

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ნიკოლოზ ქვრივიშვილი

**მუდმივი დენის პრაგის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის
კვლევა**

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2014 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის

----- ფაკულტეტის

----- დეპარტამენტის

----- მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: -----

რეცენზენტები: -----

დაცვა შედგება ----- წლის ”-----” -----, ----- საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის -----

----- ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს

კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი -----, აუდიტორია -----

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა – სტუ-ს ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი -----

Resume

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 behaviour 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 trinsient time is explored and graphically represented with find out the math formula of the dependance. 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 discribed 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.

1. კვლევის აქტუალობა

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 მიმოხილვის მე-3-ე თავში(ავტომატიზაციის საშუალებები)). მიკროკონტროლიორი წარმოადგენს მიკროპროცესსორთა შედარებით მარტივ სახეობას, რომელიც ორიენტირებულია მართვის ამოცანების შესრულებაზე და როგორც წესი თანამედროვე მიკროკონტროლერები არიან 8-თანრიგიანი ერთკრისტალზე დამონტაჟებული მიკროპროცესსორი. 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 მიმოხილვის 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(Демченко).

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 სიაფესთან 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 ე.ი ტექნოლოგიური პროცესების გათანამედროვეობას და ზოგჯერ პირობების ცვლილებას ესაჭიროება ელექტროამძრავი გადაპროგრამირების საშუალებით რომელსაც აქვს უკონტაქტო ძალური ნაწილი მყარი რელების 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, ე.ი 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 უპირვილეს 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 ლილვების 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 სარეგო 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).

2. სამუშაოს მიზანი

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 მახასიათებლების აგება(ბოდეს დიაგრამები).
7. სპეციალური პროგრამების გამოყენებით ტრანზისტორული გარდამსახის გარდამავალი რეჟიმების შესწავლა.
8. გარდამავალი რეჟიმების ხარისხის პარამეტრების დადგენა(დროის მუდმივები, წმინდა დაყოვნება, გარდამავალი რეჟიმების ხანგრძლივობა
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.

3. კვლევის ობიექტი და მეთოდები



ნახ. №1 მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის მოწყობილობის ხედი

