

ბიჯური ძრავები და მათი გამოყენების პრინციპები რობოტიკაში

თორნიკე მამიაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

რეზიუმე

განხილულია მობილური რობოტების ამძრავებისათვის ბიჯური ძრავის შერჩევის პრინციპები. წარმოდგენილია ბიჯური ძრავების ტიპები, მათი კონსტრუქციული თავისებურებანი, დადებითი და უარყოფითი მხარეები. გაანალიზებულია ბიჯური ძრავების მართვის მეთოდები, მათი გამოყენების თავისებურებანი. ასევე განხილულია ბიჯური ძრავის ამძრავის მართვის სისტემისათვის შემუშავებული ალგორითმის მუშაობის პრინციპები.

საკვანძო სიტყვები: მობილური რობოტი. ამძრავი. ბიჯური ძრავი. მიკროკონტროლერი. მართვის ადაპტური ალგორითმი.

1. შესავალი

მობილური რობოტების შემუშავებისას ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ფაქტორია მისი წონა. თანამედროვე მართვის სისტემები იმდენად დაიხვეწა, რომ მათი წონა შეიძლება უგულვებელყოფილ იქნეს, მობილური რობოტების წონას, ძირითადად, განსაზღვრავს შემსრულებელი მექანიზმები, ამძრავები და აკუმულატორის ბატარეების ტევადობა. ამძრავებში მუდმივი დენის ძრავებს გააჩნია ყველაზე მეტი წონა, ამიტომ, და რიგი სხვა მიზეზების გამო, მობილური რობოტების შემუშავებისას უპირატესობა ენიჭება ბიჯურ ძრავებს.

ბიჯური (იმპულსური) ძრავი, ისევე როგორც სხვა ნებისმიერი ტიპის ელექტრული ძრავი, კონსტრუქციულად შედგება როტორისაგან (მბრუნავი ნაწილი) და სტატორისაგან (უძრავი ნაწილი), იმ განსხვავებით, რომ სტატორზე მოწყობილია რამდენიმე გრაგნილი და რომლის როტორიც კუთხურ გადაადგილებას ასრულებს გარკვეული დისკრეტული კუთხით – ბიჯით სტატორის რომელიმე გრაგნილზე ძაბვის (ან იმპულსების თანმიმდევრობის მქონე მმართველი სიგნალის) მიწოდებისას [1].

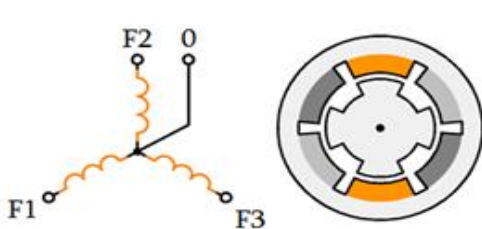
ბიჯური ძრავები ხასიათდება მაღალი საიმედოობითა და დაბალი ფასებით, ვინაიდან ისინი არ შეიცავს როტორის საკონტაქტო რგოლებსა და კოლექტორს, რის გამოც ფართოდ გამოიყენება რობოტების ამძრავებში. ამის გარდა, ბიჯური ძრავის უპირატესობა მდგომარეობს იმაში, რომ მას არ ესაჭიროება მუხრუჭის მექანიკური მოწყობილობა, ბიჯური ძრავი მუხრუჭდება ელექტრულად, მის პოლუსებზე ძაბვის დონის მიწოდებით.

განასხვავებენ სამი ტიპის ბიჯურ ძრავს: რეაქტიული ბიჯური ძრავები, ბიჯური ძრავი მუდმივი მაგნიტით (ბიჯური ძრავი აქტიური როტორით), ჰიბრიდული ბიჯური ძრავი, ყოველ მათგანს აქვს გარკვეული ნაკლოვანებები და უპირატესობანი [1].

