an interrupt occurs on DG1 MCU input pin, which internally latches a failure. Apart from switching on the DG1 LED, no action is taken by the software in response to this event. In a customer application, this should be managed, eventually by the interrupt sub-routine, especially in case of a 100% PWM ratio where no rising edge appears at the Atmel ATA6824 PWM input to make a retry. Care should be taken in motor transient state (e.g. motor start-up). An accelerating curve is preferable from 0% to 100% PWM ratio transition, which may be mistaken for a short-circuit condition. Without management, in the worst case scenario, the motor will not start as the outputs are switched off, and short circuit will be shown on DG1 pin. Atmel ATA6824 detects an over-temperature warning: an interrupt occurs on the MCU. This diagnostic doesn’t need to be software latched as it

remains high until the temperature decreases. The application software toggles an LED. This makes it possible to use the device in such environments, where sine-wave shaped current supply is not available, high temperatures up to 150 °C exist, and there are no operators (personnel).

შინაარსი

შესავალი	1
1. ლიტერატურული მიმოხილვა	4
თავი 1 მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის კვლევა.....	23
1.1 მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის კვლევის ფიზიკური ობიექტები.....	27
1.2 მუდმივი დენის ძრავის Ford 1BB-42 მათემატიკური მოდელის შედგენა.....	29
1.3 მართვის სისტემის ლოგიკური ნაწილის დამუშავება.....	42
1.4 დისკრეტულ მოწყობილობათა თეორიის მოკლე მიმოხილვა.....	43
1.5 ლოგიკური სქემების აგება ჭეშმარიტების ცხრილით.....	46
1.6 ტრანზისტორული გარდამსახის კვლევა.....	50
1.7 რეგულირების ობიექტის გადამწოდი ფუნქციის დადგენის სტრატეგია.....	54
1.8 კვლევის ტექნოლოგიური ხერხები და ექსპერიმენტი.....	59
1.9 კვლევის ინსტრუმენტები.....	60
1.10 Multisim-ში ვირტუალური მაკეტის შექმნა.....	61
1.11 გარდამსახის გარდამავალი ფუნქციის კვლევის ცსები.....	67
1.12 დინამიკის დამოკიდებულება დატვირთვის რეზისტორის წინააღობის სიდიდეზე.....	81
თავი 2 ტრანზისტორული გარდამსახის სიხშირული მახასიათებლები.....	84
2.1 მოკლე ისტორიული ცნობები.....	84
2.2 ტრანზისტორული გარდამსახის ამლიტუდურ-სიხშირული და ფაზურ სიხშირული მახასიათებლები.....	86
მე-2-ე თავის ძირითადი შედეგები და დასკვნა.....	95
თავი 3 გარდამავალი რეჟიმების ხარისხის მაჩვენებლები.....	96
3.1 სისტემის რეგულირების ხარისხის ძირითადი მაჩვენებლები.....	99
3.2 ტრანზისტორული გარდამსახის სიხშირული რგოლის სახით წარმოდგენა.....	101
მე-3-ე თავის შედეგები და დასკვნა.....	103
თავი 4 შედეგები და მათი განსჯა სისტემის ერთიანად შეკვრა და შეფასება პროგრამა Vissim-ის გამოყენებით.....	105
მე-4-ე თავის დასკვნები.....	113
თავი 5 ტექნოლოგიური ნაწილი.....	114
მე-5-ე თავის დასკვნები.....	124
საერთო დასკვნა.....	125
დანართი.....	127
გამოყენებული ლიტერატურის სია.....	133

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი №1 Ford 1BB-42 საკვლევი ძრავის საწყისი პარამეტრები-----	30
ცხრილი №2 ჭეშმარიტების ცხრილის მაგალითი-----	47
ცხრილი №3 გასაღებების მდგომარეობა მართვის სიგნალებიდან გამომდინარე-----	47
ცხრილი №4 გამოსასვლელი ცვლადების მნიშვნელობა შესასვლელების მიმართ-----	48
ცხრილი №5 Ford 1BB-42 ძრავის დროის მუდმივები და გადამწოდი ფუნქცია-----	54
ცხრილი №6 გარდამავალი ფუნქციის და პარამეტრები 0.26 ომიან დატვირთვაზე-----	68
ცხრილი №7 გარდამავალი ფუნქციის და პარამეტრები 0.6 ომიან დატვირთვაზე-----	70
ცხრილი №8 გარდამავალი ფუნქციის და პარამეტრები 0.82 ომიან დატვირთვაზე-----	71
ცხრილი №9 გარდამავალი ფუნქციის და პარამეტრები 8.22 ომიან დატვირთვაზე-----	72
ცხრილი №10 გარდამავალი ფუნქციის და პარამეტრები 26 ომიან დატვირთვაზე-----	73
ცხრილი №11 გარდამავალი ფუნქციის და პარამეტრები 2.6 ომიან დატვირთვაზე-----	74
ცხრილი №12 გარდამავალი ფუნქციის და პარამეტრები 0.46 ომიან დატვირთვაზე-----	75
ცხრილი №13 გარდამავალი ფუნქციის და პარამეტრები 1.46 ომიან დატვირთვაზე-----	77
ცხრილი №14 გარდამავალი ფუნქციის და პარამეტრები 4.62 ომიან დატვირთვაზე-----	78
ცხრილი №15 გარდამავალი ფუნქციის და პარამეტრები 14.62 ომიან დატვირთვაზე-----	79
ცხრილი №16 დატვირთვის წინააღმდეგობა და შესაბამისი დინამიკის პარამეტრები-----	81
ცხრილი №17 ექსპერიმენტული მონაცემები-----	92
ცხრილი №18 საანგარიშო მონაცემები-----	93
ცხრილი №19 მონაცემთა დამუშავების ცხრილი-----	94
ცხრილი №20 მუდმივი დენის Ford 1BB-42 ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის კომპონენტთა ნუსხა და ფუნქციონალური დანიშნულება მოღულებების მიხედვით-----	119

ნახაზების ნუსხა

ნახაზი №1 მყარსხეულიანი რელეს სტრუქტურა-----	10
ნახაზი №2 მყარსხეულიანი რელე -----	10
ნახაზი №3 მიკროკონტროლერები ATmega32 და ATmega 88-----	11
ნახაზი №4 რეგულატორის და მართვადი ობიექტის კავშირის სტრუქტურა-----	12
ნახაზი №5 ერთკონტურიანი არს-ის სტრუქტურული სქემა-----	13
ნახაზი №6 370-ე სერიის ელექტროამძრავის მოწყობილობის ხედი-----	15
ნახაზი №7 ელექტროამძრავის სტრუქტურული სქემა-----	19
ნახაზი №8 370 ამძრავის სტრუქტურული სქემა-----	26
ნახაზი №9 SLE- სერიის 2-კვადრანტიანი ელექტროამძრავი-----	26
ნახაზი №10 მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მოწყობილობის ხედი-----	27
ნახაზი №11 მუდმივი დენის მიკროპროცესორული მართვის გამარტივებული პრინციპიალური სქემა-----	29
ნახაზი №12 სტატიკური ბუნებრივი მექანიკური მახასიათებელი-----	32
ნახაზი №13 ძრავის ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი-----	34
ნახაზი №14 ფაზო-სიხშირული მახასიათებელი-----	35
ნახაზი №15 ძრავის გარდამავალი მახასიათებელი-----	35
ნახაზი №16 ძრავის გაქანება-----	36
ნახაზი №17 სისტემის ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი შეშფოთების მიმართ-----	38
ნახაზი №18 ფაზურ-სიხშირული მახასიათებელი შეშფოთების მიმართ-----	39
ნახაზი №19 გარდამავალი რეჟიმი საფეხურებრივი ტვირთის ზემოქმედების დროს-----	40
ნახაზი №20 გარდამავალი რეჟიმი დატვირთვის მომენტის მოდებისას-----	40
ნახაზი №21 ძრავის ჩართვის გარდამავალი რეჟიმი-----	41
ნახაზი №22 სარელეო კონტაქტორული სქემა-----	45
ნახაზი №23 ლოგიკური ფუნქცია რომელიც შესრულებულია სტატიკურ ლოგიკურ ელემენტებზე-----	46
ნახაზი №24 ბოგირის ძალოვანი ტრანზისტორების მართვის სქემა ლოგიკურ ელემენტებზე-----	50
ნახაზი №25 მძლავრი ველიანი ტრანზისტორი BLF7G20L-200-----	66
ნახაზი №26 გარდამსახის გარდამავალი მახასიათებელი Rდატ=0.26 ომი-----	69
ნახაზი №27 გარდამსახის გარდამავალი მახასიათებელი Rდატ=0.6 ომი-----	71
ნახაზი №28 გარდამსახის გარდამავალი მახასიათებელი Rდატ=0.82 ომი-----	72
ნახაზი №29 გარდამსახის გარდამავალი მახასიათებელი Rდატ=8.22 ომი-----	73
ნახაზი №30 გარდამსახის გარდამავალი მახასიათებელი, Rდატ=26 ომი-----	74
ნახაზი №31 გარდამსახის გარდამავალი მახასიათებელი, Rდატ=2.6 ომი-----	75
ნახაზი №32 გარდამსახის გარდამავალი მახასიათებელი, Rდატ=0.46 ომი-----	76
ნახაზი №33 გარდამსახის გარდამავალი მახასიათებელი, Rდატ=1.46 ომი-----	78
ნახაზი №34 გარდამსახის გარდამავალი მახასიათებელი, Rდატ=4.62 ომი-----	79
ნახაზი №35 გარდამსახის გარდამავალი მახასიათებელი, Rდატ=14.62 ომი-----	80

ნახ. №36 დროის მუდმივების და წმინდა დაყოვნების ანალიზური დამოკიდებულება რეისტორის წინააღმდეგ	82
ნახ. №37-ზე წმინდა დაყოვნების და დროის დამოკიდებულება დატვირთვის წინააღმდეგ	87
ნახ. №38 გარდამსახის ნახევრადლოგარითმული ამპლიტუდურ სიხშირული მახასიათებელი	88
ნახ. №39 გარდამსახის ფაზურ სიხშირული მახასიათებელი	89
ნახ. №40 გარდამსახის ძაბვის ექსპერიმენტული დამოკიდებულების ფორმულით აპროქსიმაცია	90
ნახ. №41 გარდამსახის გარდამავალი მახასიათებელი, რომელიც ჩართულია ძრავის ღუზაზე 1BB-42	91
ნახ. №42 ტაქოგენერატორის ძაბვის გრაფიკი	91
ნახ. №43 ძრავის ღუზის დენი გარდამსახის ჩართვის შემდეგ	92
ნახ. № 44 გადამეტრეგულირება	99
ნახ. №45 წმინდა დაყოვნების და მაინტეგრირებელი რგოლების მიმდევრობით შეერთება	103
ნახ. №46 ძალური შესასვლელი და მმართველი შესასვლელი მიკროკონტროლერიდან	103
ნახ. №47 მუდმივი დენის ელექტროამძრავი, რომლის ფრაგმენტი აღებულ იქნა პროგრამა Vissim-ში მოდელირებისათვის	106
ნახ. №48 ტრანზისტორული გარდამსახის ჩართვა უქმ სვლაზე	106
ნახ. №49 დაუტვირთავი ძრავის ამუშავება ტრანზისტორული გარდამსახიდან	107
ნახ. №50 დაუტვირთავი ძრავის ამუშავება ტრანზისტორული გარდამსახიდან, დენის ცვლილების გრაფიკი	107
ნახ. №51 გახსნილი სისტემა ამუშავება დატვირთვის ქვეშ ნომინალური მომენტით $M_n = 0.702$ ნმ	108
ნახ. №52 ამუშავება მაქსიმალური დატვირთვის ქვეშ	108
ნახ. №53 მაქსიმალური მომენტით დატვირთული ძრავის ამუშავება	109
ნახ. №54 ნომინალური მომენტით დატვირთული ძრავის ამუშავება, დენის ცვლილება საწყისი მონაკვეთისათვის	109
ნახ. №55 ამუშავება უქმ სვლაზე 0.11 წმ-ის შენდგომ დატვირთვის ნახტომისებურად მოდება სიჩქარის ცვლილების გრაფიკი	110
ნახ. №56 ამუშავება უქმ სვლაზე, 0.11 წმ-ის შენდგომ დატვირთვის ნახტომისებურად მოდება დენის ცვლილების გრაფიკი	110
ნახ. №57 ძაბვის ცვლილება ტრანზისტორული გარდამსახის გამოსასვლელზე დახურულ სისტემაში დატვირთვის ნახტომისებური მოდებისას	111
ნახ. №58 იგივე რეჟიმი სიჩქარისათვის	112
ნახ. №59 იგივე რეჟიმი დენისათვის	112
ნახ. № 60 მუდმივი დენის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის მოწყობილობა	114
ნახ. №61 მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის მოწყობილობის პრინციპიალური სქემა	116

ნახ. № 62 მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის დამხმარე მოდულების პრინციპიალური სქემები-----	117
ნახ. №63 ანალოგური კომპარატორის და დიაგნოსტიკის მოქმედება-----	118
ნახ. №64 მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის ძირითადი მუშა ციკლი-----	118

ნახაზები დანართიდან

ნახ. №1 მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის ბლოკ-სქემა-----	128
ნახ. №2 მუდმივი დენის ძრავის მართვის სტრუქტურული სქემა-----	129
ნახ. № 3 მულტისიმში აწყობილი მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის მაკეტი-----	130
ნახ. №4 მულტისიმში აწყობილი მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორულიმართვის სისტემის მაკეტი პროპორციულ-ინტეგრალური (პი) რეგულატორით-----	131
ნახაზი №5 საერთო პრინციპიალური სქემა-----	132

დისერტაციაში გამოყენებული აბრევიატურები

არს – ავტომატური რეგულირები სისტემა

გიმ – განივ იმპულსური მოდულაცია

მდძ – მუდმივი დენის ძრავი

უმდძ – უკოლექტორო მუდმივი დენის ძრავი

VCC – აქ მიკროკონტროლერის და მმართველი მიკროსქემის სტაბილიზირებული 5 ვოლტიანი კვება

GND – “მიწა”, ანუ საერთო მინუსი

PGND- “ძალური მიწა”

VBAT – “ბატარეული კვება” სტაბილიზაციის და ფილტრაციის გარეშე

VBATSW – “ბატარეული კვება” სტაბილიზირებული და გაფილტრული

NC – მიკროსქემის ან სხვა კომპონენტის “ფეხი”, რომელიც არ არის გამოყენებული

PWM – **Pulse Width Modulation** განივ იმპულსური მოდულაცია

MOSFET – **Metal Oxide Semiconductor Field Emited Transistor** – მეტალი-ოქსიდი-ნახევრადგამტარი-ველით ემისიის ტრანზისტორი – იგივე ველიანი ტრანზისტორი

SIO – **Serial Input Output** – მიმდევრული შესასვლელ გამოსასვლელი – გარეშე მოწყობილობებთან(მაგ. საავტომობილო ბორტკომპიუტერი) კავშირის გასართი

ISP – **Integrated Serial Programming** – მიკროკონტროლერის დაპროგრამების 6 სადენიანი პორტი

LED – **Light Emited Diode** – შუქდიოდი ანუ ლედი

DC – **Direct Current** – აქ აკუმულატორული ბატარეიდან აღებული მუდმივი დენი

RWD – რეზისტორი რომელიც განსაზღვრავს ტაიმერის ათვლის ხანგრძლივობას

CC Time – **Cross Conduction Time** – ჯვარედინი(გამჭოლი) გამტარობის დრო

RST – **Reset** - ჩამოყრა

RX – “მიღება”

TX – “გაცემა”

Bias current – წანაცვლების დენი

PCB – **Printed Circuit Board** – ფოლგირებული მინატექსტოლიტისგან დამზადებული ქიმიურად დამუშავებული ფირფიტა რომელზეც მონტაჟდებიან ელექტრონული კომპონენტები

Gain – გაძლიერების კოეფიციენტი

MCU – მიკროკონტროლერი

DIR – **Direction** – ძრავის ბრუნვის მიმართულება

CCW – **Counter Clock Wise** – ღიღვის ბრუნვა საათის მიმართულების საწინააღმდეგოდ

CW – **Clock Wise** – საათის ისრის მიმართულებით

PB – **Push Button** - ღილაკი

Release – გაშვება

DG1, DG2, DG3 – სადიაგნოსტიკო წრედები

Feedback – უკუ კავშირი

Loop – კონტური

Charge pump – მუხტის (ბოგირის ჩამკეტების) მმართველი გენერატორი

PIN – მიკროსქემის ან სხვა კომპონენტის “ფეხი”

მადლიერება

განსაკუთრებით დიდ მადლობას ვუხდით მამაჩემს მალხაზ ქერივიშვილს, დოქტორანტურაში სწავლების საფასურის ანაზღაურების, მორალური და სხვა მხარდაჭერისთვის, შენიშვნებისთვის და გულშემატკივრობისათვის, ჩემს ხელმძღვანელს ბ-ნ გივი შაველაშვილს ნაშრომის ობიექტურად შეფასებისათვის, ბიძაჩემს ბ-ნ ალექსეი ჟუკოვსკის პრაქტიკული და მეტად ფასეული შენიშვნებისათვის და ყურადღებისათვის, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის და ტელეკომუნიკაციების ფაკულტეტის ელექტრული დანადგარების კათედრის პროფესორ მასწავლებელს ბ-ნ გურამ ცხომელიძეს ნაშრომის ტექნიკური და ტექნოლოგიური მხარის ცოცხალი ინტერესისათვის და გაგებისათვის. აგრეთვე მადლობა მინდა ვუთხრა დედაჩემს ნატალია ჟუკოვსკაიას სხვადასხვა შენიშვნებისთვის რომლებიც მომცა დისერტაციის ლიტერატურულ მიმოხილვაზე მუშაობის პერიოდში და ყველა პიროვნებას რომლებიც გულშემატკივრობენ მათი უანგარო მხარდაჭერისათვის.

შესავალი

საუკუნეების მიჯნაზე კაცობრიობის წინაშე დადგა პრობლემები, რომლებიც ზოგადად მდგომარეობს იმაში, რომ ატმოსფეროში ნახშირორჟანგის კონცენტრაციასთან ერთად იზრდება ეკოლოგიური საფრთხეები. მიუხედავად კაცობრიობის მცდელობისა და ამ კუთხით ბევრი სამეცნიერო პრაქტიკული საქმიანობისა, ენერჯის მთავარ წყაროდ რჩება ნავთობი, ქვანახშირი და ბუნებრივი აირი. როგორც ცნობილია მათი დაწვის შედეგად წარმოიქმნება CO_2 , H_2O , აზოტის ოქსიდები NO_x , გოგირდწყალბადი H_2S რომლებიც საკმაოდ დაგროვდა ატმოსფეროში და ეკოლოგიურ პრობლემას ქმნის. აგრეთვე ნახშირბადი C , რომელიც ჭვარტლის ნაწილაკების სახით გაფანტულია ატმოსფეროში და იწვევს ონკოლოგიური დაავადებების რისკის ზრდას. საზოგადოების უდიდესი ნაწილისათვის უკვე ცნობილია, რომ ამ ქიმიურ ნივთიერებათა წყაროს წარმოადგენენ ნახშირწყალბადოვან საწვავზე მომუშავე შიდა წვიის ძრავები, თბოელექტროსადგურები, თბოელექტროცენტრალები და სხვა საწარმოები, რომლებიც მოიხმარენ მყარ, თხევად და გაზისებრ ნახშირწყალბადოვან საწვავს.

1986 წელს მსოფლიოს კიდევ ერთხელ შეახსენა თავი ატომური ელექტროსადგურების ექსპლუატაციასთან დაკავშირებილმა საფრთხემ, რომელმაც რადიაქტიული დაბინძურების სახით გამოიჩინა თავი.

ჰიდროელექტროსადგურების მშენებლობას ხშირ შემთხვევაში არანაკლებად საზიანო შედეგები მოსდევს დატბორილი ტერიტორიების სახით. მაგრამ განსაკუთრებით საშიშია საკუთრივ კაშხლები, რომლების აკავებს მილიარდობით კუბურ მეტრ წყალს და მათი დაშლის ან დანგრევის შემთხვევაში მოსალოდნელი იქნება სერიოზული ტექნოგენური კატასტროფები. ამ ყველაფერთან ერთად ჰიდროელექტროსადგურების გაუაზრებელმა მშენებლობამ ხელი შეუწყო გრუნტების ეროზიას, წყლის დიდ ფართზე დაგუბების შედეგად მდინარეების კალაპოტებში ხვდება(ჩამოირეცხება) სასოფლო სამეურნეო ნიადაგი(მიწა), რომელიც სერიოზულად აზიანებს წყალსაცავების წყლის ხარისხს, იწვევს მდინარეების ამწვანებას, დაჭაობებას. ეკოლოგიურ საფრთხესთან ერთად ჩანს ელექტროენერჯის წარმოების ტრადიციული ტექნოლოგიის

ნაკლოვანებები. ერთ ერთი მნიშვნელოვანი მათგანი არის ელექტროენერჯის კარგები ელექტროგადამცემ ხაზებში. როგორც ცნობილია ეს დანაკარგები შეიძლება შევაფასოთ შემდეგი ფორმულით:

$$\Delta P = I^2 \cdot R$$

დენის მნიშვნელობის კვადრატის შესამცირებლად მიმართავენ ძაბვის ზრდას, რაც იწვევს აპარატურის ძლიერ გაძვირებას. ამასთან ერთად სადენების აქტიური წინაღობის შემცირება პრაქტიკულად ვერ ხერხდება. ზეამტარები კვლავ რჩება პრაქტიკულად დაუნერგავ ტექნოლოგიად ტრადიციულ ენერგეტიკაში.

ყველა ამ ზემოთ ჩამოთვლილმა ეკოლოგიურმა და ეკონომიკურმა ასპექტმა უკვე ზერელე მსჯელობის შედეგად ცხადჰყო, რომ კაცობრიობამ კვლავ უნდა შეეცადოს გააძლიეროს სამუშაოები სხვა ენერჯის წყაროს მოსაპოვებლად. რომლებსაც ეკოლოგიურ უსაფრთხოებასთან ერთად კიდევ ორ ძალზედ მნიშვნელოვან მოთხოვნას დააკმაყოფილებს:

1. ელექტროენერჯის მიღების დროს უნდა ვეცადოთ თავი ავარიდოთ მის დიდ მანძილზე გადაცემას.
2. უნდა იყოს შესაძლებელი ელექტროენერჯის დაგროვება. (აკუმულირება).

ელექტროენერჯის ერთ-ერთ ყველაზე პერსპექტიულ წყაროდ მზის ბატარეები არის მიჩნეული. მზის ნაკადის გამოსხივების სიმძლავრე დედამიწის ატმოსფეროს საწყისში არის გაზომილი სიდიდე და შეადგენს **1366 ვატს ერთ კვადრატულ მეტრზე**. ამასთან ერთად დადგენილია ისიც, რომ ევროპის სხვადასხვა ქვეყანაში მზის გამოსხივების სიმძლავრე დრუბლიან ამინდში შეადგენს არანაკლებ **100 ვატს კვადრატულ მეტრზე**.

ყველაზე გავრცელებული ტიპების მზის ბატარეების გამოყენებით მზის ენერჯის გარდაქმნის ეფექტიურობა შეადგენს **9-24 %**. ამასთან ერთად ბატარეის ფასი შეადგენს **1** დან **3-მდე** ამერიკულ დოლარს ნომინალური სიმძლავრის **1 ვატზე**. ელექტროენერჯის ფოტოელექტრული გზით გენერაციის შემთხვევაში **1 კვტ.სთ ფასი შეადგენს 0.25 დოლარს**.

ფოტოვოლტაიკის ევროპული ფედერაციის(EPIA) აზრით, 2020 წელს ფოტოელექტრული წესით მიღებული ელექტროენერჯის ფასი შემცირდება 0.1 ევრომდე კილოვატსაათამდე სამრეწველო დანადგარებისათვის და 0.15

ევრო კილოვატსაათზე საცხოვრებელი კომპლექსებისათვის. ზოგიერთ ლაბორატორიებში მიღებულია ელემენტები ეფექტიურობით 43%. 2011 წლის იანვარში ბაზარზე შემოვიდა ფოტოელემენტები ეფექტიურობით 39 %. ამ მსჯელობიდან ცხადია, რომ მზის ბატარეები და აკუმულიატორები არიან **მუდმივი დენის გამომუშავებისა და დაგროვების წყაროები**. ასეთი ენერგეტიკული სისტემის დედამიწის ცალკეულ ტერიტორიებზე დანერგვის შედეგად მივიღებთ მუდმივი დენის დეცენტრალიზებულ ქსელს, **აქედან გამომდინარე მუდმივი დენის სინუსოიდურ ცვლად დენად გარდაქმნა იქნება ეკონომიკურად გაუმართლებელი**, გარდამსახეში ელექტროენერჯის კარგების გამო. **აქედან გამომდინარე ელექტროენერჯის მომხმარებლებმა უნდა იმუშავონ უშუალოდ მუდმივ დენზე**. ეს ადვილად მიიღწევა ტელევიზორების, კომპიუტერების შემთხვევაში, მაგრამ **ძრავულ დატვირთვაზე** საჭირო გახდება მუდმივი დენის სხვადასხვა კონსტრუქციული შესრულების **მუდმივი დენის კოლექტორიანი თუ უკოლექტრო ძრავები, რომელთა ჩართვა უშუალოდ მოხერხდება მუდმივი დენის ქსელში ყველანაირი გარდაქმნის გარეშე**.

გარდა ამისა ელექტრომობილებში, მცურავ საშუალებებში ელექტრულ წვეაზე, ცვლადი დენის ელექტრული ძრავების გამოყენება არ იქნება გამართლებული ისევე იმის გამო, რომ დენის პირველადი წყარო მუდმივ ძაბვას გამოიმუშავებს და მისი გარდაქმნა ცვლად ძაბვად არ იქნება ეკონომიკურად გამართლებული. ყველაფერი ეს ზემოთაღნიშნული გვაძლევს საშუალებას ვივარაუდოთ, რომ მუდმივი დენის ძრავებს დიდი პერსპექტივა აქვთ. დღევანდელ პრაქტიკაში კი ეს ძრავები ყველაზე მეტად წარმოდგენილი არიან ელექტრიფიცირებულ ავტოსატრანსპორტო საშუალებებსა, სხვადასხვა შემსრულებელი ორგანოს ამძრავებად როგორცაა ვიდეოკამერების ამძრავები, ავტომობილების აგრეგატები: სტარტერი, ელექტრობენზოტუმბო, რადიატორის ვენტილატორები. ცალკე აღსანიშნავია ისიც, რომ მუდმივი დენის მცირე სიმძლავრის ძრავები გამოიყენებიან კოსმოსური ხომალდების მზის ბატარეათა მომართვისათვის, კოსმოსური ხომალდების სიციცხლისუნარიანობის სისტემებში, მოკლედ რომ ვთქვათ მუდმივი დენის ძრავები არიან ყველგან, სადაც გამოიყენებიან ელექტროენერჯის სტატიკური(არაელექტრომანქანური) ავტონომიური წყაროები. აქედან გამომდინარე მუდმივი დენის ძრავების უფრო ფართო

მასიური გამოყენების პერსპექტივა იკვეთება და განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს მათი მართვის სისტემების უფრო ღრმა შესწავლა და კვლევა, რომელთა რიცხვს, ტექნოლოგიების განვითარების ახალ ეტაპზე მიეკუთვნება მიკროპროცესორული(მიკროკონტროლერით) მართვის სისტემა, რომლის საცდელი მაკეტებითა და კომპიუტერული მოდელების სახით დანერგვა საწყის ეტაპზე უნდა ხდებოდეს ლაბორატორიულ პირობებში. აქედან გამომდინარე მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული სისტემის კვლევას საკმაოდ მნიშვნელოვანი სამეცნიერო-პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს.

დასკვნა : იქიდან გამომდინარე, რომ მზის ენერჯის ელექტრულად გარდაქმნის შედეგად ვიღებთ მუდმივ ძაბვას მუდმივი დენის ძრავების გამოყენება მომავალში ბევრად გაიზრდება.

ლიტერატურული მიმოხილვა

როგორც თანამედროვე კვლევებმა ცხადყო მართვადი გამმართველების ტირისტორებზე აგებულ სქემებს სერიოზული ნაკლოვანებები გააჩნიათ. ეს ნაკლოვანებები მდგომარეობენ გამოსასვლელი ძაბვის პულსაციის მაღალ მნიშვნელობაში, სიმძლავრის კოეფიციენტის დაბალ სიდიდეში, რომელიც კლებულობს გამოსასვლელი ძაბვის პროპორციულად, აგრეთვე გამოსასვლელი დენის ერთი მიმართულებით მუშაობაში. იმისათვის, რომ გამართული დენის დინება უზრუნველყოთ ორივე მიმართულებით, გამოიყენებენ რევერსულ ტირისტორულ გარდამსახებს, რომლებიც შესდგებიან შემხვედრ-პარალელურად შეერთებული ტირისტორული გარდამსახებისაგან, რომელთა ერთ-ერთი მათგანის დანიშნულება გაატაროს დენი პირდაპირი მიმართულებით, ხოლო მეორე უკუ მიმართულებით. ეს ართულებს კონსტრუქციას და აძვირებს გარდამსახს. ავტონომიური ინვერტორის ტიპის მიხედვით მუდმივი დენის კონტური შეიძლება შესრულებული იყოს როგორც კვანძი, რომელიც უზრუნველყოფს გამოსასვლელი ძაბვის მუდმივ სიდიდეს(როგორც წესი ეს C ან LC ფილტრია), ან როგორც კვანძი რომელიც ინარჩუნებს დენის ძალის სიდიდის მუდმივ მნიშვნელობას(ფილტრი რეაქტორის სახით დიდი ინდუქციურობის

მნიშვნელობით). კონდენსატორის ტევადობის სიდიდე როგორც წესი შეადგენს 2000 დან 20000 მიკროფარადამდე, ასეთ კონდენსატორებს აქვთ დიდი გაბარიტები და მაღალი ფასები. დენის ავტონომიური ინვერტორების (დაი) მნიშვნელოვანი ნაკლოვანებაა ის, რომ მას არ შეუძლია იმუშავოს უკმ სვლაზე(ეი გამორთული ძრავით). ამის გარდა დენის ავტონომიური ინვერტორების გამოყენების შედეგად შესაძლებელია სიმძლავრის მნიშვნელოვანი კარგვები და დამატებითი შეშფოთების მომენტების წარმოქმნა ძრავაში, რომლებიც გამოიწვევენ ძრავის სიჩქარის რყევას. იმისათვის რომ მოხდეს ძრავების კვებისთვის დენის ფორმირება, რომელთა ფორმა იქნება სინუსოიდურთან ახლოს საჭიროა დაი-ს სქემების გართულება. ძალური გასაღებების სქემების შესასრულებლად, ისეთი მოწყობილობებისათვის რომელთა კომუტაციის დენები არ აღემატება 50 ა, გამოიყენებიან ველიანი ტრანზისტორები იზოლირებული ჩამკეტი – Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET) და ბიპოლარული ტრანზისტორები იზოლირებული ჩამკეტი – Isulated Gate Bipolar Transistor(IGBT) აგრეთვე მაღალი და დაბალი სიხშირის დიოდები და ტირისტორები. სიმძლავრის დაბალი კარგვები გასაღების რეჟიმში, დენისა და ძაბვის სიდიდის მაღალი მნიშვნელობები, აგრეთვე ჩართვის და გამორთვის დროის დაბალი მნიშვნელობები საშუალებას იძლევა შეექმნათ მძლავრი და კომპაქტური მოწყობილობები, რომლებიც ხასიათდება ნახევარგამტარული გასაღებების კომუტაციის მაღალი სიხშირით. [11,52]. ტირისტორი მიეკუთვნება მოწყობილობებს სტრუქტურით **p-n-p-n**. სტრუქტურის პირობითი სახის გათვალისწინებით, ჩანს, რომ ტირისტორი მიეკუთვნება ბიპოლარული ტრანზისტორების კლასს, უფრო ზუსტად ოთხფენიანი მოწყობილობების კლასს ელექტროგამტარობის ურთიერთმონაცვლეობის პრინციპით. მუშაობის პრინციპის მიხედვით ის წარმოადგენს გამმართველს, რომელსაც შეუძლია გაატაროს დენი მხოლოდ ერთი მიმართულებით. ისევე როგორც ნახევრადგამტარულ ტრანზისტორს მას აქვს მართვის ელექტროდი. როგორც გამმართველი ტირისტორი იმით განსხვავდება, რომ არაძირითადი მუშა მატარებლების გარეშე მმართველი ელექტროდის გავლით, ის არ გაიღება. როგორც გამარტივებული მოდელიდან ჩანს, ტირისტორის მმართველი ელექტროდი სრულად ანალოგიურია ბიპოლარული ტრანზისტორის ბაზისა, მაგრამ

აქვს ძალზედ მნიშვნელოვანი განსხვავება: **ტირისტორის მმართველი ელექტროდის მეშვეობით ტირისტორი შეიძლება გავაღოთ, მაგრამ არ შეიძლება ჩაგვეტოთ!** ამ საკმაოდ მნიშვნელოვანი ნაკლოვანების გარდა აღსანიშნავია ისიც, რომ მიუხედავად კომპუტირებული სიმძლავრის ძალიან დიდი მნიშვნელობების(ზოგიერთ შემთხვევაში რამოდენიმე მეგავატი!), მას კიდევ ერთი სუსტი მხარე ახასიათებს – **გამორთვის(ჩაგვეტვის) დიდი დრო.** იმისათვის რომ, ჩაგვეტოთ ტირისტორი უნდა შეწყდეს ან შემცირდეს დენის მნიშვნელობა საკმაოდ დიდი დროით, რომლის განმავლობაში ძირითად მუშა მატარებლები უნდა რეკომბინირდეს(ელექტრონულ-ნახერეტა წყვილები) ან გაიწოვოს. სანამ დენი სტრუქტურის გავლით არ დაბლოკირდება – ტირისტორი დარჩება გახსნილი. სინუსოიდური დენის კომპუტაციის წრედებში სინუსოიდური ძაბვა წაანაცვლებს ტირისტორს უკუ მიმართულებით და ამით კეტავს მას. მაგრამ მუდმივი დენის წრედებში საქმე გაცილებით რთულად არის: **საჭირო ხდება დამატებითი სქემის კონსტრუირება ანოდური დენის შესამცირებლად, რათა მოხერხდეს ტირისტორის დაბრუნება ჩაკეტილ მდგომარეობაში.**

რადგან ჩაკეტვა დაკავშირებულია მატარებელთა რეკომბინაციასთან(ისევე როგორც ბიპოლარულ ტრანზისტორში), ტირისტორის გადართვის დრო გაცილებით მეტია ვიდრე მძლავრ ველიან ტრანზისტორებში. საშუალო სიმძლავრის ტირისტორისთვის გამორთვის სრული დრო შეადგენს რამოდენიმე **მიკროწამს**, ხოლო მძლავრ ველიან ტრანზისტორებში ეს მნიშვნელობა რამოდენიმე **ნანოწამია.** (წყარო: ე.ს ოქსნერი). რადგან ჩვენს შემთხვევაში დენი არ აღემატება 30-40 ამპერს, ხოლო მუშა ძაბვა 12 ვოლტს, ზემოთჩამოთვლილი ტირისტორული სისტემების ნაკლოვანებების გათვალისწინებით, სქემის ძალურ ნაწილში ჯობია რომ გამოვიყენოთ ველიანი ტრანზისტორები **MOSFET**, რომელთა ველიანი ეფექტის პრინციპი პირველად ფორმულირებული იქნა **1930** წელს აშშ-ში გაცემულ პატენტში **ჯონ ლილიენფელდის** სახელზე. ეს პიროვნება, რომელიც სპეციალობით იყო ფიზიკოსი, თავიდან ლაიფციგში ასწავლიდა, მაგრამ შემდგომ აშშ-ში მოღვაწეობდა. **1948** წელს შოკლი და პირსონი ცდილობდნენ შეექმნათ ელემენტარული ველიანი ტრანზისტორი, გერმენიუმის თხელი ფენის დამტკვრვით დიელექტრიკზე, მაგრამ უშედეგოდ. რეალურ წარმატებას იმ დროისთვის ახალი ტექნოლოგიის

დანერგვაში მიღწეული იქნა **ბარდინის** კვლევის შემდგომ ზედაპირული მდგომარეობების შესახებ და **შოკლის** მიერ გამოქვეყნებულ უნიპოლარული ველიანი ტრანზისტორის თეორიულ ანალიზში. **1964** წელს გამოქვეყნდა ორი მნიშვნელოვანი სტატია ერთი **ზულიგის** მეორე ფრანგული ფიზიკოსის **ტეშნერის**. ამ სტატიებსა პირველად განხილული იყო ველიანი ტრანზისტორის გამოყენების შესაძლებლობა დიდი სიმძლავრის სიგნალების სამართავად. რადგან ჩვენ ამ სტატიებს აქ ვერ ჩავუღრმავდებით, ავშნიშნოთ მხოლოდ ის, რომ ორივე სტატიაში მეცნიერები ცდილობდნენ ორი ურთიერთგამომრიცხავი პრობლემის გადაწყვეტას: შეექმნათ მაღალსიხშირული ხელსაწყო და მიეღოთ გაჯერების დენის მაღალი მნიშვნელობა. იმ დროს სიმძლავრის კოეფიციენტის ამაღლებას ცდილობდნენ ნახევარგამტარის ზომების უბრალო გადიდებით, რის შედეგად იზრდებოდა პარაზიტული ტევადობა და არხის წინაღობა, რაც თავის მხრივ ამცირებდა მარალსიხშირულ პარამეტრებს, რადგან პარაზიტული ტევადობის ზრდას მოყვებოდა ზღვრული მუშა სიხშირე, ხოლო არხის წინაღობის გაზრდით იზღუდებოდა დენი.

დღესდღეობით მოთხოვნა მუდმივი დენის კოლექტორულ ძრავებზე საკმაოდ მაღალია და **განსაკუთრებით დიდი მოთხოვნით სარგებლობენ მცირე სიმძლავრის კოლექტორიანი მუდმივი დენის ძრავები(1 კვტ-მდე)**, რომლის ერთ-ერთ მათგანს მიკროპროცესორულ მართვის სისტემასთან ვიხილავთ ამ კვლევაში. ეს ძრავები ზოგადად ხასიათდება კონსტრუქციული თვისებებით, რომლებიც შესაძლებელს ხდიან ეკონომიურად ვარეგულიროთ ბრუნვის სიხშირე ფართო დიაპაზონში. მდებები ხასიათდება მაღალი მქკ-ით დაახლოებით 85 %, მაღალი ამუშავების მომენტით და დაბალი მასით. განსაკუთრებით აღსანიშნავია ის, რომ მუდმივი დენის ძრავის ბრუნვის სიხშირის სტატიკური სტაბილიზაციის სისტემის გამოყენებით **მიიღწევა ბრუნვის სიხშირის სტაბილურობის მნიშვნელობა 0.5 %**. ამასთან ერთად მუდმივი დენის კოლექტორიანი ძრავების სწრაფმოქმედება, რომელიც დროის მუდმივის მინიმალური მნიშვნელობით ხასიათდება შეადგენს **5-10 მილიწამს**. მუდმივი დენის ძრავები განსაკუთრებით მოთხოვნადია ავტომატური მართვის სისტემებში, რომლებიც საჭიროებენ სწრაფ ამუშავებასა და ძრავის სტაბილურ

მუშაობას ბრუნვის სიხშირის რეგულირების საშუალებით. ამიტომ ისინი იდეალურად ერგებიან ავტომატიკის სისტემებს, სადაც საჭიროა ელექტროძრავის საიმედოობა და არ არის საჭირო დიდი სიმძლავრე. ასევე საფრენ აპარატებში გამოიყენებიან მდბ-ბი სადაც სიმძლავრის დიაპაზონი მერყეობს ერთეულ ვატიდან რამოდენიმე ათეულ კილოვატამდე. ზოგადად თვითმფრინავზე მონტაჟდება 200 ცალი მუდმივი დენის ძრავი.

მე-19 და მე-20 საუკუნის მიჯნაზე წარმოებისათვის იყო დამახასიათებელი აგრეგატების, სხვადასხვა მანქანა-დანადგარების წარმადობის განუხრელი ზრდა. მე-20 საუკუნის მეორე ნახევრიდან აღინიშნება მკვლევართა ყურადღების თანდათან გადატანა წარმოების მართვის პროცესების სრულყოფაზე. მიუხედავად იმისა, რომ ობიექტების მათემატიკური მოდელების დამუშავება მაშინ იყო ძალიან რთული ამოცანა ელექტრონულ გამოთვლითი ტექნიკის განვითარების დაბალი დონის გამო, მკვლევართა მიერ მოხერხდა ბევრი ტექნიკური ობიექტის მათემატიკური მოდელის შედგენა (მათ შორის მუდმივი დენის ძრავის, ტირისტორების, უფრო გვიან ტრანზისტორების და ა.შ).

Появление мощных, полностью управляемых полевых транзисторов, MOSFET (Metal - Oxide - Semiconductor Field Effect Transistor) и биполярных транзисторов с изолированным затвором IGBT (Isulated Gate Bipolar Transistor) привело к развитию преобразовательной техники и расширению сферы применения синхронных и асинхронных электроприводов с преобразователями частоты. Другим фактором, обусловившим совершенствование регулируемого электропривода и расширение сфер его применения, было создание микропроцессоров (МП) и однокристалльных микроконтроллеров (МК) достаточной вычислительной мощности [16,152].

ძრავების და სხვადასხვა მექანიზმების მათემატიკური მოდელის შედგენისას ხდებოდა მათემატიკური მოდელის გამარტივება შემდეგნაირად:

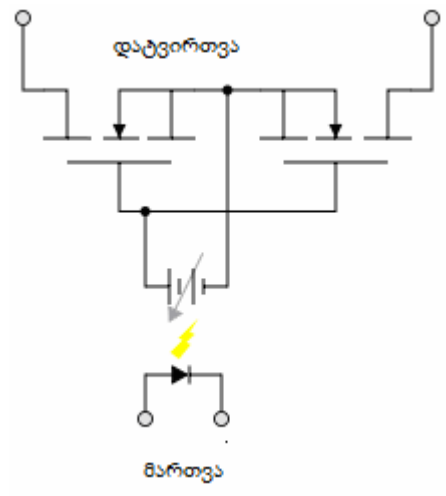
1. მხედველობაში არ მიიღებოდა დაძვრის მომენტი.
2. ხდებოდა ხახუნის მომენტის უგულებელყოფა.
3. ინერციის მომენტის შესახებ ინფორმაციას მოიძიებდნენ სპეციალური ცხრილებიდან, მაგრამ მთელი რიგი ძრავებისთვის ეს სიდიდე არ იყო ცნობილი.

ქურნალ ენერჯიაში გამოქვეყნებულ სტატიაში 2013 წ. მარტის ნომერში Квривишвили Н.М 'Экспериментальное определение параметров двигателей

постоянного тока малой мощности' მოყვანილია ექსპერიმენტები ასეთი პარამეტრების დასადგენად პრაქტიკულ მაგალითებზე აქ მინდა ავლნიშნო, რომ დიდი სიმძლავრის ძრავებისაგან განსხვავებით მცირე სიმძლავრის მუდმივი დენის ძრავებში ზემოთაღნიშნული პარამეტრების უგულებელყოფა არ შეიძლება, რადგან როგორც ზემოთაღნიშნულ სტატიაში გამოქვეყნებულმა კვლევის მასალებმა ცხდყო, რომ მცირე სიმძლავრის ძრავებში დაძვრის და ხახუნის მომენტების მნიშვნელობა საკმაოდ ახლოს დგას თავისი სიდიდით ძრავის ელექტრომაგნიტურ მომენტთან.

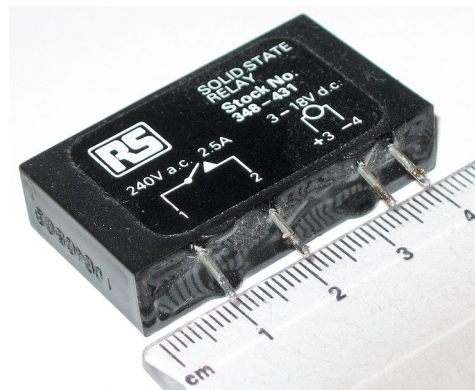
სამწუხაროდ, როგორც პრაქტიკა გვიჩვენებს, ჩვენს ქვეყანაში კვლავ ჭარბობს ელექტროამძრავები სარელეო-კონტაქტორული ლოგიკის მართვის სქემებით, და ქვემოთ მინდა გავაანალიზო ის ძირითადი ფაქტორები, რომლებიც ხელს უშლიან თანამედროვე ავტომატიზაციის საშუალებათა ფართო დანერგვას.

თავდაპირველად მინდა მოკლედ ავლწერო მსოფლიოში არსებული პერსპექტიული მიდგომები ავტომატიზაციის კუთხით. ამათგან ერთ-ერთი პერსპექტიული და უკვე ხშირად გამოყენებული არის მყარსხეულიანი რელე ინგლისურად solid state relay (SSR), რუსულ ლიტერატურაში გვხვდება ტერმინი Твёрдотельное реле. ეს წარმოადგენს მართვად ნახევრადგამტარულ სტრუქტურას რომელსაც გამოიყენებენ ელექტრული გამშვების ნაცვლად.



ნახ.1 მყარსხეულიანი რელეს სტრუქტურა

ნახევრადგამტარული რელეს გამოყენების არეალი ელექტრომაგნიტურ გამშვებთა ჩანაცვლება სარელეო-კონტაქტორულ სქემებში. მაგალითისათვის მინდა მოვიყვანო ერთ-ერთი რელეს სურათი, რომელიც წარმოდგენილია ნახ.2-ზე



ნახ. 2 მყარსხეულიანი რელე რომლის 1 და 2 გამომყვანი 240 ვ, 2.5 ა დენის კომუტაციისათვის განკუთვნილი, მმართველი იმპულსი ეწოდება 3,4 გამომყვანებს ამპლიტუდით 3-18 ვ-მდე

მყარსხეულიანი რელეს გამოყენების არეალი შეზღუდულია საკომუტაციო ფუნქციის შესრულებით, მას საკუთრივ არ შეუძლია მართვის კანონის განხორციელება, ის მხოლოდ და მხოლოდ შემსრულებელი ორგანოა.

შემდეგი თვისობრივად ძალიან მდიდარი მოწყობილობაა – მიკროკონტროლერი (ინგლისურ ლიტერატურაში Microcontroller), რომელზეც უფრო დაწვრილებით შეგვირდებით. მიკროკონტროლერის ხედი წარმოდგენილია ნახ.3-ზე.