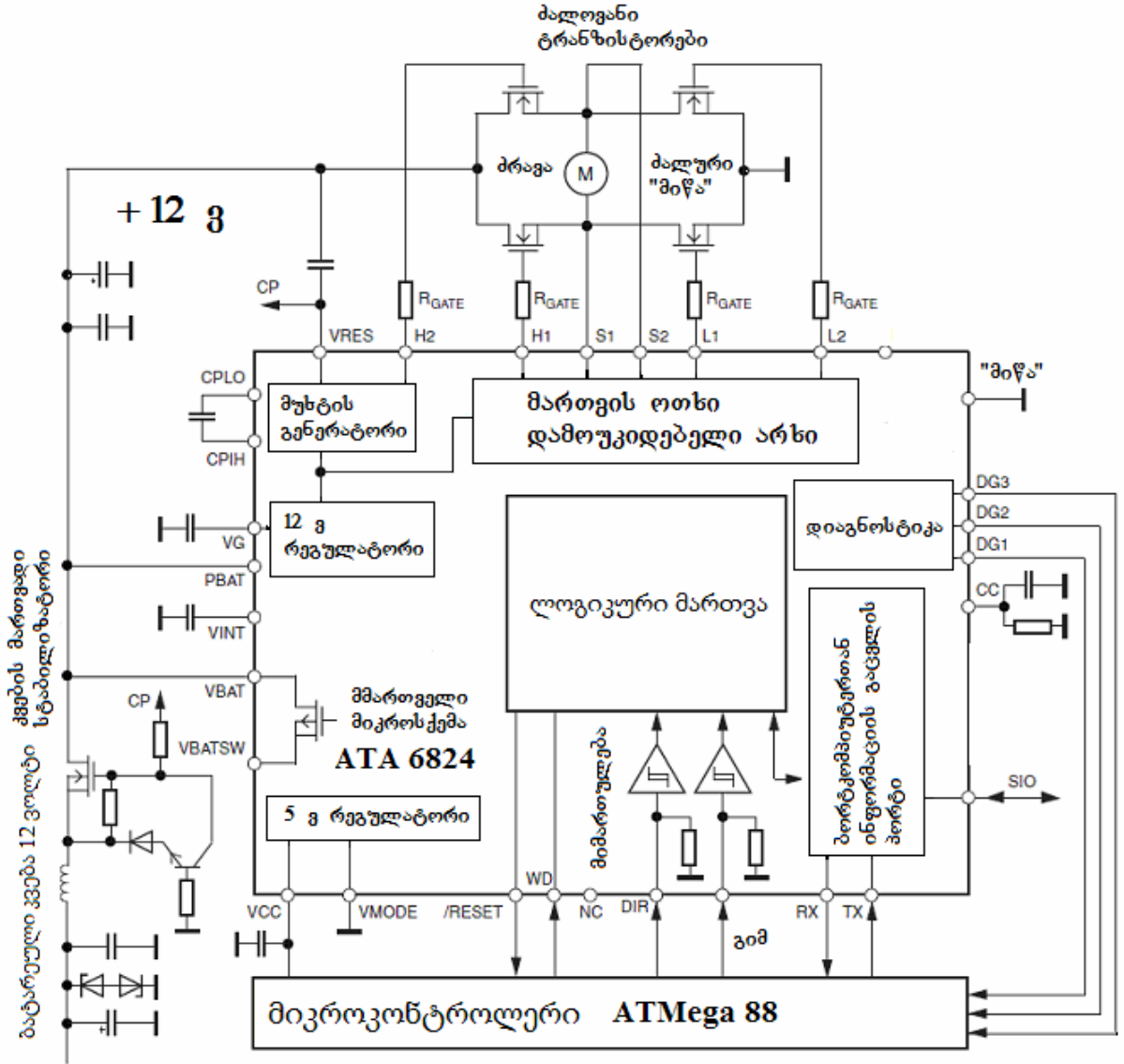
მუდმივი დენის ძრავის მართვის ლოგიკის დამუშავების ამოცანას სპეციალურ ლიტერატურაშიც კი ნაკლები ყურადღება ეთმობა, მაგრამ ეს ერთი შეხედვით მარტივი მიმართულება არ არის ტრივიალური. როგორც წესი სპეციალისტები საუბრობენ ამძრავებთან დაკავშირებულ სხვადასხვა პრობლემატიკაზე, მაგრამ ნაკლებად არის განხილული ამა თუ 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 დრმა 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 გვჭირდება 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 გვჭირდება 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:

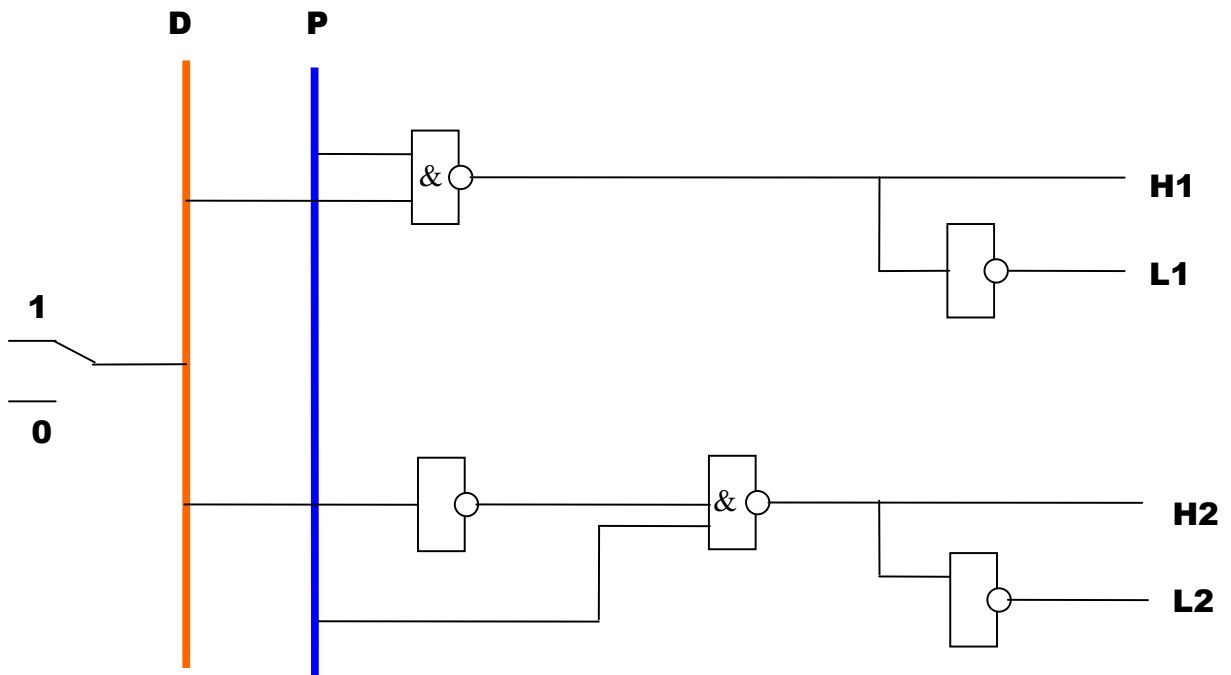
1. ჭეშმარიტების ცხრილის შედგენა.
2. ჭეშმარიტების ცხრილიდან გამომდინარე ლოგიკური ფუნქციის ლოგიკის ალგებრის განტოლების სახით შედგენა.
3. ლოგიკური ფუნქციის გარდაქმნა და გამარტივება ლოგიკის ალგებრის გამოყენებით.
4. ფუნქციიდან გამომდინარე ლოგიკური ელემენტების შერჩევა.
5. მიღებულ ლოგიკურ სქემის შესასვლელზე დისკრეტული სიგნალების ცვლილებით “0” და “1”, ვაკვერდებით 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 წარმოგიდგინოთ მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სქემის აბსტრაქტული სახე, რომელსაც ჩვენ ვიყენებთ კვლევის ობიექტზე წარმოდგენის შესაქმნელად. დასახული ამოცანის შესასრულებლად დაგვჭირდება ბულის ალგებრის

და დისკრეტულ მოწყობილობათა თეორიის ზოგიერთი კანონის გამოყენება, რაც მოკლედ განიხილება დისერტაციაში.



ნახ.2 მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის გამარტივებული პრინციპიალური სქემა



ნახ. №3 ლოგიკური ალგებრის მეთოდებით დამუშავებული ბოჯირის ძალოვანი ტრანზისტორების მართვის სქემა თანამედროვე კომპონენტებზე

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 დაგვჭირდებათ ჩვენი სისტემის მოდელირების დროს.

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

| ძრავის ელექტრომექანიკური მუდმივა | ძრავის ელექტრომაგნიტური მუდმივა | ძრავის გადამწოდი 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 დაეუბრუნდეთ 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 სინქარის. 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:**

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

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 გიგ-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 დინამიური და სტატიკური მახასიათებლები გამარტივებული საინჟინრო მეთოდის გამოყენებით, რაც მდგომარეობს მხების გავლებას გარდამავალი მახასიათებლის S წერტილში რომლის წარმოებულ(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 მხებს გარდამავალ მრუდთან, მხების 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 გავავლებთ AB მხებს $y(t)$ 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:

$$t = t_\tau + t_v \quad (2)$$

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

$$K = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \quad (3)$$

ობიექტის განსაზღვრული პარამეტრებით შეგვიძლია ჩავწეროთ განტოლება დროით ფორმაში:

$$\frac{Tdy(t)}{dt} + y(t) = K \cdot \Delta X \cdot (t - \tau) \quad (4)$$

და აგრეთვე ოპერატორულ ფორმაში, რომელიც ითვალისწინებს ობიექტის სიხშირულ თვისებებს:

$$W(p) = \frac{K \cdot e^{-p\tau}}{(T \cdot P + 1)} \quad (5)$$

იქედან გამომდინარე, რომ შეზღუდვები ვართ სისტემის ნატურაში კვლევის თვალსაზრისით, რადგან ამისათვის დაგეგმირდება 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 გაწყობის პროცესს, მაგრამ, ამასთან ერთად, რაც ჩვენს შემთხვევაში ყველაზე მთავარია, მოგვცემს საშუალებას სისტემის გამოკვლევა ჩავატაროთ სხვადასხვა

ძვირადღირებული აპარატურის შეძენის 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, გავაწყოთ, გადავიღოთ ოსცილოგრამები და დავამუშავოთ 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 მეთაედებში.