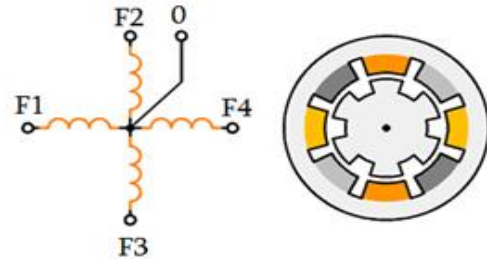
2. ბიჯური ძრავების ტიპები და მათი გამოყენება

რეაქტიული ბიჯური ძრავები, რომელთა როტორი დამზადებულია რბილი მაგნიტური მასალით (ფერომაგნიტური შენადნობის ფირფიტებით), რომელთა სტატორსაც აქვს 6 ცხადად გამოსახული პოლუსი და 3 ფაზა (ფაზაზე 2 პოლუსი) და 4 ცხადად გამოსახული პოლუსი როტორზე. ძრავის ასეთი კონსტრუქციისას როტორის მობრუნების ბიჯი ტოლია

30 გრადუსისა (ნახ.1). არსებობს რეაქტიული ბიჯური ძრავები, რომელთა სტატორსაც აქვს 8 ცხადად გამოსახული პოლუსი და 4 ფაზა (ფაზაზე 2 პოლუსი) და 6 ცხადად გამოსახული პოლუსი როტორზე. ძრავის ასეთი კონსტრუქციისას როტორის მობრუნების ბიჯი ტოლია 15 გრადუსისა (ნახ.2). ასეთი დიდი ბიჯის მქონე ძრავები გამოიყენება რობოტების იმ კვანძების ამძრავებში, რომლებსაც არ მოეთხოვება პრეციზიული (მაღალი სიზუსტის) პოზიციონირება.



ნახ.1. 3-ფაზა რეაქტიული ბიჯური ძრავი



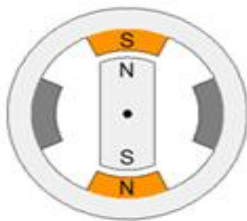
ნახ.2. 4-ფაზა რეაქტიული ბიჯური ძრავი

რეაქტიული ბიჯური ძრავის როტორს გააჩნია სტატორზე ნაკლები პოლუსები, რის გამოც მისი მობრუნების კუთხის ბიჯი ნაკლებია სტატორის პოლუსებს შორის კუთხეზე. ზოგადად, როტორის მობრუნების კუთხე ასეთ შემთხვევაში გამოითვლება ფორმულით:

$$\theta = \frac{360^\circ}{N_R} - \frac{360^\circ}{N_S}$$

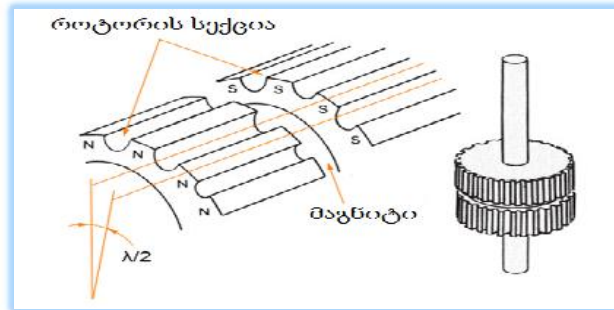
სადაც: N_R - როტორის პოლუსების რაოდენობა; N_S - სტატორის პოლუსების რაოდენობა.

ბიჯური ძრავი მუდმივი მაგნიტით (ბიჯური ძრავი აქტიური როტორით) – ამ ტიპის ბიჯური ძრავის როტორი დამზადებულია მუდმივი მაგნიტისგან. როგორც წესი, მის სტატორს აქვს 2 ფაზა (4 პოლუსი), ასეთი ბიჯური ძრავის როტორის მობრუნების კუთხის ნომინალური ბიჯია 90° და მინიმალური ბიჯია 45° (ნახ.3). ამ ტიპის ძრავებზე აგებული ამძრავები ნაკლებად გამოიყენება რობოტების იმ კვანძებში, რომელთა მოეთხოვებათ პოზიციონირების მაღალი სიზუსტე.