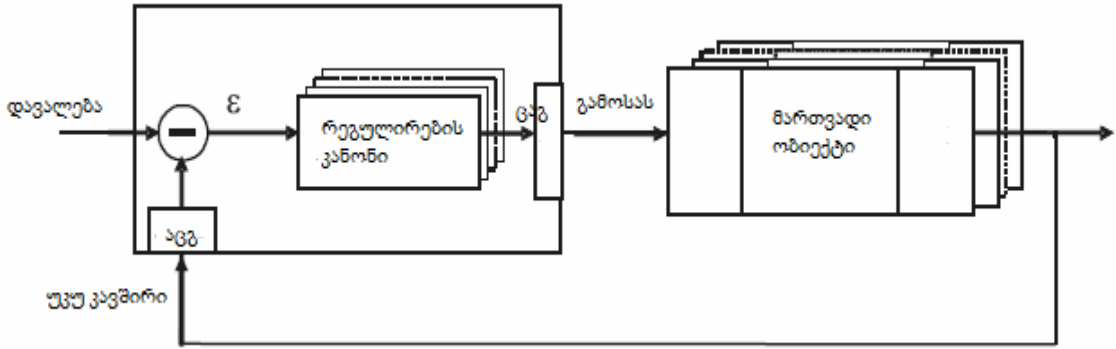


ნახ.3 მიკროკონტროლერები ATmega32 და ATmega88

მე-20 საუკუნის 80 წლების ლიტერატურაში ამ მოწყობილობის აღსანიშნავად გამოიყენებოდა ტერმინი: Однокристалльная микроЭВМ. აქვე მინდა მოვიყვანო იმ დროისთვის დამახასიათებელი ტერმინების განმარტება:

მიკრო ეგმ – ეგმ, რომელიც შესდგება მიკროპროცესორისაგან, ნახევარგამტარული მეხსიერებისაგან, პერიფერიულ მოწყობილობებთან კავშირის საშუალებებისაგან, და საჭიროებისამებრ მართვის პულტისაგან და კვების წყაროსაგან, რომლებიც დაკავშირებულნი არიან საერთო კონსტრუქციით[3,7].

მიკროპროცესორი – პროგრამულად მართვადი მოწყობილობა, რომელიც უშუალოდ განახორციელებს ინფორმაციის დამუშავების პროცესს და წარმართავს მას, რომელიც აგებულია ერთ ან რამოდენიმე ინტეგრალურ მიკროსქემაზე[3,6]. რეგულირების ნებისმიერი პროცესი შეიცავს ორ ქვესისტემას მართვადი ქვესისტემისა და მმართველი ან მარეგულირებელი სისტემისა, რომელთა ერთობლიობა ქმნის ავტომატური რეგულირების სისტემას (არს-ს). ნახ.4



ნახ.4 რეგულატორის და მართვადი ობიექტის კავშირის სტრუქტურა

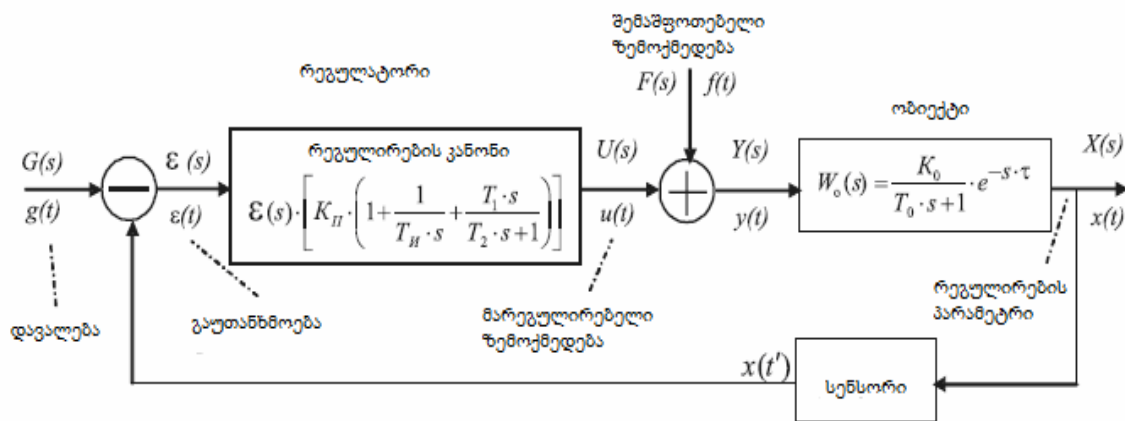
ნახ.4-ზე წარმოდგენილია ავტომატური რეგულირების მრავალკონტურიანი სქემა, სადაც დავალების ზემოქმედება ეწოდება რეგულატორის შესასვლელს Ξ , BX -რეგულატორის შესასვლელია, BIX -რეგულატორის გამოსასვლელია,

Γ - გაუთანხმებელი (შეცდომა), IM -შემსრულებელი მექანიზმები, DC -სენსორები, ACD - ანალოგურ ციფრული გარდამსახები, CD - ციფრო-ანალოგური გარდამსახები. მართვის ობიექტი (ჩვენს შემთხვევაში მუდმივი დენის ძრავია), რომლის ნორმალურად ფუნქციონირებისათვის აკეზებულია ავტომატური რეგულირების სისტემა. სხვანაირად რომ ვთქვათ, მართვის ობიექტი ეს არის-ის ძირითადი კომპონენტი, რომლის საჭირო რეჟიმი უნდა იყოს უზრუნველყოფილი რეგულატორის მიერ. შემსრულებელი მექანიზმი ეს არის მოწყობილობა რომლის მეშვეობით ხდება მართვადი ობიექტის რეჟიმის ცვლილება.

მართვის ნებისმიერი ობიექტი, რომელსაც ახასიათებს გარკვეული მასა, ხოლო ელექტროტექნიკაში და ელექტრონიკაში ინდუქციურობებით და ტევადობებით ხასიათდება, არის დინამიური, რადგან გარეშე ზემოქმედებისას წარმოიქმნება შესაბამისი რეაქცია და მისი მდგომარეობა არ შეიძლება შეიცვალოს მყისიერად.

პროგრამირებადი ლოგიკური კონტროლერის (რეგულატორის) ძირითადი ფუნქცია- გამოიმუშავოს მმართველი ზემოქმედება, რომელიც უზრუნველყოფს ობიექტის მიერ საჭირო ფუნქციების შესრულებას. იმისათვის რომ ავაგოთ ავტომატური მართვის სისტემა საჭიროა განისაზღვროს ობიექტის მათემატიკური მოდელი, სხვანაირად რომ ვთქვათ

უნდა დაგადგინოთ დამოკიდებულება, რომელიც აკავშირებს მის პარამეტრებს. ნახ5-ზე მოყვანილია ერთკონტურიანი არს-ის სქემა, რომელიც შეიძლება გამოვიყენოთ გამოთვლებში.



ნახ.5 ერთკონტურიანი არს-ის სტრუქტურული სქემა

ფიზიკურ სიდიდეს $x(t)$, რომელიც ექვემდებარება რეგულირებას, უწოდებენ გამოსასვლელ სიდიდეს. ზემოქმედებას $g(t)$, რომელიც ახასიათებს სარეგულირებელი სიდიდის სასურველ მნიშვნელობას, ეწოდება დავალება, ან ზოგიერთ ამოცანაში დანაყენი. $g(t)$ და $x(t)$ სხვაობას, რომელიც აღინიშნება $e(t)$ ეწოდება შეცდომა ან გაუთანხმობა. ზემოქმედებას $u(t)$, რომელსაც გამოიმუშავებს რეგულატორი სარეგულირებელი სიდიდის მოთხოვნილი კანონის მიხედვით შესაცვლელად ეწოდება მარეგულირებელი ზემოქმედება.

ზემოქმედებას $f(t)$, რომელიც ცდილობს დაარღვიოს განსაზღვრული ფუნქციონალური დამოკიდებულება დავალებასა და სარეგულირებელ სიდიდის შორის შემაშფოთებელი ზემოქმედება ეწოდება.

აქედან გამომდინარე შეიძლება ვთქვათ, რომ ავტომატური რეგულირების პროცესში მიმდინარეობს დავალების გარდაქმნა სარეგულირებელ სიდიდედ.

ზოგად შემთხვევაში როგორც დავალება ასევე სარეგულირებელი სიდიდე შეიძლება შეიცავდეს სხვადასხვა ფიზიკური სიგნალების ერთობლიობას, ე.ი ის ვექტორული სახისაა. თუ სისტემა მრავალგანზომილიანია, მაშინ ის უნდა განესაზღვროთ მდგომარეობათა

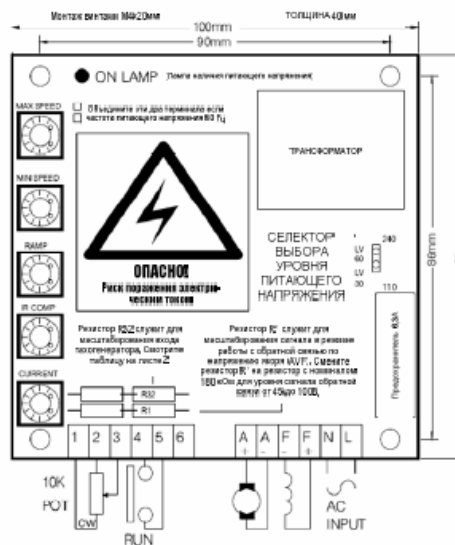
სივრცის ტერმინოლოგიით. უკუ კავშირი, რომელიც ხურავს (კრავს) სისტემას გადასცემს გაზომვის შედეგს სისტემის შესასვლელზე. სისტემის ამოცანა მდგომარეობს იმაში, რომ რაც შეიძლება ზუსტად ასახოს გამოსასვლელზე $x(t)$, რომელიც განისაზღვრება შესასვლელზე კანონით $g(t)$, და რაც შეიძლება სრულად ჩაახშოს შემაშფოთებელი ზემოქმედება $f(t)$, ან სხვა ნებისმიერი ხარვეზი (დაბრკოლება) თუ ისინი არიან.

გამოსასვლელი სიდიდე $f(t)$ დარდება შესასვლელ სიდიდესთან. ამისათვის გამოიყენება შესაბამისი სენსორი. შემადარებელი მოწყობილობის გამოსასვლელზე ფორმირდება გაუთანხმობა. გაუთანხმობა არის სისტემაზე ზემოქმედების წყარო, თანაც სისტემა მუშაობს ამ სიდიდის განეიტრალებაზე ან მინიმუმამდე შემცირებაზე.

მუდმივი და სხვა ტიპის ძრავების ავტომატიზაციის საშუალებებიდან განსაკუთრებით აღსანიშნავია ე.წ. თანამედროვე ელექტროამძრავები, რომლებიც წარმოადგენენ განსაზღვრული მართვის ფუნქციებით აღჭურვილ ნაკეთობას რომელიც განკუთვნილია მდბ-ის მართვის და რეგულირების სხვადასხვა კანონების განხორციელებისათვის. პრაქტიკულად ისინი წარმოადგენენ ერთ კორპუსში დამონტაჟებულ ძალურ და მართვის მიკროპროცესორულ ან მარტივ შემთხვევაში მიკროსქემებზე დამზადებულ ელექტრონულ ან ციფრულ ნაწილს. ამასთან ერთად მათ აქვთ დისკრეტული შესასვლელები ბოლო ამომრთველების და ბლოკონტაქტების მისაერთებლად და ანალოგური შესასვლელები დენისა და ბრუნვის სიხშირის გასაზომად ტაქოგენერატორის ან უფრო თანამედროვე სენსორების მისაერთებლად. მსაოფლიო ბაზარზე მდბ-ის თანამედროვე ამძრავების წარმოებაში განსაკუთრებით პოპულარულია შემდეგი მწარმოებელი Sprint Electric (UK) და Control Techniques. ეს მწარმოებლები აწარმოებენ 1, 2 და 4 კვადრანტიან ელექტროამძრავებს მუდმივი დენის ძრავების სამართავად, გამოდიან როგორც ანალოგური ასევე ციფრული ელექტროამძრავები სიმძლავრით 0.1 – 930 კვტ-მდე. განვიხილოთ სხვადასხვა ტიპის ელექტროამძრავები მათი ძირითადი 3 კლასის 1,2 და 4 კვადრანტში მუშაობის შესაძლებლობისა და სიმძლავრის მიხედვით.

მცირე სიმძლავრის მუდმივი დენის ელექტროამძრავი უმთავრესად გამოიყენება ისეთ მოწყობილობებში როგორცაა სათვალთვალო

ვიდეოკამერები და წრფივი ატენიუატორები. ამ ელექტროამძრავებს მიუხედავად მათი სიმძლავრის მცირე მნიშვნელობებისა (0.1 – 0.6 კვტ), საკმაოდ მკაცრი მოთხოვნები წაეყენება, რეგულირების სიზუსტისა, სიმდორის, სწრაფმოქმედობის და მუდმივი მზადყოფნის სახით. ერთკვადრანტიან უკორპუსო ამძრავებიდან განვიხილოთ ე.წ “370” სერიის ელექტროამძრავი სიმძლავრით 0.55 კვტ-მდე, რომლის ნახაზს ვხედავთ ქვემოთ.



ნახ.6 370-ე სერიის ელექტროამძრავის მოწყობილობის ხედი

370- ეს ყველაზე მარტივი მოდელია ერთკვადრანტიანი უკორპუსო ელექტროამძრავებიდან. ელექტროამძრავის კვება- ერთფაზაა 110/240 ან 30/60 ვ. ის გამოიყენება ძრავების სამართავად რომელთა დენი არ აღემატება 3.7 ამპ. (0.55 კვტ). მას აქვს არაიზოლირებული ელექტრონული ნაწილი. საშუალებას გვაძლევს გამოვიყენოთ იგი აგრეთვე მუდმივი დენის ძრავების სამართავად მუდმივი მაგნიტებით. აქვს მტკიცე ხრახნიანი კლემები. აქვს დენური მაქსიმალური დაცვა. ამ ელექტროამძრავს აქვს ძრავის დუზის გაქანების რეგულირებადი დრო რომლის დიაპაზონი შეადგენს 1-დან 20 წმ-დე. სიჩქარის მართვა ხორციელდება გარე პოტენციომეტრის გამოყენებით. აღჭურვილია დისკრეტული შესასვლელი ძრავის ასმიშავებლად. მასში ჩაშენებულია მცველი. აქვს შესაძლებლობა უკუ კავშირით მუშაობის საშუალება სიჩქარის მიხედვით

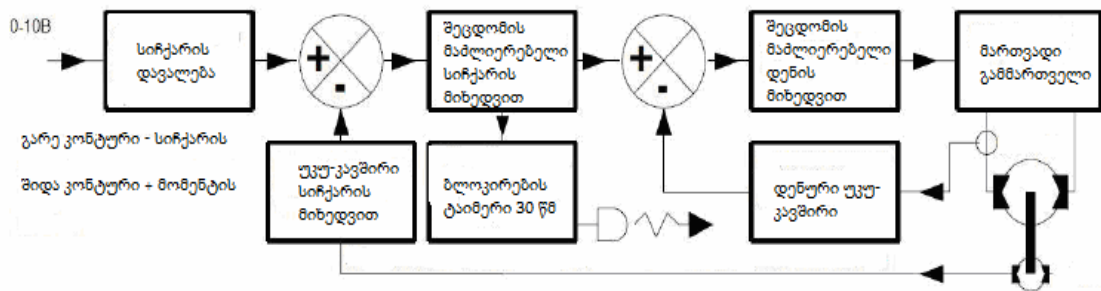
ტაქოგენერატორიდან ან ღუზის ძაბვის მიხედვით. განხორციელებულია IR კომპენსაცია. აგზნების გრაგნილის საკვებად აქვს ძაბვიანი გამოსასვლელი დენით 0.5 ამპ-მდე. დამზადებულია კომპაქტური ზომით 100x100 x 42 მმ სიმაღლე x სიგანე x სიღრმე. სიჩქარის დიაპაზონი – სრული მომენტით მუშაობა სიჩქარითა დიაპაზონში 0 დან 100 % მდე მდ-ის სიმძლავრის მიხედვით. დატვირთვის სრული რეგულირება 0.1% დან (უკუ კავშირის სენსორით) და 2% (უკუ კავშირის სენსორით ღუზის დენის მიხედვით). ძრავის მაქსიმალური სიჩქარე უზრუნველყოფილია ძაბვებში 90 ვ-დან 200 ვ-მდე ან 24 ვ დან 48 ვ-მდე (მოდელები 370 LV). ამძრავის მინიმალური სიჩქარე 0 დან 30% -მდე მაქსიმალურისა.

გაქანების/დამუხრუჭების დრო 1 დან 20 წმ-მდე. IR კომპენსაცია 0 დან 25 % მდე. გამოსასვლელი დენი 0 დან 100% მდე მომენტისა დენის მიხედვით. ეი 0 დან 3.7 ამპ-მდე. პარამეტრების ყველა მნიშვნელობები იზრდება წრფივად პოტენციომეტრების მობრუნებით საათის ისრის მიმართულებით. დისტანციური მართვა ხორციელდება პოტენციომეტრით ნომინალით 10 კომი. ამუშავება/სდექ ბრძანების შესრულება წარმოებს გარე “მშრალი” კონტაქტიდან. მართვის ალგორითმები (მეთოდები). სიჩქარის კონტური იმართება პი (პროპორციულ ინტეგრალური) მართვის მართვის კანონით უკუ კავშირით ღუზის ძაბვის მიხედვით. დენის მართვის კონტური იმართება პი (პროპორციულ-ინტეგრალური) კანონით უკუ კავშირით დენის მიხედვით. მმართველი სიგნალები და ამძრავის ყველა შესასვლელი წრედი არაიზოლირებულია. არ შეიძლება ტერმინალების (შესასვლელ/გამოსასვლელების) მიერთება მიწასთან ან სხვა არაიზოლირებულ მოწყობილობებთან.

შემდეგი უფრო ზოგადი გამოყენების სფეროთი მუდმივი დენის 2-კვადრანტიანი ანალოგური ელექტროამძრავი რომელიც უზრუნველყოფს ღუზის ნომინალურ დენს 106 ამპ-მდე სიმძლავრით 44 კვტ-მდე. ეს ამძრავი ეკონომიური თვალსაზრისით ეფექტური გადაწყვეტილებაა მარტივ მექანიზმებში, სადაც არ მოგვეთხოვება ამძრავი მექანიზმის ძრავის რევერსი (2-კვადრანტიანი მართვა). SLE-ს კომპაქტური ზომა გვაძლევს საშუალებას ეფექტურად ჩავაშენოთ იგი მართვის სისტემაში. ამძრავის კვება 3-ფაზაა ძაბვით 240/380/415/480 ვ ცვლადი სინუსოიდალური ძაბვისა. მოდელი SLE – ეს მუდმივი დენის ორკვადრანტიანი ამძრავია, რომელიც

შეიცავს ოთხ მოდიფიკაციას: 34ამპ (14კვტ), 58ამპ (24კვტ), 82ამპ(34კვტ) და 106ამპ(44კვტ). ამძრავებს აქვთ შესასვლელი ძრავის მომენტის სამართავად. მას გააჩნია გაფრთხილებების(განგაშების) შუქდიოდების დიდი რაოდენობა. აქვს სიჩქარის ნულოვანი დავალების ბლოკირების საშუალება. აქვს დიდი რაოდენობით ანალოგური და დისკრეტული შესასვლელ/გამოსასვლელი. ე.წ S-რამპით გაქანების საშუალება. აგზნების დენის ფიქსირებული მნიშვნელობით მიწოდების საშუალება. აგზნების ძაბვის გამოსასვლელს აქვს საშუალება უზრუნველყოს დენი 2.5 ამპ-მდე. ამძრავის ზომებია 290 x 215 x 155 მმ სიმაღლე x სიგანე x სიღრმე. ეს ელექტროამძრავები სპეციალურად იწარმოება როგორც იაფი და კომპაქტური ნაკეთობები ისეთი ამოცანებისათვის სადაც არ არის საჭირო სტანდარტული კონფიგურაციის შეცვლა. მათ აქვთ მომენტის მართვის შესასვლელი კოჭების დახვევის მანქანებში გამოსაყენებლად და დაჭიმვის ცვლილება, სიჩქარის დასაშვებზე ამადლების კონტროლით. აქვს რამოდენიმე დაცვა ამძრავისა და ძრავის სრული დაცვისათვის. ხელმისაწვდომია შემდეგი სამომხმარებლო დანაყენები: გაქანება, დამუხრუჭება, მაქსიმალური სიჩქარე, მინიმალური სიჩქარე, ძრავის მაქსიმალური დენი(მომენტი), IR – კომპენსაცია, სტაბილიზაცია, სიჩქარე ბიძგის რეჟიმში(Jog Speed). 370 სერიის ამძრავებისაგან განსხვავებით აქვს იზოლირებული შესასვლელ/გამოსასვლელები მართვის პლატის მოხერხებული მიერთების უზრუნველსაყოფად. ღუზის ძაბვითა გაუმჯობასებული დიაპაზონი, საშუალებას გვაძლევს დავადაბლოთ ძრავის ფასი. აქვთ ძალიან კომპაქტური დიზაინი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს მოდერნიზაციის სამუშაოები ჩაატაროთ, მართვის კარადებში სივრცის ეკონომიით. ნულოვანი სიჩქარის ფიქსაციის ფუნქცია იდეალურად გამოსადეგია ექსტრუდერებში გამოსაყენებლად. შესასვლელები ამუშავება, მუშაობა, დავალება აღჭურვილია 8 დამატებითი ანალოგური შესასვლელ გამოსასვლელით კომპლექსური სისტემების განსახორციელებლად. შესაძლებელია მუშაობა 150% გადატვირთვით 30 წმ-ის განმავლობაში. ძრავის ღუზის ძაბვის მიხედვით უკუ კავშირი ან უკუ კავშირის სენსორის სიგნალით ტახოგენერატორით. SLE სერიის ელექტროამძრავებში გამოიყენება მართვის მეთოდი ე.წ დახურული ვექტორი როგორც უკუ კავშირით მუშაობის სიჩქარის მიხედვით, აგრეთვე როტორის უკუ

კავშირის როტორის(ღუზის) დენის მიხედვით. მეთოდის არჩევანი დამოკიდებულია ძრავის მიმენტის და სიჩქარის მაღალი ხარისხით მუშაობის შესაძლებლობით. ძრავა და გარდამსახი გადატვირთვისაგან დაცულია ბლოკირების ტაიმერით, რომელიც ავტომატურად თიშავს კვებას, თუ 30 წმ-ის განმავლობაში არ მიიღწევა დავალებით განსაზღვრული სიჩქარე და ამასთან ერთად გარდამსახის დენი აღწევს 150% -ის ნომინალური მნიშვნელობისა. ეს საშუალებას გვაძლევს ხანმოკლედ წარმოვქმნათ მაღალი მახრუნებელი მომენტი, დენის მართვა უზრუნველყოფს ელექტროამძრავის დანერგვას სახვადასხვა მოწყობილობებში გადატვირთვისაგან და სიჩქარის საშიში ამდლებისაგან. დავალების სიგნალი შეიზლება გადავცეთ პოტენციომეტრის გამოყენებით, სიგნალით, რომლის პოტენციალი იცვლება 0 დან 10 ვოლტამდე და დენით 4-20 მა. სიჩქარის მიხედვით უკუ კავშირი შეიძლება განვახორციელოთ, ტაქოგენერატორის გამოყენებით, რომელიც დამონტაჟებულია ძრავის ლილვზე ან როტორის ძაბვის მიხედვით. გარდამსახი შესდგება ორი კონტურისაგან მაღალი სიზუსტით. ნახ.7 -ზე მოყანილია ამძრავის სტრუქტურული სქემა.



ნახ.7 ელექტროამძრავის სტრუქტურული სქემა

ავტომატური რეგულირების სტრუქტურა შესდება ორი კონტურისაგან. გარე კონტური – წარმოქმნის სიჩქარის უკუკავშირის კონტურს. ის “იხსნება” ტაქოგენერატორის მომჭერებიდან და მიერთდება ამძრავის კლემაზე №56-ზე. აქედან ის გადადის კომპარატორზე და დარდება სიჩქარის დავალებასთან, რომლის მნიშვნელობა ვოლტებში პოტენციომეტრის საშუალებით შეიძლება ვცვალოთ 0-10 ვ-ის ფარგლებში.

კომპარატორის გამოსასვლელიდან სხვაობის(შეცდომის სიჩქარის მიხედვით) სიგნალი შეცდომის მაძლიერებლის შესასვლელზე მოედება და ისევე ეწოდება შედარების კვანძს სადაც ის დარდება ძრავის დენის(მაბრუნებელი მომენტის) მნიშვნელობასთან, ეს უკანასკნელი იზომება შიგნითა კონტურით, რომლის მეშვეობით ორგანიზებულია უკუ კავშირი დენის მიხედვით, შემდეგნაირად: ღუზის წრედში ჩართული დენის სენსორიდან დენის მოდულირებული პოტენციალის(ძაბვის) მიხედვით(0-5 ვ-მდე) ეწოდება ამძრავის კლემაზე №54 და კომპარატორით დარდება სიჩქარის შეცდომის(დავალებისა და არსებულის სხვაობა) და ამ შედარების შედეგად, ის ეწოდება დენის შეცდომის მაძლიერებალს და იქედან ეწოდება მართვადი გამმართველის მმართველ შესასვლელზე, რომელიც ძაბვის ეფექტური მნიშვნელობის ცვლილებით არეგულირებს ღუზის დენის მნიშვნელობას, რომლის მნიშვნელობა რეგულირების სისტემის კონტურების მუშაობის შედეგად რაღაცა ცდომილებით უტოლდება დავალებას. გარდამსახს აქვს დიდი რაოდენობით დამატებითი შესასვლელ/გამოსასვლელები. შიდა წრედებს აქვს გაღვანური განმხოლოება მკვებავი ქსელისაგან, რაც საშუალებას იძლევა მივაერთოდ გარე წყაროები. SLE სერია აწყობილია უახლესი ავტომატიზირებული სისტემების გამოყენებით, და შეიცავს ყველაზე თანამედროვე დამაგრებისა და მიერთების საშუალებებს(კლემნიკებს და გასართებს), რაც გვაძლევს საშუალებას მაღალი საიმედობის, სტაბილურობისა და სიზუსტის მიღებას. 200XLV- ოთხკვადრანტიანი ელექტროამძრავის ძალიან კომპაქტური შესრულებით დამზადებული ნაკეთობაა, რომელიც გამოიყენება სიმძლავრეზე 0.1 კვტ-მდე, მცირე ძრავების სამართავად, ნომინალური დენით 2 ამპ-მდე და ნომინალური ძაბვით 48 ვ-მდე. ეს მოდელი იდეალურად მორგებადია ისეთი გამოყენებებისათვის, როგორცაა სათვალთვალო ვიდეოკამერები, წრფივი ატენიუატორები და ზოგიერთი სხვა. ამძრავის კვება ხდება მუდმივი დენის წყაროდან ძაბვით 12 დან 48 ვ-მდე. მოდელს 200 XLV შეუძლია მართოს ძრავები და წრფივი ატენიუატორებით ძაბვით 48-ვ მდე. ეს არის 4-კვადრანტიანი ელექტროამძრავი, რომელიც ძალიან სწრაფად რეაგირებს მართვის სიგნალებზე, გაბარიტებით 82 x 40 x 50 მმ (სიმაღლე*სიგანე*სიღრმე), ის თავსებადია ელექტრომაგნიტური დაბრკოლებების მიმართ მგრძნობიარე

ელექტრონულ მოწყობილობებთან. ამ ამბრავს აქვს შემდეგი თავისებურებები: +ve, -ve დიფერენციალური შესასვლელები სიჩქარის დავალების მისაცემად. დენის განსაზღვრულ სიდიდეზე ამალღებისაგან დაცვა, სიჩქარის მიხედვით უკუკავშირით მუშაობა ტაქოგენერატორისაგან ან ღუზის გრაგნილის ძაბვის მიხედვით. IR კომპენსაცია + / - 2 აპპ გამოსასვლელი გადატვირთვის საშუალებით 150 % -მდე, გადახურებისაგან ჩაშენებული დაცვა. და წინა მოდელისაგან განსხვავებით სრულყოფილი რეგულატორი, რომელიც მუშაობს პიდ(პროპორციულ-ინტეგრირ-დიფერენცირების) კანონით უკუ კავშირის წრედში. და რაც აუცილებლად აღსანიშნავია აქვს მდგომარეობის მართვის საშუალება. 200XLV- გამოიყენება მუსიანი მდძ-ბის სამართავად აგრეთვე ძრავა-რედუქტორების სამართავად. 200XLV- მართავს ბრუნვას და ძრავების დამუხრუჭებას ორივე მიმართულებით და იკვებება ერთფაზა კვების წყაროდან, ბატარეისაგან ან მუდმივი დენის არარეგულირებადი წყაროდან. 200XLV- განსაკუთრებული უნარი შეესაბამება მისი მეტად მკაცრი მოთხოვნების მქონე გამოყენების სფეროს. ამ ელექტროამბრავს აქვს განიერზოლიანი, აბსოლუტურად წრფივი, დაბრკოლებების მიმართ დაცული გამოსასვლელი, 200XLV-არის იდეალური წრფივი ატენიუატორებისათვის. იქიდან გამომდინარე, რომ შეიძლება მივაერთოდ უკუ კავშირის სიგნალი ჩაშენებული პიდ(პროპორციულ-ინტეგრირებული-დიფერენცირებული) რეგულატორის შესასვლელზე, მოწყობილობა საშუალებას იძლევა ზუსტად ვარეგულიროთ სიჩქარე და მდგომარეობა. ამ სერიის ამბრავებში ჩადებულია საშუალება დისკრეტულად ვცვალოთ გაქანება/დამუხრუჭების დრო. ეს ფუნქცია შეიძლება გამოვიყენოთ ოპტიმალური დინამიური მახასიათებლების მისაღებად. ის გამოიყენება იქ, სადაც საჭიროა დაბალძაბვიანი მდძ-ბის ზუსტი მართვა. შემდეგი ოფციები შეიძლება გამოგვადგეს დამატებითი საშუალებების გამოსაყენებლად:

1. პიდ-რეგულატორი პოზიციონირებისათვის და უკუ კავშირის სენსორით მუშაობის საშუალებით.
2. გაქანება დამუხრუჭების რამპების მორგება.
3. დამატებითი დაცვა.

პიდ რეგულატორზე შემავალი და გამომავალი უკუკავშირის წრედების გადამრთველი შეიძლება დავაყენოთ სამ რეჟიმზე: “პროპორციული”, “პროპორციულ ინტეგრირებულ” და “პროპორციულ-ინტეგრირებულ-დიფერენციული”. რეჟიმებში პი და პიდ ინტეგრირების დრო ერთნაირია და უდრის 100 მწ-ს, ხოლო გაძლიერების კოეფიციენტი 3-ის ტოლია. რეგულატორ მაქს ხდება გაძლიერების კოეფიციენტის რეგულატორი. ინტეგრირების დრო შეიძლება გავზარდოთ ბიპოლარული კონდენსატორის ჩართვით პოზიციაში INT CAP. ინტეგრირების დრო იზრდება კონდენსატორის ტევადობის პროპორციულად. 100nF კონდენსატორი დაამატებს 100 მწმ. გაძლიერების კოეფიციენტი პროპორციული მდგენელისა შეიძლება გაორმაგდეს PG ზღუდარების მოცილებით ამძრავის ქვედა და ზედა ნაწილზე. ტახოგენერატორიდან უკუ კავშირის განსახორციელებლად გარე ზღუდარი(ჯამპერი) უნდა დავაყენოთ მდგომარეობაში PI ან PID გამოძახილის გასაუმჯობესებლად. პოზიციონირების დროს უნდა გამოვიყენოთ მხოლოდ PID რეჟიმი. იმისათვის, რომ მოვახერხოთ ამძრავის გამოძახილის ვიზუალიზაცია და გაწყობა უნდა გამოვიყენოთ შესასვლელზე მართკუთხა იმპულსები და ოსცილოგრაფი. ამძრავის რეგულატორის გაწყობა წარმოებს სახელურით “MAX”. ამასთან ერთად ყურადსადებია ის, რომ უკუ კავშირის სენსორს არ უნდა ჰქონდეს ფოლხვა. იმ შემთხვევაში, თუ უკუკავშირის სიგნალი დაიკარგა, ელექტროამძრავი ავტომატურად შეზღუდავს ძრავის ღუზაზე მოდებულ ძაბვას რამოდენიმე ვოლტის ფარგლებში. თუ ამძრავს ვიყენებთ მომენტის მართვის რეჟიმში, მაშინ მზომი რეზისტორი მიერთდება 8-გამოსასვლელი კლემის A+ წრედში. გასაზომი სიგნალი რეზისტორიდან ეწოდება ბუდე “Av” –ში გადამრთველისა, რომელიც ქვემოდაა დამონტაჟებული. ამძრავი დაიწყებს გამომავალი დენის მართვას შემავალი ძაბვის პროპორციულად.

დასკვნები:

1. დღეს საკმაოდ მდიდარი და მრავალფეროვანი ავტომატიზაციის საშუალებებიდან განსაკუთრებით უნდა გამოვყოთ იაფი მოწყობილობები როგორცაა მიკროკონტროლერები და მყარსხეულიანი რელები.

2. იქიდან გამომდინარე, რომ მათი დანერგვა შედარებით რთულია უნდა დამუშავდეს მათი დანერგვის გამარტივებული მეთოდები.

3. ტექნიკურ წრეებში, სამეცნიერო-კვლევით ცენტრებსა და ლაბორატორიებში უნდა დაგძლიოთ არაჯანსაღი კონსერვატიზმი და განვითარების უფლდეთ მოძველებული სტერეოტიპებისაგან(როგორც ეს ზოგიერთ სხვა დარგში ხდება: მაგ. კოსმოსი), და თამამად ვეცადოთ დავამუშავოთ და დავნერგოთ ექსპერიმენტული ნიმუშების სახით პრინციპულად განსხვავებული მოწყობილობები.

თავი 1 მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის კვლევა

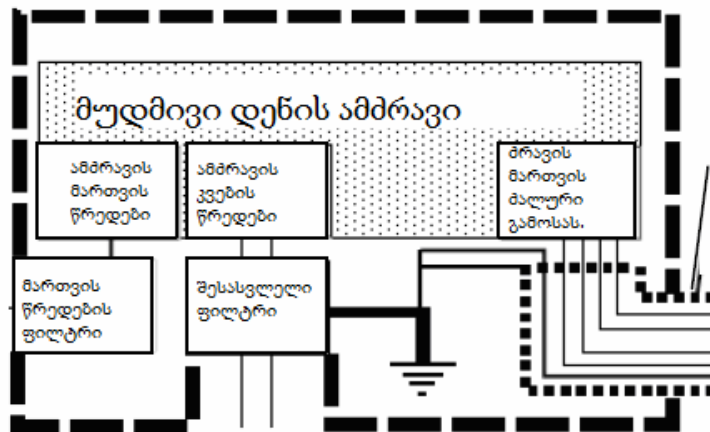
ამჟამად არსებობს ოთხი ერთანეთისაგან განსხვავებული მიდგომა ტექნიკური ობიექტების მართვის პროცესების ავტომატიზაციის სფეროში. ისინი ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან მათ მიერ განხორციელებული მართვის კანონების სირთულის ხარისხით, გამოყენების სფეროთი და ფასით. ყველაზე მარტივი და იაფი თანამედროვე ავტომატიზაციის ხერხთა შორის დაპროგრამების აუცილებლობის გარეშე არის **მყარი სხეულის რელეების** გამოყენება(ინგლისურენოვან ლიტერატურაში Solid State Relay(SSR), რუსულენოვან ლიტერატურაში Твёрдотельное реле(ТТЛ)). მყარი სხეულის რელეების(მსრ) გამოყენებით შეგვიძლია წარმატებულად ჩავანაცვლოთ ძალური, საკომმუტაციო, სარელეო-საკონტაქტორო ლოგიკა მარტივ ელექტროამძრავებში როგორც მუდმივი დენის ძრავების აგრეთვე ცვლადი დენის ძრავების გამოყენებით. შემდეგი შედარებით ბევრად რთული მაგრამ ძალიან იაფი საშუალება არის **მიკროკონტროლიორი**(მათი აღწერა იხილეთ ლიტერატურული მიმოსილვის მე-3-ე თავში(ავტომატიზაციის საშუალებები)). მიკროკონტროლიორი წარმოადგენს მიკროპროცესორთა შედარებით მარტივ სახეობას, რომელიც ორიენტირებულია მართვის ამოცანების შესრულებაზე და როგორც წესი თანამედროვე მიკროკონტროლერები არიან 8-თანრიგიანი ერთკრისტალზე დამონტაჟებული მიკროპროცესორი. მესამე შედარებით უფრო ძვირი, მაგრამ გამოყენების თვალსაზრისით მძლავრი ავტომატიზაციის საშუალებაა **ე.წ თანამედროვე ელექტროამძრავები** – ეს არის ნაკეთობები რომლებსაც აქვთ დამთავრებული ძალური და მმართველი ნაწილი რომელიც დამონტაჟებულია ერთ კორპუსში, რომლებსაც აქვთ მზომი და მმართველი შესასვლელ-გამოსასვლელები. მათი გამოყენება-დანერგვისათვის საჭიროა მხოლოდ კვალიფიციური მონტაჟი და გაწყობა. მუდმივი დენის ელექტროამძრავების ძირითადი მწარმოებელი ფირმებია Sprint Electric(UK) და Control Techniques. მათი აღწერა იხილეთ ლიტერატურული მიმოსილვის მე-3-ე თავში ავტომატიზაციის საშუალებები. ავტომატიზაციის ყველაზე ძვირი და მძლავრი გადაწყვეტილებაა არის **პროგრამირებადი ლოგიკური**

კონტროლიორი(პლკ), რომლის ფუნქციები ამოცანების უმეტეს ნაწილში არის ჭარბი ან საერთოდ არ გამოიყენება(Деменков).

ამჟამად მრეწველობის და ტრანსპორტის სხვადასხვა დარგში ჯერ კიდევ ჭარბობს ამძრავები სარელეო კონტაქტორული მართვის სქემით. ასეთ სქემებში პლკ-ზე გადასვლა არ არის გამართლებული არამხოლოდ ეკონომიკური თვალსაზრისით – არამედ გონიერებითაც კი ძალიან დიდი ფასებიდან და ფუნქციონალურად დიდი სიჭარბიდან გამომდინარე. ამასთან ერთად სარელეო-საკონტაქტორო ლოგიკის და ელექტრომაგნიტური გამშვებების გამოყენება მექანიკური კონტაქტების არსებობის გამო, ნაპერწკლიანობის, ცვეთის, მოვლისა და დასუფთავების აუცილებლობის, დაბალი სწრაფმოქმედების გამო არ პასუხობს არანაირ თანამედროვე მოთხოვნებს და უკვე ტექნიკურ-ეკონომიკური თვალსაზრისით არ არის მიზანშეწონილი. ამასთან ერთად მხოლოდ მსრ-ბის გამოყენებით, რომელიც თავისი სიიაფესთან ერთად მოქმედებს სხვადასხვა თაობების ინჟინრებისა და ტექნიკოსებისთვის ცნობილი სარელეო კონტაქტორული ლოგიკის პრინციპებით და ამასთან ერთად უზრუნველყოფს სწრაფმოქმედებასა და საიმედოობას და აგრეთვე ფეთქებადუსაფრთხოებით ტრადიციული სარელეო-კონტაქტორული სქემებისაგან განსხვავებით, არ შეიძლება ვცნოთ როგორც ოპტიმალური გადაწყვეტილება მთელი რიგი ამძრავებისათვის(თუმცა ბევრი მარტივი ელექტროამძრავისათვის ეს სავსებით საკმარისია) გამომთვლელი მოწყობილობის არარსებობის გამო რომელიც არის მიკროპროცესორი და კერძოდ მისი ბევრად მარტივი სახეობა მიკროკონტროლიორი. აქედან გამომდინარე დღესდღეობით არსებული დიდი რაოდენობის მოძველებული ელექტროამძრავების რიცხვში რომლებიც მოქმედებენ სარელეო-კონტაქტორული ლოგიკის ბაზაე როგორც პლკ-ბის აგრეთვე ე.წ თანამედროვე ელექტროამძრავების გამოყენება მათი ფუნქციონალური სიჭარბისა და დიდი ფასებიდან გამომდინარე არ არის გამართლებული, თუმცა მხოლოდ მსრ-ბის გამოყენება არ გვაძლევს საშუალებას გადავაპროგრამოთ ელექტროამძრავი ეი ტექნოლოგიური პროცესების გათანამედროვეობას და ზოგჯერ პირობების ცვლილებას ესაჭიროება ელექტროამძრავი გადაპროგრამირების საშუალებით რომელსაც აქვს უკონტაქტო ძალური ნაწილი მყარი რელეების და სხვა უკონტაქტო ელექტრონული მოწყობილობებით.

აქედან გამომდინარე ამჟამად ყველაზე აქტუალური და გონიერი გადაწყვეტილებაა დაბალი და საშუალო სირთულის ელექტროამძრავებში არის 8-თანრიგიანი მიკროკონტროლიორების(მიკროპროცესორების) გამოყენება ლოგიკურ-გამომთვლელ ნაწილში და მსრ და განივ იმპულსური მოდულაციის პრინციპით მომუშავე ელექტრონიკით ძალურ ნაწილში. ამასთან ერთად ელექტროამძრავების მიმოხილვიდან(იხილეთ ლიტერატურული მიმოხილვის მე-3-ე თავი ავტომატიზაციის საშუალებები) გაირკვა რომ Sprint Electric და Control Techniques ელექტროამძრავებში ბრუნვის სიჩქარის შესასვლელი ორგანიზებულია ტაქოგენერატორის ბაზაზე. აქედან გამომდინარე ეს პროდუქცია ორიენტირებულია ძველი ელექტროამძრავების ჩანაცვლებაზე სიჩქარის სენსორების თანამედროვე სიჩქარის სენსორებით(მზომებით) ჩანაცვლების გარეშე, ეი შინაარსობრივად არ არის ძირეული, რადგან წარმოადგენს თანამედროვე ელექტროამძრავის ადაპტაციას ბრუნვის სიჩქარის უკვე დიდი ხნის წინ ცნობილ და მოძველებულ მოწყობილობასთან – ტაქოგენერატორთან. დღეს ამ მიზნისათვის გამოიყენებიან თვითმასშტაბირებადი სიჩქარის სენსორები, რომელთა მუშაობა დამყარებულია ჰოლის ეფექტის პრინციპზე. ეს უპირველეს ყოვლისა გააუმჯობესებს მასოგაბარიტულ მონაცემებს, გაანთავისსუფლებს მომსახურე პერსონალს ტაქოგენერატორის მოვლის საჭიროებისაგან და ამასთან ერთად რაც ძალიან მთავარია უზრუნველყოფს საჭიროების შემთხვევაში როგორც ძალიან დაბალი აგრეთვე ძალიან მაღალი ბრუნვის სიჩქარის საიმედო და ზუსტ გაზომვას(უკუ კაშირის კონტურებში). გააბათილებს ტაქოგენერატორის და მუდმივი დენის ძრავის ლილგების ზუსტი შეერთების საჭიროებას და შეამცირებს ხმაურს. ძირითადი და საკმაოდ რთული ამოცანაა რომელიც შეგვხვდება მიკროპროცესორული მართვის სისტემის კვლევის დროს არის მიკროკონტროლერის დაპროგრამება, რომელიც ხდება სამანქანო ენების დონეზე ასემბლერი ან სი ასემბლერისათვის. შემდეგი ამოცანაა არის მიკროკონტროლიორის ინტეგრაცია ძალურ(მსრ და განივ იმპულსური მოდულატორი) სენსორულ(ზომვის) ნაწილებთან. ამ სისტემის გაწყობა, გამოცდა და კვლევა ლაბორატორულ პირობებში ყველაფერი ეს საშუალებას მოგვცემს გადავიდეთ კონკრეტული და მკაფიო ტექნიკური და პროგრამული საშუალებების მოძიებაზე და ეს

ყველაფერი ერთად ემსახურება ერთ მიზანს შევიმუშავოთ გზები სარელო კონტაქტორული ელექტროამძრავებიდან მასიური გადასვლის იაფ საიმედო და კომპაქტურ საფუძველზე გადაპროგრამების საშუალებით მაგრამ ფუნქციონალური სიჭარბის და გამოუყენებლობისა და სიძვირის გარეშე – ეი გაუმართლებელი ხარჯებისაგან რაც ახასიათებს პროგრამირებად-ლოგიკურ კონტროლიორებს(პლკ-ბს).

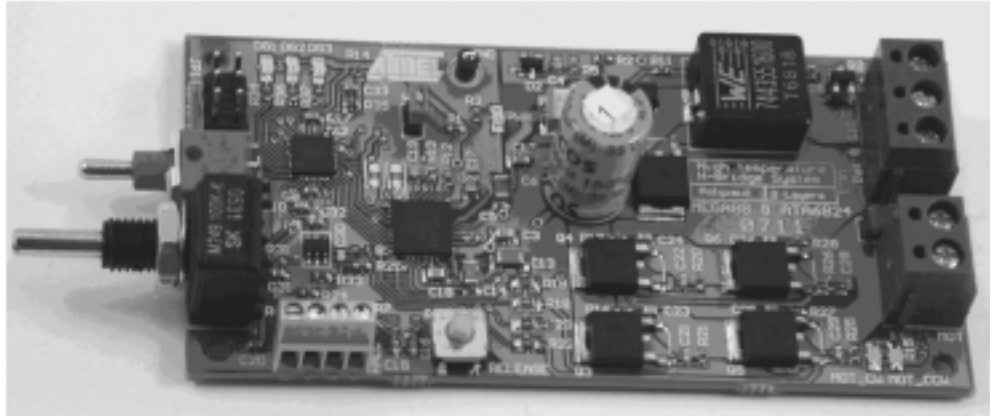


ნახაზი №8 370 ამძრავის სტრუქტურული სქემა



ნახაზი №9 SLE- სერიის 2-კვადრანტიანი ელექტროამძრავი

1.1 მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის კვლევის ფიზიკური ობიექტები



ნახ. №10 მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის მოწყობილობის ხედი

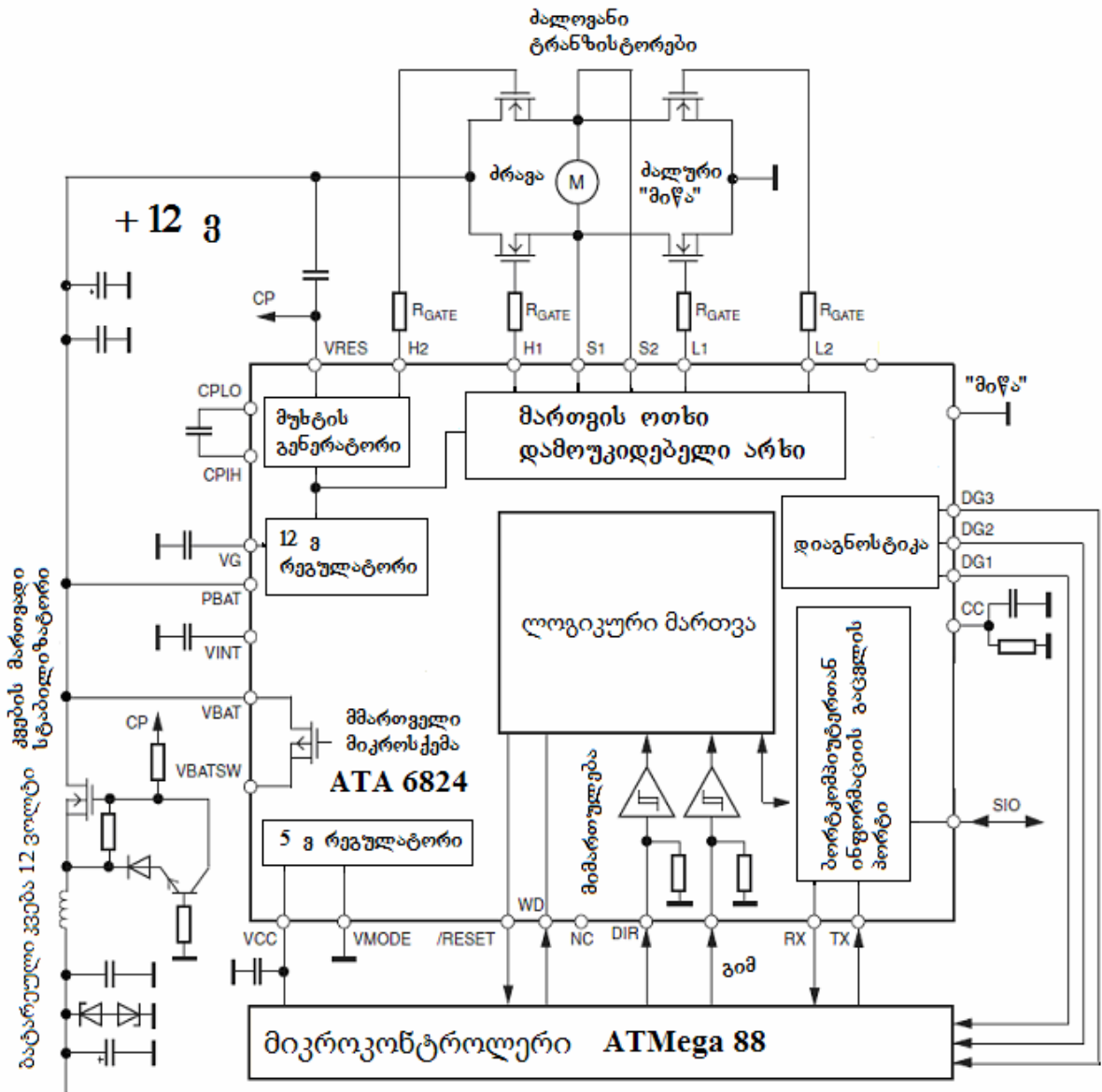
კვლევის მიზნები:

1. სისტემის მუშაუნარიანობის დადგენა სრულყოფილი პროგრამული და მათემატიკური საშუალებების გამოყენებით.
2. გარდამავალ რეჟიმებზე დატვირთვის გავლენის ანალიტიკური ფორმულის სახით მიღება.
3. მთლიანი სისტემის მოქმედების ხარისხის შეფასება.
4. მართვის ლოგიკური ნაწილის სრულყოფა თანამედროვე მათემატიკური აპარატის გამოყენებით.
5. სისტემის ექსპერიმენტული მაკეტის პრაქტიკული რეალიზაციისათვის მზადება.
6. შესაძლო დანერგვის სფეროს წარმოდგენა.
7. დანახარჯების ანალიზი.