ახლა კი მუდმივი დენის ძრავის ძალური ბოგირის ვირტუალურ კომპონენტებზე აწყოების, გაწყოების და გამოცდის ექსპერიმენტს შევუდგეთ.

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, როგორცაა 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, ბოდეს პლოტერი, ლოგიკის ანალიზატორი და ა.შ, რომ არა ერი ვთქვათ ვოლტმეტრებზე,

ამპერმეტრებზე, სისწირმზომებზე. 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 მოდელების შექმნა, იმოდომ, 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 მოწყობილობაა.

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

1. სისტემის დინამიურ პარამეტრებზე დატვირთვის წინააღობის გავლენა.
2. გარდამავალი რეჟიმების მრუდების ოსცილოგრაფირების გზით მიღება.
3. ერთეულოვანი საფეხურებრივი 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 გამომყვანიდან ორი-ღუზის წვერებია, ორი ადგზნების, ხოლო ერთი- ძრავის ლილეია, 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, ადგზნების 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, დავიწყით 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 დაწვრილებით 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 დაგვავიწყდეს რომ ძრავის სიჩქარეზე დაკვირვება გვჭირდება, ამისათვის ძრავის მოდელს მულტისიმში 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 ოსცილოგრაფის საშუალებით დავაკვირდეთ ძრავის გაქანების გარდამავალ რეჟიმს. ამის შემდეგ გავიხსენოთ ის, რომ ძრავის სიჩქარის გარდა საჭიროა დავაკვირდეთ ღუზის დენსა და ძაბვას, რომლებზეც დაკვირვება უნდა ვაწარმოოთ ასევე ოსცილოგრაფით. ძაბვის ოსცილოგრაფირება წარმოებს უბრალოდ ოსცილოგრაფის ერთ-ერთი არხის ძრავის ღუზაზე მიერთებით. დენის მყისიერ მნიშვნელობებზე დაკვირვება კი, არ არის ასეთი ელემენტარული. ტექნიკაში დენის ოსცილოგრაფირებისათვის დატვირთვისთან 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 ოსცილოგრაფი გვეჩვენება რეზისტორზე ძაბვის ვარდნის სიგნალი, რომლის თვითოეული დროის მიმენტისთვის 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:

$$R_x = R_{20} + k \cdot R_{20} \quad (6)$$

ეს იმას ნიშნავს, რომ ცნობარებში მოცემულია რეზისტორების წინააღმდეგობის მნიშვნელობა, როცა მისი ტემპერატურა შეადგენს, ხოლო

რადაც x-ტემპერატურაზე ის გაიზრდება და იქნება დამოკიდებული წინააღობის 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 სინქარის დავალება ორმირდება პოტენციომეტრით, რომელიც აწვდის შესადარებელ(დავალების) 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 დავალების კონსტანტურ სიგნალს. როდესაც ხერხისებრი და დავალების 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 გაეხსნათ 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 დაგაშუნტოთ რაღაცა მცირე სიდიდის წინაღობის 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 ამადლებას. 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. №4 მძლავრი ველიანი ტრანზისტორი BLF7G20L-200

4. ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე

მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის კვლევის შედეგად კონკრეტული ძრავის Ford 1BB-42 და კონკრეტული მიკროკონტროლერის Atmega 88 –ის მაგალითზე მიღებულია შემდეგი ძირითადი შედეგები:

1. მიკროპროცესორული მართვის პრინციპიალური სქემა წარმოდგენილია ისეთი გამარტივებული და ამავე დროს ზუსტი სახით, რომელიც შესაძლებელს ხდის მის ანალიზს დრმა ტექნიკური დეტალების შესწავლის გარეშე.
2. მიღებულია ძრავის გადაცემის ფუნქცია.
3. აგებულია ძრავის სისწორული მახასიათებლები.
4. აგებულია ძრავის გარდამავალი მახასიათებლები.
5. შედგენილია და რუნგე-კუტის მეთოდით ამოხსნილია ძრავის დიფერენციალური განტოლებათა სისტემა მექანიკურ დატვირთვასთან ერთად.
6. დამუშავებულია ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის ძალური ნაწილის მართვის ლოგიკური სქემა ბულის ალგებრისა და ჭეშმარიტების ცხრილის გამოყენებით თანამედროვე ელემენტურ ბაზაზე.
7. ტრანზისტორული გარდამსახის გადაცემის ფუნქციის გამოსახულება დაუადგინეთ ექსპერიმენტული გზით, ელექტრონიკის მაკეტირების პროგრამული პაკეტის გამოყენებით Multisim 9.
8. აიგო ტრანზისტორული გარდამსახის სისწორული მახასიათებლები.
9. შესრულდა გარდამსახის გამოსასვლელი ძაბვის ექსპერიმენტული დამოკიდებულების ფორმულით აპროქსიმაცია.
10. დადგინდა რეგულირების ხარისხის ძირითადი მანევრებლები.

11. შესწავლილი იქნა ტრანზისტორული გარდამსახის მათემატიკური მოდელი.
12. ავტომატური მართვის წრედების ანალიზის პროგრამის Vissim-ის გამოყენებით მოხდა მუშაობის შემდეგი რეჟიმების სიმულაცია:
 1. ტრანზისტორული გარდამსახის ჩართვა უქმ სვლაზე.
 2. დაუტვირთავი ძრავის ამუშავება ტრანზისტორული გარდამსახიდან.
 3. ამუშავება მოდებული ნომინალური ტვირთით.
 4. მაქსიმალური მომენტით ძრავის ამუშავება.
 5. ამუშავება უქმ სვლაზე და დატვირთვის ნახტომისებურად მოდება.
 6. ძაბვის ცვლილება გარდამსახის გამოსასვლელზე დატვირთვის ცვლილების დროს.
13. დამუშავებულია მუდმივი დენის ძრავის მართვის სისტემის ტექნოლოგიური ნაწილი.
14. დამუშავებულია დეტალური პრინციპიალური სქემა.
15. შედგენილია ძირითადი კომპონენტების მართვის ალგორითმები.
16. დამუშავებულია მოწყობილობის კომპონენტთა დეტალური სია.
17. შეფასებულია სისტემის დამზადებასთან დაკავშირებით ფინანსური დანახარჯები.

მეცნიერული სიახლე: მიღებულია გარდამსახის გამოსასვლელზე ძაბვის სიდიდის დამოკიდებულება დატვირთვის რეჟისტორის წინააღმდეგობასთან ანალიზური სახით.

მიღებულია დროის მუდმივებისა და წმინდა დაყოვნებების ანალიზური დამოკიდებულება დატვირთვის რეჟისტორის წინააღმდეგობაზე.

მიღებულია გარდამსახის დროის მუდმივების და წმინდა დაყოვნებების მნიშვნელობები როგორც ძრავის დატვირთვისათვის, აგრეთვე აქტიური წინააღმდეგობისათვის.

დამუშავებულია მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის დიზაინის პრაქტიკული მეთოდოლოგია, რომელსაც არ აქვს ფუნქციონალური სიჭარბე.

5. შედეგების გამოყენების სფერო

გამოყენების სფერო მოიცავს ისეთ დანადგარებს სადაც საჭიროა სხვადასხვა პერიფერიული სისტემების მართვა საერთო ბორტკომპიუტერიდან, ამისათვის მოწყობილობა აღჭურვილია SIO(Serial Input Output) და SPI(Serial Programming Interface) გასართით. აგრეთვე ის შეიძლება გამოყენებული იქნას იქ სადაც რაღაცა მიზეზების გამო არ არის გათვალისწინებული მომსახურე პერსონალის ან ოპერატორის ყოფნა და არ არსებობს სინუსოიდური დენის სამრეწველო ქსელთან წვდომა. მოწყობილობა წინასწარი შეფასებით შეიძლება გამოყენებული იქნას გარემოს ტემპერატურის -70°C დან $+150^{\circ}\text{C}$ – მდე, რაც საშუალებას იძლევა ჩავაშენოთ ის რაღაც სპეციფიკური ფუნქციის შემსრულებელ ობიექტებში.