ნახ.3. ბიჯური ძრავი მუდმივი მაგნიტით - აქტიური როტორით

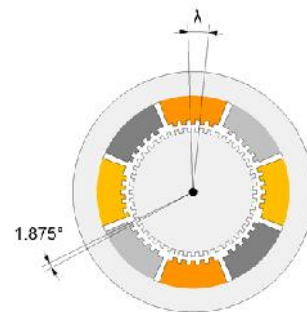
ჰიბრიდული ბიჯური ძრავი - შეიქმნა რეაქტიული და მუდმივ მაგნიტიანი ბიჯური ძრავების საუკეთესო თვისების გაერთიანების მიზნით, რამაც შესაძლებელი გახადა მნიშვნელოვნად შემცირებულიყო როტორის მობრუნების კუთხის ბიჯი. ჰიბრიდული ბიჯური ძრავის როტორი წარმოადგენს ცილინდრულ მუდმივ მაგნიტს, რომელიც დამაგნიტებულია ღერძის გასწვრივ (მუდმივი მაგნიტის N და S პოლუსები ღერძის გასწვრივაა განლაგებული), რომელზედაც მოთავსებულია რბილი მაგნიტური მასალისაგან დამზადებული კბილებიანი 2 სექცია (ნახ.4). ერთმანეთისადმი კბილის სიგანის ნახევრით წაძრული ყოველი სექცია, როგორც წესი, შეიცავს 48 კბილს, აქედან გამომდინარე როტორი ფაქტობრივად შეიცავს 96 გადაადგილებად პოლუსს საწინააღმდეგო პოლარობით.



ნახ.4. ჰიბრიდული ბიჯური ძრავის როტორის კონსტრუქცია

ჰიბრიდული ბიჯური ძრავის სტატორს, ჩვეულებრივ, 2 ან 4 ფაზა გააჩნია, სტატორის პოლუსების კბილები შეესაბამებია როტორის კბილებს, პოლუსებს შორის გამოტოვებული კბილების გამონაკლისით (ნახ.5).

ჰიბრიდული ბიჯური ძრავის სტატორის მომიჯნავე ფაზების ზოლების კბილები ერთმანეთის მიმართ წაძრულნი არიან კბილის λ დანაყოფის მეოთხედით, შედეგად ფაზებით რიგრიგობით აღზნებისას როტორი ბრუნავს კბილის დანაყოფის მეოთხედის ბიჯით, ანუ სრული ბრუნვისას ასრულებს $2 \cdot 96 = 192$ ბიჯს, რაც თავის მხრივ შეესაბამება როტორის მობრუნების $1,875^\circ$ - იან კუთხეს ყოველ ბიჯზე. ამდაგვარი კონსტრუქციული თავისებურებების შედეგად ჰიბრიდული ბიჯური ძრავი გამოსადეგარი გახადა რობოტების ისეთი მოძრავი კვანძების ამძრავებისათვის, რომლებმაც მაღალი სიზუსტით უნდა შეასრულონ პოზიციონირება (მაგალითად რობოტ ქირურგის მანიპულატორები).



ნახ.5. ჰიბრიდული ბიჯური ძრავის ჭრილი

3. ბიჯური ძრავის მართვის მეთოდები

ფაზების გრაგნილების მიხედვით განარჩევენ ბიჯურ ძრავების ორ ტიპს:

- უნიპოლარულს (ერთპოლარულს);
- ბიპოლარულს (ორპოლარულს).

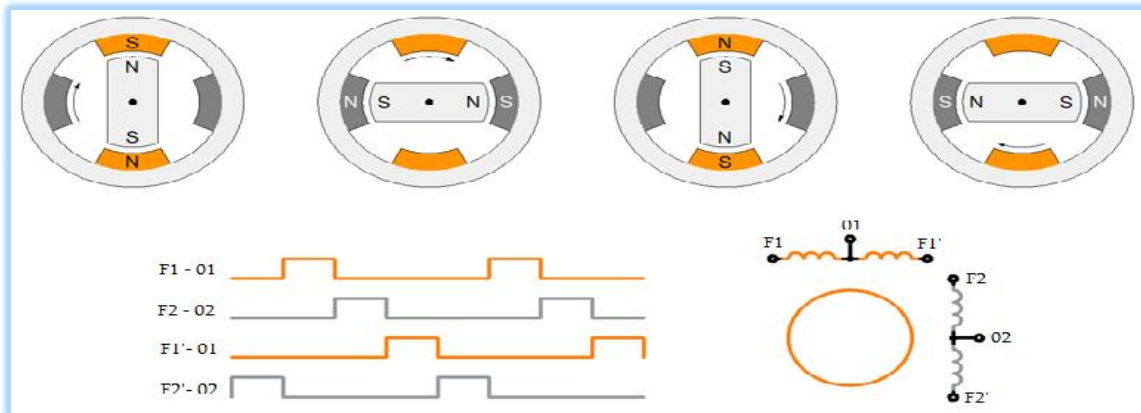
უნიპოლარული ბიჯური ძრავის ყოველი ფაზა შედგება ერთი გრაგნილისგან, რომელსაც აქვს შუა გამომყვანი. აქედან გამომდინარე მაგნიტური პოლუსების ცვლილება შესაძლებელია დენის მიმართულების ცვლილების გარეშე, რაც ნიშნავს, რომ კომუტაციის სქემა შეიძლება მარტივად შესრულდეს (მაგალითად, ერთ ტრანზისტორზე). როგორც წესი ყოველი ფაზის შუა გამომყვანები გაერთიანებულია, თუ შუა წერტილები გაერთიანებული არ იქნება ბიჯურ ძრავს 6 გამომყვანი ექნება, თუ გაერთიანებული ექნება, მაშინ ბიჯურ ძრავს ექნება 5 გამომყვანი.