კვლევის ამოცანები:

1. მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის სტრუქტურის დაყოფა კვანძებად.
2. ძრავის მათემატიკური მოდელის შედგენა.

3. ძრავის მათემატიკური მოდელიდან გამომდინარე სხვადასხვა სტატიკური და დინამიკური მახასიათებლების აგება, სიხშირული მახასიათებლების აგება(ბოდეს დიაგრამები).
4. აგებული მახასიათებლების გაანალიზება.
5. ტრანზისტორული გარდამსახის მათემატიკური მოდელის შედგენა.
6. მათემატიკური მოდელიდან გამომდინარე გარდამსახის სიხშირული მახ-ასიათებლების აგება(ბოდეს დიაგრამები).
7. სპეციალური პროგრამების გამოყენებით ტრანზისტორული გარდამსახის გარდამავალი რეჟიმების შესწავლა.
8. გარდამავალი რეჟიმების ხარისხის პარამეტრების დადგენა(დროის მუდმივები, წმინდა დაყოფნა, გარდამავალი რეჟიმების ხანგრძლივობა და ა.შ).
9. ტრანზისტორული გარდამსახის გარდამავალ რეჟიმებზე დატვირთვის წინააღმდეგობის გავლენის დადგენა მათემატიკური სახით.
10. ტრანზისტორული გარდამსახის სიხშირული კვანძის სახით წარმოდგენა.
11. ტრანზისტორული გარდამსახის მართვის ლოგიკური სქემის დამუშავება უკონტაქტო ლოგიკურ ელემენტებზე.
12. მთლიანი სისტემის შეკვრა სიხშირული კვანძების სახით.
13. მთლიანი სისტემის დინამიკური მახასიათებლების მიღება, მთლიანი გარდამავალი რეჟიმის ხარისხის მაჩვენებლების მიღება, სტატიზმი, ასტატიზმი, გადამეტრეგულირება.
14. თანამედროვე ელემენტურ ბაზაზე შესრულებული გარდამსახის უპირატესობებზე ხაზგასმა ტრადიციული ტირისტორულ სქემებთან შედარებით.
15. მოწყობილობის პრაქტიკული რეალიზაციის აუცილებლობის ხაზგასმა.



ნახ. № 11 მუდმივი დენის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის გამარტივებული პრინციპიალური სქემა

1.2 მუდმივი დენის ძრავის Ford 1BB – 42 მათემატიკური მოდელის შედგენა

მუდმივი დენის ძრავზე ექსპერიმენტების შედეგად, რომლებიც მიზნად ისახავდა ძრავის პარამეტრების დადგენას, რომლებიც არ იყო დოკუმენტირებული მწარმოებლის მიერ, მივიღეთ ისინი, რის შედეგად შესაძლებელი გახდა ძრავის მათემატიკური მოდელის შედგენა. ყველაფერი ეს საჭიროა იმისათვის, რომ მივიღოთ ძრავის გადამწოლი ფუნქცია და ჩავრთოთ ის ავტომატური მართვის სისტემაში ერთ-ერთი კვანძის

სახით. ექსპერიმენტების შედეგად მიღებული პარამეტრები დაგაჯუფეთ ცხრილი №1-ში, რომელიც ქვემოთ არის მოყვანილი.

ცხრილი №1

ნომინალური ძაბვა	U_n (ვ)	12
ნომინალური ელექტრული სიმძლავრე	P_n (ვატ)	240
ბრუნვის ნომინალური სიხშირე	n_n (ბრ/წთ)	1850
ნომინალური დენი	I_n (ამპ)	20
ნომინალური მბრუნავი მომენტი(გამოთვლილი)	M_n (ნxმ)	0.30405
ელექტრული მუდმივა	C_e -----	0.000576317
ძრავის ღუზის წინააღმდეგობა	R_j (ომი)	0.260
ელექტრომექანიკური მუდმივა	C_m -----	0.0152
ინერციის მომენტი(გამოთვლილი)	J (კგxმ ²)	0.001752
ღუზის ინდუქციურობა(გამოთვლილი)	L_j (ჰენრი)	3.09707×10^{-5}
ლილვის რადიუსი	R (მ)	0.004

გამოთვლილი პარამეტრები:

$$I_n = \frac{P_n}{U_n} = 20 \text{ ამპ} \quad (1.1)$$

$$\omega_n = \frac{n_n \cdot \pi}{30} = 193.7 \text{ რად/წმ} \quad (1.2)$$

ექსპერიმენტული და გამოთვლილი მონაცემები:

ღუზის წინააღმდეგობა:

$$R_j = 0.26 \text{ ომი} \quad (1.3)$$

ძრავის ელექტრული მუდმივა:

$$C_e = \frac{U_n - I_n \cdot R_j}{\omega_n} = 0.035 \quad (1.4)$$

რომელიც უდრის ელექტრომექანიკურ მუდმივას:

$$C_m = C_e \cdot \quad (1.5)$$

ძრავის ნომინალური მომენტი:

$$M_n = C_m \cdot I_m = 0.702 \quad \text{ნ.მ} \quad (1.6)$$

ძრავის ინერციის მომენტი:

$$J = 0.001751696 \quad \text{კგ.მ}^2$$

ხახუნის მომენტი:

$$M_{s0} = 0.071 \quad \text{ნ.მ}$$

რეალური უქმი სვლის დენი ხახუნის მომენტის გათვალისწინებით:

$$I_{s0} = \frac{M_{s0}}{C_m} = 2.02 \quad \text{ნ.მ} \quad (1.7)$$

მოკლედ შერთვის მომენტი:

$$M_{kz} = \frac{U_n}{R_j} \cdot C_m = 1.62 \quad \text{ნ.მ} \quad (1.8)$$

ღუზის ინდუქციურობა:

$$L_j = 3.09707 \cdot 10^{-5} \quad \text{ჰენრი};$$

იდეალური უქმი სვლის სიხარე:

$$\omega_{00} = \frac{U_n}{U_n - I_n \cdot R_j} \cdot \omega_n = 341.8 \quad \text{რად/წმ} \quad (1.9)$$

რეალური უქმი სვლის სიხარე:

$$\omega_0 = \frac{U_n}{C_e} - \frac{R_j}{C_e \cdot C_m} \cdot M_{s0} = 326.8 \quad \text{რად/წმ} \quad (1.10)$$

დროის მუდმივების გაანგარიშება :

დროის ელექტრომაგნიტური მუდმივა:

$$T_e = \frac{L_j}{R_j} = 1.191 \cdot 10^{-4} \quad (1.11)$$

დროის ელექტრომექანიკური მუდმივა:

$$T_m = \frac{J \cdot R_j}{C_e \cdot C_m} = 0.37 \quad (1.12)$$

ძრავის ბუნებრივი მექანიკური მახასიათებელი წარმოვიდგინოთ ორი ვექტორის სახით:

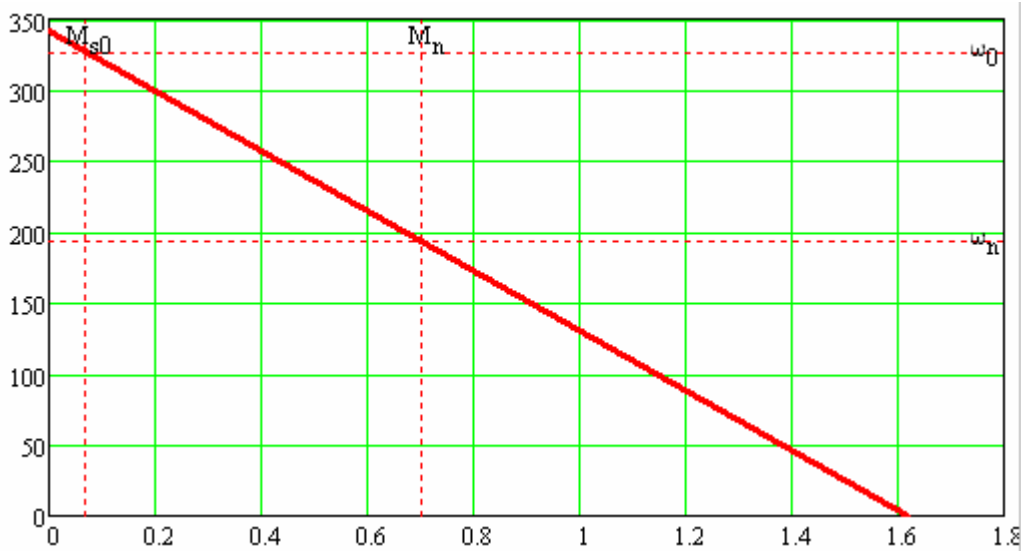
მომენტის ვექტორი:

სიჩქარის ვექტორი:

$$M_e = \begin{pmatrix} 0 \\ M_n \\ M_{kz} \end{pmatrix} \quad (1.13)$$

$$\omega_e = \begin{pmatrix} \omega_{00} \\ \omega_n \\ 0 \end{pmatrix} \quad (1.14)$$

ნახ. №12 სტატიკური ბუნებრივი მექანიკური მახასიათებელი



ძრავის გადამწოდი ფუნქცია:

$$w(p) = \frac{1}{T_e \cdot T_m \cdot p^2 + T_m \cdot p + 1} \quad (1.15)$$

$$F_1(p) = \frac{1}{C_e} \quad (1.16)$$

$$F_2(p) = T_e \cdot T_m \cdot p^2 + T_m \cdot p + 1 \quad (1.17)$$

$$f_2(p) = \frac{d}{dp}(p \cdot F_2(p)) \quad (1.18)$$

მასხასიათებელი განტოლების ფესვები:

$$T = \begin{pmatrix} 1 \\ T_m \\ T_m \cdot T_e \end{pmatrix} \quad (1.19)$$

$$p = \text{polyroots}(T) \quad (1.20)$$

$$p_1 = -8.392 \cdot 10^3 \quad p_2 = -2.706 \quad (1.21)$$

ამპლიტუდურ-სისწორული მასხასიათებელი:

$$k(\omega) = |w(i \cdot \omega)| \quad (1.22)$$

$$L(\omega) = 20 \cdot \log(k(\omega)) \quad (1.23)$$

$$k = -5, -4.9 \dots 5 \quad (1.24)$$

$$\omega(k) = 10^k \quad (1.25)$$

$$\frac{1}{T_m} = 2.705 \quad \frac{1}{T_e} = 8.395 \cdot 10^3 \quad (1.26)$$

ასიმპტოტური ლოგარითმულ-ამპლიტუდური მასხასიათებლები:

$$T_1 = -p_1 \cdot T_m \cdot T_e = 0.37 \quad (1.27)$$

$$\omega_1 = \frac{1}{T_1} = 2.706 \quad (1.28)$$

$$T_2 = -p_2 \cdot T_e \cdot T_m = 1.192 \cdot 10^{-4} \quad (1.29)$$

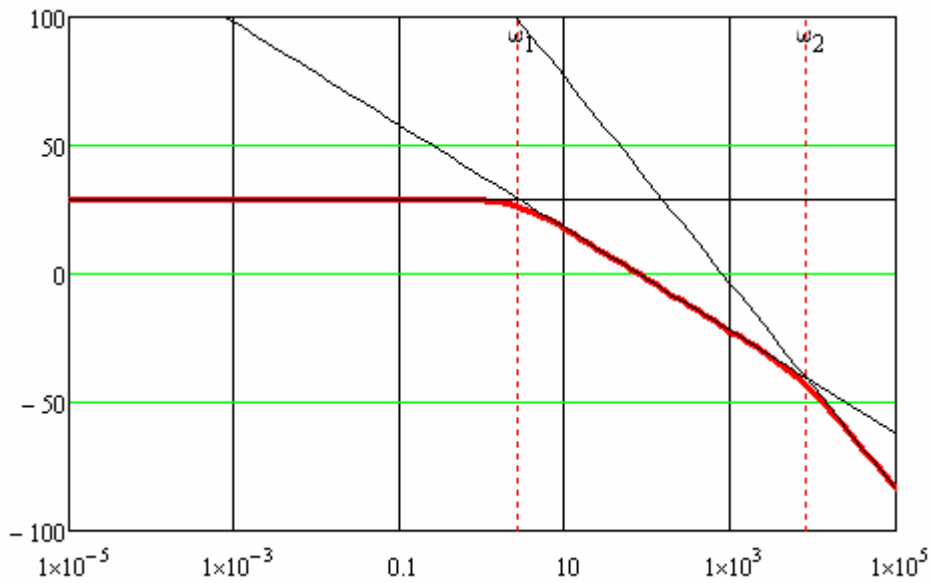
$$\omega_2 = \frac{1}{T_2} = 8.392 \cdot 10^3 \quad (1.30)$$

ასიმპტოტები:

$$L_{a_1} = 20 \cdot \log(k_0) = 29.094 \quad (1.31)$$

$$L_{a_2}(\omega) = 20 \cdot \log(k_0) - 20 \cdot \log(\omega \cdot T_1) \quad (1.32)$$

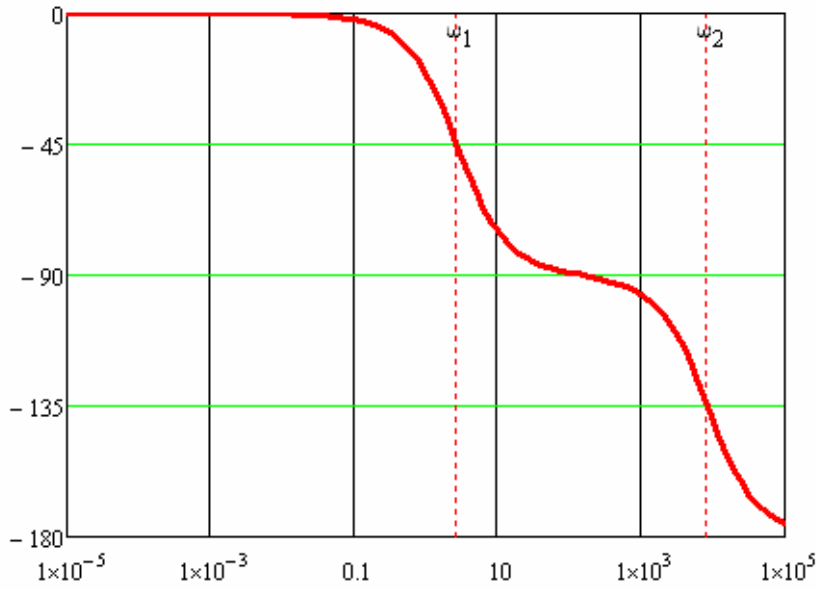
$$L_{a_3} = L_{a_2}(\omega) - 20 \cdot \log(\omega \cdot T_2) \quad (1.33)$$



ნახ. №13 პრავის ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი

ფაზო-სიხშირული მახასიათებლის გამოსახულება და დიაგრამა:

$$\Phi(\omega) = \frac{180}{\pi} \cdot \arg(w(i \cdot \omega)) \quad (1.34)$$

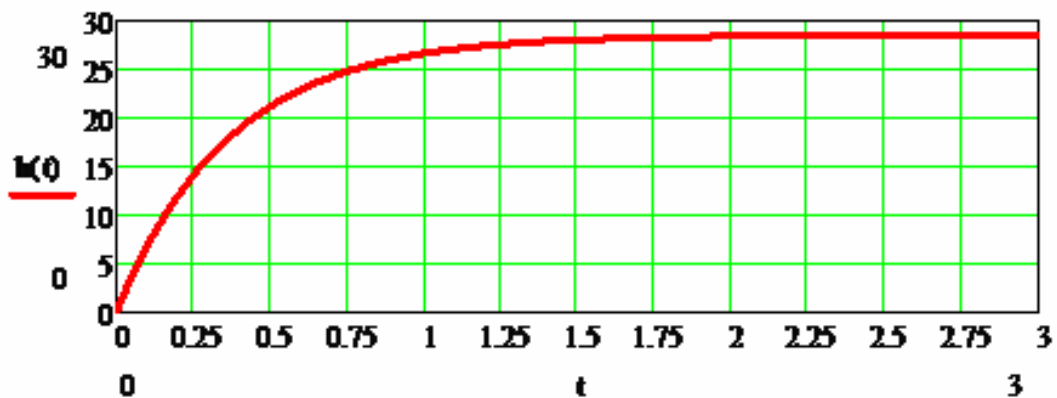


ნახ. №14 ფაზო-სიხშირული მახასიათებელი

გარდამავალი მახასიათებლები მართვის მიხედვით:

$$h(t) = \frac{F_1(0)}{F_2(0)} + \sum_{i=1}^2 \left(\frac{F_1(p_i)}{f_2(p_i)} \cdot e^{p_i \cdot t} \right) \quad (1.35)$$

$$p = \begin{pmatrix} -8.392 \cdot 10^3 \\ -2.706 \end{pmatrix} \quad t = 0, 0.01 \dots 3 \quad (1.36)$$



ნახ. №15 ძრავის გარდამავალი მახასიათებელი

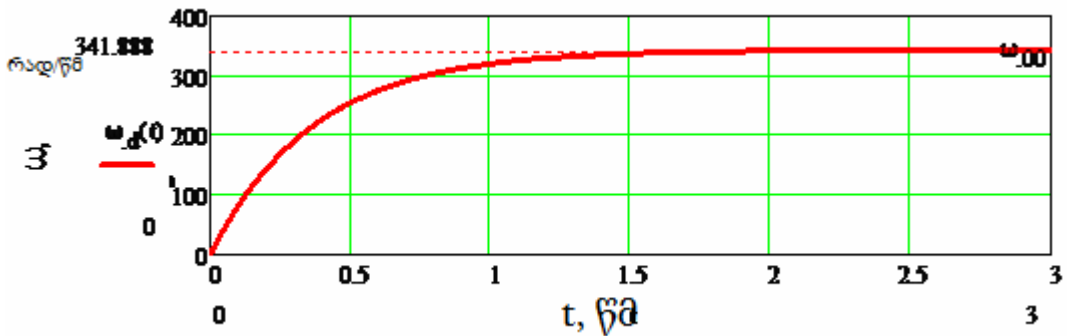
$$K(t) = \frac{d}{dt} h(t) \quad (1.37)$$

$$U(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ U_n & t \geq 0 \end{cases} \quad (1.38)$$

მაშინ ძრავის გაქანება შეიძლება განსაზღვრული ინტეგრალით გამოვსახოთ:

$$\omega_d(t) = \int_0^t K(t-\tau) \cdot U(\tau) d\tau \quad (1.39)$$

ქვემოთ ვიხილოთ ძრავის გაქანების მრუდი.



ნახ. №16 ძრავის გაქანება

ძრავის გადამწოლი ფუნქცია შეშფოთების მიხედვით:

$$w_m(p) = \frac{R_j \frac{1}{C_e^2}}{p^2 \cdot T_e \cdot T_m + p \cdot T_m + 1} \quad (1.40)$$

$$F_1(p) = -R_j \cdot \frac{1}{C_e^2} \cdot (T_e \cdot p + 1) \quad (1.41)$$

ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი:

$$k_m(\omega) = |w_m(i \cdot \omega)| \quad (1.42)$$

$$L_m(\omega) = 20 \cdot \log(k_m(\omega)) \quad (1.43)$$

$$k_0 = \frac{1}{C_e} = 28.49 \quad (1.44)$$

$$k = -5, -4.9, \dots, 7 \quad (1.45)$$

$$\omega(k) = 10^k \quad (1.46)$$

$$\frac{1}{T_m} = 2.705 \quad (1.47)$$

$$\frac{1}{T_e} = 8.395 \cdot 10^3 \quad (1.48)$$

ასიმპტოტები:

$$k_1(\omega) = |F_1(i \cdot \omega)| \quad (1.49)$$

$$L_1(\omega) = 20 \cdot \log(k_1(\omega)) \quad (1.50)$$

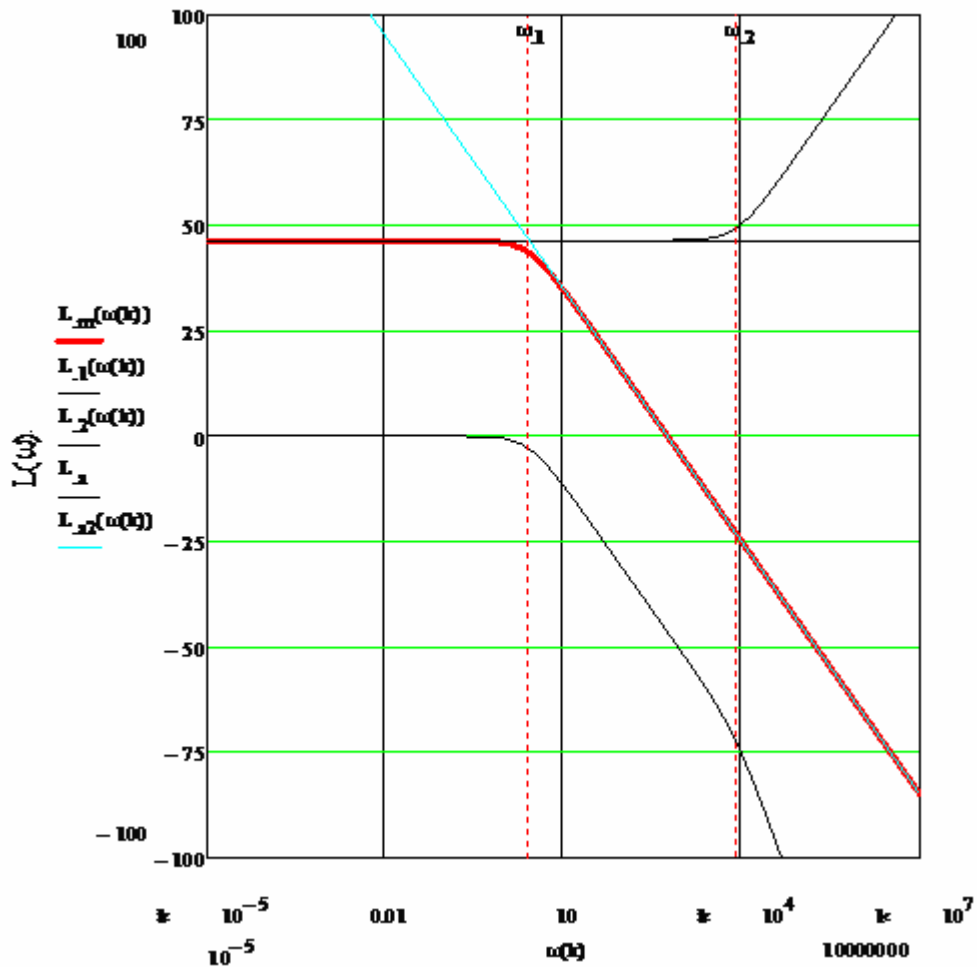
$$k_2(\omega) = \left| \frac{1}{F_2(i \cdot \omega)} \right| \quad (1.51)$$

$$L_2(\omega) = 20 \cdot \log(k_2(\omega)) \quad (1.52)$$

$$L_a = 20 \cdot \log\left(R_j \cdot \frac{1}{C_e^2}\right) \quad (1.53)$$

$$L_{a2}(\omega) = L_a - 20 \cdot \log(\omega \cdot T_1) \quad (1.54)$$

ამ ფორმულებით ავაგოთ სისტემის ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი შეშფოთების მიმართ.

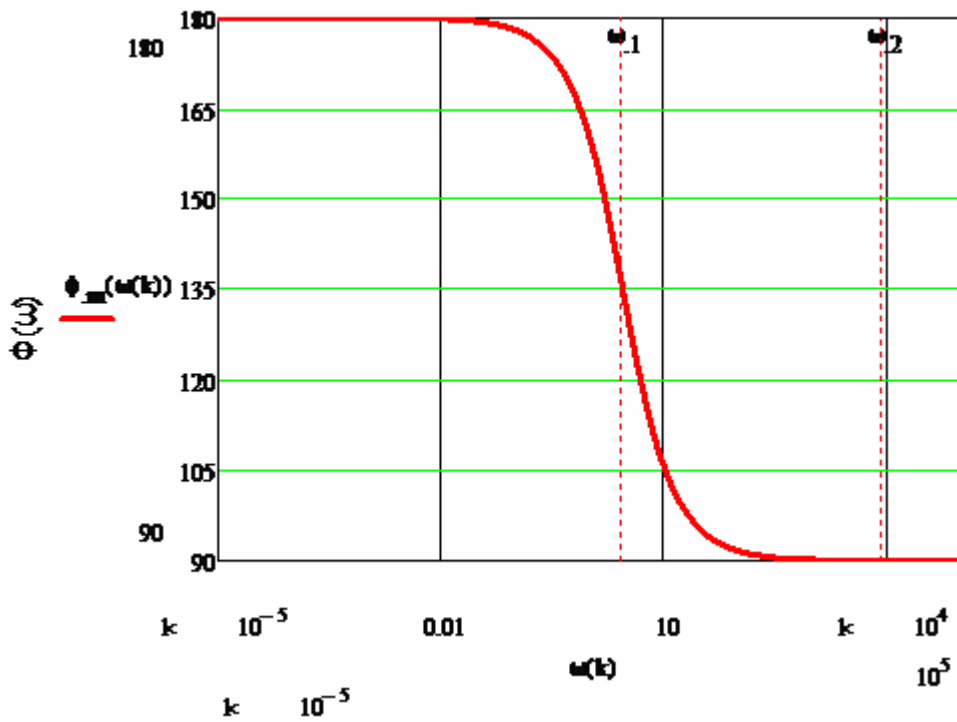


ნახ. №17 სისტემის ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი შეშფოთების მიხედვით

ფაზურ სიხშირული მახასიათებელი შეშფოთების მიხედვით:

$$\Phi_m = \frac{180}{\pi} \cdot \arg(w_m(i \cdot \omega)) \quad (1.55)$$

შემდეგ გვერდზე ვიხილოთ ფაზურ-სიხშირული მახასიათებელი შეშფოთების მიმართ.



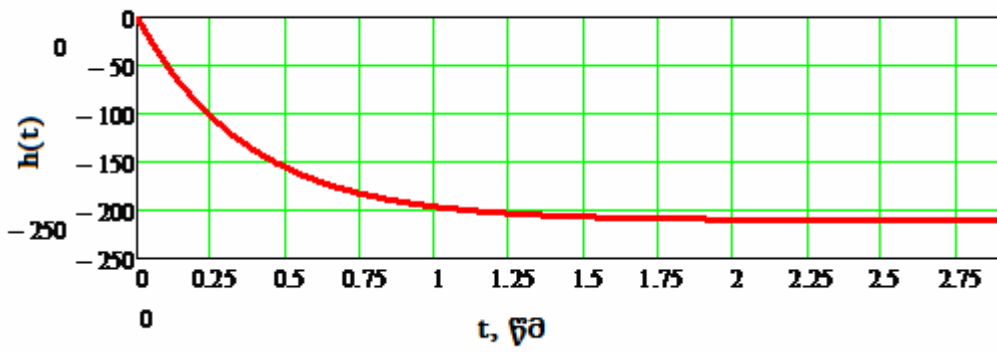
ნახ. №18 ფაზურ-სიხშირული მახასიათებელი შეშფოთების მიმართ

გარდამავალი რეჟიმი მომენტის სეფესურებრივი ცვლილებისას:

$$h(t) = \frac{F_1(0)}{F_2(0)} + \sum_{i=1}^2 \left(\frac{F_1(p_i)}{f_2(p_i)} \cdot e^{p_i \cdot t} \right) \quad (1.56)$$

ასიმპტოტა, რომლისკენ მიისწრაფვის $h(t)$:

$$\frac{\omega_0}{M_{kz}} = 211.036 \quad (1.57)$$



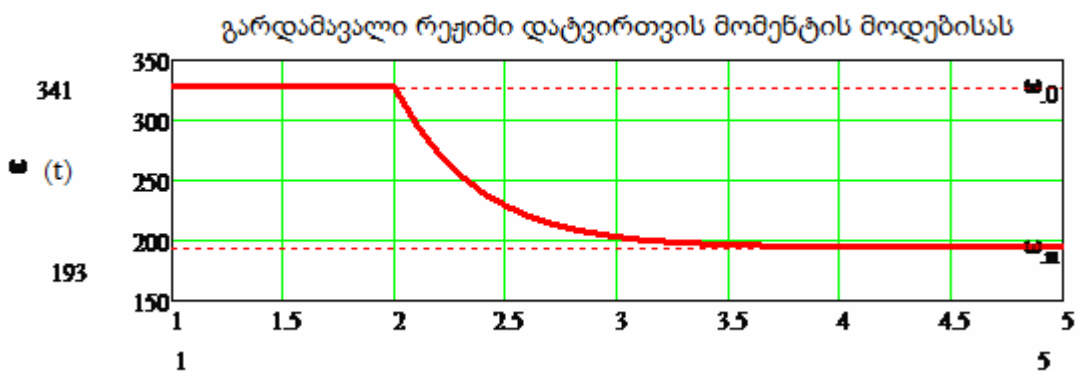
ნახ. №19 გარდამავალი რეჟიმი საფეხურებრივი ტვირთის ზემოქმედების დროს დატვირთვის მომენტის ზემოქმედება

$$K(t) = \frac{d}{dt} h(t) \quad (1.58)$$

$$M(t) = \begin{cases} M_{s0} & t < 2 \\ M_n & t \geq 2 \end{cases} \quad (1.59)$$

$$\omega(t) = \omega_{00} + \int_0^t K \cdot (t - \tau) \cdot M(\tau) \cdot d\tau \quad (1.60)$$

$$t = 0, 0.1, \dots, 5 \quad (1.61)$$



ნახ. №20 გარდამავალი რეჟიმი დატვირთვის მომენტის მოდებისას

შემდეგ გვერდზე წარმოდგენილია ძრავის დიფერენციალური განტოლებები მექანიკურ დატვირთვისთან ერთად.

გვაქვს შემდეგი სახის დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა:

$$D(\tau, x) = \begin{pmatrix} \frac{U_n - R_j \cdot x_1 - C_e \cdot x_2}{L_j} \\ \frac{-M_{s0} + C_m \cdot x_1}{J} \end{pmatrix} \quad (1.62)$$

საწყისი პირობები:

$$x = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (1.63)$$

მოდელის ინტეგრირების პარამეტრები:

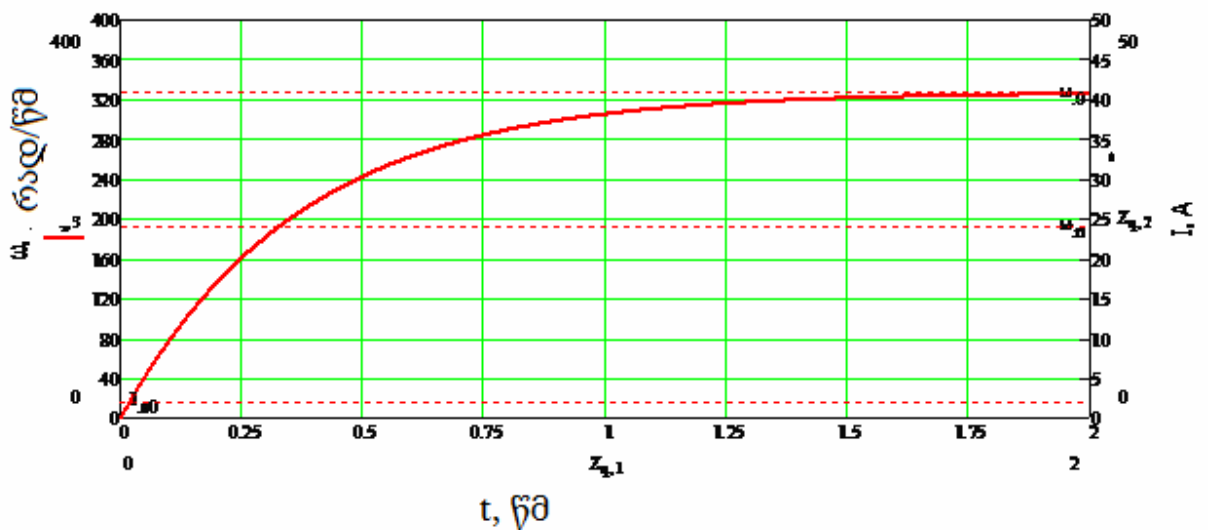
$$t_0 = 0 \quad t_{end} = 2 \quad qp = 1000 - \text{გამოსაყვანი წერტ. რაოდენობა} \quad (1.64)$$

ამოვხსნათ დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა რიცხობრივი ინტეგრირების რუნგე-კუტის მეთოდით:

$$Z = Rkadapt(x, t_0, t_{end}, qp, D) \quad (1.65)$$

$$q = 1 \dots qp \quad (1.66)$$

ძრავის ჩართვის გარდამავალი რეჟიმის მრუდები ნაჩვენებია ქვემოთ გრაფიკზე:



ნახ. №21 ძრავის ჩართვის გარდამავალი რეჟიმი

1.3 მართვის სისტემის ლოგიკური ნაწილის დამუშავება

ამოცანის შინაარსი

მუდმივი დენის ძრავის მართვის ლოგიკის დამუშავების ამოცანას სპეციალურ ლიტერატურაშიც კი ნაკლები ყურადღება ეთმობა, მაგრამ ეს ერთი შეხედვით მარტივი მიმართულება არ არის ტრივიალური. როგორც წესი სპეციალისტები საუბრობენ ამძრავებთან დაკავშირებულ სხვადასხვა პრობლემატიკაზე, მაგრამ ნაკლებად არის განხილული ამა თუ იმ ამოცანის გადაწყვეტის თეორიული და პრაქტიკული ნიუანსები. ამის ნათელი მაგალითია ის ფაქტია, რომ ავტომატური მართვის სქემების დამუშავების დროს ცდილობენ მარტივი მსჯელობით მოახერხონ დასამუშავებელი სქემის ანალიზი და ამ დროს არ სარგებლობენ მათემატიკის ინსტრუმენტით, რომელიც იმისათვის კი არ იქმნებოდა, რომ სტუდენტებს ცხოვრება გაუმწაროს, არამედ იმისათვის, რომ შესაძლებელი გახდეს სხვადასხვა ტექნიკური თუ საბუნებურმეტყველო ან თუნდაც კომერციული ამოცანის ღრმა ფორმალიზაცია, რომლის გარეშე ამოცანის გადაწყვეტა შეუძლებელია. ეს მისაღწევია თუ ამოცანა გვაქვს მკაფიოდ დასახული. ამიტომ ჩვენ შევეცადეთ ბულის ალგებრას და დისკრეტული მოწყობილობების თეორიის გამოყენებით გადაგვეჭრა მართვის ლოგიკის და იქიდან გამომდინარე სქემის დამუშავება, რომელსაც არ ექნება სიჭარბე და ამ დროს იქნება საკმარისი პირობა სრულყოფილი მართვისა. იქიდან გამომდინარე რომ გვეჭირდება ამძრავის საათის ისრის მიმართულებით ბრუნვა და საწინააღმდეგოდ, ასევე ბრუნვის სიჩქარის მართვა და აქედან გამომდინარე ორი ტრანზისტორის განივ იმპულსური რეჟიმით მართვა, სქემის ძალური ნაწილის მართვის ლოგიკის დამუშავება არ არის ტრივიალური ამოცანა და ვერ შემუშავდება მხოლოდ მსჯელობით. აქ საჭიროა ამოცანის ღრმად ფორმალიზაცია, რომელიც ხერხდება ლოგიკური ალგებრის კანონების პრაქტიკული გამოყენებით. მართვის ლოგიკის ამოცანის ფორმალიზაცია გვეჭირდება საბოლოოდ იმისათვის, რომ შევიმუშავოთ სქემა ლოგიკურ ელემენტებზე, რაც საკუთრივ მოგვცემს ინსტრუმენტს მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის კვლევისა, რაც ნაშრომის

მთავარ კომპონენტს წარმოადგენს. ამოცანის ფორმალიზაციის ეტაპებია შემდეგია:

1. ჭეშმარიტების ცხრილის შედგენა.
2. ჭეშმარიტების ცხრილიდან გამომდინარე ლოგიკური ფუნქციის ლოგიკის ალგებრის განტოლების სახით შედგენა.
3. ლოგიკური ფუნქციის გარდაქმნა და გამარტივება ლოგიკის ალგებრის გამოყენებით.
4. ფუნქციიდან გამომდინარე ლოგიკური ელემენტების შერჩევა.
5. მიღებულ ლოგიკურ სქემის შესასვლელზე დისკრეტული სიგნალების ცვლილებით “0” და “1”, ვაკუუმებით სქემის გამოსასვლელზე დისკრეტული სიგნალის ცვლილებას.
6. მიღებული მართვის სქემის მაკეტირება ელექტრონული სქემების მაკეტირების პროგრამაში Multisim 9.
7. მიღებული მართვის სქემის “მიერთება” ტრანზისტორების ბოგირთან.
8. საერთო სქემის გამოცდა და დაკვირვება.

ჭეშმარიტების ცხრილის შედგენამდე მინდა წარმოვიდგინოთ მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სქემის აბსტრაქტული სახე, რომელსაც ჩვენ ვიყენებთ კვლევის ობიექტზე წარმოდგენის შესაქმნელად. დასახული ამოცანის შესასრულებლად დაგეგმირდება ბულის ალგებრის და დისკრეტულ მოწყობილობათა თეორიის ზოგიერთი კანონის გამოყენება, რაც მოკლედ განიხილება ქვემოთ.

1.4 დისკრეტულ მოწყობილობათა თეორიის მოკლე მიმოხილვა

დისკრეტულ მოწყობილობათა თეორიის საგანი წარმოადგენს ბულის ალგებრის მათემატიკური აპარატი, ლოგიკურ ფუნქციათა მიცემის და რეალიზაციის ხერხები, ლოგიკურ გამოსახულებათა და კომბინაციურ მიმდევრობითი მოწყობილობების გარდაქმნის და მინიმიზაციის ხერხები.

ლოგიკური გამოსახულების მინიმიზაციისათვის, (რაც ზოგადად არის საჭირო დისკრეტულ მოწყობილობათა დამუშავების დროს) და კერძოდ, ჩვენს შემთხვევაში გამოიყენებიან ლოგიკის ალგებრის კანონები.

გადანაცვლების:

$$x1 \cdot x2 = x2 \cdot x1 \quad \text{და} \quad x1 + x2 = x2 + x1 \quad (1.67)$$

ჯგუფდებლობის:

$$(x1 \cdot x2)x3 = x1 \cdot (x2 \cdot x3) \quad \text{და} \quad (x1 + x2) + x3 = x1 + (x2 + x3) \quad (1.68)$$

ტავტოლოგიის:

$$x \cdot x = x \quad \text{და} \quad x + x = x \quad (1.69)$$

შემობრუნების:

$$\text{თუ: } x1 = x2 \quad \text{მაშინ } \overline{x1} = \overline{x2} \quad (1.70)$$

აქ ხაზი ცვლადის ზემოთ ლოგიკურ შემობრუნებას(ინვერსიას) ნიშნავს.

ორმაგი ინვერსიის ან უარყოფის უარყოფა:

$$\overline{\overline{x}} = x \quad (1.71)$$

ნულოვანი სიმრავლის:

$$x \cdot 0 = 0 \quad \text{და} \quad x + 0 = x \quad (1.72)$$

უნივერსალური სიმრავლის:

$$x \cdot 1 = x \quad \text{და} \quad x + 1 = 1 \quad (1.73)$$

დამატებითობის:

$$x \cdot \overline{x} = 0 \quad \text{და} \quad x + \overline{x} = 1 \quad (1.74)$$

განაწილების:

$$x1 \cdot (x2 + x3) = x1 \cdot x2 + x1 \cdot x3 \quad \text{და} \quad x1 + x2 \cdot x3 = (x1 + x2) \cdot (x1 + x3) \quad (1.75)$$

შთანთქმის:

$$x1 + x1 \cdot x2 = x1 \quad \text{და} \quad x1 \cdot (x1 + x2) = x1 \quad (1.76)$$

შეწებების:

$$(x1 + x2) \cdot (x1 + \overline{x2}) = x1 \quad \text{და} \quad x1 \cdot x2 + x1 \cdot \overline{x2} = x1 \quad (1.77)$$

დე-მორგანის:

$$\overline{x1 \cdot x2} = \overline{x1} + \overline{x2} \quad \text{და} \quad \overline{x1 + x2} = \overline{x1} \cdot \overline{x2} \quad (1.78)$$

ახლა განვიხილოთ ლოგიკური ფუნქციის მინიმოზაციის პრაქტიკული მაგალითი.

გვაქვს შემდეგი სახის ლოგიკური ფუნქცია:

$$F = \overline{ca + dbd} \overline{(a \cdot \overline{c} + \overline{cd})} b \quad (1.79)$$

$$1. \overline{ca + dbd} = \overline{ca} \cdot \overline{dbd} = (\overline{c} + \overline{a})(\overline{d} + b)\overline{d} = (\overline{c} + \overline{a})\overline{d} = \overline{cd} + \overline{ad} \quad (1.80)$$

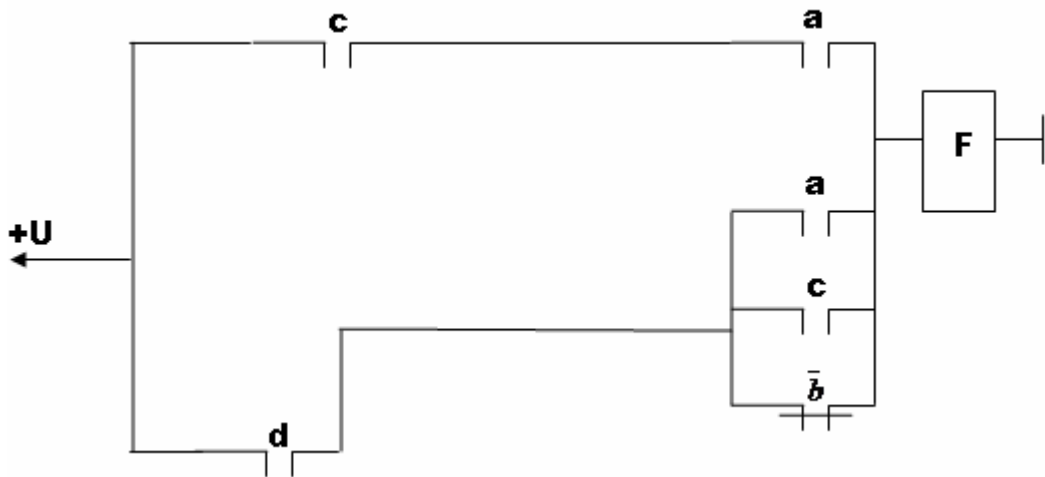
$$2. \overline{(a \cdot \overline{c} + \overline{cd})} b = \overline{ac} \cdot \overline{cdb} = (\overline{a} + \overline{c})\overline{cdb} = \overline{acdb} \quad (1.81)$$

$$3. F = ca + d(a + c + \overline{b}) \quad (1.82)$$

მიუხედავად იმისა, რომ ჩვენ სარელეო კონტაქტორულ სქემას არ ვამუშავებთ, მაინც ავღნიშნოთ ის, რომ ნორმალურად ჩაკეტილ კონტაქტებს შეესაბამებიან ცვლადების ინვერსული სიდიდეები, ხოლო ნორმალურად გახსნილს – პირდაპირი. მიმდევრული შეერთება შეესაბამება კონუნქციის ოპერაციას(გამრავლება), ხოლო პარალელური დიზუნქციის(მომატება).