6. ცნობები დისერტაციის სტრუქტურაზე და შემადგენლობის შესახებ

დისერტაცია შეიცავს 132 გვერდს და შესდგება ექვსი თავისგან და დანართისაგან, სადაც მოყვანილია სხვადასხვა ტექნიკური დეტალები და საცდელი მაკეტები სხვადასხვა ცდების განსახორციელებლად. დისერტაცია შეიცავს 69 დიაგრამას, ნახაზს და ილუსტრაციას. ტექსტში ჩართულია 20 ცხრილი. კვლევა შესრულებულია მე-5-ე თავში, ხოლო დანარჩენი თავები, მე-6-ის გარდა დამხმარე და თხრობითი სახისაა, რომელიც მკითხველს აწვდის ინფორმაციას ამ სპეციფიკური დარგის პრობლემებზე, კვლევის ამოცანებზე და ა.შ. დისერტაციის მე-6-ე თავში

დეტალურად აღწერილია მოწყობილობის ძირითადი და დამხმარე მოდულები და მოყვანილია კომპონენტთა სია.

7. დისერტაციის ძირითადი შედეგები თავების მიხედვით

1 თავში სადისერტაციო თემის აქტუალობის დასაბუთება.

2 თავში ჩამოყალიბდა თანამედროვე ავტომატიზაციის ამოცანების ტექნიკური გადაწყვეტილების გზები და დასაბუთდა, რომ მიკროკონტროლერის გამოყენების შემთხვევაში მოწყობილობა იქნება შედარებით იაფი, მაგრამ ამისთვის საჭიროა ასეთი სისტემის კვლევის მეთოდების დამუშავება.

3 თავში მოკლედ განხილულია მყარსხეულიანი რელეს გამოყენების პერსპექტივა და სარელეო-კონტაქტორული სქემების მყარსხეულიანი რელეებით შეცვლის პერსპექტივა.

4 თავში განხილულია თანამედროვე მუდმივი დენის ელექტროამძრავები.

5 თავში ძრავის სტატიკური, დინამიური და სისწორული მახასიათებლების კვლევა, გადაცემის ფუნქციის გამოსახულების დადგენა. გარდამსახის დროის მუდმივების, გადაცემის ფუნქციის, წმინდა დაყოვნების კვლევის ცდები, ანალიზური სახით ექსპერიმენტული გზით მიღებული მონაცემების გამოსახულებების დადგენა, სისტემის ხარისხის მაჩვენებლების დადგენა და ა.შ.

6 თავში მოწყობილობის კომპონენტთა სიის შედგენა და ფინანსური დანახარჯების შეფასება.

8. ზოგადი დასკვნები

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 დაყოვნებაზე 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, პოლის 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 სიხშირულ კვანძებად და მიღებულია სტრუქტურული ავტომატური მართვის სქემა დენის და სიჩქარის რეგულირების კონტურებით. თვითოეული ელემენტისათვის(სიხშირული 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 გვაძლევს 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 მოდელების 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.

9. ინფორმაცია აპრობაციის შესახებ, მოხსენებები, სემინარები

კვლევის ზოგიერთ შედეგებზე გაკეთდა მოხსენება 17 აპრილს 2013 წელს ჩატარებულ აშშ-ს საერთაშორისო განვითარების სააგენტოს “ჰიდროენერგეტიკაში ინვესტიციების ხელშეწყობის პროექტისა” და საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ერთობლივ კონფერენციაზე, პრეზენტაციის სახით, თემაზე: “მუდმივი დენის ძრავის მიკროპროცესორული მართვის სისტემის დამუშავება”. კვლევის შედეგებზე ჩატარდა მოხსენებები კათედრის სემინარებზე და კოლოქვიუმებზე.

10. გამოქვეყნებული ნაშრომების სია

- 1 ქვრივიშვილი ნ.მ მცირე სიმძლავრის მუდმივი დენის ძრავების პარამეტრების ექსპერიმენტული განსაზღვრა. “ენერჯია” №1(65) 2013 წ.
- 2 ქვრივიშვილი ნ.მ ელექტრონული სქემების დამუშავების პროგრამული პაკეტის Multisim-9 პრაქტიკული გამოყენება ტრისტორული მართვადი გამმართველის და სიმისტორული ცვლადი ძაბვის რეგულატორის მაგალითებზე. ”ენერჯია”, №3(67), 2013 წ.