ბიპოლარული ბიჯური ძრავის ყოველი ფაზა შედგება ერთი გრაგნილისგან, რომელსაც გააჩნია მხოლოდ ორი კიდურა გამომყვანი. აქედან გამომდინარე მაგნიტური პოლუსების ცვლილება შესაძლებელია მხოლოდ დენის მიმართულების ცვლილებით, რაც ნიშნავს, რომ მის სამართავად საჭიროა შედარებით რთული ბოგირული სქემით აწყობილი მოწყობილობა.

ორფაზიანი ბიჯური ძრავი, რომელსაც გააჩნია 6 გამომყვანი, შეიძლება იმართებოდეს როგორც უნიპოლარული, ასევე ბიპოლარული პრინციპით, თუ ორ ფაზიან ძრავს გააჩნია 4 გამომყვანი, მაშინ ის შეძლება იმართებოდეს მხოლოდ ბიპოლარული პრინციპით. არსებობენ 8 გამომყვანიანი ბიჯური ძრავები, ასეთ შემთხვევაში მომხმარებელს, საკუთარი სურვილით, შეუძლია შეირჩიოს მისი მართვის პრინციპი - უნიპოლარული ან ბიპოლარული.

ბიჯური ძრავის მართვისთვის გამოირჩევა რამდენიმე მეთოდი: ტალღისებრი; სრული ბიჯით; ნახევარი ბიჯით;

ტალღისებრი მართვის შემთხვევაში პოლუსები რიგრიგობით აღიგზნება (მაგვამიეწოდება მხოლოდ ერთ პოლუსს) და როტორის პოლუსი სტატორის პოლუსის გასწვრივ მდგომარეობას იკავებს (ნახ.6). მართვის ამ მეთოდის გამოყენებისას ბიჯური ძრავი მუშაობს ყველაზე დაბალი სიმძლავრით.



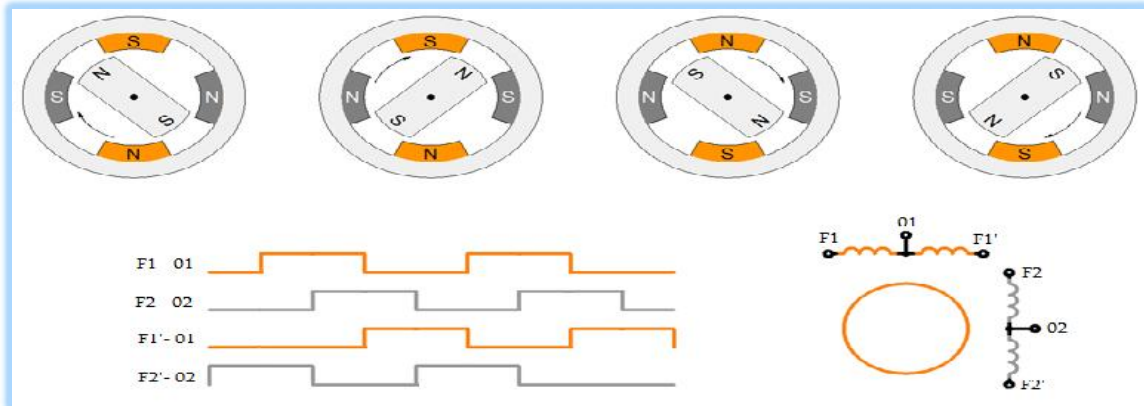
ნახ.6. ბიჯური ძრავის ტალღისებრი მართვის მეთოდი

სრული ბიჯით მართვის შემთხვევაში ბიჯური ძრავი მუშაობს მაქსიმალური სიმძლავრით (ტალღისებრი მართვის შემთხვევასთან ორჯერ მეტი სიმძლავრით), ვინაიდან ამ მეთოდის გამოყენებისას ერთდროულად, რიგრიგობით აქტიურდება სტატორის ორი მეზობელი პოლუსი, როტორის პოლუსი კი იკავებს პოზიციას მათ შორის (ნახ.7).