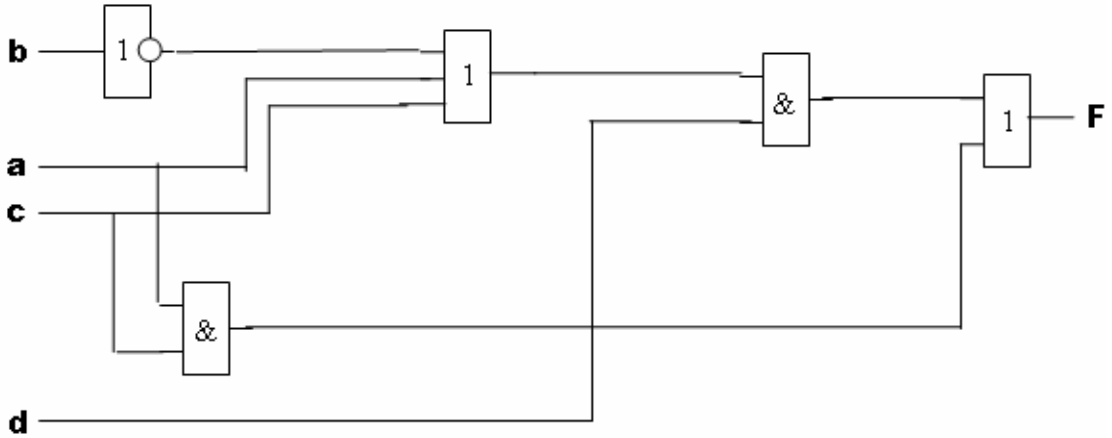
გამოსახულება მინიმიზაციის შემდგომ მიიღებს სახეს:

$$F = ca + d(a + c + \overline{b}) \quad (1.83)$$



ნახ. №22. სარელეო კონტაქტორული სქემა

ამის შემდგომ შეგვიძლია ავაგოთ სქემა სტატიკურ ლოგიკურ ელემენტებზე, რაც ჩვენი შემთხვევისთვის უფრო აქტუალურია:



ნახ. №23 ლოგიკური ფუნქცია რომელიც შესრულებულია სტატიკურ ლოგიკურ ელემენტებზე

1.5 ლოგიკური სქემების აგება ჭეშმარიტების ცხრილით

არსებობს ორი კანონიკური ფორმა ლოგიკის ალგებრისა: დიზიუნქციური და კონიუნქციური სრულყოფილი ნორმალური ფორმა.

დიზიუნქციური დსნფ წარმოადგენს დიზიუნქციას ერთიანის კონსტიტუციენტი. ერთიანის კონსტიტუციენტი – არის ფუნქცია, რომელიც ერთიანის მნიშვნელობას იღებს მხოლოდ ერთადერთი შესასვლელი ცვლადების ნაკრების შემთხვევაში. კონიუნქციური სრულყოფილი ლოგიკური ფუნქცია კსლფ – წარმოადგენს კონიუნქციას ნოლის კონსტიტუციენტისა. ნოლის კონსტიტუციენტი – ეს არის ფუნქცია, რომელიც იღებს ნოლის მნიშვნელობას მხოლოდ ერთი შესასვლელის ცვლადების ნაკრების დროს. მაგალითისათვის, ფუნქცია **F** რომელიც არის ოთხი ცვლადის ფუნქცია **a, b, c, d** მოცემულია ჭეშმარიტების ცხრილის სახით.

ცხრილი №2 ჭეშმარიტების ცხრილის მაგალითი

№	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
a b c d	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	10 01	10 10	1000	11 0 0	11 01	1110	1111
F	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0

ტეშმარიტების ცხრილის მიხედვით ჩავწერთ სრულყოფილი ნორმალური კონიუნქციური სრულყოფილი ნორმალური ფორმა :

$$F = \overline{abcd} + \overline{abcd} + \overline{abcd} + \overline{abcd} + \overline{abcd} + \overline{abcd} + \overline{abcd} + \overline{abcd} \quad (1.84)$$

სქემის ზედა ნაწილში ვხედავთ ტრანზისტორულ ბოგირს რომელის ოთხი ტრანზისტორისაგან შესდგება. აბსტრაქტულად ეს ბოგირი დაყოფილია ორ ნაწილად: ე.წ მაღალი მხარე და დაბალი მხარის ტრანზისტორები. დიაგრამაზე **H1, H2** და **L1, L2**. ეს ტრანზისტორები ზოგადად რომ ვთქვათ იმართება შემდეგი პრინციპით: ოთხი მათგანიდან ერთი სრულად გახსნილია, ერთი სრულად ჩაკეტილია ორი კი იმართება განივ-იმპულსური მოდულაციის კანონით (გიმ). უფრო ზუსტად, ამძრავის ბრუნვის მიმართულებიდან გამომდინარე ტრანზისტორული ბოგირის მართვის ცხრილი მოგვაწვდის ინფორმაციას, რომელიც წარმოდგენილია ქვემოთ.

ცხრილი №3 გასაღებების მდგომარეობა მართვის სიგნალებიდან გამომდინარე

მმართველი შესასვლელები			მმართველი სქემის მდგომარეობა გასაღებების მიმართ				კომენტარი
ON	DIR	PWM	H1	L1	H2	L2	----- -----
0	X	X	OFF	OFF	OFF	OFF	ლოდინი
1	0	PWM	ON	OFF	/PWM	PWM	ძრავი “წინ სვლა” გიმ- რეჟიმით
1	1	PWM	/PWM	PWM	ON	OFF	ძრავი “უკან სვლა” გიმ- რეჟიმით

ეს არის ეწ ჭეშმარიტების ცხრილი, სადაც მკაფიოდ ჩამოყალიბებულია ამჰრავის ბრუნვის მიმართულების და გიმ-დან გამომდინარე თვითოეული ბოგირის ტრანზისტორი რა რეჟიმში უნდა იმყოფებოდეს. როგორც უკვე ავლნიშნეთ ჭეშმარიტების ცხრილი არის დისკრეტული სისტემის ფორმალიზაციის პირველი საფეხური, რომელიც გვაძლევს საშუალებას ჩამოვწეროთ სისტემის ლოგიკური ფუნქციები. რადგან ჩვენ სქემას უნდა ჰქონდეს ბრუნვის მიმართულების მართვის გასაღები ორი მდგომარეობით და სამი გამომყვანით რაც ადვილი წარმოსადგენია. მართვის გასაღების საერთო წვერზე ვაძლევთ რაიმე ელექტრულ სიგნალს რომელიც შეესაბამება ლოგიკურ “1”-ანს, ხოლო გამოსასვლელები ლოგიკურ სქემას რომელსაც ჩვენ ესლა შევიძუშავებთ. ყველაფერი ეს აბსტრაქტულად რომ წარმოვიდგინოთ გვაქვს ორი საღტე **D** და **P** რომლებზეც რიგრიგობით ვაწვდით “1” და “0”. ლოგიკური სქემის გამოსასვლელზე კი გვექნება ოთხი ცვლადი **H1 L1 H2 L2**, რომლებიც უნდა მიიღონ ისეთი მნიშვნელობები, რომლებიც ცხრილ №1-ში აღნიშნული. ზემოთაღნიშნულ ცხრილს უფრო ფორმალიზებულად შემდეგი სახე აქვს(ქვემოთ).

ცხრილი №4 გამოსასვლელი ცვლადების მნიშვნელობა შესასვლელის მიმართ

შესასვლელი ცვლადები		გამოსასვლელი ცვლადები			
D	P	H1	L1	H2	L2
0	0	1	0	1	0
0	1	1	0	0	1
1	0	1	0	1	0
1	1	0	1	1	0

ამ ცხრილიდან გამომდინარე ჩამოვწეროთ ლოგიკური ფუნქციები თვითოეული გამოსასვლელისათვის:

$$H1 = \bar{D} \cdot \bar{P} + \bar{D} \cdot P + D \cdot \bar{P} \quad (1.85)$$

გავამარტივოთ ეს გამოსახულება:

$$H1 = \overline{D} + \overline{P} = \overline{DP} \quad (1.86)$$

შემდეგი გამოსახულებებისათვის:

$$L1 = D \cdot D \quad (1.87)$$

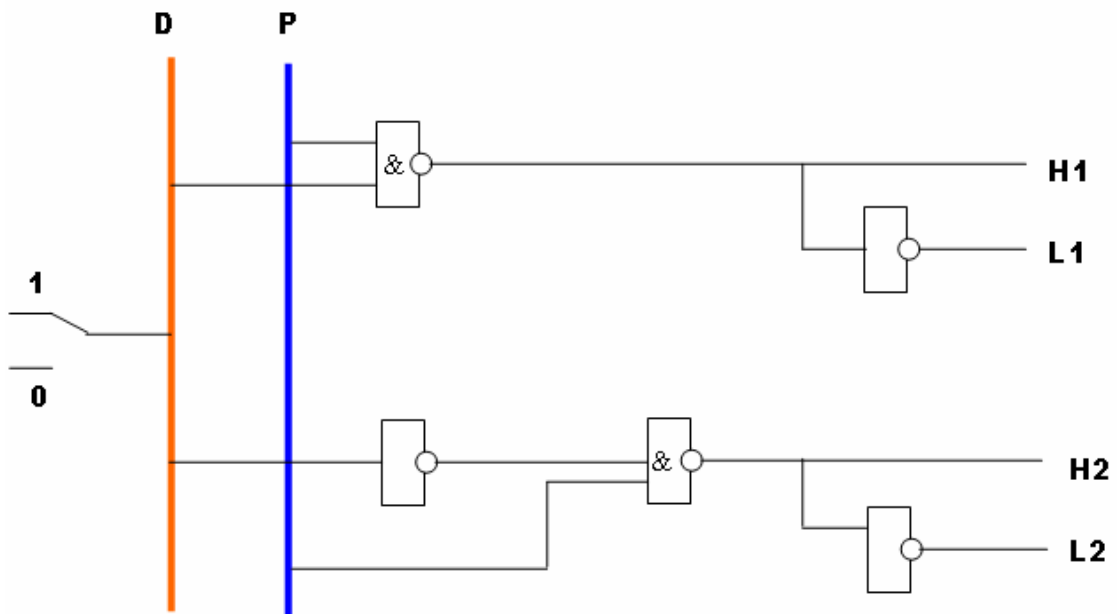
$$\mathbf{H2-თვის} \text{ გვექნება: } H2 = D + \overline{P} = \overline{\overline{D + \overline{P}}} = \overline{\overline{D} \cdot P} \quad (1.88)$$

$$\mathbf{L2} \text{ -თვის გვექნება: } L2 = \overline{D} \cdot P \quad (1.89)$$

ლოგიკური განტოლებების გასამარტივებლად გამოვიყენოთ დემორგანის კანონები, რომელთა თანახმად დიზუნქციების ინვერსია უდრის ინვერსიათა კონიუნქციებს, ხოლო კონიუნქციათა ინვერსია უდრის ინვერსიათა დიზუნქციას, ეს სიტყვიერად გამოთქმული კანონები მათემატიკურად შემდეგნაირად გამოისახება:

$$\overline{a+b} = \overline{a} \cdot \overline{b} \quad \text{და} \quad \overline{a \cdot b} = \overline{a} + \overline{b} \quad (1.90)$$

ახლა **H1 L1 H2 L2** თვითოეული გამოსახულები ცვლადისათვის ავიღოთ ლოგიკური ელემენტები და გადავწეროთ მათი ლოგიკური ფუნქციები გრაფიკული ენით.



1.6 ტრანზისტორული გარდამსახის კვლევა

იმისათვის რომ, სრულფასოვნად გამოვიკვლიოთ მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემა, უნდა დაგვედგინა ძრავის გადამწოდი ფუნქცია და ამასთან ერთად საჭიროა გამოვიკვლიოთ ტრანზისტორული გარდამსახის გადამწოდი ფუნქცია, დროის მუდმივა, წმინდა დაყოვნება და ასე შემდეგ. ქედან გამომდინარე გვერდს ვერ აუვლით ტრანზისტორულ გარდამსახს და მის მართვის სქემას, რომელთა ვირტუალური მაკეტის სახით აწყობა მოგვიწევს პროგრამა Multisim 9-ში. ამჯერად კვლევის დროს შემდეგ სტრატეგიას მივმართავთ:

1. სქემის დისკრეტული მმართველი ნაწილის ლოგიკის დამუშევება(რასაც შევეცდებით ცალკე თავში).
2. ვირტუალური კომპონენტების გამოყენებით ელექტრონული სქემების მოდელირების პროგრამაში Multisim-9-ში ავაწყოთ მართვის სისტემა ტრანზისტორების ძალური ბოგირით და მუდმივი დენის ვირტუალური ძრავით.
3. ჩავატაროთ საფეხურიანი ერთეულოვანი ზემოქმედების მოდების ცდა სისტემაზე, რომელიც მოგვცემს:
წმინდა დაყოვნების მნიშვნელობას ძრავის დუხის წინააღობაზე და სხვადასხვა სიდიდის წინააღობის ჩართვას.
გარდამსახის ძაბვის გარდამავალი პროცესის გრაფიკს დროში.
დენის ოსცილოგრამას ძრავის დუხაში.
ამის შედეგად საშუალება გვექნება დავადგინოთ დატვირთვიდან გამომდინარე რა სიდიდის დროის მუდმივები იქნებიან ტრანზისტორულ გარდამსახში.
4. ყველაფერი ეს საშუალებას მოგვცემს ავაგოთ სისტემის(ტრანზისტორული გარდამსახის) ამპლიტუდურ

სისწორული და ფაზურ სისწორული მახასიათებლები. რაც საშუალებას მოგვცემს დავადგინოთ სისტემის მდგრადობა.

5. ამის შემდეგ საშუალება გვექნება დავადგინოთ სისტემის სტატიზმი, ასტატიზმი, გადამეტრეგულირება როგორც გარდამავალი მახასიათებლების ხარისხის მაჩვენებლები.

6. ავაწყოთ სქემა ავტომატური სისტემების მოდელირების პაკეტ ვისსიმ-ში და დეტალურად გაგაანალიზოთ სისტემის ქცევა(მოქმედება) მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმში.

7. ყველაფერი ეს საშუალებას მოგვცემს ვივსაუროთ სისტემის მუშაუნარიანობაზე და შევადაროთ ის სხვა სისტემებს.

8. ვისაუბროთ და გაგაანალიზოთ სისტემის დანერგვის პერსპექტივები.

ზოგადი სახით ტრანზისორული გარდამსახის გადამწოდი ფუნქცია შეიძლება იყოს აღწერილი განტოლებით:

$$W(s) = \frac{U_{mn}(s)}{U_y(s)} = k_{mn} \cdot \frac{e^{-s\tau_0}}{T_{mn} \cdot s + 1} \quad (1.91)$$

სადაც:

$U_{mn}(s)$ -ტრანზისტორული გარდამსახის შესასვლელზე ძაბვის გამოსახულებაა,

$U_y(s)$ –ტრანზისტორთა მმართველი ძაბვის გამოსახულება.

K_{mn} - გარდამსახის გაძლიერების კოეფიციენტი.

T_{mn} - გარდამსახის ძალური წრედის ელექტრომაგნიტური დროის მუდმივა.

τ_0 –დაყოვნების დრო დამოკიდებულია მმართველი სიგნალის მიწოდების მომენტზე და მიმართულებაზე და მდებარეობს დიაპაზონში $0 \leq 1/f$, სადაც f გიმ-ის სისწირეა იცვლება დიაპაზონში (2-10 კჰც). მაღალი სისწირის დროს განივ იმპულსური გარდამსახი შეიძლება ჩავთვალოთ უინერციო კვანძად და პირველ მიახლოებაში უგულებელყოთ სიდიდებით T_{mn} და τ_0 -ით და მივიღოთ $W(s)=k_{mn}$.

ტრანზისტორული გარდამსახების გამოყენებას მუდმივი დენის გარდასაქმნელად შეაქვს რიგი თავისებურებები, რომლებიც გავლენას ახდენენ მუდმივი დენის ელექტროამძრავების მექანიკურ და სარეგულირებელ მახასიათებლებზე, რომლებიც შემდეგია:

1. რეგულირების დისკრეტულობა.
2. გარდამსახის პარამეტრების ზეგავლენა ელექტროძრავას სტატიკურ მახასიათებლებზე.
3. ღუზაში დენის წყვეტა დატვირთვის დაბალ მომენტებზე.

ტრანზისტორების მნიშვნელოვან თავისებურებას წარმოადგენს ის, რომ მათ შეუძლიათ იმუშაონ უფრო მაღალ სიხშირეებზე ვიდრე ტირისტორები. ტირისტორებთან შედარებით ტრანზისტორები, განსაკუთრებით ველიანი სწრაფად და ადვილად იკეტება, რაც მნიშვნელოვნად აადვილებს გარდამსახის მართვას.

ყველაფერი ეს საშუალებას გვაძლევს გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნა:

1. ელექტროამძრავის გამოსაკვლევადა გეჭირდება ტრანზისტორული გარდამსახის გამოკვლევა, რათა დადგინდეს გარდამსახის შემდეგი პარამეტრები: წმინდა დაყოვნება და დროის მიდმივები T_{mn} სხვადასხვა დატვირთვის დროს.
2. გაუკეთდეს ოსცილოგრაფირება გარდამსახის გამოსასვლელი ძაბვის და ძრავის ღუზის დენისა.
3. სასურველია დადგინდეს თეორიული დამოკიდებულება მათემატიკური სახით ტრანზისტორული გარდამსახის ძაბვისა და ღუზის(დატვირთვის) წინაღობისა. ეს შეიძლება მოვახერხოთ მიღებული მრუდების აპროქსიმაციით რაღაცა თეორიული მათემატიკური გამოსახულებებით.
4. ტრანზისტორული გარდამსახის როგორც ავტომატური მართვის რეგულირების სისტემის ერთ-ერთი უმთავრესი ნაწილის ლოგარითმულ ამპლიტუდური სიხშირული და ლოგარითმული ფაზურ სიხშირული მახასიათებლების დადგენა და აგება. ყველაფერი ეს საშუალებას მოგვცემს მივიღოთ მათემატიკური ფორმალიზებული სახით ტრანზისტორული გარდამსახის ე.წ ბლოკი რომელიც უკვე ძრავას დადგენილ გადამწოდ ფუნქციასთან და უკუკავშირებთან ერთად ერთიანად გამოვიყენოთ ავტომატური მართვის მიკროპროცესორულ სისტემაში და გამოვიკვლიოთ საერთოდ სისტემის გარდამავალი

პროცესების ხარისხების მაჩვენებლები, როგორცაა სტატიზმი, ასტატიზმი, გადამეტრეგულირება და ზოგიერთი სხვა. ყველაფერი ამის მისაღწევად დაგეგმვა ჩვენი მიკროპროცესორული მართვის სისტემის ვირტუალური აწყობა, გამართვა და ერთეულოვანი საფეხურებრივი ზემოქმედების ცდების ჩატარება, მიღებულ მონაცემთა დამუშავება ელექტრონული ცხრილების სახით, რაც საშუალებას მოგვცემს დავადგინოთ ტრანზისტორული გარდამსახის გადამწოდი ფუნქცია და სისშირული მახასიათებლები.

სანამ უშუალოდ გადავალთ კვლევის ამ მეტისმეტად დეტალიზირებულ და შრომატევად ეტაპებზე მოკლედ განვიხილოთ რეგულირების ობიექტების მახასიათებლების ექსპერიმენტული დადგენა და კვლევის ინსტრუმენტული საშუალებები რაც ზოგადად მოითხოვს ჩვენგან კვლევის სტრატეგიების და კვლევის ტექნოლოგიების გონიერი ხერხების დამუშავებას.

1.7 რეგულირების ობიექტის გადამწოდი ფუნქციის დადგენის სტრატეგია

ნებისმიერი ობიექტის რეგულირების სისტემის კვლევა და კერძოდ ჩვენს შემთხვევაში მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის კვლევა მდგომარეობს სტრუქტურული სქემის დამუშავებაში და სისტემის კვანძების როგორცაა ძრავა, ტრანზისტორული გარდამსახი, ტრანზისტორული გარდამსახის მმართველი ლოგიკის და უკუ კავშირის სენსორების გადამწოდი ფუნქციის დადგენაში. იქიდან გამომდინარე, რომ 1BB-42 მუდმივი დენის ძრავას გადამწოდი ფუნქცია, დროის ელექტრომექანიკური და ელექტრომაგნიტური მუდმივები გვაქვს დადგენილი კიდევ ერთხელ ცხრილში ქვემოთ მოვიყვანოთ ეს მეტისმეტად მნიშვნელოვანი პარამეტრები რომლებიც დაგეგმვა ჩვენი სისტემის მოდელირების დროს.

ცხრილი №5 Ford 1BB-42 ძრავის დროის მუდმივები და გადამწოდი ფუნქცია

ძრავის ელექტრომექანიკური მუდმივა	ძრავის ელექტრომაგნიტური მუდმივა	ძრავის გადაცემის ფუნქცია
$1.191 \cdot 10^{-4}$	0.37	$w(p) = \frac{28.57}{0.0000441 \cdot p^2 + 0.37 \cdot p + 1}$

ახლა ისევ დაგუბრუნდეთ ტრანზისტორული გარდამსახის დროის მუდმივების და გადამწოდი ფუნქციის დადგენის ამოცანას. პრაქტიკულად ეს ამოცანა არ არის ტრივიალური რადგან ობიექტის გადამწოდი ფუნქცია არ შედის მოწყობილობათა მონაცემთა ნომენკლატურაში. ჩვენს შემთხვევაში ცნობილია ტრანზისტორული გარდამსახის გადამწოდი ფუნქციის გამოსახულება, მაგრამ არ გვაქვს ამ გადამწოდი ფუნქციის პარამეტრები. გადამწოდი ფუნქციის პარამეტრების დადგენა შეიძლება სამი ძირითადი გზით.

1. ანალიზური მეთოდით
2. ექსპერიმენტული მეთოდით
3. ობიექტის მოდელირება სპეციალური კომპიუტერული პროგრამების გამოყენებით (Multisim, Vissim)

ანალიზური მეთოდი მოითხოვს ობიექტის შიდა აგებულების, შემადგენელ ნაწილებში მიმდინარე ფიზიკური პროცესების დოსკონალურ ცოდნას და ძლიერ მათემატიკურ ინსტრუმენტებს. ექსპერიმენტალური მეთოდი მოითხოვს მინიმალურ მონაცემებს მოწყობილობაზე და მის შიგნით მიმდინარე ფიზიკურ პროცესებზე. აქ ჩვენ საკვლევ ობიექტს ვიხილავთ როგორც ე.წ შავ ყუთს და შეიძლება პრაქტიკულად იყოს გამოყენებული, ოღონდ ობიექტი ფიზიკურად უნდა არსებობდეს. იქიდან გამომდინარე, რომ საკვლევ ობიექტი არის ექსპერიმენტული და ფიზიკურად ჯერ არ გვაქვს აგებული ტრანზისტორული გარდამსახის ძალური და მართვის ნაწილის ვირტუალური მაკეტის სახით აგება და მასზე გარკვეული ექსპერიმენტის ჩატარება მოგვიწევს. ამ ექსპერიმენტის

ფიზიკური შინაარსი შემდეგი სახისაა: ობიექტის შესასვლელზე ვაწვდით რაღაცა ზემოქმედ სიგნალს, ხოლო გამოსასვლელზე ვაკვირდებით გამოძახილს, ანუ ზემოქმედების შედეგად მიღებულ სიგნალს გამოსასვლელზე, ამის შემდეგ მიღებულ მონაცემებს დავამუშავებთ, ავაგებთ გარდამავალ მახასიათებლებს გარდამსახის ძაბვის, დენის, ძრავის მომენტის და სიჩქარის. ობიექტის შესასვლელზე სიგნალის მიწოდებისას ობიექტის გამოსასვლელი სიდიდე იცვლება რაღაცა საწყისი მნიშვნელობიდან ბოლო დამყარებულ მნიშვნელობამდე და ეს მიმდინარეობს გარკვეული დროის შუალედში რაღაცა გარდამავალი რეჟიმის სახით. ამ გარდამავალი რეჟიმის გრაფიკს ეწოდება **ობიექტის გარდამავალი მახასიათებელი** და როგორც წესი ფიქსირდება დროითი დიაგრამის სახით $h(t)$, რომელიც შეიცავს ყველა საჭირო ინფორმაციას გადამწოდი ფუნქციის გამოსახულების დადგენისა და გამოსახულებაში შემავალი პარამეტრებსაც, როგორცაა სისტემის წმინდა დაყოვნება და დროის მუდმივა. ტრანზისტორული გარდამსახის შემთხვევაში საქმე შედარებით მარტივადაა, რადგან ჩვენთვის ზოგადი სახით ცნობილია **ტრანზისტორული გარდამსახის გადამწოდი ფუნქციის გამოსახულება, რომელსაც კიდევ ერთხელ ქვემოთ მოვიყვანთ:**

$$W(s) = \frac{U_{mn}(s)}{U_y(s)} = k_{mn} \cdot \frac{e^{-s \cdot \tau_0}}{T_{mn} \cdot s + 1} \quad (1.92)$$

სადაც:

$U_{mn}(s)$ - ტრანზისტორული გარდამსახის შესასვლელზე ძაბვის გამოსახულებაა,

$U_y(s)$ - ტრანზისტორთა მმართველი ძაბვის გამოსახულება.

K_{mn} - გარდამსახის გაძლიერების კოეფიციენტი.

T_{mn} - გარდამსახის ძალური წრედის ელექტრომაგნიტური დროის მუდმივა.

τ_0 - დაყოვნების დრო.

τ_0 - დამოკიდებულია მმართველი სიგნალის მიწოდების მომენტზე და მიმართულებაზე და მდებარეობს დიაპაზონში $0 \leq 1/f$, სადაც f გიჰ-ის სიხშირეა იცვლება დიაპაზონში (2-10 კჰც). მაღალი სიხშირის დროს განივ

იმპულსური გარდამსახი შეიძლება ჩავთვალოთ უინერციო კვანძად და პირველ მიახლოებაში უგულებელვყოთ სიდიდებით T_{mn} და τ_0 -ით და მივიღოთ $W(s)=k_{mn}$. ამ ფორმულის პრაქტიკულად გამოყენებას ჩვენ დავიწყებთ მე-9-ე გვერდზე, როდესაც დავიწყებთ გადამწოდი ფუნქციის გამოსახულების დაწერას, რის საშუალებასაც მოგვცემს ერთეულოვანი საფეხურებრივი ზემოქმედების ცდა, რომელიც მოგვცემს გაძლიერების კოეფიციენტის მნიშვნელობას და და დროის მუდმივას.

ობიექტის გადამწოდი ფუნქციის განსაზღვრა გარდამავალი მახასიათებლის მიხედვით წარმოებს მეთოდით, რომელსაც საფუძვლად უდევს აპროქსიმაციის მეთოდი. ასეთი აპროქსიმაციის არსი მდგომარეობს რეალური გამოსაკვლევი ობიექტის ჩანაცვლებით რაღაცა იდეალური ობიექტით, რომლის პარამეტრები წინასწარ არის ცნობილი და ამ პარამეტრთა ნაკრები არის მინიმალური და რეალური ობიექტისგან გარკვეული დასაშვები ცდომილებით განსხვავდება. ავტომატური მართვის თეორიაში ასეთ იდეალურ ობიექტებს ტიპიურ რგოლებს უწოდებენ.

იმისათვის, რომ მივიღოთ ტრანზისტორული გარდამსახის ექსპერიმენტული გარდამავალი მახასიათებლის გრაფიკები $h(t)$, ობიექტის უკუ კავშირი უნდა გავწყვიტოთ და ობიექტის შესასვლელზე ვაძლევთ ზემოქმედებას შესასვლელი სიდიდის ნახტომის სახით. სხვანაირად შეიძლება ითქვას, რომ ტრანზისტორული გარდამსახი მყისიერად ჩაირთვება მაქსიმალურ ძაბვზე – 12 ვოლტი. ობიექტის გამოსასვლელი სიდიდე- გარდამსახის ძაბვაა ძრავის დუზაზე. გამოსასვლელი სიდიდე შესასვლელი ნახტომი სიგნალისგან განსხვავებით იცვლება საწყისი მნიშვნელობიდან 0 ბოლო მნიშვნელობამდე 12 ვ არა ნახტომისებურად, არამედ დროში გარდამავალი სახით. ამ გარდამავალი რეჟიმის მრუდს ეწოდება **სამართავი ობიექტის გარდამავალი მახასიათებელი**. მონაცემები ძაბვის შესასვლელზე ნახტომისებური ცვლილების შესახებ და გამოსასვლელი ძაბვის, დენის, ძრავის სიჩქარის შესახებ ფიქსირდება პერსონალური კომპიუტერის მყარ დისკზე ცხრილების რედაქტორის(Excel-ის) გამოყენებით შემდგომი დამუშავებისათვის და გრაფიკების ასაგებად. ამ მონაცემთა დამუშავების შედეგად საკმარისი სიზუსტით შეიძლება გამოვიკვლიოთ ობიექტის დინამური და სტატიკური მახასიათებლები გამარტივებული საინჟინრო მეთოდის გამოყენებით, რაც მდგომარეობს

მხეხის გაგვლებას გარდამავალი მახასიათებლის S წერტილში რომლის წარმოებული(გამოსასვლელი ძაბვის სიდიდის ცვლილების სიჩქარე) მაქსიმალურია. ეს არის უბრალო გრაფიკული მეთოდი რომლის არსი მდგომარეობს შემდეგში: ექსპერიმენტალური გარდამავალი მახასიათებლის გრაფიკზე ეძებენ გამოსასვლელი სიდიდის ცვლილების მაქსიმალური სიჩქარის წერტილს. ეს წერტილი ამასთან ერთად არის მრუდის გადაგრეხვის წერტილი(სიმრუდის ნიშნის ცვლილების A წერტილში). ამ წერტილში გაატარებენ მხეხს გარდამავალ მრუდთან, მხეხის გადაკვეთამდე საწყის მნიშვნელობებთან $y(0)$ და გამოსასვლელი სიდიდის დამყარებულ მნიშვნელობამდე $y(\infty)$. გადაკვეთის წერტილებს B და C გადაიტანებენ დროის ღერძზე და დანიშნავენ დროის ორ მონაკვეთს: ერთი შესასვლელი სიდიდის ნახტომის მომენტიდან ($t=0$) მომენტამდე, რომელიც მონიშნულია B -წერტილით, ხოლო მეორე B წერტილით დანიშნული მომენტიდან C წერტილით დანიშნულ მომენტამდე. პირველი მონაკვეთი გვაძლევს წმინდა დაყოვნებას τ , ხოლო მეორე ობიექტის დროის მუდმივაა T . გარდამავალი რეჟიმის ექსპერიმენტალური მრუდის აპროქსიმაციისათვის S წერტილში გაგავლებთ AB მხეხს $y(t)$ და $y(\infty)$ -თან გადაკვეთამდე. პრაქტიკულად $y(\infty)$ განისაზღვრება გამოსასვლელი დამყარებული მნიშვნელობის 98% მიღებისას. აბსცისათა ღერძზე განისაზღვრება დროითი მონაკვეთები: t_τ -სატრანსპორტო დაყოვნების დრო, t_v – ტევადური ობიექტის დაყოვნების დრო და t - დაყოვნების სრული დრო. დაყოვნების სრული დრო განისაზღვრება ფორმულით:

$$t = t_\tau + t_v \quad (1.93)$$

T_{ob} – ობიექტის დროის მუდმივაა რომელიც წარმოადგენს AB მხეხის პროექციას აბსცისათა ღერძზე. ბიექტის გაძლიერების კოეფიციენტი K განისაზღვრება გამოსასვლელი პარამეტრის სიდიდის ნახარდის შედარებით ΔY ობიექტზე ზემოქმედების სიდიდესთან ΔX , შემდეგი ფორმულით:

$$K = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \quad (1.94)$$

ობიექტის განსაზღვრული პარამეტრებით შეგვიძლია ჩავწეროთ განტოლება დროით ფორმაში:

$$\frac{Tdy(t)}{dt} + y(t) = K \cdot \Delta X \cdot (t - \tau) \quad (1.95)$$

და აგრეთვე ოპერატორულ ფორმაში, რომელიც ითვალისწინებს ობიექტის სიხშირულ თვისებებს:

$$W(p) = \frac{K \cdot e^{-p\tau}}{(T \cdot p + 1)} \quad (1.96)$$

1.8 კვლევის ტექნოლოგიური ხერხები და ექსპერიმენტი

სამეცნიერო კვლევითი სამუშაოების ჩატარების მრავალსაუკუნოვან ისტორიაში ამა თუ იმ ექსპერიმენტის ან კვლევის დასკვნით და ხშირად შუალედურ ეტაპებზე გადამწყვეტი სიტყვა როგორც წესი კვლევის და ექსპერიმენტების ტექნოლოგიას ეთქმოდა. უკვე სიტყვა ექსპერიმენტი ლათინურად ნიშნავს ცდას. ცდას, რომელსაც სწორი დაგეგმარება და გონივრულად ჩატარებას მოითხოვს მკვლევარისაგან. სანამ ექსპერიმენტის დაგეგვას გადაწყვიტავთ, პირველ რიგში საკვლევი ობიექტი აბსტრაქტულად უნდა წარმოდგინოთ, ეს იმას ნიშნავს, რომ ობიექტი უნდა განვიხილოთ როგორც რაღაცა ე.წ შავი ყუთი. უნდა მოვაცილოთ კავშირები და უგულბებლვყოთ სხვადასხვა ზემოქმედი ფაქტორები, როგორებიცაა მაგალითად: ხახუნის ძალა, ტემპერატურა, სიგნალთა ხმაურით დაბინძურება, შემავრთებელი გამტარების აქტიური და ინდუქციური, ტევადური ინდუქციურობა და სხვა მრავალი ფაქტორი რომელთა ობიექტის მოდელში ჩართვა საწყის ეტაპზე იმდენად გაართულებს მას, რომ შეუძლებელს გახდის ობიექტის კვლევას. ამ აბსტრაქციის შედეგად უნდა მივიღოთ ბლოკი, რომელიც შესასვლელზე მიწოდებული სიგნალს რაღაცა კანონით დაამუშავებს და გამოსასვლელზე მივიღებთ სიგნალს, რომელიც ამპლიტუდით, ფაზით, სიხშირით იქნება განსხვავებული სიგნალისგან შესასვლელზე. ასევე უნდა გვახსოვდეს რომ რეალურ სამყაროში ყველა მატერიალური ობიექტი არის დინამიური. ეს იმას ნიშნავს, რომ ნებისმიერი ობიექტის გამოსასვლელზე სიგნალი დამოკიდებულია არამხოლოდ დროის მოცემულ მომენტში შესასვლელ

სიგნალზე, არამედ ამ სიგნალის მნიშვნელობაზე მოცემულ მომენტამდე. ეს შეიძლება შემდეგნაირად ჩაიწეროს:

$$F(X(t_0, t_0)) = Y_0 \quad (1.97)$$

ზოგადად სისტემის კვლევა, როდესაც სისტემის აგებულების შესახებ მცირე ინფორმაცია გვაქვს პრაქტიკულად შეიძლება შეისწავლოს ამ სისტემის შესასვლელზე ერთეულოვანი საფეხურებიანი ზემოქმედების გზით. ეს ისეთი სიგნალია, რომელიც იღებს 0-ის ან 1-ის მნიშვნელობას დროის გათვალისწინებით.

1.9 კვლევის ინსტრუმენტები

იქედან გამომდინარე, რომ შეზღუდულები ვართ სისტემის ნატურაში კვლევის თვალსაზრისით, რადგან ამისათვის დაგეგმვები მოწყობილობის კონსტრუირება, ისმის შეკითხვა რანაირად უნდა გამოვიკვლიოთ ის? დაახლოებით 20 წლის წინ დაიწყო მნიშვნელოვანი პროგრესი სხვადასხვა ელექტრონული მოწყობილობის პერსონალურ კომპიუტერზე მოდელირების კუთხით, რომელიც თავდაპირველად გამოიხატა იმაში, რომ შეიქმნა ელექტრონული სქემების მოდელირების პროგრამა Electronics Workbench, რომელიც თავიდან სასწავლო მიზნებისათვის იყო ჩაფიქრებული, ხოლო შემდგომ იმდენად დაიხვეწა, რომ დაიწყო ამ პროგრამის გამოყენება ელექტრონული სქემების პროფესიონალური და სამოყვარებლო კონსტრუირების სფეროში, რაც 1990 წლების დასაწყისისათვის დიდი წარმატება იყო. ასეთი პროგრამის გამოყენება საშუალებას იძლევა თავი ავარიდოთ ძვირადღირებული კომპონენტების დაზიანებას, გააიოლებს მოწყობილობის გაწეობის პროცესს, მაგრამ, ამასთან ერთად, რაც ჩვენს შემთხვევაში ყველაზე მთავარია, მოგვცემს საშუალებას სისტემის გამოკვლევა ჩავატაროთ სხვადასხვა ძვირადღირებული აპარატურის შექმნის გარეშე: მთელი კვლევის პროცესი მიმდინარეობს კომპიუტერის გამოყენებით და შემდეგ ხდება ვირტუალური ექსპერიმენტების შედეგად მიღებულ მონაცემთა დამუშავება ცხრილების რედაქტორში, როგორცაა Excel-ი. ამ ზოგადი სახის მოკლე ექსკურსის ბოლოს მინდა ავღნიშნო ის, რომ პერსონალური კომპიუტერი დღეს თითქმის ყველა ოჯახში გვხვდება, ხოლო ციფრული ოსცილოგრაფი, სიგნალების გენერატორი

ერთეულების არსენალშია. აქედან გამომდინარე, იმისათვის, რომ დღეს გამოვიკვლიოთ საკმაოდ რთული ელექტრონული მოწყობილობები აუცილებელი არაა მოვაწყოთ ძვირადღირებული ლაბორატორია, არამედ საკმარისია მოკრძალებული მონაცემების მქონე კომპიუტერი რათა ჯერ ავაწყოთ, გააწყოთ, გადავიღოთ ოსცილოგრამები და დავამუშაოთ ექსპერიმენტის შედეგად მიღებული მონაცემები, რომ შემდგომ სხვადასხვა მათემატიკური ინსტრუმენტებით, რომელთა დიდი ნუსხა MS Excell-ის არსენალშია, განვაზოგადოთ მიღებული შედეგები და წარმოვიდგინოთ ის საერთო კანონზომიერებები, რომლებიც დგინდება საკმაოდ ზუსტი სახით იმ დიდი მონაცემთა მასივების დამუშავების შემდგომ, რომელთა დამუშავებას კომპიუტერი ახერხებს წამის მეთედებში.

ახლა კი მუდმივი დენის ძრავის ძალური ბოგირის ვირტუალურ კომპონენტებზე აწყოთ, გაწყოთ და გამოცდის ექსპერიმენტს შევუდგეთ.

1.10 Multisim-ში ვირტუალური მაკეტის შექმნა

Multisim-9- ეს ის ძირითადი ინსტრუმენტია, რომლის გამოყენებით როგორც მოყვარულები და აგრეთვე გამოცდილი პროფესიონალები სარგებლობენ მათ შემოქმედებით საქმიანობაში. Multisim-ის ბიბლიოთეკებში შედიან როგორც ელემენტარული კომპონენტები, როგორებიცაა რეზისტორები, კონდენსატორები, ინდუქციური კოჭები, აგრეთვე შედარებით რთული: მიკროსქემები, მიკროკონტროლერები. ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანია ისიც რომ ეს პროგრამა გვთავაზობს ინსტრუმენტების ნაირსახეობების ისეთ ნუსხას, რომელზეც ბევრი ლაბორატორია იოცნებებდა, ესენია: ოსცილოგრაფები, ბოლეს პლოტერი, ლოგიკის ანალიზატორი და ა.შ, რომ არა ერთი ვთქვათ ვოლტმეტრებზე, ამპერმეტრებზე, სიხშირემომებზე. ყველა ამ მოწყობილობათა რეალურთან მიახლოებული კომპონენტების მაკეტია ჩვენს ხელთაა. როგორც ვხედავთ ეს პროგრამა საშუალებას გვაძლევს ელექტრონული სქემების მაკეტირებისა და შექმნილ მაკეტთა ამუშავება, რა თქმა უნდა ვირტუალურ რეჟიმში. ამის გარდა მინდა ავღნიშნო, რომ ამ პროგრამით სარგებლობისათვის არ არის საჭირო რაიმე მათემატიკური მოდულების შექმნა, იმეტომ, რომ ეს მათემატიკა პროგრამის დამმუშავებელთა

კოლოსალური შრომის შედეგად დევს პროგრამის თვითოეულ ვირტუალურ კომპონენტში.

იმაზე თუ რამდენად მისაღებია ამ პროგრამით მოდელირებით მონაცემები, მეტყველებს ის ფაქტი, რომ ელექტრონიკის ბევრი მწარმოებელი კომპანია იყენებს ამ პროგრამას გამოგონილი სქემების მუშაუნარიანობის დადგენაში შემდგომ კი მოწყობილობას ნატურაში ამზადებს. რა თქმა უნდა ეს ძალიან რთული და სპეციფიკური ნიუანსებით გაჯერებული საქმიანობაა, მაგრამ უდავოა ის, რომ ეს გაცილებით მარტივია ვიდრე თავიდანვე ვეცადოთ ფიზიკურად დავამზადოთ და გამოვიკვლიოთ რეალური მოწყობილობა.