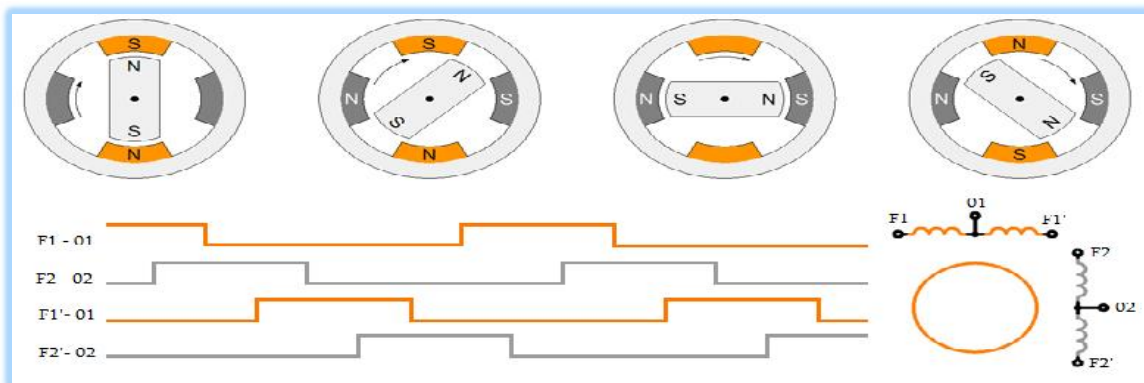
ნახევარი ბიჯით მართვის მეთოდის შემთხვევაში ბიჯური ძრავის მიერ განვითარებული სიმძლავრე კლებულობს ძრავის ტალღისებრი მართვის მეთოდთან შედარებით, მაგრამ აღემატება სიმძლავრეს, რომელსაც ძრავი აწვითარებს ძრავის ტალღისებრი მართვის მეთოდის გამოყენებისას. ნახევარი ბიჯით მართვის მეთოდის შემთხვევაში მმართველი იმპულსი მიეწოდება რიგრიგობით ჯერ მხოლოდ ერთ პოლუსს, შემდეგ ორ მეზობელ პოლუსს ერთდროულად, შემდეგ ისევ მხოლოდ ერთს და ეს პროცესი მეორდება ციკლურად (ნახ.8).

4. დასკვნა

ბიჯური ძრავების დადებითი მხარე მდგომარეობს იმაში, რომ შეიძლება მიღწეული იქნეს შემსრულებელი მექანიზმის პრეციზიული გადაადგილება, ბიჯურ ძრავს არ ესაჭიროება მექანიკური მუხრუჭის სისტემა, არაა საჭირო ღერძის მობრუნების კუთხის განმსაზღვრელი გადამწოდის გამოყენება.



ნახ.7. ბიჯური ძრავის სრული ბიჯით მართვის მეთოდი



ნახ.8. ბიჯური ძრავის ნახევარი ბიჯით მართვის მეთოდი

კუთხე შეიძლება დადგინდეს მარტივად მიწოდებული იმპულსების დათვლის შედეგად, ბიჯური ძრავების წონა ჩვეულებრივი მუდმივი დენის ძრავის წონაზე გაცილებით ნაკლებია. მიუხედავად იმისა, რომ ბიჯური ძრავის ნაკლოვანებაა მცირე სიმძლავრეები, მათი გამოყენება მაინც მეტად მოსახერხებელი ხდება რედუქტორების გამოყენების შემთხვევაშიც, მაშინ როდესაც შემსრულებელ მექანიზმებს არ მოეთხოვება მაღალი სიჩქარით გადაადგილება.