ახლა კი მოკლედ ავღწეროთ ჩვენს მიერ მულტისიმ-ში დამუშავებული მოწყობილობა და ჩავატაროთ ცდები, რომელთა წარმართვა შემდეგ მიზნებს ემსახურება:

1. სისტემის დინამიურ პარამეტრებზე დატვირთვის წინააღობის გაგენა
2. გარდამავალი რეჟიმების მრუდების ოსცილოგრაფირების გზით მიღება
3. ერთეულოვანი საფესურებრივი ზემოქმედების ცდით სისტემის რეაქციაზე დაკვირვება
4. მიღებული ექსპერიმენტალური გრაფიკების ანალიზური გამოსახულების დადგენა

აქვე მინდა ხაზი გავუსვა კიდევ ერთ მნიშვნელოვან კომპონენტს: Multisim-ის კომპონენტთა ბიბლიოთეკაში შედიან სხვადასხვა ძრავები, მათ შორის შედის მუდმივი დენის ძრავიც, რომლითაც ჩვენ სქემის მოკლედ აღწერას დავიწყებთ. მუდმივი დენის ძრავი შედის მენიუში Electromechanical, DC Motor. ამ კომპონენტის სამუშაო არეში მოთავსების შემდგომ ვხედავთ რომ ეს ხუთგამომყვანიანი ვირტუალური კომპონენტია. ამ გამომყვანებიდან ორი-ღუზის წვერებია, ორი ადგზნების, ხოლო ერთი- ძრავის ლილვია, რომლიდან შეიძლება მოიხსნას ძრავას სიჩქარის სიგნალი. ვირტუალური ძრავას კონფიგურირების ფანჯრის გამოყვანის შემდგომ შეგვიძლია შევიყვანოთ ძრავის სიმძლავრე, ნომინალური დენი და ძაბვა, ღუზის

წრედის ინდუქციურობა და აქტიური წინააღმდეგობა, ალგზნების გრაგნილის წინააღმდეგობა, მაგნიტური ნაკადი, ნომინალური დენი და ა.შ. ამასთან ერთად ძრავის დაკონფიგურირების ფანჯარაში შეგვიძლია შევიყვანოთ მექანიკური პარამეტრებიც, როგორცაა ინერციის მომენტი, ხახუნის კოეფიციენტი. ჩვენ ამოცანას ასეთნაირად მივუდგებით, დავიწყოთ იმით, რომ ჩვენთვის ცნობილია ძრავის ყველა ზემოთჩამოთვლილი პარამეტრი. ავირჩიოთ მენიუდან Electromechanics მუდმივი დენის ძრავა. დავაწკაპუნოთ ამ ობიექტზე მარჯვენა კლავიშით და გამოვა მუდმივი დენის ძრავის პარამეტრების ფანჯარა, რომელშიც შევიყვანოთ მუდმივი დენის ძრავის Ford 1BB-42 საპასპორტო და ჩვენს მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგად მიღებული პარამეტრები, როგორცაა: ღუზის აქტიური წინააღმდეგობა და ინდუქციურობა, ინერციის მომენტი, ხახუნის მომენტი, მოკლედ შერთვის მომენტი, ძრავის ელექტრომაგნიტური და ელექტრომექანიკური მუდმივა ამ ფანჯარაში არ გვჭირდება. ამ ზემოთაღნიშნული პარამეტრების დასადგენად ჩატარებულ ექსპერიმენტზე აქ ვერ შევჩერდებით, რადგან ეს ექსპერიმენტები დაწერილებით აღწერილია ჟურნალ ენერჯის 2013 წლის მარტის ნომერში სათაურით: მცირე სიმძლავრის მუდმივი დენის ძრავის არადოკუმენტირებული პარამეტრების განსაზღვრა. OK ღილაკზე დაწკაპუნებით მუდმივი დენის ძრავის პარამეტრები შეგვყავს ძრავის მოდელში. აქვე არ უნდა დაგვაფიწყდეს რომ ძრავის სინქარზე დაკვირვება გვჭირდება, ამისათვის ძრავის მოდელს მულტიისიმში აქვს ე.წ მე-5-ე გამომყვანი, რომელიც უნდა მივაერთოდ ვირტუალური ოსცილოგრაფის ერთ-ერთი არხის ცენტრალურ გამომყვანს, ხოლო ამ არხის მეორე გამომყვანი უნდა დავამიწოთ. ეს საშუალებას მოგვცემს ოსცილოგრა ის საშუალებით დავაკვირდეთ ძრავის გაქანების გარდამავალ რეჟიმს. ამის შემდეგ გავიხსენოთ ის, რომ ძრავის სინქარის გარდა საჭიროა დავაკვირდეთ ღუზის დენსა და ძაბვას, რომლებზეც დაკვირვება უნდა ვაწარმოთ ასევე ოსცილოგრაფით. ძაბვის ოსცილოგრაფირება წარმოებს უბრალოდ ოსცილოგრაფის ერთ-ერთი არხის ძრავის ღუაზაზე მიერთებით. დენის მყისიერ მნიშვნელობებზე დაკვირვება კი, არ არის ასეთი ელემენტარული. ტექნიკაში დენის ოსცილოგრა ირებისათვის დატვირთვასთან მიმდევრობით რთავენ რაღაცა ძალიან მცირე წინააღმდეგობის მნიშვნელობის რეზისტორს, რომლის

წინააღმდეგობის სიდიდის მნიშვნელობაა როგორც წესი 10 ჯერ ნაკლებია ძირითადი დატვირთვის წინააღმდეგობაზე. ამის შემდგომ რეზისტორის პარალელურად უნდა ჩავრთოთ ოსცილოგრაფის ერთ-ერთი არხის ორივე გამომყვანი. ეს ელექტრიკოსთა ენაზე ნიშნავს იმას, რომ დავაკვირდებით ძაბვის ვარდნას რეზისტორზე. იქიდან გამომდინარე, რომ ჩვენი რეზისტორის წინააღმდეგობის სიდიდე ცნობილია, ხოლო ვირტუალური რეზისტორის წინააღმდეგობის თერმიული კოეფიციენტი 0 ტოლია, შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ რეზისტორზე ძაბვის ვარდნის სიდიდე მხოლოდ რეზისტორში გამავალი დენის სიდიდეზეა დამოკიდებული და არ არის დამოკიდებული რეზისტორის ტემპერატურაზე, ეს იმას მოგვცემს რომ ოსცილოგრაზე გვეჩვენება რეზისტორზე ძაბვის ვარდნის სიგნალი, რომლის თვითოეული დროის მიმენტიისთვის მყისიერი ძაბვის ვარდნის მნიშვნელობა გაყოფილი რეზისტორის წინააღმდეგობის მნიშვნელობაზე მოგვცემს რეზისტორში გამავალი მყისიერი დენის სიდიდეს. რეალურ სქემებში ეს ასე არ არის, რადგან რეზისტორის წინააღმდეგობა ტემპერატურის ზრდასთან ერთად როგორც წესი იზრდება და გამოისახება შემდეგი ფორმულით:

$$R_x = R_{20} + k \cdot R_{20} \quad (1.98)$$

ეს იმას ნიშნავს, რომ ცნობარებში მოცემულია რეზისტორების წინააღმდეგობის მნიშვნელობა, როცა მისი ტემპერატურა შეადგენს, ხოლო რაღაც x-ტემპერატურაზე ის გაიზრდება და იქნება დამოკიდებული წინააღმდეგობის თერმიულ კოეფიციენტზე, რუსულ ლიტერატურაში ТКС. ახლა სქემის ძრავის შემდგომ ავირჩიოთ შესაბამისი კომპონენტები და დავიტანოთ ძალური ბოგირის კომპონენტები: ოთხი ველიანი ტრანზისტორი, რეზისტორები და კონდენსატორები, როგორც დიაგრამა №1-ზე წარმოდგენილი. ტრანზისტორები ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად იმართებიან. ტრანზისტორების მართვის დისკრეტული ნაწილი რომელიც მიკროპროცესორს წარმოადგენს განხილულია თავში მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორულ მართვის სისტემის ლოგიკის დამუშავებაში. ძალური ბოგირის მართვის მიკროპროცესორული ნაწილის ლოგიკა დევს ბლოკის XSC-1-ის შიგნით. ამ ბლოკის შემადგენლობის გაში რვა არ არის მიზანშეწონილი, რადგან ის უკვე სხვა თემაა. დისკრეტული ბლოკის გამოსასვლელი ოთხი არხის მდგომარეობას ვაკვირდებით ოთხი

შუქდიოდით: როდესაც შუქდიოდი ანათებს, მაშინ გვაქვს ლოგიკური “1”, პირიქით – “0”. მმართველი ბლოკის გამომავალი სადენები მიერთებულია ველიანი ტრანზისტორების ჩამკეტებთან(ინგლისურად Gate, რუსულად Затвор). ოთხი ტრანზისტორი, რომლებიც არიან ძალური ბოგირის მართვადი კომპონენტი მათი “istok” “stok” წყვილწყვილადაა გაერთიანებული და მიერთებულია ძრავის ღუზასთან. ძრავის სიჩქარის დაგალება ორმირდება პოტენციომეტრით, რომელიც აწვდის შესადარებელ(დაგალების) სიგნალს კომპარატორის ერთ შესასვლელზე, ხოლო კომპარატორის მეორე შესასვლელი მიერთებულია ხერხისებრი ძაბვის გენერატორთან. ხერხისებრი ძაბვის გენერატორის სიგნალი არის წრ ივი კანონით ზრდადი და ამ წრ ის თვითოეული წერტილი დარდება დაგალების კონსტანტურ სიგნალს. როდესაც ხერხისებრი და დაგალების სიგნალის პირობა სრულდება კომპარატორის გამოსასვლელზე ორმირდება ლოგიკური ერთიანი, რომლის სიგნალი მართკუთხა ფორმისაა, რომელიც შემდეგ ეწოდება ლოგიკური ბლოკის XSC-1-ის შესასვლელზე. ლოგიკური ბლოკი იმისდა მიხრედვით ძრავის ბრუნვის მიმართულების გასაღები რა მდგომარეობაშია, გამოსასვლელზე დამოუკიდებლად აწვდის ტრანზისტორების ჩამკეტებზე(Gate) მართვის სიგნალს. ეს შეიძლება იყოს ან ლოგიკური ერთიანი ან 0 ან განივ იმპულსური მოდულაციის სიგნალი(გიმ). დაწვრილებით ამ დისკრეტული ბლოკის მათემატიკური დამუშავების პროცედურა იხილეთ ამ ნამუშევრის შესაბამის თავში სათაურით მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის ბლოკის ლოგიკური ნაწილის დამუშავება. ლოგიკური ბლოკი ეს მიკროპროცესორული მართვის სისტემის მთავარი ნაწილია, რომლითაც ხდება ტრანზისტორების მართვის კანონის ორმირდება. სხვა ტრანზისტორებისაგან ველიანი ტრანზისტორების **SUD 50 N 04** ერთ-ერთი უმთავრესი უპირატესობაა, რომ მათი მართვა შეიძლება უშუალოდ განხორციელდეს ლოგიკური სიგნალებით “0”-ით და “1”-ით. ეს დიდი ნაბიჯია წინ, რადგან ტრანზისტორული ბოგირების სხვა მოწყობილობებში საჭიროა ლოგიკურ ნაწილსა და ტრანზისტორების ბაზებს შორის შესრულდეს სიგნალების მაძლიერებელი, რათა შესაძლებელი გახდეს ისეთი სიგნალის მიღება, რომელიც საკმარისად ძლიერი იქნება, რომ გახსნას ტრანზისტორი. ეს ნაკლოვანება შეეხება ჩვეულებრივ

ბიპოლარულ ტრანზისტორს და კიდევ უფრო მეტად ტირისტორებს, ამ ორი სხვადასხვა კლასის მოწყობილობებს აერთიანებს ის, რომ ისინი დენით მართვადი ნახევარგამტარული კომპონენტები არიან, პრაქტიკულად ეს იმას ნიშნავს, რომ ტირისტორების გახსნისთვის მართვის დენი აღწევს 0.1, 0.5 ამპერს, ხოლო ბიპოლარული ტრანზისტორების მართვის დენი აღწევს ათეულ მილიამპერებს, ყველაფერი ეს შეუძლებელს ხდის ბიპოლარული ტრანზისტორების და ტირისტორების ლოგიკური სიგნალებით უშუალოდ მართვას და მოითხოვს დამატებით კვანძს: მაძლიერებელს, რაც ართულებს, ადაბლებს სისტემის სწრაფმოქმედებას და ამ დამატებითი კვანძის შეყვანის შედეგად გვაძლევს სისტემის უფრო დიდ დროის მუდმივას. კიდევ ერთი უპირატესობა ველიანი MOSFET(Metal Oxide Semiconductor Field Emitted Transistor) მდგომარეობს იმაში, რომ ველიანი ტრანზისტორის გახსნის და ჩაკეტვის დრო არის **2-5 მიკროწამი**, ხოლო ბიპოლარული ტრანზისტორების გახსნის დრო შეადგენს **5 დან 20 მილიწამამდე**, რაც თითქმის ათჯერ მეტია! რომ არაფერი ვთქვათ ტირისტორებზე, რომლის მათავარი ნაკლი არის ის, რომ ის ნახევრადმართვადი გასაღებია. მართვის ელექტროდებზე სიგნალის მიწოდებით ის შეიძლება გავსხნათ და სანამ ტირისტორის ანოდ-კათოდურ ძირითად წრედში დენი გადის ტირისტორის ჩაკეტვა არის შეუძლებელი. ამიტომ სამრეწველო სიხშირის სინუსოიდურ წრედებში ტირისტორის ჩაკეტვა ხდება სინუსოიდის ნოლზე გადასვლის მომენტში, ხოლო მუდმივი დენის წრედებში ტირისტორის ჩასაკეტად ანოდურ- კათოდური წრედი უნდა დავაშუნტოთ რაღაცა მცირე სიდიდის წინააღობის რეზისტორით. ყველაფერი ეს მიუთითებს იმაზე, რომ ძრავების მართვის ახალ სისტემებში უნდა გამოვიყენოთ ველიანი ტრანზისტორები, როგორც სწრა მოქმედი, მძლავრი, ცი რულ ნაწილთან ადვილად ინტეგრირებადი კომპონენტი მათი გამოყენებით მოვახერხებთ ასეთი სისტემების მცირე დროის მუდმივების მიღებას რაც პრაქტიკულად ნიშნავს სისტემების სწრაფმოქმედების ამაღლებას. და ბოლოს სანამ გადავალთ ტრანზისტორული გარდამსახის დროის მუდმივების და გადამწოდი უნქციის გამოსახულების დადგენის ცდებზე ქვემოთ იხილეთ სხვადასხვა ველიანი ტრანზისტორების მათ შორის მრავალგამომყვანიან კორპუსში შესრულებული ნიმუშის სურათი:



ნახ. №25 მძლავრი ველიანი ტრანზისტორი BLF7G20L-200

1.11 ტრანზისტორული გარდამსახის გარდამავალი ფუნქციის კვლევის ცდები

როგორც ამ ნაშრომის დასაწყისში აღინიშნა ეს კლასიკური ცდა იმაში მდგომარეობს, რომ **სქემას სრულ ძაბვაზე მყისიერად ჩავრთავთ და დავაკვირდებით ოსცილოგრაფზე გამოსასვლელს**, იმ დროს რომელიც გადის მანამ, სანამ გამოსასვლელზე გარდამავალი რეჟიმი წარმოიქმნება წმინდა დაყოვნება ხეკვია, ხოლო გამოსასვლელი სიგნალის გარდამავალი რეჟიმის მრუდთან გავავლოთ მხები იმ წერტილთან რომელზეც შეინიშნება სიგნალის მაქსიმალური ცდა, შემდეგ ამ მხებიდან დაუშვათ დროითა ღერძზე პერპენდიკულარი, რომლის პროექცია იქნება ტრანზისტორული გარდამსახის დროის მუდმივა. ექსპერიმენტის მიზანია ტრანზისტორული გარდამსახის გამოსასვლელზე მივაერთოდ ჯერ არაწრ ივი კანონით ზრდადი სხვადასხვა წინაღობის რეზისტორები და რამოდენიმე ექსპერიმენტის შემდეგ მივაერთოდ ექსპერიმენტული საკვლევი ძრავის ღუზა და დავაკვირდეთ ძრავის სიჩქარის, დენის, ძაბვის ოსცილოგრაფს. დავიწყოთ შემდეგნაირად: მოვიყვანოთ ჩვენი აწყობილი მაკეტი მუშა მდგომარეობაში, გამოვიყვანოთ სიგნალებზე დასაკვირვებლად ოსცილოგრაფი და ჩავრთოთ ულტისიმ-ის სიმულაციის რეჟიმი სქემის ამშვები სიგნალის ნულოვანი მნიშვნელობის დროს. ეს იმას ნიშნავს, რომ სქემას 'სძინავს': ის მზად არის ჩასართველად გამოსასვლელზე, როგორც ოსცილოგრაფი გვიჩვენებს გვაქვს სიგნალის რაღაც უმნიშვნელო ლუქტუაციები, შემდეგ გასაღებზე მოქმედებით ჩავრთოთ ის და მაშინვე ოსცილოგრაფი ის ღურჯი სხივი მიიღებს სა ეხურის ფორმას. ფიზიკურად ეს იმას ნიშნავს, რომ შესასვლელზე სქემის ამუშავების სიგნალი მყისიერად შეიცვალა 0 დან ლოგიკურ 1-მდე. გამოსასვლელზე ძაბვის

გარდამავალი რეჟიმის მრუდი გვაქვს, რომელიც 0.26 ომიანი წინაღობისათვის შემდეგი სახისაა:

ანალოგიურად ლოგარითმული შკალით ვცვალოთ დატვირთვის რეზისტორის წინააღმდეგობა და მივიღოთ გარდამავალი რეჟიმის მრუდები წინაღობის თვითოეული მნიშვნელობისათვის. ყოველი დიაგრამის ქვემოდ მოვიყვანოთ ცხრილი სადაც იქნება გამოსახული გამოსაკვლევი სისტემის დინამიკის მახასიატებელი პარამეტრები, როგორცაა: წმინდა დაყოვნება t_0 , დროის მუდმივა T_{mn} და სისტემის გადამწოდი ფუნქცია $W(s)$. აქვე უნდა ავღნიშნოთ ისიც, რომ Multisim-ის შაშუალებით თვითოეული ოსცილოგრამების მყისიერი მნიშვნელობების წერტილები ავტვირთებ Excell-ში და თვითოეულ ოსცილოგრამას აქ დავურთავს Excell-ის ცხრილის ნაწილს.

ცხრილი №6

წმინდა დაყოვნება t_0 , წმ	დროის მუდმივა T_{mn}	გარდამავალი ფუნქციის გამოსახულება $h(t)$	მაქსიმალური ძაბვა U_m , ვ
0.28585	0.05268	$h(t) = \begin{cases} 0 & \text{if } t < 0.28585 \\ 10.09 \cdot \left(1 - e^{\frac{-0.28585-t}{0.05268}} \right) & \text{if } t \geq 0.28585 \end{cases}$	10.09

ახლა კი დავწეროთ ამ შემთხვევისათვის გარდამსახის გადამწოდი ფუნქცია. როგორც მე-3-ე გვერდზე ავღნიშნეთ ტრანზისტორული გარდამსახი არის ინერციული კვანძი, რომელიც ხასიათდება გაძლიერების კოეფიციენტით k_{mn} , დაყოვნების დროით:

$$\tau_0 \leq \frac{1}{f} = \frac{1}{31250} = 3.2 \cdot 10^{-5} \text{ სკ} \quad (1.99)$$

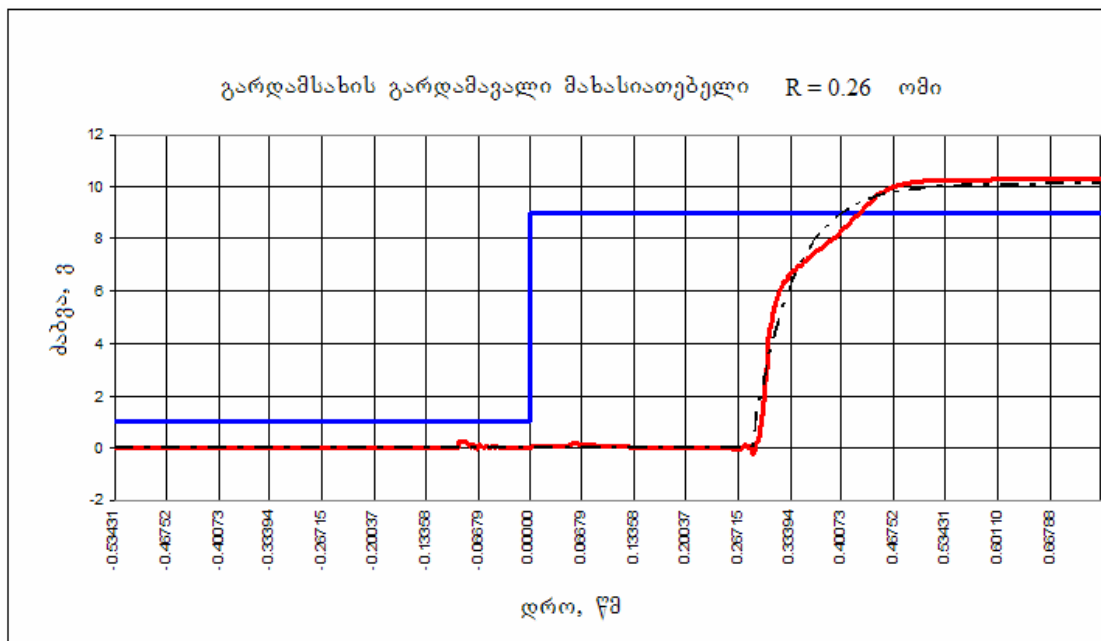
31250 იქიდან გამომდინარეობს, რომ მიკროპროცესორის გიმ-სისშირე $f=31250$ სკ. გაძლიერების კოეფიციენტის სიდიდე იქნება ტოლი:

$$k_{mn} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{10.09}{12} = 0.841 \quad (1.100)$$

სადაც U_2 ძაბვა ტრანზისტორული გარდამსახის გამოსასვლელზე, ხოლო U_1 - ძაბვა ტრანზისტორული გარდამსახის შესასვლელზე. აქედან გამომდინარე დავწეროთ ტრანზისტორული გარდამსახის გადამწოდი ფუნქციის გამოსახულება:

$$W(s) = \frac{U_{mn}(s)}{U_y(s)} = k_{mn} \cdot \frac{e^{-s \cdot \tau_0}}{T_{mn} \cdot s + 1} = 0.841 \cdot \frac{e^{-3.2 \cdot 10^{-5} \cdot s}}{0.05268 \cdot s + 1} \quad (1.101)$$

ამ გამოსახულებაში, როგორც შემდგომი ცდები გვიჩვენებენ, რომლებიც ქმემოდაა მოყვანილი, სხვა წინააღმდეგობის დატვირთვების რეზისტორებისათვის და ძრავის ღუზისთვის იცვლებიან მხოლოდ და მხოლოდ k_{mn} და T_m - ი, ხოლო τ_0 , რომელიც დამოკიდებულია განივიმპულსური მოდულაციის სისშირეზე – უცვლელი რჩება.



ნახ. № 26 გარდამსახის გარდამავალი მახასიათებელი, $R_{დატ}=0.26$ ომი

ცხრილი №7

წმინდა დაყოვნება t_0	დროის მუდმივა T_{mn}	გარდამავალი ფუნქციის გამოსახულება $h(t)$	მაქსიმალური ძაბვა U_m , ვ
$1.8 \cdot 10^{-6}$	$3.39 \cdot 10^{-7}$	$h(t) = \begin{cases} 0 & t < 1.8 \cdot 10^{-6} \\ 11 \cdot \left(1 - e^{\frac{-1.8 \cdot 10^{-6} - t}{3.39 \cdot 10^{-7}}} \right) & t \geq 1.8 \cdot 10^{-6} \end{cases}$	11

გაძლიერების კოეფიციენტი:

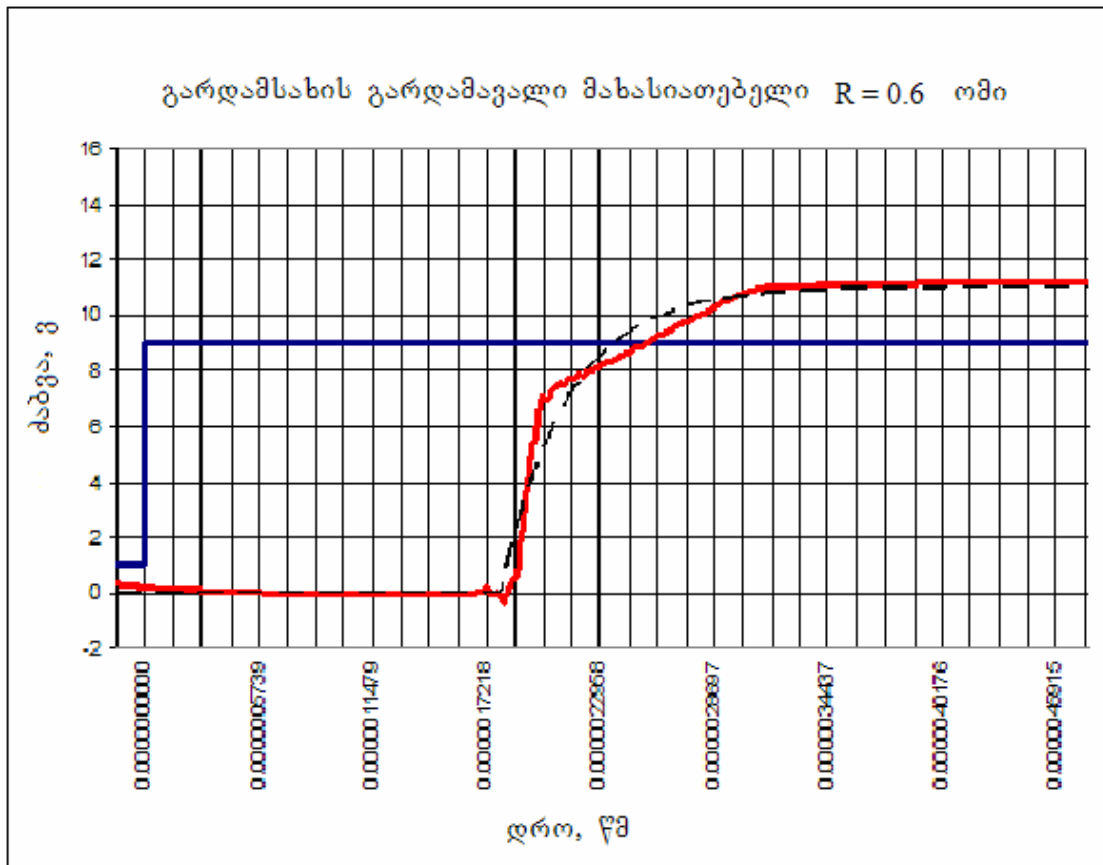
$$k_{mn} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{11}{12} = 0.917; \quad (1.102)$$

დაყოვნების დრო:

$$\tau_0 = 3.2 \cdot 10^{-5} \text{ წმ} \quad (1.103)$$

გადამწოდი ფუნქცია:

$$W(s) = k_{mn} \cdot \frac{e^{-s \cdot \tau_0}}{T_{mn} \cdot s + 1} = 0.917 \cdot \frac{e^{-3.2 \cdot 10^{-5} \cdot s}}{3.39 \cdot 10^{-7} \cdot s + 1} \quad (1.104)$$



ნახ. №27 გარდამსახის გარდამავალი მახასიათებელი, Rდტ=0.6 ომი

ცხრილი №8

წმინდა დაყოვნება t_0	დროის მუდმივა T_{mn}	გარდამავალი ფუნქციის გამოსახულება $h(t)$	მაქსიმალური ძაბვა U_m , ვ
$2.78 \cdot 10^{-6}$	$2.54 \cdot 10^{-7}$	$h(t) = \begin{cases} 0, & t < 2.78 \cdot 10^{-6} \\ 11 \cdot \left(1 - e^{\frac{-2.78 \cdot 10^{-6} - t}{2.54 \cdot 10^{-7}}} \right) & t \geq 2.78 \cdot 10^{-6} \end{cases}$	11

გაძლიერების კოეფიციენტი:

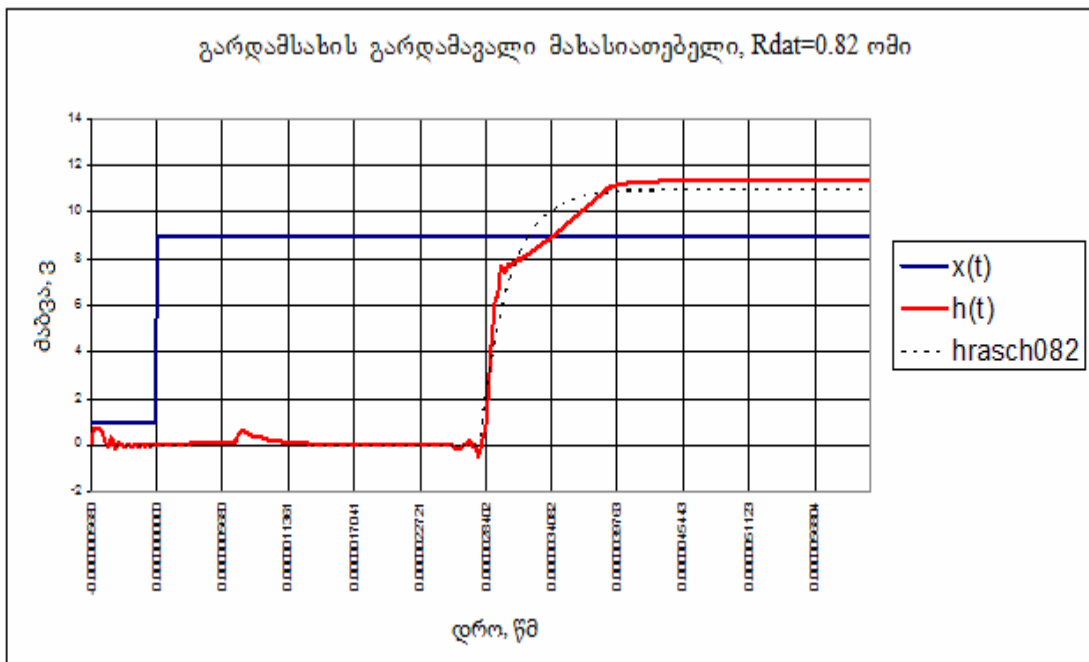
$$k_{mn} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{11}{12} = 0.917 \quad (1.105)$$

წმინდა დაყოვნება:

$$\tau_0 = 3.2 \cdot 10^{-5} \text{ წმ} \quad (1.106)$$

გადამწოლი ფუნქცია:

$$W(s) = 0.917 \cdot \frac{e^{-3.2 \cdot 10^{-5} \cdot s}}{2.54 \cdot 10^{-7} \cdot s + 1} \quad (1.107)$$



ნახ. №28 გარდამსახის გარდამავალი მახასიათებელი, Rdat=0.82 მპი

ცხრილი №9

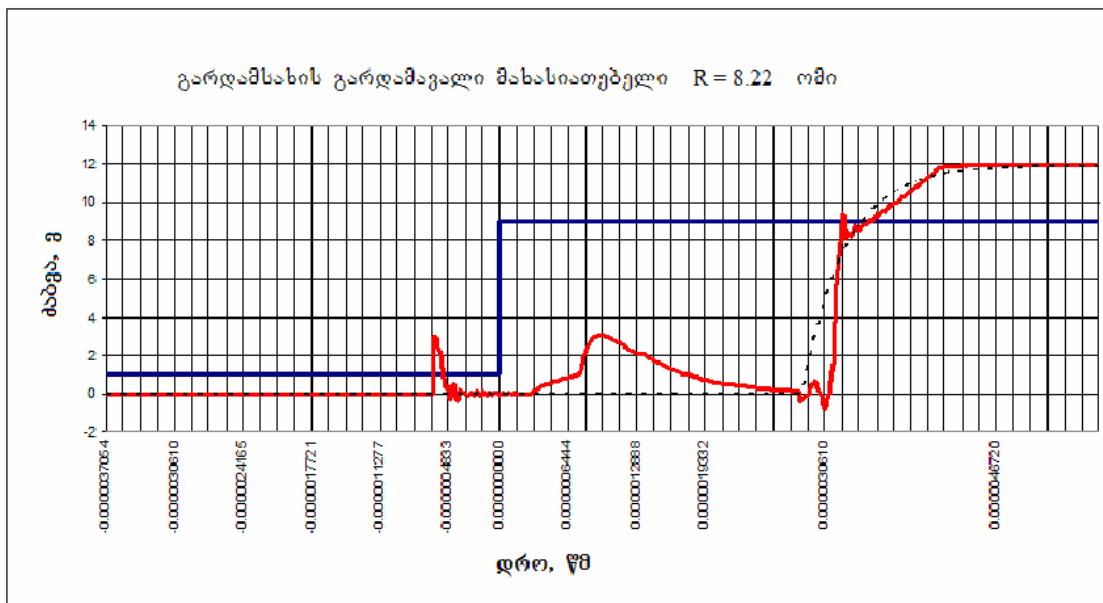
წმინდა დაყოვნება t_0	დროის მუდმივა T_{mn}	გარდამავალი ფუნქციის გამოსახულება $h(t)$	მაქსიმალური დაბვა U_m , ვ
$2.85 \cdot 10^{-6}$	$4.0 \cdot 10^{-7}$	$h(t) = \begin{cases} 0, & t < 2.85 \cdot 10^{-6} \\ 11.9 \cdot \left(1 - e^{\frac{-2.85 \cdot 10^{-6} - t}{4 \cdot 10^{-7}}} \right), & t \geq 2.85 \cdot 10^{-6} \end{cases}$	11.9

გაძლიერების კოეფიციენტი:

$$k_{mn} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{11.9}{12} = 0.992, \quad \tau_0 = 3.2 \cdot 10^{-5} \text{ წმ} \quad (1.108)$$

გადამწოდი ფუნქცია:

$$W(s) = 0.992 \cdot \frac{e^{-3.2 \cdot 10^{-5} \cdot s}}{4 \cdot 10^{-7} \cdot s + 1} \quad (1.109)$$



ნახ. №29 გარდამსახის გარდამავალი მახასიათებელი, Rდატ=8.22 ომი

ცხრილი № 10

წმინდა დაყოვნება t_0	დროის მუდმივა T_{mn}	გარდამავალი ფუნქციის გამოსახულება $h(t)$	U_m , ვ
$2.58 \cdot 10^{-6}$	$5.03 \cdot 10^{-7}$	$h(t) = \begin{cases} 0, & t < 2.58 \cdot 10^{-6} \\ 12 \cdot \left(1 - e^{\frac{-2.58 \cdot 10^{-6} - t}{5.03 \cdot 10^{-7}}} \right) & t \geq 2.58 \cdot 10^{-6} \end{cases}$	12

გაძლიერების კოეფიციენტი:

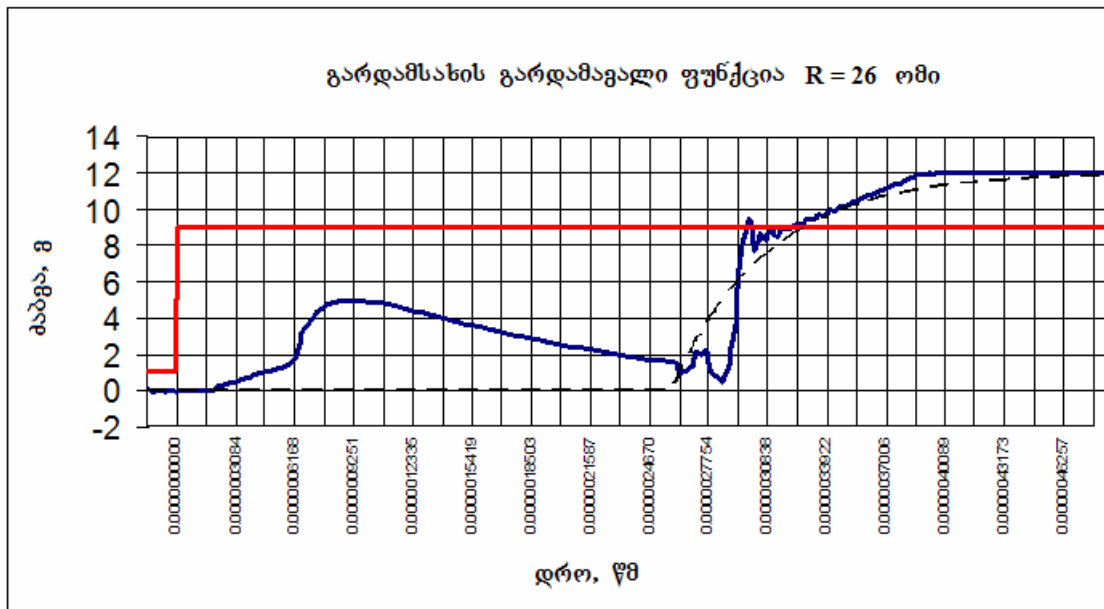
$$k_{mn} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{12}{12} = 1 \quad (1.110)$$

წმინდა დაყოვნება:

$$\tau_0 = 3.2 \cdot 10^{-5} \text{ წმ} \quad (1.111)$$

გაღამწოლი ფუნქცია:

$$W(s) = \frac{e^{-3.2 \cdot 10^{-5} \cdot s}}{5.03 \cdot 10^{-7} \cdot s + 1} \quad (1.112)$$



ნახ. №30 გარდამსახის გარდამავალი მახასიათებელი, Rდატ=26 ომი

ცხრილი №11

წმინდა დაყოვნება t_0	დროის მუდმივა T_{mn}	გარდამავალი ფუნქციის გამოსახულება $h(t)$	$U_m, \text{ ვ}$
$4.99 \cdot 10^{-5}$	$4.219 \cdot 10^{-6}$	$h(t) = \begin{cases} 0, & t < 4.99 \cdot 10^{-5} \\ 11.8 \cdot \left(1 - e^{\frac{-4.99 \cdot 10^{-5} - t}{4.219 \cdot 10^{-6}}} \right) & t \geq 4.99 \cdot 10^{-5} \end{cases}$	11.8

გაძლიერების კოეფიციენტი:

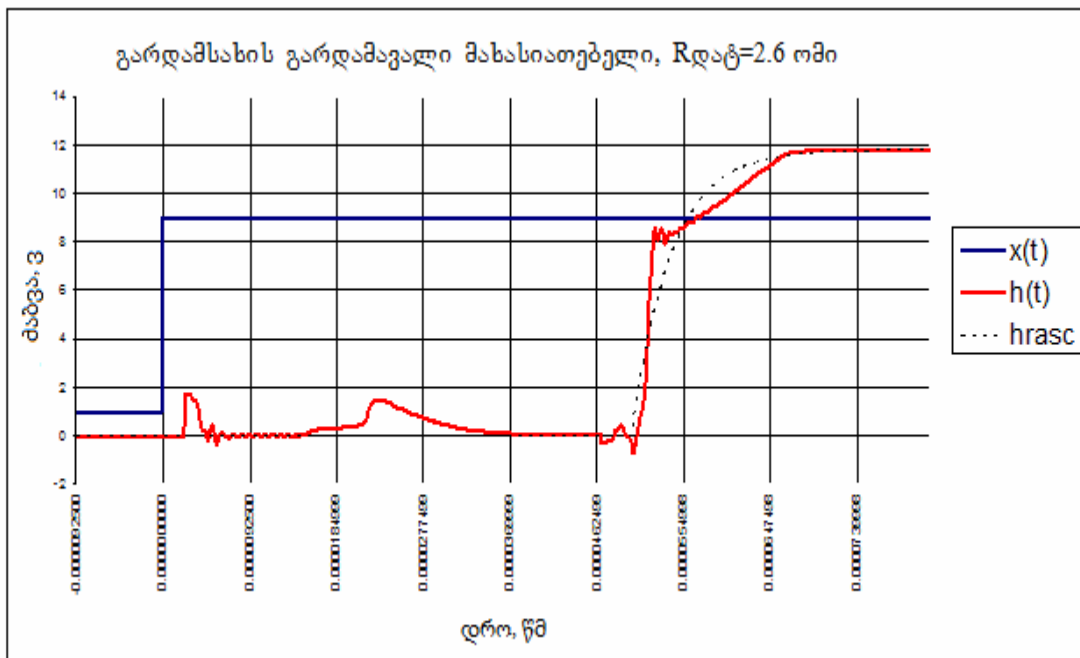
$$k_{mn} = \frac{11.8}{12} = 0.983 \quad (1.113)$$

წმინდა დაყოვნება:

$$\tau_0 = 3.2 \cdot 10^{-5} \text{ წმ} \quad (1.114)$$

გადამწოლი ფუნქცია:

$$W(s) = 0.983 \cdot \frac{e^{-3.2 \cdot 10^{-5} \cdot s}}{4.219 \cdot 10^{-6} \cdot s + 1} \quad (1.115)$$



ნახ. №31 გარდამსახის გარდამავალი მახასიათებელი, Rდატ=2.6 ომი

ცხრილი №12

წმინდა დაყოვნება t_0	დროის მუდმივა T_{mn}	გარდამავალი ფუნქციის გამოსახულება $h(t)$	U_m , ვ
$2.218 \cdot 10^{-6}$	$3.769 \cdot 10^{-7}$	$h(t) = \begin{cases} 0, & t < 2.218 \cdot 10^{-5} \\ 11 \cdot \left(1 - e^{\frac{-2.218 \cdot 10^{-5} - t}{3.769 \cdot 10^{-7}}} \right) & t \geq 2.218 \cdot 10^{-5} \end{cases}$	11

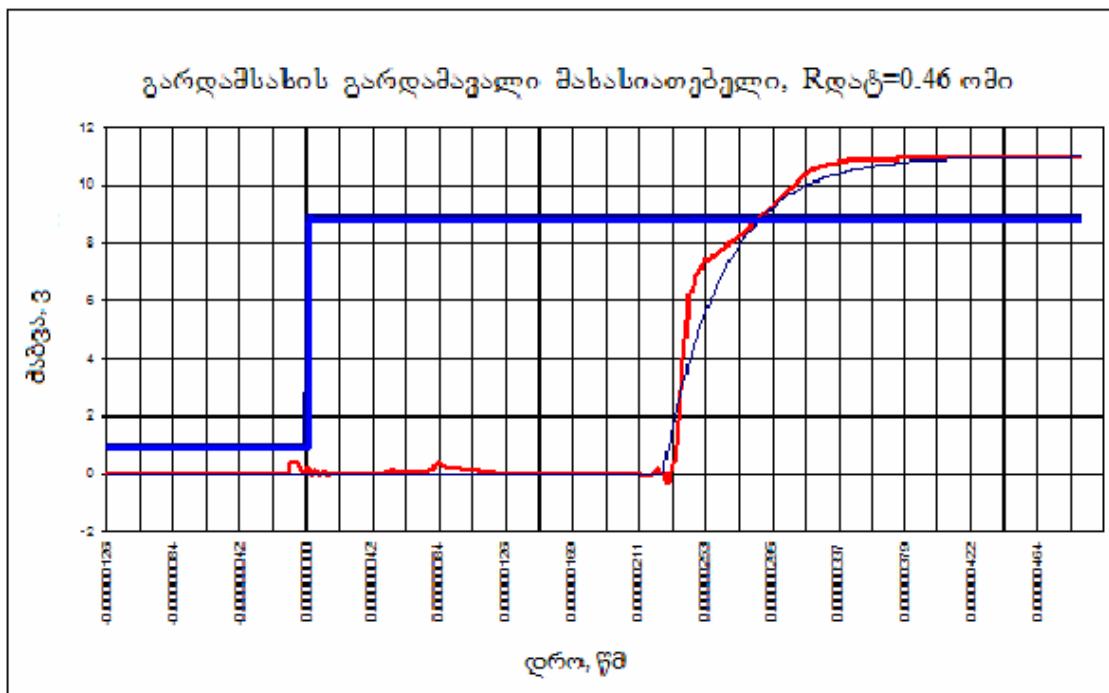
გაძლიერების კოეფიციენტი:

$$k_{mn} = \frac{11}{12} = 0.917 \quad (1.116)$$

წმინდა დაყოვნება:

$$\tau_0 = 3.2 \cdot 10^{-5} \text{ წმ} \quad (1.117)$$

გადამწოლი ფუნქცია:
$$W(s) = 0.917 \cdot \frac{e^{-3.2 \cdot 10^{-5} \cdot s}}{3.769 \cdot 10^{-7} \cdot s + 1} \quad (1.118)$$



ნახ. №32 გარდამსახის გარდამავალი მახასიათებელი, Rდატ=0.46 ომი

ცხრილი №13

წმინდა დაყოვნება t_0	დროის მუდმივა T_{mn}	გარდამავალი ფუნქციის გამოსახულება $h(t)$	Um, ვ
$2.352 \cdot 10^{-6}$	$3.512 \cdot 10^{-7}$	$h(t) = \begin{cases} 0, & t < 2.352 \cdot 10^{-6} \\ 11.7 \cdot \left(1 - e^{\frac{-2.352 \cdot 10^{-6} - t}{3.512 \cdot 10^{-7}}} \right) & t \geq 2.352 \cdot 10^{-6} \end{cases}$	11.7

გაძლიერების კოეფიციენტი:

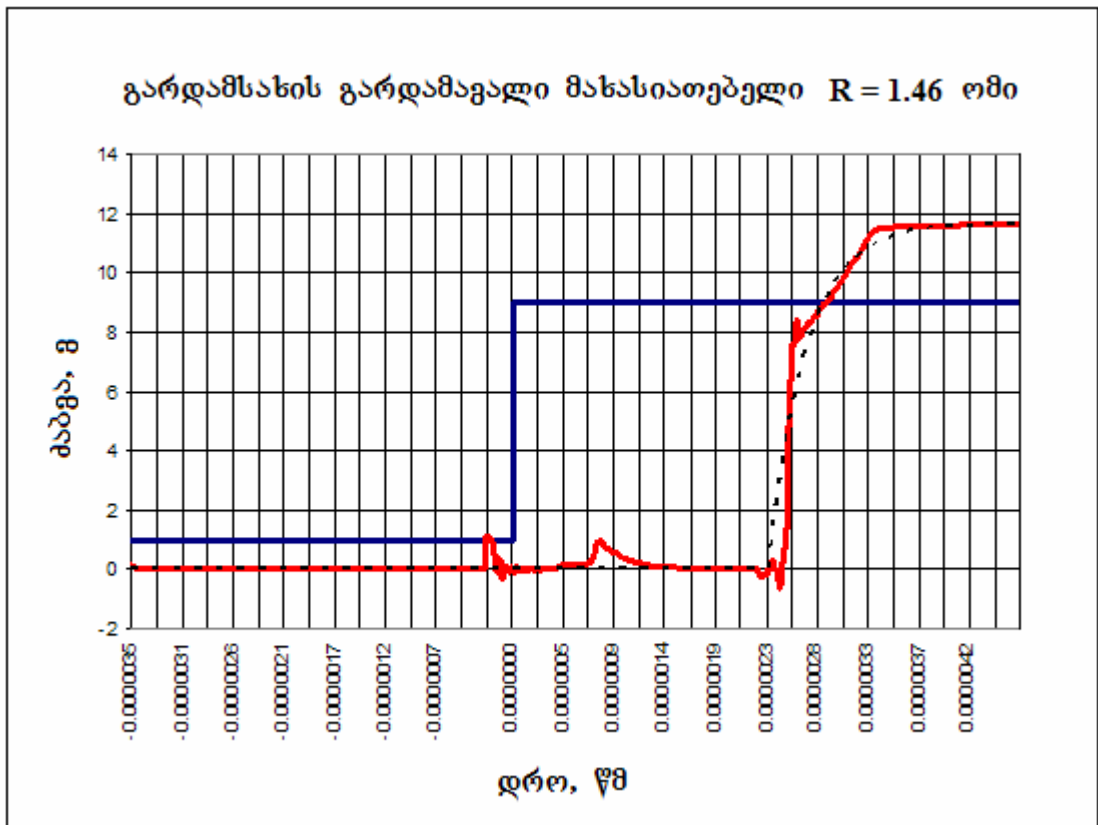
$$k_{mn} = \frac{11.7}{12} = 0.975 \quad (1.119)$$

წმინდა დაყოვნება:

$$\tau_0 = 3.2 \cdot 10^{-5} \text{ წმ} \quad (1.120)$$

გადამწოდი ფუნქცია:

$$W(s) = 0.975 \cdot \frac{e^{-2.352 \cdot 10^{-6} \cdot s}}{3.512 \cdot 10^{-7} \cdot s + 1} \quad (1.121)$$



ნახ. №33 გარდამსახის გარდამავალი მახასიათებელი, დატვირთვის წინააღობა 1.46 ომი

ცხრილი №14

წმინდა დაყოვნება. t_0	დროის მუდმივა T_{mn}	გარდამავალი ფუნქციის გამოსახულება $h(t)$	$U_m, ვ$
$1.684 \cdot 10^{-5}$	$1.323 \cdot 10^{-6}$	$h(t) = \begin{cases} 0, & t < 1.684 \cdot 10^{-5} \\ 11.754 \cdot \left(1 - e^{-\frac{1.684 \cdot 10^{-5} - t}{1.323 \cdot 10^{-6}}} \right) & t \geq 1.684 \cdot 10^{-5} \end{cases}$	11.754

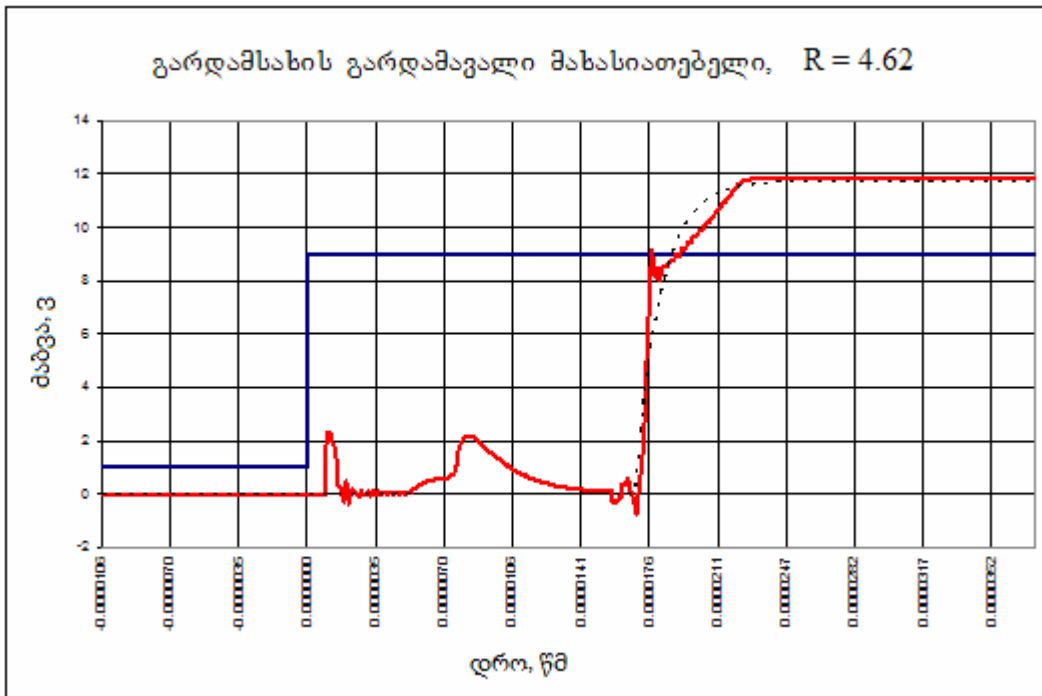
გაძლიერების კოეფიციენტი:

$$k_{mn} = \frac{11.754}{12} = 0.9795 \quad (1.122)$$

წმინდა დაყოვნება: $\tau_0 = 3.2 \cdot 10^{-5}$ წმ (1.123)

გადამწოლი ფუნქციის გამოსახულება:

$$W(s) = 0.9795 \cdot \frac{e^{-3.2 \cdot 10^{-5} \cdot s}}{1.323 \cdot 10^{-6} \cdot s + 1} \quad (1.124)$$



ნახ. №34 გარდამსახის გარდამავალი მახასიათებელი, Rdat=4.62 ომი

ცხრილი №15

წმინდა დაყოვნება t_0	დროის მუდმივა T_{mn}	გარდამავალი ფუნქციის გამოსახულება $h(t)$	მაქსიმალური ძაბვა U_m , ვ
$4.874 \cdot 10^{-6}$	$5.911 \cdot 10^{-7}$	$h(t) = \begin{cases} 0, & t < 4.874 \cdot 10^{-6} \\ 12 \cdot \left(1 - e^{\frac{-4.874 \cdot 10^{-6} - t}{5.911 \cdot 10^{-7}}} \right) & t \geq 4.874 \cdot 10^{-6} \end{cases}$	12

გაძლიერების კოეფიციენტი:

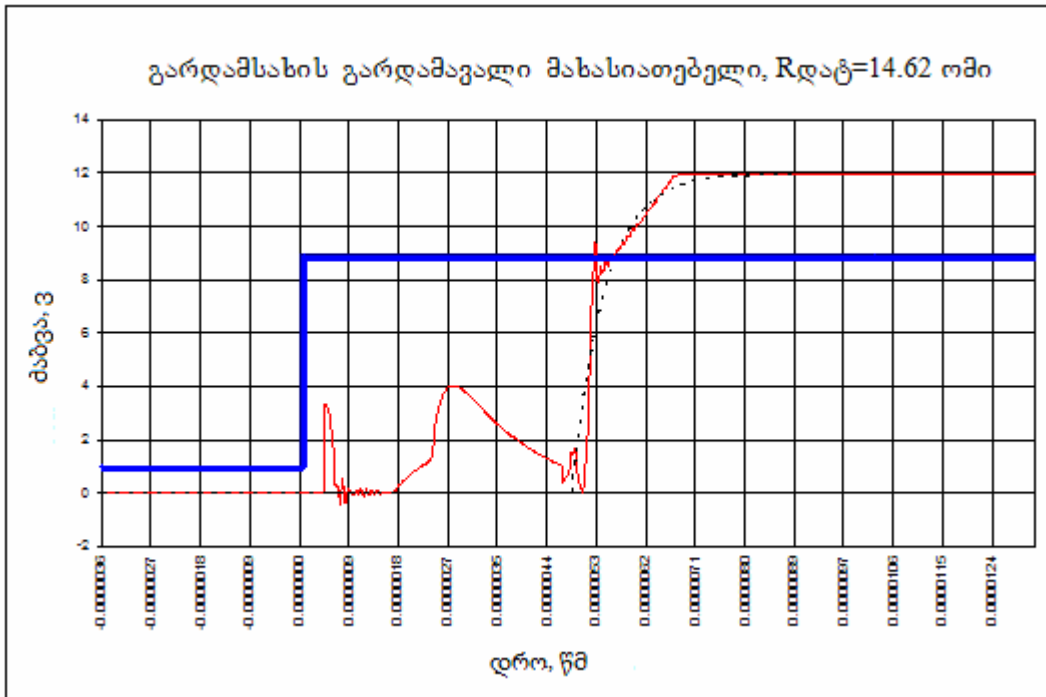
$$k_{mn} = \frac{12}{12} = 1 \quad (1.125)$$

წმინდა დაყოვნება:

$$\tau_0 = 3.2 \cdot 10^{-5} \text{ წმ} \quad (1.126)$$

გადამწოდი ფუნქცია:

$$W(s) = \frac{e^{-3.2 \cdot 10^{-5} \cdot s}}{5.911 \cdot 10^{-7} \cdot s + 1} \quad (1.127)$$



ნახ. №35 გარდამსახის გარდამავალი მახასიათებელი, $R_{დატ}=14.62$ ომი

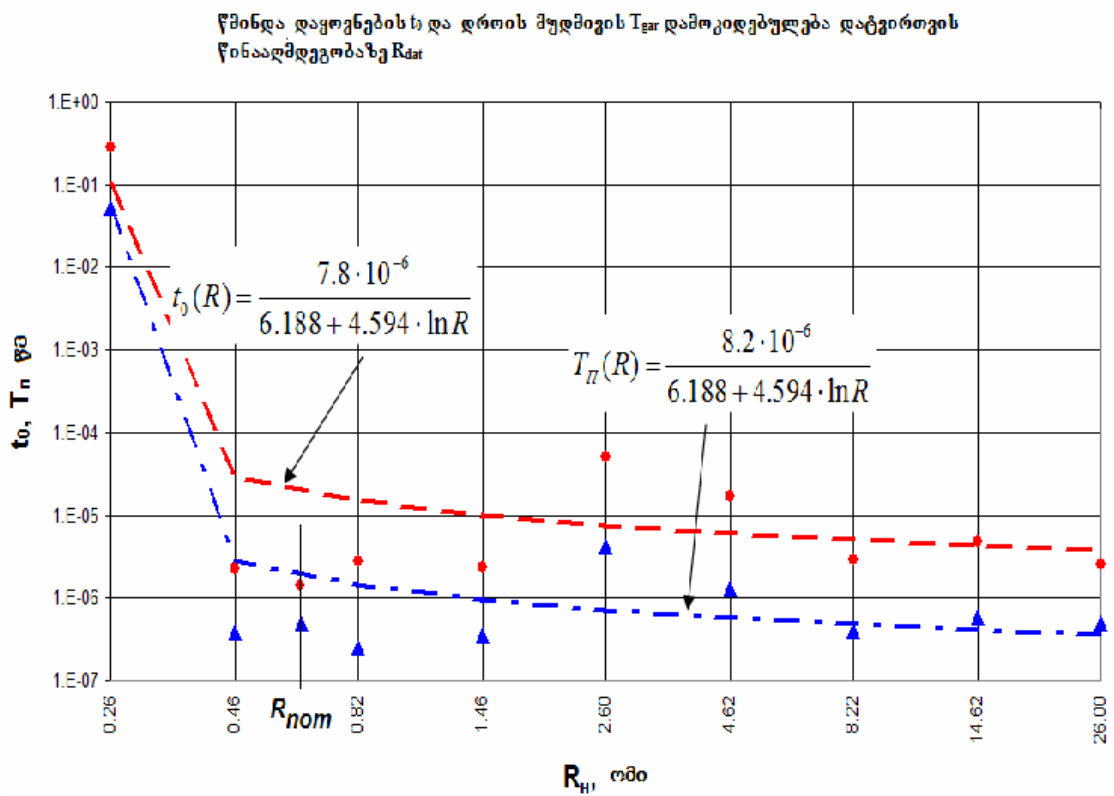
1.12 დინამიკის დამოკიდებულება დატვირთვის რეზისტორის წინააღობის სიდიდეზე

იმის შემდეგ, რაც ჩავატარეთ ათი გარდამავალი მახასიათებლის ათი(10) ცდა საშუალება გვქონდა, ვისაუბროთ და რიცხვობრივად დავადგინოთ გარდამსახის დინამიკის პარამეტრების დამოკიდებულება დატვირთვის წინააღმდეგობის სიდიდეზე. კიდევ ერთხელ დავასახელოთ ეს ორი ძალზედ მთავარი სიდიდეები, რომლებიცაა წმინდა დაყოვნება t_0 და დროის მუდმივა T_{mn} . ქვემოთ ცხრილში მოვიყვანოდ დატვირთვის წინააღმდეგობა და შესაბამისი დინამიკის პარამეტრები.