მართვის სქემის სიმარტივის გამო, უნიპოლარული ბიჯური ძრავების გამოყენება შედარებით მოსახერხებელია რობოტიკაში, განსაკუთრებით დისტანციური მართვისა და/ან ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე მობილური რობოტების ამძრავებში, რომელთა წონასა და მართვის სისტემის საიმედოობას ენიჭება განსაკუთრებული მნიშვნელობა [2]. მართვის ყველა მეთოდის გამოყენებისას ძრავის როტორის ბრუნვის სიხშირე დამოკიდებულია იმპულსების სიხშირეზე, რაც სწრაფად იცვლება პოლუსებზე მიწოდებული იმპულსების თანმიმდევრობა, მით მეტია ძრავის ბუნთა რიცხვი, ძრავის მუხრუჭის შენარჩუნებისათვის შესაბამის პოლუსზე ან ორ მეზობელ პოლუსზე ტოვებენ ძაბვის მაღალ დონეს. მაქსიმალური სიმძლავრის მისაღწევად გამოყენებული უნდა იქნეს სრული ბიჯით მართვის მეთოდი, ხოლო გადაადგილების მაქსიმალური პრეციზიულობის მიღწევისათვის გამოყენებული უნდა იქნეს ნახევარი ბიჯით მართვის მეთოდი. მაქსიმალური სიჩქარით გადაადგილების მიღწევის მიზნით გამოყენებული უნდა იქნეს ტალღისებრი მართვის მეთოდი, ამ უკანასკნელის გამოყენების შემთხვევაში მიიღება

ენერჯის მინიმალური მოხმარება, ანუ ეს მეთოდი მეტად ენერგო-ეკონომიურია და შესაძლებლობის შემთხვევაში სასურველია მისი გამოყენება.

ყოველივე ზემოთქმულიდან გამომდინარე, უნიპოლარული ბიჯური ძრავებიანი ამძრავებისათვის მიკროკონტროლერის ბაზაზე შემუშავებული მართვის სისტემის პროგრამული უზრუნველყოფის ალგორითმი უკუკავშირის გადამწოდებიდან (ნახევრად გამტარული აქსელერომეტრი, ჰიროსკოპი) მიღებული ინფორმაციის საფუძველზე ოპერატიულად ცვლის ბიჯური ძრავის მართვის მეთოდებს, გამოითვლის რა მოძრაობის ზედაპირის მიმდინარე დახრის კუთხისათვის ძრავის მიერ განსავითარებელ საჭირო სიმძლავრეს შესაბამისი ფორმულებით. ჩატარებულმა ცდებმა გვიჩვენეს, რომ ჰორიზონტალურ და მასთან საკმაოდ მიახლოებულ ზედაპირზე მობილური რობოტის გადაადგილებისათვის საკმარისია გამოყენებულ იქნეს ბიჯური ძრავის ტალღისებრი ან ნახევარი ბიჯით მართვის მეთოდი. დადმართში მოძრაობისას, ძრავი უმეტესად მუხრუჭი როლს ასრულებს, გაქანების აღმოფხვრის მიზნით და ასეთ შემთხვევაში საკმარისი აღმოჩნდა ბიჯური ძრავის ტალღისებრი მართვის მეთოდი. აღმართში მობილური რობოტის გადაადგილებისათვის უმრავლეს შემთხვევაში საჭიროა ბიჯური ძრავის სრული ბიჯით მართვის მეთოდის გამოყენება.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. https://www.ijert.org/admin/papers/1426785326_Volume%202%20Issue3.pdf
2. http://arduino.ah-oui.org/user_docs/dos07/stepper-robot-C++.pdf
3. <http://www.mouser.com/pdfdocs/Robotics-and-Motor-Control.pdf>
4. http://www.robotoid.com/bonus-chapters/rbb2-ch19-Working_with_Stepper_Motors.pdf
5. http://users.ece.utexas.edu/~valvano/Datasheets/Stepper_ST.pdf

STEPPER MOTORS AND PRINCIPLES OF THEIR APPLICATION IN ROBOTICS

Mamiashvili Tornike

Georgian Technical University

Summary

In the present article, the principles of the choice of stepper motors for drives of mobile robots are considered, the types of stepper motors, their design features, negative and positive aspects are considered. The methods of control of stepper motors, the features of their application are considered.

ШАГОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ПРИНЦИПЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В РОБОТОТЕХНИКЕ

Мамиашвили Т.

Грузинский Технический Университет

Рассмотрены принципы выбора шаговых двигателей для приводов мобильных роботов, рассмотрены типы шаговых двигателей, их конструктивные особенности, отрицательные и положительные стороны. Рассмотрены методы управления шаговыми двигателями, особенности их применения.