ცხრილი №16

№	R_{dat} , ომი	t_0 , წმ	T_{mn} , წმ
---	-----------------	------------	---------------

№	R _{dat} , ომი	t ₀ , წმ	T _{mn} , წმ
1	0.26	0.28585	0.05268
2	0.46	2.218 · 10 ⁻⁶	3.769 · 10 ⁻⁷
3	0.6	1.8 · 10 ⁻⁶	3.39 · 10 ⁻⁷
4	0.82	2.78 · 10 ⁻⁶	2.54 · 10 ⁻⁷
5	1.46	2.352 · 10 ⁻⁶	3.512 · 10 ⁻⁷
6	2.6	4.99 · 10 ⁻⁵	4.219 · 10 ⁻⁶
7	4.62	1.684 · 10 ⁻⁵	1.323 · 10 ⁻⁶
8	8.22	2.85 · 10 ⁻⁶	4 · 10 ⁻⁷
9	14.62	4.874 · 10 ⁻⁶	5.911 · 10 ⁻⁷
10	26	2.58 · 10 ⁻⁶	5.03 · 10 ⁻⁷



ნახ. №36 დროის მუდმივების და წმინდა დაყოვნების ანალიზური დამოკიდებულება რეისტორის წინააღმდეგობაზე

1-თავის დასკვნა

1. ტრანზისტორული გარდამსახის წმინდა დაყოვნება და დროის მუდმივა დამოკიდებულია ტრანზისტორული გარდამსახის გამოსასვლელზე მიერთებული დატვირთვის რეზისტორის წინააღმდეგობაზე.
2. გამოყვანილი იქნა წმინდა დაყოვნების დროის დამოკიდებულების ფორმულა მიერთებული დატვირთვის რეზისტორის წინააღმდეგობასთან შემდეგი სახით :

$$t_0(R) = \frac{7.8 \cdot 10^{-6}}{6.188 + 4.594 \cdot \ln(R)} \quad (1.128)$$

3. გამოყვანილი იქნა ტრანზისტორული გარდამსახის დროის მუდმივის დამოკიდებულების ფორმულა მიერთებული დატვირთვის რეზისტორის წინააღმდეგობასთან შემდეგი სახით :

$$T(R) = \frac{8.2 \cdot 10^{-6}}{6.188 + 4.594 \cdot \ln(R)} \quad (1.129)$$

4. მიღებული ანალიზური დამოკიდებულებები ტრანზისტორული გარდამსახის გარდამავალი და გადაცემის ფუნქციების დამოკიდებულებებთან და აგებულ მახასიათებლებთან ერთად არის საკმარისი, რომ ტრანზისტორული გარდამსახის კვლევის ამოცანა შესრულებულად ჩავთვალოთ.

თავი 2

ტრანზისტორული გარდამსახის სიხშირული მახასიათებლები

ბოლეს დიაგრამა, რუსულ ლიტერატურაში(Логарифмическая амплитудно-частотная и фазо-частотные характеристики), წარმოადგენს გრაფიკს, რომლის აბსცისათა ღერძზე დატანილია სიხშირე, ხოლო ორდინატთა ღერძზე დატანილია სიგნალის ამპლიტუდა ან ფაზის წანაცვლება გამოსასვლელი სიგნალისა შესასვლელი სიგნალის მიმართ. როგორც წესი, ისტორიულად, ეს არის ორი გრაფიკის კომბინაცია: რომელთაგან ერთ-ერთი არის სიგნალის ამპლიტუდის გრაფიკი, რომელიც გამოსახავს გაძლიერების კოეფიციენტის დამოკიდებულებას სიგნალის ცვლილების სიხშირესთან, მეორე კი გამოსახავს შესასვლელი სიგნალის მიმართ გამოსასვლელის სიგნალის ფაზის დაძვრას. როგორც წესი გაძლიერების კოეფიციენტს იღებენ ლოგარითმულ მაშტაბში, ამისათვის გამოიყენებენ სპეციალურად გამოგონილ ერთეულს- დეციბელს. ეს შემდგენაირად გამოისახება:

$$20 \cdot \lg \frac{Y}{X} = k[\text{decibel}] \quad (2.1)$$

მაგალითად თუ სიგნალის 10 ჰერციდან 1000 ჰერცამდე ცვლილებას მოჰყვა სიგნალის ამპლიტუდის ცვლილება 3 ვოლტიდან 0.5 ვოლტამდე, გაძლიერების კოეფიციენტი ჩვეულებრივ წრფივ მაშტაბში იქნებოდა $k = \frac{Y}{X} = \frac{0.5}{3} = 0.166(6)$, რაც გვაძლევს ირაციონალურ რიცხვს, რაც პრაქტიკულ ანგარიშებში უხერხულია. მაგრამ თუ გაძლიერების კოეფიციენტს დეციბელებში(ლოგარითმულ მაშტაბში) გამოვსახავთ გვექნება:

$$k = 20 \cdot \lg \frac{Y}{X} = 20 \cdot \lg \frac{0.5}{3} = -15.6 \text{ დეციბელი} \quad (2.2)$$

2.1 მოკლე ისტორიული ცნობები.

ჰენდრიკ ბოლეს (1905-1982) იყო გამოჩენილი მეცნიერი და ინჟინერი, რომელმაც შეიტანა დიდი წვლილი მართვის მეცნიერებაში. როდესაც ის მუშაობდა ბელის ლაბორატორიებში აშშ-ში 1930-იან წლებში, მან

დაამუშავა მარტივი, მაგრამ ზუსტი გაძლიერების კოეფიციენტის და ფაზის ძვრის გრაფიკული წარმოსახვის მეთოდი. უფრო გვიან ამ მეთოდს დაარქვეს ავტორის სახელი – ბოდეს დიაგრამა. ამ დიაგრამაზე ამპლიტუდის ღერძი არის დანიშნული დეციბელებით, რაც არის 20-ჯერ ლოგარითმი ფუძით ათი ამპლიტუდის გაძლიერების კოეფიციენტისა:

$$decibel = 20 \cdot \log \frac{Y}{X} \quad (2.3)$$

იქიდან გამომდინარე, რომ ამპლიტუდის გაძლიერების კოეფიციენტი არის ლოგარითმული სიდიდე, ბოდეს გრაფიკზე ამპლიტუდათა ნამრავლს მივიღებთ თუ შევკრიბავთ შესაბამისი წერტილების ორდინატებს გრაფიკზე რომლებიც არიან გამოსახული დეციბელებში. იქიდან გამომდინარე, რომ:

$$\log(a \cdot b) = \log(a) + \log(b). \quad (2.4)$$

ეს ძალიან მოხერხებულია, რადგან შედარებით რთული გამრავლების მოქმედებას ვცვლით შედარებით მარტივი მომატებით, რაც ადვილად შეიძლება გააკეთდეს გრაფიკზე. ბოდეს ფაზური გრაფიკი წარმოადგენს ფაზის ფუნქციას სიხშირის მიმართ, აგრეთვე გრაფიკზე დაიტანება ლოგარითმული სიხშირის ღერძი, რომელიც როგორც წესი გამოიყენება ამპლიტუდის გრაფიკთან ერთად, რათა დავაკვირდეთ რამდენად სიგნალი იქნება დაძრული ფაზით შესასვლელი სიგნალის მიმართ. მაგალითად, სიგნალი რომელიც გამოისახება:

$$A \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad (2.5)$$

შეიძლება იყოს შესუსტებული, მაგრამ აგრეთვე ფაზით დაძრული. თუ სისტემა სიგნალს ასუსტებს რაღაცა X კოეფიციენტით, და ფაზა გამოსასვლელი სიგნალისა დაიძვრება $-\Phi$ -ით, მაშინ სიგნალი სისტემის გამოსასვლელზე იქნება:

$$\frac{A}{X} \cdot \sin(\omega \cdot t - \Phi). \quad (2.6)$$

როგორც წესი ფაზის ძვრა არის სიხშირის ფუნქცია. ფაზა შეიძლება ასევე პირდაპირ იყოს მიღებული იკულ მნიშვნელობათა შეკრებით, ეს ფაქტი არის მათემატიკურად გასაგები როდესაც აზას ვხედავთ როგორც

კომპლექსური გაძლიერების კოეფიციენტის ლოგარითმისა წარმოსახვით ნაწილს.

2.2 ტრანზისტორული გარდამსახის ამპლიტუდურ-სიხშირული და ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლები

ტრანზისტორული გარდამსახის ამპლიტუდურ სიხშირული მახასიათებლის ასაგებად გვაქვს ყველა საჭირო მონაცემები, კერძოდ: ტრანზისტორული გარდამსახის 10 დროის მუდმივა, ათი წმინდა დაყოვნების დრო, 10 გამოსასვლელი მაქსიმალური ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობა. როგორც ჩვენ უკვე ვთქვით ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი წარმოადგენს გაძლიერების კოეფიციენტის დამოკიდებულებას შესასვლელი სიგნალის ცვლილების სიხშირეზე, ხოლო ფაზურ სიხშირული მახასიათებელი წარმოადგენს გამოსასვლელი სიგნალის ფაზის ძვრას შესასვლელი სიგნალის მიმართ შესასვლელი სიგნალის სიხშირესთან დამოკიდებულებით. იქიდან გამომდინარე, რომ გვაქვს გადამწოდი ფუნქციის სხვადასხვა ათი გამოსახულება, გავაქვს საჭირო და საკმარისი ინფორმაცია რათა ავაგოთ ეს მახასიათებლები. ჩვენს შემთხვევაში ეს მახასიათებლები მეტად მნიშვნელოვანია, რადგან გიმ-სიგნალის სიხშირის ჩვლილებას მოსდევს გამოსასვლელი სიგნალის ამპლიტუდის ცვლილება და ფაზის ძვრა. აქედან გამომდინარე ამ მახასიათებელთა აგების შედეგად საშუალება გვეძლევა გამოვიკვლიოთ სქემის მუშა სიხშირული დიაპაზონი. დროის მუდმივები და წმინდა დაყოვნებების და დატვირთვის წინააღმდეგობის მნიშვნელობები წარმოვიდგინოთ **ვექტორებით**:

$$R_n = \begin{pmatrix} 0.26 \\ 0.6 \\ 0.82 \\ 2.6 \\ 8.22 \\ 26 \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

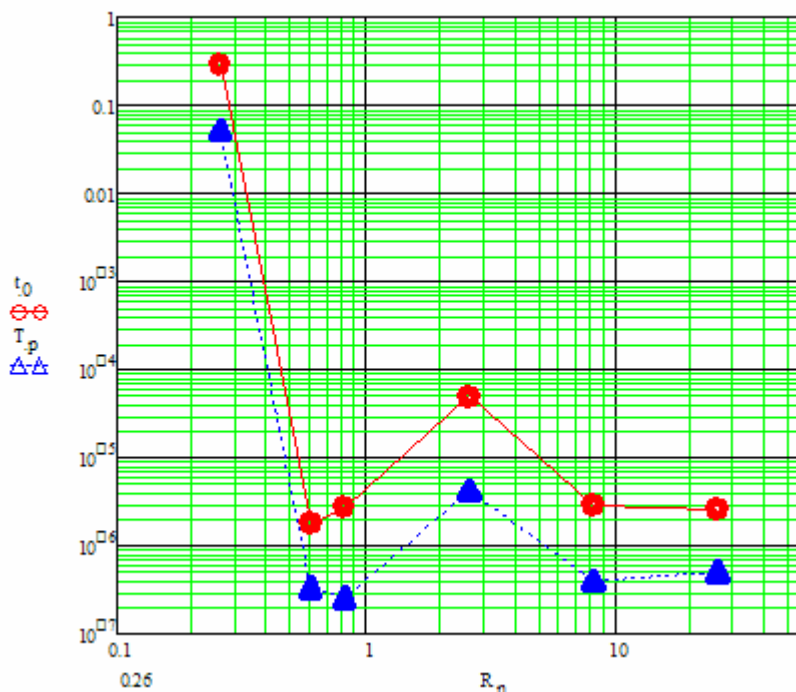
$$t_0 = \begin{pmatrix} 0.28585 \\ 1.8 \cdot 10^{-6} \\ 2.78 \cdot 10^{-6} \\ 4.992 \cdot 10^{-5} \\ 2.85 \cdot 10^{-6} \\ 2.58 \cdot 10^{-6} \end{pmatrix} \quad (2.8)$$

$$T_p = \begin{pmatrix} 0.05268 \\ 3.39 \cdot 10^{-7} \\ 2.54 \cdot 10^{-7} \\ 4.219 \cdot 10^{-6} \\ 4 \cdot 10^{-7} \\ 5.03 \cdot 10^{-7} \end{pmatrix} \quad (2.9)$$

გვაქვს აგრეთვე გამოსასვლელი ძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობის ძაბვის ვექტორი:

$$U_m = \begin{pmatrix} 10.09 \\ 11 \\ 11 \\ 11.8 \\ 11.9 \\ 12 \end{pmatrix} \quad (2.10)$$

ნახ. №37-ზე წმინდა დაყოვნების და დროის დამოკიდებულება დატვირთვის წინაღობაზე



როგორც უკვე წინა თავში ჩავწერეთ გადამწოდი ფუნქციის ზოგადი გამოსახულება ტრანზისტორული გარდამსახისათვის შემდეგი სახისაა:

$$w_{tp}(p) = k_{tp} \cdot \frac{e^{-p \cdot t_{0n}}}{p \cdot T_{pn} + 1} \quad (2.11)$$

ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლის გამოსახულება:

$$K_{tp}(\omega) = |w_{tp}(i \cdot \omega)| \quad (2.12)$$

ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლის გამოსახულება:

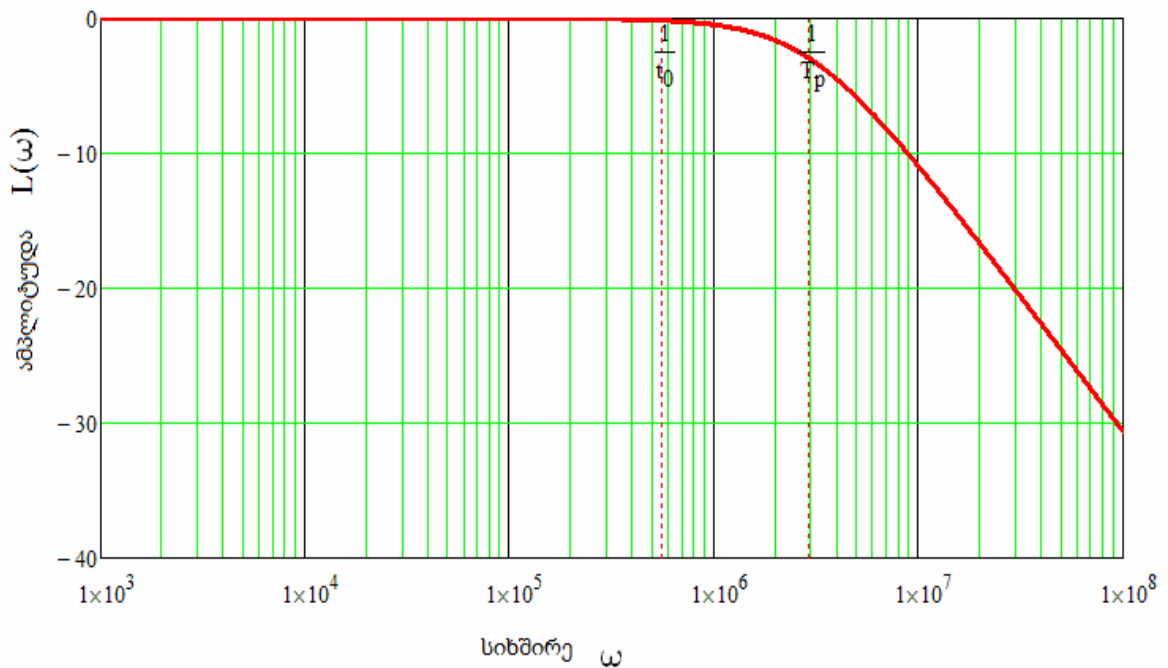
$$L_{ip}(\omega) = 20 \cdot \log(K_{ip}(\omega)) \quad (2.13)$$

$$\frac{1}{t_{0n}} = 5.556 \cdot 10^5 \quad (2.14) \quad \frac{1}{T_{pn}} = 2.95 \cdot 10^6 \quad (2.15)$$

$$k = 3, 3.01 \dots \dots 8 \quad (2.16)$$

$$\omega(k) = 10^k \quad (2.17)$$

ნახ. №38 გარდამსახის ნახევრადლოგარიტმული ამპლიტუდურ სიხშირული მახასიათებელი



$$\Phi_{ip}(\omega) = \frac{180}{\pi} \cdot \arg(w_{ip}(i \cdot \omega)) \quad (2.18)$$

$$c = 1.51 \cdot 10^6 \quad (2.19)$$

$$d = 4.6 \cdot 10^6 \quad (2.20)$$

$$f = 8 \cdot 10^6 \quad (2.21)$$

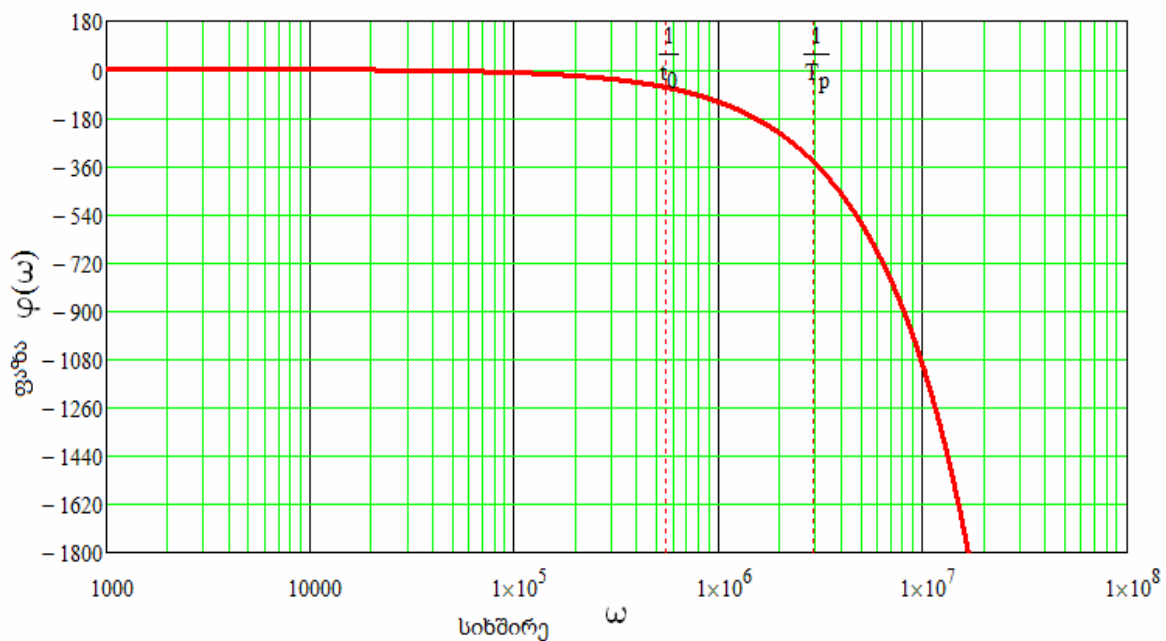
ფაზურ- სიხშირული მახასიათებლის ვექტორი:

$$\varphi(\omega) = \begin{cases} \Phi_{ip}(\omega)if & \omega < c \\ (\Phi_{ip}(\omega) - 360)if & d \geq \omega > c \\ (\Phi_{ip}(\omega) - 720)if & f \geq \omega > d \\ (\Phi_{ip}(\omega) - 1080)if & \omega > f \end{cases} \quad (2.22)$$

$$\frac{1}{T_{pn}} = 2.95 \cdot 10^6 \quad (2.23)$$

$$\frac{1}{t_{0n}} = 5.556 \cdot 10^5 \quad (2.24)$$

ნახ. №39 გარდამსახის ფაზურ სიხშირული მახასიათებელი

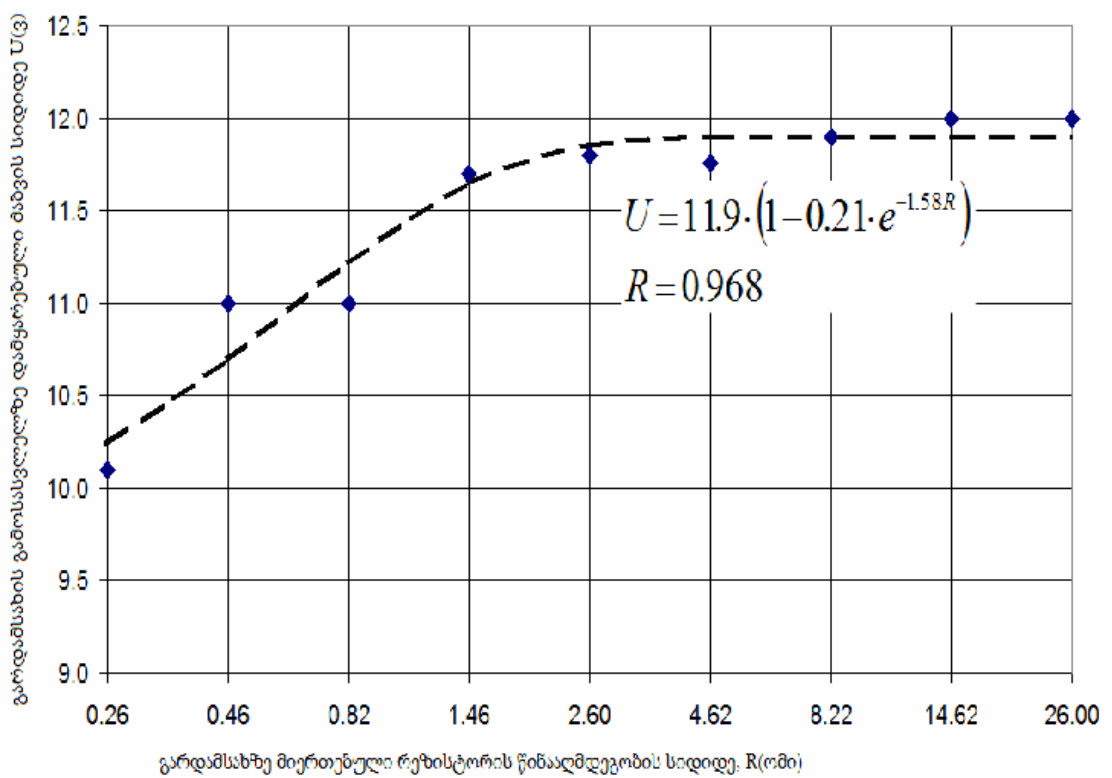


$$\Phi(k) = \overline{\Phi_{ip}(\omega(k))} \quad (2.25)$$

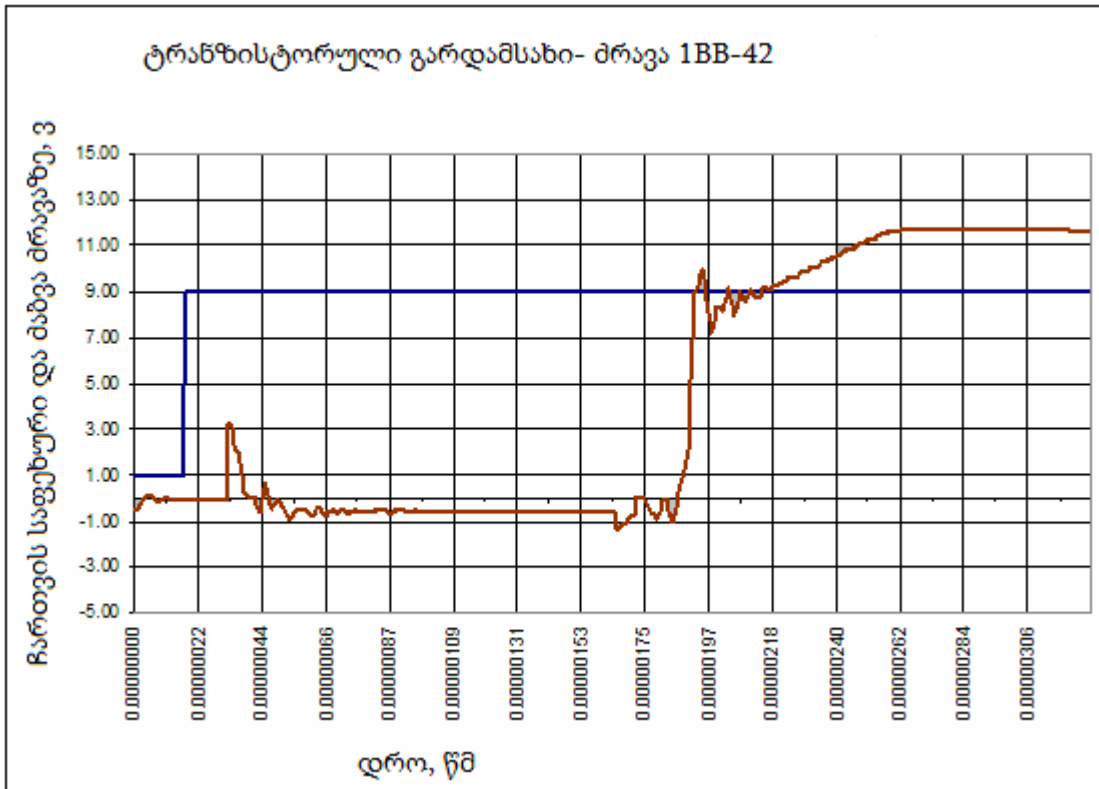
$$360 + 720 = 1.08 \cdot 10^3 \quad (2.26)$$

$$1080 + 180 = 1.26 \cdot 10^3 \quad (2.27)$$

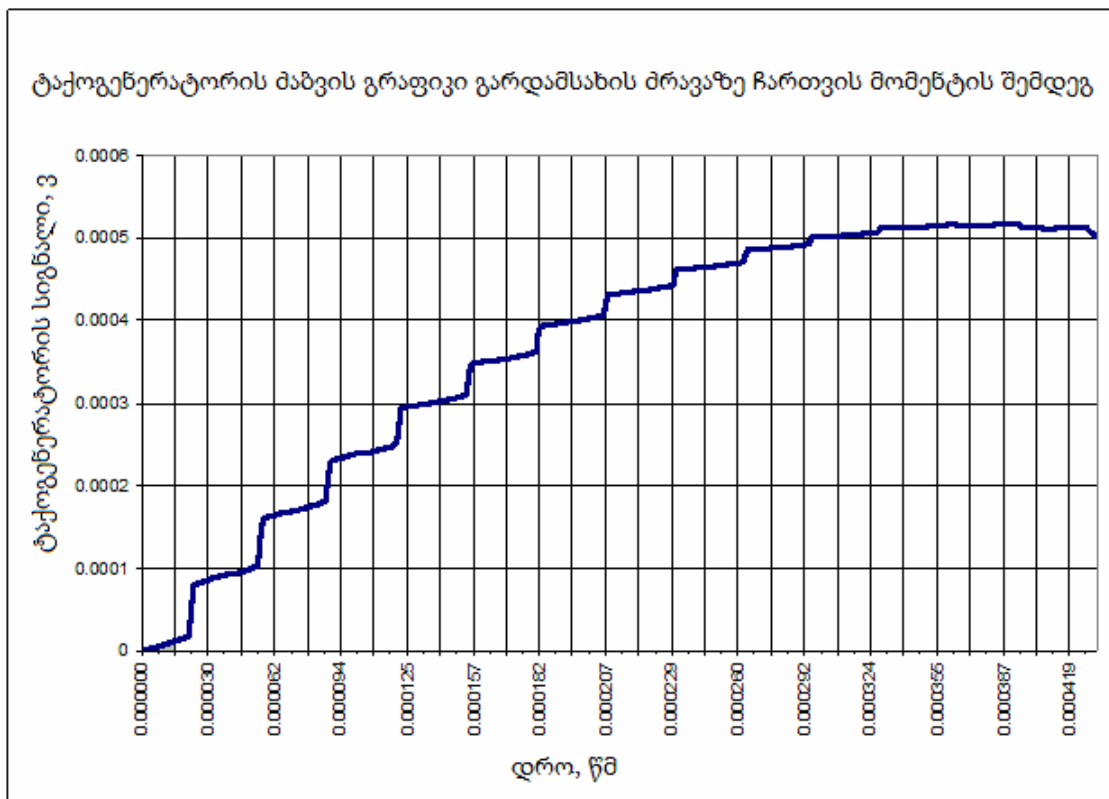
$$\frac{1260}{90} = 14 \quad (2.28)$$



ნახ. №40 გარდამსახის ძაბვის ექსპერიმენტული დამოკიდებულების ფორმულით აპროქსიმაცია



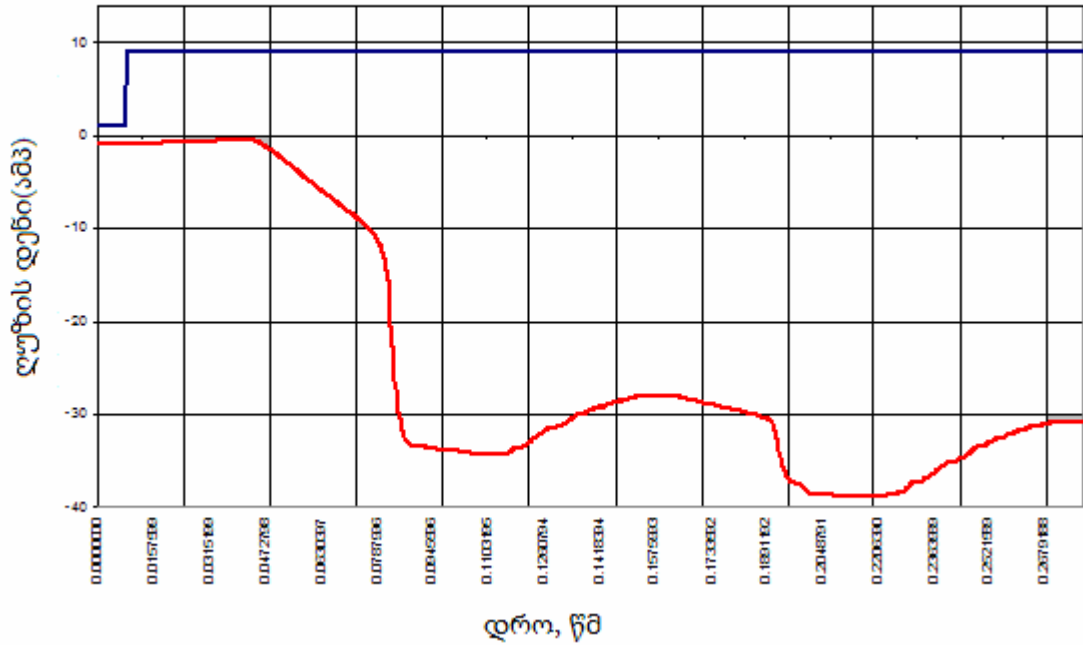
ნახ. №41 გარდამსახის გარდამავალი მახასიათებელი, რომელიც ჩართულია ძრავის ღუზაზე 1BB-42



ნახ. №42 ტაქოგენერატორის ძაბვის გრაფიკი

ნახ. №43 ძრავის ღუზის დენი გარდამსახის ჩართვის შემდეგ

Ford 1BB-42 ძრავის ღუზის დენი(წითელი) და გარდამსახის ჩართვის ძაბვა(ლურჯი)



ცხრილი №17 ექსპერიმენტული მონაცემები

დატვირთვის წინაღობა Rn(ომი)	t₀ წმინდა დაყოვნება(წმ)	T_{mn} ტრანზისტორული გარდამსახის დროის მუდმივა	U_m გამოსასვლელი ძაბვის ამპლიტუდა(ვოლტი)
0.26	0.28585	0.05268	10.09
0.462353	$2.21837 \cdot 10^{-6}$	$3.76877 \cdot 10^{-7}$	11
0.822192	$2.78 \cdot 10^{-6}$	$2.54 \cdot 10^{-7}$	11
1.462087	$2.352 \cdot 10^{-6}$	$3.512 \cdot 10^{-7}$	11.7
2.6	$4.992 \cdot 10^{-5}$	$4.219 \cdot 10^{-6}$	11.8
4.623	$1.684 \cdot 10^{-5}$	$1.323 \cdot 10^{-6}$	11.75
8.222	$2.85 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-7}$	11.90
14.621	$4.874 \cdot 10^{-6}$	$5.911 \cdot 10^{-7}$	12
26	$2.58 \cdot 10^{-6}$	$5.03 \cdot 10^{-7}$	12

დატვირთვის წინაღობა Rn(ომი)	t₀ წმინდა დაყოვნება(წმ)	T_{mn} ტრანზისტორული გარდამსახის დროის მუდმივა	U_m გამოსასვლელი ძაბვის ამპლიტუდა(ვოლტი)
ნომინალი	0.6	$1.8 \cdot 10^{-6}$	$3.39 \cdot 10^{-7}$

ცხრილი №18 საანგარიშო მონაცემები

n, გაანგ. №	t₀₁	t₀	t₀ საანგარიშო	T_{mn}	t₀(R)	T_{mn}	$U = A \cdot (1 - R \cdot B \cdot e^{-c \cdot R})$
1	$1.019 \cdot 10^{-1}$	0.286	0.287	0.099	0.1	0.049	10.235
2	$3.106 \cdot 10^{-5}$	$9.579 \cdot 10^{-6}$	$4.582 \cdot 10^{-6}$	$2.924 \cdot 10^{-6}$	$3.106 \cdot 10^{-5}$	$2.95 \cdot 10^{-6}$	10.692
3	$1.553 \cdot 10^{-5}$	$9.579 \cdot 10^{-6}$	$1.659 \cdot 10^{-6}$	$1.462 \cdot 10^{-6}$	$1.553 \cdot 10^{-5}$	$1.475 \cdot 10^{-6}$	11.217
4	$1.035 \cdot 10^{-5}$	$9.579 \cdot 10^{-6}$	$1.01 \cdot 10^{-5}$	$9.748 \cdot 10^{-7}$	$1.035 \cdot 10^{-5}$	$9.834 \cdot 10^{-7}$	11.652
5	$7.766 \cdot 10^{-6}$	$9.579 \cdot 10^{-6}$	$1.743 \cdot 10^{-5}$	$7.311 \cdot 10^{-7}$	$7.766 \cdot 10^{-6}$	$7.376 \cdot 10^{-7}$	11.859
6	$6.213 \cdot 10^{-6}$	$9.579 \cdot 10^{-6}$	$1.967 \cdot 10^{-5}$	$5.849 \cdot 10^{-7}$	$6.213 \cdot 10^{-6}$	$5.9 \cdot 10^{-7}$	11.898
7	$5.177 \cdot 10^{-6}$	$9.579 \cdot 10^{-6}$	$1.656 \cdot 10^{-5}$	$4.874 \cdot 10^{-7}$	$5.177 \cdot 10^{-6}$	$4.917 \cdot 10^{-7}$	11.9
8	$4.437 \cdot 10^{-6}$	$9.579 \cdot 10^{-6}$	$1.031 \cdot 10^{-5}$	$4.178 \cdot 10^{-7}$	$4.438 \cdot 10^{-6}$	$4.215 \cdot 10^{-7}$	11.9
9	$3.883 \cdot 10^{-6}$	$9.579 \cdot 10^{-6}$	$4.101 \cdot 10^{-6}$	$3.656 \cdot 10^{-7}$	$3.883 \cdot 10^{-6}$	$3.688 \cdot 10^{-7}$	11.9
საშ. მნიშვ.	$1.0552 \cdot 10^{-5}$	$9.579 \cdot 10^{-6}$	$1.055 \cdot 10^{-5}$	$9.935 \cdot 10^{-7}$	$1.055 \cdot 10^{-5}$	$1.002 \cdot 10^{-6}$	0.208

$$T = \frac{A \cdot (\cos(f \cdot n + g) + 1)}{k + w \cdot n} \quad (2.29)$$

$$T = A \cdot \text{cth}(k \cdot n + w) \quad (2.30)$$

$$T = \frac{A}{k + w \cdot n} \quad (2.31)$$

$$U = 11.9 \cdot (1 - 0.21 \cdot e^{-1.58R}) \quad (2.32)$$

$$R = 0.968 \quad (2.33)$$

$$T = \frac{A \cdot \cos(f \cdot n + g)}{k + w \cdot n} \quad (2.34)$$

$$T = \frac{A}{k + w \cdot n} \quad (2.35)$$

$$t_0 = \frac{A}{K + \omega \cdot \ln R} \quad (2.36)$$

ცხრილი №19

A	0.204	9.58 10^{-6}	0.00014	0.01915	8.214 10^{-5}	7.802 10^{-6}	A	11.89
k	-6551.6	6.686	-2.728	-6547.9	6.189	6.189	B	0.211
w	6553.6	-6.686	2.728	6548.17	4.594	4.594	C	1.584
f			$7.87 \cdot 10^{-1}$					
g			1.1424					0.968
შეცდომა	0.03383	2.054 10^{-9}						
correl	-0.5479	-0.55		0.99	0.99	0.99		

მე-2-ე თავის ძირითადი შედეგები და დასკვნა

1. ბევრი ექსპერიმენტული ცდების და მონაცემთა დამუშავების შედეგად, მიღწეული იქნა გარდამსახის გამოსასვლელზე დამყარებული ძაბვის ექსპერიმენტული დამოკიდებულება გამოსასვლელზე მიერთებული რეზისტორის წინააღმდეგობასთან ანალიტიკური ფორმულით აპროქსიმაცია, რომელიც შემდეგი სახისაა:

$$U = 11.9 \cdot (1 - 0.21 \cdot e^{-1.58 \cdot R}) \quad (2.37)$$

2. ავაგეთ ტრანზისტორული გარდამსახის ამპლიტუდურ-სიხშირული და ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლები, რამაც ცხადჰყო, რომ ტრანზისტორული გარდამსახის განივ იმპულსური მოდულაციის პრინციპით მართვისას 10^6 ჰც სიხშირის გადაჭარბებისას გამოსასვლელი სიგნალის(ძაბვის) ამპლიტუდა მკვეთრად ეცემა, ხოლო გამოსასვლელი სიგნალის ფაზის ძვრის კუთხე შესასვლელი სიგნალის ფაზის მიმართ ჯერ მდორედ 180° –ით ჩამორჩება მიახლოებით 10^5 ჰც სიხშირეზე, ხოლო სიხშირის კიდევ უფრო ამაღლებისას 1800° -მდე კუთხით ჩამორჩება, რაც კარგად ჩანს სიხშირულ დიაგრამებზე.
3. ავაგეთ ტრანზისტორული გარდამსახის ძრავის ღუზაზე ჩართვის გარდამავალი მახასიათებელი, რის შედეგად მივიღეთ, რომ ტრანზისტორული გარდამსახი ფაქტიურად უინერციოა, რადგან წმინდა დაყოვნების დრო შეადგენს 0.00000197 წმ-ს, ხოლო ტრანზისტორული გარდამსახის გამოსასვლელზე ძრავის ღუზაზე მიერთებისას ძაბვა მყარდება 0.00000262 წმ-ში, ძრავის ამუშავებისას ნომინალურ დატვირთვაზე დენის მყისა მნიშვნელობა აღწევს 39 ამპერს, დენის სიდიდე მყარდება 0.2521 წმ-ში.

თავი 3

გარდამავალი რეჟიმების ხარისხის მაჩვენებლები

მდგრადობა არის აუცილებელი, მაგრამ არასაკმარისი მოთხოვნა, რომელიც განაპირობებს სისტემის გამოყენების შესაძლებლობას. იმისათვის რომ, შევა ასოთ თვითოეულ კონკრეტულ შემთხვევაში გამოიყენებენ მართვის სისტემის ხარისხის შემდეგ მაჩვენებლებს:

სისტემის სიზუსტე, რომელიც ხასიათდება დამყარებულ რეჟიმში შეცდომის სიდიდით გარდამავალი პროცესის ხასიათი. იმისათვის, რომ შევქმნათ ერთნაირი მიდგომა შეფასებაში, მიღებულია განვიხილოთ გარდამავალი რეჟიმი როგორც სისტემის რეაქცია ერთეულოვან საფეხურებრივ ზემოქმედებაზე. შემაშოთებელი ზემოქმედების ასეთი ნახტომისებური ცვლილება ქმნის ყველაზე მძიმე რეჟიმს მომუშავე სისტემისათვის. ზოგადად, გარეშე ზემოქმედება(შეშფოთება) შეიძლება იყოს დეტერმინირებული ან დროის შემთხვევითი უნქციები. იმისათვის, რომ შევა ასოთ სისტემის ხარისხი, გამოიყენება ხარისხის მაჩვენებელი-შეცდომის ალბათობა. ავტომატური რეგულირების სისტემის შეცდომა დამყარებულ რეჟიმში განისაზღვრება გარდამავალი რეჟიმის დამთავრებისას, რომელიც იქნა გამოწვეული ერთეულოვანი სა ეხურებრივი ზემოქმედებით. ამ შეცდომის სიდიდე შეიძლება იყოს ნაპოვნი სისტემის დი ერენციალური განტოლების ამოხსნის დროს. ასეთ შემთხვევაში დი ერენციალური განტოლების სრული ამოხსნა შეიძლება იყოს განხილული როგორც ჯამი ზოგადი ამოხსნისა ერთგვაროვანი დიფერენციალური განტოლებისა და კერძო ამოხსნისა არაერთგვაროვანი დი ერენციალური განტოლებისა. შემდეგი სახით:

$$\mathcal{E}_{zogadi} = \mathcal{E}_{damy} + \mathcal{E}_{gadametregulirebis} \quad (3.1)$$

მდგრადი სისტემისათვის ერთგვაროვანი დიფერენციალური განტოლების ამოხსნა მიისწრაფვის ნულისაკენ:

$$\mathcal{E}_{gar} = \sum_{i=1}^n C_i \cdot e^{p_i \cdot t} \rightarrow 0 \quad (3.2)$$

აქედან გამომდინარე შეცდომა დამყარებულ რეჟიმში იქნება განპირობებული არაერთგვაროვანი დიფერენციალური განტოლების კერძო ამოხსნით. ავტომატური რეგულირების სისტემები იყოფა სტატიკურ და ასტატიკურება. ასეთი დაყოფა ხორციელდება დამყარებული შეცდომის ხასიათის ნიშნით სა ეუსურებრივი(ნახტომისებრი) ზემოქმედებისას. ავტომატური რეგულირების სისტემის დამყარებული შეცდომას ეწოდება სტატიკური შეცდომა. ავტომატური რეგულირების სისტემები, რომელთა სტატიკური შეცდომა არ არის ნოლის ტოლი ეწოდება სტატიკური სისტემები. იმისათვის რომ, განვსაზრვროთ ავტომატური რეგულირების სისტემა რომელს მიეკუთვნება, არ არის აუცილებელი, რომ ამოვხსნატ დი ერენციალური განტოლება შეკრული სისტემის ნახტომისებური ზემოქმედებისას. ამ შეკითხვაზე პასუხის გასაცემად საკმარისია გვქონდეს გადამწოდი ფუნქციის საკვლევი სისტემის გამოსახულება მართვის გახსნილი კონტურისთვის. ასტატიკური ავტომატური რეგულირების სისტემის ნიშანია არის მართვის გახსნილ კონტურში ინტეგრირების(ასტატიკური) კვანძის არსებობა, ე.ი ისეთი კვანძის არსებობა, რომლის გადამწოდი ფუნქცია შემდეგი სახისაა:

$$W(p) = \frac{1}{p} \quad (3.3)$$

თუ ავტომატური რეგულირების სისტემის გახსნილ კონტურში არ არსებობს მაინტეგრირებელი კვანძი, მაშინ ეს არის სტატიკური სისტემა. ამაში შეიძლება დავრწმუნდეთ, თუ ვიპოვიოთ $s(t)$ ნახტომისებური (სა ეუსურებრივი) ზემოქმედების დროს. მაინტეგრირებელი კვანძების რაოდენობა სისტემაში განსაზღვრავს სისტემის ასტატიზმის ხარისხს. არსებობს აგრეთვე ზემოქმედების ხარისხის ცნება, რომელში იგულისხმება ზემოქმედების იქსირებული წარმოებულის ხარისხი. სისტემაში გარკვეული რაოდენობის მაინტეგრირებელი კვანძების შეყვანა საშუალებას გვაძლევს შევზღუდოთ ან საერთოდ გავანეიტრალოთ დამყარებული შეცდომა \mathcal{E}_{damy} ზემოქმედების არსებობის დროს, რომელიც

განუწყვეტლივ იცვლება მუდმივი წარმოებულით. სტატიკური და ასტატიკური მაგალითების სახით შეგვიძლია მოვიყვანოთ სისტემები სისწირული და აზური ავტომორგებით. ავტომატური რეგულირების სისტემის მეორე მაჩვენებელია- გარდამავალი რეჟიმის ხასიათი. გარდამავალი რეჟიმის ხასიათის ძირითადი პარამეტრებია:

მაქსიმალური გადამეტრეგულირება, რომელიც გამოისახება გამოსასვლელი ცვლადის მაქსიმალური მნიშვნელობის შეფარდებით გარდამავალ პროცესში, დამყარებულ მნიშვნელობასთან:

$$h_m = \frac{h_{MAXI}}{h_{damy}} \quad (3.4)$$

სადაც h_{damy} - გამოსასვლელი ცვლადის მნიშვნელობა $t \rightarrow \infty$;

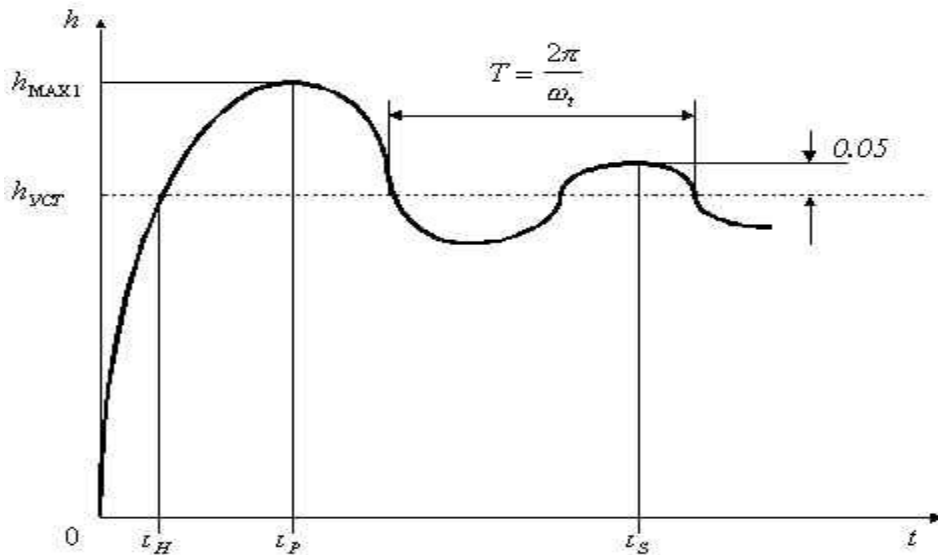
გამოსასვლელი სიდიდის პირველი მაქსიმუმის დამყარების დრო(მაქსიმალური გადამეტრეგულირების) t_p .

გარდამავალი პროცესის ხანგრძლივობა ე.ი დროის ინტერვალი გარეშე შემაშ ოთებელი ზემოქმედების მიწოდებიდან და გარდამავალი პროცესის დასრულებამდე t_s .

როგორც წესი თვლიან, რომ გარდამავალი რეჟიმი მთავრდება, თუ გამოსასვლელი სიდიდე დამყარებული მნიშვნელობისაგან განსხვავდება დამყარებული მნიშვნელობიდან არანაკლებ 5 %-ით;

გარდამავალი პროცესის რყევის სისწირე ω .

იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ გარდამავალი პროცესის მაჩვენებლები, საჭიროა მივიღოთ ჩაკეტილ კონტურიანი ავტომატური რეგულირების სისტემის ე.ი მოვებნოთ სისტემის რეაქცია ერთეულოვან ნახტომისებურ ზემოქმედებაზე. ახლა კი განვიხილოთ ის, თუ როგორ შევაფასოთ მთელი სისტემის მუშაობის და გარდამავალი რეჟიმების ხარისხი, რომლებიც ზემოთ ჩამოვთვალეთ.



ნახ. № 44 გადამეტრეგულირება

3.1 სისტემის რეგულირების ძირითადი მაჩვენებლები

როგორც უკვე ცნობილია მთლიანი სისტემის ძირითადი კვანძებია: ძრავი 1BB-42, ტრანზისტორული გარდამსახი, მექანიკური დატვირთვა და მიკროკონტროლერი. როგორც ჩვენ უკვე დავინახეთ, ძალიან ბევრი კვლევა დაგვჭირდა ძრავის გადამწოლი ფუნქციის დადგენისთვის და აგრეთვე ტრანზისტორული გარდამსახის ერთეულოვანი ფუნქციისა და გადამწოლი ფუნქციის გამოსახულების დასადგენად, დადგინდა მათი დროის მუდმივები, გარდამსახის წმინდა დაყოვნება და გამოსასვლელზე დამყარებული ძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობა, ყველა ერი ეს საშუალებას გვაძლევს ჩვენი სისტემა როგორც ხარისხობრივად და რაოდენობრივად შევა ასოთ როგორც მართვის ავტომატური სისტემა, რომელთა კერძო მაგალითს წარმოადგენს მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სქემა. ამ სისტემის კვლევის ამოცანა მეტწილად უკვე შესრულებულია და დასკვნით ეტაპზე საჭიროა შევკრათ ის საერთო სტრუქტურაში და დავაკვირდეთ მის პარამეტრებს, უპირველეს ყოვლისა გარდამავალი რეჟიმის ხარისხის პარამეტრებია, როგორცაა: სტატიზმი, ასტატიზმი და გადამეტრეგულირება. გარდამავალი რეჟიმების გამოკვლევისას უნდა ვეცადოთ შევქმნათ მუშაობის რაც შეიძლება უ რო მძიმე რეჟიმი, რათა

შემდგომ დაგაკვირდეთ ამ რეჟიმთა ხარისხს და შევა ასეთი სისტემის გამოყენების პერსპექტივები.

ძრავის ელექტრული მუდმივა:

$$C_e = \frac{U_n - I_n \cdot R_j}{\omega_n} = \frac{U_n - I_n \cdot R_j}{\frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}} = \frac{12 - 20 \cdot 0.26}{\frac{2 \cdot \pi \cdot 1470}{60}} = 0.035 \quad (3.5)$$

ძრავის ელექტრომაგნიტური დროის მუდმივა:

$$T_e = \frac{L_j}{R_j} = 1.191 \cdot 10^{-4} \quad (3.6)$$

დროის ელექტრომექანიკური მუდმივა:

$$T_m = \frac{J \cdot R_j}{C_e \cdot C_m} = 0.37 \quad (3.7)$$

ძრავის გადამწოლი ფუნქცია შეშფოთების მიხედვით:

$$W_m(p) = \frac{R_j \cdot \frac{1}{C_e^2}}{p^2 \cdot T_e \cdot T_m + p \cdot T_m + 1} = 7.43 \cdot \frac{1}{0.000044067 \cdot s^2 + 0.37 \cdot s + 1} \quad (3.8)$$

სისტემის რეგულირების ხარისხის ძირითადი მაჩვენებლები შეადგენს:
 გადამტრეგულირება $\sigma = 32$ %, სიჩქარის დინამიკური ვარდნა ძრავას დერძზე დატვირთვის უეცარი მოდებისას $\Delta v_{din} = 0.007$, ხოლო კვების წყაროს ძაბვის ნახტომისებური ცვლილებისას $\Delta v_{din} = 0.012$, გარდამავალი პროცესის ხანგრძლივობა $t_0 = 0,8$ წმ.

3.2 ტრანზისტორული გარდამსახის სინშირული რგოლის სახით წარმოდგენა

ისევე როგორც ძრავი ტრანზისტორული გარდამსახი დინამიური ობიექტია. უპირველეს ყოვლისა ის ხასიათდება წმინდა დაყოვნების დროით t_0 , ეს ის დროა რომელიც აითვლება ტრანზისტორული გარდამსახის შესასვლელზე ერთეულივანი სა ეხურებრივი ზემოქმედების მიწოდებიდან იმ მომენტამდე როდესაც ძაბვა ტრანზისტორული გარდამსახის გამოსასვლელზე იწყებს ზრდას. ანუ მარტივად რომ ვთქვათ ეს ის დროა, რომელიც აითვლება ტრანზისტორული გარდამსახის გაშვების(სრულ ძაბვაზე ჩართვის) მომენტიდან, მომენტამდე როდესაც გამოსასვლელზე ძაბვა იწყებას ზრდას. ჩვენს შემთხვევაში ეს დრო შეადგენს:

$$t_0=0.28585 \text{ წმ} \quad (3.9)$$

ასევე ძალიან მნიშვნელოვანია ტრანზისტორული გარდამსახის დროის მუდმივის სიდიდე. რაც უფრო დიდია დროის მუდმივის მნიშვნელობა, მით უფრო დიდხანს მიმდინარეობს გარდამავალი რეჟიმი. ჩვენს შემთხვევაში დროის მუდმივის სიდიდე შეადგენს:

$$T_{mn}=0.05268 \quad (3.10)$$

ახლა ისევ დავუბრუნდეთ გარდამსახის გარდამავალ ფუნქციას, რომლის ფიზიკური არსი შემდეგნაირია: ეს ის ფუნქცია, რომლის მიხედვით გარდამსახის შესასვლელზე სა ეხურებრივი იმპულსის მიწოდების მომენტიდან გამოსასვლელზე ჯერ ნოლის ტოლია დროის წმინდა დაყოვნების შუალედზე t_0 , ხოლო შემდეგ გამოსასვლელზე სიგნალი გამოისახება ე.წ გარდამავალი უნქციით. ჩვენს შემთხვევაში ეს გამოსახულება უკვე განვსაზღვრეთ და აქ მეორედ მოვიყვანთ:

$$h(t) = \begin{cases} 0 & t < 0.28585 \\ 10.09 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t-0.28585}{0.05268}} \right) & t \geq 0.28585 \end{cases} \quad (3.11)$$

აქ 10.09 მაქსიმალური ძაბვაა გარდამსახის გამოსასვლელზე U_m . ასევე გარდამსახის სქემა ხასიათდება ძალიან მნიშვნელოვანი სიდიდით-

გაძლიერების კოეფიციენტით k_{mn} . ეს სიდიდე არის სიგნალის ფარდობა გარდამსახის გამოსასვლელზე სიგნალთან გარდამსახის შესასვლელთან. ჩვენს შემთხვევაში ის შემდეგია:

$$k_{mn} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{10.09}{12} = 0.841 \quad (3.12)$$

ძალიან მნიშვნელოვანი სიდიდე რომელიც ახასიათებს ტრანზისტორული გარდამსახის დინამიურობას(სწრა მოქმედებას) არის დაყოვნების დრო τ_0 . ეს სიდიდე არის დამოკიდებული ტრანზისტორული გარდამსახის მმართველი სქემის, ჩვენს შემთხვევაში მიკროკონტროლერის მმართველი იმპულსების სისშირეზე და სისშირის შებრუნებულ სიდიდეს წარმოადგენს შემდეგნაირად:

$$\tau_0 = \frac{1}{f} = \frac{1}{31250} = 3.2 \cdot 10^{-5} \quad (3.13)$$

აქ $f=31250$ ჰც განივ იმპულსური გარდამსახის მუშა სისშირე(ჩვენს მოწყობილობაში).

ტრანზისტორული გარდამსახის გადამწოდი ფუნქციის გამოსახულება იქნება შემდეგი:

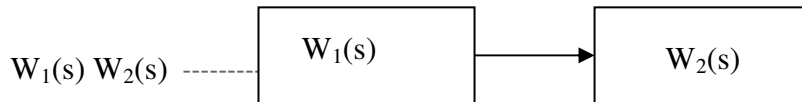
$$W(s) = \frac{U_{mn}(s)}{U_y(s)} = k_{mn} \cdot \frac{e^{-s \cdot \tau_0}}{T_{mn} \cdot s + 1} = 0.841 \cdot \frac{e^{-3.2 \cdot 10^{-5} \cdot s}}{0.05268 \cdot s + 1} \quad (3.14)$$

ხარისხობრივად ეს გამოსახულება წარმოადგენს ორი გამოსახულების ნამრავლს: პირველი თანრიგის ინერციული კვანძის და წმინდა დაყოვნების კვანძის გამრავლებას. ამაში მარტივად დავრწმუნდებით თუ ამ გამოსახულებას შემდეგნაირად გარდავქმნით:

$$W(s) = 0.841 \cdot \frac{e^{-3.2 \cdot 10^{-5} \cdot s}}{0.05268 \cdot s + 1} = 0.841 \cdot \frac{1}{0.05268 \cdot s + 1} \cdot e^{-3.2 \cdot 10^{-5} \cdot s} \quad (3.15)$$

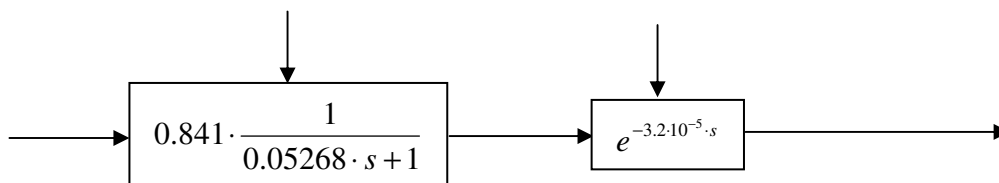
რადგან ტრანზისტორული გარდამსახის გადამწოდი უნქცია ჩვენ წარმოვიდგინეთ როგორც ორი სხვადასვა ტიპის კვანძის ნამრავლი მართვის ავტომატური თეორიის კურსიდან გავიხსენოთ ის, რომ გრაფიკულად ორი კვანძის გადამწოდი უნქციების ნამრავლი

ეკვივალენტურია ამ კვანძთა მიმდევრობით შეერთებისა, რაც აბსტრაქტულად შემდეგნაირად გამოიხატება:



ნახ. №45 წმინდა დაყოვნების და მაინტეგრირებელი რგოლების მიმდევრობით შეერთება გვაძლევს გარდამსახის მოდელს

აქედან გამომდინარე ინერციული პირველი თანრიგის წმინდა დაყოვნების კვანძთა მიმდევრული შეერთების შედეგად მივიღებთ უკვე ტრანზისტორული გარდამსახის მიმდევრობით შეერთებულ ორ სისშირულ კვანძს:



ნახ. №46 ძალური შესასვლელი და მმართველი შესასვლელი მიკროკონტროლერიდან

მე-3-ე თავის შედეგები და დასკვნა

1. ტრანზისტორული გარდამსახი და მმართველი მიკროსქემა ATA6824 თავისი ფიზიკური შინაარსის გამო უნდა წარმოვიდგინოთ როგორც ორი მიმდევრობით შეერთებული სისშირული რგოლები : რომელთაგან ერთ-ერთი არის პირველი თანრიგის ინერციული რგოლი(გარდამსახი), ხოლო მეორე წმინდა დაყოვნების სისშირული რგოლი(მიკროსქემა), რომელიც მუშაობს მიკროკონტროლერის(აქ იგივეა რაც მიკროპროცესორის) განივიმპულსური გარდამსახის სისშირეზე(ჩვენს შემთხვევაში 31250 ჰც).

2. მოწობილობის გარდამავალი რეჟიმების ხარისხის მაჩვენებლები პრაქტიკულად მისაღებია.

თავი 4

შედგენები და მათი განსჯა

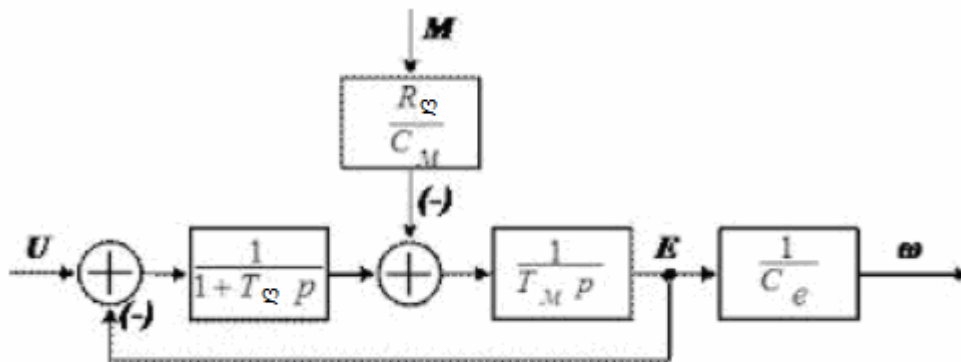
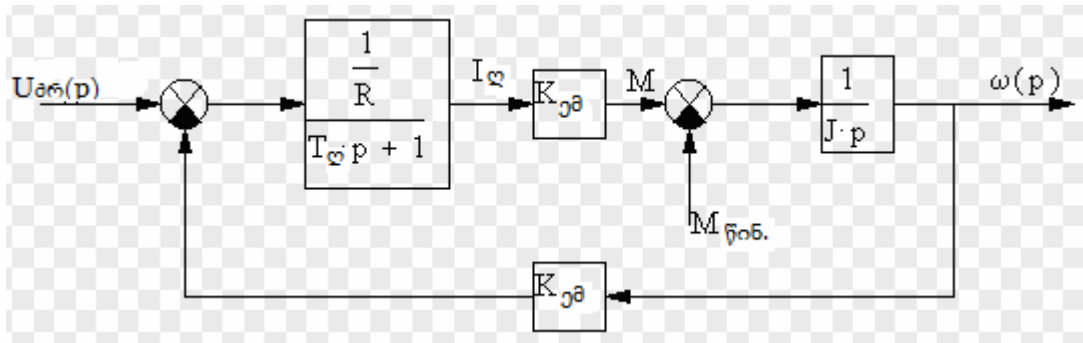
4.1 სისტემის ერთიანად შეკვრა და შეფასება პროგრამა Vissim-ის გამოყენებით

ახლა, როდესაც ვიცით მთლიანი სისტემის ცალკეული უმთავრესი კვანძების: ძრავა და ტრანზისტორული გარდამსახის დროის მუდმივები და გადამწოდი ფუნქციები, საშუალება გვქვია ეს სისტემა ერთიანად შევკრათ და “ვამუშავოთ” ისეთი რეჟიმებით, როგორც მოსალოდნელია:

1. ამუშავება დაუტვირთავად.
2. ამუშავება დაუტვირთავად და შემდეგ ნახტომისებრად დატვირთვის მოდება.
3. ამუშავება სრული დატვირთვის ქვეშ.
4. ამუშავება უქმი სვლით, შემდგომ ნახტომისებურად ნომინალური დატვირთვის მოდება, პროპორციულ-ინტეგრალური(პი) რეგულატორის გამოყენებით.

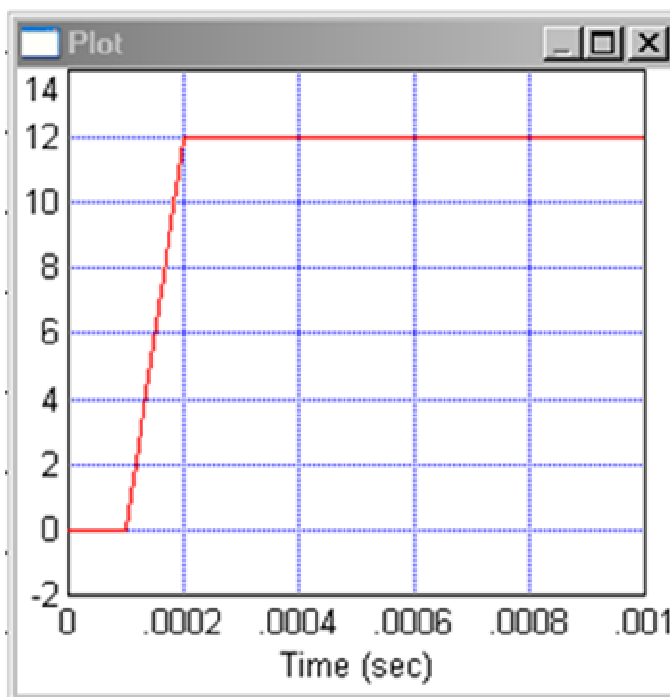
კიდევ ერთხელ ქვემოლ მოგვყავს მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის სტრუქტურული სქემა, ძრავისა და ტრანზისტორული გარდამსახის დროის მუდმივები და გადამწოდი ფუნქციები.

1. ძრავის დროის ელექტრომაგნიტური მუდმივა: $T_e = 1.191 \cdot 10^{-4}$
2. ძრავის დროის ელექტრომექანიკური მუდმივა: $T_m = 0.37$
3. ძრავის ელექტრომაგნიტური მუდმივა: $C_e = 0.035$
4. ძრავის ელექტრომექანიკური მუდმივა: $C_m = 0.035$
5. ღუზის წინაღობა: $R_j = 0.26$
6. მუდმივი კოეფიციენტები: $\frac{R_j}{C_m} = 7.407$ და $\frac{1}{R_j} = 3.846$

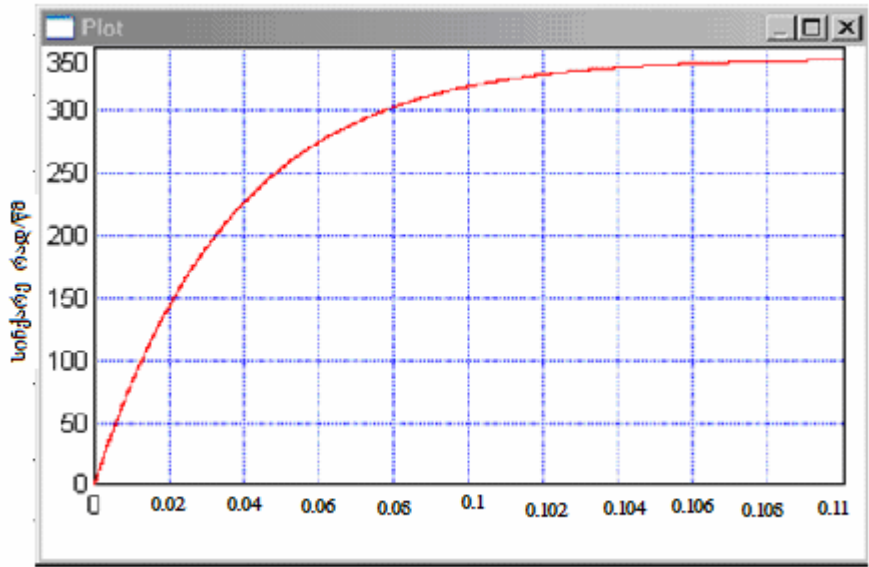


ნახ. №47 მუდმივი დენის ელექტროამბრაგი, რომლის ფრაგმენტი აღებულ იქნა პროგრამა Vissim-ში მოდელირებისათვის

გახსნილი სისტემა უკმ სელა, დაბვა ტრანზისტორულ გარდამსახზე



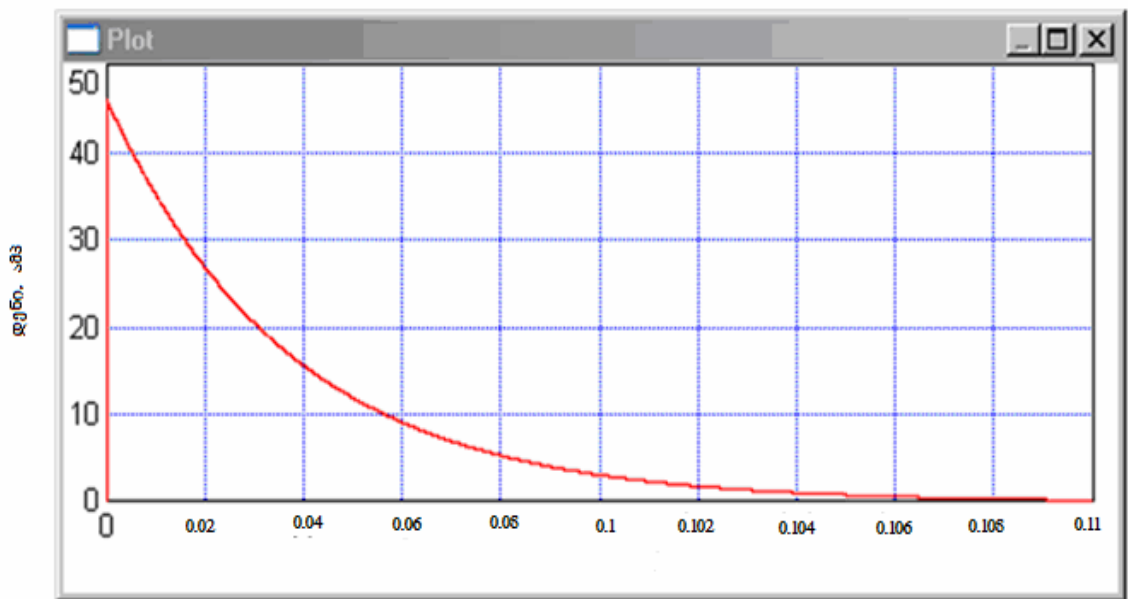
ნახ. №48 ტრანზისტორული გარდამსახის ჩართვა უკმ სელაზე



დრო. წმ

ნახ. №49 დაუტვირთავი ძრავის ამუშავება ტრანზისტორული გარდამსახიდან

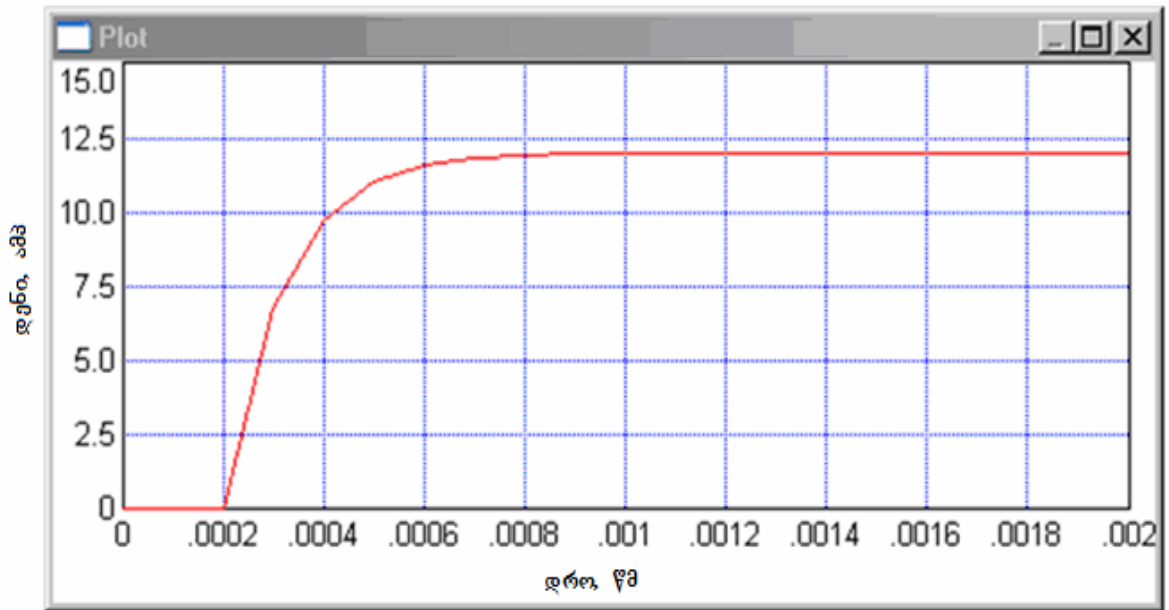
1. ძრავის დენი იგივე რეჟიმში



დრო. წმ

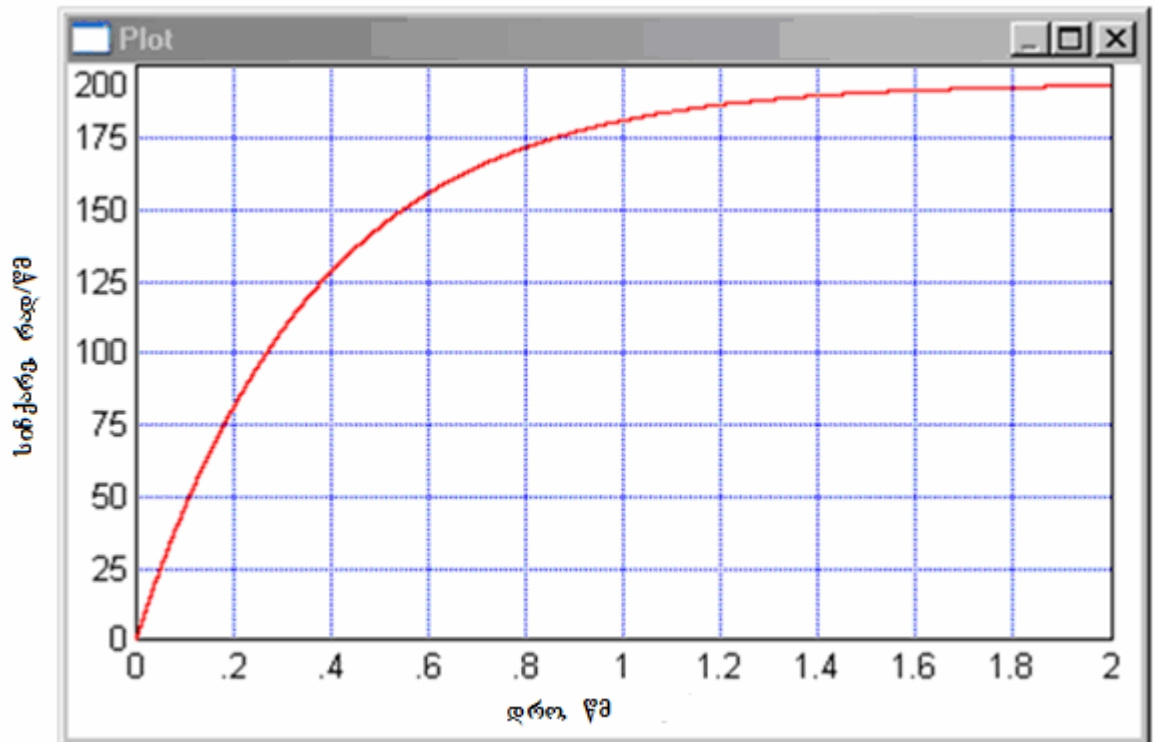
ნახ. №50 დაუტვირთავი ძრავის ამუშავება ტრანზისტორული გარდამსახიდან, დენის ცვლილების გრაფიკი

2. ძრავის დენი იგივე რეჟიმში ოღონდ საწყისი მონაკვეთი:

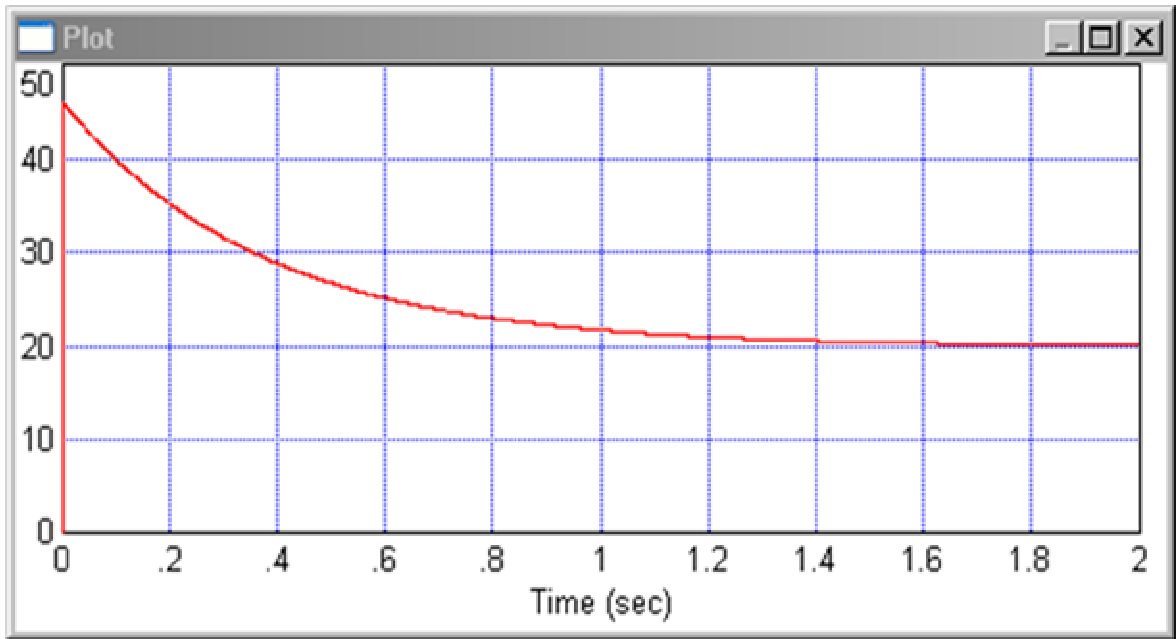


ნახ. №51 გახსნილი სისტემა ამუშავება დატვირთვის ქვეშ, ნომინალური მომენტით $M_n = 0.702$ ნმ

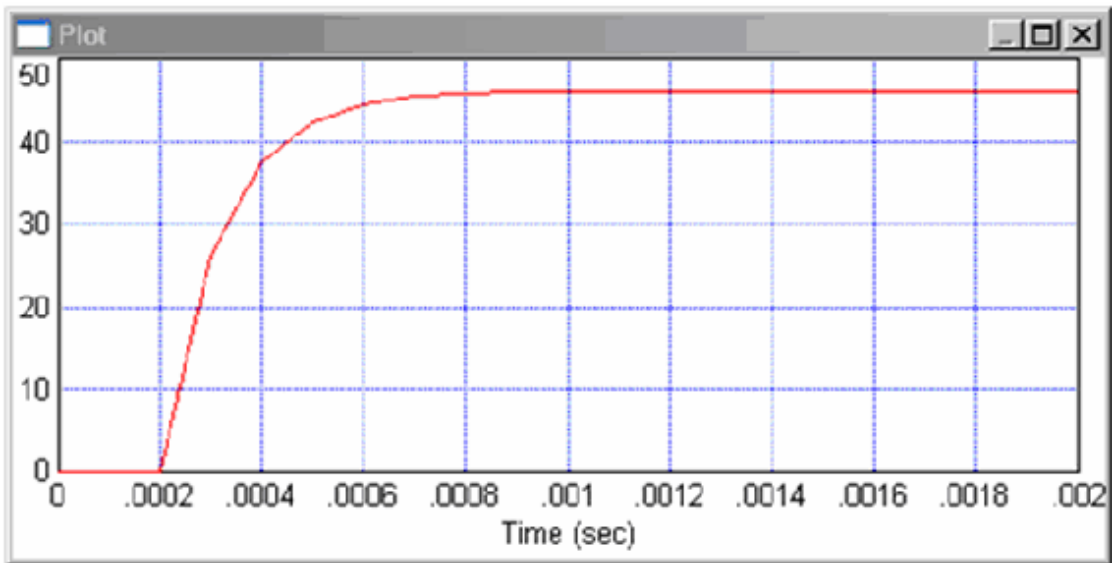
სიხქარე $\omega_n = 193.7$ რად/წმ



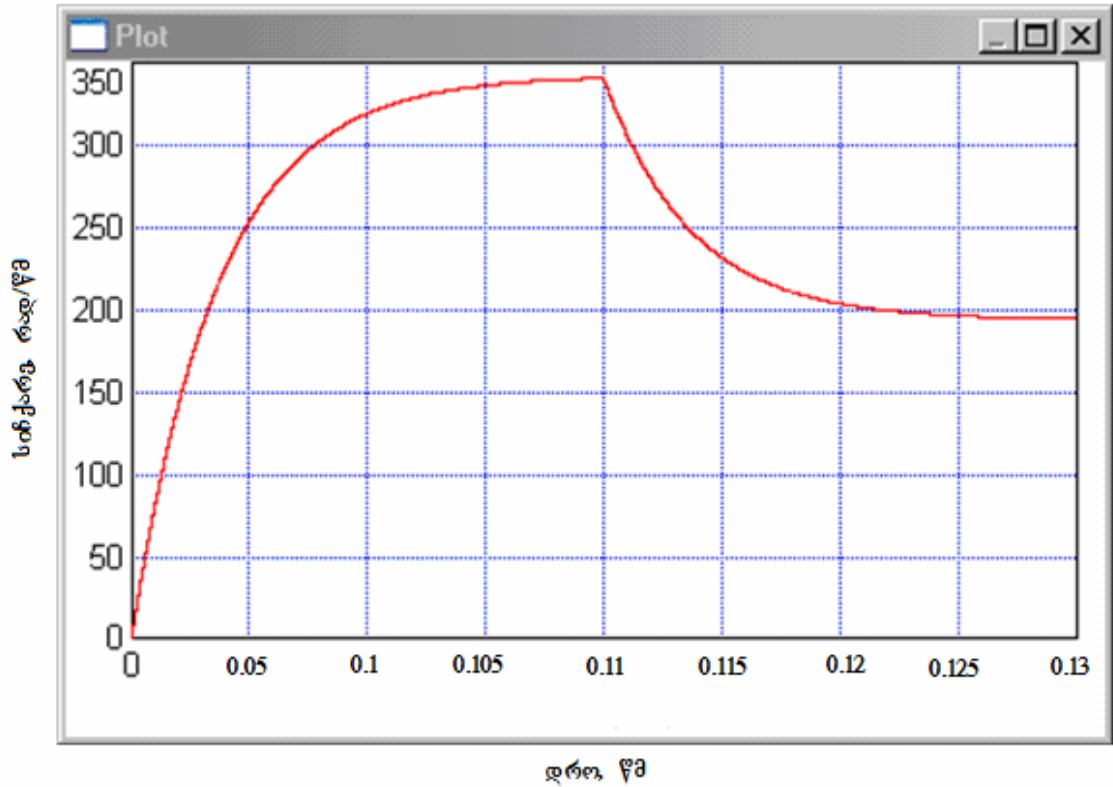
ნახ. №52 ამუშავება მაქსიმალური დატვირთვის ქვეშ



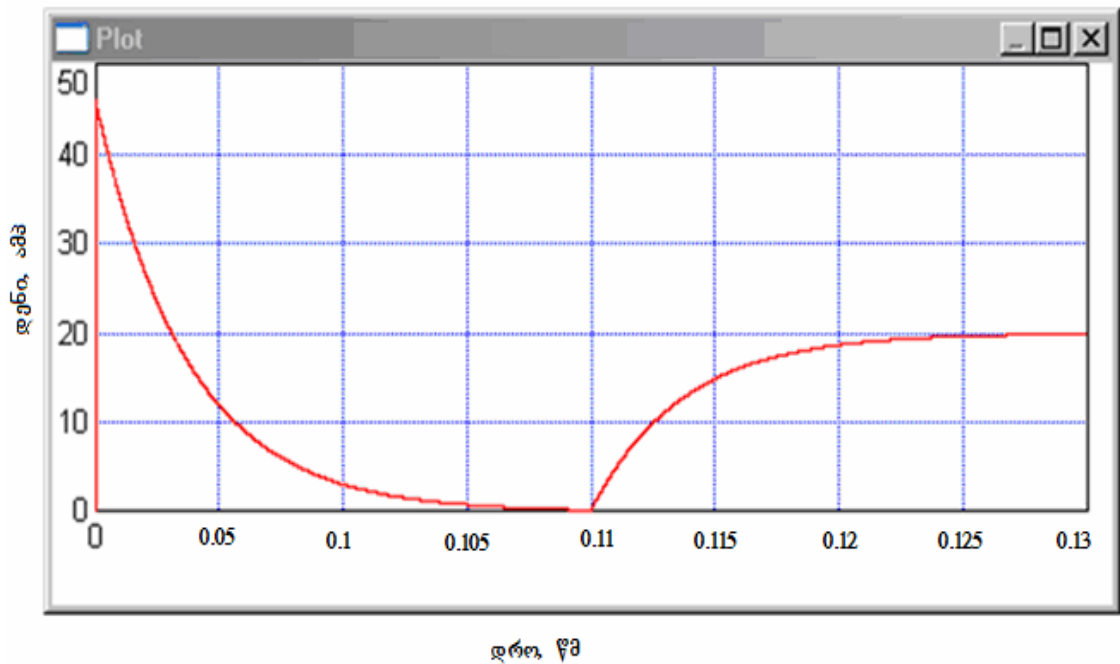
ნახ. №53 მაქსიმალური მომენტით დატვირთული ძრავის ამუშავება



ნახ. №54 ნომინალური მომენტით დატვირთული ძრავის ამუშავება, დენის ცვლილება საწყისი მონაკვეთისათვის

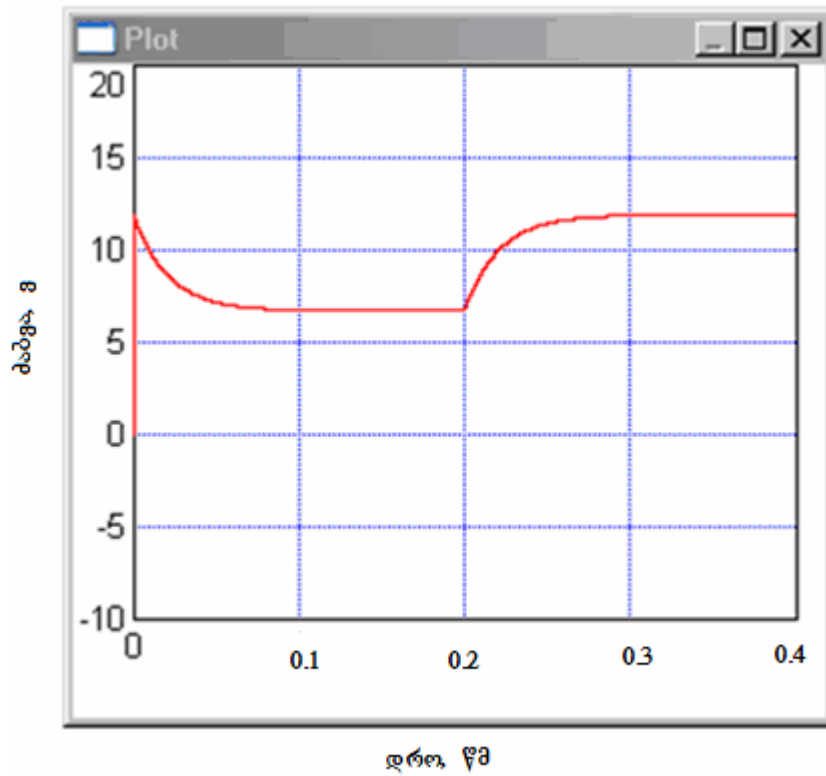


ნახ. №55 ამუშავება უქმ სვლაზე, 0.11 წმ-ის შენდგომ დატვირთვის ნახტომისებურად მოდება, სიქარის ცვლილების გრაფიკი

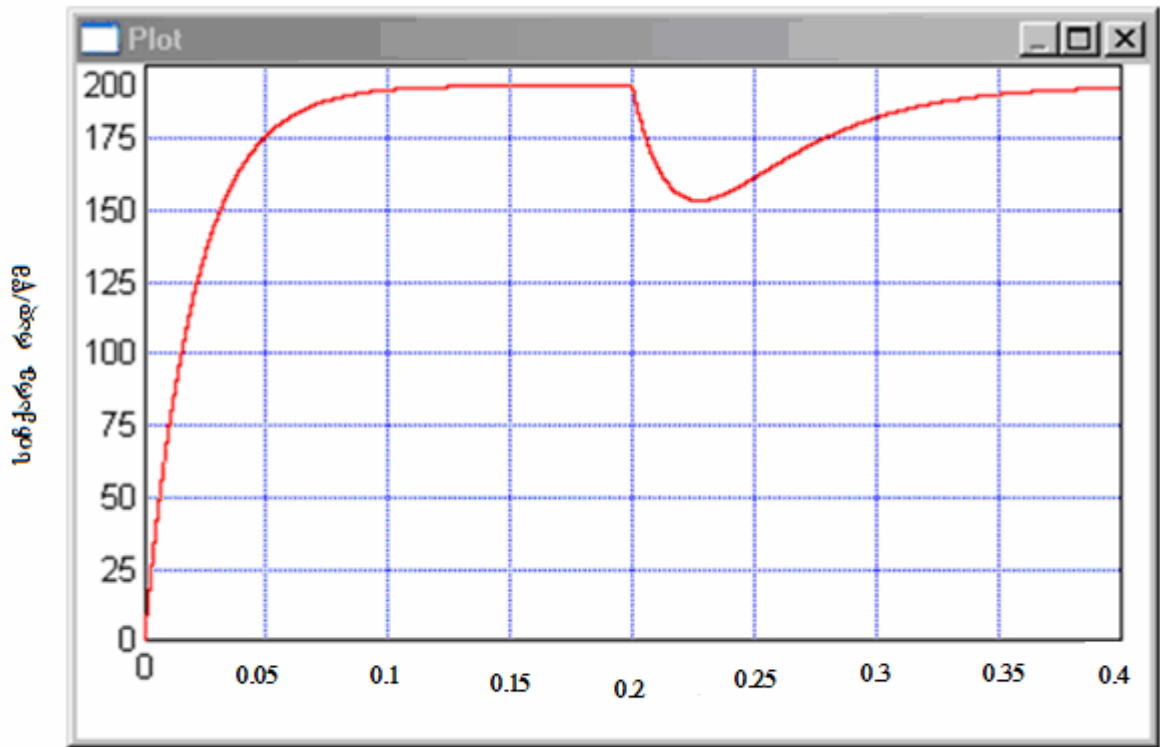


ნახ. №56 ამუშავება უქმ სვლაზე, 0.11 წმ-ის შენდგომ დატვირთვის ნახტომისებურად მოდება, დენის ცვლილების გრაფიკი

დახურული სისტემა პროპორციულ-იმპულსური(პი) რეგულატორით
 ამუშავება უკმ სელაზე, 2 წმ-ის შემდეგ დატვირთვის
 ნახტომისებურად მოდება.



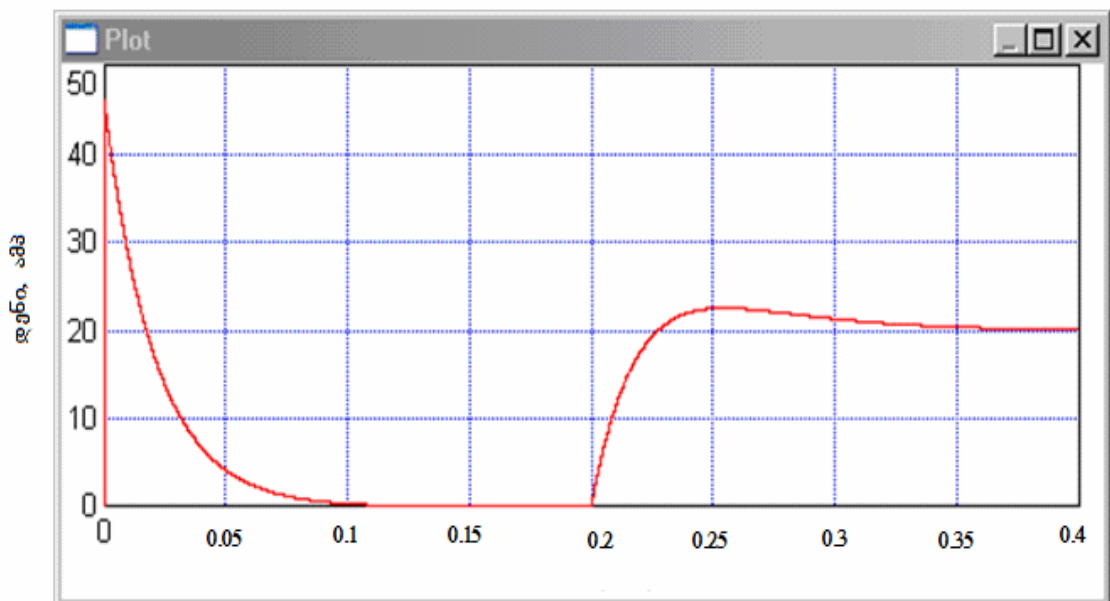
ნახ. №57 ძაბვის ცვლილება ტრანზისტორული გარდამსახის
 გამოსასვლელზე, დახურულ სისტემაში დატვირთვის ნახტომისებური
 მოდების შემთხვევაში



დრო წმ

ნახ. №58 იგივე რეჟიმი სიქარისათვის

დენი:



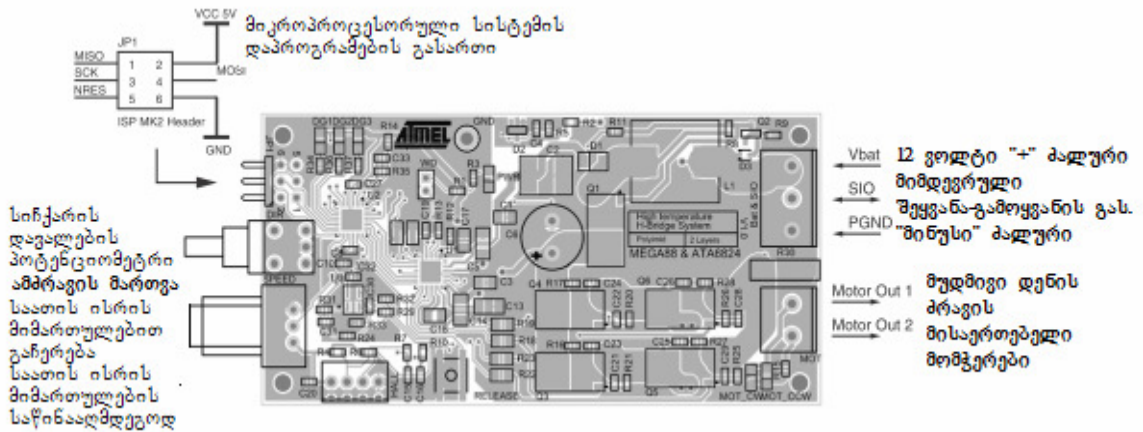
დრო წმ

ნახ. №59 იგივე რეჟიმი დენისათვის

მე-4 თავის დასკვნები:

1. მიღებულია ძრავის სრულფასოვანი მათემატიკური მოდელი.
2. მოდელის მიხედვით ავაგეთ სტატიკური დინამიკური და სისშირული მახასიათებლები.
3. მიღებულია გარდამსახის მათემატიკური მოდელი.
4. მიღებულია გარდამსახის გადაცემის ფუნქციები სხვადასხვა შემთხვევებისათვის.
5. შესწავლილია გარდამსახის დროის მუდმივებზე და წმინდა დაყოვნებებზე დატვირთვის გავლენა და მიღებულია ანალიტიკური გამოსახულება.
6. მიღებულია გარდამსახის სისშირული მახასიათებლები.
7. დამუშავებულია გარდამსახის მართვის სქემა სიჭარბის გარეშე თანამედროვე მათემატიკური აპარატის გამოყენებით.
8. მიღებულია გარდამავალი რეჟიმის ხარისხის მაჩვენებლები.
9. სისტემას აქვს მისაღები ხარისხი.
10. ამ ეტაპზე უფრო ღრმა და შორსმომავალი დასკვნების გაკეთება ძნელია მოწყობილობის ფიზიკური არარსებობის გამო.

თავი 5 ტექნოლოგიური ნაწილი



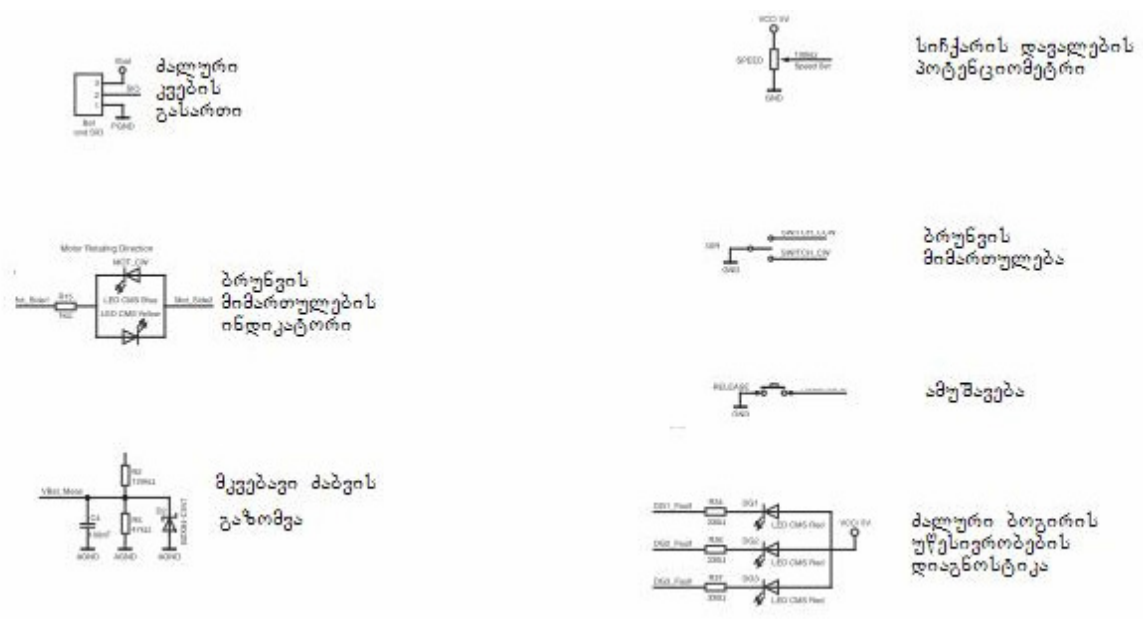
ნახ. № 60 მუდმივი დენის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის
მოწყობილობა

ნებისმიერი მოწყობილობის კვლევის დასკვნით ეტაპზე, განსაკუთრებით თუ მოწყობილობა არის ექსპერიმენტული, მკვლევარს უნდა სურვილი ეს მოწყობილობა ფიზიკურად განახორციელოს და დაამზადოს. ეს კვლევის შედეგს მისცემს სხვა მნიშვნელოვან ფუნქციებს – მათი ფიზიკური კვლევის საშუალებები გაჩნდება. სამრეწველო დიდი სერიებით წარმოებული მოწყობილობებისაგან განსხვავებით ახალბედა მოწყობილობის სქემური შესრულების წიაღში ბუდობს უამრავი ტექნოლოგიური ნაკლოვანება და ხარვეზები. როგორც სხვადასხვა ტექნიკის შექმნის ისტორია მოგვითხრობს ეს არის რთული და საინტერესო საქმიანობა, რომელსაც მთელ მსოფლიოში მრავალი ადამიანი განსაკუთრებით ახალგაზრდა დღესაც მისდევს და ასეთი ტიპის ხალხს ზოგადად Free Lancer-ს ეძახიან. იქიდან გამომდინარე, რომ მოწყობილობა ექსპერიმენტულია უმჯობესია ის მოდულური პრინციპით ავაწყოთ.

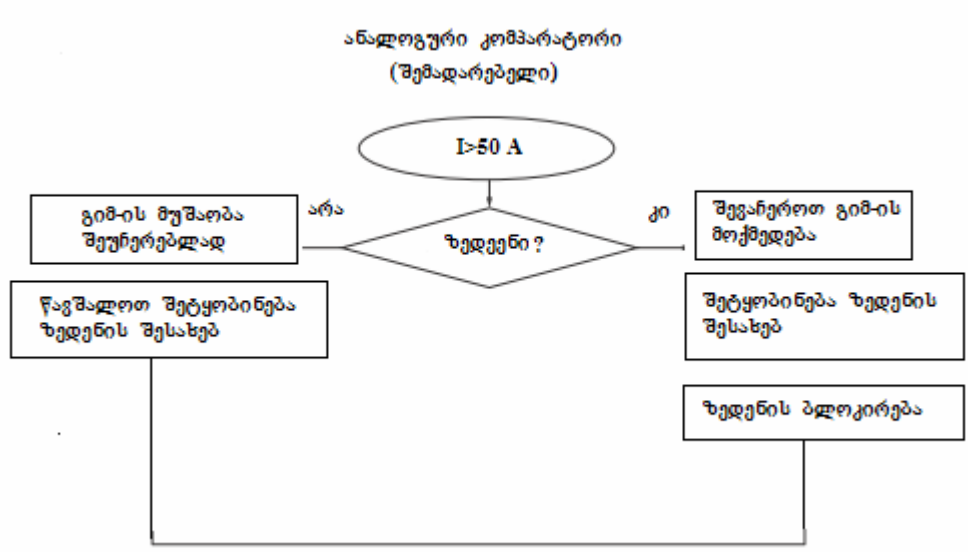
აქ შემდეგი მოდულები გვექნება:

- 1- ძალური ტრანზისტორების ბოგირი,
- 1A- დენის კომპარატორი,
- 2- ძალური ბოგირის დრაივერი,
- 2A-ძალური ბოგირის დრაივერის კვების სტაბილიზირებული წყარო,

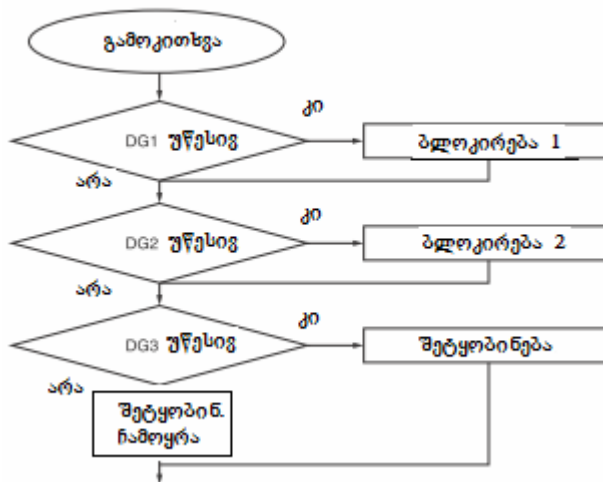
- 3- მიკროკონტროლერის მოდული,
- 3A- კვების ძაბვის მზომი მოდული,
- 3B- ძალური ბოგირის დიაგნოსტიკის მოდული,
- 3C- მიკროკონტროლერის დაპროგრამების **ISP** მოდული,
- 3D- ძრავის ბრუნვის მიმართულების სამპოზიციანი გადამრთველი,
- 3 E -სისტემის ამუშავების დილაკი,
- 4- ბატარეისგან კვების გასართი,
- 4A- ძრავის სიჩქარის დავალების პოტენციომეტრი,
- 4B- ძაბვის არსებობის ინდიკატორი 5 ვოლტი,
- 5 -ძრავის მიმართულების ბრუნვის ინდიკატორი(წინ/უკან),
- 6 –ძრავის ღუზის წრედის მიერთების გასართი, ჰოლის სენსორებით უკუ კავშირის მოწყობილობა(სიჩქარის უკუ-კავშირი).



ნახ. № 62 მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის დამხმარე მოდულების პრინციპიალური სქემები

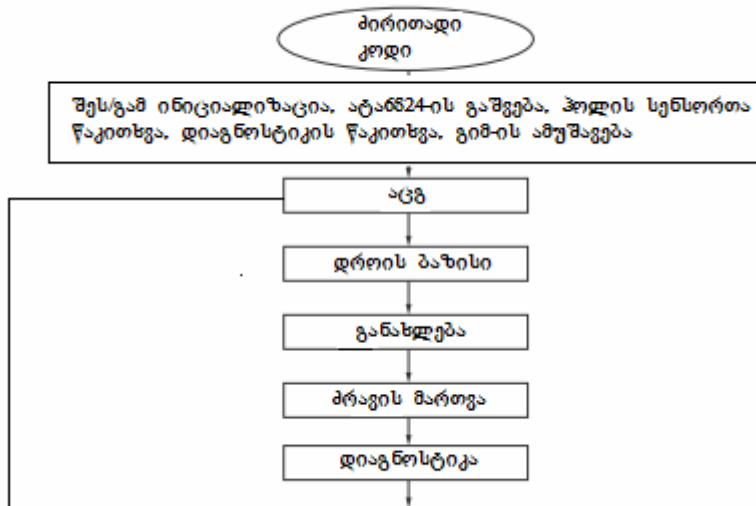


დიაგნოსტიკური მოდული



ნახ. №63 ანალოგური კომპარატორის და დიაგნოსტიკის მოქმედება

სისტემის ძირითადი მუშა ციკლი



ნახ. №64 მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის ძირითადი მუშა ციკლი

ყველა ეს მოდული და მათი კომპონენტების რაოდენობა და ტიპები მოყვანილია ქვემოთ ცხრილში.

ცხრილი №20 მუდმივი დენის Ford 1BB-42 ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის კომპონენტთა ნუსხა და ფუნქციონალური დანიშნულება მოდულების მიხედვით

№	მოდულის აღნიშვნა და ფუნქციონალური დანიშნულება	კომპონენტი	აღნ. სქემაზე	ტიპი	ნომინალი	რა-ბა/ფასი ცალი/\$
1	1, ძალური ბოგირი	ტრანზისტორები	Q ₃ Q ₄ Q ₅ Q ₆	SUD50N04	50 A 40 V	4/20
		რეზისტორები	R ₁₈ R ₁₉ R ₂₂ R ₂₃		10 Ω	4/0.1
		რეზისტორები	R ₂₀ R ₂₁ R ₂₅ R ₂₆		470 kΩ	4/0.1
		კონდენსატორები	C ₂₁ C ₂₂ C ₂₈ C ₂₉		10 nF	4/0.3
		რეზისტორები	R ₁₆ R ₁₇ R ₂₇ R ₂₈		4.7 Ω	4/0.1
		კონდენსატორები	C ₂₃ C ₂₄ C ₂₅ C ₂₆		4.7 nF	4/0.3
2	1A, დენის კომპარატორი	კონდენსატორი	C ₃₁		1 nF	1/0.1
		რეზისტორი	R ₃₁		2.2 kΩ	1/0.05
		რეზისტორი	R ₂₄	პრეცეზიული	249 kΩ	1 /0.05
		კონდენსატორი	C ₃₂		100 nF	1/0.1
		ოპერაციული მაძლიერებელი	U ₃	OPA333 Texas Instruments		1/0.4
		რეზისტორი	R ₃₃	პრეცეზიული	249 kΩ	1/0.2
		კონდენსატორი	C ₃₀		100 pf	1/0.2
		რეზისტორები	R ₂₉ R ₃₂		10 kΩ	2/0.1
		მზომი შუნტი	R ₃₀	Defect>20a , V _{shunt} =100 mv	5 MΩ	1/2

№	მოდულის აღნიშვნა და ფუნქციონალური დანიშნულება	კომპონენტი	აღნ. სქემაზე	ტიპი	ნომინალი	რა-ბა/ფასი ცალი/\$	
				$V_{\text{ampl}}=2.5 \text{ v}$			
3	2, ძალური ბოგირის დრაივერი ATA 6824	დიოდი	D₁	GF1G		1/0.2	
		კონდენსატორი	C₁	ელექტროლიტ.	50v 10 mf	1/0.2	
		კონდენსატორი	C₂		50v 100 nf	1/0.2	
		ძალური ბოგირის დრაივერის მიკროსქემა	U₁	ATA6824		1/5	
		კონდენსატორი	C₁₇		220 nf	1/0.1	
		რეზისტორი	R₁₂		51 kΩ	1/0.1	
		რეზისტორი	R₁₃		10 kΩ	1/0.1	
		კონდენსატორი	C₁₉		330 pf	1/0.1	
3	2, ძალური ბოგირის დრაივერი ATA 6824	კონდენსატორი	C₁₃		470 nf	1/0.1	
		კონდენსატორი	C₁₈		220 nf	1/0.1	
		კონდენსატორი	C₃		50 v 100 nf	1/0.1	
		კონდენსატორი	C₅		2.2 mf	1/0.1	
4	2A, დრაივერის სტაბილიზირებული კვების წყარო	რეზისტორი	R₉		10 kΩ	1/0.1	
		დიოდი	D₃	BAS16		1/0.2	
		ტრანზისტორი	Q₂	BC817-40		1/0.3	
	4	2A, დრაივერის სტაბილიზირებული კვების წყარო	ინდუქციური კოჭა(ჰაერი)	L₁		6 mH	1/1
			რეზისტორი	R₈		470 kΩ	1/0.1
			ტრანზისტორი	Q₁	SUD50N04		1/5
			რეზისტორი	R₁₁		10 kΩ	1/0.1
		კონდენსატორი	C₁₄		470 nf	1/0.2	

№	მოდულის აღნიშვნა და ფუნქციონალური დანიშნულება	კომპონენტი	აღნ. სქემაზე	ტიპი	ნომინალი	რა-ბა/ფასი ცალი/\$
		კონდენსატორი	C₆		100 mf, 50 v	1/0.1
5	3, მიკროკონტროლერის მოდული ATMega88	რეზისტორი	R₁		10 kΩ	1/0.1
		კონდენსატორი	C₂₇		100 nf	1/0.1
		რეზისტორი	R₁₄		120 kΩ	1/0.1
		კონდენსატორი	C₃₃		100 nf	1/0.1
		რეზისტორი	R₃₅		120 kΩ	1/0.1
		კონდენსატორი	C₈		100 nf	1/0.1
		კონდენსატორი	C₁₀		100 nf	1/0.1
		მიკროკონტროლერი	U₂	ATMega88		1/7
6	3A, კვების ძაბვის მზომი მოდული	რეზისტორი	R₂		120 kΩ	1/0.1
		კონდენსატორი	C₄		100 nf	1/0.1
		რეზისტორი	R₅		47 kΩ	1/0.1
		სტაბილიტრონი	D₂	BZX84-C5V1		1/0.1
7	3B, ძალური ბოგირის დიაგნოსტიკის მოდული	რეზისტორები	R₃₄ R₃₆ R₃₇		330 omi	3/0.1
		შუქდიოდები	DG₁ DG₂ DG₃	Led CMS Red		3/0.1
8	3C, მიკროკონტროლერის პროგრამატორის გასართი		ISP	6 pin male		1/2
9	3D, სამპოზიციანი		DIR			1/3

№	მოდულის აღნიშვნა და ფუნქციონალური დანიშნულება	კომპონენტი	აღნ. სქემაზე	ტიპი	ნომინალი	რა-ბა/ფასი ცალი/\$
	გადამრეველი (ძრავის ბრუნვის მიმართულების არჩევა).					
10	E, ღილაკი		Release PB			1/3
111	4, ბატარეული კვების მიერთების გასართი		Bat	3-ფეხა		1/2
12	4A, ძრავის ბრუნვის სიჩქარის რეგულირების პოტენციომეტრი		Speed		100 kΩ	1/2
13	4B, ხუთი ვოლტის ძაბვის არსებობის ინდიკატორი	რეზისტორი	R ₃		330 Ω	1/0.1
		შუქდიოდი		Led CMS Green		1/0.2

№	მოდულის აღნიშვნა და ფუნქციონალური დანიშნულება	კომპონენტი	აღნ. სქემაზე	ტიპი	ნომინალი	რა-ბა/ფასი ცალი/\$
1 4	5, ძრავის ბრუნვის მიმართულებების მაჩვენებელი	რეზისტორი	R₁₅		1 kΩ	1/0.1
		შუქდიოდი	MOT_ CW	Led CMS Blue		1/0.2
		შუქდიოდი	MOT_ CCW	Led CMS Yellow		1/0.2
1 5	6, ძრავის ღუზის მიერთების გასართი		MOT			1/2
1 6	7, ჰოლის სენსორების სიჩქარის სიგნალის ფორმირების და მიკროკონტროლერში შეყვანის მოდული.	რეზისტორები	R₇ R₁₀		47 kΩ	2/0.1
		რეზისტორები	R₄ R₆		10 kΩ	2/0.1
		კონდენსატორები	C₁₅ C₁₆		1 nf	2/0.1
		ჰოლის სენსორები	H₁ H₂	Honeywell SCR-3C	მოქმ. მუდმივი მაგნიტის სამხრეთ პოლუსზე.	2/10
		მუდმივი მაგნიტები			მაგრდ ძრავის ლილეზე.	2/1

№	მოდულის აღნიშვნა და ფუნქციონალური დანიშნულება	კომპონენტი	აღნ. სქემაზე	ტიპი	ნომინალი	რა-ბა/ფასი ცალი/\$
1 7	8, ძრავები Ford 1BB-42				12 V, 240 W, 1470 ბრ/წთ	2/10 ჯამი : ~82 \$

დანახარჯები დამატებით ხელსაწყოებზე :

1. ოსცილოგრაფი მეხსიერებით 1 ც ----- ~ 800 \$
2. მართკუთხა იმპულსების გენერატორი Г-3-34 1ც----- ~50 \$
3. ბოდეს პლეტერი 1 ც----- ~500 \$
4. სხვადასხვა მოწყობილობა და მასალა----- ~ 100 \$

სულ მიახლოებით ; 1450 + 82 = 1532 \$

მე-5-ე თავის დასკვნები :

1. მოწყობილობის ფიზიკური დამზადებისთვის საცდელი მაკეტის სახით არ არის საჭირო დიდი თანხები(კომპონენტების საერთო ღირებულება მიახლოებით 82 \$, ხოლო დამზადების ხარჯები უცნობია.
2. მოწყობილობა ექსპერიმენტულია და აქედან გამომდინარე ნაადრევია საუბარი დანერგვაზე.

3. სხვადასხვა დამხმარე მოწყობილობაზე დანახარჯი მნიშვნელოვნად აღემატება საკუთრივ მოწყობილობის კომპონენტებზე დანახარჯებს 1450 \$.
4. საჭიროა დამზადება მოწყობილობის გაწვობა-ამუშავება და ბევრი სხვადასხვა ექსპერიმენტის ჩატარება, მხოლოდ ამის შემდეგ გამოიკვეთება დანერგვის პერსპექტივა.
5. საცდელ მოწყობილობას დასჭირდება მექანიკური დატვირთვის მოდელი.

საერთო დასკვნა

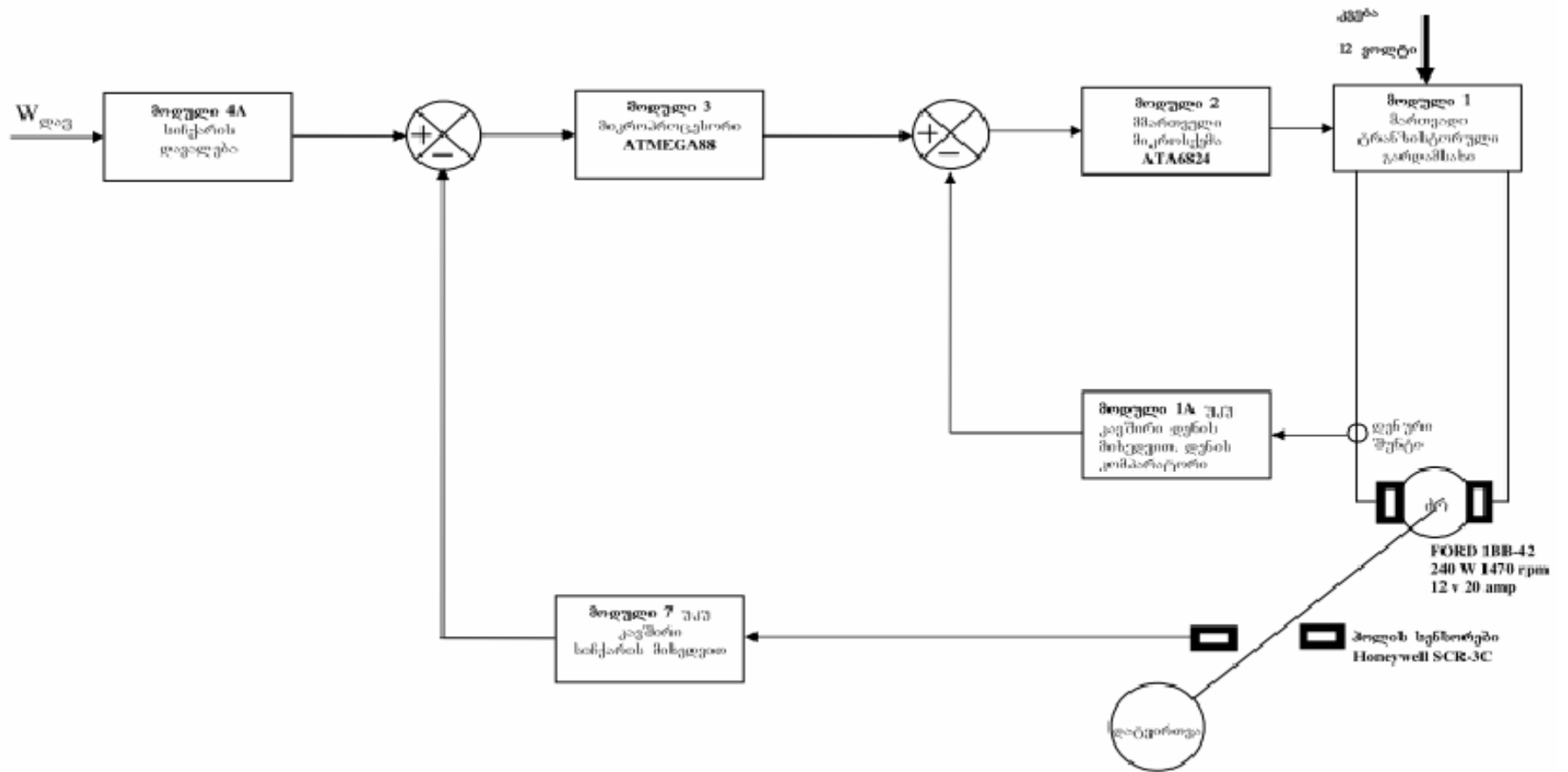
სადისერტაციო ნაშრომში “მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის კვლევა” ძირითადი აქცენტი გაკეთებულია მოწყობილობის ლოგიკური ნაწილის სქემური შესრულების რეალიზაციასთან დაკავშირებით ლოგიკური ფუნქციის დადგენასთან და ლოგიკურ კომპონენტთა ურთიერთშეერთებაზე, რისთვის გამოყენებული იყო ბულის ალგებრის მატემატიკური აპარატი. ექსპერემენტალური გზით შესწავლილია კონკრეტული მუდმივი დენის ძრავი და შესრულებულია ძრავის მათემატიკური მოდელი. რაც მოიცავს: ელექტრომაგნიტური და ელექტრომექანიკური დროის მუდმივების დადგენას, ძრავის გადამწოდი ფუნქციის დადგენას, ძრავის ამპლიტუდო სიხშირული და ფაზო სიხშირული ფუნქციების გამოსახულებების დადგენას და გრაფიკების აგებას. აგებული არის ძრავის ამუშავების და საფეხურებრივი ზემოქმედების გარდამავალი რეჟიმების გრაფიკები. შესწავლილია და დადგენილია ანალიტიკური ფორმით მათემატიკური ფორმულა რომელიც ასახავს დატვირთვის წინაღობის გავლენას ტრანზისტორული გარდამსახის წმინდა დაყოფნებაზე და დროის მუდმივაზე, რისთვისაც ჩატარებულია ელექტრონული სქემის დამუშავება და ამ სქემის ერთეულოვანი საფეხურებრივი ზემოქმედების ცდების ჩატარება, რაც საშუალება მოგვცა ტრანზისტორული გარდამსახის სრული მათემატიკური მოდელის სრულფასოვნად და ღრმად შეგვესწავლა. ნაშრომში მკაფიოდ ჩანს

ტენდენცია და ღრმად არის დასაბუთებული თანამედროვე ელემენტურ ბაზაზე გადასვლის საჭიროება კონკრეტული ექსპერემენტული მოწყობილობის მაგალითზე. ეს ელემენტური ბაზაა მძლავრი ველიანი ტრანზისტორები SUD50N04, ჰოლის სენსორები Honeywell SCR-3C და მიკროკონტროლერი ATMEGA88 მასთან მომუშავე სპეციალური მმართველი მიკროსქემა ATA6824. დამუშავებულია და პროგრამა Multisim-ში მაკეტის სახით მოქმედებს მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის მაკეტი. დასკვნით ნაწილში მოწყობილობა დაყოფილია სისშირულ კვანძებად და მიღებულია სტრუქტურული ავტომატური მართვის სქემა დენის და სიჩქარის რეგულირების კონტურებით. თვითოეული ელემენტისათვის(სისშირული კვანძისათვის) დადგენილია გადამწოდი ფუნქციის გამოსახულება, რაც მოგვცა საშუალება ერთიანად შეგვეკვრა მოწყობილობა სპეციალურ პროგრამა Vissim-ში და შეგვეფასებინა **გარდამავალი რეჟიმების ხარისხის მაჩვენებლები**, როგორცაა: სტატიზმი, ასტატიზმი, კვების წყაროს დინამიკური ძაბვის ვარდნა. **მიღებული შედეგები საშუალებას გაძლევენ ვიყოთ დარწმუნებული სისტემის მუშაუნარიანობაში და ტექნილოგიურ ვარჯისიანობაში** მუდმივი დენის ელექტროამძრავებში გამოსაყენებლად, რაც გარკვეულწილად ამ ნაშრომის მიზანს წარმოადგენდა. ნაშრომის ბოლოს წარმოდგენილია დანართი რომელშიც თავმოყრილია სისტემის ყველა ნაწილის პარამეტრები და მათემატიკური გამოსახულებები. აგრეთვე დანართში მოყვანილია ექსპერიმენტული მოდელირების გზით მიღებული გარდამავალი რეჟიმების მახასიათებელი გრაფიკები და მოწყობილობის პროგრამული მაკეტირების მოქმედი სქემები.

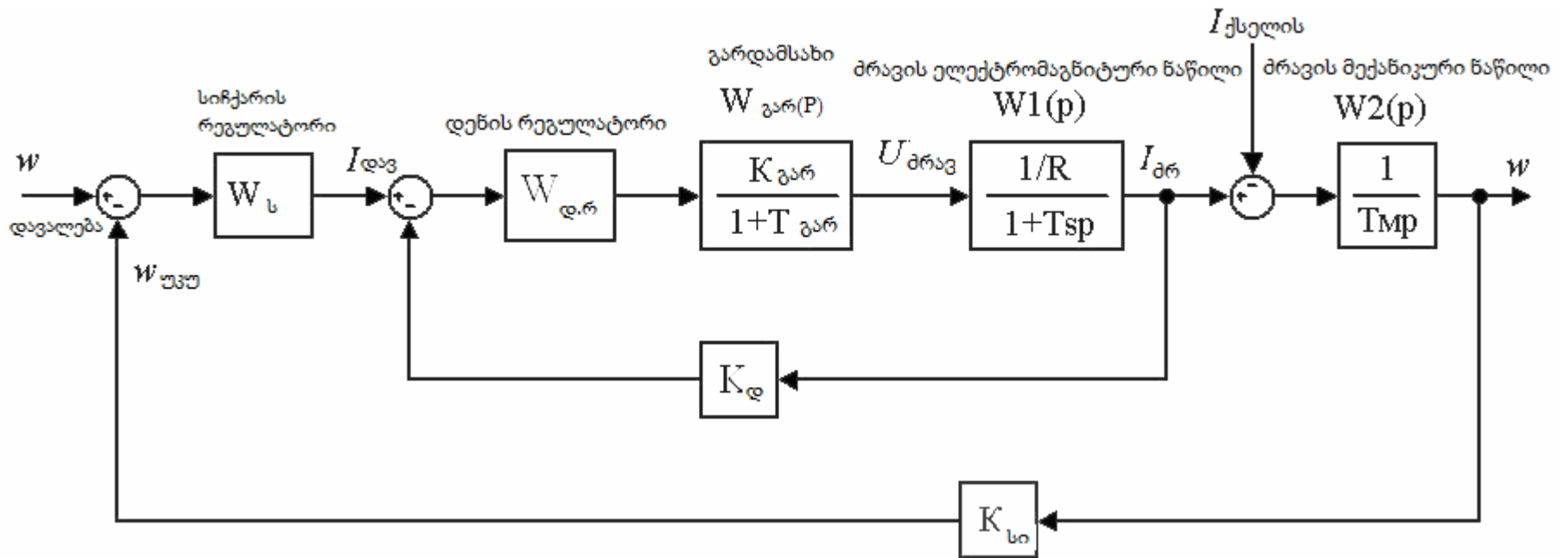
მიუხედავად საკმაოდ დიდი კვლევებისა, მოწყობილობის დამზადების და დეტალური გამოცდის და გაწყობის გარეშე ამ ეტაპზე შეუძლებელია დანერგვაზე სერიოზული საუბარი.

დანართი

1. მოდელირების ობიექტის პრინციპიალური ბლოკ-სქემა.
2. მოდელირების ობიექტის პრინციპიალური სტრუქტურული სქემა.
3. მულტისიმში აწყობილი მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის მაკეტი პროპორციულ-ინტეგრალური (პი) რეგულატორის გარეშე.
4. მულტისიმში აწყობილი მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის მაკეტი პროპორციულ-ინტეგრალური (პი) რეგულატორით.



ნახ. №1 მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის ბლოკ-სქემა

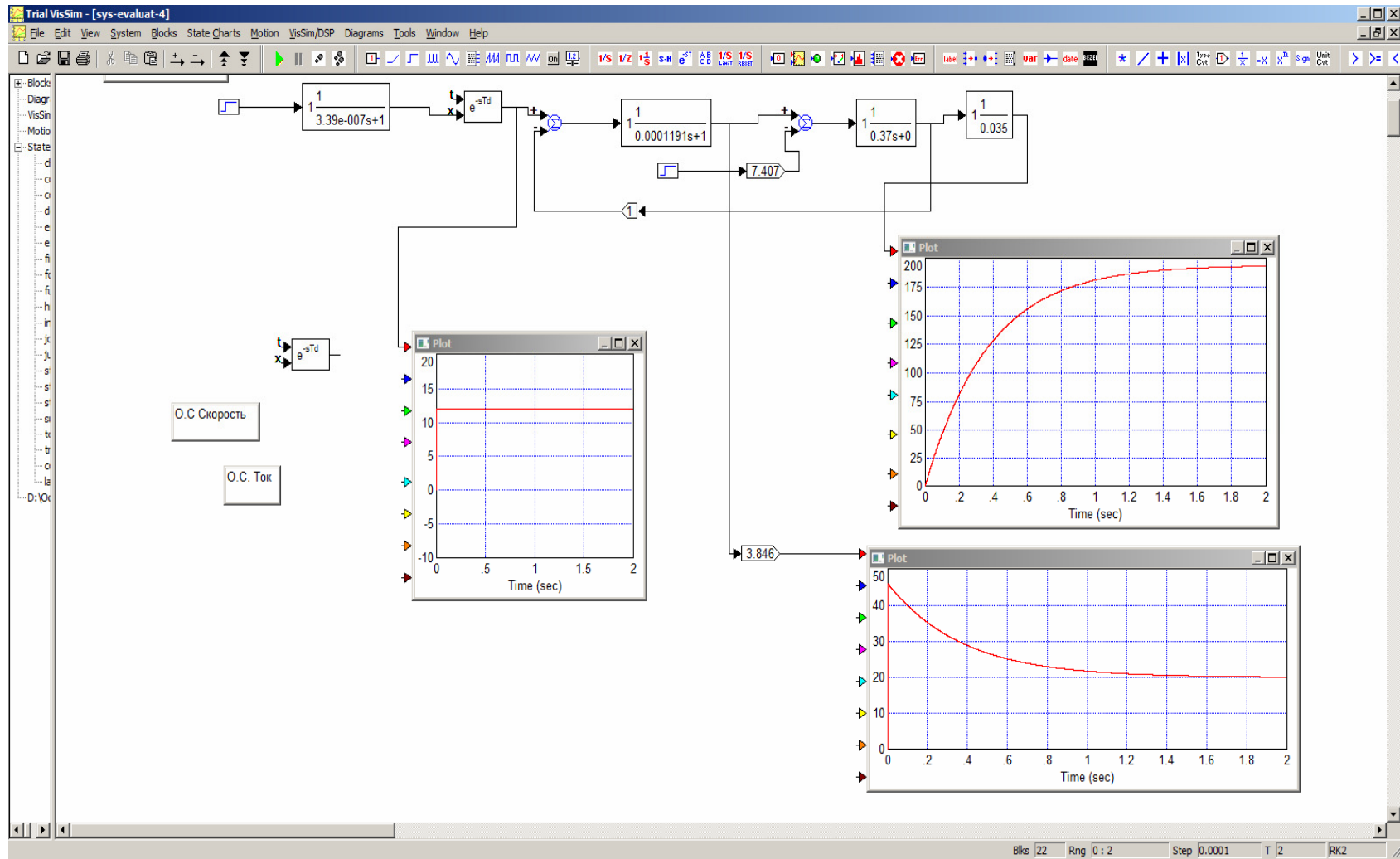


ნახ. №2 მუდმივი დენის ძრავის მართვის სტრუქტურული სქემა

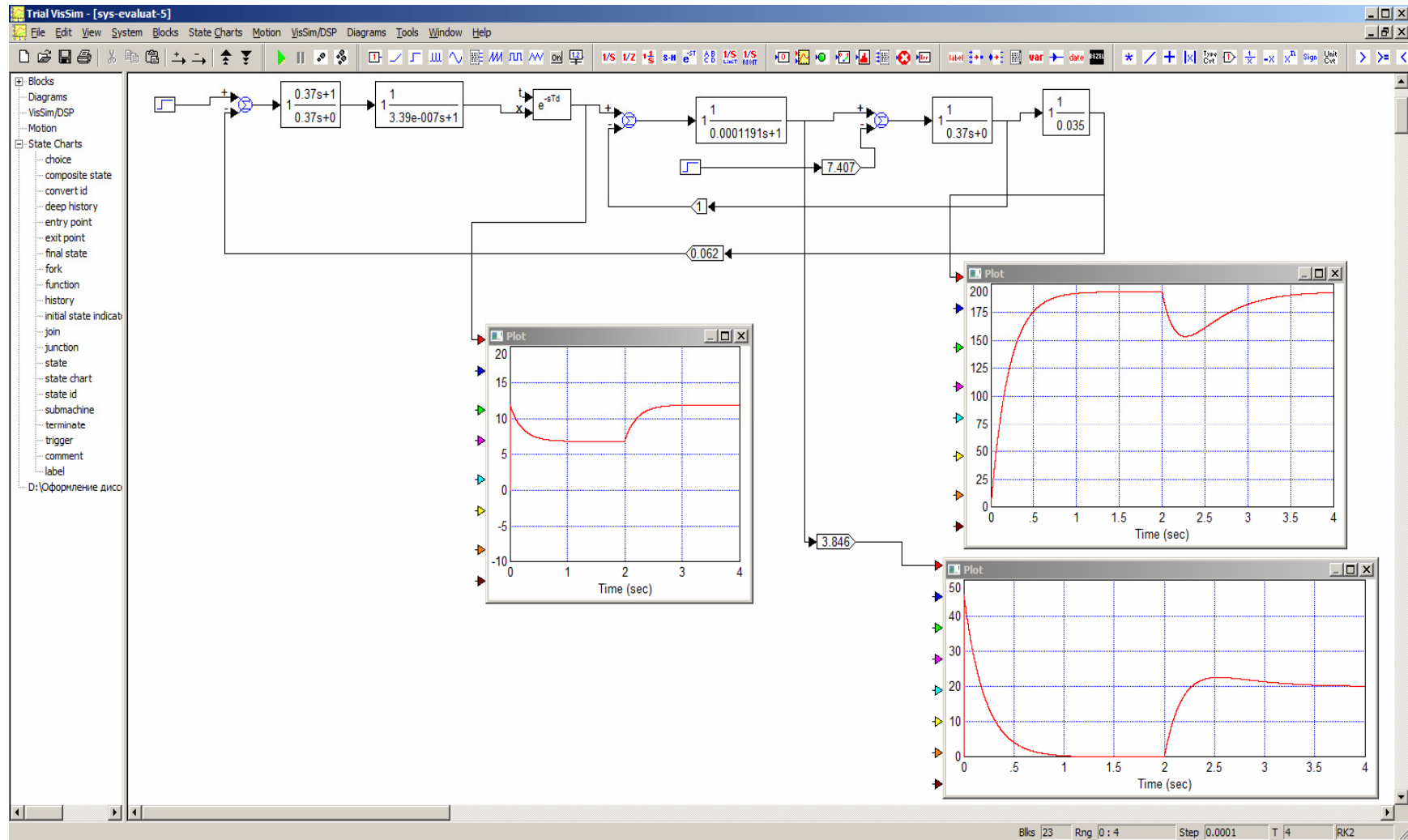
სქემაზე აღნიშნულია: $W_{გარ}(p)$ - გარდამსახის გადამწოდი ფუნქცია, $W_1(p)$ და $W_2(p)$ - შესაბამისად ძრავის ელექტრომაგნიტური და მექანიკური ნაწილების გადამწოდი ფუნქციები, $W_ს$ და $W_{დ.რ}$ შესაბამისად სიჩქარისა და დენის რეგულატორების გადამწოდი ფუნქციები, $K_დ$ და $K_{სი}$ - შესაბამისად სიჩქარისა და დენის სენსორთა გადაცემის კოეფიციენტები.

სქემის შესასვლელს ეწოდება სიჩქარის დავალება, ხოლო გამოსასვლელზე გვაქვს ელექტროამძრავის ბრუნვის სიჩქარე.

ნახ. № 3 მულტისიმში აწყობილი მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის მაკეტი პროპორციულ-ინტეგრალური (პი) რეგულატორის



ნახ. №4 მულტისიმში აწყობილი მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის მაკეტი პროპორციულ-ინტეგრალური (პი) რეგულატორით



გამოყენებული ლიტერატურის სია

- 1 აფანასьев А.Ю Моментный электропривод. К. 1997 г.
- 2 Белов М.П, Новиков В.А, Рассудов Л.Н Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов.М. 2007г.
- 3 Вешеневский С. Н. Характеристики двигателей в электроприводе. М. 1977 г.
- 4 Евзеров И. Х, Горобец А. С, Мошкович Б. И. и др. Комплектные тиристорные электроприводы:Справочник; М. 1988г.
- 5 Зимин Е.Н, Кацевич В.Л, Козырев С.К Электроприводы постоянного тока с вентильными преобразователями. М. 1981г.
- 6 Иванов В.М Электроприводы с системами числового программного управления. У. 2006 г.
- 7 Ивоботенко Б. А., Козаченко В. Ф. Проектирование шагового электропривода. М. 1985 г.
- 8 Ишматов З.Ш. Микропроцессорное управление электроприводами и технологическими объектами. Полиномиальные методы. Е. 2007г.
- 9 Каракулов А.С. Микроконтроллерное управление асинхронным электроприводом запорной арматуры. Диссертация. 2005г.
- 10 Народницкий А.Г. Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов. С-П. 2004г.
- 11 Зимницкая В.В. Применение преобразователей частоты.
- 12 Ревко А.С Квазирезонансные импульсные преобразователи для систем точного электропривода постоянного тока. Диссертация. Ч. 2004 г.

- 13 Рудаков В.В и др. Асинхронные электроприводы с векторным управлением. Л. 1987 г.
- 14 Смирнов В.И Методы и средства функциональной диагностики и контроля технологических процессов на основе электромагнитных датчиков. Автореферат диссертации. Ульяновск 2001г.
- 15 Соколовский Г.Г Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. М. 2006 г.
- 16 Электроприводы с системами числового программного управления: учебное пособие / сост.– Ульяновск: УлГТУ, 2006.
- 17 ქვრივიშვილი ნ.მ მცირე სიმძლავრის მუდმივი დენის ძრავების პარამეტრების ექსპერიმენტული განსაზღვრა. "ენერჯია" №1(65) 2013 წ.
- 18 ქვრივიშვილი ნ.მ ელექტრონული სქემების დამუშავების პროგრამული პაკეტის Multisim-9 პრაქტიკული გამოყენება ტირისტორული მართვადი გამმართველის და სიმისტორული ცვლადი ძაბვის რეგულატორის მაგალითებზე. "ენერჯია", №3(67), 2013 წ.